



# **BİNALARDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

**2024  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Huthan BÜYÜKGENÇ**

**TezDanışmanı  
Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN**

**BİNALARDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN ENERJİ  
VE EKSERJİ ANALİZİ**

**Huthan BÜYÜKGENÇ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Nisan 2024**

Huthan BÜYÜKGENÇ tarafından hazırlanan “BİNALARDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN .....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/04/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Ahmet Ümit TEPE (TÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

*Huthan BÜYÜKGENÇ*

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BİNALARDA SOĞUTMA SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

**Huthan BÜYÜKGENÇ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN**

**Nisan 2024, 51 sayfa**

Bugün dünyadaki en önemli sorunlardan biri enerji ve enerji sürekliliğidir. Binalarda enerji tüketimini azaltmaya odaklanmak küresel bir endişedir. 2020 yılına gelindiğinde binalar dünya enerjisinin yaklaşık %40'ını tüketiyor ve bunun yerine katma değer üretmek yerine karbondioksit seviyelerini artırıyor. Enerji binaların farklı yerlerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada iklimlendirme sisteminin bu alanda daha az enerji kullanması için hesaplamalarımızı yoğunlaştırdık. Artık bu sektörü enerji tüketimi açısından nasıl daha verimli hale getirebiliriz sorusuna cevap vermemiz gerekiyor. Öncelikle bu alandaki enerji tüketimi araştırılmalıdır. Binanın bu bölümünde hava, ısıtma, soğutma, nemin artması ve nemin azalması gibi çeşitli işlemlerden geçer. Bu süreçlerin her biri enerji tüketir ve bu nedenle enerji tüketimini azaltmak için farklı teknikler kullanılabilir.

Isıtma ve iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketimi, artan termal konfor talebiyle birlikte artmaya devam ettiğinden, ısıtma ve soğutma teknolojileri alanlarında binanın enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik büyük bir potansiyel bulunmaktadır.

Chiller Soğutma Sistemi, 5000 Evler Kapalı Spor Salonu için kullanılmak istenmiş Karabük ili mevsim şartlarında hangisinin kullanılması gerektiği analizleri yapılmıştır. Chiller Soğutma Sistemi için ekserjianalizi yapılmıştır. Bu analiz ile gerçekleşen ekserji verimleri tespit edilmiştir. Sonrasında, örnek çalışmamız olan Karabük-Beşbinevler Çok Amaçlı Spor Salonu binası için en ideal soğutma modeli için enerji ve ekserji analiz çalışması üzerine çalışılmıştır. Çalışmamızda, soğutma sistemi olarak Hava Soğutmalı Chiller Soğutma Sistemleri kullanıldığından yapılan enerji analizlerinde yüksek olan değerlerde verimin chillerde, en düşük verimin fan-coil ve klima santrali boyunca iletimde, ekserjinin düşük değerlerde verim chillerde en büyük değerlerde verimin klima santrali ve fan coil iletiminde olduğu, soğutma yapılan durumun en verimli çalışma koşulu olduğu izah edilmiştir. Denklemsel verilere göre ekserji verilerinin enerji verilerinden daha gerçekçi stabilizasyon sağladığı anlaşılmıştır. Bu çalışmada bir klima santralinin enerji analizi incelenmiştir. Bu cihaz, 7 °C'de soğuk su üreten bir soğutucudan beslendi. İç mekanın stabil bir durumda tutulması temel hedefimiz olduğundan çalışma sonuçlarına göre yapılabilecek yararlı olduğu düşünülen değişimler ifade edilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler** :Soğutma, Ekserji, Enerji, HVAC Tesisat, Termodinamik

**Bilim Kodu** : 91408

## **ABSTRACT**

**Master Thesis**

### **ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF COOLING SYSTEM IN BUILDINGS**

**Huthan BÜYÜKGENÇ**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor**

**Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN**

**April 2024, 51 pages**

One of the most important problems in the world today is energy and energy continuity. Focusing on reducing energy consumption in buildings is a global concern. By 2020, buildings consume approximately 40% of the world's energy, increasing carbon dioxide levels instead of producing added value. Energy is used in different parts of buildings. In this study, we concentrated our calculations so that the air conditioning system uses less energy in this area. We now need to answer the question of how we can make this sector more efficient in terms of energy consumption. First of all, energy consumption in this area should be investigated. In this part of the building, the air goes through various processes such as heating, cooling, increasing humidity and decreasing humidity. Each of these processes consumes energy and therefore different techniques can be used to reduce energy consumption.

As the energy consumption of heating and air conditioning systems continues to increase with the increasing demand for thermal comfort, there is great potential in the fields of heating and cooling technologies to improve the energy efficiency of the building.

Chiller Cooling System was intended to be used for the 5000 Evler Indoor Sports Hall. Analyses were made as to which one should be used under the seasonal conditions of Karabük. Exergy analysis was performed for the Chiller Cooling System. With this analysis, the actual exergy efficiencies were determined. Afterwards, an energy and exergy analysis study was carried out for the most ideal cooling model for the Karabük-Beşbinevler Multi-Purpose Sports Hall building, which is our case study. In our study, since Air Cooled Chiller Cooling Systems were used as the cooling system, the energy analysis showed that the highest efficiency was in the chiller, the lowest efficiency was in the transmission through the fan-coil and air handling unit, the lowest efficiency of exergy was in the chiller, and the highest efficiency was in the air handling unit and fan coil transmission. It has been explained that this situation is the most efficient operating condition. According to the equational data, it has been understood that exergy data provides more realistic stabilization than energy data. In this study, the energy analysis of an air handling unit was examined. This device was powered by a chiller producing cold water at 7 °C. Since our main goal was to keep the interior in a stable condition, changes that were thought to be beneficial were tried to be expressed according to the results of the study.

**Key Words** :Cooling, exergy, energy, HVAC Installation, Thermodynamics

**Science Code** :91408



## TEŞEKKÜR

Bu tezin ilerleyiŐinde ve araŐtırılmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirmeleriyle çalışmamı bilimsel olarak şekillendiren Sayın Hocam Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN'e, Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ'a, Doç. Dr. Ahmet Ümit TEPE'yesonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme,eŐim Hülya BÜYÜKGENÇ'e, oğlum Huthan Kaan ve Hakan Çağan BÜYÜKGENÇ'e manevi olarak beni sürekli destekledikleri ve yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
LİTERATÜR ÖZETLERİ .....	4
BÖLÜM 2 .....	9
GENEL BİLGİLER .....	9
2.1. TERMODİNAMİĞİN TEMEL KAVRAMLARI.....	9
2.1.1. Termodinamiğin 1. Yasası.....	9
2.1.2. Termodinamiğin 2. Yasası.....	14
2.1.3. Entropi .....	17
2.1.4. Gerçek İş.....	19
2.1.5. Enerji Analizi.....	20
2.1.6. Ekserji Analizi .....	20
2.2. BİNALARDA MEKANİK TESİSATLAR.....	21
2.2.2. Havalandırma Tesisat Sistemleri .....	25
2.3. KLİMA SANTRALLERİ.....	25
BÖLÜM 3 .....	30
MATERYAL VE YÖNTEM .....	30

3.1. KARABÜK-BEŞBİNEVLER ÇOK AMAÇLIKAPALI SPOR SALONUANABİNASI SOĞUTMA TESİSATI.....	30
3.2. KARABÜK-BEŞBİNEVLER ÇOK AMAÇLI KAPALI SPOR SALONU HAVALANDIRMA TESİSATI.....	32
3.3. SOĞUTMA TESİSATI SİSTEMLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ .....	33
3.3.1. Soğutucu Tesisat Ünite Sistemlerinde Enerji Analizi .....	33
3.3.2. Chillerin Enerji Analiz Gösterimi .....	34
3.3.3. Klima Santral Yolu Enerji Analizi .....	35
3.3.4. Fan-Coil İletim Yolu Enerji Analizi.....	35
3.4. SOĞUTMA TESİSATI SİSTEMLERİNDE EKSERJİ ANALİZİ.....	36
3.4.1. Klima Santral Yolu Sistemi Oluşan Ekserjik Kayıplar .....	37
3.4.2. Fan Coil İletim Sistemi Oluşacak Ekserjik Kayıplar .....	37
3.4.3. Chillerde Oluşan Ekserjik Kayıplar.....	38
3.4.4. Klima Santral Sistemde Oluşan Ekserjik Kayıp.....	39
3.4.5. Fan-Coil İletimde Oluşan Ekserjik Kayıplar .....	40
BÖLÜM 4 .....	41
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	41
4.1. ENERJİ ANALİZİ DEĞERLENDİRMESİ.....	41
4.1.1. Soğutucu Sistem Elde Edilen Değerler .....	41
4.2. EKSERJİ ANALİZİ DEĞERLENDİRMESİ.....	42
4.2.1. Soğutucu Sistem Elemanlarında Elde Edilen Değerler .....	42
4.3. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRME ..	44
4.3.1. Soğutucu Sistem Değerlendirmesi .....	44
BÖLÜM 5 .....	46
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	46
KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	51

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.Kapalı ve açık sistemler gösterimi.....	13
Şekil 2.2.Termodinamiğin 2. yasası temel soğutma gösterimi .....	17
Şekil 2.3.Spor salonu mekanik tesisat gösterimi.....	22
Şekil 3.4.Binalarda mekanik tesisat gösterimi .....	23
Şekil 2.5.Isıtma sistemi şema gösterimi .....	24
Şekil 2.6. Spor salonu klima santralleri .....	26
Şekil 2.7. Klima santrali bileşenleri .....	27
Şekil 2.8. Çift katlı karışım havalı klima santrali.....	28
Şekil 2.9. %100 Taze havalı rotorlu ısı geri kazanım üniteli klima santrali .....	28
Şekil 2.10. Çift katlı %100 taze havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali .....	28
Şekil 2.11. Tek katlı karışım havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali .....	29
Şekil 3.1. Kapalı Spor Salonu havalandırma bağlantısı.....	33

## ÇİZELGELERDİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4.1. Soğutucu sistem elemanları termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerjileri .....	41
Çizelge 4.2. Soğutucu sistem elemanları enerjik kayıp ve verim parametreleri .....	42
Çizelge 4.3. Soğutucu sistem elemanları termodinamiksel değerleri ve noktasal ekserjileri .....	43
Çizelge 4.4. Soğutucu sistem elemanları için ekserjik değerlendirme.....	44
Çizelge 4.5. Soğutucu sistem cihaz enerji ve ekserji analiz değerleri .....	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrad Derece
<b>Ex</b>	: Toplam ekserji, kW
<b>h</b>	: Entalpi, kJ/kg
<b>Ha</b>	: Yakıt alt ısı değeri, kJ/kg
<b>kW</b>	: Kilowatt
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>m</b>	: Kütleli Debi, kg/s
<b>Af</b>	: Molar Kütleli debi, kg/s
<b>Q</b>	: Toplam enerji, kW
<b>s</b>	: Entropi, kJ/kg.K
<b>T</b>	: Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$ , K
<b>W</b>	: İş, W, kW
<b><math>\eta</math></b>	: Verim
<b><math>\eta_I, \eta_Q</math></b>	: Enerji Verimi
<b><math>\eta_{II}, \eta_{Ex}</math></b>	: Ekserji Verimi

### KISALTMALAR

<b>AHU/KS</b>	: AirHeatUnit / Klima Santrali
<b>CH</b>	: Chiller
<b>EI</b>	: Isıtma Eşanjörü
<b>ES</b>	: Soğutma Eşanjörü
<b>FCU/FC</b>	: Fan CoilUnit / Fan Coil
<b>GWP</b>	: Küresel Isınma Potansiyeli
<b>HVAC</b>	: HeatingVentilatingAirConditioning
<b>PCM</b>	: Faz Değişim Malzemesi
<b>VAV</b>	: VariableAir Volume

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Binalar, dünya çapındaki enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini oluşturmakta, dolayısıyla onları en büyük enerji tüketicisi ve sanayi sektöründen sonra ikinci en büyük enerji tüketicisi haline getirmektedir. HVAC sistemi, sürdürülebilir binaların enerji sisteminde çok önemli bir rol oynar ve binanın enerji tüketimine ve karbon emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunur [1]. Bu özellikle konut dışı binalarda belirgindir.

HVAC sisteminin tüm yaşam döngüsünün başlangıç aşaması olan sistemin tasarımı, düşük karbon emisyonlarını, enerji verimliliğini, konforu ve sürdürülebilirliği genel hedefler olarak belirlenir. HVAC sistem tasarımının kalitesi, inşaat aşamasındaki inşaat zorluğu ve kaynak tüketiminin yanı sıra işletme aşamasında HVAC sisteminin performansı üzerinde de doğrudan etkiye sahiptir. Bununla birlikte, HVAC sistem tasarımına yönelik geleneksel mühendislik yaklaşımı yoğun emek gerektirir ve büyük ölçüde deneyime dayanır, bu da pratik uygulamalarda sürekli olarak optimum tasarımın elde edilmesini zorlaştırır. Başlangıçta, tasarım süreciyle ilgili önemli miktarda tekrarlayan ve zahmetli görevler (örneğin, yük hesaplama, kanal işleri ve boru tesisatı) genellikle manuel olarak ele alınır ve bu da potansiyel sorunlara ve verimliliğin düşmesine yol açar. Ayrıca, bir HVAC sisteminin tasarım sürecindeki sistem seçimi ve bileşen seçimi gibi her adım, bir optimizasyon problemi olarak yeniden formüle edilebilir. Tasarım optimizasyon problemlerinin genel hedeflerine, çeşitli pratik faktörlerin etkisi nedeniyle aynı anda optimuma ulaşmak zordur ve tasarım optimizasyon problemlerinin çözümü karmaşık bir süreç gerektirir. Araştırmalara ve deneyime dayanan geleneksel tasarım yaklaşımı, basitleştirilmiş bir mühendislik uygulama yöntemi olarak görülebilir. Geleneksel tasarım yaklaşımının sonuçları tasarımcının uzmanlığıyla sınırlıdır ve tam anlamıyla en optimal çözümü temsil etmeyebilir. HVAC sistemi, boru ve kanal ağlarının

binalara yaygın şekilde dağıtılmasıyla soğutma sisteminin ayrılmaz bir bileşenidir. Bazı boru veya kanal türleri, özellikle hava dağıtım sistemindeki büyük boyutlarıyla karakterize edilir. Çakışma çözümü sırasında HVAC sistemi borularının/kanallarının boyutunu ve iletim yolunu tekrar ayarlamak gerekir. Bazı durumlarda, HVAC mühendislik tasarımının kalitesini ve mühendislerin çalışmalarının verimliliğini etkileyebilecek ayarlama sonrasında hesaplamaların doğrulanması gerekebilir.

Gelecekteki HVAC tüketim profilini optimize etmek için HVAC cihazlarının enerji verimliliği artırılmalı ve HVAC elektrik talebi azaltılmalıdır. İlki mevcut ünitelere ve periyodik bakımına bağlıdır. Üstelik üstün bir performans elde etmek için bazen verimsiz bileşenlerin zamanında değiştirilmesi gerekebilir, bu da enerji yönetimi bütçesini artırır ve kaynaklarını tüketir. HVAC sistemlerinde doğru seçim yapılırsa elektrik talebini azaltmak daha kolay, daha hızlı ve uygun maliyetli olabilir. Soğutucu profilini doğru bir şekilde tahmin etmek ve ardından optimize etmek beklenen HVAC elektrik tüketimini azaltabilir.

Soğutma tipinin seçimi esnasında binanın hangi ilde olduğu ve o ilin sahip olduğu hava durumuyla ilgili veriler HVAC enerji tüketimini etkileyen dış değişkenlerdir.

Klimanın Sistemlerinin performansını sistemdeki arızalar ve bunların meydana gelme olasılığını etkiler. Soğutucu Sistemlerde arızalar şunlardır:

- a) Soğutucu akışkanın eksik veya fazla şarj edilmesi
- b) Evaporatörün veya kondenserin hava tarafında engellenen ısı transferi
- c) Soğutucu akışkandaki yoğunlaşmayan gaz
- d) Filtre kurutucudaki fazla kalıntı dahil sıvı hattı kısıtlamaları

Arızalar, sıcaklık ve basınç gibi ölçülebilir değişkenleri etkiler, bu da kapasite, verimlilik ve sistemin ömrü gibi performans değişkenlerini azaltır. Arızaların ölçülebilir değişkenler üzerindeki etkilerini anlamak, arıza tespit ve teşhis alanının temelini oluşturur. Soğutma döngüsünün karmaşıklığı ve bir sistemden diğerine değişkenlik, arıza etkilerinin net bir şekilde anlaşılmasının esas olarak deneysel çalışmalardan geldiği anlamına gelir. Bağımsız değişkenlerin (iç ve dış termal koşullar, arıza tipi ve arıza yoğunluğu) her biri basınç, sıcaklık, sistem kapasitesi ve



performans katsayısı (COP) gibi bağımlı değişkenleri etkiler. Bu nedenle, etkinin haritasını çıkarmak için koşulların değiştirilmesi gerekir.

Bu çalışmada, Karabük 5000 Evler Kapalı Spor Salonuörneği için, Basketbol Salonu, Judo Salonu, Jimnastik Salonu, Eskrim Salonu, Boks Salonu, Güreş Salonu ve bina ana giriş koridorları dahil 1. Kat planı için 8 adet Kaset Tipi soğutucu iklimlendirme sistemin olan R410a akışkanlı iç ünitenin enerji ve ekserjializisi yapılmıştır. Üniteler için denklemsel yapılan hesaplamalar sistemin çalışma frekansların analizlere etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada, merkezi soğutulmuş su sisteminin, sabit su akış hızına sahip yalnızca birincil konfigürasyondan ve paralel çalışan iki ayrı ünite soğutucusundan oluştuğu varsayılmaktadır. Fan-coiller de soğutulmuş su akışını kontrol etmek için çok yollu vanalar kullanılmaktadır. Çalıştırılacak sistem daha fazla soğutucu veya kazanlar gibi ek ısıtma kaynakları içeriyor. Soğutma ünitelerinin çıkış akışı, farklı odalar arasında dağıtılır, ikincil ünite, burada odasına karşılık gelen akışı belirtir. Her odada ısı transferibir fan-coil ünitesi aracılığıyla gerçekleşir. Tüm fan-coillerin sabit fan hızında çalıştuğını spor salonu içerisinde gözlemliyoruz. Çok yollu bir vananın iletim boyunca dolaşan akış, bobinden sıcaklıkta çıkar. Son olarak, tüm odaların çıkış akışları birbirine karışarak soğutma ünitelerine yeniden sirkülasyon akışı sağlanır. Burada öneride bulunduğumuz kontrol yaklaşımının amacı her odanın sıcaklığını kontrol ederek tasarruf sağlamaktır.

## LİTERATÜR ÖZETLERİ

Yong,yapılar için ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin enerji değerlerinin minimuma düşürmeye yönelik çabalarla birlikte, değişken soğutucu akışlı soğutucu (VRF) sistemi, piyasadaki bilinen HVAC sisteminden daha popüler olmuştur. VRF sisteminin yapıların estetiğini artırması, ünitesel fiyatları düşürmesi ve yüksek teknoloji ürünü ürünler sunması gibi birçok avantajı bulunmaktadır. VRF sistemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar devam ediyor olmasına rağmen, bu tür sistemlerin gerçek performans bilgilerine dayalı niceliksel enerji değerlendirmesi hala yetersizdir çünkü doğal ısıtma ve soğutma performanslarını etkileyen çeşitli faktörleri bir simülasyonda doğru bir şekilde yansıtmak zordur. Tasarım aşamasında çevre, bu çalışma için yüksek verimlilikle, çeşitli VRF sistemleri arasından doğrudan genişlemeli klima santrali ile bağlanmış su soğutmalı bir VRF sistemi seçilmiş ve standartlaştırılmış bir ısıtma ve soğutma performans eğrisi ısıtma ve soğutma alanı ölçüm performans verilerine dayalı olarak farklı sıcaklıklar ve kısmi yük koşulları geliştirilmiştir. İstatistikler, su soğutmalı VRF sisteminin diğer soğutma tabanlı geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında soğutma enerjisini %15'e kadar azaltabildiğini göstermektedir[1].

Geun ve diğerleri, değişken soğutucu akışkan akışlı (VRF) sistemler, yüksek kısmi yük verimliliği, farklı kapasite ve konfigürasyonlara sahip çeşitli iç üniteler, bireysel ve esnek bölge termal kontrolleri gibi sayısız avantajlarından dolayı son yıllarda hem ticari hem de konut binalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurulum için basit yapı ve ayrı bölgelerde eşzamanlı ısıtma ve soğutma sağlama konusunda benzersiz yetenek 2016 yılında dünyada 70 milyar ABD doları değerinde 100 milyon adedin üzerine çıkmıştır. Ayrıca VRF, merkezi iklimlendirme sisteminde %53,4 pazar payına sahiptir. Değişken hava hacmi ve fan-coil artı temiz hava gibi diğer yaygın iklimlendirme sistemleriyle karşılaştırıldığında VRF sistemi daha düşük enerji dağıtımına sahiptir. Ayrıca VRF sistemi, düşünülen diğer soğutma sistemlerine göre

daha iyi bir çözüm sağlayan bir sistem olarak görüldüğünden, binalarda kullanımı yaygınlaştı. Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin enerji açısından verimli bir aday olarak VRF'nin performansını iyileştirmek ve uygulamasını teşvik etmek için çok sayıda araştırma hayata geçirilmiştir [2].

VRF sistemleri ile farklı alanlar birbirinden ayrı sıcaklıklarda istenildiği gibi komuta sağlanabilir.  $\pm 0.5$  derecelik bir inisiyatif, alan sıcaklıklarının komutasında oldukça faydalıdır. İç ünitenin kontrolü genleşme valfi ve inverter ile yapılır. VRF sistemlerinde alışılmış olan split klima sistemleri içerisinde en temel fark sadece tek bir soğutucu hattı üzerine bağlı olmasıdır. 8 ila 40 HP referans gücüne maksimum dış ünitenin bağlanabilmesi ve oldukça gelişmiş kumanda fonksiyonlarıdır [3].

“VariableRefrigerantFlow” kelimelerinin ilk harflerinden oluşan VRF kısaltması, Türkçeye “değişken debili soğutucu akışkan” gibi ifadeler ile geçiyor. Yani sistem içerisinde bulunan akışkanın debisi değişebiliyor ve böylelikle anlık olarak ihtiyaç duyulan kapasite ayarlanabiliyor. VRF klima sistemi de temelde birden fazla iç ünitenin, aynı dış ünite grubuna bağlı olarak çalışması esasına dayanıyor. Bu açıdan VRF klima nedir sorusunun yanıtı da şöyle: Bu sisteme sahip klimaları iç ünitelerin bakır boru ile tek hat aynı dış ünite grubuna bağlı çevrimi gerçekleştirmesidir. Bir adet dış ünite ile birden fazla iç ünitenin kontrol edilmesini sağlayan VRF sistemi, yapının değişen kapasite ihtiyaçlarına göre soğutkanın akışını da kontrol edebiliyor. VRF sistemleri çalışma düzeni genel olarak bu şekilde ilerliyor. İç üniteler ile dış ünite arasında bağlantı sağlayan bakır borulama hattının üzerinde akışkan gaz, ısıtma ve soğutma işlevini yerine getirmek üzere transfer edilebiliyor. Ayrıca VRF sistemler, çevre dostu olarak bilinen R-410A soğutucu akışkanı kullanıyor. R-410A, ozon tüketim katsayısının (ODP) sıfır oluşu ile çevre dostu bir gaz olarak biliniyor. Yanıcı olmaması, GWP (küresel ısınma potansiyeli) değerinin 2340 olması da bu gazın bilinen ve öne çıkan diğer özellikleri. VRF klima sistemleri bunların yanı sıra akıllı inverter teknolojisine sahip. Isı geri kazanımı noktasında gelişmişliğe sahip olan VRF sistemler, soğutma ve havalandırma işlemlerini tek bir sistem yolu ile yaparak da enerji verimliliğini artırabiliyor. Ek olarak bölgesel iklimlendirme kontrolü sayesinde bireylerin sistemde kendi tercihlerini öne almasını kolaylaştırıyor [4].

Ergün (2010) yüksek lisans çalışmasında bir alışveriş merkezinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Isıtma sisteminin enerji analizi en az verimin eşanjörde, en fazla verimin ise kazanda, ekserji analizi en az verimin kazanda, en fazla verimin ise eşanjörde olduğunu belirlemiştir. Yaz aylarında soğutma için yapılan enerji analizlerinde en yüksek verimin chillerde, en düşük verimin ise fan coil hattında, ekserji analizlerinde ise en düşük verimin chillerde en yüksek verimin klima santrali hattında gerçekleştiğini belirlemiştir. Kış ayları için soğutmada enerji analizlerinde en yüksek verimin klima santralleri, en düşük verimin ise drycoolerda, ekserji analizlerinde ise en düşük verimin fan coillerde en yüksek verimin ise soğutma eşanjöründe olduğu bulunmuştur. Isıtma sisteminin enerji ve ekserji verimleri %90 ve %23 olarak bulunmuştur. Ekserji analizinin faydasal değerleri ortaya koyduğu ve buna bağlı olarak chillerde ve kazanda yapılacak düzeltmelerin sistemlerin performanslarını arttırarak enerji verimliliği arttıracağını göstermiştir[5].

Sever (2018) kapalı alana sahip bir alışveriş merkezinin ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin enerji ve ekserji analizleri üzerine çalışmış, ısıtma sistemlerinde en yüksek enerji veriminin kazan sisteminde, en yüksek ekserji veriminin ise fan coil sisteminde olduğu belirlenmiştir. Enerji ve ekserji analizleri soğutma sistemleri için de yapılmış, chiller sistemi için performans katsayısı, fan-coil ve klima sistemleri için ısı verimleri hesaplanmıştır. Soğutma sistemlerinde en yüksek ekserji veriminin chiller sistemine ait olduğu ve en yüksek enerji veriminin ise fan-coil sisteminden olduğunu ifade etmiştir[6].

Bir soğutma ünitesi için, modelini açıklayan firmalar mevcut verilerini genellikle performans parametrelerine dayalı verim eğrileriyle açıklar. Bu parametreler genellikle soğutucu kapasitesini (COP) içerir. Su akışına uygulanabilecek maksimum soğutma gücünü temsil eder, makinenin tükettiği elektrik gücü ve enerji verimliliği oranı yani gerçek soğutma üretimi arasındaki oran ve genellikle sistem performansının standart ölçüsü olarak kullanılan güç tüketimi. Bu nedenle, bu çalışmada soğutma üniteleri, bu parametrelerin davranışını tanımlayan değişkenler kullanılarak modellenmiştir. Bu parametreler, üretici tarafından sağlanan veya deneysel ölçümler yoluyla elde edilen çalışma verileri kullanılarak tanımlanabilen standart eğriler aracılığıyla ifade edilir [7].

Soğutma sistemlerine optimizasyon teknolojilerinin uygulanmasının potansiyel faydalarından yararlanmak için daha niceliksel rakamlar ve ekonomik analizlerin gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, su soğutmalı bir soğutma grubunun ekonomik faydalarını aşağıdaki enerji tasarruflu teknolojilerle araştırmaktır: soğutma kulesi fanlarının değişken hız kontrolü, sürekli bir yaklaşım, sabit ve düşük soğutma suyu çıkış sıcaklığı, değişken kondenser su akışı. Bu teknolojiler, küçük değişikliklerle mevcut soğutma sistemlerinin çoğuna uyarlanabilir. Bir binanın soğutma sistemi saatlik bina soğutma yüklerini simüle etme yöntemi sunar. Sistem COP'sinin farklı teknolojilere göre nasıl değiştiğini analiz etmek ve soğutma grubunun yıllık elektrik ve su tüketimini tahmin etmek için gelişmiş bir soğutma grubu sistemi modeli kullanılır. Teknolojilerin bireysel ve karma kullanımlarından kaynaklanan su ve elektrik maliyet tasarruflarına ilişkin bir değerlendirme yapılır. Bu çalışmaların önemi, yıllık elektrik ve su tüketimi açısından çevresel performanslarını artırmak ve aynı zamanda işletme maliyetlerini azaltmak amacıyla su soğutmalı soğutma gruplarının optimum çalışma stratejileriyle teşvik edilmesi için daha niceliksel analiz sağlanmasına dayanmaktadır [8].

Chiller sistemleri, fabrikaların veya binaların termal durumunu korur, alanı sakinler için konforlu tutmak ve ekipmanların düzgün çalışmasını sağlamak için soğutma ve havalandırma sağlar. Chiller sistemi, iklimlendirme için kullanılan enerjinin yaklaşık %60'ını tüketir. Bu, herhangi bir ticari veya endüstriyel binadaki enerjinin yaklaşık %25 ila %40'ına karşılık gelir. Ayrıca, birçok yarı iletken üretim tesisinde ve panel imalat fabrikasında soğutma sistemi, yüksek enerji tüketen başlıca ekipmanlardan biridir. Soğutma sistemini çalıştırmak için gereken bu büyük enerji büyük bir endişe kaynağıdır ve bu nedenle soğutma sistemlerinde enerji tüketimini azaltmak için kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Her ne kadar çeşitli geleneksel yöntemler uygulanmış olsa da, özellikle çoklu soğutma gruplu sistemlerde enerji tasarrufu hala çözülmesi gereken bir sorun olarak durmaktadır. Çoklu soğutma grubu sistemindeki her bir soğutma grubunun farklı kapasite ve performans özelliği olması, farklı soğutma yükleri altında minimum enerji tüketerek optimum çalışmasını zorlu bir görev haline getirmektedir [9].

Termodinamiğin ikinci yasasına dayanan ekserji analizi, sistemin tersinmezliğini değerlendirmek ve termodinamik verimliliği ölçmek için kullanılan etkili bir yöntemdir [10].

Soğutucuların sayısı ve soğutma kapasitesinin dağılımı, tesisteki soğutma yüklerinin özelliklerine ve frekans dağılımına bağlı olmalıdır. Büyük yük değişimine sahip bir binada tasarımcılar, farklı kapasitelerde birden fazla soğutucu kullanılmasını önermektedir. Sabit bir yük durumunda tasarımcılar küçük veya büyük kapasiteli bir soğutucu sistem önermektedirler [11].

Enerji, sadece madde yada enerji akışıyla bulunamaz. Değişim yada değişimi üretme yeteneğidir. Ekserji, madde, enerji akışı ve çevresel parametrelerle desteklenir. İş yada iş üretme yeteneğidir [18].

## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

Termodinamik katı bir bilim disiplini. Sunulan tüm kavramlar tam olarak tanımlanmalıdır. Termodinamik disiplinindeki “termodinamik”, “klasik termodinamik”, “modern termodinamik” gibi en temel bazı terimlerin tanımları ve uygulanabilirlik çerçeveleri çok önemli olmalıdır. Tam olarak bu tanımlarda, termodinamik eşleşmenin modern termodinamik ile klasik termodinamik (veya geleneksel termodinamik olarak adlandırılır) arasındaki dönüm noktası olduğunu ve termodinamik eşleşmenin modern termodinamiğin çekirdeği olduğunu bulabiliriz.

#### 2.1. TERMODİNAMİĞİN TEMEL KAVRAMLARI

Termodinamik, enerji ve enerji dönüşümü üzerine araştırma yapan bilim dalıdır. Termodinamiğin en önemli temel kanunları termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarıdır. Özellikle termodinamiğin ikinci yasası termodinamiğin çekirdeğini oluşturur. Şu ana kadar, canlı bedeni ve biyolojik evrim de dahil olmak üzere, "her türlü makroskobik koşulda" birinci ve ikinci tür sürekli hareket makinelerinin bulunamaması, termodinamik teoremin genelliğini ve güvenilirliğini göstermektedir ya da şöyle diyebiliriz: termodinamik teoremin gerçekten çok katı olduğunu anlamak mümkündür [20].

##### 2.1.1. Termodinamiğin 1. Yasası

Birinci yasa termodinamiğin, enerjinin korunumu yasasının bir uzantısı olduğundan, enerjinin ne yaratılabileceği ne de yok edilebileceği anlamına geldiğinden, genellikle anlaşılması en az zorlayıcı yasa olduğu düşünülmektedir. Kainatın başlangıcında ne kadar enerji varsa bitiş noktasında da o kadar enerji olacaktır. Ancak termodinamik incelikli bir konudur ve birinci yasa bu sözün akla getirebileceğinden çok daha ilginçtir. Dahası, “sıcaklık” özelliğinin tanıtılması ve açıklığa kavuşturulması için

ivme sağlayan yasa gibi, birinci yasa da girişi motive eder ve anlaşılması zor “enerji” kavramının anlamının açıklığı kavuşturulmasına yardımcı olur.

Termodinamiğin birinci yasasına dayanan enerji dengesi, herhangi bir prosesi daha iyi anlamak, tasarım ve kontrolü kolaylaştırmak, proses iyileştirme ihtiyaçlarına işaret etmek ve nihai optimizasyonu mümkün kılmak için geliştirilmiştir. Prosesin veya belirli parçalarının enerji kullanımındaki mükemmellik derecesi, mükemmellik derecesi ve ilgili proses parametrelerinin diğer benzer proseslerdekilerle karşılaştırılmasına olanak sağlar. En verimli sistemlerde şu anda ulaşılabilir değerlerle karşılaştırma özellikle önemlidir. Bir sistem veya bileşenleri için gerekli optimizasyon girişimlerine ilişkin öncelikler belirlenebilir. Bu tür öncelikler, aşırı enerji tüketimine veya özellikle düşük mükemmellik derecesine bağlı olarak gerçekteştirilebilir.

Ancak enerji yaklaşımının bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Genel olarak, enerji alışverişi sürecin varsayılan yönüne duyarlı değildir. Örneğin enerji analizi, ısının artan sıcaklık yönünde kendiliğinden aktarılmasına izin verir. Enerji aynı zamanda niteliğini de ayırt etmez. Örneğin 1 Watt ısı, 1 Watt iş veya elektriğe eşittir.

Termodinamiğin birinci yasası, bir sistemin toplam enerjisinin, bir formdan diğerine dönüşe bile sabit kaldığını belirtir. Örneğin, bir nesnenin hareket ederken sahip olduğu kinetik enerji, sürücü arabayı yavaşlatmak için frene bastığında ısı enerjisine dönüştürülür. Termodinamiğin birinci yasası, bir sistemdeki çeşitli kinetik ve potansiyel enerji türlerini, sistemin yapabileceği iş ve ısı transferi ile ilişkilendirir. Bu yasa bazen iç enerjinin tanımı olarak alınır ve aynı zamanda ek bir durum değişkeni olan entalpiyi Bu sonuçta termodinamiğin ikinci yasasına ve entropi Termodinamiğin birinci yasası, bir sistemin birçok olası durumunun var olmasına izin verir. Ancak deneyimler yalnızca belirli durumların meydana geldiğini göstermektedir. Bu sonuçta termodinamiğin ikinci yasasına ve adı verilen başka bir durum değişkeninin tanımına yol açar.

İş, karşıt bir kuvvete karşı yapılan harekettir. Yer çekiminin karşıt kuvvetine karşı bir ağırlığı kaldırmak çalışma gerektirir. İşin büyüklüğu cismin kütesine, üzerindeki yerçekimi kuvvetine ve kaldırıldığı yüksekliğe bağlıdır. İş, termodinamiğin ve



özellikle birinci yasanın temel temelidir. Her sistemin iş yapma kapasitesi vardır. Örneğin, sıkıştırılmış veya uzatılmış bir yay, bir ağırlığın kaldırılmasını sağlamak için kullanılana benzer bir iş yapabilir. Bir elektrik pili, bir elektrik motoruna bağlanabildiğinden ve bu da bir ağırlığı kaldırmak için kullanılabilirdiğinden iş yapma kapasitesine sahiptir. Bu tamamen açık bir nokta değil, ancak bir elektrik akımı bir ısıtıcıdan geçtiğinde, ısıtıcı üzerinde iş yapıyor demektir, çünkü aynı akım onu geçirerek bir ağırlığı kaldırmak için de kullanılabilir. ısıtıcı yerine bir elektrik motoru aracılığıyla. O halde bir ısıtıcıya neden " işçi " değil de " ısıtıcı " denildiği tanımlanan ısı kavramından açıkça anlaşılmaktadır.

Termodinamiğin birinci yasasına genellikle enerjinin korunumu adı verilir. Temel fizik derslerinde, enerjinin korunumu çalışması, mekanik kinetik ve potansiyel enerjideki değişiklikleri ve bunların işle ilişkilerini vurgular. Enerjinin korunumunun daha genel bir şekli, ısı transferinin ve iç enerji değişikliklerinin etkilerini içerir. Bu daha genel biçime genellikle termodinamiğin birinci yasası denir. Elektrostatik, manyetik, gerinim ve yüzey enerjisi gibi diğer enerji türleri de dahil edilebilir.

Termodinamik açıdan iş kavramını anlamak ve daha iyi bir kavrama sahip olmak için, bir sistemin iş yapma kapasitesini belirten bir terime ihtiyaç vardır. Bu terim enerjidir. Tamamen gerilmiş bir yayın, yalnızca biraz gerilmiş aynı yayın göre daha fazla iş yapma kapasitesi vardır. Bir birim sıcak su, bir birim soğuk sudan daha fazla enerjiye sahiptir. Dolayısıyla enerji kavramı sadece bir sistemin iş yapabilme kapasitesinin bir ölçüsüdür.

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin ne yaratılabileceğini ne de yok edilebileceğini, yalnızca biçiminin değiştirilebileceğini belirtir. Bir akışkanın kütle akışı, sistemin genel enerji dengesini etkileyen kinetik, potansiyel, iç ve "akış" enerjileriyle ilişkilidir. Dış iş ve ısı alışverişi enerji dengesini tamamlar. Bu nedenle termodinamiğin birinci yasasına enerjinin korunumu ilkesi denir. Bu, enerjinin ne yaratılabileceği ne de yok edilebileceği, bunun yerine kontrol hacmindeki akışkan değişikçe çeşitli biçimlere dönüşebileceği anlamına gelir. Sistem, uzayda bir çalışma akışkanının geçebileceği veya geçemeyeceği bir bölgedir (kontrol hacmi). Daha sonra akışkanla ilişkili çeşitli enerjiler sistemin sınırlarını geçerken gözlemlenir ve denge sağlanır.

En geneli olan açık sistem, kütle, ısı ve dış işin kontrol sınırını geçmesine izin verir. Sisteme giren tüm enerjiler, sistemden ayrılan tüm enerjilere artı sistem içindeki enerjilerin depolanmasındaki değişikliğe eşit olduğundan denge iş ile ifade edilir.

Sistem, mekanik bir cihaz, biyolojik bir organizma ya da klimadaki soğutucu akışkan ya da türbinde genişleyen buhar gibi belirli miktardaki bir madde olabilir. Termodinamik sistem, çevresi veya çevresi ile bir ısı transferi olmak üzere en az iki yolla etkileşime girebilen ve enerji alışverişinde bulunabilen bir sistemdir.

Aşağıdaki dizinde ifade edildiği gibi;

$$Q - W = \Delta E \text{ (kJ)} \quad (1)$$

Q= Net ısı geçişi

W= Net iş

E= Sistemdeki toplam enerji

Termodinamiksel formüllerde çevre unsurunun sisteme gerçekleşen ısı transferi ve sistemin çevreye sağladığı iş pozitifdir, sistem çevreye sağladığı ısı transferi ve sistem üzerine yapılan iş negatifdir.

Sistemin enerjisi E' ye eşittir. Kabulde iç enerji olan U, kinetik enerjisi KE ve potansiyel enerjileri PE toplamını verir. Böylelikle bir faz dönüşümünde sistem üzerindeki toplam enerji değişimi, sistemin iç enerjisindeki, kinetik enerjisindeki ve potansiyel enerjisindeki oluşumların toplamına eşit olur.

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (2)$$

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (3)$$

$$\Delta KE = \frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (4)$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1) \quad (5)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1) \quad (6)$$

W verisi,  $W_s$  ve  $W_{diğer}$  tanımsal değerlerini farkla ele almak gerekir. Burada,  $W_{diğer}$ , sınır işi dışında yapılan tüm işlerin toplamını,  $W_s$  ise fazdeğişimlerinibelirleyen sınır işini ifade etmektedir. Kapalı hareketsizsistemlerde potansiyel ve kinetik enerjiler yok olarak kabul edilebilir. Bu durumda enerji yasasıaşağıdaki denklemlerle gösterilir;

$$Q - W_{diğer} - W_s = \Delta E \text{ (kJ)} \quad (7)$$

Birim kütle için gösterim;

$$q - w = \Delta e \text{ (kJ/kg)} \quad (8)$$

Birim zamandaki değişimin gösterimi;

$$Q - W = dE/dt \text{ (kW)} \quad (9)$$

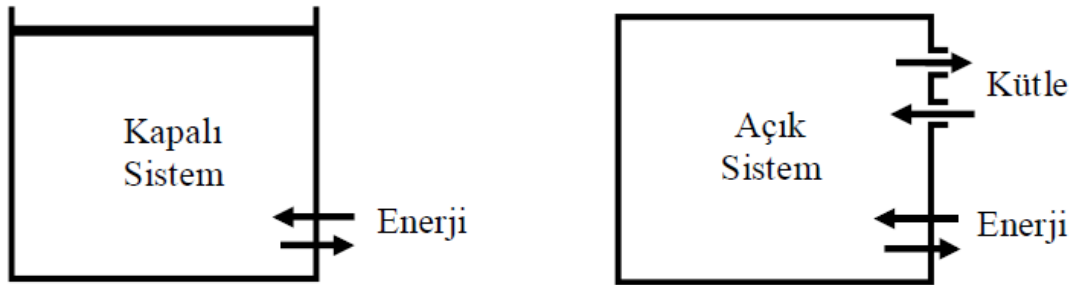
Bir çevrim oluşturan hal değişimindeki ilk ve son haller farklı olmadığından toplam enerji farklılığı;

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 0$$

gösterimi şeklindedir.

Buna göre çevrim için enerji yasası  $Q - W = 0$  ya da  $Q = W$  gösteriminde ısı geçişi yapılan net işe eşit olur.

Termodinamik olarak incelenmek üzere ele alınan bölgeye sistem adı verilirve çevresinden sistem sınırı adı verilen hayali bir yüzeyle kesin olarak ayrılır. Termodinamik bir analizde açık ve kapalı sistem, belli bir kütle veya bölgenin analizedilmesine göre isimlendirilir. Şekil 2.1'de açık ve kapalı sistem şematikgösterimleri verilmiştir.



Şekil 2.1. Kapalı ve açık sistemler gösterimi

Kapalı sistemlerle bağlantılı olarak, ister diyatermik ister adyabatik olsun, pistonlu kapalı rijit kapların durumu genellikle analiz edilir. Açık sistemlerde uygulanmaları durumunda, pompalar, kompresörler, türbinler, eşanjörler, kazanlar, kondansatörler, karıştırma odaları, nozullar, difüzörler ve vanalar yoluyla kısma prosesleri gibi proses ekipmanlarının incelenmesi yaygındır. Bu durumlarda analiz, izolasyon halinde, yani ayrı ekipmanlarda veya termodinamik döngülerde olduğu gibi bir proses kurulumunun parçası olarak talep edilebilir. Sorunlar sıklıkla, süreçte yer alan akışkanların termodinamik özelliklerinin önceden belirlenmesini ve geçiş halindeki enerjileri ısı ve iş olarak hesaplamak için enerji ve entropi dengelerine eşzamanlı yaklaşımı içerir.

### **2.1.2. Termodinamiğin 2. Yasası**

Termodinamikte anlamlı öğrenme, bilimsel bilgi birimlerini anlamaya, aralarındaki bağlantıları kurmaya ve aralarındaki ilişkilerin sonuçlarını gözlemleyerek durumları tahmin edebilmek, yeni sistemleri analiz edebilmek ve somut durumları çözmek için teknik ve yöntemler geliştirebilmek üzerine kuruludur.

Ekserji öğretimi içeriğinin değerlendirilmesi genellikle Birinci ve İkinci Kanunun tematik birimlerinin değerlendirilmesinden sonra gerçekleştirilir, çünkü teorik çerçevesi termodinamik süreçlerin verimliliğini onlarla ilişkili enerjik ve entropik yönlerden ölçme ihtiyacından kaynaklanır. Termodinamik çevrimleri sunmadan önce ekserjinin değerlendirilmesi, ekserji dengesinin bunlarla ilgili somut problemlere uygulanmasına olanak sağlar.

Isı, faydalı işin elde edilebileceği, geçiş halindeki bir enerji biçimini oluşturur ve bu nedenle ekserjisi hesaplanabilir.

Termodinamik açıdan bakıldığında, ısı rezervuarları veya termal rezervuarlar, sabit sıcaklıklarını korurken ısı alışverişi yapabilen sistemlerdir. Isı kapasitesi neredeyse sonsuz olan ideal ısı depolarında ısı transfer sürecinde sıcaklıkları sabit kalırken, ısı kapasitesi sonlu olanların sıcaklıklarında bir değişiklik görülür. Baca gazı akışı, bir buz bloğu, bir sıcak sıvı kütlesi, hatta doğal ortam bile termal kaynaklara örnektir.

Ekserji analizi, çevreyle temas halinde olan bir termodinamik sistemin mevcut enerjisinin verimsiz kullanımının yerini, büyüklüğünü ve nedenini belirlemeye dayanır. İlgili termodinamik sistemin türü ve karmaşıklığı ne olursa olsun, ekserji analizi, mevcut enerji açısından termodinamik verimliliği değerlendirmek ve geliştirmek için en etkili yöntemi temsil eder. Bu analizde verimsiz enerji kullanımı, ekserji kaybı veya yıkımı açısından ölçülür. Belirli bir prosesin parçası olan tüm termodinamik hususları analiz etmenin tek bir yolu yoktur. Bu nedenle verimlilik olarak tanımlanan farklı endeksler kullanılmaktadır. Verimlilik, enerji, zaman vb. gibi belirli sayıda kaynaktan istenilen etkiyi üretme yeteneği olarak kavramsallaştırılabilir. Bu verimliliklerin tanımı, mühendisin proses ekipmanının performansını izolasyonda veya endüstriyel kurulumun bir parçası olarak ölçmesine olanak tanır.

Bu verimliliklerin matematiksel ifadelerinin çoğu büyüklüklerin boyutsuz bir bölümüne dayanmaktadır. Bazıları Birinci prensipteki enerji kavramını temel alırken, diğerleri İkinci prensip tarafından belirlenen kısıtlamaları kullanır. Her iki durumda da her bir verimlilik, belirli bir hususa odaklanarak bir sürecin performansını niceliksel olarak değerlendirmek için kullanılır.

Birinci Kanun, bir prosesin verimliliğinin termal verimlilik ( $\eta$ ), belirli bir amaç için üretilen enerjinin sağlanan enerjiye oranı olarak tanımlanır.

Sağlanan enerjinin bir kısmının istenenden farklı enerji biçimlerine dönüştürülmesi durumunda, örneğin prosesin doğasında olan geri dönüşümsüzlük nedeniyle ısının dağılması durumunda, termal verim %100'den az olacaktır. Proses sınıflandırması açısından bakıldığında, Birinci İlkenin etkinliği, prosesin ne kadar tatmin edici olduğuna karar verilmesine izin vermez çünkü prosesi aynı termodinamik koşullar altında çalışan ve aynı amacı yerine getiren başka bir prosesle karşılaştırmaz. Bu verimliliğin mümkün olan en iyi performansı ifade etmediğini ve bu nedenle yanlış olabileceğini belirtmektedir. Bununla birlikte, her bir verim farklı termodinamik yönleri ölçtüğünden, sürecin mümkün olan en iyi süreçten, yani tamamen tersine çevrilebilir bir süreçten ne kadar saptığını ölçmek için İkinci Prensibe dayalı verimlilikler tanımlanır.

Adyabatik olarak çalışan ve güç üreten veya tüketen proses cihazları ve ekipmanları için, izentropik bir verimliliği, yani bu tür cihazlar tarafından sağlanan veya tüketilen gerçek gücün enerjiye göre dikkate alındığı İkinci prensibe dayalı bir verimlilik tanımlamak mümkündür. Tamamen tersine çevrilebilir bir şekilde çalışıyor olsalardı dağıtacakları veya tüketecekleri gücü temsil edirdi. Türbinler için izantropik verim, üretilen gerçek potansiyelin bir oranıdır ve tamamen tersine çevrilebilir koşullar altında üreteceği ideal güce, pompalar ve kompresörler enerji tüketen cihazlar olduğundan izentropik verim ideal olarak tüketecekleri gücün oranı cinsinden ifade edilir. Tanımı genel değildir ve yalnızca bu tür cihazların davranışının tamamen tersine çevrilebilir ideal çalışmadan ne kadar saptığı hakkında bir fikir verir. Sonuç olarak, referans ortamın varlığı dikkate alınarak, gerçek prosesin ideal prosesle karşılaştırılmasına olanak tanıyan, her türlü cihaz veya proses ekipmanına uygulanabilen bir indeksin tanımlanması gerekmektedir. Bir termodinamik sistemin mevcut enerjisinin bir süreçte faydalı enerji üretmek için ne kadar verimli kullanıldığını ölçer. Ekserji verimliliği, üretilen veya geri kazanılan ekserji ile tüketilen veya sağlanan ekserji arasındaki oran cinsinden hesaplanabilir.

Termodinamiğin Clausius'un entropi tanımına dayandığını (bu nedenle buna genellikle termodinamik entropi denir) dayandığını ve entropinin istatistiksel tanımlarının Clausius'un tanımına eşdeğer olduğunu varsaydığını, dolayısıyla bunların denklemlerle aynı cevabı vermesi gerekir.

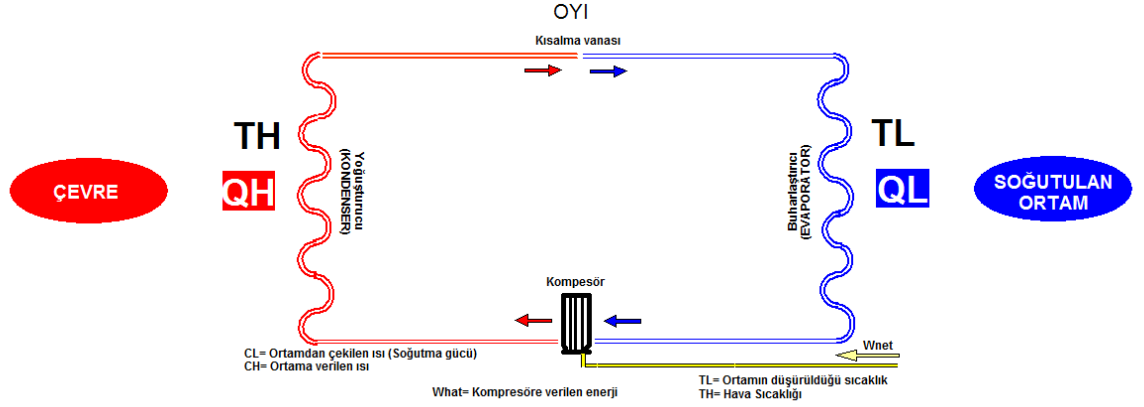
$$\eta_{th} = W_{net,çıkan}/Q_H = 1 - Q_L/Q_H \quad (10)$$

$Q_H$ = Verilen toplam ısı miktarını tanımlar.

$Q_L$ = Atılan ısı miktarını tanımlar.

$W_{net,çıkan}$ = Isı makinesi için işi tanımlar.

Clausius ve yukarıdaki denklem tanımına örnek derin dondurucular olabiliriz. Derin dondurucularda bulunan soğutucu akışkan iç kısımdan ısıyı çekip dış ortama vererek soğutma işlemini döndürür. Ancak bu döngülerin dondurucu kompresörünün elektrikle çalıştırılarak oluşturduğu bir döngüdür. Bu işlemin oluşumu Clausius ifadesiyle bize vermeye çalıştığı ana fikirdir.



Şekil 2.2. Termodinamiğin 2. yasası temel soğutma gösterimi

Hızlı dondurma sistemleri düşük sıcaklık uygulamalarında, evaporatörün buharlaşma sıcaklığı  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$  sınırı dahilindedir. Isı kaynağı ile soğutucu arasında yüksek sıcaklık farkı vardır ve yüksek basınç oranı, yüksek çıkış basıncı ve yağın sıcaklığı düşük hacimsel sonuç vereceğinden tek kademeli soğutma sistemi kullanmak ekonomik değildir. Verimliliği ve sistemin performans katsayısının düşük olması ayrıca soğutucu akışkanın geniş sıcaklık aralığında kullanılması evaporatör basıncının düşmesine, emme hacminin ve kondenser basıncının artmasına neden olacaktır. Bunun yerine bu uygulamalar için iki kademeli sıkıştırılmalı ve kaskad soğutma sistemleri kullanılabilir. İki kademeli sıkıştırılmalı sistem aynı soğutucu akışkanı kullanırken, kaskad sistemler bu çevrim için farklı soğutucu akışkanları kullanabilir [21].

### 2.1.3. Entropi

Entropi yöntemi, her bir indeks değerinin sağladığı bilgi miktarına dayalı olarak indekslerin ağırlığını belirlemeye yönelik bir yöntemdir. Bir endeksin entropi değeri küçükse bu, değişim oranının yüksek olduğu anlamına gelir ve bu da genel değerlendirme endeksi sonucu üzerinde daha büyük etkiye sahiptir.

Termodinamikte tersinmezlik entropinin monoton artışı olarak ifade edilir. Bu termodinamik entropi kavramının, özellikle tanımlanan durumların entropisi ile ilişkili olduğuna yani döngüde atomik parçaların sahip olduğu enerjinin ilerleme ölçütüdür.

Termodinamiğin hem birinci hem de ikinci yasalarını temel alan ekserji analizi yukarıda bahsedilen kavramların üstesinden gelmektedir. Ekserji, sistemi çevresi ile dengeye getiren bir süreç sırasında sistemden alınabilecek maksimum iş olarak tanımlanır. Enerjinin aksine ekserji yok edilebilir ve bir şeyin yok edilebileceği gerçeği enerji sistemlerinin tasarımında faydalı bir şekilde uygulanabilir. Ekserji analizi, sistemin hangi bileşenlerinin tersinmezliklerden sorumlu olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Ayrıca karmaşık enerji sistemlerinin performansını değerlendirmek ve optimize etmek için güçlü bir termodinamik teknik olarak da uygulanabilir. Ayrıca ekserji analizi, bina enerji sistemlerinin performansı üzerinde önemli etkisi olan ortam sıcaklığı gibi çevresel koşulları da dikkate alır.

Carnot verimliliğine yaklaşmanın tipik yöntemleri arasında, ısı girişinin pozitif olduğu sıcaklık aralığında "ara soğutma gücü" çıkarımı, ısı girişinin pozitif olduğu sıcaklık aralığında COP'yi iyileştirmek için harici soğutma gücü kullanılması yer alır. Bir çevrim için Birinci Yasanın, içinde yapılan iş için bir eşitsizliği ima ettiği gösterilmektedir ve özellikle döngüsel bir süreçte yapılan işin üst ve alt sınırlarında Clausius integraline benzer bir integral ortaya çıkar. Ayrıca, eşitsizlikte iki sıcaklık ortaya çıkar, yani çevrimin ısı emme süreçlerindeki iki ekstrem sıcaklık vardır ve iş enerji fonksiyonu, bu süreçte aktarılan ısı ile yapılan iş arasındaki farkın daha düşük potansiyeli olarak tanımlanır. Tersinir makinelerin fonksiyonunun tersinir bir süreçte var olduğu kanıtlanır ve bunu belirleyen bir formülde aldığı ve verdiği ısı enerjisi sıcaklıkları  $T_H$  ve  $T_L$  elde edilir.

$$(Q_H/Q_L)_{tr} = T_H/T_L \quad (11)$$

Isıl enerji mutlak sıcaklıklarına göre ısı makinesinin ısı verimi Carnot için;

$$\eta_{th} = 1 - T_L/T_H \quad (12)$$

İkinci Kanun, bir sistem ve çevresinin toplam entropisinin azalamayacağını öngörmektedir. Tersinir bir süreç için sabit kalabilir, ancak geri dönüşü olmayan bir süreç için her zaman artması gerekir. Döngüyle çalışan ve tek etkisi ısıyı daha soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme aktarmak olan bir cihazın yapılması imkansızdır. Temel olarak bu yasa, ısının soğuk bir cisimden sıcak bir cisme kendiliğinden akmasının imkansız olduğunu belirtir. Eğer ısı soğuk bir cisimden



sıcak bir cisme kendiliğinden akabilseydi, yine de enerji tasarrufu sağlayabilirdik, dolayısıyla Birinci Yasa geçerli olurdu. Ancak bugüne kadar yapılan her deney, enerjinin her zaman ters yönde aktığını göstermektedir. Buradan  $Q_L$ , tersinmez  $>Q_L$ , tersinirdir. Bir faz değişiminde entropi üretimi asla sıfırdan küçük çıkamaz. Isı geçişi yoksa, entropi değişimi sadece tersinmezliklerden oluşur ve bu etki sürekli entropiyi yükseltir.

#### 2.1.4. Gerçek İş

Isı transferinin ve akış sürtünmesinin tersinmezliğinden entropi üretim oranını analiz eden termodinamiğin ikinci yasasına dayanmaktadır. Termodinamiğin birinci yasası, geleneksel ısı değiştiricilerle karşılaştırıldığında geliştirilmiş ısı değiştiricilerin ısı transfer performansını hesaplamak için mühendislikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir sistemdeki maksimum iş, başlangıçtan, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale dönüştürülmesi ile gerçekleşir. Bu dönüşüm, sistemin başlangıcından, iş yapma olasılığını ifade eder. Verilen hal için sistemin işlevselliği, sistem özelliklerinin ile çevre koşullarıyla iç içedir.

Gerçek iş ( $W$ ) ile çevre işi ( $W_{\text{çevre}}$ ) arasındaki fark, yararlı iş olarak tanımlanır ve  $W_y$  ile tanımlanır.

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} \quad (\text{kJ}) \quad (13)$$

Belirli iki faz arasında hal değişiminde açığa çıkan maksimum yararlı iş tersinir iş  $W_{\text{tr}}$  olarak yazılır. Tersinir iş ilk ve son fazlar arasındaki değişim ile olur. Tersinir iş ( $W_{\text{tr}}$ ) ve yararlı iş ( $W_y$ ) arasındaki değişim bize hal değişim sırasındaki tersinmezlikleri oluşturur. Bu oluşum "I" ile gösterilir ve yazılışı:

$$I = W_{\text{tr}} - W_y \quad (\text{kJ}) \quad (14)$$

Birim zamanda meydana gelen tersinmezlik ise "i" ile gösterilir:

$$\dot{I} = \dot{W}_{\text{tr}} - \dot{W}_y \quad (\text{kW}) \quad (15)$$

Gerçek iş ve tersinir işbirebirdir, ifadesinden tersinmezlik sıfır olur ve entropi üretimi gerçekleşmez. Hal değişimlerinde tersinmezlik sıfırdan büyük bir değer olduğundan  $W_{tr} > W_y$  olur, iş gerektiren makinelerde ise iş terimi eksi olur ve  $|W_{tr}| > |W_y|$  olur.

### **2.1.5. Enerji Analizi**

Enerji analizi, enerjinin verimli kullanımını belirlemek ve bir sistemde enerjinin nasıl tüketildiğini değerlendirmek için kullanılan geleneksel yöntemdir. Bu yöntem, analiz edilen sistem için termodinamiğin birinci yasasına dayalı enerji dengelerinin yazılmasını içerir ve atık enerjiyi azaltmak için uygulanabilir. Ancak enerji çevre özelliklerinden bağımsızdır ve ne üretilebilir ne de yok edilebilir. Sonuç olarak enerji analizi, bir sistemden akan enerji akışlarının kalitesi hakkında bilgi sağlayamamaktadır.

Termodinamiğin hem birinci hem de ikinci yasalarını temel alan ekserji analizi yukarıda belirtilen sorunların üstesinden gelmektedir. Ekserji, sistemi çevresi ile dengeye getiren bir süreç sırasında sistemden alınabilecek maksimum kullanılabilir iş olarak tanımlanır [5,18]. Enerjinin aksine ekserji yok edilebilir ve bir şeyin yok edilebileceği gerçeği enerji sistemlerinin tasarımında faydalı bir şekilde uygulanabilir. Ekserji analizi, bir sistemin hangi bileşenlerinin tersinmezlikten sorumlu olduğunu belirlemeye yardımcı olur [1,2]. Ayrıca karmaşık enerji sistemlerinin çalışmasının değerlendirilmesi ve optimize edilmesi için güçlü bir termodinamik teknik olarak da uygulanabilir. Son zamanlarda ekserji kavramı enerji sistemlerinin kontrolüne uygulanmıştır. Ekserji analizi ayrıca ortam sıcaklığı gibi çevresel koşulları da hesaba katar. Çevresel koşullar, jeotermal ısı pompaları gibi ortam sıcaklığına yakın çalışan sistemler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan, bina enerji sistemlerinin ekserji açısından analiz edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

### **2.1.6. Ekserji Analizi**

Ekserji, bir sistemin yararlı iş yapma potansiyelini temsil eden termodinamik bir özelliktir ve yalnızca sistemdeki enerji miktarını değil aynı zamanda kalitesini de dikkate alır.

Termodinamiğin ikinci yasasına dayanarak bir termal sistemdeki sabit akan bir kütlenin bir durum noktasında ekserjisiolarak ifade edilebilir.

Ekserji nispeten eksiksiz bir termodinamik analiz yöntemidir, ancak ekserji analizi tek başına sistem tasarımı ve mühendislik kararları açısından biraz zayıftır, bunun temel nedeni:

- a) Geri döndürülemez kayıpların tümü önlenemez ve gerçek süreçte gerçek önlenebilir kayıplar teknoloji ve malzemelerin sınırlamaları nedeniyle enerji kayıpları her zaman teorik enerji tasarruflarından daha küçüktür.
- b) Sistem eşitsizliğinde enerji farklı ekipmanlarda veya farklı süreçlerde bulunur.
- c) Sistemdeki üretim ekipmanları birbirinden bağımsız değildir ancak karmaşık bir enerji ve malzeme alışverişi vardır ve termodinamik analiz, her ekipmanın geri döndürülemez artışının temel nedenlerini analiz edemez [ 22 ].

Dolayısıyla ısı ekonomisinin uygulanması, sistem değişikliği öncesi ve sonrası ek enerji tüketimindeki değişime aynı ürünle cevap verebilmektedir. Ekserji maliyeti, termal ekonomi, enerji tasarrufu ve termal ekonomi perspektiflerinden görüşlerini sundular ve termal ekonomi araştırma sürecinde ortaya çıkan çeşitli yöntem ve kavramları birleştirmek amacıyla yapısal bir termal ekonomi teorisi oluşturdular. . Birim ekserji maliyetini hesaplamak, Ekserji Analizi termodinamik açıdan maliyetini ölçmek ve sistemin termal performansına ilişkin daha fazla bilgi sağlamak için doğrusal ekserji denklemi oluşturulabilir.

Bilim insanları, ekserji analizini yoğun bir şekilde incelemekte ve birçok sonuç elde etmektedir. Özellikle güç sistemlerinin analizinde, ekserji analizi ve termal ekonomi yöntemi büyük önem taşımaktadır [23].

## **2.2.BİNALARDA MEKANİK TESİSATLAR**

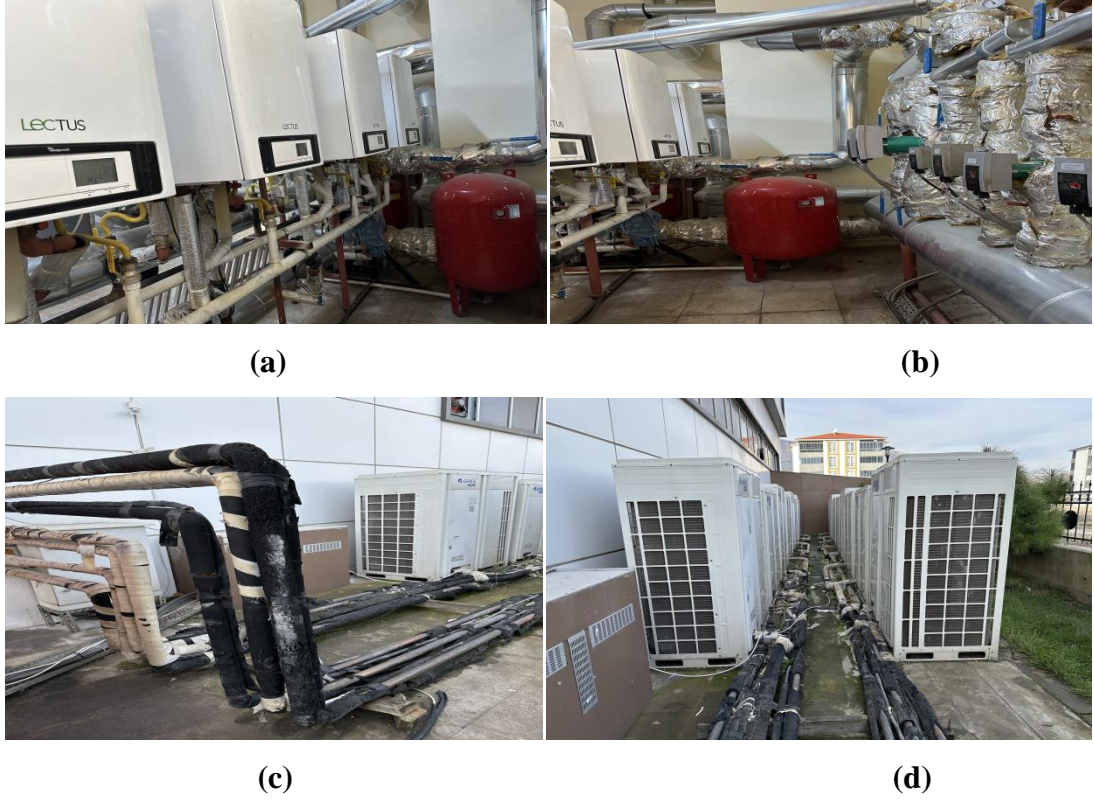
Binaların çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirmesi hesaplanırken, teknik kurulumların yaşam döngüsü envanteri aşamasında basitleştirmeler yaygındır. Çoğu zaman bu basitleştirmelerin zaman ve çabayı en aza indirmek için gerekli olduğunu savunulur. Ancak bu basitleştirmelerin ne ölçüde haklı olduğu belirsizdir. Buradaki zorluk, sonuçların sağlamlığından ödün vermeyen basitleştirilmiş modellerin oluşturulmasında yatmaktadır. Bu nedenle, ısıtma ve havalandırma sistemlerinin tasarımında bireysel bileşenlerin önemi, teknik kurulumların bina düzeyinde somutlaşmış ve yaşam döngüsü etkilerine göreceli katkısı ve aradaki fark hakkında bilgi edinmeyi amaçlamaktadır. Teknik kurulumlar yeni inşa edilen konutun somutlaşmış etkilerine %12-33 katkıda bulunurken genel yaşam döngüsü etkisi bağlamında teknik kurulumlar %5-20 oranında katkıda bulunur.



Şekil 2.3.Spor salonu mekanik tesisat gösterimi

Daha iyi hava dağıtım performansı ve dolayısıyla termal konfor sağladığından, bina ve tesis ortamlarının soğutulması için oda klimalarının üst seviyeye yerleştirilmesi yaygın bir uygulama olmuştur. Ancak artık tersine çevrilebilir sistemler arttığı ve kullanılabilirliği önem kazandığından hem soğutma hem de ısıtma modlarını içeriyorlar.

Bir iklimlendirme sisteminin çalışması için çok fazla enerji gerekir. Isıl konfordan ödün vermeden enerji kullanımını azaltmaya yönelik stratejileri belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır. Stratejiler arasında bina kabuğu performansının iyileştirilmesi, enerji verimli sistemlerin benimsenmesi ve atık ısının geri kazanılması yer almaktadır. Bu çalışmalarda, enerji tasarrufu stratejisine bakılmaksızın, klima sistemlerinin yerden ısıtma ve tavandan soğutma konfigürasyonları olduğu varsayılmıştır [23].



Şekil 3.4. Binalarda mekanik tesisat gösterimi

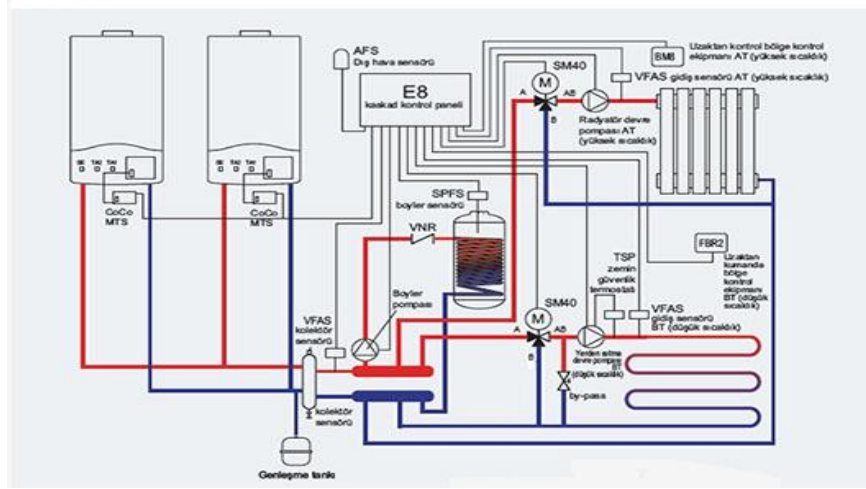
Spor salonu gibi umuma açık bir yerde, istenilen şartlarının sağlanması ve bu şartları sağlanırken enerjinin doğru kullanılması önem arz etmektedir. Bununla birlikte bu tarz binalarda uygulanacak mekanik tesisat sistemleri dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır.

### 2.2.1. Isıtma ve Soğutma Tesisat Sistemleri

İklim değişikliği nedeniyle artan aşırı hava olaylarının etkilerini azaltmak için küresel ısıtma ve soğutma talepleri arttı. Bu durum, bu talepleri karşılamak için fosil

yakıtların kullanılması nedeniyle küresel sera gazı emisyonlarında artışa yol açmıştır.

Isıtma ve soğutma sektörünün karbondan arındırılması, önümüzdeki yıllarda karbon nötr bir ekonomiye ulaşmak için bir öncelik olarak vurgulanıyor. Bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanımını kolaylaştırdığı , enerji verimliliğini arttırdığı ve arz güvenliğini arttırdığı için binaların soğutma sistemleri için umut verici bir teknolojidir. Bölgesel soğutma sistemleri, binalara doğrudan ısı sağlamak için yaygın olarak inşa edilmiştir. En son büyük gelişme, gelecekteki yenilenebilir enerji kaynaklarına uyum sağlamak amacıyla bölgesel soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Çünkü ısıtmanın hakim olduğu iklimlerde alan soğutma yaygın olarak sağlanmamaktadır. Ancak son yıllarda iklim değişikliği altında mahal soğutma talebi güçlü bir büyüme eğilimi göstermiştir Yeni bir birleşik bölgesel ısıtma ve soğutma konseptinin ortaya çıkmasına neden olmuştur .



Şekil 2.5. Isıtma sistemi şema gösterimi

Isıtma sistemi, endüstriyel üretim ve konut yaşamının çeşitli yönleriyle iç içe geçmiş modern kentsel ortamların işlevselliğinin temelini oluşturur. Düşük karbonlu ısıtma sistemine geçiş, gelecek nesil enerji sistemleri ve geleceğin karbon nötr şehirleri için kritik öneme sahiptir. Yasaklanmayan merkezi ısıtma sistemlerinin gelişiminin hem enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini hem de “akıllı ısıtma”nın geliştirilmesini içerdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma altyapı akıllılaştırmasını temsil eden kentsel merkezi ısıtma sistemindeki akıllı ısıtma teknolojisindeki son çalışmaları

özetlemektedir. Daha sonra akıllı ısıtma çözümlerini destekleyen temel sistem teknolojilerini inceliyor. Bu temel üzerine inşa edilen tartışma, akıllı ısıtmadan akıllı geçişe odaklanıyor yenilenebilir enerjiyi sindiren VRF tasarımı, dinamiklerinin modellenmesi, çoklu enerji bağlantısının kırılabilirliği ve akıllı soğutmanın daha da akıllılaştırılması. Soğutma sistemindeki sistemlerde aynı mantıkla tasarlanır.

### **2.2.2. Havalandırma Tesisat Sistemleri**

Konut binalarındaki iklimlendirme sisteminin yükünü azaltmak için , enerji geri kazanımlı havalandırma pasif nem mekanik havalandırma sistemi kullanılarak çalışma şartlarındaki iç ortam sıcaklık değişim sistemiyle enerji geri kazanımlı havalandırma, HVAC sistemi olarak adlandırılan, iç mekan ortamını akıllı bir şekilde düzenleyebilen pasif bir enerji toplama sistemine entegre eder . Diğer sistemlerle karşılaştırıldığında en belirgin olanı iç ve dış hava arasındaki farktır ve sabit bir iç mekan bağıl nemini koruma yeteneği en dikkat çekici olanıdır.

Binaların hava sızdırmazlığını ve yalıtım seviyelerini iyileştirmeye yönelik düzenlemelerin sıklaştırılması, iç mekan iklimlendirme sistemlerinin duyulu ısı yükünü önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak mevcut bina mevzuatı, özellikle sıcak ve nemli iklimlerde, gizli soğutma yükünün azaltılmasına yanıt veremez. Bu nedenle, iklimlendirme sistemlerinin gizli soğutma yüklerinin nem alma yoluyla azaltılması gereklidir. İç mekan nemi, diğerlerinin yanı sıra binaların enerji verimliliğini, sakinlerin sağlığını ve bina kaplama malzemelerinin dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler.

### **2.3. KLİMA SANTRALLERİ**

Bina performansı ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri dahil bina tasarımında uygulanan güçlü bir araçtır. Spor tesisleri için enerji tasarrufu önlemlerinin potansiyelini araştırmak amacıyla çeşitli araştırma çalışmaları bu aracı kullanmıştır. Ancak bu tesislerde, çeşitli alt sistemlerde birçok karmaşık olay meydana geldiğinden, teknik karmaşıklık modellemede önemli bir zorluktur. İnşaat endüstrisi geleneksel olarak bu karmaşık binaları sezgisel temel kurallar ve bu ampirik tasarım kuralları, gerçek ve tahmin edilen performans arasında önemli

farklılıklara yol açabilir. Bu nedenle spor tesislerinin simülasyona dayalı tasarımı için kabul edilebilir doğrulukta basitleştirilmiş modeller geliştirmek önemlidir. Bilimsel literatür, klima santrali modellemesi için farklı basitleştirmeler sunmaktadır ancak bu basitleştirmelerin etkisi pek analiz edilmemektedir. Bu nedenle klima santrali ünitesinin model karmaşıklığını, yeni ve basitleştirilmiş bir model ile gerçek bir ünitenin dijital kopyası olarak hizmet veren ayrıntılı bir modeli karşılaştırarak araştırmaktadır. Basitleştirilmiş ayrıştırılmış modelin, bu tasarım aşamasındaki genel belirsizlik göz önünde bulundurulduğunda, erken aşama tasarımı için kabul edilebilir bir doğruluğa sahip olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, bir spor tesisinin ayrıntılı bir incelemesini gerçekleştirirken Şekil 2.6'da çalışmamıza konu Kapalı Spor Salonuna ait klima santrali gösterilmektedir.



Şekil 2.6.Spor salonu klima santralleri

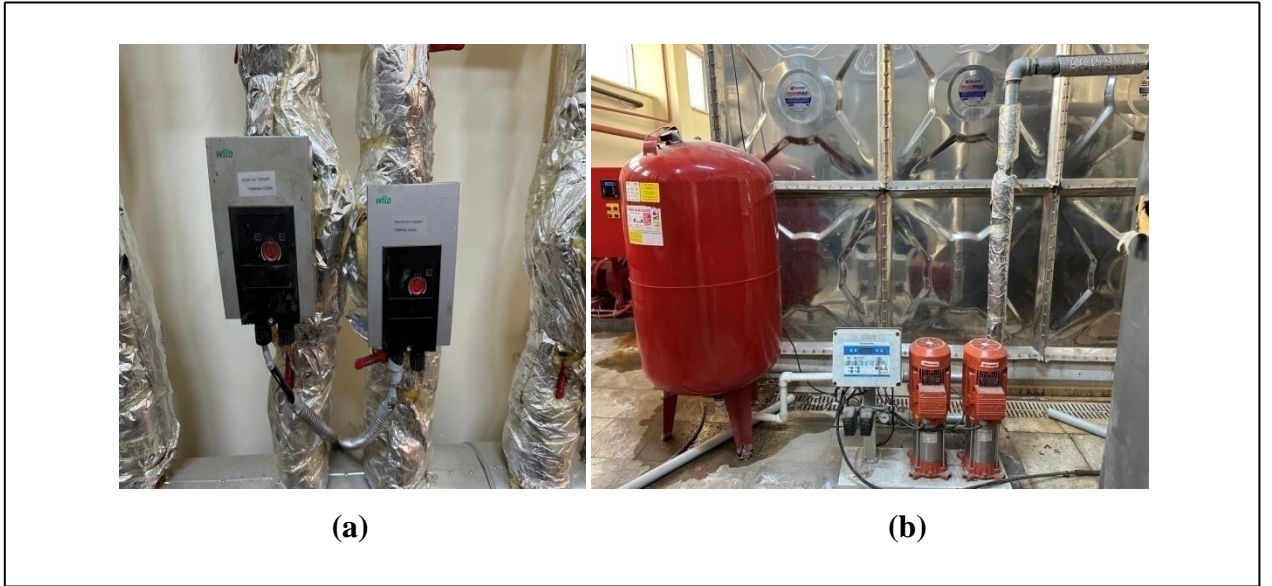
İç ortam tipik olarak iç mekan kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem için sabit ayar noktaları takip edilerek kontrol edilir. Klima santrali (AHU) ve hava dağıtım sistemi, iç mekan hava kalitesiyle ilgili tüm konuları ele almak ve sağlıklı ve konforlu bir termal iç ortam sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bina kabuğu ve taşıyıcı sistemlerde oluşan yoğuşma problemlerinin giderilmesi görevi de hava dağıtım sistemi tarafından üstlenilmektedir.

Klima santralinde modellenecek fiziksel olaylar, nemli havayla ısı geri kazanımı, yoğuşma ve soğutucu havasıyla etkileşim dahil olmak üzere karmaşıktır. Ek olarak,



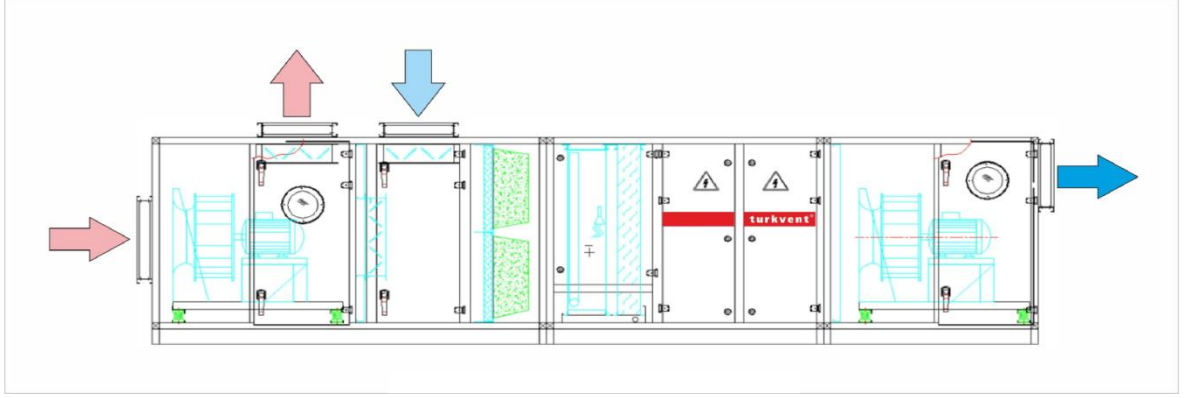
bu AHU'ların dahili denetleyicisi, çeşitli çalışma koşullarında sıcaklık ve nem ayar noktalarını takip edebilecek şekilde karmaşık hale getirilebilir. Bu nedenle, bir kontrolörün ayrıntılı olarak uygulanması zaman alıcıdır ve AHU üreticisi tam açıklamasını sağlayamayabilir. . Bu bağlamda literatür, AHU modellemesinin farklı düzeylerde basitleştirildiğini göstermektedir.

Klima santralinin amacı, tesiste yeterli sıcaklık ve nem seviyesini sağlamak ve hijyenik nedenlerden dolayı temiz hava sağlamaktır. Tesisin enerji yoğun özelliği ve dolayısıyla aşırı enerji kullanım riski nedeniyle bu görevler, ısı geri kazanımı, talep kontrollü hava akış oranları, farklı işletme stratejilerine sahip çalışma modları ve ara bağlantı gibi çeşitli enerji azaltıcı önlemlerle yapılmaktadır. Bu enerji azaltıcı önlemlerin önemi, oda havasındaki önemli enerji içeriğinden kaynaklanmaktadır.

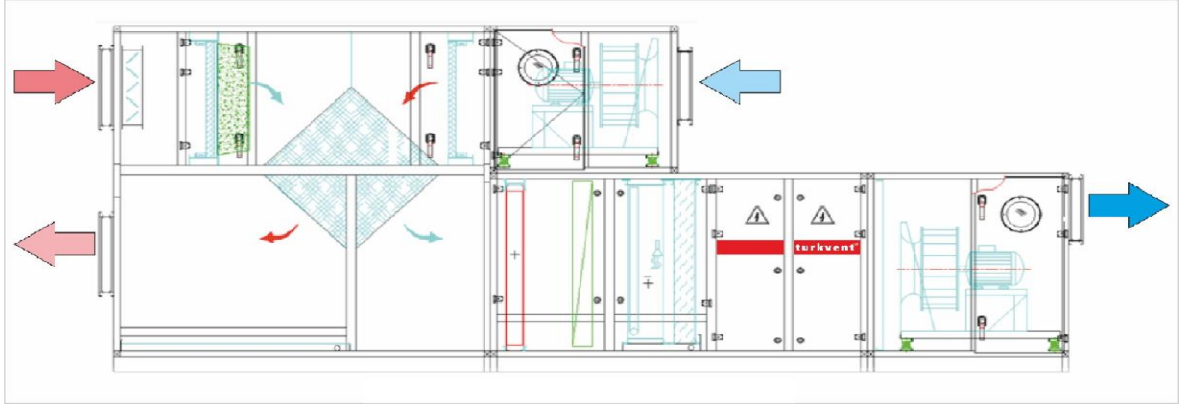


Şekil 2.7. Klima santrali bileşenleri

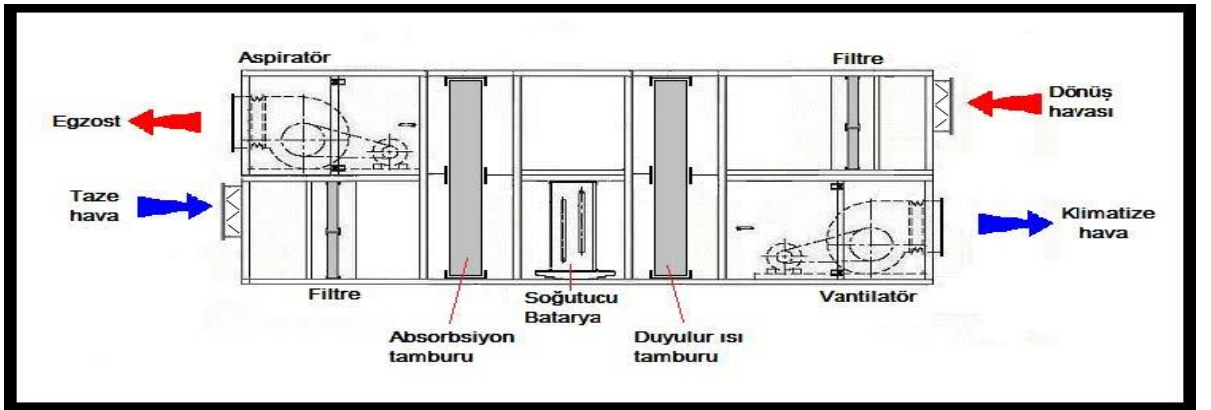
Aşağıdaki şekillerde kullanım amaçlarına göre tasarlanmış klima santrali gösterilmiştir.



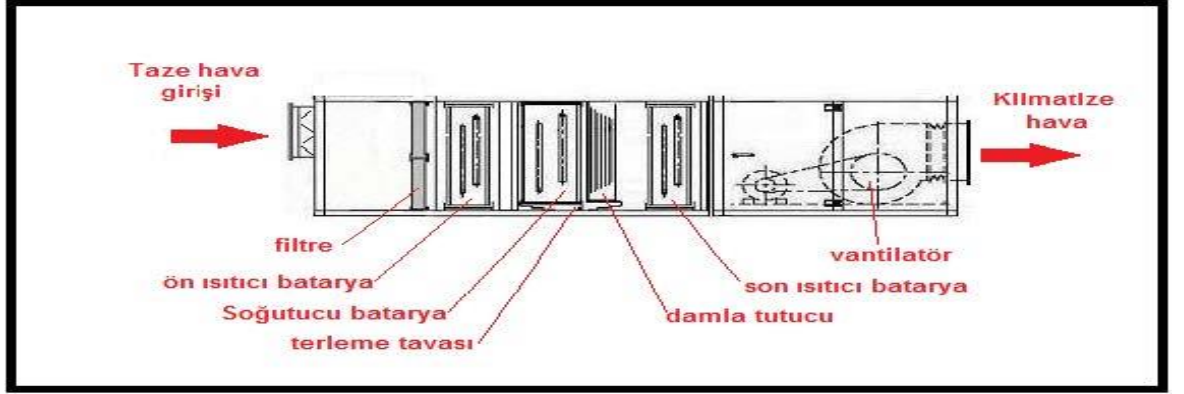
Şekil 2.8.Çift katlı karışım havalı klima santrali



Şekil 2.9.%100 Taze havalı rotorlu ısı geri kazanım ünitesi klima santrali



Şekil 2.10.Çift katlı %100 taze havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali



Şekil 2.11. Tek katlı karışım havalı run-around ısı geri kazanım bataryalı klima santrali

Klima santrali (AHU) bazlı değişken hava debisi sistemleri ofis binalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir AHU çalışırken, AHU tahliye havası sıcaklığı, genel HVAC enerji tüketimini büyük ölçüde etkiler. Eş zamanlı olarak, soğutma kulesindeki kondenser suyunun besleme ve tahliye sıcaklığı, gereken toplam soğutma enerjisini önemli ölçüde etkiler. AHU'lar, soğutma kuleleri ve soğutucular açısından, bir dizi çalışma AHU'nun kontrol yöntemlerine ve optimizasyonuna odaklanmıştır.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1.KARABÜK-BEŞBİNEVLER ÇOK AMAÇLIKAPALI SPOR SALONUANABİNASI SOĞUTMA TESİSATI

Son yıllarda veri merkezlerinin yüksek ısı akısı yoğunluğuna doğru gelişmesiyle birlikte, geleneksel hava soğutmalı sistemler soğutma gereksinimlerini karşılamakta yavaş yavaş başarısızlığa uğradı. Dolayısıyla veri merkezleri için sıvı soğutma, gelecekteki gelişim için önemli bir alandır ve mevcut araştırmalar, verimli ısı emici yapıların geliştirilmesine veya enerji tasarruflu soğuk kaynak şemalarının oluşturulmasına odaklanmaktadır. Ancak bugüne kadar bu iki yönün entegrasyonu sağlanamamıştır ve sonuç olarak mevcut sonuçlar, tüm soğutma sisteminin kapsamlı analizinin eksikliği nedeniyle sınırlıdır. Sonuç olarak, bu çalışmada veri merkezleri için sıvı soğutma geliştirilmiş ve soğutucu ve soğuk kaynağı da içeren kapsamlı bir termal yönetim performans analizi yapılmıştır. her bir ünite için 3,3kW'lık veri merkezi soğutma sistemi kurularak optimum termal yönetim stratejisinin belirlenmesi amacıyla minimum enerji tüketimi analizi yapıldı.klima santrali için güvenli sıcaklık olarak 6/11 °C alınarak, pompaların ve hava soğutmalı soğutma grubunun güç tüketimi, sunucu giriş sıcaklığı, soğutma grubu besleme suyu sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve su akış hızları arasındaki dahili ilişkiler analiz edilerek araştırıldı ve optimum termal yönetim sağlandı. Ek olarak, farklı soğutma grubu besleme suyu sıcaklıkları için optimum su akışı oranlarına yönelik uygun korelasyonlar, soğutma sistemlerinin optimum tasarımına rehberlik etmek üzere sağlanmıştır.

Klima Santrali Hattive Fan-Coil Hattı üzerinden iletilen soğumuş su, klima santrallerinin soğutmabataryalarına girerek soğutulacak ortamdaki ısıyı çeker ve tekrar sisteme geri döner.Suyun giriş sıcaklığı 11 °C, çıkış sıcaklığı ise 6 °C' ayarlanmıştır.Sistemde soğuyan su önce ana soğutma kollektörüne

gelmektedir.Soğuyan su kollektördeki pompalar yardımıyla klima santrallerine ve  
fan-coil hattına

gönderilmektedir. Mahallerde dolaşan su, soğuk su dönüş kolektörüne gelip oradan tekrarsistemedenerek çevrimini tamamlar.

Fan-coil üniteleri sistemde havalandırma kanalları vasıtasıyla görevini yapar. İklimlendirme işleminin yapılacağı mahalde homojen bir şekilde dağıtılması ve hava kanallarının uygun bir şekilde çekilmesi sistem başlar. Spor salonu esnek hava kanallarının galvaniz alaşıma sahip menfezlerden oluştuğu görülmektedir. Sıvı soğutma yöntemleri, havaya kıyasla önemli ölçüde üstün termofiziksel özelliklere sahip soğutucuların kullanımına olanak tanıdığından, daha yüksek soğutucu sıcaklıklarına ve azaltılmış hava akış hızlarına izin vererek termal bariyerleri etkili bir şekilde genişletebilir ve enerji tüketimini azaltabilir.

Sistemin enerji tüketiminin hem soğutucu performansı hem de soğutma kaynağı performansı açısından incelenmesine olanak sağlayacak 3,3kW'lık veri merkezi soğutma sistemi inşa edilmiştir. Ayrıca sıcaklığın güvenli sıcaklığını aşmamasını garanti etmek için bu durumda 70 ve 90 °C'ye ayarlandı, soğutma sistemlerinin termal yönetimi optimize edildi ve tahmin edildi. Elde edilen ana sonuçlar öneriler kısmında ifade edilmiştir.

### **3.2.KARABÜK-BEŞBİNEVLER ÇOK AMAÇLI KAPALI SPOR SALONU HAVALANDIRMA TESİSATI**

Doğal havalandırma, binanın yapısı, hakim rüzgar yönü ve bölgenin iklimi dahil olmak üzere çeşitli iç ve dış faktörlerden etkilenir. Saydığımız bu faktörlerin varlığı, doğal olarak havalandırılan alanlarda hava akış hızlarının ve hava dağılımının analizi ve tahmini için zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Geleneksel olarak, odalara esas olarak pencere konfigürasyon tasarımı yoluyla temiz hava sağlanmıştır. Doğal pencere havalandırması, modern toplumda iç hava kalitesini iyileştirmenin ve iç mekan termal konforunu düzenlemenin en etkili yöntemidir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, dış ortam koşulları, özellikle de yetersiz rüzgar koşulları ile ilgili pratik hususlar nedeniyle, temiz hava sağlamak için yalnızca pencere havalandırma sistemlerine güvenmek uygun olmayabilir [12].

Binalar iç ortam sıcaklıklarını düşürmek ve aşırı ısınmayı önlemek için sistem havalandırma tertibatına ihtiyaç duyar.

Havalandırma sistemlerinin planlanmasında, fanların yerleştirilmesi, kablolanması ve çalıştırılması da dikkate alınmalıdır. Maksimum yük durumu için geleneksel planlama yerine, kısmi yük senaryoları dahil edilirse, aşırı boyutlandırma azaltılır ve enerji verimliliği artırılır. Ek olarak, merkezi kanal ağında dağıtılmış bileşenleri içeren ve böylece sistemlerin enerji verimliliğini artırmak için daha fazla fırsat sunan yeni havalandırma yaklaşımları kullanılmalıdır.

Örnek çalışma olan Kapalı Spor Salonu binasında çatı katında karşılıklı 2 adet klima santrali bulunmaktadır. Güncel soğutma kapasitesi 61500 kcal/h kapasitesine, klima santrali 6/11 °C soğutma suyu çevrimine sahiptir ve bina Basketbol Salonu, Boks Salonu, Judo Salonu, Jimnastik Salonu ve koridor havalandırmasına hitap etmektedir.



Şekil 3.1.Kapalı Spor Salonu havalandırma bağlantısı

### **3.3. SOĞUTMA TESİSATI SİSTEMLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

#### **3.3.1. Soğutucu Tesisat Ünite Sistemlerinde Enerji Analizi**

Klimalara değişik ünite kontrolörlerinin montajı tasarlanarak, sıcak/soğuk serpantinlerde sıcak/soğuk akışkan akışını düzenler ve buna bağlı olarak azalan serpantin kapasitesi nedeniyle bakım, enerji tüketimi ve başlangıç maliyetleri düşer.

Bu araştırmada, bir klima santralinin termodinamik analizi incelenmiştir. İncelemede kapalı sistem için faz geçişinde iletimde enerji değişimi net ısı ve işe eşitir.

$$Q - W = \Delta E \quad (17)$$

Enerji sistemleri, karmaşık termal sistemlerdeki tasarımlarını ve performanslarını değerlendirmek için ekserji analizini kullanıyor. Ekserji, belirli bir durumda yararlı olan maksimum sistem çalışmasıdır. Entropi, sistemin tersinmezliği nedeniyle süreç boyunca yok edilebilir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre, belirli bir termodinamik durum ekserji olarak tanımlanır, bu çalışmada ortam sıcaklığı referans durum olarak kabul edilmiştir.

$$\Delta E = Q - E + \Sigma E_g - \Sigma E_ \quad (18)$$

$Q - E$  : İş ve ısı olarak giden toplam enerji.

$\Sigma_g$  : Kontrol hacmi içerisine giren kütlenin toplam enerjisi

$\Sigma_$  : Kontrol hacmi içerisinden çıkan kütlenin toplam enerjisi

$\Delta E$  : Kontrol hacminde oluşan toplam enerji değişimi.

Denklemsutma birimlerini tanımlanırsa, kontrol hacmisınırlarından iş ve ısı olarak geçen toplam enerji entalpi fark miktarına eşitir.

$$Q - W = \Delta h \quad (19)$$

Soğutma sistemi için dışarıdan iş girişi yapılarak gerçekleşen işlem olmadığından sistem bağlantılarından giden ısı enerjisi entalpi değişimine eşitir.

$$Q = \Delta h \quad (20)$$

ncelediğimiz Kapalı Spor Salonu soğutma sisteminde, HVAC bileşenlerinden oluşan bir soğutucu sistem kullanıldığı görülmüştür. Sistem bileşenlerine enerji analizi uygulanmıştır.

### 3.3.2. Chillerin Enerji Analiz Gösterimi

$$\dot{Q}_{CH} = \dot{Q}_{Evap} - [\dot{m}_{CH} \times (h_{CHG} - h_{CH})] \quad (21)$$

Bu parametreler kullanılarak chillerde oluşan enerji dengesi (21)'de yazılı formülle hesaplanır.



Aşağıdakilere ait parametreler gösterilmiştir.

Burada;

$\dot{m}_{CH}$ = akışkan için kütleli debi ( $kg/s$ )

$h_{CHG}$ = Sistem girişindeki akışkan içinentalpi( $kJ/kg$ )

$h_{CHÇ}$ = Ssitem çıkışında akışkana ait entalpi( $kJ/kg$ )

$Q_{Evap}$ = Ünitenin soğutucu kapasitesi ( $kW$ )

Olarak yazılır.

### 3.3.3. Klima Santral Yolu Enerji Analizi

Birincil olarak klima santraller yolu için değişkenleringirişigerekmehtedir. Santrale ait giriş yapılacak değeri tanımlarıgösterilmiştir.

Burada;

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

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

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

dir.

$$\dot{Q}_{KS}=[\dot{m}_{KS}(h_{KSG} - h_{KSÇ})] \quad (22)$$

Değişkenler girilerek klima santralyolundaki enerji dengesi (22)'de yazılarak bulunur.

### 3.3.4. Fan-Coil İletim Yolu Enerji Analizi

Fan-coililetim yolu enerji dengesinin belirlenebilmesi için iletme aitdeğişkenler gösterilmiştir.

Burada;

$\dot{m}_{FC}$ = Fan-coil iletim yolunda kullanılan akışkanın kütleli debisi ( $kg/s$ )

$h_{FCG}$ = Fan-coil iletim yolu girişinde akışkanınentalpisi ( $kJ/kg$ )

$h_{FCÇ}$ = Fan-coil iletim yolu çıkışında akışkanınentalpisi ( $kJ/kg$ )

dir.

Değişkenler girilerek fan-coililetimi için enerji hesaplaması;

$$\dot{Q}_{FC} = [\dot{m}_{FC} X (h_{FCG} - h_{FC\check{C}})] \quad (23)$$

Ünitelerin ve ünitebağlantılarında enerji değişkenlerinin hesabında yazılan eşitlikler oluşturulduktan sonra verim aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$\eta_l = \frac{\sum Q_{\check{C}ikan}}{\sum Q_{\check{C}ikan}} \quad (24)$$

Kapalı Spor Salonu soğutucu sistemleri için enerji verimleri hesaplanmıştır.

### 3.4. SOĞUTMA TESİSATI SİSTEMLERİNDE EKSERJİ ANALİZİ

Ekserji, enerjinin bir formunun tersinir bir süreçle bir referans sisteme dönüştürülmesi durumunda elde edilebilecek, farklı formlardaki en yüksek miktardaki yüksek kaliteli işi ifade eder [13].

Termodinamiğin ikinci yasasını temel alan ekserji analizi, farklı kayıpların niceliksel ve niteliksel değerlendirmesini sunduğundan sistemdeki enerji kayıplarına ilişkin daha net bir görüş sağlar [14].

Enerji korunur, ancak iş potansiyelini ölçen bir özellik olan tersinmezlik nedeniyle ekserji yok edilir. Ekserji kaybı, enerji bir sistemden kaybolup çevreye aktarıldığında ortaya çıkar. Bu nedenle, sistem içindeki enerji tahribatını veya kayıplarını azaltmak, enerji kaynaklarının kullanımını iyileştirebilir. Son zamanlarda termodinamiğin ikinci yasasına dayanarak oluşturulan Ekserji analizi, ekserji tahribatının yerini, türünü ve büyüklüğünü belirlemek için çok önemli bir teknik haline geldi. Böylece ekserji analizi, uygun maliyetli soğutma sistemleri iyileştirmelerine yönelik hesaplar oluşturmak için kullanılabilir [15].

Bir ünite önerilen kontrol stratejisinin soğutma sisteminin enerji verimliliğini artırması ve soğutucu sıcaklığını ayarlayarak oda sıcaklığının hızlı bir şekilde stabilizasyonunu sağlaması beklenmektedir. Ekserji değişkenlerinin bulunabilmesi için, döngüdeki basıncın, sıcaklığın ve tepkimelerin kabulüne gerek duyulur. Termodinamik veriler, ekserji analizinde de tersinir döngüde ne şekilde gerçekleştiğinin önemi yoktur. Sadece iletimde yani döngüde giriş ve

çıkışbirimlerindekişartların verisel olarak girişinin olmasıanaliz olmalıdır.Bir maddenin özgül ekserjisi;

$$E_X = [h - h_0] - T_0[s - s_0] \quad (25)$$

yazılarak çıkarılır.

### 3.4.1. Klima Santral Yolu Sistemi Oluşan Ekserjik Kayıplar

Klima santralyolu girişiekserjihesaplaması:

Sıcak su santral yolunda 90 °C varsayılarak hesaplanmıştır.. Suyun termodinamiksel özelliklerikullanılarak santral giriş yoluekserji değeri aşağıdaki eşitlik ile sonuçlandırılır.

$$E_{X_{KSG}} = \dot{m}_{KS} [(h_{KSG} - h_0) - T_0 (s_{KSG} - s_0)] \quad (26)$$

Klima santral yolu çıkışiekserjihesaplanması:

Su sıcaklığı Klima santral çıkışında 70 °Colarak varsayılarak hesaplanmıştır. Çıkışiekserjisi değeri aşağıdakiformül kullanılarak hesaplanır.

$$E_{X_{KSÇ}} = \dot{m}_{KS} [(h_{KSÇ} - h_0) - T_0 (s_{KSG} - s_0)] \quad (27)$$

Klima santralyolunda oluşan ekserjik kaybın hesaplanması:

Klima santral yolundaki ekserjikdeğişken verilergirilerek ekserjik kayıpdğerleri aşağıdaki eşitliklerle çıkarılır.

$$\sum Ex_{Giren} = \sum Ex_{Çıkan} + \sum Ex_{Kayıp} \quad (28)$$

$$Ex_{KSG} = Ex_{KSÇ} + Ex_{Kayıp} \quad (29)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{KSG} - Ex_{KSÇ} \quad (30)$$

### 3.4.2. Fan Coil İletim Sistemi OluşacakEkserjik Kayıplar

Fan coil iletim giriş ve çıkışbağlantılarındaekserjideğişkenlerigösterilmiştir.

Fan-Coil iletim sistem girişi ekserji hesaplanması:

Fan-coil ünitelerine girişteki su sıcaklığı 70 °C' dir. Sıcak suyun termodinamiközellikleri kullanılarak fan-coil ünitelerine girişekserji değeri aşağıdaki eşitlik ilebulunur.

$$E_{X_{FCG}} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCG} - h_o) - T_o (s_{FCG} - s_o)] \quad (31)$$

Fan-Coil iletim çıkışı ekserji hesaplaması:

Sıcak su fan-coil den 60 °C tanımlanarak ilerler ve çıkışekserjisi aşağıdaki eşitlikten çıkarılır.

$$E_{X_{FCÇ}} = \dot{m}_{FC} [(h_{FCÇ} - h_o) - T_o (s_{FCÇ} - s_o)] \quad (32)$$

Fan-Coil iletimde toplam ekserjik kaybın bulunması:

Fan coililetim için gerekli değişken veriler tanımlandıktan sonra ekserji kaybı hesaplanarak çıkarılır.

$$\sum Ex_{Giren} = \sum Ex_{Çıkan} + \sum Ex_{Kayıp} \quad (33)$$

$$E_{X_{FCG}} = E_{X_{FCÇ}} + E_{X_{Kayıp}} \quad (34)$$

$$E_{X_{Kayıp}} = E_{X_{FCG}} - E_{X_{FCÇ}} \quad (35)$$

5000 Evler Kapalı Spor Salonu soğutucu sistemiekserjikdeğişkenler veri girişi sonrasıanalizimiz için, enerji analizinde yapılan hesaplama veri girişlerini tüm temel parçalarauygulamamız bize en doğru sonucu vererek kayıp ve kazançları sunacaktır.

### 3.4.3.Chillerde Oluşan Ekserjik Kayıplar

Chiller hattı girişinde ekserji hesaplaması:

Chiller hattı girişinde su sıcaklık değeri 12 °C tanımlanmış ve girişekserjisi değeriformül kullanılarak çıkarılır [16].

$$E_{X_{CHG}} = \dot{m}_{CH} [(h_{CHG} - h_o) - T_o (s_{CHG} - s_o)] \quad (36)$$

Chiller hattı çıkışı ekserji değişkenleri hesaplaması:

Chiller hattı çıkışında su sıcaklık değeri 7 °C tanımlanmış ve çıkış ekserji değeri formül kullanılarak çıkarılır [17].

$$E_{X_{CHÇ}} = \dot{m}_{FC} \left[ \left( h_{CHÇ} - h_O \right) - T_O (s_{CHÇ} - s_O) \right] \quad (37)$$

Chiller hattında toplam ekserjik kayıp hesabı:

$$\sum E_{X_{Giren}} = \sum E_{X_{Çıkan}} + \sum E_{X_{Kayıp}} \quad (38)$$

$$E_{X_{CHG}} = E_{X_{CHÇ}} + E_{X_{Kayıp}} \quad (39)$$

$$E_{X_{Kayıp}} = E_{X_{CHG}} - E_{X_{CHÇ}} \quad (40)$$

Chiller hattındaki tüm değişkenler yazılır ve eşitlik ile tanımlandıktan sonra ekserji kaybı verileri kullanılarak çıkarılır.

#### 3.4.4. Klima Santral Sistemde Oluşan Ekserjik Kayıp

Klima iletim hattı giriş ekserji değeri hesaplaması:

Klima santral hattı giriş su sıcaklık değeri 7 °C tanımlanmış ve giriş ekserji formül kullanılarak çıkarılır.

$$E_{X_{KSG}} = \dot{m}_{CH} \left[ \left( h_{KSG} - h_O \right) - T_O (s_{KSG} - s_O) \right] \quad (41)$$

Klima santrali hattı çıkışında ekserji değeri hesaplaması:

Klima santrali hattı çıkışında su sıcaklık değeri 12 °C tanımlanmış ve çıkış ekserji parametresi formül kullanılarak çıkarılır.

$$E_{X_{KSÇ}} = \dot{m}_{CH} \left[ \left( h_{KSÇ} - h_O \right) - T_O (s_{KSÇ} - s_O) \right] \quad (42)$$

Klima ünit hattında gelişen toplam ekserjik kayıp parametresi:

Klima ünit hattı için tüm parametreler belirlendikten sonra ekserji kaybını formülle eşitlikler çıkarılır.

$$\sum Ex_{Giren} = \sum Ex_{Çıkan} + \sum Ex_{Kayıp} \quad (43)$$

$$Ex_{KSG} = Ex_{KSÇ} + Ex_{Kayıp} \quad (44)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{KSG} - Ex_{KSÇ} \quad (45)$$

### 3.4.5. Fan-Coil İletimde Oluşan Ekserjik Kayıplar

Fan coil iletim hattı girişinde ekserji parametresi:

Fan coil ünitelerinin girişinde suyun sıcaklık değeri 7 °C tanımlanmış ve girişekserjisi parametresi eşitlik ile çıkarılır.

$$Ex_{FCG} = \dot{m}_{CH} [(h_{FCG} - h_o) - T_o (s_{FCG} - s_o)] \quad (46)$$

Fan-coil iletim çıkışında ekserji değeri:

Fan coil iletim çıkışında suyun sıcaklık değeri 12°C tanımlanmış ve çıkışekserjisi değeri eşitlik ile çıkarılır.

$$Ex_{FCÇ} = \dot{m}_{CH} [(h_{FCÇ} - h_o) - T_o (s_{FCÇ} - s_o)] \quad (47)$$

Fan-coil iletiminde toplam ekserjik kaybı:

Fan coil iletim kısmı için gerekli parametreler giriş ve çıkışekserji değerleri bulunarak toplam ekserji kaybı çıkarılır.

$$\sum Ex_{Giren} = \sum Ex_{Çıkan} + \sum Ex_{Kayıp} \quad (48)$$

$$Ex_{FCG} = Ex_{FCÇ} + Ex_{Kayıp} \quad (49)$$

$$Ex_{Kayıp} = Ex_{FCG} - Ex_{FCÇ} \quad (50)$$

Sistemin çalışması için ünitelemanların ekserji değerlerinin hesaplanması için formüller sayısal denklemlerde ifade edilerek ekserjik verim parametreleri hesaplanır.

$$\eta_n = \frac{\sum Ex_{Çıkan}}{\sum Q Ex_{Çıkan}} \quad (51)$$

Ekserjik verim parametreleri ünit kısımlar için hesaplanmıştır.

## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. ENERJİ ANALİZİ DEĞERLENDİRMESİ

Soğutucu tesisat enerji analizi için ilgili bölümdeki eşitlikler kullanılmıştır. Sistemin ünite kısımları için hesaplanan sonuçlar tablolar ile gösterilmiştir.

##### 4.1.1. Soğutucu Sistem Elde Edilen Değerler

Soğutucu sistem üzerinde sistem elemanlarının giriş ve çıkış noktalarındaki termodinamik parametreler formüllerde yerine yazılarak tabloda verilmiştir. Soğutma sistemi üzerinde sistem elemanlarının giriş ve çıkış noktalarındaki termodinamik değerleri ve Eş. 21, Eş. 22, Eş. 23. kullanılarak elde edilen enerji değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1. Soğutucu sistem elemanları termodinamiksel özellikleri ve noktasal enerji değerleri

Sıra	Parametre	Akışkan	Sıcaklık $T$ (°C)	Entalpi $h$ (kJ/kg)	Kütleli Debi $m$ (kg/s)	Enerji Miktarı (kW)
1	Chiller Giriş	Su	11	46,21	420,13	19414,21
2	Chiller Çıkış	Su	6	25,22	420,13	10595,68
3	Klima Santrali Giriş	Su	6	25,22	290,48	7325,90
4	Klima Santrali Çıkış	Su	11	46,21	290,48	13423,08
5	Fan-Coil Giriş	Su	6	25,22	102,36	2581,51
6	Fan-Coil Çıkış	Su	11	46,21	102,36	4730,05

Yukarıdaki çizelgedeki hesaplanan değerleri, formülde yazılıpsistem üzerindeki bütün elemanlar için elde edilen parametreler aşağıdaki tablodagösterilmiştir.Yukarıdaki çizelgedeki hesaplanan değerleri, Eş. 24' de yerine konulduğunda sistem üzerindeki bütün elemanlar için elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir

Çizelge 4.2.Soğutucu sistem elemanları enerjrik kayıp ve verim parametreleri

SIRA	ÜNİTE	$\sum Q_{Giren}$ (kW)	$\sum Q_{Çıkan}$ (kW)	$\sum Q_{Kayıp}$ (kW)	Enerjik Verim ( $\eta$ )
1	CHİLLER	11380,22 <sup>4</sup>	9515,08 <sup>5</sup>	1763,7	0,96
2	KLİMA SANTRALİ	14642,16	8545	6097,18	0,58
3	FAN-COİL	5159,64	3011,1	2148,54	0,58

Enerji akış diyagramı giren enerji ile çıkan enerjinin eşit olduğunu ortaya koyan diyagramdır. Enerji akış diyagramı sayesinde kayıp noktalar ve kayıp değerleri görülmektedir. Eş. 24 de formüller yerine yazılıp yorumlandığında enerjrik verimler chiller için 0,884, klima santrali için ve fan-coil için 0,5836 olarak eşit çıkmıştır.

## 4.2.EKSERJİ ANALİZİ DEĞERLENDİRMESİ

Spor salonu binası mekanik tesisat ısıtma ve soğutma sistemi elemanlarına enerjrianalizleri yapıldıktan sonra, Sabit soğutma sıcaklığı kontrol stratejisinde, sıcaklığı veya basıncı, isteğe bağlı bina zarflarında tam yük koşulu altında Klima sisteminin kapasite ihtiyacını karşılayacak kadar düşük olmalıdır. Bununla birlikte, bir soğutma sistemi çoğunlukla kısmi yük koşulları altında çalışır ve daha detaylı sonuçlar elde edebilmek için kayıpreferansları belirleyebilmek için ekserji analizi yapılmıştır. Yapılan analiz değerlemesindehesaplanan sonuçlar ilgili başlık altında tablolar ile belirtilmiştir.

### 4.2.1. Soğutucu Sistem Elemanlarında Elde Edilen Değerler



Soğutucu sistem elemanlarının giriş ve çıkış parametrelerindeki sıcaklık, debi, entalpi kullanılarak elde edilen ekserji değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. Soğutma sistemi elemanlarının giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklık, debi, entalpi değerleri ve Eş. 36, Eş. 37, Eş. 41, Eş. 42, Eş. 46 ve Eş. 47 kullanılarak elde edilen ekserji değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Soğutucu sistem elemanları termodinamiksel değerleri ve noktasal ekserjileri

Sıra	Parametre	Akışkan	Sıcaklık $T (^{\circ}C)$	Entalpi $h$ ( $kJ/kg$ )	Entropi $s$ ( $kJ/kgK$ )	Ketlesel Debi $\dot{m}(kg/s)$	Ekserji $\Psi$ ( $kJ/kg$ )	Ekserji Miktarı ( $kW$ )
1	<b>Chiller Giriş</b>	Su	11	46,21	0.1659	420,13	0,905	380,21
2	<b>Chiller Çıkış</b>	Su	6	25,22	0.0913	420,13	2,008	843,62
3	<b>Klima Santrali Giriş</b>	Su	6	25,22	0.0913	290,48	2,008	583,28
4	<b>Klima Santrali Çıkış</b>	Su	11	46,21	0.1659	290,48	0,905	262,88
5	<b>Fan-Coil Giriş</b>	Su	6	25,22	0.0913	102,36	2,008	205,53
6	<b>Fan-Coil Çıkış</b>	Su	6	25,22	0.0913	420,13	2,008	843,62

Çizelge 4.3'deki noktasal ekserji değerleri, formülde yerine yazılıp soğutucu sistem elemanları için hesaplanan ekserji kaybı ve verimleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. Çizelge 4.3' de verilen ekserji değerleri, Eş. 51' de yerine konulursa tüm sistem elemanları için ekserji kaybı ve verim değerleri bulunur. Bu değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Çizelgedeki veriler formüllerde yerlerine yazıldığında, chiller su giriş sıcaklığı  $11^{\circ}C$  için ekserji miktarı  $380,21kW$ , chiller su çıkış sıcaklığı  $6^{\circ}C$  için ekserji miktarı  $843,62kW$  olarak hesaplanmıştır. Tabloda sırasıyla, klima santrali su giriş sıcaklığı  $11^{\circ}C$  için ekserji miktarı  $583,28kW$ , klima santrali su çıkış sıcaklığı  $6^{\circ}C$  için ekserji miktarı  $262,88kW$  olarak hesaplanmıştır.

Devam edildiğinde fan-coil su giriş sıcaklığı 11°C için ekserji miktarı 205,53kW, fan-coil su çıkış sıcaklığı 6°C için ekserji miktarı 843,62kW olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Soğutucu sistemelemanları için ekserjik değerlendirme

Sıra	Ünite	$\sum Q_{Giren}$ (kW)	$\sum Q_{Çıkan}$ (kW)	$\sum Q_{Kayıp}$ (kW)	Enerjik Verim ( $\eta$ )
1	CHİLLER	9957,46	843,621	9113,839	0,085
2	KLİMA SANTRALİ	582,832	262,884	319,948	0,45
3	FAN-COİL	205,45	92,635	112,815	0,45

Çizelge4.4'deki veriler formüller yerine yazılarak yorumlandığında chiller enerjik verim 0,085, klima santrali ve fan-coil de enerjik verim 0,451 olarak eşit hesaplanmıştır.

### 4.3.ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRME

#### 4.3.1. Soğutucu SistemDeğerlendirmesi

Çizelge 4.5.Soğutucu sistem cihaz enerji ve ekserji analiz değerleri

No	Ünite	Enerji Kaybı (kW)	Ekserji Kaybı (kW)	Enerji Verimi $\eta_Q$	Ekserjik Verim $\eta_{Ex}$
1	<b>Chiller</b>	1763,7	9113,839	84,4	8,5
2	<b>Klima Santrali</b>	6097,18	319,948	58,3	45,1
3	<b>Fan-Coil</b>	2148,54	112,815	58,3	45,1

Yapılan formül hesapları ile, fan coil hattı üzerindeki kayıp değerleri düşük ve verim sayıları yüksek bulunmuştur. Çizelge 4.5. deki veriler formüller yerine yazılarak yorumlandığında enerji kayıpları ve ekserji kayıplarına bakıldığında, chiller enerji verim 8,5, klima santrali ve fan-coil de enerji verim 45,1 olarak eşit hesaplanmıştır. 5000 Evler Kapalı Spor Salonu, varsayılan analiz rakamları kullanıldığında soğutma sistemi enerji verimi % 66,3 ve ekserji verimi % 13,2 olarak hesaplanmıştır.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, iklimlendirme sistemlerinin enerji verimliliğini artırmak ve sıcaklık dalgalanmalarını azaltmak için odaların soğutma kapasitesi talebinin sürekli tahminine dayanan değişken bir termostat sistemi ile sıcaklığı kontrol stratejisi geliştirilir. Bir dizi doğrulama deneyi gerçekleştirilir ve oda sıcaklığı dalgalanmaları ve enerji verimliliği test edilir ve tipik bir sabit soğutma sıcaklığı kontrol stratejisiyle karşılaştırılır.

Yapılan bu çalışmada, klima santrali, fancoil gibimerkezi soğutma bileşenlerinin enerji ve ekserjializleri formüllere dayanarak tespit edilmiştir.Yapılan formül hesapları ile, fan coil hattı üzerindeki kayıp değerleri düşük ve verim sayıları yüksek bulunmuştur.Çizelge 4.5. deki veriler formüller yerine yazılarak yorumlandığında enerji kayıpları ve ekserji kayıplarına bakıldığında, chiller enerjik verim 8,5, klima santrali ve fan-coil de enerjik verim 45,1 olarak eşit hesaplanmıştır.

5000 Evler Kapalı Spor Salonu, varsayılan analiz rakamları kullanıldığında soğutma sistemi enerji verimi % 66,3 ve ekserji verimi % 13,2 olarak hesaplanmıştır.Aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Klima üniteleri, akışkandaki enerjiyi dış ortama taşıyan konseptlerdir. Konseptlerdeki işleyişin etkin olabilmesi için soğutma bataryası HVAC için tasarımsal açıdan geliştirilebilir ve havayı batarya üzerinden geçerek daha iyi soğutup serinletebilir.
2. Çizelge 5.4. deki veriler formüller yerine yazılarak yorumlandığında chiller enerjik verim 0,085, klima santrali ve fan-coil de enerjik verim 0,451 olarak eşit hesaplanmıştır.

Klima bataryaları incelendiğinde, kullanılan alaşımın alüminyumdan imal edilmiş bir seriden kullanılması ısı iletimini daha da iyileştireceği ve bu sayede iletilen serinliği verimli hale getireceği düşünülmektedir.

3. Spor Salonu dış ünitelerdeki dikişsiz bakır boruların yalıtım malzemelerinin Karabük ili için uygun yalıtım malzemesi ile tekrar kaplanarak dağıtım hatlarında önemli oranda ısı kayıpları engellenecektir. Enerji tasarrufu için üniteler arası hatlardaki ısı kayıplarını karşılamak için uygun yalıtım yapılmalıdır.
4. Kapalı Spor Salonu içerisindeki salonlarda, belirli dönemlerde kurslardaki kişi sayısı arttığından ortamdaki etkin sıcaklığı ayarlayamadıkları gözlenmiş, sürekli sistemin basitsensör ile tüm salonları Oda termostatları vb. sistemler ile ideal sıcaklıkları yakalamak ve tüketim sarfiyatını düşürebilmek için her salon için ayrı sensörler kullanılmalıdır.
5. Enerji akış diyagramı giren enerji ile çıkan enerjinin eşit olduğunu ortaya koyan diyagramdır. Enerji akış diyagramı sayesinde kayıp noktalar ve kayıp değerleri görülmektedir. Eş. 24 de formüller yerine yazılıp yorumlandığında enerjik verimler chiller için 0,96, klima santrali için ve fan-coil için 0,58 olarak eşit çıkmıştır.

Kapalı Spor Salonu için, yeni sıcaklık/nem sensörünü tanıtarak, PID kontrolörleri oda sıcaklığını/nemini istenen seviyeye ayarlayabilir. Kontrolörler, soğuk ve sıcak serpantinlerde akış kontrol vanasına elektrik komutları göndererek iç ortam sıcaklığını ve nemini düzenler. Performanslı bir iç ortam sıcaklığı sağlamak için AHU kullanılmalı, Karabük mevsim yapısı için 22°C ve bağıl nem 50% olarak sabitlenmelidir. Bu şekilde AHU büyük miktarda enerji tüketecektir ve bunu düşürmek için ısı geri kazanımı ve PCM yeni nesil faz geçiş esnasında ısıyı emen endotermik malzemeler kullanılabilir.

6. Havalandırma sistemleri planlanırken özellikle dağıtılmış ve merkezi olmayan bileşenler kullanıldığında yüksek bir sistem verimliliği elde etmek ve aynı zamanda düşük yatırım maliyetleri, yüksek konfor ve düşük alan

gereksinimleri sağlamak için çeşitli varyantların karşılaştırılması gerekir. Karmaşıklık, odaların birbirine bağlanması, fanların seçimi ve yerleştirilmesi ve çalışma sırasındaki ayarları için çok sayıda varyantla gösterilir. Çalışmamızda gözlemlediğimiz bir diğer iyileştirme de havalandırma tesisatı için yapılabilir, birden fazla fanı alt üniteler halinde birleştirerek yani paralel bağlamak suretiyle sistem daha kaliteli bir alan havalandırması sağlayabilir.

## KAYNAKLAR

1. DooYong Park, “Experimentalevaluationandsimulation of a variablerefrigerant-flow (VRF) air-conditioningsystem with outdoorairprocessingunit”.*EnergyandBuildings*, Vol 146: 122-140, (2017).
2. GeunYoung Yun, and Han Jun Kim,“Developmentandapplication of the loadresponsivecontrol of the evaporatingtemperature in a VRF systemforcoolingenergysavings”. *EnergyandBuildings*,Vol 116: 638-645, (2016).
3. İnternet:<https://www.mecem.com.tr/blog/vrf-klima-sistemleri-nedir-nasil-calisir/#:~:text=VRF%20Sistemlerin%20kalbini%20i%C3%A7%20%C3%BCnitelerden,sayede%20ihtiya%C3%A7%20oldu%C4%9Fu%20kadar%20%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fmaktad%C4%B1r>. Son Erişim Tarihi: 06.01.2024.
4. İnternet: <https://www.toshiba-klima.com.tr/vrf-sistemlerin-calisma-prensibi-nedir>, Son Erişim Tarihi: 06.01.2024.
5. Ergün, A.,“80.000 m<sup>2</sup>’lik Isıtma Soğutma İhtiyacı Olan Bir Alışveriş Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara, (2010).
6. Sever, Z.O.,“Bir Alışveriş Merkezi Isıtma ve Soğutma Sistemlerinin Enerji ve Ekserji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi,*Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Yozgat, (2018).
7. Monfet, D. & Zmeureanu, R., *Proceedings of the International IBPSA Conference, International Building Performance Simulation Association*, Sidney, Australia (2011), p. 530
8. Yu, F. W.,“Economicbenefits of optimal controlforwater-cooledchillersystemsservinghotels in a subtropicalclimate”, *EnergyandBuildings*, Vol 42: 203-209, (2010).
9. Wang, Y., “Coolingloadforecasting-basedpredictiveoptimisationforchillerplants”. *EnergyandBuildings*,Vol 198: 261-274, (2019).
10. Guogeng, O.,“Performanceevaluation of a modified R290 dual-evaporatorrefrigerationcycleusingtwo-phaseejector as expansiondevice”, *Energy*,Vol 212, (2020).
11. Taylor, S.,“Fundamentals of designandcontrol of centralchilled-waterplans (IP) Atlanta ASHRAE” *Capitulo 6*.(2017).

12. Wang, R.& Zhai X. (Eds.), *Handb. EnergySyst. GreenBuild.*, Springer BerlinHeidelberg, Berlin, Heidelberg pp. 1227-1270, (2018).
13. Huang, J.,“Demonstrationandoptimization of a solar districtheatingsystem with groundsourceheatpumps”, *Sol Energy*, Vol 202: 365-385, (2020).
14. Koroneos, C., “Exergyanalysis of renewableenergysources”, *RenewableEnergy*, Vol 28: 295-310, (2003).
15. Dinçer,İ.&Rosen, M., “Energy, Environment andSustainable Development”, *Applied Energy*, 64, 427-440, (1999).
16. Annamalai, K. &Puri, I.K.,*Advancedthermodynamicsengineering*, CRC Press LLC. (2002).
17. Dincer, I. &Rosen, M.A.,*EXERGY, energy, environmentandsustainabledevelopment*, 1st ed., Elsevier Ltd.(2007).
18. Özgener,L. &Hepbaşı,A.,“HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları”, *VI Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, (2003).
19. Padilla, M.,“Exergy Analysis of the Performance of a VariableRefrigerantFlow (VRF) AirConditioningSystem”. *International Journal of Air-ConditioningandRefrigeration*, 19(1), 57-68, (2011).
20. Holman,J. P., *Termodinamik*, McGraw-Hill, New York (1980).
21. Zhili, S. &Qifan, W.,“Energyandexergyanalysis of low GWP refrigerantsin cascaderefrigerationsystem”, *Energy*, Vol:170: 1170-1180, (2019).
22. Dewulf, J.,H. Van Langenhove, B. Muys, S. Bruers, B.R. Bakshi, G.F. Grubb, et al. “Exergy: itspotentialandlimitations in environmentalscienceandtechnologyEnviron”. *Sci. Technol.*, 42, pp. 2221-2232, (2008).
23. Bojic, M. “Locatingair-conditionersandfurniture inside residentialflatstoobtaingoodthermalcomfort”, *EnergyandBuildings*, Vol 34: 745-7, (2002).



## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini Adana'da tamamladı. 2006 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünden 2010 yılında mezun oldu. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Emniyet Genel Müdürlüğü Teşkilatında göreve başladı. Halen aynı kurumda Bomba İmha Uzmanı olarak görev yapmaktadır.