



**T. C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMİZ ODALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Berat CAMCI
(20199240022)**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nazile YILANKIRKAN**

**SİVAS
Ağustos 2023**

Berat CAMCI'nın hazırladığı ve “TEMİZ ODALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENERJİ BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Dr. Öğr. Üyesi Nazile YILANKIRKAN Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Tahsin YÜKSEL Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir KOÇER Akdeniz Üniversitesi	

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez, Nephrocan Medikal Sanayi Ticaret Anonim Şirketi tarafından bilgi, doküman, alt yapı olarak desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Berat CAMCI, 2023

Çalışma sürecindeki destekleri için başta tez danışmanıma, aileme ve çalışma arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

8.08.2023

Berat CAMCI

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde bana destek olan herkese buradan teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Öncelikle, tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nazile YILANKIRKAN'a en içten teşekkürlerimi iletmek istiyorum. Profesyonel yaklaşımınız, rehberliğiniz ve önerileriniz olmadan bu çalışmayı bitiremezdim. Sizlerin deneyimli bakış açısı ve yönlendirmeleri, tezimin kalitesini yükseltmek için büyük bir katkı sağladı. Her zaman benimle ilgilendiğiniz ve sorularımı sabırla cevapladığınız için minnettarım.

Bu çalışma, Nephrocan Medikal Sanayi Ticaret Anonim Şirketi tarafından bilgi, doküman, alt yapı olarak desteklenmiştir. Nephrocan Medikal Sanayi Ticaret Anonim Şirketi, tezin saha inceleme çalışmalarıyla ilgili her türlü desteği sağlamış olup şirketin Genel Müdürü Sabri ARICI, Genel Müdür Yardımcısı Emrah TAŞKENT, İnsan Kaynakları Müdürü Meltem KOÇYİĞİT, Kalite Müdürü Mohammed REDA, Bakım Müdürü Anıl ARLI, Üretim Müdürü Sema ÇELİK, Yasemin ARI, Sefa BODUR, Cemil MEŞE ve ilgili personellerine teşekkürlerimi sunuyorum.

Aileme ve sevdiklerime sonsuz teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Sizlerin destekleri ve teşvikleri olmadan bu tez çalışmasını başarıyla tamamlayamazdım. Her zaman beni motive ettiniz ve başarımlarım için güvenilir bir destek kaynağı oldunuz. Annem Aliye CAMCI, babam Alaettin CAMCI, kardeşlerim Ümit CAMCI, Murat CAMCI, Mesut CAMCI, Güven CAMCI, Özge CAMCI, Ömer CAMCI ve biricik yengem Saliha CAMCI hepinizin üzerimdeki emeği çok kıymetli. Hepinize teşekkür ederim.

Saygılarımla,

Teşekkür ederim.

ÖZET

TEMİZ ODALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Berat CAMCI

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nazile YILANKIRKAN

2023, 97+xv sayfa

Temiz odalar, hassas işlemlerin gerçekleştirildiği endüstrilerde düşük partikül seviyelerini sağlamak için hayati öneme sahip olan özel tesislerdir. Bu çalışmada, temiz odalarda enerji verimliliği tüm hatlarıyla incelenmiştir. Yoğun enerji tüketimi gerektiren iklimlendirme, havalandırma, soğutma cihazları ve aydınlatma unsurları kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve araştırılmıştır. Ayrıca, enerji verimliliği hesaplama programı olan MEASUR programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler ile bir temiz odada enerji verimliliği ve tasarrufu potansiyelleri belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, chillerin ideal durumunda elektrik tüketiminin 44.653,3 kWh olması gerekirken mevcut durumda 62.726,1 kWh olduğu görülmüştür. Bu analiz, gerekli düzenlemelerin yapılması ile chillerden kaynaklı %29 oranında fazladan elektrik tüketiminin önlenebileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, temiz odaların enerji verimliliği üzerinde etkili stratejiler ve çözümler sunarak endüstrinin sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Temiz Oda, Enerji Verimliliği, Chiller, HVAC

ABSTRACT

ENERGY EFFICIENCY IN CLEANROOMS

Berat CAMCI

Master of Science Thesis

Department of Energy Science and Technology Engineering

Supervisor: Dr. Nazile YILANKIRKAN

2023, 97+xv pages

Cleanrooms are specialized facilities of vital importance in industries where sensitive operations are conducted, ensuring low particle levels. In this study, energy efficiency in cleanrooms has been thoroughly examined across all aspects. Intensive energy-consuming elements such as climate control, ventilation, cooling systems, and lighting have been comprehensively evaluated and investigated. Furthermore, using the energy efficiency calculation program MEASUR, analyses have been conducted to determine the energy efficiency and potential savings in a cleanroom. According to the results of the analysis, it was observed that the electricity consumption of chillers should be 44,653.3 kWh in ideal conditions, but it is currently 62,726.1 kWh. This analysis demonstrates that by implementing necessary adjustments, it is possible to prevent an excess electricity consumption of approximately 29% attributed to chillers. The aim of this study is to provide effective strategies and solutions for enhancing energy efficiency in clean rooms, contributing to the industry's sustainability objectives.

Key Words: Cleanroom, Energy Efficiency, Chiller, HVAC

İÇİNDEKİLER

ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
3. TEMİZ ODA	8
3.1 Temiz Oda Tarihçesi	9
3.2 Dünya’da ve Türkiye’de Temiz Odalar	11
3.3 Temiz Odaların Önemi.....	13
3.4 ISO 14644-16:2019 Enerji Verimliliği Standardı.....	19
3.4.1 Temiz Odayı Devre Dışı Bırakma	21
3.4.2 Temiz Oda Enerji Tasarrufu Fırsatları.....	21
3.5 Temiz Odalarda Enerji Tüketimi	23
3.6 Aydınlatma.....	24
3.6.1 Temiz oda aydınlatma armatürü seçimi.....	28
3.6.2 Temiz oda aydınlatma enerji tüketimi ve verimliliği.....	28
3.7 Soğutma Cihazı (Chiller)	29
3.7.1 Chiller bileşenleri.....	30
3.7.2 Chiller enerji verimliliği /enerji tüketimi.....	32
3.7.3 Chiller çalışma prensibi	33
3.7.4 Chiller COP sayısı hesaplama.....	35
3.8 Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC)	37
3.8.1 HVAC sistemi çalışma prensibi.....	38
3.8.2 HVAC sistemi oluşturan donanımlar.....	39
3.8.3 HVAC sistem seçimi	45
3.8.4 Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi (VCR).....	47
3.8.5 Buhar absorpsiyonlu soğutma sistemi (VAR)	47

3.8.6	Değişken hava hacimli sistem (VAV)	48
3.8.7	Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma	50
3.8.8	Değişken soğutucu akışkan hacmi (VRV) tanımı.....	54
3.8.9	Isı geri kazanımlı havalandırma (HRV).....	57
3.9	Air Handling Unit (AHU).....	58
3.9.1	AHU bileşenleri	59
3.10	Make Up Air Unit (MAU)	60
3.11	Temiz Oda Yalıtım	60
3.12	Psikometrik Diyagram	60
4.	METARYAL VE METOD	63
4.1	Enerji Yönetimi.....	63
4.2	Yazılım Programı (MEASUR) ve Ölçüm Yöntemi.....	67
4.3	Aydınlatma Tasarruf Analizi	71
4.4	Chiller Enerji Verimliliği.....	72
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	77
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
	KAYNAKÇA.....	86
EK-1		91
EK-2		93
EK-3		95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Salgın hastalıklardan korunmak için maske kullanan hekim [22].	10
Şekil 3.2	Türk Havacılık Uzay Sanayi temiz oda içerisinde çalışma [25].	12
Şekil 3.3	TÜBİTAK temiz oda içerisinde araştırma yapan insanlar [27].	16
Şekil 3.4	2017-2021 tıbbi ilaç üretimi Türkiye [29].	18
Şekil 3.5	Temiz oda aydınlatması [35].	25
Şekil 3.6	Elektrik talep serileri [33].	26
Şekil 3.7	Aydınlatma yoluyla küresel elektrik tüketimi (2010-2030), Net sıfır senaryosu [33].	27
Şekil 3.8	Hava soğutmalı chiller [38].	29
Şekil 3.9	Su soğutmalı chiller [39].	30
Şekil 3.10	Hava soğutmalı chiller şeması [43].	34
Şekil 3.11	Su soğutmalı chiller şeması [43].	35
Şekil 3.12	Nephrocan firması HVAC.	37
Şekil 3.13	HVAC yapısı [56].	42
Şekil 3.14	Sistem tasarımı için gerekli veriler [62].	46
Şekil 3.15	Absorbsiyonlu soğutma sistemi şematik gösterimi [65].	48
Şekil 3.16	VAV kutusu kontrolü [66].	49
Şekil 3.17	Buhar sıkıştırmalı mekanik soğutma çevrimi [67].	51
Şekil 3.18	Soğutma çevrimi sıcaklık-entropi grafiği [69].	52
Şekil 3.19	Soğutma çevrimi basınç-entalpi grafiği [69].	53
Şekil 3.20	VRF sistemi şeması [70].	54
Şekil 3.21	VRF iç ünite [70].	55
Şekil 3.22	HRV sistem gösterimi [74].	58
Şekil 3.23	AHU şeması [75].	59
Şekil 3.24	Psikometrik diyagram [77].	62
Şekil 4.1	Serbest bölge yıllara göre elektrik tüketimi	65
Şekil 4.2	Serbest bölge aylara göre elektrik tüketimi	64
Şekil 4.3	Nephrocan firmasının yıllara göre elektrik tüketimi	64
Şekil 4.4	Sayaç şemaları	65
Şekil 4.5	Diğer donanımlar için sayaç şemaları	65
Şekil 4.6	Yazılım programı ana sayfa görüntüsü	69
Şekil 4.7	Ultrasonik debimetre	69
Şekil 4.8	Ölçüm şeması	70
Şekil 4.9	Mevcut ve tavsiye edilen çalışma süresi bilgileri ekranı	71
Şekil 4.10	MEASUR girdi ekranı	73
Şekil 4.11	Mevcut durum MEASUR girdi ekranı	75
Şekil 4.12	Su soğutmalı MEASUR girdi ekranı	76
Şekil 5.1	Mevcut ve tavsiye edilen led kıyaslaması sonucu	77
Şekil 5.2	İdeal durumda chillerin enerji tüketim analiz sonucu	78
Şekil 5.3	Mevcut durumda chillerin enerji tüketim analiz sonucu	78
Şekil 5.4	Chillerin tipinin değiştiği durumda enerji tüketim analiz sonucu	79
Şekil 5.5	Analiz sonucu önlenen sera gazı miktarı	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	Yıllara göre hijyen malzemeleri satış oranı [29].	17
Çizelge 3.2	Enerji tasarrufu fırsatları kontrol listesi [31].	22
Çizelge 4.1	Nephrocan firmasının 2022 son dört ayına ait mahallere göre elektrik tüketimi	66
Çizelge 4.2	Mevcut ve tavsiye edilen çalışma süresi karşılaştırması	72
Çizelge 4.3	İdeal durum COP hesaplama tablosu	72
Çizelge 4.4	İdeal durum MEASUR verileri	74
Çizelge 4.5	Mevcut COP hesaplama tablosu	74
Çizelge 4.6	Mevcut durum MEASUR verileri	75
Çizelge 4.7	Soğutucu tipi farklı olduğu durum MEASUR verileri	76
Çizelge 5.1	Mevcut ve tavsiye edilen led aydınlatma kıyaslaması	77
Çizelge 5.2	Soğutucu cihaz için analiz sonuçları	79

SİMGELER DİZİNİ

A	Amper (I)
Q*	Isı
m	Kütle
Δt	Delta t (°C)
DC	Doğru akım
c	Öz ısı
V	Gerilim
R	Direnç
TWh	Terra Watt-Saat
CO₂	Karbondiyoksit
MW	Megawatt
KWh	Kilowattsaat
W_{net}	Sistemde harcanan enerji miktarı (kJ/s)
C	Derece cinsinden sıcaklık
QH	Çevreye aktarılan ısı değeri
AHP	Hava beygirgücü
QL	Soğutulan ortamdan çekilen ısı değeri
V	Hacim
G	Gaz miktarı (kg)
P	Üç fazlı sistemlerde güç
W_{net}	Kompresöre verilen net işi
P_e	Çekilen Güç
Q	Hacimsel debi (ft ³ /d)
Te	Evaporator sıcaklığı
Tc	Kondenser sıcaklığı
kW/TR	Spesifik güç tüketimi

KISALTMALAR DİZİNİ

HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
MAU	: Makeup air unit
UV	: Ultraviyole
ACR	: Hava değişim oranları
DCF	: Talep kontrollü filtrasyon
CAV	: Geleneksel sabit hacimli
DKP	: Karbon çelik maddesi
AHU	: Air handling unit
HEPA	: Yüksek verimli parçacık filtreleri
TİTCK	: Türkiye ilaç ve tıbbi cihaz kurumu
TUSAŞ	: Türk uçak sanayi anonim ortaklığı
UDAF	: Uni-Directional airflow
CEN	: Avrupa standartları komitesi
COP	: Coefficient of Performance
EER	: Energy efficiency ratio
ISO	: International Organization for Standardization
TÜBİTAK	: Türkiye bilimsel ve teknik araştırma kurumu
LED	: light emitting diode
VAV	: Değişken hava hacimli
VFD	: Değişken frekans sürücüsü
FSAT	: Fan sistemi değerlendirme aracı
KDV	: Katma değer vergisi
HRV	: Isı geri kazanımlı havalandırma
VRV	: Değişken soğutucu akışkan hacmi
VRF	: Variable refrigerant flow
VAR	: Buhar absorpsiyonlu soğutma sistemi
VCR	: Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi
VCR	: Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi
CHILLER	: Su soğutma cihazı

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği günümüzde giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir. Fosil yakıt rezervlerinin azalmakta olması ve çevreye verdiği zararlardan dolayı insanlık çevreye dost yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarının Dünya'nın hızla artan nüfusunun ve gelişen teknolojinin ihtiyacını karşılamada yetersiz kalması da muhtemeldir. Üretilen enerji miktarının ihtiyacı karşılamada, maliyetlerde ve küresel ısınma üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı enerji verimliliği çalışmaları kritik öneme sahiptir.

Enerji verimliliği, bir sistemin ya da cihazın girdiği enerji miktarının ne kadarının yararlı işlere dönüştürüldüğünü ölçer. Enerji verimliliği hem bireysel evlerde hem de ticari işletmelerde ve endüstriyel tesislerde önemli bir rol oynar. Bu alandaki gelişmeler, enerji tüketimindeki artışa rağmen, enerji verimliliğinin artması sayesinde enerji tasarrufu sağlanmasına yardımcı olur. Gelecekte de kısıtlı kaynağa sahip olan insanoğlu için kaçınılmaz bir yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır.

Enerji tüketim oranları, sektörler arasında önemli ölçüde farklılık gösterir. En büyük enerji tüketicilerinden biri olan sanayi sektöründe enerji, elektrik enerjisi, yakıt ve doğal gaz, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve diğer işlemler için kullanılır.

Sanayide enerji verimliliği son yıllarda giderek daha önemli hale gelmiştir. Sanayide enerji verimliliği, işletmelerin enerji maliyetlerini azaltırken, aynı zamanda çevresel etkileri de azaltmalarına yardımcı olur. Sanayi sektöründe son yıllarda üretim alanı olarak temiz odalar enerji kullanım yoğunluklarıyla ön plana çıkmaktadır. Temiz odalar, üretim, araştırma ve geliştirme faaliyetleri için özel olarak tasarlanmış ve içindeki hava kalitesi, toz, kir ve diğer partiküllerin sınırlandırılması gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır. Ancak, bu odaların kullanımı, büyük ölçüde enerji tüketimi ile bağlantılıdır. Bu nedenle, enerji verimliliği, sanayide kullanılan temiz odalar için büyük önem taşır.

Temiz odalarda kullanılan iklimlendirme sistemleri, soğutucu cihazlar ve aydınlatma gibi faktörler bu alanların enerji tüketimini aynı ölçüdeki diğer alanlara oranla kat ve kat arttırmaktadır. Bu alanlarda yapılacak her türlü enerji verimliliği çalışması hem maddi hem çevresel olarak olumlu etki sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında sanayi bünyesinde

gıda, medikal, ilaç, elektronik gibi üretim tesislerinin yanı sıra hastane ve araştırma merkezlerinde kullanımı bulunan temiz odalarda enerji verimliliğinin nasıl sağlanacağı hakkında araştırmalar yapılmıştır.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Enerji verimliliği çalışmalarının önem kazandığı ve temiz odaların kullanımının arttığı günümüzde, bu alan ve alanda kullanılan önemli enerji tüketim sistemleri için Türkiye’de ve Dünya’da çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Öztürk ve arkadaşları çalışmalarında, HVAC (Isıtma, Havalandırma ve iklimlendirme), sistemlerinin ısıtma, soğutma, taze hava, ihtiyacı ve nem kontrolü gibi gerçekleşen sistemin hepsini veya aralarından bir tanesini gerçekleştirmek için yapılarda kullanılan donanımları, dağıtım ağlarını ve terminalleri tanımlamıştır. Kullanım alanlarında önemli enerji tüketim kısmı olduğunu ve yapılacak etkili bir enerji tasarrufu çalışmasıyla enerji tüketiminde bu sistemlerin, kullanım amacıyla ilişkili olarak %10-%30 arasında tasarruf sağlanabileceğini belirtmişlerdir [1].

Özgener ve Hepbaşlı çalışmalarında, HVAC sistemlerin ekserji analizi ile ilgili bir çalışma ortaya koymuştur. Bu çalışmada, bir yandan ekserji genel hatlarıyla ortaya konulmaya çalışılmış, diğer taraftan örnek gösterilen iki farklı uygulamayla, konu birçok yönden ele alınmıştır [2].

Wang ve arkadaşları çalışmalarında, basınç gradyanı kontrolü, temiz odanın kalite kontrolü için kilit rol oynayan çok bölgeli bir temiz odanın farklı temiz alanlarından gelen dış kirliliği ve çapraz kontaminasyonu önlemek için etkili bir teknik önlem olduğunu belirtmiştir. Bu makalede, modelleme analizi, çok bölgeli bir temiz oda deney platformunda yürütülen deneysel araştırmalarla birleştirilmiştir. Deneysel incelemeler, belirlenen basınç gradyanı ayarı prensibinin güvenilir ve enerji tasarruflu çalışma için uygulanabilir olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışma stratejisi benimsendiğinde enerji tüketiminin yaklaşık %24,5 oranında azaldığı deneylerle ortaya konulmuştur ve belirtilmiştir [3].

Kircher ve arkadaşları çalışmalarında, New York'un kuzeyindeki 1.600 m²'lik bir temiz odanın modellenmesini yapmıştır. TRNSYS modeli, TMY2 hava durumu verilerini; bina geometrisini ve malzeme özelliklerini, doluluk, aydınlatma ve proses ekipmanı ile ilgili ampirik verileri ve gelişmiş HVAC sistemlerini çalışma içeriğini oluşturmaktadır. Model, ölçülen buhar, soğutulmuş su ve elektrik kullanımına dayalı olarak doğrulanmıştır. Tüm alanlarda %8'in altında hata elde edilmiştir. Önerilen stratejilerin uygulanmasının 9 TJ, 862 ton CO₂ ve yıllık 164 bin dolar tasarruf sağlayacağı öngörülmüştür [4].

Bulut ve Mina çalışmasında, Süleymaniye de bulunan Qaladze hastanesinde kullanılan HVAC sistemlerinin, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen analizlere istinaden kazan ve klima santralleri için ortalama ısıl enerji ve ekserji verimleri ortaya sırasıyla konulmuş olup %89, %19,5 ve %81,5, %24; diğer taraftan chiller soğutma grubunun soğutma performans katsayısı ortalama 4,82 şeklinde hesaplanmıştır. Bu çalışmada HVAC sistemlerinin genel hatlarıyla ısıl konforu alanda sağladıkları belirlenmiştir. Ancak hastanedeki iç hava kalitesini ve ısıl koşullarını iyileştirmek için HVAC sistemlerini oluşturan bütün bileşenlerinin daimi olarak kontrol edilmesi gerektiği belirtilmiştir [5].

Yalın ve arkadaşları çalışmasında, bir otelin çok amaçlı salonu için yakın zamanda yaşanan Covid-19 pandemisi göz önünde bulundurularak ısı geri kazanım mekanizmalarının tercihi %100 taze havalı iklimlendirme uygulanarak incelenmiştir. Soğutma dönemi için iklimlendirme sistemlerinde kullanılmakta olan dörtgen plakalı çapraz akışlı, altıgen plakalı karşıt akışlı, döner tamburlu duyulur ısı geçişli, döner tamburlu duyulur ve gizli ısı geçişli gibi ısı geri kazanım cihazlarının yararlı ısı geri kazanım oranına göre analizleri yapılmıştır. Isı geri kazanım cihazlarının tercihinde gizli ısının büyük oranda etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında nem oranı yüksek olan iklim türüne sahip yerlerde gizli ısıdan ısı geri kazanımı gerçekleştirebilen cihazın tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir [6].

Shan ve Wang çalışmalarında, ilk olarak temiz oda iklimlendirme sistemlerinin tasarımı ve kontrolü için gerekli temel unsurlar hakkında genel bir bakış ve tartışma sunmaktadır. Mevcut sistemler ve kontroller üç tipik seçeneğe ayrılmış ve performansları farklı hava ve yük koşullarına göre analiz edilmiştir. Güçlendirilmiş sistem seçeneği ılıman hava koşullarında yerinde test edilmiş, soğutma ve ısıtma tüketimlerinde sırasıyla %69,6 ve %87,8 azalma sağladığı belirtilmiştir [7].

Yin ve Liu çalışmalarında, sıcaklık ve nem oranının kontrolüne yönelik yüksek talep nedeniyle yarı iletken temiz odalarda iklimlendirme sisteminde büyük enerji tüketimi meydana geldiğini belirtmiştir. Bu çalışma, hava işleme prosesinin çalışma performansına ve enerji tasarrufu potansiyeline odaklanmaktadır. İklimlendirme sisteminin yerinde ölçümleri farklı mevsimlerde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, mevcut iklimlendirme sisteminde yaz aylarında soğuk-ısı dengelemesi sorununun ortaya çıktığını göstermektedir [8].

Faulkner ve arkadaşları çalışmasında, temiz odalarda çok düşük partikül konsantrasyonları, havanın yüksek verimli hava filtreleri aracılığıyla yüksek oranda devir daim ettirilmesiyle korunduğu belirtmiştir. Sonuçlar, partikül konsantrasyonlarının gerçek zamanlı ölçümlerine yanıt olarak filtreler aracılığıyla hava devir daim oranının kontrol edilmesiyle önemli enerji tasarruflarının sağlandığını göstermiştir. 28 m² taban alanına sahip bir sınıf M3.5 (Sınıf 100) temiz odada rapor edilmiştir. Partikül konsantrasyonlarını ölçmek için 2.500 dolarlık ucuz bir optik partikül sayacı kullanılmıştır. Devir daim hava akış hızının değiştirilmesinin partikül konsantrasyonları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Temel enerji kullanımı seçimine bağlı olarak, devir daim fanlarının enerji tüketimi yüzde 60 ile 80 oranında azaltılmıştır [9].

Loomans ve Molenaar çalışmalarında, temiz odalar için gerekli olan yüksek hava değişim oranları (ACR'ler), bu odaları enerji yoğun hale getirdiğini belirtmiştir. Bu çalışmada, farmasötik temiz odalarda enerji verimli havalandırma için farklı stratejiler üzerinde durulmuştur. Talep Kontrollü Filtrasyon (DCF), belirli örnek çalışma tesislerinde %93,6'ya varan önemli enerji tasarruflarına yol açabileceğini göstermiştir [10].

Sartor ve Piette çalışmalarında, temiz odalar gibi yüksek teknoloji tesislerinde enerji kullanımının kıyaslanmasıyla ilgili sorunları tanımlamaktadır. Tartışılan belirli seçenekler arasında istatistiksel karşılaştırmalar, puan tabanlı derecelendirme sistemleri, model tabanlı teknikler ve hiyerarşik son kullanım ve performans ölçütleri değerlendirmeleri yer almaktadır [11].

Hu ve Lin çalışmalarında, enerji tüketimini analiz etmek ve yüksek teknoloji üretim fabrikalarının enerji tasarrufu fırsatlarını belirlemek için bir fabrika enerji simülasyon aracını ve enerji dönüşüm faktörleri entegre edilmiştir. Kullanılan veri, Tayvanlı bir yarı iletken üretim fabrikasının 169.124 MW/h yıllık enerji tüketimidir. Isıtmalı tip bir kurutucu kullanan iki basınçlı bir sistem olarak bir basınçlı/temiz kuru hava sistemi bu çalışmada önerilmiştir. Önerilen yöntem, orijinal fabrika verilerine kıyasla basınçlı/temiz kuru hava sisteminde en yüksek enerji tasarrufu olarak 3.050 MW/h elde edildiği belirtilmiştir [12].

Sun çalışmasındaki teknoloji, fan hızını otomatik olarak ayarlamak için geri bildirim sinyalleri olarak gerçek zamanlı partikül sensörleri kullanmaktadır. Sistem, fan hızını modüle edebilir, aşırı beslemeyi önlemek ve enerji tasarrufu sağlamak için temiz odaya

doğru miktarda hava akışı sağlayabileceğini belirtmiştir. Bu çalışmadaki teknolojiyi yeni bir temiz oda tasarımına uygulamak veya teknolojiyi mevcut temiz oda fan sistemlerine entegre etmek için yeni bileşen ve parçalar gereklidir [13].

Seven çalışmasında, Chiller soğutma sistemi için kondenser sistemini korozif etkiden koruyacak bir evaporatif soğutma sistemi çalışması ve uygulaması gerçekleştirmiştir. Soğutma sisteminin çalışmadan önce ölçümleri yapılmıştır ve gerçek verim ortaya konulmuştur. Chiller kondenserinin evaporatif metot ile soğutulması yapılarak verim açısından etkileri çalışmada incelenmiştir. Çalışma neticesinde Chiller soğutma sistemi veriminde %11 oranında artış olduğu tespit edilmiştir [14].

Bakanay ve Tosunoğlu çalışmalarında, Soğutma kulelerinin önemli enerji tüketim alanını olduğunu belirtmiştir. Enerji tüketimi miktarını azaltmak için fanların dizayn ve konumunun önemine çalışmalarında dikkat çekmişlerdir [15].

Yıldırım, çalışmasında temiz odaların tanımını yaparak ilgili bazı terimleri açıklamıştır. Ayrıca, temiz odaların tarihçesine ve gelişim sürecine değinmiştir. İlaç üretim tesisleri ve hastaneler gibi uygulama alanlarını örnekler üzerinden ele alarak, ISO 14644 standardına göre temiz odalarda istenen kriterleri ve kontrol parametrelerini açıklamıştır. Tez çalışmasında, temiz odaların yapısal özellikleri, hijyenik klima santralleri ile tasarlanan havalandırma sistemleri ve kullanılan filtreler, alanları kullanan personelin giysileri ve alanlara giriş-çıkış prosedürleri, kullanılan malzeme ve ekipmanlar ele alınmıştır. Yıldırım'ın çalışmasında, bir ilaç üretim tesisi ve iki ayrı hastanede yapılan gözlemlere dayanarak temiz oda uygulamalarını örneklerle açıklamıştır [16].

Özcan, tez çalışmasında temiz odalarda kullanılan farklı filtre konfigürasyonları için bir maliyet analizi yapmıştır. Ayrıca, farklı terminal ve ana filtrelerin kullanımının maliyet üzerindeki etkisini incelemiş ve çift HEPA'lı (Yüksek verimli parçacık filtreleri) sistemlerin işletme maliyetlerine olan etkisini araştırmıştır. Öncelikle, enerji tüketimine dayalı olarak hazırlanan maliyet hesabında aynı debi değerine sahip farklı filtre konfigürasyonları arasında önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, hava değişim sayısının azaltılmasıyla enerji tüketiminin önemli ölçüde azaldığı ve dolayısıyla maliyetin düşürüldüğü görülmüştür [17].

Çift HEPA'lı sistemlerin kullanımının beklendiği gibi büyük işletme maliyetlerine yol açmadığı tespit edilmiştir. Filtre fiyatları ve değiştirme sıklıklarına bağlı olarak yapılan

maliyet hesabında, ana filtrelerin değiştirilmesiyle oluşturulan kombinasyonun, terminal filtreler için olan kombinasyona göre bir miktar daha fazla maliyet oluşturduğu gözlenmiştir. Ancak, bu küçük fark aslında büyük maliyetleri önleyen bir farktır. Çünkü HEPA filtreden önce ne kadar kaliteli n filtreler kullanılırsa, HEPA filtrenin ömrü o kadar uzamaktadır. İki kez HEPA filtre değiştirmek yerine, üç kez ana filtre değişimi yapmanın hem maliyet açısından hem de enerji tasarrufu açısından önemli bir tasarruf sağladığı tespit edilmiştir [17].



3. TEMİZ ODA

Temiz oda, belirli bir endüstride veya araştırma alanında, havadaki partikül miktarının kontrol altında tutulduğu, özel olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş bir odadır. Bu odalar, üretim sürecinde ürüne giren partikül sayısını azaltarak üretim kalitesini artırır, ürün güvenliğini sağlar ve çalışanların sağlığını korur. Ayrıca, hassas araştırmalar yapmak için de kullanılır. Temiz odalarda havanın filtrelenmesi, sterilizasyon işlemleri, sıcaklık, nem ve basınç gibi faktörlerin kontrol altında tutulması gibi birçok özellik bulunur. Temiz odalar, kirden arındırılmış ortamlar olup temiz bir alan sağlar. Bu alanlar, ISO 14644-1 standardına uygun olarak tasarlanıp inşa edildikten sonra kullanılan özel odalardır. Temiz odalar, havadaki parçacık konsantrasyonunu kontrol altında tutarak minimum düzeye indirir. Temiz odalarda bahsi geçen nem, sıcaklık, basınç ve partikül seviyeleri gibi parametreler sürekli olarak kontrol edilir. Temiz oda alanlarında bu parametrelere ek olarak ses, titreşim ve aydınlatma gibi etkenlerde kontrol edilebilmektedir ancak bu yalnızca temiz odalara has bir durum değildir [18].

Temiz odalar, hastanelerde geliştirilmiş ve daha sonra farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak ilaç ve medikal sanayi akla gelirken, zamanla kullanım alanları geniş bir şekilde çeşitlenmiştir. Temiz odaların kullanım alanlarını genel hatlarıyla şu şekilde sınıflandırabiliriz;

- Yarı iletken üretimi
- Eczacılık
- Tıbbi cihaz üretimi
- İlaç endüstrisi
- Hastane
- Biyoloji tesisleri
- Biyoteknoloji merkezleri
- Tarım ve Gıda endüstrisi
- Elektronik baskı devreleri ve sensör üretim alanları
- Fotoğraf baskı ve manyetik medya ürünleri
- Kimya endüstrisi

- Uzay ve savunma teknolojileri
- Otomotiv endüstrisi
- Lazer, optik, güneş enerjili cihazlar
- Bilgisayar üretim alanları

Temiz odaların kullanım alanları yukarıda belirtildiği şekilde hayatımızın her alanında bulunmaktadır. Bu alanlara ek olarak benzer alanlarda da kullanılması mümkündür. Bu sayede üretimi yapılacak ürünün hijyen ve kalite standartlarının sağlanması mümkün olmaktadır. Bu alanlar genele bakıldığında ileri teknoloji ve buna bağlı olarak yüksek enerji kullanımı gerektirmektedir. Temiz oda kullanım alanlarında her geçen gün teknoloji ilerlemesiyle birlikte alanların üretim verimliliğinin yanı sıra üretim için harcanacak enerjinin de verimliliği ön plana çıkmaktadır. Bununla ilgili teknoloji dernekleri yıl içerisinde yapılan çalışmaları üreticilerle paylaşmaktadır. Artan enerji maliyetleriyle birlikte temiz oda sistemleri seçiminde enerji verimli sistemlerin seçimi üretici firmalar için önem arz etmektedir [19].

3.1 Temiz Oda Tarihçesi

Aksini iddia eden bir araştırma yapılmadığı sürece tarihte ilk kez temiz odaların hastanelerde kullanıldığını söyleyebiliriz. Bakterilerin enfeksiyon sebebi olduğunu keşfeden bilim insanları arasında Joseph Lister, Louis Pasteur ve Robert Koch gibi isimler bulunmaktadır [20].

Lister, kanalizasyonlarda meydana gelen kontaminasyonun önüne geçmek için fenol kullanımı ile kokunun oluşmasının engellenebileceğini ve kanalizasyon suyunun taşıdığı tarlalarda otlayan hayvanların da parazit enfeksiyonlarına yakalanmadığını tespit etmiştir. Bu gözlemlerine istinaden, Lister 1865 yılında fenolü yaralarda da denemiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Cerrahide fenol, bu denemelerden sonra başarılı bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır [21].

Louis Pasteur'un, et suyu deneyi göstermiştir ki havadaki toz parçacıklarının üzerinde bulunan mikroorganizmalar, yiyecek ve içeceklerin bozulmasına neden olabilir. Bu mikroorganizmaların insanların tükettiği besinlerden kaynaklanan hastalıklara sebep olduğuna inanmıştır [21].

Hipokrat (MÖ. 460-377), hastalıkların topraktan çıkan kötü hava ile su, yıldız, rüzgârların ve mevsimlerin etkisiyle meydana geldiğini savunmuştur. Bu öğretisi Miasma

teorisi olarak adlandırılmış ve bu teoriye inanan hekimler salgın hastalıkların yaygın olduğu dönemde Şekil 3.1’de görülen farklı görünümlü maskeleri kullanmışlardır. Görünüşü gaga biçiminde olan bu maskelerin içlerinde kuru otlar, çiçekler ve baharatlar gibi dönemde sağlıklı olduğuna inanılan güzel kokulu maddelerde bulunuyordu [21].



Şekil 3.1 Salgın hastalıklardan korunmak için maske kullanan hekim [22].

İngiltere’de oluşan atıkların ve çöplerin çoğu, şehrin temel su kaynakları olan kuyulara veya Thames Nehri’ne dökülüyordu. Londra halkı o dönemde, temiz su kaynaklarının kirlenmesi ile salgın hastalıkların nedeni olan kendi atıklarıyla beslenmeye başlamıştı. Bu durum sağlık üzerine araştırmaların yapılmasını arttırmıştı. Fransız kimyager Louis Pasteur 1859 yılında, Hipokrat’ın öne sürdüğü Miasma teorisini çürütmek istemiş ve havanın kendisinin değil, havada bulunan toz parçacıklarının sorunun ana sebebi olduğuna inanmıştır. Louis Pasteur’e göre toz 7 adet bakteri taşıyor, yiyecek ve içeceklerde bulunduğunda onları tüketen herkesin hastalanmasına sebep oluyordu [21].

Hastane ve hastaların enfeksiyon kapma riskinin yüksek olduğu ameliyathanelerin bakterilerden arındırılmasının gerektiğini düşünen Joseph Lister (1827-1912) ise ameliyatı yapan cerrahların ellerinde, kullanılan cerrahi aletlerde ve ameliyat yapılacak yaraların üzerinde fenol kullanmış, bakteri taşıma ihtimali olan ve havada uçan toz parçacıklarına karşı tedbir olarak fenol havaya püskürtmüştür. Alınan ve uygulanan bu tedbirler sayesinde bakteriden kaynaklı enfeksiyonlar önemli ölçüde azalmış ve yapılan bu çalışmalar temiz odalar için temel oluşturmuştur [23].

Hava akış biçiminin hastane odalarındaki kirliliğin uzaklaştırılmasında önemli bir faktör olduğunu savunan Sir John Simon (1816-1904), 1864 yılında hava akışının içeriden dışarıya doğru olması gerektiğini bir yazısında kaleme almıştır. Bunun yalnızca yapay hava akışını sistematik bir halde sağlayabilecek bir sistemle gerçekleştirilebileceğini de belirtmiştir. Birleşik krallığa bağlı Belfast şehrinde bir hastane inşa edilmiştir. Bu prensipler eşliğinde inşa edilen Kraliyet Victoria Hastanesi'nde uygulanan sistemler, beklenen ve istenen sonuçları gerçekleştirme konusunda yetersiz kalmıştır [23].

İkinci Dünya Savaşının sonlarına doğru vantilasyonun kirlilik kontrolü için uygulamasına hastanelerde başlanmıştır. Blowers ve Crew 1960 yılında türbülansın en aza indirgenerek hava akışının aşağı doğru hareketinin sağlanması için tavanın iki tarafına yerleştirilmiş difüzörlerle havanın tek yönlü üflendiği bir odayı incelemiştir. Daha sonra 1966 yılında Prof. Charnley, yüksek miktarda ve düzgün akışlı havayla ortamdaki bakteri sayısını düşürebildiği bir sistem geliştirmiştir. Bunun yanı sıra bakterilerin cerrahlardan yayılmasını engellemek için bakterileri tüm vücutta hapseden egzoz elbisesini icat etmiştir. Bu sayede enfeksiyon oranını düşürmeyi başarmıştır [24].

HEPA, havadaki tehlikeli mikrobiyolojik ve radyoaktif kirleticilerden arındırılması için üretilmiştir. 1955-1960 tarihleri arasında, yüksek oranlarda iyi filtre edilmiş havanın, tavana yerleştirilen difüzörlerle üflendiği temiz odalar inşa edilmiştir. 1961 yılında "Laminar akış" sistemi bulunmuştur. Bu sistemle hava HEPA filtrelerden geçirilerek oda içinde tek yönde hava akışıyla odanın tabanındaki menfeze ulaşması sağlanmıştır. 1963 yılında ilk Federal standart 209 yayınlanmıştır. Temiz oda standartlarının bütün dünyadaki temelini oluşturmuştur. Temiz oda uygulamalarının teknolojisi, sayısı ve çeşidi zaman ilerledikçe artmıştır [24].

3.2 Dünya'da ve Türkiye'de Temiz Odalar

Dünya'da ve Türkiye'de birçok önemli alanda ve projede temiz odalar kullanılmaktadır. Bu alışlagelmiş kullanımın yanı sıra teknolojiye yön veren kurumlar, üniversiteler ve özel araştırma yapan firmalar da kendilerine özel temiz oda alanları oluşturmuşlardır. Temiz odaların kullanım amacı, önemli ve hassas durumlarda yüksek kalitede hava temizliği sağlamak ve kontaminasyon riskini minimize etmektir. Türkiye'nin ve dünyanın önemli üretim tesislerinde, uzay araştırma merkezlerinde, üniversitelerinde ve özel araştırma yapan firmalarda kapsamlı temiz oda sistemleri bulunmaktadır.

Türkiye'de de bu sektörlerde birçok büyük proje ve firma bulunmaktadır. Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK) tarafından denetlenen ilaç üretim tesisleri temiz odalar içermektedir. Bunun yanı sıra Şekil 3.2'de görüldüğü gibi Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ) gibi havacılık firmaları, elektronik ve yarı iletken üreticileri de temiz oda sistemlerini kullanmaktadır.



Şekil 3.2 Türk Havacılık Uzay Sanayi temiz oda içerisinde çalışma [25].

Türkiye’de, üniversiteler ve araştırma merkezleri de temiz odaları araştırma ve geliştirme çalışmaları için kullanmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Bilkent Üniversitesi ve Boğaziçi Üniversitesi gibi üniversitelerde temiz oda sistemleri bulunmaktadır.

Dünyada birçok farklı endüstri ve sektörde temiz oda kullanım alanı bulunmaktadır. Bazı büyük temiz oda kullanım tesisleri şunlardır:

Intel Fab 42: Arizona, Amerika Birleşik Devletlerinde yer alan bu tesis büyük bir temiz oda alanına sahiptir ve mikroçipler üretmektedir.

NASA Goddard Uzay Uçuş Merkezi: Maryland, ABD'de yer alan bu tesis, uzay araştırmaları için kullanılmaktadır.

CERN: İsviçre-Fransa sınırındaki CERN, parçacık fiziği araştırmaları için kullanılmaktadır ve büyük ölçekli temiz odaları içermektedir.

Samsung Austin Semiconductor: Texas, ABD'deki bu tesis, yarı iletkenler için üretim yapmaktadır.

Wuhan Institute of Virology: Çin'de bulunan bu tesis, biyolojik araştırmalar için kullanılmaktadır.

Eurofins CDMO: Fransa'da bulunan bu tesis, ilaç üretimi için kullanılmaktadır.

Airbus Defence and Space: Almanya'daki bu tesis, uydu ve uzay araştırmaları için kullanılmaktadır ve büyük ölçekli temiz odaları içermektedir.

Tokyo Electron: Japonya'daki bu tesis, yarı iletkenler için üretim yapmakta ve temiz odalar içermektedir.

GlaxoSmithKline: İngiltere'deki bu tesis, ilaç üretimi için kullanılmaktadır ve büyük ölçekli temiz odaları içermektedir.

Lockheed Martin: ABD'de bulunan bu tesis, havacılık ve savunma endüstrisi için araştırma ve geliştirme yapmakta ve temiz odaları içermektedir.

3.3 Temiz Odaların Önemi

Sanayi, araştırma merkezleri ve hastaneler gibi riskli ve kritik alanlarda kullanılan temiz odalar önemli alanlardır. Temiz odaların kullanımının en önemli sebepleri şunlardır:

Üretim kalitesinin artırılması: Temiz odalarda havadaki partikül miktarı kontrol altında tutulur. Bu sayede, üretim sürecinde ürüne giren partiküllerin sayısı azaltılır. Bu da üretim kalitesinin artırılmasına yardımcı olur.

Ürün güvenliğinin sağlanması: Temiz odalarda üretilen ürünlerin güvenliği ve kalitesi, tüketiciler için önemlidir. Bu nedenle, ilaç ve gıda endüstrilerinde üretim süreçlerinin, belirli standartlar ve yönetmeliklere uygun olarak gerçekleştirilmesi önemlidir.

Çalışanların sağlığının ve güvenliğinin korunması: Temiz odalarda çalışanların sağlığı ve güvenliği, özellikle toksik veya zararlı maddelerin kullanıldığı sektörlerde önemlidir. Temiz odalarda havanın sürekli olarak filtrelenmesi, çalışanların maruz kaldığı partikül ve zararlı maddelerin azaltılmasına yardımcı olur.

Araştırma faaliyetlerinin yürütülmesi: Temiz odalar, araştırma faaliyetlerinde de kullanılır. Özellikle nanoteknoloji, yarıiletkenler, biyoteknoloji ve tıbbi araştırmalar gibi alanlarda hassas çalışmalar yapmak için temiz ortamlara ihtiyaç duyulur. Bu nedenlerle, sanayide temiz oda kullanımı oldukça önemlidir ve bu alanlarda üretim yapacak veya araştırma yapacak olan şirketmeler temiz oda kullanımına özen göstermelidir.

Temiz odaların kullanımı, havada uçuşan mikroorganizmaların insanlara ve ürünlere zarar vermesini engelleyerek enfeksiyon riskini minimum düzeye indirmek için de önemlidir. Temiz odaların tercih edilmesinin nedeni, çapraz kontaminasyonla bulaşmayı önlemesidir. Hastanelerde, ilaç üretimi ve gıda üretimi gibi alanlarda bulunan temiz odalar, çapraz kontaminasyon ile bulaşmanın önlenmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Özellikle insan hayatı düşünüldüğünde, temiz odaların kullanımının ne kadar önemli olduğu açıktır.

Temiz odalar, mikroorganizmaları taşıyan partikül sayısını kabul edilebilir standartlara indirerek enfeksiyon riskini minimum düzeye indirir. Hastaneler için, bulaşıcı hastalıkları önlemek, hastane enfeksiyonunu önlemek ve antibiyotik kullanımını azaltarak hastaların sağlığını korumak ve buna bağlı ekonomik kayıpları önlemek açısından önemlidir.

Dünya genelinde enfeksiyon görülme sıklığı %3 ile %17 arasında değişmektedir. Türkiye'de ise bu oran %5 ile %15 arasındadır. Bu oranlar göz önüne alındığında, hastane enfeksiyonlarının yaygınlığı oldukça yüksektir ve ortalama hastane yatış süresini 20 gün artırmaktadır. Bu durum, her hasta başına 1.582 dolarlık ek masrafa neden olmaktadır [26]. Ameliyathanelerde kullanılan temiz odalar için partikül oranı bu ve benzeri sebeplerden dolayı kritik öneme sahiptir.

Temiz odalar sağlık açısından önemli olduğu kadar ülkelerin teknolojik gelişimi ve üretimi bakımından da önemlidir. Sağlık, mikro teknoloji, gıda üretimi ve uzay sanayisinde kullanılan temiz odalar ürünlerin partikülden arınmış alanlarda kullanılabilir şekilde üretilmesine imkân sağlamaktadır.

Uzay araçlarını oluşturan bileşenlerin üretimi esnasında ortaya çıkan kirleticilerin uzaklaştırılması için farklı temizleme prosedürleri uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra uzay araçlarının montajlanması ve gerekli testlerinin yapılması temiz odalarda gerçekleştirilmektedir.

Uzay araçlarının üretim, birleştirme, taşıma, test edilme, fırlatma ve görev aşamalarında sistemin içinde kalan ya da sonradan ortaya çıkan yabancı maddeler uzay araçlarının kullanım ömrünün kısılmasına, işlevlerini kısmen ya da tümüyle kaybetmesine neden olabilir. Bunlar genellikle kirleticiler olarak tanımlanmaktadır [27].

Uzay araçlarında kirleticiler farklı sorunlara yol açabilir. Uzay araçlarında bulunan optik bileşenlerin (örneğin radyometre, teleskoplarda kullanılan yansıtıcı aynalar, ışığın

doğrultusunu, yoğunluğunu, polarizasyonunu ölçen fotometre, spektrometre, polarimetre gibi aygıtlar) yüzey kısmındaki parçacık ve molekül ölçeğindeki kirleticiler bu cihazların soğurma ve yansıtma özelliklerini değiştirerek görevlerini doğru şekilde yapmalarını engelleyebilir [27].

Ayrıca kirleticiler uzay araçlarının ısı dengelerini koruyabilmesiyle ilgili sorunlara yol açabilir. Uzay araçlarında ısı transferi, uzayda hava bulunmadığı için ışıma(radyasyon) ve iletim yoluyla gerçekleşir. Uzay araçları ve içinde bulunan cihazların sıcaklıklarının yaklaşık olarak sabit bir şekilde kalabilmesi için uzay aracının ısı kaybının çok olduğu bölümleri ışığı soğurma özelliği yüksek olan malzemelerden üretilirken, uzay aracının Güneş'e bakan bölümleri ışığı yansıtma özelliği soğurma özelliğinden yüksek olan malzemelerle üretilir. Kullanılan bu malzemelerin yüzeyine yapışan farklı yapıdaki kirleticiler malzemelerin ışığı yansıtma ve soğurma özelliklerini değiştirerek parçaların aşırı soğuması ya da ısınmasına, dolayısıyla işlevlerini doğru ve etkin bir şekilde gerçekleştirememelerine neden olabilir [27].

Uzay araçlarının özellikle yakıt sisteminde parçacık kirleticiler ciddi sorunlara yol açabilir. Uzay araçlarında bu doğrultuda örnek verilirse 24 Ağustos 2011'de fırlatıldıktan kısa bir süre sonra Sibirya'ya düşen Rusya'ya ait Soyuz uzay roketinin yaşadığı problemin muhtemel nedeninin yakıt kanallarındaki kirleticilerin motora yeterli yakıt girmesini engelleyerek roketlerden birinin devre dışı kalmasına yol açması olduğu belirlenmişti. Bundan dolayı aylarca süren yüksek maliyetli proje ve çalışmaların kirleticiler sebebiyle sekteye hatta başarısızlığa uğramaması için temiz oda kullanımı şarttır [27].

Bu tür uzay araçlarında kirletici sorununu engellemek için yüksek radyasyon ve vakum koşullarında molekül ölçeğinde kirletici yaymayan malzemelerin (örneğin alüminyum, berilyum aynalar) seçilmesine de ayrıca dikkat edilir.

Türkiye'nin de uzay araştırmalarına hız vermesiyle yapılan çalışmalarda temiz oda örneklerini görmemiz mümkün. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nde (TÜBİTAK UZAY) uyduların montaj ve testleri uydu montaj, entegrasyon ve test laboratuvarları'ndaki temiz odada gerçekleştirilmektedir [28].

Uzay araştırmalarının tüm dünyada ve ülkemizde hız kazanmasına bağlı olarak temiz odaların kullanım alanların genişleyeceği düşünülmektedir. Enerji kaynaklarının

tükenmesi, kıtlık sorunu, nüfus artışı, su sorunu ve iklim problemleri gibi sebeplerden dolayı bilim insanları yaşanabilir alternatif gezegenler aramaktadır. Bu gezegenlerde yaşayabilmek için insanoğlunun temel ihtiyacı olan barınma ihtiyacına cevap verebilecek alternatif temiz odalar düşünülmektedir. Temiz odalar bu şekilde atmosferinde solunabilir hava bulunmayan gezegenlerde yaşama imkânı sağlayacaktır.



Şekil 3.3 TÜBİTAK temiz oda içerisinde araştırma yapan insanlar [27].

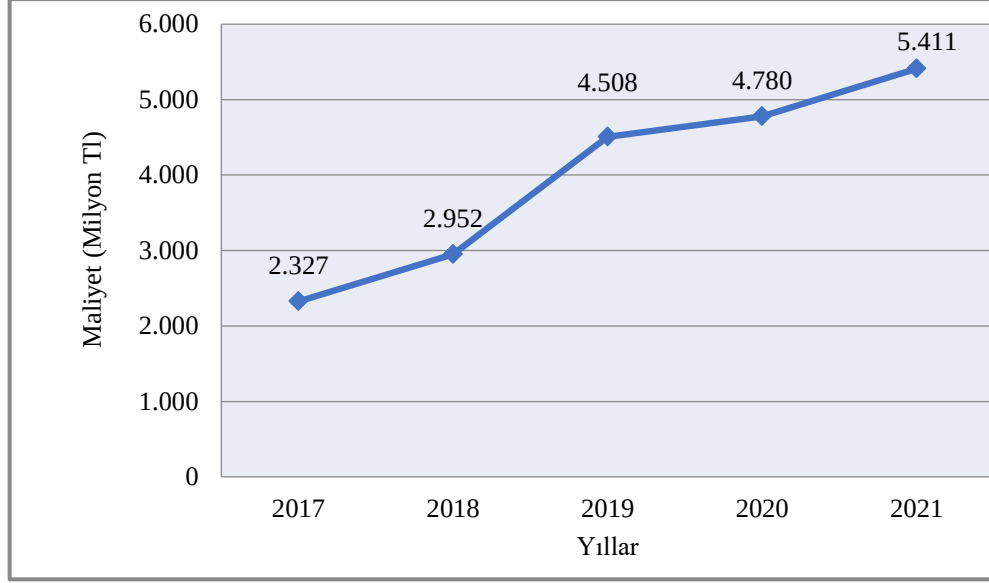
2020 yılında tüm Dünya’da olduğu gibi Covid-19 pandemisi Türkiye’de de görülmeye başlandı. Yaşanan bu pandemi ile hijyenin önemi bir kez daha gözler önüne serildi. Salgında toplumun ihtiyacı olan kişisel temizlik ve koruyucu ekipmanların üretimi de önem kazandı. Türkiye’de hijyen ürünlerine olan talebin artmasıyla bu ürünlerin satış miktarı da arttı. Bu bakımdan ülkemizde kontrollü alan ve temiz odalarda üretilen ürünlerin sayısında artış meydana geldi. Türkiye’de 2021 yılında, 8 milyar 354 milyon 13 bin 780 adet maskenin ve 73 milyon 190 bin 943 litre kolonyanın üretimden satışı yapılmıştır. Sabun ve organik yüzey aktif ürünler vb. maddelerin üretimden satış miktarı 372 milyon 914 bin 772 kilogram iken dezenfektanın ise 55 milyon 262 bin 912 kilogram (aktif edilen maddelerin kilogramı) olmuştur. Benzer şekilde maske üretiminde de kullanılan dokusuz kumaşın üretimden yapılan satış miktarı 695 milyon 671 bin 603 kilogram olmuştur. Çizelge 3.1’de pandemi döneminde hijyen malzemelerin satış miktarları gösterilmiştir [29].

Çizelge 3.1 Yıllara göre hijyen malzemeleri satış oranı [29].

Tanım	Ölçü Birimi	YIL			
		2018	2019	2020	2021
N95 maskeler ve diğer koruyucu ekipmanlar	Adet sayısı	67.625.033	56.050.527	8.208.231.768	8.354.013.780
Kolonya	Litre	47. 944. 608	33.582.006	94.324.582	73.190.943
Sabun ve organik yüzeyler aktif ürünler ile sabun olarak kullanılan müstahzarlar	Kilogram	250. 580.981	300.633. 972	444.765. 154	372.914.772
Dezenfektan	Aktif edilen maddelerin kilogramı	32.304.023	3. 891. 880	117.880.631	55 262. 912
Dokusuz Kumaş	Kilogram	461. 813. 770	509. 637.973	747.409. 014	695.671. 603

Salgın sırasında en önemli ekipman olan maskenin satışı diğer malzemelere göre çok daha fazla oranda artmıştır. N95 gibi yaklaşık olarak %99 oranında havayı filtre etme özelliği bulunan maskelerin kullanımı hastaneler ve toplu alanlarda artmıştır. Bu maskelerde sanayide temiz odalar haricinde bir alanda üretilmemektedir. Bunun yanında Türkiye’de 2021 yılında 5 milyar 410 milyon 849 bin 833 TL’lik tıbbi ilaç üretilmiştir [29].

Şekil 3.4’te tıbbi ilaçların 2017-2021 yılları arasındaki üretimini göstermektedir. Son yıllara bakacak olursak Türkiye’de tıbbi ilaç üretimi de artmaktadır. Buna bağlı olarak üretim merkezlerinde bulunan temiz oda sayıları da Türkiye’de artmaktadır. Sanayide, ARGE merkezlerinde, uzay araçlarında, hastanelerde, ilaç sektöründe kullanılan temiz odalar gerek kullanım alanları gerek kullanım amaçları bakımından insan hayatı ve teknolojik gelişimi için olmazsa olmaz alanlardır.



Şekil 3.4 2017-2021 tıbbi ilaç üretimi Türkiye [29].

Temiz odaların önemli kullanım alanlarından biri gıda sanayisidir. 2021 yılında satış değerine göre en yüksek paya sahip olan sanayi bölümlerinde %12,4 ile gıda sanayi ürünleri ikinci sırada gelmektedir [29].

Büyüyen ve artarak şehirleşen dünya nüfusu için daha çok gıda üretilmesi gerekmektedir. Gıda, 2030'a kadar daha önce hiç olmadığı kadar bir aciliyetle tahıl verimini ikiye katlamak ve et üretiminde %75 artış sağlamak gerektiğini göstermektedir. Bu sektörde de temiz oda kullanımının önümüzdeki yıllarda artması beklenen bir durumdur [30].

Gerek uzay araştırmalarında kullanılan gerek ilaç ve medikal sektörde kullanılan temiz odalar olsun gün boyu çalışan temiz oda sistemleri için yüksek üretim verimliliği ile çalışmak öncelikli hedeftir. Temiz oda şartlarını 7 gün 24 saat korumak için çalışan sistemlerin yüksek enerji tüketimine bağlı yüksek maliyetli olması bunun sebebidir. Uzay araştırmalarının, teknolojik alet kullanımının her geçen gün artması ve insan sağlığının her şeyden önemli tutulmasından kaynaklı olarak temiz odalara, bu alanlarda her daim ihtiyaç duyulacak buna bağlı olarak günümüzde ve gelecekte de kullanımı artarak devam edecektir.

3.4 ISO 14644-16:2019 Enerji Verimliliği Standardı

Bu standart, yeni ve mevcut temiz odalar, temiz bölgeler ve ayırıcı cihazlarında enerji kullanımının optimize edilmesi ve enerji verimliliğinin korunması için rehberlik ve öneriler sunmaktadır. Temiz odaların tasarımı, inşası, devreye alınması ve işletilmesi için rehberlik sağlamaktadır. Standart temiz odalara özgü tüm özellikleri kapsar ve elektronik, havacılık, nükleer, ilaç, hastane, tıbbi cihaz, gıda endüstrisi ve diğer temiz hava uygulamalarında enerji kullanımının optimize edilmesi için farklı alanlarda kullanılabilir. Ayrıca, ISO 14644 gereksinimlerine uygun performans seviyelerini korurken temiz oda enerji verimliliklerinin performans değerlendirmesi ve karşılaştırması için kıyaslama kavramını tanıtmaktadır [31].

Çalışmakta olan mevcut temiz odaları, değiştirilmekte olan mevcut temiz odaları ve tasarım aşamasındaki yeni inşa edilen temiz odaları kapsamaktadır. Yeni kurulacak ve mevcut temiz odaların enerji tüketimini azaltma süreci farklıdır çünkü başlangıç noktası ve mevcut verileri birbirleriyle aynı değildir [31].

Yeni bir temiz oda kurulumunda proje ekibi oluşturulması ve bu alanda süreci takip etmesi önemli olacaktır. Ekipte bulunan kişiler Temiz oda ekipmanının ve yardımcı tesislerin mühendisliği ve bakımı, temiz oda enerji tüketimi, ürün kalitesi, ekipman ve süreç doğrulaması, üretim operasyonları, sağlık ve güvenlik konularında bilgi sahibi olması önemlidir. Proje ekibi, temiz oda operasyonlarını anlamalı ve enerji azaltma projesinin kapsamını belgelemelidir. Bu belgeleme temiz odanın genel amacı/hedefleri ve kritik proses parametreleri içerebilir. Bu bilgilerin belgelenmesi, proje ekibinin temiz oda operasyonunu tam olarak anlamasını sağlar ve enerji azaltma projelerinin temelini oluşturur. Bu şekilde, projenin hedeflerine uygun bir şekilde ilerlemesi ve enerji azaltma çalışmalarının planlanması mümkün olmaktadır [31].

Enerji performansı hususlarının dikkate alındığından emin olmak için temiz odanın tasarımı gözden geçirilmelidir. Ortamlar için aydınlatma, havalandırma, ısıtma, soğutma ve diğer önemli enerji kullanımını kapsamalıdır. Enerji verimliliğini daha da artırmak veya ürün kalitesini iyileştirmek için gelecekte yapılacak değişikliklerin yapılmasına izin vermek için tasarımın esnekliği sağlanmalıdır [31].

Temiz oda içindeki aydınlatma, oda faal olmadığında ışıkların kapatılması için operatör kontrolü dâhilinde olmalı veya talep kontrol cihazları tarafından yönetilmelidir. Temiz oda için yerel LED aydınlatma düşünülmeli ve arka plan aydınlatmasının azaltılmasına

izin verilmelidir. İş istasyonu aydınlatması, yorgunluğu azaltırken çalışmayı kolaylaştıracak şekilde tasarlanmalıdır [31].

Enerji tasarrufu fırsatlarının belirlenmesi konusunda gerektiğinde personele eğitim verilmelidir. Bu sürece yardımcı olmak için, şirketin operasyonel kısıtlamaları üzerinde anlaşmaya varılmalı ve anlaşılmalıdır [31].

Bu eğitimin bir parçası olarak, personel aşağıdaki konularda bilgilendirilmelidir:

- a) kuruluşa özgü temiz odalar için mevcut standartlar, yönetmelikler, kılavuzlar ve uygulama kuralları;
- b) özellikle enerji yoğun olan özel ekipman ve süreçler;
- c) bir temiz odada belirli bir enerji tüketicisi olarak ısıtma ve havalandırma;
- d) temiz odalarda parçacık üretimi kaynakları
- e) hava hacmi besleme oranları ve bunların temiz oda enerji tüketimi üzerindeki etkisi.

Enerji tasarrufu ararken genel hijyen, davranış, sağlık ve güvenlik hedeflerinden taviz verilmemesi gerektiği vurgulanmalıdır [31].

Bir kuruluştaki enerji tasarrufu programı uygulanıyorsa, tesisin farklı HVAC modlarında nasıl çalıştırılacağı, temiz odanın farklı durumlarda nasıl izleneceği ve uygunsuzluk durumunda ne yapılacağı konusunda özel eğitim verilmelidir [31].

Tek yönlü bir temiz odada hareket eden havanın hacmi, aynı boyuttaki tek yönlü olmayan bir temiz odaya göre önemli ölçüde daha yüksektir. Her iki temiz oda tipi için, bazı durumlarda aşırı olan hava akış hızlarına sahiptir. Temiz oda tasarımının ve bir temiz odada hangi oranda partikül oranının olacağının anlaşılması, artık kabul edilebilir bir parçacık konsantrasyonunu korurken hava akış hızını düşürme fırsatı sunar [31].

Hava hacmi akış hızı, bir temiz odanın enerji tüketimine önemli ölçüde katkıda bulunur. Bu nedenle, hava hacmi akış hızının azaltılması, genel enerji kullanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Enerji tasarrufu için değerlendirilmesi gereken önemli bir teknik, temiz oda veya temiz hava cihazı "beklemede" veya "boş" durumudur. Mümkün olduğunca, hava hızını kontrol etmek ve enerji yükünü azaltmak için değişken hızlı fanlar kullanılmalıdır. Genel olarak, hava hacmi, fan gücünün küpü ve hava akış hızının

küpü ile orantılıdır, böylece hava hacminin yarıya indirilmesi, doğru kanal boyutlandırmasına bağlı olarak fan gücünü sekiz kat azaltabilir [31].

Tüm yeni kurulumlar, UDAF (Uni-Directional AirFlow) için üfleme havası hızlarını ve UDAF olmayanlar için üfleme hava akış hızını çalışma dışı dönemlerde önceden tanımlanmış bir seviyeye kadar kontrol edebilmelidir. Kanalin ana kollarına, fan motoru inverteri ile bağlantılı olarak, tesisin kullanılmadığı zamanlarda çalışma dışı saatlerde kismayı ve daha düşük basınç farklarını kolaylaştıran motorlu damperler takılmalıdır [31].

Kapatma koşulları altında, yani insansız ve işletimde değilken kontrol edilen mahaldeki kirlilik kaynağı gücü ve ısı kazançları, işletim koşullarına göre önemli ölçüde daha azdır. Bu koşullar altında bir azaltma koşulu tasarım aşamasında tahmin edilebilir ve devreye alma veya kalifikasyon sırasında onaylanabilir.

Temiz bir odayla ilgili enerji verimliliği çalışmalarında güç yönetimini kapatma, kapatma ve iyileşme süreçlerini de içerisinde barındırmaktadır.

3.4.1 Temiz odayı devre dışı bırakma

Elverişsiz hale gelmiş veya düşük verimliliğe sahip olan bir temiz oda çok uzun bir süre boyunca kullanılmayacaksa veya işlevsiz hale gelmişse, bunun devreden çıkarılması düşünülebilecek bir seçenektir. Gereken çevresel parametreleri koruma zorlukları gibi, komşu odalara olası olumsuz etkiler değerlendirilmeli ve risk azaltma stratejileri uygulanmalıdır [31].

3.4.2 Temiz oda enerji tasarrufu fırsatları

Temiz odalar gibi alanların yoğun güç tüketimi gerçekleşmesine ek olarak önemli fırsatları da içerisinde bulundurmaktadır. Çizelge 3.2’de bu fırsatlar için değerlendirmeler detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur.

Çizelge 3.2 Enerji tasarrufu fırsatları kontrol listesi [31].

UYGULAMA AŞAMASI	İLKE	FIRSAT	DEĞERLENDİRME	OLASI OLUMSUZ ETKİ	RİSK AZALTMA ARAÇLARI/STRATEJİ
Kaynak gücü değerlendirilmesi	Atık kaynakları	Aşırı tasarımları önlemek	Bütün ilgili atık kaynaklarını tespit etmek ve hava akışının en iyi hale getirmek için güçlerini değerlendirmek	Kaynakların ve/veya güçlerini değerlendirenken oluşabilecek hatalar	İşlem eğitimini, kaynakların ve deney şekillerini arttırmak
URS/Spesifikasyon	Performans gereklilikleri	Fazla spesifikasyonu önlemek	İşlem için doğru operasyonel parametreleri belirlemek (örn: sınıfta temizliği, toparlanma zamanı, ısılandırma seviyesi vb.)	Süreçte olası değişikliklere karşı esneklik kaybı	Farklı kritik seviyelere göre parametreleri ayırmak ve küçük bir makul marj belirlemek
	Tesis boyutu gereklilikleri	Aşırı genişliği önlemek	İşlem bölgelerinin doğru boyutlarını, kullanım seviyelerini vb. belirlemek.	Süreçte olası değişikliklere karşı esneklik kaybı	Küçük, makul bir marj belirlemek, alanların ve HVAC kontrolünün modüler genişlemesine izin vermek
	Kullanım seviyeleri	Kullanımı optimize etmek	MCPLer ve partiküllerin sebep olduğumuz kalımlı azaltmak ve alan tasarrufu sağlamak için odadaki insan sayısını optimize etmek	İşlemlerin daha karmaşık bir hale gelebilmesi	Geliştirilmiş prosedürler ve kontrol önlemleri
	Giyisi gereksinimleri	İnsanların maruz kaldığı emilimi azaltmak	İşlemlerin gereksinimlerine bağlı olarak doğru tür giysiler belirlemek	Artan harcama ve personel rahatsızlığı	
	İşlem ekipmanı yüklemeleri	İşlem ekipmanlarının ısısını ve nemini azaltmak	İşlem ekipmanı seçerken ısı azaltmayı ve nem yüklemeye değerlerini göz önünde bulundurmak	Yok	
	İşlem ekipmanı kararlılığı	İşlemlerin neden olduğu ekipman kirliliğini azaltmak	Temiz oda kullanımı için ekipmanların uygunluğunu belirlemek (ISO 14644-14)	Yok	
	Bariyer teknolojileri kullanımı	Yüksek seviye bölümleri en aza indirmek	Yüksek seviye bölümlerini en aza indirmek için bariyer teknolojilerinin kullanımı ihtimallerini değerlendirmek	Esneklik kaybı, işlemlerde daha karmaşık bir hale gelebilir	
Tasarım, yeniden tasarım ve yapı	Hava akımı/UDAF	Hava hızını azaltmak	UDAF yer değiştirim etkinliğini koruyarak hava hızını azaltmayı değerlendirmek	Parçacık girişinin artması ve parçacık gideriminin azalması	Tasarımda CFD kullanımı. Küçük, makul bir marj belirleme. Duman çalışmalarını doğrulama yapmak ve ardından kontaminasyon seviyeleri ve çevresel verilerin izlenmesi
	Hava akımı/UDAF olmayan	Hava akışının akış oranını azaltmak	Atık kaynaklarını ve güçlerini, havalandırma etki seviyesini ve ısı yüklemelerini değerlendirecek hava akış oranını azaltmayı değerlendirmek	Yetersiz parçacık seyraltme, ölü bölgelerin varlığı ve zayıf oda sıcaklığı kontrolü. Yüksek kurtarma süresideğeri	Tasarımda CFD kullanımı. Küçük, makul bir marj sağlama. Kontaminasyon seviyelerinin doğrulanması ve ardından çevresel verilerin izlenmesi
	Tasarlanan hava akışı	Tasarlanan hava akışı kullanımını azaltmak	Odadaki hava kaçaklarını, işlem ve HSE gerekliliklerini dikkatlice değerlendirerek tasarlanan hava akışı optimizasyonu değerlendirilmek.	Zayıf HSE durumları, zayıf basınç kontrolü	Küçük, makul bir marj sağlayın. Oda basıncının doğrulanması ve HSE verilerinin ardından izlenmesi
	Hava akışı çıkartma oranı	İşlem ekipmanlarından çıkan hava akış oranını azaltmak	İş ekipmanlarından çıkan hava akış oranını azaltmak için tasarıma uygun olan hava akış oranı azaltma işlemini değerlendirmek	Zayıf HSE durumları	
	Aydınlatma sistemleri	Daha verimli ışıklandırma sistemleri seçmek	Yüksek verim ve ışıklandırma sistemleri, kullanım sensörleri bazı kontrol sistemleri, gün ışığı ve ışık azaltıcı sistemleri dizayn etmek	Yok	
	Merkezi AHUlar ve FFUlar	Havalandırma verimliliğini en üst seviyeye çıkarmak	Havalandırmanın enerji tüketimini azaltmak için uygulamaya uygun havalandırma sistemi seçmek	Fan enerjisinin maksimize etmek ve/veya tüketimini en aza indirmek	
	Azaltma/Kısıma kapasitesi	Boş zamanlarda hava akışı oranını azaltmak	HVAC dizaynındaki azaltma/kısıma seçeneklerinin kullanımı ihtimallerini gözden geçirerek boş zaman işlemleri sırasında düşük hava akış oranı kullanmak	HVAC ve kontrol sistemlerinin karmaşıklığı arttıkça, arıza riski de artabilir	Tasarımda CFD kullanımı. Küçük, makul bir marj sağlama. Kontaminasyon seviyelerinin doğrulanması ve ardından çevresel verilerin izlenmesi
	Hava dağıtım üniteleri ve HVAC bileşenleri	Daha etkili bileşenler kullanmak ve performansı iyileştirmek	AHU ve HVAC bileşenlerinin performanslarını optimize ederek enerji tüketimini azaltmak: yüksek verimlilik fanların, elektrik motorlarını ve çeşitli hız sürücülerini seçmek, bobinlerdeki AHU bölümlerindeki ve filtrelerdeki basınç için düşük değerler belirlemek. SFP hedef değerlerini belirlemek. Filtrelerin performansını filtreleme öncesi ve son filtreleme seçeneklerinin hava filtresi ömrü döngülerine göre optimize etmek seçmek.	İnşaa maliyetinin artması, AHU'nun boyutlarının artması ve soğutucu performansında değişiklikler	Mevcut belirli fan gücü (SFP) referans tablolarına göre boyutlandırmayı optimize edin [Örnek: ticari yapı hizmetleri uygunluk rehberi (NBS), İngiltere]
	Hava filtreleri	Başlangıçtaki basınç düşüşlerini azaltmak	Düşük basınç düşüşleri, dengeli kanal sistemleri dizayn ederek havalandırma enerji tüketimini azaltmak	Yok	Uygun kalitede filtreleri seçin; kurulum için üretici tarafından belirtilen talimatlara uyun
	HVAC dağıtım sistemleri	Tasarımsal basınç düşüşlerini optimize etmek	Isıma, soğutma, nemlilik ile ilgili enerji tüketimlerini ve kaçışmalarını doğru BMS sınırlarını seçerek önlemeye çalışmak	Yok	Aletlerin kalibrasyonunun sağlandığından emin olun
	İdare sistemi yönetimi (BMS)	Enerji yönetimini iyileştirmek ve geliştirmek	Isıma, soğutma, nemlilik ile ilgili enerji tüketimlerini ve kaçışmalarını doğru BMS sınırlarını seçerek önlemeye çalışmak	Yok	Aletlerin kalibrasyonunun sağlandığından emin olun
	Çevre yönetim sistemleri (EMS, PMS, MMS)	Enerji azaltma ölçütlerini desteklemek için çevresel parametreleri gözlemek	T/RH/P, PMS ve MMS için çevre gözlem sistemlerini belirleyerek enerji tasarrufu ölçeklerini belirlemek	İnşaa maliyeti	Risk değerlendirilmesi ve CFD çalışmalarını yoluyla sensör sayısını ve konumunu optimize edin
	Uyarlanabilir kontrol	Atık gereksinimine bağlı olarak hava akışı seviyesi hava akışı oranını azaltmak	Enerji tasarrufu önlemlerinin uygulanmasını sağlamak için uyumlu kontrol sistemlerinin sağlama olasılığını değerlendirmek	Kontaminasyon seviyelerinin ve çevresel parametrelerin yerel kontrolünde bir arıza meydana gelme ihtimali	Risk değerlendirilmesi yoluyla sensörlerin sayısını ve yerini seçin
Sınama	Görevlendirme, doğrulama	Görevlendirme ve/veya doğrulama yaparak enerji azaltma ölçütlerini doğrulamak	Enerji azaltma önlemlerinin etkinliğini doğrulamak için görevlendirme/doğrulama sonuçlarını kullanmak	Yok	
	Devresel test	Devresel testlerin enerji azaltma ölçütlerini doğrulamak	Enerji azaltma önlemlerinin etkinliğini doğrulamak ve olası artuk marjları tespit etmek için uzun süreli periyodik sinama sonuçlarını kullanmak	Yok	
Yönetim ve bakım	Operatör yeterliliği (eğitim)	Atık gücünü azaltmak için personel eğitimini arttırmak	Operatör yeterliliği, temiz odadaki havadan bulaşma miktarını azaltmaya yardımcı olur	Yok	
	Gözlemek	Enerji azaltma ölçütlerini doğrulamak için çevresel parametreleri gözlemek	T/RH/P(EMS) için çevresel izleme sistemleri, hava partiküllü konsantrasyonu ve havadan bulaşan mikroorganizma konsantrasyonu, enerji azaltma önlemlerinin etkinliğini sürekli veya sık aralıklarla doğrulamaya yardımcı olur	Yok	
	Azaltma/kısıma programları	İşlem sırasında değilken HVAC'ı azaltılmış oranda çalıştırmak	HVAC, dinlenme durumunda, insansız koşullarda azaltılmış hava akış hızıyla çalıştırılabilir	Yetkisiz oda girişi	Personel eğitimini, özellikle bakım ve temizlik ekiplerini geliştirin. Etkili erişim kontrolü ve alarm, sistemleri uygulayın
	Kapatma	HVAC'ın temiz oda operasyon durumunda değilken belgeli bir şekilde kapatılması	HVAC uzun süreli operasyon dışı ve insansız durumlarda kapatılabilir	Yetkisiz oda girişi. Genel kontaminasyon riski, filtrelerin yeniden başlatma sırasında parçacık yer değiştirmesi ve çiy noktası artışı	Personel eğitimini, özellikle bakım ve temizlik ekiplerini geliştirin. Etkili erişim kontrolü ve alarm sistemleri uygulayın. Başlangıçta büyük bir özen gösterilmesi gereken etki değerlendirmeleri yapılmalıdır
	Temiz oda / Hava kaçağı	Zaman içerisinde gerçekleşen basınç sızdırmazlığını korumak	Zaman içinde basınç sızdırmazlığını sağlamak, taze hava miktarının artmasını önlemeye yardımcı olur	Minimum sızıntı hava debi hızında basınç kontrolünün olası kararsızlığı	Minimum, kontrol edilmiş sızıntı hava akış hızını test etmek için (örneğin, rahatlatma damparları sağlayarak) önlem alın
	Yönetim programları	Doğru yönetim programlarını ayarlayarak HVAC sistemlerinin enerji verimliliğini korumak	Uygun bakım programları, filtrelerin basınç düşmesini en aza indirmeye ve HVAC bileşenlerinin verimliliğini maksimize etmeye yardımcı olur	Yok	
	Temizleme ve tertiplama	Doğru temizlik ve toparlama programları oluşturularak CR üzerindeki atık yükünü azaltmak	Uygun temizlik ve düzenleme programları, temiz odadaki kontaminasyon yükünü azaltmaya yardımcı olur ve enerji azaltma stratejilerini destekleyebilir	Yok	
Temiz oda idaresi (kullanım dışı bırakmak)	Kullanım dışı bırakmak	Kullanım dışı olan ve/veya düşük verimli temiz odalarda işlemi durdurmak	Eskimis ve/veya düşük verimli bir temiz odanın devreden çıkarılmasıyla elde edilen enerji tasarrufu, bitişik veya ilişkili odalar üzerindeki etkisini değerlendirmeyi gerektirir	Bitişik odalarda gereken parametreleri (sıcaklık, nem, basınç) korumakta yaşanan zorluklar	Uygun tasarımı sağlamak veya buna göre düzenlemeler yapmak için gerekli önlemleri alın

3.5 Temiz Odalarda Enerji Tüketimi

Temiz odalar, özellikle havalandırma ve iklimlendirme gibi alanlarda, sıradan odalara kıyasla çok daha fazla enerji tüketirler. Bu yüksek enerji tüketimi, hava değişim oranlarından, havanın ısıtılması, soğutulması, nemlendirilmesi ve neminin alınması süreçlerinde kullanılan enerjiden kaynaklanır. Temiz odaların tasarımı aşamasında öncelikle odanın kullanım amacına uygunluğu ve temizliğin önemi göz önünde bulundurulur. Ancak, temiz odalardaki hava kullanım süreçlerinde kullanılan enerjinin fazlalığı, enerji tüketiminin de tasarım aşamasında temizlik kadar önemsenmesi gerektiğini göstermektedir [32].

Gerektiği gibi iyi düşünülmüş ve planlanmış temiz odalarda temizlik en öncelikli konudur. Bu nedenle enerji tüketimi bu aşamada çok hesaba katılmaz. Bu da gereğinden fazla enerji tüketimine neden olur. Tıbbi olan ya da olmayan ürünler, steril olmayan ilaçlar ve diğer ürünler için steril ilaç üretimi gereksinimlerinin yaygınlaşması enerji tüketimini artırmaktadır.

Temiz odalar, parçacık konsantrasyonunun, sıcaklığın, nemin ve basıncın sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gereken ortamlardır. Bu parametrelerin istenilen değerlerden sapması, temiz oda içinde yapılan üretimi veya hastane gibi ortamlarda hastaları doğrudan etkileyebilir ve büyük kayıplara neden olabilir. Bu nedenle, temiz oda iklimlendirme sistemlerinde kullanılan ekipmanların seçiminde yüksek verim, dayanıklılık, uzun ömür ve düşük enerji tüketimi gibi özelliklere dikkat edilmelidir. Temiz oda iklimlendirme sistemleri, yılın 365 günü aralıksız çalıştığı için, özellikle düşük enerji tüketimli ekipmanların seçimi büyük önem taşımaktadır [32].

Temiz odalarda enerji tasarrufu, tasarım aşamasından başlayarak, cihaz-ekipman seçimi, uygulama ve bakım gibi her aşamada titiz çalışma, bilgi ve eğitim gerektirir. Bu nedenle, temiz odalarda çalışacak herkesin bu konuda eğitilmiş olması önemlidir. Temiz odalarda üretilen ürünlerin veya açığa çıkan zararlı gazların diğer alanlara karışma riski olmayan uygulamalarda, %100 taze hava kullanma zorunluluğu yoktur. Prosesin gereksinim duyduğu taze havanın dışındaki kısım, geri dönüşüm havası olarak kullanılabilir. Ancak geri dönüşüm havası, tekrar filtre kademelerinden geçirilerek kullanılmalıdır. Böylece ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf edileceği gibi, nemlendirme enerjisinden de tasarruf edilir. Isı geri kazanım üniteleri de enerji tasarrufu

açısından faydalıdır, ancak egzoz havasında kimyasallar veya zararlı mikroorganizmalar varsa kullanılmamalıdır [32].

Temiz odalarda başlıca enerji iklimlendirme ve havalandırma sistemleri, soğutma sistemleri ve aydınlatmada harcanmaktadır.

3.6 Aydınlatma

Aydınlatma, bir mekânın veya nesnenin görünür olmasını sağlamak için kullanılan ışıklandırma işlemidir. Aydınlatma, doğal veya yapay kaynaklardan gelen ışık kaynaklarını kullanarak bir mekânın veya nesnenin genel görünümünü, rengini ve atmosferini değiştirerek kullanışlı bir ortam kazandırır. Aydınlatma tasarımı, ışık kaynakları, armatürler ve kontrol sistemleri gibi unsurların seçimini ve yerleşimini içerir [33].

Aydınlatma gereksinimi, yapılan işin gerekliliğine göre değişmektedir. Aydınlatma iki yol ile sağlanmaktadır. Bunlar doğal ve yapay ışık olarak iki sınıfta tanımlanmaktadır. Yeşil binaların arttığı ve enerji tasarrufunun çok önemli olmaya başladığı günümüzde doğal aydınlatmanın önemi büyüktür. Ofis ve çalışma alanları doğal ışıktan maksimum seviyede yararlanacak şekilde tasarlanmalıdır. Ancak temiz oda gibi üretim alanları dışarıdan izole bir şekilde tasarlandıkları için yapay ışık ön plana çıkmaktadır. Uygun ve yeterli şekilde aydınlatılmış bir temiz oda, işlerin doğru ve etkili bir şekilde yapılmasını sağlar [34].

Temiz oda ortamları, hassas üretim ve laboratuvar çalışmalarının yapıldığı, mikroorganizmalardan, toz partiküllerinden ve diğer kontaminanlardan arındırılmış steril alanlardır.

Bu tür ortamlarda, aydınlatmanın önemi oldukça kritiktir. Doğru ve uygun aydınlatma, temiz oda işlemlerinin güvenliğini, verimliliğini ve kalitesini sağlamak için temel bir gerekliliktir. Yanlış aydınlatma, temiz oda içindeki görsel teftişin zorlaşmasına ve olası hataların gözden kaçma ihtimalini artırabilir. Ayrıca, yetersiz aydınlatma, çalışanların yanlış malzemeleri kullanmasına veya prosedürleri hatalı bir şekilde uygulamasına yol açabilir. Özellikle hassas elektronik üretim veya farmasötik endüstrilerde, doğru aydınlatma kalite kontrolünün başarılı bir şekilde yapılmasını ve son ürünlerin kusursuz olmasını sağlar. Temiz oda ortamlarında kullanılan doğru ve uygun aydınlatma sistemi, mikroorganizmaların kontrol altında tutulmasına ve hassas işlemlerin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olarak, son ürünlerin kalitesini ve güvenilirliğini artırır.

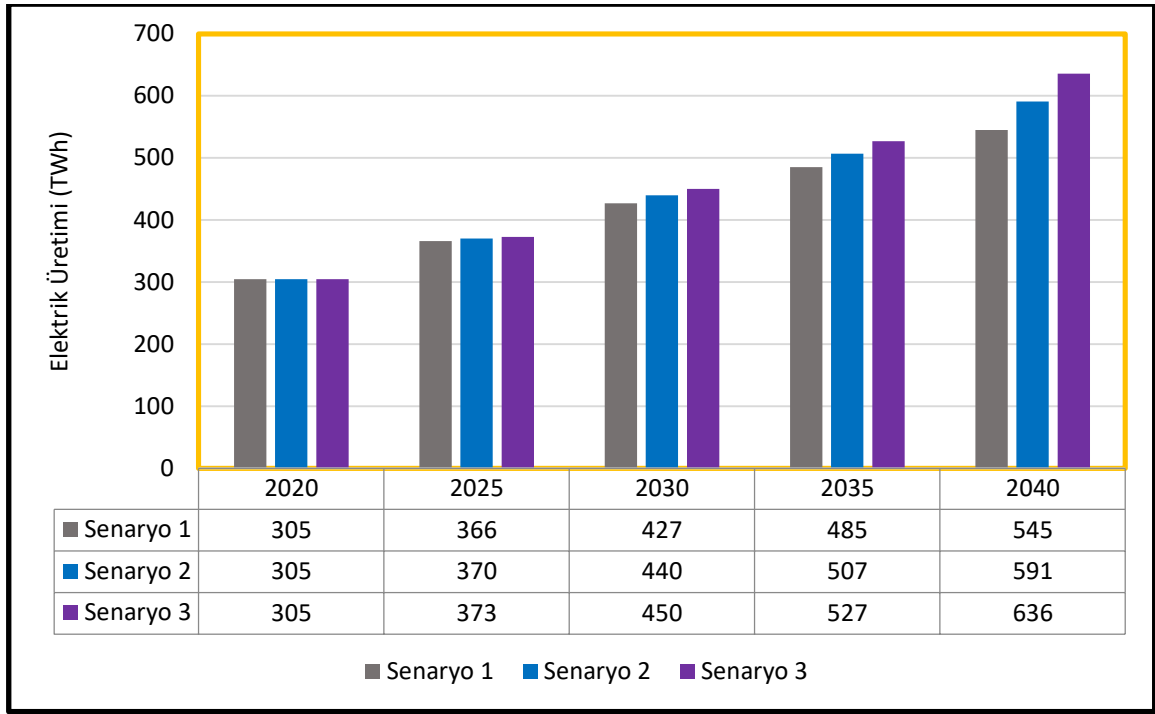
Temiz odalarda da iş sağlığı ve güvenliği açısından ışık şiddeti testleri yapılmaktadır. İş yerlerinde uygulanan doğru aydınlatmanın yararlarını sıralayacak olursak; iş verimi artar, ekonomik potansiyel sağlar, gözün görme yetisi artar, yaşam konforu artar, iş kazaları azalır. Tehlike ya da rahatsızlık yaratmayacak ve gözleri yormayacak uygun bir aydınlatmanın yapılabilmesi için çalışma alanlarının aydınlatılması için belirli değerler tespit edilmiştir [34].

Şekil 3.5’ te tipik bir temiz oda görüntüsü görülmektedir. Hastane, ilaç sanayi, medikal sanayi, gıda üretimi ve hijyenin önemli olduğu tesislerde, temiz oda kullanımının olduğu alanlarda yüksek performanslı, toza ve suya dayanıklı özel armatürler kullanmak gerekmektedir. Bu uygulamalarda aydınlatmanın kritik önemi bulunmaktadır. Arıza sürelerinin kısa, bakım ihtiyacının minimum seviyede olması da oldukça önemlidir. Bu nedenle, temizlenmesi kolay armatürlerin kullanılması önerilmektedir.



Şekil 3.5 Temiz oda aydınlatması [35].

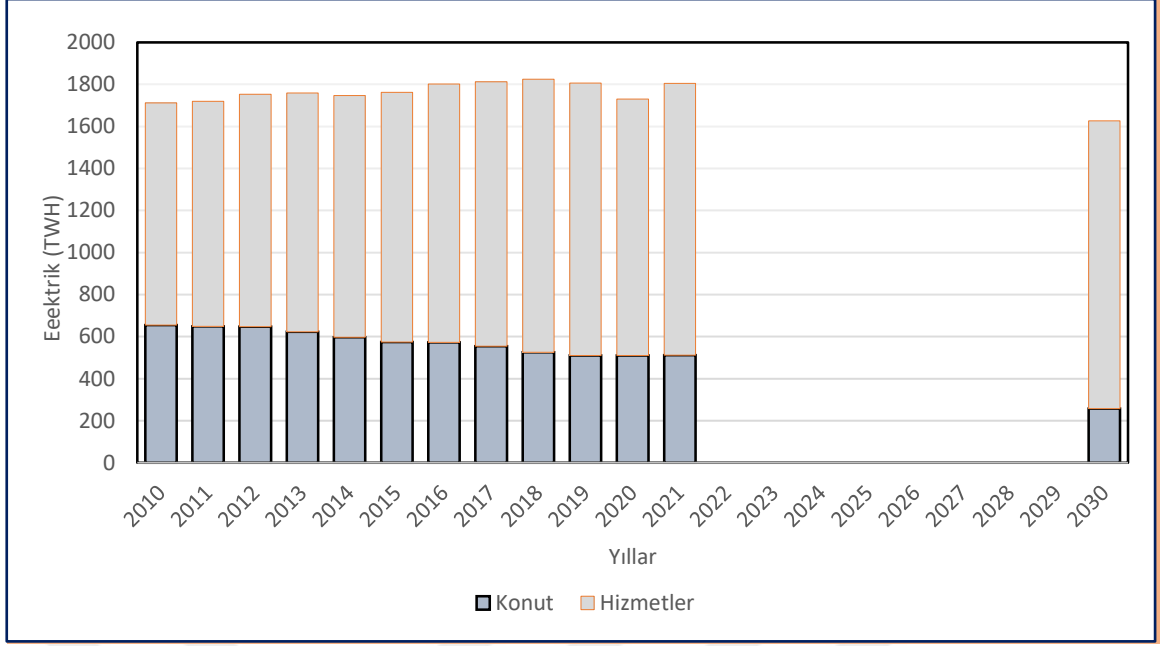
2021 yılında Türkiye’de elektrik enerjisi tüketimi bir önceki yıla göre %8,74 artarak 332,9 milyar kWh oldu. Elektrik üretimi ise geçmiş yıla göre %9,14 artış göstererek 334,7 milyar kWh olarak gerçekleşti. Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu’na göre, baz senaryoya göre 2020-2040 dönemi için elektrik tüketimi tahmini yapılıyor. Rapora göre, 2025 yılında elektrik tüketiminin 370 TWh, 2040 yılında ise 591 TWh değerine ulaşması bekleniyor. Şekil 3.6’da, yıllara göre elektrik talep serisini göstermektedir [33].



Şekil 3.6 Elektrik talep serileri [33].

2021 yılında Türkiye'de elektrik üretimi kaynaklarına göre şöyle gerçekleşti: kömürden %30,9'u, doğal gazdan %33,2'si, hidrolik enerjiden %16,7'si, rüzgârdan %9,4'ü, güneşten %4,2'si, jeotermal enerjiden %3,2'si ve diğer kaynaklardan %2,4'ü. Ancak, Türkiye'de hala elektrik tüketiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıt kullanan termik santrallerde üretilen 1 kWh elektrik enerjisi için yaklaşık 443 gram sera gazı CO₂ salımı gerçekleşmektedir [33].

Dünya genelinde, 2021 yılında konut ve hizmet sektörlerinde aydınlatma kaynaklı elektrik tüketimi yaklaşık %5 oranında artmış ve bu durum emisyon artışını tetiklemiştir. Net sıfır senaryosuna göre, küresel olarak aydınlatmada enerji tüketimi Şekil 3.7'de verilmiştir [33].



Şekil 3.7 Aydınlatma yoluyla küresel elektrik tüketimi (2010-2030), Net sıfır senaryosu [33].

Aydınlatma, enerji verimliliği açısından en önemli alanlardan biridir ve ülkemizde önemli bir elektrik enerjisi tüketim kaynağıdır. Aydınlatma sistemleri, ısıtma-soğutma sistemlerinden sonra en yüksek enerji tüketim kaynağıdır. Türkiye'de toplam elektrik enerjisinin %20'si aydınlatmada kullanılmaktadır [33].

Endüstriyel işletmelerde kullanılan elektrik enerjisinin %20'si, mağazalarda %30'u ve ofislerde yaklaşık %40'ı aydınlatma amacıyla harcanmaktadır. Bu oranlar, aydınlatma sistemlerinde ekonomik çözümlerin gerekli olduğunu açıkça göstermektedir [33]. Yoğun bir aydınlatma sisteminin kullanıldığı temiz odalar içinde bu konuda verimlilik çalışmalarına önem gösterilmelidir.

Temiz odalarda aydınlatma tasarrufu sağlamak için tasarım aşamasından başlayarak, cihaz ve ekipman seçimi, uygulama ve bakım gibi her aşamada titiz çalışma, bilgi ve eğitim gerekmektedir. Bu alanda çalışacak olan herkesin, bu konuda eğitilmiş ve bilgili kişiler olmasına özen gösterilmelidir.

Temiz odalar, hassas üretimlerin gerçekleştirildiği alanlardır ve aydınlatma tasarrufu sağlamak bu alanlarda büyük önem taşır. Aydınlatma sisteminin tasarımı ve seçimi, odanın özellikleri ve kullanım amacı göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Ayrıca, aydınlatma sistemleri düzenli bakım ve kontrol edilmelidir.

3.6.1 Temiz oda aydınlatma armatürü seçimi

Temiz odalarda aydınlatma armatürü seçimi önemlidir ve birkaç farklı faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Armatürlerin toz toplayıcı detayları olmamalı ve kolaylıkla silinebilir flaş yüzeyli olması gerekmektedir. Ayrıca armatürler, toz geçirmez ve su püskürtmelerine karşı korumalı olmalıdır, bu nedenle koruma sınıfı IP 65 tercih edilmelidir. Armatürlerin dış plastik esaslı camının kimyasallara karşı dayanıklı olması da önemlidir. Bu faktörlerin tümü tasarım aşamasında dikkate alınmalı ve uygun seçim yapılmalıdır. Temiz odalarda çalışacak kişilerin bu konuda eğitilmiş olmaları da önemlidir [33].

3.6.2 Temiz oda aydınlatma enerji tüketimi ve verimliliği

Temiz odalarda enerji maliyetleri yüksek olduğundan, enerji verimliliği önemli bir faktördür. Aydınlatma da temiz oda çalışmalarının kritik bir unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Temiz odalar, dışarıdan izole bir şekilde tasarlandığından dolayı, alanın aydınlatması için kullanılan ampullerin seçimi çok önemlidir. Flaman ampuller, yüksek ısı kaynak olmaları ve ömrünün kısa olması nedeniyle tercih edilmemelidir (ortalama 2.500 saat çalışma ömrü). Floresan ampuller ise daha verimli olmasına rağmen (ortalama 5.000-10.000 saat çalışma ömrü), tercih edilme oranı düşmektedir [33].

Son yıllarda LED armatürler, temiz odalarda aydınlatma için en çok tercih edilen armatürler arasına girmiştir. LED armatürler, floresan armatür formatından farklı olarak armatürün içine yerleştirilerek kullanılmaktadır ve daha verimli olmaları sebebiyle tercih edilmektedir. LED membran armatürlerin kullanımı, tavan sorunlarını da çözeceği için tercih edilebilir. Bu nedenle, temiz odalarda enerji verimliliğini sağlamak için LED armatürlerin kullanımı önerilmektedir [33].

LED'ler, akkor ampullere göre %90'a kadar daha az güç tüketirler. LED'lerin ömrü uzun olduğundan, bakım ve değiştirme maliyetlerinde enerji ve para tasarrufu sağlarlar. Bu da uzun vadede işletme maliyetlerini düşürür. LED'ler, floresan ve akkor ampullere göre kullanım ömrü açısından oldukça avantajlıdır. Tipik bir LED ışığı, değiştirilmeden 7 yıldan daha uzun süre kullanılabilir. LED ampuller, genellikle küçük floresan ampullerden on kat daha uzun ömürlüdür. Ayrıca, tipik akkor ampullere göre 133 kat daha uzun kullanım ömrüne sahiptirler. LED ışıklar, geleneksel aydınlatma türlerine göre oldukça az elektrik tüketirler [33].

3.7 Soğutma Cihazı (Chiller)

Bir sistemden veya bir prosesten ısı çekme işlemine soğutma denmektedir. Soğutma sistemine sanayide tesis içi kullanımda, ısı üreten sistemlerin soğutulmasında ve depo alanları gibi neredeyse tesisin bütün bölümlerinde ihtiyaç duyulmaktadır.

Soğutma sistemleri, sanayide toplam enerji tüketiminin %50'sine varan oranlarda enerji giderlerini meydana getirmektedir. Bu sebepten işletmenin soğutma ihtiyacı net olarak belirlenmeli ve ona uygun bir sistem kurulumu yapılmalıdır [36].

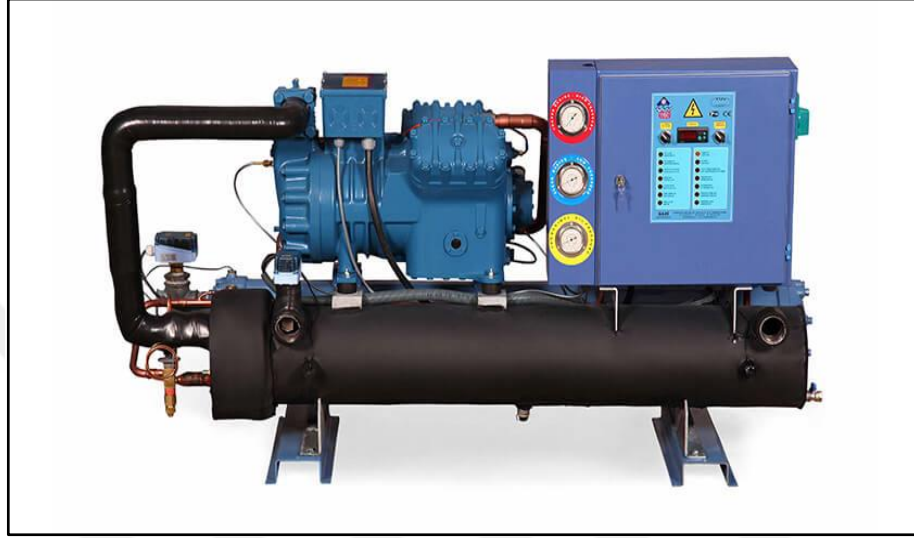
Genellikle chiller olarak İngilizce ismi ile bilenen asıl adı su soğutma cihazı olan bu cihazların kullanım amacı, ısıyı bir kaynaktan alarak diğer bir kaynağa transfer etmektir. Su soğutma cihazı içerisinde bulunan soğutucu gazın evaporatör ve kompresör üzerinden kazandığı enerjisinin, kondenser üzerinden atarak suyu soğutan sistemlerdir. Su soğutma cihazları su soğutmalı chiller ve hava soğutmalı chiller olmak üzere iki farklı şekilde bulunmaktadır.

Su soğutmalı sistemle hava soğutmalı sistem arasındaki en temel fark oluşan ısıнын nereye aktarıldığı ile ilgilidir. Kompresörde sıkıştırılan yüksek sıcaklıktaki gaz hava soğutmalı sistemlerde kondensere gönderilir, kondenser bataryaları yardımıyla üzerindeki fanlar ısı transferini gerçekleştirir ve üzerindeki gazı havaya aktarır. Bu çalışma prensibiyle çalışan chillerler hava soğutmalı chiller olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 3.8'te görülmektedir.[37].



Şekil 3.8 Hava soğutmalı chiller [38].

Hava soğutmalıdan farklı olarak su soğutmalı chiller cihazında ısı transferini meydana getirecek olan kondenserin batarya şeklinde değil de shell&tube veya plakalı ısı değiştiriciler vasıtasıyla gerçekleştirilmesidir. Kompresörden gelen yüksek sıcaklıktaki gazı shell&tube kondensere aktarmasıyla, dışarıdan ayrıca su alınarak gazın soğutulmasıyla gerçekleşir. Şekil 3.9’da görülen su soğutmalı sistemler su maliyeti az enerji maliyeti yüksek olan sistemlerdir [38].



Şekil 3.9 Su soğutmalı chiller [39].

Temiz odaların yanı sıra sanayide de soğutma genellikle chiller soğutma grubu ile yapılmaktadır. Chiller sisteminde bir adsorbant bir de absorbent olmak iki çift akışkan kullanılır. Sistemde gerçekleşen soğutma döngüsü düşük basınçtaki sıvı-gaz karışımının evaporatöre girmesiyle başlar. Bu kısımda proses akışkanı, soğutucuyu buharlaştırır ve düşük basınçlı gaz elde edilir. Sistemdeki düşük basınçlı gaz kompresöre basınçlandırılarak kondensere iletilir. Bu kısımda gazdan ısı çekilerek yüksek basınçlı sıvı elde edilir ve sistemde soğutma işlemi gerçekleşmiş olur. Bundan sonra yüksek basınçlı sıvı genleşme valfinden geçirilerek basıncı düşürülür ve sistemde çevrilmek üzere tekrar kullanılır [36].

3.7.1 Chiller bileşenleri

Chiller soğutma cihazları kondenser, evaporatör, kompresör ve yardımcı elemanlar olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır. Sistemde bulunan elemanların esas amacı bulunduğu yapıyı soğutmaktır. Bu elemanların görevleri şu şekildedir.

Kompresör: Soğuk su hazırlama sisteminde bu elemanın görevi, soğutucu akışkanı sıkıştırarak yüksek basınçta soğutma devresine yollamak ve sonrasında düşük basınçta

emmektir. Kurulacak işletmenin büyüklüğüne göre, helisel vidalı kompresör, pistonlu kompresör, döner paletli kompresör, santrifüj kompresör ve scroll kompresör kullanılmaktadır [40].

Evaporatörler: Bu cihazda soğutucu akışkanın alçak basınçta buharlaştırıldığı ve aynı anda bulunduğu ortamdan ısı alarak soğutma işleminin meydana geldiği yerdir. Evaporatör üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar gaz haldeki, sıvı haldeki ve katı maddeleri soğutması şeklindedir. Soğutma grubunda su soğutma işlemi gerçekleşeceğinden sıvı haldeki maddeleri soğutmak için kullanılan evaporatörler, Shell-tube evaporatörler tercih edilmektedir. Yapı olarak çift aynaya sahip olan gerek soğutucu akışkan tarafı gerekse diğer taraf olan su tarafı tek devreli ve çok geçişlidir. Isı aktarımını sağlayan bakır borulara özel bir işlemle açılan helisel boğumlar soğutucu akışkan bölümündeki ısı transfer katsayısını hatırı sayılır ölçüde arttırmaktadır. Bunun yanı sıra su devresine konulan hava burgacı perdeleri su tarafının ısı transfer film katsayısını yükseltmektedir. Böylelikle düz boruya oranla ısı transfer katsayısı yaklaşık olarak iki kat arttırılmaktadır [40].

Kondenserler: Sistemde buharın yoğunlaşmasını sağlayan cihazdır ve sistemde soğutma çevriminde kompresör tarafından sıkıştırılarak sıcaklık ve basıncı yükseltilmiş olan soğutucu buharından, bu noktada ısı alarak ortama bırakmaktadır. Su soğutmalı kondenser, soğutma çevrimi esnasında soğutucu buharının su ile soğutulup yoğuşmasının sağlandığı kondenser tipidir. Diğer bir taraftan soğutucu buharı eğer hava ile soğutulup yoğuşma sağlanırsa hava soğutmalı kondenser adı almaktadır. Shell-tube kondenser seçimi ile yüksek dayanıklılık ve kolay bakım elde edilebilmektedir. Çift aynalı kanatlı borulu Shell&tube şeklindeki kondenserler kolay sökölüp takılabilmelerinden dolayı kule suyundan kaynaklanan kirlenmelerin mekanik açıdan temizlenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Soğutma çevriminde, soğutucu akışkan buharının, hava ile suyun ortak kullanılarak soğutulup yoğuşmasının sağlandığı kondenser çeşidine evaporatif kondenser adı verilmektedir [40].

Yardımcı Elemanlar: Bütün kompresörler için tamamıyla bağımsız soğutucu devre ve devre elemanlarından meydana gelmektedir. Yüksek güvenilirlik ve kalitede soğutucu devre elemanlarının kullanımıyla sistem performansı ve güvenilirliği üst seviyededir. Her bir soğutucu devre soğutucu akışkan kapatma vanaları, nem alıcı, selenoid vana, gözetleme camı, termostatik genleşme vanası, alçak-yüksek basınç presostatı, tıresim absorberi, yağ basınç presostatı ve kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. Soğutma

aksesuarlarının görevlerini şu şekilde sıralayabiliriz. Sistemde çalışma güvenliğini sağlamak, çalışma koşullarını ve verimliliğini üst seviyede tutmak, yağlama yağının ve soğutucu akışkanın temiz tutulmasını sağlamak, önleyici bakım, servis, tamir işlemleri esnasında soğutucu akışkanın yolunu açıp kapatmak, normal çalışma esnasında soğutucu akışkanın yolunu açıp kapatmak ve daha sonra meydana gelmesi ihtimal aksaklıkları önceden kontrol ve tespit etmektir [40].

Evaporatör basınç regülatörü: Paralel evaporatörlerden birinde emiş basıncından farklı buharlaşma basıncı (sıcaklığı) meydana getirir.

Kondenser basınç regülatörü: Yaz aylarının aksine kış aylarında çevre sıcaklığı düştüğünde kondenserde taşma etkisi meydana getirerek basma hattı basıncının istenen seviyede tutulmasını sağlar.

Kapasite regülatörü: Soğutma kapasitesini istenen seviyede ayarlamak için kompresörün basma hattındaki gazın bir kısmını emme hattına by-pass eder.

Karter basınç regülatörü: İlk çalıştırma, uzun bekleme ve defrost zamanlarından sonra soğutma yükünün çok fazla olması sebebiyle kompresörün aşırı yüklenmesini, emme hattı basıncını kısırarak engeller. Kötü çalışma durumunda basınç emniyet cihazları patlama olasılığını en aza indiren veya sistemde yangına neden olacak bir basıncı, tehlike seviyesine çıkmadan kontrol etmek amacıyla kullanılan güvenlik kontrol cihazlarıdır. Cihazlar açılma işlemi ile akışkanı kaçırarak ya da basıncı, eğer güvenlik seviyesinin üstüne çıkmışsa azaltırlar. Soğutma sistemlerinde genel olarak yaylı emniyet cihazı ve eriyen tapalar kullanılır [40].

Soğutma öbeğinin çalışmasını sağlamak için sisteme bağlı kontrol elemanlarının ve sigorta, röle, kontaktör, termik manyetik şalter gibi elemanların yanında şalter ve mikro prosesörlü kontrol modülü ve kontrol kartlarını da içerisinde bulunduran elektrik panosu DKP (karbon çelik maddesi) sacdan imal edilmiştir [40].

3.7.2 Chiller enerji verimliliği /enerji tüketimi

Soğutma sistemleri temiz odaların yanı sıra endüstriyel işletmeler ve ticari binalarda gerek duyulan bir sistem olduğundan bu sistemlerde enerji verimliliği uygulamaları oldukça önemlidir. Enerji verimliliği için sistem bir bütün olarak ele alındığında yaz/kış hava koşulları değerlendirilmeli buna göre kule çevrim sıcaklıkları dikkate alınmalı, kapasite, kontrol mekanizmaları, basınç kaybı değerleri, bölgesel uyumluluk (suya yakın olma vs.), kompresör ve diğer elemanları detaylı olarak incelenmelidir [36].

Üretimde tüketilen elektrik enerjisi fiyatlarının sürekli artması nedeniyle, chiller soğutma cihazlarında kullanılan enerjinin verimli bir şekilde kullanılması önem arz etmektedir. Bu durum kendini soğutma cihaz tedarikinde düşük enerji sarfiyatlı ve enerji verimi yüksek olanların tercih edilmesi olarak göstermektedir. Bu bilgiler dikkate alındığında chiller soğutma gruplarında kullanılan scroll tip kompresörler yüksek verimlerine karşılık düşük enerji sarfiyatları ile öne çıkmaktadır. Soğutma sisteminin kullandığı enerjinin büyük bir kısmı kompresör tarafından harcanmaktadır. Bunun yanı sıra verimi etkileyen diğer bir husus; pistonlu kompresördeki pistonların ölü zamanlarında yani çalışmadıkları anlarda ortaya çıkan genleşme kayıpları ve buna ek olarak emiş valflerinde meydana gelen genleşme kayıplarıdır [41].

Sistemde bulunan tüm devre incelendiğinde ve verimlilik çalışmaları yapıldığında sistemin enerji verimliliğini %20-50'ye kadar arttırmak mümkündür. Sistemde kondensör suyunun sıcaklığındaki 1 derecelik değişim verimliliği %1-2 oranında değiştirmekte, suya yapılan arıtmalar ise sistem verimini %10'dan %35'e kadar arttırmaktadır. Bunun yanı sıra soğutma yüklerinde değişim oluyorsa hız sürücülü bir soğutma sistemi alınarak %5-40 arasında tasarruflara çıkarma olanağı mevcuttur [36].

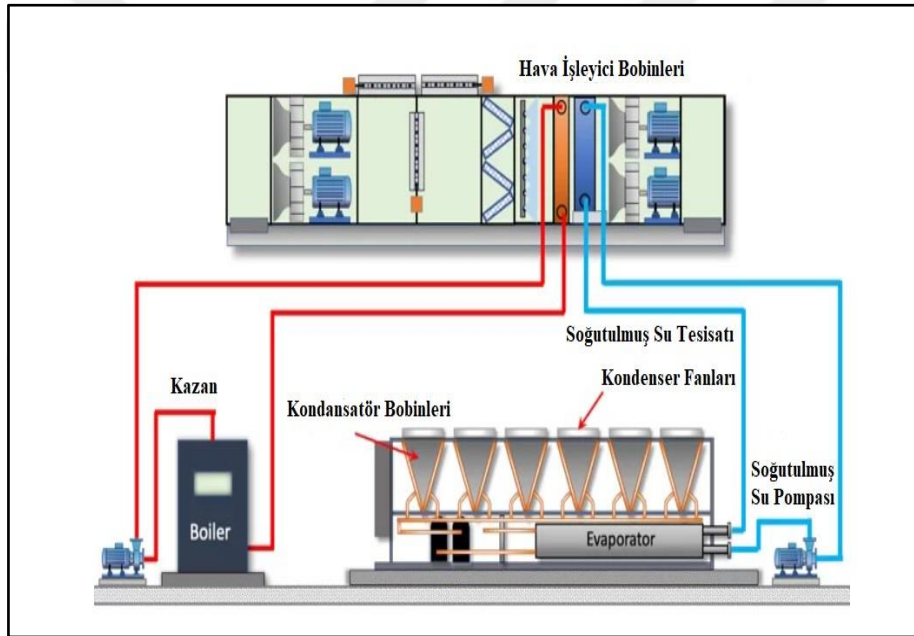
3.7.3 Chiller çalışma prensibi

Chiller soğutma sistemleri sanayi ve endüstriyel üretim tesisleri başta olmak üzere, plastik üretim tesisleri, kozmetik imalat tesisleri, soğuk hava depoları, oteller, hastaneler, gıda ve ilaç sektöründe kullanılmaktadır.

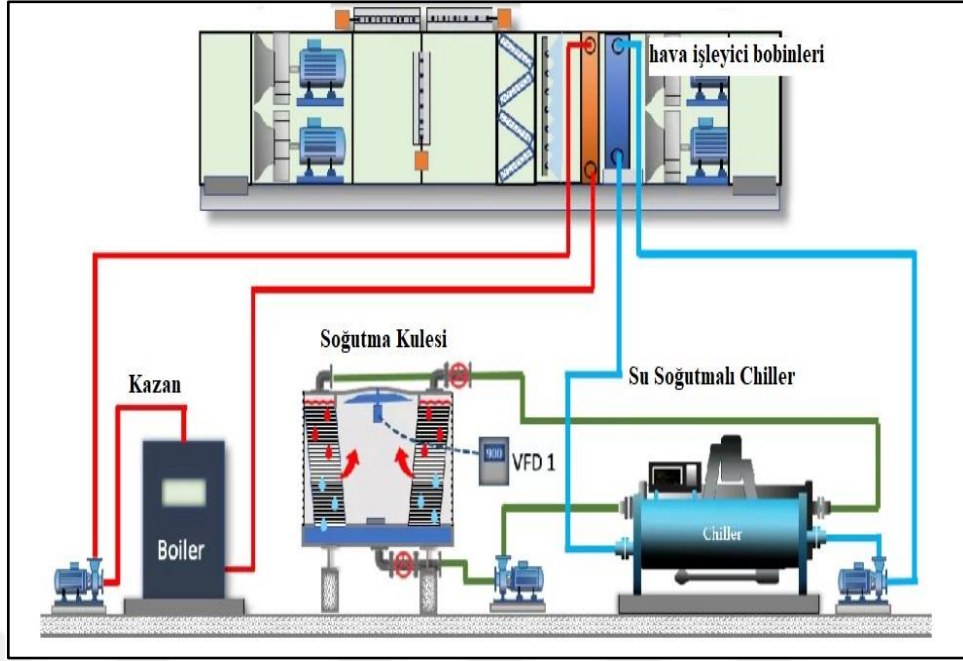
Soğutma sistemlerinin çalışması temel olarak; özel soğutma sıvısının kompresör, kondenser, kırılma vanası ve evaporatör takımlarında sağlamış olduğu döngüyle gerçekleşmektedir [42].

Soğutma sistemleri ısıyı bir kaynaktan alarak diğer bir kaynağa transfer eden, enjeksiyon soğutma sistemleridir. Kondenser, kompresör, genleşme vanası ve evaporatörden oluşmaktadır. Bu sistemde kompresörde sıkıştırılıp ısınan gazın kondenserde soğutulmasıyla çalışmaktadır. Bu işlemden sonra genleşme vanasından geçen gazın basıncı buna bağlı olarak sıcaklığı düşer. Sıcaklığı düşen gaz sıvı hale gelir. Evaporatörden aktarılırken soğutulmak istenen sıvının üzerinden ısıyı alır ve alçak basınçta gaz olarak kompresöre gelir. Ardından yeniden sıkıştırılır. Bu şekilde çalışma sistemi devam eder [42].

Çalışma prensibi olarak chiller soğutma cihazları su soğutmalı ve hava soğutmalı olarak iki gruba ayrılmaktadır. Soğutma mantığı açısından bakıldığında cihazlar aynıdır. Cihazlarda kullandığımız kondenserin yapısı bakımından farklılık bulunmaktadır. Baktığımızda hava soğutmalı chiller cihazında soğutucu akışkanı havayla soğuturken su soğutmalı chiller cihazında farklı olarak soğutucu akışkanı, su ile soğuturuz. Burada soğutucu akışkana su ile soğutma işlemi uyguladığımız için daha az akışkanla daha fazla soğutma yapabiliriz [44]. Şekil 3.10’da hava soğutmalı chiller şeması görülmektedir. Hava soğutmalı chiller şemasında, pompa, kazan, kondansatör, genişleme vanası ve evaporatör gibi temel bileşenler bulunur; bu bileşenler, soğutucu akışkanın döngüsel olarak sıkıştırılmasını, yoğuşturulmasını, genişlemesini ve buharlaştırılmasını sağlar.



Şekil 3.10 Hava soğutmalı chiller şeması [43].



Şekil 3.11 Su soğutmalı chiller şeması [43].

Su soğutmalı chiller cihazlarının iç mekânlarda da çalışma özelliği bulunmaktadır. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi ideal çözüm olarak su soğutmalı cihazların soğutma istenen bölgeye ve soğutma kulesine en yakın konumlandırılması tavsiye edilmektedir. Chiller sistemlerinde su soğutmalı chiller sistemlerinin hacminin minimize ederek aynı kapasitedeki diğer chiller cihazlarına nazaran daha az hacim kapladığını belirtmek gerekir. Buna ek olarak kompresör çalışma performansındaki yükselme nedeniyle daha az elektrik tüketimi yapmaktadır. Ek olarak bu soğutma sistemleri daha yüksek performans sağlamaktadır [44].

3.7.4 Chiller COP sayısı hesaplama

Chiller soğutma sistemlerinde makinelerinde çalışma verimlerinin bir ölçüsü olarak etkinlik katsayısı, Coefficient of Performance (COP) tanımlanmıştır. COP, çekilen ısı miktarının kompresöre aktarılan enerji miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır.

Bir soğutma cihazı için (COP);

$$COP = Q_L / W_{net} \quad (3.1)$$

Bu kısımda Q_L soğutma işleminin yapıldığı ortamdan çekilen ısıyı, W_{net} ise kompresöre verilen net işi tanımlamaktadır [46]. Bir çevrim esasına göre Soğutma makineleri çalışmaktadır ve çevrimiçi elde edilecek net iş;

$$W_{net} = Q_H - Q_L \quad (3.2)$$

Spesifik güç tüketimi (kW/TR), nominal durumda kW cinsinden enerji tüketiminin ton cinsinden ısı çıkarma oranı olarak tanımlanır.

Merkezi bir soğutulmuş su sisteminde, kompresör ünitesi dışında soğutulmuş su (ikincil) soğutma sıvısı pompası, ayrıca soğutma kulesindeki kondenser suyu (soğutma kulesine ısı atım için) pompası ve soğutma kulesi fanı tarafından da güç tüketilir.

Kompresör kW/TR, chiller su pompası, kW/TR, kondenser su pompası kW/TR, soğutma kulesi pompası kW/TR, genel kW/TR bunların toplamıdır. Ayrıca, COP sayısı herhangi bir derecelendirme koşulu setinde kW cinsinden soğutma kapasitesinin kW cinsinden toplam güç girdisine oranıdır.

$$COP = \frac{\text{Soğutma etkisi(kW)}}{\text{Çalışma Girişi(kW)}} \quad (3.3)$$

Teorik performans katsayısı (Carnot), ideal bir soğutma sisteminin soğutma verimliliğinin standart bir ölçüsü olan COP Carnot, iki temel sistem sıcaklığına yani evaporatör sıcaklığına (Te) ve kondenser sıcaklığına (Tc) bağlıdır.

Bu ifade ayrıca daha yüksek evaporatör sıcaklığı ve daha düşük kondenser sıcaklığı ile daha yüksek COP carnot elde edildiğini gösterir.

EER (energy efficiency ratio): Bir soğutma kompresörünün, paketlenmiş bir ünitenin ve ya başka bir cihazın BTU/h cinsinden net soğutma kapasitesinin, belirlenmiş çalışma koşulları altında bu cihaza W cinsinden elektrik girişine oranı olarak tanımlanır.

EER: Refrigeration effect BTU/h / Work Input

Kısmi yük EER veya COP'a dayalı tek bir başarı endeksidir. Çeşitli yük kapasitelerinde ağırlıklı çalışmaya dayalı olarak soğutma kompresörleri paket üniteler ve ısı pompaları için kısmi yük verimliliğini ifade eder [48].

A: COP veya EER at %100 kapasite

B: COP veya EER at %75 kapasite

C: COP veya EER at %50 kapasite

D: COP veya EER at %25 kapasite

$$kW/ton = 12/EER = 12/(COP \times 3,412) \quad (3.4)$$

3.8 Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC)

Heating, ventilation and air conditioning terimlerinin kısaltması olan HVAC açılımı, Türkçe olarak çevrildiğinde ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme olarak karşımıza çıkmaktadır. HVAC, bina ve araçların iç mekânını ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme için kullanılan bir sistemdir. Modern yapılar ve araçlar için vazgeçilmezdir. HVAC sistemleri, sağlıklı ve konforlu bir iç mekân yaratmak için hava kalitesini artırır ve ideal sıcaklık koşullarını sağlar. Ayrıca, enerji verimliliği açısından da önemlidir ve işletme maliyetlerini düşürebilir. HVAC sistemleri, günümüzün yaşam standartlarına uyum sağlamak için gereklidir ve yaşam kalitesini artırmak için önemli bir araçtır.

HVAC, sanayide birçok sektörde kullanılan ve enerji tüketiminin yüksek olduğu alanlarda sıklıkla tercih edilen bir sistemdir. Nephrocan firmasında da kullanılan ve Şekil 3.12’de görülen HVAC aynı zamanda temiz odalar, hastaneler, alışveriş merkezleri ve sosyal alanlar gibi geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ancak, HVAC sistemleri bu alanların tükettikleri enerjinin %15-60’ını oluşturabilir ve kullanıldığı yerin yapısına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, HVAC sistemlerinin enerji verimliliği çalışmaları oldukça önemlidir. Kullanıcıların enerji tasarrufu için bu sistemlere özen göstermeleri, hem maliyetleri düşürmek hem de çevreye duyarlı olmak açısından önemlidir [49].



Şekil 3.12 Nephrocan firması HVAC

Temiz odaların sıklıkla kullanıldığı ilaç, gıda, medikal gibi hijyenin önemsendiği alanlarda, temiz ve arındırılmış hava elde etmek, nem dengesini sağlamak için HVAC sistemleri oldukça önemlidir. Bu sistemler sayesinde konfor seviyesi en üst seviyeye çıkarılabilir ve işletme maliyetleri minimuma indirilebilir. HVAC sistemleri, tek bir merkezden kontrol edilebilir ve personel giderlerinin azaltılmasına da yardımcı olur. Ayrıca, enerji verimliliği ve kontrolü açısından da büyük öneme sahiptir [50].

3.8.1 HVAC sistemi çalışma prensibi

HVAC, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve termodinamik esasları üzerine çalışmaktadır. HVAC sistemi genellikle aşağıdaki adımları izler:

Isıtma: Isıtma işlemi, iç mekândaki sıcaklığı artırmak için kullanılır. Bu genellikle bir kazan veya ısı pompası tarafından sağlanır. Kazan veya ısı pompası, yakıt veya elektrik enerjisi kullanarak suyu veya havayı ısıtır. Isı enerjisi, ısıtma sisteminden geçen su veya hava aracılığıyla iç mekâna taşınır.

Havalandırma: Havalandırma sistemi, taze hava sağlamak, kirli havayı dışarı atmak ve iç mekândaki hava kalitesini iyileştirmek için kullanılır. Dışarıdan alınan taze hava, filtrelenir ve iç mekânın farklı bölgelerine dağıtılır. Kirli havanın dışarı atılması için egzoz fanları veya dışarıya açılan havalandırma kanalları kullanılır.

Klima: Klima sistemi, iç mekândaki sıcaklık ve nem seviyelerini kontrol etmek için kullanılır. Klima sistemi, soğutma işlemi ve/veya ısıtma işlemiyle çalışabilir. Soğutma işlemi, bir kompresör, bir kondenser, bir buharlaştırıcı ve bir genleşme valfi gibi bileşenlerin bir araya gelmesiyle gerçekleştirilir. Klima sistemi, havayı soğutarak veya ısıtarak iç mekânın istenen sıcaklık aralığında kalmasını sağlar.

Kontrol sistemleri: HVAC sistemi, termostatlar, sensörler ve kontrol panelleri gibi elemanlarla donatılmıştır. Bu kontrol sistemleri, iç mekândaki sıcaklık, nem ve hava kalitesini algılar ve HVAC bileşenlerinin çalışmasını kontrol eder. Termostatlar, kullanıcının tercih ettiği sıcaklık ayarlarını algılayarak ısıtma veya soğutma sistemlerini etkinleştirir veya devre dışı bırakır. Sensörler, iç mekândaki hava kalitesini ve nem seviyelerini izler ve gerekli ayarlamaların yapılmasına yardımcı olur.

Bu şekilde, HVAC sistemi iç mekândaki sıcaklık, nem ve hava kalitesini kontrol ederek, konforlu ve sağlıklı bir ortam sağlamak için çalışır. Bu sistemler, enerji verimliliğini artırmak ve enerji maliyetlerini azaltmak için tasarlanmıştır.

3.8.2 HVAC sistemi oluşturan donanımlar

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, iç mekânların sıcaklık, nem ve havalandırma düzenlemelerini sağlayan temel bileşenlerdir. Modern HVAC sistemleri genellikle hava filtreleme ve temizleme işlevleri de sunarlar. Cebri havalandırma sistemleri, havayı temizlemek için de kullanılabilirler. Ancak doğal havalandırma, özellikle nemli ve sıcak aylarda sınırlı kalmaktadır [51].

HVAC sisteminin üç temel fonksiyonu, iç mekânların kalitesini ve termal konforunu sağlamaktır. Isıtma ve iklimlendirme sistemleri sanayideki en karmaşık ve kapsamlı sistemlerden biridir. Şekil 3.13'te HVAC yapısı detaylı bir şekilde görülmektedir. HVAC sistemi, hava dönüşü, filtre, egzoz çıkışları, kanallar, elektrik elemanları, dış ünite, kompresör, bobinler ve fan gibi dokuz ana parçadan oluşur. Bu parçaların işlevleri ve özellikleri, HVAC sisteminin verimliliği ve etkinliği açısından önemlidir [51].

Hava dönüşü, HVAC sisteminin havalandırma döngüsünde kritik bir rol oynar. Sistemin başlangıç noktasını işaret eden hava dönüşü, geri dönüş havasını emerek ana sisteme yönlendirir. Bu aşamada havanın kalitesi, nem seviyesi ve kirleticileri gibi faktörler göz önünde bulundurularak filtrelenir. Daha sonra temizlenen hava, ana sisteme geçerek hava dolaşımı için hazır hale gelir. Bu nedenle, hava dönüşü, sistemin verimliliği, performansı ve iç hava kalitesi açısından son derece önemlidir.

Filtre, HVAC sisteminin ikinci aşamasıdır ve havanın kalitesini artırmak ve kirleticileri azaltmak için kullanılır.

Egzoz çıkışları, HVAC sisteminin bir parçasıdır ve ısıtma sistemi tarafından üretilen egzozun atıldığı noktalardır.

Kanallar, HVAC sisteminin içinden ısıtılmış veya soğutulmuş havanın geçtiği borulardır.

Dış ünite, HVAC sisteminin fanını barındıran bir birimdir ve hava akışını sağlar.

Kompresör, HVAC sisteminin dış ünitesinin bir parçasıdır ve soğutucu gazın sıvıya dönüştürülmesinden sorumludur. Bu sıvı, bobinlere gönderilerek devam eden işlemlerde kullanılır.

Kompresör, atmosferden aldığı havayı sıkıştırarak hidrolik ihtiyaçları karşılamak için kullanılan bir cihazdır. Genellikle motorlu bir yapı altında çalışır. Temel olarak, hava

veya farklı gazları atmosfer basıncının üzerinde sıkıştırarak depolar. Elektrik motorunun gücünü kullanarak havayı emerek tüp içerisinde sıkıştırır.

Bu şekilde, atmosferden emilen havayı yüksek oranda sıkıştırır ve ihtiyaç duyulduğunda motorlu kompresör cihazını çalıştırarak atmosfer basıncının üzerinde bir püskürtme işlemi gerçekleştirir. Bu basit uygulama yöntemi, birçok farklı sektör için önemli bir rol oynamaktadır.

Bobinler, genellikle HVAC sisteminin dış ünitesinin bir parçasıdır.

Fan, HVAC sisteminin ana bölümünden sıcak havayı çeker. Verimli bir şekilde hareket etmesi, sisteminizin dayanıklılığı açısından önemlidir.

Fanlar, hava veya benzeri gazları basınçlandırarak belirli bir akış yolu içinde hareket ettiren türbo makinelerdir. İyi bir fan, istenen performansı yerine getirirken az enerji tüketen, mümkün olduğunca az gürültü çıkaran ve düşük maliyetli olan fanlardır [52].

Fan tahrik sistemlerinde genellikle elektrik motorları kullanılır. Fanlar, sanayi ve ticari binalarda önemli miktarda elektrik tüketen cihazlardır. Türkiye'de hala verimleri yüksek olmayan ve eski teknoloji ürünü çok sayıda fan bulunmaktadır. Bu nedenle fanların ve fan sistemlerinin verimliliklerinin artırılması, enerji verimliliğinin artmasına katkı sağlayacaktır [52].

Fan ve fan sistemlerinde enerjinin verimli kullanılması, seçim, imalat ve işletme süreçlerinin uygun değer olmasıyla sağlanabilir. Çünkü fanlar, ömürleri boyunca ilk yatırım maliyetlerinin yüzlerce katı enerji tüketirler. Bu da demektir ki en iyi fan, en ucuz fan olmayabilir. Bu nokta önemlidir ve fan satın alırken ve fanın çalıştırılacağı sistem projelendirilirken buna dikkat edilmelidir.

Fanlar farklı şekillerde sınıflandırılır. Aksiyal fanlar, hava akımını fanın dönme eksenini doğrultusunda hareket ettiren bir tasarıma sahiptir. Radyal (santrifüj) fanlar, hava akımını fanın merkezine doğru ve radyal yönde hareket ettirir. Karışık akışlı (aksiyal-radyal) fanlar ise hem aksiyal hem de radyal akış özelliklerini bir araya getirir. Çatı türü fanlar, binaların çatısına yerleştirilen ve havayı dışarıya atma veya içeriye çekme işlevi gören fanlardır. Karşıt akımlı fanlar, hava akımını fanın girişine doğru ve karşıt yönde hareket ettiren fanlardır. Vorteks ya da rejeneratif fanlar, hava akımını fanın dönen rotorunun etkisiyle oluşan vorteksler aracılığıyla taşıyan fanlardır. Ayrıca diğer fan türleri de bulunmaktadır [52].

Fanlar, mekanik hareketin ve elektrik motorunun birleşmesinden oluşan bir sistemdir. Fan terimi genellikle pervane yerine alternatif olarak kullanılır. Pervane, fan hareketinin kalbidir ve hava hareketine enerji aktarır. Fanın verimliliği, pervaneye giren mekanik güç ile pervaneden çıkan güç arasındaki orana dayanır. Pervanenin çalışabilmesi için mekanik hareketin sağlanması için elektrik motoru gibi ek parçalara ihtiyaç duyulur [53].

Fan sistemlerinin ana doğal malzemesi hava olduğundan, fanlar havaya kinetik enerji ve statik enerji kazandırır. Fanın türüne bağlı olarak, kinetik enerji veya statik enerji daha belirgin olabilir. Emiş fanları, iç hava ve dış havanın karışımıyla çalışır. Bu fanlar, üfleme fanlarına kıyasla daha düşük hava debisiyle çalışırlar. Emiş fanları, ortamda bulunan kullanılmış ve kirlili havayı dışarı atar veya çeşitli filtre sistemlerinden geçirerek havayı temizler ve tekrar içeri akışını sağlar. Öte yandan, üfleme fanları kanal içinde pozitif basınç oluşturan fan çeşitleridir [54].

Fanların çalışma prensibi, pervanenin dönerek havayı hareket ettirmesiyle gerçekleşir. Pervane döndükçe, havanın kinetik enerjisi artar ve hava akımı oluşur. Bu akım, fanın tasarımına bağlı olarak aksiyal veya radyal yönde olabilir. Fanın gövdesi, hava akımını yönlendirerek istenen yönde hareket etmesini sağlar. Sonuç olarak, fanlar hava akımını kontrol ederek havayı basınçlandırır, taşır veya sirküle eder.

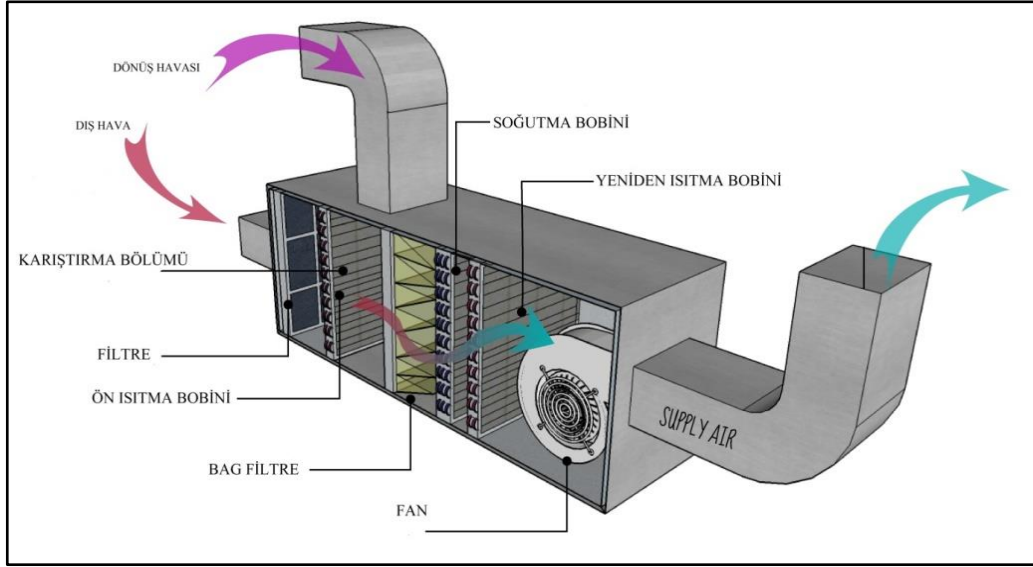
Fanın enerji tüketimi, sistemin debisi ve statik basıncı ile doğrudan ilişkilidir. En yüksek verimlilik teorik olarak, havayı en az güç kullanarak yönlendiren şekilde elde edilir [55].

$$AHP = (Q \times P) / 6,356 \quad (3.5)$$

AHP: Hava beygirgücü

Q: Hacimsel debi (ft³/d)

P: Basınç (inç su sütunu) veya direnç



Şekil 3.13 HVAC yapısı [56]

HVAC sistemlerinde havadaki partikülleri, kirleri ve diğer kontaminantları filtrelemek için farklı filtre tipleri kullanılır. HVAC filtreleri, hava kalitesini artırmak, çalışanların sağlığını korumak, ekipmanın verimliliğini artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak için çok önemlidir. HVAC sistemlerinde yaygın olarak kullanılan filtreler şunlardır:

Partikül Filtreleri: Bu filtreler, havadaki toz, polen, mantar sporları ve diğer küçük partikülleri filtrelemek için kullanılır. HVAC sistemleri için en yaygın kullanılan filtre tipleridir ve genellikle fiberglas, polyester veya elektrostatik malzemelerden yapılırlar.

Pileli hava filtreleri: Bu filtreler, pamuklu veya polyester kıvrımlardan yapılmıştır. Fiberglas filtrelerden biraz daha pahalıdır, ancak tozu ve polen, küf sporları ve evcil hayvan kepeği gibi diğer küçük parçacıkları filtrelemek için daha etkilidirler.

UV Filtreleri: Bu filtreler, havadaki mikroorganizmaları ve diğer zararlı partikülleri yok etmek için kullanılır. HVAC sistemleri için UV filtreler, ultraviyole ışınları yayarak bakteri, virüs ve mantarları öldüren UV-C ışınları kullanır.

Elektrostatik Filtreler: Bu filtreler, havadaki partikülleri elektrostatik olarak çeker ve yakalar. Elektrostatik filtreler, fiberglas veya diğer malzemelerden yapılmış yüksek gerilim yüzeyleri içerir.

Yüksek Verimli Partikül Tutucuları (HEPA): Bu filtreler, havadaki en küçük partikülleri bile filtrelemek için kullanılır. HVAC sistemleri için HEPA filtreler, fiberglas veya diğer malzemelerden yapılır ve havadaki en küçük partikülleri bile tutarlar.

Bu filtreler, HVAC sistemlerinde hava kalitesini artırmak ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlamak için önemlidir. HVAC sistemlerinin tipine ve uygulamasına bağlı olarak, farklı filtre tipleri kullanılır [57].

HVAC’lerde havayı dağıtmak ve/veya çıkarmak için kullanılan geçitlere havalandırma kanalları denilmektedir. Besleme havası, dönüş havası ve egzoz havası gibi gerekli hava akışlarını içermektedir. Bu sebeple; bu kanallar, kabul edilebilir iç hava kalitesinin yanında termal konfor sağlamanın bir metodudur [58].

Havalandırma kanalları, galvanize çelik, paslanmaz çelik, çeşitli polimer türleri ve metal plastik gibi malzemelerden yapılırlar [59].

İdeal koşullar altında, yapıların içindeki hava, havalandırma sistemleri aracılığıyla düzenli olarak yenilenir. Ancak havalandırma sistemi yalnızca havayı temizlemekle kalmaz, aynı zamanda iç mekânın sıcaklığını ve akustik performansını da etkiler. Hava kanallarının izolasyonu, iç mekân havasının daha konforlu ve temiz tutulmasına yardımcı olurken, havalandırma gürültüsünün ortadan kaldırılmasına da katkıda bulunur. Hava kanallarının izolasyonu, kanal boyutu, çapı ve faaliyet alanına göre değişebilir. Ancak her hava kanalı için izolasyon işlemi uygun olmayabilir. Bu nedenle, hava kanalı seçilirken izolasyon için uygun olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde, izolasyon işlemi havalandırma sistemi üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. İyi bir izolasyon işlemi, genellikle hava kanallarının dış yüzeylerinin kaplanmasıyla gerçekleştirilir [60].

Havalandırma kanallarının izolasyonu, iç mekân havasını kirden, tozdan ve mikroplardan arındırırken, aynı zamanda gürültüyü azaltır ve ısı izolasyonu sağlar. Bu, havalandırma sistemlerinin verimli ve uzun ömürlü kullanımı için önemlidir [61].

Havalandırma kanallarının izolasyonu hem ses hem de ısı izolasyonu yapmak için kullanılabilir. Özellikle kapalı mekânlarda düzenlenen konser, tiyatro, sinema gibi etkinliklerde fanların gürültülü çalışması ve hava akımından kaynaklanan gürültü, ciddi bir sorun oluşturabilir. Bu nedenle ses izolasyonu, etkinliklerin daha sessiz ve konforlu hale getirilmesine yardımcı olur. Ayrıca, havalandırma kanallarının aşırı sıcaklıktan zarar görmesi de bir endişe kaynağıdır. Isı izolasyonu, havalandırma kanallarının aşırı ısıdan korunmasını sağlar ve böylece sistemlerin daha uzun süre sorunsuz bir şekilde çalışmasına olanak tanır [61].

Isı ve ses yalıtımı sağlamak için farklı malzemeler kullanılabilir. Bunlardan biri poliüretan yapısı köpük olup güneş gören yerlerde ısı izolasyonu için koruyucu boya ile boyanarak kullanılır. Cam yünü ise -50 ile +250 derece arasında kullanılabilen şilte, levha veya boru şeklinde üretilir. Yangına karşı da güvenlik sağlar. Taş yünü de ısı ve ses izolasyonu sağlar ve dış yüzeyinde alüminyum folyo ile hava sızdırmazlık için bantlar kullanılır. Kauçuk levhalar ise kauçuktan üretilir ve kanallara uygulanırken arada boşluk bırakılmaması ve sızıntı riskinin önlenmesi için yapıştırılır [61].

İzolasyon malzemesi seçimi yaparken dikkate alınması gereken birçok kriter bulunmaktadır. Bu kriterler arasında, malzemenin ısı iletim katsayısı, yoğunluğu, yangın sınıfı, sıcaklık ve mekanik dayanımı, buhar difüzyon direnci, boyutsal kararlılık, su emme, yanması durumunda malzemeden çıkacak dumanın insan sağlığı açısından ne derece risk taşıdığı, doğaya zararının olup olmadığı, bakteri oluşumunu ne derece engellediği ve maliyeti yer almaktadır. Bu kriterler göz önünde bulundurulduğunda, doğru izolasyon malzemesi seçimi yapmak mümkün olacaktır [61].

İzolasyon, kanallar ve hatlar gibi HVAC sistemlerinde önemli bir unsurdur. İzolasyon malzemeleri, sıcak veya soğuk hava akışını sınırlar ve bu sayede enerji tasarrufu sağlar. İzolasyon ayrıca, havadaki nemin HVAC sistemlerinin içinde birikmesini ve küf veya mantar gibi organizmaların büyümesini önler.

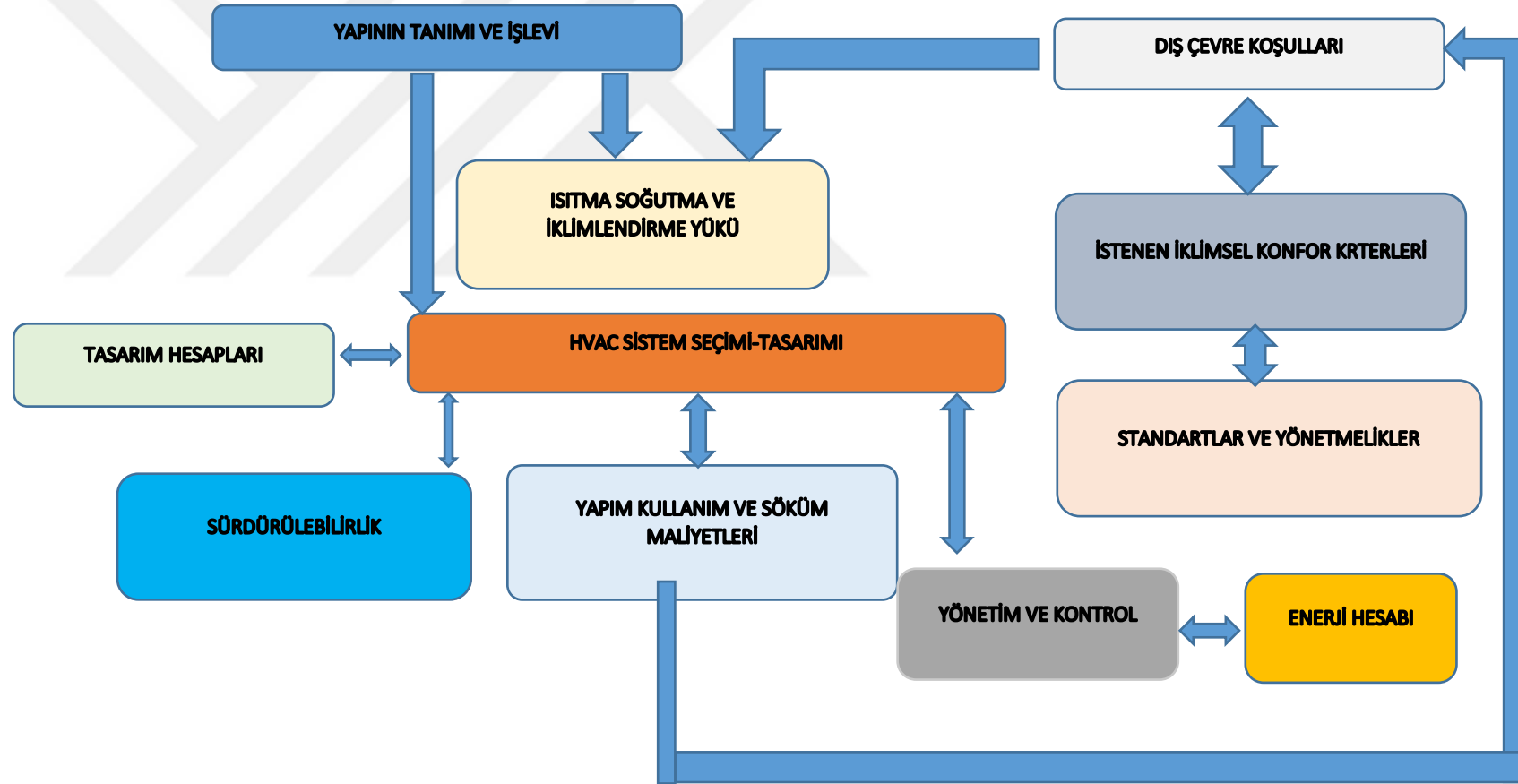
Özellikle büyük ticari binalar, temiz odalar veya endüstriyel tesisler gibi büyük HVAC sistemlerinin bulunduğu alanlarda, doğru izolasyon, enerji tasarrufu açısından çok önemlidir. İyi bir izolasyon, ısı kayıplarını minimize eder ve daha az enerji kullanarak daha iyi bir ısıtma veya soğutma verimliliği sağlar. Bu sayede işletmeler, enerji maliyetlerini azaltabilirler.

Ayrıca, HVAC sistemlerinin içindeki nemin kontrol altında tutulması, izolasyon malzemelerinin sağladığı bir diğer faydadır. Havalandırma kanalları ve hatları, nemin birikmesine ve küf veya mantar gibi organizmaların büyümesine uygun ortamlardır. İyi bir izolasyon, nem birikmesini önleyerek, havadaki nemin HVAC sistemlerinin içinde bulunan nemin düzeyini kontrol altında tutmaya yardımcı olur. Bu da, HVAC sistemlerinin verimli çalışmasını sağlar ve iç hava kalitesini korur.

Sonuç olarak, izolasyon, HVAC sistemlerinde enerji tasarrufu ve iç hava kalitesi açısından önemli bir unsurdur. İyi bir izolasyon, enerji maliyetlerini azaltırken, HVAC sisteminin verimli çalışmasına ve sağlıklı iç hava kalitesinin korunmasına yardımcı olur.

3.8.3 HVAC sistem seçimi

Uygulama yapılacak yapı için sistem seçimi yaparken, gerekli veriler titizlikle toplanmalı, öncelikler, ihtiyaçlar belirlenmeli ve sistem tercihi ile tasarımı bilinçli bir şekilde yapılmalıdır. Şekil 3.14'te, sistem seçimi ve tasarımı için gereken verilerin başlıkları ve ilişkili durumları görülmektedir. Özellikle seçilecek olan sistemin, en az 15 yıl boyunca kullanılması planlanmalıdır. Sistemin ekonomik olup olmadığı, enerji tüketimi, sahip olduğu yetenekler ve seçim ölçütlerindeki beklentileri ne ölçüde karşılayabileceği dikkatlice incelenmelidir. HVAC sistemlerinin tasarımı için "ne için?" ve "kim için?" soruları oldukça önemlidir. Chiller sistemleri, ısı konfor ve iç hava kalitesinde çözüm sunarak, yapıdaki konfor arayışının merkezinde yer almaktadır. Kullanıcıların fizyolojik özelliklerinin bilinmesi, iklimsel konfor kriterlerinin belirlenmesi ve yük hesaplarının yapılması açısından önemli bir rol oynamaktadır. Tüm sistemlerin ve yapıların soğutulup ısıtılabilmesi bilinmektedir. Ancak, burada yapıyı nasıl işlettiğimiz önem kazanmaktadır. Yapı işletmesiyle uyumlu olan sistem ve bileşenlerin en doğru seçilmesi gerekmektedir. Sistem seçimi yapılırken öncelikle hangi amaç için hizmet edeceği, beklentilerin ve hedeflerin neler olduğunun belirlenmesi gerekmektedir [62].



Şekil 3.14 Sistem tasarımı için gerekli veriler [62].

3.8.4 Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi (VCR)

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri, dünyada en yaygın kullanılan soğutma sistemlerinden biridir. Bu çevrim mekanik enerjiyle çalışmaktadır. Bu sistemler, bir soğutucu gazı sıkıştırarak çalışır, bu da gazın sıcaklığını ve basıncını yükseltir. Yüksek basınçlı, yüksek sıcaklıktaki gaz daha sonra yoğunlaşır, ısısını salar ve yeniden bir sıvı haline dönüşür. Sıvı soğutucu daha sonra genleşme valfi ile geçer, basıncı ve sıcaklığı düşürülür ve böylece çevresinden ısı absorbe ederek buharlaşır ve ortamı soğutur. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinin dört temel bileşeni, kompresör, kondenser, genleşme valfi ve evaporatördür. Kompresör, soğutucu gazı sıkıştırmaktan sorumludur, kondenser ise gazdan ısı alır ve tekrar sıvı haline dönüştürür. Genleşme valfi, sıvı soğutucunun basıncını ve sıcaklığını düşürerek buharlaşmasına ve çevresinden ısı absorbe etmesine olanak tanır. Evaporatör ise buharlaşan soğutucu ile soğutma etkisi oluşturulan bileşendir [63].

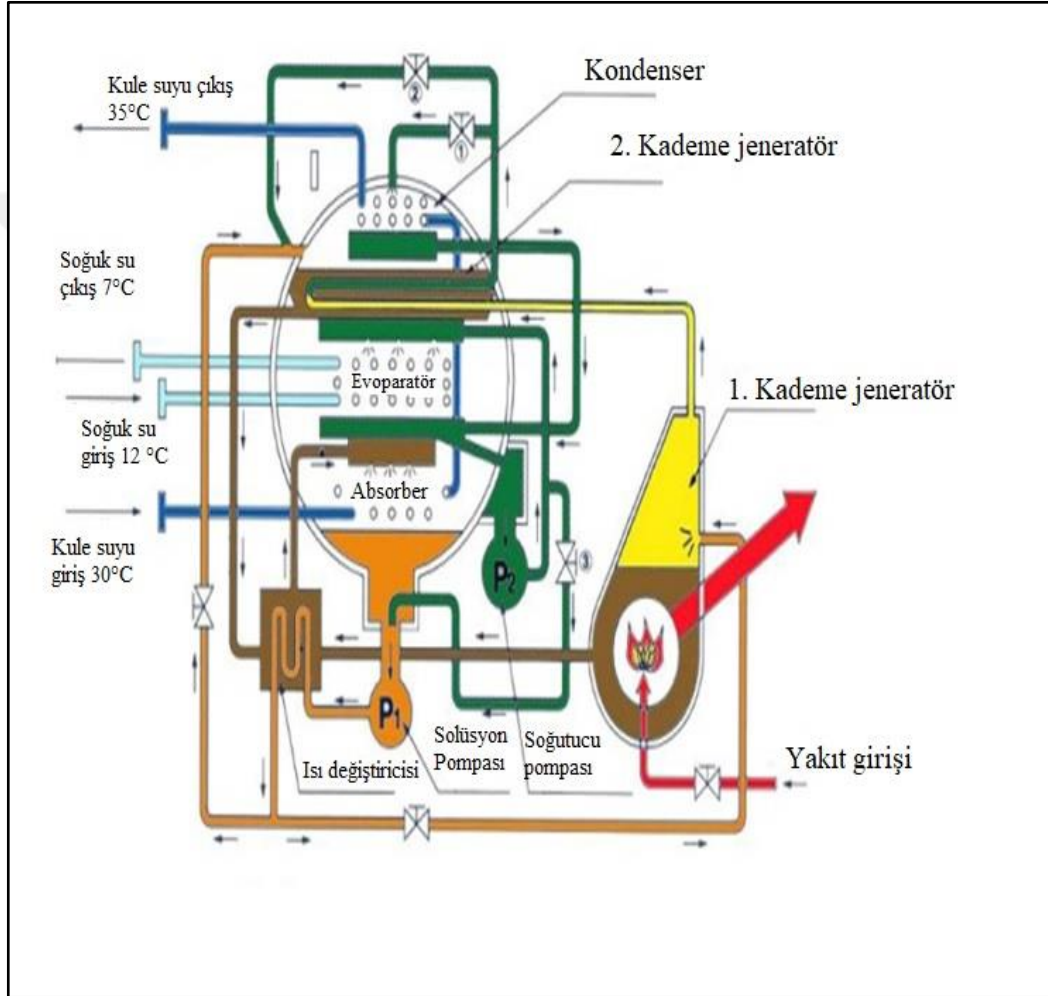
Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri, ev ve iş yerlerinde kullanılan klima sistemleri, buzdolapları, dondurucular ve endüstriyel soğutma sistemleri de dâhil olmak üzere geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılır. Diğer soğutma sistemlerine göre genellikle daha verimli ve güvenilirlerdir, bu nedenle çoğu uygulama için tercih edilen seçenektir. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri, en uygun performansı sağlamak ve arızaları önlemek için düzenli bakım ve özen gerektirirler [63].

3.8.5 Buhar absorbsiyonlu soğutma sistemi (VAR)

Buhar absorbsiyonlu soğutma sistemleri, sıkıştırma, yoğunlaşma, genleşme ve buharlaştırma gibi buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemindeki tüm süreçleri içerir. Bu çevrim termal enerjiyle çalışmaktadır. Şekil 3.15'te absorbsiyonlu soğutma sistemi şematik gösterimi mevcuttur. Soğutucu akışkan kondenserde yoğunlaşır ve buharlaşma alanında buharlaşır. Soğutucu akışkanlar evaporatörde soğutma etkisi yaratır ve ısıyı kondenser aracılığıyla atmosfere salgılar. İki sistem arasındaki en büyük fark, soğutma çevriminde soğutucu akışkanın emiş ve sıkıştırılması yöntemidir. Bir buhar sıkıştırma sisteminde, kompresör soğutucu akışkanı evaporatörden emer ve yüksek basınç altında sıkıştırır. Kompresör ayrıca soğutucu akışkanların tüm soğutma döngüsü boyunca akışını sağlar. Buhar emme döngüsünde, emme ve sıkıştırma işlemi, emiciler ve jeneratörler adı verilen iki farklı cihaz tarafından gerçekleştirilir. Böylece emici ve jeneratör, buhar emme döngüsünde kompresörün yerini alır [64].

Sistemde emici, soğutucu akışkanın jeneratöre akmasını sağlar. Buhar sıkıştırma ve buhar emme döngüleri arasındaki bir diğer önemli fark, enerji girişinin sisteme verildiği yöntemdir. Buhar emme sisteminde enerji girişi ısı olarak verilir.

Isı, doğal gaz, gazyağı, ısıtıcılar vb. gibi kaynaklarda üretilebilir, ancak bu kaynaklar sadece küçük sistemlerde kullanılır. Buhar absorpsiyonlu soğutma sistemleri, ısı enerjisinin düşük maliyetle kolayca temin edilebildiği yerler için idealdir. Bu işlem buhar santralleri için en iyisidir [64].

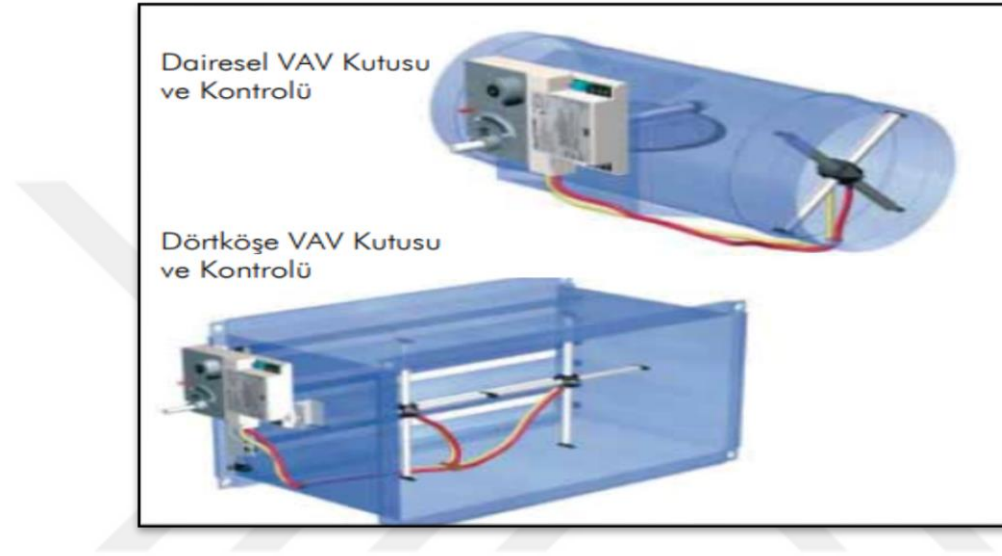


Şekil 3.15 Absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik gösterimi [65].

3.8.6 Değişken hava hacimli sistem (VAV)

Geleneksel sabit hacimli (CAV) sistemlere göre Değişken Hava Hacimli (Debili) (VAV- Variable Air Volume) VAV sistemleri, tüm dünyada kullanımı enerji tüketimi yönünden tasarruf sağladıkları için daha fazladır. Bu sistemde merkezi olarak bir hava işleme ünitesi (klima santrali) ile çalışırken havası şartlandırılan alanda ısı değiştirici ve

gürültülü çalışan fanlara ihtiyaç duyulmaz. Soğutma gereksinimine göre VAV sistemi, besleme havasının miktarını, sistemde bulunan hassas hava akış hissedicileri ile birlikte kontrol etmektedir ve ihtiyaç halinde değiştirmektedir. Her alan için hava akışı ve buna bağlı soğutma miktarı ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. VAV sistemleri hava akış üniteleri (terminal), basınçtan ayrı olarak hava hacmini çok hassas olarak ölçüp kontrol etmektedir. Hava hacmini ısı yüküne bağlı olarak kontrol etmektedir. Bu tür hava akış ünitelerine VAV kutusu, VAV terminali ya da VAV ünitesi denilmektedir [66].



Şekil 3.16 VAV kutusu kontrolü [66].

Şekil 3.16’da iki tip VAV kutusu ve kontrolü görülmektedir. Oda ısısını odada bulunan kişi termostat aracılığıyla ayarlar, daha sonrasında VAV kutusu, oda ısısını belli sabit bir ayarda tutmak için en düşük ve en yüksek belirlenmiş hacim değer aralığı içinde kalarak hava hacmini değiştirir. İç ve/veya dış ısı yükü eğer yükselirse, besleme hava hacmi de yükselir. Besleme hava hacmi ısı yükü düştüğü vakit azalır. En düşük hava hacminde ısı yükü, sağlanan oda sıcaklığının altında kalırsa, ek ısıtma bataryasını VAV kontrolü devreye alır ve oda sıcaklığının aynı seviyede kalmasını besleme havasını ısıtarak sağlar. Hava çıkışı değişken hacimli bir sistemde tam doğrusaldır. Teorik olarak odaya beslenen hava miktarı %0 ile 100 değer aralığındadır. Fakat bu aralığın pratikte %40 ile 100 arasındaki değer aralığında olması beklenmektedir [66].

VAV (değişken hava debisi) ünitesi seçerken en düşük hava hacmi için iki önemli ölçüt vardır:

En az taze hava miktarı: Odada bulunan insanların sağlığı için belirli bir miktarda taze hava gereklidir. Bu nedenle, VAV ünitesinin seçimi sırasında en az taze hava miktarı belirlenmeli ve bu miktarın altında hava hacmi ayarlanmamalıdır.

Besleme dağıtıcısının yeterli hava dolaşımını sağlayabileceği en düşük hava akışı: VAV ünitesinden çıkan hava, besleme dağıtıcısına beslenir. Bu noktada, dağıtıcının yeterli hava akışını sağlayabilmesi için bir asgari hava akışı gereklidir.

Ayrıca, besleme havasının dağıtıcıdan çıkış hızı da önemlidir. Eğer odaya beslenen hava miktarı ve havanın çıkış hızı yeterince düşük değilse, odadaki hava dağılımı ve hareketi yetersiz olacaktır. Bu durumda, besleme havası dağıtıcıdan çıktığında oda içinde yayılmadan aşağıya doğru düşecek ve bu bölgede hava hareketi olurken diğer bölgelerde hava hareketsiz kalacaktır. Sonuç olarak istenen konfor koşulları sağlanamayacaktır [66].

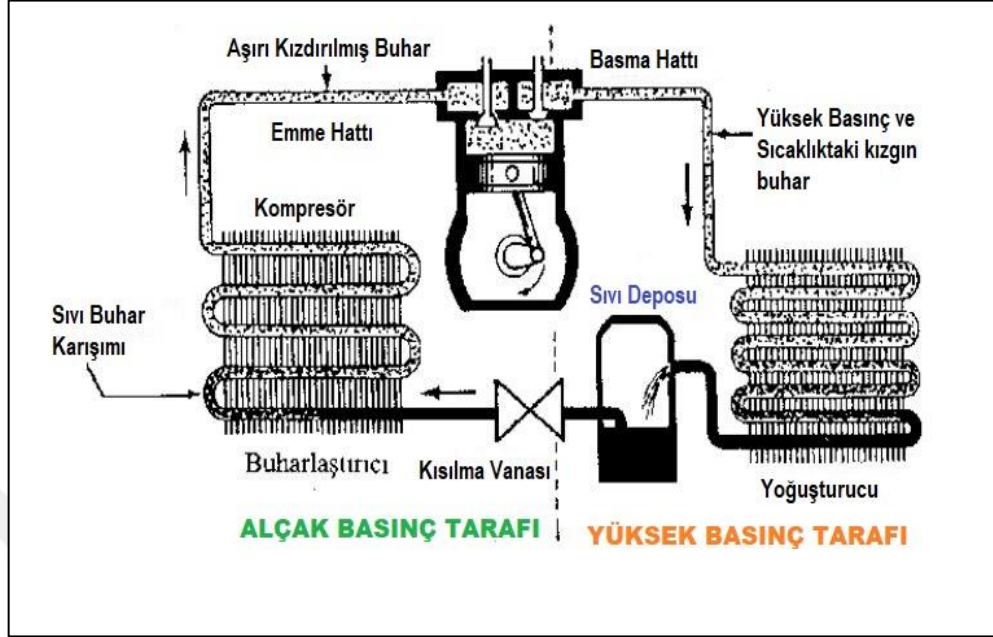
Odada rahatsız edici hava akımlarının oluşmaması için odaya beslenen hava miktarı ve hızı dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır. Isıl konforun sağlanması sadece hava yayıcılarının seçimiyle sınırlı değildir. Ayrıca iç ve dış ısı yükleri hesaba katılarak odaya beslenmesi gereken hava hacmi doğru bir şekilde belirlenmeli ve VAV ünitesinin kapasitesi istenen gereksinimleri karşılamalıdır. Hava dağıtıcıların tavan planı dağıtım kalitesini etkileyebilir bu nedenle doğru yerleştirilmesi önemlidir. Besleme havasının ve VAV ünitesinin özellikleri yeterli olsa da uygun yerleştirilmemiş hava dağıtıcıları yetersiz hava beslemesine neden olabilir [66].

3.8.7 Buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi, soğutma alanında en yaygın ve tercih edilen sistemdir. Şekil 3.17’de buhar sıkıştırırmalı mekanik soğutma çevrimi görülmektedir. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminde, bir kompresör, bir kondenser (yoğunlaştırıcı), bir genleştirici (genleşme vanası veya kılcal boru) ve bir evaporatör (buharlaştırıcı) bulunur. Bu elemanlar bakır borularla birbirlerine seri olarak bağlanır ve kapalı bir devre oluşturulur. Sistem, dışarıdan sağlanan iş sayesinde soğutucu akışkanın mekanik olarak sıkıştırılması prensibine dayanır [67].

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde, kompresörde yüksek basınca sıkıştırılan soğutucu akışkan yoğunlaştırucuya gönderilir. Yoğunlaştırucuda, çevreye ısı vererek yoğunlaşan akışkan alçak basınca kısılma vanası vasıtasıyla geçerek buharlaştırıcıya girer. Buharlaştırıcıda, ortam sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahip olan akışkan,

ortamı soğutarak buharlaşır ve kompresör tarafından emilir. Bu döngü sürekli olarak devam eder ve sistem, kapalı bir devre oluşturarak soğutma işlemini gerçekleştirir [67].



Şekil 3.17 Buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma çevrimi [67].

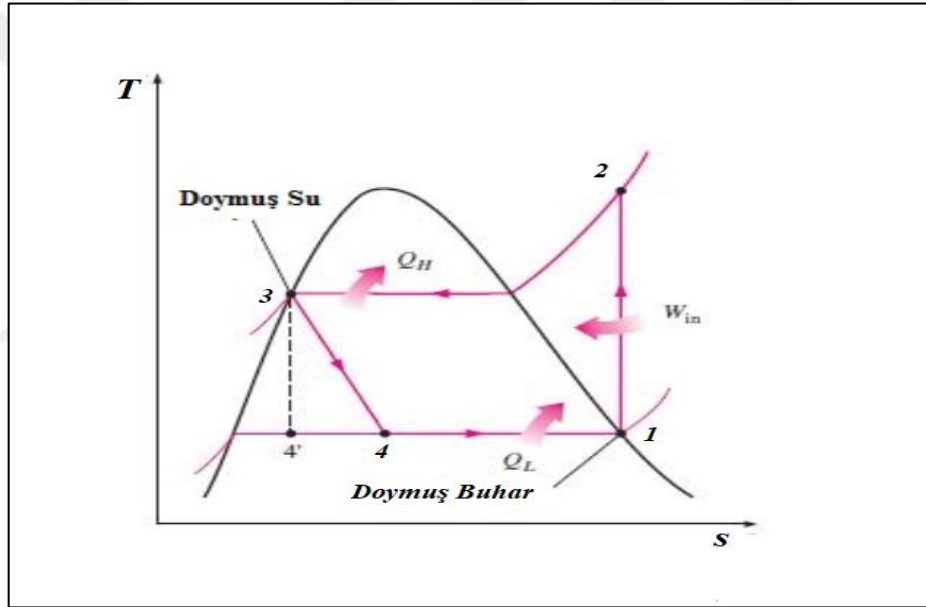
Soğutma makinelerinin genel olarak kullandığı çevrim, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir. Bu çevrimde, soğutulmak istenen alandaki sıcaklık ölçülür ve sıcaklık düşürülür. Bu işlem düşük buharlaşma sıcaklığına sahip soğutucu akışkanlar kullanılarak gerçekleştirilir [68].

Soğutma sistemleri, ideal bir çevrim olan soğutma çevrimi ile çalışırlar. Bu çevrim, dört ana bileşenden oluşur: kompresör, yoğusturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcı. Bu sistemde tek bir soğutucu akışkan kullanılır ve çevrim sırasında dört farklı hal değişimi gerçekleşir. İlk olarak kompresörde izentropik sıkıştırma gerçekleşir. Daha sonra yoğusturucuda soğutucu akışkanın ısısı çevreye aktarılır ve akışkan sıvılaşır. Kısılma vanasında basınç düşürülerek akışkanın genleşmesi sağlanır. Son olarak, buharlaştırıcıda sabit basınç altında ısı alınarak soğutucu akışkanın tekrar buharlaşması sağlanır.

Soğutucu akışkan, başlangıçta tamamen buhar halinde (doymuş buhar) ve 1 numaralı bölümde kompresöre girmeden önce izantropik (sabit entropi) olarak sıkıştırılır. Bu sıkıştırma işlemi, akışkanın sıcaklığını dış çevrenin sıcaklığından daha yüksek bir seviyeye çıkarır. Kızgın buhar halindeki akışkan, yoğusturucu bölümüne girerek tamamen sıvı hale dönüştürülür. Bu işlemin sonunda bile, akışkanın sıcaklığı hala çevre ortamının sıcaklığından daha yüksektir [68].

Kısılma vanasına giren sıvı fazdaki soğutucu akışkan, basınç düşürülerek buharlaştırıcıya gönderilir. Bu işlem sırasında akışkanın sıcaklığı, soğutulacak ortamdaki daha düşük seviyelere indirilir ve akışkanın büyük bir kısmı buharlaşarak soğutma işlemi gerçekleştirir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre, buharlaştırıcıda ortamdaki alınan ısı akışkana geçer ve bu sayede soğutma işlemi gerçekleştirilir. Tümüyle buharlaşan soğutucu akışkan tekrar kompresöre girerek çevrim tamamlanır [68].

Soğutma Çevriminin T-s (Sıcaklık-Entropi) grafiği Şekil 3.18’de görülmektedir. T-s yani sıcaklık entropi grafiğinin altında kalan alanın ısı aktarımını belirtmektedir. 4-1 hal değişiminin altında kalan alan, soğutucu akışkanın buharlaştırıcıda soğutulan ortama verdiği ısıyı temsil eder. 2-3 hal değişimi altında kalan alan ise yoğuşturucuda çevreye verilen ısı miktarını ifade eder [68].



Şekil 3.18 Soğutma çevrimi sıcaklık-entropi grafiği [69].

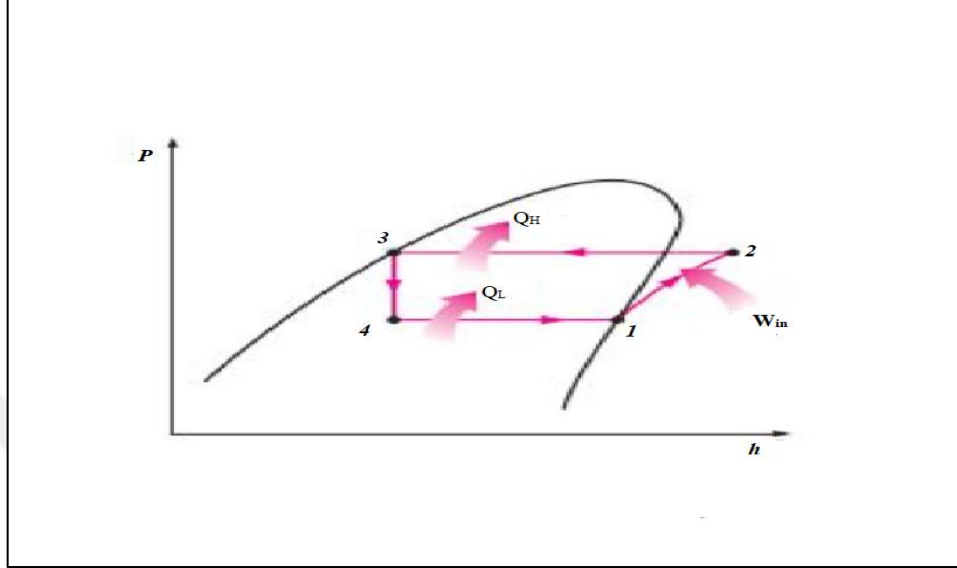
1-2: Kompresördeki izantropik (sabit entropi) sıkıştırma işlemi sonucunda soğutucu akışkanın sıcaklığı artar, ancak entropisi sabit kalır.

2-3: Yoğuşturucuda soğutucu akışkanın çevreye ısı aktarması sonucu sıcaklık düşer, buna bağlı olarak entropi de azalır.

3-4: Kısılma vanasında soğutucu akışkanın basıncı azalırken sıcaklığı da düşer ve bu nedenle entropisi de azalır.

4-1: Buharlaştırıcıda soğutulan ortamın ısısı alınarak soğutucu akışkan buharlaşır ve sıcaklığı sabit kalırken entropisi artar [68].

Soğutma Çevrimi P-h (Basınç-Entalpi) grafiği Şekil 3.19’da görülmektedir. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi incelenirken kullanılan diğer bir diyagram ise P-h diyagramıdır, yani basınç-entalpi diyagramı. Bahsi geçen dört hal değişiminin çevrim içindeki durumu, aşağıdaki diyagramda görsel olarak gösterilebilir.



Şekil 3.19 Soğutma çevrimi basınç-entalpi grafiği [69].

1-2: Sıkıştırma işleminden kaynaklı basınç ve entalpi artışı

2-3: Akışkan, çevreye ısısını aktararak basıncını sabit tutarken entalpisi azalır.

3-4: Kısılma vanası ile soğuyan akışkanın entalpisi sabit kalırken basıncı düşer

4-1: Soğutulan ortamın ısısını alarak buharlaşan akışkanın basıncı sabit kalırken entalpisi artar.

Soğutma sistemlerinde verimlilik, etkinlik katsayısı ile ifade edilir ve COP şeklinde gösterilir. Bu sistemlerin amacı ortamı soğutmaktır, bunu gerçekleştirmek için belli bir enerji harcaması gereklidir.

Soğutma makinesi verimi, 1'den büyük olabilen bir değerdir. Bunun nedeni, soğutma işlemi sırasında ortamdan alınan ısı enerjisinin, harcanan enerjiden daha fazla olabileceğidir. Ancak ısı makineleri için kullanılan ısı verim kesinlikle 1'den büyük olamaz. Çünkü ısı makinelerinin amacı, ısı enerjisini mekanik enerjiye ve dolayısıyla elektrik enerjisine dönüştürmektir. Soğutma makineleri ve ısı pompaları ise ısı enerjisini bir ortamdan diğerine aktarmak için çalışırlar. Soğutma makinesi ve ısı pompası için verimlilik katsayısı kullanılması tercih edilir çünkü bu değer 1'den büyük olması gerekmektedir [68].

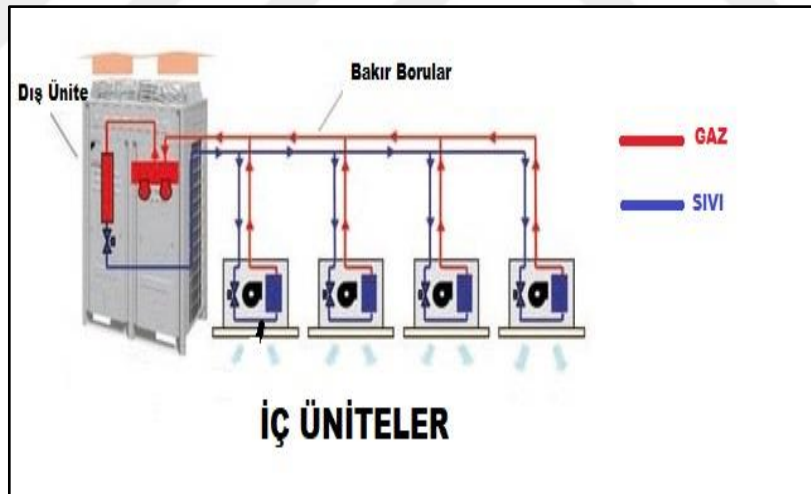
3.8.8 Değişken soğutucu akışkan hacmi (VRV) tanımı

Genel hatlarıyla İngilizce Variable Refrigerant Flow sözcüklerinin kısaltması olan VRF olarak tanımlanan sistemlerin dilimize gelen karşılığı Değişken Soğutucu (Akışkan) Debili sistemlerdir. Mevcut piyasada VRV, VRS vb. isimleriyle tanımlanan sistemler VRF ile aynı olmanın yanı sıra farklı firmalarca tescillenmiştir.[70]

VRV/VRF, Variable Refrigerant Volume (değişken soğutucu akışkan hacmi) veya Variable Refrigerant Flow (değişken soğutucu akışkan debisi) olarak da bilinen, ısıtma ve soğutma sistemleri için bir teknolojidir. Bu sistemler, kullanıcının ve dış ortamın koşullarına göre soğutucu akışkanın debisini optimize ederek enerji verimliliği sağlar.

VRV/VRF sistemleri, geleneksel HVAC sistemlerine kıyasla daha enerji verimli ve çevre dostudur. Ayrıca, kullanımı kolay ve işletme maliyetleri düşüktür.

İsminden de anlaşılacağı üzere bu sistem, içerisinde bulundurduğu akışkan debisini değiştirerek gereksinim duyulan kapasiteyi tam ve net bir şekilde ayarlayabilmektedir. Sistem, birden çok iç ünitenin tek bir bakır boru hattı ile aynı dış ünite ve dış ünite grubuna bağlı çalışmasına imkân vermektedir [70].



Şekil 3.20 VRF sistemi şeması [70].

Şekil 3.20’de VRF sistemi şeması vardır. Sistemin işleyişi şöyledir: İhtiyaç duyulan iç üniteye doğru zamanda ve doğru fazda gerektiği kadar soğutucu akışkan sevk edilerek ısıtma veya soğutma sağlanır. Her bir ünite, ana boru hattına bağlanır ve bağımsız şekilde ayrı ayrı kontrol edilebilir [70].

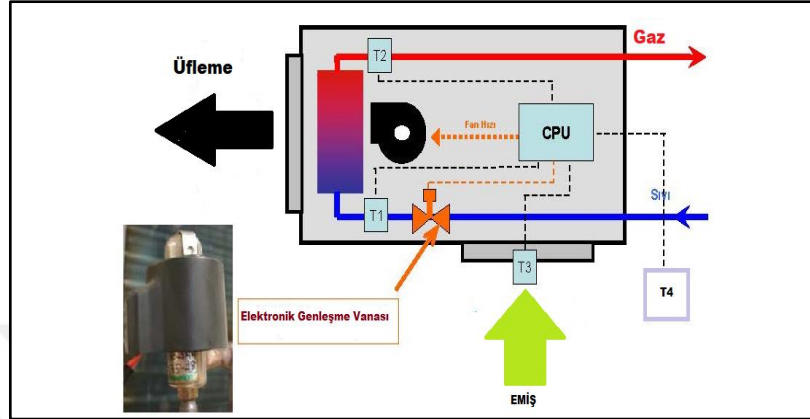
Şekil 3.21, iç ünitelerin bağımsız kontrolünü sağlamak için her bir iç ünitenin içerisinde genişleme (akış düzenleme) vanası bulunmaktadır [70].

T1: Soğutucu akışkan giriş sıcaklık sensörü (sıvı)

T2: Soğutucu akışkan çıkış sıcaklık sensörü (gaz)

T3: Emiş havası sıcaklık sensörü

T4: Uzaktan kumanda hava sıcaklık sensörü



Şekil 3.21 VRF iç ünite [70].

VRF sistemleri, hava soğutmalı ve su soğutmalı olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Hava soğutmalı VRF sistemleri, ısı transferini fanlar yardımıyla gerçekleştirir ve en yaygın VRF sistemleridir. Su soğutmalı VRF sistemleri ise ısıyı suya aktarır ve herhangi bir kaynaktan sağlanan suyu kullanarak fanlara ihtiyaç duymaz. Hava kondenslerinin soğutma şekline göre bu iki sistem oluşur. Bunun yanı sıra, VRF sistemlerini işletme özelliklerine göre de iki gruba ayırabiliriz: Heat Pump VRF sistemleri ve Heat Recovery VRF sistemleri. Heat Pump VRF sistemlerinde, iç üniteler aynı modda çalışır, yani aynı anda ısıtma veya soğutma yapılamaz. Heat Recovery VRF sistemlerinde ise iç üniteler farklı modlarda çalışabilir, yani biri ısıtma sağlarken diğeri soğutma sağlayabilir [71].

VRF sistemlerinin çalışma prensibi oldukça basittir. Bu sistemler, bir dış ünite/dış ünite grubu ve çok sayıda iç üniteden oluşur. Bu birimler arasındaki bağlantı, bakır boru hatları ile gerçekleştirilir. Ayrıca, hassas bir otomasyon sistemi de VRF sisteminin temelini oluşturur. Soğutucu gaz, bu sistemi dolaşarak iklimlendirmeyi sağlar. Bakır boru hatları, iç üniteler arasında bağlantı elemanları kullanılarak bağlanır. Bu elemanlar, bakır malzemeden yapılmıştır. VRF sistemlerinin en büyük avantajı, her bir iç ünitenin bağımsız olarak kontrol edilebilmesidir. Bu sayede, gereksiz enerji harcanmaz ve enerji verimliliği artar. Sistemin kalbi DC (Doğru akım) inverter kompresörlerdir. Bu kompresörler, toplam kapasiteyi hassas bir şekilde ayarlar ve her odanın ihtiyacına göre

gaz debisi ayarlanabilir. Bu, minimum enerji kullanımını kolaylaştırır. Sonuç olarak, VRF sistemleri ihtiyaç duyulduğu kadar çalışır ve gereksiz enerji tüketimini önler [71].

VRF sistemlerin kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, iç ünite montajının yapılacağı en küçük hacimli alanın, soğutucu gaz miktarına göre belirlenmesidir. R410A gazı, VRF sistemlerinde kullanılan gaz türüdür ve yanıcı veya zehirli değildir. Ancak, ortamdaki oksijeni tüketmesi sebebiyle boğulma riski oluşturabilir. EN 378-1:2000 standardına göre, R410A gazının ortamdaki konsantrasyonu 440 gr/m^3 değerinin altında olmalıdır. Bu nedenle, sistemdeki toplam gaz miktarı belirlenmeli ve buna bağlı olarak iç ünite montajı yapılacak en küçük hacimli alanın boyutu hesaplanmalıdır [70].

Sistemdeki R410A gaz miktarı G (kg) ve en küçük hacimli alan

V (m^3) olmak üzere, $V = (G \times 1000) / 440$ formülü kullanılarak hesaplama yapılabilir. VRF sistemlerinde kullanılan R410A gazının ısı taşıma kapasitesi, suya göre 10 kat, havaya göre 20 kat daha yüksektir. Bu sebeple daha küçük çaplı boruların kullanılmasına olanak sağlar. Küçük boru çapları ve buna bağlı olarak tesisat için gereken küçük hacim/alan, montaj kolaylığı, ısıtma ve soğutma işlemleri için ayrı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaması gibi etkenler, VRF sistemlerinin tercih edilmesinde önemli bir faktördür.

VRF uygun dış ünite alanının bulunduğu her yerde tercih edilebilen bir iklimlendirme sistemidir. Bu sistem özellikleri sayesinde oteller, hastane ve klinikler, ofis binaları, restoranlar, mağazalar, tiyatro ve sinema salonları, cam giydirme cephe binalar, mimari hassasiyetin ön planda olduğu tarihi yapılar gibi birçok alanda kullanılabilmektedir [72].

Ayrıca, bina içinde soğutucu gaz borularına göre çok büyük yer kaplayan hava kanallarının geçirilmesinin zor olduğu yapılarda da VRF sistemleri tercih edilebilir. Bu sistemler, çok mahalli ve konfor beklentisi yüksek konutlarda da kullanılabilir.

Kiracı gruplarının kendilerine özel iklimlendirme faturası istediği iş merkezleri ve plazalarda da VRF sistemleri tercih edilebilir. Bu sayede harcanan enerji kontrolü sağlanabilir. Kısacası, VRF uygun dış ünite alanının bulunduğu her yerde, iklimlendirme ihtiyacı olan alanlarda kullanılabilecek bir sistemdir.

VRF sistemlerinin birçok avantajı vardır. Öncelikle, bireysel iklimlendirme sağlanabilmesi, sistemin uzun ömürlü olması ve çalışma süresinde artış sağlaması gibi

özellikleriyle tercih edilir. Ayrıca, ofis, hastane gibi çok mahalli yapılarda total konfor sağlanması, bütünsel kontrol ve tasarım çeşitliliği gibi avantajları da mevcuttur. VRF sistemlerinin minimum alan işgali, enerji tasarrufu, düşük ses seviyesi, düşük işletme maliyeti, yatırımın geri dönme süresinin kısa olması ve müstakil sistemler olması gibi avantajları da vardır [72].

Ancak, VRF sistemlerinin dezavantajları da vardır. Dış ünite için uygun açık alan zorunluluğu ve dış ünite ile en uzağa kurulabilecek iç ünite arasındaki mesafenin kısıtlı olması (90 m) gibi sınırlamaları vardır. Ayrıca, ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, ekstrem dış ortam sıcaklıklarından etkilenmesi ve diğer sistemlere göre kompleks yapıya sahip olması da dezavantajları arasında yer alır [72].

VRF sistemlerinin, ısıtma yaparken dış ortamdan termal enerji alması, soğutma yaparken ise enerji aktarması gerektiği için hava soğudukça ısıtma, hava ısındıkça ise soğutma kapasitesi düşmesi gibi özellikleri de dezavantajları arasındadır [72].

Kısacası, VRF sistemleri birçok avantajı beraberinde getirirken, dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır.

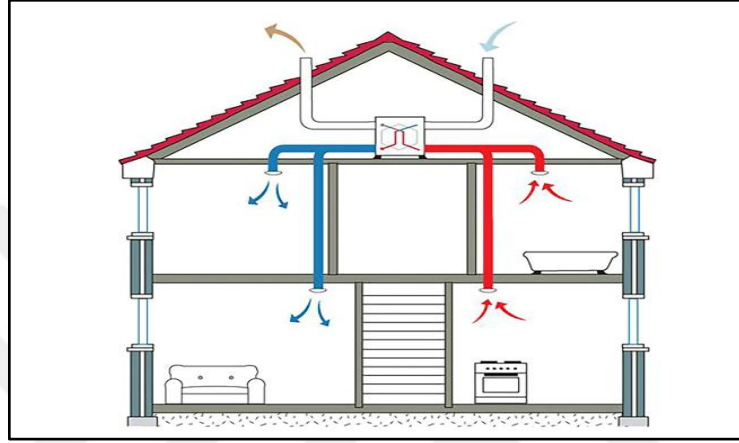
3.8.9 Isı geri kazanımlı havalandırma (HRV)

Isı geri kazanımlı havalandırma (HRV), farklı sıcaklıklardaki iki hava kaynağı arasında çalışan bir enerji geri kazanımlı havalandırma sistemidir. Şekil 3.22’de HRV sistem gösterimi verilmiştir. Bu sistem, binaların ısıtma ve soğutma taleplerini azaltmak için kullanılır. HRV, taze hava için kullanılan klima sistemine önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlar. Bu tasarruf, egzoz gazındaki artık ısının geri kazanılması ile elde edilir. Bu sayede, taze hava önceden ısıtılır veya soğutulur ve bina içerisine girmeden önce entalpisi düşürülür. Böylece, bina içindeki ısı ve nem seviyeleri kontrol altına alınabilir.

Bir ısı geri kazanım sistemi genellikle çekirdek ünitesi, taze ve egzoz havası için kanallar ve üfleyici fanlar içerir. Bina egzoz havası, ihtiyaca göre ısı kaynağı veya soğutucu olarak kullanılır ve sistemin performansı, iklim koşullarına, yılın zamanına ve bina gereksinimlerine bağlıdır.

Isı geri kazanım sistemleri, egzoz havasındaki ısının yaklaşık %60-95’ini geri kazanarak binaların enerji verimliliğini artırır. Bu sayede, binaların enerji tüketimleri azalırken konfor düzeyleri korunur [73].

Bir ısı geri kazanım sistemi, genellikle bir binanın çatı arası, tavan arası veya tesis odasında bulunan bir ısı geri kazanım havalandırma ünitesi aracılığıyla çalışır. Bir ısı geri kazanım sistemi, sadece havayı çekip dışarıdaki havayla değiştirmek yerine, çekilen havadan ısıyı çeker ve dışarıdan filtrelenen havaya geçirir. Çekilen hava ve sağlanan hava aynı borularda akamaz ve farklı hava akışlarının karışması olmaz. Isı geri kazanım ünitesi, bina içindeki oda hava valflerine, bina boyunca yayılmış bir kanal ağı aracılığıyla bağlanır [74].



Şekil 3.22 HRV sistem gösterimi [74].

Bir ısı geri kazanım sistemi normal ısıtma sisteminden bağımsız olarak çalışır. Her odada havalandırma valfleri ve filtreler bulunur. Bu valfler sayesinde her odadan hava giriş ve çıkışı yapılır ve bu havaların hepsi ısı geri kazanım ünitesine akar. Ünite, havayı borular aracılığıyla hareket ettirerek egzoz havayı dışarıya atarken, aynı anda dışarıdan alınan soğuk havayı diğer borular aracılığıyla içeri çeker. İki hava akışı ısı geri kazanım ünitesinde birbirlerinden fiziksel olarak ayrılmış şekilde hareket eder. Egzoz havasından alınan ısı, dışarıdan getirilen taze havaya transfer edilir ve bu hava boruları aracılığıyla her odaya verilir. Egzoz havasının ısısı alındıktan sonra, artık hava dışarıya atılır [74].

3.9 Air Handling Unit (AHU)

Genel olarak AHU olarak adlandırılan bir klima santrali bir bina veya tesisteki iç havanın artırılması, iklimlendirilmesi veya yenilenmesi için uygun havalandırma gereksinimlerini barındıran, modül adı verilen büyük, erişilebilir kutu şeklindeki birimlere monte edilen elemanların birleşimidir [75].

Genellikle binaların çatılarına monte edilirler ve hava kanalları aracılığıyla söz konusu binadaki her bir odaya ulaşacak şekilde sirküle edilirler.

3.9.1 AHU bileşenleri

AHU'lar birçok bileşenden meydana gelmektedir. Şekil 3.23'de AHU şeması verilmiştir. Şekilde görülmekte olan AHU bileşenleri şu şekildedir.

Hava girişi: klima santralleri, arıtılan ve odalara dağıtılan havayı dışarıdan toplamaktadır.

Filtre: hava saflığı gereksinimlerine bağlı olarak, uygulanan filtre daha yüksek veya daha düşük partikül, virüs, bakteri, koku ve diğer hava kirleticileri tutacaktır.

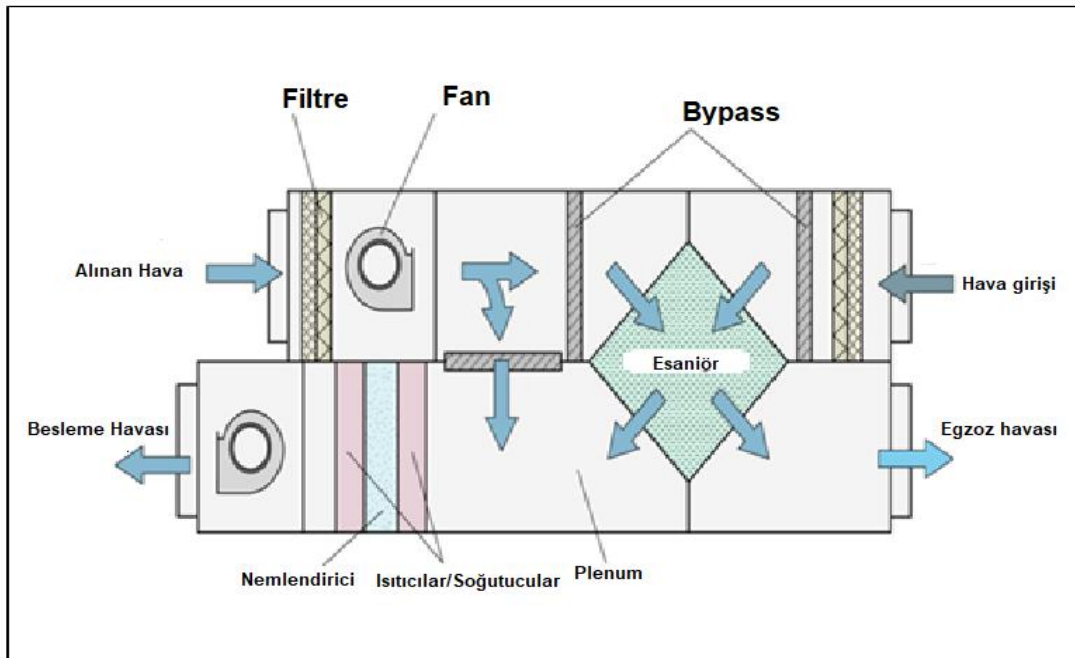
Fan: Bu, havayı AHU'dan odalara havayı dağıtan kanallara atması için güç sağlayan elektromekanik bir sistemdir.

Isı eşanjörleri: katı bir bariyerle ayrılmış iki sıvı, bu durumda soğutucu ve hava arasında sıcaklık aktaran cihazlar.

Soğutma serpantini: Bu modülden geçen hava soğutulur. Bu süreçte, yerleşik damla ayırıcı sayesinde bir yoğunlaşma tepsisinde toplanan su damlacıkları oluşturulabilir.

Susturucu: tesisatın ses seviyesini önemli ölçüde azaltan kaplamalar.

Plenumlar: hava akışının homojenize edildiği boş alanlar.



Şekil 3.23 AHU şeması [75]

Bir AHU ile HVAC'ı ayırt etmenin en kolay yolu, AHU'nun HVAC sisteminin bir parçası olduğunu ve yapıya daha fazla fayda kattığını hatırlamaktır.

Basitçe ifade etmek gerekirse, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemi veya HVAC, klima santralinin veya AHU' nun ayrılmaz bir parçası olduğu komple sistemdir.

3.10 Make Up Air Unit (MAU)

MAU, basınç farkını telafi etmek ve güvenlikle birlikte konfor için yeterli miktarda filtrelenmiş hava sağlamak üzere tasarlanmış cihazlardır.

Tamamlayıcı hava sistemleri olmadan, kapalı yapılar negatif iç hava basıncının neden olduğu kirleticiler ve alerjenler, kalıcı kokular, nem sorunları, verimsiz HVAC işlemi, daha yüksek kullanım maliyetleri gibi bir dizi sorundan zarar görebilir.

3.11 Temiz Oda Yalıtım

Temiz oda tasarımlarında, duvarlar, kapılar, tavan, zemin ve pencereler gibi bileşenlerin ısı tasarrufu için uygun bir şekilde yalıtılması ve malzeme uygulanması dikkat edilmesi gereken bir durum olup önemlidir. Duvarlar sıklıkla izolasyon panelleri, sandviç paneller veya yüksek yoğunluklu poliüretan köpük panellerle kaplanmaktadır. Bu malzemeler, ısı geçişini azaltarak enerji tasarrufuna katkı sağlamaktadır. Kapılar da yalıtımlı olmalı ve sızdırmazlık oluşturmalıdır. Poliüretan köpük dolgulu metal kapılar veya özel olarak tasarlanmış yalıtımlı kapı sistemleri temiz oda için kullanılabilir. Tavanlar, yüksek yoğunluklu poliüretan paneller veya çift cidarlı panellerle kaplanarak ısı transferini engelleyerek tasarrufa katkı sağlayabilir. Zeminlerde ise yalıtımlı zemin sistemleri veya yüksek yoğunluklu polimer malzemeler kullanılabilir. Pencereler sıklıkla sınırlı kullanılır. Enerji verimli camlar veya çok katmanlı camlar kullanılarak ısı geçişi azaltılabilir. Bu malzemeler kullanılarak ve tasarım özellikleri sağlanarak, temiz odanın enerji verimliliğini artırır ve ısı tasarrufu sağlar.

3.12 Psikometrik Diyagram

Psikometrik diyagram, hava nemlendirme sistemlerinin performansını değerlendirmek için temel bir araçtır. Şekil 3.24'de Psikometrik diyagram örneği gösterilmiştir. Bu diyagram, sıcaklık, nem, yoğunluk ve entalpi gibi özelliklerden en az ikisinin bilindiği durumlarda diğer özelliklerin hesaplanmasına olanak tanır. İlk bakışta karmaşık görünebilir, ancak psikometrik diyagramın kullanımı oldukça basittir. [76].

Psikometrik diyagram, hava nemlendirme sorularının grafiksel çözümüne olanak sağlar ve havanın sekiz temel özelliği arasındaki fiziksel ilişkileri kullanarak yaklaşmayı sağlar. Ancak, psikometrik diyagram üzerinde ifade edilen gerçek özellikleri

açıklamadan önce, hava şartlandırma ilkelerinin ısı transferi ve gizli ısı kavramlarına dayandığını anlamak önemlidir [77].

Duyulur ısı, bir hava akımı içindeki havanın sıcaklığından kaynaklanan ısıdır. 25 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemdeki bir hava akımı, 15 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemdeki havadan daha fazla duyulur ısıya sahiptir [77].

Gizli ısı ise bir hava akımı içindeki havanın nem miktarından kaynaklanan ısıdır. 25 °C sıcaklıkta ve %60 bağıl nemdeki bir hava akımı, 25 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemdeki havadan daha fazla gizli ısıya sahiptir [77].

Kuru termometre sıcaklığı, yüzeyinde su bulunmayan standart bir termometre ile ölçülen sıcaklıktır. İnsanlar genellikle havanın kuru termometre sıcaklığını ifade ederken sıcaklık değerini kastederler. Kuru termometre sıcaklığı, psikometrik diyagramda dikey çizgilerle gösterilir. Havanın kuru termometre sıcaklıkları, diyagramda tabanın solundan sağa doğru artar.

Yaş termometre sıcaklığı ise havanın nem miktarıyla ilişkili bir sıcaklıktır. Yaş termometre sıcaklığı, termometrenin etrafına yerleştirilen ıslak fitil üzerinden su buharlaştığı için ölçülür. Yaş termometre sıcaklıkları genellikle kuru termometre sıcaklıklarından daha düşüktür. Sadece %100 bağıl nemde, yani doyma eğrisinde, yaş termometre sıcaklığı ve kuru termometre sıcaklığı birbirine eşittir. Yaş termometre çizgileri, psikometrik diyagramda sol alttan sağ üste doğru eğimli bir şekilde artar. Bu çizgiler aynı zamanda entalpiyi de temsil eder.

Entalpi, havadaki kullanılabilir ancak karmaşık bir enerji miktarının ölçüsüdür. Nemli havada entalpi daha yüksektir, çünkü hava içindeki nem buharlaşabilmek için ısı alır ve daha fazla nem içeren hava daha yüksek enerjiye sahip olur.

Bağıl nem, havanın buharlaşabileceği maksimum nem miktarının ölçüsüdür. Eğer hava bu maksimum nem miktarına ulaşırsa, bağıl nem %100 olarak kabul edilir. Havanın taşıyabileceği nem miktarı hava miktarıyla birlikte artar. Bağıl nemin diyagram üzerinde gösterilebilmesi için bir kuru termometre sıcaklığının da belirtilmesi gerekir. Bağıl nem çizgileri, psikometrik diyagramda sol alttan sağ üste doğru eğriler şeklinde görülür [77].

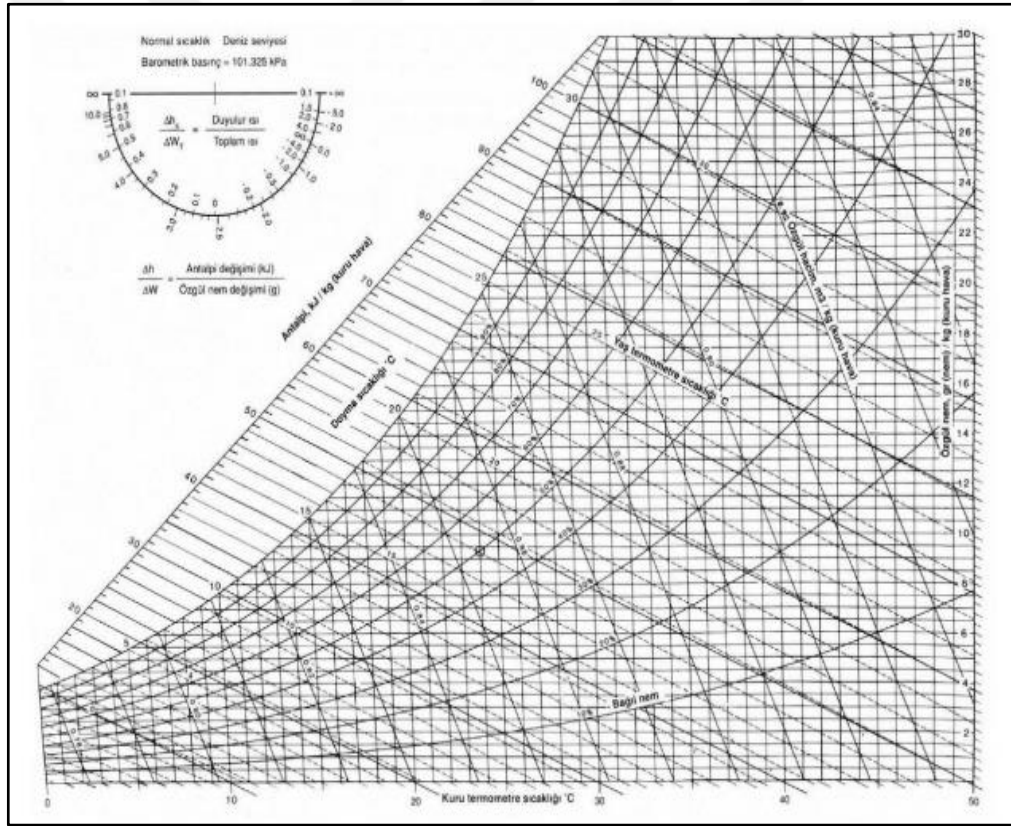
Çiğ noktası, tamamen yoğunlaşmış havaya karşılık gelen kuru veya yaş termometre sıcaklığını ifade eder. Havanın soğutulması durumunda aynı miktarda neme sahip bir

hava elde edilemez. Bir miktar nem yoğunlaşarak su halinde alınır. Çiğ noktası sıcaklığı, %100 bağıl nem eğrisi üzerinden okunur [77].

Özgül hacim, belirli şartlarda bir kilogram havanın kapladığı hacmi ifade eder. Hava ısıtıldığında daha fazla hacme ihtiyaç duyar. Özgül hacim eğrileri, psikometrik diyagramda sağ alttan sol üste doğru eğriler şeklinde görülür [77].

Mutlak nem, havadaki su buharının ağırlık olarak ifadesidir. Bağıl nemden farklı olarak bu bir ağırlık birimidir. Mutlak nem, psikometrik diyagramda yatay çizgilerle gösterilir [77].

Buhar basıncı, her su molekülünün çevresindeki havaya uyguladığı toplam basınçtır. Psikometrik diyagramda basınç eğrilerini görmek mümkün olmaz, bu değerler için buhar tablosuna başvurulmalıdır [77].



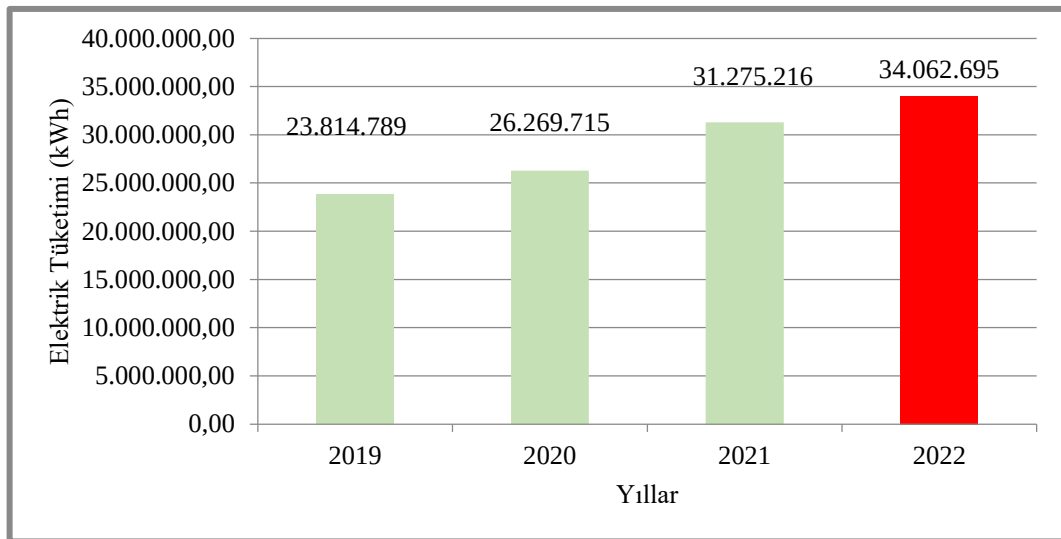
Şekil 3.24 Psikometrik diyagram [76].

4. MATERYAL VE METOD

4.1 Enerji Yönetimi

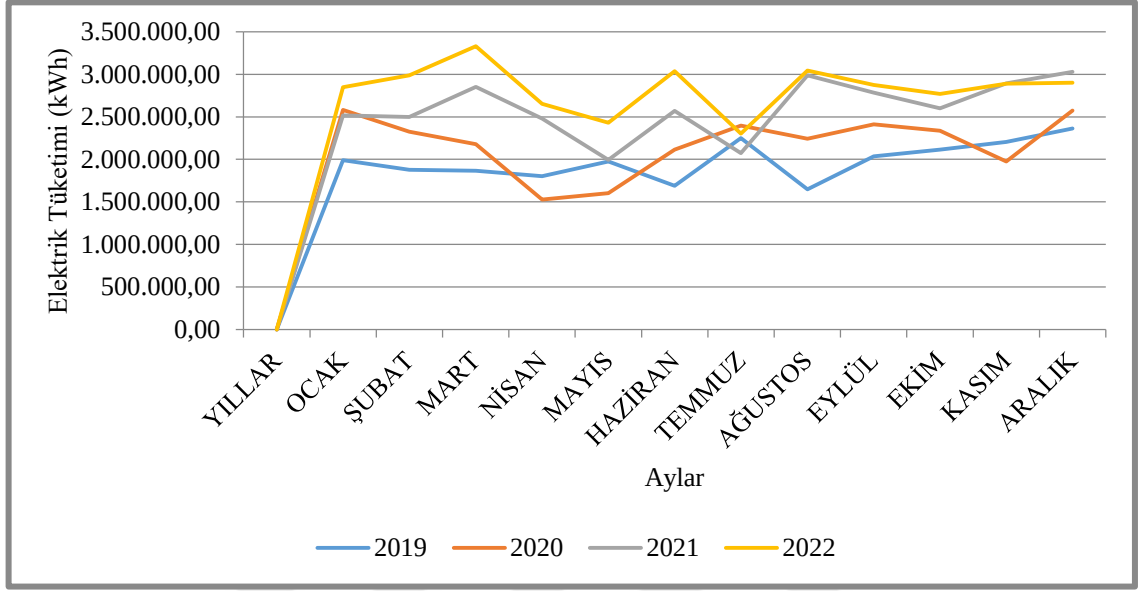
Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de sanayi sektöründe enerji tüketimi, sektörel enerji tüketimi içerisinde önemli paya sahiptir. Yüksek oranlara karşılık gelen bu enerji tüketiminin azaltılması tüm ülkelerin ekonomileri açısından önemlidir. Türkiye’de enerji ihtiyacının yaklaşık olarak dörtte üçünü ithal eden bir ülke olduğundan her sektörde olduğu gibi sanayi sektöründe de enerji verimliliği çalışmaları kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada temiz odalarda enerji verimliliği üzerinde araştırmalar ve analizler yapılmış olup bu kapsamda İstanbul Trakya Serbest Bölgesinde yer alan Nephrocan firmasında kullanılan chiller cihazının enerji verimliliği analizi de yapılmıştır.

İstanbul Trakya Serbest Bölgesi, Çatalca ilçesinde yer almaktadır ve yaklaşık 200 firma burada faaliyet göstermektedir. Bölgedeki firmaların ihtiyaçlarına yönelik elektrik enerjisi temin edilmektedir. Serbest bölgelerin sınırları belirlenmiştir ve işletmelerin düşük maliyetli mal üretimi ve ihracat yapma gibi avantajlar elde etmelerine olanak tanımaktadır. %100 kurumlar vergisi istisnası, %100 gelir vergisi istisnası, katma değer vergisi (KDV) muafiyeti ve gümrük vergisi muafiyeti gibi birçok avantajın yanı sıra serbest bölgeler, ucuz enerji kullanımı fırsatları da sunmaktadır. Serbest Bölgenin 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait elektrik enerjisi tüketimi Şekil 4.1’de belirtilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi serbest bölgenin elektrik tüketiminde önemli artışlar vardır.



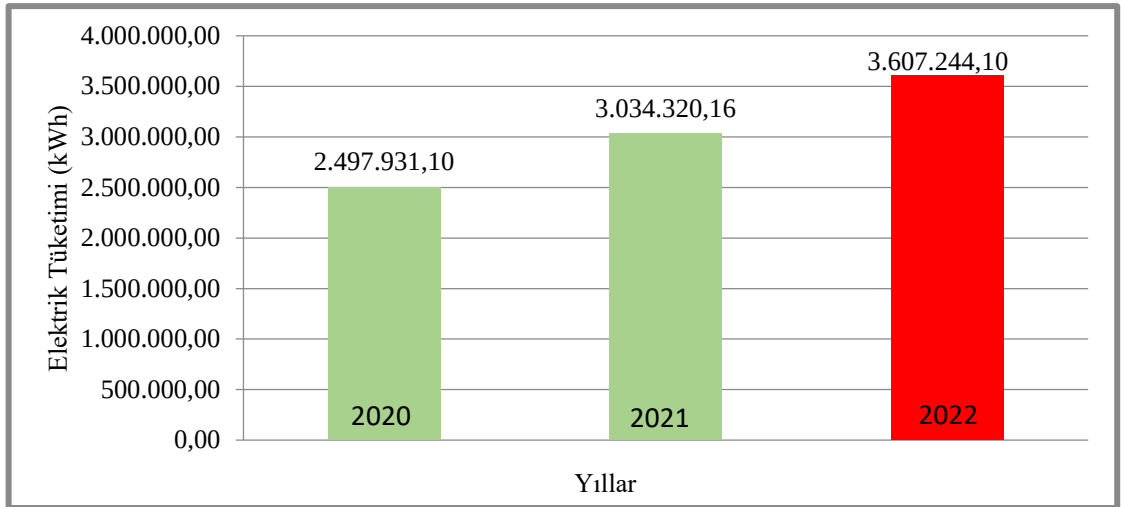
Şekil 4.1 Serbest bölge yıllara göre elektrik tüketimi

Serbest Bölgenin 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarının aylara ait elektrik enerjisi tüketimi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Serbest bölgenin enerji tüketimi incelendiğinde firmaların çalışma alanları, sayıları gibi nedenlerden dolayı enerji tüketiminde bir düzen görülmemektedir.



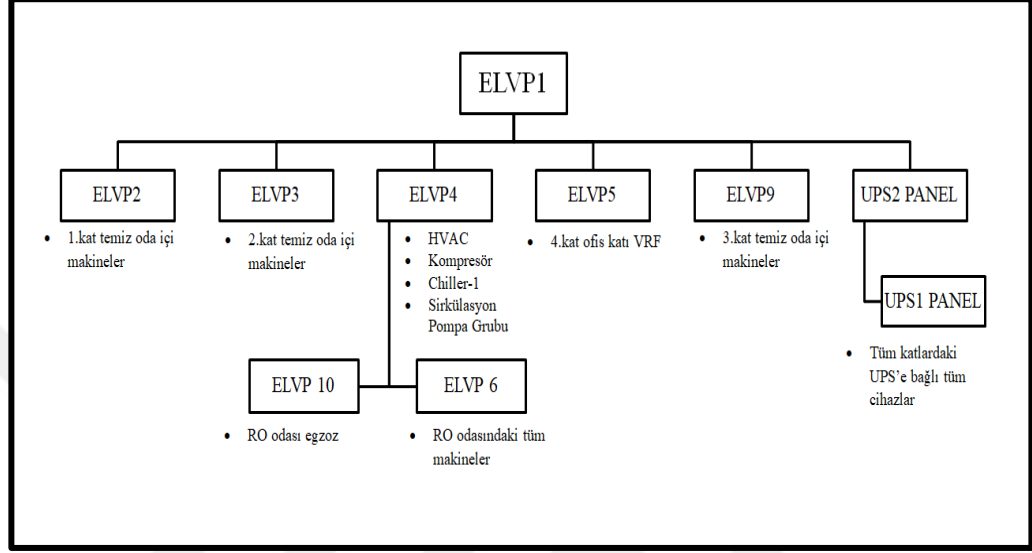
Şekil 4.2 Serbest bölge aylara göre elektrik tüketimi

İstanbul Trakya Serbest Bölgesinde faaliyet gösteren şirketlerden biri olan Nephrocan 2019 yılında kurulmuştur. Şirkette enerji kaynağı olarak sadece elektrik enerjisi kullanılmakta olup farklı malzemelerin üretildiği temiz odalar bulunmaktadır. Şirketin yıllara ait elektrik enerjisi tüketim bilgileri Şekil 4.3’teki gibidir. Nephrocan ’in, yıllara göre üretim çeşitliliği ve miktarı arttığından elektrik enerjisi tüketiminde ki artış şekilde görülmektedir.

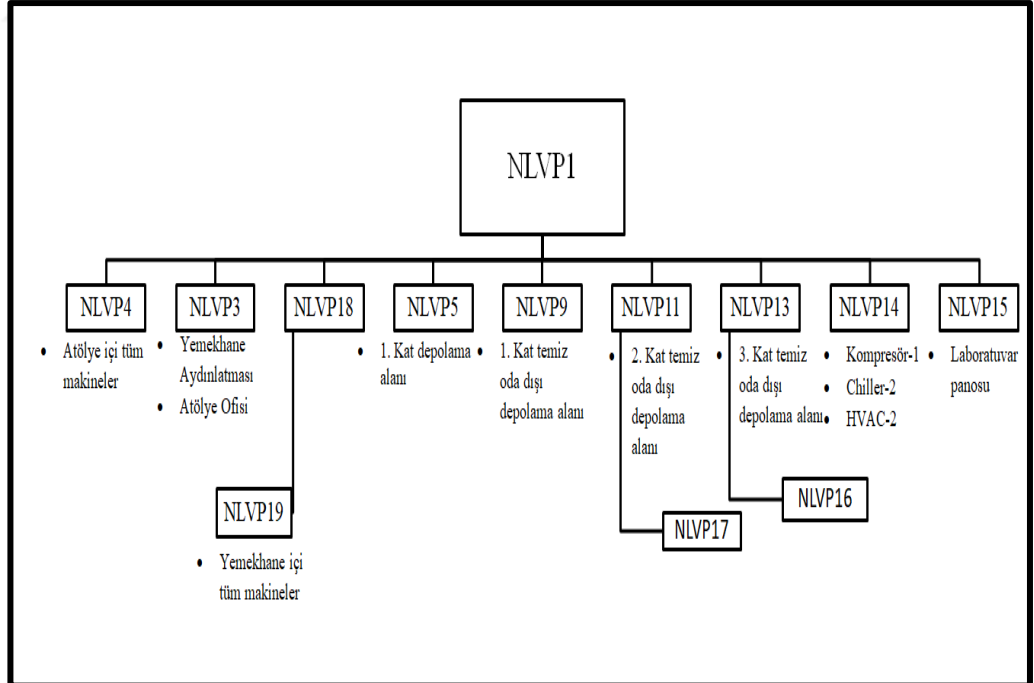


Şekil 4.3 Nephrocan firmasının yıllara göre elektrik tüketimi

Nephrocan firmasında kullanılan cihazlar için fabrikada çok sayıda elektrik sayacı bulunmaktadır. Sayaçlara bağlı cihazlar Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görülmekte olup sayaçların elektrik kullanım miktarı eylül, ekim, kasım ve aralık ayları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Şirketteki sayaçların, bu aylardan öncesine ait elektrik tüketim verileri bulunmamaktadır.



Şekil 4.4 Sayaç şemaları



Şekil 4.5 Diğer donanımlar için sayaç şemaları

Çizelge 4.1 Nephrocan firmasının 2022 son dört ayına ait mahallere göre elektrik tüketimi

Pano Adı	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam	Ortalama (kWh)
ELVP 2	859,10 kWh	733,30 kWh	310,90 kWh	126,30 kWh	2.029,60 kWh	811,84
ELVP 3	4.164,10 kWh	930,80 kWh	1.229,90 kWh	1.021,10 kWh	7.345,90 kWh	2.938,36
ELVP 4	75.662,00 kWh	78.137,00 kWh	65.441,90 kWh	110.173,10 kWh	329.414,00 kWh	82.353,50
ELVP 5	6.919,00 kWh	6.781,60 kWh	6.735,90 kWh	6.816,40 kWh	27.252,90 kWh	10.901,16
ELVP 9	13.716,80 kWh	12.680,20 kWh	9.611,40 kWh	3.380,40 kWh	39.388,80 kWh	15.755,52
NLVP 3	1.610,00 kWh	1.772,90 kWh	2.036,80 kWh	1.735,50 kWh	7.155,20 kWh	2.862,08
NLVP 4	465,90 kWh	356,30 kWh	374,70 kWh	407,70 kWh	1.604,60 kWh	641,84
NVLP 5	431,60 kWh	408,70 kWh	566,60 kWh	735,80 kWh	2.142,70 kWh	857,08
NVLP 7	3.834,30 kWh	3.165,70 kWh	5.078,40 kWh	5.664,30 kWh	17.742,70 kWh	7.097,08
NVLP 9	510,00 kWh	351,90 kWh	291,00 kWh	346,40 kWh	1.499,30 kWh	599,72
NVLP 11	64,00 kWh	55,50 kWh	47,60 kWh	40,10 kWh	207,20 kWh	82,88
NLVP 13	1.034,90 kWh	1.066,80 kWh	659,40 kWh	420,60 kWh	3.181,70 kWh	1.272,68
NVLP 14	133.067,80 kWh	129.677,20 kWh	91.378,00 kWh	66.063,20 kWh	420.186,20 kWh	105.046,55
Reserve-1	1.401,10 kWh	1.628,50 kWh	1.657,50 kWh	1.650,80 kWh	6.337,90 kWh	2.535,16
Reserve-2	483,30 kWh	160,30 kWh	150,30 kWh	7.148,60 kWh	7.942,50 kWh	3.177,00
Reserve-7	2.854,70 kWh	2.833,20 kWh	4.419,80 kWh	6.724,10 kWh	16.831,80 kWh	6.732,72
Reserve -3	0,00 kWh	28,60 kWh	3.087,60 kWh	4.249,50 kWh	7.365,70 kWh	2.946,28
TOPLAM	247.078,60 kWh	240.768,50 kWh	193.077,70 kWh	216.703,90 kWh	897.628,70 kWh	359.051,48

Nephrocan firmasındaki elektrik tüketimi incelendiğinde, özellikle ELVP 4 ve NVLP 14 sayaçlarına bağlı sistemlerde ciddi bir enerji tüketimi olduğu tespit edilmiştir. Bu sayaçlara şirketin yoğun enerji ihtiyacı olan 3 adet HVAC sistemi, 2 adet Chiller sistemi, 2 adet kompresör ve sirkülasyon pompa grubu bağlıdır. Şirketin 897.628,70 kWh olan toplam elektrik tüketiminin 749.600,2 kWh'ı (%84) yalnızca bu iki sayaçta kaydedilmiştir. Bu durum, bu sistemlerin verimliliğini ve tasarruf potansiyelini gözden geçirme ihtiyacını açıkça ortaya koymaktadır.

Özellikle ELVP 4 ve NVLP 14 sayaçlarındaki yüksek enerji tüketimi hem işletme maliyetlerini hem de çevreyi olumsuz etkilemektedir. Bu yüksek tüketim oranları sistemlerin enerji verimliliği çalışmaları açısından kritik bir fırsat sunmaktadır. Bu sayaçlara bağlı cihazlardan bazılarının enerji yüklerinin fazla olduğu bilinmekte olduğundan tez çalışması kapsamında özellikle bu cihazların enerji tüketimi incelenmiştir. Bu amaçla enerji verimliliği hesaplama programı MEASUR kullanılmıştır.

4.2 Yazılım Programı (MEASUR) ve Ölçüm Yöntemi

MEASUR, bir yazılım programı olup, önceki on yıllarda geliştirilen ana yazılım platformlarını ve 70'ten fazla hesap makinesini içeren bir pakettir. Şekil 4.6'da programın ana sayfası görülmektedir. Bu araçlar, üreticilerin endüstriyel sistem verimliliğini artırmalarına ve potansiyel tasarruf fırsatlarını belirlemelerine yardımcı olmaktadır. MEASUR'deki yazılım platformları, 1990'larda geliştirilen sistem değerlendirme araçlarının büyük güncellemeleridir. Yeni araçlar daha kullanıcı dostudur ve daha yeni işletim sistemleriyle uyumludur. Sistem değerlendirme araçlarını hesap makineleriyle birleştirerek, MEASUR farklı araçlar arasında artan bir uyumluluk seviyesine olanak tanımaktadır. MEASUR ücretsizdir ve açık kaynaklı bir ortamda erişilebilmektedir [78].

MEASUR' un yazılım araçları, yatırım sınıfı enerji analizi yapabilen endüstriyel sistem değerlendirme araçlarını, basit donanım ve hesap makinelerini içermektedir. Hem sistem değerlendirme araçları hem de basit hesap makineleri, odaklanmış analizler için tek başına kullanılabilir.

Pompa Sistemi Değerlendirmeleri: MEASUR'un bu bölümü, Pompa Sistemi Değerlendirme Aracı gibi araçlar ve ilgili hesap makineleri gibi araçları içermektedir. MEASUR'un pompa sistemi aracı, saha ölçümlü verilere dayanarak pompa

sistemlerinin potansiyel enerji tasarrufu fırsatlarını değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Endüstriyel kullanıcılar, farklı sistem değişikliklerini değerlendirmeye yardımcı olarak enerjik olarak en faydalı olanlarını belirleyebilmektedir. Enerji kullanımını azaltmak için çeşitli seçenekler için "ne olur" senaryolarını test edebilmektedir [78].

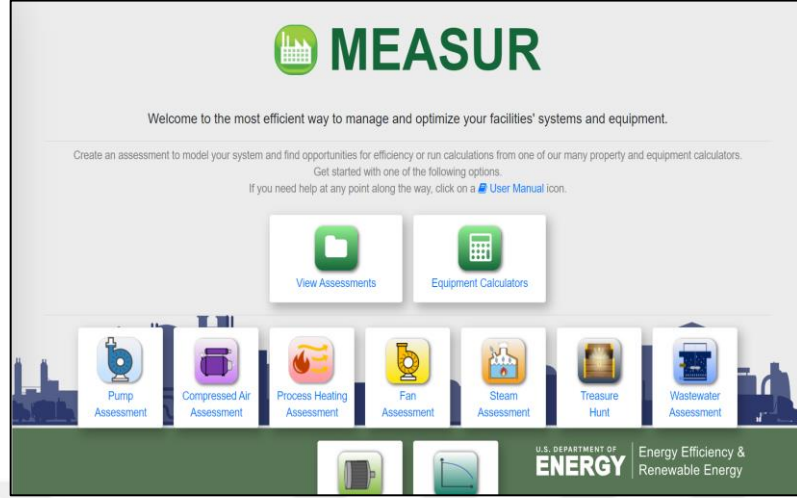
Proses Isıtma Değerlendirmeleri: MEASUR'un bu bölümü Proses Isıtma Değerlendirme ve Anket Aracı gibi araçları ve ilgili hesaplayıcıları içermektedir. Bu araç, proses ısıtma ekipmanının termal ve elektrik verimliliğini artırmaya yönelik yöntemleri tanıtmaktadır. Endüstriyel kullanıcılar yakıt veya elektrik tüketen proses ısıtma ekipmanını inceleyebilir ve en yoğun enerji tüketen ekipmanı belirleyebilmektedir. Bu araç, çeşitli çalışma koşulları altında enerji kullanımının ana alanlarını belirleyen bir ısı dengesi gerçekleştirmek ve enerji kullanımını azaltmak için çeşitli seçenekler için farklı senaryoları test etmek için kullanılabilir [78].

Fan Sistemi Değerlendirmeleri: MEASUR'un bu bölümü Fan Sistemi Değerlendirme Aracı ve ilgili hesaplayıcılar gibi araçları içermektedir. Bu araç, kullanıcıların fan sistemlerindeki potansiyel enerji tasarrufu fırsatlarını belirlemelerine ve değerlendirmelerine yardımcı olur. Endüstriyel kullanıcılar, optimum sistem konfigürasyonlarını belirlemek için çeşitli sistem değişikliklerini değerlendirebilir ve kullanıcıların enerji tüketimini en aza indirmek için özelleştirilmiş işletim senaryolarını test etmelerine olanak tanımaktadır. Alternatif olarak, kullanıcılar yayınlanmış fan verimliliği verileri ve motor performansı verileri üzerine inşa edilmiş otomatik optimize edici işlevini kullanabilmektedir [78].

Buhar Sistemi Değerlendirmeleri: Bu araç, kullanıcıların buhar sistemlerindeki potansiyel enerji tasarrufu fırsatlarını belirlemelerine ve değerlendirmelerine yardımcı olmaktadır. Endüstriyel kullanıcılar, kazanlar, türbinler ve flaş tankları dahil olmak üzere bir buhar sisteminin bileşenlerinin mevcut çalışma koşullarını daha iyi anlayabilmektedir. Araç, sistemdeki çeşitli buhar akışlarının tahmin edilmesine ve enerji kullanımını azaltmaya yönelik çeşitli fırsatlar için çalışma senaryolarının test edilmesine yardımcı olmaktadır [78].

Basıncı Hava Değerlendirmeleri: MEASUR, kullanıcıların endüstriyel basınçlı hava sistemlerinde enerji kullanımını ve tasarruf fırsatlarını analiz etmelerine yardımcı olan bir dizi araç içermektedir. Mevcut ve gelecekteki sistem operasyonları iyileştirmelerini

modelleyebilir ve birçok enerji verimliliği önleminden elde edilen enerji ve dolar tasarruflarını değerlendirebilmektedir [78].



Şekil 4.6 Yazılım programı ana sayfa görüntüsü

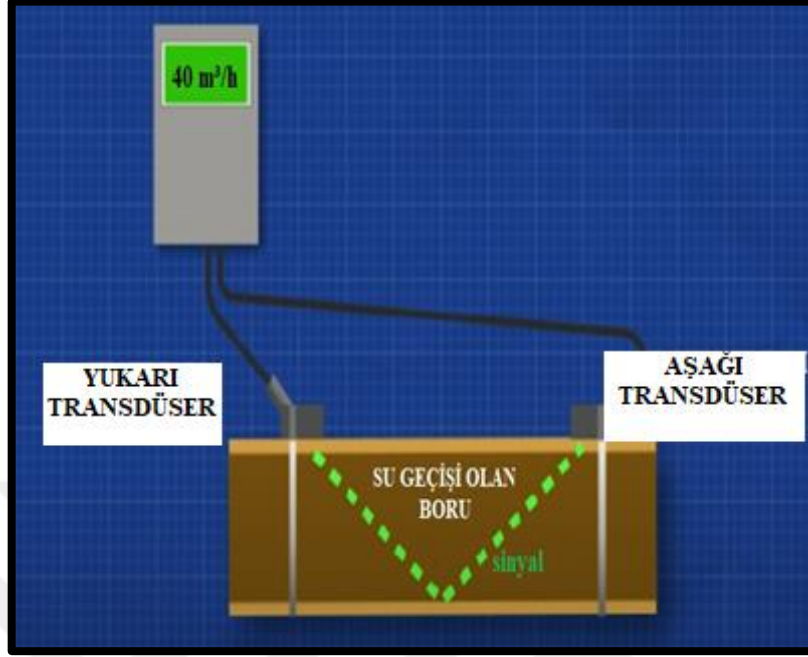
MEASUR yazılım programına analizi yapılmak istenilen sistem için gerekli ölçüm ve hesaplama verilerinin girilmesi gerekmektedir. Bunun için Nephrocan firmasında bulunan chillerin borusunda debi ölçümü yapılması gerektiği belirlenmiştir. Chiller boru hattındaki soğutulmuş suyun debi ölçümü, ultrasonik debimetre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7’de görülen ultrasonik debimetre kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Ultrasonik debimetre

Ölçüm hattın borularının dirseklerinden uzak olan düz boruda gerçekleştirilmiştir. Borunun et kalınlığı ve boru cinsi cihaza girilmiştir. Ek-1 de gösterilen ölçüm

prensiplerinden ultrasonik sesin boru içerisinde 2 kere çapraz geçişini öngören V-Metodu ile ölçüm gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8’de ki gibi cihaz boruya bağlanmıştır.



Şekil 4.8 Ölçüm şeması

Boru içerisinde suyun akış debisi $40 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak ölçülmüştür. Bu veri chiller COP hesaplaması için gereklidir. COP hesaplaması kullanılan chillerin verimliliği hakkında bizlere bilgi sunmaktadır. COP sayısını bulabilmek için chiller verileriyle farklı hesaplamalar yapılmalıdır. Chiller sisteminde ki çekilen gücün hesaplaması için üç fazlı sistemlerde güç formülü;

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi \quad (4.1)$$

kullanılmıştır. COP hesaplamasında soğutma kapasitesi,

$$Q^* = m \times c \times \Delta t \quad (4.2)$$

formülü ile hesaplanır. Bu hesaplamaların tamamlanmasından sonra elde edeceğimiz COP sayısı ile etkin bir değerlendirme yapılabilmektedir.

4.3 Aydınlatma Tasarruf Analizi

Nephrocan şirketinde yer alan temiz odaların aydınlatmasında, mevcut durumda kare şeklindeki armatürlerin içine yerleştirilmiş LED aydınlatmalar kullanılmaktadır. Bu aydınlatmalar, üretim sahası dâhilinde yer alan depolama alanları ve ofisler de olmak üzere tüm alan için toplam 45 adet armatür içerisinde konumlandırılmıştır.

Temiz bir odanın içinde yer alan armatürlerdeki LED aydınlatmalar, üretim devam ederken değiştirilmesi zor ve üretilen ürünler açısından partikül riski yarattığı için led aydınlatma değişimi tercih edilmemiş olup, tasarruf amaçlı olarak üretim yapılmayan zamanlarda kapatılabilir.

MEASUR enerji verimliliği hesaplama programı yıllık tasarruf miktarını hesaplamak için kullanılmıştır. Şekil 4.9’da MEASUR programına girdi ekranı görülmektedir.

MEVCUT AYDINLATMA -LED		TAVSİYE EDİLEN AYDINLATMA -LED.1	
Operating Hours	8736 hrs/yr	Operating Hours	7641 hrs/yr
Fixture Category	LED Troffers	Fixture Category	LED Troffers
Fixture type	4L 2 Foot LED	Fixture type	4L 2 Foot LED
Lamp Life	60,000 hrs	Lamp Life	950 hrs
Watts Per Lamp	34 W/lamp	Watts Per Lamp	34 W/lamp
Ballast Factor	1	Ballast Factor	1
Lamps Per Fixture	4	Lamps Per Fixture	4
Number of Fixtures	45	Number of Fixtures	45

Şekil 4.9 Mevcut ve tavsiye edilen çalışma süresi bilgileri ekranı

Çizelge 4.2’ de mevcut ve tavsiye edilen çalışma süresi karşılaştırması görülmektedir. Bu hesaplama için iki vardiyanın gece ve gündüz toplam mola süresi 3 saat olarak belirlenmiştir. Yılın 365 günündeki toplam mola süresi aydınlatmanın çalışacağı süreyi belirlemek için çıkarılmıştır. Her bir armatürdeki LED’in gücü 34 watt’tır ve mevcut armatürler, 7 gün 24 saat boyunca alanı aydınlatmak için kullanılmaktadır. Elektrik ücreti, serbest bölgede firmaya fatura edilen kilowatt-saat (kWh) oranına göre 0,20 dolar olarak belirlenmiştir. EK-2’de gösterildiği şekilde girişler yapılmıştır.

Mevcut durumda, LED aydınlatmalar 8.736 saat çalışmaktadır ancak önerilen durumda ise LED aydınlatmaları 7.641 saat çalışacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 4.2 Mevcut ve tavsiye edilen çalışma süresi karşılaştırması

	Mevcut Aydınlatma-LED	Tavsiye Edilen Aydınlatma-LED
Çalışma Süresi	8736	7641
Armatür Kategorisi	Led Troffers	Led Troffers
Armatür Tipi	4L 2 Foot Led	4L 2 Foot Led
Her bir Lamba İçin Watt	34	34
Balast Lümen Faktörü	1	1
Armatürde Lamba sayısı	4	4
Armatür Sayısı	45	45

4.4 Chiller Enerji Verimliliği

Bu kısımda şirket bünyesinde GWK marka chiller değerlendirilmiştir. Chiller, yaz ve kış aylarında çalışmaktadır. Enerji tasarrufu hedefi doğrultusunda, temiz oda şartlarını bozmadan chillerin çalışma koşullarında yapılan değişiklikler incelenmiştir. Tam yükte chiller için COP sayısı hesaplanmıştır. Çizelge 4.3’de hesaplama sonucu verilmiştir. Maksimum yük kapasitesi için hesaplama yapılmıştır. Çekilen güç,

$P=1.73 \times 380 \times 144 \times 0.9 / 1000$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 İdeal durum COP hesaplama tablosu

Giriş Sıcaklığı T_i (°C)	15,00
Çıkış Sıcaklığı T_o (°C)	10,00
Sıcaklık Farkı (ΔT)	5,00
Su debisi (m^3/h)	62,00
Q (kW) Soğutma Gücü	358,67
Çekilen Akım (A)	144,00
P Çekilen Güç (kW)	85,20
COP Verimlilik	4,21

COP değeri 4,21 bulunmuş olup bu değer chillerin verimliliğinin iyi olduğunu göstermektedir. COP ile EER arasındaki ilişkiyi kullanarak EER değerini bulunmuştur. İki değer;

$$EER = 4,21 \times 3,412 = 14,36792$$

kW/ton=12/EER = 0,835433 şeklinde hesaplanmıştır.

Enerji tasarrufu fırsatları için veri analizi, MEASUR programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MEASUR programına EK-3'te belirtildiği şekilde giriş yapılmaktadır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi programa chillere ait bilgiler ve hesaplama bilgileri girilmiştir.

Chiller Characteristics		Operating Conditions	
Chiller Type	Screw	Annual Operating Hours	720 hrs/yr
Condenser Cooling Type	Air Cooled	Electricity Cost	0,20 \$/kWh
Motor Drive Type	N/A	Chilled Water Flow Rate	0,0172222222222222 m³/s
Compressor Config Type	No VFD	Chilled Water ΔT	5 °C
Rated Conditions			
Chiller Capacity @ ARI	358,67		kW
Full Load Efficiency @ ARI	0,835433		kW/ton
Design/Max Capacity Ratio	1		

Şekil 4.10 MEASUR girdi ekranı

Çalışmada, ideal chillerin su akış oranı 62 m³/h olarak belirlenmiştir. GWK marka screw modellerde sıcaklık farkı 4-5 °C ile çalışılabilmektedir. Maksimum akım miktarı katalog bilgilerine göre 144 olarak alınmıştır. Chillerin su sıcaklık farkı ΔT 5 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4'de ideal durum için chillerin MEASUR girdi ekranı verileri verilmiştir. Chiller, vidalı tipinde hava soğutmalıdır. Chillerde değişken frekans sürücüsü bulunmamaktadır. Elektrik ücreti, serbest bölgede firmaya fatura edilen kWh oranına göre 0,20 dolar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 İdeal durum MEASUR verileri

Soğutucu Özellikleri		Çalışma Koşulları		Değerlendirilmiş Koşullar	
Soğutucu Tipi:	Vidalı	Çalışma Süresi:	720 saat	Soğutucu Kapasite:	356,67 kW
Kondenser Soğutma Tipi:	Hava soğutmalı	Elektrik Ücreti:	0,20 \$/kWh	Tam Yük Verimlilik:	0,83543 kW/ton
Motor Sürücü Tipi:	yok	Soğutucu Su Akış Debisi:	0.017222 m ³ /s	Tasarım/Maksimum Kapasite oranı:	1
Kompresör Yapılandırma Türü:	yok	Soğutucu Su ΔT :	5 °C		

Mevcut durumda Chiller için COP sayısı hesaplanarak Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Soğutma güç kapasitesi 231,40 kW'tır. Çalışmada, chillerin su akış oranı 40 m³/h olarak ölçülmüştür. Chillerin su sıcaklık farkı ΔT 5 °C olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 Mevcut COP hesaplama tablosu

Giriş Sıcaklığı Ti (°C)	15,00
Çıkış Sıcaklığı To (°C)	10,00
Sıcaklık Farkı (ΔT)	5,00
Su debisi (m ³ /h)	40,00
Soğutma Gücü Q (kW)	231,40
Çekilen Akım (A)	134,00
Çekilen Güç (kW)	79,28
COP Verimlilik	2,92

COP değeri 2,92'dir. COP ile EER arasındaki ilişkiyi kullanarak EER değeri bulunmuştur. İki değer ;

$$EER = 2,92 \times 3,412 = 9,958533$$

kW/ton=12/EER = 1,204997 şeklinde hesaplanmıştır.

Şekil 4.11'de mevcut chillere ait bilgiler ve hesaplama bilgileri girilmiştir.

Chiller Characteristics		Operating Conditions	
Chiller Type	Screw	Annual Operating Hours	720 hrs/yr
Condenser Cooling Type	Air Cooled	Electricity Cost	0,20 \$/kWh
Motor Drive Type	N/A	Chilled Water Flow Rate	0,0172222222 m ³ /s
Compressor Config Type	No VFD	Chilled Water ΔT	5 °C
Rated Conditions			
Chiller Capacity @ ARI	231,40 kW		
Full Load Efficiency @ ARI	1,204997 kW/ton		
Design/Max Capacity Ratio	1		

Şekil 4.11 Mevcut durum MEASUR girdi ekranı

Çizelge 4.6’da mevcut durum için chillerin MEASUR girdi ekranı verileri sunulmuştur. Soğutucu kapasitesi 231,40 kW’a düşmüştür. Tam yük verimliliği 1,204997 kW/ton olarak verilmiştir. Çalışma süresi ve elektrik ücretinde bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.6 Mevcut durum MEASUR verileri

Soğutucu Özellikleri		Çalışma Koşulları		Değerlendirilmiş Koşullar	
Soğutucu Tipi:	Vidalı	Çalışma Süresi:	720 saat	Soğutucu Kapasite:	231,40 kW
Kondenser Soğutma Tipi:	Hava soğutmalı	Elektrik Ücreti:	0,20 \$/kWh	Tam Yük Verimlilik:	1,204997 kW/ton
Motor Sürücü Tipi:	yok	Soğutucu Su Akış Debisi:	0.017222 m ³ /s	Tasarım/Maksimum Kapasite oranı:	1
Kompresör Yapılandırma Türü:	yok	Soğutucu Su ΔT:	5 °C		

Sistemin revize edilmesi halinde oluşacak tasarrufu görmek için ise analiz yapılmıştır. Şekil 4.12’de girdi ekranı görülmektedir. Chillerin katalog ve verimlilik bilgileri değiştirilmeden, chillerin tipi santrifüj, soğutma şekli su soğutmalı ve sistemde sürücü olsaydı oluşacak tasarruf için veriler programa girilmiştir.

Chiller Characteristics		Operating Conditions	
Chiller Type	Centrifugal	Annual Operating Hours	720 hrs/yr
Condenser Cooling Type	Water Cooled	Electricity Cost	0,20 \$/kWh
Motor Drive Type	Hermetic	Chilled Water Flow Rate	0,0172 m ³ /s
Compressor Config Type	VFD	Chilled Water ΔT	5 °C
Rated Conditions			
Chiller Capacity @ ARI	358,67 kW		
Full Load Efficiency @ ARI	0,835433 kW/ton		
Design/Max Capacity Ratio	0,92		

Şekil 4.12 Su soğutmalı MEASUR girdi ekranı

Çizelge 4.7’de chillerde soğutucu tipi farklı olduğu durum için chillerin MEASUR girdi ekranı verileri sunulmuştur. Elektrik ücreti ve çalışma süresi aynı kalmıştır. Soğutma gücünde ve tam yük verimliliğinde ideal durumdan bir değişiklik yapılmamıştır. Enerji verimliliği için önemli etken olan Hermetik motor sürücüsü analiz için eklenmiştir.

Çizelge 4.7 Soğutucu tipi farklı olduğu durum MEASUR verileri

Soğutucu Özellikleri		Çalışma Koşulları		Değerlendirilmiş Koşullar	
Soğutucu Tipi:	Santrifüj	Çalışma Süresi:	720 saat	Soğutucu Kapasite:	358,67 kW
Kondenser Soğutma Tipi:	Su	Elektrik Ücreti:	0,20 \$/kWh	Tam Yük Verimlilik:	0,83543 kW/ton
Motor Sürücü Tipi:	Hermetik	Soğutucu Su Akış Debisi:	0.017222m ³ /s	Tasarım/Maksimum Kapasite oranı:	1
Kompresör Yapılandırma Türü:	VRF	Soğutucu Su ΔT :	5 °C		

Burada yapılan hesaplamalar sonucunda çıkan değerler chiller sisteminin aynı oranda rölanlı almadan sürekli çalışmasını ele alan değerlerdir. Bu program aracılığıyla, chillerin yeni çalışma koşullarında enerji tasarrufu potansiyeli değerlendirilmiştir. Programa girilen veriler doğrultusunda programdan sonuçlar alınmıştır. Detaylı değerlendirme ve analiz bu verilere göre gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

MEASUR programı kullanılarak yapılan analizler sonucunda enerji verimliliği değerlendirmesi için çeşitli veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler şirketin temiz oda faaliyetlerinde harcadıkları enerji tüketimini minimuma indirme hedeflerine ışık tutacak niteliktedir. MEASUR programı kullanılarak elde edilen aydınlatma verileri de bu bağlamda fırsatlar olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 5.1’de aydınlatma için mevcut yıllık elektrik kullanımı 53.464 kWh’tır. Toplam aydınlatma miktarı 128.250 lümen dir ve yıllık maliyet 10.693 dolardır. Tavsiye edilen durumla aydınlatma kullanım süresinin azaltılması ile yıllık elektrik kullanımı 46.763 kWh’a düşmüştür. Toplam aydınlatma miktarı aynı kalmıştır (128.250 lümen) ancak yıllık maliyet bu sayede 9.353 dolara düşürülmüştür.

Totals				
	Operating Hours (hrs/yr)	Electricity Use (kWh/yr)	Total Lighting (lumens)	Total Annual Cost (\$/yr)
Baseline	8,736	53,464	128,250	\$10,693
Modification	7,641	46,763	128,250	\$9,353
Electricity Savings			6,701 kWh/yr	
Electricity Cost Savings			\$1,340 /yr	
Change In Lighting Level			0 lumens	

Şekil 5.1 Mevcut ve tavsiye edilen led kıyaslaması sonucu

Bu verilere göre, yıllık 6.701 kWh elektrik tasarrufu sağlandığı ve bu tasarrufun maliyetinin 1.340 dolar olduğu görülmektedir. Çizelge 5.1’ de mevcut ve önerilen LED aydınlatma durumları için çalışma süresi, elektrik kullanımı, toplam aydınlatma ve yıllık maliyet verilerinin sonucunu göstermektedir.

Çizelge 5.1 Mevcut ve tavsiye edilen led aydınlatma kıyaslaması

	Çalışma Süresi (hrs/yr)	Elektrik Kullanımı (kWh/yr)	Toplam Aydınlatma (Lumens)	Toplam Yıllık Maliyet (\$/yr)
Mevcut Durum	8.736	53.464	128.250	10.693
Tavsiye Edilen Durum	7.641	46.763	128.250	9.353

Önerilen durumun maliyet açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir. Yıllık elektrik kullanımı ve dolayısıyla elektrik faturası, aydınlatma çalışma süresinin düşürülmesiyle azaltılmıştır. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi toplam aydınlatma miktarı aynı kalmıştır, böylece aydınlatma kalitesinde herhangi bir değişiklik olmamıştır.

Bu tasarruf, enerji faturasını düşürerek karlılığı arttırmaktadır. Aynı zamanda çevresel etkileri de azaltarak sürdürülebilirlik açısından da fark yaratmaktadır. Bu tür tasarruflar, işletmelerin enerji yönetimini iyileştirerek hem çevre hem de ekonomik açıdan fayda sağlamaktadır.

MEASUR programı kullanılarak değerlendirmeye aldığımız chiller sistemide şirketin enerji verimliliği üzerine chillerde çalışma yapılabileceğini ortaya koymaktadır. İdeal durumda chillerin enerji tüketim analiz sonucu Şekil 5.2’de görülmektedir. Analiz sonucunda aylık harcamanın 8.931 dolar olduğu görülmektedir. Sadece bir chillerin bir aylık tüketimini gösterdiği için ciddi bir masraf kalemi olduğu görülmektedir.

Actual Chiller Capacity	1,620.55 kW
Actual Chiller Efficiency	0.1346 kW/ton
Power Consumption	62.02 kW
Energy Consumption	44,656.3 kWh
Energy Cost	\$8,931

Şekil 5.2 İdeal durumda chillerin enerji tüketim analiz sonucu

Şirketin mevcut durumdaki chillerinin değerlerini MEASUR programına girip diğer bir analiz sonucu elde edilmiştir. Şekil 5.3’te mevcut durumda ve debisi 40 m³/h olduğu zaman ki enerji analiz sonucu görülmektedir. Burada aylık elektrik tüketiminin ve chillerden kaynaklı maliyetinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.

Actual Chiller Capacity	1,045.51 kW
Actual Chiller Efficiency	0.293 kW/ton
Power Consumption	87.12 kW
Energy Consumption	62,726.01 kWh
Energy Cost	\$12,545

Şekil 5.3 Mevcut durumda chillerin enerji tüketim analiz sonucu

Chillerde yapılabilecek enerji verimliliği çalışmalarını anlamak için farklı bir tipte chiller için analiz çalışması ortaya konulmuştur. Şekil 5.4’te Chillerin tipinin değiştiği

durumda enerji analiz sonucu görülmektedir. Bu analiz sonucunda 8.163 dolara düşen aylık harcama ile kayda değer seviyede tasarruf imkânı olduğu görülmektedir.

Actual Chiller Capacity	241.09 kW
Actual Chiller Efficiency	0.827 kW/ton
Power Consumption	56.69 kW
Energy Consumption	40,816.64 kWh
Energy Cost	\$8,163

Şekil 5.4 Chillerin tipinin değiştiği durumda enerji tüketim analiz sonucu

Çizelge 5.2’ de chiller için analiz sonuçları görülmektedir. Bu analiz sonuçları şirketin enerji tüketimini değerlendirmede kaynak oluşturabilecek niteliktedir. Nephrocan şirketinde NLVP 14 numaralı sayaçta ortalama 105.046,55 kWh aylık elektrik tüketimi vardı. Sayaç tüketiminin ideal durumda 44.653,3 kWh chillerden kaynaklı elektrik tüketimi olması gerekirken mevcut durumda 62.726,1 kWh chillerden kaynaklı elektrik tüketimi olduğu ortaya çıkıyor. Bu mevcut ve ideal durumdaki elektrik tüketiminden %29 oranında fazladan elektrik tüketimi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.2 Soğutucu cihaz için analiz sonuçları

	Enerji Maliyeti (\$)	Enerji Tüketimi (kWh)
İdeal Durum	8.931	44.656,30
Mevcut Durum	12.545	62.726,01
Soğutucu tipi farklı olduğu durum	8.163	40.816,64

Çalışma performansı olarak 358 kW soğutma gücü kullanılabilirken mevcut durumda 231,40 kW soğutma gücü kullanılmaktadır. Burada %35 oranında soğutma gücünden kayıp olduğu ortaya konulmuştur.

Chillerin katalog ve verimlilik bilgileri değiştirilmeden, chillerin tipi santrifüj, soğutma şekli su soğutmalı ve sistemde sürücü olması durumunda ki analiz sonucu 40.816,64 kWh’tir. Tespit edilen yüzdelik oranlara ek olarak analiz sonuçları, ideal durumdan bile 768 dolar daha tasarruflu çalışabileceğini ortaya koymaktadır.

Enerji tüketiminin maliyetin üzerine etkisi yanında hem Türkiye hem de dünya genelinde çevresel etkisi, öncelikli olarak ele alınması gereken hayati bir konu olarak

karşımıza çıkmaktadır. Artan enerji talebi, fosil yakıtların yoğun kullanımı ve enerji üretim süreçlerinin beraberinde getirdiği çevresel zorluklar, sürdürülebilirlik açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketiminde tasarruf sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak, hem bireysel hem de sektörel düzeyde bir zorunluluk haline gelmiştir.

Enerji verimliliği çabalarının etkileri incelendiğinde, özellikle sanayi sektöründe maddi açıdan önemli katkılar sağladığı görülmektedir. Bu kapsamda enerji verimliliği yöntemi tespit edilmiştir. MEASUR programı ile analizi gerçekleştirilen çalışma, bunu desteklemektedir. Enerji maliyetlerinin azaltılması, işletme karlılığını artırırken aynı zamanda enerji kaynaklarının daha verimli kullanımını teşvik etmektedir. Ancak verimliliği çabalarının sadece ekonomik yönüyle değil, aynı zamanda çevresel açıdan da büyük bir önemi vardır.

Sera gazı salınımının azaltılması, küresel ısınma ve çevresel değişikliklerle mücadelede kritik bir faktördür. Bu noktada, enerji tüketiminin sera gazı salınımına olan etkisi oldukça önemlidir. Elektrik üretiminin büyük kısmını fosil yakıtlardan karşılayan Türkiye’de, her 1 kWh enerji tüketimi atmosfere yaklaşık olarak 443 gram fazladan sera gazı salınımına neden olmaktadır. Bu durum, enerji verimliliğinin ne kadar hayati bir rol oynadığını açıkça göstermektedir.

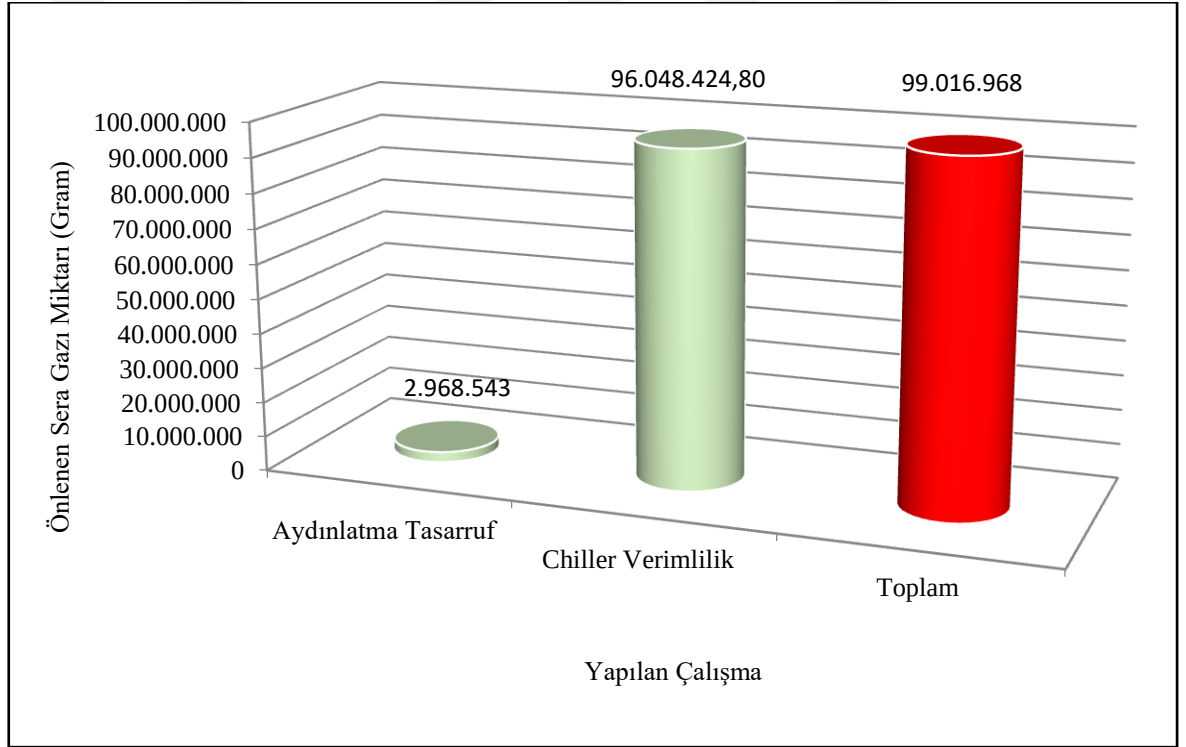
Bu bağlamda, gerçekleştirilen aydınlatma tasarrufu çalışmasıyla yıllık 6.701 kWh elektrik tasarrufu elde edilmesi, hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük bir kazanım olarak değerlendirilmelidir. Bu tasarrufun sağladığı sera gazı azaltımı ise oldukça etkileyici bir sonuç sunmaktadır. Analizler, bu tasarrufun yıllık 2.968.543 gram fazladan sera gazı salınımını engelleyebileceğini göstermektedir. Bu etki, sadece yerel değil, aynı zamanda küresel ölçekte çevresel sürdürülebilirliğe olan katkıyı vurgulamaktadır.

Verimlilik çalışmasıyla birlikte yapılan chiller enerji verimliliği analizi sonuçları, sera gazı salınımının azaltılması konusunda oldukça dikkat çekici sonuçlar sunmaktadır. Chiller sistemlerinin ideal şartlarda çalışması durumunda, aylık 18.067,8 kWh elektrik tüketiminden tasarruf sağlanabileceği analiz edilmiştir. Bu tasarrufun beraberinde getirdiği çevresel etki ise oldukça büyük bir önem taşımaktadır.

Özellikle chiller sistemlerinin enerji verimliliği üzerinde yapılan bu analiz, çevre dostu yaklaşımların ne kadar büyük faydalar sağlayabileceğini açıkça göstermektedir. Aylık

8.004.035,4 gram fazladan sera gazı salınımının bu tasarruf ile ortadan kalkabileceği belirlenmiştir. Bu etki, yıllık olarak düşünüldüğünde ise tam 96.048.424,8 grama denk gelmektedir. Bu sayı, sadece rakamsal bir değer değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir dönüşümün işareti olarak görülmelidir.

Şekil 5.5 aydınlatma ve chillerde yapılan düzenleme ile önlenecek sera gazı salınım verisini ortaya koymaktadır. Bu analiz, enerji verimliliği odaklı çalışmaların ne kadar önemli olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı salınımının azaltılması, iklim değişikliği gibi küresel sorunlarla mücadelede temel bir adımdır. Bu nedenle, chiller sistemlerinin verimliliğinin artırılması gibi çevresel etkileri azaltmayı amaçlayan çalışmalar, sürdürülebilir bir geleceğin inşasında kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 5.5 Analiz sonucu önlenen sera gazı miktarı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel işletmeler enerji tüketimi gerçekleştiren birçok donanımdan meydana gelmektedir. Endüstriyel işletmelerde ve sanayi kuruluşlarında enerji verimliliği için oluşturacak donanımların kurulmadan önce seçimleri esnasında birçok nokta göz önünde bulundurulmalıdır. Sanayi alanının belli başlı kolunda tercih edilen temiz odalar yoğun enerji tüketim donanımına sahiptir. Yeni kurulacak veya mevcutta olan temiz odalar ve ticarethanelerde basit uygulama noktaları ile tüketimi azaltmak mümkündür.

Temiz odalar da sistemler ve donanımlar sürekli kullanıldığı için tercih edilen sanayilerde sistemler ihtiyaç halinde aktif edilmelidir. Çalışmanın olmadığı saatlerde donanımlar ve sistemler kapatılarak enerji tüketiminde önemli bir tasarruf sağlanacaktır. Bu tür uygulamalar aydınlatma, soğutma, ısıtma, iklimlendirme sistemlerinde tercih edilmelidir.

Enerji kaynağı olarak elektrik enerjisi tüketimi gerçekleştiren ticarethaneler tüketimlerini gece saatlerinde yaparak, kWh üzerinden daha düşük tarife edilmesi sebebiyle kayda değer bir tasarruf sağlayabilirler. Çalışma saatleri göz önünde bulundurulduğunda sistemlerin gece çalıştırılması tercih edilmelidir.

Bu çalışma kapsamında yapılan analiz sonuçları, chillerin ideal durumunda elektrik tüketiminin 44.653,3 kWh olması gerekirken mevcut durumda 62.726,1 kWh olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, gerekli düzenlemelerin yapılması ile chillerden kaynaklı %29 oranında fazladan elektrik tüketiminin önlenebileceğini ortaya koymuştur.

Temiz odaların ISO 14644-5 standardına göre düzenli bakımları yapılmalıdır. Bu çalışmada, chillerin çalışma performansı 358 kW soğutma gücünü kullanabilecekken mevcut durumda sadece 231,40 kW soğutma gücü kullanılmaktadır. Bu durum, %35 oranında soğutma gücü kaybı olduğunu göstermektedir.

Bu değerlendirme sonucunda sistemin debisinin iyileştirilmesi gerektiği sistemin kontrol edilip chiller sistemindeki boru hatlarını kontrolünün sağlanmasının gerekliliği ortaya konulmuştur. Tıkanıklıklar, daralmalar veya sızıntılar, akış debisinin düşmesine neden olabilmektedir. Boru hatları kontrol edilerek sorunları teşhis edip ve gerekirse temizlik veya onarım yaparak enerji tüketimini arttıracak olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir.

Chillerin filtreleri kontrol edilmeli ve gerekirse temizlenmelidir. Kirli filtreler, akışın düşmesine neden olabilir. Filtrelerin temizlenmesi veya değiştirilmesi, akışın düzelmesine yardımcı olacaktır.

Chillerin su pompaları düzenli olarak kontrol edilmelidir. Pompa problemleri, akışın düşmesine neden olabilmektedir. Pompanın doğru çalıştığından emin olunmalı veya gerektiğinde bakım yapılmalıdır.

Değerlendirme sonucunda belirlenen ve tavsiye edilen enerji uygulamaları arasında daha verimli sürücü tipi kullanımı öne çıkmaktadır. Geleneksel sürücü sistemleri enerji tüketimi açısından verimsiz olabilmektedir, ancak yeni nesil yüksek verimli sürücüler sayesinde enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Chiller soğutma sistemi seçiminde işletmenin ihtiyaçlarını karşılayacak kapasite, enerji verimliliği, bakım kolaylığı, güvenilirlik, uyumluluk ve maliyet faktörleri dikkate alınmalıdır. İşletmenin büyüklüğü, türü ve faaliyetleri gibi unsurlar doğru bir şekilde değerlendirilmeli ve verimli bir işbirliği ile en uygun seçenek belirlenmelidir. Ayrıca, yüksek COP değerine sahip olması, kolay bakım erişimi, güvenilir bileşenler ve uyumlu entegrasyon da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler, başlangıç maliyetleri ile işletme ve bakım maliyetleri arasında denge sağlayarak optimize edilmiş bir çözümün seçimine yardımcı olacaktır. Bu unsurlar, işletme sahipleri ve teknik uzmanlar için chiller soğutma sistemi seçimi sürecinde rehberlik sağlayabilir.

HVAC sistemleri, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufunu sağlama ihtiyacıyla giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu bağlamda, enerji verimliliğini artırma ve enerji tüketimini azaltma amacıyla HVAC sistemlerinde birçok fırsat bulunmaktadır. Büyük santral boyutlarının uygun seçimi, bileşenlerin optimum çalışma verimliliği, yüksek verimli makine tercihi ve uygun soğutucu akışkan seçimi gibi faktörler enerji tasarrufu sağlamada etkilidir. Ayrıca, enerji izleme ve kontrol sistemleri sayesinde sürekli optimizasyon, sorun tespiti, değişken hızlı sürücülerin kullanımı ve saat tarifesine uygun çalışma gibi stratejiler enerji verimliliğini artırmak için kullanılabilir.

Bu fırsatlara ek olarak, VAV sistemlerinin kullanımı, çeşitli fırsatlar sunar. Bu sistemler sayesinde hava akışı, odanın doluluk oranına veya ihtiyacına göre ayarlanabilir, böylece tesisin yükü azalır ve enerji tüketimi düşer. Isıtma ve soğutma yükleri azaldıkça, VAV sistemleri fan sistemi tarafından tesisin ihtiyaç duyduğu hava miktarını otomatik olarak azaltır, bu da fan enerji gereksinimlerini önemli ölçüde azaltır. VAV sistemleri,

genellikle bir yıldan daha kısa olan geri ödeme süreleri ile fan enerji verimliliğini artırarak önemli enerji tasarrufları sağlar.

İklimlendirme sistemlerinin kullanılacağı binalar için bazı öneriler sunulmuştur. Kısa vadeli çözümler arasında, bina kullanılmadığı zamanlarda geceleri ve hafta sonları HVAC sistemlerinin kapatılması, anahtar ve zamanlayıcılarla HVAC çalışma saatlerinin azaltılması, programlanabilir termostatların kullanılması, çalışanların kapı ve pencereleri kapalı tutarak ısı geçişini önlemenin sağlanması, her mevsime uygun sıcaklık ayarlarının yapılması ve kullanılmayan alanların bölmelerle ayrılması bulunmaktadır. Uzun vadeli çözümler arasında ise çatı pencerelerinin kullanılmasının hem doğal aydınlatma hem de ısının içeri girmesini sağladığı, yüksek verimlilikli ürünlerin tercih edilmesiyle enerji tasarrufunun sağlanabileceği, kontrol elemanlarıyla yönetilemeyecek sistemlerde enerji yönetim sistemlerinin kullanılması gerektiği önerilmektedir. Ayrıca, enerji verimliliği fırsatları arasında daha verimli fan kullanımı da dikkate değerdir. Yüksek verimli fanlar, enerji verimliliğini artırarak enerji maliyetlerini düşürebilir. Yeni teknolojiler ve tasarımlar, fanların daha verimli çalışmasını sağlamak için kullanılmaktadır.

Enerji projeleri kapsamında daha verimli motor kullanımı da vurgulanmaktadır. Elektrik motorları, birçok endüstriyel süreçte kullanılan enerji tüketimi yüksek sistemlerdir. Daha verimli motorlar, enerji tasarrufu sağlamak için etkili bir yöntemdir. Gelişmiş motor tasarımları ve yüksek verimlilik standartları, enerji verimliliğini artırarak enerji kayıplarını azaltmaktadır.

Son olarak, enerji sistemi sistem akış hızının düşürülmesi, enerji verimliliğini artırabilir. Havalandırma sistemlerinde hava akış hızının azaltılması enerji tasarrufu sağlamaktadır. Benzer şekilde, hidrolik sistemlerde sistem basıncının düşürülmesi enerji kayıplarını azaltır. Sistem akış hızının azaltılması, enerji maliyetlerinde önemli bir düşüş sağlayabilir.

Bu tez çalışması kapsamında aydınlatma tasarruf analizine göre, mevcut yıllık elektrik kullanımı 53.464 kWh'tır. Toplam aydınlatma miktarı 128.250 lümen'dir. Tavsiye edilen durumla aydınlatma kullanım süresinin azaltılması ile yıllık elektrik kullanımı 46.763 kWh'a düşmüştür. Toplam aydınlatma miktarı aynı kalmıştır (128.250 lümen) ancak yıllık maliyet bu sayede 9.353 dolara düşürülmüştür.

Temiz odalarda aydınlatma seçimi sürecinde dikkate alınması gereken önemli faktörler bulunmaktadır. Temiz odalarda aydınlatma seçimi sürecinde, yeterli ve homojen bir aydınlatma seviyesi sağlanması gerekmektedir. Işık dağılımının düzgün olması ve gölgelenme olmaması, çalışma alanında net ve rahat bir görüş sağlar. Aydınlatma armatürlerinin renk sıcaklığı da dikkate alınmalıdır. Genellikle temiz odalarda doğal beyaz veya soğuk beyaz ışık tercih edilmektedir. Bu renk sıcaklığı, işlerin daha net görülmesini ve çalışma performansının artmasını sağlar. Ayrıca, enerji verimliliği de bir diğer unsur olarak ortaya çıkmaktadır. LED aydınlatma armatürleri, enerji verimliliği açısından avantaj sağlar ve enerji maliyetlerinde tasarruf sağlar. Aydınlatma kontrol sistemleri, enerji tasarrufu sağlamak ve aydınlatma seviyelerini optimize etmek için kullanılabilir.

Temiz odalarda yalıtımın enerji verimliliği üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir. Temiz odalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletimini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Yalıtımlı temiz odalarda, yalıtımsız odalara kıyasla daha az ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu durum, enerji tasarrufu sağlayarak işletme maliyetlerini azaltma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, yalıtımlı temiz odalarda HVAC sistemlerinin daha verimli çalıştığı belirlenmiştir.

Yalıtım malzemeleri, içerideki sıcaklık ve nem seviyesini daha istikrarlı bir şekilde korurken, dış etkenlerin etkisini azaltmaktadır. Bunun sonucunda, HVAC sistemleri daha az enerji harcamakta ve daha iyi bir enerji verimliliği sağlamaktadır. Ayrıca, yalıtım malzemelerinin kullanılması dışarıdaki gürültü, titreşim ve hava akışını minimize ederek içerideki işlemleri etkilemeden tutmaktadır. Bu da enerji verimliliğini artırmakta ve operasyonel verimliliği iyileştirmektedir.

Bu çalışma, enerji verimliliği ve tasarrufunun çevresel olumlu etkilerini bir kez daha vurgulamıştır. Aydınlatma tasarrufu ve chiller enerji verimliliği sayesinde yıllık 96.048.424,8 gram fazladan sera gazı salınımının önlendiği görülmüştür. Sera gazı salınımının azaltılması, iklim krizi ve küresel ısınma gibi önemli tehditlerin olumsuz etkilerini hafifletmek adına kritik bir adımdır.

KAYNAKÇA

- [1] **Öztürk, H. K., Atalay, Ö., & Yılancı, A.** (2005). Yapılarda Kullanılan HVAC Sistemlerinde Kontrol ve Enerji Verimliliği. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 9.
- [2] **Özgener, L., & Hepbaşlı, A.** (2003). HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliliği ve Uygulamaları.
- [3] **Wang, Y., Li, Y., & Zhou, L.** (2015). Pressure gradient control and energy-saving operation strategy study on a multi-zone cleanroom. *Procedia Engineering*, 121, 1998-2005.
- [4] **Kircher, K., Shi, X., Patil, S., & Zhang, K. M.** (2010). Cleanroom energy efficiency strategies: Modeling and simulation. *Energy and buildings*, 42(3), 282-289.
- [5] **Mina, K. M., & Bulut, H.** (2020). Hastanelerde Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Uygulamalarının Enerji ve Ekserji Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 311-324.
- [6] **Yalın, H., Coşkun, A., & Atmaca, İ.** % 100 Taze Hava ile İklimlendirmede Isı Geri Kazanım Cihaz Performanslarının İklim Tipine Bağlı Analizi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 12(2), 36-42.
- [7] **Shan, K., & Wang, S.** (2017). Energy efficient design and control of cleanroom environment control systems in subtropical regions—A comparative analysis and on-site validation. *Applied Energy*, 204, 582-595.
- [8] **Yin, J., Liu, X., Guan, B., Ma, Z., & Zhang, T.** (2021). Performance analysis and energy saving potential of air conditioning system in semiconductor cleanrooms. *Journal of Building Engineering*, 37, 102158.
- [9] **Faulkner, D., Fisk, W., & Walton, J.** (1996). Energy savings in cleanrooms from demand-controlled filtration. *Journal of the IES*, 39(6), 21-27.
- [10] **Loomans, M. G. L. C., Molenaar, P. C. A., Kort, H. S. M., & Joosten, P. H.** (2019). Energy demand reduction in pharmaceutical cleanrooms through optimization of ventilation. *Energy and Buildings*, 202, 109346.
- [11] **Sartor, D., Piette, M. A., Tschudi, W., & Fok, S.** (2000). Strategies for Energy benchmarking in Cleanrooms and Laboratory-type Facilities (No. LBNL-45928). Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States).
- [12] **Hu, S. C., Lin, T., Huang, S. H., Fu, B. R., & Hu, M. H.** (2020). Energy savings approaches for high-tech manufacturing factories. *Case Studies in Thermal Engineering*, 17, 100569.

- [13] **Sun, W.** (2019). Cleanroom Fan Energy Reduction—Airflow Control Retrofit Based on Continuous, Real-time Particle Sensing. *Journal of the IEST*, 62(1), 11-25.
- [14] **Seven, İ.** (2020). Evaporatif soğutma ile chiller veriminin artırılması (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- [15] **Bakanay, B., Tosunoğlu, S., & Zengin, G.** Endüstriyel Soğutma Kulelerinde Enerji Verimliliği.
- [16] **Yıldırım F.**, Temiz Oda Uygulamaları, “*T.C.İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Mimarlık Yüksek Lisans Programı*”, *Y.Lisans Tezi*, 2020
- [17] **Özcan A.**, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Temiz Odalarda Hava Değişim Sayısı ve Filtre Sınıfının Oda Klasına Etkisi, *Y.Lisans Tezi*, 2006
- [18] **Whyte, W.**, (2001). Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation, (1st ed.). The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- [19] **Url-1** <<https://divalsan.com.tr/temiz-oda-nedir/>>, alındığı tarihi: 23.09.2022.
- [20] **Dişli, E.** (2011). Temiz oda iklimlendirme sistemi tasarımına etki eden parametrelerin teorik olarak incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). *Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, Türkiye, 94 s.
- [21] **Yıldırım, F.** (2020). Temizoda uygulamaları (Master's thesis, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı).
- [22] **Url-2**<<https://nereye.com.tr/urpertici-veba-doktoru-maskesi-ve-kostumun-arkasindaki-sirlar/>>, alındığı tarihi: 06.05.2023.
- [23] **Hürtürk, Ş.** (2000). Temiz Oda Tasarımı ve Bir Ameliyathaneye Uygulanarak Projelendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- [24] **Uğurlu, D.** (2005). Bir hastane klimasında hijyen oda şartlandırılması ve sistemin termoeconomik analizi.
- [25] **Url-3**<<https://www.tusas.com/urunler/uzay/test-merkezi/uzay-sistemleri-entegrasyon-ve-test-merkezi/>>, alındığı tarihi: 05.05.2023.
- [26] **Url-4**<<https://www.yumpu.com/tr/document/read/35415072/temiz-odalarda-havalandirma-ve-kontrolu>>, alındığı tarihi: 23.09.2022.
- [27] **Url-5**<<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/uydular-neden-temiz-odada-uretiliyor>>, alındığı tarihi: 05.05.2023
- [28] **Url-6**<<https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/imece-uydusuna-yuruyen-temiz-oda-42055833>>, alındığı tarihi: 05.05.2023
- [29] **Url-7**<[https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-\(PRODCOM\)-Istatistikleri-2021-45835](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Sanayi-Urun-(PRODCOM)-Istatistikleri-2021-45835)>, alındığı tarihi: 13.06.2023.

- [30] **Gökırmaklı, Ç., & Bayram, M.** (2018). Gıda için gelecek öngörürleri: Yıl 2050. *Akademik Gıda*, 16(3), 351-360.
- [31] **ISO 14644-16:2019** *Cleanrooms and associated controlled environments – Energy efficiency in cleanroomm separative devices*
- [32] **Url-8** < <https://cleanroomnews.org/temizoda-iklimlendirme-sistemlerinde-enerji-tasarrufu> >, alındığı tarihi: 05.05.2023.
- [33] **Yılankırkan, N., Camcı, B.** (2022). Temiz Odalarda Aydınlatma Enerji Verimliliğinin Önemi, *IV. International Congress on Engineering Sciences and Mutidisciplinay ApproachesI*, 03-04-05 Kasım 2022, İstanbul.
- [34] **Hayta, A. B.** (2007). Çalışma ortamı koşullarının işletme verimliliği üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, (1), 21-41.
- [35] **Url-9** < <https://www.termotes.com/temiz-oda-panelleri/> >, alındığı tarihi: 06.05.2023.
- [36] **Url-10** < <https://www.vat.com.tr/tr/chiller-sisteminde-enerji-verimliliği/> >, alındığı tarihi: 23.09.2022.
- [37] **Url-11** < <https://www.taninmismakina.com/chiller-nedir/> >, alındığı tarihi: 01.08.2022.
- [38] **Url-12** < <https://erbay.com.tr/blog/8/hava-sogutmali-chiller> >, alındığı tarihi: 01.05.2023.
- [39] **Url-13** < <https://www.chiller.com.tr/su-sogutmali-chiller-secimi/> >, alındığı tarihi: 01.05.2023)
- [40] **Url-14** < https://www.mekâniktesisat.net/uploads/3/9/8/6/39866781/chiller_grubu_montaj%C4%B1.pdf >, alındığı tarihi: 14.06.2023.
- [41] **Url-15** <“Chiller Soğutma Sistemleri Scroll Kompresör Enerji Verimliliği” ,<https://artensochillers.com/yazilar/Chiller-Sogutma-Sistemleri-Scroll-Kompresor-Enerji-Verimliliği> >, alındığı tarihi: 08.09.2022.
- [42] **Url-16** <<https://www.cemkimsan.com.tr/post/chiller-%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fma-prensibi> >, alındığı tarihi: 14.09.2022.)
- [43] **Url-17** < <https://www.zahitbulut.com/hava-sogutmali-chiller-ile-su-sogutmali-chiller-arasindaki-baslica-farklar-nelerdir/> >, alındığı tarihi: 03.05.2023.
- [44] **Url-18** < <https://reterm.com/tr/induksiyon-sistemleri/kurumsal/haberler/chiller-nedir-ve-nasil-calisir-#:~:text=Chiller%3B%20%C4%B1s%C4%B1y%C4%B1%20bir%20kaynaktan%20di%C4%9Ferine,dolay%C4%B1%20s%C4%B1cakl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20d%C3%BC%C5%9Fer%20ve%20s%C4%B1v%C4%B1la%C5%9F%C4%B1r.> > alındığı tarihi: 03.07.2023.

- [45] Söğüt, M. Z., & Karakoç, H. (2013). Klimalarda enerji verimliliği sınıflandırılmasında farklı bir yaklaşım: *ekserjetik verimlilik oranı ve çevresel etki oranı*. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 135, 50-60.
- [46]Url-19<[https://www.chiller.com.tr/chiller-sogutma-kapasitesi-hesabi/#:~:text=COP%2C%20chiller%20so%C4%9Futma%20grubunun%20performans%C4%B1n%C4%B1n,kPa\)%5D%20%2F0.3%20olarak%20hesaplan%C4%B1r.&text=%C3%87ekilen%20toplam%20g%C3%BC%C3%A7\(KW\)%20olarak%20bulunur.](https://www.chiller.com.tr/chiller-sogutma-kapasitesi-hesabi/#:~:text=COP%2C%20chiller%20so%C4%9Futma%20grubunun%20performans%C4%B1n%C4%B1n,kPa)%5D%20%2F0.3%20olarak%20hesaplan%C4%B1r.&text=%C3%87ekilen%20toplam%20g%C3%BC%C3%A7(KW)%20olarak%20bulunur.)>, alındığı tarihi: 14.06.2023.)
- [47]Url-19< <https://www.tesisat.org/cihaz-verimlerinin-cop-sogutma-grubu-secimine-etkisi.html> > alındığı tarihi: 14.06.2023.)
- [48]Url-20<https://www.engineeringtoolbox.com/cop-eer-d_409.html> alındığı tarihi: 18.07.2023
- [49] Url-21<<http://blog.wago.com.tr/hvac-nedir/>>, alındığı tarihi: 18.11.2022.
- [50]Url-22<<https://www.elektrikde.com/hvac-nedir-hvac-sistemi-nasil-calisir/>>, alındığı tarihi: 19.11.2022
- [51]Url-23<[HVAC Sistemleri nasıl çalışır? | Avant Maya](https://www.avantmaya.com/hvac-sistemleri-nasil-calisir/), >, alındığı tarihi: 20.11.2022
- [52]Url-24<http://deneysan.com/Content/images/documents/havalandirma-4_39143832.pdf, >, > alındığı tarihi: 19.05.2023
- [53] Tuncay E., “Özgül Fan Gücü”, Alarko Teknik Bülten, Sayı 43, Sayfa 2-3, 2013.
- [54]Url-25<<https://www.sistemhavalandirma.com/fan-nedir/>, > alındığı tarihi: 19.05.2023
- [55] Url-26<<https://www.termodinamik.info/fan-secimi-ve-enerji-tasarrufu>, > alındığı tarihi: 19.05.2023
- [56] Url-27< <https://ceotudent.com/hvac-nedir>> alındığı tarihi: 19.06.2023
- [57] Url-28<[HVAC Filtrelerinin Farklı Türleri Nelerdir? 1 - Christian Isıtma & Klima \(christianhvac.com\)](https://christianhvac.com/hvac-filtrelerinin-farkli-turleri-nelerdir-1)>, > alındığı tarihi: 19.06.2023
- [58] Url-29< [Havalandırma Kanalları - HVAC Global](https://hvacglobal.com/havalandirma-kanallari)>, > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [59]Url-30< [Havalandırma kanalları: türleri, amacı, boyutları, kurulum özellikleri * Havalandırma \(exactosystem.com\)](https://exactosystem.com/havalandirma-kanallari-turleri-amaci-boyutlari-kurulum-ozellikleri), > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [60]Url-31<[Havalandırma Kanalı İzolasyonu Nasıl Yapılır? | Knauf Insulation](https://knaufinsulation.com/havalandirma-kanali-izolasyonu-nasil-yapilir), > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [61]Url-32<<https://www.knaufinsulation.com.tr/haberler/havalandirma-kanali-izolasyonu-nasil-yapilir>, > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [62] Özcan, U. (2019). Yapıda HVAC Sistem Seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 212-217.
- [63] Url-33< [Vapor Compression System | Compression Cycle | ARANER](https://araner.com/vapor-compression-system-compression-cycle), > alındığı tarihi: 06.05.2023

- [64] **Url-34**< [What Is Vapour Absorption Refrigeration System? | Working of Vapour Absorption Refrigeration System \(mechanicaljungle.com\)](http://www.mechanicaljungle.com/What-Is-Vapour-Absorption-Refrigeration-System-Working-of-Vapour-Absorption-Refrigeration-System) [Buhar Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Nedir? | Buhar Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Çalışması \(mechanicaljungle.com\)](http://www.mechanicaljungle.com/Buhar-Absorpsiyonlu-Soğutma-Sistemi-Nedir-Buhar-Absorpsiyonlu-Soğutma-Sisteminin-Çalışması) > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [65] **Url-35**<<https://hvacglobal.org/absorbsiyonlu-sogutma-sistemi/>, > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [66]**Url-36**< https://www.alarko-carrier.com.tr/eBulten/TekBulten/images_47/e_TekBulten47_print.pdf> alındığı tarihi: 06.05.2023
- [67]**Url-37**<<http://www.sogutmarehberi.com/mekânik-sogutma-sistemleri.html>, > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [68] **Url-38**<<https://www.celebilermuhendislik.com.tr/blog/buhar-sikistirmali-sogutma-cevrimi/>,> alındığı tarihi: 06.05.2023
- [69]**Url-39**< <https://www.huseyingunerhan.com/termo2/Ders06-Ornek01.pdf>, > alındığı tarihi: 06.05.2023
- [70] **Polat, A.** (2021). İki Borulu VRF Sistemlerde Dış Ünite Seçiminde Diversite Faktörünün Değerlendirilmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 2021(185), 33-43.
- [71] **Url-40**< <https://www.toshiba-klima.com.tr/vrf-sistemlerin-calisma-prensibi-nedir>,> alındığı tarihi: 06.05.2023
- [72] **Url-41**< <https://www.servis365.com.tr/vrf-vrv-nedir>,> alındığı tarihi: 06.05.2023
- [73]**Url-42**< https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_recovery_ventilation#cite_note-1,> alındığı tarihi: 06.05.2023
- [74]**Url-43**< <https://www.bpcventilation.com/blog/do-heat-recovery-systems-work/>, > alındığı tarihi: 06.05.223
- [75]**Url-44**< <https://www.airtecnics.com/news/what-is-an-air-handling-unit-ahu>,> alındığı tarihi: 06.05.2023
- [76]**Yükselen, S.** (1998). Bilgisayar programında psikrometrik diyagramla hava şartlandırma
- [77]**Url45**<[file:///C:/Users/90534/Downloads/psikrometrik%20diyagram%20ve%20i%C5%9Flemeler%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/90534/Downloads/psikrometrik%20diyagram%20ve%20i%C5%9Flemeler%20(1).pdf)> alındığı tarihi: 06.05.2023
- [78] **Url-46**<<https://www.energy.gov/eere/iedo/measur>,> alındığı tarihi: 06.06.2023
- [79]**Url-47**<[https://diyet.net/alternatif-akimda-guc-ve-hesaplamalari/#:~:text=%C3%9C%C3%A7%20Fazl%C4%B1%20sistemlerde,\(cos%26\)%20de%20hesaba%20kat%C4%B1%C4%B1r.](https://diyet.net/alternatif-akimda-guc-ve-hesaplamalari/#:~:text=%C3%9C%C3%A7%20Fazl%C4%B1%20sistemlerde,(cos%26)%20de%20hesaba%20kat%C4%B1%C4%B1r.),> alındığı tarihi: 06.06.2023
- [80]**URL-48**< <https://www.chiller.com.tr/chiller-sogutma-kapasitesi-hesabi>> alındığı tarihi: 06.07.2023

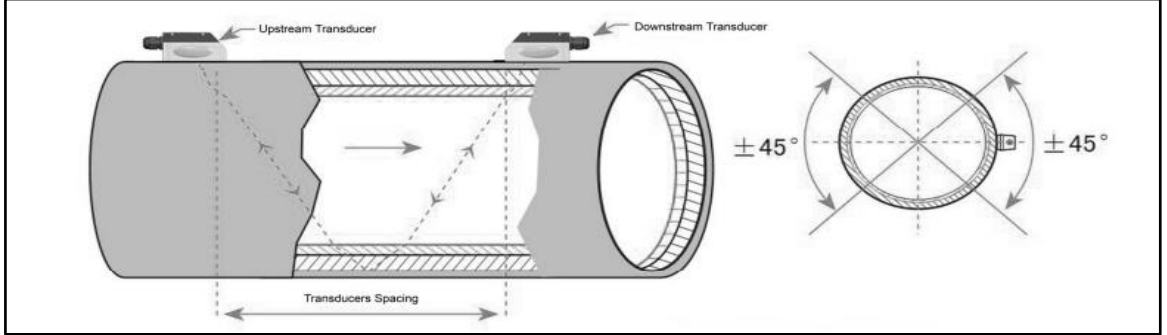
EK-1

HANDHELD ULTRASONIC FLEW METER (TİP: TUF – 200H)

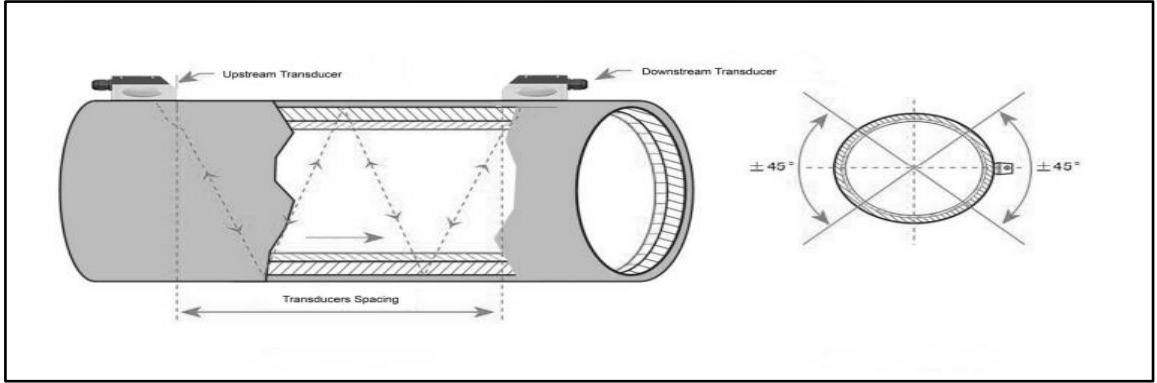


Ölçüm Aleti Prensibi

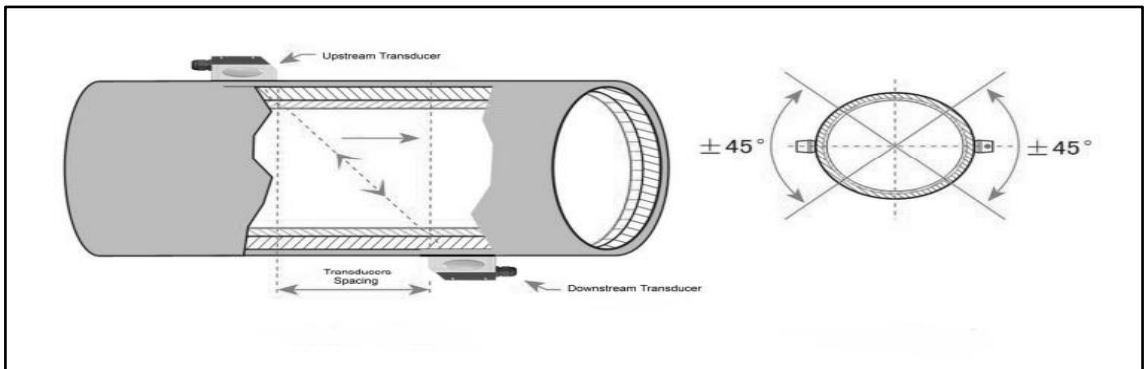
Sensörler 3 şekilde bağlanabilir; ultrasonik sesin boru içerisinde 2 kere çapraz geçişini öngören V-Metodu,



Ultrasonik sesin boru içerisinde 4 kere çapraz geçişini öngören W-Metodu



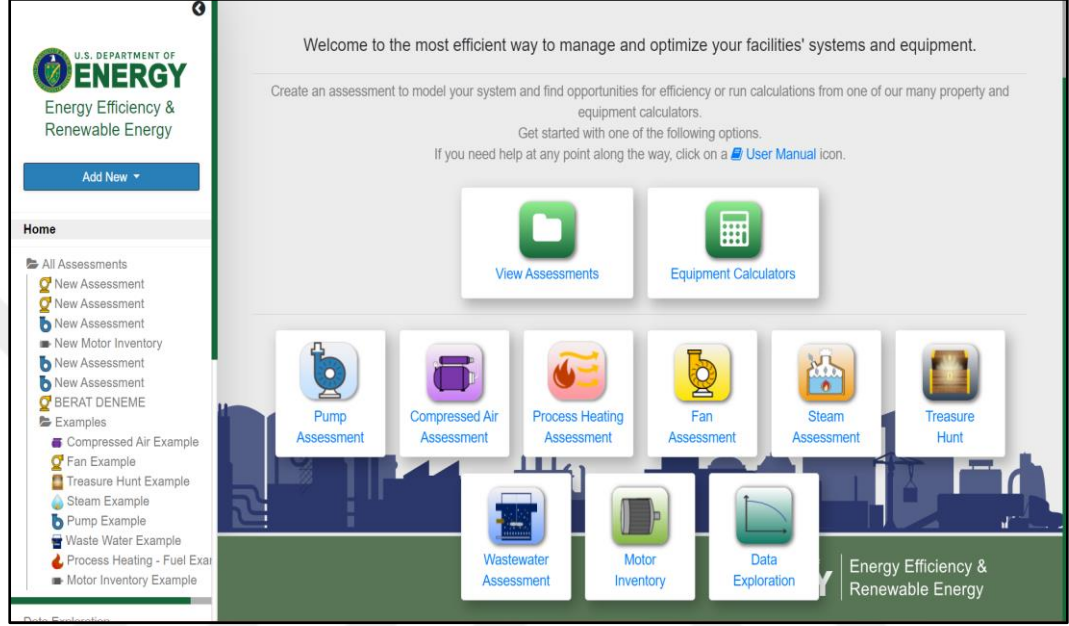
Sensörlerin karşılıklı yerleştirilmesiyle ultrasonik sesin boru içerisinde 1 kere çapraz geçişini öngören Z- Metodu.



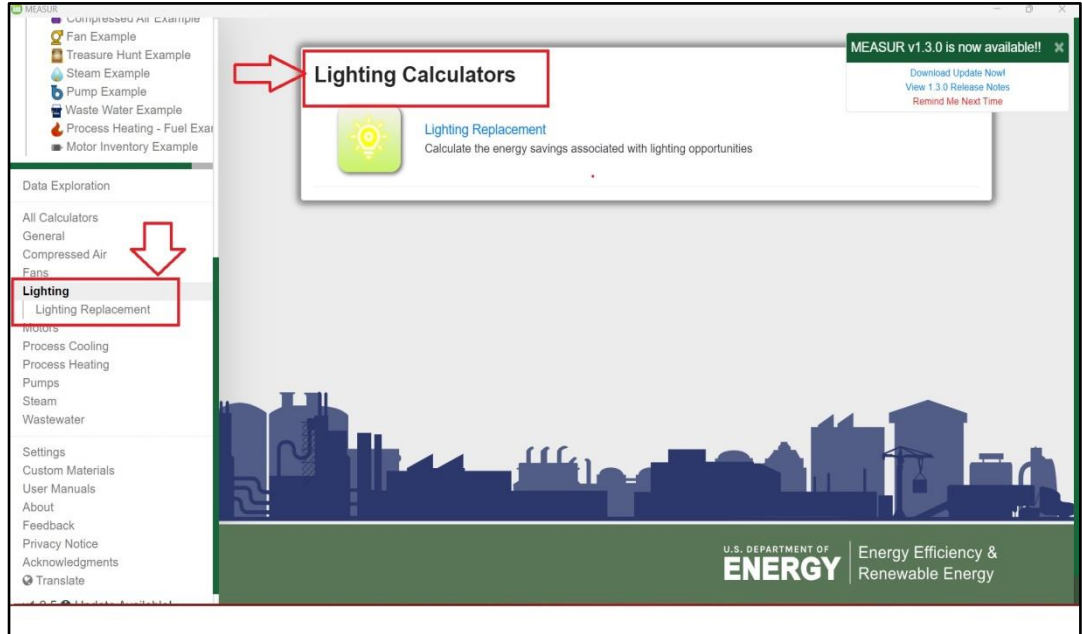
EK-2

MEASUR PROGRAMI KULLANIMI (AYDINLATMA)

1- Ölçüm yapacağımız bölüm ekrandan seçilir.



2- Aydınlatma ile ilgili bir analiz yapılacağı zaman LIGHTING sekmesi seçilir.



- 3- Aydınlatma analizinde “BASELINE” kısmına mevcut donanım bilgileri “MODIFICATION” kısmına revize edilmek istenen donanım bilgileri girilmektedir.

 LIGHTING REPLACEMENT

BASELINE [+Add Fixture](#)

Electricity Cost \$/kWh

Fixture #1

Operating Hours hrs/yr

Fixture Category

Watts Per Lamp W/lamp

Ballast Factor

Lamps Per Fixture

Number of Fixtures

[Show Lighting Level Details +](#)

[Generate Example](#) [Reset Data](#)

MODIFICATION [+Add Fixture](#)

Electricity Cost \$/kWh

Fixture #1

Operating Hours hrs/yr

Fixture Category

Watts Per Lamp W/lamp

Ballast Factor

Lamps Per Fixture

Number of Fixtures

[Show Lighting Level Details +](#)

- 4- Karşılaştırma ve oluşabilecek tasarruf verileri programda karşımıza çıkmaktadır.

RESULTS

HELP

Baseline Summary

	Operating Hours (hrs/yr)	Electricity Use (kWh/yr)	Total Lighting (lumens)
Fixture #1	8,760	0	0

Totals

	Operating Hours (hrs/yr)	Electricity Use (kWh/yr)	Total Lighting (lumens)	Total Annual Cost (\$/yr)
Baseline	8,760	0	0	\$0
Modification	0	0	0	\$0

Electricity Savings	0 kWh/yr
Electricity Cost Savings	\$0 /yr
Change In Lighting Level	0 lumens

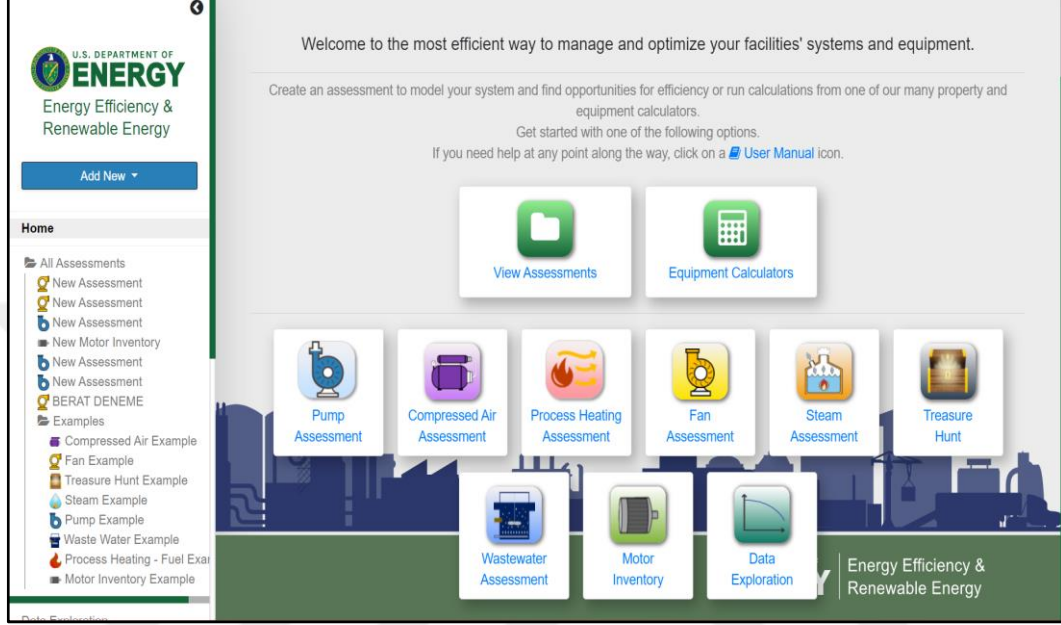
Copy Table

- 5- Analiz yapılacak diğer donanımlarda da bu şekilde mevcutta ve revize etmek istenilen bilgiler girilerek program kullanılmaktadır.

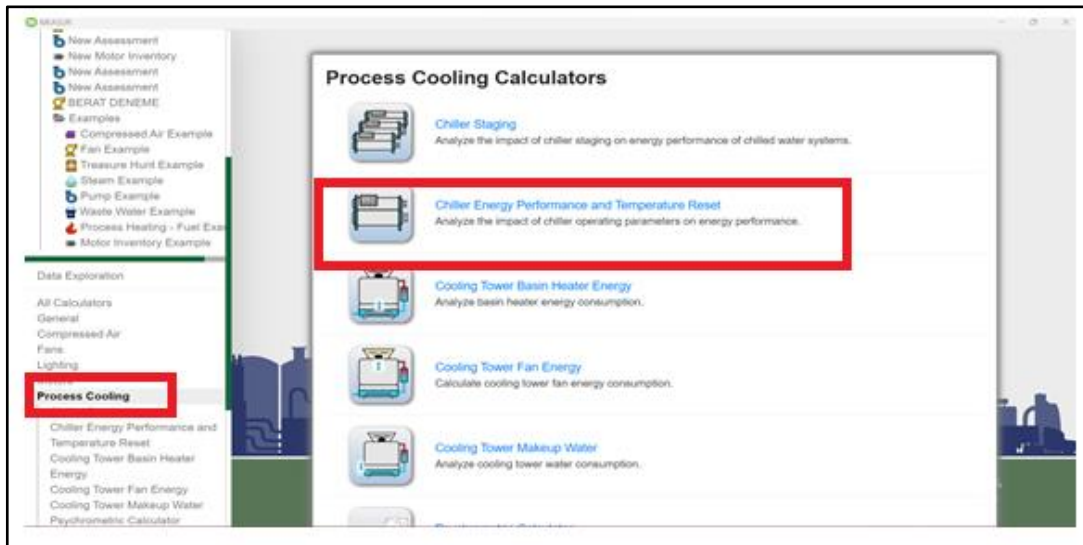
EK-3

MEASUR PROGRAMI KULLANIMI (CHILLER)

1- Ölçüm yapacağımız bölüm ekrandan seçilir.



2- Ölçüm yapacağımız “PROCESS COOLING” bölümü ekrandan seçilir. Sonra Chiller enerji tüketim analizi için “Chiller Energy Performance and Temperature Reset” seçilir.



3- Açılan mevcutta olan ve istenilen bilgiler girilir.

CHILLER ENERGY PERFORMANCE AND TEMPERATURE RESET

Chiller Characteristics

Chiller Type: Centrifugal

Condenser Cooling Type: Water Cooled

Motor Drive Type: Hermetic

Compressor Config Type: No VFD

Rated Conditions

Chiller Capacity @ ARI: 0 kW

Full Load Efficiency @ ARI: 0 kW/ton

Design/Max Capacity Ratio: 0.92

Operating Conditions

Annual Operating Hours: 0 hrs/yr

Electricity Cost: 0.066 \$/kWh

Chilled Water Flow Rate: 0 m³/s

Chilled Water ΔT: 0 °C

CHILLED WATER TEMPERATURE RESET

Baseline

Chilled Water Supply Temperature: 0 °C

Chilled Water: 0 °C

Entering Condenser Water Temperature: 0 °C

Modification

Chilled Water Supply Temperature: 0 °C

Chilled Water: 0 °C

Entering Condenser Water Temperature: 0 °C

Generate Example Reset Data

RESULTS

Energy Consumption (kWh)

Baseline

Modification

Baseline

Actual Chiller Capacity	---
Actual Chiller Efficiency	---
Power Consumption	---
Energy Consumption	---
Energy Cost	---

4- Karşılaştırma ve oluşabilecek tasarruf verileri programda karşımıza çıkmaktadır.

CHILLER ENERGY PERFORMANCE AND TEMPERATURE RESET

Chiller Characteristics

Chiller Type: Centrifugal

Condenser Cooling Type: Water Cooled

Motor Drive Type: Hermetic

Compressor Config Type: No VFD

Rated Conditions

Chiller Capacity @ ARI: 0 kW

Full Load Efficiency @ ARI: 0 kW/ton

Design/Max Capacity Ratio: 0.92

Operating Conditions

Annual Operating Hours: 0 hrs/yr

Electricity Cost: 0.066 \$/kWh

Chilled Water Flow Rate: 0 m³/s

Chilled Water ΔT: 0 °C

CHILLED WATER TEMPERATURE RESET

Baseline

Chilled Water Supply Temperature: 0 °C

Chilled Water: 0 °C

Entering Condenser Water Temperature: 0 °C

Modification

Chilled Water Supply Temperature: 0 °C

Chilled Water: 0 °C

Entering Condenser Water Temperature: 0 °C

Generate Example Reset Data

RESULTS

Energy Consumption (kWh)

Baseline

Modification

Baseline

Actual Chiller Capacity	---
Actual Chiller Efficiency	---
Power Consumption	---
Energy Consumption	---
Energy Cost	---