



**SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİKLERİ İLE İLK
YATIRIM MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

İbrahim TECER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İbrahim TECER

16 / 04 /2021

SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİKLERİ İLE İLK YATIRIM MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

İbrahim TECER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2021

ÖZET

Çalışmanın amacı, bir soğutma sistemi seçerken kişisel isteklere uygun, somut olan ve somut olmayan kriterleri bir arada değerlendirerek, kurulum maliyetinden başlamak üzere birçok kriter kapsamında bir karar verme şablonu oluşturmak ve alternatifli seçimleri sayısal olarak göstermektir. Bu amaçla Ankara ili özelinde bir mimari plan belirlendi, Carrier HAP programı kullanılarak ısı kazanç hesapları yapıldı. Elde edilen veriler ile, ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan soğutma sistemlerinin tasarımı yapıldı. Tasarımı yapılan sistemlere ait kurulum maliyeti, bakım masrafı, enerji tüketimi, sera gazı emisyonu, dış ünite için kurulum alanı, gerekli shaft alanı, dış ünite ses şiddeti, iç ünite ses şiddeti, kullanım kolaylığı hesaplandı. Bu hesaplamalar ve belirlenen diğer kriterler ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden, analitik hiyerarşi prosesi (AHP), VIKOR ve TOPSIS ile incelenen seçimlerin birbirleri ile karşılaştırılmasının matematiksel yönü ortaya konmaya çalışıldı.

Bilim Kodu : 92808, 90602
Anahtar Kelimeler : Enerji verimliliği, maliyet analizi, soğutma sistemleri, analitik hiyerarşi prosesi, VIKOR, TOPSIS
Sayfa Adedi : 123
Danışman : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY AND INITIAL INVESTMENT COSTS OF COOLING SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

İbrahim TECER

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2021

ABSTRACT

The purpose of the study is to create a decision-making template within the scope of many criteria, starting from the installation cost, by evaluating the concrete and intangible criteria that are suitable for personal requests while choosing a cooling system and to show the alternative choices numerically. For this purpose, an architectural plan specific to Ankara province was determined and heat gain calculations were made using the Carrier HAP program. With the data obtained, the cooling systems that are widely used in our country and in the world were designed. Installation cost, maintenance cost, energy consumption, greenhouse gas emission, installation area for the outdoor unit, required shaft area, outdoor unit sound intensity, indoor unit sound intensity, ease of use were calculated for the designed systems. The mathematical aspects of comparing these calculations and other criteria, which are examined by analytical hierarchy process (AHP), VIKOR and TOPSIS, which are among the multi-criteria decision making methods, were tried to be revealed.

Science Code : 92808, 90602

Key Words : Energy efficiency, cost analysis, cooling systems, analytical hierarchy process, VIKOR, TOPSIS

Page Number : 123

Supervisor : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesini paylaşarak bana yön veren danışman hocam Prof. Dr. Tayfun MENLİK'e; tez çalışmam sırasında değerli vaktini benden esirgemeyen arkadaşım Miraç ÖZTOK'a; tez yazım sürecinde ilgili standartları incelemem ve kullanmam konusunda yardımcı olan çalıştığım kurum Türk Standartları Enstitüsüne; her zaman desteklerini ve sevgilerini arkamda hissettiğim annem, babam, eşim ve çocuklarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	17
3.1. Materyalin Belirlenmesi.....	17
3.2. Sistemlerin Tasarımı-Planlanması.....	18
3.3. Alternatif Sistemlerin Tanımlanması	22
3.3.1. Merkezi VRF sistemi	22
3.3.2. Hava soğutmalı chiller destekli fancoil sistemi	26
3.3.3. Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi.....	28
3.3.4. VRF soğutma destekli klima santrali sistemi.....	30
3.3.5. Rooftop sistemi	31
3.4. Soğutma Yüğü (Isı Kazancı) Hesapları.....	32
3.4.1. İklim verileri.....	33
3.4.2. Yapı malzemelerinin ısı geçirgenlik katsayı hesapları.....	35
3.4.3. Mahallerden gelen ısı yükleri.....	40
3.4.4. Binaya ait soğutma yük hesap özeti	41

	Sayfa
3.5. Sistemlerin Tasarımının Yapılması ve Kriterlerin Hesapları	42
3.5.1. Merkezi VRF sisteminin tasarımı ve kriterlerin hesapları	42
3.5.2. Hava soğutmalı chiller-fancoil sisteminin tasarımı ve kriterlerin hesapları.....	46
3.5.3. Hava soğutmalı chiller-klima santrali sistemi tasarımı ve kriterlerin hesapları.....	50
3.5.4. VRF-klima santrali sistemi tasarımı ve kriterlerin hesapları	54
3.5.5. Rooftop sistem tasarımı ve kriterlerin hesapları	56
3.6. Alternatif Sistemlerin Kriterlere Göre Değerlendirilmesi.....	59
3.6.1. Kurulum maliyeti özeti	59
3.6.2. Yıllık bakım masrafı özeti.....	60
3.6.3. Toplam enerji tüketimi özeti	61
3.6.4. Toplam sera gazı emisyonu özeti.....	61
3.6.5. Toplam dış ünite için kurulum alanı özeti	62
3.6.6. Toplam gerekli şaft alanı özeti.....	62
3.6.7. Toplam dış-iç ünite ses şiddeti özeti	63
3.6.8. Toplam kullanım kolaylığı özeti	63
3.6.9. Alternatif sistemlerin ve kriterlerin genel özeti	64
3.7. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	64
4. KRİTERLERİN ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE AĞIRLIKLANDIRILMASI VE SİSTEMLERİN VİKOR-TOPSİS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Ağırlıklandırma.....	65
4.1.1. Analitik hiyerarşi prosesi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi	67
4.2. TOPSIS Yöntemi ile Seçim.....	72
4.3. VİKOR Yöntemi ile Seçim	78
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	89

	Sayfa
EKLER.....	95
EK-1. Bina Mimari Planlar	96
EK-2. İklim Verileri.....	99
EK-3. Yapı Bileşenlerinin Detayları.....	101
EK-4. Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları.....	104
EK-5. Soğutma Yük Hesapları	112
EK-6. Merkezi VRF Sistemi Kat Planları.....	115
EK-7. Hava Soğutmalı Chiller-Fancoil Sistemi Çatı Katı	118
EK-8. Hava Soğutmalı Chiller-Klima Santrali Sistemi Planları.....	119
EK-9. VRF-Klima Santrali Sistemi Çatı Katı.....	122
ÖZGEÇMİŞ	123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ankara iline ait yapı durumu ve iklim şartları.....	33
Çizelge 3.2. Tasarım günü maksimum güneş enerjisi kazanımı.....	34
Çizelge 3.3. Dış duvar (DD1) ısıl geçirgenlik hesabı	36
Çizelge 3.4. Dış duvar (DD2) ısıl geçirgenlik hesabı	37
Çizelge 3.5. Perde duvar (DD3) ısıl geçirgenlik hesabı.....	38
Çizelge 3.6. İç duvar (İD1) ısıl geçirgenlik hesabı	38
Çizelge 3.7. Toprak temaslı döşeme (DÖ1) ısıl geçirgenlik hesabı	39
Çizelge 3.8. Ara kat döşeme (DÖ2) ısıl geçirgenlik hesabı.....	40
Çizelge 3.9. Teras tavan çatı (TA1) ısıl geçirgenlik hesabı.....	40
Çizelge 3.10. Binanın toplam soğutma yük ihtiyacı.....	41
Çizelge 3.11. Merkezi VRF li sistem cihaz tablosu.....	43
Çizelge 3.12. Birincil enerji ve sera gazları emisyonu dönüşüm katsayıları	45
Çizelge 3.13. Merkezi VRF li sistem kurulum maliyeti	45
Çizelge 3.14. Fancoil sistemi cihaz tablosu	47
Çizelge 3.15. Fancoil sistemi kurulum maliyeti	49
Çizelge 3.16. Klima santrali-chiller sistemi cihaz tablosu.....	51
Çizelge 3.17. Klima santrali-chiller sistemi kurulum maliyeti	53
Çizelge 3.18. Klima santrali-vrf sistemi cihaz tablosu	54
Çizelge 3.19. Klima santrali-VRF sistemi kurulum maliyeti	56
Çizelge 3.20. Rooftop sistemi cihaz tablosu.....	57
Çizelge 3.21. Rooftop sistemi kurulum maliyeti	59
Çizelge 3.22. Alternatif sistemler ve kriterlerin özet tablosu	64
Çizelge 4.1. Saaty'nin 1-9 ölçeğinin önem dereceleri	67
Çizelge 4.2. Kriterlerin saaty ölçeğinde ikili derecelendirilmeleri	68

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.3. Kriterlerin harflendirme tablosu	69
Çizelge 4.4. İkili karşılaştırma matrisi	69
Çizelge 4.5. İkili karşılaştırma matris sütün toplama	70
Çizelge 4.6. Normalize edilmiş matris.....	70
Çizelge 4.7. Görelî önlem ağırlıkları	70
Çizelge 4.8. Rastgele değeri indeksleri	71
Çizelge 4.9. AHP sonucu kriter ağırlıkları.....	72
Çizelge 4.10. Karar matrisi	74
Çizelge 4.11. Normalize edilmiş matris.....	75
Çizelge 4.12. Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş matris.....	75
Çizelge 4.13. İdeal ve negatif ideal çözüm	76
Çizelge 4.14. İdeal ve negatif ideal çözüm değeri.....	77
Çizelge 4.15. İdeal çözüme görelî yakınlık değeri	77
Çizelge 4.16. Karar matrisi	79
Çizelge 4.17. En iyi ve en kötü kriter değeri	80
Çizelge 4.18. Normalizasyon matrisi.....	80
Çizelge 4.19. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi	81
Çizelge 4.20. Si ve Ri değeri	82
Çizelge 4.21. Hesaplanan Qi değeri	83
Çizelge 4.22. Koşul 1 hesapları	84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Zemin kat mimari plan ve kabul edilen iç ortam sıcaklık değeri	17
Şekil 3.2. Hava soğutmalı su soğutma grubu fancoil fonksiyon şeması.....	27
Şekil 3.3. Tasarım sıcaklık profili.....	34
Şekil 3.4. Dış duvar detayı.....	36
Şekil 3.5. Dış duvar detayı.....	37
Şekil 3.6. Perde duvar detayı	37
Şekil 3.7. İç duvar detayı	38
Şekil 3.8. Toprak temaslı döşeme detayı	39
Şekil 3.9. Arakat döşeme detayı	39
Şekil 3.10. Teras tavan çatı detayı	40
Şekil 3.11. Isı kazanç noktalarının gösterimi.....	41
Şekil 3.12. Birinci kata ait VRF tasarımı.....	42
Şekil 3.13. VRF dış ünite kurulum alanı ve gerekli shaft ölçüleri.....	43
Şekil 3.14. Birinci kata ait fancoil tasarımı.....	46
Şekil 3.15. Fancoil cihazı bağlantı detayı	47
Şekil 3.16. Fancoil sistemi dış ünite kurulum alanı ve gerekli shaft ölçüleri	48
Şekil 3.17. Birinci kata ait kanal tasarımı	50
Şekil 3.18. Ses basınç seviyelerinin toplama tablosu	51
Şekil 3.19. Klima santrali-chiller sistemi dış ünite kurulum alanı ve gerekli shaft ölçüleri.....	52
Şekil 3.20. Klima santrali-VRF sistemi dış ünite kurulum alanı ve gerekli shaft ölçüleri.....	55
Şekil 3.21. Rooftop sistemi dış ünite kurulum alanı ve gerekli shaft ölçüleri	58
Şekil 3.22. Alternatif sistemlerin kurulum maliyeti özet tablosu	60
Şekil 3.23. Alternatif sistemlerin yıllık bakım masrafı özet tablosu.....	60

Şekil	Sayfa
Şekil 3.24. Alternatif sistemlerin toplam enerji tüketimi özet tablosu	61
Şekil 3. 25. Alternatif sistemlerin toplam sera gazı emisyonu özet tablosu	61
Şekil 3.26. Alternatif sistemlerin toplam dış ünite için kurulum alanı özet tablosu.....	62
Şekil 3.27. Alternatif sistemlerin gerekli şaft alanı özet tablosu	62
Şekil 3.28. Alternatif sistemlerin dış-iç ünite ses şiddeti özet tablosu.....	63
Şekil 3.29. Alternatif sistemlerin kullanım kolaylığı özet tablosu.....	63
Şekil 4.1. AHP Akış diyagramı.....	66
Şekil 4.2. TOPSIS yöntemi akış şeması.....	73
Şekil 4.3. AHP ve VIKOR yöntemlerinin birlikte çalışması	78

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Örnek bir VRF sistemi.....	24
Resim 3.2. Hava soğutmalı chiller destekli fancoil sistemi	27
Resim 3.3. Klima santrali resmi.....	29
Resim 3.4. Hava soğutmalı su soğutma grubu klima santrali fonksiyon şeması.....	29
Resim 3.5. VRF soğutma destekli klima santrali sistemi	31
Resim 3.6. Rooftop cihazının iç yapısı	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
A^{-}	Negatif İdeal Çözüm
$A(n)$	Alternatif
A^{*}	İdeal Çözüm
ad	Dış Hava Isı İletim Katsayısı
ai	İç Hava Isı İletim Katsayısı
aij	Karar Matrisi Elemanı
Atm	Atmosfer
B	Yıllık Yakıt Miktarı
CH_4	Metan
CI	Tutarlılık İndeksi
Ci^{*}	İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değeri
cm	Santimetre
CO_2	Karbondiyoksit
CR	Tutarlılık Oranı
d	Kalınlık
db	Desibel
d_{ij}	Öklidyen Uzaklık
Dt	Toplam Uzunluk
E	Sera Gazı Salınım Miktarı / Emisyon
ef	Emisyon Faktörü
fi^{-}	En Kötü Sonuç İfadesi
fi^{*}	En İyi Sonuç İfadesi
Hu	Yakıt Alt Isıl Değeri
$\emptyset$	Çap
λh	Isıl İletkenlik Katsayısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
AAS	Analitik Ağ Süreci
AB	Avrupa Birliği
AB	Avrupa Birliği
Ad	Adet
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
Antlaşma	Paris Antlaşması
ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve Hava Koşullandırma Mühendisleri Topluluğu
B	Batı
BEP	Bina Enerji Performansı
BM	Birleşmiş Milletler
BSI	İngiliz Standart Enstitüsü
COP	Performans Katsayısı
ÇCP	Çift Cam Pencere
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
D	Doğu
DD1	Dış Duvar Detayı
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü
DÖ	Döşeme
EER	Enerji Tasarruf Oranı
EEV	Elektronik genleşme valfi
EN	Avrupa Normu
ENVER	Enerji Verimliliği Kanunu
EPBD	Binalarda Enerji Performansı Direktifi
G	Güney
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
HAP	Saatlik Enerji Programı
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
ISO	Uluslararası Standard Organizasyonu

Kısaltmalar	Açıklamalar
İD	İç Duvar
İDÇS	İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
K	Kuzey
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
MMO	Makine Mühendisleri Odası
MS	Microsoft
Protokol	Kyoto Protokolü
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
TA	Tavan
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TL	Türk Lirası
TMMOB	Türk Mimarlar ve Mühendisler Odaları Birliği
TOPSIS	İdeale Yaklaşık Çözüm Tekniği
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
VDI	Alman Mühendisler Birliği
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
VRV / VRV	Değişken Debili Soğutucu Akışkanlı Klima Sistemi
VRV	Değişken soğutucu akışkan
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
YY.	Yüzyıl

1. GİRİŞ

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın az olduğu tarafa doğru olduğu bilinen bir gerçektir, başka bir deyişle, ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu doğal bir olgu olup kendiliğinden gerçekleşir [1]. Soğutma tanım olarak bir maddenin sıcaklığını, ortam sıcaklığının altına indirme ve bu düşük sıcaklıkta tutabilmek için maddeden ısı alınması işlemidir [2].

İnsanoğlunun var oluş tarihinde soğutmayı ilk defa Çinliler kullanmıştır. Donmuş göllerin buzlarını kırarak geniş kuyulara atıp sıkıştırmışlar ve yazın sıkıştırılan buz kalıplarını çıkararak kullanmışlardır. Romalılar ve Yunanlılar büyük küplere su doldurarak toprağa gömmüşler gece soğuyan toprak yüzeyi küpleri soğutmuş, gündüz soğuyan küplerden soğuk su ihtiyaçlarını karşılamışlardır. İnsanlar farkında olmadan taşıdıkları su testilerinin etrafına ıslak bez sardıklarında içerdeki suyun soğuduğunun veya kesilen karpuzun güneşte bırakıldığında da soğuk hale geldiğini bulmuşlar ve bunun sonucunda gıda malzemelerinin veya ortamın soğutulması çabaları başlamıştır. Mısırlılarda ise yapılan yapıların hava sirkülasyonu sayesinde serin ortamlar oluşturulduğu ve piramitlerde firavunların bedenlerinin mumyalandıktan sonra kalıcı olarak kalması için bu çeşit soğutma teknikleri kullandığı bilinmektedir. Mısırdaki gündüz enerjiyi depolayan kalın duvarları akşam kölelerle sahraya taşıyıp soğutması sağlanıp sabah tekrar duvarlar yerlerine konularak sıcak iklimden korunmuş ve saray içi soğuk tutulmuştur [3]. Bu soğutma şekli, geceleri gökyüzü sıcaklığının mutlak sıfır (-273°C) seviyesinde olmasından ve ışıma yolu ile gökyüzüne iletilmesinden faydalanarak yapılmaktadır [4].

İlk iklimlendirme 1902 yılında, Willis Haviland Carrier, Cornell Üniversitesinden mühendislikte master derecesiyle mezun olduktan sadece bir yıl sonra, Brooklyn'li bir basım atölyesinde işe başladı. Atölyedeki ısı ve nem dalgalanması, baskı kâğıdının boyutlarının değişimini, renkli mürekkeplerin hizasızlığına yol açacak kadar az tutmasına neden olmuştu. Yeni iklimlendirme makinesi sabit bir çevre yarattı ve sıralanmış dört renk baskı mümkün hale geldi. 1921'de, Willis Haviland Carrier santrifüj soğutma makinesinin patentini aldı. 'Santrifüj soğutucu' geniş alanlar için iklimlendirmenin ilk pratik metoduydu. Önceki soğutucu makineler, sistem boyunca soğutucu (genellikle zehirli ve tutuşucu amonyak) pompalamak için pistonlu kompresör (piston sürücülü) kullandı.

Carrier, su pompasının santrifüjlü döner-kanatlarına benzer santrifüj kompresör dizayn etti. Sonuç, daha güvenli ve etkili bir soğutucu oldu. 1928 yılında Willis Haviland Carrier ilk ev 'Havayapar'ı , yani ev içi kullanım için iklimlendirmeyi geliştirdi [5].

Günümüzde teknoloji çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. İstenilen her konfor şartına özel soğutma sistemleri yer almaktadır. Sistemlerin bu şekilde gelişmesi ve çoğalması ile birlikte hangi sistem ne kadar avantajlı veya dezavantajlı olup olmadığına karar vermekte zorlaşmaktadır.

Bir soğutma sistemi her konuda mükemmel olması beklentisi tüketici tarafından istenilen bir özelliktir. Fakat soğutma sistemleri incelendiğinde bunun mümkün olmadığı görülmektedir. Kullanım amacı ve istenilen özellikler kullanıcı tarafından net belirlendiğinde optimal bir çözüm bulunabilmektedir.

Günümüzde binalarda kullanılan enerjinin %70'i ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Akdeniz iklim kuşağında soğutma ve ısıtma yükleri birbirlerine çok yakındır. Soğutma sistemlerinde ilk yatırım ve işletme maliyetleri ısıtmaya göre daha yüksektir [6]. Genel itibariyle konfor amaçlı soğutma sistemlerde ikincil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında karşımıza enerji verimliliği ve küresel ısınma sorunu çıkmaktadır. Enerji ihtiyacı; gün geçtikçe bütün dünyada büyük bir hızla artmaya devam etmektedir. Giderek büyüyen ekonomiler ve bu ekonomilerdeki birçok endüstriyel üretim alanında enerjiye duyulan ihtiyaç artmaktadır. Enerji işletmeler için temel girdilerinden birisi durumundadır. TEİAŞ 2019 verilerine göre kurulu güç %61,5 yerli kaynaklardan, %38,5 ise ithal kaynaklardan elde edilmektedir. Yine TEİAŞ verilerine göre enerji üretimi için kullanılan fosil yakıt ithal kömür %9,67, taş kömür-asfaltit % 0,86, linyit % 10,92, sıvı yakıtlar % 0,21, çok yakıtlılar %5,36, doğal gaz % 23,93 gibi diğer ürünlerde eklendiğinde toplam %51,36 iken yenilebilir kaynakların payı %48,64'dir [7]. Fosil yakıtlar yandıklarında açığa çıkardıkları zararlı gazların (CO₂, SO_x, NO_x gibi) atmosferde birikmesi sonucu güneş ışınlarının yeryüzünden yansımaları engelleyecek bir katmanın oluşmasına neden olurlar. Küresel ısınmaya yol açan bu olay iklimin ve doğal yaşam döngüsünün değişimine sebebiyet verir. Dünya genelinde enerji tüketiminden kaynaklanan emisyon salınımı yaklaşık %40'ına bina sektörünün neden olduğu tahmin edilmektedir [8].

Küresel ısınmadan kaynaklı iklim değişikliği olabileceğini Nobel ödülü sahibi Svante Arrhenius tarafından 1896 tarihinde ilk kez dile getirilmiştir [9]. Kentleşme ve sanayileşmenin yol açtığı hava kirliliği ve bunun sonucunda ortaya çıkan iklim değişikliğine yönelik çabalar 1980 öncesine kadar uzanmaktadır. Çünkü dünya ikliminin mevcut dengesini korumasının son derece önemli bir sorun olduğu düşüncesi bunun gerçekleşmesini sağlamıştır. Bu amaçla 12-23 Şubat 1979 yılında ilk olarak Cenevre’de Birinci Dünya İklim Konferansı toplanmıştır. Bu çalışmaları, Mayıs 1979 yılındaki Dünya İklim Programının Kurulması ve 13 Kasım’da da Sınır-Aşan Uzun Menzilli Hava Kirliliklerine İlişkin Sözleşmenin imzalanması takip etmiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletlerin 1998’de ortaklaşa oluşturduğu Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) bu alanda yapılan çalışmalar için kilometre taşı kabul edilebilir. Çünkü 1992’de Rio’da alınan kararların büyük çoğunluğunda IPCC’nin etkisi bulunmaktadır. IPCC çeşitli dönemlerde yayınlamış olduğu raporlar ile bugünkü küresel iklim politikasının şekillenmesinde önemli rol oynamıştır. Bu yönde istenen gelişmenin 1992 yılında gerçekleştiği söylenebilir ki, bu tarihte bütün bir dünya toplumunu bir araya getiren BM Çevre ve Kalkınma Konferansı toplanmış ve basta ABD olmak üzere sanayileşmiş ülkelerin sert karşı koymasına rağmen “İklim Çerçeve Sözleşmesi” imzalanabilmiştir. Burada devletlere yüklenen sorumlulukların somutlaştırılmasına ilişkin olarak daha sonra 1997 yılındaki BM Kyoto Protokolü ile de önemli gelişme kaydedilmiştir [10].

Türkiye’nin Kyoto Protokolü çerçevesinde herhangi bir salınım azaltma yükümlülüğü olmasa da özellikle BMİDÇS’ye üye olduğu 2004 yılından sonra ulusal düzeyde bazı politika değişikliklerinden bahsedilebilir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023, Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı 2011-2023 ve Türkiye’nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2011-2023 bu dönemde yayınlanan iklim değişikliği ile ilgili en önemli ulusal belgelerdir. Ayrıca, 2013 yılında beşinci, 2016 yılında da altıncı Ulusal Bildirim Raporları BMİDÇS’ye sunulmuştur. Türkiye’nin ilk Ulusal Bildirim Raporundan sonra ikinci, üçüncü ve dördüncü raporlarını yayınlamadan yayınladığı ikinci ulusal raporun “Beşinci Ulusal Bildirim Raporu” ismini alması da dikkate değerdir. Türkiye’nin uluslararası bir antlaşma dolayısıyla sera gazı salınımı azalımı taahhüdü verdiği ilk antlaşma 2015 yılının aralık ayında kabul edilen Paris Antlaşması’dır. Türkiye Paris Antlaşmasını 2016 yılının Nisan ayında imzalanmıştır [11].

Ülkemiz, Paris Anlaşması'nı, 22 Nisan 2016 tarihinde New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni'nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzalamış ve Ulusal Beyanımızda Anlaşmayı geliştirmekte olan bir ülke olarak imzaladığımız vurgulanmıştır. Paris Anlaşması'nın kabulünden 1 yıl geçmeden yürürlüğe giren ilk küresel anlaşmadır [12].

Avrupa Birliği'nde, binaların enerji performansını değerlendirmek, sertifikalandırmak ve bu yolla enerji verimliliğini artırmak amacıyla 2002 tarihli “Binalarda Enerji Performansı Direktifi” (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD) yayınlanmıştır. AB yasaları uyum sürecinde Türkiye’de de, 2008 yılında EPBD kapsamında “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” yayınlanmış ve bu yönetmelik ile tüm binalara BEP-TR hesaplama yöntemi kullanılarak enerji kimlik belgesi verilmesi zorunlu olmuştur. Türkiye’deki bu süreç içerisinde AB ülkelerinde yeni gelişmeler yaşanmış ve EPBD’nin güncellenmesiyle 2010 yılında yürürlüğe giren yeni direktif (EPBD-Recast) kapsamında “maliyet optimum enerji verimliliği” kavramı ortaya konulmuştur. Bu revize direktif ile tüm Avrupa ülkelerine binalarda maliyet optimum enerji verimliliği seviyelerini hesaplama zorunluluğu getirilmiştir [13].

Bu sebepler doğrultusunda enerji verimliliğini artırmak için ülkemizde birçok kanun ve yönetmelik çıkmıştır. 2007 yılında çıkan Enerji Verimliliği Kanunu en kapsamlı kanundur. 2012 yılında yayımlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ile de 2023 yılı enerji verimliliği hedefleri oluşturulmuş ve Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı hazırlanarak etkin bir biçimde uygulamaya geçirilmesi ve izlenmesi öngörülmüştür. 2017-2023 yılları arasında uygulanacak Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile; 2023 yılında Türkiye’nin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması hedeflenmektedir. 2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 MTEP tasarruf sağlanması ve bu tasarruf için 10,9 milyar ABD Doları yatırım yapılması öngörülmektedir [14].

Enerjideki bu sıkıntılardan dolayı enerji verimliliği yüksek ve merkezi sistemlere yönelim gitgide artmaktadır. Enerji yönetmeliklerinin sıkışmasıyla ve çevreye verilen zararlar göz önüne alındığında enerji verimliliği hususu sistem seçiminde son derece önemli bir parametre haline gelmiştir. Çıkan kanun ve yönetmelikler enerji verimliliğini teşvik etmekte ve bazı şartlarda bunu zorunlu hale getirmektedir. Örneğin Binalarda Enerji

Performansı Yönetmeliği ;yapı ruhsatına esas olan toplam kullanım alanının 2.000 m² ve üstünde olması halinde merkezi ısıtma sistemi yapılmasını, 500 m³/h ve üzeri hava debili havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde, ısı geri kazanımı sistemlerinin kurulmasını, güneş enerjisi ile desteklenen merkezi sıhhi sıcak su sisteminin planlanmasını zorunlu hale getirmiştir [15].

Gün geçtikçe artan rekabet ortamı, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için işletmeleri sürekli olarak başarılı olmaya ve iyi kararlar vermeye zorlamaktadır. Günümüzde işletmelerin karşı karşıya oldukları karar problemleri; birden fazla faktörün ve amacın bir arada değerlendirilmek zorunda olduğu, amaçların genel olarak birebirleri ile çatıştığı, karar durumlarının içerdiği belirsizlikler, karar süreçlerine birden fazla karar vericinin dahil olması ve kararın sonuçlarının birçok kişiyi ilgilendirmesi gibi nedenlerden dolayı karmaşık bir yapıya sahiptirler. Karar verici/vericilere bu türden problemlerin çözümünde yardımcı olan teknikler Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri olarak adlandırılmaktadır [16].

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerin çözümü maksadıyla araştırmacılar tarafından klasik ya da bulanık mantık temelli pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Analitik Ağ Süreci (AAS), MAUT, UTA, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE I, TOPSIS, VIKOR Amaç Programlama, Veri Zarflama Analizi seçenekler arasında seçim; AHS, AAS, MAUT, UTA, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE III, TOPSIS derecelendirme; AHSSort, UTADIS, FlowSort, ELECTRE-Tri sınıflandırma; GAIA ve FS-Gaia gibi yöntemler ise tanımlama yapılmak istendiğinde önerilen yöntemlerdir [17, 18].

Bu çalışmada Ankara özelinde bir soğutma sistemi seçerken kişisel isteklere uygun, somut olan ve somut olmayan kriterleri bir arada değerlendirerek, kurulum maliyetinden başlamak üzere birçok kriter kapsamında bir karar verme şablonu oluşturmak ve alternatifli seçimleri sayısal olarak göstermektir. Bu amaçla Ankara ili özelinde bir mimari plan belirlenmiş, Carrier HAP programı İLE ısı kazanç hesapları yapılarak ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan soğutma sistemlerinin tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan sistemlere ait kurulum maliyeti, bakım masrafı, enerji tüketimi, sera gazı emisyonu, dış ünite için kurulum alanı, gerekli shaft alanı, dış ünite ses şiddeti, iç ünite ses şiddeti, kullanım kolaylığı hesaplanmıştır. Bu çalışmada ele alınan karar verme ise birçok

alternatif arasından belli kriterlere veya ölçütlere göre belirlenen amaç doğrultusunda en uygun alternatifin seçilmesi işlemidir. Yapılan hesaplamalar ve belirlenen diğer kriterler analitik hiyerarşi yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları tespit edilmiştir. Topsis ve vikor ile sistem seçimleri ayrı ayrı yapılarak seçimlerin birbirleri ile karşılaştırılmasının matematiksel yönü ortaya konmaya çalışılmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırmasında bina konfor soğutma sistemlerinin çok az incelendiği ve incelenen sistemler ise kendi özelinde incelendiği görülmüştür. Literatürde bu çalışmaya benzer bir çalışma bulunamamış, matematiksel açıdan incelemelerinin olmadığı gözlenmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemleri karar vermenin zor olduğu, kriterlerin çok fazla olduğu sorunların çözümünde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde, öncelikle soğutma sistemleri üzerine yapılan araştırmalara, daha sonra ise çok kriterli karar verme yöntemleriyle mühendislik ve iklimlendirme sistemleri özelindeki çalışmalara yer verilecektir.

Küheylan 1995 yılında, Soğutma Sistemlerinin Ekonomik Tasarımı tezinde birçok farklı soğutma sistemini incelemiştir. İlk yatırım maliyeti depolamasız sisteme göre ucuz gözükmese de, bununla birlikte kullanılan teknolojiye ve seçilen sistem ve ekipman türlerine göre daha pahalı olabileceği belirtilmiş, depolama sisteminin işletim maliyetleri ise depolamasız sistem için olandan daha düşük olacağı dile getirilmiş, ilk yatırım maliyetine soğutma ekipmanı, depolama tankı, kontrol, hava ve su dağılım ekipmanları, diğer alışıla gelmiş sisteme göre küçük ve daha az pahalı olacağı tesbit edilmiştir. Aynı zamanda soğutma ekipmanının nispi maliyetleri ve depolama kapasitesi, depolama tekniğine ve uygulama için seçilmiş işletme yöntemine bağlı olacağı belirtilerek, dağıtım sistem masrafları sıkça soğuk depolama sistemleri kullanılmak suretiyle azaltılabileceği tespiti yapılmıştır. Birçok depolama teknolojileri soğutma suyunun sıcaklık farkını artırma avantajını taşıyacağı, buda boru ve pompaların ebatlarının ve ilk yatırım maliyetlerinin düşmesini sağlayacağı, işletme maliyetini düşürmek genellikle soğutma yükünün profiline bağlı olacağı detaylı olarak anlatılmıştır [19].

Kılıçarslan 2002 yılında, Soğutma Sistemlerinin Performans Analizi tezinde soğutucularda yoğunlaştırıcı fanı önemli ölçüde enerji tüketmekte olduğundan bahsedilerek çalışma esnasında gürültü ve titreşim nedeniyle bulunduğu ortamdaki insanları rahatsız ettiği dile getirilmiştir. Bu olumsuz durumu önlemek amacıyla yoğunlaştırıcı kapasitesi aynı kalmak şartıyla farklı bir dizayn yapılarak, fan yerine baca kullanarak hem enerji tasarrufu hem de gürültü ve titreşimin olumsuz etkilerinden kurtulabilmenin detaylı araştırması yapılmıştır. İkinci bölümde soğutma sistemlerinin genel karakteristikleri incelenmiş, bir soğutucunun

elemanları tanıtılarak kısaca fonksiyonları açıklanmıştır. Bu bölümde ayrıca soğutucularda kullanılan ısı değiştiricileri incelenmiştir. Üçüncü bölümde deney seti olarak kullanılan soğutma ünitesinin ana elemanları ile soğutma ünitesinde kullanılan ölçü aletlerinin tanıtımı ve özellikleri verilmiştir. Yoğuşturucuya fan yerine baca konularak yapılan buharlaştırıcı performans testleri bu çalışmanın en belirgin özelliğini oluşturmuştur. Çalışma sonucunda, buharlaştırıcı verimliliği esas alındığında bacalı doğal taşımının doğal taşınımına göre % 54, zorlanmış taşınımına göre % 27 daha verimli olduğu hesaplanmıştır [20].

Alpuche, Heard, Roberto ve arkadaşları 2005 yılında, Exergy Analysis Of Air Cooling Systems in Buildings in Hot Humid Climates, Applied Thermal Engineering çalışmasında, sıcak nemli iklim koşullarında bulunan bir binanın (180 m² toplam taban alanı olan) termal konfora ulaşabilmesi için iklimlendirme sistemlerinin farklı iklim şartlarında ekserji analizlerini yapmışlar ve binanın hesaplamalarında ASHRAE standartlarını referans olarak almışlardır. Binanın yıllık enerji tüketimlerini incelediklerinde, en düşük enerji sarfiyatının paket tipi tek bölge klima ünitesinde olduğunu tespit etmişlerdir [21].

Şamdan 2007 yılında, Bir Binanın Isıtma ve Soğutma Sistemlerinin Enerji Etüdü tezinde bina otomasyon sistemi ve verimlilik analizi üzerinde detaylı olarak bahsedilmiştir. Örnek bir alan üzerinde çeşitli hesaplamalar yapılmış, buna uygun çeşitli sistemlerin uygulanmasından ve seçilmesinden bahsedilmiş, enerji analizlerine belirli boyutlarda değinilmiş, uygulamada ortaya çıkan sonuçların doğru etüt edilmesi ile işletme maliyetlerinin asgariye indirilmesi çalışmanın konusu olarak ele alınmıştır [22].

Bölükbaşı 2009 yılında, Bir Plastik Fabrikasının Soğutma Yükünün Hesaplanması ve Soğutma Sisteminin Enerji Tüketimi Optimizasyonu tezinde plastik fabrikasını soğutma ihtiyacı hesaplamalarının yapılması ve bu soğutma ihtiyacını karşılayacak soğutma sistemlerinin incelenerek optimum enerji tüketiminin elde edilmesi üzerine çalışmıştır. Soğutma yükü hesaplamaları ve soğutma sistemleri konusunda elde edilen bilgiler ve bulunan veriler, Eskişehir ilinde bulunan bir plastik fabrikası için uygulanmıştır. Bu plastik fabrikasında optimal soğutma suyu sıcaklıkları ve debileri Eskişehir ili iklim özellikleri de göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Söz konusu plastik fabrikasında mevcut durumda kullanılan soğutma sistemi tasarımı ve kullanılan ekipmanlar detaylı şekilde incelenmiş, kullanılan soğutma sisteminin harcadığı yıllık enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Sonrasında mevcut soğutma sisteminin enerji tüketimi konusundaki iyileştirme olanakları tespit edilerek, mevcut sisteme alternatif iki adet yeni soğutma sistemi tasarlanarak, önerilen yeni soğutma sistemlerinin getirdiği enerji tüketim ve maliyet avantajları analiz edilmiştir.

Pu, Liu ve Feng 2010 yılında, Application Of The Cumulative Exergy Approach To Different Air Conditioning Systems çalışmasında, termodinamiğin ikinci yasa verimini üç farklı sistem için incelemiştir. Birinci sistem olarak, gazla doğrudan ateşlenen klima santralinde 334,864 kW soğutma kapasitesi için ekserji verimini %14,86 ve enerji tüketimini 41,964 kW olarak hesaplamışlardır. İkinci sistem olarak hava soğutmalı chillerde 339,294 kW soğutma yükü için ekserji verimini %11,98 ve enerji tüketimini 106,100 kW olarak hesaplamışlardır. Son sistem için ise su soğutmalı chillerde 336,558 kW soğutma kapasitesi için ekserji verimini %11,28 ve enerji tüketimini 99,710 kW olarak hesaplamışlardır [23].

Yu, Yan, Sun ve arkadaşları 2016 yılında, Comparative Study Of The Cooling Energy Performance Of Variable Refrigerant Flow Systems And Variable Air Volume Systems in Office Buildings çalışmasında değişken hava hacmi (VAV) ve değişken soğutucu akışkan akışı (VRF) sistemlerini Çin'deki beş tipik ofis binasında incelenmiş ve soğutma enerjisi kullanımları karşılaştırmıştır. Bina özellikleri ve işleyiş verilerini toplamak için saha araştırması ve saha ölçümleri yapılmış ölçülen soğutma elektriği kullanımı, beş binada alt ölçümlerden toplanmıştır. İklim ve çalışma saatleri ile normalize edilen alt ölçüm verileri, VRF sistemleri tarafından tüketilen soğutma enerjisinin VAV sistemleri tarafından tüketilenden% 70'e kadar daha düşük olduğunu göstermiştir. VRF ve VAV sistemlerinin çalışma modlarının soğutma yükleri üzerindeki etkisini ölçmek için bina simülasyonları kullanılmıştır. Model olarak Çin'deki prototip bir ofis binası kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, VRF çalıştırma modunun, VAV çalıştırma moduna kıyasla çok daha düşük soğutma yükü gerektirdiğini göstermiştir. Örneğin, soğutma yükleri Hong Kong'da% 42 ve Qingdao'da% 53 azalmıştır [24].

Alkan 2017 yılında, Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması tezinde İstanbul'da bulunan yaklaşık 11.000 m² inşaat alanına sahip örnek bir bina için 5 ayrı HVAC sistemi BIM platformunda modellenmiştir ve sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Tasarımlar Autodesk Revit programı ile 3

boyutlu olarak çizilmiş, sistemlerin enerji analizleri ise HAP programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada binada kurulması planlanan değişken hava debili sistem + radyatör sistemi ve alternatif olarak düşünülen 4 farklı sistem arasında değerlendirme yapılmıştır. Bu sistemler sırasıyla değişken hava debili sistem + radyatör, su kaynaklı ısı pompası, ısı geri kazanımlı VRF/VRV, ısı pompalı VRF/VRV + Radyatör ve 4 borulu fan coil sistemidir. Seçilen her sistem için enerji ihtiyacı, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri karşılaştırılmış ve sonuçlara göre kısa, orta ve uzun vade de avantajlı sistem önerilmiştir [25].

Şimşek, Karaçaylı ve Mutlu 2017 yılında, Farklı Koşullardaki Hava–Su–Hava Kaynaklı Isı Pompasının Farklı Soğutucu Akışkanlarla Termodinamik Analizi çalışmasında ısı pompalarından bahsederek bir ortamı ısıtmak veya soğutmak için kullanılabileceği belirtmiştir. Hava–su–hava kaynaklı buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi olarak da bilinen ısı pompasının, düşük sıcaklıktaki bir havadan ısı çeker ve bu ısı, sulu yoğuşturucuda soğutma suyuna aktarıldığını, sulu yoğuşturucuda ısınan su, fanlı serpantinden geçirilerek havanın şartlandırılmasının sağlandığı belirtilmiştir. Yapılan yeni çalışma ile havadan suya ve fanlı serpantin ünitesinde sudan tekrar havaya ısı geçişi sağlayan ısı pompasının enerji (termodinamik) analizini detaylı olarak yapılmıştır. Ayrıca çevrimde R134a, R422D (Mod52) ve R417A (Mod29) soğutucu gazlar kullanılmış ve yüksek, orta ve alçak basınç altında farklı soğutma suyu debileri için ölçümler yapılmıştır [26].

Sever 2018 yılında, Bir Alışveriş Merkezi Isıtma Ve Soğutma Sistemlerinin Enerji Ve Ekserji Analizi tezinde Ankara’da bulunan 70.000 m²’ lik kapalı alana sahip bir alışveriş merkezinin ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve değerlendirilmiştir. Soğutma sistemlerine uygulanarak, chiller sistemi için performans katsayısı, fan-coil ve klima sistemleri için ısı verimleri hesaplanmıştır. Soğutma sistemlerinde en yüksek ekserji veriminin chiller sistemine ait olduğu ve en yüksek enerji veriminin ise fan-coil sisteminden elde edildiğini tespit etmiştir [27].

Guilian, Nolwenn, Louis ve arkadaşları 2019 yılında, Pilot-Scale Experimental Study Of An Innovative Low-Energy And Low-Cost Cooling System For Buildings çalışmasında binalar için yenilikçi, düşük enerjili ve düşük maliyetli soğutma sisteminin deneysel bir çalışmayı sunmaya çalışılmıştır. Düşük enerji kullanımı sağlamak için, soğutma sistemi aynı anda zemin, suyun buharlaşması ve gökyüzüne radyasyon olmak üzere mevcut üç ısı

emiciyi kullanmıştır. Bu basit, ucuz ve enerji tasarrufu sağlayan sistem, Bordeaux'da (Fransa'nın Güney-Batısı) 100 m²'lik tek ailelik bir eve kuruldu ve 2015 yazında test edildi. Sunulan test dizisinde (10-25 Ağustos), bu dönem boyunca sistem COP değeri 19 ve sıcak yaz günlerinde bile iç hava sıcaklığını 27 ° C'nin altında tuttu. Sonuçta düşük maliyetli sistemin, evden yaklaşık 137 kWh fazla ısıyı tahliye ettiği ve binada çok iyi bir termal konfor seviyesini koruduğu için iyi bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Deney koşulları altında, sistemin çok düşük güç tüketimi, 20,8 COP ile çok yüksek bir performans katsayısı sağlamıştır [28].

Seo, Yoon, Yu ve arkadaşları 2020 yılında, Comparative Analysis Of Cooling Energy Performance Between Water-Cooled VRF And Conventional AHU Systems In A Commercial Building çalışmasında binalardaki ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin enerji tüketimini en aza indirmeye yönelik son çabaları, değişken soğutucu akışkan akışlı ısı pompası (VRF-HP) sisteminin piyasadaki geleneksel HVAC sisteminin yerini alarak büyük ilgi gördüğünü anlatarak, VRF-HP sisteminin binaların estetiğini artırmak, kurulum maliyetlerini düşürmek ve yüksek teknoloji ürünler sunmak gibi birçok avantajı olduğunu ispatlamaya çalışmıştır. VRF-HP tür sistemlerin gerçek performans bilgilerine dayalı nicel enerjinin değerlendirilmesi yetersizliğinden bahsederek bir simülasyonda içsel ısıtma ve soğutma performansını etkileyen çeşitli faktörleri doğru şekilde yansıtmaya zorluğundan bahsetmiştir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için, çeşitli VRF-HP sistemleri arasından doğrudan genişlemeli klima santrali (DX-AHU) ile donatılmış su soğutmalı bir VRF-HP sistemi ve standartlaştırılmış bir ısıtma ve soğutma performans eğrisi seçilmiştir. ısıtma ve soğutma alanı ölçüm kataloğu performans verilerine dayalı olarak çeşitli sıcaklıklar ve kısmi yük koşulları geliştirilmiştir. Kapsamlı bir doğrulama ve kalibrasyon sürecinden sonra EnergyPlus, MATLAB ve BCVTB arasında ortak simülasyon yoluyla su soğutmalı VRF-HP sistemi ile chiller tabanlı geleneksel AHU sistemi arasındaki soğutma enerjisi performansının karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yaparak su soğutmalı VRF-HP sisteminin, soğutucu tabanlı geleneksel AHU sistemine kıyasla soğutma enerjisini% 15'e kadar azaltabildiğini göstermiştir [29].

Çok kriterli karar verme yöntemleri mühendislik gibi teknik alanlar haricinde karar verme konusunda her sorunun çözümü için kullanılmıştır. Tezimiz kapsamında örnekler kısıtlı olmak ile birlikte aşağıda yer alan çalışmalar yapılmıştır;

Aydin 2013 yılında, Bulanık Topsis Ve Vikor Yöntemi Kullanılarak Rüzgâr Enerjisi Santral Yer Seçimi tezinde öncelikle enerjinin tanımı ve günümüz için önemi, rüzgâr enerjisi ve gelişimi verilmiş, rüzgâr enerjisi farklı yönlerden incelenmiştir. Uygun yerin seçiminde kullanılacak Bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemi açıklandıktan sonra kriter ve alt kriterler bulunarak öncelikleri belirlenmiş ve istenen hiyerarşik yapı kurulmuştur. Çıkan sonuçlar son bölümde değerlendirilerek alternatif yerlerden hangisinin seçileceği konusu detaylı olarak incelenmiştir [30].

Ertuğrul ve Özçil 2014 yılında, Çok Kriterli Karar Vermede TOPSIS ve VIKOR Yöntemleriyle Klima Seçimi çalışmasında klima seçim kararını etkileyen faktörleri belirleyerek tercih sıralama önerisi sunmuştur. İlgili araştırma kapsamına yaklaşık olarak eşdeğer soğutma ve ısıtma kapasitene sahip ve A enerji sınıfı klimalar dâhil edilmiştir. Yapılan uygulamada, klima seçimi yapılırken Topsis ve Vikor çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Uygulamada klima seçimi yapılırken ürün, fiyat ve teknik özelliklere göre tercih önerileri sunulmuştur [31].

Balkuvar 2015 yılında, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden AHP Ve VIKOR İle Tablet Seçimi tezinde tablet seçim kriterleri ve tablet seçenekleri belirlenmiş ve bu kriterler ışığında en iyi tablet seçimi yapılmıştır. Seçim kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemi, seçeneklerin sıralanması için VIKOR yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi kapsamında kriter ağırlıklarının belirlenmesi için önem seviyelerinin tespitinde anket yöntemi uygulanmıştır. VIKOR yönteminin adımları için, Microsoft Excel 2007 hesaplamalarından yararlanılmıştır [32].

Khali, Kamaruzzaman ve Baharum 2016 yılında, Ranking The Indicators Of Building Performance And The Users' Risk Via Analytical Hierarchy Process (AHP): Case Of Malaysia çalışmasında sağlık ve güvenlik hususlarında kullanıcıların risklerini ele alarak performans değerlendirmesi oluşturmak için geliştirilmiş bir ölçü olarak bir Bina Performans Riski Derecelendirme Aracı (BPRT) önermiştir. BPRT, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak bir derecelendirme indeksinin sonucundan geliştirilmiştir. Derecelendirme sürecine toplam 12 tesis yönetimi (FM) uzmanı ve uygulayıcı katılmıştır. Öznel ağırlıklandırmalar, AHP bilgisayar yazılım programı olan Expert Choice 11 kullanılarak analiz edilmiştir. AHP'nin sonucu, en kritik göstergeler olarak sıralanan beş gösterge ile tüm performans-risk göstergelerine başarıyla

ağırlıklandırma puanları atamıştır; yapısal stabilite (%14,9), yangın önleme hizmetleri (%9,1), bina ile ilgili hastalıklar (%7,4), acil çıkışlar (%6,8) ve elektrik hizmetleri (%6,3) dir. BPRT kullanılarak değerlendirilen bina için nihai gösterge, aşağıdakiler açısından bir derecelendirme sınıflandırması sağlamıştır: "Mükemmel", "İyi", "Orta", "Düşük" veya "Kötü", performansın iyileştirilmesi için binanın yanı sıra kullanıcıların sağlık ve güvenlik risklerini azaltmak içinde önerilerde bulunulmuştur. Bu nedenle, BPRT'nin kurulması, bina performansı ve risk kavramını sayısal bir stratejik yaklaşıma dönüştürülmüştür [33].

Ligus ve Peternek 2018 yılında, Determination Of Most Suitable Low-Emission Energy Technologies Development In Poland Using Integrated Fuzzy AHP-TOPSIS Method çalışmasında Polonya'da beş düşük emisyonlu enerji teknolojisi gelişimini değerlendirmek ve önceliklendirmek için AHP ve TOPSIS'e dayalı bir hibrit MCDM (multiple-criteria decision making) modeli önerilmiştir. Bu amaçla, Polonya'da sürdürülebilir kalkınma politikası hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından bir dizi kriter tanımlanmıştır. Araştırma sonuçları, yenilenebilir enerji teknolojilerinin nükleer enerji yerine kullanılması gerektiğini göstermiştir. Sonuçlar, klasik ve kombine AHP-TOPSIS karar verme modelleriyle elde edilenlerle karşılaştırılmıştır [34].

Raykar ve D'Addona 2019 yılında, Selection Of Best Printing Parameters Of Fused Deposition Modeling Using VIKOR çalışmasında 3D baskının havacılık, otomotiv, inşaat gibi birçok sektörde ve pek çok tıbbi uygulamada ürün üretmek için kullanımından bahsedilmiştir. Fused deposition modeling (FDM) 3B baskılı plastik ve plastik kompozit bileşenlerin üretimini detaylandırarak VIKOR tekniği kullanılarak FDM'nin proses parametrelerinin optimizasyonuna çalışılmıştır [35].

Baynal, Şahin ve Taphasanoğlu 2019 yılında, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lüks Konut Projesi İçin Beyaz Eşya Seçimi çalışmasında Türkiye'de farklı illerde doğayla bütünleşmiş düşük katlı binalar/villalar inşa eden bir firma incelenmiştir. Firma, ankastre serisine buzdolabı da ilave ederek, sektörde rekabet avantajı elde etmeyi ve müşteri taleplerini artırmayı amaçlamaktadır. Ancak firma bunu yaparken kâr oranını düşürmek istememekte, hedef kitlesi olan müşterilerinin dikkatini çekecek bir tercih yapmayı arzu etmektedir. Çok sayıda artan ve azalan kriterin bir arada değerlendirilmesi için çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan VIKOR metodunun kullanılması uygun görülmüştür. Kriter ağırlıklarının sübjektifliğinin azaltılması amacıyla da AHP tekniği kullanılmıştır.

Sonuçlar yönetim kurulu başkanı, mimarlar, satış müdürü, muhasebe müdürü ve pazarlama koordinatörü tarafından değerlendirilerek, uzlaşık bir karara ulaşılmıştır [36].

Açık 2019 yılında, Konya, Karaman, Aksaray Ve Niğde İllerinde Uygun Arıcılık Yerlerinin Belirlenmesinde AHP Ve TOPSİS Yöntemlerinin İncelenmesi tezinde İç Anadolu bölgesinde yer alan Konya, Karaman, Niğde ve Aksaray illerinin “Çok Kriterli Karar Verme” (ÇÖKA) yöntemlerinden AHP, TOPSİS ve CBS kullanılarak arıcılık faaliyetlerinin yapımına uygun yerlerin tespiti amaçlanmıştır. Bu çalışmada öncelikli olarak arıcılık faaliyetlerini etkileyen temel kriterlerin tespiti ve yeniden sınıflandırılması işlemi yapılmıştır. Birinci adım olarak mevcut veriler AHP yöntemine göre karşılaştırılarak her bir verinin ağırlığı hesaplanmıştır. Bu ağırlıklara göre veriler karşılaştırılarak genel bir uygunluk haritası üretilmiştir. İkinci adımda ise TOPSİS yönteminde ise alternatiflerin, belirlenen kriterler doğrultusunda sıralanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sıralamaya göre arıcılık faaliyetlerinin yürütülmesi için uygun ve uygun olmayan alanlar belirlenmiştir. Üretilen uygunluk haritaları ile mevcut arıcılık faaliyetlerinin sürdürüldüğü yerleri gösteren veri karşılaştırılmıştır. Son adım da ise ÇÖKA yöntemlerinden AHP ve TOPSİS de elde edilen uygunluk haritalarının mevcut arıcılık yerleri ile uyumu ve birbiri ile orantısı incelenmiştir. Elde edilen uygunluk haritaları ile uygunluğun güvenilirliği araştırılmıştır [37].

Yazıcıoğlu 2019 yılında, Hastane Klima Santrallerinin AHP Ve TOPSIS Yöntemleri İle Seçimi tezinde bir klima santralinin çalışma aşamaları olan dış havayı içeri alma, bu hava ile iç havanın karıştırılması, ekipmanı korumak için filtreleme, nem kontrolü, bulaşıcıların uzaklaştırılması, fan gürültüsünü azaltarak çevre gürültü seviyesini kontrol etmek gibi fonksiyonları dikkate alarak hastane klima santrali seçimini gerçekleştirmek için AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Kriterler olarak yatırım, hava debisi, klima santralinin kütlesi ve gürültü düzeyi ele alındı ve mevcut 5 seçenekten en uygun olan hastane klima santrali seçimi yapılmıştır [38].

Büyükikiz 2019 yılında, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının AHP Ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri İle Değerlendirilmesi tezinde başta enerji ve enerji kaynakları olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu, çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)

yöntemleri bağlamında ele alınmıştır. Adı geçen yöntemlerin modellenmesi ve karşılaştırmalı analizi yapılmıştır [39].

Kumar, Gipta ve arkadaşları 2020 yılında, Evaluating Green Performance Of The Airports Using Hybrid BWM And VIKOR Methodology çalışmasında çevre üzerinde minimum etkiye sahip olan yeşil ve sürdürülebilir havalimanlarının geliştirilmesine yönelik artan bir ihtiyaç olduğu belirtilmiş, havalimanlarının yeşil performansını değerlendirme kriterlerini araştırması yapılmıştır. Farklı kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak ve havalimanlarını buna göre sıralamak için En Kötü Yöntem (BWM) ve Vlsekriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje (VIKOR) metodolojilerinin bir melezi kullanılmıştır [40].

Geçdoğan 2020 yılında, Kurumsal sürdürülebilirlik ölçümü için AHP ve TOPSIS tezinde Borsa İstanbul bünyesinde kurulan Sürdürülebilirlik endeksi işletmelerin kurumsal sürdürülebilirlik çalışmalarına desteği sağlanarak Borsa İstanbul'da işlem gören bankaların kurumsal sürdürülebilirlik ölçümlemesi için ekonomik boyut, çevresel boyut ve sosyal boyutlarını ele alarak çıkan verileri AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve sürdürülebilirlik performansları değerlendirilmiştir [41].

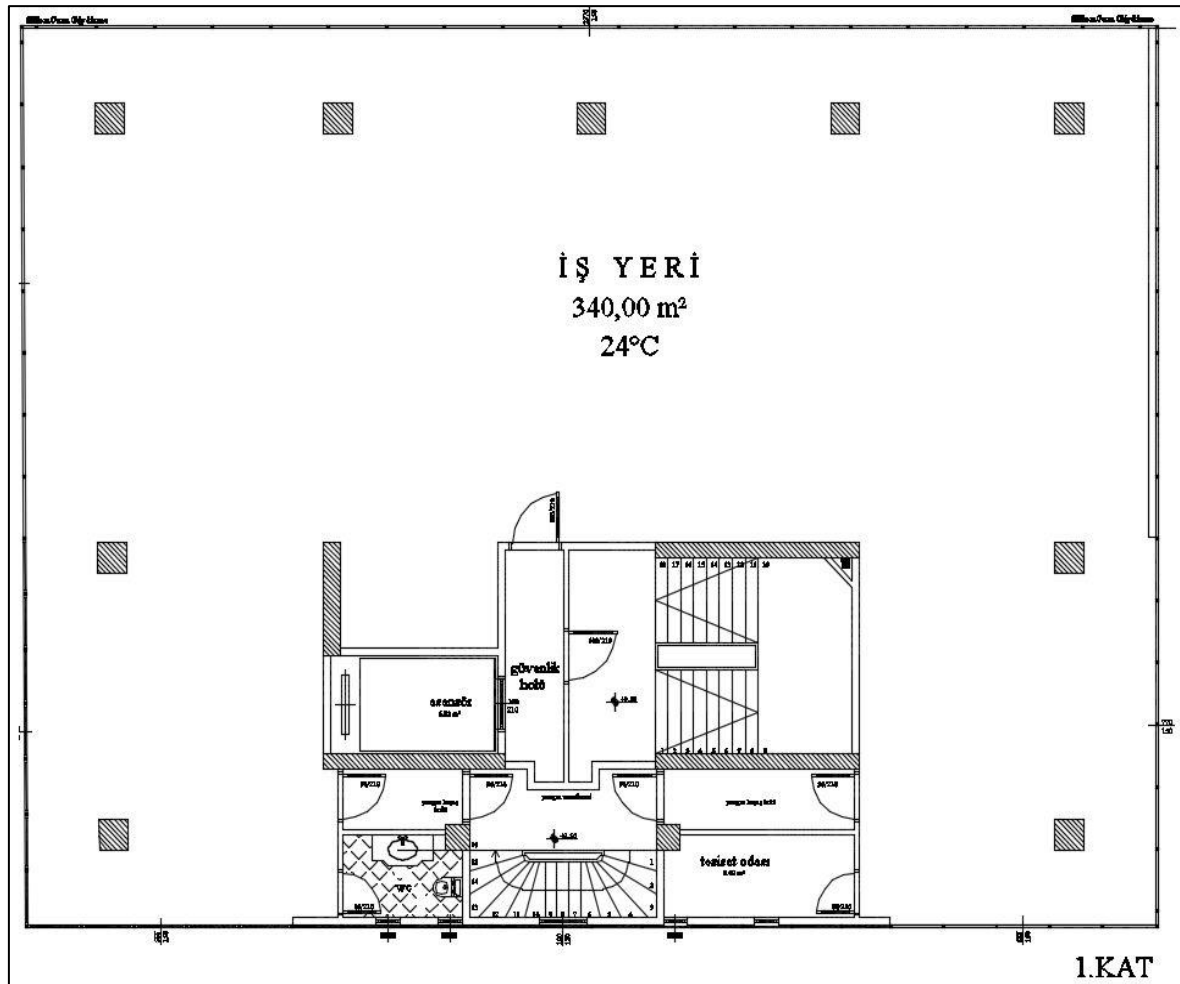
Yılmaz 2020 yılında, Bulanık TOPSIS Ve Bulanık Veri Zarflama Analizi Yöntemleri İle Performans Ve Etkinlik Değerlemesi: BIST'te Faaliyet Gösteren İşletmeler Üzerine Bir Uygulama tezinde Türkiye'de faaliyet gösteren belirli işletmelerin 2010-2018 yılları finansal tablo verilerinden elde edilen oranlar aracılığıyla performanslarının ve etkinliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bahsedilen amaç doğrultusunda BIST 50 Endeksinde işlem gören ve imalat sektöründe faaliyet gösteren on altı işletme üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bulanık TOPSIS ve bulanık veri zarflama analizi yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca çalışmanın zenginleştirilmesi amacı ile bahsedilen yöntemlere ilave olarak, klasik veri zarflama analizi yöntemi ile klasik TOPSIS yöntemi de çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda seçili işletmelerin performans ve etkinlik değerlemeleri yapılarak, gerekli sıralamalar meydana getirilmiştir [42].



3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Materyalin Belirlenmesi

Bu çalışmanın ana materyali zemin, birinci kat, ikinci kat ve teras katından oluşan bir iş merkezidir. Böyle bir binanın olduğu varsayılmıştır. Bina Ankara ilinde yer almaktadır ve tüm hesaplamalar bu ile özel olarak yapılacaktır. Binanın mahal sıcaklıklarının da gösterildiği mimari planlar EK-1 de yer almaktadır. Binaya ait örnek bir kat Şekil-3.1 de gösterilmiştir. Çizimler Autocad programı kullanılarak dwg formatında çizilmiştir.



Şekil 3.1. Zemin kat mimari plan ve kabul edilen iç ortam sıcaklık değeri

Binanın sadece Ankara iline özel olarak soğutma hesabı yapılmıştır. Soğutma hesabı yapıldıktan sonra aşağıda yer alan alternatifler doğrultusunda projeleri çizilmiştir;

1. Merkezi VRF Sistemi
2. Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi
3. Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi
4. VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi
5. Rooftop Sistemi

Bu alternatifler özelinde aşağıda yazan kriterlerin değerleri belirlenecektir;

- a. Kurulum Maliyeti
- b. Yıllık Bakım Masrafı
- c. Toplam Enerji Tüketimi
- d. Sera Gazı Emisyonu
- e. Dış Ünite İçin Kurulum Alanı
- f. Gerekli Şaft Alanı
- g. Dış Ünite Ses Şiddeti
- h. İç Ünite Ses Şiddeti
- i. Kullanım Kolaylığı

Belirlenen kriterler altında alternatifler arasından soğutma tesisatı seçiminin matematiksel yönü bulunacaktır. Literatürde bu tür matematiksel işlemlerin yapılabilmesi için Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri yer almaktadır. Yapılan çalışmanın sonunda bir karar alma yer almaktadır ve bunun için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanılacaktır. Birçok ÇKKV yöntemlerinden literatür taramasında bahsedilmişti bahsedilmektedir. Bu çalışma da kriterlerin kendi aralarında ve bazı kriterlerinde alternatifler içinde değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Prosesinden (AHP) yararlanılmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları ile diğer ÇKKV yöntemi olan VIKOR ve TOPSIS ile alternatiflerin değerlendirilmesi yapılacaktır.

3.2. Sistemlerin Tasarımı-Planlanması

Binalar için soğutma sisteminin ve bu sistemin gerektirdiği alt yapının maliyeti oldukça yüksektir ve hatta kullanım süreleri boyunca binanın kendi maliyetini bile geçebilirler. Planlama hem öncül hem de gelecek maliyetleri düşürmeye imkân tanır. Bu nedenle üreticiler ve bağımsız denetleme kuruluşları cihazlarda enerji verimliliğine çok önem

vermektedir. Gün geçtikçe enerji verimliliğinin çıtası sürekli yükseltilmektedir. Buna paralel olarak da yüksek performanslı cihazların etkinliğini artıran ve birim maliyetlerini azaltan uygulamalar sunulmaktadır. Planlamanın amacı, karar alımını, binanın ömrü boyunca kullanım masrafinin azaltılabilmesini sağlayacak şekilde yönlendirmek olmalıdır.

Merkezi soğutma tesisleri, bir binaya veya bina grubuna ya da yakınlarındaki mahallere dağıtılmak üzere, ısıyı bir yerde üretir. Merkezi soğutma sistemleri hemen her türlü binada uygulanmakta olup, özellikle çok geniş binalar ve kompleksler için son derecede uygundur. Bu sistemler ekipman hizmet ömrünün maksimize edilmesi ve işletme için gerekli iş gücünün verimli kullanımının önem taşıdığı yerlere özellikle uygundur. Aşağıdaki tesis türleri merkezi soğutma sistemi kullanmaya en iyi adaylardır:

- Birkaç binaya dağıtım gerektiren bina grubu çevreleri,
- Yüksekliği fazla olan tesisler,
- Büyük ofis binaları,
- Büyük kamu toplanma tesisleri, eğlence kompleksleri, stadyumlar, arenalar ile kongre ve sergi merkezleri,
- Kapalı çarşılar,
- Büyük ortak mülkler, oteller ve apartman kompleksleri,
- Eğitim tesisleri,
- Hastaneler ve diğer sağlık tesisleri,
- Endüstriyel tesisler (atölyeler),
- Büyük müzeler ve benzeri tesisler.

Merkezi soğutma sistemlerin avantajları sıralamak gerekirse:

- Büyük fakat daha az sayıda ekipmanın kullanılması, tesisin toplam işletme ve bakım maliyetlerini genellikle düşürür. Sistem ayrıca, daha geniş işletim aralığı ve daha esnek bir işletim sıralamasına olanak verir.
- Merkezi bir yerleşim servisle ilgili kısıtlamaları en aza indirir.
- Enerji etkin tasarım stratejileri, enerji geri kazanımı ve enerji yönetimi, basitleştirilebilir ve çok daha maliyet etkin bir hale getirilebilir.

- Merkezi santralde, esneklik sağlamak ve satın almada kaldıraç etkisi yapmak üzere birden çok enerji kullanılabilir.
- Ekipmanın standartlaştırılması, yedekleme ve yedek parça stoklaması yönünden yarar sağlar. Buna karşılık, farklı ekipman büyüklüklerinin seçiminde stratejik seçme kullanılarak, kısmi yük kapasitesi ve verimler daha iyi hale getirilebilir.
- Bekleme kapasiteleri (hazır kapasite yedekleme) ve yedek soğutma kapasiteleri ekipmana kolayca eklenebilir.
- Bir merkezi santral ve dağıtım tesisatı gelecekte yapılması düşünülen genişlemelere kolayca uyarlanabilir (örneğin bina grubuna yeni binalar eklenmesi durumu).
- Yüklerde eş zaman faktörleri ekipmanın tam kapasitede seçilmesi zorunluluğunu önemli ölçüde azaltır.
- Sekonder dağıtımın alt ölçüm olanağı, merkezi santralin dışındaki mahallerde soğutma faturalarının ayırık ölçümlerle belirlenmesini sağlar.
- Titreşim ve gürültü çıkartan ekipmanın meskun mahallerin uzağında gruplanabildiğinden, akustik ve titreşim kontrolleri bu nedenle basitleştirilebilir. Birçok durumda sese karşı işlemler ayrı değil, bir merkezde yapılabilir.

Merkezi soğutmanın avantajlarının yanında dezavantajı da vardır. Sıralamak gerekirse:

- Sistem hemen kullanıma hazır olmayabileceğinden, üretim ve teslimi için uzun bir zaman beklemek gerekebilir.
- Merkezi olmayan sisteme göre daha karmaşık bir yapıda olabileceğinden, bu durumda daha bilgili işletme elemanına gerek duyulur.
- Bina içerisinde veya binaya yakın bir merkezi mahalle gerek vardır.
- Ekipman mahallinde ek bir tavan yüksekliği gerekebilir.
- Primer ve yardımcı ekipmanı birleştirerek bir santral kurmak için birden çok üreticiye gerek duyulabilir.
- Sistemin kontrol mantığı karmaşık bir yapıda olabilir.
- Kurulum maliyeti yüksek olabilir. Özel izinler gerekli olabilir.
- Güvenlik gereksinimleri artar.
- Geniş bir boru dağıtım sistemi gerekli olabilir [43].

Normal şartlar altında tasarım mühendisi mal sahibine, değişik sistemleri dikkate alarak bunlardan amaca uygun ve istenen performansı sağlayan bir ya da iki sistemi önermekle yükümlüdür. Tasarım amacına ilişkin kriterlerin belirlenmesi ve öncelik sırasına konulmasında tasarım mühendisi ile mal sahibinin birlikte çalışması bir zorunluluktur.

Isıtma ve soğutma yükleri çoğu zaman, kullanılabilir mahalle ve bina mimarisine uygun sistem seçimini daraltarak kısıtlamalara katkıda bulunur. ASHRAE Handbook Fundamentals yirmiden yirmi dördüncü bölümlerde iklimlendirme yüklerinin büyüklük ve karakteristiklerinin belirlenmesini açıklamaktadır [44]. Kapasite gerekleri ortaya konulduktan sonra ekipman büyüklüğü belirlenebilir ve bir büyüklük aralığında iyi çalışacak sistemler için doğru seçim aralığı daraltılabilir. Yükler; zaman içerisinde, kullanılan ve kullanılmayan dönemlere, havadaki değişmelere, içerideki insanların yaptığı işin türüne, etkinliklerine, dahili yüklere ve güneşe göre yöne bağlı olarak değişir. Farklı kullanım ve yöne sahip her mahal, mahaldeki konforu koruyabilmek için farklı bir konfor zonunu gerektirebilir. Özel gereklere sahip olan bazı alanlar (örneğin havalandırma gerekleri) ayrı, kendine özgü sistemleri gerekli olabilir. Zonlama derecesi, her zon da gerekli olan kontrol düzeyi ve her bir zon için özel gereklilikler de yine seçim aralığını daraltır. Sadece belirli bir sistemin bütün koşullar ve insan etkinliklerinde binadaki mahal çevresini kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutması fiziksel olarak binanın içine, üzerine ya da yakınına, rahatsızlık yaratmaksızın uygulanabileceği dikkate alınıyorsa, belirli bir sistemin ne kadar verimli çalıştığı ya da kurulumunun ne kadar ekonomik olduğu önemli değildir. Öznel bir analiz ile bir ya da iki sistem belirlendikten sonra (genellikle bir tek seçim kalır), ayrıntılı niceliksel analizler yapılmalıdır. Düşünülen bütün sistemler, mal sahibinin temel amaçlarını sağlayacak performansı göstermelidir. Tasarım mühendisi, bütün sistemler hakkında, mal sahibinin bilinçli bir seçim yapabilmesi için gerekli bütün bilgileri sağlamak durumundadır [45].

Soğutma sistemler temel olarak mimari çizimler, işveren talepleri ve aşağıdaki lokal ve uluslararası standartlara göre hazırlanır ;

Yerel Standartlar:

- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yönetmelikleri
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü)
- TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği

- BEP Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
- TMMOB Türkiye Makina Mühendisleri Odası Yayınları
Uluslararası Standartlar:
- ASHRAE Handbook, Applications Volume
- ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume
- ASHRAE Handbook, Systems ve Equipment Volume
- ASHRAE Standard 62.1-2016 Indoor Air Quality Requirements [46]

Projemiz kapsamında yer alan sistemleri mümkün olduğu kadar birbirine eş seçmeye çalıştık. Fancoil ve VRF iç ünitelerinin seçiminde aynı tip cihazlar seçildi, kanallı sistemlerde tasarımında sınır değerleri aşmadan hızlar ile oynayarak aynı tip ve çapta kanal kullanılmaya çalışıldı. Mümkün olduğunca sistemler arasındaki benzerliklerden faydalanıldı. Cihaz seçiminde Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca yayınlanan birim fiyat kitabındaki kapasiteler dikkate alınarak homojen bir seçim yapılmaya çalışıldı [47]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bayındırlık kitabında yer almayan ürünlere ait özellikler için üretici kataloglarından faydalanıldı.

3.3. Alternatif Sistemlerin Tanımlanması

3.3.1. Merkezi VRF sistemi

Günümüzde birçok soğutma sistemi bulunmaktadır. Değişken soğutucu akışkan debili (VRF) iklimlendirme sistemi de bunlardan biridir ve 1982 yılında piyasaya ticari bir ürün olarak çıkmıştır.

VRF sistemleri. Bu sistemler hem soğutma sistemi hem de ısı pompası olarak kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde aynı anda farklı hava şartları gereken iş merkezi, otel, okul ve hastane gibi binalarda kullanımı öne çıkmaktadır. Ayrıca, aynı anda hem ısıtma hem de soğutma yapabilmesi enerji tasarrufu açısından da katkı sağlamaktadır. Bu sistemlerin diğer bir önemli avantajı ise, tek bir dış ünite ile birden fazla iç ünitenin çalışabilmesidir.

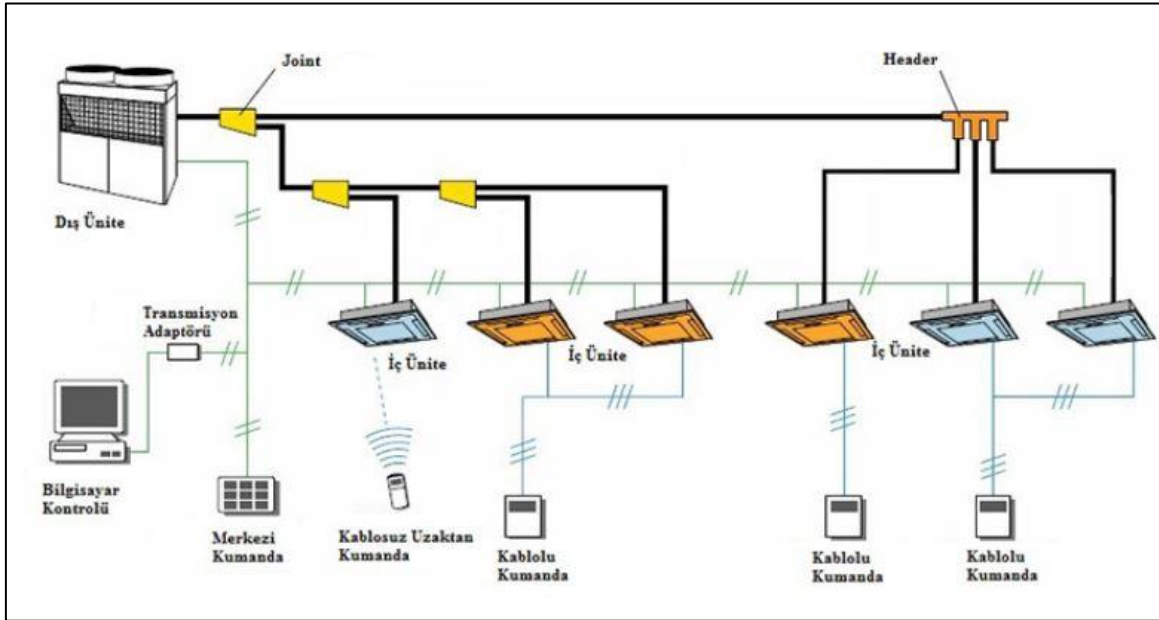
VRF sistemlerinde, iç üniteler soğutucu boruları ile paralel bir şekilde dış üniteye bağlanmaktadır. Dış üniteye 4 yollu vana bağlantısı ile soğutucu akışkan yönü değiştirilebilmekte ve bu özellik sayesinde VRF Sistemi hem soğutma sistemi hem de ısı pompası olarak kullanılabilir. Soğutma modunda, kompresörden çıkan soğutucu akışkan dış ünite eşanjörüne (kondenser olarak kullanılır) girerek 4 yollu vanaya doğru gider. Yüksek basınç düşük sıcaklıktaki (50 °C, 25 bar) soğutucu akışkanın, EEV (elektronik genişleme valfi) vasıtası ile basıncı düşer ve iç ünite eşanjörüne (buharlaştırıcı olarak kullanılır) girer. İç ünite ile iklimlendirilen ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı, iç ünite bölgeden ısı çeker ve bölgeyi soğutur. Daha sonra düşük basınçlı kızgın soğutucu akışkan (12 °C, 7.5 bar) kompresöre döner ve döngü tamamlanır. Isıtma modunda ise, 4 yollu vana soğutucu akışkan yönünü tersine çevirir. Soğutucu akışkan kompresörden iç ünite eşanjörüne (kondenser olarak kullanılır) girer. İç ünite ısıyı dışarı verir ve bölgeyi ısıtır. Daha sonra, yüksek basınç düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkanın (50 °C, 25 bar) basıncı EEV vasıtası ile düşürülür. Düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkan dış ünite eşanjörüne (buharlaştırıcı olarak kullanılır) girer. Düşük basınçlı kızgın soğutucu akışkan (12 °C, 7.5 bar) kompresöre döner ve döngü tamamlanır [48].

VRF sistemleri hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak iki tiptir ve uygulama açısından 2 borulu ve 3 borulu olarak ana gruplara ayrılır. 2 borulu sistem chiller veya ısı pompası, 3 borulu sistem ise ısıtma ve soğutmanın aynı anda yapılabilmesi için 4 borulu hidronik sistem olarak kabul edilebilir. VRF sistemi tiplerinden bağımsız olarak taze hava ihtiyacını karşılayamadığından ilave bir havalandırma sistemine ihtiyaç duymaktadır.

Modern VRF sistemleri inverter teknolojisi ile tek dış üniteye çoklu iç üniteler beslenmesine imkan sağlamaktadır. Değişken devirli kompresörler, kompresör emme basıncı ile belirlenen toplam ısıtma veya soğutma yük değişimlerini takip etmek için hız değiştirme kapasitesine sahiptirler. Kapasite kontrol aralığı %6 - %100 olarak alınabilir.

Buna ek olarak sistemde elektronik genişleme vanası kullanılmaktadır. İç ve dış üniteler arası bağlantıyı sağlayan her türlü borulama ekipmanı (bakır boru, joint vs.) bileşenlerdendir. Burada altı çizilmesi gereken bir diğer husus, VRF sistemlerinde üreticiye göre değişkenlik gösteren yatay ve dikey bakır borulama limitleri vardır.

Bizim çalışmamızdaki VRF sistemi 2 borulu tip olan sistemdir. İç ve dış üniteler arasında gaz taşıyan gidiş ve dönüş borularının bulunduğu sistemdir. Sistem çalışırken tüm iç üniteler ısıtma ya soğutma işlemlerinden birini yapmakta olup aynı anda hem ısıtma hem soğutma yapılamamaktadır. Aynı anda hem ısıtma hem soğutma istenmesi durumunda üç borulu VRF sistemi tercih edilmelidir. Isıtma ve soğutma aynı anda yapılamamaktadır. Soğutma modunda iç üniteler evaporatör , ısı pompası modunda iç üniteler kondenser olarak çalışmaktadır. Aşağıdaki şemada sistemin işleyişi anlaşılabilir.



Resim 3.1. Örnek bir VRF sistemi [49]

VRF sisteminin avantajları;

- Bina içinde ayrı bir mekanik odaya ihtiyaç olmaması
- Dış ünite boyutlarının, alternatif sistemlere göre (chiller vb.) daha küçük olması
- Dış ünitelerin, modüllerden oluştukları için taşınma ve montaj kolaylıkları
- İşletme giderlerinin merkezi sistemlere oranla paylaşım kolaylığı
- Enerji veriminin (COP ve EER değerleri) yüksek, işletme giderlerinin düşük olması
- Sistemin ekonomik ömrünün uzun olması
- Farklı tip iç ünitelerin aynı hatta bağlanabilmesi
- Kapasite artırımının kolaylıkla yapılabilmesi

- İç ünitelerdeki serpantinlerin fan-coil sistemi iç ünitelerine nazaran daha küçük, dolayısıyla fanlarının da daha küçük olması nedeniyle iç ünitelerin daha sessiz çalışabilmeleri
- Her türlü otomasyona bağlanma kolaylığı (gelişmiş merkezi kumanda seçenekleri)
- R407C ve R410A soğutucu akışkanlarının ısı taşıma kabiliyetinin suya göre daha fazla olması nedeniyle boru kesitlerinin çok daha küçük olması
- Soğutucu akışkan daha hızı kontrol edilebildiği için mevsim geçişlerinde esneklik ve sürat sağlanması
- Sabit oda sıcaklığı kontrolünün (± 0.5 C) elektronik genişleme valfleri vasıtasıyla hassas olarak sağlanabilmesi
- İşletme için uzman teknik kadroya gerek olmaması
- Bina Yönetim Sistemi vasıtasıyla odalardaki sıcaklık kontrolü, yetki alma verme, enerji tasarrufuna yönelik programlama, raporlama, arızanın yerinin belirtilmesi, her mahallin harcadığı enerji maliyetinin hesaplanması, haftalık işletim programları vs.nin yapılabilir olması
- Dış ünitelerdeki kompresörlerden birinin arızalanması halinde, sadece arızalanan kompresörün devre dışı bırakılarak sistemin çalışmaya devam edebilmesi. Aynı şekilde iç ünitelerden birinin arızalanmasının diğerlerini etkilememesi

VRF sisteminin dezavantajları;

- Servis için özel ekip gerekmesi
- Soğutucu akışkan maliyetinin yüksekliği
- Nemlendirme gerektiğinde ilave havalandırma sistemleri düşünülmesi ihtiyacı (primer hava)
- Nem almanın kısıtlı oluşu
- İç ünite filtre cinslerinin standart ve sınırlı oluşu
- Boru boylarında kısıtlama olması
- Asma tavan içinde drenaj boruları meyillinin kısıtlı oluşu, drenaj zorlukları [50]

3.3.2. Hava soğutmalı chiller destekli fancoil sistemi

Fancoil cihazları prensip olarak filtreden geçirilen havanın fan yardımıyla soğuk veya sıcak bir yüzeyin (serpantin) üzerinden geçirilerek şartlandırılması esasına dayanır. Fancoil cihazları ile ortamdaki havanın sıcaklığı (yaz sezonu çalışmasında aynı zamanda nemi) kontrol edilir. Bu cihazlarla yazın soğutma, kışın da ısıtma yapılır. Ortamda hava hareketi sağlanır. Ortam havası filtrelenerek ve seçime göre dış hava ile karıştırılarak hava kalitesi iyileştirilir. Cihazın ana yapısı fan, serpantin, ana ve harici drenaj tavaları, filtre ve gövdeden oluşur. Ana drenaj tavası serpantinde yoğunlaşan suyu tahliye etmek için kullanılır. Fancoil tesisatı özellikle son 10 yılda gerek sistem yapısı olarak gerekse sistemde kullanılan cihazların kalitesi olarak önemli bir gelişme göstermiştir. Özellikle otomasyonda yapılan ilerlemeler fancoil tesisatının daha konforlu ve daha ekonomik çalışmasını sağlamıştır. Farklı kullanım amacı, mimari durum, projelendirme, maliyet ve konfor ihtiyaçları için çeşitli tipte fancoil cihazları mevcuttur.

Ayrıca seçilen sisteme göre tek serpantinli (iki borulu sistem için) veya çift serpantinli (dört borulu sistem için), ilave veya tamamen elektrik ısıtıcılı, dış havalı veya iç havalı tipte olabilirler. İki borulu fancoil sisteminde üniteye tek serpantin vardır. Borularda ya sıcak ya da soğuk su bulunur. Buna göre ya ısıtma ya da soğutma işlemi yapılabilir. Dört borulu sistemde ise fancoil cihazında iki ayrı serpantin vardır. Sistemde hem sıcak hem de soğuk su bulunmaktadır. Ünitenin o an ısıtma veya soğutma yapmasına göre vanalarla sıcak ya da soğuk suyun ilgili serpantinden dolaşmasına izin verilir. Özellikle basınçlı tip fancoiller kanala bağlanabilecek ve yüksek dış statik basınç kayıplarını karşılayabilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Hidronik kasetli tip fancoiller ise oldukça estetik görünüşlüdür ve modüler tipte asma tavan uygulamalarında da kullanılabilir. Drenaj pompası sayesinde yoğunlaşma suyu cebri olarak eğim gerekmeden uzaklaştırılabilir [51].

- Fan motorlarında devir ayarı yapma imkanı kapasite kontrolünde ek bir kolaylık yaratır.
- Boru montajı genellikle kanal montajından daha kolay olduğu gibi boru izolasyonu genellikle kanal izolasyonundan daha kolaydır.
- İyi imal edilmemiş kanallarda meydana gelen kaçakların yaratacağı büyük işletme giderleri, fancoil sisteminde söz konusu değildir.
- Fancoil sisteminde kanal geçirmek için ihtiyaç duyulan büyük shaft kesitlerine gerek yoktur.

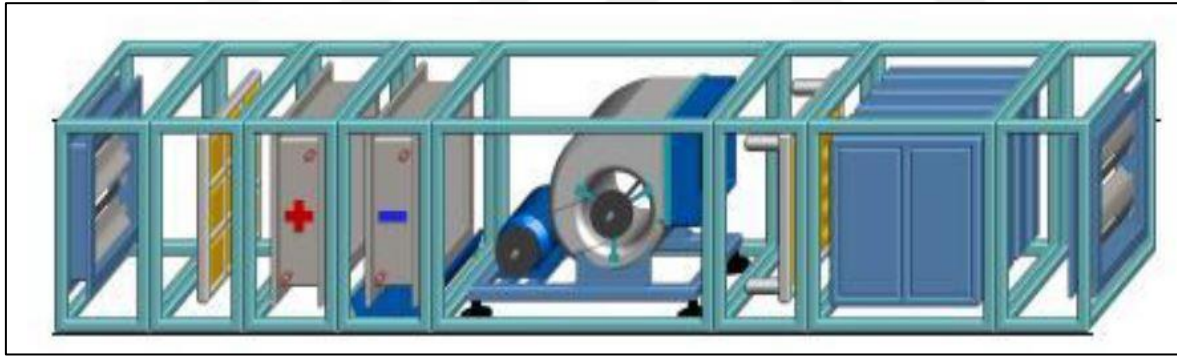
Fancoil sisteminin dezavantajları;

- Bütün sulu sistemler, hava ile iklimlendirme yapılan merkezi sistemlere göre daha fazla bakım isterler ve cihazlar kullanıcı olan insanlar ile aynı mahalde olduğu için iyi işletme organizasyonu ister.
- Sistemde kullanılan su yumuşak su olmalıdır. Belirli aralıklarla sistem kimyasallar ile temizlenmelidir.
- Boruların kireç tutmaması sistemin düzgün çalışması için boru korozyonunu önleyici kimyasallar kullanılmalıdır.
- İki yollu vana ve filtreler düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir.
- Pompaların yıllık bakımları aksatılmadan yapılmalıdır.
- Chillerin serpantin bakımları yapılarak , serpantine özel kimyasallarla sistem temizlenmelidir.
- Herhangi bir tamirattan sonra boru izolasyonu ve kaplaması yapılmalıdır.
- Dört borulu fancoil sistemi kullanılıyor ise, kışın sistemin donmaması için gerekli tedbirlerin alınmalıdır.
- Düşük çığ noktası sıcaklıklarında çalışan birimler, düzenli olarak temizlenmesi gereken boşaltma tavası ile boşaltma borusuna gerek duyulmaktadır. Yoğuşma suyunun ortamdan alınması ve boşaltılması maliyetli bir iş olup serpantin temizlenmesi de kolay değildir.

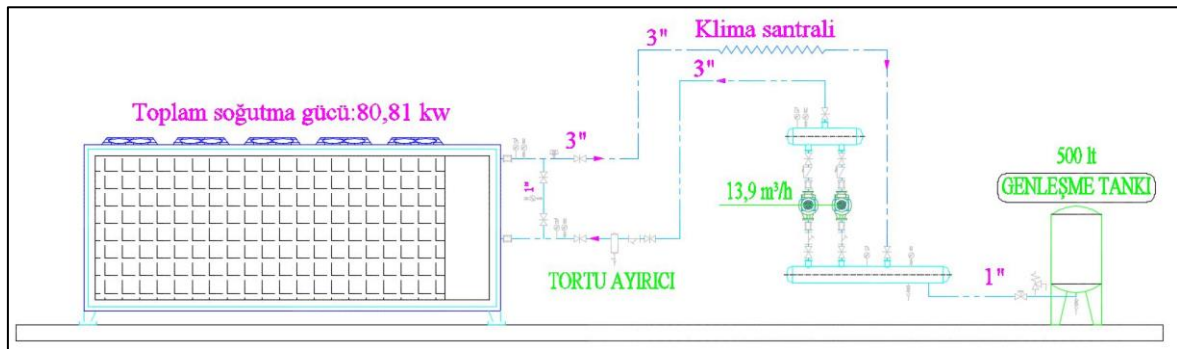
3.3.3. Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi

Klima santrali sistemi aldığı havayı şartlandırarak kanallar vasıtasıyla ilgili mekanlara yollayan sistemlerdir. Klima santralleri tamamen ortam havası şartlandırabilecekleri gibi

bu havayı taze dış havayla karıştırabilir hatta %100 taze dış hava ile çalışabilirler. Klima santrali serpantini sulu tip seçilmesi durumunda havayı soğutmak için bir Chiller ihtiyaç vardır. İngilizce chiller olarak adlandırılan ve Türkçeye soğutma sistemleri olarak çevrilen chiller; ısıyı bir kaynaktan alarak başka bir kaynağa transfer eden, enjeksiyon soğutma sistemi olarak adlandırılan sistemlerdir. Kompresör, kondanser, genleşme vanası ve evaporatörden oluşan chiller soğutma sistemleri, kompresörde sıkıştırılan ve ısınan gazın kondanserde soğutulması ile çalışır. Daha sonra genleşme vanasından geçen gazın basıncı dolayısı ile sıcaklığı düşer ve sıvılaşır. Evaporatörden geçerken soğutulmak istenen sıvının üzerinden ısıyı alır alçak basınçta gaz olarak kompresöre gelir, yeniden sıkıştırılır. Çalışma sistemi bu şekilde devam eder. Chiller soğutma sistemleri farklı özelliklerine göre gruplandırılır. En büyük ayırım ise ısı kaynağının ne olduğudur. Eğer ısı havaya atılıyorsa hava kaynaklı soğutma grubu, suya atılıyorsa su kaynaklı soğutma grubu olarak adlandırılır. Hava soğutmalı chiller sistemleri, chiller içerisindeki soğutucu gazın, evaporatör ve kompresör üzerinden kazandığı enerjisinin hava soğutmalı bataryalar üzerinde atması şeklinde çalışır. Çalışmamızda hava soğutmalı chiller kullanılmıştır.



Resim 3.3. Klima santrali resmi[46]



Resim 3.4. Hava soğutmalı su soğutma grubu klima santrali fonksiyon şeması

Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi avantajları;

- Büyük hacimlerde kolay uygulanır
- Merkezi kontrol sağlanır
- Hassas kontrol sağlanır
- Termal konfor yüksektir
- Hijyen şartları iyidir
- Estetik ve mimari uyum iyidir

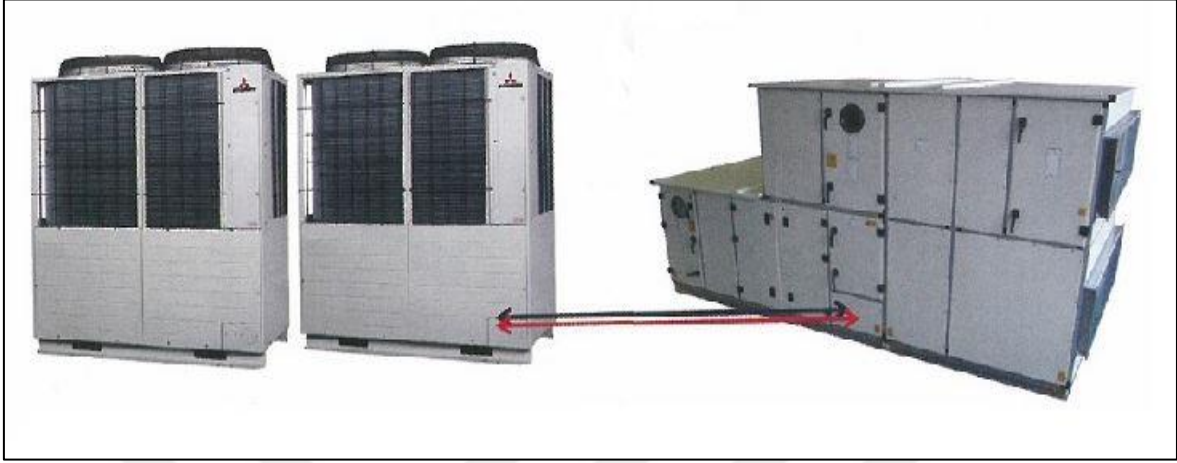
Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi dezavantajları;

- Enerji taşıma pahalıdır
- Merkezi sisteme bağımlıdır
- Bakımı zor
- Çalışırken ara kontrol ister
- Dış ortamda yer aldığı için sistemin donmaması için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir
- Suyun serpantinlere taşınması için harici bir pompa sistemine ihtiyaç olup, sistemin güneşten ve kardan etkilenmemesi için bir mekanik odaya ihtiyaç vardır
- Sistemde kullanılan su yumuşak su olmalıdır. Belirli aralıklarla sistem kimyasallar ile temizlenmelidir
- Boruların kireç tutmaması sistemin düzgün çalışması için boru korozyonunu önleyici kimyasallar kullanılmalıdır
- İki yollu vana ve filtreler düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir
- Pompaların yıllık bakımları aksatılmadan yapılmalıdır
- Chillerin serpantin bakımları yapılarak, serpantine özel kimyasallarla sistem temizlenmelidir.

3.3.4. VRF soğutma destekli klima santrali sistemi

Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemindeki sulu serpantin yerine DX batarya sistemi yerleştirilir, santral aynı özellikleri içerir. Serpantinde su yerine gaz dolaşır.

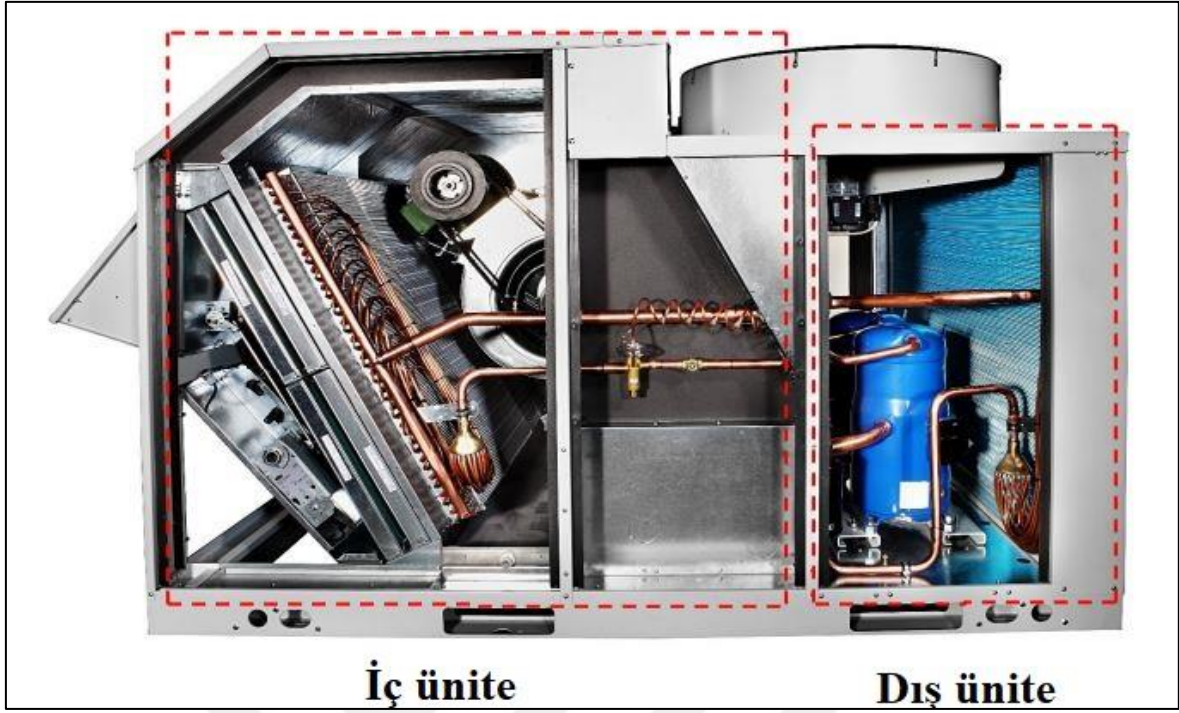
Bu sistemin avantaj ve dezavantajları daha önceki sistemlerde ayrıntılı anlatıldığı için burada ayrıntıya girilmeyecektir.



Resim 3.5. VRF soğutma destekli klima santrali sistemi

3.3.5. Rooftop sistemi

Rooftop paket klimalar DX bataryalı monoblok cihazlardır. Bu monoblok oluşum, bir adet klima santrali, bir adet hava soğutmalı kondenserli soğutma grubu ve bu cihazları kontrol eden otomatik kontrol cihazlarının tek bir gövde içerisinde birleştirilmiş şeklidir. Rooftop paket klimalar mahal şartlandırmasını hava kanalları vasıtası ile yaparlar, bu sebeple bir adet cihazla tek bir mahalin klimatizasyonu yapılabileceği gibi, birbirinden bağımsız mahallerin de klimatizasyonu yapılabilir. Dış mekanlara monte edilmek üzere geliştirmiştir. Taze hava bağlantısı ile soğutma yanında tüm yıl boyunca havalandırma da yapılır. İç ünite yoktur, cihaz çatı üzerine veya yere monte edilebilir, binada yer kaybı olmaz. Kanallı sistem olduğu için, cihaz kaynaklı iç ortamda ses yok denecek kadar azdır. Cihazın doğalgazlı tipleri mevcut olup ısıtmada ekonomik olarak yapma imkanı vardır. Avantaj ve dezavantajları merkezi VRF sisteminde anlatılan ile benzerdir.



Resim 3.6. Rooftop cihazının iç yapısı

3.4. Soğutma Yüğü (Isı Kazancı) Hesapları

Soğutma hesapları Carrier HAP 4.9 (Hourly Analysis Program) programı ile yapılmıştır. HAP, mühendislere ticari binalar için HVAC sistemleri tasarlamada yardımcı olan bir bilgisayar aracıdır. HAP, bir arada iki ayrı araçtır. İlk olarak, yükleri tahmin etmek ve sistemleri tasarlamak için bir araçtır. İkincisi, enerji kullanımını simüle etmek ve enerji maliyetlerini hesaplamak için bir araçtır. HAP, yük hesaplamaları için ASHRAE onaylı transfer fonksiyonu yöntemini ve enerji analizi için ayrıntılı 8.760 saatlik enerji simülasyon tekniklerini kullanır. HAP, HVAC sistem bileşenleri için gerekli boyutları belirlemek amacıyla ticari binalar için soğutma ve ısıtma tasarım yüklerini tahmin eder. Sonuç olarak program, ekipmanı seçmek ve belirlemek için gereken bilgileri sağlar. Program özellikle aşağıdaki hesaplamaları yapar :

- HVAC sistemindeki alanlar için soğutma ve ısıtma tasarım yüklerini hesaplar.
- Alanlar, bölgeler ve sistem için gerekli hava akış hızlarını belirler.
- Soğutma ve ısıtma serpantinlerini kapasitelerini belirler.
- Hava sirkülasyon fanlarının kapasitelerini belirler.
- Soğutucular ve kazanların kapasitelerini belirler [52].

3.4.1. İklim verileri

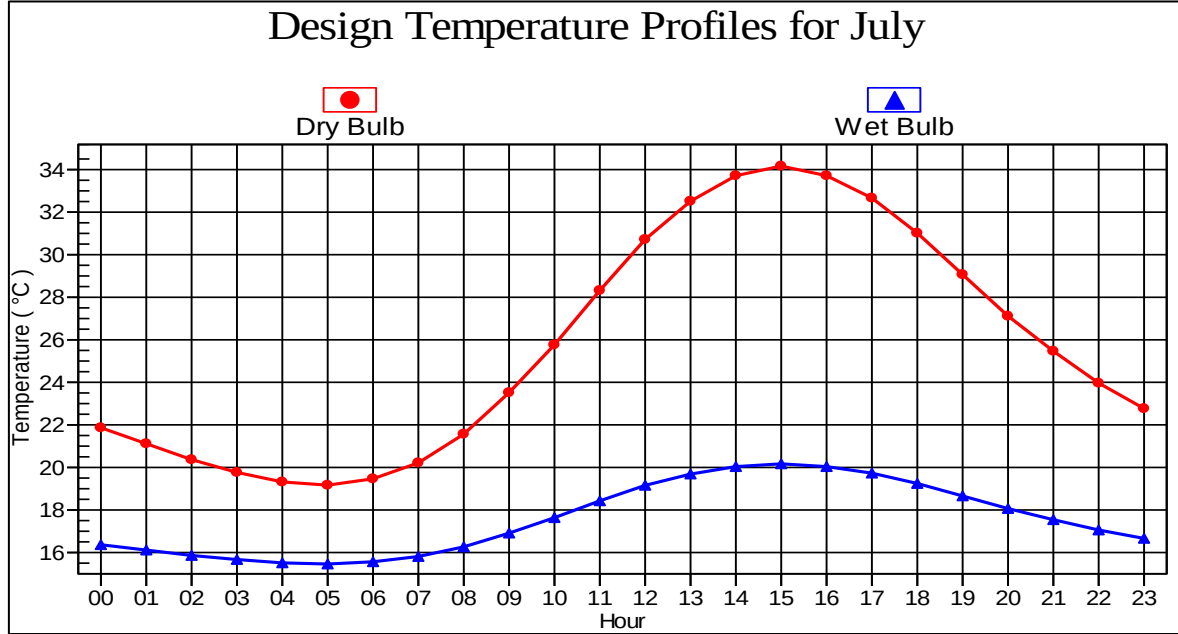
Bina yapı durumu ve iklim şartları ile ilgili bilgiler Çizelgelerde verilmiştir. Bilgiler TS 825 standardından, HAP program rapor verilerinden ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılmıştır.

HAP programı iklim verilerini soğutma ve ısıtma yüklerini tahmin etmekte kullanılır. Bu yüklere göre sistemdeki serpantin, fanlar, kutular vb. cihazlar boyutlandırılır. Simülasyon iklim verileri ise enerji tahmini için kullanılır. İklim verilerinin program için gerekli olan 12 ay ve 24 saatlik değişimini, kuru termometre, yaş termometre, güneş radyasyonu değerlerini hesaplar. Program ASHRAE'nin transfer fonksiyonu ve ısı çekimi yöntemlerini kullanarak hesap yapmaktadır [53].

Çizelge 3.1. Ankara iline ait yapı durumu ve iklim şartları

YAPI DURUMU VE İKLİM ŞARTLARI		
Yapı Durumu :		
Binanın Bulunduğu Yer :	ANKARA	
Binanın Durumu :	Serbest	
İmar Durumu :	Ayrık Nizam	
Pencere Tipi :	Isıcam Reflektif	
Pencere Özelliği :	6/12/6	
İşletme Durumu :	1. İşletme	
Derece Gün Bölgesi :	3. BÖLGE	
Standart Kat Yüksekliği :	3 m	
ANKARA		
Enlemi :	39°57'K	
Boylamı :	32°53'D	
Deniz Seviyesinden Yükseklik :	895 m	
Rüzgar Durumu :	YAZ:	KD12
	KIŞ:	KD11
a) Kış Mevsim Şartları :		
Dış Hava Sıcaklığı :	-12	R
b) Yaz Mevsim Şartları :		
Kuru Termometre Sıcaklığı :	34 °C	
Yaş Termometre Sıcaklığı :	20 °C	
Günlük Sıcaklık Farkı :	15,00 °C	
Nem Miktarı :	8,90	gr/kg
Antalpi :	76,8	kj/kg

Ankara için soğutma gün sayısı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü sitesinde 2019 için $T > 22$ °C için 74 gün olarak verilmiştir [54].



Şekil 3.3. Tasarım sıcaklık profili

Çizelge 3.2. Tasarım günü maksimum güneş enerjisi kazanımı (W/m^2)

Month	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
January	61,7	61,7	61,7	268,3	466,3	659,9	754,4	797,3	794,3
February	75,7	75,7	163,3	402,9	609,8	722,3	788,9	775,7	751,7
March	90,9	90,9	323,0	529,3	680,1	759,5	741,6	682,1	640,1
April	106,5	229,2	432,7	614,6	702,6	704,6	632,8	528,9	477,5
May	117,1	329,7	511,1	645,2	697,2	645,0	546,1	409,1	346,9
June	146,6	365,2	532,1	652,0	683,9	617,6	502,5	354,6	292,2
July	119,6	326,9	502,9	638,7	679,9	636,6	528,9	397,9	333,9
August	111,7	222,7	427,6	594,6	672,3	682,6	607,3	513,0	460,3
September	94,9	94,9	293,1	505,6	634,7	723,0	705,0	655,1	625,8
October	78,8	78,8	161,0	386,6	573,9	711,9	754,7	745,6	734,7
November	63,4	63,4	63,4	244,3	480,4	630,7	751,1	785,7	788,9
December	56,0	56,0	56,0	208,4	412,1	613,3	727,7	788,0	796,1
Month	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	HOR	Mult
January	798,0	756,4	658,8	470,8	267,9	61,7	61,7	419,7	1,00
February	775,6	789,1	729,7	610,1	392,1	171,6	75,7	568,3	1,00
March	682,9	743,3	758,5	683,8	523,7	324,3	90,9	701,0	1,00
April	534,9	635,9	709,9	696,6	609,7	448,5	205,6	794,6	1,00
May	413,7	543,8	655,8	682,8	650,1	520,0	314,7	836,8	1,00
June	359,5	497,4	625,1	677,0	656,7	538,3	358,5	842,7	1,00
July	400,3	526,2	639,5	675,2	639,7	508,9	322,2	824,2	1,00
August	516,6	613,5	684,7	671,5	589,2	435,3	204,2	779,1	1,00
September	659,7	715,2	707,9	653,8	499,3	291,3	94,9	682,7	1,00
October	744,0	748,8	711,5	564,4	393,3	152,9	78,8	563,6	1,00
November	781,0	748,3	645,4	477,5	241,4	63,4	63,4	424,3	1,00
December	779,7	731,5	612,9	427,8	194,8	56,0	56,0	360,3	1,00

İklim verilerine ait daha detaylı veriler Ek-2 de verilmiştir.

3.4.2. Yapı malzemelerinin ısı geçirgenlik katsayı hesapları

Her bir yapı bileşenin ayrı ayrı autocad ile çizimleri yapılarak MS Excel programıyla ısı direnci (R) ve ısı geçirgenlik katsayısı (U) hesaplanmıştır. Isı iletkenlik (λ) değerleri TS 825'den alınmıştır. Çok tabakalı yapı bileşenleri için ısı direnci hesap formülü Eşitlik-1'de verilmiştir.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \frac{d_3}{\lambda_{h3}} \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (3.1)$$

R: Isıl direnç değeri (m^2K/W)

d: Malzemenin kalınlığı (m)

λ_h : Malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)

Malzemelerin ısı direnç değeri ne kadar fazla olursa, ısı yalıtım özelliği daha verimli olur. Eşitlik-2'de görüleceği üzere ısı direnç ($1/U$); her bir katmanın ısı direnci, iç ve dış yüzey ısı dirençlerinin toplanması ile elde edilir. Yapı bileşenlerinin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U), toplam ısı direnç değerinin toplamının bir bölümünden elde edilir. Bu değer; $1m^2$ 'lik alanda bir saniyede yüzey ve hava arasında $1K$ 'lik sıcaklık farkı oluşturan ısı akışını ifade eder [55].

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (3.2)$$

U: Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)

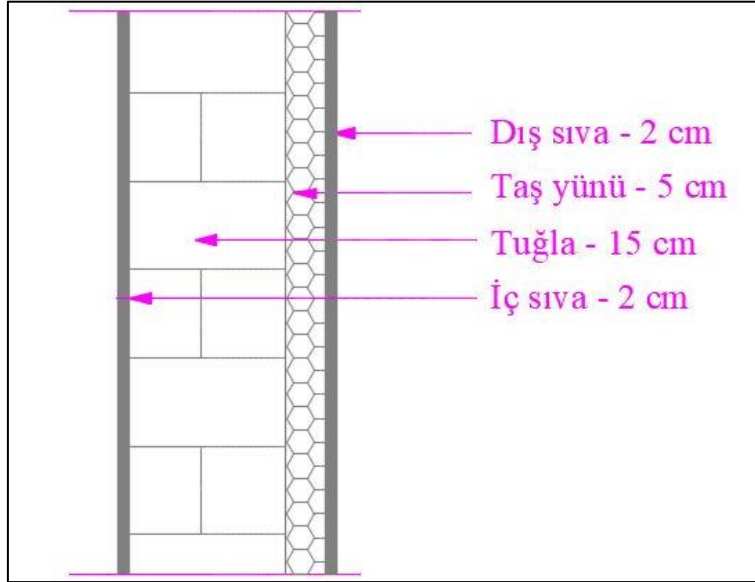
R_i : iç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direncini (W/m^2K)

R_e : dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direncini (W/m^2K)

R: yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik direncini (W/m^2K)

Yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik değerine (R), yüzeysel ısı iletim direnç değerleri (R_i , R_e) eklenerek Eşitlik-2'de gösterildiği gibi bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik direnci ($1/U$) bulunur.

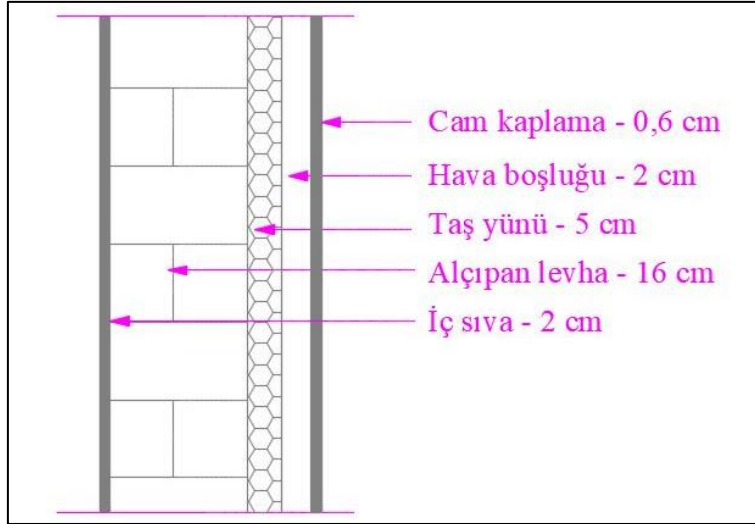
Projemizde yer alan yapı bileşenlerine ait ısıl geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama TS 825'deki verileri MS Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplara ait şekil ve çizelgeler aşağıda detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Dış duvar detayı (DD1)

Çizelge 3.3. Dış duvar (DD1) ısıl geçirgenlik hesabı

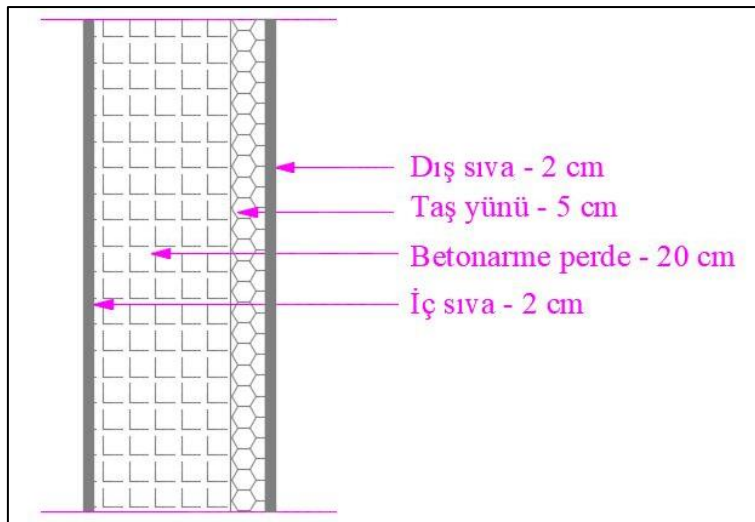
No.	MALZEME	d-kalınlık (m)	λ -ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)	d / λ - ısı direnç (m ² K/W)
	$R_i = 1/\alpha_i = 0,13$			0,130
1	iç sıva	0,020	1,000	0,020
2	Tuğla Duvar	0,150	0,580	0,259
3	Taş Yünü	0,050	0,035	1,429
4	Dış Sıva	0,020	1,600	0,013
	$R_e = 1/\alpha_d = 0,04$			0,040
	$R = d/\lambda$ (m ² K/W)			1,720
	$1/U = R_i + R + R_e$ (m ² K/W)			1,890
	U (W/m ² K)			0,529



Şekil 3.5. Dış duvar detayı (DD2)

Çizelge 3.4. Dış duvar (DD2) ısıl geçirgenlik hesabı

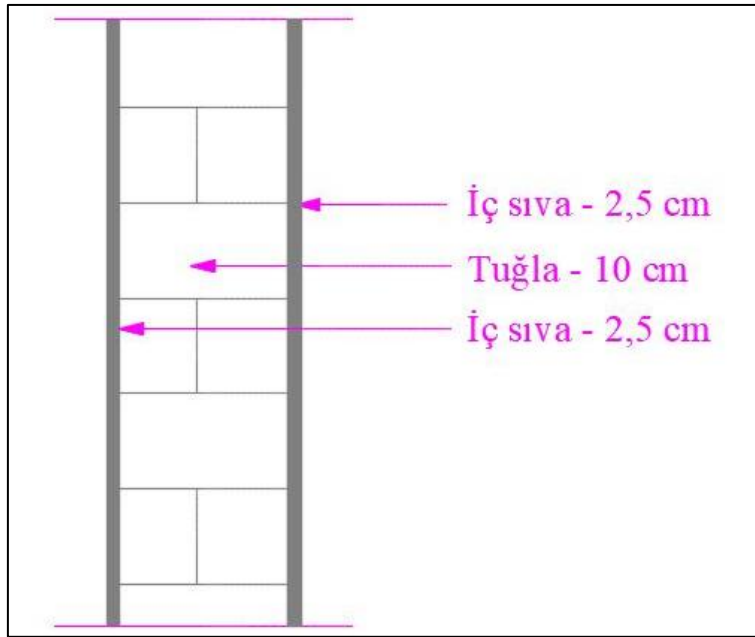
No.	MALZEME	d-kalınlık (m)	λ -ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)	d / λ - ısı direnç (m ² K/W)
	$R_i = 1/\alpha_i = 0,13$			0,130
1	iç sıva	0,020	1,000	0,020
2	Alçıpan Levha	0,160	0,580	0,276
3	Taş Yünü	0,050	0,035	1,429
4	Hava Boşluğu	0,020	0,125	0,160
5	Cam Kaplama	0,006	0,800	0,008
	$R_e = 1/\alpha_d = 0,04$			0,040
	$R = d/\lambda$ (m ² K/W)			1,892
	$1/U = R_i + R + R_e$ (m ² K/W)			2,062
	U (W/m ² K)			0,485



Şekil 3.6. Perde duvar detayı (DD3)

Çizelge 3.5. Perde duvar (DD3) ısıl geçirgenlik hesabı

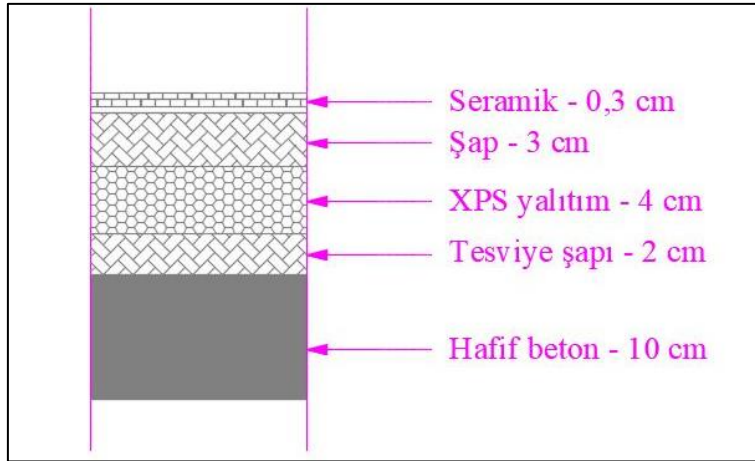
No.	MALZEME	d-kalınlık (m)	λ -ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)	d / λ - ısı direnç (m ² K/W)
	$R_i = 1/\alpha_i = 0,13$			0,130
1	İç sıva	0,020	1,000	0,020
2	Betonarme Perde	0,200	2,500	0,080
3	Taş Yünü	0,050	0,035	1,429
4	Dış Sıva	0,020	1,600	0,013
	$R_e = 1/\alpha_d = 0,04$			0,040
	$R = d/\lambda$ (m ² K/W)			1,541
	$1/U = R_i + R + R_e$ (m ² K/W)			1,711
	U (W/m ² K)			0,584



Şekil 3.7. İç duvar detayı (İD1)

Çizelge 3.6. İç duvar (İD1) ısıl geçirgenlik hesabı

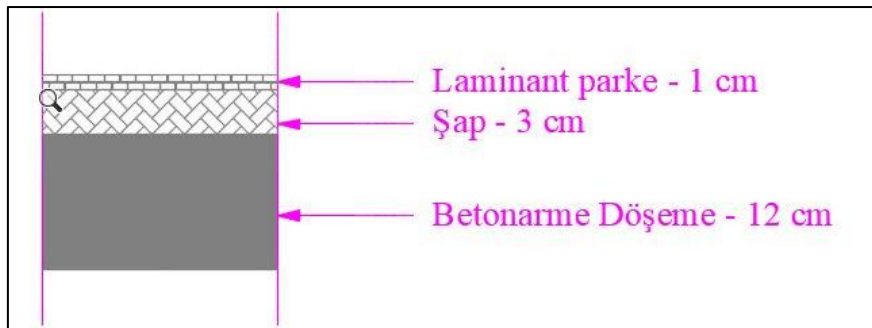
No.	MALZEME	d-kalınlık (m)	λ -ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)	d / λ - ısı direnç (m ² K/W)
	$R_i = 1/\alpha_i = 0,13$			0,130
1	İç sıva	0,025	1,000	0,025
2	Tuğla Duvar	0,100	0,580	0,172
3	İç sıva	0,025	1,000	0,025
	$R_e = 1/\alpha_d = 0,13$			0,130
	$R = d/\lambda$ (m ² K/W)			0,222
	$1/U = R_i + R + R_e$ (m ² K/W)			0,482
	U (W/m ² K)			2,073



Şekil 3.8. Toprak temaslı döşeme detayı (DÖ1)

Çizelge 3.7. Toprak temaslı döşeme (DÖ1) ısıl geçirgenlik hesabı

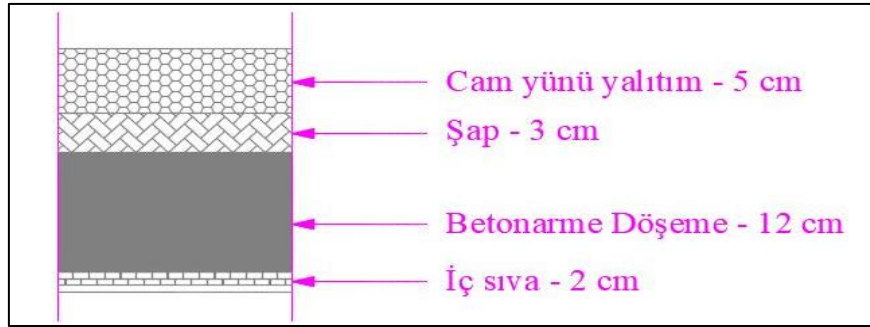
No.	MALZEME	d-kalınlık (m)	λ -ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)	d / λ - ısı direnç (m ² K/W)
	$R_i = 1/\alpha_i = 0,17$			0,170
1	Seramik	0,003	1,200	0,003
2	Şap	0,030	1,400	0,021
3	XPS yalıtım	0,040	0,030	1,333
4	Tesviye şapı	0,020	1,400	0,014
5	Hafif beton	0,100	1,100	0,091
	$R_e = 1/\alpha_d = 0$			0,000
	$R = d/\lambda$ (m ² K/W)			1,462
	$1/U = R_i + R + R_e$ (m ² K/W)			1,632
	U (W/m ² K)			0,613



Şekil 3.9. Arakat döşeme detayı (DÖ2)

Çizelge 3.8. Ara kat döşeme (DÖ2) ısıl geçirgenlik hesabı

No.	MALZEME	d-kalınlık (m)	λ -ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)	d / λ - ısı direnç (m ² K/W)
	$R_i = 1/\alpha_i = 0,17$			0,170
1	Laminant parke	0,010	0,230	0,043
2	Şap	0,030	1,400	0,021
4	Betonarme Döşeme	0,120	2,500	0,048
	$R_e = 1/\alpha_d = 0,17$			0,170
	$R = d/\lambda$ (m ² K/W)			0,113
	$1/U = R_i + R + R_e$ (m ² K/W)			0,453
	U (W/m ² K)			2,208



Şekil 3.10. Teras tavan çatı detayı (TA1)

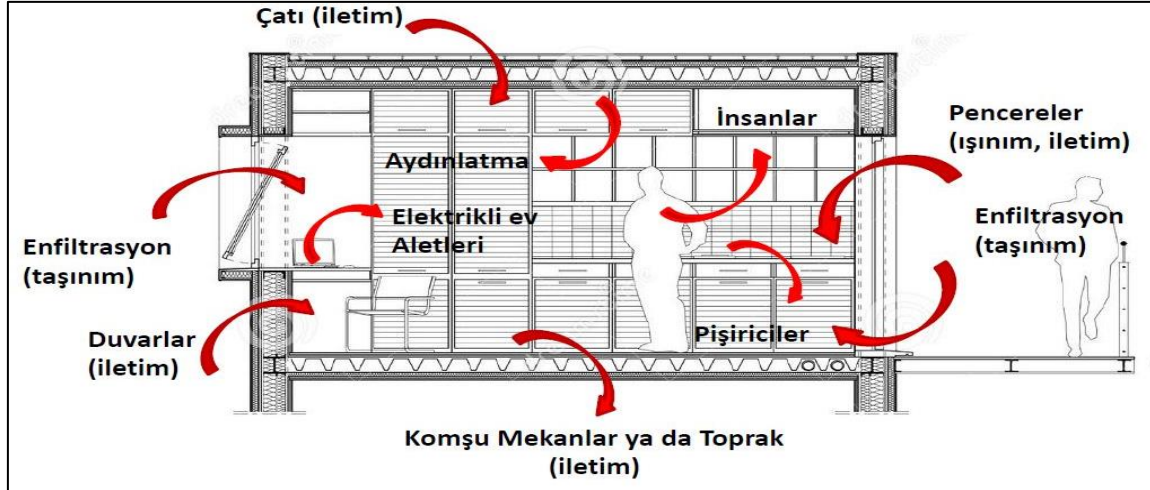
Çizelge 3.9. Teras tavan çatı (TA1) ısıl geçirgenlik hesabı

No.	MALZEME	d-kalınlık (m)	λ -ısı iletkenlik katsayısı (W/mK)	d / λ - ısı direnç (m ² K/W)
	$R_i = 1/\alpha_i = 0,13$			0,130
1	Cam yünü yalıtım	0,050	0,040	1,250
2	Şap	0,030	1,400	0,021
3	Betonarme Döşeme	0,120	2,500	0,048
4	iç sıva	0,020	1,000	0,020
	$R_e = 1/\alpha_d = 0,08$			0,080
	$R = d/\lambda$ (m ² K/W)			1,339
	$1/U = R_i + R + R_e$ (m ² K/W)			1,549
	U (W/m ² K)			0,645

Duvar bileşenlerine ait HAP programına girilen daha detaylı bilgiler Ek-3 de verilmiştir.

3.4.3. Mahallerden gelen ısı yükleri

Mahaller binanın hesap edilen en küçük alanıdır. Birkaç elementin birleşmesinden oluşur. Örneğin duvar, çatı, pencere, iç yükler, insan sayısı vb. kısımlardan gelen ısı yüklerinin toplanmasını sağlar. Her mahale ait detaylı bilgiler Ek-4 de verilmiştir.



Şekil 3.11. Isı kazanç noktalarının gösterimi

3.4.4. Binaya ait soğutma yük hesap özeti

Tüm bilgiler programa girildikten sonra her kata ait soğutma yükleri detaylı olarak hesaplanmıştır. Her katın detaylı hesapları Ek-5 de verilmiştir. Çizelge-3.10 da binanın toplam soğutma yük ihtiyacı yeralmaktadır.

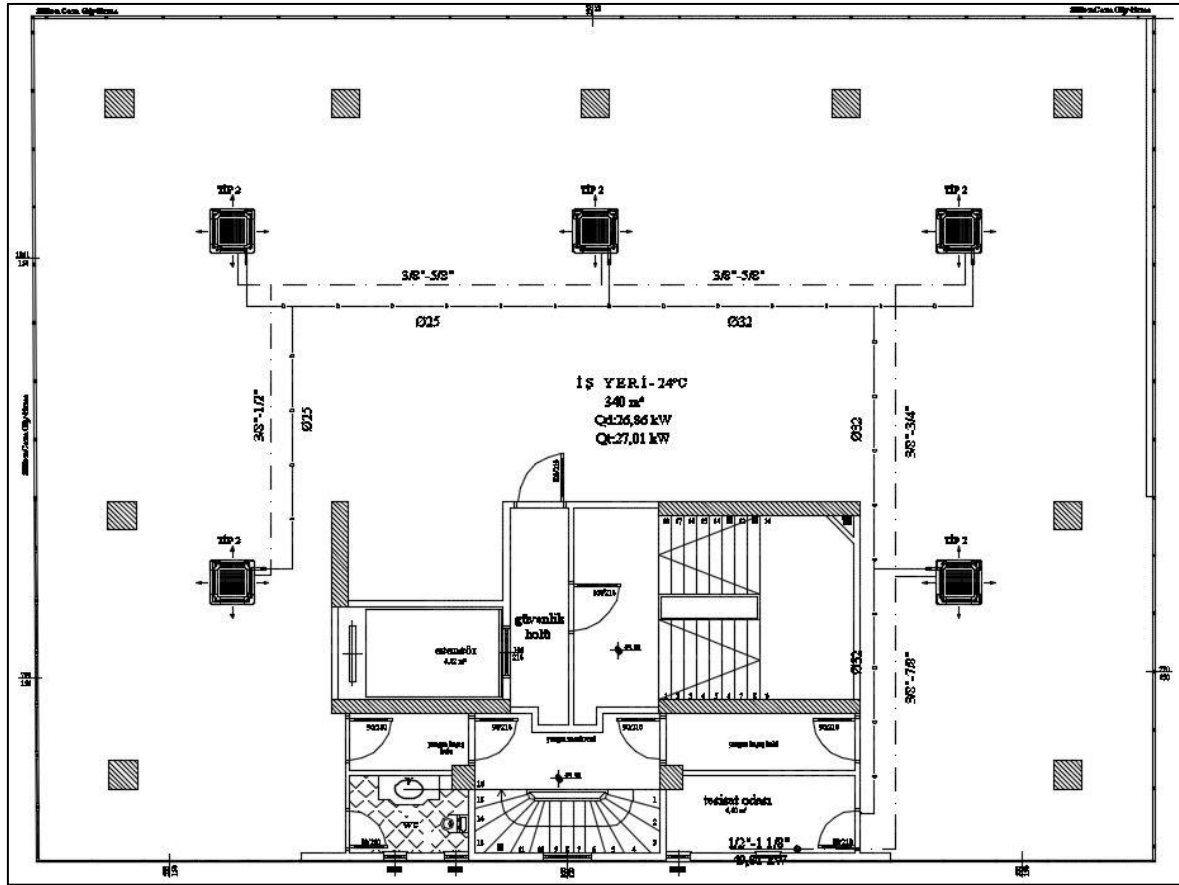
Çizelge 3.10. Binanın toplam soğutma yük ihtiyacı

	DESIGN COOLING		
	COOLING DATA AT Jul 1500		
	COOLING OA DB / WB 34,0 °C / 20,0 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	60 m ²	6609	-
Wall Transmission	557 m ²	1447	-
Roof Transmission	340 m ²	3105	-
Window Transmission	60 m ²	1316	-
Skylight Transmission	0 m ²	0	-
Door Loads	10 m ²	1352	-
Floor Transmission	960 m ²	6551	-
Partitions	315 m ²	2849	-
Ceiling	0 m ²	0	-
Overhead Lighting	19200 W	16488	-
Task Lighting	0 W	0	-
Electric Equipment	24000 W	22487	-
People	45	2329	2704
Infiltration	-	6507	-1933
Safety Factor	10% / 10%	7104	77
>> Total Zone Loads	-	78145	847
Zone Conditioning	-	78777	847
>> Total System Loads	-	78777	847
Terminal Unit Cooling	-	78777	905
Terminal Unit Heating	-	0	-
>> Total Conditioning	-	78777	905

3.5. Sistemlerin Tasarımının Yapılması ve Kriterlerin Hesapları

3.5.1. Merkezi VRF sisteminin tasarımı ve kriterlerin hesapları

Sistemin tasarımında işyeri ortamlarında daha çok tercih edilen dört yöne üflemlili kaset tip iç üniteler tercih edilmiştir. Cihaz tipleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca yayınlanan birim fiyat kitabındaki kapasiteler dikkate alınarak belirlenmiştir. Her kata cihazlar homojen dağıtılarak, drenaj hatları her katta yer alan en yakın ıslak zemine taşınmıştır. Her kata ait detaylı çizimler Ek-6 da yer almaktadır. Örnek olarak birinci kata ait tasarım Şekil-3.12 de verilmiştir.



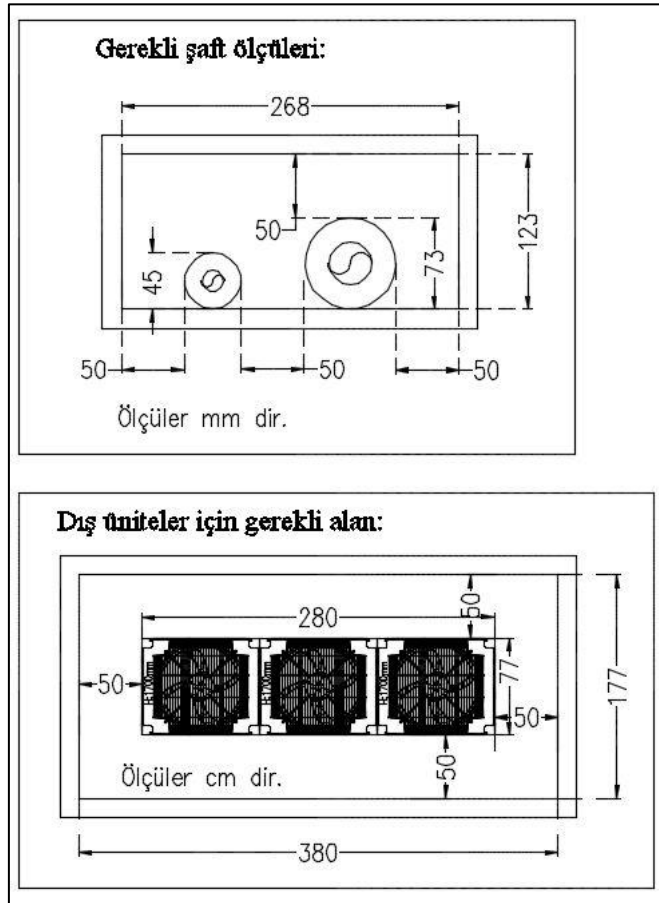
Şekil 3.12. Birinci kata ait VRF tasarımı

Sistemde yer alan cihazların özelliklerinin yer aldığı cihaz tablosu Çizelge-3.11 de verilmiştir. Cihaz tablosunda yer alan ses şiddetleri, elektrik tüketim güçleri vs. bilgiler firma kataloglarından temin edilmiş ortalama değerlerdir.

Çizelge 3.11. Merkezi VRF li sistem cihaz tablosu

Tipler	İç Ünite Soğutma Gücü ve Ses şiddeti	İç Ünite Debi ve Elek gücü	VRF Dış Ünite Elektrik Gücü ve Ses Seviyesi
TİP-1	4,56 kW – 33 db.	700 m³/h - 80 w	22.180 w - 63 dB
TİP-2	5,40 kW - 34 db.	1200 m³/h - 145 w	
TİP-3	6,20 kW - 37 db.	1200 m³/h - 145 w	
Kapasiteler Orta devirde iç ortam sıcaklığı Yazın 24°C KT, 18°C YT için hazırlanmıştır.			

Dış ünitelerin ölçüleri, cihazların bakımları ve verimli çalışması için gereken mesafelerde cihaz üreticilerin kataloglarından alınmıştır. Şaft ölçüleri birebir olarak hesaplanmıştır. Şekil-3.13 de kurulum ve şaft ölçülerini içeren çizimler yer almaktadır.



Şekil 3.13. VRF dış ünite kurulum alanı ve gerekli şaft ölçüleri

Yıllık bakım masrafı için piyasadan teklif alınmıştır. Alınan teklife göre sistemin yıllık bakımı için verilen fiyat 3.885,00 tl dir.

Sistem kullanım kolaylığı için anket yapılmıştır. Yapılan ankete göre diğer alternatifler ile kıyaslandığında en iyi değer olan 10 üzerinden 10 almıştır.

Sera gazı emisyon hesabı için Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Ek-6 da yer alan dönüşüm değerleri kullanılmıştır. Çizelge-3.12 de bu değerler gösterilmiş olup hesaplarımızda karışık elektrik sekmesinin karşılığı olan 0,617 kg eşd.CO2 /kWh değeri kullanılmıştır. Saatlik toplam elektrik tüketimimiz 24,03 kW olup buna karşılık gelen sera gazı emisyon değeri 14,83 kg eşd.CO2 bulunmuştur.



Çizelge 3.12. Birincil enerji ve sera gazları emisyonu dönüşüm katsayıları

	*Birincil Enerji Dönüşüm Katsayıları		SEG Dönüşüm Katsayısı [kg eşd.CO ₂ /kWh]
	Yenilenebilir olmayan kaynak	Toplam	
Fuel-Oil			0.330
Doğalgaz			0.234
Gaz (propan, bütan, metan, biyogaz)			0.277
Diğer fosil yakıtlar			0.320
Antrasit			0.394
Linyit			0.433
Kok			0.467
Talaş			0.004
Kütük, biokütle			0.014
Kayın kütüğü			0.013
Köknar kütüğü			0.020
Hidrolik enerji santralinden elektrik			0.007
Nükleer enerji santralinden elektrik			0.016
Kömür enerji santralinden elektrik			1.340
Doğalgaz enerji santralinden elektrik			0.819
Karışık elektrik			0.617
*Birinci enerji dönüşüm katsayıları; ilgili kurum ve kuruluşların belirlediği değerler esas alınacaktır.			

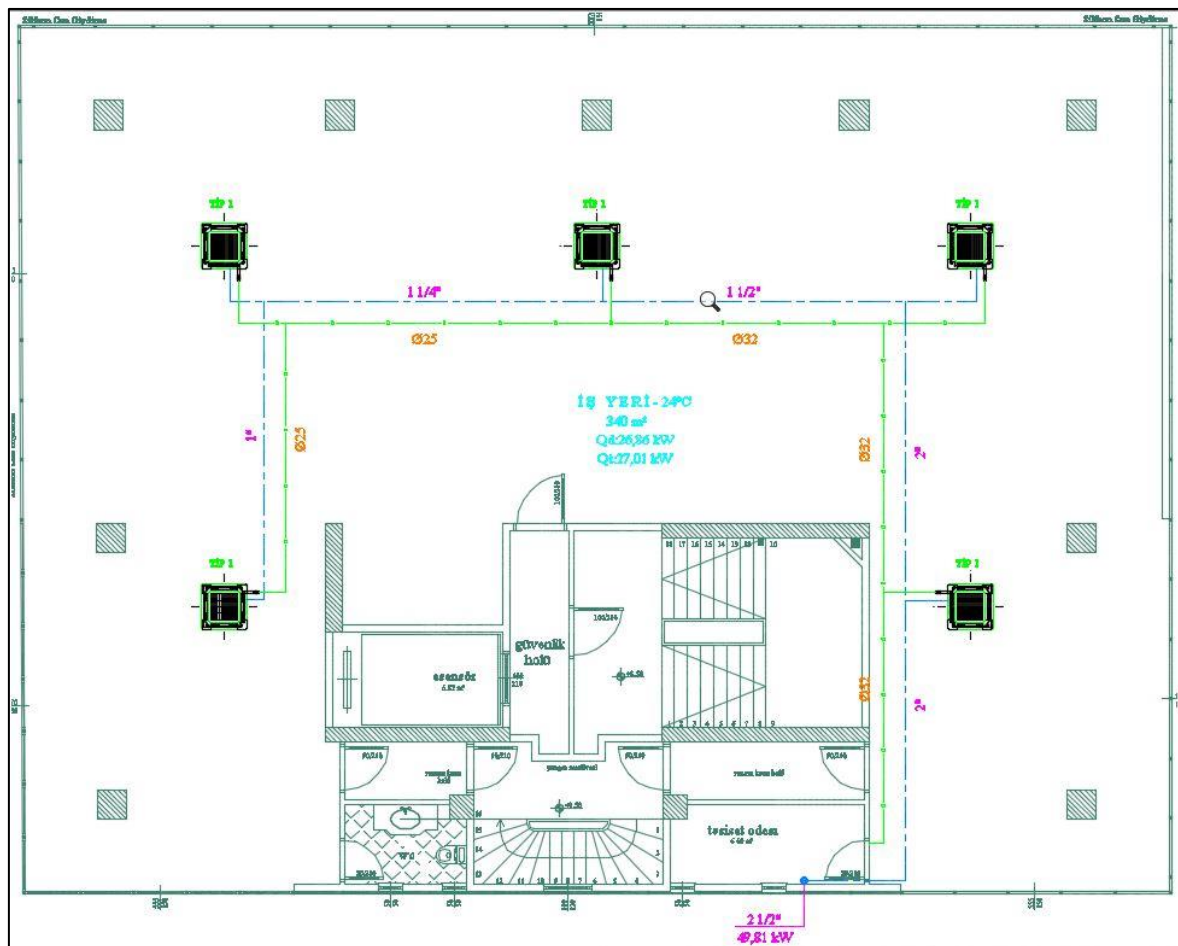
Sistemin kurulum maliyeti hesabı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca 2020 yılında yayınlanan birim fiyat kitabındaki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Çizelge-13 de ayrıntılı olarak maliyetler yer almaktadır.

Çizelge 3.13. Merkezi VRF li sistem kurulum maliyeti

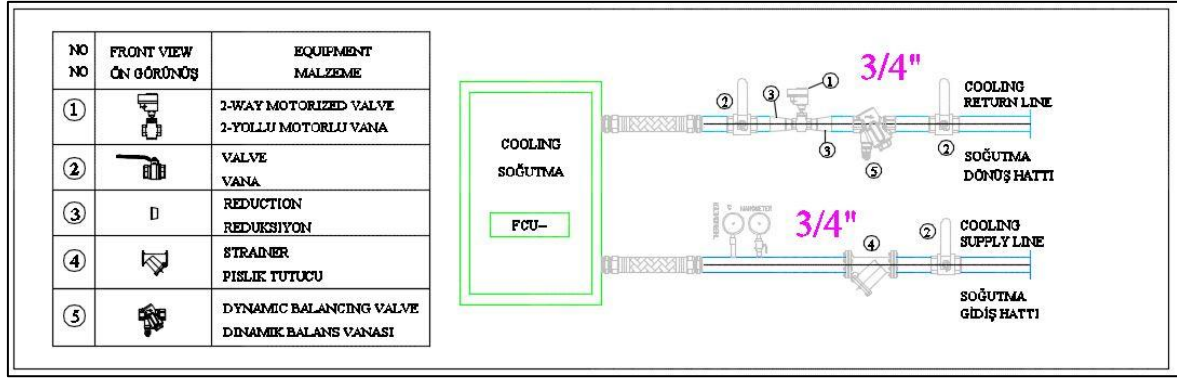
POZ NO	AÇIKLAMA	Birim	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
25.490.2204	Tip-1 iç ünite	ad	5	4.380,00 TL	21.900,00 TL
25.490.2205	Tip-2 iç ünite	ad	5	4.590,00 TL	22.950,00 TL
25.490.2205	Tip-3 iç ünite	ad	5	4.590,00 TL	22.950,00 TL
25.490.5101	Kablolu uzaktan kumanda cihazı	ad	15	518,00 TL	7.770,00 TL
254.902.307	VRF dış ünite	tk	1	84.520,00 TL	84.520,00 TL
25.490.8102	Bakır Boru Grubu 3/8 " 0,8 mm (13 mm İzo)	m	90	48,00 TL	4.320,00 TL
25.490.8103	Bakır Boru Grubu 1/2 " 0,8 mm (13 mm İzo)	m	12	62,00 TL	744,00 TL
25.490.8104	Bakır Boru Grubu 5/8 " 1,0 mm (13 mm İzo)	m	36	73,50 TL	2.646,00 TL
25.490.8105	Bakır Boru Grubu 3/4 " 1,0 mm (13 mm İzo)	m	30	98,00 TL	2.940,00 TL
25.490.8106	Bakır Boru Grubu 7/8 " 1,0 mm (13 mm İzo)	m	6	124,00 TL	744,00 TL
25.490.8108	Bakır Boru Grubu 1 1/8 " 1,2 mm (19 mm İzo)	m	6	170,00 TL	1.020,00 TL
25.490.8109	Bakır Boru Grubu 1 3/8 " 1,5 mm (19 mm İzo)	m	15	211,00 TL	3.165,00 TL
25.305.3102	Dranaj hattı : 3/4" 25/3,5	m	36	11,26 TL	405,36 TL
204.3103/A	Dranaj hattı : 1" 32/4,4	m	60	16,79 TL	1.007,40 TL
				TOPLAM	177.081,76 TL

3.5.2. Hava soğutmalı chiller-fancoil sisteminin tasarımı ve kriterlerin hesapları

Sistemin tasarımında işyeri ortamlarında daha çok tercih edilen dört yöne üflemleri kaset tip iç üniteler tercih edilmiştir. Cihaz tipleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca yayınlanan birim fiyat kitabındaki kapasiteler dikkate alınarak belirlenmiştir. Her kata cihazlar homojen dağıtılarak, drenaj hatları her katta yer alan en yakın ıslak zemine taşınmıştır. Her kata ait detaylı çizimler Ek-6 ile benzer olup çatı katı yerleşimi Ek-7 da yer almaktadır. Örnek olarak birinci kata ait tasarım Şekil-3.14 de verilmiştir. Fancoil cihazına ait bağlantı detayı Şekil-3.15 de verilmiştir.



Şekil 3.14. Birinci kata ait fancoil tasarımı



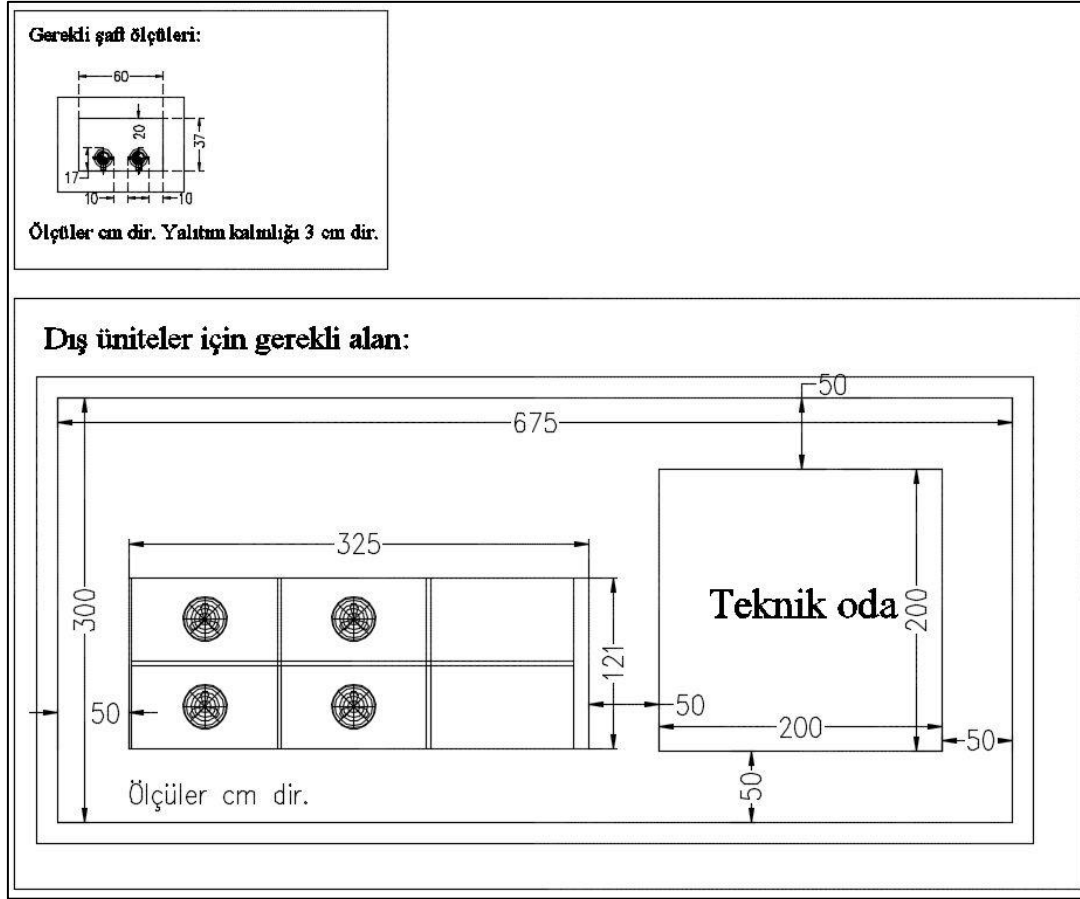
Şekil 3.15. Fancoil cihazı bağlantı detayı

Sistemde yer alan cihazların özelliklerinin yer aldığı cihaz tablosu Çizelge-3.14 de verilmiştir. Cihaz tablosunda yer alan ses şiddetleri, elektrik tüketim güçleri vs. bilgiler firma kataloglarından temin edilmiş ortalama değerlerdir.

Çizelge 3.14. Fancoil sistemi cihaz tablosu

Tipler	İç Ünite Soğutma Gücü ve Ses şiddeti	İç Ünite Debi ve Elek gücü	Pompa Gücü	Chiller Dış Ünite Elektrik Gücü ve Ses Seviyesi
TİP-1	4,56 kW – 48 db.	1140 m³/h -77 w	400 w	33.020 w - 75 dB
TİP-2	5,40 kW - 53 db.	1500 m³/h -120 w		
TİP-3	6,20 kW - 58 db.	1820 m³/h -170 w		
Kapasiteler Orta devirde iç ortam sıcaklığı Yazın 24°C KT, 18°C YT için hazırlanmıştır.				

Dış ünitelerin ölçüleri, cihazların bakımları ve verimli çalışması için gereken mesafelerde cihaz üreticilerin kataloglarından alınmıştır. Şaft ölçüleri birebir olarak hesaplanmıştır. Şekil-3.16 da kurulum ve şaft ölçülerini içeren çizimler yer almaktadır.



Şekil 3.16. Fancoil sistemi dış ünite kurulum alanı ve gerekli shaft ölçüleri

Yıllık bakım masrafı için piyasadan teklif alınmıştır. Alınan teklife göre sistemin yıllık bakımı için verilen fiyat 5.350,00 tl dir.

Sistem kullanım kolaylığı için anket yapılmıştır. Yapılan ankete göre diğer alternatifler ile kıyaslandığında en iyi değer olan 10 üzerinden 6 almıştır.

Sera gazı emisyon hesabı için Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Ek-6 da yer alan dönüşüm değerleri kullanılmıştır. Çizelge-3.12 de bu değerler gösterilmiş olup hesaplarımızda karışık elektrik sekmesinin karşılığı olan 0,617 kg eşd.CO2 /kWh değeri kullanılmıştır. Saatlik toplam elektrik tüketimimiz 35,26 kW olup buna karşılık gelen sera gazı emisyon değeri 21,76 kg eşd.CO2 bulunmuştur.

Sistemin kurulum maliyeti hesabı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca 2020 yılında yayınlanan birim fiyat kitabındaki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Çizelge-3.15 de ayrıntılı olarak maliyetler yer almaktadır.

Çizelge 3.15. Fancoil sistemi kurulum maliyeti

POZ NO	AÇIKLAMA	Birim	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
25.485.1301	Tip-1 iç ünite	ad	5	5.640,00 TL	28.200,00 TL
25.485.1302	Tip-2 iç ünite	ad	5	5.780,00 TL	28.900,00 TL
25.485.1303	Tip-3 iç ünite	ad	5	6.030,00 TL	30.150,00 TL
25.495.1109	Hava soğutmalı su soğutma grubu	tk	1	147.800,00 TL	147.800,00 TL
25.565.1202	İki yollu, PN 10, dişli bağlantılı kontrol vana-3/4"	ad	15	387,00 TL	5.805,00 TL
25.320.7302	Dinamik balans vanası-3/4"	ad	15	297,03 TL	4.455,45 TL
25.320.2102	Küresel vana-3/4"	ad	45	38,00 TL	1.710,00 TL
25.320.2103	Küresel vana-1"	ad	2	55,29 TL	110,58 TL
25.320.2204	Küresel vana-3"	ad	9	574,34 TL	5.169,06 TL
25.325.1102	Pislik tutucu-3/4"	ad	15	33,85 TL	507,75 TL
25.325.1208	Pislik tutucu-3"	ad	3	464,65 TL	1.393,95 TL
25.250.2304	Manometre-ø 100 mm. 10 atmosfer kadar bölüntülü	ad	4	52,44 TL	209,76 TL
25.250.2101	Termometre-ø 100 mm. 120 °C bölüntülü	ad	4	62,43 TL	249,72 TL
25.332.1305	Kauçuk titreşim yutucu-3"	ad	4	304,10 TL	1.216,40 TL
25.327.1103	Emniyet ventili-1"	ad	1	96,74 TL	96,74 TL
25.255.2009	Genleşme deposu-500 lt	ad	1	1.624,10 TL	1.624,10 TL
25.350.3008	Değişken debili sirkülasyon pompası- (12 - 20) m ³ /h e kadar	ad	2	8.718,81 TL	17.437,62 TL
25.325.2302	Geri tepme ventili-3"	ad	2	652,99 TL	1.305,98 TL
25.337.2203	Tortu ayırıcı-3"	ad	1	1.379,15 TL	1.379,15 TL
25.300.1102	Çelik boru-3/4"	m	30	16,50 TL	495,00 TL
25.300.1103	Çelik boru-1"	m	24	22,31 TL	535,44 TL
25.300.1104	Çelik boru-1 1/4"	m	36	30,74 TL	1.106,64 TL
25.300.1105	Çelik boru-1 1/2"	m	36	34,81 TL	1.253,16 TL
25.300.1106	Çelik boru-2"	m	96	43,44 TL	4.170,24 TL
25.300.1107	Çelik boru-2 1/2"	m	12	51,50 TL	618,00 TL
25.300.1108	Çelik boru-3"	m	20	62,56 TL	1.251,20 TL
25.300.2100	Bina içinde vidalı döşenmiş boru montaj malzemesi bedeli	%	30		2.828,90 TL
25.400.4507	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-3/4"	m	30	8,73 TL	261,90 TL
25.400.4511	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-1"	m	24	9,75 TL	234,00 TL
25.400.4516	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-1 1/4"	m	36	17,54 TL	631,44 TL
25.400.4520	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-1 1/2"	m	36	19,50 TL	702,00 TL
25.400.4524	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-2"	m	96	24,08 TL	2.311,68 TL
25.400.4528	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-2 1/2"	m	12	27,41 TL	328,92 TL
25.400.4532	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-3"	m	20	30,69 TL	613,80 TL
			TOPLAM		295.063,58 TL

Çizelge 3.16. Klima santrali-chiller sistemi cihaz tablosu

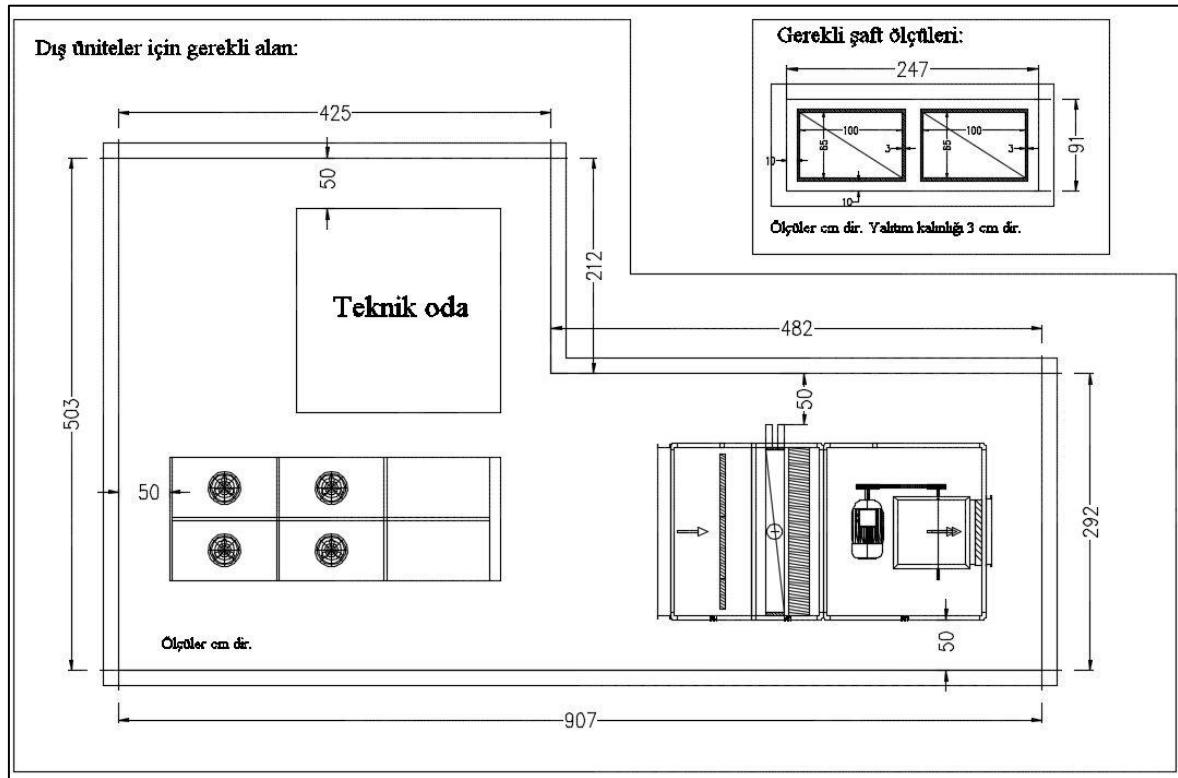
Tipler	İç Ünite Soğutma Gücü ve Ses Şiddeti	İç Ünite Debi ve Elek gücü	Pompa Gücü	Chiller Dış Ünite Elektrik Gücü ve Ses Seviyesi	Klima Santrali Dış Ünite Elektrik Gücü ve Ses Seviyesi
-	-	-	400 w	33.020 w – 75 dB	11.000 w - 70 dB
Kapasiteler Orta devirde iç ortam sıcaklığı Yazın 24°C KT, 18°C YT için hazırlanmıştır.					

Dış ünitelerdeki ses şiddeti Çizelge-3.16 da görüleceği üzere farklıdır. Gerçek ses şiddetini bulmak için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından çıkartılan “Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına İlişkin Uygulama Rehberi” kullanılacaktır [56]. Rehberde yer alan tablo Şekil-3.18 de gösterilmiş olup bu tabloya göre en yüksek ses seviyesine 1,2 db eklenmelidir. Nihai ses şiddetimizi 76,2 db olarak buluruz.

İki gürültü seviyesi arasındaki sayısal değer [dB(A)]	İki gürültü seviyesinden yüksek olana eklenecek değer [dB veya dB(A)]
0	3.0
1	2.5
2	2.1
3	1.8
4	1.5
5	1.2
6	1.0
7	0.8
8	0.6
9	0.5
10	0.4

Şekil 3.18. Ses basınç seviyelerinin toplama tablosu

Dış ünitelerin ölçüleri, cihazların bakımları ve verimli çalışması için gereken mesafelerde cihaz üreticilerin kataloglarından alınmıştır. Şaft ölçüleri birebir olarak hesaplanmıştır. Şekil-3.19 da kurulum ve şaft ölçülerini içeren çizimler yer almaktadır.



Şekil 3.19. Klima santrali-chiller sistemi dış ünite kurulum alanı ve gerekli shaft ölçüleri

Yıllık bakım masrafı için piyasadan teklif alınmıştır. Alınan teklife göre sistemin yıllık bakımı için verilen fiyat 3.850,00 tl dir.

Sistem kullanım kolaylığı için anket yapılmıştır. Yapılan ankete göre diğer alternatifler ile kıyaslandığında en iyi değer olan 10 üzerinden 7 almıştır.

Sera gazı emisyon hesabı için Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Ek-6 da yer alan dönüşüm değerleri kullanılmıştır. Çizelge-3.12 de bu değerler gösterilmiş olup hesaplarımızda karışık elektrik sekmesinin karşılığı olan 0,617 kg eşd.CO2 /kWh değeri kullanılmıştır. Saatlik toplam elektrik tüketimimiz 44,42 kW olup buna karşılık gelen sera gazı emisyon değeri 27,41 kg eşd.CO2 bulunmuştur.

Sistemin kurulum maliyeti hesabı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca 2020 yılında yayınlanan birim fiyat kitabındaki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Çizelge-3.17 de ayrıntılı olarak maliyetler yer almaktadır.

Çizelge 3.17. Klima santrali-chiller sistemi kurulum maliyeti

POZ NO	AÇIKLAMA	Birim	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
25.495.1109	Hava soğutmalı su soğutma grubu	tk	1	147.800,00 TL	147.800,00 TL
25.325.1208	Pislik tutucu-3"	ad	3	464,65 TL	1.393,95 TL
25.250.2304	Manometre-ø 100 mm. 10 atmosfer kadar bölüntülü	ad	4	52,44 TL	209,76 TL
25.250.2101	Termometre-ø 100 mm. 120 °C bölüntülü	ad	4	62,43 TL	249,72 TL
25.332.1305	Kauçuk titreşim yutucu-3"	ad	4	304,10 TL	1.216,40 TL
25.327.1103	Emniyet ventili-1"	ad	1	96,74 TL	96,74 TL
25.255.2009	Genleşme deposu-500 lt	ad	1	1.624,10 TL	1.624,10 TL
25.350.3008	Değişken debili sirkülasyon pompası- (12 - 20) m3/h e kadar	ad	2	8.718,81 TL	17.437,62 TL
25.325.2302	Geri tepme ventili-3"	ad	2	652,99 TL	1.305,98 TL
25.337.2203	Tortu ayırıcı-3"	ad	1	1.379,15 TL	1.379,15 TL
25.300.1108	Çelik boru-3"	m	20	62,56 TL	1.251,20 TL
25.400.4532	Alüminyum kompozit film kaplı polietilen esaslı prefabrik boru yalıtımı-3"	m	20	30,69 TL	613,80 TL
25.460.1201	Klima santrali hücresi 30 mm'ye kadar cam yünü veya taş yünü ile izolasyonlu hücre	m²	50	405,01 TL	20.250,50 TL
25.450.1212	Radyal vantilatör;25.000 m³/h e kadar, Toplam basıncı 450 paskala (50 mm SS'na) kadar,	ad	1	9.042,00 TL	9.042,00 TL
25.458.2112	Soğutucu serpantin.88 kw'a kadar	ad	1	6.300,00 TL	6.300,00 TL
25.475.4307	Düz kanatlı kare üfleme anemostadı	ad	27	564,00 TL	15.228,00 TL
25.475.1105	Toplayıcı menfez,2501-3600 cm2	m²	6,48	204,00 TL	1.321,92 TL
25.470.1101	Galvanizli hava kanalı,en geniş kenarı 600 mm,kalınlık 0,60 mm.	m²	594,8	204,00 TL	121.339,20 TL
25.480.1407	Bir yüzü alüminyum folyo kaplı taş yünü levha ile kanalın dıştan yalıtımı.3,0 cm kalınlıkta 70 kg/m³ yoğunlukta taş yünü levha	m²	594,8	27,70 TL	16.475,96 TL
25.470.5101	Flex,Alüminyumdan yarı esnek hava kanalları	m²	50,16	38,70 TL	1.941,19 TL
25.470.5204	Bükülebilir boru hava kanalı montaj malzemesi bedeli	%	35		679,42 TL
				TOPLAM	367.156,61 TL

3.5.4. VRF-klima santrali sistemi tasarımı ve kriterlerin hesapları

Sistemin tasarımında kare anemostatlar homojen olarak dağıtılarak soğuk hava ortama üflenmiş, kare menfez ile emişler gerçekleştirilmiştir. Cihaz tipleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca yayınlanan birim fiyat kitabındaki kapasiteler dikkate alınarak belirlenmiştir. Her kat için teknik sınırlar dahilinde kalınarak ortak bir tasarım yapılmıştır. Her kata ait detaylı çizimler Ek-8 ile aynı olup, çatı katına ait detay Ek-9 da yer almaktadır. Örnek kat çizimi Şekil-3.17 ile aynıdır.

Sistemde yer alan cihazların özelliklerinin yer aldığı cihaz tablosu Çizelge-3.18 de verilmiştir. Cihaz tablosunda yer alan ses şiddetleri, elektrik tüketim güçleri vs. bilgiler firma kataloglarından temin edilmiş ortalama değerlerdir.

Çizelge 3.18. Klima santrali-vrf sistemi cihaz tablosu

Tipler	İç Ünite Soğutma Gücü ve Ses şiddeti	İç Ünite Debi ve Elek gücü	Pompa Gücü	Chiller Dış Ünite Elektrik Gücü ve Ses Seviyesi	VRF Dış Ünite Elektrik Gücü ve Ses Seviyesi
-	-	-	-	11.000 w - 70 dB	22.180 w - 63 dB
Kapasiteler Orta devirde iç ortam sıcaklığı Yazın 24°C KT, 18°C YT için hazırlanmıştır.					

Dış ünitelerin ölçüleri, cihazların bakımları ve verimli çalışması için gereken mesafelerde cihaz üreticilerin kataloglarından alınmıştır. Şaft ölçüleri birebir olarak hesaplanmıştır. Şekil-3.20 de kurulum ve şaft ölçülerini içeren çizimler yer almaktadır.

Sistem kullanım kolaylığı için anket yapılmıştır. Yapılan ankete göre diğer alternatifler ile kıyaslandığında en iyi değer olan 10 üzerinden 8 almıştır.

Sera gazı emisyon hesabı için Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Ek-6 da yer alan dönüşüm değerleri kullanılmıştır. Çizelge-12 de bu değerler gösterilmiş olup hesaplarımızda karışık elektrik sekmesinin karşılığı olan 0,617 kg eşd.CO2 /kWh değeri kullanılmıştır. Saatlik toplam elektrik tüketimimiz 32,18 kW olup buna karşılık gelen sera gazı emisyon değeri 19,86 kg eşd.CO2 bulunmuştur.

Sistemin kurulum maliyeti hesabı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca 2020 yılında yayınlanan birim fiyat kitabındaki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Çizelge-3.19 da ayrıntılı olarak maliyetler yer almaktadır.

Çizelge 3.19. Klima santrali-VRF sistemi kurulum maliyeti

POZ NO	AÇIKLAMA	Birim	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
25.490.1112	VRF dış ünite,soğutma kapasitesi (nom):84 kW a kadar	tk	1	84.520,00 TL	84.520,00 TL
25.460.1201	Klima santrali hücresi 30 mm'ye kadar cam yünü veya taş yünü ile izolasyonlu hücre	m ²	50	405,01 TL	20.250,50 TL
25.450.1212	Radyal vantilatör;25.000 m ³ /h e kadar, Toplam basıncı 450 paskala (50 mm SS'na) kadar,	ad	1	9.042,00 TL	9.042,00 TL
25.458.2112	Soğutucu serpantin.88 kw'a kadar	ad	1	6.300,00 TL	6.300,00 TL
25.475.4307	Düz kanatlı kare üfleme anemostadı	ad	27	564,00 TL	15.228,00 TL
25.475.1105	Toplayıcı menfez,2501-3600 cm2	m ²	6,48	204,00 TL	1.321,92 TL
25.470.1101	Galvanizli hava kanalı,en geniş kenarı 600 mm,kalınlık 0,60 mm.	m ²	594,8	204,00 TL	121.339,20 TL
25.480.1407	Bir yüzü alüminyum folyo kaplı taş yünü levha ile kanalın dıştan yalıtımı.3,0 cm kalınlıkta 70 kg/m ³ yoğunlukta taş yünü levha	m ²	594,8	27,70 TL	16.475,96 TL
25.470.5101	Flex,Alüminyumdan yarı esnek hava kanalları	m ²	50,16	38,70 TL	1.941,19 TL
25.470.5204	Bükülebilir boru hava kanalı montaj malzemesi bedeli	%	35		679,42 TL
				TOPLAM	277.098,19 TL

3.5.5. Rooftop sistem tasarımı ve kriterlerin hesapları

Sistemin tasarımında kare anemostatlar homojen olarak dağıtılarak soğuk hava ortama üflenmiş, kare menfez ile emişler gerçekleştirilmiştir. Cihaz tipleri Çevre ve Şehircilik

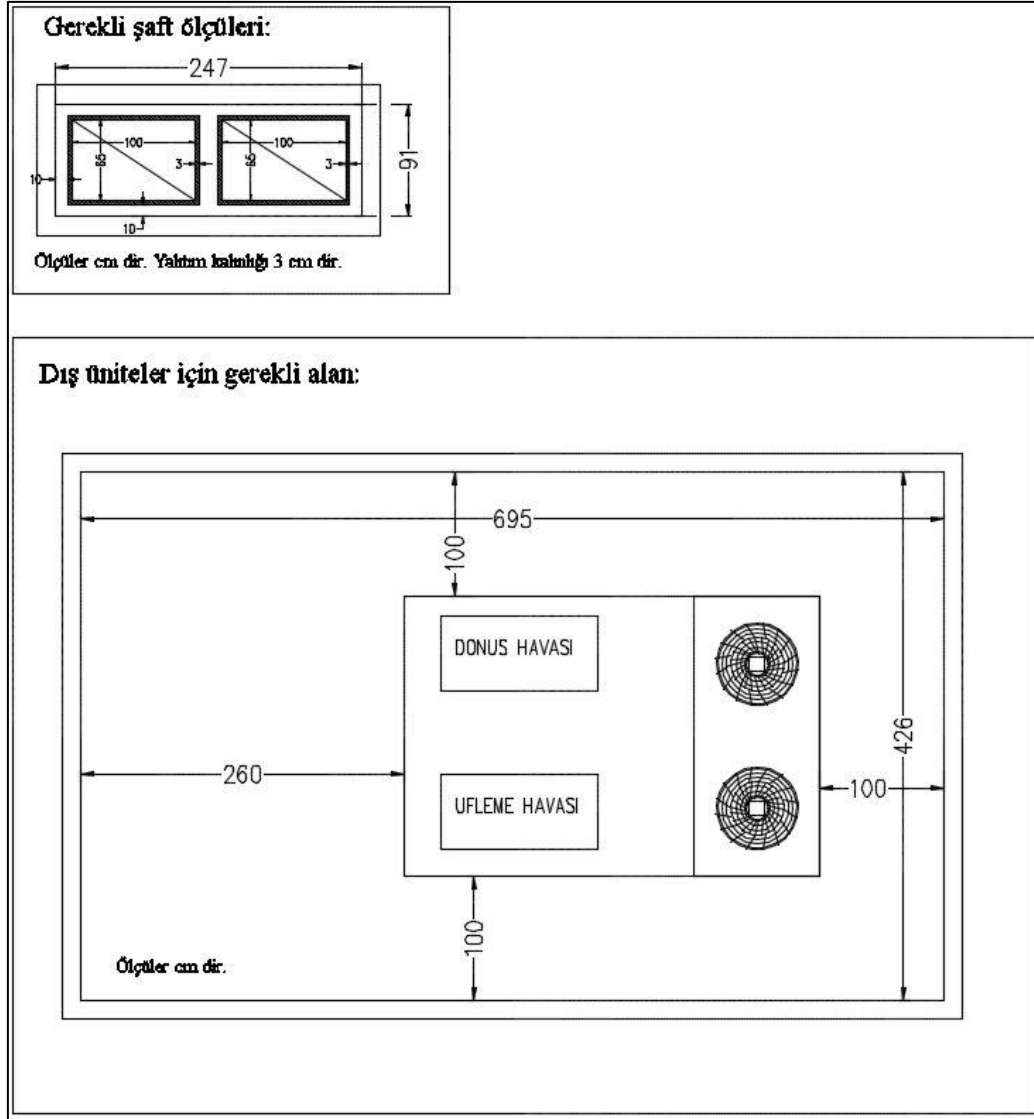
Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca yayınlanan birim fiyat kitabındaki kapasiteler dikkate alınarak belirlenmiştir. Her kat için teknik sınırlar dahilinde kalınarak ortak bir tasarım yapılmıştır. Her kata ait detaylı çizimler Ek-8 ile aynı olup, çatı katına ait detay Ek-10 da yer almaktadır. Örnek kat çizimi Şekil-3.17 ile aynıdır.

Sistemde yer alan cihazların özelliklerinin yer aldığı cihaz tablosu Çizelge-3.20 de verilmiştir. Cihaz tablosunda yer alan ses şiddetleri, elektrik tüketim güçleri vs. bilgiler firma kataloglarından temin edilmiş ortalama değerlerdir.

Çizelge 3.20. Rooftop sistemi cihaz tablosu

Tipler	İç Ünite Soğutma Gücü ve Ses şiddeti	İç Ünite Debi ve Elek gücü	Pompa Gücü	Roff-Top Dış Ünite Elektrik Gücü ve Ses Seviyesi
-	-	-	-	28.200 w - 79 dB
Kapasiteler Orta devirde iç ortam sıcaklığı Yazın 24°C KT, 18°C YT için hazırlanmıştır.				

Dış ünitelerin ölçüleri, cihazların bakımları ve verimli çalışması için gereken mesafelerde cihaz üreticilerin kataloglarından alınmıştır. Şaft ölçüleri birebir olarak hesaplanmıştır. Şeki-3.21 de kurulum ve şaft ölçülerini içeren çizimler yer almaktadır.



Şekil 3.21. Rooftop sistemi dış ünite kurulum alanı ve gerekli şaft ölçüleri

Yıllık bakım masrafı için piyasadan teklif alınmıştır. Alınan teklife göre sistemin yıllık bakımı için verilen fiyat 880,00 tl dir.

Sistem kullanım kolaylığı için anket yapılmıştır. Yapılan ankete göre diğer alternatifler ile kıyaslandığında en iyi değer olan 10 üzerinden 10 almıştır.

Sera gazı emisyon hesabı için Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Ek-6 da yer alan dönüşüm değerleri kullanılmıştır. Çizelge-3.12 de bu değerler gösterilmiş olup hesaplarımızda karışık elektrik sekmesinin karşılığı olan 0,617 kg eşd.CO₂ /kWh değeri kullanılmıştır. Saatlik toplam elektrik tüketimimiz 28,20 kW olup buna karşılık gelen sera gazı emisyon değeri 17,40 kg eşd.CO₂ bulunmuştur.

Sistemin kurulum maliyeti hesabı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığınca 2020 yılında yayınlanan birim fiyat kitabındaki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Çizelge 3.21 de ayrıntılı olarak maliyetler yer almaktadır.

Çizelge 3.21. Rooftop sistemi kurulum maliyeti

POZ NO	AÇIKLAMA	Birim	Adet	Birim Fiyat	Toplam Fiyat
Özel Poz	Rooftop.Soğutma Gücü:85 kw a kadar	tk	1	169.172,25 TL	169.172,25 TL
25.475.4307	Düz kanatlı kare üfleme anemostadı	ad	27	564,00 TL	15.228,00 TL
25.475.1105	Toplayıcı menfez,2501-3600 cm2	m ²	6,48	204,00 TL	1.321,92 TL
25.470.1101	Galvanizli hava kanalı,en geniş kenarı 600 mm,kalınlık 0,60 mm.	m ²	594,8	204,00 TL	121.339,20 TL
25.480.1407	Bir yüzü alüminyum folyo kaplı taş yünü levha ile kanalın dıştan yalıtımı.3,0 cm kalınlıkta 70 kg/m ³ yoğunlukta taş yünü levha	m ²	594,8	27,70 TL	16.475,96 TL
25.470.5101	Flex,Alüminyumdan yarı esnek hava kanalları	m ²	50,16	38,70 TL	1.941,19 TL
25.470.5204	Bükülebilir boru hava kanalı montaj malzemesi bedeli	%	35		679,42 TL
				TOPLAM	326.157,94 TL

3.6. Alternatif Sistemlerin Kriterlere Göre Değerlendirilmesi

Tüm alternatif sistmlerin kriterlere göre değerlendirildiğinde meydana gelen değişimi daha net algılaya bilmek için, kriterler bazında alternatiflere ait tablolar hazırlanmıştır. Alternatif sistemlerin isimleri aşağıda gösterilen sayılar ile tablolarda gösterilecektir

1 numara- Merkezi vrf li sistem

2 numara- Hava soğutmalı chiller destekli fancoil sistemi

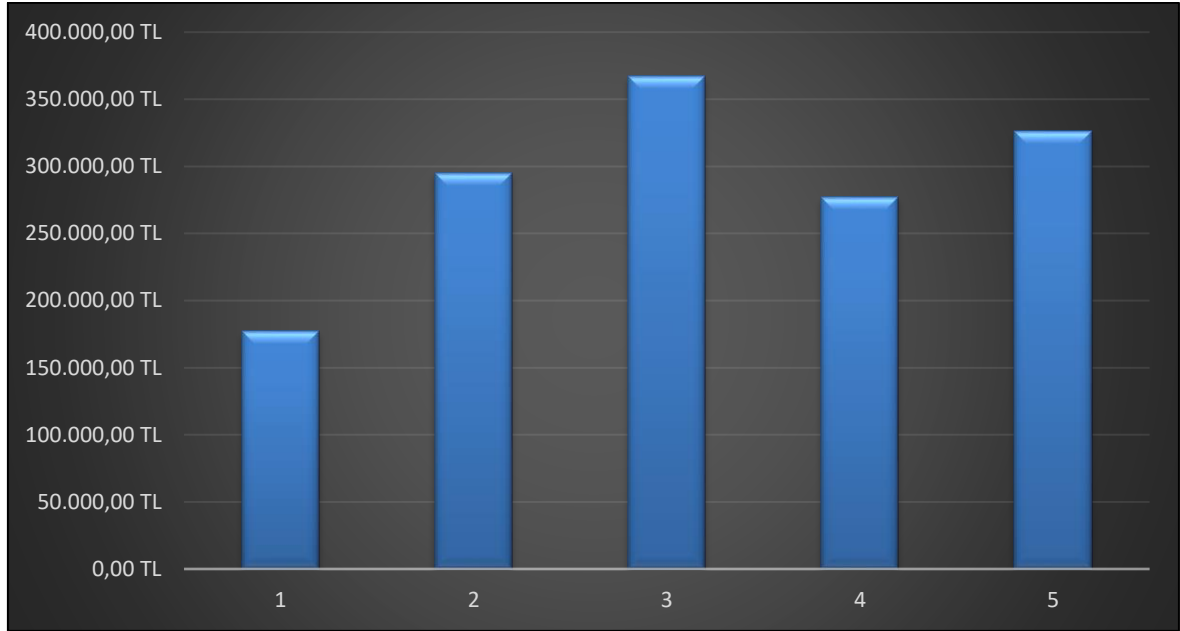
3 numara- Hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi

4 numara- VRF soğutma destekli klima santrali sistemi Kurulum Maliyeti

5 numara- Rooftop sistemi

3.6.1. Kurulum maliyeti özeti

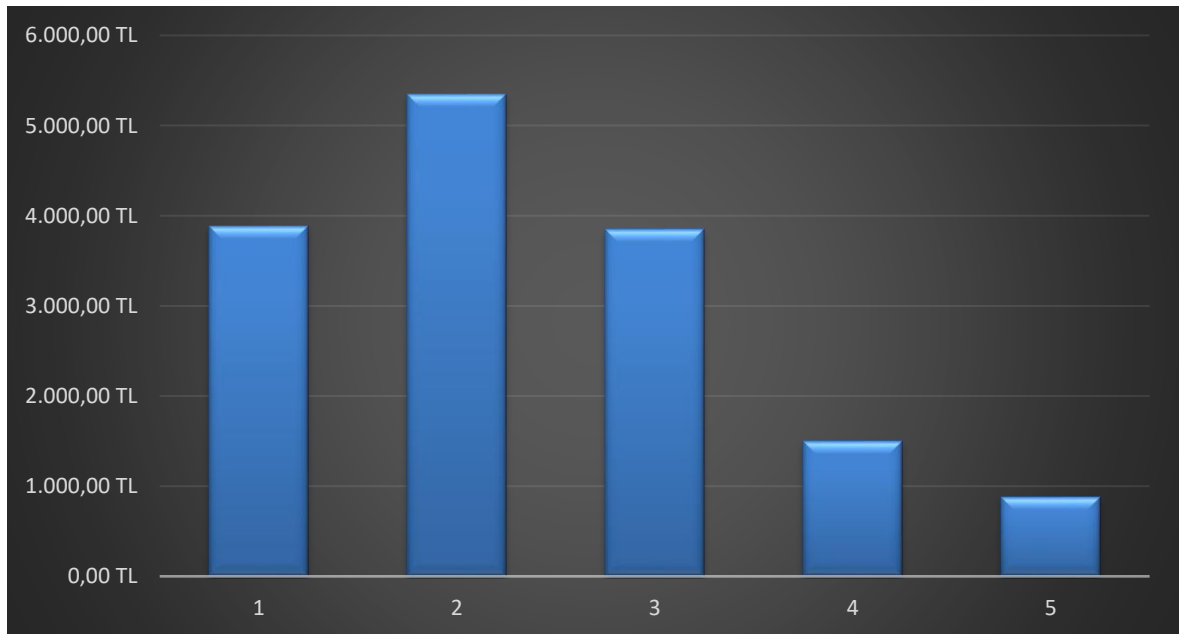
Alternatif sistemlerin kurulum maliyetine ait özet tablo Şekil-3.22 de verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere VRF en uygun sistem çıkmaktadır.



Şekil 3.22. Alternatif sistemlerin kurulum maliyeti özet tablosu

3.6.2. Yıllık bakım masrafı özeti

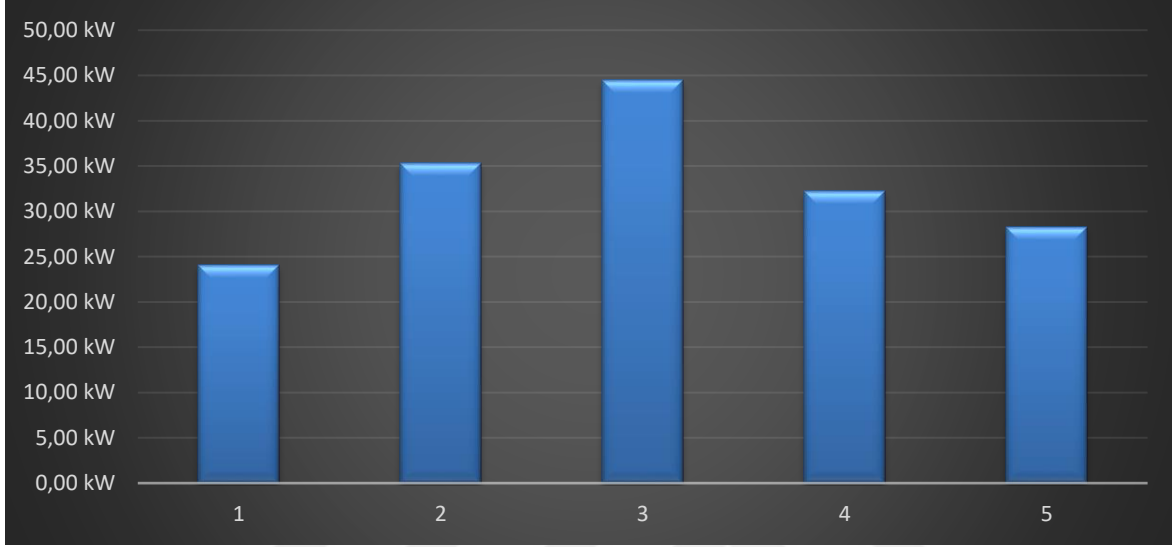
Alternatif sistemlerin yıllık bakım masrafına ait özet tablo Şekil-3.23 de verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere rooftop en uygun sistem çıkmaktadır.



Şekil 3.23. Alternatif sistemlerin yıllık bakım masrafı özet tablosu

3.6.3. Toplam enerji tüketimi özeti

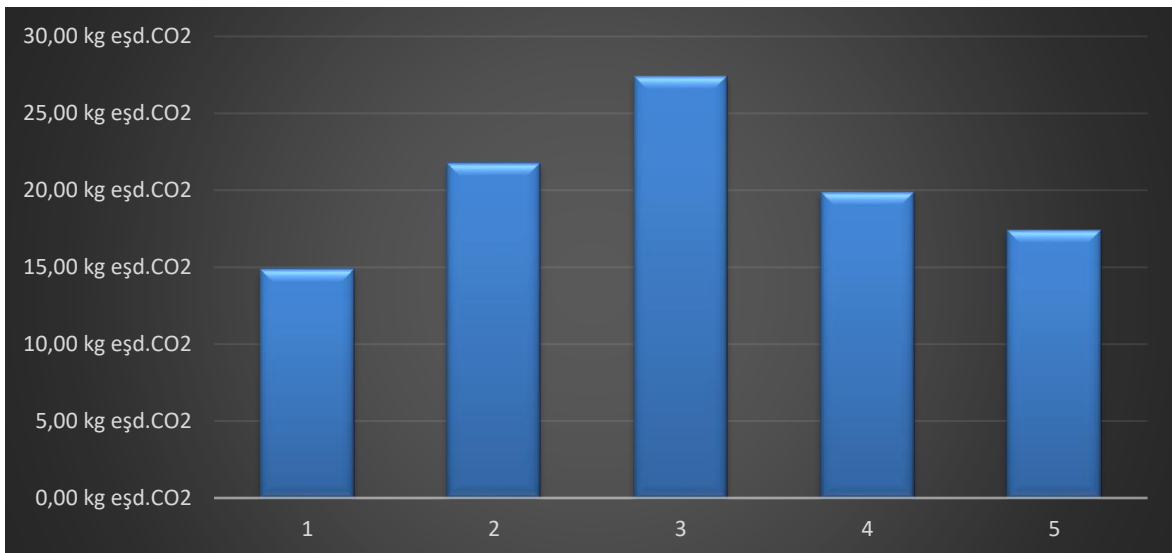
Alternatif sistemlerin toplam enerji tüketimine ait özet tablo Şekil-3.24 de verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere VRF en uygun sistem çıkmaktadır.



Şekil 3.24. Alternatif sistemlerin toplam enerji tüketimi özet tablosu

3.6.4. Toplam sera gazı emisyonu özeti

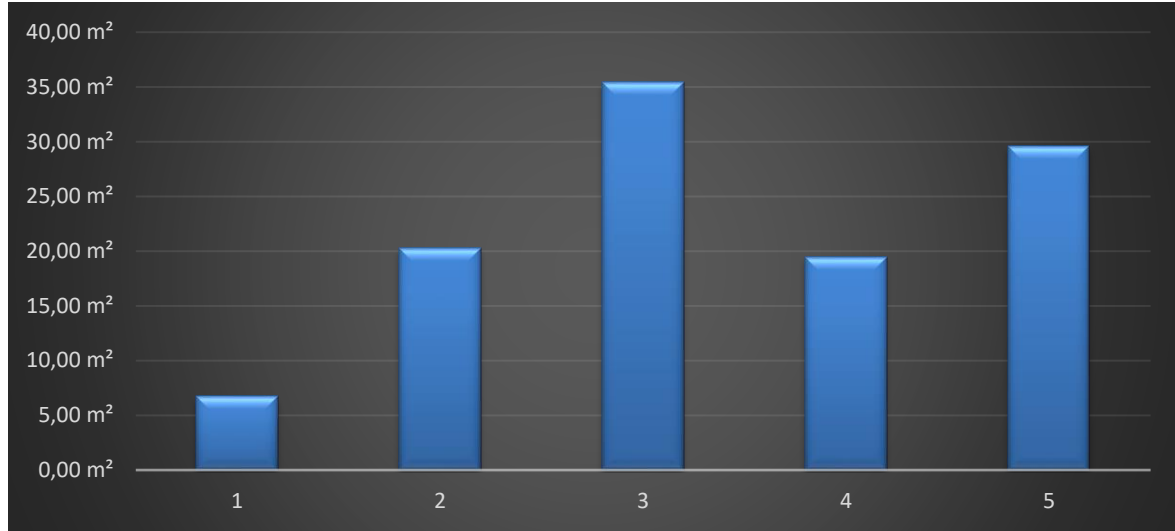
Alternatif sistemlerin toplam sera gazı emisyonuna ait özet tablo Şekil-3.25 de verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere VRF en uygun sistem çıkmaktadır.



Şekil 3. 25. Alternatif sistemlerin toplam sera gazı emisyonu özet tablosu

3.6.5. Toplam dış ünite için kurulum alanı özeti

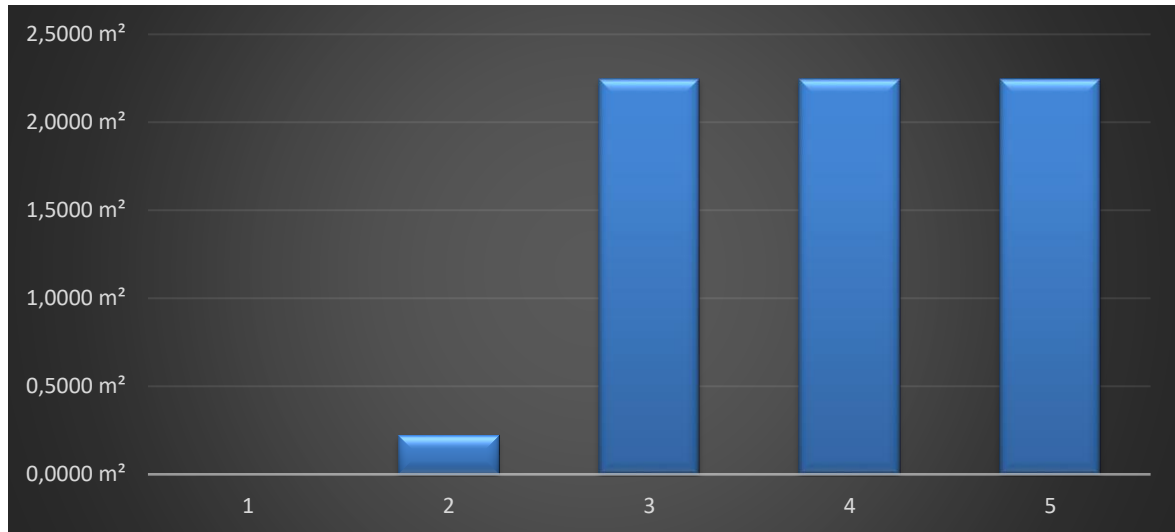
Alternatif sistemlerin toplam dış ünite için kurulum alanına ait özet tablo Şekil-3.26 da verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere VRF en uygun sistem çıkmaktadır.



Şekil 3.26. Alternatif sistemlerin toplam dış ünite için kurulum alanı özet tablosu

3.6.6. Toplam gerekli şaft alanı özeti

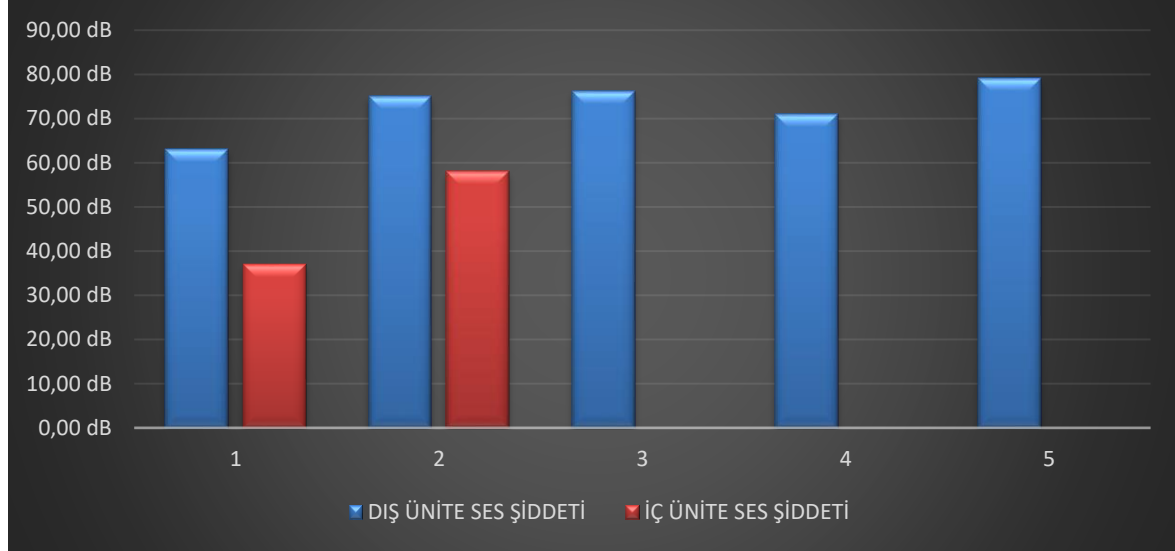
Alternatif sistemlerin toplam gerekli şaft alanına ait özet tablo Şekil-3.27 de verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere VRF en uygun sistem çıkmaktadır.



Şekil 3.27. Alternatif sistemlerin gerekli şaft alanı özet tablosu

3.6.7. Toplam dış-iç ünite ses şiddeti özeti

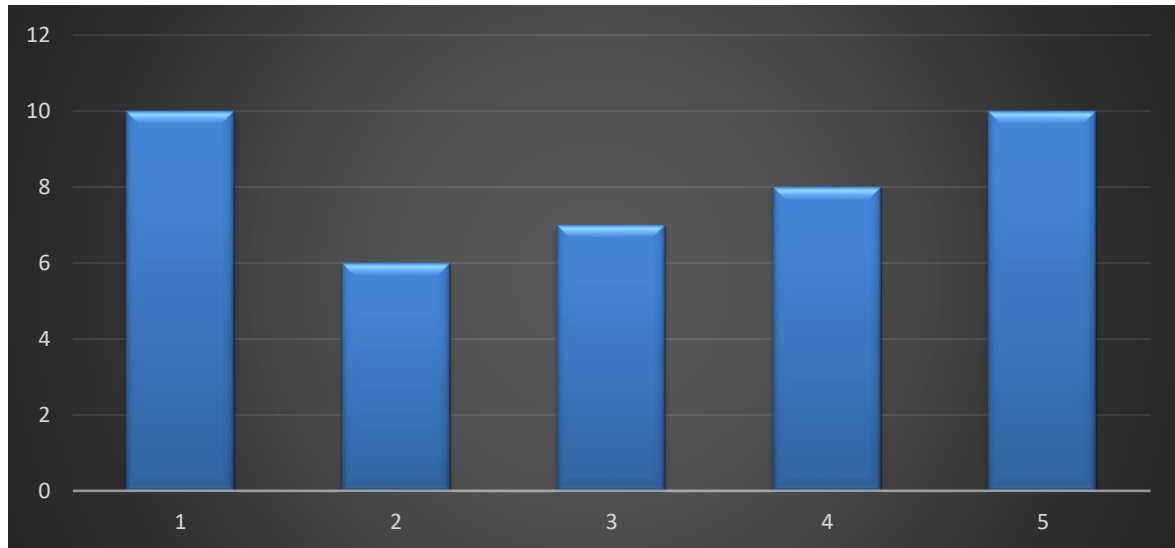
Alternatif sistemlerin toplam dış-iç ünite ses şiddeti özet tablosu Şekil-3.28 de verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere en uygun sistem VRF li klima santrali sistemi çıkmaktadır.



Şekil 3.28. Alternatif sistemlerin dış-iç ünite ses şiddeti özet tablosu

3.6.8. Toplam kullanım kolaylığı özeti

Alternatif sistemlerin toplam kullanım kolaylığı özet tablosu Şekil-3.29 da verilmiştir. Tabloda görüleceği üzere VRF ve Rooftop en uygun sistem çıkmaktadır.



Şekil 3.29. Alternatif sistemlerin kullanım kolaylığı özet tablosu

3.6.9. Alternatif sistemlerin ve kriterlerin genel özeti

Alternatif sistemler ve kriterlerin ortak yer aldığı değerlendirme tablosu Çizelge 3.22 de verilmiştir.

Çizelge 3.22. Alternatif sistemler ve kriterlerin özet tablosu

SİSTEM TİPLERİ	KURULUM MALİYETİ	YILLIK BAKIM MASRAFI	TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ	SERA GAZI EMİSYONU	DIŞ ÜNİTE İÇİN KURULUM ALANI	GEREKLİ ŞAFT ALANI	DIŞ ÜNİTE SES ŞİDDETİ	İÇ ÜNİTE SES ŞİDDETİ	KULLANIM KOLAYLIĞI
1	177.081,76 TL	3.885,00 TL	24,03 kW	14,83 kg eşd.CO2	6,71 m ²	0,0030 m ²	63,00 dB	37,00 dB	10
2	295.063,58 TL	5.350,00 TL	35,26 kW	21,76 kg eşd.CO2	20,25 m ²	0,2191 m ²	75,00 dB	58,00 dB	6
3	367.156,61 TL	3.850,00 TL	44,42 kW	27,41 kg eşd.CO2	35,44 m ²	2,2477 m ²	76,20 dB	0,00 dB	7
4	277.098,19 TL	1.500,00 TL	32,18 kW	19,86 kg eşd.CO2	19,46 m ²	2,2477 m ²	70,90 dB	0,00 dB	8
5	326.157,94 TL	880,00 TL	28,20 kW	17,40 kg eşd.CO2	29,60 m ²	2,2477 m ²	79,00 dB	0,00 dB	10

3.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Tablolarda da görüleceği üzere, enerji verimliliğinden ilk kurulum maliyetine kadar kıyaslandığında VRF en iyi sistem olarak çıkmaktadır.

Soğutma sistemi kurulumunda eğer iç ortamda ses çok önemli değilse ilk tercih edilmesi gereken VRF sistemi olduğu ortaya çıkmaktadır. Eğer ortamda ses önemli bir kriter ise VRF li klima santrali veya rooftop sistemi seçilmesi uygundur. Bu üç sisteminde diğer bir avantajı ise, kışın hava şartları çok soğuk olmadığı müddetçe ısıtma için veya ısıtma sistemini takviye etmek için kullanılabilir. Yazdan kışa, kıştan yaza geçiş dönemlerinde de bu üç sistem yaz veya kış modunda kullanılarak büyük konfor sağlamaktadır.

4. KRİTERLERİN ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ İLE AĞIRLIKLANDIRILMASI VE SİSTEMLERİN VİKOR-TOPSIS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yaşamın her alanında ve her aşamasında karşılaşılan karar verme durumu ya bir fırsatı değerlendirme ya da karşılaşılan bir sorunu ortadan kaldırma ya da süregelen bir durumu iyileştirme ihtiyacı ile ortaya çıkar. Ulaşılmak istenen bir ya da daha fazla amacın varlığı, amaca ulaşmak için uygulanabilecek birden fazla hareket biçiminin diğer bir ifade ile birden fazla seçeneğin bulunması, bu seçeneklerin uygulanması ile elde edilecek sonuçların birbirinden farklı olması ve en önemlisi hangi seçeneğin seçilmesi gerektiği konusunda şüphenin olması karar verme durumunu, çözülmesi gereken bir problem olarak ele almaya neden olur. Bu nedenle, işletmelerde sağlıklı karar verilmesi ile ilgilenen karar analizi ya da karar kuramı literatüründe, karar vermeyi gerektiren durum karar problemi olarak ifade edilir [16].

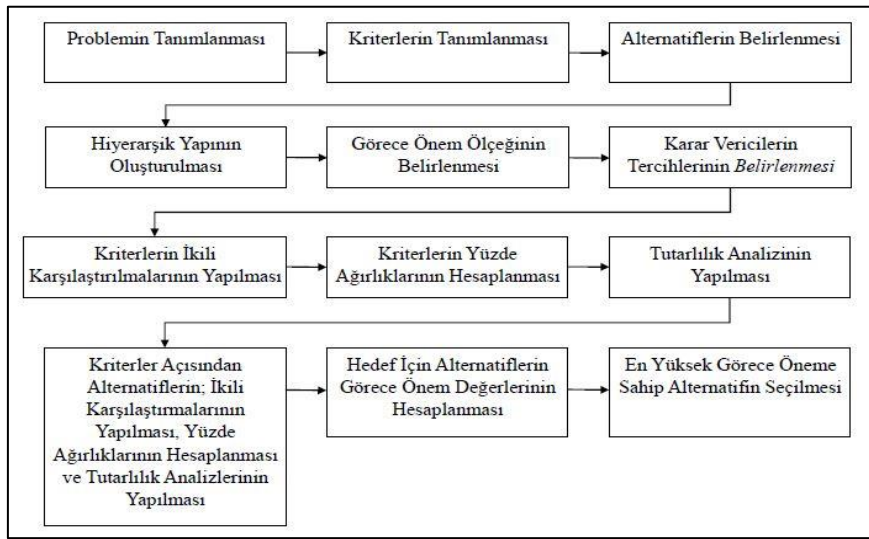
Temelde Çok Kriterli karar verme problemleri üç temel başlık altında incelenebilir. Bu problemler seçim, sınıflama ve sıralamadır [57]. Burada AHP'den yararlanılmasının temel sebebi, AHP'nin 3 temel başlıkta da kullanılabilir olmasıdır. Analitik hiyerarşi süreci, problemin çözümünde nitel ve nicel kriterleri birlikte ele alabilen bir tekniktir. Tekniğin sağladığı bu avantaj kullanım yaygınlığını arttırmıştır. Bu teknik ile kriterlerin ağırlıkları tespit edilerek alternatiflerin değerlendirilmesi hem VIKOR hem TOPSIS yöntemi ile ayrı ayrı hesaplanarak sistem seçimimizin bir nevi sağlamasını yapmış olacağız.

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Ağırlıklandırma (AHP/AHS)

Analitik Hiyerarşi Prosesi, 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty, tarafından geliştirilmiş ve günümüzde karmaşık karar problemlerinin çözümü için yaygın bir şekilde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir [58]. Kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir olması sebebiyle özellikle hiyerarşik bir sıralama gerektiği durumlarda kullanılır. Türkçe olan kaynaklarda, tekniğin adının Türkçe "Analitik Hiyerarşi Süreci" şeklindeki çevirisinden kısaltılarak AHS de denilmektedir.

Analitik Hiyerarşi Sürecinde tüm kriterler ile ilgili göreceli önem dereceleri belirlenmesinde karar vericinin değerlendirmeleri esas alınır. Bu değerlendirmeyi yapmak için Saaty 1-9 ölçekli bir anket oluşturmuştur. Her kriterin bir diğeri ile olan derece ilişkisi bu ölçekte ankette puanlandırılır. Anket sonuçları ise matrislerde incelenerek kriterlerin önem sırası belirlenir [17].

AHS ile amaç kriterlerin ve varsa alt kriterlerin önem derecelerini belirleyerek çok boyutlu problemin tek boyuta indirilmesini sağlamaktır. Olası birçok sonuç içinde en iyi olanın elde edilebilmesi için kararlar sıralamayı oluşturan öncelik vektörleri ile saptanmaktadır. İşletmelerde bir karar alınırken katkı sağlayacak birçok karar verici (yöneticiler, mühendisler, finans uzmanları, pazarlama uzmanları vb.) bulunabilmektedir. AHS ile farklı tecrübe, bilgi ve eğitim sahibi bireylerin (grupların) kararları birleştirilerek tek bir sonuca ulaşılabilir [59]. AHS ortak bir yargı oluşturmada etkili bir yöntemdir. Şekil4.11 de örnek bir AHP akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 4.1. AHP Akış diyagramı

Karmaşık birimlerin hiyerarşik yapısını oluşturması, çok sayıda kriterin ikili karşılaştırma yoluyla incelemesi ve bir ağırlık katsayısı oluşturması açısından Analitik Hiyerarşi Süreci güçlü bir tekniktir. Özellikle kullanımı kolaylaştıran paket programların çıkması piyasada kullanılabilirliğini arttırmıştır. Bu çalışmada ise MS Excel programı kullanılarak sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

AHS Tekniğinin karar problemi çözüm adımları şu şekilde sıralanabilir [60, 61].

1. Karar verme probleminin tanımlanması, amacın belirlenmesi,
2. Amacı gerçekleştirmek için gerekli karar kriterlerinin listelenmesi,
3. Muhtemel karar alternatiflerinin belirlenmesi,
4. Karar problemin hiyerarşik yapısının oluşturulması,
5. Hiyerarşinin her seviyesi için kriterlerin karşılaştırılması - derecelerinin belirlenmesi

6. Kriterlere göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve önceliklerinin hesaplanması,
7. Uyum oranının hesaplanması,
8. Göreceli öncelik değerlerine göre alternatiflerin sıralanması ve en yüksek öncelik değerine sahip alternatifin seçilmesi,

Duyarlılık-Tutarlılık analizinin yapılması.

4.1.1. Analitik hiyerarşi prosesi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Çalışmada bu noktaya kadar ilk 4 adım geçilmiştir. Sıradaki adım için Analitik Hiyerarşi Sürecinde kullanılan 1-9 ölçeğinin tanımı Çizelge-4.1 de verilmiştir. Bu değerlendirme ölçeği ikili karşılaştırmalarda kullanılırken en düşük değer olarak 1/9'u, en yüksek değer olarak ise 9'u vermektedir [62].

Çizelge 4.1. Saaty'nin 1-9 ölçeğinin önem dereceleri

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör aynı öneme sahiptir
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve yargılara göre bir faktör diğerine göre biraz daha öneme sahiptir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir.
2,4,6,8	Ara Değerleri Temsil Etmektedir	İki faktör arasındaki tercihte yukarıdaki açıklamalarda bulunan derecelerin ara değerleridir.

Kriterle bu ölçek kullanılarak yorumlayabilmek için oluşturulan MS Excel tablosu ve verilen puanlamalar Çizelge-4.2 de gösterilmiştir. İkili karşılaştırma, matrisler yardımıyla yapılır ve seçeneklerin öncelik sıralamasının belirlenmesi amacıyla kullanılır. Karşılaştırmalar hiyerarşik yapıya göre yukarıdan aşağıya doğru gerçekleştirilir. Tekniğin ikinci adımı ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. Kriterler arası ikili dereceler seçilirken, mekanik tesisat alanında çalışmış ve halen çalışmakta olan kişilerle istişare edilmiştir. Çalışmada yüksek derecede önem verilen iki kriter ön planda tutulmaya çalışılmıştır. Kriterlerin harflendirilmesi Çizelge-4.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kriterlerin saaty ölçeğinde ikili derecelendirilmeleri

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Bakım Masrafı
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Enerji Tüketimi
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Sera Gazı Emisyonu
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Gerekli Şaft Alanı
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite Ses Şiddeti
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	İç Ünite Ses Şiddeti
Kurulum Maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı
Bakım Masrafı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Enerji Tüketimi
Bakım Masrafı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Sera Gazı Emisyonu
Bakım Masrafı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı
Bakım Masrafı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Gerekli Şaft Alanı
Bakım Masrafı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite Ses Şiddeti
Bakım Masrafı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	İç Ünite Ses Şiddeti
Bakım Masrafı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı
Enerji Tüketimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Sera Gazı Emisyonu
Enerji Tüketimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı
Enerji Tüketimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Gerekli Şaft Alanı
Enerji Tüketimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite Ses Şiddeti
Enerji Tüketimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	İç Ünite Ses Şiddeti
Enerji Tüketimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı
Sera Gazı Emisyonu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı
Sera Gazı Emisyonu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Gerekli Şaft Alanı
Sera Gazı Emisyonu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite Ses Şiddeti
Sera Gazı Emisyonu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	İç Ünite Ses Şiddeti
Sera Gazı Emisyonu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı
Dış Ünite İçin Kurulum Alanı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Gerekli Şaft Alanı
Dış Ünite İçin Kurulum Alanı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite Ses Şiddeti
Dış Ünite İçin Kurulum Alanı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	İç Ünite Ses Şiddeti
Dış Ünite İçin Kurulum Alanı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı
Gerekli Şaft Alanı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Dış Ünite Ses Şiddeti
Gerekli Şaft Alanı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	İç Ünite Ses Şiddeti
Gerekli Şaft Alanı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı
Dış Ünite Ses Şiddeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	İç Ünite Ses Şiddeti
Dış Ünite Ses Şiddeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı
İç Ünite Ses Şiddeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,333333	0,25	0,2	0,166666667	0,142857143	0,125	0,111111111	Kullanım Kolaylığı

Çizelge 4.3. Kriterlerin harflendirme tablosu

K1	Kurulum Maliyeti
K2	Bakım Masrafı
K3	Enerji Tüketimi
K4	Sera Gazı Emisyonu
K5	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı
K6	Gerekli Şaft Alanı
K7	Dış Ünite Ses Şiddeti
K8	İç Ünite Ses Şiddeti
K9	Kullanım Kolaylığı

Kriterlerin ikili derecelendirilme yapıldıktan sonra AHS'nin matris işlemleri ile çözümüne başlanabilir. Karşılaştırma matrisi oluşturmak yapılacak ilk adımdır. İkili karşılaştırmalarda bir kriterin kendisi ile karşılaştırılması veya kendisi ile eşit oranda öneme sahip bir kriterle karşılaştırılması sonucu 1'dir. Temel ölçek dikkate alındığında kendisinden daha az önemli bir kriterle karşılaştırma sonucu 1' den büyük [2-9], buna karşılık kendisinden daha önemli bir kriterle karşılaştırılması sonucunda ise 1/2 ile 1/9 arasında değişen değerler olabilecektir. İkili karşılaştırma matrisinde köşegen üstündeki tüm elemanlar, elemanların kendileri ile karşılaştırılmasından oluşacağından 1'dir. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge-4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4. İkili karşılaştırma matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	1	2	2	8	1	4	4	7	2
K2	0,5	1	1	5	1	5	3	4	3
K3	0,5	1	1	6	1	4	3	4	2
K4	0,125	0,2	0,166667	1	0,2	1	0,2	1	0,25
K5	1	1	1	5	1	3	3	5	1
K6	0,25	0,2	0,25	1	0,333333	1	0,2	4	0,25
K7	0,25	0,333333	0,333333	5	0,333333	5	1	2	0,2
K8	0,142857143	0,25	0,25	1	0,2	0,25	0,5	1	0,25
K9	0,5	0,333333	0,5	4	1	4	5	4	1

Karşılaştırma matrisinin hazırlanmasından sonra sentez işlemlerine başlanır ve bunun ilk adımı olan ikili karşılaştırma matris sütun toplama işlemi yapılır. Bu işlemi için her bir sütun toplanarak oluşturulacak yeni satıra yazılır. İkili karşılaştırma matris sütun toplama işlemi Çizelge-4.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. İkili karşılaştırma matrisi sütun toplama

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	1	2	2	8	1	4	4	7	2
K2	0,5	1	1	5	1	5	3	4	3
K3	0,5	1	1	6	1	4	3	4	2
K4	0,125	0,2	0,166667	1	0,2	1	0,2	1	0,25
K5	1	1	1	5	1	3	3	5	1
K6	0,25	0,2	0,25	1	0,333333	1	0,2	4	0,25
K7	0,25	0,333333	0,333333	5	0,333333	5	1	2	0,2
K8	0,142857143	0,25	0,25	1	0,2	0,25	0,5	1	0,25
K9	0,5	0,333333	0,5	4	1	4	5	4	1
Sütun T.	4,267857143	6,316667	6,5	36	6,066667	27,25	19,9	32	9,95

Her bir sütunda yer alan elemanın sütun toplam değerine bölünmesi, böylelikle kriterlerin ölçüm birimlerinden arındırılmış normalize edilmiş değerleri elde edilmiş olur. Karşılaştırma matrisindeki her sütuna ait elemanlar sütunun toplam değerine bölünerek Normalize edilmiş matris hesaplanır. Normalize edilmiş matris Çizelge-4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Normalize edilmiş matris

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
K1	0,234309623	0,316623	0,307692	0,222222222	0,164835	0,146789	0,201005	0,21875	0,201005
K2	0,117154812	0,158311	0,153846	0,138888889	0,164835	0,183486	0,150754	0,125	0,301508
K3	0,117154812	0,158311	0,153846	0,166666667	0,164835	0,146789	0,150754	0,125	0,201005
K4	0,029288703	0,031662	0,025641	0,027777778	0,032967	0,036697	0,01005	0,03125	0,025126
K5	0,234309623	0,158311	0,153846	0,138888889	0,164835	0,110092	0,150754	0,15625	0,100503
K6	0,058577406	0,031662	0,038462	0,027777778	0,054945	0,036697	0,01005	0,125	0,025126
K7	0,058577406	0,05277	0,051282	0,138888889	0,054945	0,183486	0,050251	0,0625	0,020101
K8	0,033472803	0,039578	0,038462	0,027777778	0,032967	0,009174	0,025126	0,03125	0,025126
K9	0,117154812	0,05277	0,076923	0,111111111	0,164835	0,146789	0,251256	0,125	0,100503

Normalize edilmiş matris hesaplandıktan sonra görelî önlem ağırlıkları hesabı yapılır. Normalize edilmiş değerlerden oluşan matrisin satır ortalaması alınarak görelî önem değerlerine ulaşılır. Bunun için Çizelge-4.6 da hesaplanan matrisin her bir satırı toplanarak kriter sayısına bölünür. Çizelge-4.7 de görelî önlem ağırlıkları gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Görelî önlem ağırlıkları

Kriterler	Görelî Önlem Ağırlığı
K1	0,223692339
K2	0,16597599
K3	0,153817992
K4	0,027828882
K5	0,151976578
K6	0,045366353
K7	0,074755761
K8	0,029214729
K9	0,127371378

Görelî önem değeri incelenildiğinde amaç üzerinde etkili en önemli kriterin kurulum maliyeti olduğunu en etkisiz kriterin ise sera gazı emisyonu olduğunu söyleyebiliriz.

Yaptığımız işlemlerle elde ettiğimiz sonuçların (ikili karşılaştırma matrisinin) tutarsızlık düzeyinin belirli bir limitin altında olduğu durumda geçerli olacaktır. Bu kontrolü yapmak için tutarlılık oranını hesaplanır ve tutarlılık testi yapılır.

Tutarlılık testinin gerçekleştirilmesi için Tutarlılık oranı (CR) 0,10 değeri ile karşılaştırılır. CR değeri Eşitlik-4.1 ile hesaplanır

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.1)$$

Formülde yer alan tutarlılık indeksi (CI), Eşitlik-4.2 ve Eşitlik-4.3 ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.2)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \quad (4.3)$$

Eşitlik-4.3 hesaplanması sonucunda λ_{max} değeri “ 9,760216” bulunur ve Eşitlik-4.2’den CI değeri “0,095” olarak bulunur.

RI, rastgele değer indeksini temsil etmektedir. Rastgele değer indeksi kriter sayısına göre yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Farklı akademisyenler rastgele değer indeksine yaptıkları deneylere bağlı olarak farklı değerler vermişlerdir. Bu çalışmalar Çizelge-4.8 de görülebilir [63].

Çizelge 4.8. Rastgele değer indeksleri

	Oak Ridge	Wharton	Golden Wang	Lane Verdini	Forman	Noble	Tumala Wan	Aguaron vd.	Alonso Lamata
	100	500	1000	2500		500		100000	100000
3	0,382	0,58	0,5799	0,52	0,5233	0,49	0,500	0,525	0,5245
4	0,946	0,90	0,8921	0,87	0,8860	0,82	0,834	0,882	0,8815
5	1,220	1,12	1,1159	1,10	1,1098	1,03	1,046	1,115	1,1086
6	1,032	1,24	1,2358	1,25	1,2539	1,16	1,178	1,252	1,2479
7	1,468	1,32	1,3322	1,34	1,3451	1,25	1,267	1,341	1,3417
8	1,402	1,41	1,3952	1,40		1,31	1,326	1,404	1,4056

Çizelge 4.8. (devam) Rastgele değer indeksleri

	Oak Ridge	Wharton	Golden Wang	Lane Verdini	Forman	Noble	Tumala Wan	Aguaron vd.	Alonso Lamata
9	1,350	1,45	1,4537	1,45		1,36	1,369	1,452	1,4499
10	1,464	1,49	1,4882	1,49		1,39	1,406	1,484	1,4854
11	1,576	1,51	1,5117			1,42	1,433	1,513	1,5141
12	1,476		1,5356	1,54		1,44	1,456	1,535	1,5365
13	1,564		1,5571			1,46	1,474	1,555	1,5551
14	1,568		1,5714	1,57		1,48	1,491	1,570	1,5713
15	1,586		1,5831			1,49	1,501	1,583	1,5838

Bu çalışmada Wharton'un Rastgele seçim indeksi değerlerinden yararlanılmıştır. Dolayısıyla $n=9$ kriter için $RI=1,45$ alınmıştır. Buradan hareketler Eşitlik-3'den tutarlılık oranı $CR= 0,065536$ bulunmuştur. Bu değer $CR<0,1$ şartını sağlamasına bakılarak sonucun kabul edilebilir sınırlarda olup olmadığı belirlenir. $0,065536 < 0,1$ için sonuç tutarlıdır. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre kriterlerin ağırlıkları Çizelge-4.7'den hareketle Çizelge-4.9'daki gibi bulunur.

Çizelge 4.9. AHP sonucu kriter ağırlıkları

K1	Kurulum Maliyeti	22,369%
K2	Bakım Masrafı	16,598%
K3	Enerji Tüketimi	15,382%
K4	Sera Gazı Emisyonu	2,783%
K5	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı	15,198%
K6	Gerekli Şaft Alanı	4,537%
K7	Dış Ünite Ses Şiddeti	7,476%
K8	İç Ünite Ses Şiddeti	2,921%
K9	Kullanım Kolaylığı	12,737%

4.2. TOPSIS Yöntemi ile Seçim

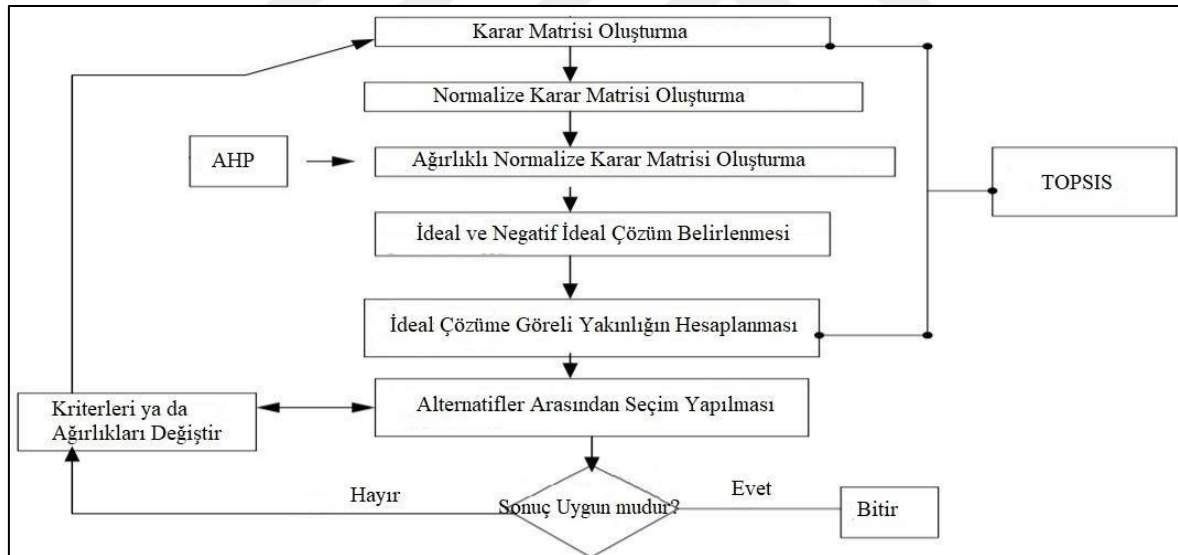
Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. TOPSIS yöntemi nitel bir çevrim yapılmaksızın, direkt veri üzerinde uygulanabilmektedir [64, 65].

TOPSIS Yöntemi çok kriterli problemlerin çözümünde alanındaki en etkili ve en kolay yöntem olarak bilinmektedir. TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatiflerin belirlenen kriterler temelinde karşılaştırılması neticesinde net öncelikleri tespit etmek mümkündür. Yöntemin temelinde, pozitif-ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif-ideal çözüme en uzak

mesafedeki alternatifi seçmeye dayanmaktadır [66]. Çok kriterli karar vermede, çatışan kriterler nedeniyle ideal çözüme ulaşmak genelde mümkün olmadığından, TOPSIS yöntemi yapısı gereği uzlaşık bir çözüm yaklaşımı sunar. TOPSIS yönteminin diğer çok kriterli karar verme tekniklerine göre en önemli avantajı, yöntemin işlem adımlarındaki hesaplamalarının basit olmasıdır.

TOPSIS yönteminin aşamaları aşağıda gösterilmektedir [67];

1. Karar matrisinin oluşturulması,
2. Karar matrisinin normalleştirilmesi,
3. Normalleştirilen karar matrisinin ağırlıklandırılması,
4. İdeal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması,
5. Ayrım ölçütlerinin (ideal ve negatif ideal noktalara uzaklığın) hesaplanması,
6. İdeal çözüme göre göreceli çözümün hesaplanması



Şekil 4.2. TOPSIS yöntemi akış şeması

TOPSIS yöntemini uygulamaya başlarken ilk adımda, çalışmanın bu noktasına kadar elde edilen ve seçim aşamasında kullanacağımız veriler toplanarak Karar Matrisi oluşturulur. Oluşturulan Karar Matrisi Çizelge-4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Karar matrisi

Kriterlerin Yüzdesel Ağırlıkları	22,369 %	16,598 %	15,38 2%	2,783%	15,1 98%	4,537 %	7,47 6%	2,92 1%	12,7 37%
Alternatifler	Kurulum Maliyeti (K1)	Yıllık Bakım Masrafı (K2)	Toplam Enerji Tüketimi (K3)	Sera Gazı Emisyonu (K4)	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı (K5)	Gerekli Şaft Alanı (K6)	Dış Ünite Ses Şiddeti (K7)	İç Ünite Ses Şiddeti (K8)	Kullanım Kolaylığı (K9)
Merkezi VRF li Sistem	177.081,76 TL	3.885,00 TL	24,03 kW/h	78,86 kg eşd.CO2/h	6,71 m ²	0,003 m ²	63,0 dB	37,0 dB	10
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	295.063,58 TL	5.350,00 TL	35,26 kW/h	145,91 kg eşd.CO2/h	20,25 m ²	0,219 m ²	75,0 dB	58,0 dB	6
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	367.156,61 TL	3.850,00 TL	44,42 kW/h	253,32 kg eşd.CO2/h	35,44 m ²	2,247 m ²	76,2 dB	0,00 dB	7
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	277.098,19 TL	1.500,00 TL	32,18 kW/h	271,93 kg eşd.CO2/h	19,46 m ²	2,247 m ²	70,9 dB	0,00 dB	8
Rooftop Sistemi	326.157,94 TL	880,00 TL	28,20 kW/h	238,55 kg eşd.CO2/h	29,60 m ²	2,247 m ²	79,0 dB	0,00 dB	10
	min	min	min	min	min	min	min	min	max

Karar matrisinde satırlar alternatifleri, sütunlar kriterleri ifade etmektedir. Analitik Hiyerarşi Süreci ile hesaplanan kriterlerin ağırlıkları ilk satırda, kriterlerin üzerinde verilmiştir. En alt satırda bulunan “min” ve “max” ifadeleri o kriter için olan tercihi ifade eder.

TOPSIS yöntemi, farklı kriter boyutlarını boyutsuz biçime dönüştürerek kriterler arası karşılaştırmayı kolaylaştırmaktadır. Bunun için karar matrisindeki değerler normleştirilerek normalize karar matrisi elde edilir. Matris değerlerini normalize etme yollarından biri, karar matrisinin her bir satır vektörünü o vektörün normuna bölmektir. Bu işleme vektör normalizasyonu denir ve i-sütunları, j-satırları ifade etmek üzere Eşitlik-4.4’de verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \quad (4.4)$$

Böylece normalize edilmiş karar matrisi Eşitlik-4.5’deki duruma gelir. Çizelge-4.11 de normalize edilmiş matrisin son hali yer almaktadır.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdot & \cdot & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdot & \cdot & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdot & \cdot & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (4.5)$$

Çizelge 4.11. Normalize edilmiş matris

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Merkezi VRF li Sistem	0,268	0,495	0,320	0,167	0,123	0,001	0,386	0,538	0,535
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	0,447	0,682	0,470	0,309	0,372	0,056	0,459	0,843	0,321
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	0,556	0,491	0,592	0,537	0,651	0,576	0,467	0,000	0,375
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	0,419	0,191	0,429	0,576	0,357	0,576	0,434	0,000	0,428
Rooftop Sistemi	0,494	0,112	0,376	0,506	0,544	0,576	0,484	0,000	0,535

Bu adımdan sonra bir diğer adım olan ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır. Bunun için ise analitik hiyerarşi süreci ile elde edilen kriter ağırlıkları ($w_1, w_2, \dots, w_n$) normalize edilmiş matris ile çarpılır. Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi Eşitlik-4.6'da verilmiştir. Çizelge-4.12 de normalize edilmiş matrisin son hali yer almaktadır.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdot & \cdot & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdot & \cdot & w_n r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdot & \cdot & w_n r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (4.6)$$

Çizelge 4.12. Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş matris

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Merkezi VRF li Sistem	0,060	0,082	0,049	0,005	0,019	0,000	0,029	0,016	0,068
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	0,100	0,113	0,072	0,009	0,057	0,003	0,034	0,025	0,041
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	0,124	0,081	0,091	0,015	0,099	0,026	0,035	0,000	0,048
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	0,094	0,032	0,066	0,016	0,054	0,026	0,032	0,000	0,055
Rooftop Sistemi	0,110	0,019	0,058	0,014	0,083	0,026	0,036	0,000	0,068

İdeal ve negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilmesi durumunda dikkat edilmesi gereken kriterin en iyi sonucu minimum değerde mi yoksa maksimum değerde mi aldığıdır. İdeal çözüm yapılırken kriter sütunlarındaki en iyi ve en kötü değerler alınacaktır. Bu adımda

$i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$ olmak üzere, ideal çözüm A^+ ve negatif ideal çözüm A^- hesaplanır. Eşitlik-4.7 ve Eşitlik-4.8’de denklem verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge-4.13’de gösterilmiştir.

$$A^+ = \{ \max v_{ij} | j = 1, \dots, n ; i = 1, \dots, m \}$$

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \text{ her bir sütun için en iyi değer} \quad (4.7)$$

$$A^- = \{ \min v_{ij} | j = 1, \dots, n ; i = 1, \dots, m \}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \text{ her bir sütun için en kötü değer} \quad (4.8)$$

Çizelge 4.13. İdeal ve negatif ideal çözüm

İdeal çözüm değerleri	0,060	0,019	0,049	0,005	0,019	0,000	0,029	0,000	0,068
Negatif ideal çözüm değerleri	0,124	0,113	0,091	0,016	0,099	0,026	0,036	0,025	0,041

Bir sonraki aşamada alternatifler arasındaki ayırım ölçüsü için n-boyutlu Öklid uzayındaki uzaklıklar tanımlanır. Koordinat düzleminde x ve y koordinatları bilinen iki nokta arasındaki mesafeyi ifade eder. Her alternatifin ideal çözüme olan uzaklığı Eşitlik-4.9’da verilmiştir.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.9)$$

Benzer biçimde her bir alternatifin negatif ideal çözüme olan uzaklığı Eşitlik-4.10’da verilmiştir.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.10)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge-4.14’deki değerler elde edilir.

Çizelge 4.14. İdeal ve negatif ideal çözüm değerleri (S_i^+ ve S_i^-)

Alternatifler	S_i^+	S_i^-
Merkezi VRF li Sistem	0,064	0,122
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	0,115	0,058
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	0,132	0,032
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	0,062	0,102
Rooftop Sistemi	0,087	0,106

Sonraki aşamada ideal çözüme olan göreceli yakınlık hesaplanır. Her bir karar noktasının ideal çözüme göreceli yakınlığı olan C_i^* 'nin hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Buradaki ölçüt, her bir alternatifte ait negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içerisindeki payıdır ve Eşitlik-4.11'de verilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (4.11)$$

Burada $0 \leq C_i^* \leq 1$ arasında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığı ifade eder.

Yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge-4.15'deki değerler elde edilir.

Çizelge 4.15. İdeal çözüme göreceli yakınlık değeri

Alternatifler	C_i^*	Sıralama
Merkezi VRF li Sistem	0,657	1
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	0,334	4
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	0,196	5
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	0,621	2
Rooftop Sistemi	0,550	3

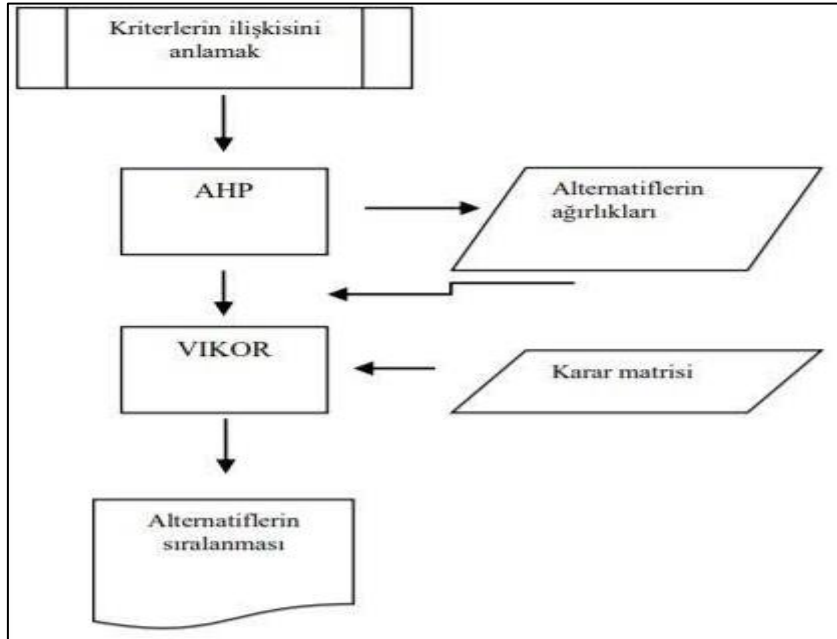
TOPSIS yöntemi ile seçim sonucunda, Çizelge-4.15'den görüleceği üzere ideal çözüm "1" değerine en yakın sonucu Alternatif 1 olan Merkezi VRF li Sistem yaklaşık olarak % 66 yaklaşımla vermiştir. İkinci sonuç ise yaklaşık % 62 ile VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi olmuştur.

Elde edilen sonuçlar çalışmanın son bölümünde ele alınarak değerlendirilecektir. Bu aşamada TOPSIS yöntemi kullanılarak elde edilen Merkezi VRF li Sistem seçiminin sonucunun doğrulaması VIKOR yöntemiyle yapılacaktır.

4.3. VIKOR Yöntemi ile Seçim

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje – Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma) tekniği Serafim Opricovic ve Gwo-Hshiung Tzeng tarafından çok kriterli karar verme problemlerinde uygulanabilir bir teknik olarak önerilmiştir. VIKOR tekniği, birden çok kriterin değerlendirildiği karar verme problemlerinde alternatifler arasından uzlaşık bir sıralama yapma ve uzlaşık bir çözüme ulaşmayı amaçlar. Tekniğin temeli “ideal çözüme yakınlık” ölçümüne dayanır. Uzlaşma, ortak kabul üzerinde anlaşmaya varmaktır. Uzlaşık çözüm ise ideale en yakın uygun çözümdür. Uzlaşık çözümün temelleri Yu (1973) ve Zeleny (1982) tarafından atılmıştır. Her alternatifin her kriter açısından değerlendirildiği varsayımı altında, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralama oluşturulur [68, 69].

VIKOR yöntemi de TOPSIS gibi karar vericiden ağırlık vektörleri talep etmektedir. Bu nedenle çalışmanın başında ağırlık vektörleri yani kriterlerin dereceleri Analitik Hiyerarşi Prosesi ile belirlenmişti. AHP ile VIKOR yönteminin birlikte çalışma mantığı Şekil-4.3’de gösterilmiştir [68]. AHP ve TOPSIS yönteminin birlikte çalışma mantığı da aynıdır.



Şekil 4.3. AHP ve VIKOR yöntemlerinin birlikte çalışması

VIKOR tekniğinde karar verme süreci, karar probleminin tanımlanması ile başlar. Karar probleminin tanımlanmasıyla birlikte problemin amacı da ortaya konur. Daha sonra

alternatifler ve alternatiflerin karşılaştırılmasında, sıralanmasında ve seçilmesinde etkili olacak kriterler belirlenir. Kriterler karar vericinin alternatiflerden beklentisini yansıtacak biçimde sezgisel olarak belirlenebileceği gibi konunun uzmanlarının görüşleri alınarak da belirlenebilir. Teknikte her bir alternatifin her bir kriterine göre aldığı değerler skor ya da performans olarak ifade edilmektedir. Karar problemine ilişkin kriterlerle birlikte kriterlerin yönü de belirlenmelidir. Kriterlerin yönünü belirlemede, kriterin maliyet ya da fayda özelliklerinden hangisini taşıdığı önem kazanmaktadır. Çözüm algoritmasının adımları uygulanırken, kriterin özelliği maliyet olduğunda tüm değerler içinden en küçük değer tercih edileceğinden, çözüm için oluşturulan tablolarda kriterin yönü (min) biçiminde temsil edilir. Benzer biçimde kriterin faydayı yansıtması durumunda ise tüm değerler içinden en büyük değer tercih edileceğinden kriterin yönü de (max) biçiminde ifade edilecektir. Kriterlerin yönünün belirlenmiş inin ardından kriterlerin göreceli önem dereceleri (ağırlıkları) de tespit edilir. Kriterlere atanan ağırlık, ilgili kriterin alternatifin değerlendirilmesinde ne oranda etkili olacağını belirleyen bir ölçüdür. VIKOR tekniğinde kriter ağırlıkları oran olarak ifade edilmekte ve toplamı 1'e eşit olmaktadır [16].

TOPSIS de olduğu gibi karar matrisi Çizelge-4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Karar matrisi

Kriterlerin Yüzdesel Ağırlıkları	22,369 %	16,598 %	15,38 2%	2,783%	15,1 98%	4,537 %	7,47 6%	2,92 1%	12,7 37%
Alternatifler	Kurulum Maliyeti (K1)	Yıllık Bakım Masrafı (K2)	Toplam Enerji Tüketimi (K3)	Sera Gazı Emisyonu (K4)	Dış Ünite İçin Kurulum Alanı (K5)	Gerekli Şaft Alanı (K6)	Dış Ünite Ses Şiddeti (K7)	İç Ünite Ses Şiddeti (K8)	Kullanım Kolaylığı (K9)
Merkezi VRF li Sistem	177.081 ,76 TL	3.885, 00 TL	24,03 kW/h	78,86 kg eşd.CO2/h	6,71 m ²	0,003 0 m ²	63,0 0 dB	37,0 0 dB	10
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	295.063 ,58 TL	5.350, 00 TL	35,26 kW/h	145,91 kg eşd.CO2/h	20,2 5 m ²	0,219 1 m ²	75,0 0 dB	58,0 0 dB	6
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	367.156 ,61 TL	3.850, 00 TL	44,42 kW/h	253,32 kg eşd.CO2/h	35,4 4 m ²	2,247 7 m ²	76,2 0 dB	0,00 dB	7
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	277.098 ,19 TL	1.500, 00 TL	32,18 kW/h	271,93 kg eşd.CO2/h	19,4 6 m ²	2,247 7 m ²	70,9 0 dB	0,00 dB	8
Rooftop Sistemi	326.157 ,94 TL	880,00 TL	28,20 kW/h	238,55 kg eşd.CO2/h	29,6 0 m ²	2,247 7 m ²	79,0 0 dB	0,00 dB	10
	min	min	min	min	min	min	min	min	max

Bir sonraki aşamada her kriter için en iyi (f_j^*) ve en kötü (f_j^-) değerlerin belirlenmesi yapılır.

Çizelge-4.17'de değerler yer almaktadır.

Çizelge 4.17. En iyi ve en kötü kriter değerleri

En İyi Kriter Değerlerinin Belirlenmesi	f*	177.081,76	880,00	24,03	78,86	6,71	0,0030	63,00	0,00	10,00
En Kötü Kriter Değerlerinin Belirlenmesi	f	367.156,61	5.350,00	44,42	271,93	35,44	2,25	79,00	58,00	6,00

Karar matrisini oluşturan değerleri birimlerinden arındırmak ve karşılaştırılabilir seviyeye getirmek üzere normalizasyon işlemi uygulanır. m alternatif ve n kriterden oluşan bir karar problemine ilişkin karar matrisi, normalizasyon işlemi sonunda $m \times n$ boyutlarında R normalize matrisine dönüştürülür. R matrisinin elemanları Eşitlik-4.12 ile hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (4.12)$$

Burada r_{ij} yeni oluşturulacak matris elemanlarını, x_{ij} normalizasyon matrisinin elemanlarını ifade eder. Bu eşitlik ile yapılan hesaplar neticesinde normalizasyon işlemi tamamlanır ve normalize karar matrisi oluşturulur. Hesaplamalar sonucu elde edilen R normalize karar matrisi Eşitlik-4.13 ile hesaplanır. Çizelge-4.18 de normalize edilmiş matrisin son hali yer almaktadır.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdot & \cdot & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdot & \cdot & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdot & \cdot & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (4.13)$$

Çizelge 4.18. Normalizasyon matrisi

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Merkezi VRF li Sistem	0,00 0	0,67 2	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,000 0	0,00 0	0,63 8	0,00 0
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	0,62 1	1,00 0	0,55 1	0,34 7	0,47 1	0,096	0,75 0	1,00 0	1,00 0
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	1,00 0	0,66 4	1,00 0	0,90 4	1,00 0	1,000	0,82 5	0,00 0	0,75 0
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	0,52 6	0,13 9	0,40 0	1,00 0	0,44 4	1,000	0,49 4	0,00 0	0,50 0
Rooftop Sistemi	0,78 4	0,00 0	0,20 5	0,82 7	0,79 7	1,000	1,00 0	0,00 0	0,00 0

w_j kriter ağırlıkları olmak üzere, normalize karar matrisinde sütunlarda gösterilen kriterlerin ilgili ağırlıklar ile çarpılmasıyla, ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi V elde edilir. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elemanları Eşitlik-4.14 ile hesaplanır.

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad (4.14)$$

Burada v_{ij} değeri ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elemanlarını, r_{ij} ise normalize karar matrisi elemanlarını, w_j ise kriter ağırlıklarını ifade eder. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi V , Eşitlik-4.15 biçiminde gösterilir. Çizelge-4.19 da hesaplanan değerler yer almaktadır.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Çizelge 4.19. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Merkezi VRF li Sistem	0,00 0	0,11 2	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,01 9	0,00 0
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	0,13 9	0,16 6	0,08 5	0,01 0	0,07 2	0,00 4	0,05 6	0,02 9	0,12 7
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	0,22 4	0,11 0	0,15 4	0,02 5	0,15 2	0,04 5	0,06 2	0,00 0	0,09 6
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	0,11 8	0,02 3	0,06 1	0,02 8	0,06 7	0,04 5	0,03 7	0,00 0	0,06 4
Rooftop Sistemi	0,17 5	0,00 0	0,03 1	0,02 3	0,12 1	0,04 5	0,07 5	0,00 0	0,00 0

VIKOR yönteminin bu aşamasında S_i ve R_i değerleri hesaplanır. S_i değeri i . alternatif için ortalama grup skorlarını, R_i değeri ise en kötü skoru ifade eder. S_i değeri Eşitlik-4.16'dan, R_i değeri ise Eşitlik-4.17'den elde edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (4.16)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot w_j$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

$$R_i = \max. v_{ij}$$

$$R_i = \max. (r_{ij} \cdot w_j)$$

$$R_i = \max. \left(w_j \cdot \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right) \quad (4.17)$$

Hesaplanan Si ve Ri değerleri Çizelge-4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Si ve Ri değerleri

Alternatifler	Si	Ri
Merkezi VRF li Sistem	0,130	0,112
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	0,688	0,166
Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	0,867	0,224
VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	0,443	0,118
Rooftop Sistemi	0,471	0,175

Qi değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu amaçla Qi değerlerinin hesaplanmasında kullanılan S^* , S^- , R^* ve R^- parametreler Eşitlik-4.18’de gösterilmiştir.

$$S^* = \min S_i$$

$$S^- = \max S_i$$

$$R^* = \min R_i$$

$$R^- = \max R_i \quad (4.18)$$

Qi değerlerinin hesaplanmasında kullanılan diğer bir eleman olan q parametresi ise kriterlerin çoğunluğunun ağırlığını (maksimum grup faydasını) gösterir. q değeri maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken (1-q) ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir. Uzlaşma “çoğunluk oyu” ($q > 0,5$) ile; “konsensus” ($q = 0,5$) ile; veya “veto” ($q < 0,5$) ile sağlanabilir. Uygulamada genellikle ($q=0,5$) kabul edilir. Diğer bir ifade ile ($q > 0,5$) seçildiğinde Qi sıralamasına çoğunluğun olumlu tutum gösterme eğiliminde olduğu ifade edilirken, ($q <$

0,5) seçildiğinde Q_i sıralamasına çoğunluğun olumsuz tutum gösterdiği anlamı yüklenir [69]. Hesaplarımızda $q=0,5$ olarak kabul edilmiştir. Q_i formülü Eşitlik-4.19'da gösterilmiştir.

$$Q_i = \frac{q \cdot (S_i - S^*)}{S^- - S^*} - \frac{(1 - q) \cdot (R_i - R^*)}{R^- - R^*} \quad (4.19)$$

Hesaplanan Q_i değerleri Çizelge-4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Hesaplanan Q_i değerleri

q=	0,50	seçilerek uzlaşmacı tutum sergilendiği varsayılmıştır.
Q_i	Alternatifler	Sıralama
0,000	Merkezi VRF li Sistem	1
0,621	Hava Soğutmalı Chiller Destekli Fancoil Sistemi	4
1,000	Hava Soğutmalı Chiller Destekli Klima Santrali Sistemi	5
0,240	VRF Soğutma Destekli Klima Santrali Sistemi	2
0,516	Rooftop Sistemi	3

Q_i , S_i ve R_i değerleri bulunarak alternatifler farklı durumlara göre sıralanmıştır. Bu noktada son adım olan seçim adımına geçilir. Elde edilen sıralamada birinci olan alternatif için en iyi alternatif olup olmadığının kararı için koşullar üzerinden geçerlilik testi yapılır. Elde edilen sonuçların geçerli olması halinde minimum Q değerine sahip alternatif en iyi olarak nitelendirilebilir.

Birinci koşul olan kabul edilebilir avantaj koşulunun sağlanması için Eşitlik-4.20'den yararlanılır. Alternatifler elde edilen Q_i değerlerine göre sıralanır ve minimum Q_i değerine sahip olan Merkezi VRF li Sistem Eşitlik-4.20 uygulanır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ \quad (4.20)$$

Burada yer alan DQ değeri alternatif sayısına bağlıdır ve n alternatif sayısını ifade etmektedir. Toplam 5 adet alternatif vardır. DQ Eşitlik-4.21'den hesaplanır.

$$DQ = \frac{1}{m - 1} \quad (4.21)$$

Koşul 1 için yapılan hesaplamalar Çizelge-4.22 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. Koşul 1 hesapları

Q(A2)	Q(A1)	Q(A2)-Q(A1)	DQ=1/(m-1)	Koşul Durum
0,240	0,000	0,240	0,25	Koşulu sağlamaz
Koşul 1: $Q(A2) - Q(A1) \geq DQ$ koşulu sağlanmadığı için koşul 2'ye geçilir				

Koşul 1 sağlanamadığı için Koşul 2 ye geçilir.

Koşul 2 kabul edilebilir istikrar koşulu olarak adlandırılır. Elde edilen uzlaşık çözümün istikrarlı olduğunun kanıtlanması açısından sağlanması gereken koşuldur. Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında, ilk sırada yer alan alternatifi, S_i ve/veya R_i değerlerine göre küçükten büyüğe doğru yapılan sıralamada da minimum değere sahip olmalıdır. Bu durumda uzlaşık çözümün istikrarlı olduğu kabul edilir. VIKOR Analizi sonucunda bu şartları karşılayan en iyi alternatif Merkezi VRF li Sistem’dir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, hayatın devamlılığını sağlayan en önemli yapı taşıdır. Enerji kaynaklarının giderek azaldığı ve bu kaynakların kullanımı sırasında açığa çıkan çevre sorunlarının giderek arttığı günümüz koşullarında, enerji tüketim değerlerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar çok büyük önem kazanmıştır.

Çalışmamızda Ankara özelinde 5 ayrı alternatif sistem, 9 ayrı kritere göre detaylı incelenmiştir. Kriter seçiminde kurulum maliyetinin yanı sıra çevreyi de etkileyen sera gazı emisyonu ve çevreye yayılan ses şiddeti gibi kriterlerde eklenmiştir. Böylece çalışma, çevreye vereceğimiz zararların öngörebilmemizi sağlamış olup çevreci bir yaklaşımı da ortaya koymaktadır.

Materyal ve metot kısmında detaylıca anlatılan bu hesaplar yine aynı bölümde detaylandırılan Çok Kriterli Karar Verme yöntemleriyle irdelenmiş ve bir karar alma metodolojisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Analitik Hiyerarşi Prosesi ile göreceli kriterler alternatifler özelinde değerlendirilerek sayısal veriler elde edilmiştir. Daha sonrasında kriterler AHP ile ağırlıklandırılmış ve diğer karar verme mekanizmalarıyla ortak çalıştırılmıştır. AHP + TOPSIS ve AHP + VIKOR ile inceleme yapılmış ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

Yapılan inceleme belirlenen kriterler özelinde olmaktadır. Bu nedenle sonuç ve bu oluşturulan metodoloji, yeni bir kriter eklenmesi ya da çıkarılmasıyla veya kriterler arasında yapılan ve kriter ağırlıklarının bulunmasını sağlayan AHP yönteminin Saaty anketinde bir noktanın değiştirilmesiyle farklı sonuçlar verecektir. Dolayısıyla sonuç karar vericinin göreceli kararlarına ve tercihlerine bağlıdır. Bu çalışmada genel olarak piyasada dikkat edilen kıstasların ele alınmasına ve deneyimlere göre bu kıstasların önemlerinin derecelendirilmesine dikkat edilmiştir. Temel amaç genel kabulde bir uygulama yapmak ve bu tarz bir seçimde karar vericilerin kendi tercihleri doğrultusunda üzerinden devam edebilecekleri bir karar alma mekanizması oluşturmaktır.

Sistemler, kriterler bazında elde edilen veriler kapsamında incelendiğinde;

- Kurulum maliyeti, enerji tüketimi, sera gazı emisyonu, dış ünite için kurulum alanı ve gerekli shaft alanı kriterlerine göre merkezi VRF sisteminin daha uygun bir tercih olduğu görülmektedir.
- Dış ünite ses şiddeti kriterine göre merkezi VRF sisteminin daha uygun bir tercih olarak görülmektedir.
- Yıllık bakım masrafı kriterine göre rooftop sistemi daha uygun bir tercih olduğu görülmektedir.
- Kullanım kolaylığı kriterine göre merkezi VRF sistemi ve rooftop sisteminin daha uygun bir tercih olduğu görülmektedir.
- İç ünite ses şiddeti kriterine göre hava soğutmalı chiller destekli klima santrali sistemi, VRF soğutma destekli klima santrali sistemi ve rooftop sistemi daha uygun bir tercih olduğu görülmektedir.

Yukarda görüleceği üzere farklı kriterlerde farklı sistemlerin daha uygun olduğu görülmekte ve en doğru sistemin seçimi net olarak yapılamamaktadır. Bu noktada AHP, TOPSIS ve VIKOR süreçleri devreye girmekte ve en doğru seçimi bulmakta yol gösterici olmaktadır.

AHP+TOPSIS ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde merkezi VRF sistemi ile VRF soğutma destekli klima santrali sistemi birbirine yakın olduğu ve az farkla merkezi VRF sisteminin önde olduğu görülmektedir. Sistem kurulum maliyeti kriterine göre de aynı sıralamanın yer aldığı görülmektedir.

AHP+VIKOR yöntemi ile değerlendirmede kriterlerin bir sıralaması oluşturulmuş ancak istenen mükemmel sonuca ne kadar ulaşabildiklerine dair bir veri elde edilememiştir. VIKOR yöntemi sıralama yapmaktan çok kesin çözüme odaklı çalışmaktadır. Verilen kriterler açısından alternatifleri kabul edilebilir derecede seçmeyi amaçlar. VIKOR'a göre net bir seçim ya da olabilecek seçimlerden oluşan bir küme vardır. AHP+VIKOR ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde hiçbir sistemin koşul 1 sağlamadığı görülmüş ve koşul 2 geçilmiştir. Koşul 2 ye göre merkezi VRF sistemi öne çıkmaktadır.

Her bir sistem belirli kriterlerde öne çıkmış olsa da merkezi VRF sisteminin enerji tüketimi açısından önde olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın ana konusu olan enerji verimliliği açısından bakıldığında elde edilen sonuçlar oldukça önemlidir. Bu çalışma farklı kriterler altında, ya da farklı alternatifler ile çeşitlendirilerek genişletilebilir. Çalışmada kullanılan sistemlerin kullanımı, her geçen gün artan yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kombine edilerek kullanılabilir. Bu durumda enerji sürekliliği, sistem otomasyonunun oluşturulması, kullanımı ve kontrolü gibi başka kriterler değerlendirmeye alınmalıdır. Bir başka bakış açısından ise mimaride pasif sistem (güneş kırıcı, özel üretim camlar, binanın yalıtımının iyileştirilmesi vs.) teknikleri uygulanması ile ısı kazanımı azaltılabilir ve bunun çalışmaya ne gibi etkileri olacağına bakılabilir. Bu ihtimaller ve olası senaryolar daha da örneklendirilebilir. Temel amaç enerji verimliliği etkin bir sistem kurarak, daha az enerji tüketimi ile çevreye verilen zararı azaltmaktır. Çalışma da bu amaç doğrultusunda tamamlanmış ve alternatif sistemler arasında bina soğutulması amacıyla bir seçim metodolojisi oluşturulmuştur.



KAYNAKLAR

1. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (1999). *Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik*. 2. Baskı. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
2. Duruk, M. ve Sarıbatı, Ş. (2006). *MMO soğutma tesisatı*. İstanbul: Can Matbaacılık.
3. Bulut, H. (2017). *Soğutma ve klima tekniği*. Şanlıurfa: Anonim.
4. Özkol, N. (2004). *MMO uygulamalı soğutma tekniği*. Ankara: Özkan Matbaacılık.
5. Salman, M. (2006). Soğutmanın babası Willis Haviland Carrier: iklimlendirmenin tarihi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 47(563), 35-36.
6. Budak, E., Cansevdi, B. ve Güngör, A. (2014). Su soğutma cihazlarında enerji verimliliği ve ısı geri kazanım. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 139(11), 23-31.
7. İnternet: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2019). *Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri*. Ankara: TEİAŞ. URL: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, Son Erişim Tarihi: 05.09.2020.
8. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019). *Enerji verimliliği mevzuatı*. S. Öztürk (Ed.) Ankara: Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Yayını.
9. Arrhenius, S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(5), 237-276.
10. Özel, M. ve Kılıç, S. (2006). Küresel bir sorun olarak iklim değişikliği ve iklim politikaları. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 4(34), 137-167.
11. Gönenç, D. ve Kibaroglu, A. (2017). İklim güvenliği kavramının Türkiye iklim politikasındaki yeri. *Alternatif Politika Dergisi*, İklim değişikliği ve enerji özel sayısı, 1-26.
12. İnternet: T.C. Dışişleri Bakanlığı (2020). Paris Anlaşması. URL: <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>, Son Erişim Tarihi: 22.09.2020.
13. Akgüç, A. (2018). ASHRAE 90.1 2010 - Appendix G'ye göre referans bina tanımı ve mekanik sistem seçimi. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 113(2), 1-7.
14. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2018). *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023*. Ankara: Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Yayını, 4-5.
15. İnternet: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (2008). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*, Resmî Gazete, Tarih: 05.12.2008, Sayı: 27075. URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13594&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, Son Erişim Tarihi: 22.09.2020.
16. Lezki, Ş., Sönmez, H., Şıklar, E., Özdemir, A. ve Alptekin, N. (2019). *İşletmelerde karar verme teknikleri*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.

17. Yıldırım, F. ve Önder, E. (2018). *Çok kriterli karar verme yöntemleri*. 3. Baskı. Bursa: Dora Yayıncılık.
18. Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. 1st Ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
19. Küheylan, D. (1995). *Soğutma sistemlerinin ekonomik tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
20. Kılıçaslan, E. (2002). *Soğutma sistemlerinin performans analizi*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
21. Alpuche, M. G., Heard, C., Best, R. and Rojas, J. (2005). Exergy analysis of air cooling systems in buildings in hot humid climates. *Applied Thermal Engineering*, 25(4), 507–517.
22. Şamdan, S. (2007). *Bir binanın ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji etüdü*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
23. Pu, J., Liu, G., and Feng, X. (2010). Application of the cumulative exergy approach to different air conditioning systems. *Energy and Buildings*, 42(11), 1999-2004.
24. Yu, X., Yan, D., Sun, K., Hong, T., and Zhu, D. (2016). Comparative study of the cooling energy performance of variable refrigerant flow systems and variable air volume systems in office buildings. *Applied Energy*, 183(9), 725-736.
25. Alkan, F., Kürekçi, N. A. ve Çubuk, H. (2017). Örnek bir bina için ısıtma-soğutma sistemlerinin karşılaştırılması. *Tesisat Mühendisliği*, 162, 5-19.
26. Şimşek, E., Karaçaylı, İ. ve Mutlu, İ. (2017). Farklı koşullardaki hava–su–hava kaynaklı ısı pompasının farklı soğutucu akışkanlarla termodinamik analizi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 174-185.
27. Sever, Z. O. (2018). *Bir alışveriş merkezi ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji ve ekserji analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Yozgat.
28. Leroux, G., Le Pierrès, N., Stephan, L., Wurtz, E., Anger, J., and Mora, L. (2019). Pilot-scale experimental study of an innovative low-energy and low-cost cooling system for buildings. *Applied Thermal Engineering*, 157(4), 1-11.
29. Seo, B., Yoon, Y., Yu, B. H., Cho, S., and Lee, K. H. (2020). Comparative analysis of cooling energy performance between water-cooled VRF and conventional AHU systems in a commercial building. *Applied Thermal Engineering*, 170(6), 1-17.
30. Aydın, Y. (2013). *Bulanık topsis ve vikor yöntemi kullanılarak rüzgâr enerjisi santral yer seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
31. Ertuğrul, İ. ve Özçil, A. (2014). Çok kriterli karar vermede TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle klima seçimi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 267-282.

32. Balkuvar, I. (2015). *Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve VIKOR ile tablet seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
33. Khalil, N., Kamaruzzaman, S. N., and Baharum, M. R. (2016). Ranking the indicators of building performance and the users' risk via Analytical Hierarchy Process (AHP): Case of Malaysia. *Ecological Indicators*, 71(6), 567–576.
34. Ligus, M. and Peternek, P. (2018). Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS Method. *Energy Procedia*, 153(11), 101-106.
35. Raykar, S. J. and D'Addona, D. M. (2019). Selection of best printing parameters of fused deposition modeling using VIKOR. *Materials Today: Proceedings*, 27(1), 344-347.
36. Baynal, K., Şahin, Y. ve Taphasanoğlu, S. (2019). Çok kriterli karar verme teknikleriyle lüks konut projesi için beyaz eşya seçimi. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(2), 1871-1888.
37. Açık, M. S. (2019). *Konya, Karaman, Aksaray ve Niğde illerinde uygun arıcılık yerlerinin belirlenmesinde AHP ve TOPSİS yöntemlerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
38. Yazıcıoğlu, M. B. (2019). Hastane klima santrallerinin AHP ve TOPSIS yöntemleri ile seçimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
39. Büyükkız, Ş. (2019). *Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
40. Kumar, A. A. and Gupta, H. (2020). Evaluating green performance of the airports using hybrid BWM and VIKOR methodology. *Tourism Management*, 76(18), 1-16.
41. Geçdoğan, S. (2020). *Kurumsal sürdürülebilirlik ölçümü için AHP ve TOPSIS*. Yüksek Lisans Tezi, Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
42. Yılmaz, H. (2020). *Bulanık TOPSIS ve Bulanık Veri Zarflama Analizi yöntemleri ile performans ve etkinlik değerlemesi: BIST’te faaliyet gösteren işletmeler üzerine bir uygulama*. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
43. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD). (2013a). Merkezi soğutma ve ısıtma. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 84(1), 1-7.
44. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2017). *Handbook fundamentals*. Atlanta: ASHRAE Publications.
45. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD). (2013b). HVAC sistem analizi ve sistem seçimi. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 83(3), 1-11.

46. Cansevdi, B. (2019). *İklimlendirme Sistemlerinde Yaşam Boyu Enerji Verimliliği Eğitim Semineri*. Sözlü Sunum. Ankara.
47. İnternet: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2020). *İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları 2020*. Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, Ankara. URL: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler//insa-at-birim-fiyatları-2020-turkce-20200207124629.pdf>, Son Erişim Tarihi: 02.10.2020.
48. Türkmen, U. ve Atılgan, A. İ. (2017). Farklı akışkanlarda değişken soğutucu akışkan debili (VRF) sistemin ekserji ve termoekonomik analizlerinin karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 343-353.
49. İnternet: VRF nedir? VRF sistemi nasıl çalışır?. URL: <https://www.vrfankara.com/vrf-nedir-nasil-calisir.html>, Son Erişim Tarihi: 04.10.2020.
50. Çölaşan, F. (2013). Değişken debili soğutucu akışkanlı (VRF) iklimlendirme sistemleri. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 83(5), 29-34.
51. Küçükçalı, R. (2001). *Isısan klima tesisatı kitabı*. İstanbul: Isısan Yayınları.
52. Carrier (2015). Hourly Analysis Program (HAP) 4.9 help dosyası, Kullanma Dosyası.
53. Isın, N. K., Alaloğlu, M. ve Erdoğan, A. (2011). Saatlik analiz programı hourly analysis program. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 73(4), 1-7.
54. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2019). *Isıtma ve soğutma gün dereceleri*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. URL: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=aylik&m=06-00&y=2019&a=12#sfB> Son Erişim Tarihi: 01.10.2020.
55. Türk Standardları Enstitüsü (TSE). (2013). *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
56. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Eğitim Araştırma Merkezi (ÇASGEM). (2018). *Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına İlişkin Uygulama Rehberi*. Ankara: T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Yayını.
57. Vassilev, V., Vassileva, M. and Genova, K. (2005). A brief survey of multicriteria decision making methods. *Bulgarian Academy of Sciences Cybernetics and Information Technologies*, 5(1), 1-13.
58. Saaty, T. L. and Vargas, L. G. (2012). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Boston, MA: Springer US.
59. Saaty, T. L. (2008). The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: the measurement of intangibles. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1(1), 122-196.
60. Timor, M. (2011). *Analitik hiyerarşi prosesi*. 1. Baskı. İstanbul: Türkmen Kitabevi.

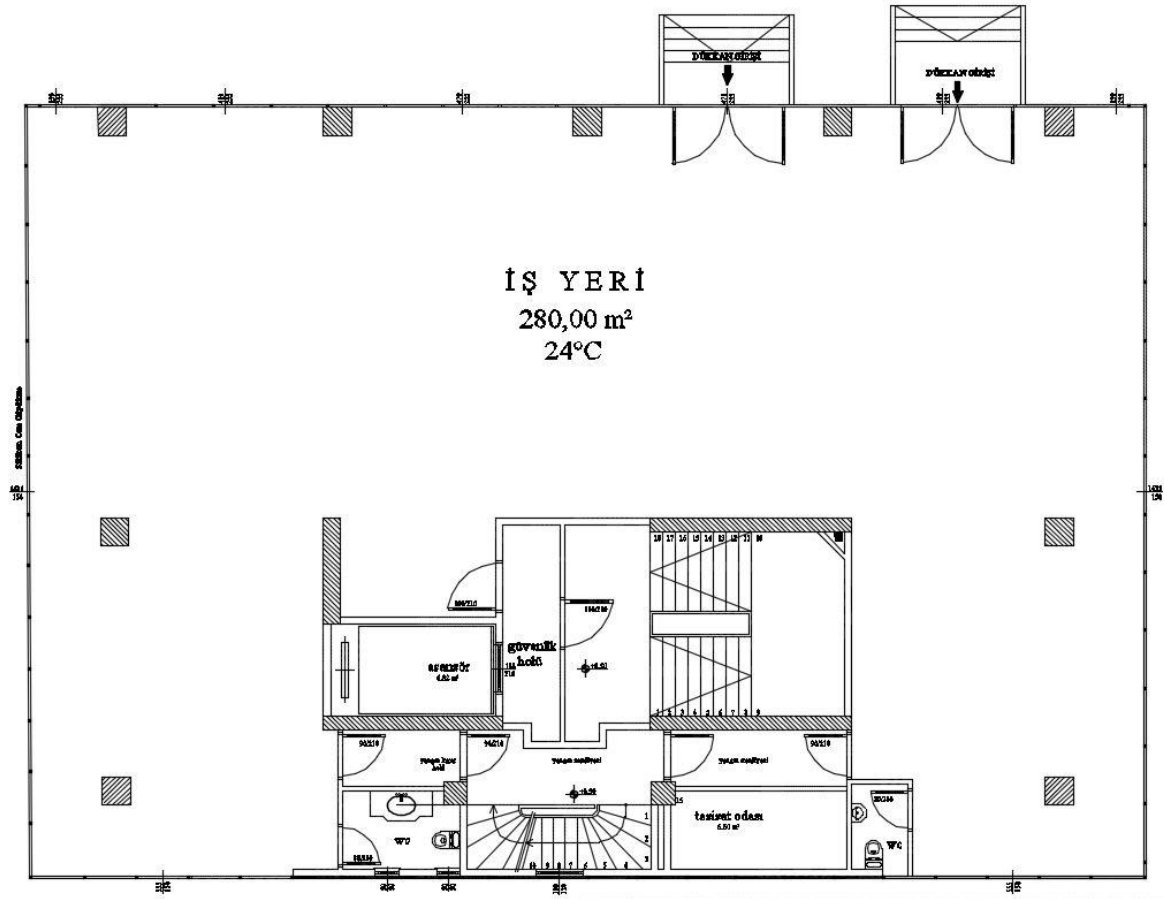
61. Esen, H. Ö. (2008). *Uygulamalı yöneylem araştırması, yöneticiler için bilgisayar destekli karar modelleri: Excel ile modelleme ve çözüm teknikleri*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
62. Timor, M. (2010). *Yöneylem araştırması*. 1. Baskı. İstanbul: Türkmen Kitabevi.
63. Alonso, J. A. and Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14(4), 445-459.
64. Eleren, A. ve Karagül, M. (2008). 1986-2006 Türkiye ekonomisinin performans değerlendirmesi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(1), 1-14.
65. Ömürbek, N., Makas, Y. ve Ömürbek, V. (2015). AHP ve TOPSIS yöntemleri ile kurumsal proje yönetim yazılımı seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(21), 59-83.
66. Shyjith, K., Ilangkumaran, M. and Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(4), 375-386.
67. Yurdakul, M. ve İç, Y. T. (2003). Türk otomotiv firmalarının performans ölçümü ve analizine yönelik TOPSIS yöntemini kullanan bir örnek çalışma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(1), 1-18.
68. Khezrian, M., Kadir, W. M. N. W., Ibrahim, S. and Kalantari, A. (2012). A hybrid approach for web service selection. *International Journal of Computer Engineering Research*, 2(1), 190-198.
69. Wei, J. and Lin, X. (2008). *The multiple attribute decision-making VIKOR method and its application*. 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, New York.





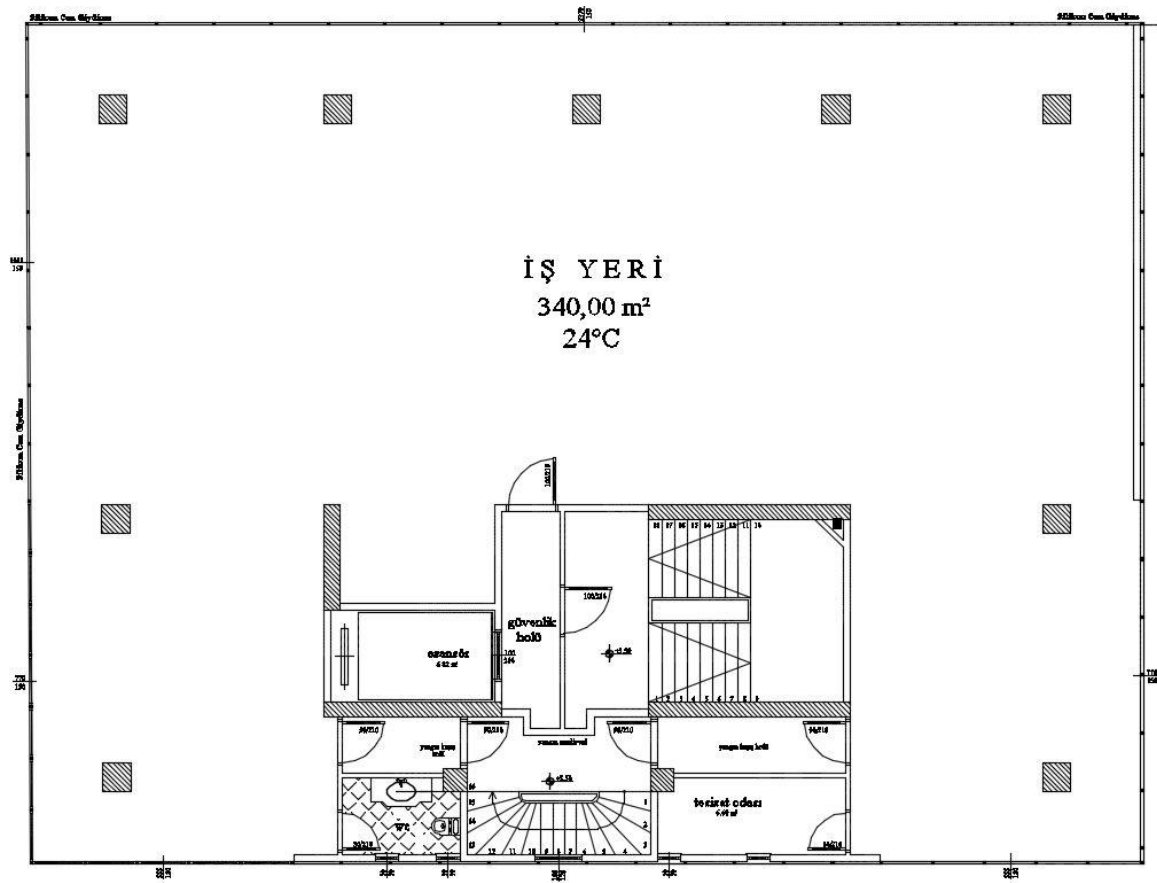
EK-1. Bina Mimari Planlar

-Giriş kat



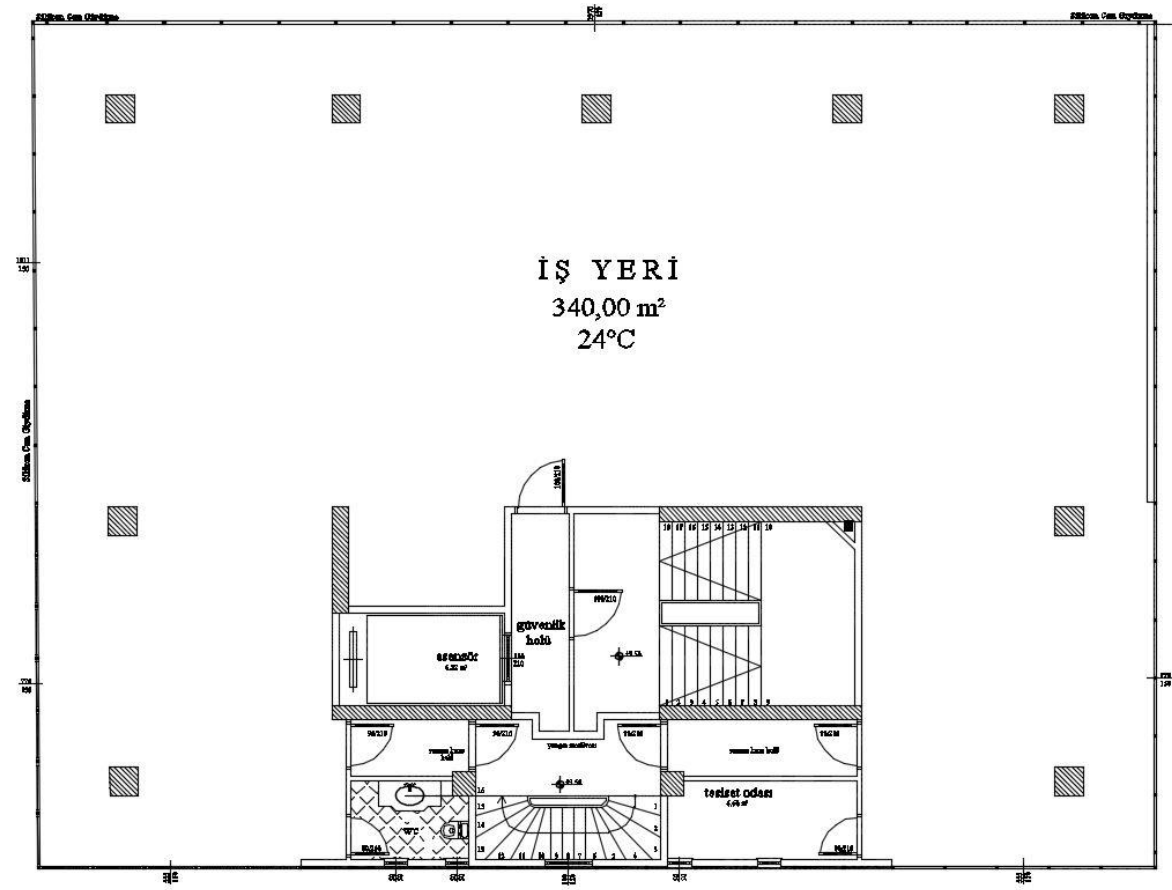
EK-1. (devam) Bina Mimari Planlar

-Birinci kat

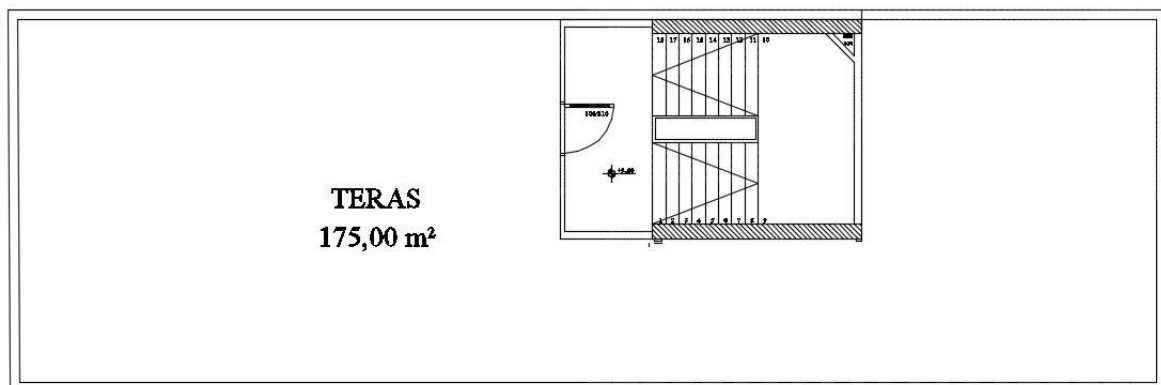


EK-1. (devam) Bina Mimari Planlar

-İkinci kat



-Teras



EK-2. İklim Verileri

-Soğutma tasarımı sıcaklık profilleri (kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ° C dir)

Hr	January		February		March		April		May		June	
	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB
0000	-0,2	-1,1	1,2	0,9	6,8	6,5	11,9	10,0	16,9	13,3	20,0	14,9
0100	-1,0	-1,5	0,4	0,2	6,1	5,8	11,1	9,7	16,2	13,0	19,3	14,6
0200	-1,7	-2,0	-0,3	-0,6	5,3	5,0	10,4	9,4	15,4	12,7	18,5	14,4
0300	-2,3	-2,6	-0,9	-1,2	4,7	4,4	9,8	9,1	14,8	12,5	17,9	14,2
0400	-2,8	-3,1	-1,4	-1,6	4,3	4,0	9,3	8,9	14,4	12,3	17,5	14,0
0500	-2,9	-3,2	-1,5	-1,8	4,1	3,8	9,2	8,8	14,2	12,2	17,3	14,0
0600	-2,6	-2,9	-1,2	-1,5	4,4	4,1	9,5	9,0	14,5	12,3	17,6	14,1
0700	-1,9	-2,2	-0,5	-0,7	5,2	4,9	10,2	9,3	15,3	12,6	18,4	14,3
0800	-0,5	-1,2	0,9	0,6	6,5	6,2	11,6	9,9	16,6	13,1	19,7	14,8
0900	1,4	-0,2	2,8	2,6	8,5	8,1	13,5	10,7	18,6	13,9	21,7	15,5
1000	3,7	1,1	5,1	4,0	10,7	9,1	15,8	11,6	20,8	14,7	23,9	16,2
1100	6,2	2,5	7,6	5,2	13,3	10,1	18,3	12,5	23,4	15,5	26,5	17,1
1200	8,6	3,7	10,0	6,4	15,7	11,1	20,7	13,4	25,8	16,4	28,9	17,8
1300	10,4	4,6	11,8	7,2	17,5	11,8	22,5	14,1	27,6	16,9	30,7	18,4
1400	11,6	5,2	13,0	7,8	18,7	12,3	23,7	14,5	28,8	17,3	31,9	18,8
1500	12,1	5,4	13,5	8,0	19,1	12,5	24,2	14,7	29,2	17,5	32,3	18,9
1600	11,6	5,2	13,0	7,8	18,7	12,3	23,7	14,5	28,8	17,3	31,9	18,8
1700	10,6	4,7	12,0	7,3	17,6	11,9	22,7	14,2	27,7	17,0	30,8	18,4
1800	8,9	3,9	10,3	6,5	16,0	11,2	21,0	13,6	26,1	16,5	29,2	17,9
1900	7,0	2,9	8,4	5,6	14,0	10,5	19,1	12,8	24,1	15,8	27,2	17,3
2000	5,0	1,8	6,4	4,6	12,1	9,6	17,1	12,1	22,2	15,1	25,3	16,7
2100	3,4	0,9	4,8	3,8	10,4	8,9	15,5	11,5	20,5	14,6	23,6	16,1
2200	1,9	0,0	3,3	3,0	8,9	8,3	14,0	10,8	19,0	14,0	22,1	15,6
2300	0,7	-0,6	2,1	1,8	7,7	7,4	12,8	10,4	17,8	13,6	20,9	15,2

Hr	July		August		September		October		November		December	
	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB
0000	21,7	16,2	21,7	16,2	19,2	14,5	13,8	11,6	9,0	7,9	2,5	2,2
0100	21,0	15,9	21,0	15,9	18,4	14,3	13,0	11,3	8,3	7,6	1,8	1,5
0200	20,2	15,7	20,2	15,7	17,7	14,0	12,3	11,0	7,5	7,3	1,0	0,8
0300	19,6	15,5	19,6	15,5	17,1	13,8	11,7	10,7	6,9	6,7	0,4	0,2
0400	19,2	15,3	19,2	15,3	16,6	13,6	11,2	10,6	6,5	6,2	0,0	-0,3
0500	19,0	15,3	19,0	15,3	16,5	13,6	11,1	10,5	6,3	6,1	-0,2	-0,4
0600	19,3	15,4	19,3	15,4	16,8	13,7	11,4	10,6	6,6	6,4	0,1	-0,1
0700	20,1	15,6	20,1	15,6	17,5	14,0	12,1	10,9	7,4	7,1	0,9	0,6
0800	21,4	16,1	21,4	16,1	18,9	14,4	13,5	11,5	8,7	7,8	2,2	2,0
0900	23,4	16,7	23,4	16,7	20,8	15,1	15,4	12,2	10,7	8,7	4,2	3,1
1000	25,6	17,5	25,6	17,5	23,1	15,9	17,7	13,1	12,9	9,6	6,4	4,2
1100	28,2	18,3	28,2	18,3	25,6	16,7	20,2	14,0	15,5	10,7	9,0	5,5
1200	30,6	19,0	30,6	19,0	28,0	17,5	22,6	14,9	17,9	11,6	11,4	6,7
1300	32,4	19,5	32,4	19,5	29,8	18,1	24,4	15,5	19,7	12,3	13,2	7,5
1400	33,6	19,9	33,6	19,9	31,0	18,4	25,6	15,9	20,9	12,8	14,4	8,0
1500	34,0	20,0	34,0	20,0	31,5	18,6	26,1	16,1	21,3	13,0	14,8	8,2
1600	33,6	19,9	33,6	19,9	31,0	18,4	25,6	15,9	20,9	12,8	14,4	8,0
1700	32,5	19,6	32,5	19,6	30,0	18,1	24,6	15,5	19,8	12,4	13,3	7,5
1800	30,9	19,1	30,9	19,1	28,3	17,6	22,9	15,0	18,2	11,7	11,7	6,8
1900	28,9	18,5	28,9	18,5	26,4	17,0	21,0	14,3	16,2	11,0	9,7	5,9
2000	27,0	17,9	27,0	17,9	24,4	16,3	19,0	13,6	14,3	10,2	7,8	4,9
2100	25,3	17,4	25,3	17,4	22,8	15,8	17,4	13,0	12,6	9,5	6,1	4,1
2200	23,8	16,9	23,8	16,9	21,3	15,3	15,9	12,4	11,1	8,8	4,6	3,3
2300	22,6	16,5	22,6	16,5	20,1	14,9	14,7	11,9	9,9	8,3	3,4	2,7

EK-3. Yapı Bileşenlerinin Detayları

-DD1 tuğla duvar

Outside Surface Color Dark

Absorptivity 0,900

Overall U-Value 0,529 W/(m²-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
İç sıva	20,000	1800,0	1,00	0,02000	36,0
Tuğla Duvar	150,000	1400,0	1,00	0,25900	210,0
Taş Yünü	50,000	500,0	1,00	1,42900	25,0
Dış Sıva	20,000	2000,0	1,00	0,01300	40,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	240,000	-		1,89100	311,0

-DD2 cam kaplamalı duvar

Outside Surface Color Dark

Absorptivity 0,900

Overall U-Value 0,485 W/(m²-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
İç sıva	20,000	1800,0	1,00	0,02000	36,0
Alçıpan Levha	160,000	1200,0	1,00	0,27600	192,0
Taş Yünü	50,000	500,0	1,00	1,42900	25,0
Hava Boşluğu	20,000	0,0	1,00	0,16000	0,0
Cam Kaplama	6,000	2500,0	1,00	0,00800	15,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	256,000	-		2,06300	268,0

-DD3 perde duvar

Outside Surface Color Dark

Absorptivity 0,900

Overall U-Value 0,584 W/(m²-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
İç sıva	20,000	1800,0	1,00	0,02000	36,0
Betonarme Perde	200,000	2400,0	1,00	0,08000	480,0
Taş Yünü	50,000	500,0	1,00	1,42900	25,0
Dış Sıva	20,000	2000,0	1,00	0,01300	40,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,04000	0,0
Totals	290,000	-		1,71200	581,0

EK-3. (devam) Yapı Bileşenlerinin Detayları

-DÖ1 toprak temaslı döşeme

Outside Surface Color Dark

Absorptivity 0,900

Overall U-Value 0,613 W/(m²-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,17000	0,0
Seramik	3,000	1200,0	1,00	0,00300	3,6
Şap	30,000	2000,0	1,00	0,02100	60,0
XPS yalıtım	40,000	25,0	1,00	1,33300	1,0
Tesviye şapı	20,000	2000,0	1,00	0,01400	40,0
Hafif beton	100,000	1800,0	1,00	0,09100	180,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,00001	0,0
Totals	193,000	-		1,63201	284,6

-DÖ2 ara kat döşeme

Outside Surface Color Dark

Absorptivity 0,900

Overall U-Value 2,208 W/(m²-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,17000	0,0
Laminant parke	10,000	1500,0	1,00	0,04348	15,0
Şap	30,000	2000,0	1,00	0,02143	60,0
Betonarme döşeme	120,000	2400,0	1,00	0,04800	288,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,17000	0,0
Totals	160,000	-		0,45291	363,0

-DÖ3 çatı altı döşeme

Outside Surface Color Dark

Absorptivity 0,900

Overall U-Value 0,645 W/(m²-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
Cam yünü yalıtım	50,000	500,0	1,00	1,25000	25,0
Şap	30,000	2000,0	1,00	0,02143	60,0
Betonarme döşeme	120,000	2400,0	1,00	0,04800	288,0
İç sıva	0,020	1800,0	1,00	0,02000	0,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,08000	0,0
Totals	200,020	-		1,54943	373,0

EK-3. (devam) Yapı Bileşenlerinin Detayları

-İD1 iç duvar

Outside Surface Color Dark

Absorptivity 0,900

Overall U-Value 2,075 W/(m²-°K)

Layers	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ / (kg - °K)	R-Value (m ² -°K)/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
İç sıva	20,000	1800,0	1,00	0,02500	36,0
Tuğla Duvar	150,000	1400,0	1,00	0,17200	210,0
İç sıva	20,000	1800,0	1,00	0,02500	36,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,13000	0,0
Totals	190,000	-		0,48200	282,0

EK-4. Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

-Zemin kat

1. General Details:

Floor Area 280,0 m²
 Avg. Ceiling Height 3,0 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
 OA Requirement 1 0,0 L/s/person
 OA Requirement 2 0,00 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2007

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 20,00
 W/m²
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule Kiralik Alan Aydinlatma&Elektr

2.4. People:

Occupancy 15,0
 People
 Activity Level Office Work
 Sensible 71,8
 W/person
 Latent 60,1
 W/person
 Schedule Ofis Insan

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00
 W/m²
 Schedule Kiralik Alan Aydinlatma&Elektr

2.5. Miscellaneous Loads:

Sensible 0
 W
 Schedule None
 Latent 0
 W
 Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 25,00 W/m²
 Schedule Kiralik Alan Aydinlatma&Elektr

EK-4. (devam) Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
SE	38,0	5	0	0
SW	48,0	5	0	0
NW	71,0	5	0	10
NE	48,0	5	0	0

3.1. Construction Types for Exposure SE

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

3.2. Construction Types for Exposure SW

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

3.3. Construction Types for Exposure NW

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

Door Type Dış kapı

3.4. Construction Types for Exposure NE

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 200,00 L/s

Design Heating 200,00 L/s

Energy Analysis 200,00 L/s

Infiltration occurs at all hours.

EK-4. (devam) Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

6. Floors:

Type Slab Floor On Grade
 Floor Area 280,0 m²
 Total Floor U-Value 0,613 W/(m²-°K)
 Exposed Perimeter 0,0 m
 Edge Insulation R-Value 0,00 (m²-°K)/W

7. Partitions:

7.1. 1st Partition Details:

Partition Type Wall Partition
 Area 105,0 m²
 U-Value 2,073 W/(m²-°K)
 Uncondit. Space Max Temp 30,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 30,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 10,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 10,0 °C

-Birinci kat

1. General Details:

Floor Area 340,0 m²
 Avg. Ceiling Height 3,0 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
 OA Requirement 1 0,0 L/s/person
 OA Requirement 2 0,00 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2007

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 20,00
 W/m²

Ballast Multiplier 1,00

Schedule Kiralik Alan Aydinlatma&Elektr

EK-4. (devam) Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

2.4. People: Sensible 71,8
 Occupancy 15,0 W/person
 People Latent 60,1
 Activity Level Office Work W/person
 Schedule Ofis İnsan

2.2. Task Lighting: 2.5. Miscellaneous Loads:
 Wattage 0,00 Sensible 0
 W/m² W
 Schedule Kiralık Alan Aydınlatma&Elektr Schedule None
 Latent 0
 W
 Schedule None

2.3. Electrical Equipment:
 Wattage 25,00 W/m²
 Schedule Kiralık Alan Aydınlatma&Elektr

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
SE	38,0	5	0	0
SW	51,0	5	0	0
NW	71,0	5	0	0
NE	51,0	5	0	0

3.1. Construction Types for Exposure SE

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI
 1st Window Type CCP1

3.2. Construction Types for Exposure SW

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI
 1st Window Type CCP1

EK-4. (devam) Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

3.3. Construction Types for Exposure NW

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

3.4. Construction Types for Exposure NE

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

4. Roofs, Skylights:

(No Roof or Skylight data).

5. Infiltration:

Design Cooling 200,00 L/s

Design Heating 200,00 L/s

Energy Analysis 200,00 L/s

Infiltration occurs at all hours.

6. Floors:

Type Floor Above Unconditioned Space

Floor Area 340,0 m²

Total Floor U-Value 2,208 W/(m²-°K)

Unconditioned Space Max Temp. 30,0 °C

Ambient at Space Max Temp. 30,0 °C

Unconditioned Space Min Temp. 10,0 °C

Ambient at Space Min Temp. 10,0 °C

7. Partitions:

EK-4. (devam) Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

7.1. 1st Partition Details:

Partition Type Wall Partition
 Area 105,0 m²
 U-Value 2,073 W/(m²-°K)
 Uncondit. Space Max Temp 30,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 30,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 10,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 10,0 °C

-İkinci kat

1. General Details:

Floor Area 340,0 m²
 Avg. Ceiling Height 3,0 m
 Building Weight 341,8 kg/m²

1.1. OA Ventilation Requirements:

Space Usage User-Defined
 OA Requirement 1 0,0 L/s/person
 OA Requirement 2 0,00 L/(s-m²)
 Space Usage Defaults ASHRAE Standard 62.1-2007

2. Internals:

2.1. Overhead Lighting:

Fixture Type Recessed (Unvented)
 Wattage 20,00
 W/m²
 Ballast Multiplier 1,00
 Schedule Kiralik Alan Aydinlatma&Elektr

2.4. People:

Occupancy 15,0
 People
 Activity Level Office Work
 Sensible 71,8
 W/person
 Latent 60,1
 W/person
 Schedule Ofis İnsan

2.2. Task Lighting:

Wattage 0,00 W/m²
 Schedule Kiralik Alan Aydinlatma&Elektr

EK-4. (devam) Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

Schedule None

2.5. Miscellaneous Loads: Latent 0

Sensible 0 W

..... W Schedule None

2.3. Electrical Equipment:

Wattage 25,00 W/m²

Schedule Kiralik Alan Aydinlatma&Elektr

3. Walls, Windows, Doors:

Exp.	Wall Gross Area (m ²)	Window 1 Qty.	Window 2 Qty.	Door 1 Qty.
SE	38,0	5	0	0
SW	51,0	5	0	0
NW	71,0	5	0	0
NE	51,0	5	0	0

3.1. Construction Types for Exposure SE

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

3.2. Construction Types for Exposure SW

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

3.3. Construction Types for Exposure NW

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

3.4. Construction Types for Exposure NE

Wall Type DD2-CAM KAPLAMALI

1st Window Type CCP1

4. Roofs, Skylights:

Exp.	Roof Gross Area (m ²)	Roof Slope (deg.)	Skylight Qty.
H	340,0	0	0

4.1. Construction Types for Exposure H

Roof Type TA1-Teras Tavan Çatı

EK-4. (devam) Mahallere Ait Isı Yük Kazanç Detayları

5. Infiltration:

Design Cooling 200,00 L/s
 Design Heating 200,00 L/s
 Energy Analysis 200,00 L/s
 Infiltration occurs at all hours.

6. Floors:

Type Floor Above Unconditioned Space
 Floor Area 340,0 m²
 Total Floor U-Value 2,208 W/(m²-°K)
 Unconditioned Space Max Temp. 30,0 °C
 Ambient at Space Max Temp. 30,0 °C
 Unconditioned Space Min Temp. 10,0 °C
 Ambient at Space Min Temp. 10,0 °C

7. Partitions

7.1. 1st Partition Details:

Partition Type Wall Partition
 Area 105,0 m²
 U-Value 2,073 W/(m²-°K)
 Uncondit. Space Max Temp 30,0 °C
 Ambient at Space Max Temp 30,0 °C
 Uncondit. Space Min Temp 10,0 °C
 Ambient at Space Min Temp 10,0 °C

EK-5. Soğutma Yük Hesapları

-Zemin kat

COMPONENT LOADS FOR SPACE " ZO1 DÜKKAN "						
	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1600 COOLING OA DB / WB 33,6 °C / 19,9 °C OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB -12,0 °C / -13,5 °C OCCUPIED T-STAT 22,0 °C		
		Sensible (W)	Latent (W)		Sensible (W)	Latent (W)
SPACE LOADS	Details			Details		
Window & Skylight Solar Loads	20 m ²	2364	-	20 m ²	-	-
Wall Transmission	175 m ²	488	-	175 m ²	2884	-
Roof Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Window Transmission	20 m ²	431	-	20 m ²	2040	-
Skylight Transmission	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Door Loads	10 m ²	1704	-	10 m ²	1020	-
Floor Transmission	280 m ²	0	-	280 m ²	0	-
Partitions	105 m ²	973	-	105 m ²	2612	-
Ceiling	0 m ²	0	-	0 m ²	0	-
Overhead Lighting	5600 W	4861	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	7000 W	6588	-	0	0	-
People	15	796	901	0	0	0
Infiltration	-	2071	-580	-	7374	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	10% / 10%	2028	32	30%	4779	0
>> Total Zone Loads	-	22303	353	-	20710	0

ENVELOPE LOADS FOR SPACE " ZO1 DÜKKAN "						
				COOLING	COOLING	HEATING
	Area	U-Value	Shade	TRANS	SOLAR	TRANS
	(m ²)	(W/(m ² -°K))	Coeff.	(W)	(W)	(W)
SE EXPOSURE						
WALL	33	0,485	-	124	-	544
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	557	510
SW EXPOSURE						
WALL	43	0,485	-	110	-	709
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	801	510
NW EXPOSURE						
WALL	56	0,485	-	120	-	923
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	567	510
DOOR GLASS	10	3,000	0,880	215	1489	1020
NE EXPOSURE						
WALL	43	0,485	-	134	-	709
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	439	510

EK-5. (devam) Soğutma Yük Hesapları

-Birinci kat

COMPONENT LOADS FOR SPACE "101 OFIS"						
	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1600 COOLING OA DB / WB 33,6 °C / 19,9 °C OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB -12,0 °C / -13,5 °C OCCUPIED T-STAT 22,0 °C		
		Sensible (W)	Latent (W)		Sensible (W)	Latent (W)
SPACE LOADS	Details			Details		
Window & Skylight Solar Loads	20 m²	2364	-	20 m²	-	-
Wall Transmission	191 m²	526	-	191 m²	3148	-
Roof Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Window Transmission	20 m²	431	-	20 m²	2040	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	340 m²	3356	-	340 m²	9009	-
Partitions	105 m²	973	-	105 m²	2612	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	6800 W	5903	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	8500 W	7999	-	0	0	-
People	15	796	901	0	0	0
Infiltration	-	2071	-757	-	7374	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	10% / 10%	2442	14	30%	7255	0
>> Total Zone Loads	-	26861	158	-	31438	0

ENVELOPE LOADS FOR SPACE " 101 OFIS "						
				COOLING	COOLING	HEATING
	Area	U-Value	Shade	TRANS	SOLAR	TRANS
	(m²)	(W/(m²-°K))	Coeff.	(W)	(W)	(W)
SE EXPOSURE						
WALL	33	0,485	-	124	-	544
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	557	510
SW EXPOSURE						
WALL	46	0,485	-	118	-	758
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	801	510
NW EXPOSURE						
WALL	66	0,485	-	141	-	1088
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	567	510
NE EXPOSURE						
WALL	46	0,485	-	143	-	758
WINDOW 1	5	3,000	0,670	108	439	510

EK-5. (devam) Soğutma Yük Hesapları

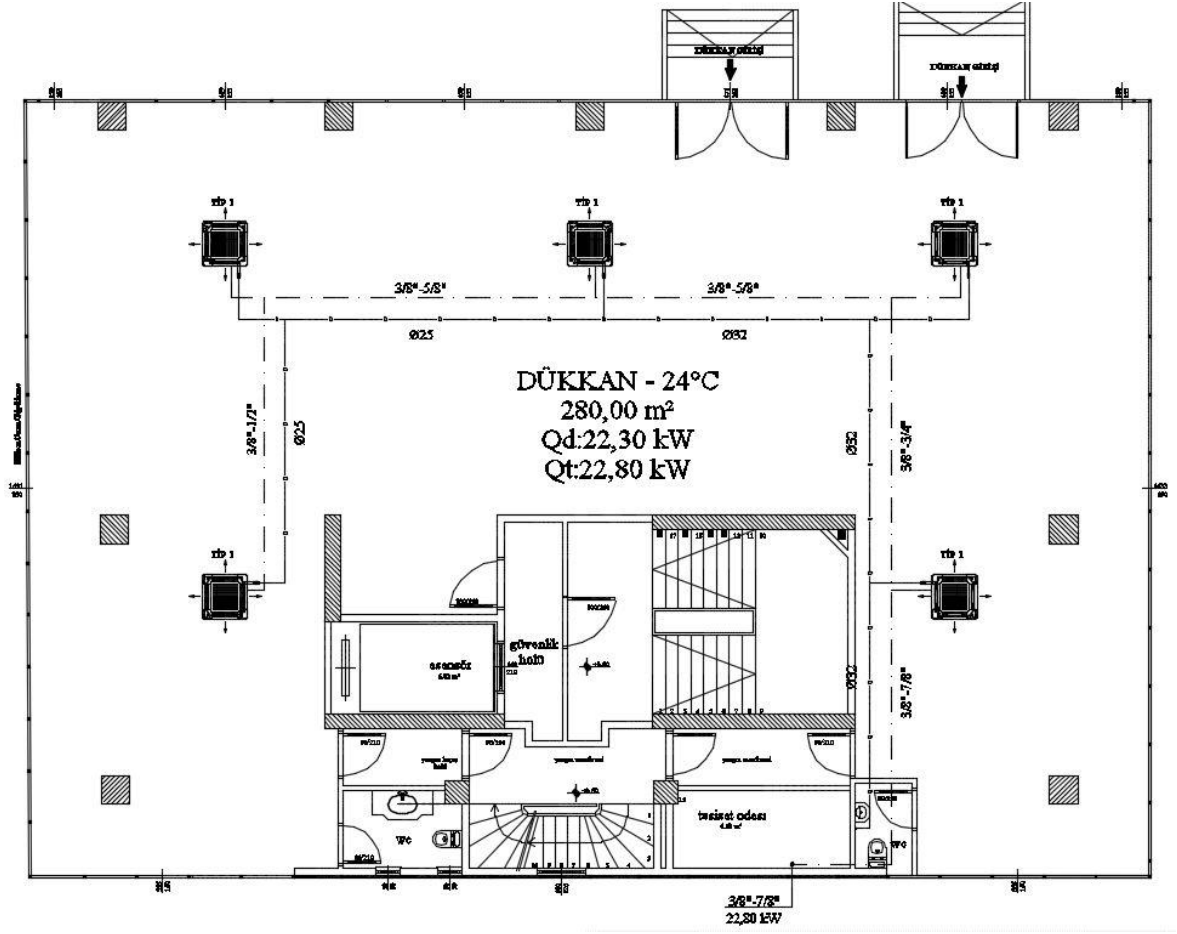
-İkinci kat

COMPONENT LOADS FOR SPACE " 201 Ofis "						
	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1700 COOLING OA DB / WB 32,5 °C / 19,6 °C OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB -12,0 °C / -13,5 °C OCCUPIED T-STAT 22,0 °C		
		Sensible (W)	Latent (W)		Sensible (W)	Latent (W)
SPACE LOADS	Details			Details		
Window & Skylight Solar Loads	20 m²	2441	-	20 m²	-	-
Wall Transmission	191 m²	567	-	191 m²	3148	-
Roof Transmission	340 m²	3978	-	340 m²	7463	-
Window Transmission	20 m²	397	-	20 m²	2040	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	340 m²	3431	-	340 m²	9009	-
Partitions	105 m²	995	-	105 m²	2612	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	6800 W	5962	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	8500 W	8032	-	0	0	-
People	5	484	270	0	0	0
Infiltration	-	1844	-346	-	7374	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	10% / 10%	2813	-8	30%	9494	0
>> Total Zone Loads	-	30944	-83	-	41140	0

ENVELOPE LOADS FOR SPACE " 201 Ofis "						
				COOLING	COOLING	HEATING
	Area (m²)	U-Value (W/(m²·°K))	Shade Coeff.	TRANS (W)	SOLAR (W)	TRANS (W)
SE EXPOSURE						
WALL	33	0,485	-	134	-	544
WINDOW 1	5	3,000	0,670	99	527	510
SW EXPOSURE						
WALL	46	0,485	-	130	-	758
WINDOW 1	5	3,000	0,670	99	814	510
NW EXPOSURE						
WALL	66	0,485	-	151	-	1088
WINDOW 1	5	3,000	0,670	99	683	510
NE EXPOSURE						
WALL	46	0,485	-	151	-	758
WINDOW 1	5	3,000	0,670	99	417	510
H EXPOSURE						
ROOF	340	0,646	-	3978	-	7463

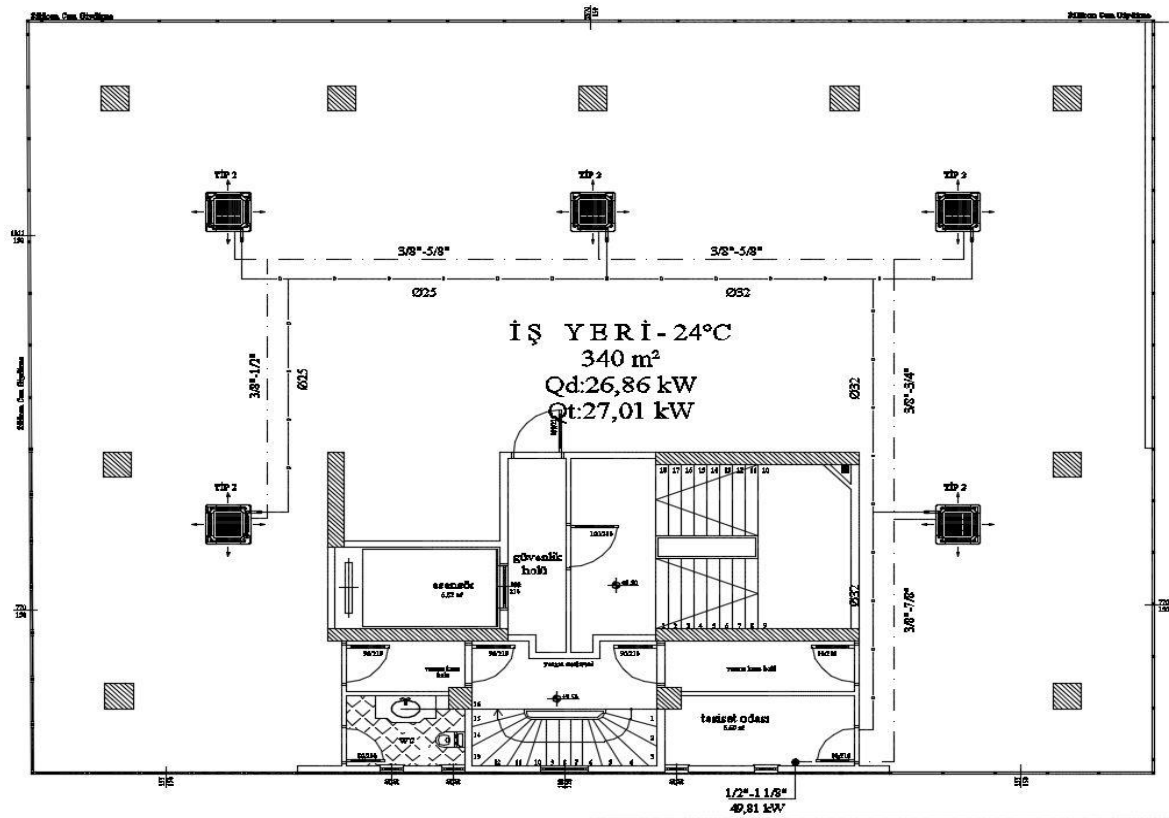
EK-6. Merkezi VRF Sistemi Kat Planları

-Zemin kat



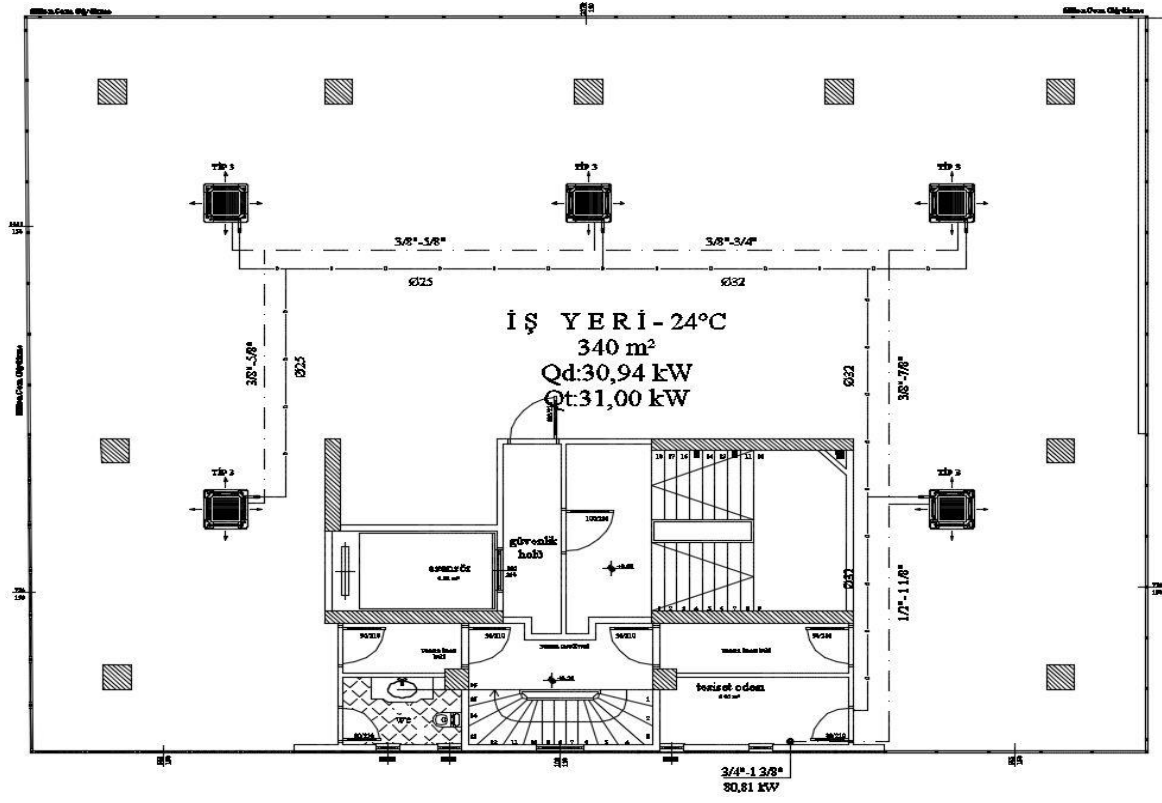
EK-6. (devam) Merkezi VRF Sistemi Kat Planları

-Birinci kat

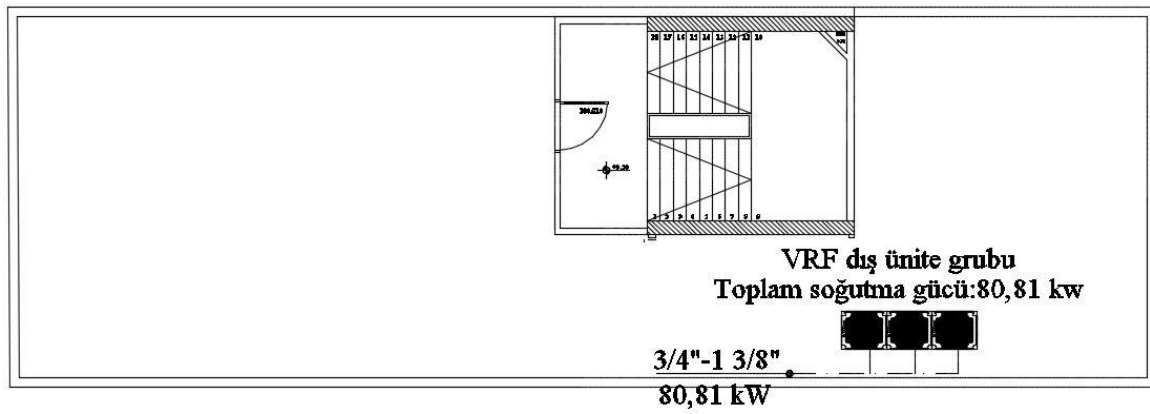


EK-6. (devam) Merkezi VRF Sistemi Kat Planları

-İkinci kat



-Çatı katı

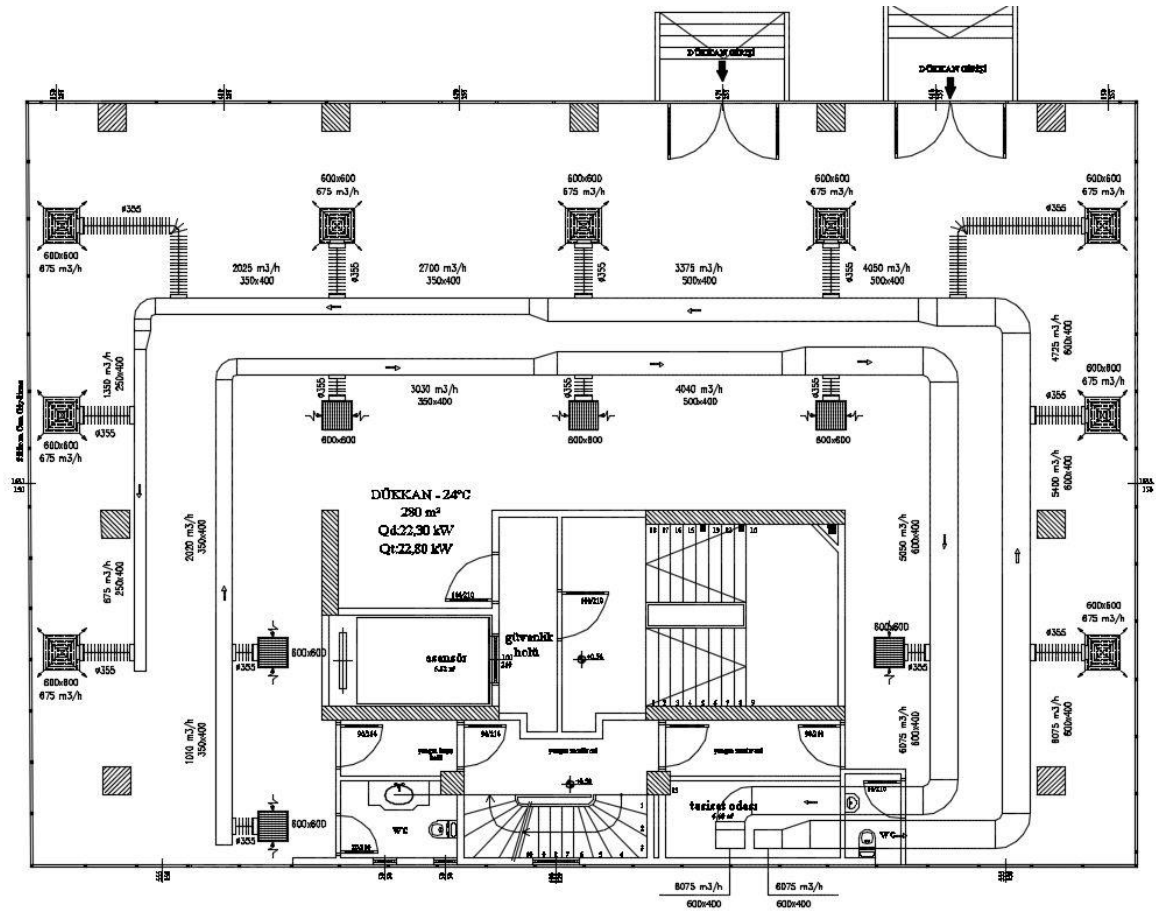


EK-7. Hava Soğutmalı Chiller-Fancoil Sistemi Çatı Katı



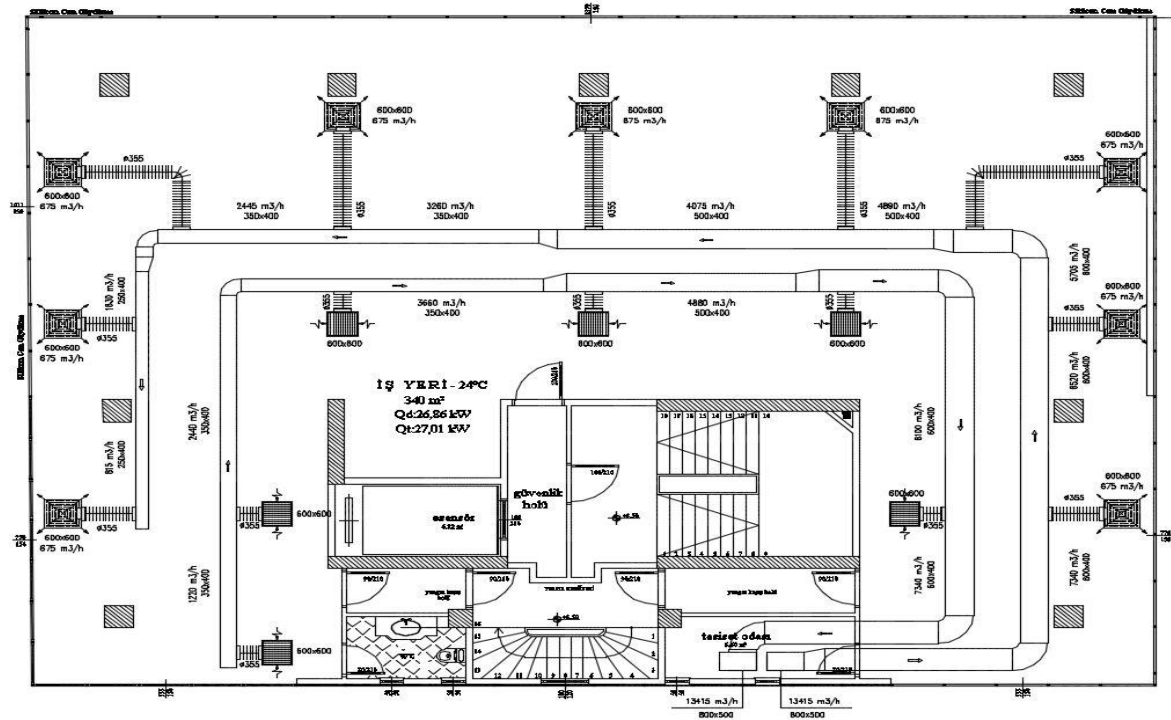
EK-8. Hava Soğutmalı Chiller-Klima Santrali Sistemi Planları

-Zemin kat

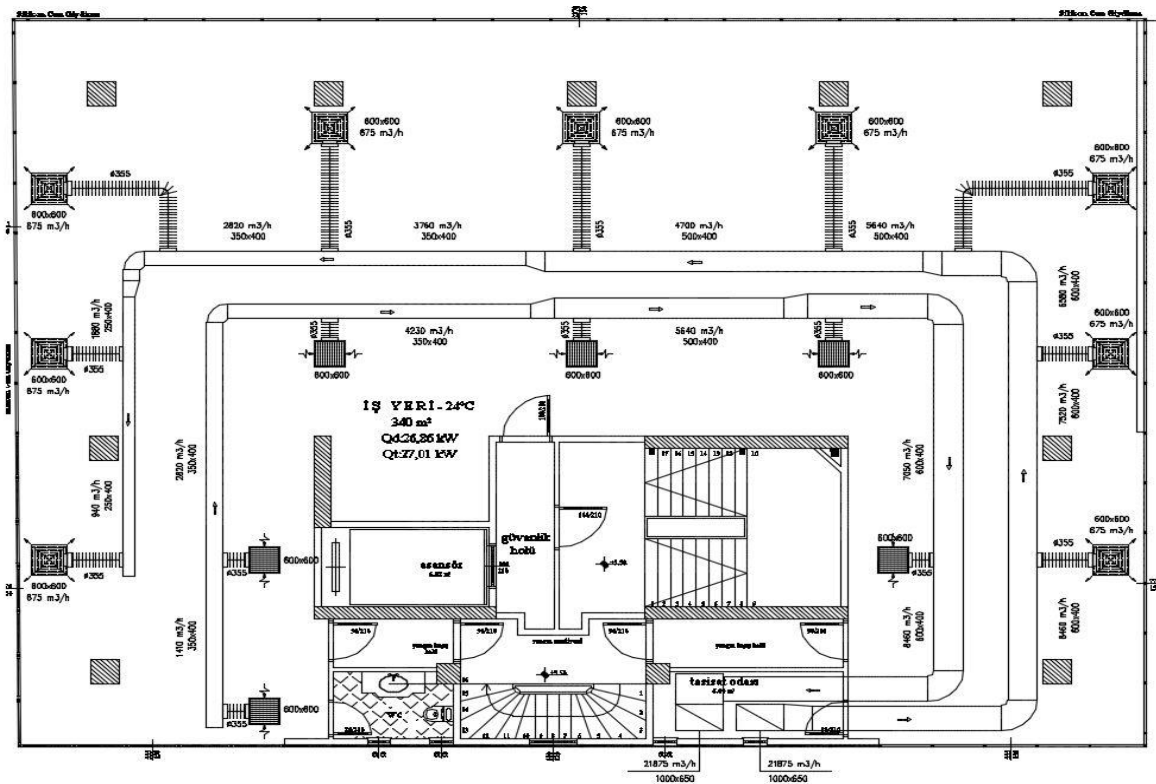


EK-8. (devam) Hava Soğutmalı Chiller-Klima Santrali Sistemi Planları

-Birinci kat

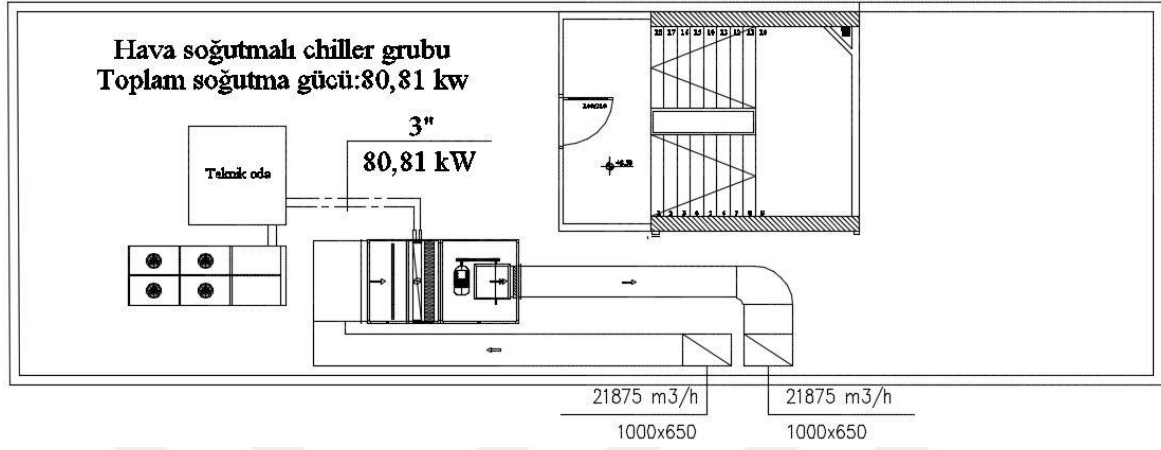


-İkinci kat

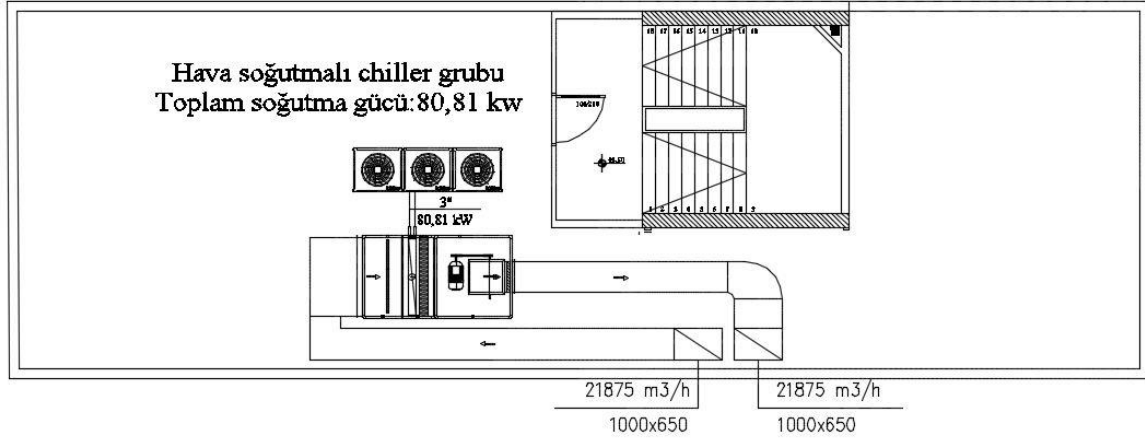


EK-8. (devam) Hava Soğutmalı Chiller-Klima Santrali Sistemi Planları

-Çatı katı



EK-9. VRF-Klima Santrali Sistemi Çatı Katı





GAZİ GELECEKTİR..