MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞKEN DEBİLİ SOĞUTUCU AKIŞKAN (VRF) VE FAN COIL (FCU) SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ALPEREN TURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ayhan ONAT

EŞ-DANIŞMAN
Prof. Dr. Adnan KAKİLLİ

İSTANBUL, 2020

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞKEN DEBİLİ SOĞUTUCU AKIŞKAN (VRF) VE FAN COIL (FCU) SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ALPEREN TURAN

523215014

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ayhan ONAT

EŞ-DANIŞMAN
Prof. Dr. Adnan KAKİLLİ

İSTANBUL, 2020

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Alperen TURAN'ın "Değişken Debili Soğutucu Akışkan (VRF) ve Fan Coil (FCU) Sistemlerini Karşılaştırılması" başlıklı tez çalışması 03/02/2020 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Marmara Üniversitesi Prof. Dr. M. Osman ISIKAN (İMZA).....

Marmara Üniversitesi Doç. Dr. Ayhan ONAT (İMZA).....

Düzce Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Kadir İSA (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Yönetim Kurulunun 5.2.2020 tarih ve 2020/03-04 sayılı kararı ile Alperen Turan'ın Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği (Türkçe) Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ
Enstitü Müdürü

"

TEŞEKKÜR

Tez çalışması sürecinde yardımlarını ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocalarım Doç. Dr. Ayhan ONAT ve Prof. Dr. Adnan KAKİLLİ'ye teşekkür ederim. Teknik bilgi ve araştırma konularında tez sürecim boyunca yanımda olan Fortes Mühendislik ailesine desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Her durumda yardımlarını esirgemeyen anneme, babama, kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2020 **Alperen TURAN**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
ÖZET iv
ABSTRACT v
VRF SYSTEM&FAN COIL SYSTEM DESİGN AND ENERGY ANALYSIS v
SEMBOLLER vi
KISALTMALAR viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xi
1.GİRİŞ 1
1.1. Tezin Amaçları 1
1.2. Literatür Araştırması 1
1.3. Değişken Debili Soğutucu Akışkan (VRF) Sistemi 4
1.3.1. İki Borulu Sistem 6
1.3.2. Üç Borulu Sistem 7
1.3.3. VRF Sistemi Ekipmanları 8
1.3.3.1. Dış Üniteler 9
1.3.3.1.1. Hava Soğutmalı Kondenserli VRF 9
1.3.2.1.2. Su Soğutmalı Kondenserli VRF 10
1.3.2.2. İç Üniteler 10
1.3.2.3. Bakır Borulama 12
1.3.2.4. Soğutucu Akışkan 12
1.3.2.5. Branşman Kitleri 12
1.3.2.6. Otomasyon 13
1.4. Fan Coil (FCU) Sistemi 14
1.4.1. FCU Sistemi Ekipmanları 14
1.4.1.1. Su Soğutma Grubu (Chiller) 14
1.4.1.2. Su Isıtma Grubu (Kazan) 15
1.4.1.3. Sirkülasyon Pompası 16
1.4.1.4. FCU İç Üniteleri 16
1.4.1.5. Mekanik Oda Ekipmanları 16
1.4.1.6. Borulama ve İzolasyon Malzemeleri 17

1.4.2. İki Borulu Fan Coil Sistemi 17
1.4.3. Dört Borulu Fan Coil Sistemi 18
2. MATERYAL VE YÖNTEM 21
2.1. Binanın Genel Özellikleri 21
2.2. Bina Yapısı ve Sistem Seçimi 21
2.3. Transfer Fonksiyon Metodu 26
2.4. Isı Transfer Etkenleri 26
2.4.1. Duvar ve Çatı Yükleri Hesabı 26
2.4.2. Cam Güneş Yükü Hesabı 27
2.4.3. Cam Isı Geçisi Yükü Hesabı 27
2.4.4. Bölme ve Tavan Yükü Hesabı 28
2.4.5. Kat Yükü Hesabı 28
2.4.6. Aydınlatma Yükü Hesabı 29
2.4.7. Elektrik Ekipman Yükü Hesabı 30
2.4.8. İnsan Yükü Hesabı 30
2.4.9. İnfiltrasyon Isı Yükü Hesabı 31
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 33
3.1. Isı Kayıp Kazanç Hesabı 33
3.2. Cihaz Seçimleri 39
3.2.1. VRF Sistemi Cihaz Seçimleri 39
3.2.2. FCU Sistemi Cihaz Seçimleri 40
3.3. FCU ve VRF Sistemi Cihaz Yatırım ve İşletme Maliyetleri 43
4. SONUÇLAR 51
KAYNAKLAR 53

ÖZET

VRF SİSTEMİ&FAN COIL SİSTEMİ TASARIMI VE ENERJİ ANALİZLERİ

İklimlendirme sistemlerinde; konfor, enerji verimliliği, kurulum ve işletme kolaylığı açısından değişken debili soğutucu akışkan (VRF) sistemleri son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu sistemlerde, cihazın içinde bulunan soğutucu akışkan sayesinde ısıtma ve soğutma işlemi yapılabilmektedir. İklimlendirme sistemlerinde kullanılan diğer bir uygulama ise Fan Coil (FCU) sistemidir. Fan coil sistemi enerjinin su ile taşındığı ısıtma ve soğutma uygulamasıdır. Konfor şartları ve tasarım taleplerine göre iki (2) borulu ve dört (4) borulu olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada bir cadde mağazasının ısı kayıp kazanç yükleri, Transfer Fonksiyon Metodu (TFM) yöntemine göre değerlendirme ve analiz yapan Hourly Analysis Program'ı (HAP) kullanılarak hesaplanmıştır. 1076 m^2 alan için hesaplanan toplam soğutma yükü 152,93 kW ve ısıtma yükü ise 74,9 kW olmuştur. Hesaplanan mahal ısı yüklerine göre VRF ve FCU sistem ekipmanları seçilmiştir.

Seçilen ekipmanlara göre yapılan analizler sonucunda; VRF sistemlerinin yatırım maliyetlerinde %24,6 , işletme giderlerinde %32,5 ve enerji tüketiminde %33,7 daha fazla avantaj sağladığı tespit edilmiştir. Bu kapasitede ki yapılarda yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve enerji tüketimi açısından VRF sistemlerinin kullanılmasının daha uygun olacağı ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: VRF, Fan Coil, VRF ve Fan Coil Karşılaştırma, Transfer Fonksiyon Metodu, Hourly Anaylsis Program

ABSTRACT

VRF SYSTEM&FAN COIL SYSTEM DESİGN AND ENERGY ANALYSIS

In air conditioning systems; In terms of comfort, energy efficiency, ease of installation and operation, variable flow refrigerant (VRF) systems have recently become widely used. In these systems, heating and cooling process can be performed by means of the refrigerant in the device. Another application used in air conditioning systems is the Fan Coil (FCU) system. Fan coil system is the heating and cooling application where energy is carried by water. It is used as two (2) pipe and four (4) pipe according to comfort conditions and design demands. In this study, the heat loss gain loads of a street store were calculated using the Hourly Analysis Program (HAP), which evaluates and analyzes according to the Transfer Function Method (TFM) method. The total cooling load calculated for an area of 1076 m2 was 152,93 kW and the heating load was 74,9 kW. VRF and FCU system equipments were selected according to the calculated heat loads.

As a result of the analysis made according to the selected equipment; It has been found that VRF systems provide %24,6 advantage in investment costs, %32,5 in operating expenses and %33,7 in energy consumption. It has been shown that it is more appropriate to use VRF systems in terms of investment costs, operating costs and energy consumption in buildings of this capacity.

Key words: VRF, Fan Coil, VRF and Fan Coil Compare, Transfer Function Method, Hourly Analysis Program

SEMBOLLER

a	:	Duvar veya çatı sıcaklık emiciliği katsayısı (Birimsiz)
A	:	Cam alanı (m^2)
A	:	Pencere alanı (m^2)
AF	:	Boşluk için taban alanı (m^2)
ASHG	:	Güneş ısısının absorbe edilen bileşeni (W)
ASGHb	:	Absorbe edilmiş güneş ısısı kazancının ışın bileşeni (W)
ASHGd	:	Absorbe edilmiş güneş ısısı kazancının dağınık bileşenleri (W/m^2)
BM	:	Balast çarpanı, ondalık
C_{pa}	:	Hava ısı kapasitesi (1004.8 J/Kg-k)
D_f	:	Katın zeminden aşağısında yer alan kotu (m)
D_i	:	Zemin kotu altında ki duvarın derinliği (m)
D_R	:	Dış yüzeydeki uzun dalga radyasyonu ile kara cisim radyasyonu arasındaki fark.
e	:	Dış yüzeyin yarım küre salınımı. 1.0 değeri kullanılır.
F_s	:	Maksimum aydınlatma yükünün saatlik yüzde değeri
F_s	:	Doğrudan güneş ışığından gölgeli pencere alanı kesri, ondalık
F_s	:	Maksimum insan yükünün saatlik yüzde değeri
F_s	:	Maksimum elektrik ekipman yükünün saatlik yüzde değeri
H	:	Kat zeminden tavana olan yükseklik (m)
H_{fg}	:	Suyun buharlaşma ısısı (2.4535x10^6 J/kg)
h_o	:	Dış yüzey konveksiyon katsayısı (34.1 W/m^2-K)
h_o	:	Dış duvar veya çatı yüzeyinde konvektif ısı transfer katsayısı (17.0 W/m^2)
I_t	:	Duvar veya yüzey üzerinden ısı akısı (W/m^2)
K	:	Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için 1.0
k_{soil}	:	Toprak ısı iletkenliği (W/m-K)
N_i	:	Binanın iç kısmına yapılan referans cam tarafından absorbe edilen güneş ışınımının oranı. 0.267'lik standart bir değer kullanılır.
O	:	Maksimum insan sayısı
P	:	Toprakla temasa maruz kalan duvarın çevresi (m)
pe	:	Elektrik ekipman maksimum gücü (watt)
Pı	:	Aydınlatma gücü armatürü (watt)
ρ_a	:	Hava yoğunluğu, yüksekliğe bağlı olarak (kg/m^3)
R_s	:	Zemin malzemesi karo veya halı gibi herhangi bir kaplama ve iç yüzey direnci dahil ısıl direnci ($(m^2$-k)/W)
R_{si}	:	Döşeme yalıtımı için ısı direnci ($(m^2$-k)/W)
R_w	:	Duvar malzemesi karo veya halı gibi herhangi bir kaplama ve iç yüzey direnci dahil ısıl direnci ($(m^2$-k)/W)

R_{wi} : Bodrum duvarın dış yüzeyine uygulanan yalıtımın ısı direnci ((m²-k)/W)
SC : Pencerenin genel gölge katsayısı. (Birimsiz)

SHG : Pencere, W için toplam güneş ısısı kazancı

T_{adj} : Bitişik boşluktaki sıcaklık (°C)
T_r : Oda hava sıcaklığı (°C)

TSHG : Güneş ısısı kazancının bileşeni (W)

TSHGb : İletilen güneş ısısı kazancının bileşeni (W)

TSHGd : İletilen güneş ısısı kazancının değişken bileşeni (W/m²)

T_{sa} : İç hava sıcaklığı (°C)

T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)
U : U değeri (W/m²-K)

V_i : İnfiltrasyon hava akış hızı (L/s)
q : Isı kazancı (W)

Q_l : Gizli infiltrasyon yükü (W)
q_f : Zemin ısı kazancı (W)

Q_s : Hissedilir infiltrasyon yükü (W)

w_{oa} : Dış havaya özgü nem (kg/kg)

w_r : Odaya özgü nem (kg/kg)

KISALTMALAR

A.B.D.	:	Amerika Birleşik Devletleri
COP	:	Performans katsayısı
EER	:	Enerji tasarruf oranı
EGV	:	Genleşme valfi
EEV	:	Elektronik genleşme valfi
FCU	:	Fan coil ünitesi
HAP	:	Hourly Analysis Program
TFM	:	Transfer Fonksiyon Methodu
VRF	:	Değişken debili soğutucu akışkan

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. VRF sistem uygulaması….....5

Şekil 1.2. İki (2) borulu VRF sisteminin ısıtma ve soğutma modu uygulaması.....7

Şekil 1.3. Üç (3) borulu VRF sistem uygulaması.....8

Şekil 1.4. Inverter olan ve olmayan sistemlerin sıcaklık kontrol eğrileri..... 10

Şekil 1.5. Kaset tipi VRF iç ünite… ……..……...……11

Şekil 1.6. Döşeme tipi VRF iç ünite… ……..……..……...…11

Şekil 1.7. Kanallı tip VRF iç ünite… ……..……..……...……11

Şekil 1.8. Duvar tipi VRF iç ünite… ……..……...……...…11

Şekil 1.9. Salon tipi VRF iç ünite… ……..……...…11

Şekil 1.10. VRF sistemi gaz ve likit borusu...……..……...…..…….....12

Şekil 1.10. VRF sistemi BS kutusu……..……..……...…..…….....12

Şekil 1.12. Hava soğutmalı chiller…….……...…….….....14

Şekil 1.13. Duvar tipi kazan…….....…….....14

Şekil 1.14. Sirkülasyon pompası…..… ……..……15

Şekil 1.15 İki borulu fan coil çalışma prensibi……..…….…...…16

Şekil 1.16. Dört borulu fan coil çalışma prensibi …..……..……...……17

Şekil 1.17. Dört borulu fan coil sistemi……..……...……...…18

Şekil 2.1. Cadde mağazası zemin kat…….....…….....22

Şekil 2.2. Cadde mağazası 1. kat …….....……...…….....23

Şekil 2.3. Cadde mağazası 2, 3, ve 4. katlar…...……...…….....24

Şekil 2.4. Cadde mağazası 5. Kat……...……...…….....25

Şekil 3.1. Yatırım maliyetleri…..……...……...…….....45

Şekil 3.2. Elektrik tüketim değerleri…….....……...……...…….....46

Şekil 3.3. VRF işletme giderleri…….....……...…….…….....47

Şekil 3.4. FCU işletme giderleri…….……...…….....…….…….....48

Şekil 3.5. VRF ve FCU karşılaştırma ….……...…….....…….…….....49

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Mahal ısı yükleri…….....33

Tablo 3.2. Zemin kat deneme kabini ısı yükleri.....33

Tablo 3.3. Zemin kat satış alanı ısı yükleri.....34

Tablo 3.4 1. kat satış alanı ısı yükleri.....34

Tablo 3.5. 1. kat deneme kabini ısı yükleri.....35

Tablo 3.6. 2. kat satış alanı ısı yükleri ….....35

Tablo 3.7. 2. kat deneme kabini ısı yükleri….....35

Tablo 3.8. 3. kat satış alanı ısı yükleri….....36

Tablo 3.9. 3. kat deneme kabini ısı yükleri….....36

Tablo 3.10. 4. kat satış alanı ısı yükleri….....37

Tablo 3.11. 4. Kat deneme kabini ısı yükleri….....37

Tablo 3.12. 5. kat depo ısı yükleri.....38

Tablo 3.13. 5. kat müdür odası ısı yükleri……..….....38

Tablo 3.14. 5. kat personel soyunma odası-1 ısı yükleri.....38

Tablo 3.15. 5. kat personel soyunma odası-2 ısı yükleri.....39

Tablo 3.16. VRF cihaz ve kapasiteleri.....39

Tablo 3.17. VRF cihaz adetleri.....40

Tablo 3.18. Zonlar ve kapasiteler.....40

Tablo 3.19. FCU cihaz ve kapasiteleri.....40

Tablo 3.20. FCU cihaz adetleri.....41

Tablo 3.21. Chiller seçim tablosu.....41

Tablo 3.22. Chiller çevrimi pompa hesabı seçim tablosu.....41

Tablo 3.23. Kazan kapasitesi seçim tablosu.....41

Tablo 3.24. Kazan çevrimi pompa hesabı seçim tablosu…….....43

Tablo 3.25. Denge kabı seçim tablosu.....43

Tablo 3.26. VRF cihazları ve fiyatları.....44

Tablo 3.27. FCU cihazları ve fiyatları.....45

Tablo 3.28. VRF elektrik tüketim değerleri.....45

Tablo 3.29. FCU elektrik tüketim değerleri…….....46

Tablo 3.30. VRF işletme giderleri.....47

Tablo 3.31. FCU işletme giderleri ……..…….…….....48

1.GİRİŞ

Fosil enerjiler (kömür-petrol gibi) insan hayatında ve dünyamızda olumsuz etkiler yapmaya devam etmektedir. Günümüzde ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan cihaz ve sistemlerde enerji verimliliğinin artırılması ve konfor parametrelerinin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu sistemlerin en yaygın kullanılanları değişken debili soğutucu akışkan (VRF) ve Fan Coil (FCU) uygulamalarıdır.

VRF sistemleri, soğutma ve ısıtma sistemi olarak kullanılabilmektedir. Bu özelliği sayesinde VRF sistemi; okul, hastane vb birçok yapıda tercih edilmektedir. Aynı zamanda yapıların mimarisine ve geometrisine de uygunluğu, bu sistemin tercih edilme sebeplerinin başında gelmektedir. VRF sisteminde tek bir dış ünite birden fazla iç üniteye bağlanabilmekte, ısıtma ve soğutma yaparak enerji kullanımında tasarruf sağlamaktadır. FCU sistemleri ise 2 borulu ve 4 borulu olarak tasarlanabilmektedir. Yatırımcı isteğine ve mahalin yapısına uygun olarak sistem ekipmanları belirlenmektedir. 2 borulu sistem sadece ısıtma ya da sadece soğutma yaparken, 4 borulu sistem mahallerin ihtiyacına ve kullanıcıların isteğine bağlı olacak şekilde aynı anda ısıtma veya soğutma modunda çalışabilmektedir.

1.1. Tezin Amaçları

Bu tezin amaçları; Değişken debili soğutucu akışkan (VRF) ve 4 Borulu Fan Coil sistemlerinin çalışma prensiplerini tanımlayarak iki sistemin karşılaştırılmasını yapmaktır. Seçilen mimarinin ısı kayıp kazançları HAP programı ile hesaplanacaktır. Bulunan ısıtma ve soğutma yüklerine göre cihaz seçimleri yapılacaktır. Seçilen cihazlara göre sistemler yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve enerji tüketim değerleri bakımından karşılaştırılacaktır.

1.2. Literatür Araştırması

VRF ve FCU sistemleri ile ilgili ulusal ve uluslararası birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Yapılan bu çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Aynur [1,2] VRF sistemlerinin ofisteki uygulamaları ile ilgili çalışma yapmıştır. Bu sistemde iki ayrı kontrol modu kullanmıştır. Bunlardan biri kişisel diğeri ise ofis merkezinden kontrol edilme şeklindedir. Bireysel kontrol modunda, VRF sisteminde iç ünitelerin hepsi kendi termostatları ile kontrol edilmiştir. Yani ne kadar iç ünite var ise o kadar termostat var şeklinde yorumlanabilir. İkinci kontrol modunda ise ofis merkezinden ana kontrol ünitesi ile iç üniteler kontrol edilmektedir. Sonuç olarak kişisel kontrolün ana kontrol ünitesine göre daha iyi ısı konfor ve daha iyi ısıl verim elde ettiği tespit edilmiştir.

Padilla [3] değişken debili soğutucu akışkan iklimlendirme sistemleri ile ilgili çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada, iç ünite ile dış ünite arasında yapılan bakır borulama incelenmiştir. Bakır borulamada oluşan sürtünme basınç kaybına neden olmaktadır. En fazla basınç kaybı en yüksek kapasiteli iç ünitede oluşmaktadır. Bu da enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır.

Alkan ve Kabul [4] ısı pompasının farklı soğutucu akışkanlar için termodinamik ve termoekonomiklik analizini yapmıştır. Kullanılan soğutucu akışkanların tümünde buharlaştırıcı sıcaklığı ve kompresör verimi yükseldikçe, ekserji verimi gibi benzer değerlerin yükseldiği, tersinmezlik değerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Kılıçarslan ve Hoşöz [5] soğutma sistemlerinde kullanılan kaskad sisteminin farklı soğutucu akışkan ikilisi kullanılmasına yönelik tersinmezlik ve enerji hesaplarını yapmışlardır. R-717 ve R23 soğutucu akışkan ikilisinin, kurulan sistem için en avantajlı soğutucu akışkanlar olduğu belirlenmiştir.

Park ve Kim [6], iç ünite kapasitelerini ve iç ünitede yer alan kompresör hızını değiştirmişlerdir. İki adet iç üniteyle oluşturulan bu sistemde bağımsız olarak iki ayrı elektronik genleşme valfi (EEV) kullanılarak performans ölçümü yapmıştır. İç üniteler için kızgınlık değeri EEV üzerinden 4°C'ye ayarlanmıştır. Bu yöntemle kompresör hızının iç ünitelerin her biri için ayrı ayrı ayarlanarak yeterli kapasiteyi sağlaması gerektiği tespit edilmiştir.

Xia [7], beş(5) adet iç üniteye sahip üç (3) borulu (heat recovery) VRF sistemi için bir deney gerçekleştirmiştir. 6 adet kalorimetre iç ünitelerde ve dış ünitelerde kullanılarak bu test edilmiştir. Sistemin ısıl yükünün toplam değeri sistemin tükettiği enerjiye oranlanarak COP değeri bulunur. İki kompresörlü sistemin kullanılmasının performası artırdığı tespit edilmiştir.

Masuda [8], iki iç üniteyle VRF sistemi kurmuştur. Kurulan sistemde iç ünite kapasiteleri farklı seçilmiştir. Seçilen iç üniteler incelendiğinde kapasitesi yüksek olan iç ünitenin soğutucu akışkan debisinin daha olduğu tespit edilmiştir. Odada istenen sıcaklığa yaklaşıldığında kompresörün frekasının düştüğü tespir edilmiştir. Tersi durumda ise frekansın yükseldiği tespit edilmiştir. Sonuçta kurulan sistemde iç ünitelere giden soğutucu akışkan debisinin birbirinden farklı olduğu ortaya konmuştur.

Hai [9], üç borulu (heat recovery) VRF sistemi üzerinde çalışmıştır. Kurulan sistem 30 kW kapasiteye sahiptir ve beş farklı iç üniteye sahiptir. Sistem aynı anda ısıtma ve soğutma modundan çalıştığında COP ve EER değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

VRF sistemlerinde her bir iç ünitede sıcaklık sensörü yer almaktadır. Bu sıcaklık sensörü ortam sıcaklığı ile termostatın algıladığı sıcaklığı karşılaştırarak EEV ile soğutucu akışkan debisini ayarlamaktadır. Bu sayede ortama konulan ve birden fazla iç üniteyi kontrol eden termostattan bağımsız olarak cihazlar kontrol edilebilir. Böylece farklı bölgeler birbirinden bağımsız sıcaklıklara sahip olabilir. [10].

Çamdalı ve Tunç [11], termoekonomi ve ekserji desteği üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada minimum maliyet ve ekserji etkisi incelenmiştir. Ekserji üzerinde ki etkilerden birinin de termoekonomi olduğu tespit edilmiştir.

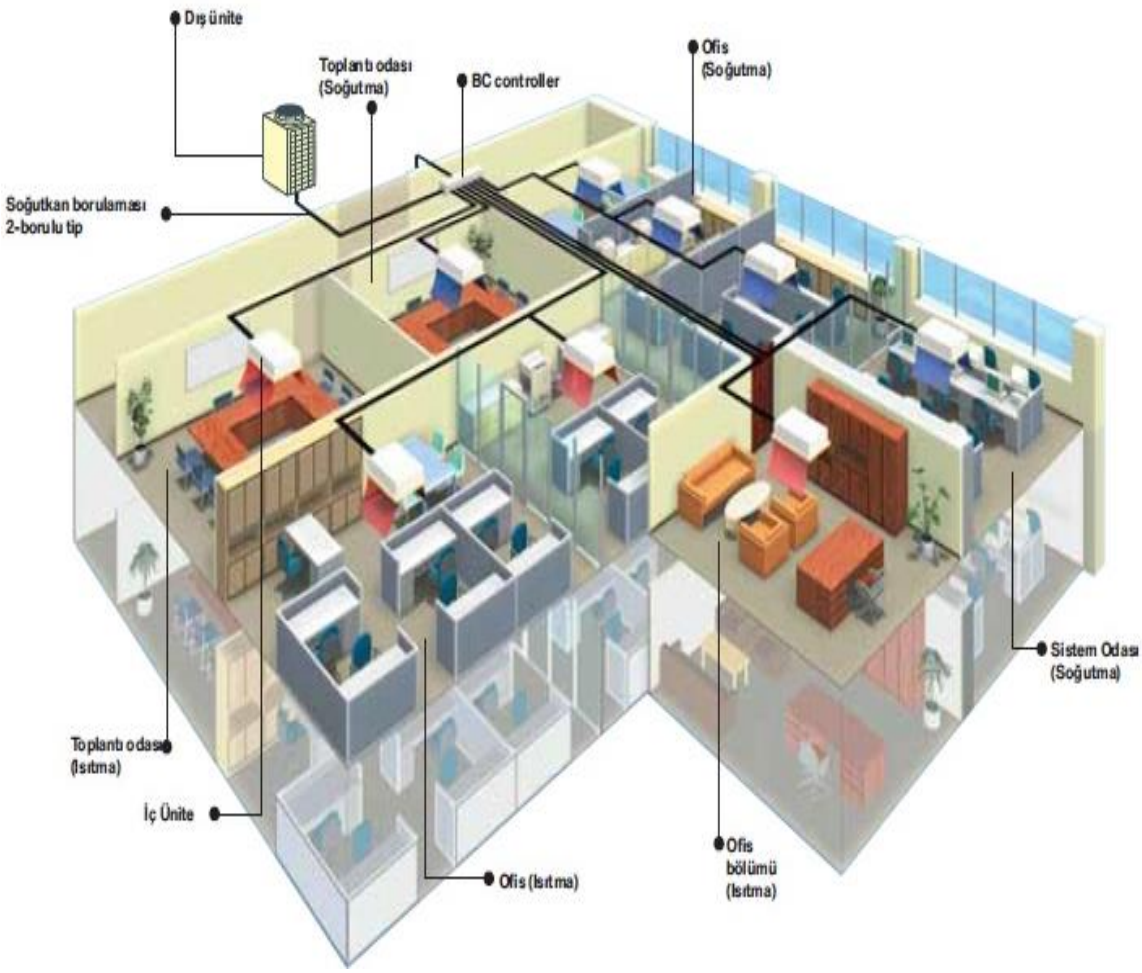
Salabury ve Diamond [12] bir klima santralindeki kontrol döngüsü problemlerinin teşhisi için birçok metod önermiştir. Daha sonra bu analiz sırasında klima santrali arıza tespiti için bir yöntem ortaya koymuştur. Liang, Du[13], Cho ve diğerleri[14] bu yöntem üzerinde istatiksel çalışmalar yaparak bu yöntemi geliştirmişlerdir.

Özsoy, Yucel, Varlıca ve diğerleri [15] fan coilden ortama verilen hava hızının farklılığını ve dağılımını incelemiştir. Çeşitli açılara göre, optimum tasarımlı menfez sayesinde, hava dağılımını daha homojen hale getirmişlerdir.

1.3. Değişken Debili Soğutucu Akışkan (VRF) Sistemi

1982 yılında piyasaya ticari bir ürün olarak sürülen VRF sistemi, değişken debili soğutucu akışkan teknolojisine sahiptir. VRF yerine firmalar, kendi markalarını çağrıştıran başka kısaltmalarda kullanmaktadır. VRF, bir dış üniteye tek bir boru hattından değişik tip ve kapasitelerdeki birden fazla iç ünitenin bağlanmasıyla, ısıtma/soğutma, sadece ısıtma, sadece soğutma veya ilave olarak gerekirse havalandırma yapabilen merkezi iklimlendirme sistemidir.

VRF sistemleri gerektiği kadar soğutucu akışkanı doğru faz ve doğru zamanda ihtiyaç duyulan iç üniteye göndererek ısıtma ve/veya soğutmada kullanılan iklimlendirme sistemleridir. VRF Sistemleri; iç üniteler (evaporatörler), bakır borulama, birleştirici elemanlar (joint) ve dış ünitelerden (kondenser) oluşmaktadır. Değişken soğutucu akışkan debisi teknolojisi sayesinde her bir iç üniteden geçen akışkanın debisinin kontrol edilebilmesi bu sayede de bireysel kontrol ve merkezi kontrollerde ısıtma/soğutma kontrolü yapılabilmektedir. Şekil 1.1’ de VRF sisteminin uygulamasına ait görsel verilmektedir.



Şekil 1.1 VRF sistem uygulaması

VRF Sistemleri; kontrol, otomasyon ve akış kontrol sistemleri ile geliştirilmiştir. Bu sayede gerektiği kadar soğutucu akışkan, doğru fazda ve doğru zamanda ihtiyaç duyulan üniteye gönderilerek isteğe bağlı olarak ısıtma veya soğutma işlemi gerçekleştirmektedir. VRF sisteminde aynı zamanda farklı kapasitelerde iç üniteler kullanılmaktadır.

VRF sistemlerinin hava soğutmalı ve su soğutmalı olmak üzere iki çeşidi vardır. Uygulama açısından ise 2 borulu ve 3 borulu sistem olmak üzere ikiye ayırılır. VRF Sistemleri; ofisler, alışveriş merkezleri, apartmanlar, restoranlar, plazalar, oteller, hastaneler gibi birbirinden bağımsız birçok alanda kullanılabilmektedir. VRF Sistemleri,

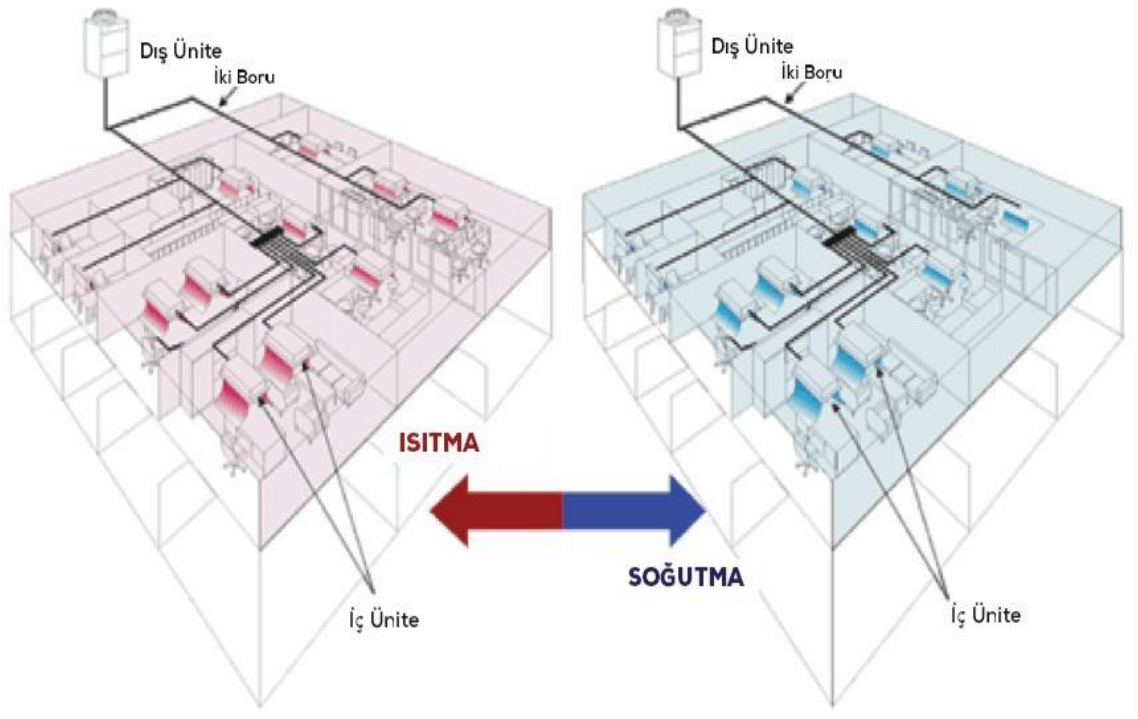
gelişmiş kontrol ve akış denetim üniteleri ile donatılmasından dolayı, iç mekânda ek bir ekipman alanına ihtiyaç duymamaktadır.

VRF Sistemlerinde kullanılan değişken devirli kompresörler, toplam ısıtma ve/veya soğutma yük değişimlerine göre farklı devir hızlarında çalışabilmektedir. Günümüzde bu kapasite aralığı yaklaşık %6-100 olarak alınmaktadır. Tüm bunlara ek olarak sistemde elektronik genleşme valfi bulunmalıdır. İç ve dış üniteler arası bağlantıyı sağlayan bakır boru, joint vb. bileşenleri de olmalıdır. Bazı firmalar joint yerine daha gelişmiş BS kutusu kullanmaktadır. VRF klima sisteminde dikkat edilmesi gereken bir diğer konu ise her markanın kendine ait bakır borulama mesafeleridir. Bakır borulama limitleri markadan markaya değişiklik göstermektedir.

1.3.1. İki Borulu Sistem

İki borulu sistemlerde iç ve dış üniteler arasında soğutucu akışkan transferi için gidiş ve dönüş olmak üzere iki adet boru hattı bulunmaktadır. Bu sistem uygulamada Heat Pump VRF sistemi olarak da adlandırılmaktadır. Sisteme bağlı iç üniteler aynı anda ya soğutma ya da ısıtma modunda çalışabilmektedir. Diğer bir ifade ile sistemde ısıtma ve soğutma işlemi aynı anda yapılamamaktadır. Fakat aynı modda çalışan iç üniteler farklı ortam set değerlerinde kullanılabilirler. İki borulu sistemler esnek borulama özelliğine sahip olduklarından kompleks yapılarda bile kurulumu ve kullanımı oldukça kolay bir merkezi iklimlendirme uygulama şeklidir.

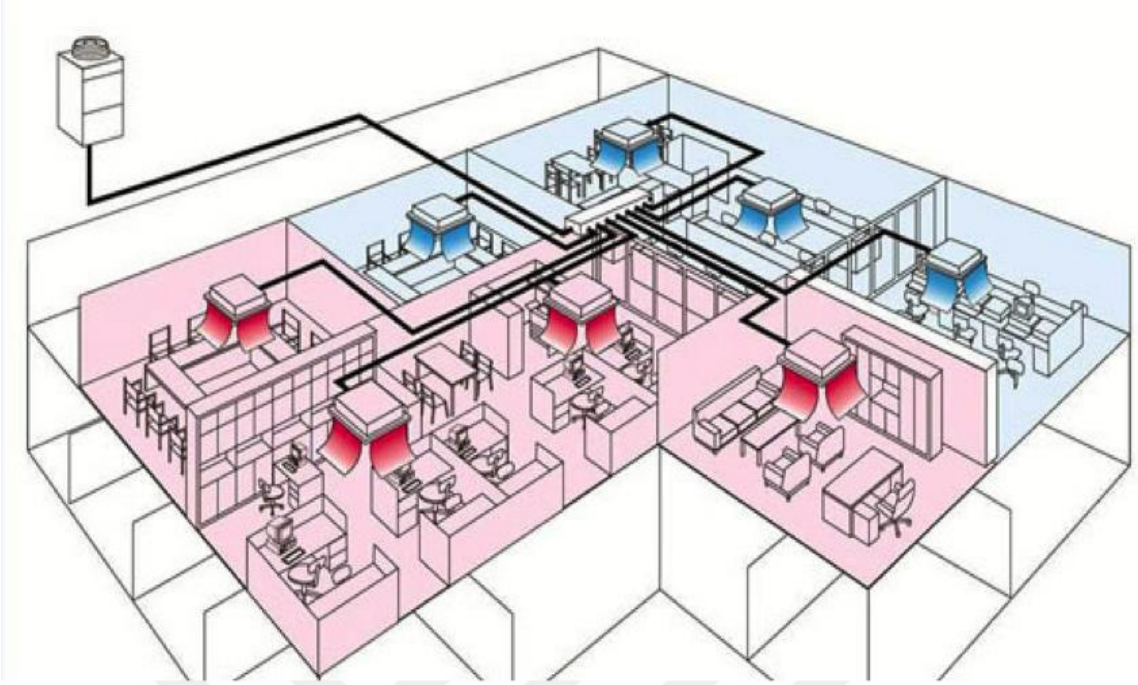
Sistemde iç üniteler, soğutma modunda evaporatör olarak işlev yaparken soğutma işlemini gerçekleştirirler. Isı pompası modunda ise iç üniteler kondenser olarak işlev görür ve ısıtma işlemi yaparlar. Hem bu sistemde hem de genel anlamda bütün VRF sistemlerinde inverter kompresörler kullanılır. Bunun sebebi ise sabit hızlı kompresörlerin kullanıldığı sistemler ile karşılaştırıldığında daha az elektrik tüketimi ve yüksek performans sağlamasıdır. Şekil 1.2'de iki borulu VRF sisteminin ısıtma ve soğutma uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 1.2 İki (2) borulu VRF sisteminin ısıtma ve soğutma modu uygulaması

1.3.2. Üç Borulu Sistem

Üç (3) borulu VRF sistemi; çok gelişmiş ve kompleks bir yapıya sahiptir. Üç borulu VRF sistemi aynı zamanda Isı Geri Kazanımlı (Heat Recovery) VRF sistemi olarak da tanımlanmaktadır. Gece ile gündüz sıcaklık farklarının çok olduğu bölgelerde konfor talepleri değişebilmektedir. Buna ek olarak mevsim geçişlerinde özellikle cepheye bakan mahallerin gün içerisinde ki ısıl yükleri ve kullanıcı talepleri farklılık göstermektedir. Bu yüzden bu tür çok fonksiyonlu yapılarda ısıtma ve soğutmanın aynı anda yapılma ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir. Bu tür uygulamalarda Isı Geri Kazanımlı VRF sistemleri kullanılması avantaj haline gelmektedir. Şekil 1.3'de üç borulu VRF sistemine ait görsel verilmektedir.



Şekil 1.3 Üç (3) borulu VRF sistem uygulaması

Sistem; likit soğutucu akışkan, sıcak gaz ve emme hattından oluşmaktadır. Soğutma yapan iç ünitenin likit hattı ve emme hattı açık konumda olup, ısıtma yapan iç ünitenin gaz ve likit hattı açık konumdadır. Bu sisteme ilave edilecek bir eşanjör ile ısı geri kazanım uygulaması EER değerini yaklaşık 7 gibi bir değere kadar çıkarabilmektedir. Üç borulu VRF sistemi her bir iç ünitede ayrı ayrı kontrol imkanı vermektedir.

1.3.3. VRF Sistemi Ekipmanları

VRF sisteminde yer alan ekipmanları aşağıda verilmektedir;

a) Dış üniteler

b) İç üniteler

c) Bakır borular

d) Soğutucu akışkan

e) Branşman kitleri

f) Otomasyon

1.3.3.1. Dış Üniteler

VRF sisteminin ekipmanlarından biri olan dış üniteler; sistem ısı yüküne göre iç ünite kullanım faktörü de göz önüne alınmak koşuluyla firma katalog ve yazılımları kullanılarak tekli veya çoklu olarak gruplandırılarak seçilmeli ve montajı yapılmalıdır. Dış üniteler genelde açık alanlara yerleştirilmektedir. Havalandırma koşullarına göre uygun iç mekanlarda da nadirde olsa yerleştirilmektedir. VRF sisteminde bulunan dış üniteler kondenserin ısıyı atma akışkanına göre;

a) Hava Soğutmalı Kondenserli VRF'ler

b) Su Soğutmalı Kondenserli VRF'ler

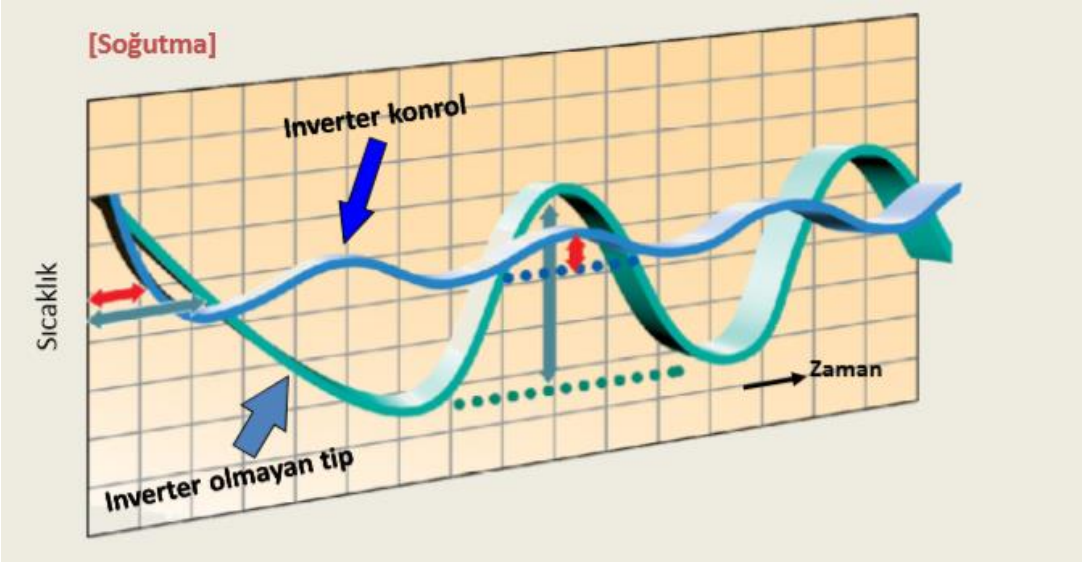
olmak üzere ikiye ayrılır.

1.3.3.1.1. Hava Soğutmalı Kondenserli VRF

Hava Soğutmalı Kondenserli VRF sisteminde kondenserden ısı havayla atılmakta ve soğutucu akışkan faz değiştirerek kızgın buhar halinden sıvı hale geçmektedir. Bu sistemde ısıtma modunda dış üniteler evaporatör gibi işlem görerek dış havadan ısı alırlar.

Sistemde soğutucu akışkanın sıkıştırılması için kompresörler kullanılır. Son yıllarda kompresör teknolojisi çok gelişmiştir. Kompresörle uyumlu çalışması açısından bu sistemlerde elektronik genleşme valflerinin kullanılması çok önemlidir.

Hava Soğutmalı Kondenserli sistemler, soğutucu akışkanın kontrolüne göre inverter teknolojisine sahip kompresör ve dijital scrool kompresör teknolojisi ile çalışan farklı tiplerde kompresör teknolojileri mevcuttur ve kompresör teknolojileri üzerindeki çalışmalar sürekli devam etmektedir. Dijital scrool kompresörün kullanıldığı VRF'ler Amerika Birleşik Devletleri'nde (A.B.D.) geliştirilmiş olup genellikle 0-20 saniye aralığında on-off şeklinde kontrol edilebilme özellikleri vardır. İnverter tipi kompresörler ise Uzak Doğu'da geliştirilmiştir. Bu kompresörlerle %6-100 aralığında kapasite kontrolü yapılmaktadır. Bu kompresörlerin en yüksek verimleri %35-65 kısmi yükler aralığında gerçekleşmektedir. Ayrıca invertörlü kompresörler ile iç ortam sıcaklığı, daha hassas bir şekilde set değerine yakın değerlerde tutulabilmektedir. Şekil 1.4' te inverter olan ve inverter olmayan sistemlerin sıcaklık kontrol eğrilerine ait görsel yer almaktadır.



Şekil 1.4 Inverter olan ve olmayan sistemlerin sıcaklık kontrol eğrileri

1.3.2.1.2. Su Soğutmalı Kondenserli VRF

Su Soğutmalı Kondenserli VRF sisteminde kondenserden ısı suyla atılmakta ve soğutucu akışkan faz değiştirerek kızgın buhar halinden sıvı hale geçmektedir. Bu sistemde ısıtma modunda dış üniteler evaporatör gibi işlem görerek su kaynağından ısı alırlar.

Su soğutmalı Kondenserli VRF Sistemi mimari açıdan görüntü kirliliği istenmeyen yerlerde tercih edilebilir. VRF dış üniteleri bir su borusu tesisatı ile birbirine bağlanmaktadır. Sistemin diğer bir avantajı ise dış hava sıcaklığından bağımsız çalışabilmesidir. Dezavantajları ise su kaynağının temini ve kirlilik faktörüdür.

1.3.2.2. İç Üniteler

VRF sisteminin önemli ekipmanlarından biri olan iç üniteler her çeşit uygulama ve mimariye uyumlu olacak şekilde tasarım imkanına sahiptir. VRF sistemlerinde iç ünitelerin performansları oldukça yüksektir. Küçük boyutlarda olması sebebi ile montaj süresi düşüktür. Firmaların iç ünite ürün gamlarında farklı tip ve kapasitelerde çok çeşitli ürünler bulunmaktadır. İç üniteler tasarıma, estetiğe, ortamın yapı özelliklerine ve montaj şartlarına göre hesaplanan kapasiteler esas alınarak seçilmektedir. VRF sistemlerinde kullanılan iç ünitelerden bazıları Şekil 1.5, Şekil 1.6, Şekil 1.7, Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da verilmektedir.



Şekil 1.5 Kaset tipi iç ünite



Şekil 1.6 Döşeme tipi iç ünite



Şekil 1.7 Kanallı tip iç ünite



Şekil 1.8 Duvar tipi iç ünite



Şekil 1.8 Salon tipi iç ünite

1.3.2.3. Bakır Borulama

VRF sisteminde soğutucu akışkanın taşınmasında bakır borular kullanılmaktadır. Bakır borular ısı geçişi ve terlemeye karşı izole edilmelidir. Bakır boruların fiziksel ve mekanik özellikleri diğer borulara göre oldukça fazladır. Bakır boruların mekanik dayanımının fazla olması basınca maruz kalması halinde emniyetli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bakır boruların aynı zamanda korozyona karşı dayanımının yüksek olması da avantajlarından biridir. Bakır borular sıvı ve gaz hattı olmak üzere çift boru hattı şeklinde kullanılırlar. Boru çaplarının seçiminde kapasite, boru uzunlukları, basınç kayıpları ve benzeri diğer faktörler dikkate alınmalıdır.

1.3.2.4. Soğutucu Akışkan

VRF sisteminde soğutucu akışkan olarak R-407C, R-410A, R-32 ve benzer özellikte akışkanlar kullanılmaktadır. Son yıllarda Küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi vb. çevresel faktörler sistemlerde kullanılacak soğutucu akışkanların belirlenmesinde olmazsa olmaz konumuna gelmiştir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, ozon tabakasına zarar veren ve küresel ısınmaya neden olan akışkanların kullanılmasına yönelik sınırlayıcı yasa ve yönetmelikleri uygulamaya koymuşlardır. Uluslararası antlaşmalar ile ülkeler kullanımı sınırlayıcı tedbirleri daha etkin hale getirmek için üretici firmaların ozonu tahrip etmeyen ve küresel ısınmaya neden olmayan akışkanları kullanmasını sağlamaya çalışmaktadırlar.

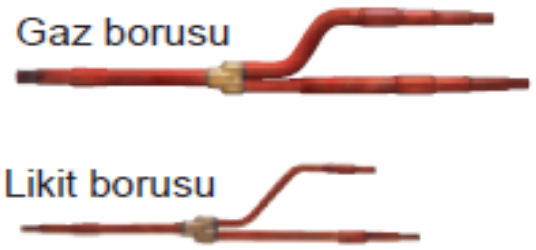
R-410A ve son zamanlarda R-32 soğutucu akışkanlarının daha yüksek EER değerine sahip olması, daha küçük kondenser/evaparatör yüzeylerinde kullanılabilmesi ve uzak mesafelerde daha düşük enerji kaybına sahip olması nedeniyle tercih sebebidir.

VRF sistemin daha ilk ortaya çıktığı zamanlarda R-22 akışkanı kullanılmaktaydı ancak ilerleyen teknoloji ve yukarıda bahsedilen çevresel kaygılarla beraber yeni akışkanların kullanımı artmış R-22 ve R-407C kullanım avantajını kaybetmiştir.

1.3.2.5. Branşman Kitleri

VRF sisteminde kullanılan Branşman kitleri olarak joint ve kollektörler örnek verilebilir. Joint Y tipi şeklinde olup VRF sisteminde dış ve iç ünite arasında bakır boru tesisatında ayrılma veya birleşimler için kullanılmaktadır. Kollektörler ise jointle aynı görevi

görürler. Dar montaj alanında daha çok kapasiteye sahip sistemlerde kullanılırlar. VRF sistemi branşmanı için kullanılan joint Şekil 1.10'da, BS kutusu ise Şekil1.11'de gösterilmiştir.



Şekil 1.10 VRF Sistemi Gaz ve Likit Borusu



Şekil 1.11 VRF Sistemi BS Kutusu

1.3.2.6. Otomasyon

VRF sistemlerinde otomasyon oldukça kapsamlı ve gelişmiş çözümler sunmaktadır. Merkezi kumanda özelliğinin yanı sıra mahallerde bireysel kullanıma da imkân veren otomasyon sistemleri müşteri taleplerine göre dizayn edilmektedir.

1.4. Fan Coil (FCU) Sistemi

Fan coil sistemi tamamı ile içerisinde su barındıran bir sistemdir. Isıtma ve soğutma merkezlerinden çıkan sıcak su ve soğuk su, bina içine dağıtılmış fan coil cihazlarına sirkülasyon pompaları yardımı ile dağıtılır. Sıcak su genellikle kazan sisteminde, soğuk su ise su soğutma grubu (chiller) sistemlerinde üretilir. Fancoil cihazları, fan ve ısı geçiş yüzeyi olarak serpantin içeren cihazlardır. İç ortam havası, fan yardımı ile iç ortamdan alınıp, serpantinler yüzeyinden geçerek ısıtılıp veya soğutulup tekrar mahale verilir. Serpantin içerisinde soğuk su dönüyor ise oda içerisinde soğutma, sıcak su dönüyor ise oda içerisinde ısıtma yapılır. Dönüş borularıyla merkeze dönen su burada tekrar ısıtılır veya soğutulur ve sisteme tekrar verilir. Sistemde suyun dolaştırılması için sirkülasyon pompaları kullanılır. Özellikle çok odalı binalarda ve kanal geçirmek için yeterli boş alanın bulunmadığı uygulamalarda tercih edilir. Başlıca otel, hastane, ofis ve yüksek katlı konutlarda kullanılmaktadır. Fancoil üniteleri iç tasarıma göre pencere önlerine, asma tavan içerisine, açık tavan konsepti olan yerlerde tavan altına ve yükseltilmiş döşeme içlerine konabilir. Buna göre iki farklı fan coil tipi geliştirilmiştir. Bunlar iki (2) borulu ve dört (4) borulu FCU sistemleridir.

1.4.1. FCU Sistemi Ekipmanları

Fan Coil sistemini oluşturan ekipmanları aşağıda verilmektedir;

a) Su soğutma grubu (Chiller)
b) Su ısıtma grubu (Kazan)
c) Sirkülasyon pompası
d) FCU iç üniteleri
e) Mekanik oda ekipmanları (genleşme tankı, denge kabı, eşanjör vb.)
f) Borulama ve izolasyon malzemeleri

1.4.1.1. Su Soğutma Grubu (Chiller)

Chiller FCU sistemi soğutma çevriminin ana ekipmanıdır. Sistem içinde soğutma amaçlı dolaşan su, iç ünitelerde havadan aldığı ısı yükünü su tarafına aktarır. Böylece su aldığı ısı yükü ile ısınır ve çevrimini chiller'e gelerek tamamlar. Chiller ise suyun yükünü havaya veya suya atarak su sıcaklığını düşürür ve sisteme istenilen sıcaklıktaki suyu

(genellikle gidiş: 7°C, dönüş: 12°C) sağlar. Hava soğutmalı chiller grubu Şekil1.12' de verilmiştir.



Şekil 1.12 Hava soğutmalı chiller

1.4.1.2. Su Isıtma Grubu (Kazan)

Kazan, sistemde yer alan sıcak su çevriminin ana ekipmanıdır. Sistem içinde ısıtma amaçlı dolaşan su, iç ünitelerde yer alan fan coile ısıtma yükünü bırakarak fan coilde sıcaklığın sudan havaya geçmesini sağlar. Bu çevrimde ortam havası ısınırken fan coile giren su ısı kaybederek sıcaklığı düşer. Sıcaklığı düşen su çevrimini tamamlayarak kazana döner ve kazanda tekrar ısıtılarak (genellikle gidiş: 80 °C, dönüş: 60 °C) sisteme verilir. Duvar tipi kazan şekil 1.13'de verilmiştir.



Şekil 1.13 Duvar tipi kazan

1.4.1.3. Sirkülasyon Pompası

Kazan ve chiller suyun sisteme istenen sıcaklıkta verilmesini sağlarken, çevrim için yeterli ısıya ulaşan su borular yardımıyla iç ünitelere dağıtılır. İç ünitelere suyun dağılımı sirkülasyon pompaları ile sağlanır. Sirkülasyon pompa kapasiteleri soğutma ve ısıtma çevrimi için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Pompa seçimleri yapılırken ısıtma ve soğutma kapasiteleri esas alınarak pompa debisi bulunur. Sirkülasyon pompaları yük değişimi olan sistemlerde devir kontrollü yük değişiminin olmadığı sistemlerde sabit devirli seçilebilir. Şekil 1.14'de sirkülasyon pompası gösterilmektedir.



Şekil 1.14 Sirkülasyon Pompası

1.4.1.4. FCU İç Üniteleri

FCU iç üniteleri tıpkı VRF iç üniteleri gibi çeşitli alternatiflere sahiptir. VRF iç üniteler kısmında ilgili çeşitler gösterilmiştir.

1.4.1.5. Mekanik Oda Ekipmanları

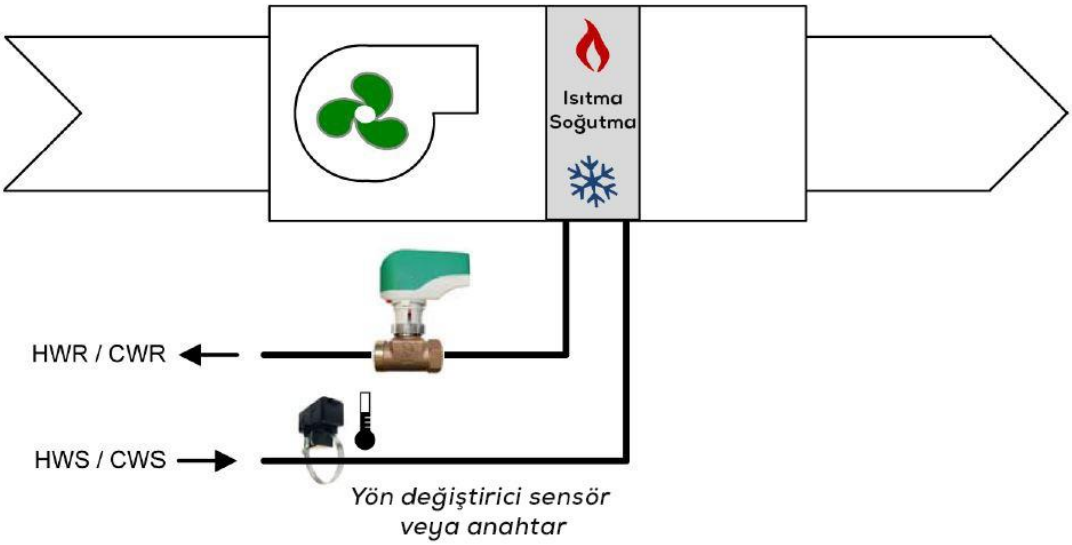
Mekanik oda içerisinde pompa, kazan ve chiller dışında çevrimde genleşen suyun basıncını dengelemek için genleşme tankı yer almaktadır. Ayrıca soğuk su çevriminde büzüşme tankı kullanılmaktadır. Sistem içerisinde su rejimi gidiş dönüş sıcaklıkları arasında ki farkı dengelemek ve ana ekipman performansını optimal düzeyde kullanmak için denge kabı kullanılmaktadır.

1.4.1.6. Borulama ve İzolasyon Malzemeleri

Sistem içerisinde dolaşan su genellikle siyah dikişli çelik borular vasıtasıyla taşınmaktadır. Çelik borular mekanik odalardan başlayarak en uzakta ki FCU iç ünitesine kadar döşenmektedir. Siyah boruların iç ve dış çeperleri arasında ki sıcaklık farkı nedeniyle boru üzerinde yoğuşmalar oluşmaktadır. Boru dışında oluşan yoğuşmaları önlemek amacıyla bu borular izolasyon malzemeleri ile uygun kalınlıklarda izole edilmelidir. İzole edilen boru yüzeyinde yoğuşma engellendiği gibi ısı kaybı da minimuma indirilmektedir.

1.4.2. İki Borulu Fan Coil Sistemi

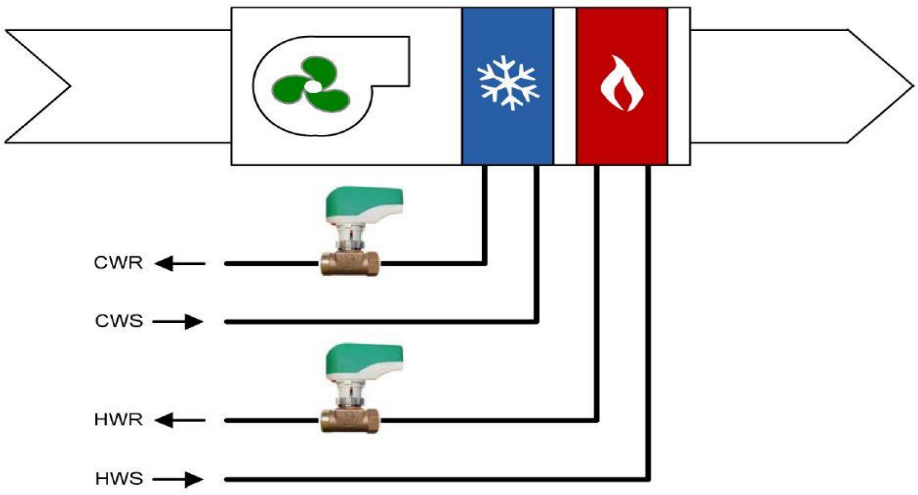
Kullanılan fan coil içinde tek serpantin varsa, kurulan sisteme iki borulu fancoil sistemi adı verilir. Sistemde suyun dağılımını sağlayan ve suyu merkeze geri toplayan iki boru dolaşır. Her fancoil cihazına bir gidiş borusu ve bir dönüş borusu bağlanır. Böylece sistemde ya soğuk su ya da sıcak su dolaştırılır. Dolayısıyla sistem ya sadece ısıtma ya da sadece soğutma yapabilmektedir. Özellikle geçiş mevsimlerinde konforu sağlamak zorlaşmaktadır. Mevsim geçişlerinde mahallerde talepler değişkenlik gösterebilir. Bir oda ısıtmaya ihtiyaç duyarken başka bir oda soğutmaya ihtiyaç duyabilir. İki borulu sistem bu talepleri karşılayamaz. Şekil 1.15'de iki borulu fan coil sisteminin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 1.15 İki borulu fan coil çalışma prensibi

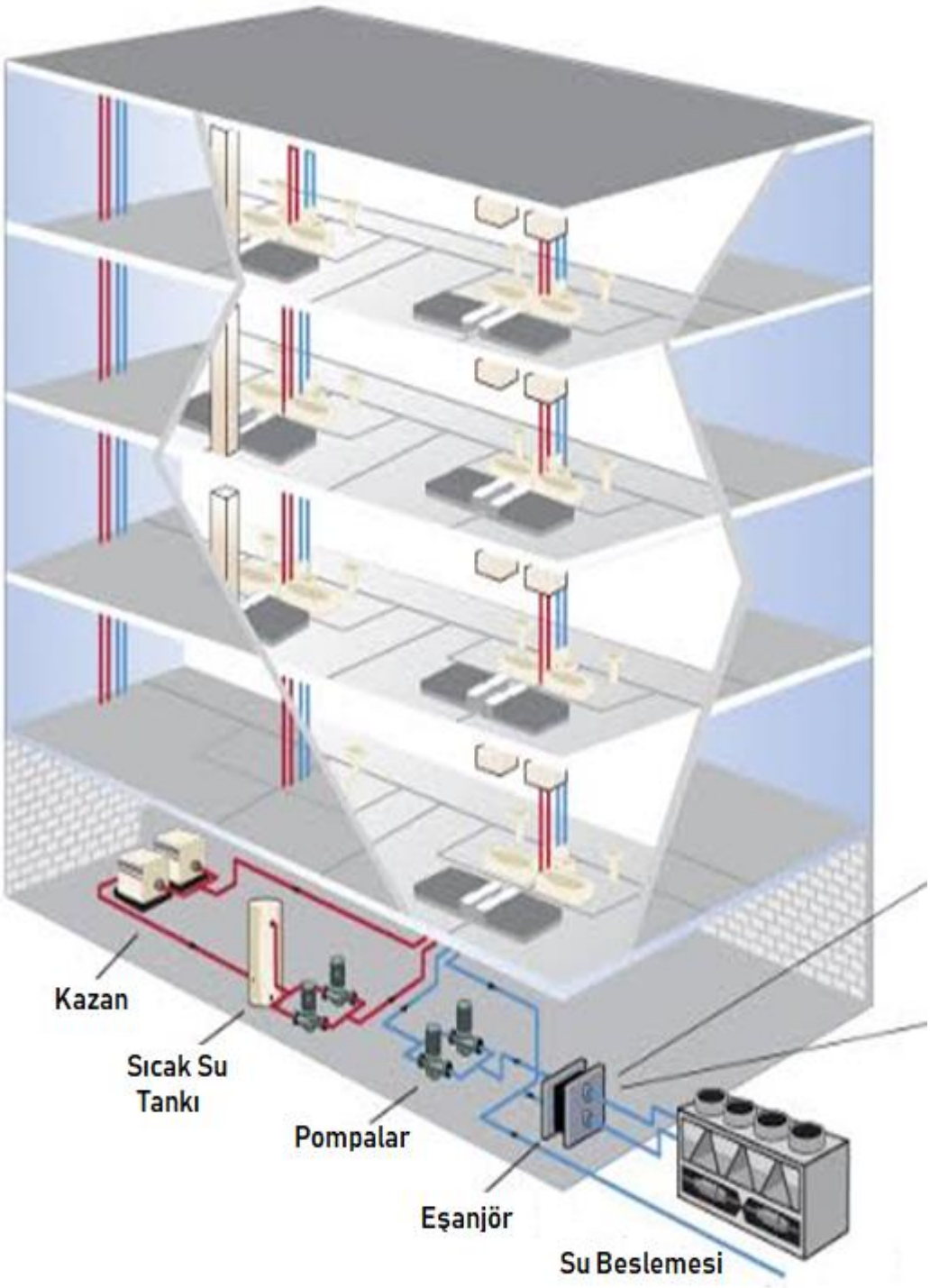
1.4.3. Dört Borulu Fan Coil Sistemi

Eğer fan coil içerisinde ısıtma ve soğutma için iki ayrı serpantin bulunuyorsa, bu tip sisteme dört borulu fan coil sistemi adı verilir. Sistemde iki gidiş ve iki dönüş sağlayan dört boru dolaşır. Her fan coil cihazına iki dağıtım borusu ve iki toplama hattı bağlanır. Boru çiftlerinden birinden soğuk su, diğerinden ise sıcak su sürekli dolaşır. Böylece fan coil cihazlarının hespinde birbirinden bağımsız olarak talep edilen değerlere göre ısıtma ve soğutma yapılabilir. Geçiş mevsimlerinde sistemin soğutmadan ısıtmaya geçme gibi bir ihtiyacı olmadığı için daha kullanışlıdır. Dört borulu fan coil sistemleri çok zonlu sistemlerde kullanılırlar ve özellikle ara mevsimlerde iki borulu sistemlere göre daha iyi ısıl konfor sağlarlar. Şekil 1.16'da dört borulu fan coil sistemi çalışma prensibine ait görsel verilmektedir.



Şekil 1.16 Dört borulu çalışma prensibi

Dört borulu FCU iç ünitesi motorlu vanalara giden komutlarla ısıtma veya soğutma moduna geçmektedir. Sistemde sürekli olarak soğuk ve sıcak su dolaştırılmaktadır. Sistemin çalışma biçimi Şekil 1.17 Dört borulu FCU sistemi görselinde gösterilmiştir.



Şekil 1.17 Dört Borulu Fan Coil Sistemi

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Binanın Genel Özellikleri

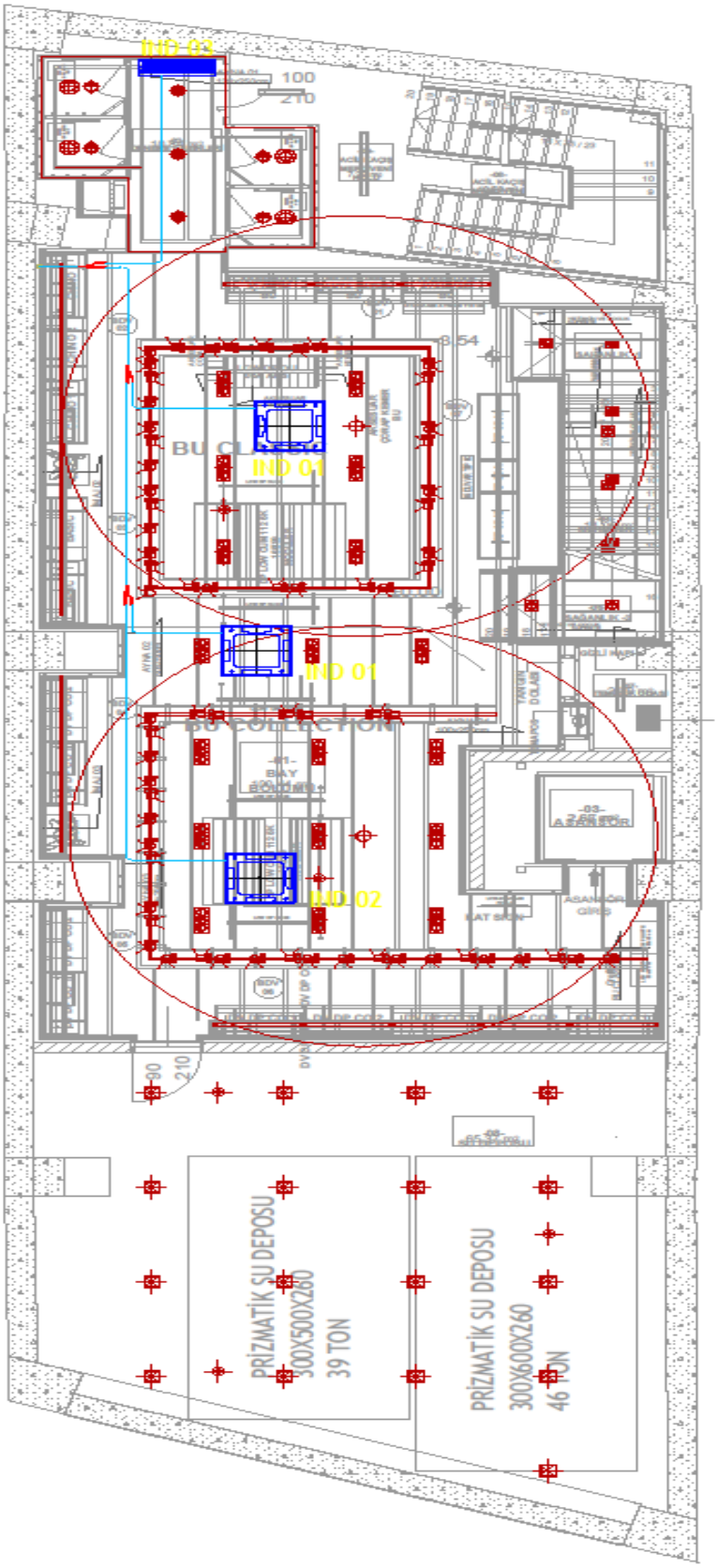
Bu tez çalışmasında kullanılan yapı bir cadde mağazası olup Autocad programı ile 2 boyutlu olarak çizilmiştir. Bina üzerinde HAP Carrier programı ile bina ve mahallerin ısı yükleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar sonrası sistem dizaynı için gerekli cihaz seçimleri, yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

Bina kapalı alanı 1076 m²'dir. Toplam 14 mahalden oluşmaktadır. Oluşturulan mahallerle birlikte sistem içerisinde zonlamalar yapılmıştır. Saatlik müşteri yoğunlukları ve dış hava şartları göz önünde bulundurularak hesaplamalar tamamlanmıştır.

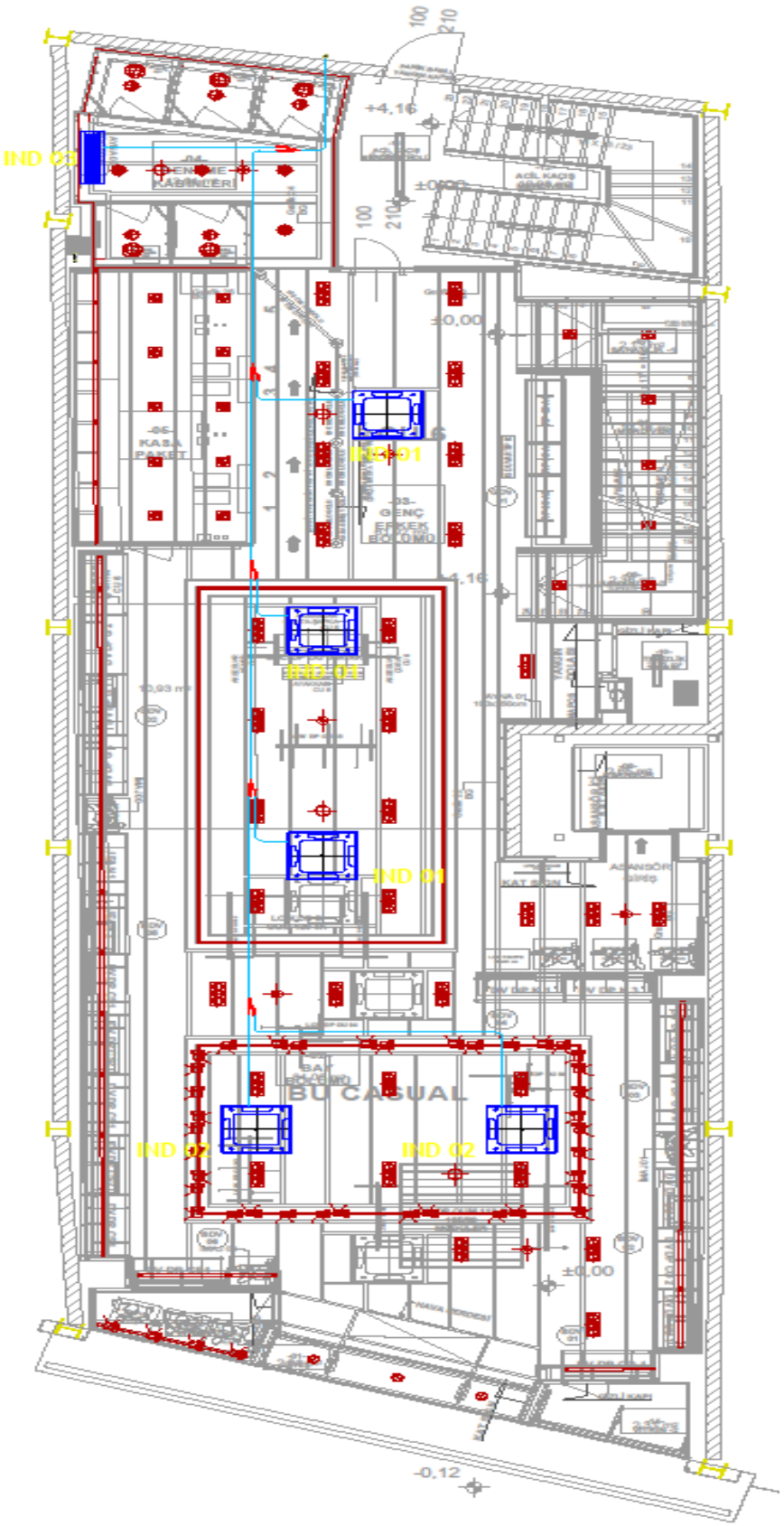
2.2. Bina Yapısı ve Sistem Seçimi

Sistem tasarımı öncesi yapılan hesaplara göre projede iç ünite yerleşimleri ve borulamalar yapılmaktadır. 6 kattan oluşan mimari üzerinde her bir kat ve her bir zon ayrı ayrı değerlendirilerek kaset tipi duvar tipi ve döşeme tipi iç üniteler seçilmiştir.

Mahallerin ısı kayıp kazanç yükleri belirlendikten sonra cihaz seçimleri yapılmaktadır. Seçilen cihazlara göre mimari üzerinde cihaz yerleşimleri yapılmaktadır. Şekil 2.1'de cadde mağazası zemin kat, Şekil 2.2'de cadde mağazası 1. kat, Şekil 2.3'de 2,3,4. katlar ve şekil 2.4'de cadde mağazası 5. kat cihaz yerleşimleri gösterilmektedir.

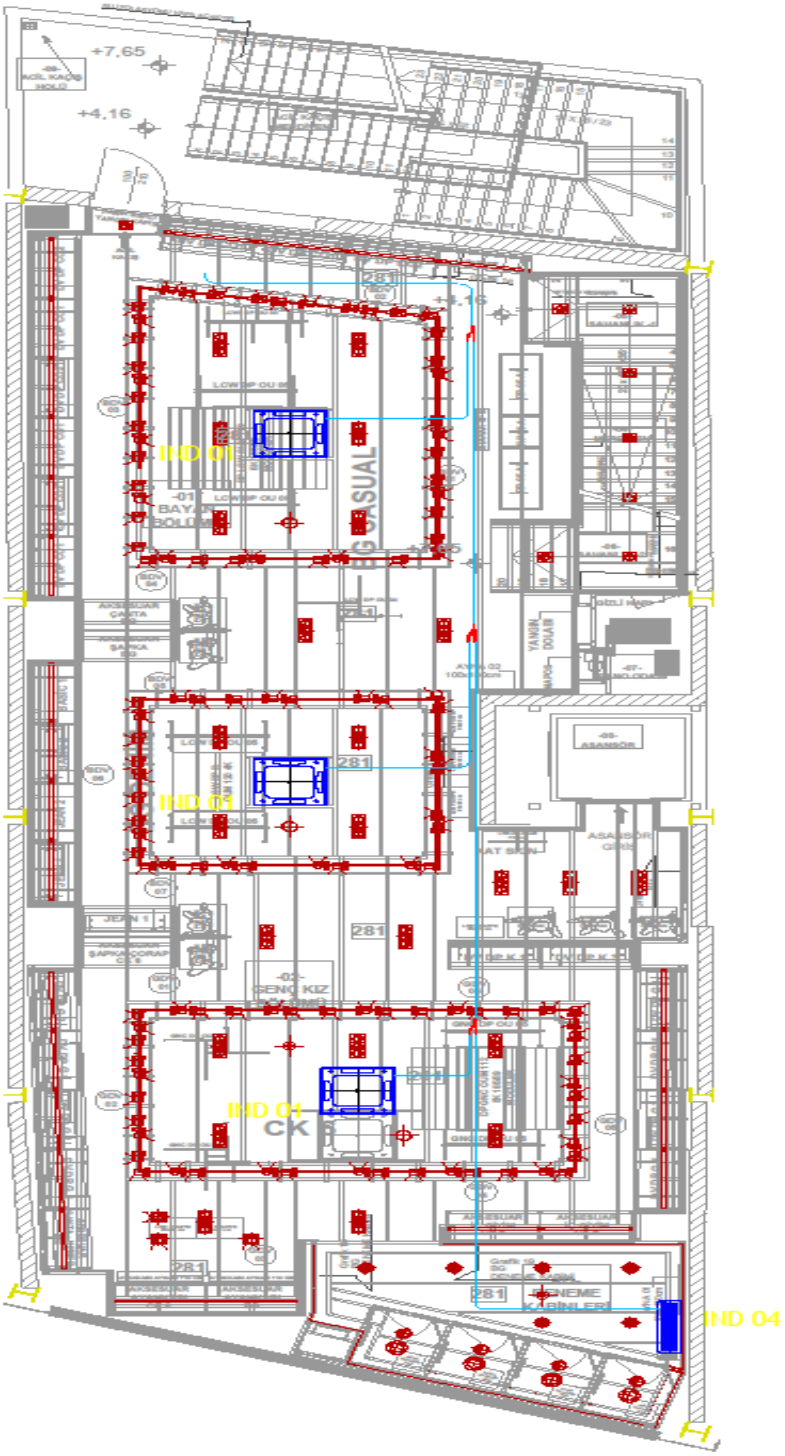


Şekil 2.1 Cadde mağazası zemin kat cihaz yerleşimi

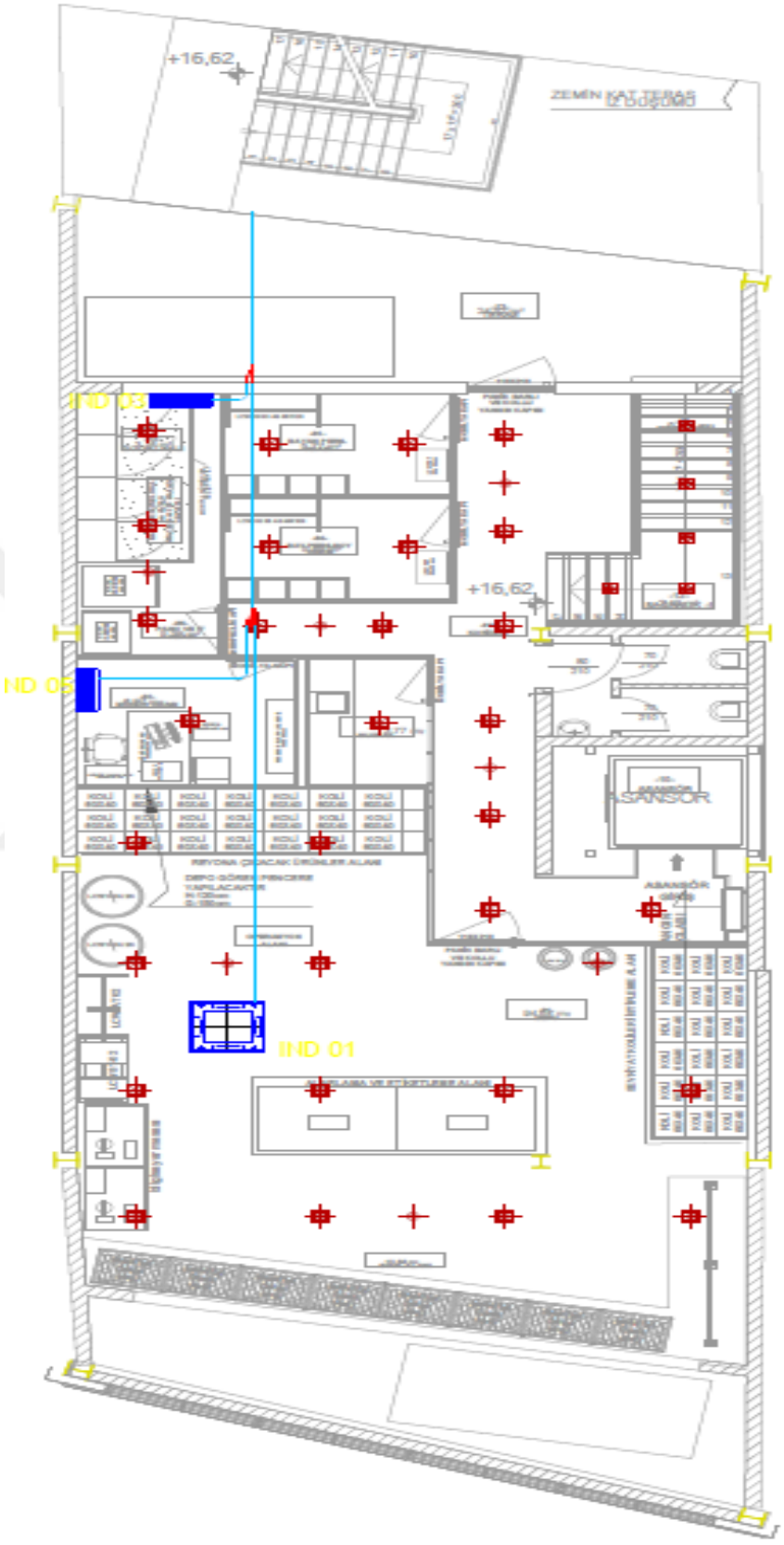


Şekil 2.2 Cadde mağazası 1. kat cihaz yerleşimi

Hesaplamalarda kullanılan cadde mağazasının 2. 3. ve 4. katı aynı mimarilere sahiptir. Bu katlara ait mimariler tek bir görselde gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Cadde mağazası 2,3,4. katlar cihaz yerleşimi



Şekil 2.4 Cadde mağazası 5. kat cihaz yerleşimi

2.3. Transfer Fonksiyon Metodu

Transfer fonksiyon metodu ASHRAE tarafından 1972 yılında ısı hesaplarının uyarlaması olarak sunulan bir yöntemdir. HAP programının temel hesaplaması TFM ile sağlanmaktadır. Isı transferi kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yöntemi ile sağlanmaktadır. TFM ise bu yöntemlerin haricinde üzerinden ısı geçişi olan maddelerin belirli zamanlarda ısıyı tutması ve daha sonradan bırakmasını temel ilke edinmektedir.

HAP programı temelinde saatlik ısı kazanç kayıplarını hesaplamaktadır. TFM yöntemiyle birlikte günün belirli saatlerinde hapsedilen ve salınan ısıyı da hesaba katan HAP analizlerin daha doğru sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Örnek verilecek olursa ısı geçişi olan bir duvar öğle saatlerinde içerisinde hapsettiği ısıyı akşam saatlerinde bırakarak ısı kayıp ve kazanç etkisine etki etmektedir. TFM sadece duvar gibi kondüksiyonlar yapılan ısı geçişlerini değil aynı zamanda insanlar, aydınlatmalar, elektrikli cihazlar vb. tüm elementlerin ısıl değişkenliklerini hesaplamaktadır.

Transfer Fonksiyonu yöntemi yukarıda bahsedilen hesaplamaları yaparak aslında dinamik ısı transferlerini hesaplamaktadır. Dinamik ısı transferleri ise saatlik verilerin analizlerinde istenen değişkenleri bir matematiğe dayandırarak daha doğru sonuçlar vermektedir. Bilgisayar yazılımı kullanılarak optimize edilmiş bu yöntem yayınlandığı zamandan günümüze kadar HAP programıyla birlikte en efektif kullanılan ısı transfer yöntemidir.

2.4. Isı Transfer Etkenleri

2.4.1. Duvar ve Çatı Yükleri Hesabı

Duvar ve çatı yükleri hesabı hesap raporları içeriğinde “Duvar” ve “Çatı” bölümlerinde görünmektedir. Program içeriğine tanımlanan değerler sonucunda program transfer fonksiyon metodu yöntemiyle duvar ve çatı yüklerini hesaplayarak mahal kayıplarında göstermektedir. Duvar ve çatı yükü hesabı Eşitlik.1’e göre yapılmaktadır.

$$\mathrm{T_{sa}} = \mathrm{T_{oa}} + \frac{\mathrm{alt}}{\mathrm{ho}} - \frac{\mathrm{e}D_R}{\mathrm{ho}} \qquad [1]$$

T_{sa} : İç hava sıcaklığı (°C)
T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)
a : Duvar veya çatı sıcaklık emiciliği katsayısı (Birimsiz)
I_t : Duvar veya yüzey üzerinden ısı akısı (W/m²)
h_o : Dış duvar veya çatı yüzeyinde konvektif ısı transfer katsayısı (17.0 W/m²)
e : Dış yüzeyin yarım küre salınımı. 1.0 değeri kullanılır.
D_R : Dış yüzeydeki uzun dalga radyasyonu ile kara cisim radyasyonu arasındaki fark. Dikey yüzeyler için DR=0.0. Yatay yüzeyler için DR=20.0

2.4.2. Cam Güneş Yükü Hesabı

Cam güneş yükleri hesabı hesap raporları içeriğinde "Pencere güneş etkisi" bölümünde görünmektedir. Cam veya tavanda yer alan pencerelerden içeri giren güneş etkisi bu bölümde hesaplanmaktadır. Cam güneş yükü hesabı Eşitlik.2'e göre yapılmaktadır.

$$SHG = TSHG + ASHG \quad [2]$$

$$TSHG = [TSHGFb(1 - F_s) + TSHGFd] (SC) (A)$$

$$ASHG = [ASHGFb(1 - F_s) + ASHGFd] (N_i) (SC) (A)$$

A : Cam alanı (m²)
ASHG : Güneş ısısının absorbe edilen bileşeni (W)
ASGHb : Absorbe edilmiş güneş ısısı kazancının ışın bileşeni (W)
ASHGd : Absorbe edilmiş güneş ısısı kazancının dağınık bileşenleri (W/m²)
F_s : Doğrudan güneş ışığından gölgeli pencere alanı kesri, ondalık
N_i : Binanın iç kısmına yapılan referans cam tarafından absorbe edilen güneş ışınımının oranı. 0.267'lik standart bir değer kullanılır.
SC : Pencerenin genel gölge katsayısı (Birimsiz)
SHG : Pencere, W için toplam güneş ısısı kazancı
TSHG : Güneş ısısı kazancının bileşeni (W)
TSHGb : İletilen güneş ısısı kazancının bileşeni (W)
TSHGd : İletilen güneş ısısı kazancının değişken bileşeni (W/m²)

2.4.3. Cam Isı Geçisi Yükü Hesabı

Cam ısı geçişi yükleri hesabı hesap raporları içeriğinde "Cam" bölümünde görünmektedir. Dışarıya açılan veya camdan ısı geçişi olan mahaller için katsayılar

tanımlanmaktadır. Tanımlı katsayılar hesaba katılarak cam güneş yükleri hesabı program üzerinden hesaplanmaktadır. Cam ısı geçiş yükü hesabı Eşitlik.3'e göre yapılmaktadır.

$$q = UA\,(T_{oa} - T_r) \qquad [3]$$

q : Cam transmisyon ısı kazancı (W)
U : Genel pencere U değeri (W/m²-K)
A : Pencere alanı (m²)
T_r : Oda hava sıcaklığı (°C)
T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)

2.4.4. Bölme ve Tavan Yükü Hesabı

Bölme ve tavan yükleri program içerisinde aynı katsayı ve yöntemle hesaplanmaktadır. Odalar arası duvar geçişleri ve katlar arası geçişler hesap raporları içerisinde "Bölme" ve "Tavan" bölümlerinde görünmektedir. Bölme yüklerinin hesaba girebilmesi için tasarlanan odalarda konfor sıcaklıklarının farklı olması gerekmektedir. Böylece ısı geçişi oda duvarları arasından sağlanabilir. Aynı konfor şartlarında varsayılan odalar arasında ısı geçişi olmayacağı için bölme ve tavan yükleri hesap içerisinde yok sayılacaktır. Bölme ve tavan yükü hesabı formülü aşağıda verilen Eşitlik.4'e göre yapılmaktadır.

$$q = UA\left(T_{adj} - T_r\right) \qquad [4]$$

q : Isı kazancı (W)
U : Bölme veya tavan U değeri (W/m²-K)
A : Bölme veya tavan alanı (m²)
T_{adj} : Bitişik boşluktaki sıcaklık (°C)
T_r : Oda sıcaklığı (°C)

2.4.5. Kat Yükü Hesabı

Kat yükü hesabı hesap raporları içeriğinde "Kat" bölümünde görünmektedir. Katlar arası ısı geçişlerinin hesabının yapıldığı bu bölümde kat döşemelerinin alanlarının ve geçiş katsayılarının girilmesiyle program üzerinden sonuçlar hesaplanmaktadır. Zemine oturmuş katlarda kat yükü hesabı Eşitlik.5'e göre yapılmaktadır.

$$q_f = P\,(T_{oa} - T_r)\frac{k_{soil}}{\pi x}\,[\ln(\frac{1}{h_o} + \frac{w\pi}{k_{soil}} + R_f + R_{si} + R_s) - \ln(\frac{1}{h_o} + Rf + Rsi + Rs)]$$

[5]

Zemin kotu altında kalan alanlarda kat yükü hesabı Eşitlik.6 ve Eşitlik.7'ye göre yapılmaktadır.

$$q_f = P\,(T_{oa} - T_r)\frac{k_{soil}}{\pi x}\,[\ln(\frac{1}{h_o} + \frac{D_f\pi}{2k_{soil}} + \pi\frac{w\pi}{k_{soil}+R_s}) - \ln(\frac{1}{h_o} + \pi\frac{D_f}{2k_{soil}+s})] \qquad [6]$$

$$q_w = P\,(T_{oa} - T_r)\frac{2k_{soil}}{\pi x}\,[\ln(\frac{1}{h_o} + \frac{\pi D_i}{2k_{soil}} + R_{wi} + R_w) - \ln(\frac{1}{h_o} + R_{wi} + R_w) + \ln(\frac{1}{h_o} + \frac{D_f\pi}{2k_{soil}} + R_w) - \ln(\frac{1}{h_o} + \frac{D_i\pi}{2k_{soil}} + R_w] \qquad [7]$$

D_f : Katın zeminden aşağısında yer alan kotu (m)
D_i : Zemin kotu altında ki duvarın derinliği (m)
h_o : Dış yüzey konveksiyon katsayısı (34.1 W/m²-K)
k_{soil} : Toprak ısı iletkenliği (W/m-K)
P : Toprakla temasa maruz kalan duvarın çevresi (m)
q_f : Zemin ısı kazancı (W)
q_w : Bodrum duvarı ısı kazancı, (W)
R_f : Duvar temeli için ısı direnci, ((0.289m²-k)/W)
R_{si} : Döşeme yalıtımı için ısı direnci ((m²-k)/W)
R_s : Zemin malzemesi karo veya halı gibi herhangi bir kaplama ve iç yüzey direnci dahil ısıl direnci ((m²-k)/W)
R_w : Duvar malzemesi karo veya halı gibi herhangi bir kaplama ve iç yüzey direnci dahil ısıl direnci ((m²-k)/W)
R_{wi} : Bodrum duvarın dış yüzeyine uygulanan yalıtımın ısı direnci ((m²-k)/W)
T_{oa} : Dış hava sıcaklığı (°C)
T_r : Oda hava sıcaklığı (°C)
W : Efektif kat genişliği, kat alanı etkilenen çevreye bölünerek hesaplanır

2.4.6. Aydınlatma Yükü Hesabı

Mahal içerisinde kullanılan aydınlatmalar ısı yaymaktadır. Kullanılan armatür türlerine göre yayılan ısı miktarları değişiklik göstermektedir. Aydınlatma yüklerinin belirlenmesi için oda içerisinde kullanılacak armatür sayısı ve modeli bilinmelidir. Aydınlatma yükleri hesap raporlarında "Başüstü Aydınlatma" ve "Masa Aydınlatması" bölümlerinde görünmektedir. Başüstü aydınlatma kısmı odanın aydınlatılması için kullanılan armatürlerin yaydığı ısı yükünü temsil etmektedir. Masa aydınlatması kısmı ise çalışma odalarında kullanılan masa üstü lambaları temsil etmektedir. Aydınlatma yükü Eşitlik.8'e göre yapılmaktadır.

$$q = K\,PI\,(BM)\frac{Fs}{100} \quad [8]$$

q : Aydınlatma ısı kazancı (W)
K : Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için 1.0
$P_ı$: Aydınlatma gücü armatürü (watt)
BM : Balast çarpanı, ondalık
F_s : Maksimum aydınlatma yükünün saatlik yüzde değeri

2.4.7. Elektrik Ekipman Yükü Hesabı

Hesap raporları içerisinde yer alan "Elektrik Ekipmanı" bölümü mahallerde kullanılan elektronik cihazların yaydığı ısı yükünü temsil etmektedir. Program içerisine elektrik ekipmanlarının yaydığı ısı yükleri doğrudan girilmekte veya tasarlanan odanın kullanım amacına göre m² başına belirli bir ısı yükü tanımlanmaktadır. Elektrik ekipman yükü hesabı Eşitlik 9'a göre yapılmaktadır.

$$q = K\,P_e\,\frac{Fs}{100} \quad [9]$$

q : Aydınlatma ısı kazancı (W)
K : Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için 1.0
P_e : Elektrik ekipman maksimum gücü (watt)
F_s : Maksimum elektrik ekipman yükünün saatlik yüzde değeri

2.4.8. İnsan Yükü Hesabı

İnsan yükü hesabı mahal içerisinde bulunan insanların yaptıkları aktivitelere göre vücuttan yayılan ısı yükünü hesaba yansıtmaktadır. Hesap raporlarında "İnsan" olarak belirtilen kısımda ısı yükleri gösterilmektedir. Program içerisinde yükler hesaplanırken ilgili mahalde kaç insan bulunduğu, insanların aktiviteleri gibi değişkenler tanımlanmaktadır. İnsan yükü hesabı Eşitlik.10'a göre yapılmaktadır.

$$q = (HG)(O)\,\frac{Fs}{100} \quad [10]$$

q : İnsanların ısı kazancı (W)
K : Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için 1.0
O : Maksimum insan sayısı
F_s : Maksimum insan yükünün saatlik yüzde değeri

2.4.9. İnfiltrasyon Isı Yükü Hesabı

İnfiltrasyon ısı yükü, hesap programı içerisinde sadece hava akışının olduğu mahallerde hesaba katılmaktadır. İnfiltrasyon ısısı mahale hava yoluyla taşınan veya hava yoluyla dışarı çıkan ısı miktarını göstermektedir. Cam fuga ve kapı alanlarından sızan havalar mahalin sıcaklığını etkilemektedir. İnfiltrasyon yükü program içerisinde "İnfiltrasyon" olarak yer almaktadır. İnfiltrasyon yükü hesabı Eşitlik 11'e göre yapılmaktadır.

$$\mathrm{Vi} = (\text{Air Changes per Hour})(\mathrm{AF})\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{K}} \qquad [11]$$

$$\mathrm{Q_s} = \rho_a \mathrm{C_{pa}} \mathrm{V_i} \mathrm{K}(\mathrm{T_{oa}} - \mathrm{T_r})$$

$$\mathrm{Q_I} = \rho_a \mathrm{H_{fg}} \mathrm{V_i} \mathrm{K}(\mathrm{w_{oa}} \mathrm{w_r})$$

Burada;

AF	:	Boşluk için taban alanı (m²)
$\mathrm{C_{pa}}$	:	Havanın ısınma ısısı (1004.8 J/kg-K)
H	:	Kat zeminden tavana olan yükseklik (m)
$\mathrm{H_{fg}}$	:	Suyun buharlaşma gizli ısısı (2.4535x10^6 J/kg)
K	:	Birim dönüşüm faktörü; S.I metrik birimleri için m³/1000 L
ρ_a	:	Havanın yoğunluğu, yüksekliğe bağlı olarak (kg/m³)
$\mathrm{Q_l}$	:	Gizli infiltrasyon ısı yükü (W)
$\mathrm{Q_s}$	:	Hissedilir infiltrasyon ısı yükü (W)
$\mathrm{T_{oa}}$	:	Dış hava sıcaklığı (°C)
$\mathrm{T_r}$	:	Oda sıcaklığı (°C)
$\mathrm{V_i}$	:	İnfiltrasyon hava akış hızı L/s
$\mathrm{w_{oa}}$	:	Dış havanın özgül nemi (kg/kg)
$\mathrm{w_r}$	:	Oda havasının özgül nemi (kg/kg)

değerlerini ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Isı Kayıp Kazanç Hesabı

Bu bölümde FCU ve VRF sistem uygulamasının yapılacağı bir mağazanın HAP üzerinden yapılmış ısı kayıp kazanç değerleri incelenmiştir. Bina Bolu'da bulunan bir cadde mağazasına aittir. İnsan yoğunluğu, aydınlatma yükleri, duvar alanları, cam alanları vb. özellikler her mahal için ayrı ayrı tanımlanmış ve bu doğrultuda ısı kayıp kazanç hesaplanmıştır. Tablo 3.1'de mahal ısıtma ve soğutma yükleri verilmiştir. Hap sonuçlarına göre mahal ısı yükleri için oluşturulan tablolar Tablo 3.2'den başlayarak Tablo 3.15'e kadar verilmiştir.

Tablo 3.1 Mahal Isıtma ve Soğutma Yükü Listesi

Mahaller	**Soğutma Yükü (kW)**	**Isıtma Yükü (kW)**	**Kat Alanı (m²)**
Zemin Kat Deneme Kabini	2,08	1,2	12,8
Zemin Kat Satış Alanı	37,89	14,2	185
1. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
1.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
2. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
2.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
3. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
3.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
4. Kat Satış Alanı	23,36	11,5	175,5
4.Kat Deneme Kabini	3,0	2,4	22,3
5. Kat Depo	4,81	3,7	74
5. Kat Müdür Odası	1,08	0	5,8
5. Kat Pers. Soyunma Odası-1	0,80	0	3,6
5. Kat Pers. Soyunma Odası-2	0,83	0,1	3,6
Toplam Yük	**152,93**	**74,9**	**1076**

Tablo 3.2 Zemin Kat Deneme Kabini Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Duvar	73	-	368	-
Kat	82	-	36	-
Baş üstü Aydınlatma	533	-	0	-
İnsan	419	481	0	0
İnfiltrasyon	152	145	710	0

Emniyet Katsayısı	126	63	111	0
Toplam Yük	**1386**	**688**	**1226**	**0**

Tablo 3.3 Zemin Kat Satış Alanı Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	1889	-	-	-
Duvar	358	-	2525	-
Pencere	135	-	746	-
Kapı	1533	-	469	-
Kat	1179	-	519	-
Başüstü Aydınlatma	7599	-	0	-
Elektrik Ekipmanı	1200	-	0	-
İnsan	6283	7412	0	0
İnfiltrasyon	2078	1770	8625	0
Muhtelif	2500	500	0	0
Emniyet Katsayısı	2475	968	1288	0
Toplam Yük	**27229**	**10651**	**14173**	**0**

Tablo 3.4 1. Kat Satış Alanı Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir(W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	1259	-	-	-
Duvar	339	-	2391	-
Cam	90	-	497	-
Başüstü Aydınlatma	2883	-	0	-
Elektrik Ekipmanı	3510	-	0	-
İnsan	4470	5274	0	0
İnfiltrasyon	1830	1559	7597	0
Emniyet Katsayısı	1438	683	1049	0
Toplam Yük	**15820**	**7516**	**11534**	**0**

Tablo 3.5 1. Kat Deneme Kabini Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	275	-	-	-
Duvar	74	-	603	-
Cam	34	-	203	-
Başüstü Aydınlatma	929	-	0	-
İnsan	419	481	0	0
İnfiltrasyon	265	252	1238	0
Emniyet Katsayısı	200	73	217	0
Toplam Yük	**2195**	**806**	**2384**	**0**

Tablo 3.6 2. Kat Satış Alanı Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	1259	-	-	-
Duvar	339	-	2391	-
Cam	90	-	497	-
Başüstü Aydınlatma	2883	-	0	-
Elektrik Ekipmanı	3510	-	0	-
İnsan	4470	5274	0	0
İnfiltrasyon	1830	1559	7597	0
Emniyet Katsayısı	1438	683	1049	0
Toplam Yük	**15820**	**7516**	**11534**	**0**

Tablo 3.7 2. Kat Deneme Kabini Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	275	-	-	-
Duvar	74	-	603	-
Cam	34	-	203	-

Kat	0	-	124	-
Başüstü Aydınlatma	929	-	0	-
İnsan	419	481	0	0
İnfiltrasyon	265	252	1238	0
Emniyet Katsayısı	200	73	217	0
Toplam Yük	**2195**	**806**	**2384**	**0**

Tablo 3.8 3. Kat Satış Alanı Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	1259	-	-	-
Duvar	339	-	2391	-
Cam	90	-	497	-
Başüstü Aydınlatma	2883	-	0	-
Elektrik Ekipmanı	3510	-	0	-
İnsan	4470	5274	0	0
İnfiltrasyon	1830	1559	7597	0
Muhtelif	0	0	0	0
Emniyet Katsayısı	1438	683	1049	0
Toplam Yük	**15820**	**7516**	**11534**	**0**

Tablo 3.9 3. Kat Deneme Kabini Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	275	-	-	-
Duvar	74	-	603	-
Cam	34	-	203	-
Kat	0	-	124	-
Başüstü Aydınlatma	929	-	0	-
İnsan	419	481	0	0
İnfiltrasyon	265	252	1238	0

Emniyet Katsayısı	200	73	217	0
Toplam Yük	**2195**	**806**	**2384**	**0**

Tablo 3.10 4. Kat Satış Alanı Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	1259	-	-	-
Duvar	339	-	2391	-
Cam	90	-	497	-
Başüstü Aydınlatma	2883	-	0	-
Elektrik Ekipmanı	3510	-	0	-
İnsan	4470	5274	0	0
İnfiltrasyon	1830	1559	7597	0
Muhtelif	0	0	0	0
Emniyet Katsayısı	1438	683	1049	0
Toplam Yük	**15820**	**7516**	**11534**	**0**

Tablo 3.11 4. Kat Deneme Kabini Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Pencere güneş etkisi	275	-	-	-
Duvar	74	-	603	-
Cam	34	-	203	-
Kat	0	-	124	-
Başüstü Aydınlatma	929	-	0	-
İnsan	419	481	0	0
İnfiltrasyon	265	252	1238	0
Muhtelif	0	0	0	0
Emniyet Katsayısı	200	73	217	0
Toplam Yük	**2195**	**806**	**2384**	**0**

Tablo 3.12 5. Kat Depo Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Duvar	193	-	1322	-
Başüstü Aydınlatma	3083	-	0	-
İnsan	114	120	0	0
İnfiltrasyon	440	419	2053	0
Muhtelif	0	0	0	0
Emniyet Katsayısı	383	54	338	0
Toplam Yük	**4213**	**593**	**3713**	**0**

Tablo 3.13 5. Kat Müdür Odası Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Başüstü Aydınlatma	227	-	0	-
Elektrik Ekipmanı	300	-	0	-
İnsan	156	180	0	0
Muhtelif	200	0	0	0
Emniyet Katsayısı	88	18	0	0
Toplam Yük	**971**	**198**	**0**	**0**

Tablo 3.14 5. Kat Personel Soyunma Odası-1 Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		**Isıtma Yükü**	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Başüstü Aydınlatma	154	-	0	-
İnsan	274	301	0	0
Emniyet Katsayısı	43	30	0	0
Toplam Yük	**471**	**331**	**0**	**0**

Tablo 3.15 5. Kat Personel Soyunma Odası-2 Isı Yükleri

	Soğutma Yükü		Isıtma Yükü	
	Hissedilir (W)	Gizli (W)	Hissedilir (W)	Gizli (W)
Duvar	26	-	106	-
Başüstü Aydınlatma	154	-	0	-
İnsan	274	301	0	0
Emniyet Katsayısı	45	30	11	0
Toplam Yük	**499**	**331**	**117**	**0**

3.2. Cihaz Seçimleri

Cihaz seçimlerinin ilk adımı mahal ısı kayıp kazanç yüklerine göre VRF iç ünite seçimlerinin yapılmasıdır. İkinci aşama ise VRF iç ünite kapasitelerine ve diversite oranına göre dış ünite seçimini yapmaktır. VRF dış ünitesi seçimi sonrası yatırım maliyeti, elektrik tüketim değeri ve işletme maliyeti hesaplanacaktır.

FCU tasarımı için VRF iç ünitelerinin kapasitesine en yakın iç üniteler seçilecektir. Toplam iç ünite kapasitelerine göre soğutma grubunda chiller kapasitesi, ısıtma grubunda ise kazan kapasitesi belirlenecektir. Tasarım tamamlandıktan sonra ilk yatırım maliyeti elektrik tüketim değeri ve işletme gideri hesaplanarak VRF sistemi ile karşılaştırılacaktır.

3.2.1. VRF Sistemi Cihaz Seçimleri

VRF sistemi iç ünite yerleşimleri yapıldıktan sonra projede belirtilen IU kodları ve seçilen cihazların kapasiteleri Tablo 3.16.'da gösterilmektedir. Mahallerde kullanılacak VRF iç ünitelerin adetleri Tablo 3.17'de gösterilmiştir.

Tablo 3.16 VRF Cihaz ve Kapasiteleri

Cihaz Kodu	Açıklama	Cihaz Tipi	Kapasite (kW)
IND-01	İç Ünite	Kaset	11,2
IND-02	İç Ünite	Kaset	9,0
IND-03	İç Ünite	Duvar	5,6
IND-04	İç Ünite	Duvar	3,6
IND-05	İç Ünite	Duvar	2,2
OU-01	Dış Ünite	Tek Kompresör	28,0
OU-02	Dış Ünite	Çift Kompresör	40,0

Tablo 3.17 VRF Cihaz Adetleri

İç Ünite	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat
IND-01	2	2	2	2	2	
IND-02	2					
IND-03						1
IND-04		1	1	1	1	
IND-05	1					3

İç ünite kapasitelerine ve adetlerine göre hesaplanan toplam soğutma kapasitesine %100 diversite uygulanmıştır. Toplam soğutma kapasitesine uygun dış ünite seçimi yapılacaktır. Daha verimli bir sistem oluşturmak adına bina 2 zona ayrılmıştır. Zemin kat, 1. kat ve 2. kat birinci zon olarak 3. kat, 4. kat ve 5. kat ise ikinci zon olarak tasarlanmıştır. Sistem için oluşturulan zonlar ve kapasiteler Tablo 3.18' de gösterilmektedir.

Tablo 3.18 Zonlar ve Kapasiteler

Zonlar	Kapasite (kW)	Seçilen Dış Ünite (HP)	Dış Ünite Kapasitesi (kW)
Zemin 1 ve 2. kat	94,2	10+10+14	96
3, 4 ve 5. kat	58,5	10+14	68
Toplam Kapasite(kW)			**164**

3.2.2. FCU Sistemi Cihaz Seçimleri

VRF sistemine alternatif olarak düşünülen FCU sistemi için mahal ihtiyaçlarına göre kapasite ve tiplerde iç ünite seçimlerinin yapıldığı tablo aşağıda yer almaktadır. FCU iç üniteleri ve kapasiteleri Tablo 3.19'da yer almaktadır. Isı kayıp kazanç hesaplarına göre seçilen iç üniteler ve adetleri Tablo 3.20'de gösterilmektedir.

Tablo 3.19 FCU Cihaz ve Kapasiteleri

Cihaz Kodu	Açıklama	Cihaz Tipi	Kapasite (kW)
FCU-01	İç Ünite	Kaset	10,47
FCU-02	İç Ünite	Kaset	9,72
FCU-03	İç Ünite	Döşeme	5,25
FCU-04	İç Ünite	Döşeme	3,61
FCU-05	İç Ünite	Döşeme	2,41
FCU-06	İç Ünite	Döşeme	1,97

Tablo 3.20 FCU Cihaz Adetleri

FCU Ünitesi	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat
FCU-01	2					
FCU-02	2	3	3	3	3	
FCU-03						1
FCU-04		1	1	1	1	
FCU-05	1					
FCU-06						3

Cihaz seçimleri tamamlanan binamız için şimdi sistem ekipman seçimlerini tamamlamamız gerekmektedir. Sistem ekipmanları için duvar tipi yoğuşmalı kazan ve chiller sistemi kurulacaktır. İç ünite seçimleri soğutma ihtiyacı ve ihtiyaca uygun iç ünite kapasiteleri üzerinden yapılmıştır. Isıtma ve kazan kapasitesi hesap raporları esas alınarak mahalin ısıtma ihtiyacına göre yapılmalıdır. 152,93 kW soğutma kapasitesi esas alınarak 168,40 kW chiller seçimi yapılmıştır. Mahal yükleri esas alınarak ısı kaybı 74,9 kW çıkmaktadır. Isıtma kapasitesi ihtiyacına göre kazan sistemi seçimi yapılacaktır. 85 kW kapasiteli 1 adet duvar tipi yoğuşmalı kazan seçilerek ihtiyaç karşılanacaktır. Chiller seçimi Tablo 3.21'de, chiller devresi pompa hesabı Tablo 3.22'de gösterilmiştir.

Tablo 3.21 Chiller Seçim Tablosu

		Toplam Kapasite (kW)
FCU Toplam Soğutma Kapasitesi		152,93
Genel Toplam (kW)		152,93
ZR Faktörü	1,00	152,93
Eş Zaman Faktörü (Recnagel-Sprenger-Schramek)		1
Eş Zamanlı Genel Toplam (kW)		152,93
1 Adet Chiller Kapasitesi	1	152,93
Seçilen Chiller	1	168,40
1 Adet 168,40 kW Hava Soğutmalı Vidalı Tip Chiller Seçilmiştir.		

Tablo 3.22 Chiller Çevrimi Pompa Hesabı Seçim Tablosu

Qp : Qk / (Tg - Tç)		
Qb (Toplam Chiller Kapasitesi)	168,40 kW	
Qb (Toplam Chiller Kapasitesi)	144.797,94 kcal/h	
Tg - Tç (Giriş ve Çıkış Suyu Arasındaki Sıcaklık Farkı)	7,0 C	
Qp (Pompa Debisi)	22,4 m3/h	
Seçilen Pompa	**22,4 m3/h -**	**13 mSS**

Isıtma sistemi için yapılan kazan seçimi Tablo 3.23'de gösterilmiştir. Kazan seçimine göre yapılmış sirkülasyon pompası hesabı Tablo 3.24'de, denge kabı seçim tablosu ise Tablo 3.25'de gösterilmiştir.

Tablo 3.23 Kazan Kapasitesi Seçim Tablosu

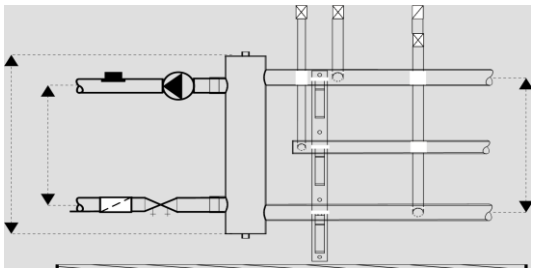
		Toplam Kapasite (kW)
FCU Toplam Isıtma Kapasitesi		74,9 kW
Boyler Isıtma Kapasitesi		0,0 kW
Genel Toplam (kW)		74,9 kW
ZR Faktörü	1,10	82,39 kW
Eş Zaman Faktörü (Recnagel-Sprenger-Schramek)		1
Eş Zamanlı Genel Toplam (kW)		82,39 kW
1 Adet Kazan Kapasitesi	1	85,0 kW
Seçilen Kazan	1	85,0 kW
Maksimum işletme basıncı 6 Bar olan 1 adet 85 kW Duvar Tipi Yoğuşmalı Kazan Seçilmiştir		

Tablo 3.24 Kazan Çevrimi Pompa Hesabı Seçim Tablosu

Qp : Qk / (Tg - Tç)		
Qb (Toplam Kazan Kapasitesi)	85,0 kW	
Qb (Toplam Kazan Kapasitesi)	73.086,85 kcal/h	
Tg - Tç (Giriş ve Çıkış Suyu Arasındaki Sıcaklık Farkı)	20,0 C	
Qp (Pompa Debisi)	4,3 m3/h	
Seçilen Pompa	**4,3 m3/h -**	**6 mSS**

Tablo 3.25 Denge Kabı Seçim Tablosu

Toplam Isıtma Kapasitesi	100	kW
ΔT Gidiş-Dönüş Sıcaklık Farkı	20	°C
Suyun Özgül Isısı	4,186	kJ/kg.K
Suyun Debisi	1,19	kg/ s
Maximum akış hızı D2 < 1 m/s	0,9	m/s
Yüzey	1327	mm^2
D2 kollektör çapı	46	mm
D3 Denge kabı çapı	103	mm
A1 Sekonder Devre Gidiş-Dönüş Boru Mesafesi	36	cm
A2 Primer Devre Gidiş-Dönüş Boru Mesafesi	41	cm
A3 Denge kabı Yüksekliği	51	cm



Çapı 103 mm Ölçüsünde Denge Kabı Seçilmiştir.

3.3. FCU ve VRF Sistemi Cihaz Yatırım ve İşletme Maliyetleri

Cihaz seçimleri sonrası yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılarak yatırımcıya doğru bilgi aktarılması ve ülke kaynaklarının doğru kullanılması konusu mühendisliğin getirdiği sorumlulukların başında gelmektedir. VRF sistemi yatırım maliyetleri ile ilgili çalışma tablosu Tablo 3.26 VRF cihazları ve fiyatları tablosunda gösterilmiştir.

Tablo 3.26 VRF Cihazları ve Fiyatları

Cihaz Kodu	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
IND-01	Kaset Tipi İç Ünite	10	2.819,88	28.198,8
IND-02	Kaset Tipi İç Ünite	2	2.719,08	5.438,16
IND-03	Duvar Tipi İç Ünite	1	1.617,84	1.617,84
IND-04	Duvar Tipi İç Ünite	4	1.421,28	5.685,12
IND-05	Duvar Tipi İç Ünite	4	1.363,32	5.453,28
OU-01	Dış Ünite	3	19.146,96	57.440,88
OU-02	Dış Ünite	2	29.012,76	87.038,28
-	Dış Ünite Bağlantı Kiti	2	2792,40	5.584,80
-	Dış Ünite Bağlantı Kiti	1	3793,20	3.793,20
-	Bakır Borulama	1		80.097,94
			Toplam	**280.348,3**

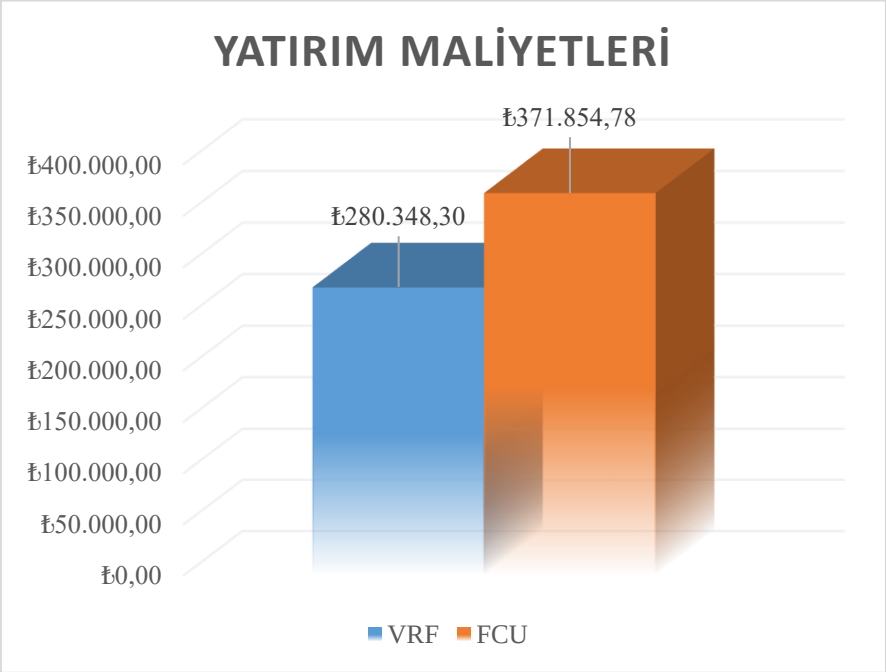
VRF sistem yatırım maliyetlerinde cihazların yanı sıra cihaz bağlantıları için kullanılan bakır boru, jointler ve gaz bulunmaktadır. Bağlantı kitleri cihazlardan gelen dalların birleşerek dış üniteye tek bir giriş yapılmasında kullanılan birleştirici ekipmandır.

4 Borulu FCU sistemi yatırım maliyetleri ile ilgili çalışma tablo 3.27. FCU Cihazları ve Fiyatları tablosunda gösterilmiştir.

Tablo 3.27 FCU Cihazları ve Fiyatları

Cihaz Kodu	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
FCU-01	Kaset Tipi İç Ünite	2	4.120,80	8.241,6
FCU-02	Kaset Tipi İç Ünite	14	3.916,80	54.835,2
FCU-03	Döşeme Tipi İç Ünite	1	1.568,16	1.568,16
FCU-04	Döşeme Tipi İç Ünite	4	968,88	3.875,52
FCU-05	Döşeme Tipi İç Ünite	1	1.203,84	1.203,84
FCU-06	Döşeme Tipi İç Ünite	3	1.067,22	3.201,66
Chiller	Hava Kaynaklı	1	160.380	160.380
Kazan	Duvar Tipi Yoğuşmalı	1	14.230,00	14.230,00
Sirk. Pom.-1	Sirkülasyon Pompası	2	4.230,6	8.461,2
Sirk. Pom.-2	Sirkülasyon Pompası	2	6.725,4	13.450,8
Kazan Dairesi Ekipmanları	Vana grupları, denge kabı, genleşme tankı vb.	1	7.650,00	7.650,00
Borulama		1	94.756,80	94.756,80
			Toplam	**371.854,78**

Yatırım maliyetleri sonrası VRF ve FCU sistemi oluşan tablolar güncel kur oranlarına göre değerlendirilmelidir. Oluşturulan maliyetler sonrası ilk yatırım maliyetlerini aşağıda yer alan Şekil 3.1'de yatırım maliyetleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 VRF ve FCU sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması

Yatırım maliyetlerinden dışında diğer önemli hususlar işletme maliyetleri ve sistem ömrüdür. İşletme maliyetleri içerisinde elektrik tüketim değerleri, yedek parça değişimleri, yıllık bakımlar ve teknik kadro maliyetleri yer almaktadır. İki sistemin ekipmanlarının elektrik tüketim değerleri aşağıda Tablo 3.28 VRF elektrik tüketim değerleri ve Tablo 3.29 FCU elektrik tüketim değerleri tablolarında gösterilmiştir.

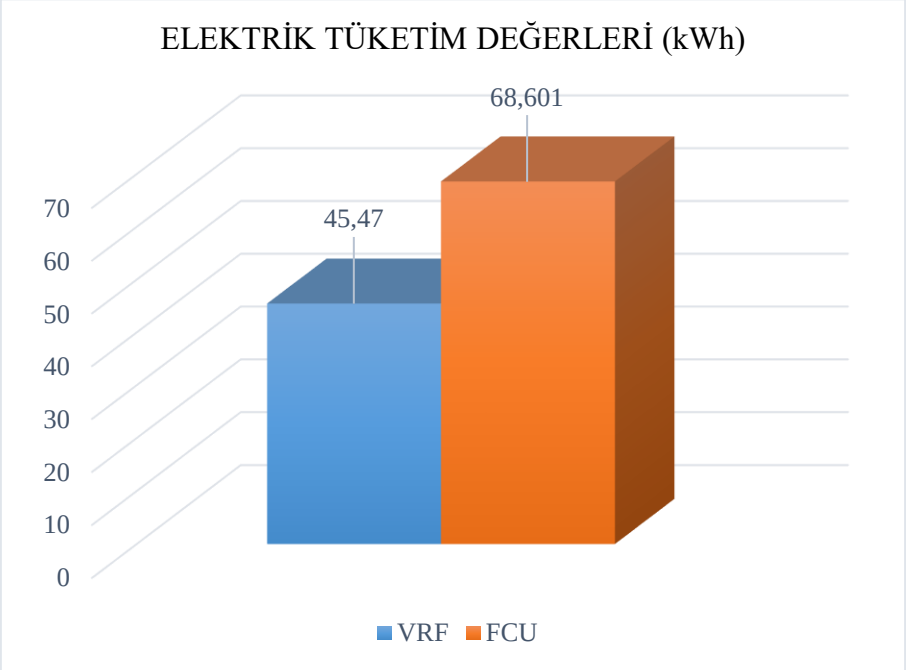
Tablo 3.28 VRF Cihazları Elektrik Tüketim Değerleri

Cihaz Kodu	Adet	Cihaz Elektrik Tüketimi (kWh)	Cihazlar Toplam Elektrik Tüketim (kWh)
IND-01	10	0,14	1,40
IND-02	2	0,13	0,26
IND-03	1	0,04	0,04
IND-04	4	0,03	0,12
IND-05	4	0,03	0,12
OU-01	3	7,05	21,15
OU-02	2	11,19	22,38
		Toplam (kWh)	**45,47**

Tablo 3.29 FCU Ekipmanları Elektrik Tüketim Değerleri

Cihaz Kodu	Adet	Cihaz Elektrik Tüketimi (kWh)	Cihazlar Toplam Elektrik Tüketim (kWh)
FCU-01	2	1,89	17,01
FCU-02	14	1,34	4,02
FCU-03	1	0,92	2,76
FCU-04	4	0,76	0,76
FCU-05	1	0,65	0,65
FCU-06	3	0,032	0,096
Kazan	1	0,43	0,43
Chiller	1	61,4	61,4
Sirk. Pompaları	4	0,8	3,2
		Toplam (kWh)	**68,601**

Elektrik tüketim değerleri hesaplanan VRF ve FCU sistemleri Şekil 3.2'de elektrik tüketim değerleri açısından karşılaştırılmıştır.



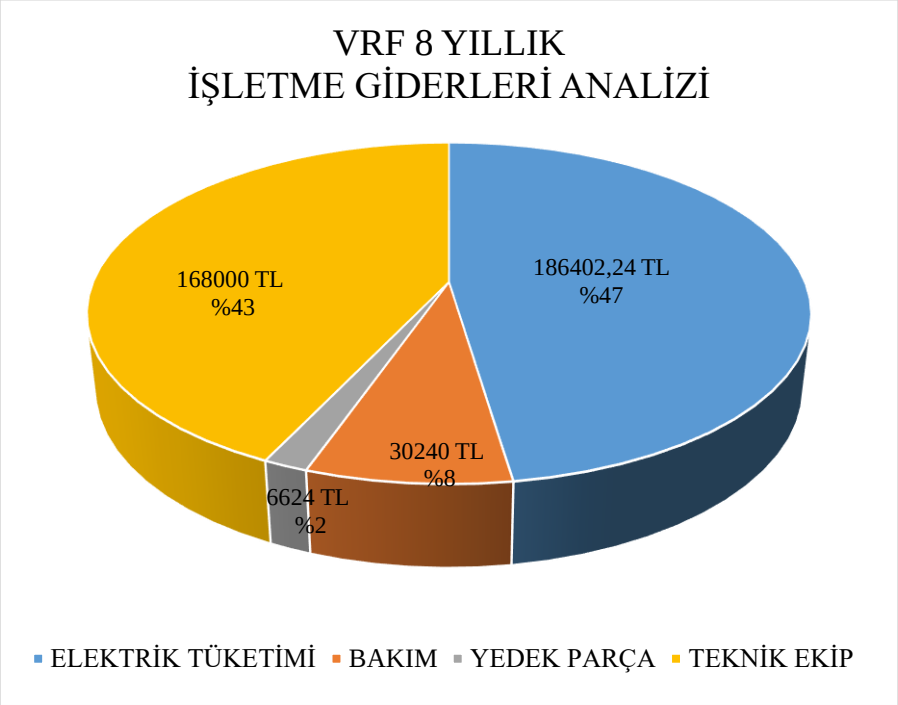
Şekil 3.2 VRF ve FCU sistemlerinin Elektrik Tüketimlerinin karşılaştırılması

İki sistemin saatlik elektrik sarfiyat değerlerinin hesaplandıktan sonrası Bolu'da yer alan işletmenin elektrik tüketimine göre saatlik ücretlendirmesi SEPAŞ tarafından yapılmaktadır. SEPAŞ'ın kwh ücretlendirmesi 0,2310 TL/kWh'tır. Belirlenen fiyatlandırma değeri sonrası 8 yıllık işletme maliyetleri Tablo 3.30 VRF İşletme giderleri tablosunda gösterilmektedir.

Tablo 3.30 VRF İşletme Giderleri

İşletme Giderleri	**Aylık**	**Aylık (TL/kWh)**	**Yıllık (TL)**	**8 Yıllık (TL)**	**Enflasyona Bağlı 8 Yıllık (TL)**
Elektrik	7.093,32 kWh	1.638,56	19.662,68	157.301,46	186.402,24
Bakım	₺ 315,00	315,00	3.780,00	56.700,00	30.240,00
Yedek Parça	₺ 69,00	69,00	828,00	6.624,00	6.624,00
Teknik Ekip	₺ 1.750,00	1.750,00	21.000,00	168.000,00	168.000,00
				TOPLAM	**₺ 391.266,24**

VRF sisteminin 8 yıllık giderlerinin toplamına göre analiz edilerek toplam gider yüzdesel olarak Şekil 3.3. VRF 8 yıllık işletme giderleri analizi grafiğinde gösterilmiştir.



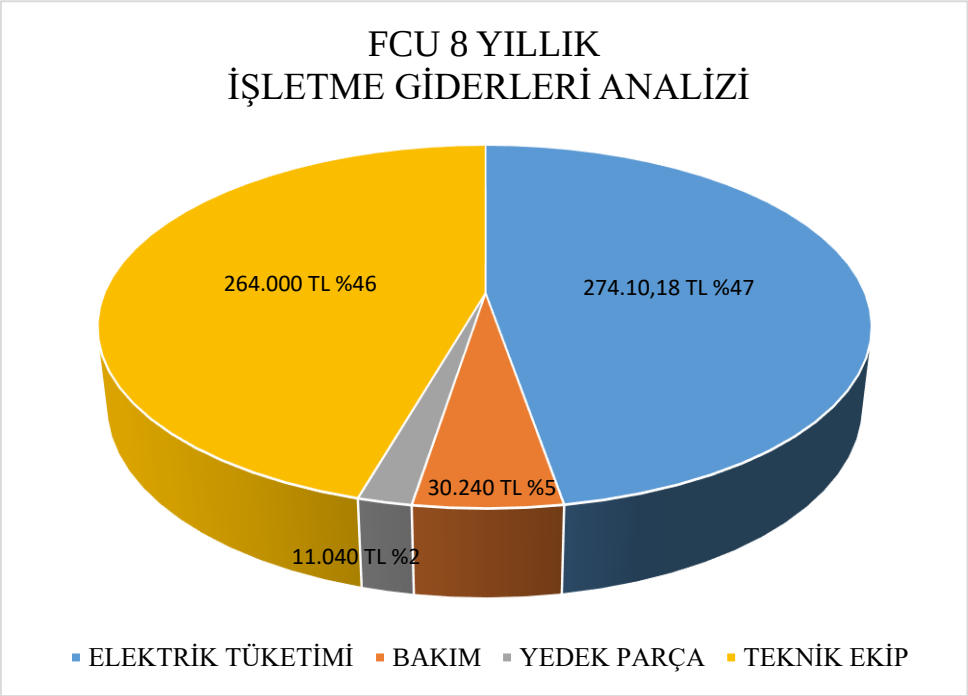
Şekil 3.3 VRF İşletme Giderleri

VRF sisteminden sonra FCU sistemine ait işletme giderleri Tablo 3.31'de gösterilmiştir. İşletme giderleri 8 yıl üzerinden hesaplanmıştır.

Tablo 3.31 FCU işletme giderleri

İşletme Giderleri	Aylık	Aylık (TL/kWh)	Yıllık (TL)	8 Yıllık (TL)	Enflasyona Bağlı 8 Yıllık (TL)
Elektrik	10.701,76 kWh	2472,11	29.655,28	237.322,23	274.107,18
Bakım	₺ 315,00	315,00	3.780,00	30.240,00	30.240,00
Yedek Parça	₺ 115,00	115,00	1.380,00	11.040,00	11.040,00
Teknik Ekip	₺ 2.750,00	2.750,00	33.000,00	264.000,00	264.000,00
				TOPLAM	**₺ 579.387,18**

FCU sitemine ait 8 yıllık işletme giderleri toplamı Şekil 3.4'de yüzdesel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4 FCU işletme giderleri

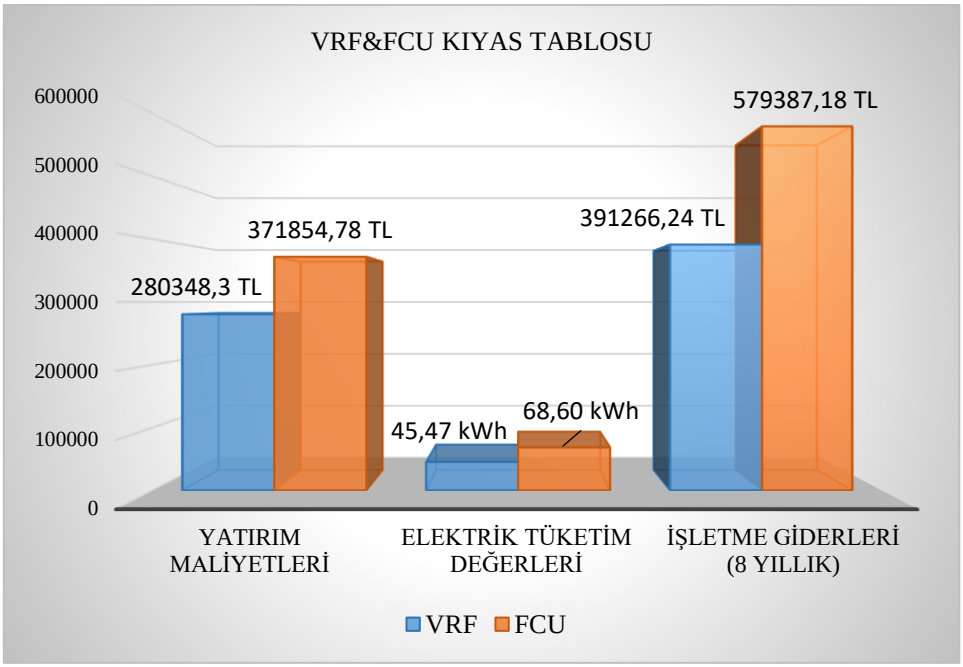
8 yıllık elektrik tüketim değerleri esas alınarak maliyet hesabına %15,5 enflasyon değeri uygulanmıştır. Tüketim değeri ortalaması belirlenen enflasyon oranı üzerinden iki sistem içinde uygulanarak tablolar oluşturulmuştur.

Yedek parça ücretleri çıkarılırken FCU sisteminde; vana grupları, FCU iç üniteleri parçaları vb. kalemler esas alınarak yedek parça ve bakım ücretleri oluşturulmuştur. FCU sistemi teknik ekip kadrosunda 2 kişinin yer alması gerekecektir. Borulama sistemi, vana

grupları, izolasyon değişimleri ve mevsim geçişlerinde görevlendirilecek olan bu kişiler teknik kadro giderlerinde yazılmıştır.

VRF sisteminde ise merkezi kumanda ve izleme sistemi daha kullanışlı olacağından tek kişilik ve daha teknik bir personel görev almaktadır. Yedek parça değişimleri sırasında kullanılacak yeni parçalar fabrikasyon ürünü olacağı için daha düşük maliyetler çıkarmaktadır.

VRF ve FCU sistemleri yatırım maliyetleri, elektrik tüketim değerleri ve 8 yıllık işletme giderleri Şekil 3.5'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.5 VRF&FCU Karşılaştırma

4. SONUÇLAR

ASHRAE Transfer fonksiyon metodu kullanılarak HAP üzerinden hesaplamalar yapılarak mahallerin ısı kayıp kazanç miktarları hesaplanmıştır. Mağazaya ait bütün alanların özellikleri program üzerine tanımlanmış ve bulunduğu ilin hava şartları girilmiştir. Çıkan sonuçlar bir tablo haline getirilmiştir. 1076 m^2 alan için hesaplanan toplam soğutma yükü 152,93 kW ve ısıtma yükü ise 74,9 kW olmuştur. Hesaplanan mahal ısı yüklerine göre İki Borulu VRF ve dört (4) borulu FCU sistem ekipmanları seçilmiştir.

VRF sistemi üretimi fabrikasyon olarak daha profesyonel üretim ve hizmet ağına sahiptir. Montajı üretici firmalarla belirlenen yetkili servislerce imalathanelerde üretilen bakır borularla yapılmaktadır. FCU sistem ekipmanları ve borulaması da yetkili kişilerce yapılmaktadır. İşçilik VRF sistemine göre daha çok insan kabiliyeti istemektedir ve imalat hatası oranı daha yüksektir.

İlk yatırım maliyetinde VRF sistemi tek firma üretimi olduğu için daha avantajlı fiyatlar sunmaktadır. FCU sistemini oluşturan ekipmanlar, tek bir firmadan tedarik edilemediği için işletmede oluşabilecek sıkıntılarda malzeme tedariği için daha fazla zaman ve para harcanmaktadır. FCU sistemini oluşturan parçaların fazla olması nedeniyle daha fazla teknik personele ihtiyaç duyulmaktadır.

Yatırım maliyetleri, işletme giderleri, tedarikçi ağı, teknik personel ihtiyacı gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır. Sistem kıyaslamasını sadece yatırım maliyetleri üzerinden değerlendirmek sağlıklı sonuçlar oluşturmayacaktır.

Her iki sistem içinde ilk yatırım maliyetleri, işletme giderleri ve enerji maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. VRF sistemlerinde ilk yatırım maliyeti, 280.348,3 TL işletme giderleri 291.266,18 TL ve enerji tüketimi 45,47 kWh olarak bulunmuştur. 4 borulu FCU sistemlerinde ise ilk yatırım maliyeti 371.854,78 TL, işletme giderleri 579.387,18 TL ve enerji tüketim değeri 68,601 kWh olarak hesaplanmıştır. VRF sistemlerinin FCU sistemlerine göre ilk yatırım maliyetlerine göre %24.6 , işletme giderlerinde %32,5 ve enerji maliyetlerinde ise %33,7 oranında daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Tasarlanan yapılarda 400 kW ve üzeri soğutma yükü ihtiyacı çıkması durumunda VRF sistemi zonlamaları ve dış ünite sayılarında artışlar oluşmaktadır. VRF sistemi dış ünite sayılarının artması nedeniyle avantajlarını kaybetmeye başlamaktadır. FCU sisteminde ise bir adet chiller yüksek kapasitelere kadar çıkabildiği için adet artırımı olmadan kapasite artışına gidilerek sistem çözümlenebilmektedir. FCU sistemde fiyatlara en fazla etki eden ekipmanın chiller, VRF sistemde ise fiyatlara en fazla etki eden ekipmanın dış üniteler olduğu düşünülürse, soğutma ihtiyacının artmasıyla birlikte sistem yeniden tasarlanırsa FCU kullanımı VRF sistemine göre daha avantajlı hale gelecektir.

Tez içerisinde ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarına yönelik sistemler tasarlanmıştır. ASHRAE standartları gereği mahallerde taze hava ihtiyaçlarının da konfor ve sağlık açısından karşılanması gerekmektedir. Taze hava ihtiyaçları mahallerin kullanım amacı, kişi sayısı vb. durumlara göre katsayılar içermektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için seçmiş olduğumuz sistemlere ısı geri kazanım cihazları ilave edilebilmektedir. VRF sistemi için DX bataryalı ısı geri kazanım cihazı, FCU sistemi için sulu bataryalı ısı geri kazanım cihazı kullanılarak mahallerde taze hava ihtiyaçları karşılanabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Aynur T.N., Hwang, Y., Radermacher R. (2006) Field Performance Measurements of a VRV AC/HP System, 11 th International Refrigereation and Air Conditianing Conference, Purdue, IN-A.B.D., 1-8, 2006.

[2] Aynur T.N., Hwang Y., Radermacher, R. (2008), Experimental Evaluation of the Ventilation Effect on the Performance of a VRV System in Cooling Mode - Part I: Experimental Evaluation, HVAC&R Research, 14 (4), 615-630.

[3] Padilla M. (2011), Exergy Analysis of The Performance of a Variable Refrigerant Flow (VRF) Air Conditioning System, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, 19 (1), 57-68.

[4] Kabul A., Alkan R. (2013), Farklı Soğutucu Akışkanlar için Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Termodinamik ve Termoekonomik Analizi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 36 (1), 119-131.

[5] Kılıçarslan A., Hoşöz M. (2010) Energy and Irreversibility Analysis of a Cascade Refrigeration System for Various Refrigerant Couples, Energy Convers. Manage., 51 (12), 2947-2954.

[6] Park, Y.C., Kim, Y.C. and Min, M.K. (2001) "Performance analysis on a multi-type inverter air conditioner", Energy Conversion and Management, 42 (13):1607–1621.

[7] Xia, J., Winandy, E., Georges, B. and Lebrun, J. (2002) "Testing methodology for VRF systems", 9th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, IN, USA, 1-8.

[8] Masuda, M., Wakahara, K. and Matsui, K. (1991) "Development of a multi-split system air conditioner for residential use", ASHRAE Transactions, 97: 127-131.

[9] Hai, X.H., Jun, S., Hand, Z.Y. and Bin, T.C. (2006) "Design and research of the digital VRV multiconnected units with three pipes type heat recovery system", 11th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, West Lafayette, IN, USA, 1-5.

[10] Aynur, T.N., Hwang, Y. and Radermacher, R. (2006), "Field performance measurements of a VRV AC/HP system", 11th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, West Lafayette, IN, USA, 1-8.

[11] Çamdalı, Ü. ve Tunç, M. (2004) "Enerji Sistemlerinde Termoekonomik Yaklaşım ve Uygulamalar", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(3): 49-56.

[12] Salsbury, T.I., and R. Diamond (1999) Model – Based Diagnostics for Air Handling Units. Diagnostics for Commercial Buildings: Research to Practice, San Francisco.

[13] J. Liang, R. Du. (2007) Model-based Fault Detection and Diagnosis of HVAC systems using Support Vector Ma chine method. International Journal of Refrigeration, 1-11.

[14] S.H. Cho, H.C. Yang, M. Zaheer-uddin, Byung-Cheon Ahn. (2005) Transient pattern analysis for fault detection and diagnosis of HVAC systems. Energy management and conservation, 46 3103–3116.

[15] Özsoy M., Yücel C. , Varlıca O., Kılıç S., Kaplan K. (2019) Optimization of Air Distribution in A Non-Ducted Concealed Type Fancoil Unit Heat Exchanger , Cilt 5 , Sayı 3, Sayfalar 124 - 130

ÖZGEÇMİŞ

Alperen TURAN 10.04.1991 yılında Kayseri'de doğmuştur. Lise eğitimini 2009 yılında Ahmet Eren Anadolu Lisesinde tamamlamış, aynı yıl başladığı Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği (İngilizce) bölümünden 2014 yılında lisans derecesinde mezun olmuştur. Ağustos 2014 yılında özel bir firmada Makine Mühendisi olarak meslek hayatına başlamıştır. 2017 yılından itibaren Fortes Mühendislik bünyesinde Makine Mühendisi olarak görev almaktadır.