T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖRNEK BİR BİNA İÇİN ISITMA-SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

FATİH ALKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MERYEM HANDAN ÇUBUK

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖRNEK BİR BİNA İÇİN ISITMA-SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih ALKAN tarafından hazırlanan tez çalışması 11/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Meryem Handan ÇUBUK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Meryem Handan ÇUBUK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Zeynep Düriye BİLGE

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN

Marmara Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu çalışmada ülkemizde tercih edilen ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma neticesinde kısa, orta ve uzun vadede hangi sistemlerin maliyet açısından daha uygun olduğu araştırılmaktadır. Çalışmanın başından itibaren bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren saygıdeğer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Handan ÇUBUK ve Arş. Gör. Dr. Alpay Nuri KÜREKÇİ'ye destekleri ve anlayışları için teşekkür ederim. Bu çalışmaya başlamamı sağlayan ve yollarımızın kesistiği ilk günden bu yana bana her konuda destek olan ve yardımlarını esirgemeyen, başta Sayın Behnam AGHBALİ olmak üzere, Sayın Maryam KORDBACHEH, Sayın Bünyamin DURUL ve bütün SAINA Dan. Müh. Ailesine gösterdikleri iyi niyet ve anlayış için teşekkür ediyorum.

Ayrıca bu günlere gelmemdeki en büyük etken ve güç olan, desteklerini her koşulda yanımda hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum. Son olarak, tüm arkadaşlarıma manevi destekleri ve anlayışları için en içten şekilde teşekkür ederim. Her an varlığınızı yanımda hissettim, iyi ki sizleri tanımışım.

Ümit ederim ki tez çalışmam ülkeme ve insanlığın bilimsel gelişimine katkı sağlayacak, bu alanda gelecekteki çalışmalara yol gösterecektir.

Aralık, 2017

Fatih ALKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ ix

ÖZET x

ABSTRACT xi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Hipotez 5

BÖLÜM 2

ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEM TANIMLARI 7

2.1 HVAC Sistemleri 7
2.1.1 Değişken Hava Debili Sistem (VAV) + Radyatör Sistemi 7
2.1.2 Su Kaynaklı Isı Pompası 8
2.1.3 Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV Sistemi (3 Borulu) 10
2.1.4 Isı Pompalı VRF/VRV (2 Borulu) + Radyatör Sistemi 11
2.1.5 4 Borulu Fan Coil Sistemi 13
2.2 Kullanılan Tasarımlar 14

BÖLÜM 3

MODEL VE SİSTEM TASARIMI 19

3.1 Yapının Hakkında bilgi 19
3.2 Yapının Bulunduğu Bölge Şartları 20
3.3 Tasarım Koşulları 20

3.4 Isıtma-Soğutma Yüklerinin Carrier HAP ile Hesaplanması 21
3.5 Autodesk Revit ile Tasarım 24
3.6 Maliyet Analizleri 25

BÖLÜM 4

TARTIŞMA VE BULGULAR 27

4.1 İlk Yatırım Maliyetine Göre Değerlendirme 27
4.2 İşletme Maliyetine Göre Değerlendirme 30
4.2.1 VAV + Radyatör Sistemi 30
4.2.2 Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi 32
4.2.3 Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV 34
4.2.4 Isı Pompalı VRF/VRV 36
4.2.5 Dört Borulu Fan Coil 38
4.3 Toplam Maliyete Göre Değerlendirme 40

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 43

KAYNAKLAR 45

ÖZGEÇMİŞ 48

SİMGE LİSTESİ

A	Ana para
Fn	n. yıldaki fayda
i	Faiz oranı
n	Yıl
m	Yatırımın tamamlanma yılı
Mn	n. yıldaki yatırım
t	Projenin aktif işletme ömrü
U	Toplam ısı transfer katsayısı
W	Watt

KISALTMA LİSTESİ

AĞU	Ağustos
BD	Bugünkü Değer
BIM	Yapı Bilgi Modellemesi
CAV	Sabit Hava Debili Sistem
GSHP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
HAZ	Haziran
HVAC	Isıtma, Soğutma Ve Havalandırma
NBD	Net Bugünkü Değer
SHGC	Güneş Isı Kazanç Katsayısı
TEM	Temmuz
VAV	Değişken Hava Debili Sistem
VRF	Değşken Akışkan Debili Sistem
WSHP	Su Kaynaklı Isı Pompası

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 VAV sistemi	8
Şekil 2.2 Su kaynaklı ısı pompası sistemi	9
Şekil 2.3 İki borulu VRF	10
Şekil 2.4 Üç borulu VRF	12
Şekil 2.5 Dört borulu fan coil	13
Şekil 2.6 VAV sistemi şematik çizimi	15
Şekil 2.7 Su kaynaklı ısı pompası sistemi şematik çizimi	16
Şekil 2.8 Isı geri kazanımlı VRF/VRV sistemi (3 borulu) şematik çizimi	17
Şekil 2.9 Isı pompalı VRF/VRV (2 borulu) + radyatör sistemi şematik çizimi	18
Şekil 2.10 Dört borulu fan coil sistemi şematik çizimi	18
Şekil 3.1 Revit ile modellenen bina mimarisi	20
Şekil 3.2 HAP programında kazan grubu bilgi giriş sistemi	23
Şekil 3.3 Hap programında fan coil sisteminin tanımlanması	23
Şekil 3.4 Isı geri kazanımlı VRF/VRV sisteminin Revit programında tasarımı	25
Şekil 4.1 Birinci sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları	31
Şekil 4.2 Birinci sistemin aylık işletme maliyetleri	32
Şekil 4.3 İkinci sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları	33
Şekil 4.4 İkinci sistemin aylık işletme maliyetleri	34
Şekil 4.5 Üçüncü sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları	35
Şekil 4.6 Üçüncü sistemin aylık işletme maliyetleri	36
Şekil 4.7 Dördüncü sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları	37
Şekil 4.8 Dördüncü sistemin aylık işletme maliyetleri	37
Şekil 4.9 Beşinci sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları	38
Şekil 4.10 Beşinci sistemin aylık işletme maliyetleri	39
Şekil 4.11 Beş sistemin yıllık işletme maliyetleri	39
Şekil 4.12 Beş sistemin aylık işletme maliyetleri	40
Şekil 4.13 Beş sistemin 15 yıl boyunca toplam maliyetleri	41

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Tasarlanan HVAC sistemleri 15
Çizelge 3.1 Toplam ısı transfer katsayıları 19
Çizelge 3.2 HAP programında İstanbul için belirlenen dış hava şartları 21
Çizelge 3.3 Toplam Isıtma ve Soğutma Yükleri 22
Çizelge 3.4 Sistemlerde kullanılan iç ünite tipleri ve zon sayıları 24
Çizelge 3.5 Faiz, kur ve birim fiyatlar 26
Çizelge 4.1 Birinci sistemin ilk yatırım maliyeti 28
Çizelge 4.2 İkinci sistemin ilk yatırım maliyeti 28
Çizelge 4.3 Üçüncü sistemin ilk yatırım maliyeti 29
Çizelge 4.4 Dördüncü sistemin ilk yatırım maliyeti 29
Çizelge 4.5 Beşinci sistemin ilk yatırım maliyeti 29
Çizelge 4.6 Birinci sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri 31
Çizelge 4.7 İkinci sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri 32
Çizelge 4.8 Üçüncü sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri 34
Çizelge 4.9 Dördüncü sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri 36
Çizelge 4.10 Beşinci sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri 38
Çizelge 4.11 Birinci sistem ile diğer sistemlerin NBD yöntemi karşılaştırılması 41

ÖZET

ÖRNEK BİR BİNANIN ISITMA-SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih ALKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Handan Çubuk

Bu çalışmada 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.

Anahtar Kelimeler: ısıtma-soğutma sistemleri, HVAC sistem karşılaştırması, ekonomik analiz, enerji analizi

ABSTRACT

COMPARISON OF HEATING-COOLING SYSTEMS FOR A SAMPLE BUILDING

Fatih ALKAN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Handan Çubuk

In this study, for a sample building with 11.000 m2 area, 5 common HVAC systems have been designed and modeled in BIM platform and the initial and operation cost of the systems were compared using energy analyze models to find optimum system. The sample building is located in İstanbul with three floors. All the design process has been done using Autodesk Revit for each system and energy analysis have been performed using Carrier HAP program. The first system is the existing system which was Variable air flow system (VAV) + radiator, the other four systems are water source heat pump, heat recovery VRF / VRV, heat pump VRF / VRV + Radiator and 4 pipe Fan coil system respectively. In all 5 systems, energy consumption, initial investment cost, operation and maintenance costs are compared and according to the results optimum systems were proposed for short, medium and long terms.

Keywords: heating-cooling systems, HVAC systems comparison, economic analysis, energy analysis

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Fosil yakıtların yakın bir zamanda biteceği bir gerçektir. Kalan fosil yakıtlar her geçen gün değerlenmektedir. Bu durumda fosil yakıtlarında verimli kullanımı önem kazanmaktadır. Aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, günümüzde enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmiştir. Türkiye'de kullanılan enerjinin %33'ü ısıtma enerjisi olarak kullanılmaktadır [1]. Enerji sadece bizim için değil, diğer ülkeler için de stratejik ve makro bir kavramdır. Ülkemizin enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı açıktır; enerji ihtiyacının %76'sı[2] ithal edilmektedir. Ayrıca bu ihtiyaç her sene %4 oranında artış göstermektedir [3,4].

Toplam bina enerji tüketiminin yaklaşık %40'ı sağlıklı ve konforlu kapalı ortamların korunmasını amaçlayan HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning ısıtma, havalandırma ve soğutma) sistemlerine atfedilmektedir. [5].

Binalardaki HVAC sistemleri büyük miktarda enerji tüketen birçok alt bileşenden oluşmaktadır. Son yıllarda enerji kaynakların azalması ve çevresel etkiler nedeniyle enerji tüketimi çok önemli bir unsur haline gelmiştir. Bu nedenle HVAC uygulamalarında enerji tüketimi konusu, termodinamik ve ekonomik bakış açısından vazgeçilmez bir gereklilik haline gelmiştir [6].

HVAC sistemleri, insan konforuyla doğrudan bağlantı kuran bir binanın en önemli parçasıdır. Modern HVAC sistemi, kullanıcıya en iyi konforu sağlamak için sıcaklık, nem ve iç hava kalitesi gibi tüm parametreleri optimize eder. İnsanın rahatlığının yanı sıra, kurulum, bakım ve işletme maliyeti, verimlilik, kullanılabilirlik ve sistem kontrol yöntemi gibi bazı diğer önemli faktörler de dikkate alınmalıdır [7].

Bu sebeplerden dolayı binalar için sadece ısıtma soğutma ihtiyacını karşılayacak sistemler yerine, bunu aynı zamanda en verimli ve her açıdan optimum şekilde yapacak sistemi de bulmak çok büyük önem kazanmaktadır.

Bu tarz çalışmalar genelde sadece ısıtma, soğutma ya da havalandırma sistemleri baz alınarak yapılmaktadır. Sistem karşılaştırma çalışmaları genelde üretici firmalar tarafından sistemlerin belli iyi noktaları ön plana çıkartılarak yapılmaktadır. Bu konuda yapılacak bağımsız çalışmalar sektör açısından önem taşımaktadır.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Gustafsson vd. [8], üç yenilikçi HVAC sistemini; (A) ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma ve mikro ısı pompası, (B) egzoz havasından suya ısı pompası ve fan coil ünitelerini, (C) havadan suya ısı pompası ve fan coil ünitelerini, referans bir sisteme; (D) egzoz havasından suya ısı pompası ve panel radyatörlere, göre enerji performansını karşılaştırmak için dinamik bir simülasyon kullanmışlardır. Sistemler, A MATLAB simulink ile, B ve C ise TRNSYS 17 programı ile referans sistemi D ise her iki programla da modellenmiştir. A sisteminin düşük ısıtma talebi için en iyi sistem olduğu ve yüksek ısıtma talebi için B sisteminin en iyi sistem olduğu belirtilmiştir.

Wang vd. [9], a) direkt genleşmeli split sistem, b) hava kaynaklı ısı pompası ve c) merkezi kazan ve soğutucu akışkan ile birlikte su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin enerji performanslarını karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma farklı iklim koşulları ve işletme koşulları altında yapılmıştır. Hava kaynaklı ısı pompası ekipman verimliliği açısından tüm senaryolarda en iyi performansı sergilemiştir. Soğuk iklimlerde su kaynaklı ısı pompasının direkt genleşmeli split sistemine göre daha iyi performans sergilediği, ancak sıcak iklimlerde daha kötü performans sergilediği belirtmiştir.

Marini [10], toplam 1050 m²'lik alana sahip, 15 daireye bölünmüş 3 katlı bir bloktan oluşan düşük enerji tüketen bir konut binasında, 5 farklı HVAC sisteminin 3 farklı iklim koşuluna göre performans karşılaştırmıştır. Ayrıca her 3 iklim için yirmi yıllık bir tekno-ekonomik analiz gerçekleştirmiş olup, yer altı suyu ısı pompası sisteminin 9 yıl sonra ekonomik açıdan uygulanabilir hale geldiği gözlemlenmiştir

Bir diğer çalışmada Bojic vd. [11], Sırbistan'ın Kragujevac kentinde bulunan bir binanın ısıtması ve soğutması için kullanılan üç sistemin enerji tüketimini, enerji maliyetlerini

ve çevre üzerindeki etkisini bir simülasyonunda değerlendirmiştir. İncelenen 3 sistem şunlardır: (a) ısıtma için doğal gaz kazanlı bir su ısıtma sistemi ve konveksiyonlu taban ısıtıcıları, soğutma için klima, (b) ısıtma için doğal gaz kazanlı bireysel ısıtıcılar ve soğutma için chiller grubu, (c) ısıtma ve soğutma içim havadan havaya ısı pompası. Simülasyonlardan sonra ilk araştırılan sistemin en yüksek enerji verimliliğine, en iyi ekonomiye ve en düşük çevresel etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Aynur vd. [12], soğutma sezonu için VAV (değişken hava hacmi) ve VRF (değişken debili soğutucu akışkan) sistemlerini karşılaştırmıştır. Makale sonuçlarına göre, VRF sisteminin VAV sistemi ile karşılaştırıldığında sistem yapılandırmasına, iç ve dış mekân koşullarına bağlı olarak %27,1-57.9 enerji tasarrufu potansiyeli vaat ettiği bulunmuştur.

Liu ve Hong [13], VRF ve GSHP (toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri arasındaki enerji verimliliğinin ön karşılaştırılması yapılmıştır. Bilgisayar simülasyon sonuçları GSHP sisteminin seçilen iki ABD ikliminde küçük bir ofis binasının şartlandırılması için hava kaynaklı VRF sisteminden daha fazla enerji verimliliğine sahip olduğunu göstermiştir. Genel olarak, GSHP sistemi özellikle bina ısıtma yükü ihtiyacının büyük olduğu durumlarda daha verimli bir sistemdir. Isıtma yükü ihtiyacının az olduğu durumlarda ise yine GSHP sistemi daha verimlidir ama elde edilen tasarruf miktarının düşük oranlarda olabileceğini belirtmiştir.

Karşılaştırma çalışmalarında bina kullanım senaryosu bile çok önemlidir ve verimli sistemi verimsiz sistem yapabilir. Örnek olarak Zhou vd. [14], soğutma koşullarında VRF sisteminin enerji tüketimini, değişken hava hacmi (VAV) sisteminin yanı sıra fan coil + taze hava (FPFA) sisteminin olduğu geleneksel iklimlendirme sistemiyle karşılaştırmıştır. Genel bir ofis binası için farklı ısıtma, soğutma ve havalandırma senaryoları hazırlanmıştır. Simülasyon sonuçlarında ise VRF sisteminin enerji tasarruf potansiyelinin VAV sistemine göre yaklaşık %22,2, FPFA sistemine göre ise yaklaşık %11,7 seviyelerinde olduğunu bulunmuştur.

Eskin ve Türkmen [15], Türkiye'deki dört iklim kuşağındaki yapıların enerji simülasyonlarını program aracılığıyla farklı koşullar, kontrol stratejileri ve ısıtma-soğutma yükleri için değerlendirmiştir. Simülasyon sonuçları, İstanbul'da bulunan bir binada kaydedilen saha ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu doğrulama modeli,

Türkiye'deki dört iklim bölgesinin temsilcisi olarak seçilen dört büyük ilde yıllık ısıtma, soğutma ve toplam bina yükü üzerindeki bazı enerji tasarrufu fırsatlarını incelemek için bir araç olarak kullanılmıştır. Yıllık bina enerji gereksinimlerine iklim koşulları (yer), yalıtım ve termal kütle, en-boy oranı, dış yüzey rengi, gölgelendirme, pencere alanı ve cam sistemi dahil pencere sistemleri, havalandırma oranları ve farklı dış hava kontrol stratejileri gibi parametrelerin etkisi incelenmekte ve sonuçlar her şehir için sunulmaktadır.

Li vd. [16], su soğutmalı kondenserli (su soğutmalı VRF) değişken soğutucu akış sistemi ile fan coil artı taze hava sistemini EnergyPlus programını kullanarak karşılaştırmıştır. Su soğutmalı VRF sistemi ile Şanghay'daki tipik bir tesis binası temel alınarak, aylık ve mevsimsel soğutma enerji tüketimi ve toplam güç tüketiminin dağılımı analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, tüm soğutma süresince fan coil artı taze hava sisteminin, su soğutmalı VRF sistemininkinden %20 daha fazla enerji tükettiğini göstermektedir. Su soğutmalı VRF sistemi ile hava soğutmalı VRF sistemi arasında güç tüketim karşılaştırması da yapılmıştır.

Vrellas ve Karakatsanis [17], en basit iklimlendirme sistemlerinin dördünü ekonomi, işlevsel, teknik ve kolaylık kriterlerine göre karşılaştırmıştır. Klima sistemlerinin kategorize edilebileceği üç yola kısaca değinildikten sonra, bir endüstriyel tesis için yürütülen bir klima çalışmasından alınan sonuçlar ile tesis için en uygun klima sistemi seçilmiştir.

Bina projelerinde en verimli ve uygun HVAC sistemini seçmek öncelikli konudur. HVAC sistem tasarımının amacı termal konfor, iyi iç mekân kalitesi ve enerji tasarrufu sağlamaktır. Barot [18], bir ticari bina için HVAC sistem tasarımı ve ekipman seçimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Etkin bir HVAC sistemi tasarımı için minimum enerji tüketimine, çalışma döngüsüne, sistemin yaşam döngüsü ve maliyet analizine dayalı ekipman seçimine dikkat çekmiştir.

Urchueguia vd. [19], soğutma gereksinimlerinin hâkim olduğu karışık iklim uygulamalarında toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerini kullanmanın teknik ve ekonomik fizibilitesini göstermek üzerine bir çalışma yapmışlardır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ile geleneksel bir hava-su ısı pompası sistemi arasındaki deneysel bir

karşılaştırmayı, ısıtma ve soğutma enerji performansına odaklanarak sunmuşlardır. Her iki sistemde aynı binaya, paralel olarak ve tam olarak aynı yükler ve iklim koşullarıyla bağlandığı için doğrudan bir karşılaştırma yapılmıştır. Bir iklim sezonu boyunca elde edilen sonuçlar, jeotermal sisteminin enerji tüketimi bakımından, sistem hem ısıtma modunda çalışırken hem de soğutma modunda çalışırken, konvansiyonel sisteme göre daha az tüketim yaparak enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Elhelw [20], soğutma hesabı yapılırken kullanılan parametrelerde ki belirsizlikler üzerine bir çalışma yapmıştır ve tasarımda ön görülen soğutma yükü ile soğutma sistemi kullanıma girdiğinde gerçek soğutma yükü profili arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Enerji verimliliği oranını (EER) optimize etmek için soğutma yükü hesaplamasına ilişkin belirsizlikleri dikkate alarak bir tasarım optimizasyon yöntemi önerilmiştir. Dış hava şartları ve iç ısı kaynakları da dahil olmak üzere, yedi faktör belirsizliğinin neden olduğu etkiler göz önünde bulundurulmuştur. Önerilen yöntem ile CLTD / SCL / CLF yöntemi arasında karşılaştırma da yapılmıştır. Ekonomik faydalar ve enerji verimliliği oranına göre, yeni yöntem ile toplam enerji verimliliği oranının %45,57 değerinde arttığı görülmüştür.

1.2 Tezin Amacı

Mevcut literatür incelendiğinde, yapılan çalışmalarda çoğunlukla konut ve ofis binaları üzerinde çeşitli iklimlendirme sistemlerinin performans, verimlilik ve ekonomiklik açısından kıyaslandığı görülmektedir. Bu çalışmada, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin bir arada olduğu, Türkiye şartları için en çok tercih edilen sistemler karşılaştırılmaktadır. İstanbul ilinde bulunan bir kütüphane ve bilgi merkezi binasında modellenen VAV+Radyatör, su kaynaklı ısı pompası, ısı geri kazanımlı VRF, ısı pompalı VRF + Radyatör ve 4 borulu fan coil sistemleri için enerji tüketimi, verimlilik, ilk yatırım ve işletme maliyetleri bakımından karşılaştırma yapılarak bu tarz yapılar için zaman ve şartlara göre optimum sistem önerisinde bulunulmaktadır.

1.3 Hipotez

Günümüzde binaların değerlerini etkileyen en önemli unsurlardan biriside bina içinde hava kalitesidir. Büyük emeklerle ve yatırımlarla meydana gelen binalarda doğru HVAC

sistemi seçilmezse bina kullanıcıları yapının büyüklüğüne ve ihtişamına bakmaksızın rahatsız olacaklardır. Bina değeri için çok önemli olan HVAC sistemleri, binanın proje aşamasında belli olmalıdır ve HVAC sistemine göre mekanik alan ihtiyaçları projeye işlenmelidir. Bu sebeplerden dolayı bina faaliyete geçtikten sonra HVAC sistemlerinde değişikliğe gitmek hem çok maliyetli olacaktır hem de kullanılması planlanan yeni HVAC sistemi için gerekli olan mekanik alan ihtiyaçları karşılanamayacaktır. Bu yüzden bina için hayati öneme sahip olan HVAC sistemlerinin projenin başında doğru seçilmesi çok önemlidir. Bu tez kapsamında İstanbul ikliminde bulunan bir kütüphane ve bilgi merkezi için beş farklı HVAC sistemi BIM platformunda 3 boyutlu olarak modellenmiş ve bu sistemlerin enerji analizleri HAP programında yapılmıştır. Çıkan sonuçlar sistemlerin işletme maliyetlerinin önemini ortaya koymaktadır.

BÖLÜM 2

ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEM TANIMLARI

2.1 HVAC Sistemleri

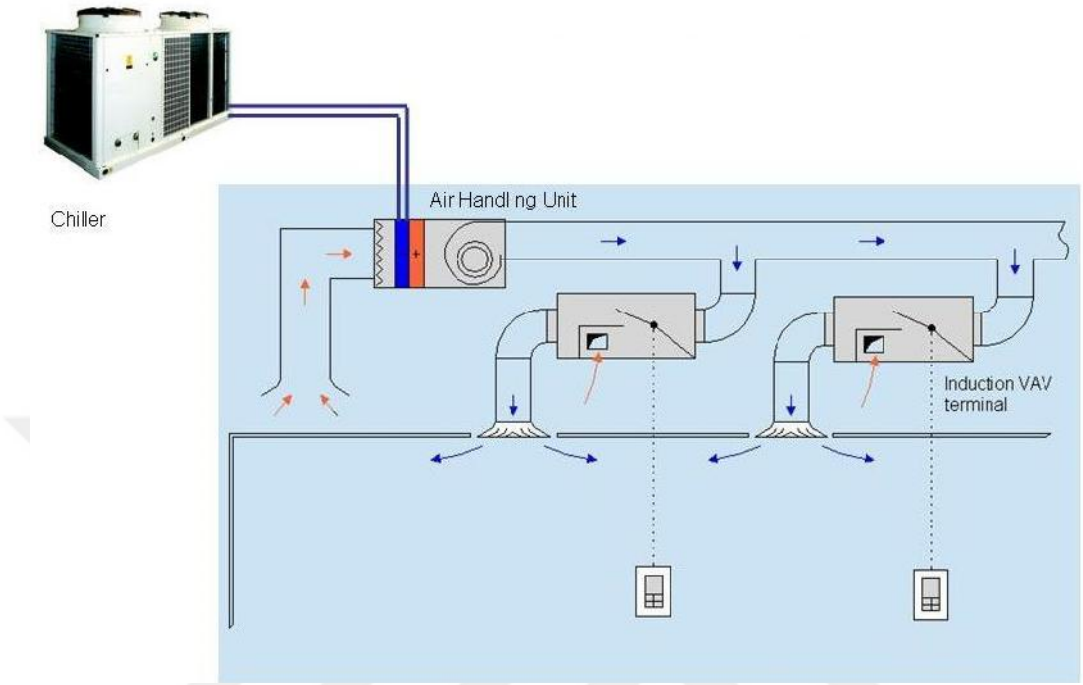
Tez çalışması kapsamı içinde beş farklı HVAC sistemi incelenecektir. Bu sistemler sırasıyla değişken hava debili sistem (VAV) + radyatör, su kaynaklı ısı pompası (WSHP), ısı geri kazanımlı VRF/VRV, ısı pompalı VRF/VRV + Radyatör ve 4 borulu fan coil sistemleridir.

2.1.1 Değişken Hava Debili Sistem (VAV) + Radyatör Sistemi

Binada kurulması planlanan sistemdir. Isıtma için radyatör, soğutma için ise merkezi klima santral ve VAV sistemi kullanılması düşünülmüştür. Sistemde ısıtma, doğal gazın kazanda yakılması ile elde edilen sıcak suyun, radyatörlerde dolaştırılması ile gerekli ısıtma talebinin karşılanması şeklinde yapılmaktadır. Soğutma ise merkezi bir klima santralinde şartlandırılan havanın kanallar yardımıyla soğutulacak bölgelere taşınması, menfez ve anemostatlardan mahallere üflenerek, ortamlardan ısı çekilmesi şeklinde yapılmaktadır. VAV sisteminde, besleme hava sıcaklığı sabittir. Fakat taşınan besleme havasının hacmi, şartlandırıldığı bölgedeki duyulur yüke bağlı olarak değişkenlik gösterir. Tek bir VAV cihazı, her biri değişik ısıtma ve soğutma ihtiyacına sahip olan birçok bölgeye hizmet verebilir. Her bölge termostat tarafından kontrol edilir ve termostat bölgeye verilen besleme havası miktarını değiştiren bir damperi kontrol eder. Mevcut sistemde soğutma, chiller cihazı tarafından sağlanmaktadır.

Bu nedenle VAV sistemi, bir binanın yük özellikleri değişken olan bir katının tamamında konfor sağlamak için CAV (sabit hava debili) sistemine göre çok daha uygundur.

Besleme havası terminalinden gelen havanın hacmi değişken olduğu için, VAV sisteminde özel olarak tasarlanmış bir terminal kullanmak gerekir. VAV sistemi, sabit hacimli bir terminalde düzgün çalışmayabilir [21].

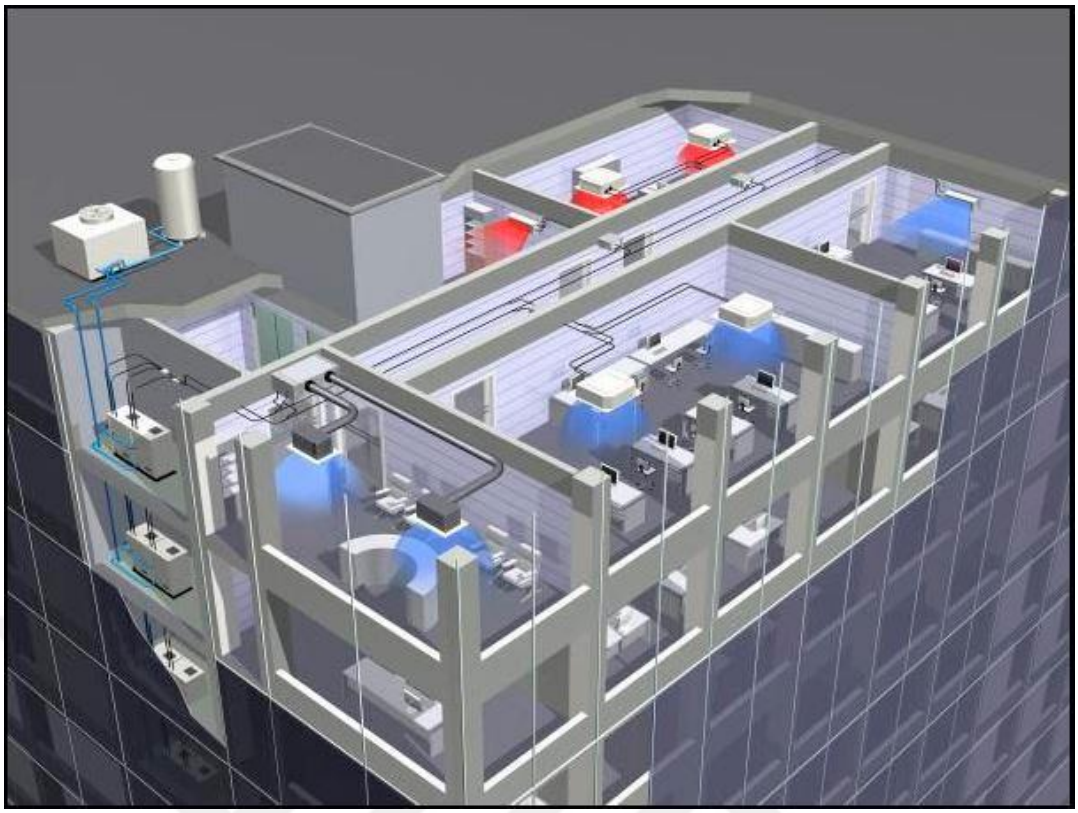


Şekil 2.1 VAV sistemi [22]

Tek kanallı VAV sisteminin dezavantajı, geçiş mevsimlerinde tek VAV cihazına bağlı birden fazla mahal var ise, aynı anda ısıtma ve soğutma yapma imkanı olmamasıdır.

2.1.2 Su Kaynaklı Isı Pompası

İkinci olarak incelenecek sistem, su kaynaklı ısı pompası (WSHP-water source heat pump) sistemidir. Bu sistemde ısı yükünü taşıyan akışkan sudur. Sistemde gaz çevrimi her iç ünitenin içinde yer almaktadır. Her iç ünitede kondenser (yoğuşturucu), genleşme vanası, evaporatör (buharlaştırıcı) ve kompresör elemanları bulunmaktadır. Bu nedenle sistemin iç üniteleri diğer sistemlere göre daha büyük, maliyetli ve gürültülü olmaktadır. Sistemin her yerinde 25-30°C aralığında su dolaşmaktadır. Kış döneminde sıcak su kazan tarafından doğal gaz yakılarak üretilmekte olup, yaz döneminde ise soğuk su soğutma kulelerinden elde edilmektedir.



Şekil 2.2 Su kaynaklı ısı pompası sistemi [23]

Bu sistemin en büyük avantajlarından birisi, daha az boru kullanılması ve sistem içinde dolaşan suyun sıcaklık değerlerine göre, bina içinde yalıtıma ihtiyaç duyulmamasıdır. Diğer bir avantajı ise; bahar aylarında aynı anda binanın bir bölümünde ısıtma, diğer bölümünde soğutma istenirse, soğutma ihtiyacı olan mahallerden çekilen ısı enerjisi, ısıtma ihtiyacı olan mahallere verilerek tasarruf yapılmaktadır. Bu sebepten dolayı sistemin genel olarak işletme maliyeti, diğer sistemlerden daha uygun olmaktadır.

Avantajlar;

- Sisteme ilave bir iç ünite sıkıntısız şekilde eklenip çıkartılabilir.
- Devreye alma aşamasında iç ünitelerin hepsini bağlamaya gerek yoktur.
- Aynı anda bir mahalde ısıtma, diğer mahalde soğutma yapılabilir.
- Isı geri kazanım yapabilir.

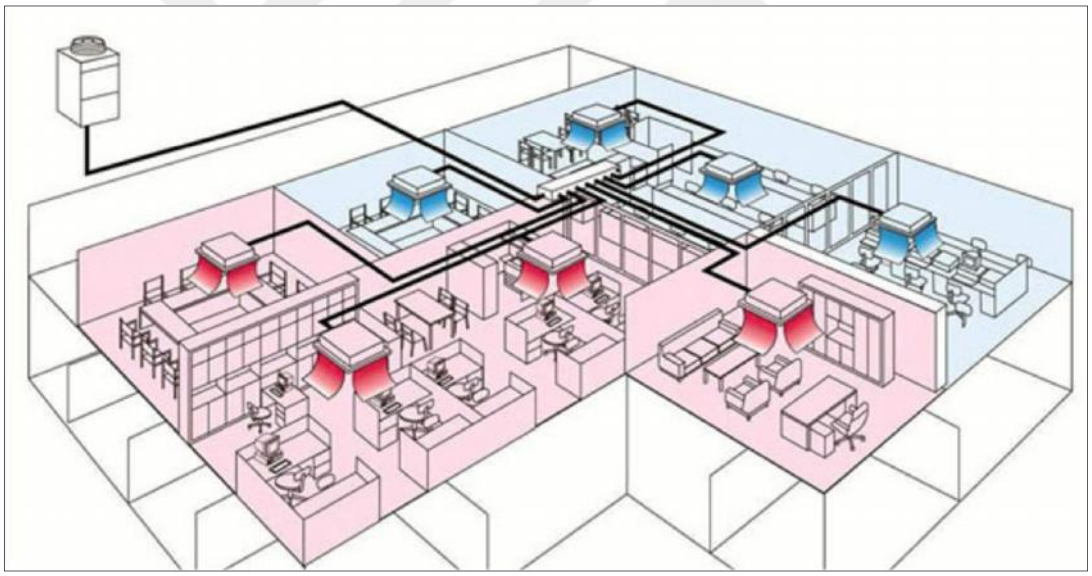
Dezavantajlar;

- Akustik olarak ses seviyeleri yüksektir ve ses yalıtımı olmadan sadece alışveriş merkezi gibi alanlarda kullanılabilir

- WSHP iç ünitelerinde sadece gizli tavan ve döşeme tipleri mevcuttur, bu yüzden uygulamada asma tavan yapılması gerekmektedir.

2.1.3 Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV Sistemi (3 Borulu)

Üçüncü sistem olarak VRF/VRV (Variable Refigerant Flow / Variable Refigerant Volume) değişken akışkan debili klima sistemi seçilmiştir. Sistemde genellikle soğutucu akışkan olarak R-410A kullanılmaktadır. Bu sistemde binanın tamamında su yerine soğutucu akışkan dolaşmaktadır. VRF/VRV sistemleri 2 borulu veya 3 borulu (ısı geri kazanımlı) VRF/VRV olarak tasarlanmaktadır. 2 borulu VRF/VRV'de bir dış ünite grubuna bağlı olan tüm iç üniteler, eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma yapma imkanlarına sahip değildirler. 3 borulu olan ısı geri kazanımlı sistemde ise, iç ünitelerle dış ünite arasına yerleştirilen dağıtım kutusu (BS Kutusu) yardımıyla aynı dış üniteye bağlı olsalar dahi bir odada soğutma, diğer odada ısıtma yapılabilmektedir.



Şekil 2.3 İki borulu VRF [24]

VRF/VRV'nin avantajlarının başında verimli ve etkin çalışmasını sayabiliriz. Sistemin en büyük eksikliklerinden birincisi; sistemin herhangi bir kısmında tadilat gerçekleştirildiğinde aynı dış üniteye bağlı olan tüm cihazların devre dışı kalması, ikincisi ise tadilat sırasında sistemdeki soğutucu akışkanın bir kısmının veya tamamının boşaltılmak zorunda olmasıdır. Diğer dezavantaj ise, hava kaynaklı olmasından dolayı kış aylarında dış hava sıcaklığının tasarım şartlarının altına inmesi durumunda, verim kaybı oluşması ve sistemin gerekli ısıtma kapasitesini sağlayamamasıdır. Dış hava

şartlarından etkilenmeyecek bir sistem için, su kaynaklı VRF/VRV kullanılabilmektedir. Ancak bu çalışmada, daha çok tercih edilmesi nedeniyle hava kaynaklı VRF/VRV seçilmiştir. 3 borulu sistemde fazla boru kullanımı ve BS kutuları sebebiyle ilk yatırım maliyeti fazladır ancak eş zamanlı ve ısı geri kazanımlı ısıtma ve soğutma yapma imkanından dolayı 2 borulu sisteme göre işletme maliyetleri daha düşük olmaktadır. Fan coil ve su kaynaklı ısı pompası sistemine göre bu sistemin bakımı ve kontrolü çok daha kolaydır ve o yüzden küçük binalarda ve lokal çözümler için en uygun sistem olduğu söylenilebilir.

Avatajlar;

- İşletme maliyeti uygundur.
- Aynı anda bir mahalde ısıtma, diğer mahalde soğutma yapılabilir.
- Isı geri kazanım yapılabilir.
- İç ünitelerde farklı tip modeller vardır. Duvar tipi iç ünite de mevcut olduğu için yapıda asma tavan ihtiyacı olmaz.

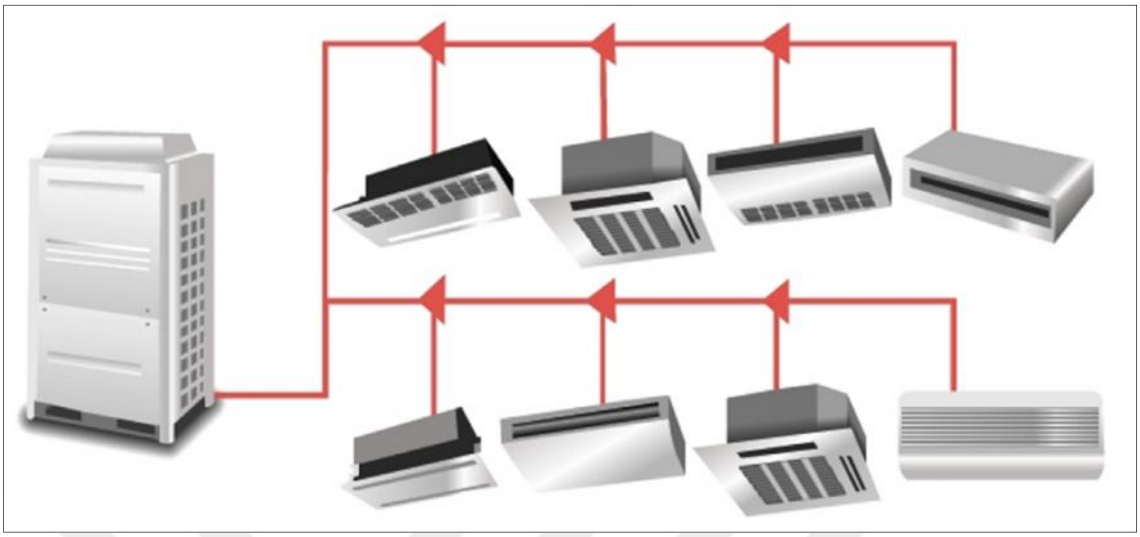
Dezavantajlar;

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- İç ünitelerin %50'si (bazı markalarda %25) bağlanmadan sistem devreye alınamaz.
- Sisteme ilave bir iç ünitenin eklenip çıkartılabilmesi için sistemdeki akışkan gazın boşaltılması gerekmektedir.

2.1.4 Isı Pompalı VRF/VRV (2 Borulu) + Radyatör Sistemi

Çalışmamızda kullanacağımız dördüncü sistem 2 borulu VRF+radyatör sistemidir. Bu sistem, Türkiye'de birçok binada aktif olarak kullanılan ve en çok tercih edilen sistemlerden birisidir. VRF/VRV'nin ısıtmada handikapları olduğu için, ısıtma döneminde kazanda doğal gaz yakılarak sıcak su üretilmesi daha uygun ve güvenilir olmaktadır. Dış hava şartlarına bakılmaksızın istenilen ısıtma ihtiyacı, kazan-radyatör sistemi ile sorunsuz bir şekilde sağlanmaktadır. Yaz döneminde soğutma ihtiyacı ortaya

çıktığında ise 2 borulu VRF/VRV sistemi devreye girerek, gerekli talepleri karşılamaktadır.



Şekil 2.4 Üç borulu VRF [25]

Bu sistemin olumsuz yönlerinden birisi, mevsim geçiş dönemlerinde ısıtma, soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için, kazan ve klima dış ünitesinin aynı anda çalıştırılmasıdır. Bu da işletme maliyetini yükseltmektedir. Ayrıca radyatörlerin mimari açıdan uygun konumlara yerleştirilme mecburiyeti nedeniyle mimari açıdan diğer sistemlere göre dezavantajlıdır.

Avantajlar;

- İç ünitelerde farklı tip modeller vardır. Duvar tipi iç ünite de mevcut olduğu için yapıda asma tavan ihtiyacı olmaz.
- Düşük ses seviyelerinde çalışma imkânı sağlar.
- Aynı anda bir mahalde ısıtma, diğer mahalde soğutma yapılabilir.
- Isıtmada sisteme ilave bir ünite sıkıntısız eklenip çıkartılabilir.

Dezavantajlar;

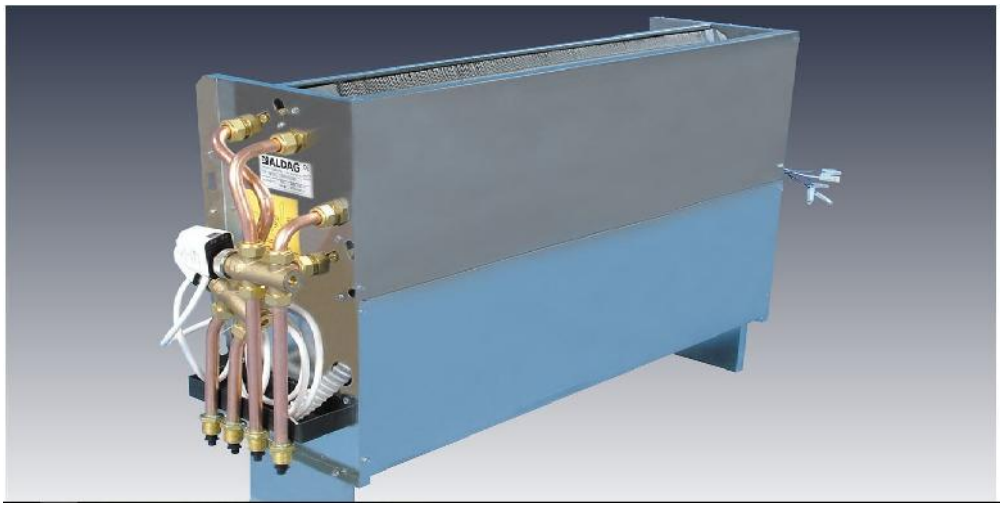
- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Isı geri kazanım özelliği yoktur.

- Soğutma için ayrı borulama, ısıtma için ayrı borulama sistemi yapılmak zorundadır. Bakır borulama zonlaması ve otomasyon 2 ayrı borulama sistemini gözönüne alarak yapılmak zorundadır.
- Soğutmada sisteme ilave bir iç ünite eklenmesi durumunda sistemdeki bütün soğutucu akışkanın boşaltılması gerekmektedir.

2.1.5 4 Borulu Fan Coil Sistemi

Tasarlanan son sistem ise, uzun zamandır kullanılan HVAC sistemlerinden birisi olan chiller-kazan-fan coil sistemidir. Bu sistemde binanın içinde ısı yükünü taşıyan akışkan sudur. Sistemde genel olarak ısıtma döneminde 50-60°C, soğutma döneminde ise 7-12°C sıcaklığında su dolaşmaktadır. Isıtma tarafında ana enerji kaynağı kazandır. Soğutma tarafında ise chiller grubu ile soğuk su üretilmektedir. Chiller tarafında genel olarak en çok tercih edilen sistemlere baktığımızda, su soğutmalı chiller ve hava soğutmalı chiller grupları ön plana çıkmaktadır. Su soğutmalı sistemler için chillerin yanında soğutma kulesi ihtiyacıda bulunmaktadır. Bu sistemlerin dışında absorbsiyonlu chiller ve diğer farklı chiller grupları da mevcuttur. Bu çalışmada daha çok tercih edilen hava soğutmalı chiller baz alınarak tasarım yapılmıştır.

Fan coil sisteminde 2 borulu ve 4 borulu olmak üzere 2 ana tip mevcuttur. 2 borulu sistemde kazan ya da chillerden sadece birisi devrede olabileceği için, aynı zamanda ısıtma ve soğutma yapma imkanı bulunmamaktadır.



Şekil 2.5 Dört borulu fan coil [26]

Eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma talepleri olursa, bu ihtiyaçları karşılamak için 4 borulu fan coil sistemi kullanılabilir. 4 borulu fan coil sisteminde, fan coile giren ve çıkan toplam boru sayısı 4 olduğu için, aynı zamanda kazan ve chiller devrede olabilir. Fan coil bulunduğu mahalin ihtiyacına göre ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılabilir. Diğer alternatiflere göre aynı kaliteyi sağlayabilmesi ve birçok yapıda eş zamanlı olarak hem ısıtma hem soğutma ihtiyaçları ortaya çıktığı için, bu çalışmada 4 borulu fan coil sistemi seçilmiştir. Bu sistemin ilk yatırım maliyeti, diğer sistemlere göre çok daha düşüktür ve sulu bir sistem olduğu için kurulum ve tadilat işlemleri çok daha kolay gerçekleştirilmektedir. Bu sistemin en büyük dezavantajlarından birisi, eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma ihtiyacı talep edildiği dönemlerde ısı geri kazanımı yapamaması, diğeri ise fan coil ünitelerini yerleştirmek için mahal içinde bir yer ayrılmasıdır.

Avantajlar;

- İlk yatırım maliyeti uygundur.
- Sisteme ilave bir ünite sıkıntısız eklenip çıkartılabilir.
- Devreye alma aşamasında iç ünitelerin tamamını sisteme bağlamaya gerek yoktur.
- Ses seviyesi çok iyi değildir ama standartlara uygundur.

Dezavantajlar;

- İşletme maliyeti yüksektir.
- Borulama maliyeti yüksektir.

2.2 Kullanılan Tasarımlar

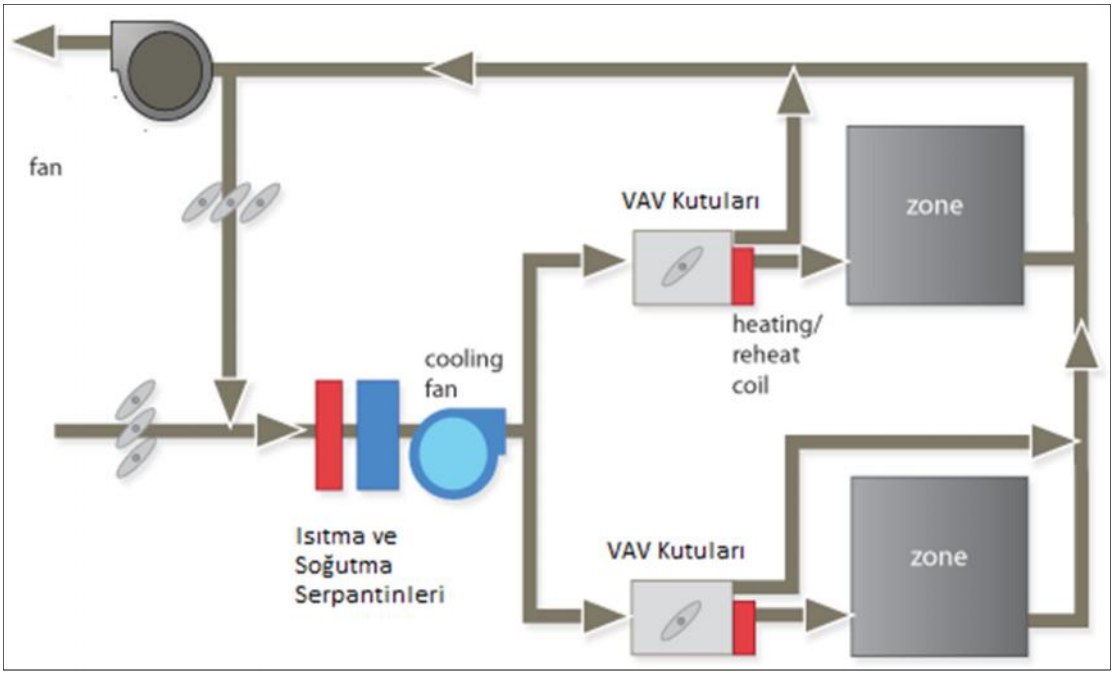
Dünyanın her yerinde, farklı iklimlere sahip olan bölgelerde insan konfor şartlarını sağlamak için birçok havalandırma, ısıtma, soğutma (HVAC) sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin birçoğu o iklimlerin şartlarına, yapıların mimari durumuna ve bölgedeki insanların kültürel ihtiyaçlarına karşılık verecek şekilde değişiklik göstermekte ve gelişmektedir. Bu çalışmada Türkiye sınırları içindeki bölgelerde genel olarak kullanılan

sistemlerin işletme ve ilk yatırım maliyetleri açısından karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan sistemler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Tasarlanan HVAC sistemleri

	Isıtma	**Soğutma**	**Havalandırma**
1.Sistem VAV + Radyatör	Doğal Gazlı Kazan	Hava Soğutmalı Chiller	Sulu Bataryalı Klima Santrali
2.Sistem Su KaynaklıIsı Pompası	Doğal Gazlı Kazan	Soğutma Kulesi	Su Kaynaklı Rooftop
3.Sistem Isı geri Kazanımlı VRF/VRV	Isı geri Kazanımlı VRF/VRV	Isı Geri KazanımlıVRF/VRV	DX Bataryalı Klima Santrali
4.Sistem Isı pompalı VRF/VRV + Radyatör	Doğal Gazlı Kazan	Isı pompalı VRF/VRV	DX ve Sulu Bataryalı Klima Santrali
5.Sistem 4 Borulu Fancoil	Doğal Gazlı Kazan	Hava Soğutmalı Chiller	Sulu Bataryalı Klima Santrali

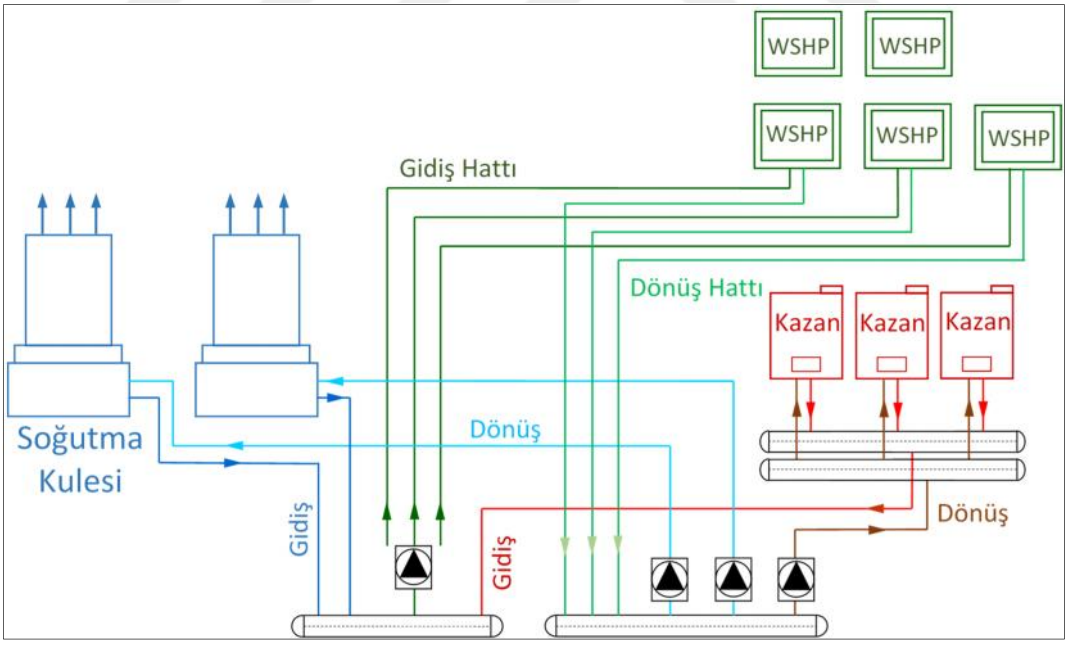
Bu sistemlerin şematik çizimleri ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.6 VAV sistemi şematik çizimi

Şekil 2.6'da VAV sisteminin şematik çizimi verilmektedir. Bu sistemde kış mevsiminde 4 adet 111 kW'lık kazandan 80°C'de elde edilen sıcak su sirkülasyon pompası yardımıyla radyatörlere gönderilmektedir. Yaz mevsiminde ise 2 adet 266 kW'lık hava soğutmalı chillerden elde edilen soğuk su klima santralinin soğutma ihtiyacını karşılar. Klima santralinde soğutulan hava VAV kutularını gönderilerek ve mahalde istenilen soğutma yükü karşılanmatadır.

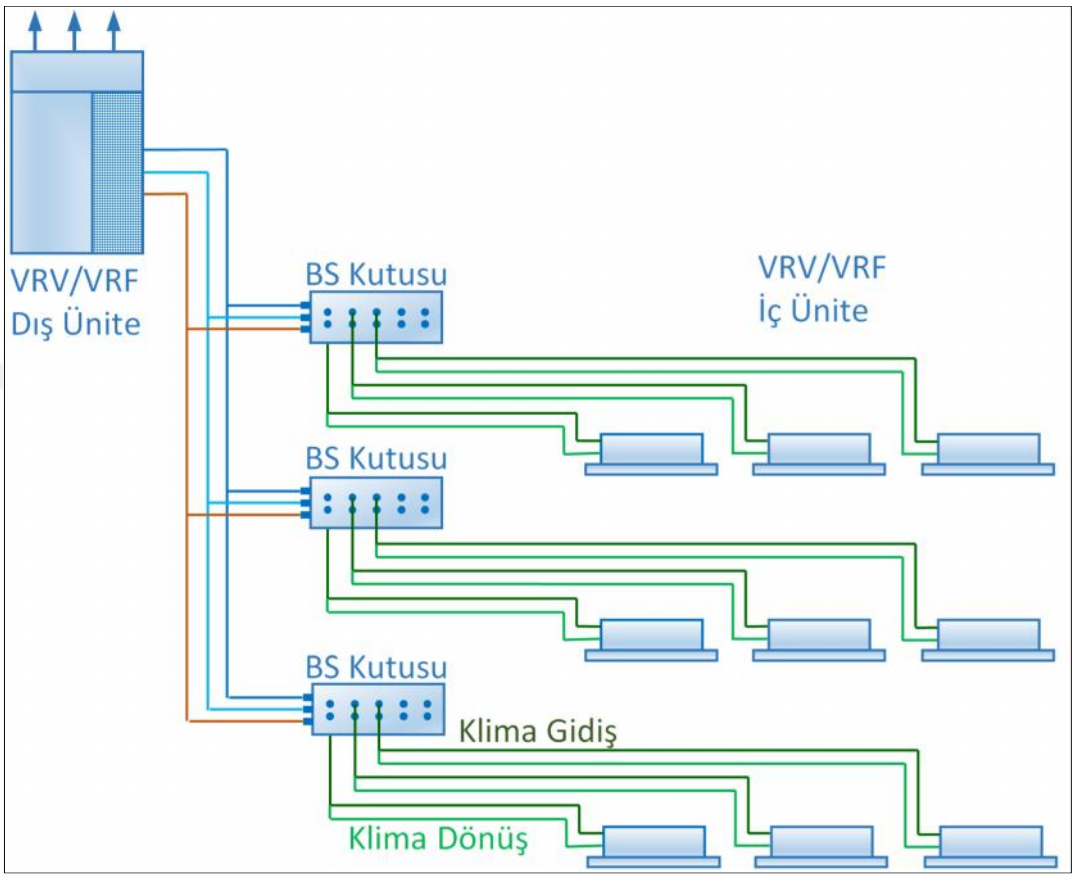
Şekil 2.7'de su kaynaklı ısı pompası sisteminin şematik çizimi verilmektedir. Bu sistemde kış mevsiminde 3 adet 111 kW'lık kazandan 60°C'de sıcak su elde edilmektedir. Sıcak su sirkülasyon pompaları yardımı ile WSHP iç ünitelerine gönderilmektedir ve gerekli olan ısıtma ihtiyacı karşılanmaktadır. Yaz döneminde ise 2 adet 306 kW'lık soğutma kulesinden 30°C'de elde edilen soğuk su sirkülasyon pompaları ile WSHP iç ünitelerine gönderilir ve mahal için gerekli olan soğutma yükü karşılanır. Bu sistemde yapı için gerekli olan taze hava su kaynaklı rooftop ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.7 Su kaynaklı ısı pompası sistemi şematik çizimi

Şekil 2.8'de ısı geri kazanımlı VRF/VRV sisteminin şematik çizimi verilmektedir. Bu sistemde ısıtma ve soğutma kaynağı VRF/VRV dış ünitesidir. Bu sistemde iç ve dış ünite arasında BS kutusu bulunmaktadır. Bu kutunun görevi, kutuya bağlı olan mahaller

arasında eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutma istenirse bir odadan aldığı ısıtma yükünü diğer odaya göndermektedir. Dış üniteye akışkanı göndermeden dolayısıyla dış ünitenin çalışmasına gerek kalmadan istenilen talepler karşılanmaktadır. Bu sistemde yapı için gerekli olan taze hava DX bataryalı klima santrali ile sağlanmaktadır.

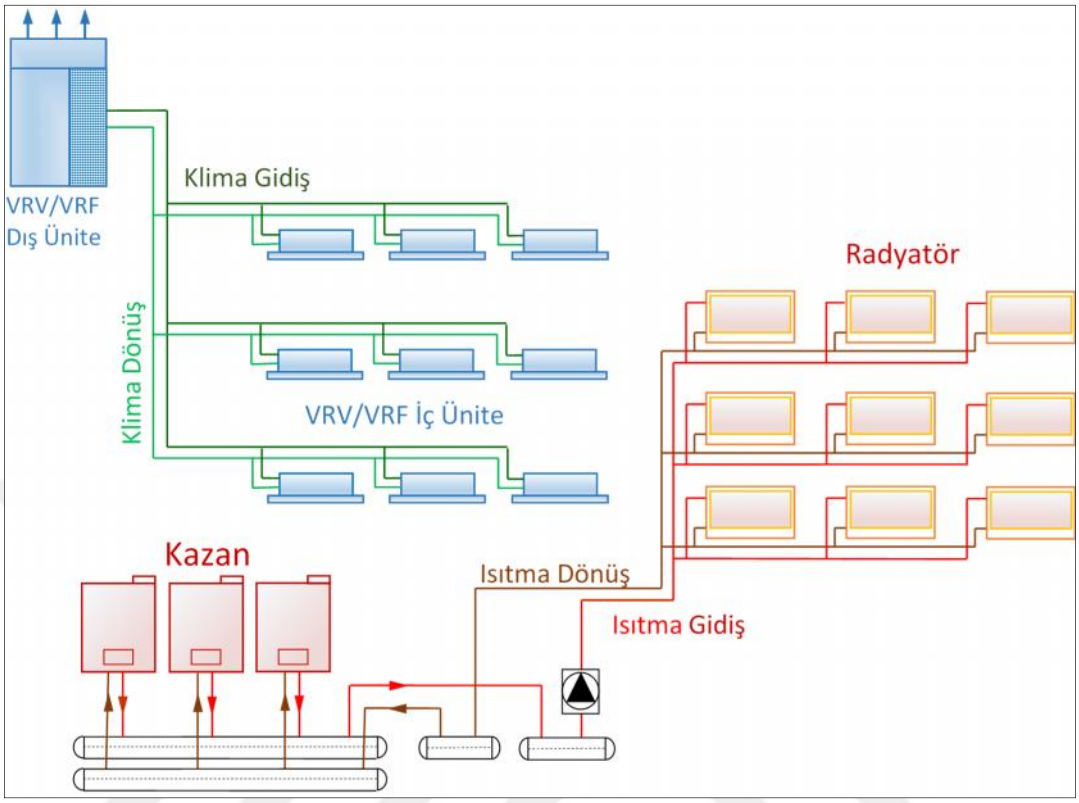


Şekil 2.8 Isı geri kazanımlı VRF/VRV sistemi (3 borulu) şematik çizimi

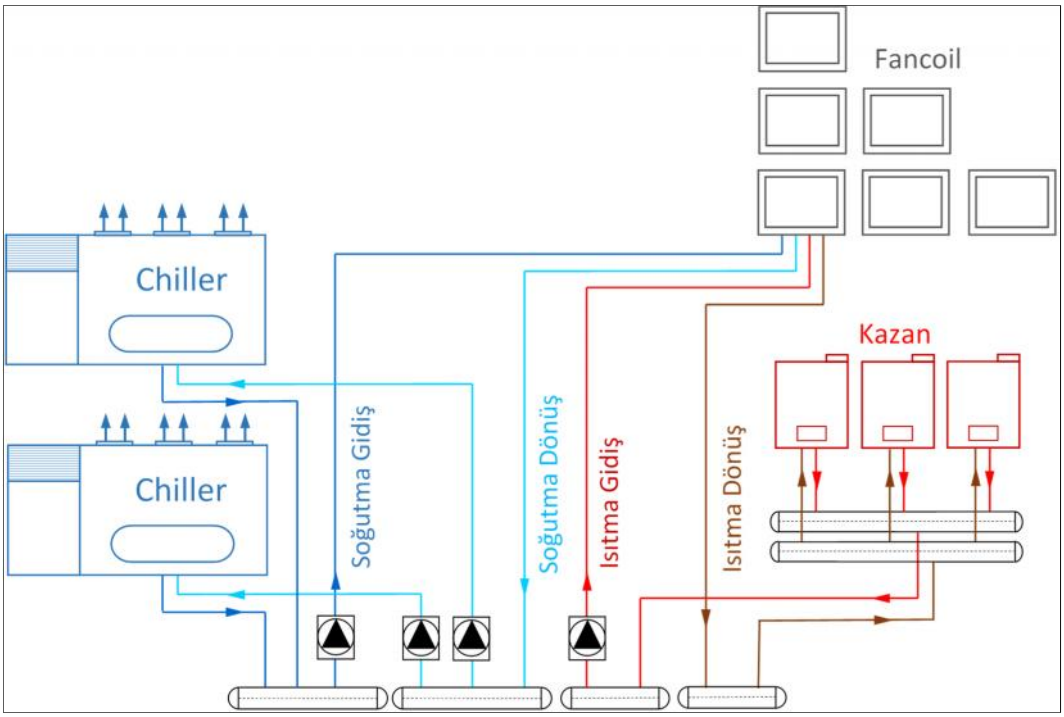
Şekil 2.9'de ısı pompalı VRF/VRV + Radyatör sisteminin şematik çizimi verilmektedir. Bu sistemde kış mevsiminde 4 adet 111 kW'lık kazandan 80°C'de elde edilen sıcak su sirkülasyon pompası yardımıyla radyatörlere gönderilmektedir. Yaz mevsiminde ise soğutma ihtiyaçları ısı pompalı VRF/VRV tarafından karşılanmaktadır. Bu sistemde yapı için gerekli olan taze hava DX ve Sulu bataryalı klima santrali ile sağlanmaktadır.

Şekil 2.10'da dört borulu fan coil sisteminin şematik çizimi verilmektedir. Bu sistemde kış mevsiminde 4 adet 111 kW'lık kazandan 60°C'de sıcak su elde edilmektedir. Sıcak su sirkülasyon pompaları yardımı ile fan coil ünitelerine gönderilmektedir ve gerekli olan ısıtma ihtiyacı karşılanmaktadır. Yaz mevsiminde ise chillerden 7°C'de elde edilen soğuk

su yine sirkülasyon pompaları ile fan coil ünitelerine gönderilmektedir. Bu sistemde yapı için gerekli olan taze hava sulu bataryalı klima santrali ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.9 Isı pompalı VRF/VRV (2 borulu) + radyatör sistemi şematik çizimi



Şekil 2.10 Dört borulu fan coil sistemi şematik çizimi

BÖLÜM 3

MODEL VE SİSTEM TASARIMI

Sistem tasarımlarını yapabilmek için, binadaki mahallerin ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını her gün ve saat için hesaplamak gerekmektedir. Bu yükler Carrier HAP 4.9 versiyonu kullanarak yapılmıştır. Bu aşamadan sonra çıkan yük ihtiyaçlarına göre Autodesk Revit MEP 2017 versiyonu kullanılarak her alternatif sistemi için ısıtma ve soğutma sistemleri tasarlanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde sistem seçimleri ve tasarım şartları ile ilgili bilgiler verilmektedir.

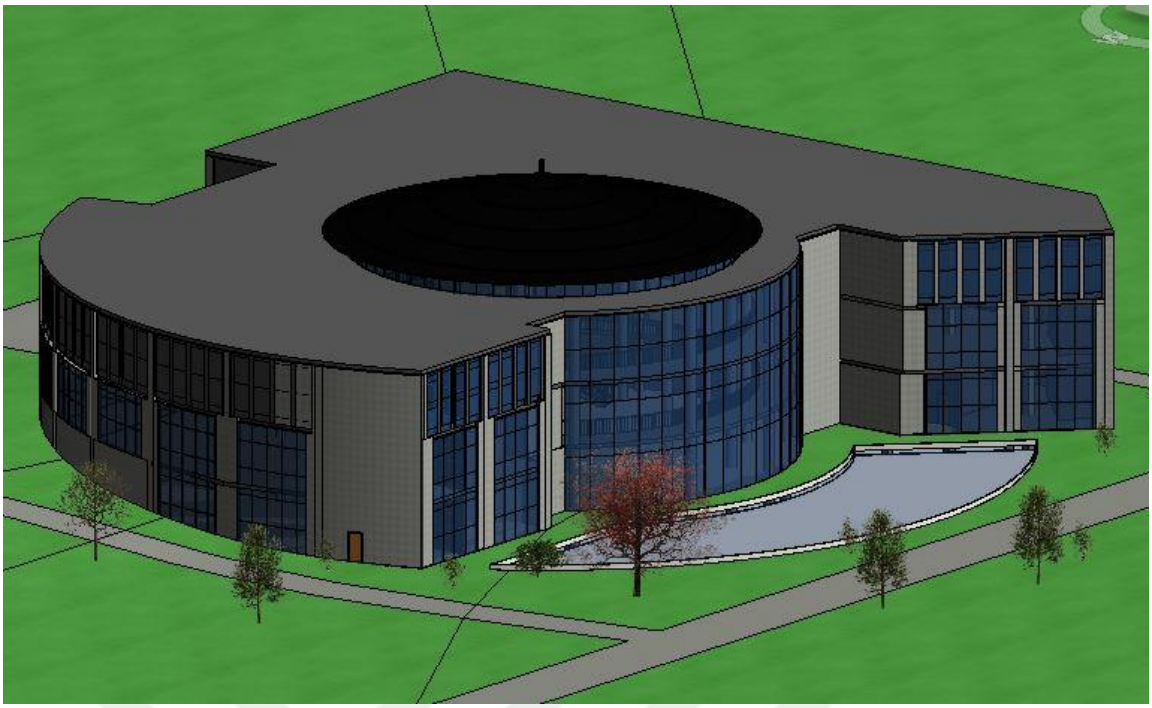
3.1 Yapının Hakkında bilgi

Örnek bina İstanbul'da olup 3500 m² taban alanına sahiptir. Toplam 3 kattan oluşmakta ve şartlandırılan alan yaklaşık 10.000 m²'dir. Kat yüksekliği 4,5 m olup, bina toprak zemine oturmaktadır. Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi duvarların büyük bölümünde cam kaplamalar mevcuttur.

Yapı ile ilgili toplam ısı transfer katsayıları Çizelge 3.1'de verildiği gibidir. Bu veriler binanın yapım aşamasında kullanılan verilerdir.

Çizelge 3.1 Toplam ısı transfer katsayıları

Malzeme	U (W/m²K)	SHGC
Dış Duvar	0,524	-
Çatı	0,420	-
Pencere	2	0,4



Şekil 3.1 Revit ile modellenen bina mimarisi

3.2 Yapının Bulunduğu Bölge Şartları

- Yapının bulunduğu il : İstanbul
- Yapının bulunduğu ilçe : Tuzla
- Denizden yükseklik : 145 m.
- Rüzgar hızı : 23 km/s
- Kış dizayn şartları : -3°C; %90 nem
- Yaz dizayn şartları : 33°C KT; 24 °C YT
- Yaz için günlük sıcaklık farkı : 10,0°C
- Kış için günlük sıcaklık farkı : 7°C
- Atmosterik basınç : 1,0013 mbar

3.3 Tasarım Koşulları

Isıtma-soğutma yük hesapları HAP (Hourly Analysis Program) ile yapılmıştır. Programda İstanbul ili için dış hava şartlarına Çizelge 3.2'de verilen değerler girilmiştir [21].

İç hava koşulları için yaz döneminde 24 °C, kış döneminde ise 20 °C [27] olarak alınmıştır.

Aydınlatma yükü 15 W/m² ve elektrikli ekipman gücü 16 W/m² olarak alınmıştır. İnsan yükü memur odası gibi ofis sayılabilecek yerlerde 8 m²/kişi, kitaplık, çalışma odaları gibi diğer kısımlarda ise 10 m²/kişi olacak şekilde alınmıştır. İnsanlardan gelen duyulur ısı 67,4 W/kişi, gizli ısı 35,2 W/kişi olacak şekilde alınmıştır. Aydınlatma ekipmanları ile mekanik ekipmanların kullanım programları ve bina doluluk oranları ASHRAE standartlarına göre alınmıştır [28].

Çizelge 3.2 HAP programında İstanbul için belirlenen dış hava şartları

	Sıcaklık
Yaz KT	33 °C
Yaz YT	24 °C
Günlük Sıcaklık Farkı	10 °C
Kış KT	-3 °C
Kış YT	-5,7 °C

3.4 Isıtma-Soğutma Yüklerinin Carrier HAP ile Hesaplanması

Bina yarı dairesel bir yapıda olduğu için, mimariye de uygun olacak şekilde her kat 3 zona ayrılmıştır. Toplam 3 kat için 9 farklı zon yapılmıştır. HAP programı ile hesaplanan binanın toplam ısıtma, soğutma yükleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Carrier HAP (versiyon 4.9) programı kullanılarak ısı kayıp ve kazanç hesapları yapılmıştır. Hesaplar için kabul edilen tasarım şartları Bölüm 3.3'de yazılmıştır.

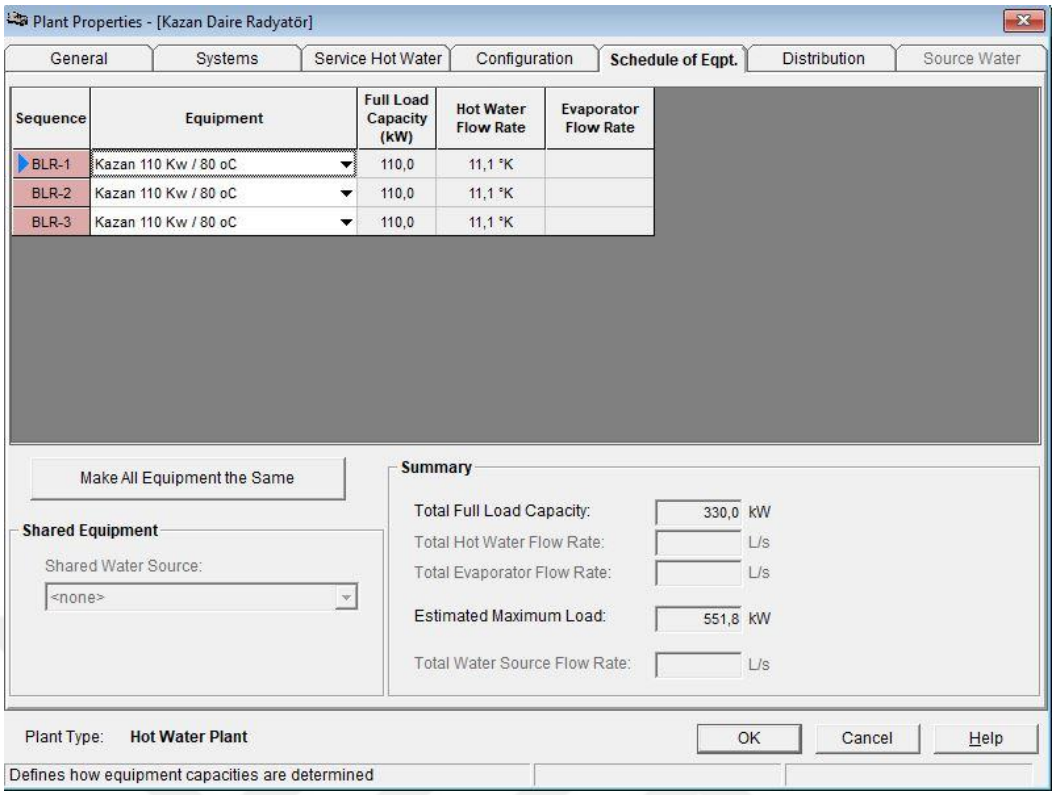
Her alternatif sistem için HAP programında bir sistem tanımlanmıştır. Sistem özelliklerinde, cihaz bilgileri ile ilgili COP, EER ve verim değerleri ilgili kataloglardan alınarak programa girilmiştir.

Her sistem için HAP programında Kaynaklar (Plants) tanımlanmıştır. VAV ve Fancoil sistemleri için Kazan ve Chiller grupları, WSHP için Kazan ve Soğutma kuleleri ve radyatör sistemi için de kazan grupları tanımlanmıştır. Şekil 3.2'de bir kazan grubun HAP programında bilgi girişini görebilirsiniz.

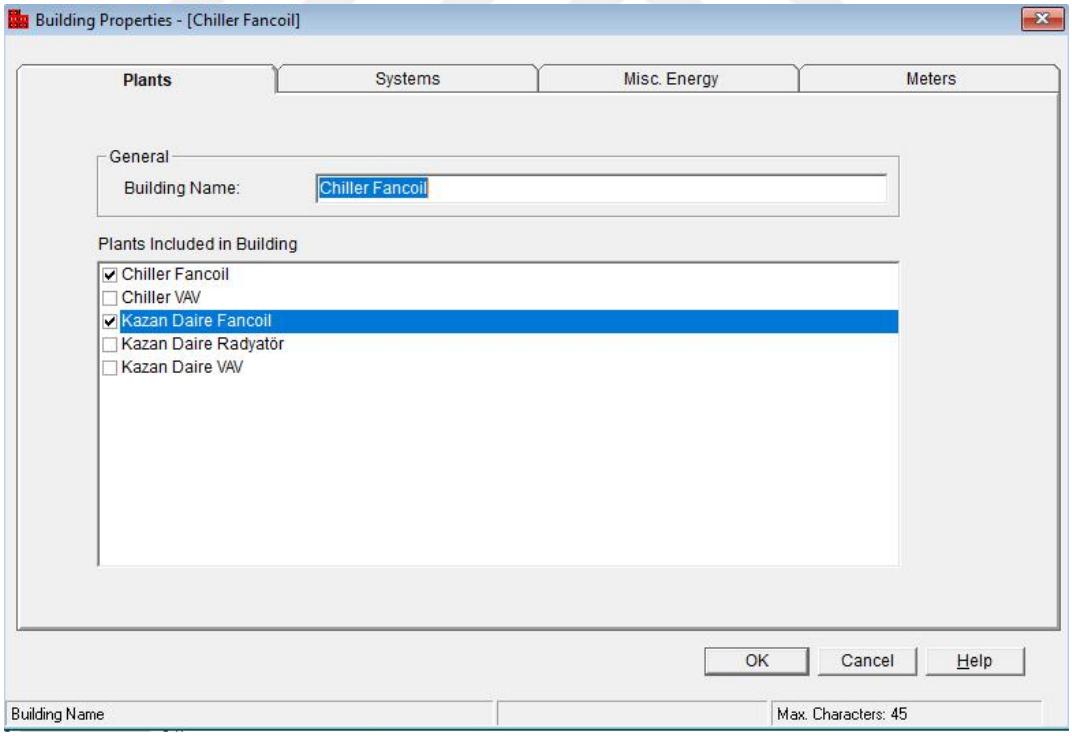
Çizelge 3.3 Toplam Isıtma ve Soğutma Yükleri

	SOĞUTMA TASARIMI			**ISITMA TASARIMI**		
	Ağustos 15:00'da ki Soğutma Verileri			**Pik Isıtma Verileri**		
	KT / YT 30,0 °C / 21,1 °C			**KT / YT -3,3 °C / -5,7 °C**		
		Sensible	**Latent**		**Sensible**	**Latent**
ZON YÜKLERİ	**Details**	**(W)**	**(W)**	**Details**	**(W)**	**(W)**
Pencereden Gelen Güneş Enerjisi Yükleri	1434 m²	107064	-	1434 m²	-	-
Duvar İletimi	1935 m²	6486	-	1935 m²	23636	-
Çatı İletimi	2324 m²	25816	-	2324 m²	22783	-
Pencere İletimi	1434 m²	12843	-	1434 m²	66932	-
Zemin İletimi	3137 m²	0	-	3137 m²	0	-
Partitions	843 m²	1205	-	843 m²	6320	-
Tavan İletimi	17 m²	24	-	17 m²	128	-
Aydınlatma Ekipmanları	105450 W	85277	-	0	0	-
Elektrikli Ekipmanlar	112480 W	102878	-	0	0	-
İnsanlar	668	31322	23527	0	0	0
Infiltration	-	35206	19081	-	136913	0
Güvenlik Faktörü	10% / 5%	40812	2130	20%	51342	0
>> Toplam Zon Yükleri	**-**	**448932**	**44738**	**-**	**308054**	**0**

Bu aşamadan sonra her alternatif sistem için bir bina (Building) tanımlanmış, işletme maliyeti ile ilgili gerekli bilgiler yazılmıştır ve her sistem için yıllık enerji ihtiyacı sonuçları ortaya çıkmıştır. Şekil 3.3'de Fancoil sistemin HAP programında tanımlaması gösterilmiştir.



Şekil 3.2 HAP programında kazan grubu bilgi giriş sistemi



Şekil 3.3 Hap programında fan coil sisteminin tanımlanması

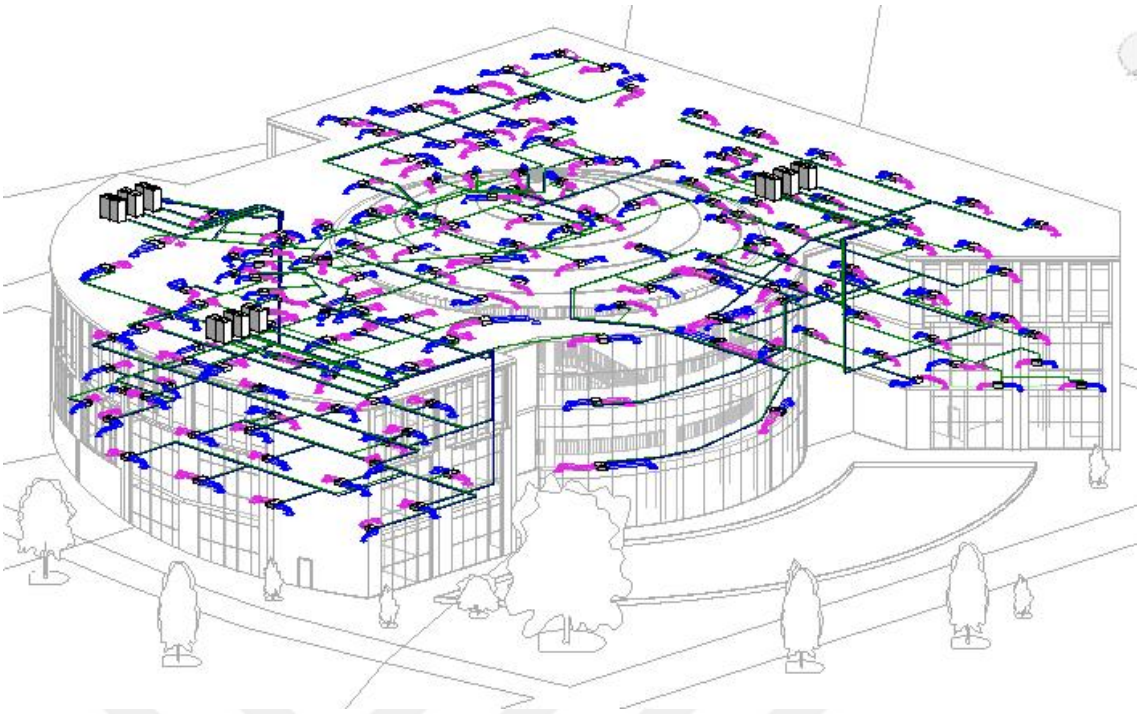
3.5 Autodesk Revit ile Tasarım

Her sistem alternatifi için Autodesk Revit 2017 programı kullanarak mahal mahal proje tasarımı yapılmıştır. Her mahal için HAP programında çıkan sonuçlara göre uygun iç ünite cihazları seçilmiştir. Çizelge 3.4'de her sistem için tasarlanan iç ünite tipi ve sistemlerde tanımlanan zon sayıları yazılmıştır.

Çizelge 3.4 Sistemlerde kullanılan iç ünite tipleri ve zon sayıları

	İç Ünite Tipi	**Zon Sayısı**
1.Sistem VAV + radyatör	Isıtma için PKKP tipi radyatör Soğutma ve havalandırma için normal ve ön ısıtıcılı VAV kutuları	3
2.Sistem Su kaynaklı ısı pompası	Isıtma ve soğutma için WSHP gizli tavan tipi iç üniteleri	2
3.Sistem Isı geri kazanımlı VRF/VRV	Isıtma ve soğutma için VRV/VRF gizli tavan tipi iç üniteleri	9
4.Sistem Isı pompalı VRF/VRV + radyatör	Isıtma için PKKP tipi radyatör Soğutma için VRV/VRF gizli tavan tipi iç üniteler	9
5.Sistem 4 borulu fan coil	Isıtma ve soğutma için 4 borulu fan coil gizli tavan tipi iç üniteler	2

Aşağıda Şekil 3.4'de Isı geri kazanımlı VRV/VRF sisteminin Revit programında 3 boyutlu tasarımını görebilirsiniz.



Şekil 3.4 Isı geri kazanımlı VRF/VRV sisteminin Revit programında tasarımı

3.6 Maliyet Analizleri

Sistemlerin ekonomik açıdan karşılaştırılması için maliyet analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu analizi yapabilmek için Net Bugünkü Değer (NBD) ve Bugünkü Değer (BD) metodları kullanılmıştır. BD yöntemi n yıl sonra harcanan paranın bugünkü değerini gösteri. NBD ise toplam faydaların bugünkü değerinden, toplam masrafların bugünkü değerinin çıkarılmış halidir. Sistemlerin kurulum maliyetinin yanı sıra kullanım süreleri boyunca devam eden işletme ve bakım masraflarını bugünkü değerlerine çekerek toplam maliyetler bulunmuştur.

BD ve NBD değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$BD = \frac{1}{(1+i)^n} . A \quad (1)$$

Burada n yıl, i faiz oranı, A harcanan para ve BD ise n yıl sonra harcanan paranın bugünkü değerini göstermektedir.

$$NBD = \sum_{m=m+1}^{t} \frac{F_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^{m} \frac{M_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Burada Fn n. yıldaki fayda, Mn n. yıldaki yatırım, m yatırımın tamamlanma yılı, t projenin aktif işletme ömrü, i faiz oranını göstermektedir. Birim fiyatlar dolar olarak

alındığı için, Amerikan dolarının son 10 yıllık ortalama faiz değeri kullanılmıştır. Çizelge 3.5'de Ekim 2017 dönemine ait veriler bulunmaktadır.

Çizelge 3.5 Faiz, kur ve birim fiyatlar

Faiz oranı (i) %	2,2
Dolar/TL Kuru	1 $ = 3,5 TL
Doğal Gaz Birim Fiyatı	0,118 $/kWh
Elektrik Birim Fiyatı	0,04 $/kWh

BÖLÜM 4

TARTIŞMA VE BULGULAR

Binalarda istenilen konfor şartlarını sağlamak için birçok ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi mevcuttur. Bina için alternatif olan bu sistemlerden birçoğu istenilen konfor şartını sağlamakta sorun yaşamayacaktır. Bu durumda önemli olan konfor şartını sağlayan sistemler içinde bina için en uygun olanını bulmaktır. Binanın mimari yapısının da uygun sistemi seçmek için kriterlerden birisi olduğu unutulmamalıdır. Bina yapısına uygun alternatif sistemler arasından en uygun sistem seçilmelidir. Ayrıca binanın kullanım amacına ve ömrüne göre seçim kriterleri değişiklik gösterebilir. Genelde binayı sadece inşaa ettikten sonra yapı ile ilişiği kalmayan bir firmanın ilk yatırım maliyetine göre sistem seçimini yaptığı durumlarla çokça karşılaşılmaktadır. Bu durumda işletme ve bakım maliyetleri pek dikkate alınmadığı için bina kullanıcılarına fazla ve düzenli olacak şekilde masraf gideri eklenmiş olmaktadır. Ancak binayı yapan firma aynı zamanda binayı kullanacak ya da işletecek ise seçim kriterini bina ömrü boyunca işletme ve bakım maliyetlerini de göz önüne alarak yapmaktadır ki doğru olanı bu maliyetleri her koşulda göz önüne alarak seçim yapmaktır.

4.1 İlk Yatırım Maliyetine Göre Değerlendirme

Aşağıdaki tablolarda sistemlerin ilk yatırım maliyetleri görünmektedir. Sistemlerde kullanılması planlanan malzemeler seçilirken kolay temin edinilebilir olması ve kalite seviyelerinin eşit olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca ilk yatırım maliyetlerinin doğru çıkması ve adil bir sonuç elde edilmesi için fiyatlar Türkiye piyasasına göre ve liste fiyatları üzerinden hesaplanmıştır. Birçok binanın yapım aşamasındaki satın alma

süreçlerinde daha uygun fiyatlar ile ekipmanlar temin edilebilir ancak karşılaştırma sonuçları etkilenmemesi adına tüm sistemlerde liste fiyatları kullanılmıştır. Kullanılan HVAC ekipmanların birçoğunun yurtdışından ithal edilmesi neticesinde fiyatlarda TL/Dolar kuruna bağlı olarak dalgalanmalar görülmektedir. Bu dalgalanmaları minimuna indirmek ve çalışmanın uzun yıllar boyunca referans alınabilmesini sağlamak için toplam maliyetler dolar üzerinden hesaplanmıştır. Aşağıdaki çizelgelerde sistemlerin ilk yatırım maliyetleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.1 Birinci sistemin ilk yatırım maliyeti

1. VAV (Değişken Hava Debisi) - Radyatör	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Soğutma Grubu (Hava Soğutmalı Chiller)	82.000 $
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	44.427 $
İç Üniteler (VAV), Radyatör, Borulama	69.953 $
Havalandırma (Klima Santrali, Kanallar ve Menfezler)	321.000 $
	517.380 $

Çizelge 4.2 İkinci sistemin ilk yatırım maliyeti

2. WSHP (Su Kaynaklı Isı Pompası)	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Soğutma Grubu (Soğutma Kuleleri)	54.500 $
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	46.817 $
İç Üniteler, Borulama (WSHP)	331.400 $
Havalandırma (Su Kaynaklı Rooftop, Kanallar, Menfezler)	186.860 $
	619.577 $

Çizelge 4.3 Üçüncü sistemin ilk yatırım maliyeti

3. Heat Recovery VRV/VRF	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
VRF Dış Üniteler	103.800 $
VRF İç Üniteler	113.976 $
Borulama ve BS Kutuları	187.404 $
Havalandırma (Dx Bataryalı Santral, Kanallar, Menfezler)	189.860 $
	595.040 $

Çizelge 4.4 Dördüncü sistemin ilk yatırım maliyeti

4. VRV/VRF + Radyatör	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	17.438 $
VRF Dış Üniteler	84.440 $
VRF İç Üniteler	113.976 $
Borulama (VRF ve Radyatör), Radyatör, Kollektör	83.858 $
Havalandırma (Dx Bataryalı Santral, Kanallar, Menfezler)	191.060 $
	490.772 $

Çizelge 4.5 Beşinci sistemin ilk yatırım maliyeti

5. 4 Borulu Fan Coil	
Ekipmanlar ve Malzemeler	**Toplam Fiyat**
Soğutma Grubu (Hava Soğutmalı Chiller)	82.000 $
Kazan ve Pompalar (Doğal Gaz Yakıtlı Kazan)	40.887 $
İç Üniteler, Borulama (4 Borulu Fan Coil)	198.657 $
Havalandırma (Klima Santrali, Kanallar ve Menfezler)	167.860 $
	489.404 $

İlk yatırım maliyetleri karşılaştırıldığı zaman kurulması planlanan VAV + Radyatör sisteminin maliyetinin kabul edilebilir bir seviyede olduğu görülmektedir. Su kaynaklı ısı pompası ve ısı geri kazanımlı VRF/VRV sistemleri en pahalı sistemler olarak ön plana çıkarken, ısı pompalı VRF/VRV + Radyatör ve 4 borulu fan coil sistemlerinin maliyetleri en düşük sistemler olarak görünmektedir. Bu iki sistemin maliyetlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu, VAV+Radyatör sisteminde havalandırma ekipmanlarının, su kaynaklı ısı pompasında ise iç ünitelerin toplam maliyetin büyük kısmını oluşturduğu görülmektedir.

Sistemleri sadece ilk yatırım maliyetlerine göre kıyaslamak doğru sonucu vermeyecektir. Bu durumda sistemlerin enerji tüketim değerleri ve işletme maliyetlerini de incelemek gerekmektedir.

4.2 İşletme Maliyetine Göre Değerlendirme

Sistemlerin işletme maliyetleri kullandıkları enerji kaynağına göre ve sistem özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Isı geri kazanımı yapabilen sistemler geçiş mevsimlerinde bu özelliğini kullanarak daha az enerji tüketmedir. Bu özellik uzun süreli planlama yapıldığında kullanıcıya büyük avantajlar sağlamaktadır.

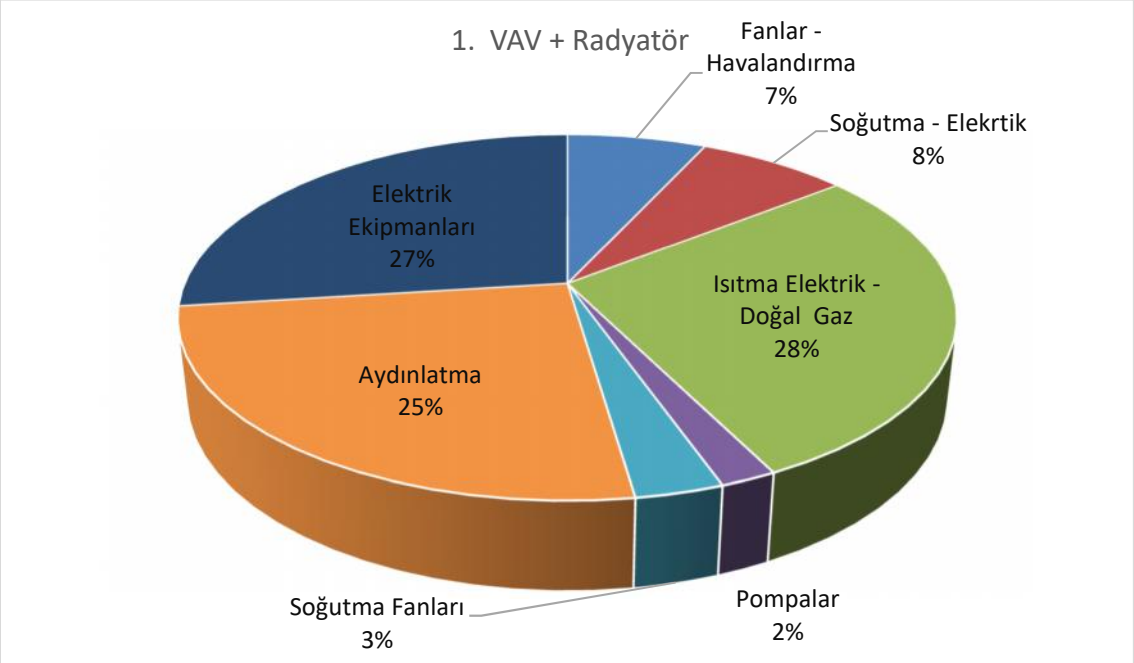
4.2.1 VAV + Radyatör Sistemi

Vav + Radyatör sisteminde, sistem bileşenlerinin aylık olarak tükettiği enerji miktarları Çizelge 4.6’da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.6 Birinci sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri

Bileşen	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz	Tem	Ağu	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Havalandırma Fanları (kWh)	10108	9130	10108	9997	11089	11487	12450	12760	11538	10631	9835	10108
Soğutma												
Elektrik (kWh)	0	0	142	2897	11764	22848	34153	39461	19394	8142	1467	0
Isıtma												
Elektrik (kWh)	1486	1562	1223	774	0	0	0	0	98	430	846	1173
Doğal Gaz (kwh)	102136	107402	84094	53237	0	0	0	0	6770	29586	58175	80641
Pompalar (kWh)	3125	2884	3221	3902	1969	2193	2274	2274	4174	4769	3488	3125
Soğutma Fanları (kWh)	0	0	108	2034	6800	10152	11543	11528	9558	5498	1048	0

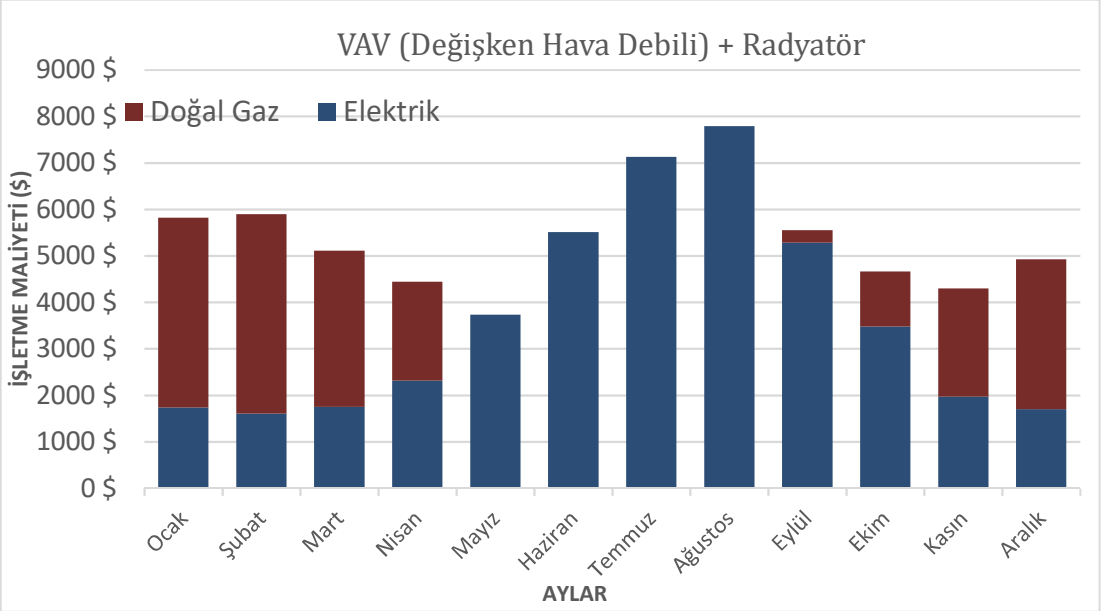
Şekil 4.1'de binaya bu sistemin kurulması sonucunda HVAC bileşenlerinin, diğer elektrikli ekipmanların ve aydınlatma ekipmanlarının toplam enerji tüketimi içinde ne kadar paya sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.1 Birinci sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi kurulması planlanan VAV + Radyatör sisteminde kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında

ise klima santralinin yoğun kullanılması sonucunda fanlar sürekli çalışmış ve elektrik tüketimi artmıştır.



Şekil 4.2 Birinci sistemin aylık işletme maliyetleri

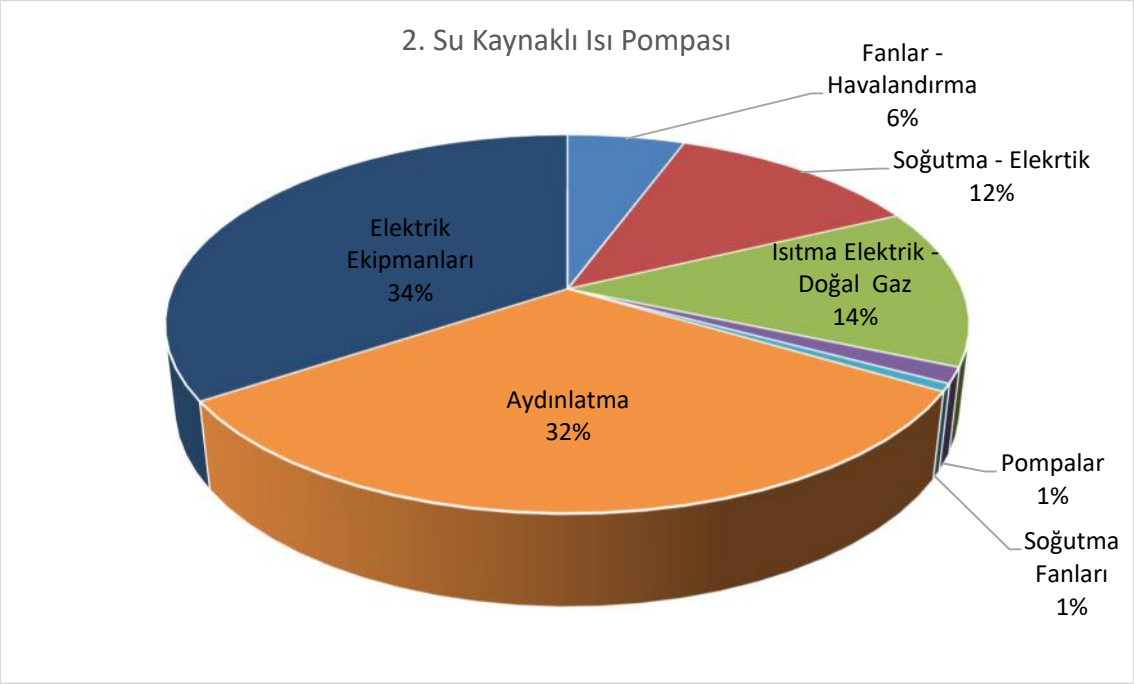
4.2.2 Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi

Su kaynaklı ısı pompası sisteminde, sistem bileşenlerinin aylık olarak tükettiği enerji miktarları Çizelge 4.7'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7 İkinci sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri

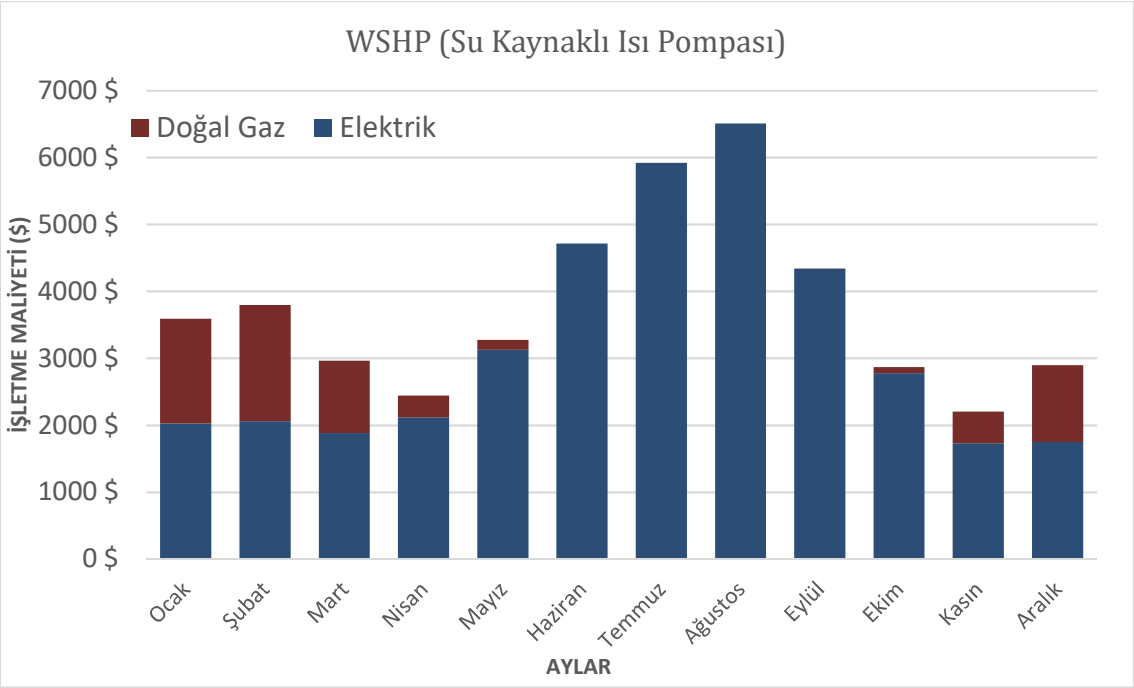
Bileşen	**Ocak**	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haz**	**Tem**	**Ağu**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**
Havalandırma Fanları (kWh)	7056	6374	7056	6829	7056	6829	7056	7056	6829	7056	6829	7056
Soğutma												
Elektrik (kWh)	0	0	1235	7117	15977	30086	39331	43497	27023	13490	3188	0
Isıtma												
Elektrik (kWh)	8418	9567	5928	2025	1007	0	0	0	23	613	2849	6082
Doğal Gaz (kwh)	39177	43352	26975	8161	3800	0	0	0	68	2348	11798	28762
Pompalar (kWh)	1684	1518	1684	1629	1650	1623	1684	1684	1629	1684	1629	1684
Soğutma Fanları (kWh)	0	0	52	337	789	1413	2088	2905	1245	686	165	0

Şekil 4.3'de binaya bu sistemin kurulması sonucunda HVAC bileşenlerinin, diğer elektrikli ekipmanların ve aydınlatma ekipmanlarının toplam enerji tüketimi içinde ne kadar paya sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.3 İkinci sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi ikinci sistemimiz olan Su Kaynaklı Isı Pompası sisteminde kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında ise soğutma kulesinin yoğun kullanılması sonucunda doğal gaz tüketimi azalmış ve elektrik sarfiyatı artmıştır. Bu sistemde ısıtma ana kaynağı doğal gazdır, ancak iç ünitelerde kompresörün çalışması için elektrik tüketilmesi sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisi de sistem ısıtmada çalışırken ısı yükünü karşılama konusunda yardımcı olmaktadır. Ayrıca geçiş mevsimlerinde ısı geri kazanım yapma imkânı olduğu için bu aylarda toplam enerji tüketimi düşmektedir.



Şekil 4.4 İkinci sistemin aylık işletme maliyetleri

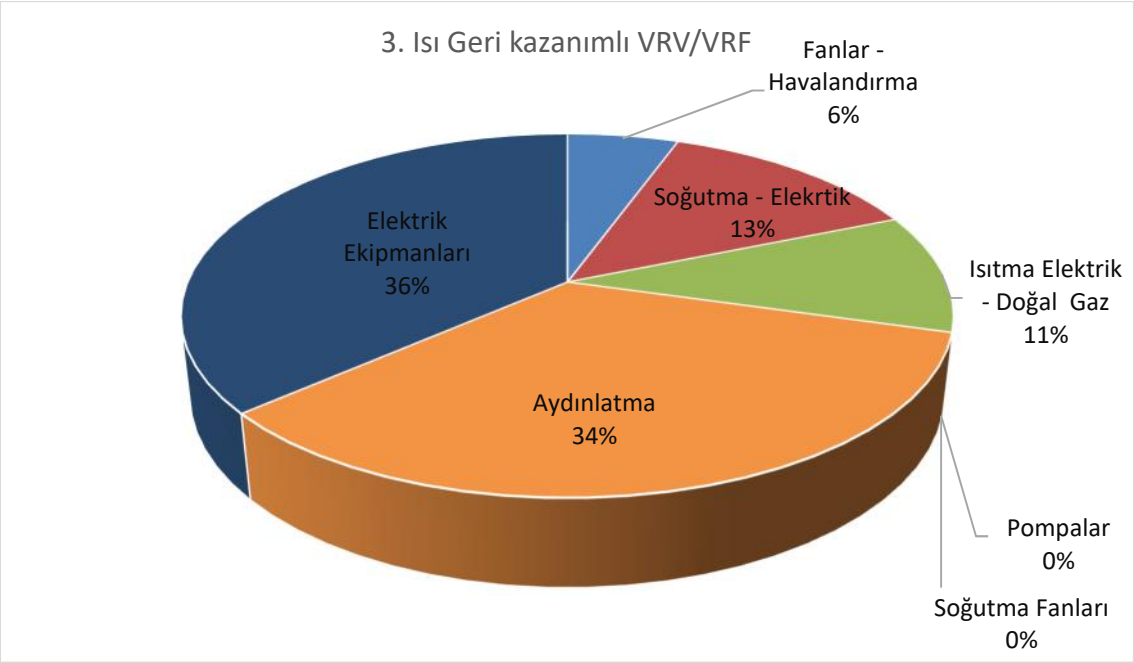
4.2.3 Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV

Isı geri kazanımlı VRF/VRV sisteminde, sistem bileşenlerinin aylık olarak tükettiği enerji miktarları Çizelge 4.8'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.8 Üçüncü sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri

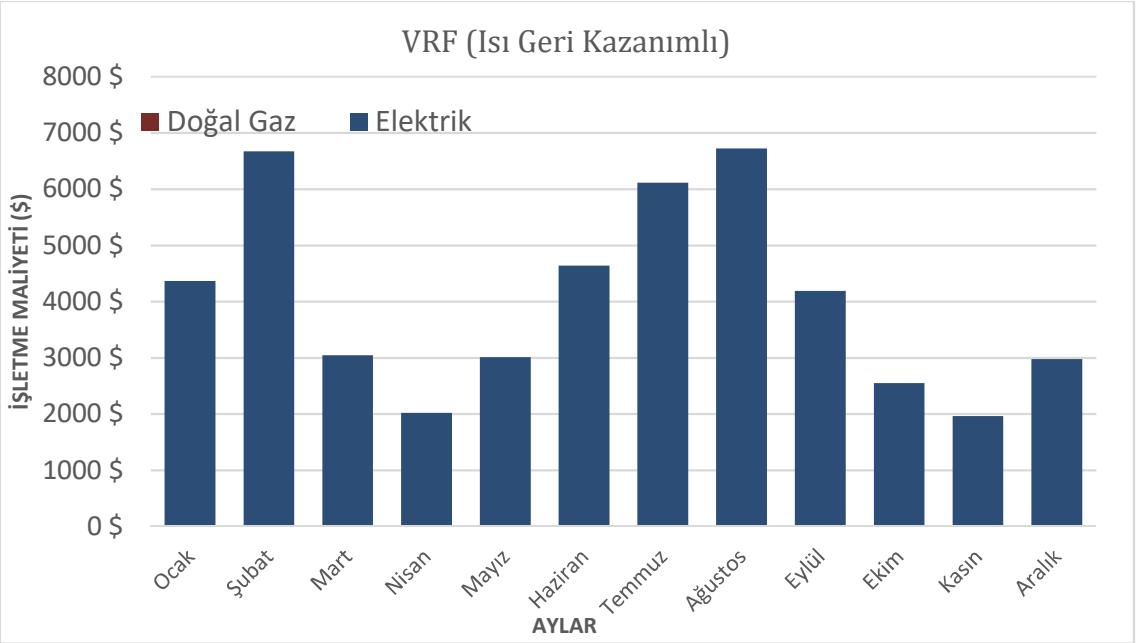
Bileşen	**Ocak**	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haz**	**Tem**	**Ağu**	**Eylül**	**Ekim**	**Kasım**	**Aralık**
Havalandırma Fanları (kWh)	4724	4794	4172	5235	8169	8316	8595	8595	8318	7741	4428	4040
Soğutma												
Elektrik (kWh)	0	34	316	4522	15967	30956	43201	48375	27043	11514	1955	0
Isıtma												
Elektrik (kWh)	32259	51732	21303	7376	1363	20	0	0	113	2329	10229	21158

Şekil 4.5'de binaya bu sistemin kurulması sonucunda HVAC bileşenlerinin, diğer elektrikli ekipmanların ve aydınlatma ekipmanlarının toplam enerji tüketimi içinde ne kadar paya sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.5 Üçüncü sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları

Şekil 4.6'de görüldüğü gibi üçüncü sistemimiz olan Isı Geri Kazanımlı VRF/VRV sisteminde herhangi bir sıcak ya da soğuk su dolaşmadığı için enerji ihtiyacı sadece elektrik üzerinden karşılanmaktadır. Şekil 6 ve şekil 10'da görüldüğü üzere özellikle mevsim geçişlerinde yani mart, nisan, ekim ve kasım aylarında 4 borulu fan coil ve VAV+Radyatör hem elektrik hem doğal gaz tüketim değerlerinin kayda değer oranlarda oldukları görünmektedir. Bunun nedeni ise bu dönemlerde ısıtma ve soğutma ihtiyacının aynı anda talep edilmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı dönemlere ait veriler Şekil 8'de incelendiğinde ise elektrik tüketim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bunun en temel sebebi ise bu sistemin ısı geri kazanım yapma imkanının olmasıdır. Bir odadan çektiği ısıyı BS kutusu yardımıyla diğer odaya aktarabilen sistemde dış ünitelerin çalışmasına gerek kalmadan istenilen konfor şartları sağlanabilmektedir Dış ünitelerin çalışmaması da elektrik tüketimini düşürmektedir.



Şekil 4.6 Üçüncü sistemin aylık işletme maliyetleri

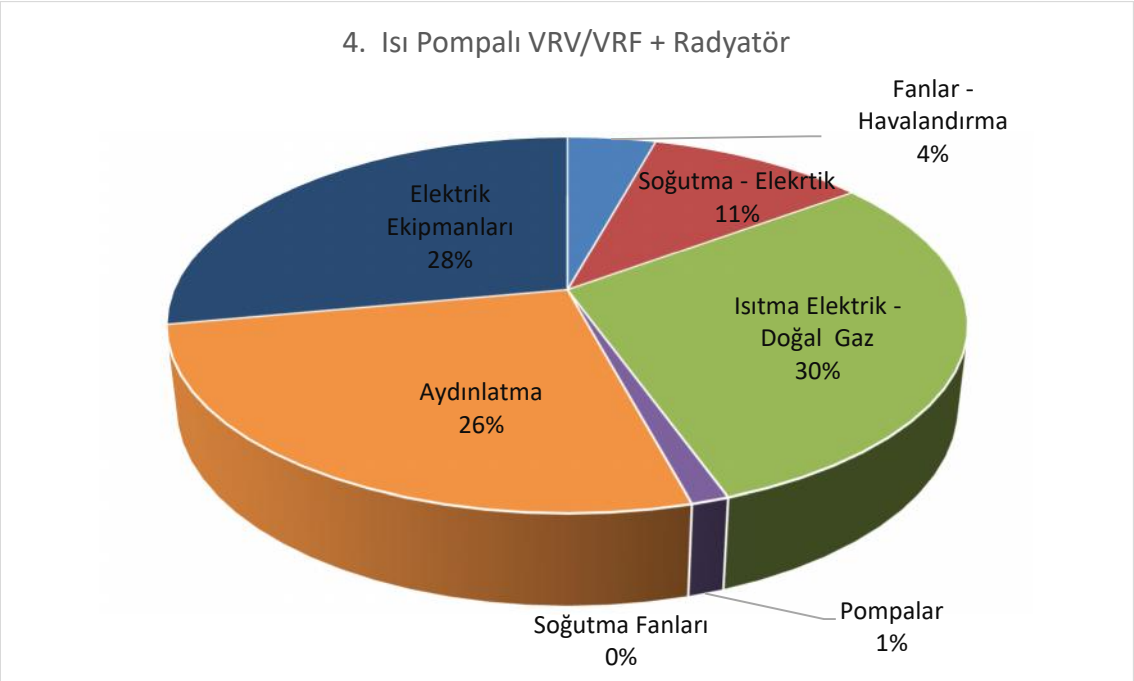
4.2.4 Isı Pompalı VRF/VRV

Isı pompalı VRF/VRV sisteminde, sistem bileşenlerinin aylık olarak tükettiği enerji miktarları Çizelge 4.9'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9 Dördüncü sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri

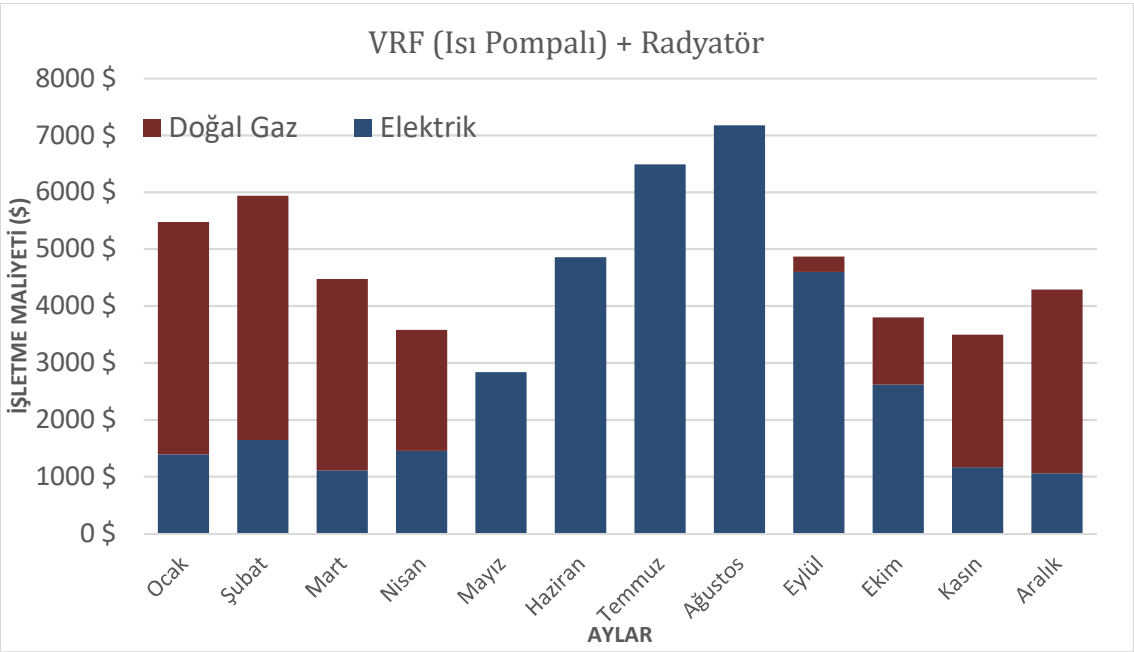
Bileşen	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz	Tem	Ağu	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Havalandırma Fanları (kWh)	4710	4768	4166	5235	8169	8316	8595	8595	8318	7741	4428	4035
Soğutma												
Elektrik (kWh)	0	0	27	3308	15893	32820	46407	52185	28540	10926	1586	0
Isıtma												
Elektrik (kWh)	3931	6264	2083	774	0	0	0	0	98	430	846	1827
Doğal Gaz (kwh)	102136	107402	84094	53237	0	0	0	0	6770	29586	58175	80641
Pompalar (kWh)	3125	2884	3125	2990	0	0	0	0	1999	3069	3024	3125

Şekil 4.7'de binaya bu sistemin kurulması sonucunda HVAC bileşenlerinin, diğer elektrikli ekipmanların ve aydınlatma ekipmanlarının toplam enerji tüketimi içinde ne kadar paya sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.7 Dördüncü sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi dördüncü sistemimiz olan 2 borulu VRF/VRV + Radyatör sisteminde kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında ise soğutma ihtiyacı VRF/VRV'den sağlandığı için doğal gaz tüketimi olmamış ve elektrik sarfiyatı artmıştır.



Şekil 4.8 Dördüncü sistemin aylık işletme maliyetleri

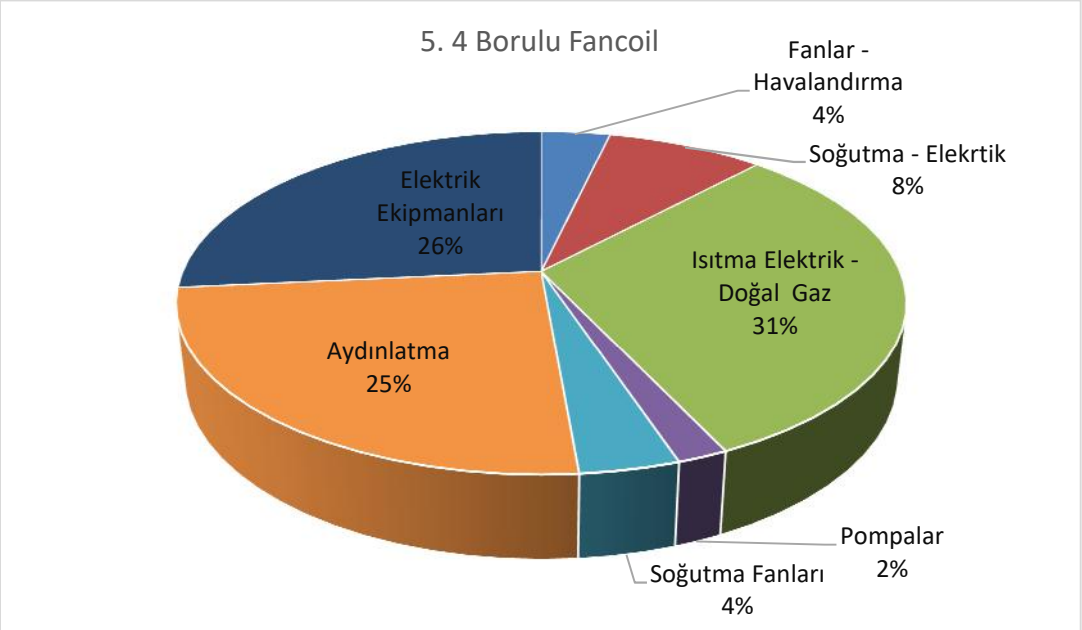
4.2.5 Dört Borulu Fan Coil

Dört borulu fan coil sisteminde, sistem bileşenlerinin aylık olarak tükettiği enerji miktarları Çizelge 4.10'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.10 Beşinci sistem bileşenlerinin aylık enerji tüketim değerleri

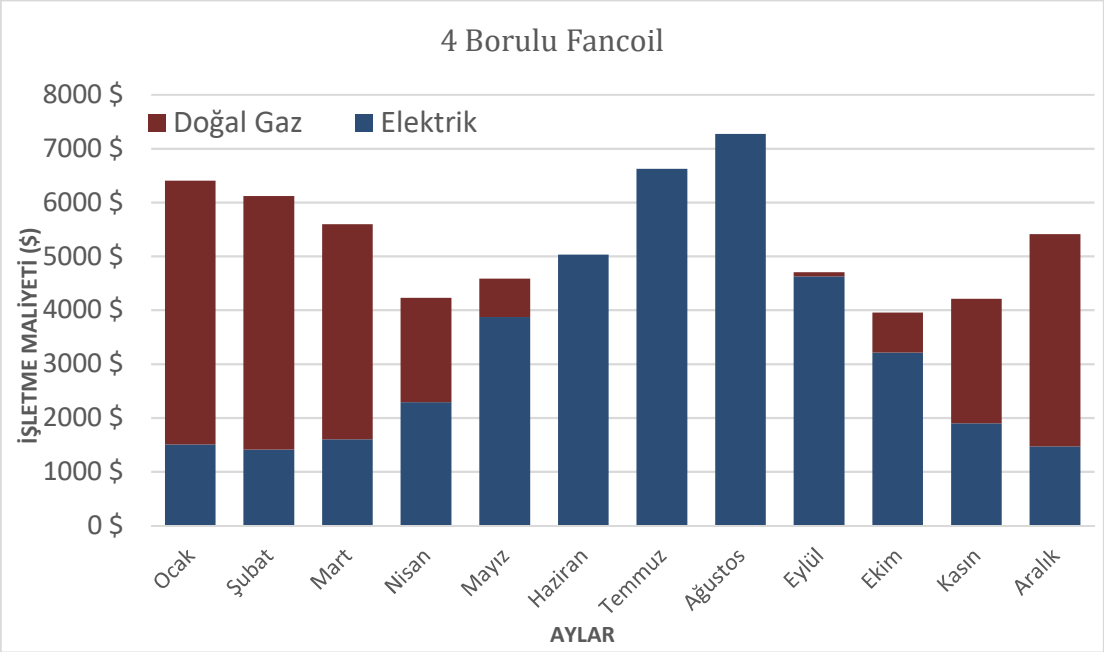
Bileşen	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz	Tem	Ağu	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Havalandırma Fanları (kWh)	5522	5033	5516	5518	6014	6117	6446	6469	6032	5878	5399	5491
Soğutma												
Elektrik (kWh)	177	288	878	5041	14338	24956	36601	42069	21147	10249	2906	262
Isıtma												
Elektrik (kWh)	2004	1927	1634	793	293	0	0	0	31	304	945	1612
Doğal Gaz (kwh)	122451	117756	99877	48450	17903	0	0	0	1883	18583	57772	98508
Pompalar (kWh)	4910	4453	4849	4391	3441	0	0	9	1109	3670	4673	4910
Soğutma Fanları (kWh)	135	246	673	3649	8706	11551	13105	13066	10894	7107	2170	200

Şekil 4.9'da binaya bu sistemin kurulması sonucunda HVAC bileşenlerinin, diğer elektrikli ekipmanların ve aydınlatma ekipmanlarının toplam enerji tüketimi içinde ne kadar paya sahip oldukları görülmektedir.



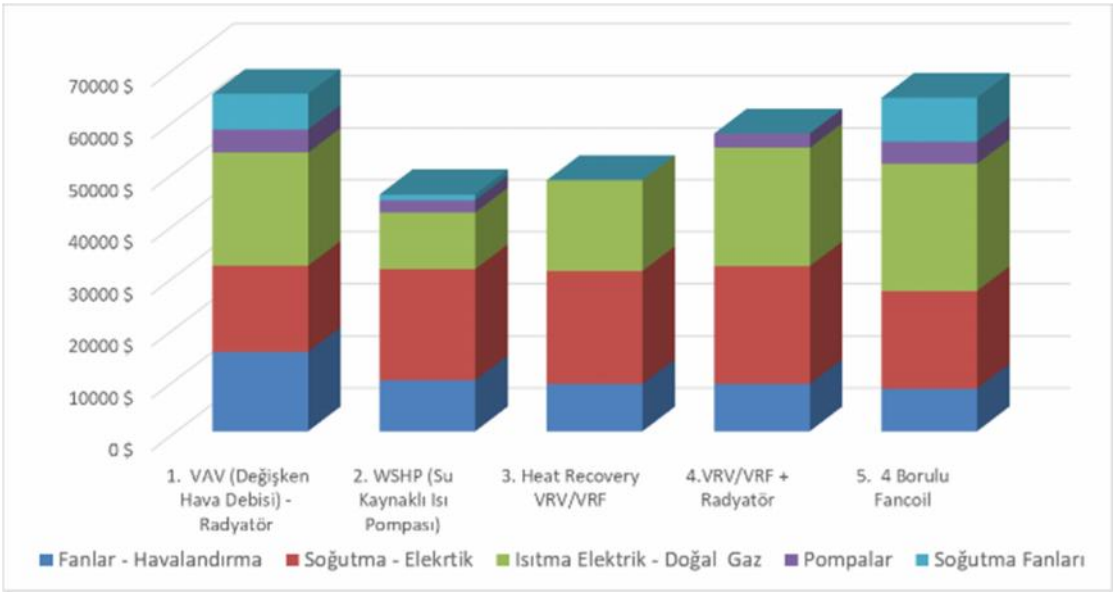
Şekil 4.9 Beşinci sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim dağılımları

Şekil 4.10'de görüldüğü gibi son sistemimiz olan 4 borulu fan coil sisteminde kış aylarında ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere doğal gaz kullanımı artmıştır. Yaz aylarında ise chillerin yoğun kullanılması sonucunda doğal gaz tüketimi azalmış ve elektrik maliyeti artmıştır. Sistem ısı geri kazanım yapamadığı için geçiş dönemlerinde enerji tüketim değerlerinde azalma görülmemektedir.



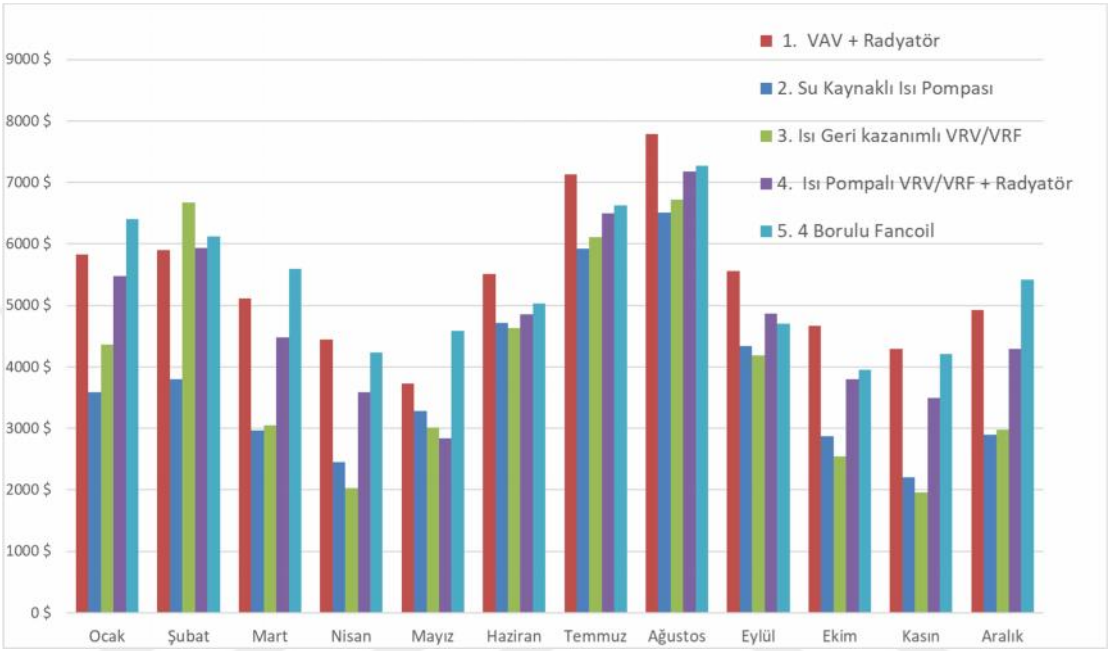
Şekil 4.10 Beşinci sistemin aylık işletme maliyetleri

Şekil 4.11'da beş farklı sistemin 1 yıl boyunca toplam işletme maliyetleri sistem bazında ayrıntılı olarak verilmektedir.



Şekil 4.11 Beş sistemin yıllık işletme maliyetleri

Şekil 4.12'de beş sistemin aylık işletme maliyetlerinin grafiği verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere mevsim geçiş dönemlerinde ısı geri kazanımı yapabilen sistemlerin tükettiği enerjiler büyük oranda azalmaktadır. VAV + Radyatör ve 4 borulu fan coil sistemi ayların büyük çoğunluğunda en yüksek işletme maliyetlerine sahip oldukları görünmektedir.



Şekil 4.12 Beş sistemin aylık işletme maliyetleri

4.3 Toplam Maliyete Göre Değerlendirme

Bir sistem seçimi yaparken ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yanı sıra bakım maliyetleri de göz önüne alınmalıdır. Bu şekilde elde edilecek olan toplam maliyet ile sistemler arasından seçim yapılması en iyi sonucu verecektir.

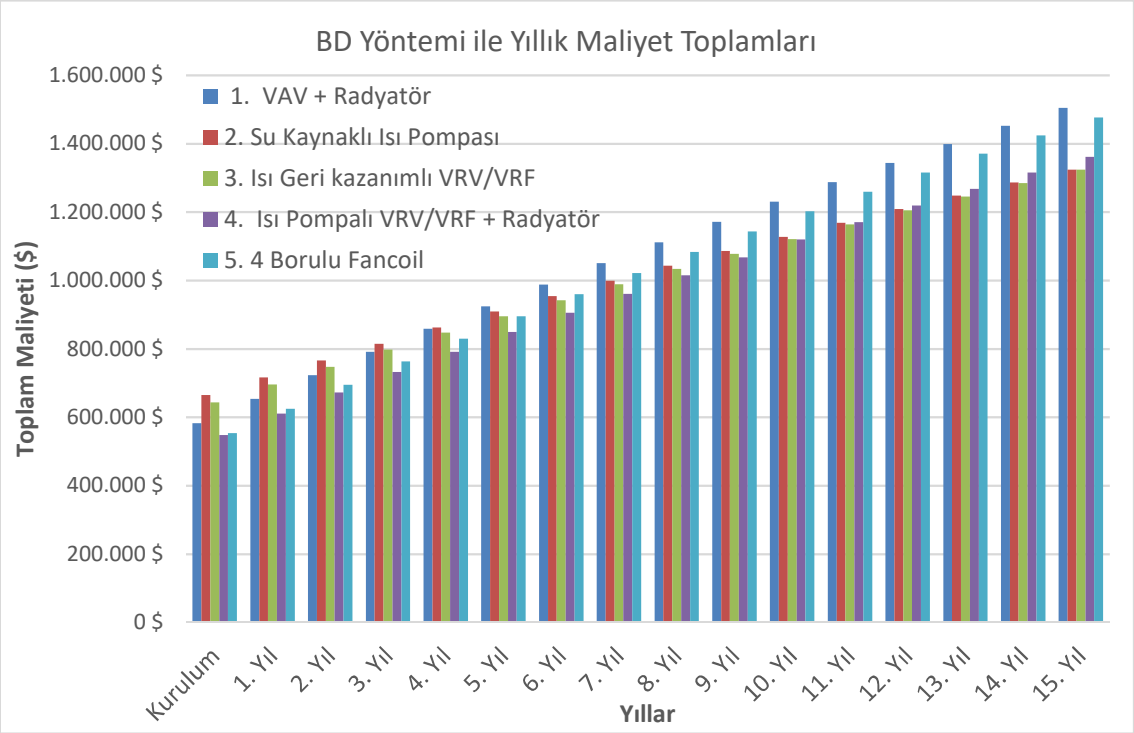
Tüm sistemlere ait toplam maliyetlerin kurulması planlanan 1. sistem ile karşılaştırılarak 15 yıl ömür için net bugünkü değer yöntemi ile ekonomik analiz yapıldığında ortaya çıkan tasarruf miktarları Çizelge 4.11'da verilmektedir.

Örnek olarak kurulması planlanan VAV + Radyatör sistemi yerine 2.sistem tercih edilseydi 15 yıl sonunda 142781 $ tasarruf sağlanacaktı.

Çizelge 4.11 Birinci sistem ile diğer sistemlerin NBD yöntemi karşılaştırılması

Sistemler	Tasarruf Miktarı NBD
2.Sistem	142781 $
3.Sistem	132733 $
4.Sistem	122816 $
5.Sistem	37318 $

Şekil 4.13'de sistemlerin BD yöntemi ile yıllara göre hesaplanmış toplam maliyetleri görülmektedir. Bu grafikte sistemleri seçerken sadece ilk yatırım maliyetlerine göre seçmenin sağlıklı sonuçlar vermeyeceği açıkça görülmektedir. 5.sistemimiz olan 4 borulu fan coil sistemi ilk yatırım maliyeti olarak oldukça uygun görünmesine rağmen 15 yıllık süre göz önüne alındığında en pahalı ikinci sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna karşın yine ilk yatırım maliyeti açısından uygun olan ısı pompalı VRF/VRV + Radyatör sistemi ise 15 yıllık süre göz önüne alındığında uygulanabilir bir sistem olarak görülmektedir. Buradan çıkartılan sonuç ise bir sistemi seçerken sadece ilk yatırım ya da işletme maliyetlerini baz alarak seçim yapmanın yanlış olacağıdır.



Şekil 4.13 Beş sistemin 15 yıl boyunca toplam maliyetleri

Proje ömrü boyunca sistemle ilgili bütün gelir ve gider kalemlerinin hesaplanması sonucunda bir sistem seçilmesinin en doğru sonucu vereceği görülmektedir. Proje ömrü de doğru sistemi seçmek açısından önemli bir etkendir. Yaptığımız çalışmada bina kullanım ömrünün 5 yıl olması durumunda en uygun sistem ile 15 yıl olması durumunda en uygun sistemin farklı olacağı görülmektedir. Örnek olarak 2.sistem ilk 4 yıl en pahalı sistem olmasına rağmen 12. yıldan itibaren en ucuz sistem konumuna gelmiştir. Yine aynı şekilde 5. sistem ilk 6 yıl boyunca diğer 3 sisteme göre uygun görünmesine karşın 7. yıldan sonra toplam maliyetleri hızla artış göstermekte ve uygunluğunu kaybetmektedir.

İlk yıllarda toplam maliyeti yüksek olan 3. sistem ısı geri kazanım özelliği sebebiyle işletme maliyetinin düşük olması sonucunda 15 yıllık ömür süresi göz önüne alındığında en avantajlı sistemlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin enerji kaynaklarının sınırlı ve dışa bağımlı olması nedeniyle özellikle enerjinin aktif olarak kullanıldığı HVAC sistemlerinde enerjinin verimli kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Yapılan çalışma sonucu HVAC sistemlerinde ilk yatırım maliyetinin tek başına karar vermek için yetersiz olduğu aşikardır. HVAC sisteminin kurulacağı yapının ömrü, yapının amacı ve sistemin kullanım süresine göre hangi sistemin uygun olduğu değişiklik göstermektedir.

Binada kurulması planlanan VAV + Radyatör sistemi ilk yatırım olarak bakıldığında en uygun 3.sistem olarak görülmektedir. İşletme ve bakım masrafları da ilk maliyetlere dahil edildiğinde 5.yıldan itibaren bu sistemin en pahalı sistem haline geldiği görülmektedir. Buna karşın binanın yapım aşamasında pahalı görünen su kaynaklı ısı pompası veya ısı geri kazanımlı VRF/VRV sisteminin tercih edilmesiyle, İstanbul gibi geçiş mevsimi olan bir iklimde ısı geri kazanım özelliğinin yardımıyla işletme açısından çok avantajlı olacağı ve 15 yıllık süreç içinde kurulması planlanan VAV + Radyatör sistemine göre büyük oranda enerji ve para tasarrufu sağlanacağı görülmektedir.

Bu çalışmanın analizleri aşamasında; bina konumunun, bina şeklinin, kullanım amacının, insan ve elektrikli ekipman yüklerinin sistem verimliliği konusunda çok önemli etkilere sahip olduğu görülmüştür.

Bu çalışmadan yola çıkarak aynı bina için Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri dikkate alınarak daha detaylı bir çalışma yapılabilir. Ayrıca sadece iklim bölgesi değişikliğinin

yanı sıra binanın kullanım amacı da değiştirilerek yapılan çalışmalarda çıkan sonuçlar irdelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Özgür, N., (2008). “Enerji Verimliliği ve Suyun Verimli Kullanılması”, Ankara.

[2] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Enerji Verimliliği, www.eie.gov.tr, 11 Ekim 2017.

[3] Oğulata, R.G., (2002). “Sectoral Energy Consumption in Turkey”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6: 471-480.

[4] Kaygusuz, K., Kaygusuz, A., (2004). “Energy and Sustainable Development Part II: Enviromental İmpacts of Energy Use”, Energy Sources, 26: 1071-1082.

[5] Yang Z., Ghahramani A., Becerik B., (2016). “Building Occupancy diversity and HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) System Energy Efficiency”, Energy, 109: 641-649.

[6] Özahi E., Abuşoğlu A., Kutlar A. İ., Dağcı O., (2017). “A Comparative Thermodynamic and Economic Analysis and Assesment of a Conventional HVAC and a VRF System in a Social and Culturel Center Building”, Energy and Building, 140: 196-209.

[7] Hasip N., Mun J., Tao Y., (2013). “Performance Analysis of Two HVAC Systems for Zero Energy Research Laboratory”, Proceeding of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 15-21 November 2013, California.

[8] Gustafsson M., Dermentzis G., Myhren J. A., Bales C., Ochs F., Holmberg S., Feist W., (2014). “Energy Performance Comparison of Three Innovative HVAC Systems for Renovation Through Dynamic Simulation”, Energy and Buildings, 82: 512-519.

[9] Wang W., Jiang W., Liu B., Zhang J., (2010). “Energy Performance Comparison of Heating and Air Conditioning Systems for Multifamily Residental Buildings”, International High Performance Buildings Conference, 12-15 July 2010, Indiana.

[10] Marini D., (2013). “Optimization of HVAC Systems for Distributed Generation as a function of Different Types of Heat Sources and Climatic Conditions”, Applied Energy, 102: 813-826.

[11] Bojic M., Nikolic N., Nikolic D., Skerlic J., Miletic I., (2011). “A Simulation Appraisal of Performance of Different HVAC Systems in an Office Building”, Energy and Buildings, 43: 1207-1215.

[12] Aynur T. N., Hwang Y., Radermacher R., (2010). “Simulation Comparison of VAV and VRF Air Conditioning Systems in an Existing Building for the Cooling Season”, Energy and Buildings, 41: 1143-1150.

[13] Liu X., Hong T., (2010). “Comparison of Energy Efficiency Between Variable Refrigerant Flow Systems and Ground Source Heat Pump Systems”, Energy and Buildings, 42: 584-589.

[14] Zhou Y. P., Wu J. Y., Wang R. Z., Shiochi S., (2007). “Energy Simulation in the Variable Refrigerant Flow Air-Conditioning System Under Cooling Conditions”, Energy and Buildings, 39: 212-220.

[15] Eskin N., Türkmen H., (2008). “Analysis of Annual Heating and Cooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey”, Energy and Buildings, 42: 763-773.

[16] Li Y., Wu J., Shiochi S., (2009). “Modeling and Energy Simulation of the Variable Refrigerant Flow Air Conditioning System with Water-Cooled Condenser Under Cooling Conditions”, Energy and Buildings, 41: 949-957.

[17] Charisis G. V., Theoklitos S. K., (2013). “Categorization and Comparison of Air-Conditioning Systems from a Technology and Performance Perspective – Case Study of an Industrial Installation”, Ashrae Transactions.

[18] Barot J. M., (2014). “Comparative Analysis of HVAC System Based on Life Cycle Cost Analysis”,Open Access, 4: 171-174

[19] Urchueguia J. F., Zacares M., Corberan J. M., Montero A., Martos J., Witte H., (2008). “Comparison Between the Energy Performance of a Ground Coupled Water to Water Heat Pump System and an Air to Water Heat Pump System for Heating and Cooling in Typical Conditions of the European Mediterranean Coast”, Energy Conversion and Management, 49: 2917-2923.

[20] Elhelw M., (2016). “Analysis of Energy Management for Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems”, Alexandria Engineering Journal, 55: 811-888.

[21] Bulgurcu H., (2016). Klima Tesisatı, Birinci Baskı TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.

[22] Barcol-Air, Induction VAV System, www.barcolair.net, 15 Eylül 2017.

[23] The Online IndustrialExhibition, Water Source Heat Pump, www.directindustry.com, 15 Eylül 2017.

[24] Vestel VRF Klima Sistemleri, VRF (VRV) Nedir, https://vrf.vestel.com.tr, 15 Eylül 2017.

[25] Association for Indoor Climate, Process Cooling, and Food Cold Chain Technologies, https://eurovent.eu, 15 Eylül 2017.

[26] Escovent Enerji & Isıtma Soğutma Havalandırma, Fan Coil Üniteleri, www.escovent.com, 15 Eylül 2017.

[27] Genceli O. F., Parmaksızoğlu İ. C., (2012). Kalorifer Tesisatı, Yedinci Baskı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.

[28] Standart 90.1, Resources & Publications, www.ashrae.org, 28 Ekim 2017.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fatih ALKAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 23.09.1990 / Antalya

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : fatihalkan7@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Isı Proses / Mak. Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	İklimlendirme-Soğutma	Atatürk E.M.L	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2015 – Devam ediyor	SAINA Danışmanlık Mühendislik	Mekanik Proje Yöneticisi
2014-2015	Mir Ar-Ge. A.Ş.	Stajyer Ar-Ge Mühendisi
2014-2015	Eren Raf San. Ve Tic. A.Ş.	Stajyer Üretim Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Alkan F., Kürekçi N.A., Çubuk H., (2017) “Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması”, Tesisat Mühendisliği, 162, İstanbul (baskıda)