

T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASIYLA ÇALIŞAN YERDEN
SERİNLETME SİSTEMİNİN VRF SİSTEMİYLE ENERJİ
KİYASLAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BERKER TANRIÖVER

İSTANBUL, 2021

T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASIYLA ÇALIŞAN
YERDEN SERİNLETME SİSTEMİNİN VRF SİSTEMİYLE
ENERJİ KİYASLAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BERKER TANRIÖVER

İSTANBUL, 2021

KABUL VE ONAY

BERKER TANRIÖVER tarafından hazırlanan “**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASIYLA ÇALIŞAN YERDEN SERİNLETME SİSTEMİNİN VRF SİSTEMİYLE ENERJİ KIYASLAMASI**” adlı tez çalışmasının savunma tarihi 06.12.2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Deniz YILMAZ

Arel Üniversitesi

.....

Üye

Prof. Dr. Remzi Aslan

Arel Üniversitesi

.....

Üye

Doç. Dr. Ayhan Onat

Marmara Üniversitesi

.....

İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Ali AKDEMİR

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASIYLA ÇALIŞAN YERDEN SERİNLETME SİSTEMİNİN VRF SİSTEMİYLE ENERJİ KİYASLAMASI**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

07.01.2021

Berker TANRIÖVER

ÖZET

**TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASIYLA ÇALIŞAN YERDEN
SERİNLETME SİSTEMİNİN VRF SİSTEMİYLE ENERJİ KİYASLAMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BERKER TANRIÖVER
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ DENİZ YILMAZ)

İSTANBUL, 2021

Dünya nüfusunun gittikçe artması, insanların kapalı ortamlarda vakit geçirme sürelerinin artması, iklimlendirme sistemlerine olan ihtiyaçları da beraberinde getirmiştir. Bununla birlikte kaynakların tükenme hızının artması sonucu enerjiyi verimli kullanma ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme arayışı başlamıştır. Bu arayış içindeyken enerjinin en çok tüketildiği sektörlerden biri olan iklimlendirme sektörü için de yeni çözümler geliştirilmektedir.

Bu açıdan en verimli yenilenebilir enerji kaynağı kullanan sistemlerden biri toprak kaynaklı ısı pompasının (TKIP) kullanıldığı sistemlerdir. Bunun sebebi toprak sıcaklığının yaz ve kış aylarında sabit olmasıdır. Enerji tasarrufu bakımından yüksek verime sahip olan iklimlendirme yöntemlerinden biri de yerden ısıtma ve serinletme sistemidir. Bunun sebebi ortamı ısıtacak/serinletecek yüzeyin diğer ısıtma sistemlerine nazaran (örneğin radyatör kullanılan tesisatlar) daha fazla olmasıdır. Böylece mahalle ısıtma/soğutma suyu arasındaki ısı transferi daha çok olmaktadır.

Bu çalışmada örnek bir binada uygulama yapılmış ve toprak kaynaklı ısı pompasına bağlı olan yerden serinletme/ısıtma sistemi, VRF (VRF-Variable refrigerant flow, Variable refrigerant volume) sistemi ile karşılaştırılmıştır. İstanbul'da bulunan binanın ısı kazancı hesabı yapıldıktan sonra yerden serinletme sisteminin 16 °C gidiş 21 °C dönüş sıcaklıklarında ve belli boru aralıklarında ne kadar ısı çekeceği hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlara göre mahal boru aralıkları belirlendikten sonra sistem için gereken toplam su debisi bulunmuştur. İstanbul şartlarına göre toprak kaynaklı ısı pompası için su sıcaklıkları hesaplandıktan sonra bu değerler HAP (Hourly Analysis Program) programına işlenmiştir ve ısı pompasının harcayacağı elektrik miktarı

bulunmuştur. Bu belirlemeden sonra binanın VRF sistemine göre iç üniteleri ve dış ünitesi seçilmiştir. Dış ünitenin çeşitli dış hava sıcaklıklarına göre sahip olduğu EER (Energy Efficiency Ratio, Enerji Tasarruf Oranı) değerleri bulunmuş ve VRF ile yerden serinletme/ısıtma sisteminin harcadıkları enerji miktarları karşılaştırılmıştır ve yerden serinletme/ısıtma sisteminin daha az enerji sarf ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Toprak kaynaklı ısı pompası, VRF, Yerden serinletme, Enerji analizi



ABSTRACT

ENERGY COMPARISON OF FLOOR COOLING SYSTEM WHICH WORKS WITH GROUND SOURCE HEAT PUMP WITH VRF SYSTEM

MSC THESIS

BERKER TANRIÖVER

GRADUATE SCHOOL, ISTANBUL AREL UNIVERSITY

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: DR. OGR. UYESI DENİZ YILMAZ)

İSTANBUL, 2021

Increase of world population and increase of spent time indoor places brought need for air conditioning system with themselves. In addition to this, as a result of the increase in depletion of resources, the search for efficient use of energy and tending to renewable energy resources has begun. While in this search, new solutions have been developed for one of the sectors where energy is consumed the most which is air conditioning sector.

In this respect, one of the systems using the most efficient renewable energy source is the systems where the ground source heat pump (GSHP) is used. Because the soil temperature is stable in summer and winter. The heating-cooling system, which has a high efficiency in terms of energy saving, is also the radiant heating and cooling system. The reason is, the surface that will heat/cool the space is larger than other heating systems (eg. systems that has radiators). Thus, the heat transfer between space and heating/cooling water will be more.

In this study, the radiant cooling/heating system that works with the ground source heat pump is compared with the VRF (VRF-Variable refrigerant flow, Variable refrigerant volume) system. After calculating the heat gain of the building which is in Istanbul, it has been calculated how much heat the radiant cooling system will absorb at 16 °C and 21 °C return temperatures and in certain pipe gaps. According to the results, after determining the space pipe gaps, the total water flow required for the system was found. After calculating the water temperatures for the ground source heat pump according to Istanbul conditions, these values were entered into the HAP (Hourly Analysis Program) program. Then, the amount of electricity that the heat

pump will spend was found. After this determination, indoor units and outdoor units of the building were selected according to the VRF system. EER (Energy Efficiency Ratio) values of the outdoor unit according to outdoor temperatures has been found, and a comparison was made between the VRF and the amount of energy consumed by the radiant cooling system, and it was seen that the floor cooling/heating system consumes less energy.

Key Words: Ground source heat pump, VRF, floor cooling, energy comparison



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ÖNSÖZ.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. SİSTEMLERİN TANITIMI	5
3.1 Yerden Isıtma / Serinletme Sistemi.....	5
3.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası	6
3.3 VRF Sistemi	7
4. PROJELENDİRME VE TASARIM PARAMETRELERİ	9
4.1 Mimari Tasarım	9
4.2 Binanın İç ve Dış Hava Şartları.....	11
4.3 Bina Yapı Elemanlarının Özelliklerinin Belirlenmesi	13
5. HESAPLAMALAR.....	14
5.1 Isı Kazancı ve Isı Kaybı Hesabı için Kabuller	14
5.1.1 Mahallerde Bulunacak Kişi Sayıları.....	14
5.1.2 Mahallerde Bulunacak Elektrikli Cihazların Isı Kazancı Miktarları ve Çalışma Süreleri	15
5.1.3 Sistemlerin Çalışma Süreleri	17
5.2. Isı Kazancı Hesabı.....	17

5.2.1	Güneş Radyasyonu.....	18
5.2.2	Duvar ve Çatılardan Gelen Periyodik Isı Kazancı	19
5.2.3	Camdan Gelen Isı Kazancı.....	20
5.2.4	İç Duvarlardan Gelen Isı Kazancı	21
5.2.5	Dış Havadan Enfiltrasyon İle Gelen Isı Kazancı	22
5.2.6	İnsanlardan Gelen Isı Kazançları.....	23
5.2.7	Aydınlatmadan Gelen Isı Kazancı	23
5.2.8	Elektrikli Cihazlardan Gelen Isı Kazancı	23
5.3	Isı Kaybı Hesabı	25
5.3.1	Enfiltrasyonla Oluşan Isı Kaybı.....	25
5.3.2	Yapı Elemanlarından Kaynaklanan Isı Kaybı	26
5.4	Yerden Serinletme Sisteminin Kapasite Hesabı.....	29
5.5	VRF Sisteminin Seçimi	37
5.6	VRF Sistemi Proje ve Sistem Şemaları.....	39
5.7	Yerden Isıtma/Serinletme Sistemi Proje ve Sistem Şemaları.....	43
6.	DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR.....	49
	KAYNAKÇA	54
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	56

KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ

ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme)
COP	: Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
DIO	: Duyulur ısı oranı
DB	: Dry bulb temperature (Kuru termometre sıcaklığı)
WB	: Wet bulb temperature (Yaş termometre sıcaklığı)
HAP	: Hourly Analysis Program
HP	: Horse Power (Beygir gücü)
VRF	: Variable Refrigerant Flow (Değişken Soğutucu Akışı)
TKIP	: Toprak kaynaklı ısı pompası
EER	: Energy Efficiency Ratio (Enerji Verimliliği)
USD	: United States Dollar (Amerikan Doları)
I_{Dn}	: Güneş ışınlarına dik yüzeydeki direk güneş radyasyonu (W/m^2)
I_d	: Uzay radyasyonu (W/m^2)
I_t	: Toplam radyasyon (W/m^2)
I_D	: Direk güneş radyasyon (W/m^2)
K	: Güneş izdüşümü açısının kosinüsü
τ_d, τ_D	: Camın radyasyon geçirme katsayıları
I_d	: Cam yüzeyine gelen uzay güneş radyasyonu (W/m^2)
I_D	: Cam yüzeyine gelen direk güneş radyasyonu (W/m^2)
a_D	: Direk radyasyonu için absorpsiyon katsayısı
a_d	: Uzay radyasyonu için absorpsiyon katsayısı
e_{cd}	: Cam dış yüzeyinin yayma katsayısı

R_m	: Dış ortamdaki cisimlerden cam üzerine gelen alçak sıcaklık radyasyon enerjisi (W/m ²)
R_{cd}	: Cam dış sıcaklığında olan ve yayma katsayısı 1 olan bir yüzey tarafından yayılan alçak sıcaklık radyasyon enerjisi (W/m ²)
a_a	: Konveksiyon için dış yüzey ısı iletim katsayısı (W/m ² K)
t_{cd}	: Camın dış yüzey sıcaklığı (°C)
t_a	: Dış hava sıcaklığı (°C)
S	: Cam tarafından absorbe edilen enerji (W/m ²)
k	: Yapı elemanının ısı iletim katsayısı (W/m ² K)
A	: Yapı elemanının alanı (m ²)
t_k	: Komşu mahal sıcaklığı (°C)
t_i	: Soğutulan mahal sıcaklığı (°C)
V_i	: Enfiltrasyon ile giren hava miktarı (m ³ /h)
a	: Kapı ve pencerenin hava geçirgenliği (m ³ /h)
l	: Kapı ve pencerenin açılan kısımlarının çevre uzunluğu (m)
R	: Mahal özelliği
H	: Yapı özelliği (W.h/m ³ K)
z_i	: Köşe odalar için zam faktörü
Q_{id}	: Enfiltrasyon sonucu gelen duyulur ısı (kJ/h)
Q_{ig}	: Enfiltrasyon sonucu gelen gizli ısı (kJ/h)
v_o	: Dış havanın özgül hacmi (m ³ /kg kuru hava)
t_o	: Dış hava sıcaklığı (°C)
t_r	: Mahal hava sıcaklığı (°C)
h_{fg}	: Mahal hava sıcaklığında buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)
W_o	: Dış havanın nem oranı (kg/kg kuru hava)

W_r	: Oda havasının nem oranı (kg/kg kuru hava)
M_i	: Enfiltrasyon kuru hava ağırlığı (kg kuru hava/h)
U	: Yapı elemanlarının toplam ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)
D	: Birleşik ortalama ısı geçirme katsayısı (W/m ² K)
A_t	: Mahali çevreleyen tüm yapı elemanlarının toplam alanı (m ²)
T_A	: Hesaplanacak zamanki dış hava sıcaklığı (°C)
$T_{A_{MAX}}$	: Maksimum dış hava sıcaklığı (°C)
$T_{A_{MIN}}$	: Minimum dış hava sıcaklığı (°C)
$R_{\ddot{U}}$	: Üst ısı direnç (m ² .°C/W)
R_a	: Alt ısı direnç (m ² .°C/W)
T_{sm}	: Boru eksenindeki ortalama su sıcaklığı (K)
w	: Mahal içindeki modülasyon aralığı (m)
$T_{y\ddot{u}}$	: Üst döşemenin yüzey sıcaklığı (K)
T_{ya}	: Alt döşemenin yüzey sıcaklığı (K)
$Z_{\ddot{u}}$	: Üst döşemeye olan uzaklık (m)
Z_a	: Alt döşemeye olan uzaklık (m)
L	: Boru boyu (m)
$S_{\ddot{u}}$	: Üst ısı iletim şekil faktörü
S_a	: Alt ısı iletim şekil faktörü
T_{sg}	: Suyun mahale giriş sıcaklığı (K)
$T_{s\check{c}}$	: Suyun mahalden çıkış sıcaklığı (K)
l_i	: Döşemeyi oluşturan tabaka kalınlığı (m)
k_i	: Tabaka kalınlıklarının ısı iletim katsayıları (W/m°C)
μ	: Dinamik viskozite (kg/ms)

V	: Boru içindeki su hızı
C_p	: Özgül ısı (J/kg°C)
k	: Suyun ısı iletim katsayısı (W/m°C)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
D	: Borunun dış çapı (m)
T_{rc}	: Sabit iç ortam sıcaklığı (°C)
ΔT	: Sistemden geçen suyun gidiş ve dönüş sıcaklıklarının farkı (°C)
ṁ	: Debi (kg/s)
Q̇	: Alandaki toplam modülasyon verimi (W)
EWT_C	: Cooling season entering water temperature (Soğutma sezonu su giriş sıcaklığı) (°C)
EWT_H	: Heating season entering water temperature (Isıtma sezonu su giriş sıcaklığı) (°C)
EWT_{MAX}	: Maximum entering water temperature (Maksimum su giriş sıcaklığı) (°C)
EWT_{MIN}	: Minimum entering water temperature (Minimum su giriş sıcaklığı) (°C)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Yerden ısıtma/serinletme sisteminin döşeme kesiti	5
Şekil 3.2 : Isıtma sistemlerinin karşılaştırılması	6
Şekil 3.3 : Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompasının uygulandığı	7
Şekil 3.4 : VRF sistem şeması	8
Şekil 4.1 : Binanın bodrum kat mimari çizimi	9
Şekil 4.2 : Binanın zemin kat mimari çizimi	10
Şekil 4.3 : Binanın 1. kat mimari çizimi	11
Şekil 5.1 : Saat dilimlerine göre insanların bulunma oranları	14
Şekil 5.2 : Mahallerde bulunan cihazların saat dilimlerine göre çalışma oranları	15
Şekil 5.3 : Mahallerde bulunan aydınlatmaların saat dilimlerine göre çalışma oranları	16
Şekil 5.4 : Zamana göre VRF iç ünitelerinin çalışma oranları.....	17
Şekil 5.5 : Boyutları ve açılır kısımları gösterilmiş dış kapı	29
Şekil 5.6 : VRF sistemi projesinin izometrik görünümü	40
Şekil 5.7 : 1. kat için VRF sistemi projesi	41
Şekil 5.8 : Zemin kat için VRF sistemi projesi	42
Şekil 5.9 : Bodrum kat için VRF sistemi projesi	43
Şekil 5.10 : Salyangoz tipi boru yerleştirme	44
Şekil 5.11 : Firkete tipi boru yerleştirme	44
Şekil 5.12 : Bodrum katta kolektörlere giden hatların üç boyutlu gösterimi	45
Şekil 5.13 : Zemin katta kolektörlere giden hatların üç boyutlu gösterimi	46

Şekil 5.14 : 1. katta kolektörlere giden hatların üç boyutlu gösterimi	46
Şekil 5.15 : Bodrum kat için döşemeden ısıtma/serinletme tesisat projesi	47
Şekil 5.16 : Zemin kat için döşemeden ısıtma/serinletme tesisat projesi	47
Şekil 5.17 : 1. kat için döşemeden ısıtma/serinletme tesisat projesi	48
Şekil 6.1 : Toprak kaynaklı ısı pompasının ay bazında harcadığı elektrik miktarı	49
Şekil 6.2 : Toprak kaynaklı ısı pompasının ay bazında maliyeti	50
Şekil 6.3 : VRF sisteminin ay bazında harcadığı elektrik miktarı	50
Şekil 6.4 : VRF sisteminin aylık masrafı	51
Şekil 6.5 : VRF ile TKIP sistemlerinin ay bazında harcadığı elektrik miktarları	51
Şekil 6.6 : VRF ile TKIP sistemlerinin aylara göre elektrik tüketim maliyeti	51

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1 : VRF sistemi için bina iç hesap şartları	12
Tablo 4.2 : TKIP sistemi için bina iç hesap şartları	12
Tablo 4.3 : Bina duvarlarında kullanılan izolasyon malzemesinin türleri ve kalınlıkları	13
Tablo 4.4 : Bina yapı elemanları ve ısı iletkenlik katsayıları	13
Tablo 5.1 : Mahallerdeki elektrikli cihazlardan ve aydınlatmalardan kaynaklı ısı kazancı	16
Tablo 5.2 : Yaz tasarım değerleri için Güneş-hava sıcaklıkları	19
Tablo 5.3 : Direk ve uzay radyasyonu için, pencere camının geçirme yutma katsayıları	21
Tablo 5.4 : Elektrikli cihazların verdiği ısı kazançları	23
Tablo 5.5 : Mahallerin ısı kazançları	24
Tablo 5.6 : Yöne göre zam katsayısı	27
Tablo 5.7 : Mahallerin ısı kayıpları	28
Tablo 5.8 : Döşemeden serinletme sistemi hesap parametreleri	31
Tablo 5.9 : Döşemeden serinletme hesap tablosu	32
Tablo 5.10 : Mahallerin döşemeden serinletme sistemi için ihtiyacı olan su debileri	34
Tablo 5.11 : İstanbul'un meteorolojik verileri	36
Tablo 5.12 : İstanbul sıcaklıklarına göre EWT_H ve EWT_C değerleri	36
Tablo 5.13 : VRF sistemi dış ünitesinin dış hava sıcaklığına göre soğutma kapasitesi ve EER değerleri	38

Tablo 5.14 : İç ünite sayısı ve harcadıkları enerji miktarları38

Tablo 5.15 : Kolektörlere bağlanan boru sayıları ve kolektör adetleri45



ÖNSÖZ

Gelecekte önem kazanacağını düşündüğüm bir mekanik tesisat sisteminin incelendiği bu tez çalışmasında tüm içtenliği ve anlayışıyla emeğini ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam ve tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Deniz Yılmaz’a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında teknik bilgisi, tecrübesi ve desteğiyle bana yardımcı dokunan babam Makine Yüksek Mühendisi Sabit Cevat Tanrıöver’e, bu süreçte yardımlarını esirgemeyen Makine Mühendisi Cenk Kenanoğlu, Makine Mühendisi Yetkin Tanrıöver, Makine Mühendisi Abdülkadir Teker’e, Makine Yüksek Mühendisi Hasan Yavuz ve Makine Yüksek Mühendisi Doğaç Tanrıöver’e, tüm tez sürecimde bana yardımcı olan arkadaşlarıma ve desteğini her an yanımda hissettiğim ailemin diğer üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

07.01.2021

BERKER TANRIÖVER

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze enerjinin insanoğlu için önemi bilinen bir gerçektir. İnsanlar, hayatlarını sürdürebilmek veya daha refah bir hayata sahip olabilmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Günümüzde en çok kullanılan enerji kaynağı olan fosil yakıtlar tükenebilir bir enerji kaynağı ve sebep olduğu sera gazı salınımından dolayı, enerjiyi verimli kullanmak için araştırmalar yapılmakta ve alternatif enerji kaynaklarına yönelim gün geçtikçe artmaktadır. Buna örnek olarak Avrupa Birliği'nin 2030 İklim ve Enerji Paketi kapsamında aldığı sera gazı emisyonunu %40 azaltıp, alternatif enerji kaynaklarının kullanım oranlarının %27'ye yükseltmeyi hedeflemesi gösterilebilir [1].

Türkiye iklim ve coğrafya açısından yenilenebilir enerji kullanımı açısından çok zengin bir ülkedir [2]. Bunun için de çeşitli standartlar, yönetmelikler ve kanunlar çıkararak enerji tasarrufunu artırmaya çalışılmaktadır. 2007 senesinde yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu ile binalarda enerjinin verimli olarak kullanılması yönünde destekler verilerek, toplumun bilinçlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış sağlamak hedeflenmiştir.

Enerji kullanımları incelendiği zaman binalarda enerji tüketiminin oldukça yüksek bir paya sahip olduğu görülmektedir. 2014 yılında Türkiye'de nihai enerji tüketimi incelendiği zaman konut ve hizmet sektörlerinin %34 gibi yüksek bir orana sahip olduğu görülmektedir [3].

Bu konuda tasarrufun sağlanabilmesi için çeşitli önlemler uygulanmaktadır. Buna örnek olarak gösterilebilecek olan Isı Yalıtımı Yönetmeliği [4] ile binalarda kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinde belirli bir standarda ulaşılmıştır. Ayrıca binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçları için su, hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanında ısı pompaları, güneş enerjili sistem gibi yenilenebilir enerji kullanan sistemlerle beraber de kullanılmaktadırlar.

Enerji tasarrufu bakımından kullanılan enerji kaynağı kadar ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji sistemi de önem taşımaktadır. Dünyada oldukça çok görülen klima sistemleri ilk yatırım maliyeti olarak cazip görünüyorsa da enerji tüketimi sıralamasında alt basamaklarda bulunmaktadır. Ancak enerji tüketimi bakımından göze çarpan yerden ısıtma ve serinletme sistemi özellikle ısıl konfor açısından avantajlı olmasına rağmen gerek ilk yatırım maliyetinin yüksek olması gerekse klima sistemine göre yeni olmasından dolayı çok yaygın kullanılmamaktadır.

Yerden serinletme sistemi çalışma prensibi olarak düşük sıcaklıkta kolektörlere gönderilen soğuk suyun mahal ısını alması esasına dayanmaktadır. Bu sistem ile hem ısıtma hem de taşınım yoluyla ısı aktarılmaktadır. Isı transferi doğal konveksiyon ile sağlandığı için ortamdaki hava hızı oldukça düşük olmaktadır. Bu da konfor açısından avantaj sağlamaktadır.

1.1. Amaç

Yenilenemez enerji kaynaklarının azalıyor olmasından dolayı yenilebilir ve kolay erişilebilir kaynaklar aranmaktadır. Son zamanlarda toprak kaynaklı ısı pompası ile çalışan sistemler popüler araştırma konularındandır. Bu çalışmada toprak kaynaklı ısı pompası kullanılan yerden ısıtma/serinletme sisteminin, ilk yatırım maliyeti ve enerji tüketimi açısından VRF sistemi ile karşılaştırılması yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Luthfi ve arkadaşları toprak kaynaklı ısı pompası ile hava kaynaklı ısı pompasını termodinamik açıdan incelemiştir ve toprak kaynaklı ısı pompasının daha verimli olduğunu görmüşlerdir [5]. Linhua ve arkadaşları toprak kaynaklı ısı pompası ile yerden serinletme sistemini incelemiştir ve bu sistemin diğer sisteme göre daha az enerji sarfiyatına sahip olduğunu göstermişlerdir [6]. Abdeen Mustafa toprak kaynaklı ısı pompasını incelemiştir ve toprak kaynaklı ısı pompasının çevresel ve toprağın sabit sıcaklıkta olması jeolojik malzemelerin yüksek ısı kapasitelerinden dolayı enerji verimi açısından yararlı olduğunu göstermiştir [7]. Xiang ve arkadaşları yerden serinletme sonucu oluşan asimetrik soğumanın konfor üzerindeki etkisini deneysel olarak anket aracılığıyla incelemiştir [8]. Ferenc üflenlen havaya göre oluşan konfor durumlarını ve asimetrik soğuma hallerini deneysel olarak incelemiştir [9]. Angelo ve arkadaşları yerden serinletme sistemiyle beraber nem alma cihazının çalıştığı veya çalışmadığı durumlarla beraber fan coil sisteminin karşılaştırmalarını yapmışlardır [10]. Joaquim ve arkadaşları toprak kaynaklı ısı değiştiricisi ile çalışan duvardan soğutma sisteminin hava kaynaklı ısı pompasıyla karşılaştırılması yapmışlardır. Toprak kaynaklı ısı değiştiricisinin daha yüksek enerji verimine sahip olduğunu görmüşlerdir [11]. Song ve arkadaşları yerden serinletme sisteminin insanların termal konforu ve termal dengesine göre dizaynının nasıl yapılması gerektiğine dair bir araştırma yapmışlardır. Sonuç olarak da kullandıkları formüllerin soğutulacak alanları belirleme konusunda iş görür olduğunu bulmuşlardır [12]. Koichi ve arkadaşları yerden serinletme sisteminin insan üzerindeki konfor etkisini nem ve hava hızı açısından deneysel olarak incelemiştir ve sonuç olarak sistemin konfor açısından iyi çalıştığını denekler tarafından öğrenmişlerdir [13]. Haida ve arkadaşları yerden serinletme kullanılan yüzeylerde oluşan yoğuşmayı deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak ise yoğuşmanın en çok olduğu bölgenin tavanda, tavandan sonraki en riskli bölgenin ise duvar olduğunu görmüşlerdir [14]. Chao ve arkadaşları fan-coil sistemi ile yerden serinletme sistemini farklı mahall yüksekliklerinde oluşturdukları termal konforları deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Yaptıkları bu deneyde alçak mahallerde fan-coil sisteminin daha avantajlı olduğunu, yüksek mahallerde ise yerden serinletme sisteminin daha avantajlı olduğu görülmüştür[15]. L. Z. Zhang ve J. L. Niu ısı geri kazanımsız havalandırma sistemini, ısı geri kazanımlı havalandırma sistemini, klima santrali kaynaklı tavandan serinletme

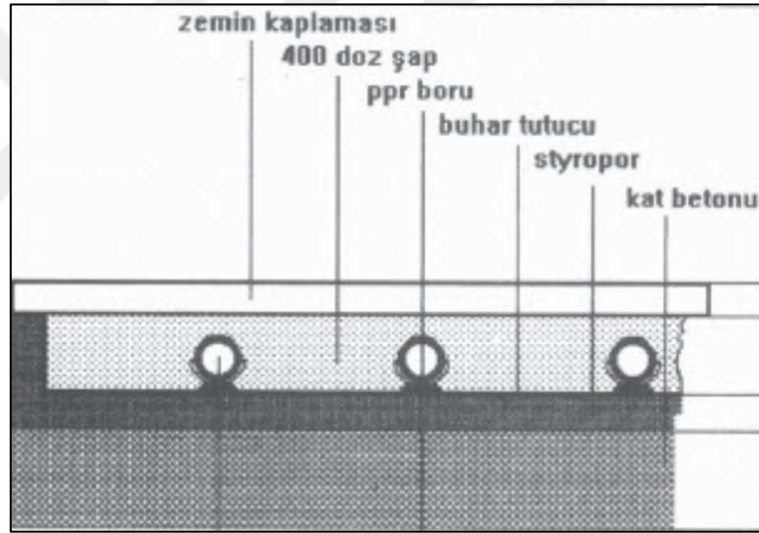
sistemini ve kurutucu soğutucu kaynaklı tavandan serinletme sistemini enerji harcama ve nemli havadaki performansları bakımından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak soğutulmuş tavana sahip sistemin diğer sistemlere nazaran çok daha az enerji harcadığını ama nem durumunu kontrol edemediği için tavan panellerin çalışmasından bir saat önce nem alma sisteminin çalışması gerektiğini görmüşlerdir [16]. Corina hava soğutmalı sistem ile yerden serinletme sistemini enerji verimliliği bakımından Amerika’da bulunan farklı binalarda incelemiştir. Yaptığı deneyler sonucunda yerden serinletme sisteminin oluşturduğu nem probleminin çözülmesi halinde enerji tüketimi bakımından hava soğutmalı sistemden çok daha iyi olduğundan dolayı son derece kullanılabilir bir sistem olduğu kararına varmıştır [17]. Milorad ve arkadaşları kazanla, toprak kaynaklı ısı pompası ve güneş paneli + toprak kaynaklı ısı pompası ile çalışan sistemlerin yerden ısıtma, tavandan ve yerden ısıtma, duvardan ısıtma ve sadece tavandan ısıtma olacak şekilde 4 farklı ısıtma şekli incelenmiştir. Sonuç olarak toprak kaynaklı ısı pompası ve güneş panelli sistemin yerden ve tavandan ısıtma ile çalıştığı durumun en az enerji harcanan sistem olduğu görülmüştür [18]. Mitja ve arkadaşları kamu binalarında yapılabilecek yerden ısıtma ve soğutma sistemini incelemiştir. Kamu binası örneği olarak bir müzeyi kullanan Mitja yaptıkları araştırma sonucu hava akımı bakımından oluşacak rahatsızlığın ortadan kalktığını ve enerji tasarrufu bakımından yerden ısıtma ve serinletme sisteminin oldukça iyi bir yöntem olduğunu göstermiştir [19].

3. SİSTEMLERİN TANITIMI

3.1 Yerden Isıtma / Serinletme Sistemi

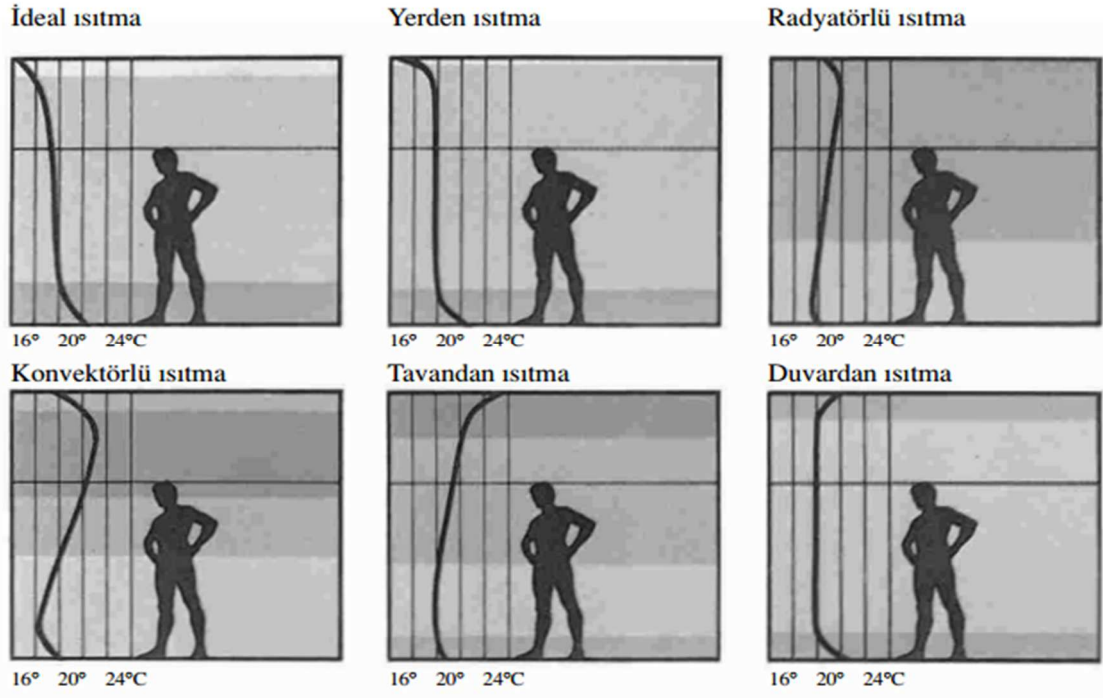
Yapı elemanı içerisine, belirli ölçülerde yerleştirilmiş borulardan geçirilen sıcak veya soğuk akışkan ile oda havası arasında doğal konveksiyon yoluyla ısı transferinin sağlanması esasına dayanmaktadır.

Isıtma veya soğutma şartlarına bağlı olarak kolektörlere gönderilen sıcak veya soğuk su zemine döşenmiş borulardan geçmekte ve ısını boru etrafını tamamen saran şap tabakasına iletmektedir (Şekil 3.1). Şap tabakasını geçerek yüzey kaplamasına ısı aktarıldıktan sonra zeminden ortama hem ışıma hem de taşınım yoluyla ısı aktarılmaktadır. Isının büyük oranla ışıma yoluyla iletimi sebebiyle ortamdaki hava hızı oldukça düşük olmaktadır [20].



Şekil 3.1 : Yerden ısıtma/serinletme sisteminin döşeme kesiti.

Yerden soğutma da yerden ısıtma sistemi ile aynı prensipte çalışır. İnsan ile geniş alanlı soğuk yüzeyler arasında enerji alışverişi daha ziyade ışıma yoluyla gerçekleşir. Bu durumda hava cereyanı gereksizdir vücut ısısı zemine ulaşmaktadır. Suyun çalışma sıcaklığı genellikle +15 ile +19 °C arasında değişmektedir. Bu sayede zemin sıcaklığı 19-20 °C değerlerinde tutulmaktadır. Şekil 3.2’de ideal ısıtma, yerden ısıtma ve radyatörlü ısıtma sistemlerinin oda içerisindeki sıcaklık dağılımları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Isıtma sistemlerinin karşılaştırılması[20].

3.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Toprak kaynaklı ısı pompaları, toprağın belli bir derinlikten sonra toprak sıcaklığının sabit olması durumundan faydalanılan, toprağın ısıtma veya soğutma durumuna göre kondenser veya evaporatör olarak kullanıldığı ısı pompası türüdür. Toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma verimini etkileyen birkaç faktör vardır. Bunlardan biri kullanılan toprağın cinsidir. Arazinin toprak cinsine göre yapılabilecek olan ısı transferi miktarı değişeceğinden ötürü sistemin geri ödeme süresi değişiklik göstermektedir.

Toprakla ısı transferi gerçekleştirme görevini yapacak olan boruların yerleştirilme şekline göre iki çeşit toprak kaynaklı ısı pompası bulunmaktadır. Bunlardan biri yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası, bir diğeri ise dikey sondaj tipi toprak kaynaklı ısı pompasıdır.

Serme tipi toprak kaynaklı ısı pompasında borular toprağın 2-3 metre altına yerleştirilmektedir. Boruların dizilimine bağlı olarak çoklu borulu, tekli borulu ve serpantinli olmak üzere üç farklı şekilde serme tipi uygulaması yapılabilmektedir. Yerleştirilen borular arasında yaklaşık 1 metre aralık bırakılmalıdır. Bunun sebebi toprağın ısı yönünden şişmesini önlemektir. Bu çalışmada kullanılan toprak kaynaklı

ısı pompası sistemi de serme tiptir. Serme tipi toprak kaynaklı ısı pompasının uygulanaşına ait bir gösterim Şekil 3.3'te bulunmaktadır.

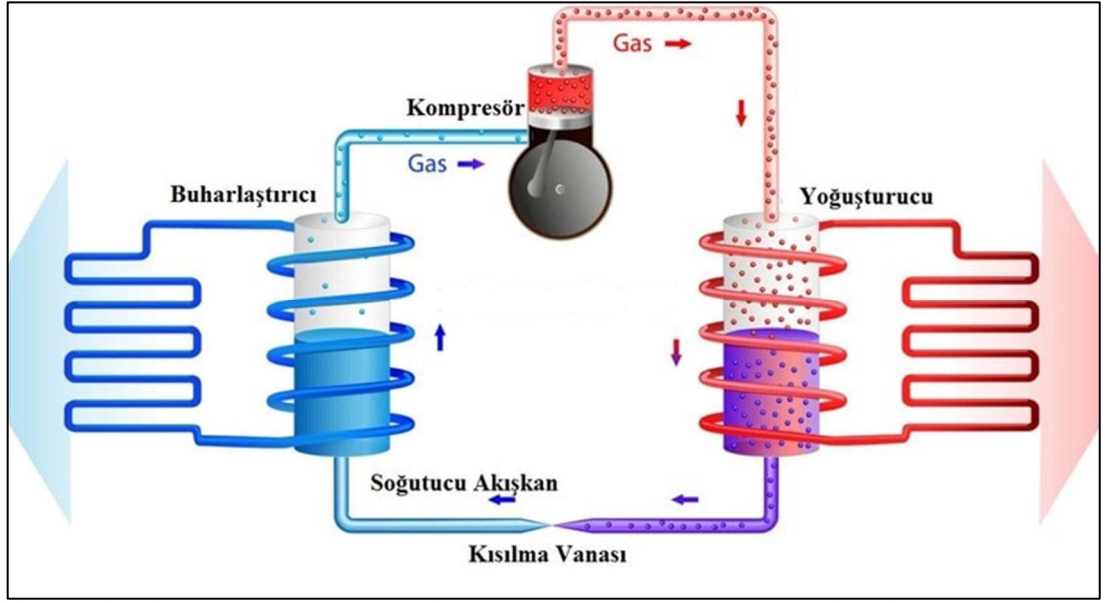


Şekil 3.3 : Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompasının uygulanaşı.

3.3 VRF Sistemi

VRF sistemleri, değışken debili soğutucu akışkan teknolojisine sahip olup bir soğutma ünitesi ile iç üniteler (evaporatör), ve dış ünitelerden (kondenser) oluşmaktadır. VRF teknolojisi, her bir evaporatörden geçen gaz debisinin kontrol edilebilmesi ve bunun sonucu olarak değışken kapasite ve konfigürasyonlar, bireysel zon kontrolü, farklı zonlarda aynı anda ısıtma ve soğutma yapabilme imkânı ve ısı geri kazanımı gibi imkanlar sağlar. VRF sistemleri su soğutmalı ve hava soğutmalı olarak iki tiptir ve uygulama açısından 2 borulu ve 3 borulu olmak üzere 2 gruba ayrılır.

2 borulu sistem chiller veya ısı pompası gibi tüm mahallere ya sadece ısıtma veya soğutma uygular. Ancak 3 borulu sistem hitap ettiğı bir mahale ısıtma uygularken diğerk bir mahale soğutma uygulayabilir. VRF sistemi taze hava ihtiyacını karşılamadığı için ilave bir havalandırma sistemine ihtiyaç duyulur. VRF sisteminin çalışma prensibi Şekil 3.4'de görölmektedir. Sistemde soğutma çevirimini sağlayan temel elemanlar olan, evaporatör, kondenser, genişleme valfi ve kompresör bulunmaktadır. VRF sistemini standart bir klima sisteminden ayıran özelliğı ise akışkan debisinin kontrol edilebiliyor olması ve bu özelliğı sayesinde enerji tasarrufu sağlayabiliyor olmasıdır.

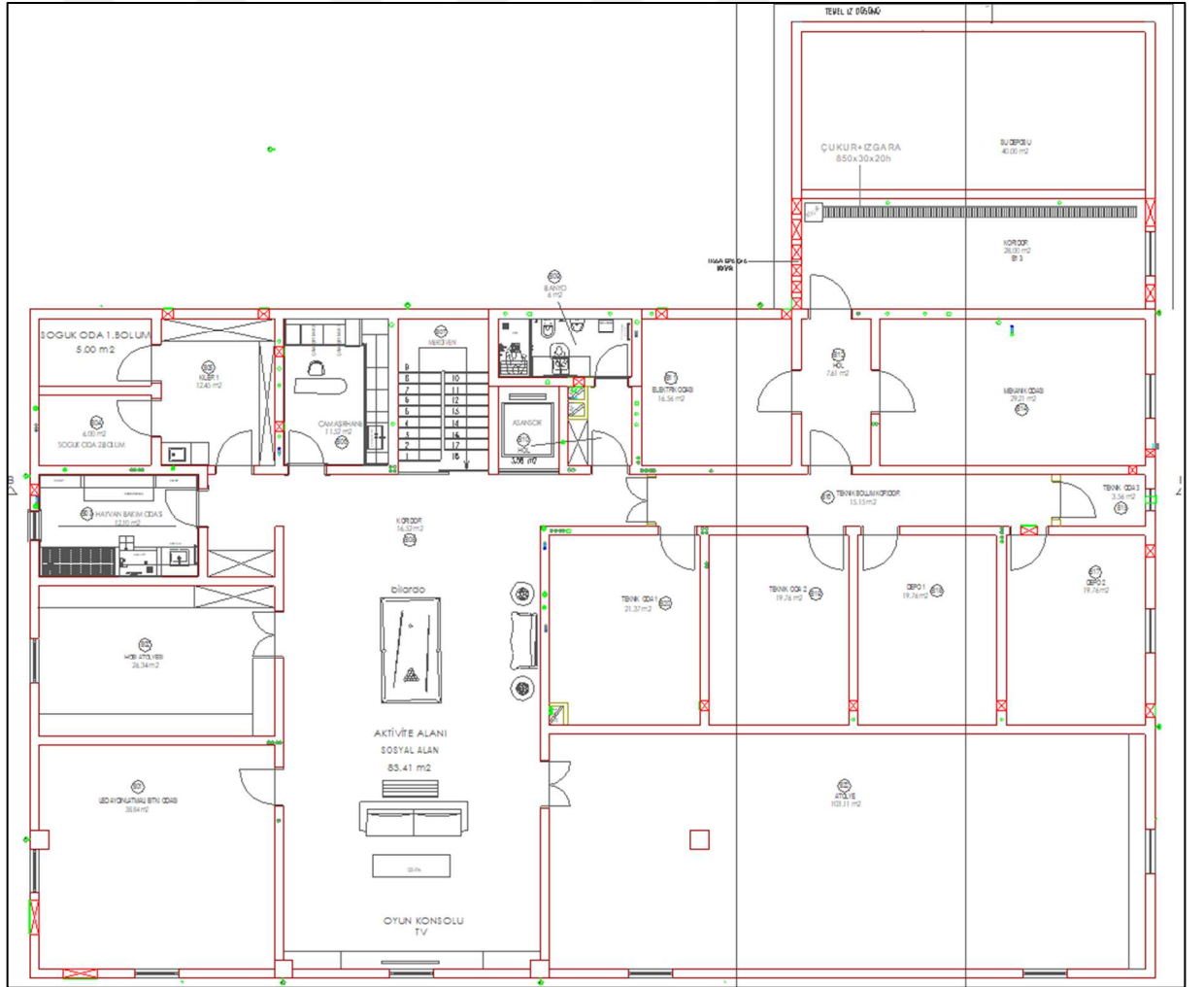


Şekil 3.4 : VRF sistem şeması

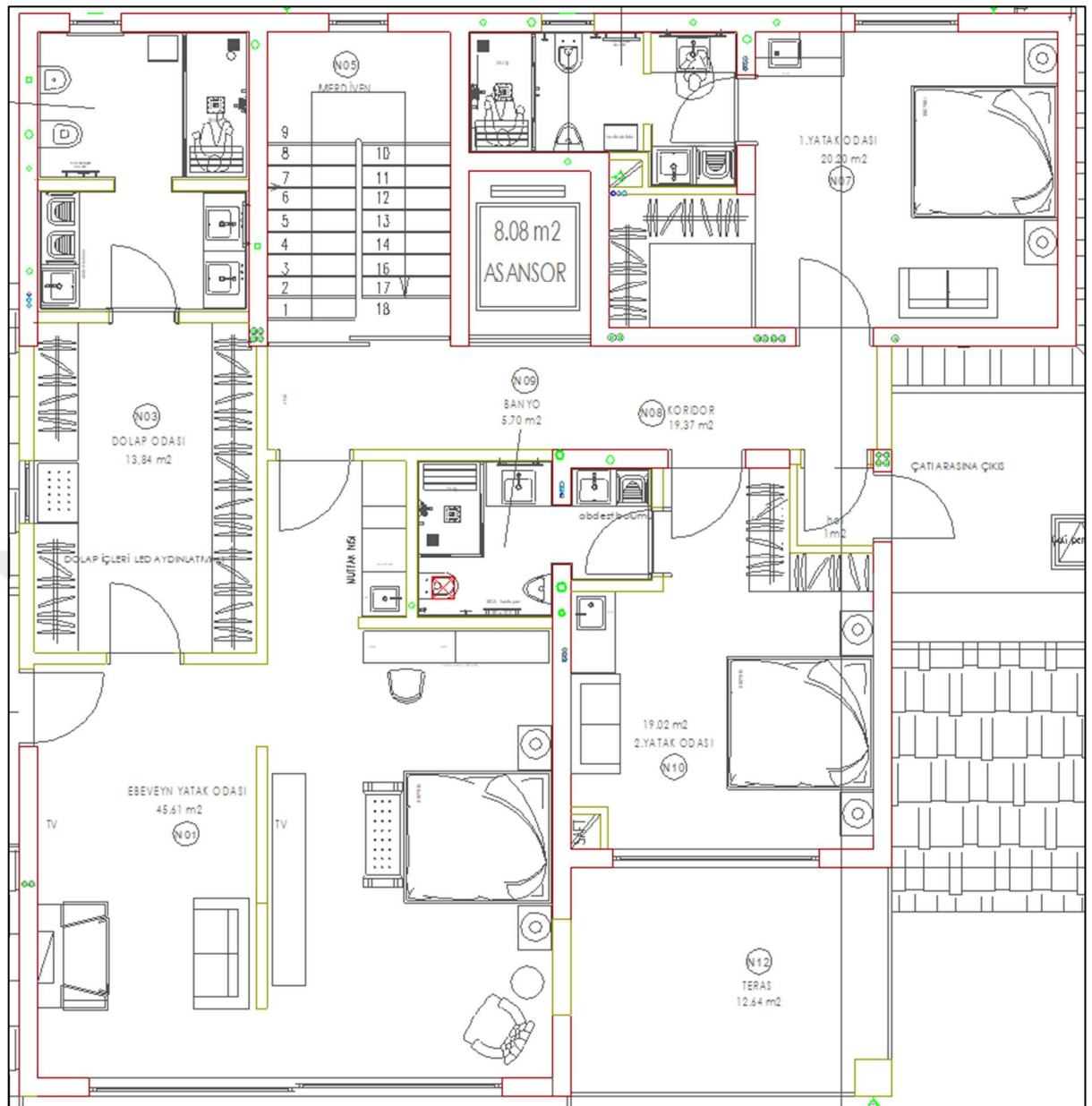
4. PROJELENDİRME VE TASARIM PARAMETRELERİ

4.1 Mimari Tasarım

Çalışılan bina İstanbul ilinin Büyükçekmece ilçesinde bulunmaktadır. Bina, 1. kat, zemin kat ve bodrum kat olmak üzere 3 kata sahiptir. Katların her biri 3'er metre yüksekliğe sahiptir. 1. katta biri ebeveyn yatak odası olmak üzere üç adet yatak odası, üç adet banyo ve bir adet giysi odası bulunmaktadır. Zemin katta birer salon, mutfak, oturma odası, kış bahçesi iki adet misafir odası, üç adet hobi odası, iki adet banyo ve bir adet WC bulunmaktadır. Bodrum katta bitki odası, hobi atölyesi, hayvan bakım odası, çamaşırhane, kiler, atölye, sosyal alan, banyo ve üç adet oda bulunmaktadır. Bina zemin katı 496 m², bodrum kat 636 m² ve 1. katı 214 m²'dir. Binaya ait olan mimari projeler Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Binanın bodrum kat mimari çizimi.



Şekil 4.3 : Binanın 1. kat mimari çizimi.

4.2 Binanın İç ve Dış Hava Şartları

İstanbul'un kışın dış hava şartı $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ yazın dış hava şartları $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuru termometre $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ yaş termometre olarak kabul edilmiştir [21]. Binanın hesaplamaları yapılırken mahaller, kışın $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılacak yazın ise mahallerin VRF sisteminde $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde ise $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulacak şekilde tasarlanmıştır (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2).

Tablo 4.1 : VRF sistemi için bina iç hesap şartları.

Mahal	Yaz	Kış
	Sıcaklık Şartı	Sıcaklık Şartı
Yatak odaları	24 °C	20 °C
Salon	24 °C	20 °C
Banyo	30 °C	20 °C
Mutfak	24 °C	20 °C
Kütüphane	24 °C	20 °C
Koridor, Antre	24 °C	20 °C
Atölye	24 °C	20 °C
Sosyal alan	24 °C	20 °C
Çalışma odası	24 °C	20 °C

Tablo 4.2 : TKIP sistemi için bina iç hesap şartları.

Bölge	Yaz	Kış
	Sıcaklık Şartı	Sıcaklık Şartı
Yatak odaları	28 °C	20 °C
Salon	28 °C	20 °C
Banyo	30 °C	20 °C
Mutfak	28 °C	20 °C
Kütüphane	28 °C	20 °C
Koridor, Antre	28 °C	20 °C
Atölye	28 °C	20 °C
Sosyal alan	28 °C	20 °C
Çalışma odası	28 °C	20 °C

4.3 Bina Yapı Elemanlarının Özelliklerinin Belirlenmesi

Projesi yapılan binada kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri ve bu izolasyon malzemelerinin ısı iletim katsayıları Tablo 4.3’de gösterilmektedir.

Tablo 4.3 : Bina duvarlarında kullanılan izolasyon malzemesinin türleri ve kalınlıkları.

Yapı Elemanı	Kullanılan İzolasyon	İzolasyon Kalınlığı	Isı İletkenlik Katsayıları (W/mK)
Toprak Temaslı Dış D.	XPS	10 cm	0.030
Çatı Arasına Bakan Tavan	Taş yünü	10 cm	0.040
Teras Tavan	XPS	5 cm	0.030
Toprak Temaslı Döşeme	XPS	10 cm	0.030
Geriye Kalan Dış Duvarlar	Taş yünü	10 cm	0.040

Yapı elemanları ve ısı iletim katsayıları da Tablo 4.4’te gösterilmektedir.

Tablo 4.4 : Binanın yapı elemanları ve ısı iletim katsayıları.

Yapı Elemanın İsmi	Isı İletkenlik Katsayısı (W/m ² K)
25 cm Tuğla Dış Duvar	0.329
25 cm Betonarme Dış Duvar	0.359
50 cm Betonarme Dış Duvar	0.347
25 cm Betonarme Toprak Temaslı Duvar	0.280
15 cm Tuğla İç Duvar	2.006
20 cm Tuğla İç Duvar	1.726
25 cm Tuğla İç Duvar	1.532
30 cm Tuğla İç Duvar	1.435
25 cm Betonarme İç Duvar	2.500
Katlar Arası Döşeme	2.194
Toprak Temaslı Döşeme	0.259
Tavan (Çatı Arası)	0.360
Teras Tavan	0.512
Katlar Arası Tavan	2.662

5. HESAPLAMALAR

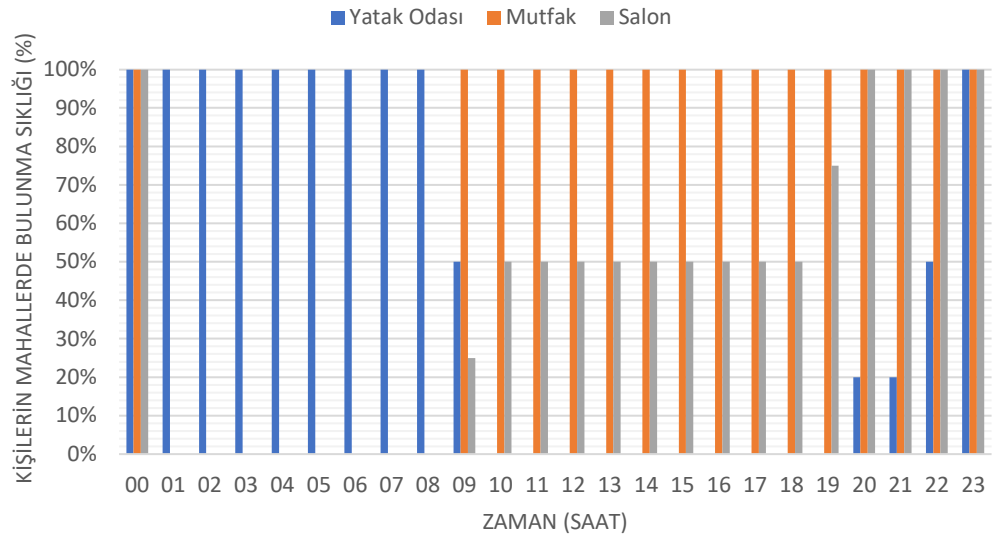
Binanın yazın kazandığı, kışın kaybettiği ısı miktarını hesaplamak için Carrier-Hourly Analysis Program (HAP) isimli programı kullanılmıştır.

5.1 Isı Kazancı ve Isı Kaybı Hesabı için Kabuller

Binanın ısı kazancı hesabı yapılırken bina yapı elemanları kadar binadaki mahallerin ne kadar süre ile kullanıldığı, elektronik eşyaların ne kadar süre çalıştırıldığı ve ısıtma/soğutma sisteminin hangi saat aralıklarında çalışıyor olduğu da sistem hesaplamalarında dikkate alınmıştır.

5.1.1 Mahallerde Bulunacak Kişi Sayıları

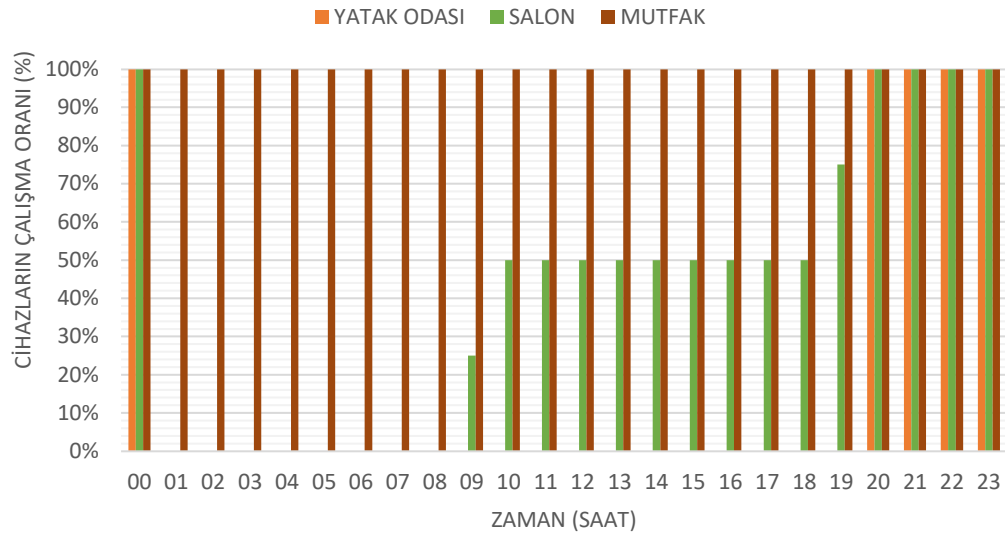
Kişilerin saat dilimlerine göre mahallerde bulunma oranları mahal bazlı olarak Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Şekilde mahaller üç grupta gösterilmiştir. Buna göre; birinci grup mahal “Mutfak”, ikinci grup mahal de yatak odaları ve misafir yatak odaları “Yatak Odası” başlığı altında, üçüncü grup mahal de ise; hobi atölyesi, sosyal alan, salon, kütüphane, çalışma odası, hobi odası ve oturma odası “Salon” başlığı altında toplanmıştır. Geriye kalan mahaller ise kişiler tarafından çok az süre kullanacağından dolayı ihmal edilmiştir.



Şekil 5.1 : Saat dilimlerine göre insanların bulunma oranları.

5.1.2 Mahallerde Bulunacak Elektrikli Cihazların Isı Kazancı Miktarları ve Çalışma Süreleri

Mahallerde oluşacak ısı kazançlarının sebepleri arasında mahal içinde bulunan elektrikli cihazlar ve aydınlatmayı sağlayan lambalar da bulunmaktadır. Bu kazançlar mahallere göre ve aydınlatma adetlerine göre değişmektedir. Elde edileceği öngörülen ısı kazançlarının mahallere göre gösterimi Tablo 5.1’de bu cihazların çalışma süreleri ise Şekil 5.2’de gösterilmektedir [21]. Aydınlatma süreleri ise Şekil 5.3’te gösterilmektedir. Buna göre elektrikli cihazların çalışma saatleri dört ana gruba ayrılmıştır. Yatak odaları ve misafir odaları yatak odası adı altında toplanmıştır. Mutfak tek başına özel bir mahal olduğu için o mahale özel bir ayırım yapılmıştır. Geri kalan mahaller salon ismi altında toplanmıştır.

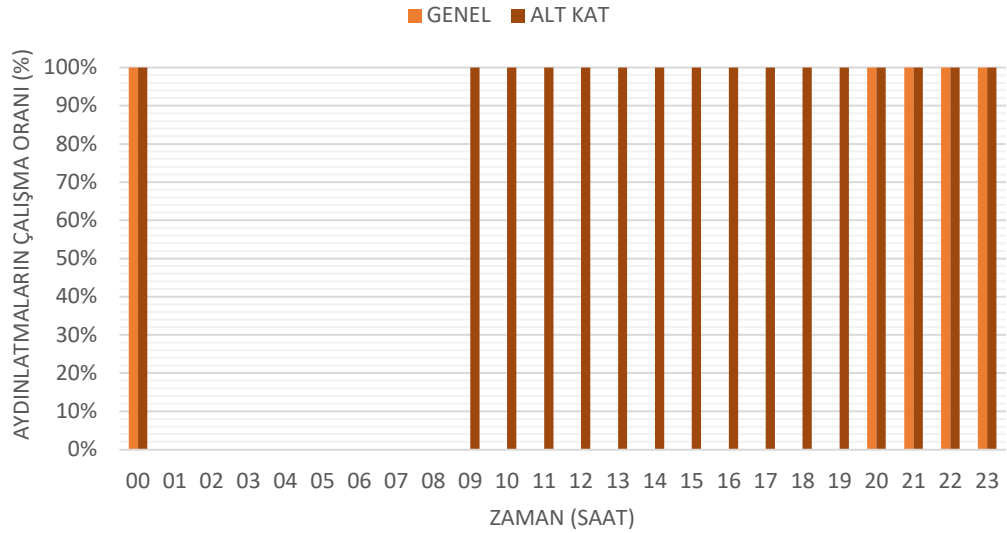


Şekil 5.2 : Mahallerde bulunan cihazların saat dilimlerine göre çalışma oranları.

Tablo 5.1 : Mahallerdeki elektrikli cihazlardan ve aydınlatmalardan kaynaklı ısı kazancı miktarları.

Mahal Adı	Elektrikli Cihaz (W)	Aydınlatma (W/m ²)
Ebeveyn Yatak Odası	250	2
Dolap Odası	0	2
Yatak Odaları	250	2
Bitki Odası	2000	2
Hobi Atölyesi	2000	2
Çamaşırhane	250	2
Elektrik Odası	1000	2
Sosyal Alan	500	2
Atölye	2000	2
Salon	300	2
Mutfak	250	2
Kütüphane	250	2
Çalışma Odası	250	2
Hobi Odası	300	2
Oturma Odası	300	2
Kış Bahçesi	0	2

Aydınlatma süreleri ise genel (zemin ve 1.kat) ve bodrum kat olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Bodrum katta bulunan mahaller toprak seviyesinin altında bulunduğu için o mahallerin aydınlatma saatleri diğer mahallerden ayrılmıştır.

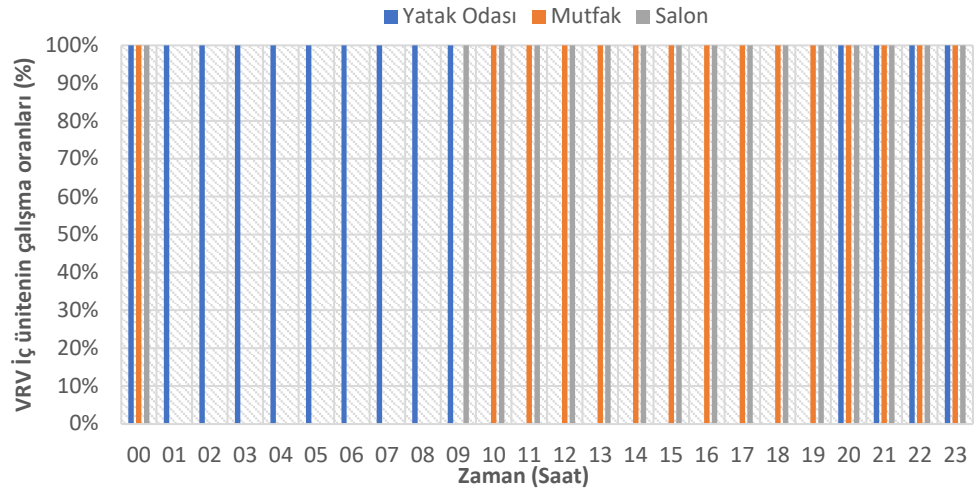


Şekil 5.3: Mahallerde bulunan aydınlatmaların saat dilimlerine göre çalışma oranları.

5.1.3 Sistemlerin Çalışma Süreleri

Yerden ısıtma/serinletme sisteminin soğutacağı mahalleri 28 °C'ye kadar soğutacak olması ve ısıtacağı mahalleri 20 °C'ye kadar ısıtacak olması, ayrıca eğer sistem durdurulursa tekrar istenilen mahal iç sıcaklığına gelme süresi uzun olmasından ötürü yerden ısıtma/serinletme sisteminin tüm gün boyu çalışması gerektiği düşünülmüştür.

VRF sisteminde ise durum farklıdır. VRF sisteminin binanın ısı ataletini yenme süresi yerden ısıtma/serinletme sistemine göre daha kısa olacağından ve konfor açısından bir sıkıntı çıkarmayacak olmasından dolayı iç ünitelerin mahallere göre çalışma saatleri birbirinden ayrılmıştır. Bu çalışma oranları ise Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Zamana göre VRF iç ünitelerinin çalışma oranları.

5.2. Isı Kazancı Hesabı

Isı kazancı hesaplamasında etkisi olan birçok faktör bulunmaktadır. Bundan dolayı hassas tayinler oldukça zordur. Isı kazancı hesabı için dikkate alınan değerler, duvar ve çatılardan, camlardan, iç duvarlardan, insanlardan, güneş ve elektrikli cihazlardan gelen ısı miktarlarıdır. Mahallerin ısı kazancı hesapları yapılırken Bölüm 4.2'deki iç ortam ve dış ortam sıcaklık kabul şartları ve 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4 de belirtilen değerler kullanılmıştır.

5.2.1 Güneş Radyasyonu

Isı kazancı miktarı içindeki en büyük pay güneşten radyasyonu kaynaklı ısı kazancıdır. Güneşten gelen radyasyonu absorbe eden ozon, asılı su buharı, toz, duman ve karbondioksit kirlilik faktörü olarak tanımlanmıştır. Normal olarak büyük şehirlerde atmosferin kirlilik derecesi $T = 4.5$, açık arazilerde $T = 3.5$, yüksek dağlarda ise $T = 2.5$ civarındadır. Endüstri alanlarında kirlilik faktörü 6-8 düzeyine kadar yükselir.

Atmosfere giren güneş radyasyonunun bir kısmı atmosfer içinde dağılır ve enerjisinin bir kısmı kaybolur. Bir kısmı dünyaya ulaşarak sert yüzeyler üzerinde yansır ve atmosfer tarafından tutulur. Tutulan bu kısım uzay güneş radyasyonu olarak adlandırılır. Direkt güneş radyasyonu bulut veya bir yapı tarafından engellendiği zaman bir gölge oluşur ve direkt radyasyon etkisi ortadan kalkar. Ancak uzay radyasyonu gölge durumundan etkilenmez daima mevcuttur. Uzay radyasyonunun şiddeti yüzeyin yönüne ve vakte bağlı olarak değişir. Toplam radyasyon (5.1) ve direkt güneş radyasyonu aşağıdaki eşitliklerde gösterilmektedir.

$$I_t = I_D + I_d \quad (5.1)$$

$$I_D = K \times I_{Dn} \quad (5.2)$$

Burada I_{Dn} güneş ışınlarına dik yüzeydeki direk güneş radyasyonunu (W/m^2), I_d uzay radyasyonunu (W/m^2), I_t toplam radyasyonu (W/m^2), K güneş izdüşümü açısının kosinüsünü I_D direk güneş radyasyonunu (W/m^2) göstermektedir. Bu değerler ilgili literatürler kullanılarak tablolardan alınarak hesaplamalarda dikkate alınmıştır [22].

5.2.2 Duvar ve Çatılardan Gelen Periyodik Isı Kazancı

Bir binanın dış hava ile temasta bulunan duvarından içeri doğru geçen ısı miktarını hesaplamak için duvara vuran direk güneş radyasyonu, duvar yüzünün yutma ve yansıtma katsayıları, uzay radyasyonu şiddeti, duvarın uzaya ve etrafına aktardığı radyasyon miktarı, çevre hava sıcaklığı, binanın dış yüzünün sıcaklığı ve hava ile bina yüzeyi arasındaki yüzeysel ısı iletim katsayısını bilmek gerekir.

Güneş hava sıcaklığı kavramı kullanılarak yukarıda bahsedilmiş olan değerlerin tek işlem haline getirilebilir. Belirli bir zaman diliminde duvar yüzeyine vuran radyasyon ve dış havadan iletilen ısı miktarı 1 m² başına olacak şekilde Tablo 5.2’de gösterilmektedir [22].

Tablo 5.2: Yaz tasarım değerleri için Güneş-hava sıcaklıkları (°C).

Ortalama güneş zamanı	Güneş-hava sıcaklıkları (t _s)								
	Herhangi yüzey	Yatay	Kuzey	Doğu		Güney		Batı	
Oran : $\frac{a}{\alpha_a}$	0	0.045	0	0.045	0.025	0.045	0.025	0.045	0.025
24	25	25	25	25	25	25	25	25	36
1	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4
2	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4
3	29.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
4	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
5	23.3	23.3	23.3	23.9	26.7	23.3	23.3	23.3	23.3
6	23.3	24.4	23.3	43.0	33.9	23.3	23.3	23.3	23.3
7	23.9	32.8	23.9	50.6	37.8	23.9	23.9	23.9	23.9
8	25.0	41.1	25.0	52.2	39.4	27.8	25.6	25.0	25.0
9	26.7	48.3	26.7	51.7	40.0	33.9	30.0	26.7	26.7
10	28.3	53.9	28.3	57.2	38.0	38.9	33.9	28.3	28.3
11	30.6	58.3	30.6	52.2	35.6	43.0	37.2	31.7	30.6
12	32.2	61.1	32.2	33.3	33.3	45.6	40.0	35.6	33.3
13	33.9	62.2	33.9	33.9	33.9	46.1	40.6	43.0	38.9
14	34.4	60.0	34.4	35.0	34.4	43.9	40.0	51.1	43.9
15	35.0	55.6	35.0	35.0	35.0	40.0	38.0	57.2	48.3
16	34.4	49.0	34.4	34.4	34.4	37.2	35.6	60.6	49.0
17	33.9	41.7	33.9	33.9	33.9	35.0	34.4	59.4	47.8
18	32.8	35.6	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	51.7	43.9
19	30.6	32.2	30.6	30.6	30.6	31.1	30.6	39.4	34.4

20	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4
21	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3
22	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
23	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
24 saatlik ortalama (t_m) sıcaklık	28.4	38.1	28.4	33.9	31.3	31.7	29.0	33.9	31.3

Tabloda bulunan a değerleri yüzeyin absorpsiyon katsayısını (çatı için 0.9, koyu renkli duvar için 0.9, açık renkli duvar için 0.5), α_a değerleri ise dış yüzeyin ısı iletim katsayısını ($20 \text{ W/m}^2\text{K}$) göstermektedir. Hesaplamalarda tablodaki veriler kullanılmıştır.

5.2.3 Camdan Gelen Isı Kazancı

Camdan gelen ısı kazancı duvardan gelen ısı kazancından farklıdır. Çünkü camdan gelen radyasyonun büyük bir kısmını içeren görünür ışığı geçirme özelliğinden dolayı ısının içeri girmesi anında meydana gelir. Cam yüzeyine gelen radyasyonun büyük kısmı camdan geçerken, az bir kısmı camdan geri yansır, diğer az kısmı ise cam tarafından absorbe edilir. Cam içinden geçen ısı akımının tam hesabının yapılabilmesi için 5.3 eşitliği kullanılmaktadır.

$$(Q/A) = [\tau_D I_D + \tau_d I_d] + [a_D I_D + a_d I_d + e_{cd} R_m - e_{cd} R_{cd} - \alpha_a (t_{cd} - t_a) - S] \quad (5.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte (Q/A) birim yüzeyden geçen ısı akımının o andaki miktarını (W/m^2), τ_D ve τ_d direk ve uzay güneş radyasyonu için camın geçirme katsayılarını, I_D ve I_d birim cam yüzeyine gelen direk ve uzay güneş radyasyonlarını (W/m^2), a_D ve a_d direk ve uzay güneş radyasyonları için absorpsiyon katsayılarını, e_{cd} cam dış yüzeyinin t_{cd} sıcaklığındaki yayma katsayısını, R_m dış ortamdaki cisimlerden cam üzerine gelen alçak sıcaklık radyasyon enerjisini (W/m^2), R_{cd} t_{cd} cam dış sıcaklığında olan ve yayma katsayısı 1'e eşit olan bir yüzey tarafından yayılan alçak sıcaklık radyasyon enerjisini (W/m^2), α_a konveksiyon için dış yüzey ısı iletim katsayısını ($\text{W/m}^2\text{K}$), t_{cd} cam dış yüzeyinin sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), t_a dış hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$), S ise cam tarafından absorbe edilen enerji miktarını (W/m^2) göstermektedir.

Normal pencere camının, direk ve yaygın güneş radyasyonları için geçirgenlik ve yutma katsayıları Tablo 5.3'te gösterilmiştir [22]. Hesaplamalarda gün içerisinde güneş radyasyonunun geliş açısı değiştiğinden farklı saatlerde farklı açılar mahaller için ayrı ayrı hesaplanarak ısı kazancı değerlerinin tespitinde kullanılmıştır.

Tablo 5.3 : Direkt ve uzay radyasyonu için, pencere camının geçirgenlik yutma katsayıları.

Radyasyonun geliş açısı θ	Tek cam		Çift cam		
	τ_D	a_D	τ_D	a_D dışa bakan camda	a_D içe bakan camda
	Direk radyasyon için				
0	0.87	0.05	0.76	0.06	0.04
20	0.87	0.05	0.76	0.06	0.04
40	0.86	0.06	0.74	0.06	0.04
50	0.84	0.06	0.72	0.07	0.05
60	0.79	0.06	0.66	0.07	0.05
70	0.67	0.06	0.52	0.07	0.05
80	0.42	0.06	0.25	0.07	0.05
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05
Uzay radyasyonu için					
	τ_D	a_D	τ_D	a_D	a_D
	0.79	0.06	0.68	0.07	0.05

5.2.4 İç Duvarlardan Gelen Isı Kazancı

Soğutulan mahallerin etrafında soğutulma yapılmayan hacimler bulunduğu durumlarda kaçınılmaz bir şekilde ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu ısı kazancı miktarı 5.4 eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$Q = k \times A \times (t_k - t_i) \quad (5.4)$$

(5.4) eşitliğindeki k soğutulan mahali komşu mahallerden ayıran yapı elemanlarının toplam ısı iletim katsayısını (W/m^2K), A ısıнын geçtiği yapı elemanın alanını (m^2), t_k komşu mahalin sıcaklığını ($^{\circ}C$), t_i soğutulan mahalin sıcaklığını ($^{\circ}C$) göstermektedir [22].

5.2.5 Dış Havadan Enfiltrasyon İle Gelen Isı Kazancı

Soğutulan mahale dışarıya bakan kapı veya pencerelerinden rüzgarın etkisiyle dış hava girmektedir. Bu da ek ısı kazancına sebep olur. Enfiltrasyondan dolayı içeri sızan hava miktarı eşitlik 5.5 hesaplanır [22].

$$V_i = \sum (a_l) \times R \times H \times z_i \quad (5.5)$$

(5.5) eşitliğinde V_i infiltrasyon ile giren hava miktarını (m^3/h), a kapı ve pencerenin hava geçirgenliğini (m^3/h), l kapı veya pencerenin açılan kısımlarının çevre uzunluğunu (m), R mahal özelliğini, H yapı özelliğini, z_i köşe odalar için zam faktörünü göstermektedir. Bitişik iki dış pencere için bu değer 1.2 alınır. Diğerleri için bu değer 1'dir. Diğer değerler “4.2.1 Enfiltrasyonla Oluşan Isı Kaybı” bölümünde açıklanacaktır.

Enfiltrasyon sonucu oluşan duyulur ve gizli ısı kazançları sırasıyla (5.6) ve (5.7) eşitlikleriyle hesaplanır.

$$Q_{id} = \frac{V_i}{v_o} \times c_p \times (t_o - t_r) \quad (5.6)$$

$$Q_{ig} = \frac{V_i}{v_o} \times h_{fg} \times (W_o - W_r) = M_i \times h_{fg} \times (W_o - W_r) \quad (5.7)$$

Burada V_i infiltrasyon ile sızan hava miktarını (m^3/h), v_o dış havanın özgül hacmini (m^3/kg kuru), c_p nemli havanın özgül ısısını (kJ/kgK), t_o dış hava sıcaklığını ($^{\circ}C$), t_r mahal hava sıcaklığını ($^{\circ}C$) h_{fg} t_r sıcaklığında buharlaşma gizli ısısını (kJ/kg), W_o dış havanın nem oranını (kg/kg kuru hava), W_r oda havasının nem oranını (kg/kg kuru hava), M_i infiltrasyon kuru hava ağırlığını (kg kuru hava/h) göstermektedir [22].

5.2.6 İnsanlardan Gelen Isı Kazançları

İnsan vücudunda bulunan ısı, gizli ve duyulur ısı olarak açığa çıkmaktadır. İnsanlardan gelen duyulur ve gizli ısı kazancı (5.8) ve (5.9) eşitlikleriyle hesaplanır.

$$Q_d = n \times Q_{di} \quad (5.8)$$

$$Q_g = n \times Q_{gi} \quad (5.9)$$

Burada n insan sayısını, Q_{di} yapılan aktivite ve kuru termometre sıcaklığına göre duyulur ısı miktarını (W), Q_{gi} yapılan aktivite ve kuru termometre sıcaklığına göre gizli ısı miktarını (W) göstermektedir. Q_{di} ve Q_{gi} değerleri ilgili literatürlerden alınmış ve hesaba katılmıştır [21].

5.2.7 Aydınlatmadan Gelen Isı Kazancı

Soğutma yapılan mahalde aydınlatmadan gelecek olan ısı kazancı (5.10) eşitliğiyle bulunmaktadır.

$$Q = (\text{Aydınlatma tesisinin toplam gücü } W) \times (\text{Kullanma faktörü}) \times (\text{Özel armatür faktörü}) \quad (5.10)$$

Maksimum yük hesabının yapıldığı saatteki fiili aydınlatma gücünün, toplam aydınlatma gücüne oranı kullanma faktörüdür. Mağazalar, sanat galerileri toplantı salonları gibi yapılarda kullanma faktörü 1 alınır. Normal lambalar için özel armatür faktörü 1'dir. Floresan armatürlerde, bu değer 1.2'dir.

5.2.8 Elektrikli Cihazlardan Gelen Isı Kazancı

Soğutulan mahallerde bulunan elektrikle çalışan televizyon, bilgisayar, buzdolabı gibi cihazlar çalıştıkları süre içerisinde ısı oluştururlar. Cihazların verdikleri ısı miktarları Tablo 5.4'da gösterilmektedir [22]. Tablodaki verilere göre elektrikli cihazlarda gelen ısı kazançları da hesaplamalara eklenmiştir.

Tablo 5.4 : Elektrikli cihazların kaynaklanan ısı kazançları.

Cihaz	Gücü (W)	Çalışma süresi (dk)	Isı kazancı (W)
Bilgisayar	250	60	250
Buzdolabı	100	60	100
Ütü	500	60	500

Tost makinesi	500	30	250
Elektrik ızgarası	3000	30	1500
Çaydanlık	500	30	250
Elektrik ocağı	500	30	250
Radyo	40	60	40
Çamaşır makinesi	3000	60	3000
Elektrik süpürgesi	200	15	50
Saç kurutma mak.	500	30	250

Tüm bu kabuller ve hesaplamaların sonucunda elde edilen ısı kazançları mahaller için Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5 : Mahallerin ısı kazançları.

Mahal Adı	Duyulur Isı Kazancı (W)	Gizli Isı Kazancı (W)	Toplam Isı Kazancı (W)
EBEVEYN YATAK O.	700	200	900
DOLAP ODASI	100	0	100
MERDİVEN	200	0	200
YATAK ODASI 1.	500	100	600
KORİDOR	0	0	0
YATAK ODASI 2.	500	100	600
SALON	1.400	900	2.300
MUTFAK	1.000	300	1.300
ANTRE	500	0	500
MERDİVEN	100	100	200
MİSAFİR ODASI	300	100	400
MİSAFİR ODASI	400	100	500
HOL	100	0	100
ARA KORİDOR	0	0	0
GENEL KORİDOR	0	0	0
KÜTÜPHANE VE İBADET ODASI	1.200	200	1.400
ÇALIŞMA ODASI	1.300	100	1.400
HOBİ ODASI	1.200	200	1.400
OTURMA ODASI	700	200	900
KIŞ BAHÇESİ	2.800	100	2.900
BİTKİ ODASI	3.400	1.800	5.200

HOBİ ATÖLYESİ	1.900	100	2.000
ÇAMAŞIRHANE	400	300	700
MERDİVEN	0	0	0
KORİDOR	100	0	100
DEPO 2	100	0	100
DEPO 1	100	100	200
TEKNİK ODA 2	100	100	200
TEKNİK ODA 1	100	0	100
SOSYAL ALAN	900	200	1.100
ATÖLYE	2.700	300	3.000

5.3 Isı Kaybı Hesabı

Isıtma sistemi kapasite hesaplamaları için ısı kaybı hesabı da yapılmıştır. Binanın sahip olduğu yapı elemanlarına, işletme rejimine, bulunduğu konuma, binanın sahip olduğu kat sayısına ve mahallerin baktığı yöne göre ısı kaybı hesaplanmıştır.

Bir mahalın ısı kaybı,

$$q_h = q_i + q_s \quad (5.11)$$

$$q_s = \sum (al)_{dış} RH\Delta TZ_e \quad (5.12)$$

$$q_o = UA\Delta T \quad (5.13)$$

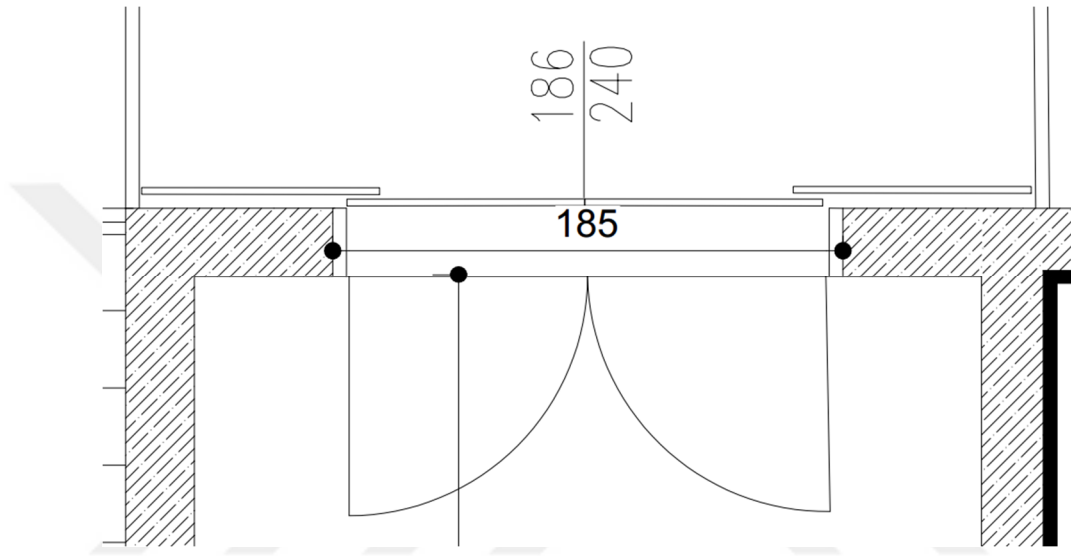
Eşitlikleriyle hesaplanmaktadır. Eşitlik 5.11 toplam ısı kaybını, eşitlik 5.12 enfiltrasyon ile oluşacak ısı kaybını, eşitlik 5.13 ise duvarlardan dolayı oluşacak ısı kaybını hesaplamak için kullanılmaktadır. Burada, q_i duvardan gelen zamlı ısı kaybını q_s ise enfiltrasyon ile oluşan ısı kaybını göstermektedir.

5.3.1 Enfiltrasyonla Oluşan Isı Kaybı

Kapı ve pencere gibi dış hava ile temasta olan ve açıklıkları olan kısımlardan dış hava mahal içine sızar. Bu durumda mahalde bir ısı kaybı oluşmaktadır. Eşitlik 5.12’de görüldüğü üzere, a ($m^3/m.h$) birim aralık sızdırmazlığını (m) sızıntı aralığının çevre uzunluğunu, $\sum(al)_{dış}$ (m^3/h) rüzgarın üflediği kapı ve pencere aralıklarından saatte oda sızan hava miktarını, R oda özelliğini, H ($W.h/m^3K$) yapının ısı özelliğini, ΔT iç ve dış havanın sıcaklık farkını, Z_e köşe artırım katsayısını göstermektedir.

Birim aralık sızdırmazlık, 9.8 Pa değerindeki bir basınç farkında (kapı ve pencerelerden) 1 metre aralık boyunca saatte m^3 olarak oda içince sızan hava miktarıdır. Pencerelerin ve kapıların sızdırmazlıkları yapıldıkları malzemeye bağlıdır. Bu değerler pencere ve kapıların özelliklerine göre iç kapılarda 15, pencerelerde 2 ve dış kapılarda 2 olarak seçilmiştir [23].

Sızıntı uzunluğu, açılıp kapanan pencereler ve kapıların çevre uzunluğudur.



Şekil 5.5 : Boyutları ve açılır kısımları gösterilmiş dış kapı.

Isı kaybı hesaplanan mahalin, en elverişsiz rüzgar durumunda rüzgarın üflediği kapı ve pencere aralıklarından odaya sızan toplam hava miktarının, odadan dışarı kaçan toplam hava miktarı ile oranın 1 eklenmesiyle elde edilen ifadenin aritmetik tersidir. Yapının ısı özelliği (H) değeri 1.31 olarak alınmıştır [23].

5.3.2 Yapı Elemanlarından Kaynaklanan Isı Kaybı

Yapı elemanlarını oluşturan duvar ve camların iç havadan daha düşük bir sıcaklığa sahip olan dış havaya doğru bir ısı iletimi söz konusudur. Mahalin bu durumlarda kaybedeceği ısı miktarını bulmak için ısı iletim formülü (5.13) kullanılmaktadır.

Bu eşitlikte q_0 yapı bileşenlerinden gelen ısı kaybını, U yapı elemanlarının toplam ısı geçiş katsayısını (W/m^2K), A yapı elemanının alanını (m^2), ΔT de yapı elemanının iki tarafındaki ortam sıcaklıklarının farkını ($^{\circ}C$) göstermektedir.

Bu hesaplamanın yanında bir de binanın işletme rejimine (Z_D), bulunduğu konuma (Z_H), mahal yüksekliğine (Z_W) göre eklenen zamlar vardır.

- **İşletme Rejimine Göre Zam Katsayısı**

İşletme rejimine göre zam, ısıtma süresinin azaltılmasından veya işletmeye bir süre ara verilmesinden sonra, soğuyan yapı bileşenlerinin ve ısıtma sistemi elemanlarının kısa zamanda tekrar eski sıcaklıklarına getirilmesi için göz önüne alınan ısı kapasitesi artırımındır. Yapı ve ısıtma sistemi ne kadar ağırsa ve ne kadar çok kesintili çalışıyorsa eklenecek olan zam miktarı o kadar fazla olmalıdır. Z_D zammını D birleşik ortalama ısı geçirme katsayısı ve işletme durumu belirler. D (W/m^2K) katsayısı

$$D = \frac{q_0}{A_T(T_i - T_d)} \quad (5.14)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülde q_0 mahalın zamsız ısı kaybı, A_T mahali çevreleyen tüm yapı elemanlarının toplam alanı (m^2), T_i hacmin iç sıcaklığını ($^{\circ}C$), T_d dış hava sıcaklığını ($^{\circ}C$) göstermektedir. İşletme durumlarına ve D katsayılarına göre Z_D zamları %7 alınmıştır [23]. Çalışılan bina konut amaçlı kullanılacağı için yapılan ısı kaybı sürekli işletme (I. işletme) rejimine göre yapılmıştır.

- **Yöne Göre Zam Katsayısı**

Kuzey yarım kürede bulunan yapıların güneye bakan mahalleri bir miktar ısınırken, kuzeye bakan mahalleri bir miktar soğur. Bundan dolayı mahallerin iletim ve taşınım ile olan ısı kaybına dış duvarların baktığı yöne göre kuzeye bakan cephelerde (Z_H) yön zammı güneye bakan cephelerde azaltma uygulanır. Doğu ve batıya bakan cephelerde ise uygulanmaz. Yön zammı seçiminde ikiden fazla olan odalar için en yüksek yön zammı seçilir. Z_H yön zammı değerleri Tablo 5.6'da gösterilmektedir. Mahalin yönüne bağlı olarak her biri için Tablo 5.6 dikkate alınarak hesaba katılmıştır [23].

Tablo 5.6 : Yöne göre zam katsayısı(%).

Yön	G	GB	B	KB	K	KD	D	GD
Zam miktarı	-5	-5	0	+5	+5	+5	0	-5

- **Kat Yüksekliğine Göre Zam Katsayısı**

Yapı elemanlarının toplam ısı iletim katsayısının hesaplanmasında önemli terimlerinden biri dış havanın ısı iletim katsayısıdır. Binanın konumu nerede olursa olsun birkaç kattan yukarıda olan katlarda rüzgar hızı artmaktadır. Bu da dış havanın ısı iletim katsayısını değiştirmektedir. Bu nedenle katın yüksekliğine ve bulunduğu kata göre alınması gereken bir zam ortaya çıkmaktadır. Z_w artırımı bina tek katlı olduğundan hesaba katılmamıştır.

Bu hesaplamalara göre projelendirilen binadaki her mahal için oluşan ısı kaybı Tablo 5.7’de gösterilmektedir.

Tablo 5.7 : Mahallerin ısı kaybı miktarları.

Mahal Adı	Mahalin Isı Kaybı (Watt)
EBEVEYN YATAK O.	1660
DOLAP ODASI	350
EBV. BANYO	870
MERDİVEN	680
BANYO	860
YATAK ODASI 1.	1010
KORİDOR	240
BANYO	420
YATAK ODASI 2.	980
SALON	1220
MUTFAK	1530
ANTRE	730
MERDİVEN	600
BANYO	750
WC	200
MİSAFİR ODASI	430
OTOPARK ÇIKIŞI	610
MİSAFİR ODASI	1270
BANYO	840
HOL	810
ARA KORİDOR	40
GENEL KORİDOR	120
KÜTÜPHANE VE İBADET ODASI	960
ÇALIŞMA ODASI	750
HOBİ ODASI	750
OTURMA ODASI	740

KIŞ BAHÇESİ	2050
BİTKİ ODASI	860
HOBİ ATÖLYESİ	260
HAYVAN BAKIM ODASI	190
KİLER	220
ÇAMAŞIRHANE	60
MERDİVEN	250
KORİDOR	150
BANYO	790
HOL	360
HOL	1250
TEKNİK B. KORİDOR	870
DEPO 2	440
DEPO 1	0
TEKNİK ODA 2	0
TEKNİK ODA 1	10
SOSYAL ALAN	620
ATÖLYE	2300

5.4 Yerden Serinletme Sisteminin Kapasite Hesabı

Yerden serinletme sisteminin enerji analizinin yapılabilmesi için mahallerden ne kadar ısı alabileceğini tespit etmemiz gerekmektedir. Böylece VRF ile çalışan soğutma sistemi ile karşılaştırılabilecektir.

Hesaplamalarda döşeme sıcaklığının ve boru yüzey sıcaklığının sabit olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca ısı transferinin iki boyutlu gerçekleştiği ve döşeme içi ısı iletim direncinin değişmediği kabulü ile şekil faktörü kullanılmıştır. Buna göre üst yüzeyden aktarılabilecek ısı miktarının hesabı için gereken formüller [24];

$$q_{\dot{u}} = \frac{Z_{\dot{u}} \cdot S_{\dot{u}}}{R_{\dot{u}} \cdot w \cdot L} \cdot (T_{sm} - T_{y\dot{u}}) \quad (5.15)$$

$$S_{\dot{u}} = \frac{2\pi L}{\ln \left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2\pi Z_{\dot{u}}}{w} \right)} \quad (5.16)$$

$$q_a = \frac{Z_a \cdot S_a}{R_a \cdot w \cdot L} \cdot (T_{sm} - T_{ya}) \quad (5.17)$$

$$S_a = \frac{2\pi L}{\ln \left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2\pi Z_a}{w} \right)} \quad (5.18)$$

Yukarıda gösterilen (5.15), (5.16), (5.17) ve (5.18) numaralı eşitliklerde $q_{\bar{u}}$ üst döşemeden gelen ısı miktarını, q_a boruya alt döşemeden gelen ısı miktarını, $R_{\bar{u}}$ ve R_a sırasıyla üst ısı direnç ile alt ısı direnci, T_{sm} boru eksenindeki ortalama su sıcaklığı, w mahal içindeki borular arasındaki mesafe olan modülasyon aralığını, $T_{y\bar{u}}$ ve T_{ya} sırasıyla üst döşemenin yüzey sıcaklığı ve alt döşemenin yüzey sıcaklığını, $Z_{\bar{u}}$ ve Z_a sırasıyla üst döşemeye olan uzaklık ile alt döşemeye olan uzaklık, $S_{\bar{u}}$ ile S_a ısı iletim şekil faktörünü ve L boru boyunu simgelemektedir.

Ortalama su sıcaklığının hesaplama yöntemi döşeme borularının salyangoz veya firkete tipi döşenmesine göre değişiklik göstermektedir. Bu projede borular salyangoz tipine göre döşeneceği için mahalden geçen suyun ortalama sıcaklığı (5.19) eşitliğinde gösterilmektedir. Bu eşitlikte T_{sg} suyun mahale giriş sıcaklığını, $T_{sç}$ suyun mahalden çıkış sıcaklığını göstermektedir.

$$T_{sm} = \frac{T_{sg} - T_{sç}}{2} \quad (5.19)$$

Üst ve alt döşeme ısı dirençleri hesaplanırken sırasıyla (5.20) ve (5.21) eşitlikleri kullanılır. Bu eşitliklerde h_i taşınım katsayısını, l_i (m) döşemeyi oluşturan tabaka kalınlığını, k_i (W/m°C) tabaka kalınlıklarının ısı iletim katsayılarını ifade etmektedir.

$$R_{\bar{u}} = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{l_i}{k_i} \right) \quad (5.20)$$

$$R_a = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{l_i}{k_i} \right) \quad (5.21)$$

Taşınım katsayısının bulunabilmesi için (5.22), (5.23) ve (5.24) eşitlikleriyle sırasıyla Reynolds, Prandtl ve Nusselt sayılarının bulunması gerekmektedir.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (5.22)$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (5.23)$$

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n \quad (5.24)$$

(5.24) eşitliği $0.7 \leq Pr \leq 160$ ve $Re > 10000$ olduğu zaman kullanılır. Ayrıca eşitlikte bulunan n katsayısı sistem ısı alıyorsa 0.4 ısı veriyorsa 0.3 olmalıdır. Buna

göre bizim incelediğimiz mahal soğutulduğu için n katsayısı 0.3 olacaktır. Nusselt sayısı bulunduktan sonra (5.25) eşitliği ile boru içindeki ısı taşınım katsayısı bulunabilir.

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (5.25)$$

Yerden serinletme sistemi hesabında sistemin alacağı ısı hesaplanırken dikkat edilmesi gereken yerlerden birisi de mahalın döşeme yapısıdır. Çünkü mahalın döşeme yapısına göre kaplama direnci değişmektedir.

Kaplama direnci döşemenin üstünde bulunan parke, halı veya seramik gibi bir döşeme kaplamasıdır. Döşeme yapı elemanı için ayrı bir yapı malzemesidir. Kaplama direnci arttıkça sistemin alabileceği ısı miktarı azalır.

Yapılmış olan hesaplara göre yerden serinletme sisteminin mahalın istenilen sıcaklığına, döşeme yapısına ve modülasyon aralıklarına göre m² başına alacağı ısı miktarı Tablo 5.8’de gösterilmektedir.

Döşemeden serinletme sistemi hesap parametreleri

Modülasyon Aralığı (cm)	Mahal Sıc. (°C)	Döşeme Yapısı	Kaplama Direnci (m ² /K.W)	Isı miktarı (W/m ²)
7.5	26	Seramik	0.03	28.8
7.5	26	Parke	0.05	26.4
7.5	26	Halı	0.10	22.0
15	26	Seramik	0.03	24.6
15	26	Parke	0.05	22.8
15	26	Halı	0.10	19.3
22.5	26	Seramik	0.03	21.1
22.5	26	Parke	0.05	19.7
22.5	26	Halı	0.10	17.0
30	26	Seramik	0.03	18.1
30	26	Parke	0.05	17.1
30	26	Halı	0.10	15.0
7.5	28	Seramik	0.03	37.0
7.5	28	Parke	0.05	34.0
7.5	28	Halı	0.10	28.2
15	28	Seramik	0.03	31.6
15	28	Parke	0.05	29.3
15	28	Halı	0.10	24.8
22.5	28	Seramik	0.03	27.1
22.5	28	Parke	0.05	25.4
22.5	28	Halı	0.10	21.8
30	28	Seramik	0.03	23.3
30	28	Parke	0.05	22.0

30	28	Halı	0.10	19.2
----	----	------	------	------

Tablo 5.9’da ise hesaplar sonucu ortaya çıkan alınabilen ısı miktarına göre mahallerin modülasyon aralıkları ve bu miktarına göre yerden serinletme sisteminin mahallerden aldığı duyulur ısı miktarı bulunmaktadır. Tablonun en sağ kısmında yerden serinletme uygulaması sonucu fazladan alınan veya alınamayan duyulur ısı miktarı görülmektedir.

Tablo 5.9 : Döşemeden serinletme hesap tablosu.

Mahal Adı	Mahal Sıcaklığı	Döşeme Alanı	Çıkartılacak Alan	Net Döşeme Alanı	Duyulur Isı Kazancı	Gizli Isı Kazancı	Toplam Isı Kazancı	Birim Isı Kazancı	Döşeme Malzemesi	Döşeme Direnci R	Modülasyon Alanı	Modülasyon Aralığı	Birim Verim	Modülasyon Verimi	Kalan Isı
	°C	m ²	m ²	m ²	Watt	Watt	Watt	Watt/m ²	Watt/m ²	m ² /K W	m ²	M	Watt/m ²	Watt	Watt
1. KAT															
EBEVEYN YATAK O.	28	45.5	6.6	38.9	700	200	900	23.15	Seramik	0.03	38.9	0.15	31.6	1.229	-529
DOLAP ODASI	28	13.5	0.0	13.5	100	0	100	7.40	Seramik	0.03	13.5	0.15	31.6	427	-327
MERDİVEN	28	10.7	0.0	10.7	200	0	200	18.76	Seramik						200
YATAK ODASI 1.	28	20.2	0.0	20.2	500	100	600	29.70	Seramik	0.03	20.2	0.15	31.6	638	-138
KORİDOR	28	11.6	0.0	11.6	0	0	0	0.00	Seramik	0.03	11.6	0.15	31.6	367	-367
YATAK ODASI 2.	28	18.0	0.0	18.0	500	100	600	33.43	Seramik	0.03	18.0	0.15	31.6	567	-67
ZEMİN KAT															
SALON	28	58.7	1.4	57.3	1.400	900	2.300	45.76	Seramik	0.03	57.3	0.15	31.6	1.811	-411
MUTFAK	28	45.7	15.6	30.1	1.000	300	1.300	46.71	Seramik	0.03	30.1	0.075	37.0	1.113	-113
ANTRE	28	11.8	0.0	11.8	500	0	500	58.41	Seramik	0.10	11.8	0.075	37.0	437	63
MERDİVEN	28	10.7	0.0	10.7	100	100	200	18.76	Seramik	0.10					100
WC	28	3.3	0.6	3.3				0.00	Seramik	0.10	2.7	0.075	37.0	98	-98
MİSAFİR ODASI	28	16.6	0.0	16.6	300	100	400	33.93	Seramik	0.10	16.6	0.15	31.6	523	-223
OTOPARK ÇIKIŞI	28	7.6	0.0	7.6		0		0.00	Seramik	0.10	7.6	0.075	37.0	282	-282
MİSAFİR ODASI	28	22.7	0.0	22.7	400	100	500	28.85	Seramik	0.10	22.7	0.15	31.6	718	-318
HOL	28	2.4	0.0	2.4	100	0	100	90.91	Seramik	0.03	2.4	0.075	37.0	90	10
ARA KORİDOR	28	16.0	0.0	16.0	0	0	0	0.00	Seramik	0.03	16.0	0.15	31.6	505	-505
GENEL KORİDOR	28	13.8	0.0	13.8	0	0	0	0.00	Seramik	0.03	13.8	0.15	31.6	436	-436
KÜTÜPHANE	28	19.7	0.0	19.7	1.200	200	1.400	90.50	Seramik		19.7	0.075	37.0	730	470
ÇALIŞMA ODASI	28	19.8	0.0	19.8	1.300	100	1.400	90.26	Seramik	0.03	19.8	0.075	37.0	731	569
HOBİ ODASI	28	19.8	0.0	19.8	1.200	200	1.400	90.26	Seramik	0.03	19.8	0.075	37.0	731	469

OTURMA ODASI	28	21.1	1.1	20.0	700	200	900	55.73	Seramik	0.10	20.0	0.075	37.0	739	-39
KIŞ BAHÇESİ	28	17.6	0.0	17.6	2.800	100	2.900	220.2	Seramik	0.03	17.6	0.075	37.0	649	2.151
1. BODRUM KAT															
BİTKİ ODASI	28	38.9	0.0	38.9	3.400	1.800	5.200	133.85	Seramik	0.03	38.9	0.075	37.0	1.437	1.963
HOBİ ATÖLYESİ	28	26.3	0.0	26.3	1.900	100	2.000	75.93	Seramik	0.03	26.3	0.075	37.0	975	925
HAYVAN BAKIM O.	28	12.1	4.0	8.1				0.00	Seramik	0.03	8.1	0.075	37.0	301	-301
KİLER	28	12.5	0.0	12.5				0.00	Seramik	0.03	12.5	0.15	31.6	393	-393
ÇAMAŞIR.	28	11.5	0.0	11.5	400	300	700	60.76	Seramik	0.03	11.5	0.075	37.0	426	-26
MERDİVEN	28	10.7	0.0	10.7	0	0	0	0.00	Seramik						0
KORİDOR	28	19.3	0.0	19.3	100	0	100	5.18	Seramik	0.03	19.3	0.15	31.6	610	-510
HOL	28	3.3	0.0	3.3				0.00	Seramik	0.03	3.3	0.15	31.6	103	-103
HOL	28	7.6	0.0	7.6				0.00	Seramik	0.03	7.6	0.15	31.6	240	-240
TEKNİK KORİDOR B.	28	15.1	0.0	15.1				0.00	Seramik	0.03	15.1	0.15	31.6	476	-476
DEPO 2	28	19.8	0.0	19.8	100	0	100	5.06	Seramik	0.03	19.8	0.15	31.6	624	-524
DEPO 1	28	19.8	0.0	19.8	100	100	200	10.12	Seramik	0.03	19.8	0.15	31.6	624	-524
TEKNİK ODA 2	28	19.8	0.0	19.8	100	100	200	10.12	Seramik	0.03	19.8	0.15	31.6	624	-524
TEKNİK ODA 1	28	21.1	0.0	21.1	100	0	100	4.75	Seramik	0.03	21.1	0.15	31.6	666	-566
SOSYAL ALAN	28	83.1	0.0	83.1	900	200	1.100	13.23	Seramik	0.03	83.1	0.15	31.6	2.627	-1726
ATÖLYE	28	103.4	0.0	103	2.700	300	3.000	29.01	Seramik	0.03	103.4	0.15	31.6	3.268	-568

Tablo 5.9’da mahalin kazandığı gizli ısı miktarı da gösteriliyor olsa da sistem mahalden sadece duyulur ısıyı almaktadır. Sistemden sadece duyulur ısı alındığı için eğer mahal içindeki nem alınmazsa döşeme gibi soğuk yüzeylerde yoğunlaşma olacaktır. Oluşan yoğunlaşma da insan konforunu son derece olumsuz yönde etkileyebilir. Bunun önüne geçmek için sistemde nem alıcı cihazlar kullanılmalıdır.

Yerden serinletme sisteminde modülasyon aralıkları ayarlandıktan sonra Tablo 5.9’da bahsedilen soğutma kapasitelerinin sağlanabilmesi için gereken su debilerinin belirlenmesi ve bunun ardından da toplam su debisini ve basınç kaybını karşılayacak pompanın belirlenmesi gerekmektedir.

Bir mahalde gerekli olan su debisi bulunurken (5.26) eşitliği kullanılmaktadır. Eşitlikte bulunan 1.1 değeri döşeme içinden geçen borunun sadece üst mahalden değil alt mahalden ısı alıyor olmasından dolayı doğan fazladan debi ihtiyacından gelmektedir.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c \cdot \Delta T} \times 1.1 \quad (5.26)$$

Burada $\dot{m}$ debiyi, $\dot{Q}$ alandan alınan toplam ısı miktarını, ΔT sistemden geçen suyun gidiş ve dönüş sıcaklıklarının farkını (K), c ise suyun öz ısı değerini göstermektedir. Eşitlik 5.26'ya göre hesaplandığı zaman her mahal başına düşen su debisi ihtiyacı Tablo 5.10'da gösterilmektedir.

Tablo 5.10 : Mahallerin döşemeden serinletme sistemi için ihtiyacı olan su debileri.

Mahal Adı	Su Debisi (l/h)
Ebeveyn Yatak Odası	232
Dolap Odası	81
Yatak Odası 1	121
Koridor	69
Yatak Odası 2	107
Salon	343
Mutfak	211
Antre	83
Misafir Odası	99
Misafir Odası	136
Hol	17
Genel Koridor	82
Kütüphane	138
Çalışma Odası	138
Hobi Odası	138
Oturma Odası	140
Kış Bahçesi	123
Bitki Odası	272
Hobi Atölyesi	184
Kiler	74
Çamaşırhane	81
Koridor	115
Depo 2	118
Depo 1	118
Teknik Oda 2	118
Teknik Oda 1	126
Sosyal Alan	497
Atölye	618

Tablo 5.10'a bakıldığı zaman sistemin istenilen şartlarda çalışabilmesi için gerekli olan toplam su debisinin 4579 l/h olduğu görülmektedir. Sistemde oluşacak basınç kaybının ise 6 mSS olacağı öngörülmüştür. Buna göre bahsi geçen değerleri karşılayacak pompanın seçimi yapılırken üretici firma kataloglarından

faaydalanılmıştır. Yukarıda bahsedilen değerleri karşılayan pompanın harcayacağı elektrik gücünün 0.16 kW olacağı bulunmuştur.

Isı pompasının harcayacağı elektrik gücünün bulunabilmesi için öncelikle toprakla ısı transferinde bulunan suyun giriş ve çıkış sıcaklıklarının bulunması gerekmektedir. Bu sıcaklıkların bulunabilmesi için dış hava sıcaklığı ile bağlantılı olan formüller kullanılacaktır [25].

$$EWT_H = EWT_{MIN} + \frac{EWT_{MEAN} - EWT_{MIN}}{TA_{MEAN} - TA_{MIN}} \times (TA - TA_{MIN}) \quad (5.27)$$

$$EWT_C = EWT_{MEAN} + \frac{EWT_{MAX} - EWT_{MEAN}}{TA_{MAX} - TA_{MEAN}} \times (TA - TA_{MEAN}) \quad (5.28)$$

$$EWT_{MIN} = TA_{MIN} + 25 \quad (5.29)$$

$$EWT_{MAX} = TA_{MAX} - 5 \quad (5.30)$$

Bu denklemlerde EWT_H ısıtma zamanında ısı pompasının evaporatörüne giren su sıcaklığını ($^{\circ}C$), EWT_C soğutma zamanında ısı pompası kondenserine giren su sıcaklığını ($^{\circ}C$), TA_{MAX} ve TA_{MIN} dış hava sıcaklıklarının en az ve en çok olduğu zamanki değerleri ($^{\circ}C$), EWT_{MIN} ve EWT_{MAX} toprak tarafındaki suyun ısı pompasına girdiği en düşük ve en yüksek sıcaklıkları, TA hesaplanacak olacak zamandaki dış hava sıcaklığını göstermektedir. EWT_{MIN} bulunurken bölgenin yıl boyunca ulaşacağı en düşük sıcaklığa, EWT_{MAX} bulunurken bölgenin yıl boyunca ulaşacağı en yüksek sıcaklığa bakılır.

(5.27), (5.28), (5.29) ve (5.30) eşitlikleri için gerekli olan İstanbul sıcaklık verileri Tablo 5.11’de gösterilmektedir.

Tablo 5.11 : İstanbul için sıcaklık verileri [26].

İstanbul	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıc. (°C)	5.9	5.9	7.6	11.9	16.7	21.3	23.8	23.9	20.3	16.0	11.9	8.2
Maks. Ort. Sıc. (°C)	8.8	9.3	11.6	16.7	21.7	26.3	28.7	28.9	25.2	20.3	15.5	11.2
Min. Ort. Sıc. (°C)	3.2	3.1	4.3	7.9	12.3	16.5	19.0	19.3	16.0	12.4	8.8	5.4
Ort. Güneş. Saati (Saat)	2.4	3.2	4.4	6.1	8.3	10.2	10.9	10.1	8.1	5.5	3.6	2.5
Ort. Yağış. Gün Say.	15.2	13.2	11.7	8.9	6.6	4.7	3.0	3.4	5.5	9.0	11.2	14.5
Topl. Yağış Mik. Ort. (mm)	86.8	72.1	62.3	44.1	31.3	24.8	22.6	27.7	44.1	70.0	86.1	105.3

Tablo 5.11'deki veriler doğrultusunda toprak kaynaklı ısı pompasında kullanılacak olan toprak tarafı için su giriş sıcaklıkları hesaplanacaktır. Toprak kaynaklı ısı pompasında toprak tarafı için su giriş değerleri Tablo 5.12'de gösterilmektedir.

Tablo 5.12 : İstanbul sıcaklıklarına göre EWT_H ve EWT_C değerleri.

Dış Hava Sıcaklıkları (°C)	EWT_H	EWT_C
-3	17.00	-
0	17.95	-
3	18.90	-
6	19.84	-
9	20.79	-
12	21.74	-
18	-	23.56
21	-	24.45
25	-	25.63
29	-	26.82
33	-	28.00
36	-	28.89

Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen EWT_H ve EWT_C değerleri enerji analizi için kullanılmıştır.

5.5 VRF Sisteminin Seçimi

Isı kazancı hesabı kullanılarak, VRF sistemini iç ve dış ünitesi seçilmiştir. VRF sistemi bir hava kaynaklı ısı pompası olduğu için sistemin EER değerleri dış havaya bağlıdır. VRF sisteminin EER değerleri ve seçilecek olan iç ünitelerin kapasiteleri üretici firma kataloglarından alınmıştır.

Dış ünitenin EER değerini etkileyen faktörlerden biri de borulamadır. İç üniteler ile dış ünite arasındaki boru mesafesi ve kat yüksekliklerine göre VRF sisteminin içinde dolaşacak olup ısı iletmek için kullanılacak olan akışkanın maruz kalacağı basınç kaybı buna göre değişmektedir. Oluşacak basınç kaybına göre harcanacak elektrik miktarı da değişkenlik göstermektedir. Bu da VRF sisteminin verimini büyük ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir.

VRF sisteminin değişen hava sıcaklıklarına göre EER değerinin bulunması için (5.31) eşitliği kullanılmıştır. Sistemin dış hava sıcaklığına göre değişen soğutma kapasitesi ve harcadığı elektrik miktarı üretici firma kataloglarından alınmıştır.

$$EER = \frac{Q}{W} \quad (5.31)$$

Burada Q (kW) değeri sistemin soğutma kapasitesini, W (kW) değeri ise çekilen elektrik gücünü göstermektedir. VRF sisteminin EER değerleri Tablo 5.16'da verilmiştir. Hesaplamalarda, Tablo 5.13'e göre binanın dış hava sıcaklığının en yüksek olduğu zaman dilimindeki hava sıcaklığı ve buna bağlı olan EER değeri dikkate alınmıştır.

Tablo 5.13 : VRF sistemi dış ünitesinin dış hava sıcaklığına göre soğutma kapasitesi ve EER değerleri.

Dış Hava Sıcaklığı (°C)	Soğutma Kapasitesi (kW)	EER Değerleri
10	6.93	6.37
12	7.02	6.29
14	7.19	6.14
16	7.3	6.05
18	7.48	5.9
20	7.81	5.65
21	8.06	5.48
23	8.64	5.11
25	9.18	4.8
27	9.75	4.5
29	10.29	4.24
31	10.88	3.99
33	11.49	3.76
35	12.07	3.55
37	12.65	3.36
39	13.23	3.18

İç ünite olarak duvar tipi iç üniteler seçilmiştir ancak her mahale iç ünite koyulmamıştır. Çünkü bazı iç üniteler aracılığıyla diğer mahallerin soğuma ihtiyacı giderilebilmektedir. Buna göre seçilen iç ünitelerin sayıları ve harcadıkları elektrik güçleri, dış ünite kapasiteleri Ek 1 ve Ek 2’de verilmiştir. Ek 1’de mahallerin ısı kazançları, HAP programına göre ne kadar kapasiteye sahip bir cihazın yerleştirilmesi gerektiği, bu mahallere hangi iç ünitelerin yerleştirildiği ve bu iç ünitelerin soğutma ve ısıtma kapasiteleri görülebilmektedir.

Tablo 5.13’e bakıldığında dış ünitenin İstanbul’un en sıcak gününde (33 °C) harcayacağı elektrik gücünün 11.49 kW olduğu görülmektedir. VRF sisteminin %100 kapasitede harcayacağı toplam elektrik gücünü bulabilmek için iç ünitelerin de harcadığı elektrik tüketimi bulunmalıdır. İç ünitelerin harcadığı elektrik güçleri üretici firma kataloglarından bulunmuştur.

Tablo 5.14 : İç Ünite Sayısı ve Harcadıkları Enerji Miktarları.

İç Ünite Adı	Elektrik Gücü (kW/adet)	İç Ünite Adedi
IU.D.15	0.017	6
IU.D.20	0.019	4
IU.D.25	0.028	1

IU.D.32	0.030	3
IU.D.40	0.020	1
IU.D.50	0.040	1
IU.D.63	0.050	1

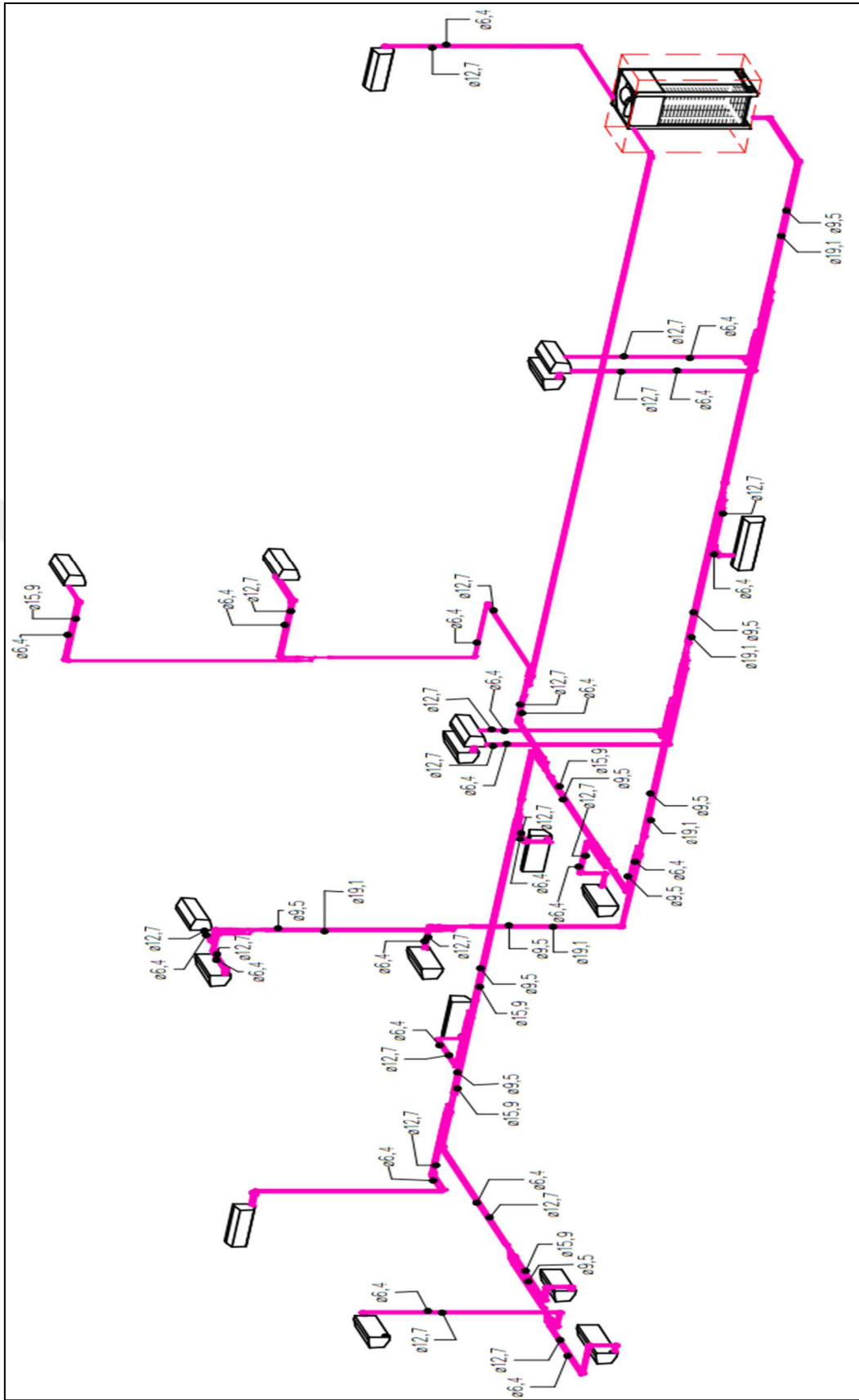
Tablo 5.14'ten görüldüğü üzere bina iç ünitelerinin harcadığı elektrik miktarı toplam 0.406 kW olmaktadır. Buna göre VRF sisteminin en sıcak günde toplam enerji tüketimi 11.9 kW'tır.

5.6 VRF Sistemi Proje ve Sistem Şemaları

Binanın VRF sistemi ile şartlandırılması durumunda binanın iç üniteleri duvar tipi iç ünite seçilmiştir. Dış ünite olarak ise bir adet 2 borulu dış ünite kullanılmıştır. Dış ünitenin 2 borulu seçilmiş olmasının sebebi binanın konut olarak kullanılmasındandır. Çünkü binanın bir mahalinde ısıtma istenirken başka bir mahalinde soğutma istenilecek bir durum söz konusu değildir.

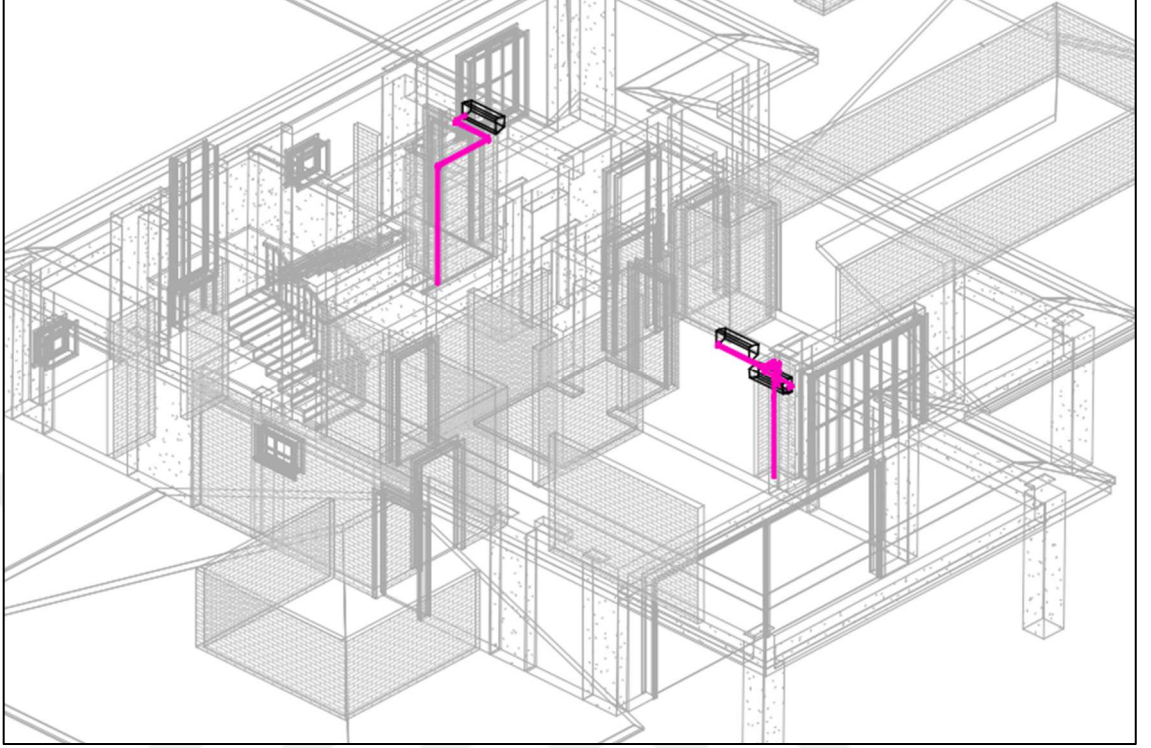
İç ünitelerin yerleşiminde her mahale iç ünite konulmamıştır. Bunun sebebi sadece aydınlatmadan dolayı ısı kazancının olacağı koridor gibi mahallere iç ünite konulması durumunda hem iç ünite miktarının artması hem de dış üniteye bağlanacak iç ünite sayısının artmasına bağlı olarak ihtiyaç duyulacak dış ünite kapasitesinin artacak olmasıdır. Bu da maliyeti oldukça arttıracaktır. Her mahale iç ünite yerleştirmek yerine mutfak, salon, yatak odası gibi yaşanan mahallere iç ünite yerleştirilmiştir. Mahaller için seçilmiş olan iç ünitenin kapasitesi yetmediği durumlarda da iç ünite sayısını arttırmak yerine iç ünitenin kapasitesi artırılmıştır. İç ünite sayısı arttırılmamıştır. Böylece hem montaj kolaylığı sağlanmış hem borularda olan basınç kayıpları önlenmiştir.

Binanın VRF sistemi tesisat projesinin izometrik çizimi Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : VRF sistemi projesinin izometrik görünümü.

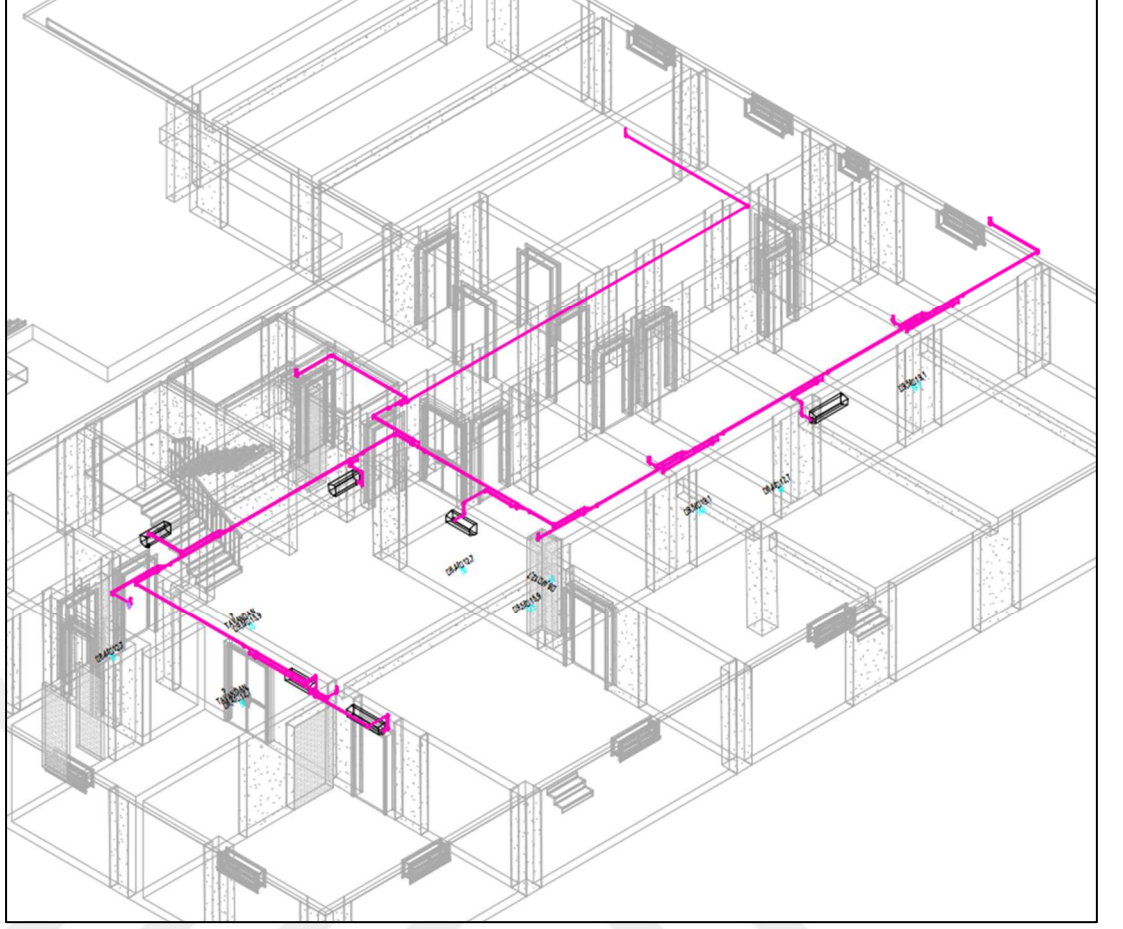
VRF Sisteminin binanın katları için çizilmiş tesisat projeleri Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : 1. kat için VRF sisteminin projesi.



Şekil 5.8 : Zemin kat için VRF sisteminin projesi.

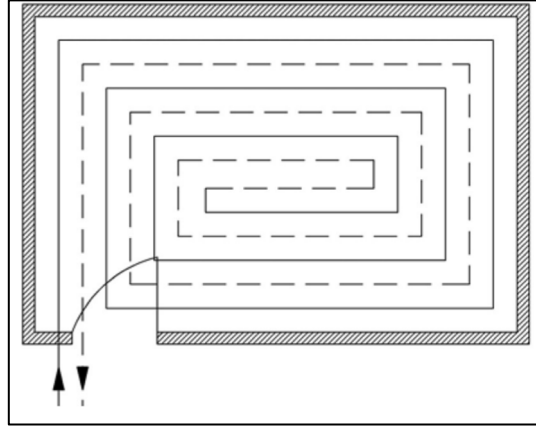


Şekil 5.9 : Bodrum kat için VRF sisteminin projesi.

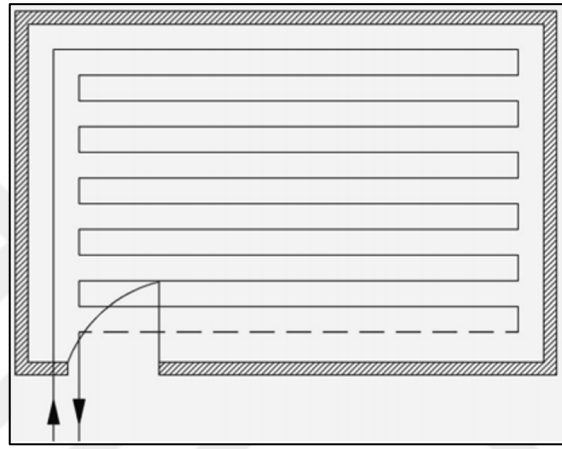
Buna göre iç ünite sayısı 1.katta her biri yatak odalarına ait olacak şekilde toplam 3 adet, zemin katta salon, mutfak ve kütüphane gibi mahaller için toplam 9 adet, bodrum katta ise sosyal alan, atölye gibi mahallere de toplam 6 adet olacak şekilde yerleştirilmiştir.

5.7 Yerden Isıtma/Serinletme Sistemi Proje ve Sistem Şemaları

Binanın yerden ısıtma/serinletme sistemi ile şartlandırıldığında döşeme sıcaklığını homojen bir şekilde dağıtabilmek için borular salyangoz tipinde döşenmiştir. Bunun sebebi, salyangoz tipi yerleştirmenin firkete tipine göre yüzey sıcaklığını, gidiş ve dönüş borularının yan yana olmasından dolayı, daha homojen şekilde dağıtabilmesidir.



Şekil 5.10 : Salyangoz tipi boru yerleştirme.



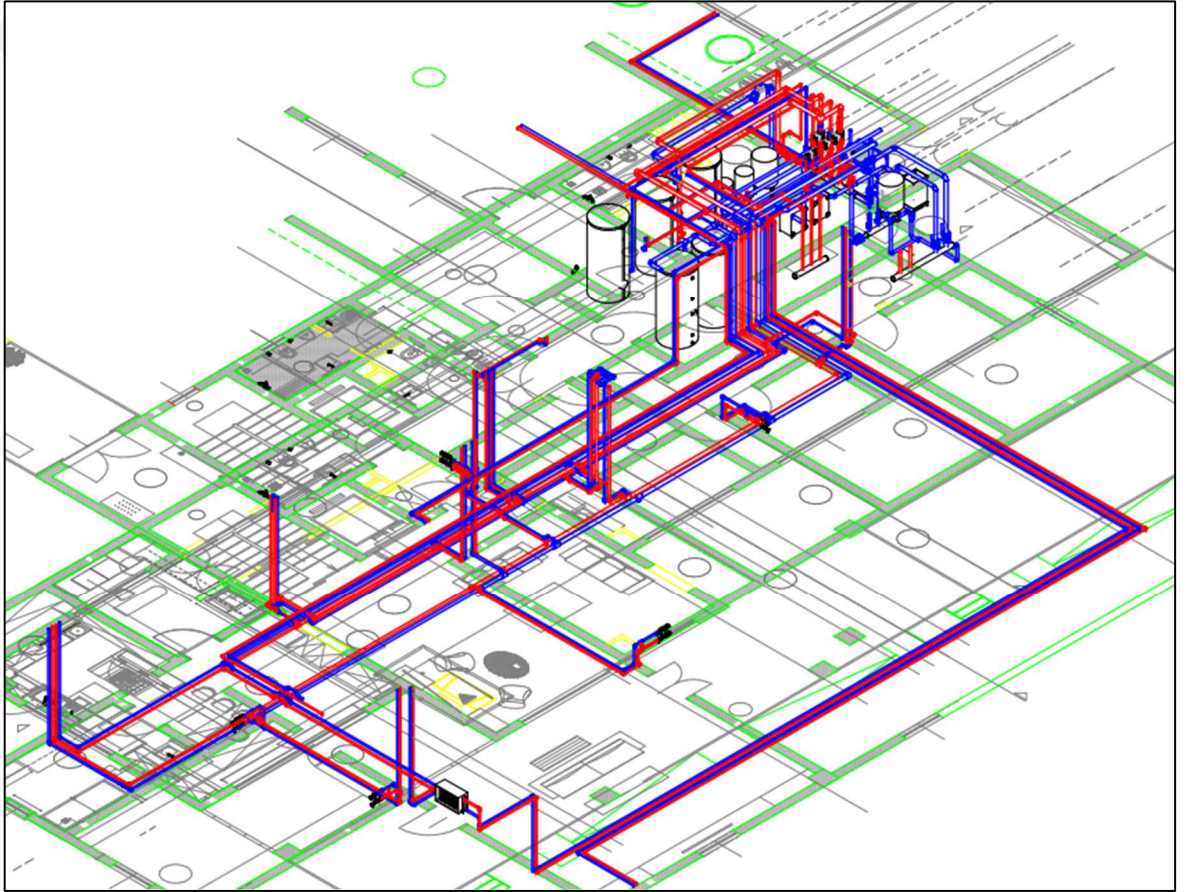
Şekil 5.11 : Firkete tipi boru yerleştirme.

Yapılan ısı kazancı ve ısı kaybı hesaplarına göre döşemeden ilerleyecek boruların her mahal için modülasyon aralıkları belirlenmiştir. Modülasyon aralığı döşemeye yerleştirilecek olan boruların aralarındaki mesafedir ve bu mesafeler kullanılacak olan markaya göre 5 veya 7.5 cm'nin katlarında değişmektedir. Her mahal için gerekli olan modülasyon aralığı bulunduktan sonra mahallere döşemeden ısıtma/serinletme borularının dağıtımının yapılabilmesi için kolektör yerlerinin ve bu kolektörlerin ağız sayılarının belirlenmesi gerekmektedir.

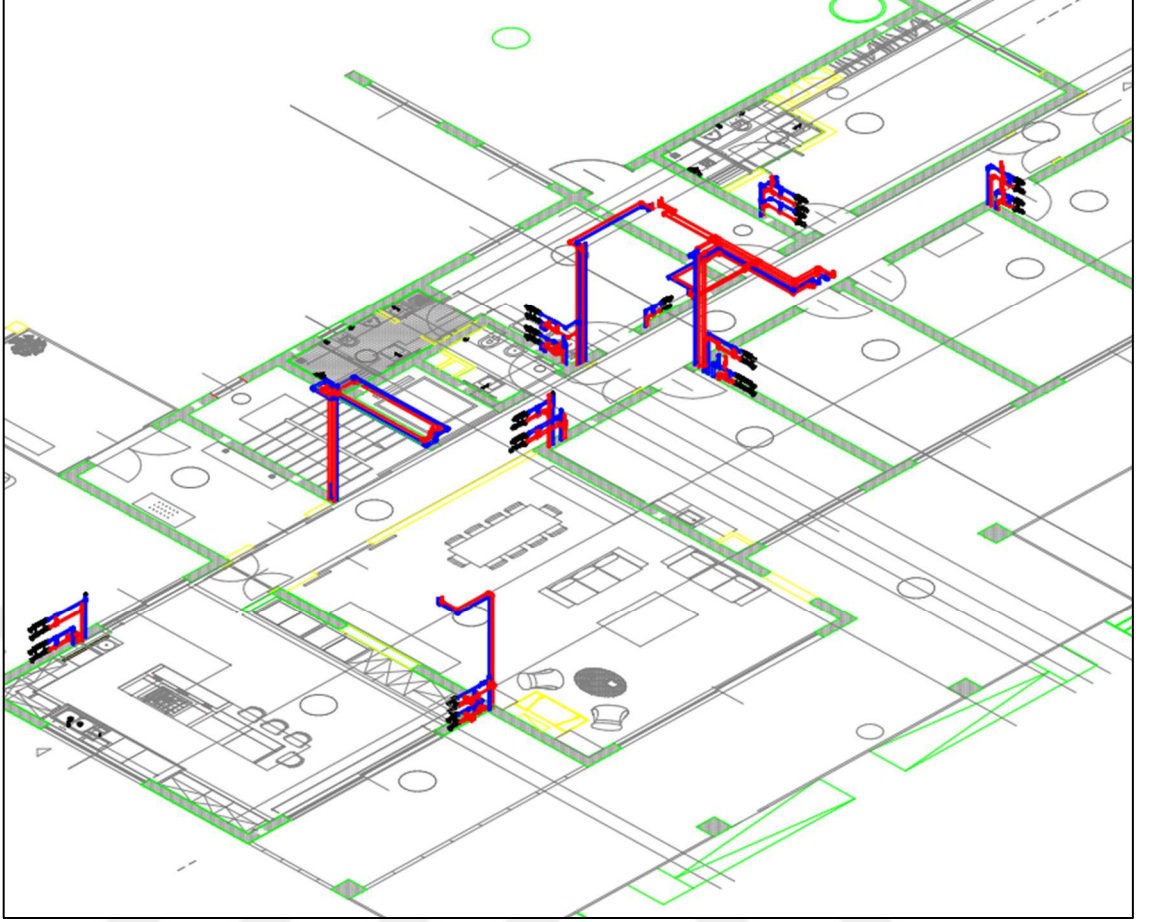
Kolektörlerin yerleri gerek görsel gerekse kullanım bakımından sıkıntı oluşturmayacak ve hitap ettikleri mahallere yakın olacak şekilde belirlenir. Kolektörlerin yerleşimleri ve kolektörlere giden hatlar Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te gösterilmektedir. Kolektörlere bağlanacak boru sayısı ve çapları, boruların içindeki basınç kayıpları 20 Pa değerini aşmayacak şekilde dizayn edilmiştir. Her bir borunun uzunluğu da en fazla 90 m. olacak şekilde tasarlanmıştır. Kolektör sayıları ve bu kolektörlere bağlanan boru sayıları Tablo 5.18'te gösterilmektedir.

Tablo 5.15 : Kolektörlere bağlanan boru sayıları ve kolektör adetleri.

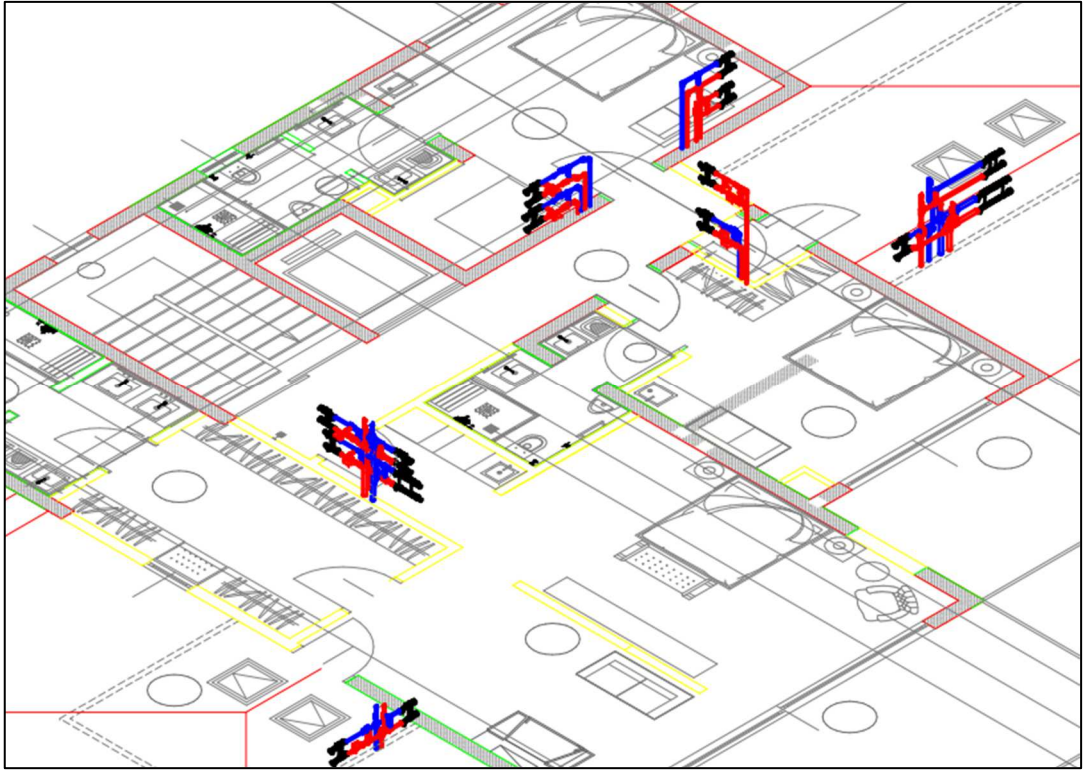
Kolektöre bağlanan boru sayısı	Kolektör Adetleri
2 ağızlı	11
3 ağızlı	2
4 ağızlı	9
6 ağızlı	2



Şekil 5.12 : Bodrum katta kolektörlere giden hatların üç boyutlu gösterimi.

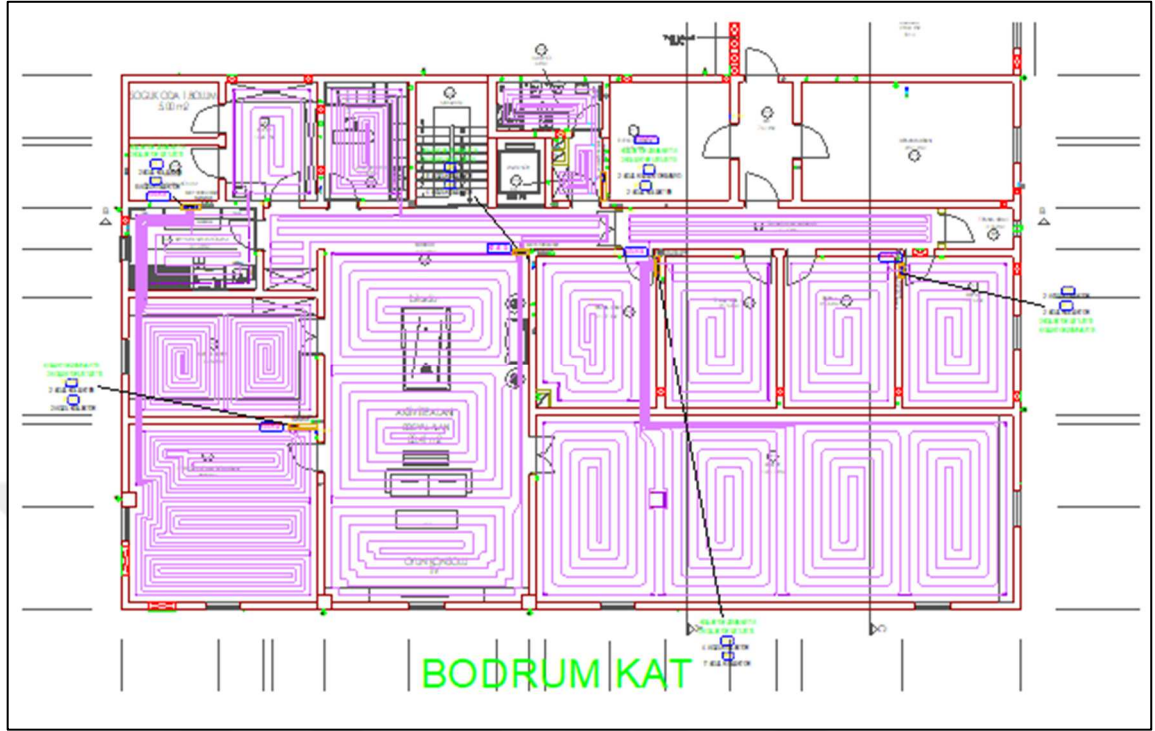


Şekil 5.13 : Zemin katta kolektörlere giden hatların üç boyutlu gösterimi.

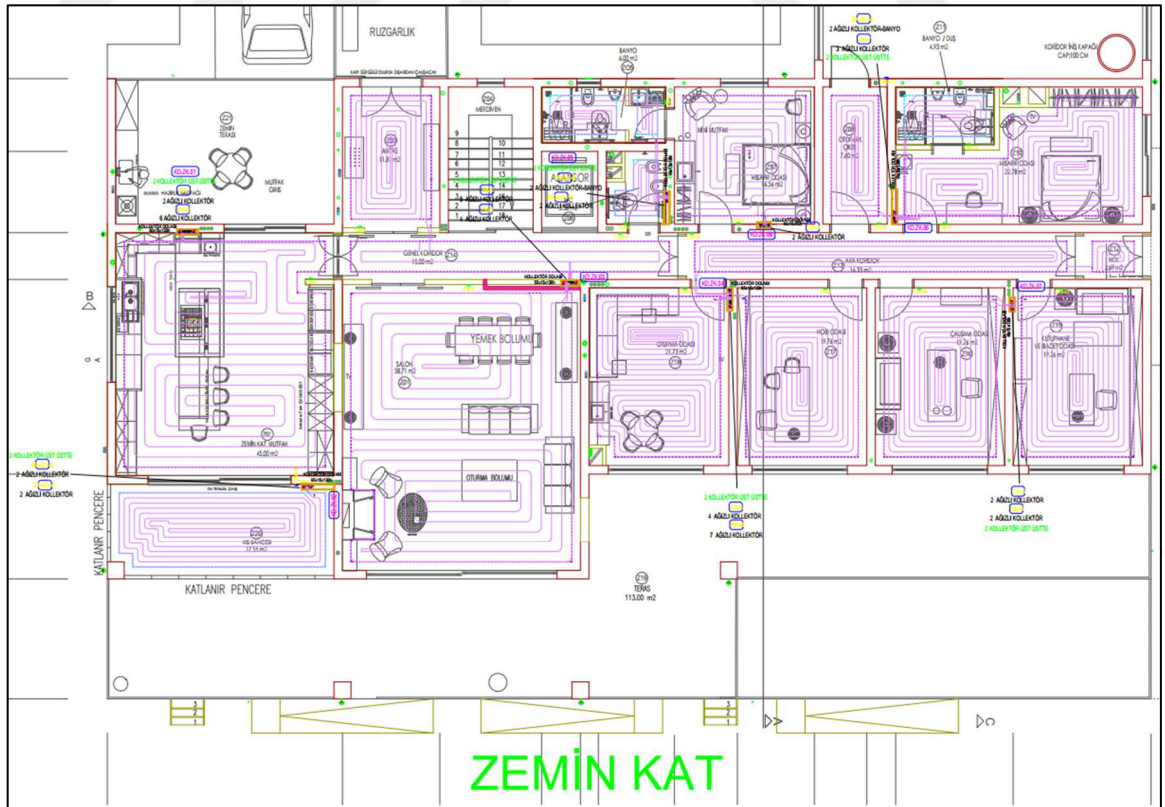


Şekil 4.14 : 1. katta kolektörlere giden hatların üç boyutlu gösterimi.

Döşemeden ısıtma/serinleme sisteminin katlara göre tesisat projesi Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



Şekil 5.15 : Bodrum kat için döşemeden ısıtma/serinletme tesisat projesi.

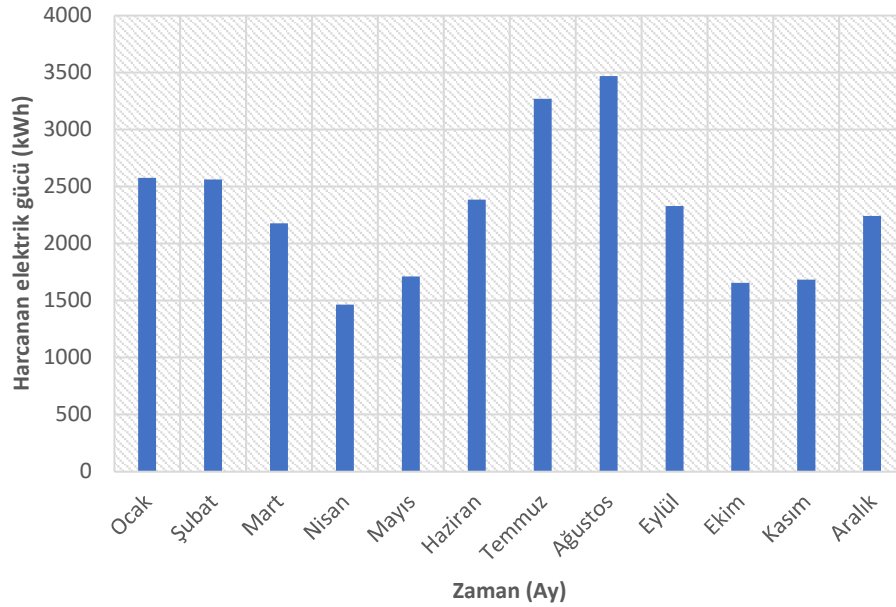


Şekil 5.16 : Zemin kat için döşemeden ısıtma/serinletme tesisat projesi.

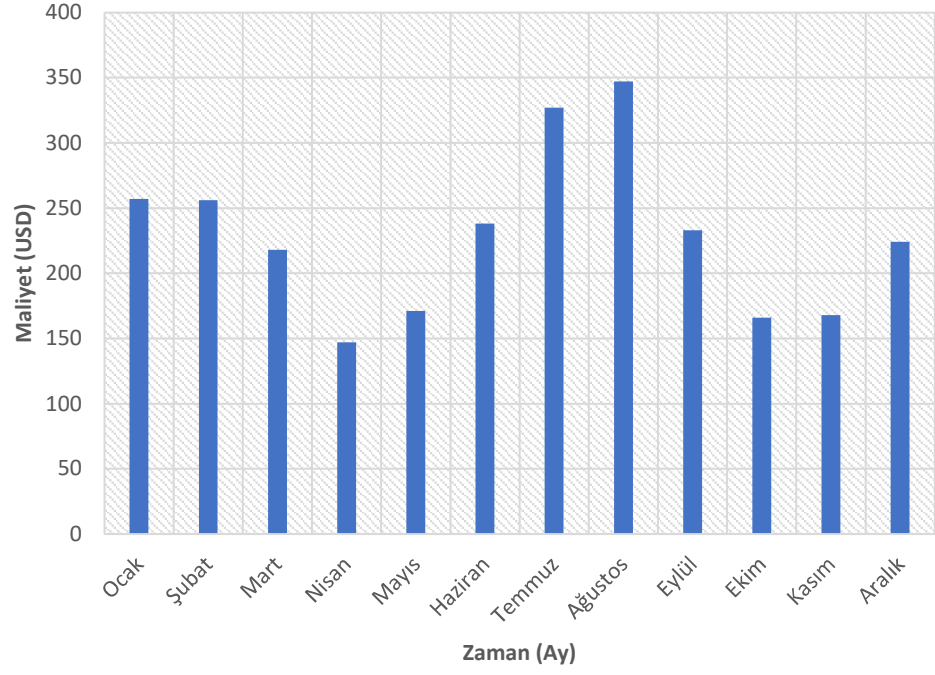
6. DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR

Yerden serinletme sisteminin mahalleden aldığı ısı miktarı bulunduğundan sonra binada toplamda ne kadar soğutma yapıldığı bulunmuştur. İstanbul dış hava sıcaklık şartlarına göre toprak kaynaklı ısı pompasına giden su sıcaklıkları bulunmuştur. Bulunan su sıcaklıkları kullanılarak, toprak kaynaklı ısı pompasıyla çalışan yerden serinletme sisteminin yıl boyunca harcayacağı elektrik gücü bulunmuştur. Üretici firma kataloglarından alınan soğutma değerlerine göre iç ve dış ünitelerin yılın en sıcak gününe göre kapasiteleri belirlenmiştir. Yılın en sıcak olduğu döneme göre seçilecek olan iç ünitelerin ve bu iç ünitelere göre seçilmiş olan dış ünitenin harcayacağı elektrik gücü hesaplanmıştır. Belirlenmiş olan elektrik değerleri yerden serinletme sisteminin harcayacağı miktar ile karşılaştırılmıştır ve elde edilen sonuca göre de hangi sistemin daha az enerji harcayacağı tespit edilmiştir.

Toprak kaynaklı ısı pompasıyla çalışan yerden serinletme sistemi için yapılan hesaplamalardan elde edilen aylık elektrik harcama miktarı ve maliyetleri Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmektedir.

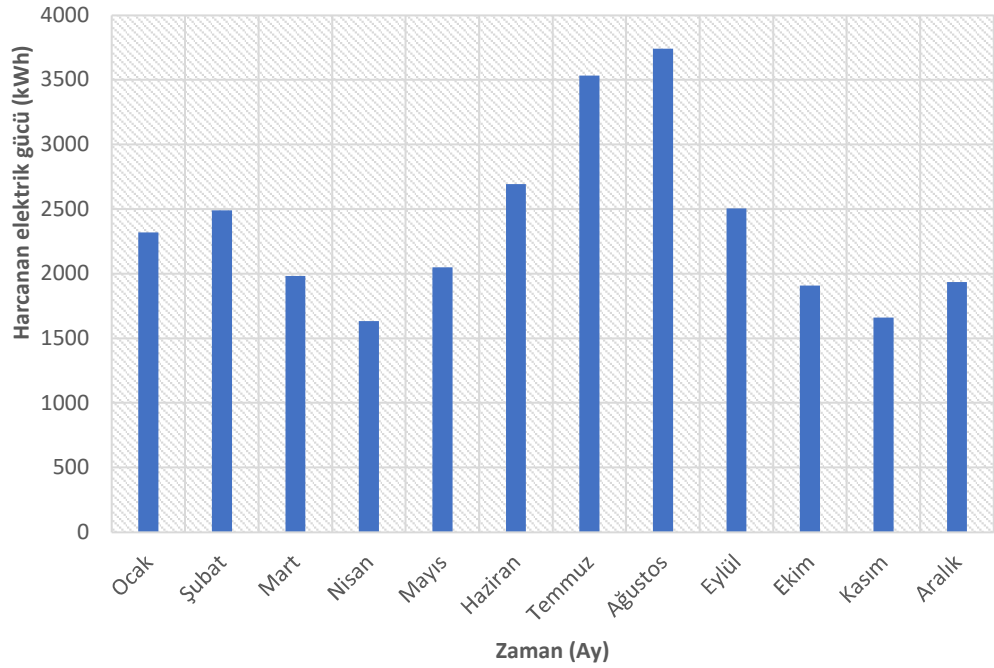


Şekil 6.1 : Toprak kaynaklı ısı pompasının ay bazında harcadığı elektrik miktarı.

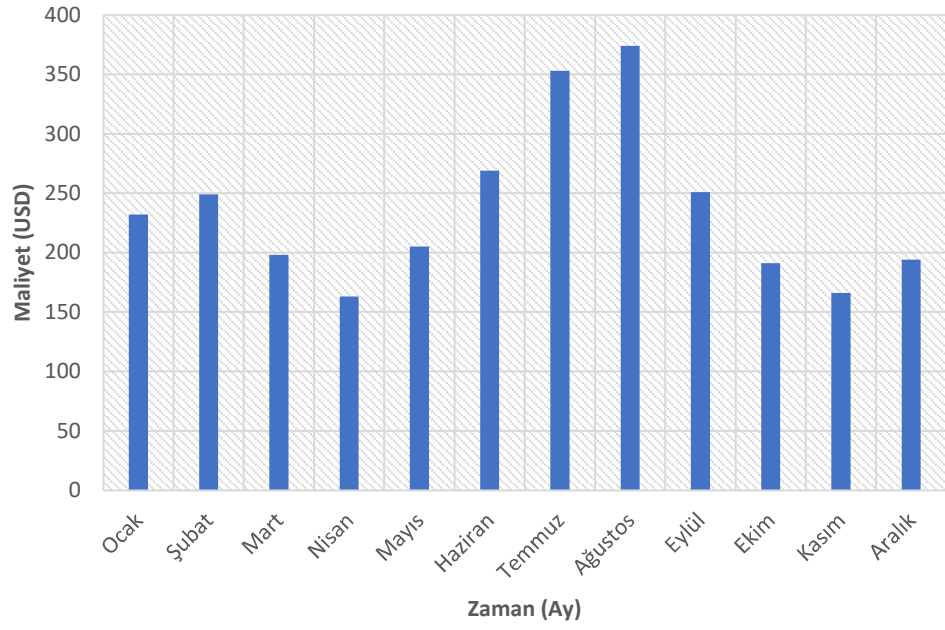


Şekil 6.2 : Toprak kaynaklı ısı pompasının aylara göre elektrik tüketim maliyeti (USD).

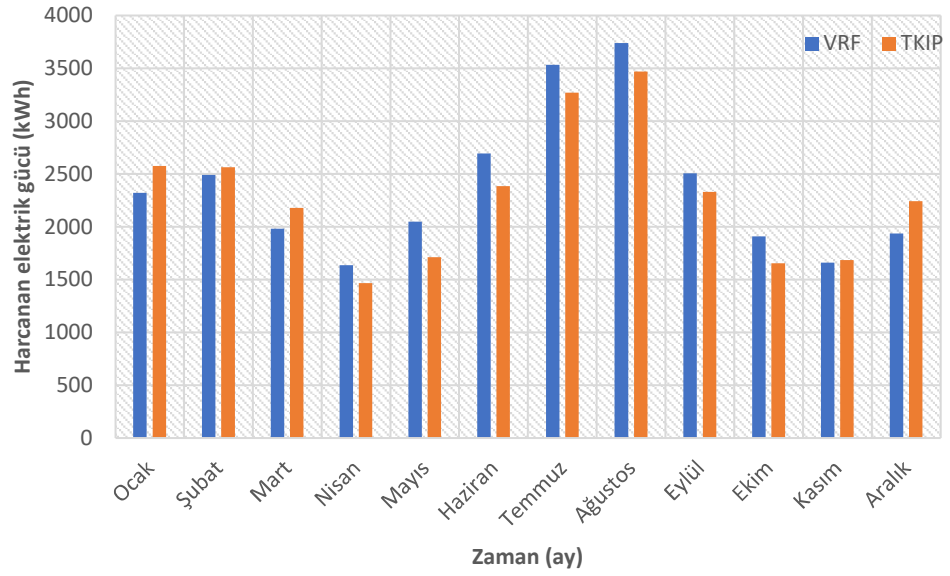
VRF sistemi için yapılan hesaplamalardan elde edilen aylık elektrik harcama miktarı ve maliyetleri Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te gösterilmektedir.



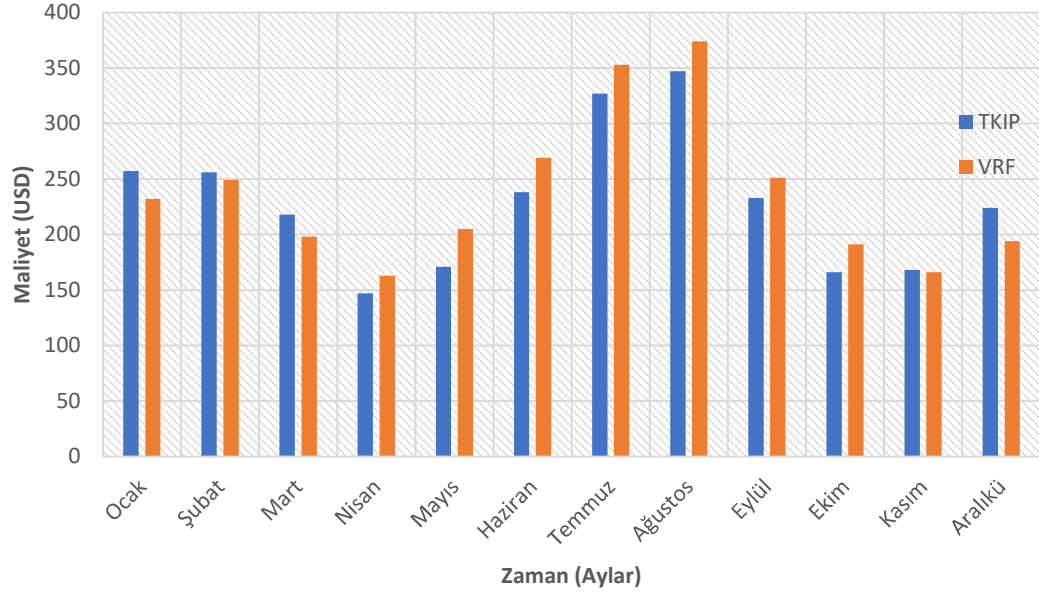
Şekil 6.3 : VRF sisteminin aylara göre harcadığı elektrik miktarı.



Şekil 6.4: VRF sisteminin aylara göre elektrik tüketim maliyeti (USD).



Şekil 6.5 : VRF ile TKIP sistemlerinin aylara göre harcadığı elektrik güçleri.



Şekil 6.6 : VRF ile TKIP sistemlerinin aylara göre elektrik tüketim maliyeti (USD).

Şekil 6.5 ve 6.6 incelendiğinde, sistemlerin elektrik tüketimleri yaz ve kış iklimasında farklılık göstermektedir. VRF sisteminin kış aylarındaki maliyeti 675 USD iken TKIP sisteminin toplam maliyeti 737 USD olmaktadır. Böylece VRF sistemi kış aylarında TKIP sistemine göre %9 daha avantajlı olduğu görülmektedir. VRF sisteminin yaz aylarındaki maliyeti 996 USD iken TKIP sisteminin toplam maliyeti 912 USD olmaktadır. Buna göre yaz aylarında durumun tam tersi toprak kaynaklı ısı pompasının VRF sistemine nazaran %9 daha avantajlı olduğu görülmektedir. Güz döneminde ise havanın nispeten sıcak olduğu eylül ekim aylarında VRF sisteminin tüketimi %7 fazla olup, bahar aylarında havanın ısınmasıyla birlikte TKIP ile VRF sisteminin tüketim farkı %5 mertebelerinde çıkmaktadır. VRF Sisteminin TKIP sistemine göre en avantajlı olduğu ocak ayında bile aradaki fark %11 mertebelerinde iken, TKIP sistemi tüketiminin VRF sistemine göre en düşük olduğu mayıs ayında aradaki fark %20 mertebesinde. Bu sebeplerle genel olarak TKIP, VRF sisteme göre daha avantajlıdır. TKIP sisteminin yıl boyu harcadığı toplam elektrik tüketimi miktarı 27524 kWh olup, VRF sistem ise yıl boyunca 28449 kWh tüketim yapmaktadır. Sadece soğutma şartlarını dikkate aldığımızda TKIP sistemi soğutma yapılan aylar boyunca toplam tüketimi 9122 kWh olmakta iken VRF sisteminin toplam tüketim değeri 9967 kWh olmaktadır. Buradan görüldüğü üzere TKIP sistemi soğutma şartlarında %9 oranında daha avantajlıdır. Isıtma durumunda ise TKIP sisteminin

toplam tüketimi 7379 kWh iken VRF sisteminin toplam tüketimi 6744 kWh olmaktadır. Buna göre VRF sistemi TKIP sistemine göre %9 daha avantajlıdır.

TKIP sisteminin yıl boyunca toplam elektrik tüketim maliyeti 2752 USD iken VRF sistemi için bu değer 2845 USD olmaktadır. Ancak sadece soğutmanın yapıldığı bahar ve yaz aylarını dikkate aldığımızda TKIP sisteminin tüketim bedeli 1629 USD olup, VRF sisteminin tüketim bedeli 1806 USD olmaktadır. Görüldüğü üzere TKIP sistemi yaklaşık %9.8 oranında kazanç sağlamaktadır. Isıtmada ise tam tersi bir durum söz konusu olup, TKIP sisteminin tüketim bedeli 1123 USD olup, VRF sisteminin tüketim bedeli ise 1039 USD'dir. Buradan da görüldüğü üzere, ısıtma durumunda VRF sistemi %7.5 oranında daha avantajlı olmaktadır.

Projelendirilen binada uygulanan toprak kaynaklı ısı pompasıyla çalışan yerden ısıtma/serinletme ve VRF sistemlerinin yatırım maliyetleri de hesaplanmıştır.

Sistemlerin yatırım maliyetleri hesaplanırken Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın inşaat birim fiyatlandırma verilerinden faydalanılmıştır [27]. Hesaplanan maliyetler projelendirilen bina için, TKIP kullanılması durumunda, 26193.29 USD iken; VRF sistemi için 16363.44 USD'dir.

KAYNAKÇA

- [1] **Özsöz, M.** (2014). AB. 2030 İklim ve Enerji Paketi Üzerinde Anlaşmaya Vardı. *Ekonomik Forum*. 64-68.
- [2] **Yılmaz, E. A. & Can Öziç, H.** (2018). *Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri*.
- [3] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2016). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri*. Ankara.
- [4] **Türk Standartları Enstitüsü.** (2013). TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları.
- [5] **Lubis, I. L.** (2011). *Thermodynamic analysis of a hybrid geothermal heat pump system*.
- [6] **Zhang, L.** (2017). *Energy Saving Analysis of Ground Source Heat Pump Combined with Floor Radiant Air Conditioning System*.
- [7] **Omer, A. M.** (2006). *Ground Source Heat Pumps Systems and Applications*.
- [8] **Zhou, X.** (2019). *Thermal Comfort Under Radiant Asymmetries of Floor Cooling Systems in 2 h and 8 h Exposure Durations*.
- [9] **Kalma'r, Ferenc** (2017). *Impact of Elevated Air Velocity on Subjective Thermal Comfort Sensation Under Asymmetric Radiation and Variable Airflow Direction*.
- [10] **Zarella, A.** (2014). *Radiant Floor Cooling Coupled with Dehumidification Systems in Residential Buildings: A Simulation-based Analysis*.
- [11] **Romani, J. Perez, G. de Gracia, A.** (2016). *Experimental Evaluation of a Cooling Radiant Wall Coupled to a Ground Heat Exchanger*.
- [12] **Gao, Song** (2017). *Design Method of Radiant Cooling Area Based on the Relationship Between Human Thermal Comfort and Thermal Balance*.
- [13] **Kitagawa, Koichi** (1999). *Effect of Humidity and Small Air Movement on Thermal Comfort Under a Radiant Cooling Ceiling bu Subjective Experiments*.
- [14] **Tang, Haida** (2016). *Theoretical and Experimental Study of Condensation Rates on Raidant Cooling Surfaces in Humid Air*.
- [15] **Cen, Chao** (2018). *Experimental Comparison of Thermal Comfort During Cooling with a Fan Coil System and Radiant Floor System at Varying Space Heights*.
- [16] **Zhang, L. Z.** (2003). *Indor Humidity Behaviors Associated with Decoupled Cooling in Hot and Humif Climates*.
- [17] **Steriu, Corina** (1999). *Energy and Peak Power Savings Potential of Radiant Cooling Systems in US Commercial Buildings*.

- [18] **Bojic, Milorad** (2015). *Decreasing Energy Use adn Inflence to Environment by Raidant Panel Heating Using Different Energy Sources.*
- [19] **Kosir, Mitja** (2010). *Alternative to the Conventional Heating and Cooling Systems in Public Buildings.*
- [20] **Şahin, G. & Varol D.** (2012). *Döşemeden (Yerden) Isıtma Sistemlerinde Hesap Yöntemi.*
- [21] **ASHRAE.** (2017). *ASHRAE Pocket Guide for Air Conditioning, Heating, Venitlation, Refrigeration.* 219-238.
- [22] **Tamer, Ş.** (1990). *Klima ve Havalandırma.* 2. Baskı. Ankara: Metesan Baskı Tesisleri.
- [23] **Makine Mühendisleri Odası.** *Kalorifer Tesisatı.* Aralık (2003) Ankara: Özkan Matbaacılık.
- [24] **Doğan, V. & Çalışır O.** (2012). *Döşemden (Yerden) Isıtma Sistemlerinde Hesap Yöntemi.*
- [25] **Doğan, V.** (2003). Su-Toprak Kaynaklı Isı Pompaları. *Tesisat Mühendisliği*, 57-71.
- [26] Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (1981-2010). **İstanbul ili sıcaklık verileri.** <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL> (28 Nisan 2020).
- [27] **T.C ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI.** (2020). *İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayiç Listeleri.*