İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'NİN FARKLI DERECE-GÜN BÖLGELERİNDE YER ALACAK ÖRNEK BİR KONUT İÇİN UYGUN MEKANİK TESİSAT SİSTEMİNİN TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Evren ARSLANER

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'NİN FARKLI DERECE-GÜN BÖLGELERİNDE YER ALACAK ÖRNEK BİR KONUT İÇİN UYGUN MEKANİK TESİSAT SİSTEMİNİN TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Evren ARSLANER
(301151018)

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Ü. Murat ÇAKAN

HAZİRAN 2018

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301151018 numaralı Yüksek Lisans Mustafa Evren Arslaner, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'NİN FARKLI DERECE-GÜN BÖLGELERİNDE YER ALACAK ÖRNEK BİR KONUT İÇİN UYGUN MEKANİK TESİSAT SİSTEMİNİN TAYİNİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Ü. Murat ÇAKAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Gülten MANİOĞLU** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Derya Burcu ÖZKAN .....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 04 Mayıs 2018
Savunma Tarihi : 07 Haziran 2018

Aileme,

ÖNSÖZ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile dünyanın enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için başvurulan tükenebilir kaynakların sınırlı olması ve yüksek sera gazı salımıyla çevreye verilen zarar, insanları enerji ve çevre konularında daha bilinçli hareket etmeye zorlamıştır.

Binalar ülkemizde ve dünyada önemli ölçüde enerji tüketen sektörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir bir çevre ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için binalarda enerji tüketimi minimize edilmelidir. Tez çalışması kapsamında, binalarda en önemli enerji tüketim kalemlerinden birisi olan iklimlendirme sistemleri ele alınarak, iklim bölgesiyle seçilen mekanik iklimlendirme sisteminin uygunluğu araştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışması boyunca bana her zaman destek olup emeğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Ü. Murat ÇAKAN'a, tavsiyeleriyle bana yol göstererek her zaman yanımda olan sayın Fatma AKIM ve Süleyman AKIM'a, beni bugünlere getiren sevgili aileme, değerli çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2018

M. Evren ARSLANER
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Amaç 2
1.2 Literatür Araştırması 2
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA TASARIMI **7**
2.1 Binalarda Sürdürülebilirlik 7
2.1.1 Binalarda enerji tüketim verileri 11
2.2 Yönetmelikler ve Mevzuatlar 12
2.2.1 Dünyada yeşil bina değerlendirme sistemleri 12
2.2.1.1 BREEAM 12
2.2.1.2 LEED 13
2.2.2 Türkiye'de sürdürülebilirlik mevzuatları 14
2.2.2.1 Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği 14
2.2.2.2 Enerji verimliliği kanunu 14
2.2.2.3 Binalarda enerji performans yönetmeliği 15
2.3 Sürdürülebilir Bina Tasarımında Enerji Simülasyonunun Yeri 16
2.3.1 Simülasyon girdileri 17
2.3.2 Carrier HAP yazılımı 18
3. BİNA MODELİ VE YÖNTEM **23**
3.1 Bina Özelliklerinin Belirlenmesi 23
3.1.1 Tasarım parametreleri 23
3.1.1.1 İklim verilerinin belirlenmesi 23
3.1.1.2 Bina kabuğu özelliklerinin belirlenmesi 25
3.1.2 Isı kaybı/kazancı hesabının yapılması 25
3.2 Simülasyonda Karşılaştırılacak Mekanik Sistemler 26
3.2.1 Bireysel kombi- split klima sistemi 27
3.2.2 Havadan suya ısı pompası 29
3.2.3 Toprak kaynaklı ısı pompası 31
3.2.3.1 Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası 31
3.2.3.2 Dikey sondaj tipi toprak kaynaklı ısı pompası 32
4. ENERJİ SİMÜLASYONU **35**
4.1 Binanın Yıllık Isıtma-Soğutma Yükünün Hesaplanması 35
4.2 İklimlendirme Sistemlerinin Derece-Gün Bölgelerindeki Enerji Tüketimlerinin Hesaplanması 37

4.2.1 Kombi-multi split sistemi 37
4.2.2 Hava kaynaklı ısı pompası 38
4.2.3 Toprak kaynaklı ısı pompası 40
4.3 Farklı Derece-Gün Bölgeleri İçin İklimlendirme Sistemlerinin CO_2 Emisyonlarının Hesaplanması 51
4.4 Mekanik Sistemlerin Karşılaştırılması 52
5. MALİYET ANALİZİ 57
5.1 Derece-Gün Bölgelerinde İklimlendirme Sistemlerinin Yıllık Enerji Faturaları ve Geri Ödeme Sürelerinin Hesaplanması 57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 61
KAYNAKLAR 65
EKLER 69
ÖZGEÇMİŞ 71

KISALTMALAR

AB : Avrupa Birliği
ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers(Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme)
BREEAM : BRE Enviromental Assessment Method
COP : Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
EER : Energy Efficiency Ratio **(**Enerji Tasarruf Oranı)
GSYH : Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HAP : Hourly Analysis Programme
HVAC : Heating, Ventilation, Air Conditioning
KT : Kuru Termometre Sıcaklığı
LEED : Leadership in Energy and Enviromental Design
LWC : Leaving Water Condenser **(**Kondenser Su Çıkış Sıcaklığı)
LWE : Leaving Water Evaporator **(**Evaporatör Su Çıkış Sıcaklığı)
OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
PV : Fotovoltaik
TA_{MAX} : Maksimum Dış Hava Sıcaklığı
$TA_{MİN}$: Minimum Dış Hava Sıcaklığı
TEP : Ton Eşdeğer Petrol
TFM : Transfer Function Method (Transfer Fonksiyonu Metodu)
TRNSYS : Transient System Simulation Tool (Zamana Bağlı Simülasyon Aracı)
U : Toplam Isı Transfer Katsayısı
VAV : Variable Air Volume (Değişken Hava Debisi)
VRF : Variable Refrigerant Flow (Değişken Soğutucu Akışkan Debisi)
YT : Yaş Termometre Sıcaklığı

SEMBOLLER

$q_{e.\tau}$	**:** Bina kabuğundan kaynaklanan ısı kazancı
ρ	**:** Suyun yoğunluğu
A	**:** Yüzey alanı (m^2)
b_n, c_n, d_n	**:** Transfer fonksiyonu sabitleri
COP_{FL}	**:** Full load coefficient of performance **(**tam yükteki performans katsayısı)
COP_{PL}	**:** Partial load coefficient of performance **(**Kısmi Yükteki Performans Katsayısı)
c_p	**:** Suyun özgül ısısı (kJ/kg K)
EWT_C	**:** Cooling season entering water temperature (soğutma sezonu su giriş sıcaklığı)
EWT_H	**:** Heating season entering water temperature (ısıtma sezonu su giriş sıcaklığı)
EWT_{MAX}	**:** Maximum entering water temperature (maksimum su giriş sıcaklığı)
$EWT_{MİN}$	**:** Minimum entering water temperature (minimum su giriş sıcaklığı)
M_s	**:** Sıcak su debisi (m^3/s)
n	: Toplam İndeksi
PLF	**:** Partial load factor **(**Kısmi yük çalışma faktörü)
PLR	**:** Partial load ratio **(**Kısmi yük çalışma oranı)
Q	**:** Kullanım sıcak suyu için ihtiyaç duyulan enerji (kW)
$t_{(e,\tau-n\delta)}$	**:** (e,τ-nδ) anında güneş radyasyonu kaynaklı ısı transfer etkileri katılarak hesaplanan ve taşınım ısı transferi için kullanılan havanın sıcaklık değeri
T_a	**:** Dış Hava Sıcaklığı
$T_ç$	**:** Kullanım sıcak suyu çıkış sıcaklığı
T_g	**:** Kullanım sıcak suyu giriş sıcaklığı
t_{rc}	**:** Sabit iç ortam sıcaklığı
υ_0, υ_1, υ_2	**:** Oda transfer fonksiyonu sabitleri
w_1, w_2	**:** Oda transfer fonksiyonu sabitleri
δ	: Zaman aralığı (saat)
τ	: Zaman (saat)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ülkelerin başlıca enerji göstergeleri. 7
Çizelge 2.2 : Dünyada ticari ve konut binalarının enerji tüketimleri. 8
Çizelge 2.3 : Dünyadaki konutlarda enerji tüketimi dağılımı. 11
Çizelge 3.1 : Türkiye'nin derece-gün iklim bölgeleri için bina kabuğu termal özellikleri. 25
Çizelge 3.2 : Konut binalarında öngörülen sıcak su ihtiyaçları. 25
Çizelge 3.3 : İklimlendirme sistemleri genel özellikleri. 27
Çizelge 3.4 : Sistem sıcaklık rejimleri. 30
Çizelge 4.1 : Derece-gün bölgeleri için yıllık iklimlendirme ve kullanım sıcak suyu enerji ihtiyaçları. 37
Çizelge 4.2 : Beş derece-gün bölgesi için kombi- multi split sistemi yıllık enerji tüketimi. 37
Çizelge 4.3 : Farklı dış hava sıcaklıkları için hava kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu COP değerleri. 39
Çizelge 4.4 : Farklı dış hava sıcaklıkları için hava kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu EER Değerleri. 39
Çizelge 4.5 : Hava kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu farklı dış hava sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerde elektrik tüketim değerleri. 39
Çizelge 4.6 : Hava kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu farklı dış hava sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerde elektrik tüketim değerleri. 40
Çizelge 4.7 : İzmir ili meteorolojik verileri. 42
Çizelge 4.8 : Birinci derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri. 42
Çizelge 4.9 : Birinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri. 43
Çizelge 4.10 : Birinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri. 43
Çizelge 4.11 : İstanbul ili meteorolojik verileri. 44
Çizelge 4.12 : İkinci derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri. 45
Çizelge 4.13 : İkinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri. 45
Çizelge 4.14 : İkinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri. 45
Çizelge 4.15 : Ankara ili meteorolojik verileri. 46
Çizelge 4.16 : Üçüncü derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri. 46
Çizelge 4.17 : Üçüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri. 47
Çizelge 4.18 : Üçüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri. 47
Çizelge 4.19 : Van ili meteorolojik verileri 48
Çizelge 4.20 : Dördüncü derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri. 48

Çizelge 4.21 : Dördüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri. 48
Çizelge 4.22 : Dördüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri. 49
Çizelge 4.23 : Erzurum ili meteorolojik verileri. 49
Çizelge 4.24 : Beşinci derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri. 50
Çizelge 4.25 : Beşinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri. 50
Çizelge 4.26 : Beşinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri. 50
Çizelge 4.27 : Mekanik sistemlerin beş derece-gün bölgesinde yıllık CO_2 emisyonları. 52
Çizelge 5.1 : Birinci derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri. 58
Çizelge 5.2 : İkinci derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri. 58
Çizelge 5.3 : Üçüncü derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri. ... 59
Çizelge 5.4 : Dördüncü derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri. 60
Çizelge 5.5 : Beşinci derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri. 60
Çizelge 6.1 : İklimlendirme sistemlerinin beş derece-gün bölgesi için özet tablosu. 63
Çizelge A.1 : İklimlendirme sistemleri ilk yatırım ve bakım maliyetleri. 69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Ülkemizde sektörlere göre enerji tüketimleri 8
Şekil 2.2 : Dünya'da bina sektörünün CO_2 emisyon yüzdesi. 9
Şekil 2.3 : Binalar için ömür boyu akış diyagramı. 9
Şekil 2.4 : Türkiye bina stoğu. 10
Şekil 2.5 : Türkiye'de farklı sektörlerdeki CO_2 emisyonu (1000 ton). 11
Şekil 2.6 : Performansa dayalı bina tasarımı ve değerlendirmesi. 17
Şekil 2.7 : Tasarım aşamasında simülasyonun yeri. 18
Şekil 3.1 : Konut mimari plan çizimi. 23
Şekil 3.2 : Türkiye'nin derece-gün bölgeleri. 24
Şekil 3.3 : İş günlerinde konut günlük kullanım takvimi. 26
Şekil 3.4 : Bacalı kombi montajı. 27
Şekil 3.5 : Hermetik kombi ekipmanları. 28
Şekil 3.6 : Split klima termodinamik çevrimi. 29
Şekil 3.7 : Monoblok hava kaynaklı ısı pompası. 30
Şekil 3.8 : Havadan suya ısı pompası çalışma prensibi(monoblok). 31
Şekil 3.9 : Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası. 32
Şekil 3.10 : Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası borulama çeşitleri. 32
Şekil 3.11 : Dikey sondaj tipi toprak kaynaklı ısı pompası. 33
Şekil 4.1 : Dizayn ısıtma-soğutma yükleri ve kullanım sıcak suyu enerji ihtiyacı. ... 36
Şekil 4.2 : Beş derece-gün bölgesi için hava kaynaklı ısı pompası enerji tüketimleri. 40
Şekil 4.3 : Beş derece-gün bölgesi için toprak kaynaklı ısı pompası enerji tüketimleri. 51
Şekil 4.4 : Birinci derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri. 53
Şekil 4.5 : İkinci derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri. 53
Şekil 4.6 : Üçüncü derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri. 54
Şekil 4.7 : Dördüncü derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri. 55
Şekil 4.8 : Beşinci derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri. 55
Şekil 4.9 : Beş derece-gün bölgesi için tüm sistemlerin yıllık CO_2 emisyonları. 56
Şekil 6.1 : Beş derece-gün bölgesi için tüm mekanik sistemlerin yıllık enerji tüketimleri ve CO_2 emisyonları. 62

TÜRKİYE'NİN FARKLI DERECE-GÜN BÖLGELERİNDE YER ALACAK ÖRNEK BİR KONUT İÇİN UYGUN MEKANİK TESİSAT SİSTEMİNİN TAYİNİ

ÖZET

Dünya nüfusunun artması ve insanların refah seviyelerinin değişmesi sonucu enerji ihtiyacı her geçen yıl artış göstermektedir. Uzun dönem, artan enerji ihtiyacı tükenebilir kaynaklardan ve fosil yakıtlardan karşılanmış, bunun sonucunda atmosfere yapılan yoğun karbon emisyonuyla ekosisteme ciddi zararlar verilerek insanoğlu küresel ısınma tehdidiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu durum dünyada enerji politikalarının gözden geçirilmesine neden olmuş, tüm ülkeleri enerji tasarrufu ve enerjiyi verimli kullanmaya dair tedbirler almaya mecbur kılmıştır.

Gerek dünyada gerekse ülkemizde insanların yaşam alanlarını oluşturan binalar en önemli enerji tüketen kalemler arasında yer almaktadır. Ülkemizde son yıllarda hızlı bir gelişim gösteren inşaat sektörü kapsamında, büyük şehirler başta olmak üzere bir çok şehirde konut inşaatı sayısı artış göstermiştir. Farklı bölgelerde hızla yapılan konutlarda gerekli enerji tasarrufu ve verimliliği tedbirleri düşünülerek, sürdürülebilir yapılar yapılmasına yoğunlaşıldığında önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanarak ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı azaltılabilecektir. Yapının sürdürülebilirliğinde en önemli paremetrelerden birisi uygun mekanik tesisat sisteminin seçilmesidir. Mimari anlamda enerji verimli stratejilerin uygulanması tek başına yeterli olamayacağı için mimariye ve iklime uygun mekanik tesisat sisteminin belirlenmesi, yapının sürdürülebilirliğinde pay sahibi olup, önemli ölçüde enerji tasarrufu elde edilmesini sağlayacaktır.

Tez çalışmasında, Türkiye'nin beş derece-gün iklim bölgesi için seçilen örnek bir konutta uygun mekanik tesisat sisteminin tayini saatlik simülasyon programı ile irdelenmiştir. Bu kapsamda ele alınan konut, beş iklim bölgesinde standartlarca belirlenen minimum bina kabuğu şartlarını sağlayacak şekilde modellenip ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu hazırlanması işlemlerinde kullanılmak üzere üç farklı mekanik tesisat sisteminin yıllık enerji tüketimleri, yıllık CO_2 emisyonları ve geri dönüş süreleri her iklim bölgesi için hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Bina modellemesi simülasyon programında yapılarak, tüm bina elemanları, iç kazançlar ve aydınlatma yükleri programa tanımlanmıştır.

Simülasyonlarda incelenen mekanik tesisat sistemlerinden, referans olarak alınan sistemde ısıtma ve kullanım sıcak suyu ihtiyacının duvar tipi kombi ile, soğutma ihtiyacının ise multi split klima ile karşılandığı düşünülmüştür. Bu sistemlere alternatif olarak ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu ihtiyacını karşılamak üzere hava kaynaklı ve yatay serme toprak kaynaklı ısı pompalarının yıllık enerji tüketimleri simülasyon programıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında, hava kaynaklı ısı pompasının farklı dış hava sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimleri ile, toprak kaynaklı ısı pompasının toprak devresinde farklı mevsimlerde oluşan farklı su giriş sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerde elektrik

tüketim verileri programa işlenmiştir. Hesaplanan enerji tüketimlerinden yola çıkılarak, birim tüketilen enerji başına atmosfere salınan CO_2 miktarı Excel programına işlenerek, karşılaştırılan iklimlendirme sistemlerinin her derece-gün bölgesinde yıllık CO_2 emisyonları hesaplanmıştır. Mekanik tesisat sistemlerinin her bölgedeki yıllık enerji faturaları, tüketilen enerjinin birim maliyetinin simülasyon programına işlenmesi sonucu simülasyon programının çıktısı olarak elde edilmiştir.

Simülasyonlar sonucunda beşinci iklim bölgesi dışındaki tüm bölgelerde ısı pompası alternatiflerinin ikisi de binanın yıllık enerji harcamalarını ve CO_2 emisyonlarını önemli ölçüde düşürmüştür. Geri ödeme süreleri düşünüldüğünde birinci ve ikinci iklim bölgelerinde hava kaynaklı ısı pompası referans iklimlendirme sistemine alternatif olarak kullanılabilmektedir. Üçüncü iklim bölgesinde, hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompalarının geri ödeme süreleri birbirine yakın olduğundan, enerji tüketimi ve CO_2 emisyonlarında toprak kaynaklı ısı pompası daha büyük oranda bir düşüş sağladığı için üçüncü bölgede toprak kaynaklı ısı pompası daha iyi bir alternatif olarak göze çarpmaktadır. Dördüncü ve beşinci iklim bölgelerinde ısı pompası sistemlerinin geri ödeme süreleri yüksek olduğundan söz konusu sistemlerin bu bölgelerde ekonomik bir çözüm olmadıkları tayin edilmiştir.

IDENTIFICATION OF OPTIMUM MECHANICAL SYSTEM IN A RESIDENTIAL BUILDING FOR DIFFERENT CLIMATE ZONES OF TURKEY

SUMMARY

Energy demand in the world increases continuously due to the population rise and prosperity level change of the people. Especially after the industrial revolution and new technological improvements, energy demand has risen rapidly and people have met this demand from limited fossil fuels for a long time. However this strategy damaged the ecosystem and nature significantly by means of high amount of carbon emissions to the atmosphere and as a result of this, global warming became a huge problem for humanity. Consequently, many countries started take significant energy efficiency measures to decrease energy consumption and increase energy efficiency.

One of the most energy consuming sector in the world are buildings. In many countries, special precautions are taken and significant legislative regulations are gone into operation to decrease energy consumption and increase sustainability in buildings sector. In addition, many countries started to give incentives to people who considers to use renewable energy strategies in their buildings. In Turkey, construction sector has expanded rapidly in the last few years. Many new buildings are constructed especially in the big cities and large portion of them are built as residentials. So, desiging and constructing these new buildings by considering energy efficiency and sustainability, may create significant decrease in energy consumption and by this way external dependence of our country in terms of energy may become lower.

Sustainability is mixture of different parameters which are related with architecture, mechanical and electrical systems and building material. It is such a concept that starts from buildng design and continues until the building ceases to live. The design, is one of the most important stage sustainable buildings because huge portion of energy efficient measures can be taken at this stage with considering several alternatives by all disciplines. Especially for mechanical system identification, engineers analyze different kinds of mechanical system depending on architecture and climatic conditions. Thus all alternative mechanical system cannot be gauged experimentally because of the lack of time and high costs, energy simulation softwares are good solutions for engineers to identify optimum mechanical systems. As the building modeled architecturally into the simulation tool, weather data and building envelope properties are entered into the program. The more detailed information entered to the simulation tool, the more realistic results can be obtained. Thus, mechanical systems have a significant portion of energy consumption. Architectural measures cannot be enough by itself to construct sustainable buildings. By choosing suitable mechanical system for a building, energy consumption and CO_2 emissions of the buildings can be decreased significantly.

In the scope of this thesis, an optimum mechanical system is aimed to be identified in a residential building for five degree-day zones of Turkey. In these climate zones, first one can be considered as the hottest one and the fifth one can be considered as the coldest one. From one to five, climate zones' heating degree days become higher and cooling degree days become lower. The building is consist of 50 m^2 and 3,5 meter height. Two people, both of them work in weekdays, were considered to be lived in this building. Thermal properties of building envelope is determined by the minimum Turkish Standard requirement. One representative city is chosen for each climate zone. Izmir, Istanbul and Ankara are selected representative cities for respectively first,second and third climate regions. The reason to be choosen these cities for first three region is, design and simulation weather informations were included automatically in simulation programme for these three cities. Van and Erzurum are selected to represent the fourth and fifth climate regions respectively. However, thus the simulation program does not include the climatic informations of these cities, cities that included in program databese and having similar climatic characteristics were taken into consideration. The similarity of these cities were identified by taking the cities that are in the same climatic region with Van and Erzurum according to Köppen Geiger Climate Classification. Idaho Twin Falls' climatic datas are taken for Van and Moscow's climatic datas are taken for Erzurum.

Three different mechanical system has been analyzed and hourly simulated for five different climate zones. These mechanical systems were compared by means of energy consumptions, energy bills, CO_2 emission and payback periods. For baseline mechanical system, heating demand is met by wall mounted condensing combi boiler, cooling demand is met by multi split air conditioning system. Two types of heat pump systems; air source heat pump and horizontal type ground source heat pump are modeled in the simulation program and compared with baseline mechanical systems. For air source heat pump, electrical consumptions in partial loads and for different air temperatures are determined. Technical parameter are taken from of Daikin Altherma catalogue. Electrical consumptions at different air temperatures and and partial loads are calculated with RC World 5 program. In addition, an auxiliary heater is added for air source heat pump to support the equipment especially for cold climates. For horizontal ground source heat pump, entering water temperatures are calculated by depending on outside air temperatures for heating and cooling seasons. Ground source heat pump technical parameters are taken from Canovate company. Electrical consumptions are determined for ground source heat pump in partial loads and different entering water temperatures. In addition a circulation pump is defined for ground side water circulation. Maximum and minimum entering water temperature values for ground source heat pump are taken from the manufacturer. Energy bills are also calculated from the hourly simulation program by entering the electrical and fuel rates. These rates are taken from Turkish Statistical Institution.

Annual energy consumptions of three mechanical systems are calculated for five different climate zones in Turkey. In all climate zones heat pump systems are decreased the energy consumption and CO_2 emissions significantly compared to combi boiler and multi split air conditioning system. For heating and domestic hot water production, air source heat pump and ground source heat pump are consumed %80 and %84 less energy in comparison with combi boiler system. These ratios are obtained %78 and %82 respectively in the second degree-day region. In the third climate zone air source heat pump decreased the energy consumption by %65 and

ground source heat pump decreased the energy consumption %82 in heating and domestic hot water production. In fourth and fifth degree day zones, air source heat pump decreased the energy consumption respectively by %50 and %18 when compared to combi boiler. On the other hand, ground source heat pump consumed %13 less energy in fourth region and %63 less energy in the fifth climate region for heating and domestic hot water production in comparison with combi boiler. As the heating degree days become higher and climate zone become colder, energy conversation of air source heat pump is decreaseddue to longer defrost times. For cooling, air source heat pump has reached maximum energy conservation in the second degree day zone by %28. The minimum energy conversation from air source heat pump is obtained inthe fifth climate region by %9. In the first, third and fourth climate regions, energy consumption for cooling decreased by %22, %24 and %18 respectively. For horizontal ground source heat pump, maximum energy conservation is obtained in the third climate zone by %57. The minimum energy conservation is obtained the fourth climate zone by %29. In the first,second and fifth climate zones, energy consumptions for cooling are decreased by %42, %43and %44 respectively.

When the CO_2 emissions are compared with each other for each degree day zone, it is obtained that in all regions except fifth one, heat pumps decreased the CO_2 emissions of reference system. Thus the fifth region is the coldest climate of Turkey and auxilary heater consumes much electrical energy, CO_2 emissions of air source heat pump is obtained higher than the reference combi boiler and multi split system. In the first climate zone, air source heat pump and horizontal ground source heat pump decreased the annual CO2 emissions respectively %36and %52 in comparison with reference system. In the second climate zone, these ratios are obtained as %40 and %52. For the third climate zone, ground source heat pump decreased the CO_2 emissions of combi boiler and multi split system by %60 which is the two times of air source heat pumps performance. In the fourth climate zone, %14 and %30 CO_2 emission decrese are obtained from air source heat pump and ground source heat pump respectively, when compared with reference system.In the final climate zone ground source heat pump decreased the CO_2 emissions %32 however air source heat pump increased the emissions by %21.

For the economical analysis, the initial investment and maintenance costs are taken directly from the manufacturers. When considered initial investments and annual energy bills together, it is obtained that air source heat pump is a good alternative mechanical system when compared to wall mounted combi boiler and multi split air conditioning system for first and second climate regions. For the third climatic region, payback periods of both air source heat pump and ground source heat pump are close to each other. Due to higher energy conversation and lower CO_2 emissions, horizontal ground source heat pump can be a better alternative system. In the fouth climatic region, although CO_2 emissions and annual energy bills of both heat pumps are lower than combi boiler and multi split alternative because of the high payback periods, both air source and horizontal ground source heat pump does not seem feasible investments. For the fifth climatic region, higher annual energy bills are obtained from air source heat pump alternative in comparison to combi boiler multi split alternative. So air source heat pump is not feaseble in terms of technically and economically. Even thogh horizontal ground source heat pump has lower annual energy bills and lower CO_2 emissions, it is not seemed to be a good a good choice by economically due to it’s high payback period.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan itibaren temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla enerji tüketmektedir. Zamanla yapılan keşifler ve icatlar ile insanoğlunun ihtiyaçları artmış olup, özellikle endüstriyelleşme ve sanayi devrimini takiben teknolojik çağ ile birlikte hızlanan gelişimin nüfus artışyla birleşmesi sonucu dünyanın enerji ihtiyacı hızla artış göstermiştir. İnsanoğlu enerji ihtiyacını uzun bir süre tükenebilir kaynaklar olan fosil yakıtlardan sağlamaya çalışmıştır. Ancak bu kaynakların kullanılması sonucu atmosfere yoğun sera gazı salımı yapılmış ve bu da tüm dünyayı küresel ısınma tehdidiyle karşı karşıya bırakmıştır. Hem enerji kaynaklarının azalması hem de doğaya verilen yoğun tahribat sonucu, enerji tüketimlerinin ve fosil yakıt kullanımının azaltılmasına dönük birçok araştırma yapılmış, dünyanın bir çok bölgesinde ulusal ve uluslararası protokoller imzalanıp yönetmelikler yürürlüğe sokularak enerjide tasarruf yöntemleri ve enerji temininde alternative enerji kaynaklarına yönelim konularında ülkelere belirli hedefler konulmuştur. Avrupa Birliği üye ülkeleri aldıkları kararlar ile 2020 ve 2030 yılları için önemli hedefler belirlemişlerdir. AB'nin 2030 İklim ve Enerji Paketi kapsamında aldığı kararlara göre, sera gazı emisyonunun %40 azaltılıp, alternative enerji kaynaklarının kullanım oranlarının %27'ye yükseltilmesi hedeflenmektedir [1].

Ülkemizde de son yıllarda çıkarılan kanunlar, standartlar ve yönetmeliklerle enerji tüketimleri azaltılıp, enerjide dışa bağımlılığın önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. 2007 yılında yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu ile endüstriyel tesislerde ve binalarda enerjinin verimli olarak temini ve kullanılmasına dönük destekler verilerek, toplumun bilinçlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması hedeflenmiştir.

Enerji tüketim unsurları incelendiğinde binaların önemli bir paya sahip oldukları göze çarpmaktadır. 2014 yılı itibariyle ülkemizde nihai enerji tüketiminin sektörel dağılımına bakıldığında konut ve hizmet sektörünün buradaki oranının %34 olduğu gözlemlenmiştir [2]. Bu sebeple, gerek enerjide dışa bağımlılığı gidermek, gerekse

doğaya verilen zararın önüne geçmek için sürdürülebilir yapılara yönelmek kaçınılmazdır.

Binalarda enerji tüketimini azaltmaya dönük tedbirler en etkili biçimde tasarım aşamasında belirlenmektedir. Binanın yapı malzemesinin, bölgenin iklim şartlarına uygun ve bölgede bulunan bir malzeme olması, tasarım aşamasında pasif stratejilerin mümkün mertebe uygulanmasıyla binanın enerji ihtiyacının minimize edilmesi mümkündür. Ancak günümüzde artan ihtiyaçlar ışığında, ısıtma-soğutma için kullanılacak mekanik sisteminin belirlenmesi de, sürdürülebilir bir yapının önemli kalemi olarak göze çarpmaktadır.

1.1 Amaç

Enerji maliyetlerinin azaltılması ve sürdürülebilir binaların yapılabilmesi için mimari tasarımın yanında iklime uygun enerji verimli mekanik sistemin tayininin yapılması gereklidir. Isıtma-Soğutma sistemi seçimi sırasında enerji tüketim maliyetlerinin yanı sıra ilk yatırım maliyetleri ve CO_2 emisyon değerlerinin de göz önünde bulundurulup, farklı alternatiflerin değerlendirildiği detaylı bir optimizasyon çalışması yapılmalıdır.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin beş derece-gün bölgesinde yer alacak konut binaları için üç farklı mekanik sistemin bilgisayar ortamında simülasyonu yapılarak her iklim bölgesi için uygun sistem tayininin yapılması hedeflenmiştir. Tüm iklim bölgelerinde bina alanı ve yüksekliği aynı alınmıştır. Bina kabuğu toplam ısı geçiş katsayıları, TS 825 standardınca beş iklim bölgesi için belirlenmiş değerlere uygun olacak şekilde simülasyon programına işlenmiştir. Yapılan enerji simülasyonu sonucunda üç farklı sistemin yıllık enerji tüketimleri ve CO_2 emisyon değerleri elde edilmiştir. Yıllık enerji tüketimlerine bağlı olarak elde edilecek enerji faturalarına ilk yatırım ve bakım maliyetleri de ilave edilerek maliyet analizi kapsamında sistemlerin geri dönüş süreleri hesaplanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Wei Wu ve arkadaşları [3], Kuzey Amerika'da bulunan iki katlı konut binası için optimum ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin tayini için TRNSYS programını kullanarak alternatif sistemeleri karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında

havalandırma sistemi için üç, ısıtma-soğutma sistemi için iki farklı alternatif karşılaştırılmıştır. Havalandırma sistemi alternatifleri; ısı geri kazanımsız, duyulur ısı geri kazanımlı ve enerji geri kazanımlı (duyulur ve gizli ısı transferi) cihazlar olarak belirlenmiştir. Isıtma-soğutma sistemlerinde ise hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompaları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen tüm alternatif sistemlerin ilk yatırım ve bakım maliyetleri de düşünülerek geri dönüş süreleri hesaplanmıştır.

Becchio ve diğerleri [4], ofis ve otel binalarında bina kabuğundaki yalıtım kalınlığının ve mekanik sistemlerde yapılacak iyileştirmelerin ve değişikliklerin, Avrupa'nın farklı iklim bölgelerini temsilen seçilen şehirler bazında incelemişlerdir. Her şehirde otel ve ofis için birer referans bina belirlenmiştir. Referans binalarda bulunan mahallere taze hava, havalandırma santralleri ile verilirken ısıtma soğutma yükleri Fan Coil cihazları ile çözülmüştür. Isıtma sistemi olarak doğal gaz kazanı, soğutma sistemi olarak da hava soğutmalı chiller kullanılmaktadır. Mekanik sistemlerde; primer ve sekonder devrede yer alan pompa debilerinin değiştirilmesi, havalandırma santralleri taze hava fanlarının debilerinin insan yoğunluğuna bağlı olarak değiştirilmesi, kazan-chiller olan ana ısıtma sistemi yerine ısı pompasının kullanılması, havalandırma santrallerinde farklı tipte ısı geri kazanım modellerinin incelenmesi, havalandırmada VAV sisteminin kullanılması parametreleri incelenmiştir. İncelemeler kapsamında her bir parametrenin ofis ve otel binalarında yarattığı enerji tasarrufu hesaplanarak, farklı iklim bölgeleri için öneriler sunulmuştur.

Lechner ve Javed çalışmalarında [5], Avrupa'nın üç farklı iklim bölgesinden kıyı ve iç kısımda olmak üzere ikişer şehir belirleyerek, bu şehirlerde bulunacak bir ofis binasında oluşacak soğutma yükünün karşılanması için farklı mekanik sistemleri karşılaştırarak, ekonomik analizlerini yapmışlardır.

Ruiz ve diğerleri [6], İspanya'nın Sevilla kentinde yer alan bir konut binasının ısıtma-soğutma yüklerini karşılamak için doğal gaz kazanı, pelet kazanı, biyokütle kazanı ve elektrikli ısı pompası cihazlarını inceleyip, mekanik sistemleri verim, enerji tüketimleri, CO_2 emisyonları ve yaşam boyu maliyetleri açısından karşılaştırarak söz konusu konut için uygun mekanik iklimlendirme sisteminin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır.

Bichiou ve Krarti [7], Amerika'da farklı iklim bölgelerini temsilen ele alınan beş şehirde bulunacak konut binası için, bina kabuğu ile mekanik iklimlendirme sistemlerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. İki aşamada gerçekleştirdikleri analizlerinde, öncelikle bina kabuğu özellikleri aynı tutulmuştur. Mekanik tesisat sistemlerinde, toprak kaynaklı ısı pompası (ısıtma ve soğutma), elektrikli ısıtıcı, kazan (sadece ısıtma), doğrudan evaporatif soğutma ve klima (sadece soğutma) alternatifleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucu her bölge için bina kabuğu ile birlikte ve bina kabuğundan bağımsız ekonomik analizler yapılarak, mekanik sistemlerin yaşam boyu maliyetleri hesaplanmıştır.

Arroyo ve arkadaşları [8] Amerika'nın San Francisco bölgesinde yer alan mevcut bir müze için üç farklı mekanik sistemi inceleyerek yaklaşık sıfır enerji prensibine en yakın mekanik tesisat sistemi üzerine çalışmışlardır. Karşılaştırılan sistemler; doğal gaz kazanı ve su soğutmalı chiller, su kaynaklı ısı pompası ve PV destekli su kaynaklı ısı pompasıdır. Çalışma kapsamında, iklimlendirme sistemleri farklı parametreler kapsamında karşılaştırılarak, yüksek enerji ve su tasarrufu ile düşük CO_2 emisyonunu sağlayacak mekanik iklimlendirme sistemi belirlenmiştir.

Vakiloroaya ve diğerleri [9], çalışmalarında geniş bir literatür taraması yaparak, direkt ve indirekt evaporatif soğutma, indirekt evaporatif soğutmanın hava kaynaklı ısı pompası kondenser girişinde uygulanması, termal depolama sistemleri, ısı geri kazanım sistemleri, toprak kaynaklı ısı pompaları, VRF sistemleri, tavandan serinletme gibi mevcut iklimlendirme sistemlerini, ilk yatırım maliyetleri, avantaj, dezavantaj ve uygulanabilirlik açısından karşılaştırıp, her sistemin sağladığı enerji tasarrufunu incelemişlerdir.

Cho ve arkadaşları [10], ofis binalarında kullanılan mekanik iklimlendirme sistemlerinde enerji tasarruf yöntemleri araştırılmıştır. Bu kapsamda, mekanik iklimlendirme sistemleri üç aşamada incelenmiştir: iç üniteler, ana ısıtma-soğutma ekipmanları ve pompalar. Çalışma kapsamında öncelikle dünyada yer alan ofis binalarının genelinde uygulanan iklimlendirme sistemleri araştırılarak referans ofis binası için, iç ünite bölümünde VAV ve konvektör, ana ısıtma-soğutma ekipmanı olarak da direkt yanmalı absorpsiyon cihazı seçilmiştir. Geliştirdikleri hesap yöntemiyle, referans sistemlerle 33 farklı mekanik iklimlendirme sistemini karşılaştırmışlardır. Analizler sonucunda, taze hava şartlandırılarak mahâllere gönderildiğinde ve iç ünite sisteminde soğutmalı kiriş kullanılarak referans sisteme

göre enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Buna ek olarak ana ısıtma soğutma sistemlerinde santrifüj chiller ve merkezi ısıtma sistemi kullanılarak %33 enerji tasarrufu elde edilmiştir. Geliştirdikleri hesap yöntemiyle elde ettikleri sonuçları TRNSYS analiz programı sonuçlarıyla karşılaştırıp doğrulamışlardır.

Bellia ve diğerleri [11], Roma kentinde bulunan bir müze için gerekli hassas konfor şartlarının sağlanmasında kullanılabilecek mekanik iklimlendirme sistemlerini enerji tüketimleri açısından değerlendirmişlerdir. Sergi alanı ve depo alanı olmak üzere iki ana bölümden oluşan müzede, tam havalı dört alternatif mekanik iklimlendirme sistemi enerji simülasyonları yapılarak, enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır.

Becchio ve arkadaşları [12], tarihi binalarda enerji tüketimlerini azaltmayı hedefleyerek, tarihi bir otel binasını ele alarak, söz konusu binada farklı mekanik iklimlendirme sistemlerini ve enerji tasarruf stratejilerini Akdeniz Bölgesi'nde bulunan beş şehirde enerji simülasyonu yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Referans otel binasında kazan-chiller olarak belirlenen ana ısıtma-soğutma sistemi ile ısıtma soğutma ve sıcak su ihtiyacını karşılayabilen ısı pompası cihazlarının enerji tüketimleri incelenmiştir. Buna ek olarak havalandırma sisteminde yapılabilecek farklı tipteki ısı geri kazanım teknolojileri ile pompa ve fanlarda değişken debi teknolojisinin tarihi bir otelin enerji tüketimine etkisi analiz edilmiştir.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA TASARIMI

2.1 Binalarda Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, fosil yakıtların kullanılmasıyla dünyaya verilen ciddi zarar sonucu, bir çok çevrelerce üzerinde durulan önemli bir kavram haline gelmiştir. Farklı çalışma alanları için farklı anlamlar içerebilen sürdürülebilirlik kavramı sözlükte"herhangibir kaynağın, bitirilmeden ve sonsuza dek yok edilmeden işlenmesi ve kullanılması yöntemi" olarak tanımlanmaktadır. Bu kavrama ilk kez, 1982 yılında Dünya Doğayı Koruma Birliği tarafından kabul edilmiş Dünya Doğa Şartı belgesinde yer verilmiştir. Söz konusu şartta, insanların faydalandıkları dünya kaynaklarını yönetirken diğer ekosistem ve türlerin bütünlüğünü de göz önünde bulundurarak, sürdürülebilir bir modeli benimsemelerinin gerekliliği belirtilmiştir [13].

Son yıllarda artan sera gazı emisyonları sonucu ortaya çıkan küresel ısınma tehdidi, insanları, her alanda sürdürülebilirlik kavramına önem vererek CO_2 emisyonlarını azaltmaya dönük tedbirler almaya zorlamaktadır. 2012 verilerine göre dünyada ve Türkiye'deki CO_2 emisyon değerleri aşağıdaki Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 : Ülkelerin başlıca enerji göstergeleri [14].

Ülke/Ekonomi	Nüfus (milyon)	GSYH	Enerji Üretimi (MTEP)	Elektrik Tüketimi (TWh)	CO_2 Salımı (Mton)
Dünya	7037	54588	13461	20915	31734
OECD	1254	39490	3869	10145	12146
Orta Doğu	213	1430	1796	790	1647
Çin	1358	4756	2525	4737	8251
Asya	2320	3568	1464	2071	3698
Afrika	1083	1331	1162	641	4032
Türkiye	74,90	624,75	30,56	206,71	302,38

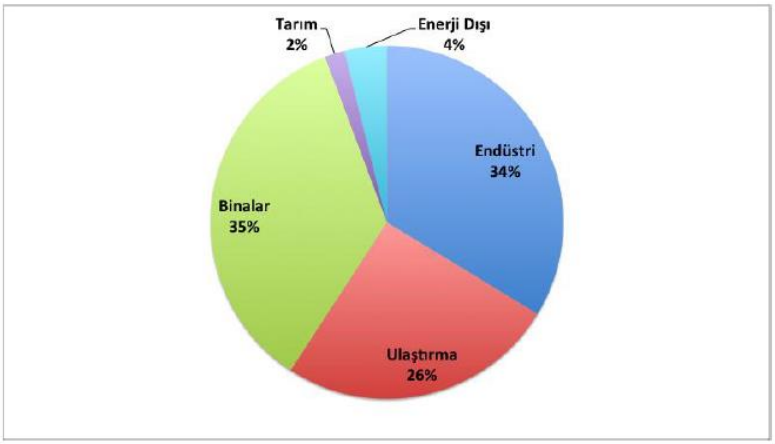
İnşaat sektörü özellikle gelişmekte olan ülkelerde önemli ölçüde istihdam sağlamaktadır. İnşaat sektörü kapsamına; konut inşaatları, bina inşaatı, sanayi yapıları ve ağır mühendislik yapıları dahil edilmektedir. 2012 verilerine bakıldığında inşaat sektörü dünyadaki üretimde %13,4'lük paya sahiptir. 2020 senesine

gelindiğinde ise %70 büyüyerek dünya üretiminin %14,6'sında söz sahibi olacağı tahmin edilmektedir [15].

İnşaat sektöründe beklenen büyüme sonucu, bu sektörde enerji tüketimlerinin de artacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda Çizelge 2.2'de dünyada bulunan ticari ve konut binalarının enerji tüketim yüzdeleri, Şekil 2.1'de ise ülkemizdeki binaların 2013 yılı itibariyle enerji tüketim yüzdesi belirtilmiştir.

Çizelge 2.2 : Dünyada ticari ve konut binalarının enerji tüketimleri [16].

Nihai Enerji Tüketimleri (%)	Ticari Binalar	Konut Binaları	Toplam
Amerika	11	22	40
Birleşik Krallıklar	11	28	39
Avrupa	7	26	37
Dünya	7	16	23



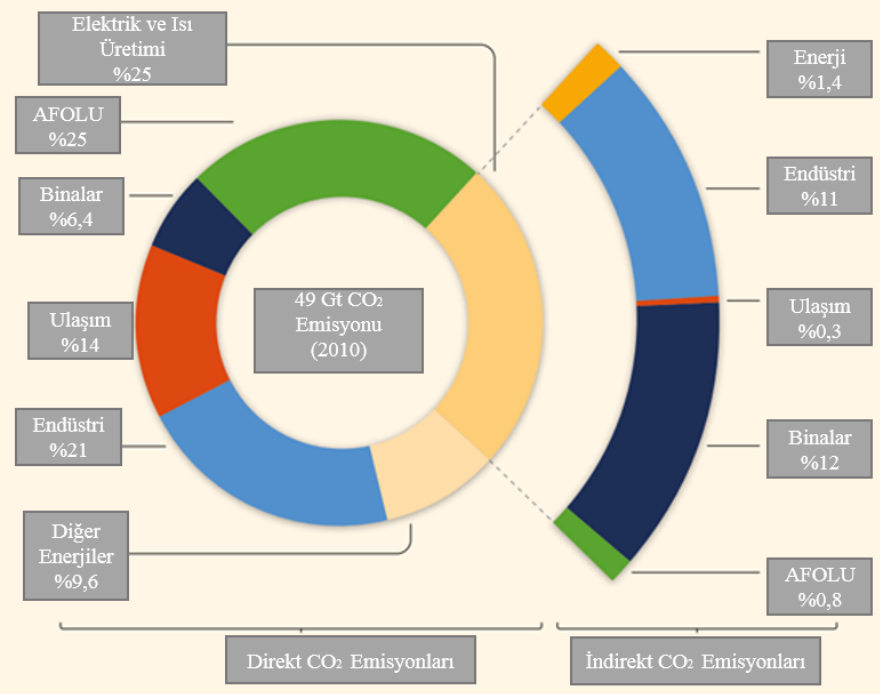
Şekil 2.1 : Ülkemizde sektörlere göre enerji tüketimleri [14] .

Yukarıdaki veriler ışığında, gerek ülkemizde gerekse dünyada binaların enerji tüketiminde önemli bir yüzdeye sahip olduğu göze çarpmaktadır. Enerji tüketimindeki bu yüksek yüzde, sera gazı salımında da binaların önemli bir paya sahip olduğunu gözler önüne sermektedir. Şekil 2.2'de çeşitli sektörlerin 2013 verilerine göre CO_2 salımı miktarları belirtilmiştir. Buradan görüleceği üzere binaların atmosfere salınan CO_2 miktarındaki payı yaklaşık olarak %19 mertebesindedir [17].

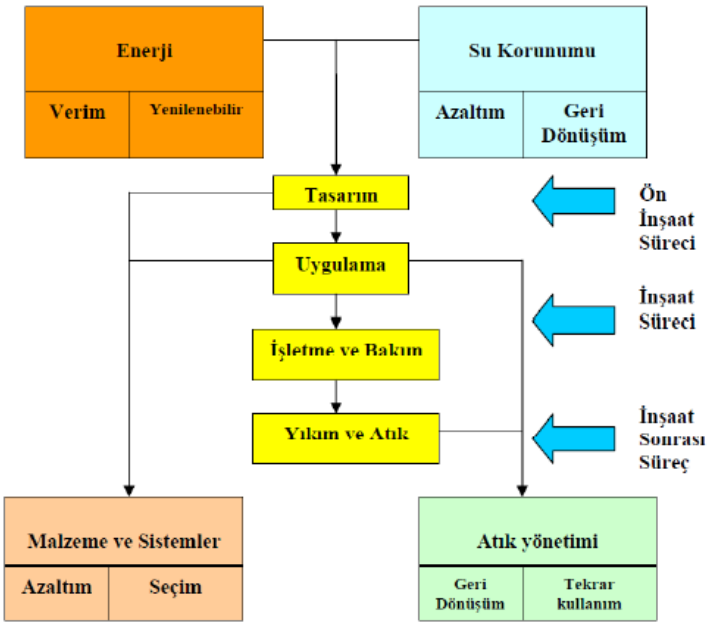
Artan nüfusla birlikte inşaat sektörünün de gelişeceği ve inşa edilen bina sayısının artacağı düşünüldüğünde, enerjiyi verimli kullanan, istenen konfor şartlarından ödün vermeden düşük enerji ve su tüketen ve fosil yakıtları minimum mertebede kullanan

"sürdürülebilir" binaların hızlı bir şekilde uygulamaya geçirilmesi kaçınılmaz durumdadır.

Sürdürülebilirliğin ilkelerinin binanın yapımından yıkımına kadarki süre içinde özeti Şekil 2.3'teki diyagramda belirtilmiştir.



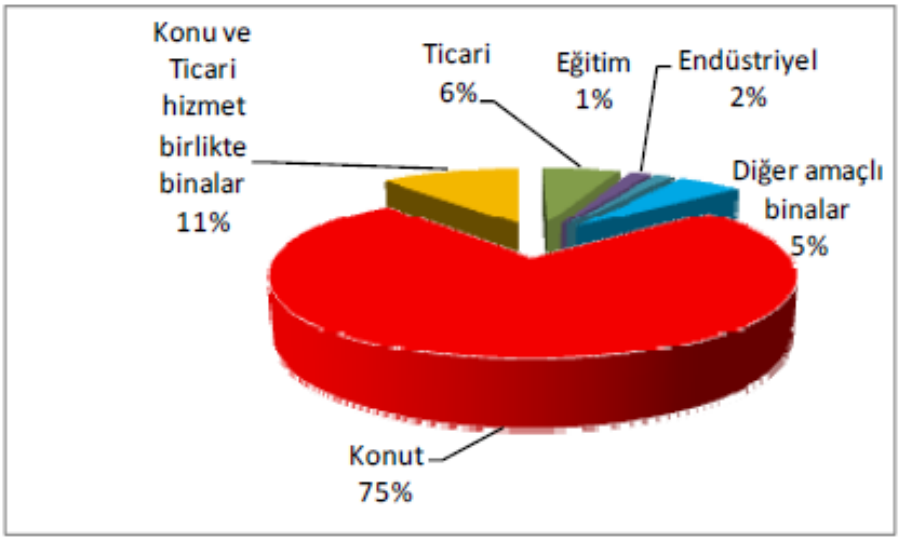
Şekil 2.2 : Dünya'da bina sektörünün CO_2 emisyon yüzdesi [17].



Şekil 2.3 : Binalar için ömür boyu akış diyagramı [18].

Yukarıdaki diyagramda ifade edildiği üzere, sürdürülebilirlik, bina yapımının her aşamasında farklı şekillerde rol oynamaktadır. Bu bağlamda, tasarım aşamasında binanın enerji ihtiyacını minimuma indirecek önlemler elzemdir. Buna ek olarak mekanik tesisat sistemlerinin yüksek verimli olarak seçilmesi önem arz etmektedir. Uygulama ve yıkım esnasında çıkacak atıkların geri dönüşümü de düşünülmelidir. Atıkların geri dönüşümüne, mutfakta oluşacak organik atıklardan çürütülerek kompost elde edilip, oluşan kompostun gübre olarak bahçede kullanılması veya pis su tesisatında lavabo ve duşlardan gelen pis suyun(gri su) ayrı olarak toplanarak arıtılıp tekrar bahçe sulama ve rezervuarlarda kullanılması örnek olarak verilebilir.

Ülkemizde yer alan binaların enerji tüketimini incelemek için öncelikle bina stoğu haritasının çıkarılması gereklidir. Yapılan araştırmalara göre ülkemizdeki bina stoğunun dağılımı Şekil 2.4'te ifade edilmiştir.

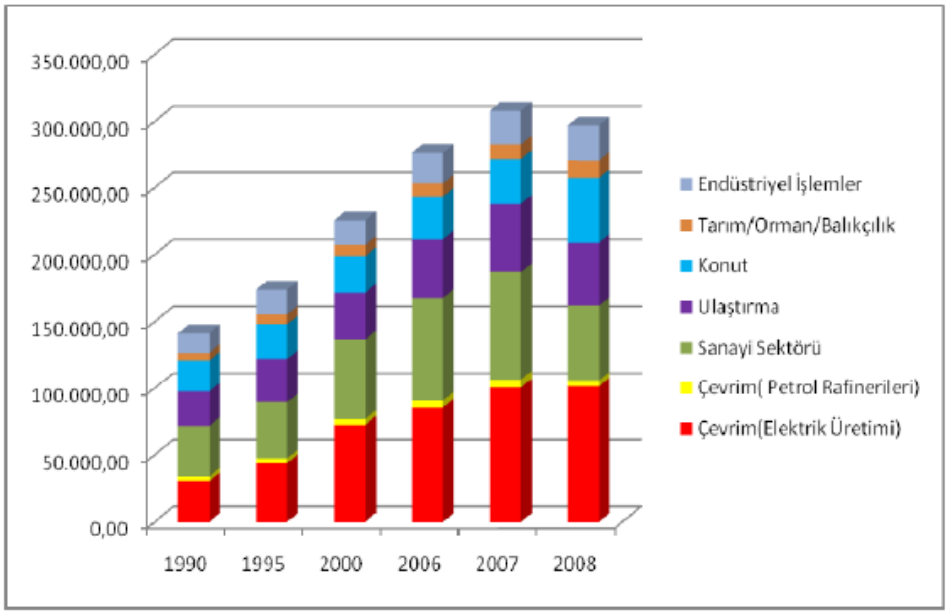


Şekil 2.4 : Türkiye bina stoğu [19].

Konut oranının bu denli yüksek olması ve artan nüfusla birlikte konut ihtiyacının da artacak olması, bu alanda enerjiyi verimli kullanmaya dönük alınacak önlemlerle önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir.

Ülkemizde farklı sektörlerin yarattığı CO_2 emisyonları Şekil 2.5'te ifade edilmiştir. Araştırmalara göre, ülkemizdeki CO_2 emisyonunun %16'sı ile enerji sektöründeki tüketimin %18'i konutlardan kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak binalar sektörünün enerji tüketiminin 2020 yılı itibariyle 47,5 milyon TEP olacağı öngörülürken CO_2 emisyonlarının da iki katına çıkacağı düşünülmektedir.Tüm bu sebeplerden dolayı,

binaların enerji tüketimini azaltmaya dönük her tedbir ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltırken, daha temiz ve yaşanabilir bir çevre oluşturmak konusunda önemli etkiler yaratacağı aşikardır [20].



Şekil 2.5 : Türkiye'de farklı sektörlerdeki CO_2 emisyonu (1000 ton) [20].

2.1.1 Binalarda enerji tüketim verileri

Binalarda enerji tüketimini azaltmaya ve enerjiyi verimli kullanmaya dönük tedbirler alınabilmesi için öncelikle binalarda kullanılan enerjinin dağılımının bilinmesi gereklidir.

Çizelge 2.3'de Avrupa Birliği ülkeleri, Amerika ve Birleşik Krallık'ta konutların enerji tüketimi dağılımı belirtilmiştir.

Çizelge 2.3 : Dünyadaki konutlarda enerji tüketimi dağılımı [16].

Enerji Kullanımı (%)	Avrupa	Amerika	Birleşik Krallık
İklimlendirme	68	53	62
Kullanım Sıcak Suyu Üretimi	11	17	22
Aydınlatma ve Armatürler	7	30	16

Ülkemize baktığımızda, en yoğun olarak kullandığımız enerji kaynağı %32,2 ile doğal gaz olarak göze çarpmaktadır. Doğal gazın tamamı, başta Rusya olmak üzere,

komşu ülkelerden ithal edilmektedir. Tüketilen doğal gazın %25,7'lik kısmı konutların ısıtılmasında harcanmaktadır [21].

Ülkemizde ve dünyada binaların iklimlendirilmesi önemli bir enerji tüketim kalemi olarak göze çarpmaktadır. Gerek ekolojik açıdan, gerek ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltma açısından bakıldığında sürdürülebilir binalar çerçevesinde enerji tüketimlerini azaltan ve enerjiyi daha verimli kullanan binalar tasarlayıp inşa ederek önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamak mümkün gözükmektedir. Enerji tüketim verilerinden anlaşıldığı üzere, yalnızca mimari tasarımın düşünülerek binanın enerji talebinin azaltılmasıyla sınırlı miktarda enerji tasarrufu elde edilecektir. Mimari tasarımda alınacak önlemlerin yanında, binanın yer aldığı iklim şartlarına uygun doğru bir mekanik tesisat sistemi seçimi de enerji tasarrufuna etki eden ana parametrelerden biri olmakla birlikte, ortaya çıkan yapının sürdürülebilir olmasına önemli katkı sağlayacaktır.

2.2 Yönetmelikler ve Mevzuatlar

2.2.1 Dünyada yeşil bina değerlendirme sistemleri

Yapının sürdürülebilirliği, onun bulunduğu çevreyle doğrudan alakalı bir olgudur. Bu sebeple, dünyadaki bir çok ülke, kendi coğrafi koşullarını da göz önünde bulundurarak yeşil bina yönetmeliklerini ve değerlendirme sistemlerini belirleme yoluna gitmişlerdir. Söz konusu değerlendirme sistemlerinden dünya çapında kabul görüp bir çok ülkeye göre uyarlanan iki sistem İngiltere çıkışlı olan BREEAM ile Amerika Birleşik Devletleri çıkışlı olan LEED değerlendirme yöntemleridir.

2.2.1.1 BREEAM

BREEAM, 1990 yılında İngiltere'de ortaya çıkmış olup ilk çıktığında yalnızca ofis ve konut binalarına hitap eden bir değerlendirme sistemidir [22]. 1990'dan günümüze kadar bir çok güncellemeyle kapsamı genişleyen BREEAM, toplam 110.000 binada kullanılmış olup, şu anda kayıtlı olarak değerlendirilmeyi bekleyen de yaklaşık 500.000 yapı bulunmaktadır [23]. BREEAM, binaların değerlendirmesini 9 farklı kategoriye göre yapmaktadır. Bu kategoriler; yönetim, sağlık ve refah,enerji, ulaştırma, su, malzeme, atık, toprak kullanımı ve ekoloji ve kirlilik olarak belirtilmiştir [24]. Kriterlere göre alınan puanlar ışığında BREEAM sertifika

dereceleri belirlenmektedir. Bu dereceler; geçer, iyi, çok iyi, mükemmel ve olağanüstü olarak kategorize edilmiştir [25].

BREEAM gönüllü olarak başlatılmış bir uygulama olmasına rağmen, ilerleyen yıllarda devlet tarafından zorunlu hale getirilmeye başlanmıştır. Birleşik Krallık Devlet Ticaret Ofisi, 2003 yılından itibaren yeni yapılacak binaların BREEAM mükemmel sertifikası almasını zorunlu hale getirmiştir. Buna ek olarak Birleşik Krallık Çocuk, Okul ve Aile Departmanı, maliyeti belirli bir limitin üzerinde olan tüm yeni bina ve tadilat projeleri için BREEAM Okullar değerlendirme kriterinden çok iyi sertifikası almasını zorunlu kılmıştır. Benzer olarak Sağlık Bakanlığı da 2008 yılının Temmuz ayından itibaren yapılacak tüm yeni sağlık kuruluşlarında mükemmel, tadilatı yapılacak tüm sağlık kuruluşlarında da çok iyi BREEAM sertifikası alacak şekilde yapılması zorunluluğunu getirmiştir [22].

2.2.1.2 LEED

İngiltere'den sonra, Amerika'da 1998 yılında Amerikan Yeşil Bina Konseyi tarafından binaların enerji performanslarını ve sürdürülebilirliklerini değerlendirmek amacıyla LEED pilot projesi yayınlanmıştır. Aradan geçen yıllarda güncellemeler ve eklemeler yapılarak günümüzdeki LEED değerlendirme sistemi oluşmuştur [26]. BREEAM ile benzer olarak LEED de yapıları farklı kategorilerde değerlendirerek, yapıların tasarımdan işletme anına kadar olan süreçteki performansını irdelemektedir. LEED'in değerlendirme kriterleri: sürdürülebilir araziler, su kullanımında etkinlik, enerji ve atmosfer, malzeme ve kaynaklar, iç hava kalitesi, inovasyon ve tasarım, bölgesel öncelik, lokasyon ve bağlantılar ile farkındalık ve eğitim olarak olarak göze çarpmaktadır [25].

LEED de BREEAM gibi gönüllü olarak başlamasına rağmen sonraki yıllarda Amerika devlet kurumlarının bir çok bina için zorunlu hale getirmesiyle, LEED gönüllü olmaktan çıkıp yasal bir değerlendirme kriterine dönüşmüştür. Kaliforniya eyaletinde 2004 yılında yürürlüğe giren Yeşil Bina Hareket Planı ile eyalet sınırları içinde 10.000 ft^2 (900 m^2)'den büyük binaların LEED değerlendirme kriteri kapsamında değerlendirilerek minimum almaları gereken puanlar bina tiplerine göre belirtilmiştir. Buna ek olarak Amerika'daki çok sayıda eyalet LEED'i resmi bir değerlendirme aracı olarak tanımış olup, sertifikalı binalara teşvik ve indirimler uygulamaktadırlar [22].

LEED ve BREEAM değerlendirme sistemleri, enerjinin verimli olarak kullanılması ve enerji tasarrufuna yönelik gönüllü oluşumlardan sıyrılarak, yasal sistemlerle de desteklenen yönetmeliklere dönüşerek, sürdürülebilir bina tasarımı ve uygunlanmasının yaygınlaşmasında önemli rol oynamışlardır.

2.2.2 Türkiye'de sürdürülebilirlik mevzuatları

Ülkemizde nüfusun artmasıyla birlikte artan enerji talebi doğrultusunda, enerji tüketimlerini azaltıp, enerji verimli yapılar yapılmasına dönük önlemler ve mevzuatlar hazırlanarak yürürlüğe konulmuştur.

2.2.2.1 Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği

TS 825 standardı olarak bilinen yönetmelik ilk olarak 2008 yılında yayınlanmış olup 2013 yılında güncellenmiştir. Buna göre Türkiye'deki iklim bölgesi sayısı dörtten beşe çıkarılmıştır. Yönetmelik kapsamında, Türkiye'de yer alacak binaların, ihtiyaç duyulan konfor şartlarından fedakârlık yapmadan ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını minimize etmek amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, Türkiye beş farklı derece-gün bölgesine ayrılarak, her bölge için bina kabuğu elemanlarının ısı iletim katsayıları için üst limitler belirlenmiştir. Yeni yapılacak binaların bina kabuğu elemanlarının ısıl iletkenlik katsayıları, tanımlanan limit değerler içinde kalmak zorundadır. Buna ek olarak, her bölge için ısı kaybı değeri de yönetmelik uyarınca sınırlandırılmıştır. Yönetmelik kapsamında, bina kabuk elemanlarının toplam ısı geçiş katsayılarına ek olarak, ısı kaybı ve yoğuşma hesap yöntemi de tariflenir. Buna göre belirlenen bina elemanlarının yoğuşma ve ısıl performansları yönetmelikçe belirlenen değer aralıklarında kalmak zorundadır. Aksi halde projenin uygulanması mümkün olmamaktadır. Hesaplamalarda kullanılmak üzere bina kullanım amacına göre tayin edilmiş aylık ortalama iç ortam sıcaklık değerleri de standart kapsamında belirtilmiştir. Proje müellifleri, tasarlanan binanın ısı yalıtım yönetmeliğine uygun olduğunu kanıtlar nitelikte yerel belediyelere bir ısı yalıtım projesi teslim etmek zorundadırlar [27].

2.2.2.2 Enerji verimliliği kanunu

2 Mayıs 2017'de Resmi Gazete'de yayınlanan Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında, israfın önlenip enerjinin verimli olarak kullanılması amaçlanarak, enerji maliyetlerinin ekonomik yükünün azaltılması ve çevrenin korunması

amaçlanmaktadır. Kanun kapsamında belirtilen bina tiplerinde, enerjinin üretiminden tüketim aşamasına kadar olan süreçlerde, binalarda, ulaşımda, enerjinin verimli kullanılmasına dönük tarifler yapılarak toplumun enerji konusunda bilinçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Enerji verimliliği kanununda belirtilen usul ve esasların tam ve eksiksiz olarak uygulanabilmesi için belirli bir hiyerarşi içinde ilgili kuruluşlar birlikte çalışacaklardır. Buna göre oluşturulan Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu ve alt kuruluşlarca çalışmaların etkin bir şekilde yapılması denetlenecektir [28].

2.2.2.3 Binalarda enerji performans yönetmeliği

Yönetmelik kapsamında, binalarda enerji kullanımının daha verimli olması ile enerji tasarrufunun sağlanarak çevrenin korunmasıyla ilgili alınacak tedbirlerin tarifleri yapılmıştır.

Yönetmelik uyarınca 11 alt başlıkta bina enerji performansı incelenerek enerji tasarrufuyla ilgili stratejiler belirtilmiştir. İnceleme yapılan alt başlıklar aşağıda belirtilmiştir.

- Mimari proje tasarımı ve uygulamaları
- Isı yalıtım esasları, asgari hava sirkülasyonu ve sızdırmazlık
- Isıtma ve soğutma sistemlerinin tasarım ve uygulama esasları
- Havalandırma ve iklimlendirme sistemleri tasarım ve uygulama esasları
- Sıhhi sıcak su hazırlama ve dağıtım sistemleri
- Otomatik kontrol
- Elektrik tesisatı ve aydınlatma sistemleri
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı
- İşletme ve periyodik bakım
- Enerji kimlik belgesi
- Yıllık enerji ihtiyacı

Yönetmelik uyarınca, mimari tasarım aşamasında binanın bulunduğu bölge dikkate alınarak binanın enerji ihtiyacı minimum seviyede tutularak ihtiyaç duyulan enerji mümkün mertebe pasif sistemlerle karşılanmaya çalışılacaktır.

Bina yapı malzemelerinin toplam ısı geçiş katsayıları TS 825 standardınca belirlenen üst limit değerlerini aşmayacak şekilde dizayn edilmelidir. Mevcut binalarda tadilat veya restorasyon çalışmaları sırasında bina cephe elemanlarının enerji performansını olumsuz etkileyecek şekilde değiştirilemeyeceği yönetmelik uyarınca belirtilmiştir. Bina kabuğuna ek olarak binada kullanılan mekanik tesisat elemanları da yönetmelikte belirtilen şartlarca yalıtılmalıdır.

Bireysel ısıtma sistemlerinde yoğuşmalı tip cihazların kullanılması gerekliliği yönetmelikçe vurgulanırken, 2000 m^2'den büyük kullanım alanlarına sahip yapılarda merkezi ısıtma sistemi yapılması zorunluluğu getirilmiştir. Merkezi ısıtma sistemlerinde, kontrol cihazlarıyla enerjinin kullanıma bağlı faturalandırılacaktır. Soğutma sistemlerinde de kapasite 250 kW'ı geçtiğinde merkezi soğutmaya geçileceği enerji performans yönetmeliğinde belirtilmiştir. Havalandırma sistemlerinde, yeni yapılacak binalarda 500 m^3/h'ten fazla hava verildiğinde yaz kış çalışmasında minimum %50 verime sahip ısı geri kazanım cihazlarının kullanımı zorunlu hale getirilmiştir.

Isıtma soğutma ve havalandırma sistemleri için otomatik kontrol sistemlerinin kurulacağı belirtilmiştir. Buna ek olarak konut harici binalarda da gün ışığı sensörlerinin kullanılarak aydınlatma enerji tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır.

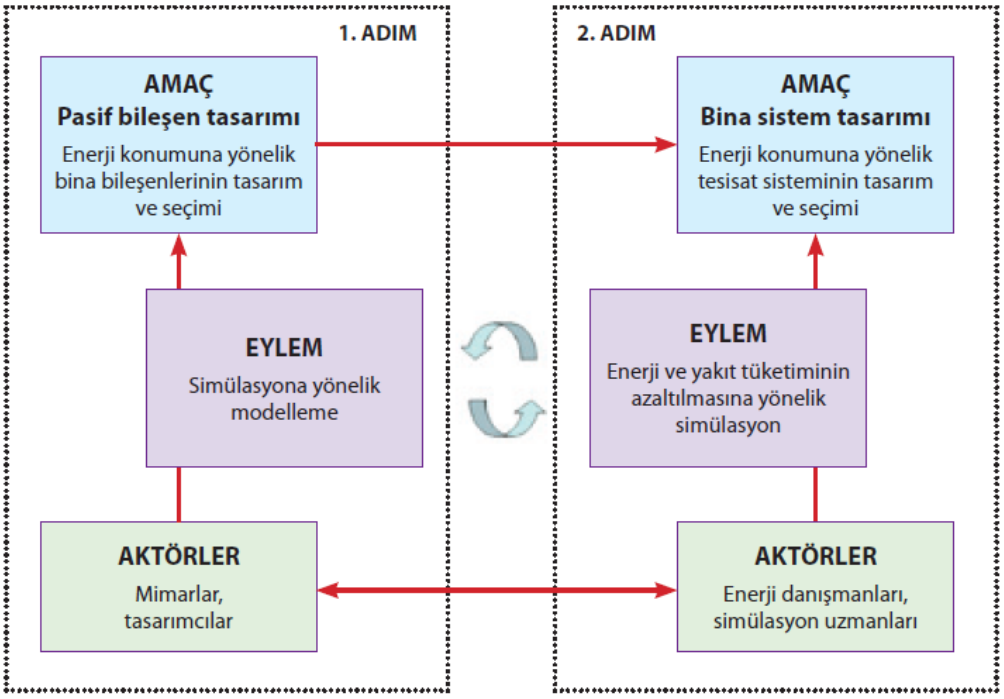
Yeni yapılan yapılarda, kullanım alanı 1000 m^2'nin üzerinde olan yerlerde, binanın enerji ihtiyacının tamamının veya bir kısmının karşılanması amacıyla ilgili mercilere rapor olarak sunulup, 20000 m^2'ye kadar olan yerlerde geri ödeme süresi 10 yılı, 20000 m^2'den büyük yerlede geri ödeme süresi 15 yılı aşmayacak şekilde yenilenebilir enerjilerin kullanılması zorunlu kılınmıştır.

2.3 Sürdürülebilir Bina Tasarımında Enerji Simülasyonunun Yeri

Enerji etkinliğinin ve çevresel performansın önem arz ettiği sürdürülebilir bina tasarımı kapsamında tasarımcıların, mimari, statik, mekanik ve elektrik açısından farklı alternatifleri değerlendirerek optimum bir dizayn yapmaları gerekmektedir. Tüm sistemlerin gerçek anlamda denenerek, ölçümlerinin alınıp değerlendirilmesi hem zaman hem de maliyet açısından mümkün olmamaktadır. Ancak enerji simülasyon programları ile tasarımcılar, farklı tasarım alternatiflerini bir model üzerinde gerçeğe en yakın olacak şekilde benzeterek, enerji verimliliği ve

sürdürülebilirlik açısından en uygun olanı hızlı bir şekilde tayin etme imkanına sahiptirler.

Sürdürülebilir bina tasarımı kapsamında, konfor şartlarını düşürmeden, bina enerji tüketiminin minimize edilmesi amaçlandığından, tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde performansa dayalı bir değerlendirme anlayışı yapılmaktadır. Performansa dayalı değerlendirme iki aşamadan oluşmaktadır; bunlardan ilki binanın enerji performansını iyileştirecek mimari önlemlerin alınıp, mimari bileşenlerin seçilip tasarlandığı pasif bileşen tasarımıdır. İkinci aşama bina sistem tasarımı olup, mimari tasarıma ek olarak bina tesisat sistemlerinin seçildiği aşama olarak adlandırılmaktadır. Tesisat sistemleri bina enerji tüketiminde büyük pay sahibi olduklarından, farklı tesisat sistemlerinin incelenerek modellendiği ve optimizasyonun yapıldığı bu aşamada simülasyon programları aktif olarak kullanılmaktadır. Alternatif tasarımların incelendiği bu süreçte birinci ve ikinci adım sürekli olarak birbirlerine geri besleme sağlamaktadır [29]. Şekil 2.6'da performansa dayalı tasarım ve değerlendirme süreci diyagram olarak belirtilmiştir.



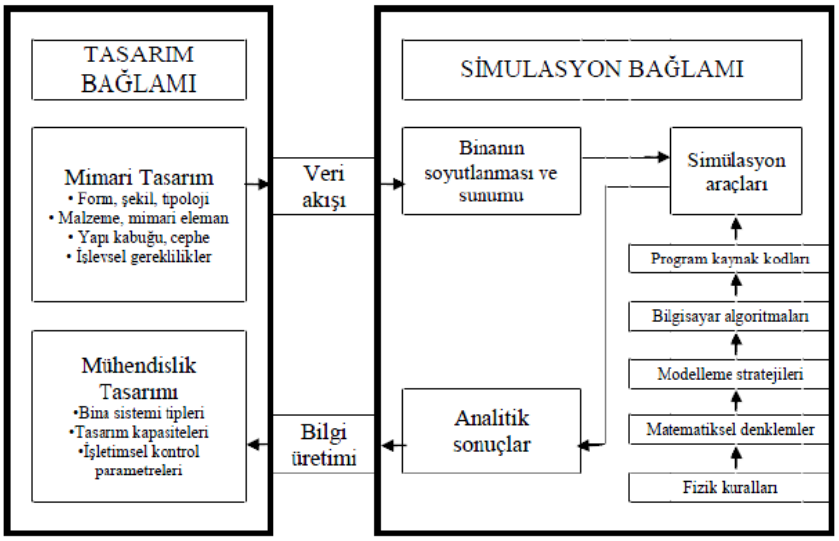
Şekil 2.6 : Performansa dayalı bina tasarımı ve değerlendirmesi [29].

2.3.1 Simülasyon girdileri

Bina enerji simülasyonunu gerçekleştirebilmek için öncelikle simülasyon programına bir model tanımlamak gereklidir. Bu model, simülasyonu yapılacak bina ile ilgili

detaylı girdileri içermelidir. Simülasyon programına ne kadar detaylı bir model girilirse, alınacak sonuçlar da o kadar gerçeğe yakın olacaktır. Buna ek olarak binanın yer alacağı bölgenin iklim verileri doğru bir şekilde simülasyon programına işlenmelidir. Son olarak doğru iklim verileri ve detaylı bir modelle yapılan simülasyonun sonuçları değerlendirilerek optimizasyon çalışması yapılmalıdır.

Tasarım aşamasında bina simülasyonunun yeri ve işleyişi Şekil 2.7'de diyagram ile gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Tasarım aşamasında simülasyonun yeri [30].

Bina simülasyonunun doğru ve gerçeğe yakın olmasında tanımlanan modelin içerdiği parametrelerin detay seviyesi önem arz etmektedir. Söz konusu model, binanın boyutlarını, binanın bulunduğu yerin enlem ve boylam bilgilerini, oryantasyonunu, bina kabuğu elemanlarının malzemelerini ve ısıl performans katsayılarını, bina kullanım amacını, bina kullanım takvimini, binadaki insan yoğunluğunu, kullanılan iklimlendirme ve aydınlatma sistemlerinin bilgilerini içermelidir. Bazı simülasyon programlarında bu bilgiler manuel olarak tanımlanırken, bazılarının altyapısında bulunan çizim modülü ile de bina modellenebilmektedir. Simülasyon kapsamında, eğer bir maliyet analizi de yapılacaksa, tesisat sistemlerinin ömrü, bina yapım maliyetleri ile yakıt ve enerji birim fiyatlarının da işlenmesi gereklidir.

2.3.2 Carrier HAP yazılımı

Tez çalışması kapsamında, simülasyonlar HAP 5.00 programında yapılmıştır. Carrier firmasının bünyesinde bulunan HAP, farklı tipteki binaların mekanik tesisat

sistemlerinin seçiminde kullanılan bir hesap programıdır. HAP programı kapsamında, tasarlanan binanın mekanik iklimlendirme cihazlarının kapasitesi belirlenerek, seçilen mekanik sistem tipine göre yıllık enerji maliyetleri 8760 saatlik detaylı enerji simülasyonu ile hesaplanabilmektedir. Buna ek olarak tasarlanan yapıda farklı mekanik sistemler denenerek veya bina oryantasyonu değiştirilerek enerji tüketimleri karşılaştırılıp, LEED Enerji ve Atmosfer Kredi1(EAC1) kapsamında değerlendirilip optimal tasarım seçimi yapılabilmektedir. Program içinde mekanik cihaz verimlerinin minimum değerleri ASHRAE 90.1 standardına göre, farklı tip mahaller için taze hava miktarları ASHRAE Standart-62'ye göre tanımlanmış olup bu değerleri simülasyonlarda kullanmak mümkündür.

HAP, hesaplamaları yaparken Transfer Fonksiyonu Yöntemi(TFM)'ni kullanmaktadır. TFM, ASHRAE tarafından kabul görmüş bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntem kapsamında, binada ısı kazancına sebep olan dış ve iç etmenlerin nasıl soğutma yüküne dönüştüğünü matematiksel ifadelerle incelenmektedir. Hesaplamalar yapılırken bina kullanım durumu da dikkate alındığından, binaya özgü hesaplama yapılabilmektedir [31].

TFM yöntemi kapsamında soğutma yükünün hesaplanması için öncelikle binanın cephe elemanlarından kaynaklanan ısı kazancı hesaplanmaktadır. Denklem (2.1) ile bina cephe elemanlarından kaynaklanan ısı kazancı hesaplanır. Isı kazancının soğutma yüküne dönüştürülmesi için iç kazançların da katsayılarla hesaba katıldığı Denklem (2.2) kullanılır. Denklem (2.2)'de yer alan w_1, υ_0 ve υ_1 katsayıları, Al-Rabghi ve Al-Johani'nin yaptıkları çalışmada yer alan tablolardan alınabilmektedir [32]. Tüm denklemler ve katsatılar, programın içinde yer almaktaıdr ve kullanıcının tanımladığı girdiler doğrultusunda program otomatik olarak hesaplamaları bu denklemlere ve belirlediği katsayılara göre gerçekleştirmektedir.

$$q_{e.\tau} = \mathrm{A}[\sum_{n=0}\left(b_n(t_{(e.\tau-n\delta)}\right)\text{-}\sum_{n=0}\left(d_n(\tfrac{q_{(e.\tau-n\delta)}}{A}\right)\text{-}t_{rc}\sum_{n=0}c_n] \tag{2.1}$$

$$Q_\tau = \sum_i \left((\upsilon_0 q_\tau + \upsilon_1 q_{(\tau-\delta)} + \upsilon_2 q_{(\tau-2\delta)} + \cdots) - (w_1 Q_{\tau-\delta} + w_2 Q_{\tau-2\delta} + \cdots)\right) \tag{2.2}$$

Program ilk olarak açıldığında kullanıcının bina elemanlarını girmek için kullanacağı ölçü birimlerini belirleyip, havalandırma ve enerji standartları ile LEED

değerlendirme kriterlerini ve maliyet hesabında kullanlmak üzere para birimini tayin ederek programa işlemesi gerekmektedir.

Standartlar ve birimler belirlendikten sonra binanın yer alacağı iklim bölgesi seçilmelidir. Carrier HAP'ın iklim kütüphanesinde dünyanın çeşitli ülkelerinden şehirlerinin dizayn ve simülasyon iklim bilgileri bulunmaktadır.

Bir sonraki adımda binada yer alan farklı tipteki kullanım mahalleri programa işlenir. Bu sekmede mahal yüksekliği, havalandırma yapılıyorsa taze hava miktarı, aydınlatma özellikleri, içerideki insan sayısı ve aktivite seviyeleri, mahalin dış duvar, çatı, döşeme alanları ve özellikleri belirlenmektedir.

Binadaki tüm mahaller doğru bir şekilde programa işlenerek, bina modeli programda oluşturulmuştur. Model oluşturulduktan sonra, binanın iklimlendirme sistemi tayin edilir. Burada bina mahallerinin yaz ve kış mevsimlerinde hangi sıcaklıkta tutulacağı bilgisi işlenerek, cihazların yıllık çalışma takvimleri programa işlenir. Bu aşama tamamlandığında, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma için ihtiyaç duyduğu ekipman kapasiteleri belirlenmiş olur. Bu adıma kadar olan işlemler cihaz kapasitesinin belirlenmesi ve enerji simülasyonu için ortak olup, sonraki adımlar enerji simülasyonu ve LEED raporu almaya yönelik yapılması gereken işlemleri içermektedir.

Tasarlanan yapının yıllık enerji simülasyonunun incelenip, LEED sertifikasyonu kapsamında değerlendirilebilmesi için iklimlendirme sistemlerinin detaylı girilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda HAP'ta yer alan tesis(plant) sekmesinden iklimlendirme sistemi detaylandırılır. HAP bünyesinde yer alan mekanik sistemlerin farklı sıcaklıklardaki kısmi verimleri programa işlenir. Kullanım sıcak suyu ihtiyacı belirlenerek bu sistemin tüm ekipmanlarının teknik özellikleri programa işlenir. Tesis kurulması tamamlandığında artık binada yer alan iklimlendirme sistemine ait tüm enerji tüketim kalemleri programa işlenmiş olur. Bu sayede iklimlendirme sisteminin yıllık enerji tüketimleri hesaplanabilir duruma gelmiştir.

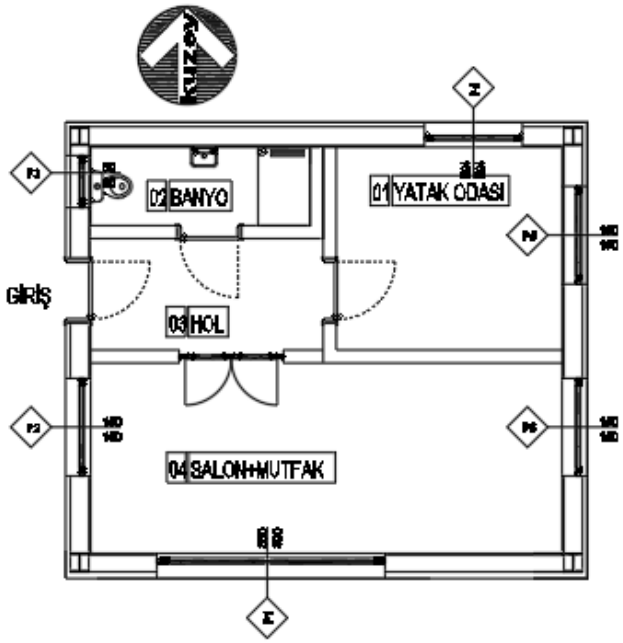
Son adım olan bina oluşturma adımında ise, önceki adımlarda oluşturulmuş tesis ve sistemler seçilerek, iklimlendirme sistemi dışında enerji tüketen kalemler çeşitli yükler sekmesinde işlenebilmektedir. Bu yüklerin saatlik takvimleri de programa işlenerek enerji tüketimleri hesaplanabilmektedir. Hesaplanan enerji tüketimlerinin parasal karşılığının tayin edilebilmesi için elektrik ve yakıt birim fiyatları programa

işlenir. Böylece binanın yıllık enerji tüketimleri ve yıllık enerji faturaları listelenebilmektedir. Buna ek olarak, binada farklı iklimlendirme sistemlerinin karşılaştırılması veya bina yöneliminin değiştirilmesi sonucu elde edilcek enerji tasarrufu ile LEED EAC1 değerlendirme raporu da oluşturulan binanın simülasyonu sonucunda elde edilmektedir.

3. BİNA MODELİ VE YÖNTEM

3.1 Bina Özelliklerinin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında yapılacak karşılaştırmalar için, 8 metreye 7 metre dikdörtgen yapıda olup 56 m^2 alana sahip, tek katlı ve 3,5 metre yüksekliği olan bir konut binası ele alınmıştır. Binanın güney cephesinin yüzde 37,5'luk alanı kış güneşinden faydalanmak adına cam olarak öngörülmüştür. Doğu ve batı cephelerinde bu oranlar yaklaşık olarak yüzde 10 mertebelerindedir. Binanın kuzey kısmında ise cephe alanının yüzde 5'i cam olarak öngörülmüştür. Şekil 3.1'de bina mimarisi ve oryantasyonu belirtilmiştir.

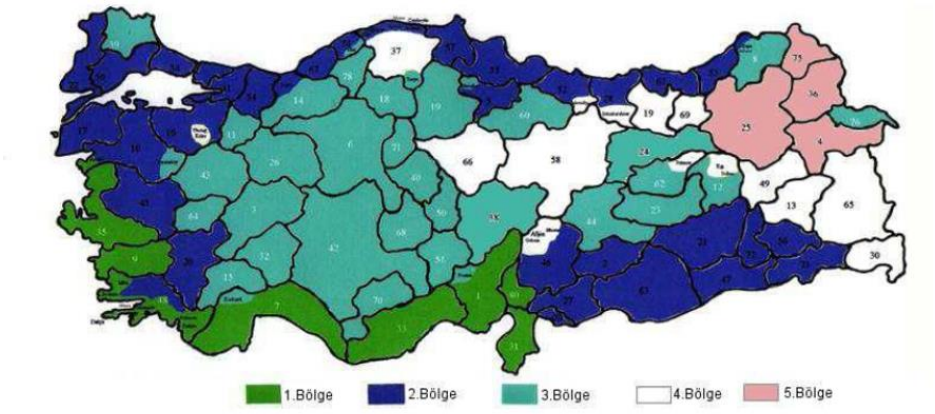


Şekil 3.1 : Konut mimari plan çizimi.

3.1.1 Tasarım parametreleri

3.1.1.1 İklim verilerinin belirlenmesi

Çalışma kapsamında, örnek binanın belirlenmesinin ardından Türkiye'nin beş derece gün bölgesini temsilen seçilecek iller belirlenmiştir. Şekil 3.2'de Türkiye'de hangi şehrin hangi derece-gün bölgesinde yer aldığı ifade edilmiştir.



Şekil 3.2 : Türkiye'nin derece-gün bölgeleri [27].

Carrier HAP'ta Türkiye için İzmir, İstanbul ve Ankara olmak üzere üç şehrin dizayn ve simülasyon iklim verileri bulunmaktadır. Söz konusu şehirler sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü iklim bölgesinde yer aldıklarından ilk üç iklim bölgesi için HAP'ta bulunan şehirlerin verileri kullanılmıştır.

Dördüncü ve beşinci iklim bölgelerinde bulunan şehirlerin iklim verileri HAP'ta bulunmamaktadır. Bu sebeple söz konusu şehirlerin simülasyonu, benzer iklim özelliklerini gösteren ve HAP iklim kütüphanesinde yer alan farklı iki şehrin iklim verileri seçilerek gerçekleştirilmiştir. Bu seçim iki adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda Köppen Geiger iklim sınıflandırması baz alınmıştır. İkinci adımda ise aynı iklim sınıfında olan şehirlerin yıllık sıcaklık ve yağış rejimleri karşılaştırılmıştır.

Köppen Geiger iklim sınıflandırması 1918 yılında Wladimir Petrovich Köppen tarafından oluşturulmuş, sonraki yıllarda Rudolf Geiger'in katkılarıyla geliştirilip günümüzdeki halini almıştır. Temelde bölgelerin aylık, yıllık sıcaklık ve yağış bilgileri göz önünde bulundurularak tüm şehirler beş iklim bölgesiyle ifade edilmiştir [33].

İkinci adımda ise Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre aynı kategoride yer alan şehirlerin yıllık sıcaklık ortalamaları ve yağış rejimleri karşılaştırılıp, söz konusu şehirlerin aynı enlemde yer alması göz önünde bulundurularak, güneşlenme sürelerinin de eşit veya birbirine yakın olması göz önünde bulundurulmuştur. İki adımda da tutarlılık sağlanan şehrin iklim verileri seçilmiştir. Buna göre Türkiye'nin dördüncü bölgesini temsilen Amerika Birleşik Devletlerinin Idaho eyaletindeki Twin Falls bölgesinin, beşinci bölgesini temsilen Rusya'nın Moskova şehrinin dizayn ve simülasyon iklim verileri alınmıştır.

3.1.1.2 Bina kabuğu özelliklerinin belirlenmesi

Örnek olarak belirlenen binanın, bina kabuğu termal özellikleri, her bölge için TS 825 standardınca belirlenmiş maksimum U değerleri baz alınarak bölgeler bazında ayrı ayrı dizayn edilmiştir. Çizelge 3.1'de her bölge için bina kabuğu termal özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Türkiye'nin derece-gün iklim bölgeleri için bina kabuğu termal özellikleri [27].

İklim Bölgeleri	U_{Duvar} (W/m^2K)	U_{Tavan} (W/m^2K)	$U_{Döşeme}$ (W/m^2K)	$U_{Pencere}$ (W/m^2K)
1.Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2.Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3.Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4.Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5.Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

3.1.2 Isı kaybı/kazancı hesabının yapılması

Isı kaybı/kazancı hesapları kapsamında konut binasında bir havalandırma sistemi öngörülmemiştir. Bina kullanım sıcak su ihtiyacı için Çizelge 3.2'deki veriler dikkate alınarak kişi başı ortalama 100 lt/gün sıcak su ihtiyacı olacağı kabul edilmiştir.

Çizelge 3.2 : Konut binalarında öngörülen sıcak su ihtiyaçları [34].

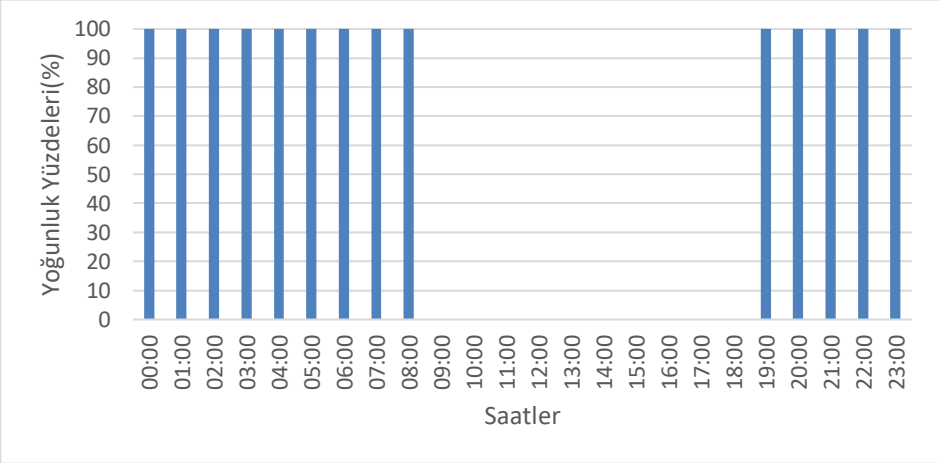
Gereksinim Tipi	Sıcak Su İhtiyacı (L/kişi/gün)
Sabah Tuvaleti-Sabah Temizliği	6
Sabah Kahvaltı Bulaşığı	1
Sabah Bakımı ve Sabah İşleri	1
Öğle Mutfağı	1
El Yıkama(Öğle Yemeği İçin)	1
Öğle Sonu Bakımı ve Öğle Sonu İşleri	2
Akşam Mutfağı	1
El Yıkama(Akşam yemeği için)	0,6
Banyo	75

Çizelge 3.2 (devamı) : Konut binalarında öngörülen sıcak su ihtiyaçları [34].

Gereksinim Tipi	Sıcak Su İhtiyacı (L/kişi/gün)
Akşam Yemeği Bulaşığı	3
Akşam Tuvaleti-Akşam Temizliği	6
Akşam Mutfağı	1

Yapı iç ortam tasarım şartları yazın 24°C %50-55 bağıl nem, kışın 22°C %50-55 bağıl nem olarak alınmıştır. Binada aydınlatma 10 W/m^2 evdeki elektrik ekipmanlarından kaynaklanan ısı kazançları toplam 500 Watt olarak belirlenmiştir [35, 36].

Bina kullanıcılarının haftaiçi gündüz saatlerinde çalıştıkları, akşam saatlerinde evde oldukları, hafta sonunda ise tüm gün evde oldukları kabulüyle hesaplar yapılmıştır. Bina kullanıcılarının kullanım takvimi sırasıyla Şekil 3.3'te ifade edilmiştir. Binada kullanıcı bulunmadığı süre zarfında iklimlendirme sisteminin çalışmadığı kabulü yapılmıştır.



Şekil 3.3 : İş günlerinde konut günlük kullanım takvimi.

3.2 Simülasyonda Karşılaştırılacak Mekanik Sistemler

Enerji simülasyonları kapsamında beş derece gün iklim bölgesinde üç farklı mekanik iklimlendirme sistemleri karşılaştırılmıştır. İklimlendirme sistemleriyle ilgili genel bilgiler Çizelge 3.3'te ifade edilmiştir.

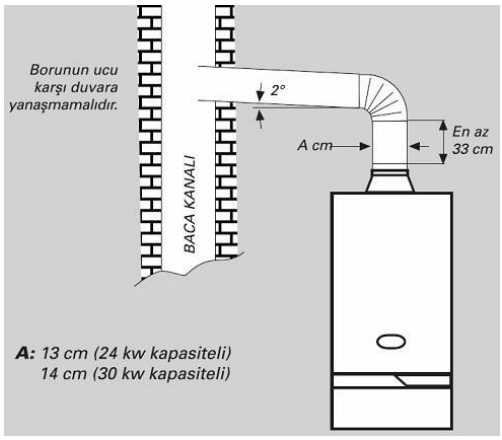
Çizelge 3.3 : İklimlendirme sistemleri genel özellikleri.

Mekanik Sistemler	Enerji Kaynağı	Akışkan	Isı Transfer Tipi	İç Ünite
Duvar Tipi Kombi	Doğal Gaz	Su	Konveksiyon	Fan coil
Multi Split Klima	Hava	Soğutucu Akışkan (R134-a)	Konveksiyon	Duvar tipi iç ünite
Hava Kaynaklı Isı Pompası	Hava	Su	Konveksiyon	Fan coil
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	Toprak	Su	Konveksiyon	Fan coil

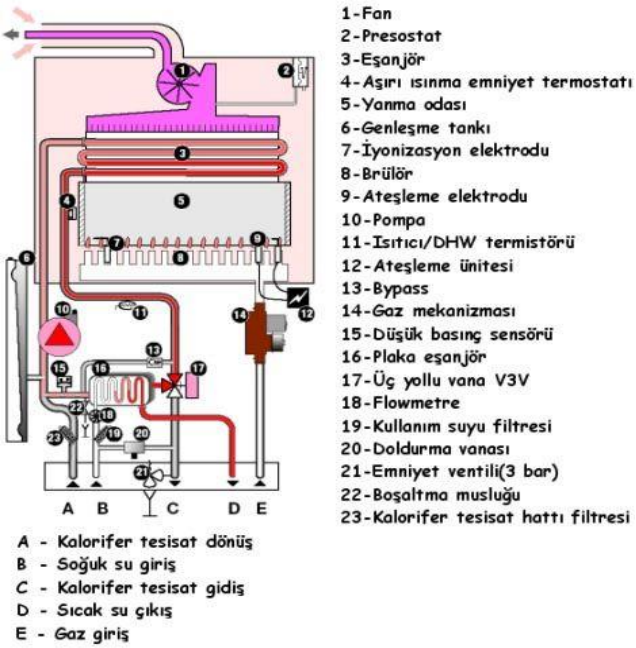
3.2.1 Bireysel kombi- split klima sistemi

Bireysel kombi sistemleri, genellikle bina içinde duvara monte edilen, yapısında bulunan plakalı eşanjör ile ihtiyaç duyulan ısıtma ve kullanım sıcak suyunu üreten cihazlardır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, eğer kombinin yapısında bulunan plakalı eşanjör sıcak su ve ısıtma ihtiyacını karşılayamıyorsa, entegre boylerli veya sıcak su depolamalı kombi modelleri kullanılabilmektedir. Bacalı ve hermetik olmak üzere iki farklı gövde tipinde üretilebilen bireysel kombilerde, bacalı tiptekiler yakma havasını kombinin bulunduğu ortamdan alırlar. Bu sebeple bacalı kombilerin bulunduğu yerlerde mahale dışarıdan taze hava girişi için gerekli menfez boşluğu açılmalıdır. Hermetik kombiler ise yakma havasını kendi içlerinde bulunan fan yardımıyla dışarıdan aldıkları için böyle bir menfeze ihtiyaç duyulmamaktadır [37].

Şekil 3.4 ve 3.5'te sırasıyla bacalı kombi montajı ve hermetik kombi ekipmanları numaralandırılarak tarif edilmiştir.



Şekil 3.4 : Bacalı kombi montajı [38].

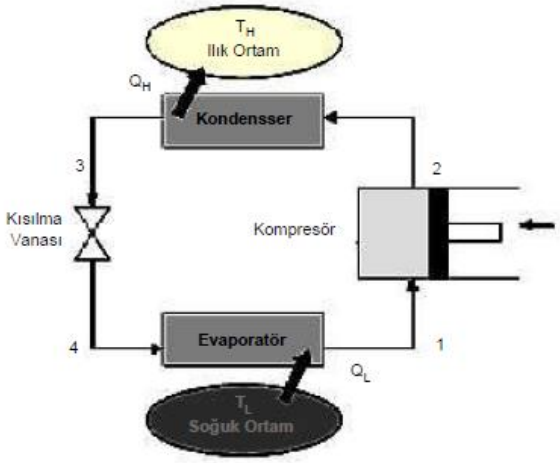


Şekil 3.5 : Hermetik kombi ekipmanları [38].

Kombilerin çalışma prensibine bakıldığında, şehir hattından gelen doğal gaz, ateşleme ünitesi ile ateşlenerek yanma odasında yakılır. Yanma sonucu oluşan sıcak gaz ile şehir şebekesinden bağlantısı yapılan su arasında eşanjör vasıtasıyla ısı değişimi gerçekleşir. Elde edilen sıcak su kombinin içinde yer alan sirkülasyon pompası vasıtasıyla bina içinde bulunan ısıtma ekipmanlarına gönderilir. Sıcak su talebi oluştuğunda genellikle kombiler ısıtmayı keserek, binanın kullanım sıcak suyu ihtiyacını karşılamaya dönük çalışırlar.

Paket tip split klima sistemleri, bireysel ısıtma-soğutmada yaygın olarak kullanılan sistemler olup, yapısında bulunan direkt genleşmeli serpantin vasıtasıyla çalıştığı döneme bağlı olarak havayı ısıtan veya soğutan sistemlerdir. Direkt genleşmeli split klimalarda, en az bir iç ünite ve bir dış ünite bulunup, bunların arasında soğutucu akışkanın dolaştırıldığı bakır boru tesisatı mevcuttur. Buna ek olarak cihazların drenaj ve elektrik hattı bağlantıları yapılmalıdır. Split klimalar, soğutma çevrimine göre çalışan sistemler olup soğutma sezonunda iç ünite evaporatör dış ünite kondenser görevi görmektedir. Isıtma döneminde ise dış ünite evaporatör, iç ünite kondenser görevi görmektedir. Kompresör dış ünitede bulunmaktadır [39]. Soğutma çevriminde dolaşan soğutucu akışkan evaporatör kısmında iç ortamdan ısı çeker ve kompresör yardımıyla kondensere basılır. Kondenserde ısınmış olan soğutucu akışkan, dış hava vasıtasıyla soğutulur ve kısılma vanasından geçerek tekrar evaporatöre ulaşır. Böylece ısıtma veya soğutma enerjisi havadan havaya aktarılmış

olur. Şekil 3.6'da split klimalarda ve tüm ısı pompalarında gerçekleşen temel soğutma termodinamik çevrimi ifade edilmiştir. Tüm ısı pompaları bu çevrim prensibiyle çalışıp, ısı transferinin yapıldığı akışkanlar farklılık göstermektedir.



Şekil 3.6 : Split klima termodinamik çevrimi [40].

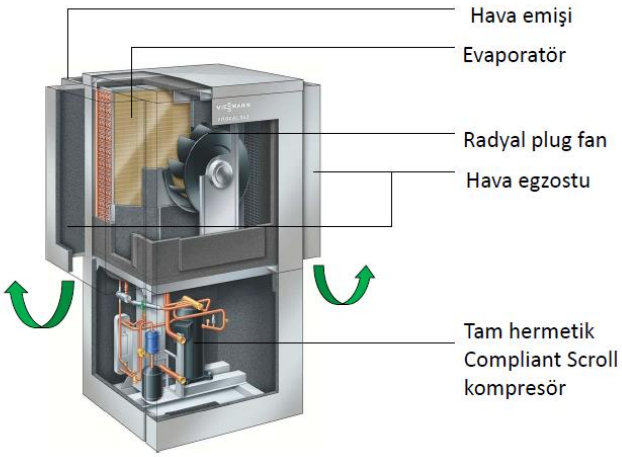
Paket tip split klimaların verimliliği performans katsayıları(COP) ile belirlenmektedir. Performans katsayısı, split klimanın çalıştırılması sonucu elde edilen ısıtma veya soğutma enerjisinin tükettiği elektrik enerjisine bölünmesi sonucu bulunur.

Çalışma kapsamında bu alternatifte split klimanın yalnızca soğutma sezonunda çalışacağı kabulü yapılmıştır. Isıtma ve sıcak su ihtiyacı kombi tarafından karşılanacaktır.

3.2.2 Havadan suya ısı pompası

Havadan suya ısı pompaları, split klimalara benzer prensiple ısı transferini hava ve su akışkanları arasında sağlayarak binanın ısıtma soğutma ihtiyacını karşılayan sistemlerdir. Soğutma sezonunda evaporatör tarafı su, kondenser tarafı hava iken ısıtma sezonunda tam tersi olmaktadır.

Bireysel çözümlerde hava kaynaklı ısı pompaları uygulanırken monoblok sistemler kullanılmaktadır. Monobloc sistemlerde, split klimalardan farklı olarak soğutucu akışkan herhangi bir iç üniteye gönderilmeden sadece dış ünitede yar alır. Şekil 3.7'de monoblok bir hava kaynaklı ısı pompasının ekipmanları ifade edilmiştir.



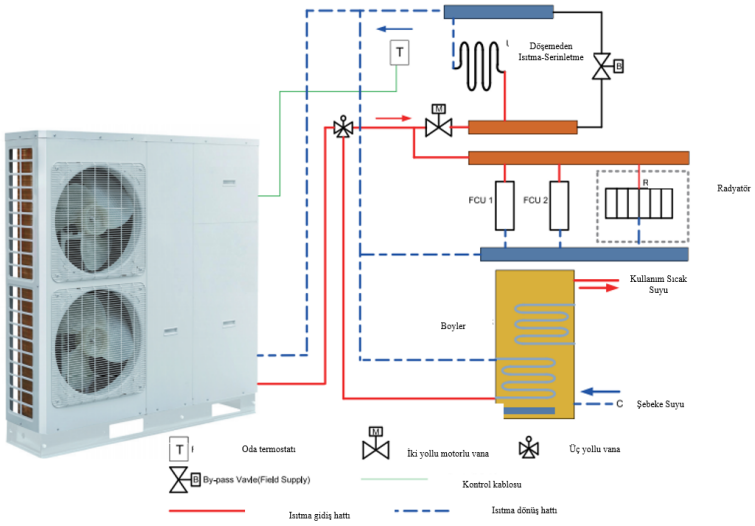
Şekil 3.7 : Monoblok hava kaynaklı ısı pompası [40].

Monoblok hava kaynaklı ısı pompası sistemleriyle ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu ihtiyaçları küçük bir boyler takviyesiyle tek bir ana cihaz vasıtasıyla sağlanmaktadır. Hava kaynaklı ısı pompaları aracılığı ile fan coil veya konvektör iç ünitelerine sıcak veya soğuk su gönderilerek binanın ısıtma soğutma ihtiyacı karşılandığı gibi, döşemeden ısıtma-serinletme sistemi de yapılabilmektedir. Monoblok havadan suya ısı pompaları kullanılarak ısıtma sisteminde 55°C, kullanım sıcak suyunda da 45-50°C mertebelerinde su elde edilebilmektedir. Isıtma sezonunda dış hava sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde dış ünitede karlanma olması sonucu cihaz bunu çözmek defrost'a girmektedir. Bu dönemde cihaz binayı ısıtma işlemine ara verip, dış ünitede oluşan buzlanmayı çözmeye çalışmaktadır. Bunun engellenmesi için ısıtma amacıyla da kullanılacak hava kaynaklı ısı pompalarına elektrikli ısıtıcı da eklenmektedir [41]. Şekil 3.8'de monoblok hava kaynaklı ısı pompasının temel çalışma prensibi ifade edilmiştir.

Yapılan simülasyonlarda hava kaynaklı ısı pompasının ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu işlemleri, rejim sıcaklıkları Çizelge 3.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4 : Sistem sıcaklık rejimleri.

Sistem	Sıcaklık Rejimleri(°C)
Isıtma	50-40
Soğutma	7-12
Kullanım Sıcak Suyu	10-45



Şekil 3.8 : Havadan suya ısı pompası çalışma prensibi(monoblok) [42].

3.2.3 Toprak kaynaklı ısı pompası

Toprak kaynaklı ısı pompaları, toprağın içine boruların yerleştirilmesi ve yerleştirilen boruların içinden akışkan geçirilerek toprağın enerjisinden faydalanmak suretiyle, binanın ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu ihtiyacını karşılayan ekipmanlardır. Toprağa serilen boruların içindeki akışkan, ısı pompası kondenseriyle toprak arasında bir kapalı devrede dolaşarak topraktan aldığı enerjiyi klasik ısı pompası çevrimiyle bir başka akışkana aktarmaktadır.Toprak kaynaklı ısı pompalarında soğutma sezonunda kondenser toprak tarafı, evaporatör binanın içi olurken ısıtma sezonunda tam tersi geçerlidir.

Toprak kaynaklı ısı pompalarının uygulanabilmesi için bölgedeki arazi toprağının incelenmesi gerekmektedir. Toprak yapısı uygun olmadığı takdirde topraktan çekilecek ısı azalacağı için sistemin geri ödeme süresi uzayacaktır.

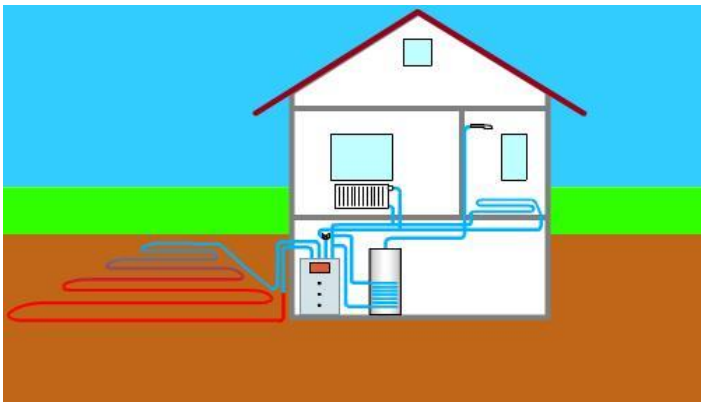
Toprak kaynaklı ısı pompaları vasıtasıyla toprağın enerjisinden, iki farklı sistemle yararlanılabilmektedir.

3.2.3.1 Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası

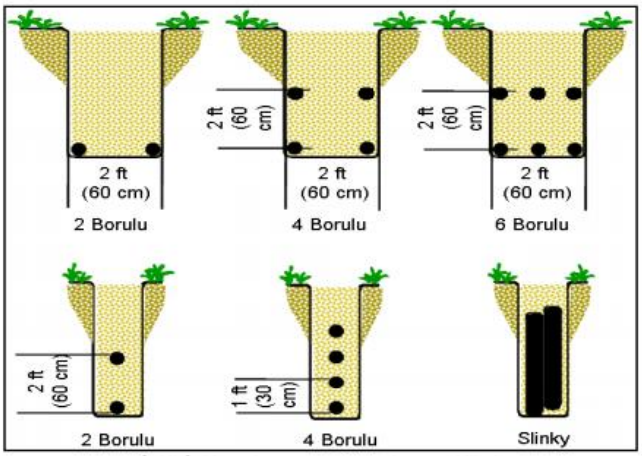
Serme uygulamasında borular, toprağın 1,2 metreden daha derin bölgesine yerleştirilerek yatay olarak döşenir. Boruların dizilimine bağlı olarak, tek borulu, çoklu borulu ve serpantinli olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilmektedir. Çoklu borulamada, borular arasında yatayda 30 cm, düşeyde 60 cm mesafe bırakılmalıdır.

Açılan borulama hendekleri arasında 1,2-1,8 metre boşluk bırakılarak ısı transferinin daha rahat gerçekleşmesi sağlanmalıdır [43].

Serme tipi toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi ve boruların yerleşimi sırasıyla Şekil 3.9 ve 3.10'da ifade edilmiştir.



Şekil 3.9 : Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası [44].

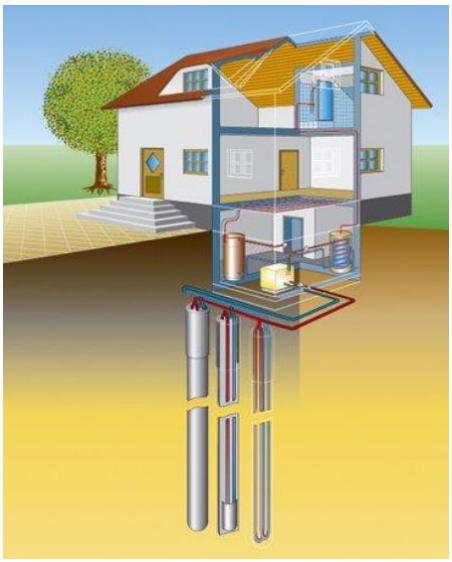


Şekil 3.10 : Yatay serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası borulama çeşitleri [45].

3.2.3.2 Dikey sondaj tipi toprak kaynaklı ısı pompası

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompalarında ise, polietilen borular dikey bir sondaj deliği içinde yerin 15 ila 180 metre altına sarkıtılır. Borular sondaj deliğinin en altında U şeklinde bir dirsek ile kaynatılırlar. Isı pompası kondenseriyle toprak arasında dolaşan akışkan vasıtasıyla toprağın enerjisinden faydalanılması hedeflenmektedir.

Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma prensibi Şekil 3.11'de belirtilmiştir.



Şekil 3.11 : Dikey sondaj tipi toprak kaynaklı ısı pompası [44].

Dikey tip ısı pompasında, toprakta inilen derinlik fazla olduğundan dış hava sıcaklık değişimlerinden cihaz performansı serme sistemine göre daha az etkilenmektedir. Buna karşın ilk yatırım maliyetleri karşılaştırıldığında dikey tip ısı pompasında yüksek sondaj maliyetlerinden dolayı, serme tip ısı pompasının maliyeti dikey tip uygulamasına göre oldukça düşük kalmaktadır [43].

Tez çalışması kapsamında simülasyonu yapılarak karşılaştırmada kullanılan toprak kaynaklı ısı pompası serme tip olarak seçilip, toprak tarafı giriş-çıkış sıcaklıkları bu kabule göre hesaplanmıştır.

4. ENERJİ SİMÜLASYONU

Enerji simülasyonu kapsamında, bir önceki bölümde tarif edilen tasarım parametreleri baz alınarak, bina Carrier HAP'ta beş derece gün bölgesi için modellenmiştir. Sonrasında her bölgede karşılaştırılacak mekanik sistemlerle ilgili teknik parametreler programa işlenmiştir. Simülasyonlar vasıtasıyla, Türkiye'nin derece-gün iklim bölgelerinde üç farklı mekanik sistem, enerji tüketimleri, maliyetleri ve CO_2 emisyonları açısından karşılaştırılmıştır.

4.1 Binanın Yıllık Isıtma-Soğutma Yükünün Hesaplanması

Isıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanmasında, bina kabuğu özellikleri her bölge için TS 825 standardına uyacak şekilde programa işlenip, binada iki kişinin yaşadığı kabul edilmiştir. Bina kullanıcılarının ikisinin de hafta içi çalıştığı ve binayı akşam saatlerinde kullandığı öngörülmüştür. İklimlendirme sisteminin yalnızca bina kullanıcıları varken çalıştığı düşünülmüştür. Cihaz kapasitesi belirlenirken, kullanım sıcak suyu ihtiyacı da düşünülerek hesaplamaları yapılmıştır.

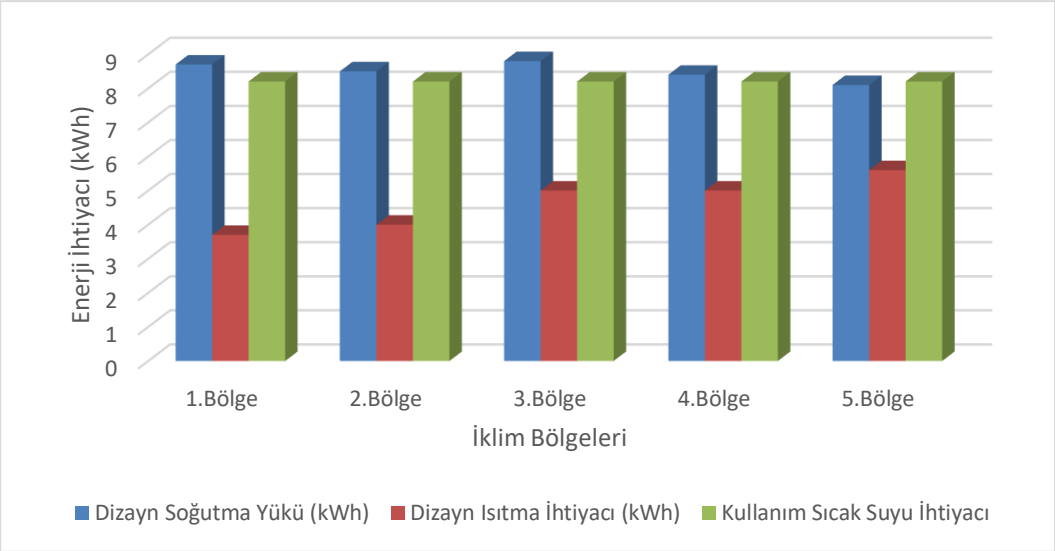
Kullanım sıcak suyu için enerji ihtiyacı Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır [46]

$$Q = M_s . c_p . \rho . (T_ç - T_g) \tag{4.3}$$

Burada Q binada ihtiyaç duyulan sıcak su enerjisini temsil etip birimi kW'dır. M_s (m^3/sn) binada ihtiyaç duyulan sıcak su ihtiyacına karşılık gelirken, ρ suyun yoğunluğunu, c_p suyun özgül ısısını, $T_ç$ ve T_g ise sırasıyla sıcak su ısıtıcısına suyun giriş ve çıkış sıcaklıklarını tarif etmektedir.

Hesaplamalarda şebeke suyu sıcaklığı yıllık ortalama 10°C alınmış olup, kullanım sıcak suyu da 45°C kabul edilmiştir. Denklem 4.1 aracılığıyla yapılan hesaplamalar sonucu sıcak su için enerji ihtiyacı 8,2 kW olarak hesaplanmıştır.

Yapılan kabuller doğrultusunda Şekil 4.1'de, derece-gün bölgeleri için dizayn ısıtma-soğutma kapasiteleri ile kullanım sıcak suyu ihtiyacı belirtilmiştir.



Şekil 4.1 : Dizayn ısıtma-soğutma yükleri ve kullanım sıcak suyu enerji ihtiyacı.

Kombi-Multi Split sistemi için cihaz kapasiteleri belirlenirken sıcak su ihtiyacı da düşünülerek, binaya 15 kW kapasiteli bir duvar tipi yoğuşmalı kombi konulması öngörülmüştür. Soğutma için de nominal şartlarda 10 kW soğutma kapasitesine sahip multisplit klima sistemi öngörülmüştür.

Simülasyon karşılaştırmalarında kullanılan ısı pompalarının ısıtma kapasiteleri binanın ısıtma ve kullanım sıcak suyu ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tayin edilmiştir. Buna göre ısı pompası kapasitesi nominal şartlarda 15 kW olarak belirlenerek, programa teknik verilerin işlenmesi için bu kapasitedeki Daikin Altherma cihazı seçilmiştir. Isıtma-soğutma sezonları için nominal şartlar aşağıda belirtilmiştir [47]:

Isıtma sezonu: T_a KT/YT: 7°C/6°C- LWC: 45°C

Soğutma Sezonu: T_a : 35°C LWE: 7°C

Burada T_a dış hava sıcaklığını, KT ve YT sırasıyla dış havanın kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıklarını temsil etmektedir. LWC, ısıtma sezonunda suyun kondenser çıkış sıcaklığını, LWE soğutma sezonunda suyun evaporatör çıkış sıcaklığını temsil etmektedir.

Beş derece gün bölgesinde, ısı yalıtım standardına uygun olacak şekilde modellenmiş binanın söz konusu iklim bölgelerinde yıllık enerji ihtiyacı Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1 : Derece-gün bölgeleri için yıllık iklimlendirme ve kullanım sıcak suyu enerji ihtiyaçları.

Derece-Gün Bölgesi	Isıtma İhtiyacı (kWh)	Soğutma İhtiyacı (kWh)	Kullanım Sıcak Suyu İhtiyacı (kWh)
1.Bölge	158	12988	1907
2.Bölge	1018	10185	1907
3.Bölge	1744	8596	1907
4.Bölge	2429	7522	1907
5.Bölge	3539	6030	1907

4.2 İklimlendirme Sistemlerinin Derece-Gün Bölgelerindeki Enerji Tüketimlerinin Hesaplanması

4.2.1 Kombi-multi split sistemi

Isıtma sezonu için kullanılacak duvar tipi kombi, Carrier HAP programı altyapısında tanımlandığı için buraya cihaz kapasitesi girilerek yoğuşmalı kombi seçeneği seçilmiştir. Soğutma sezonu için kullanılacak multi split klima sistemi de VRF sistemi olarak tanımlanmıştır.

Beş derece gün bölgesi için kombi-multisplit klima sisteminin yıllık enerji tüketim miktarları Çizelge 4.2'de ifade edilmiştir. Burada ısıtma için gaz miktarı da kWh cinsinden ifade edilmiştir. 1 sm^3 doğal gazın alt ısıl değerine göre kWh karşılığı 9,77 iken üst ısıl değerine göre 11,5 kWh'tir [48]. Analizler kapsamında bu iki değerin ortalaması olan 10,64 kWh değeri esas alınıp tüketilen doğal gaz miktarı hesaplanmıştır. Duvar tipi yoğuşmalı kombinin elektrik gücü 0,2 kW alınmıştır.

Çizelge 4.2 : Beş derece-gün bölgesi için kombi- multi split sistemi yıllık enerji tüketimi.

Derece-Gün Bölgesi	Isıtma İçin Enerji Tüketimi (kWh)	Isıtma İçin Tüketilen Doğal Gaz Miktarı (Sm^3)	Soğutma İçin Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	Kullanım Sıcak Suyu İçin Tüketilen Doğal Gaz Miktarı (Sm^3)	Isıtma-Kullanım Sıcak Suyu İçin Tüketilen Elektrik Enerjisi (kWh)
1.Bölge	158	14,85	5047	179,23	1202
2.Bölge	1018	95,68	4220	179,23	1202
3.Bölge	1744	163,9	3785	179,23	1202
4.Bölge	2000	188	2931	179,23	1202
5.Bölge	3539	332,6	1387	179,23	1202

4.2.2 Hava kaynaklı ısı pompası

Hava kaynaklı ısı pompası sistemi Carrier HAP'a girilirken cihazın farklı sıcaklık ve kısmî kapasitelerdeki verimleri programa işlenmiştir. Bu kapsamda Daikin Altherma Monoblok ısı pompası cihazının COP ve EER değerleri sistemin farklı dış hava sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimleri belirlenmiştir.

Monoblok ısı pompası, tüm ekipmanların dışarıda yer aldığı kompakt bir cihaz olup, ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu ihtiyacını karşılayacak şekilde dizayn edilmiştir. Cihazın içinde bulunan sirkülasyon pompası ile ısıtma soğutma sezonlarında sıcak ve soğuk su binaya gönderilmektedir.

Daikin Altherma için farklı sıcaklıklardaki COP ve EER değerleri Çizelge 4.3 ve 4.4'te ifade edilmiştir [47]. COP değerleri, ısıtma sezonunda suyun kondenserden çıkış sıcaklığının 45°C olduğu durum için, EER değerleri soğutma sezonunda suyun evaporatör çıkış sıcaklığının 7°C olduğu durum için alınmıştır. COP ve EER değerleri pompa elektrik tüketimi dahil olacak şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 ve 4.4'teki değerler, cihazın %100 kapasitedeki COP ve EER değerlerini belirtmektedir. Daikin Altherma cihazının kısmi kapasitelerdeki COP ve EER değerlerine ulaşılamadığından kısmi kapasitelerdeki verimi hesaplamak için RC World 5 programından yararlanılmıştır. RC World 5 programı RC Group firmasının ürünlerini içeren, cihazlarla ilgili detaylı bilgilerin alınabildiği bir paket programdır. Bu program kullanılarak, RC Group'un, simülasyonlarda kullanılacak hava kaynaklı ısı pompasına yakın kapasitedeki bir hava kaynaklı bir ısı pompasının farklı sıcaklıklarda ve kısmi kapasitelerdeki COP ve EER değerleri elde edilmiştir. Buradaki COP ve EER değerlerindeki değişimler baz alınarak, Daikin Altherma cihazının kısmi kapasitelerdeki COP ve EER değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler hesaplandıktan sonra ısıtma ve soğutma sezonunda,farklı dış hava sıcaklıkları ve kısmî kapasiteleri için hesaplanan elektrik tüketim değerleri Çizelge 4.5 ve 4.6'da ifade edilmiştir. Bu değerler simülasyon için HAP'a işlenmiştir.

Buna ek olarak dış hava sıcaklığının çok düşük olduğu durumlarda, binada ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisinin sağlanabilmesi için, hava kaynaklı ısı pompasına takviye amaçlı elektrikli ısıtıcı tanımlanmıştır. Elektrikli ısıtıcının, hava sıcaklığı -5°C'nin altına düştüğünde devreye girmesi öngörülmüştür.

Çizelge 4.6'da belirtilen girdiler doğrultusunda, Türkiye'deki beş derece-gün bölgesi için hava kaynaklı ısı pompasında ısıtma, soğutma ve kullanım sıcak suyu üretimi için harcanan elektrik enerjileri Şekil 4.2'de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.3 : Farklı dış hava sıcaklıkları için hava kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu COP değerleri.

Dış Hava Sıcaklığı(°C)	Isıtma Kapasitesi(kW)	COP
-20	6,5	1,5
-15	8,91	2
-7	10,53	2,33
-2	11,89	2,59
2	13,18	2,85
7	15,06	3,22
12	15,7	3,44
15	17,05	3,74
20	19,5	4,3

Çizelge 4.4 : Farklı dış hava sıcaklıkları için hava kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu EER Değerleri.

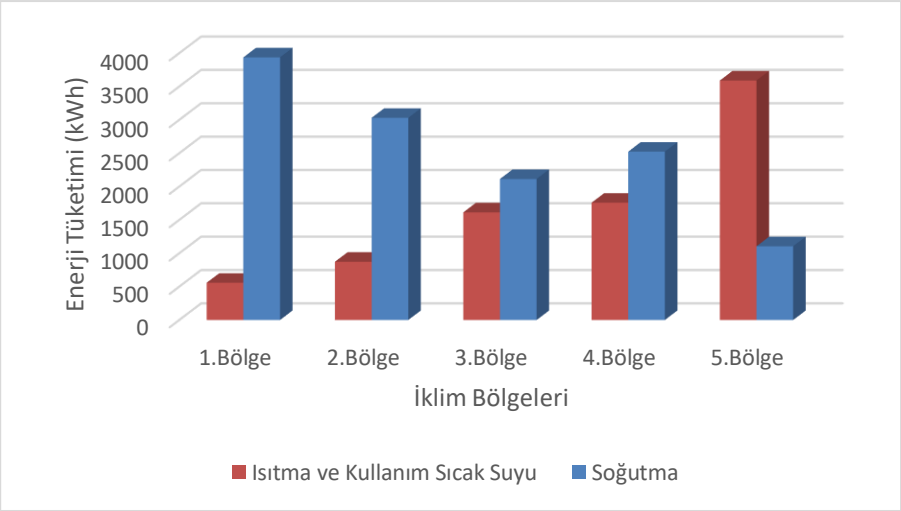
Dış Hava Sıcaklığı(°C)	Soğutma Kapasitesi(kW)	EER
20	14,52	3,3
25	14,44	3
30	13,95	2,66
35	13,1	2,28
40	11,57	2,11
45	9,84	1,83

Çizelge 4.5 : Hava kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu farklı dış hava sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerde elektrik tüketim değerleri.

Sıcaklık °C	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
15	Elektrik Tüketimi	4,02	3,67	3,33	2,96	2,57	2,17	1,76	1,34	1
12		4,36	3,97	3,58	3,18	2,77	2,34	1,90	1,45	1,02
9		4,53	4,15	3,75	3,39	2,95	2,50	2,03	1,55	1,05
6		4,66	4,26	3,87	3,44	3,00	2,54	2,07	1,58	1,07
0		5,54	5,09	4,62	4,12	3,60	3,06	2,50	1,91	1,30
-3		5,77	5,29	4,80	4,29	3,75	3,19	2,61	2,00	1,36
-7		7,50	6,92	6,32	5,68	5,00	4,29	3,53	2,73	1,88
-15		9,38	8,71	8,00	7,24	6,43	5,56	4,62	3,60	2,50

Çizelge 4.6 : Hava kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu farklı dış hava sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerde elektrik tüketim değerleri.

Sıcaklık °C	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
45		8,2	8,44	7,5	7	6	5	4	3,21	2,31
40		7,14	6,43	5,71	5,25	4,5	3,75	3,16	2,37	1,67
35		6,58	5,87	5,22	4,77	4,09	3,41	2,86	2,14	1,5
30	Elektrik Tüketimi	5,64	5	4,44	4,04	3,46	2,88	2,4	1,8	1,25
25		5	4,5	4	3,62	3,1	2,59	2,14	1,61	1,11
20		4,53	4,09	3,64	3,28	2,81	2,34	1,94	1,45	1,05
15		4,17	3,75	3,33	3	2,57	2,14	1,76	1,32	1



Şekil 4.2 : Beş derece-gün bölgesi için hava kaynaklı ısı pompası enerji tüketimleri.

4.2.3 Toprak kaynaklı ısı pompası

Carrier saatlik analiz programında toprak kaynaklı ısı pompası da hava kaynaklı ısı pompasına benzer bir şekilde modellenmektedir. Toprak kaynaklı ısı pompası modellenirken toprak devresinde dolaşan akışkanın sıcaklıkları belirlenerek, ısı pompasının söz konusu farklı su sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimleri programa işlenir.

Simülasyonlar kapsamında serme tipi toprak kaynaklı ısı pompası programa girilmiştir. Öncelikle her derece-gün bölgesi için ısıtma ve soğutma sezonlarında toprak tarafı akışkan giriş sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için dış hava

sıcaklığına bağlı bağıntılardan faydalanılmıştır. Söz konusu bağıntılar Denklem 4.2-4.5'te ifade edilmiştir. [49].

$$EWT_H = EWT_{MIN} + \frac{EWT_{MEAN} - EWT_{MIN}}{TA_{MEAN} - TA_{MIN}} \tag{4.2}$$

$$EWT_C = EWT_{MEAN} + \frac{EWT_{MAX} - EWT_{MEAN}}{TA_{MAX} - TA_{MEAN}} \tag{4.3}$$

$$EWT_{MIN} = TA_{MIN} + 25 \tag{4.4}$$

$$EWT_{MAX} = TA_{MAX} - 5 \tag{4.5}$$

Denklemlerde EWT_H, ısıtma döneminde ısı pompasının evaporatörüne giren su sıcaklığını, EWT_C soğutma sezonunda ısı pompası kondenserine giren su sıcaklığını temsil etmektedir. TA_{MAX} ve TA_{MIN} dış hava sıcaklıklarının minimum ve maksimum değerlerini ifade etmektedir. EWT_{MIN} ve EWT_{MAX} ise toprak tarafındaki suyun ısı pompasına maksimum ve minimum giriş sıcaklıklarıdır.

EWT_H ve EWT_C sıcaklıkları hesaplandıktan sonra [49] kaynağında Ankara için yapılan çalışmalar baz alınarak, farklı su giriş sıcaklıkları için cihazın tam kapasitede tükettiği elektrik miktarı hesaplanmıştır. Buradan kısmi kapasiteledeki elektrik tüketimini bulabilmek için ise kısmi yük faktörü (PLF) oranından yararlanılmıştır. Kısmi yük faktörü Denklem 4.6 ile tanımlanmıştır [50].

$$PLF = \frac{COP_{PL}}{COP_{FL}} \tag{4.6}$$

Isı pompalarında kısmi yük faktörünün matematiksel bir ifadeyle tanımlanması amacıyla yapılan deneysel ve teorik çalışmalar kapsamında Denklem 4.7'de belirtilen bir ampirik formül elde edilmiştir [50].

$$PLF = \frac{1}{1 + \frac{0{,}22.(1 - PLR)}{1 - 0{,}22.(1 - PLR)} + (1 - 0{,}998).\frac{1 - PLR}{PLR}} \tag{4.7}$$

Kısmi yük oranı olarak ifade edilen PLR, cihazın yüzde kaç kapasitede çalıştığını ifade eden sayıdır. Denklem 4.2-4.7 aracılığı ile, Türkiye'nin beş derece-gün bölgesinde kurulacak serme tip toprak kaynaklı ısı pompasının farklı su giriş

sıcaklıkları için kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimleri tayin edilerek Carrier HAP'a işlenmiştir.

Beş derece-gün iklim bölgesini temsilen seçilen şehirlerin ortalama,minimum ve maksimum sıcaklık değerleri Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü resmi sitesinden alınmıştır. Birinci iklim bölgesi için İzmir, ikinci iklim bölgesi için İstanbul, üçüncü iklim bölgesi için Ankara, dördüncü iklim bölgesi için Van, beşinci iklim bölgesi için de Erzurum illerinin sıcaklık verileri dikkate alınmıştır.

Derece-gün bölgelerinde birinci iklim bölgesini temsilen seçilen İzmir'in yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkları Çizelge 4.7'de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.7 : İzmir ili meteorolojik verileri [51].

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıc. (°C)	8,8	9,5	11,5	15,8	20,7	25,5	28,0	27,6	23,6	18,7	14,1	10,1
Maks. Ort. Sıc. (°C)	12,4	13,5	16,2	20,8	26,0	30,7	33,1	32,9	29,1	23,9	18,5	14,0
Min. Ort. Sıc (°C)	5,7	6,1	7,6	11,1	15,3	19,7	22,4	22,2	18,6	14,5	10,6	7,5
Ort. Güneşl. Süresi (saat)	4,2	5,1	6,2	7,5	9,5	11,4	12,2	11,6	10,1	7,3	5,3	4,1
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	12,5	10,7	9,2	8,0	5,3	2,1	0,5	0,5	2,0	5,4	8,8	12,7
Aylık Toplam Yağış Mik. Ort. (mm)	131,2	102,5	75,8	46,2	31,0	9,9	1,7	2,9	13,9	43,6	93,5	143,7

Yukarıdaki verilerden yola çıkarak, İzmir ili için Nisan-Ekim sürecindeki 7 ay ağırlıklı olarak soğutma, kalan 5 ayda ise ağırlıklı olarak ısıtma ihtiyacı olduğu göze çarpmaktadır. Bu kabul doğrultusunda belirlenen dış hava sıcaklıkları için hesaplanan EWT_H ve EWT_C değerleri Çizelge 4.8'de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.8 : Birinci derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri.

Dış Hava Sıcaklıkları (°C)	EWT_H	EWT_C
-3	18,12	-
0	18,88	-
3	19,64	-
6	20,40	-

Çizelge 4.8 (devamı) : Birinci derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri.

Dış Hava Sıcaklıkları (°C)	EWT_H	EWT_C
9	21,17	-
12	21,93	-
18	-	23,48
21	-	24,63
24	-	25,78
27	-	26,93
30	-	28,08
33	-	29,23

Toprak kaynaklı ısı pompası için, ısıtma ve soğutma sezonlarında belirlenen dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak toprak devresinde su giriş sıcaklıkları hesaplandıktan sonra, söz konusu giriş sıcaklıkları için cihazın elektrik tüketimleri belirlenmiştir. Bunun kapsamda Ankara'da yapılmış ölçümler baz alınmıştır [49]. Isı pompasına su giriş sıcaklıklarına göre cihazın COP'sinin ölçüldüğü bu çalışmadaki değerler baz alınarak beş iklim bölgesi için farklı EWT_H ve EWT_C sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerde cihaz elektrik tüketimleri belirlenmiştir.

Birinci bölge için hesaplanan EWT_H ve EWT_C sıcaklıklarında toprak kaynaklı ısı pompasının verim elektrik tüketim değerleri Çizelge 4.9 ve 4.10'da ifade edilmiştir.

Çizelge 4.9 : Birinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri.

ECWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
29,2		3,49	3,21	2,93	2,63	2,31	1,97	1,62	1,25	1,2
28,1		3,41	3,14	2,86	2,56	2,25	1,92	1,58	1,22	1,15
26,9	Elektrik Tüketimi	3,33	3,07	2,79	2,50	2,20	1,88	1,54	1,18	1,12
25,8		3,33	3,07	2,79	2,50	2,20	1,88	1,54	1,18	1,05
24,6		3,26	3,00	2,73	2,44	2,14	1,83	1,50	1,15	1,05
23,5		3,19	2,93	2,67	2,39	2,09	1,79	1,46	1,13	1

İkinci iklim bölgesini temsilen ele alınan İstanbul şehrinin yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkları Çizelge 4.11'de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.10 : Birinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri.

EWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
21,9		3,49	3,21	2,93	2,63	2,31	1,97	1,62	1,25	1
21,2		3,57	3,29	3,00	2,69	2,37	2,03	1,67	1,29	1,05
20,4	Elektrik Tüketimi	3,57	3,29	3,00	2,69	2,37	2,03	1,67	1,29	1,1
19,6		3,57	3,29	3,00	2,69	2,37	2,03	1,67	1,29	1,12
18,9		3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1,15
18,1		3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1,2

Çizelge 4.11 : İstanbul ili meteorolojik verileri [51].

İST.	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıc. (°C)	6,0	6,1	7,7	12,0	16,8	21,4	23,8	23,8	20,1	15,7	11,7	8,2
Maks. Ort. Sıc. (°C)	8,5	9,0	10,9	15,5	20,0	24,6	26,6	26,8	23,7	19,2	14,8	10,7
Min. Ort. Sıc (°C)	3,2	3,1	4,2	7,7	12,1	16,5	19,5	20,1	16,8	13,0	8,9	5,4
Ort. Güneşl. Süresi (saat)	3,6	3,4	4,4	6,3	8,5	10,4	11,3	10,4	8,2	5,4	4,0	2,5
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	17,2	15,1	13,7	10,2	8,0	6,1	4,2	4,9	7,4	11,2	13,0	17,2
Aylık Toplam Yağış Mik. Ort. (mm)	104,4	78,2	71,5	46,1	34,2	35,9	32,5	40,1	60,6	87,8	101,2	122,7

Yukarıdaki veriler doğrultusunda, İstanbul için Mayıs-Ekim ayları süresince soğutma, diğer aylarda ise ısıtma sezonu olduğu kabulü ile dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak toprak tarafı su giriş sıcaklıkları hesaplanıp Çizelge 4.12'de belirtilmiştir.

İzmir ili için izlenen yönteme benzer bir şekilde ikinci iklim bölgesi için toprak kaynaklı ısı pompasının hesaplanan toprak devresi su sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimi Çizelge 4.13 ve 4.14'te ifade edilmiştir.

Çizelge 4.12 : İkinci derece-gün bölgesi için 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

Çizelge 4.13 : İkinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri.

ECWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
28,89		3,41	3,14	2,86	2,56	2,25	1,92	1,58	1,22	1,15
28		3,33	3,07	2,79	2,50	2,20	1,88	1,54	1,18	1,12
26,82	Elektrik Tüketimi	3,33	3,07	2,79	2,50	2,20	1,88	1,54	1,18	1,1
25,63		3,26	3,00	2,73	2,44	2,14	1,83	1,50	1,15	1,05
24,45		3,19	2,93	2,67	2,39	2,09	1,79	1,46	1,13	1,05
23,56		3,13	2,87	2,61	2,33	2,05	1,74	1,43	1,10	1

Çizelge 4.14 : İkinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri.

EWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
21,7		3,57	3,29	3	2,69	2,37	2,03	1,67	1,29	1,2
20,8		3,57	3,29	3	2,69	2,37	2,03	1,67	1,29	1,15
19,9	Elektrik Tüketimi	3,57	3,29	3	2,69	2,37	2,03	1,67	1,29	1,12
18,9		3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1,1
17,9		3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1,05
17		3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1

Üçüncü derece-gün bölgesinin iklim verilerini içeren Ankara'nın yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkları Çizelge 4.15'te ifade edilmiştir.

Çizelge 4.15 : Ankara ili meteorolojik verileri [51].

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıc. (°C)	0,2	1,6	5,7	11,3	16,1	20,1	23,5	23,4	18,7	12,9	7,1	2,4
Maks. Ort. Sıc. (°C)	4,2	6,3	11,4	17,3	22,3	26,6	30,2	30,4	25,9	19,9	13,0	6,4
Min. Ort. Sıc (°C)	-3,3	-2,4	0,6	5,3	9,6	12,8	15,8	15,9	11,7	7,0	2,4	-0,9
Ort. Güneşl. Süresi (saat)	2,5	3,5	5,2	6,3	8,3	10,1	11,3	10,6	9,2	6,5	4,4	2,4
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	12,1	11,2	10,7	11,1	12,1	8,4	3,5	2,6	4,0	6,8	8,1	11,7
Aylık Toplam Yağış Mik. Ort. (mm)	39,6	35,3	38,5	42,6	51,2	33,9	13,7	11,5	17,9	27,6	31,6	43,8

Çizelge 4.15 doğrultusunda, Ankara için Mayıs-Eylül ayları süresince soğutma, diğer aylarda ise ısıtma sezonu olduğu kabulü ile toprak tarafı su giriş sıcaklıkları hesaplanarak Çizelge 4.16'da ifade edilmiştir.

Çizelge 4.16 : Üçüncü derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri.

Dış Hava Sıcaklıkları (°C)	EWT_H	EWT_C
-12	13,00	-
-7	14,73	-
-2	16,47	-
3	18,20	-
8	19,93	-
13	21,66	-
18	-	23,65
21	-	25,33
25	-	27,00
29	-	28,25
33	-	29,92
36	-	31,17

Ankara için toprak kaynaklı ısı pompasının hesaplanan toprak devresi su sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimi Çizelge 4.17 ve 4.18'de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.17 : Üçüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri.

ECWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
31,17		3,58	3,30	3,00	2,69	2,36	2,02	1,66	1,27	1,1
29,9		3,50	3,22	2,93	2,63	2,31	1,97	1,62	1,25	1,05
28,3	Elektrik Tüketimi	3,49	3,21	2,93	2,63	2,31	1,97	1,62	1,25	1,05
27		3,41	3,14	2,86	2,56	2,25	1,92	1,58	1,22	1,02
25,3		3,26	3,00	2,73	2,44	2,14	1,83	1,50	1,15	1
23,6		3,19	2,93	2,67	2,39	2,09	1,79	1,46	1,13	1

Çizelge 4.18 : Üçüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri.

EWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
21,7		3,49	3,21	2,93	2,63	2,31	1,97	1,62	1,25	1,10
19,9		3,57	3,29	3,00	2,69	2,37	2,03	1,67	1,29	1,15
18,2	Elektrik Tüketimi	3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1,20
16,5		3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1,25
14,7		3,75	3,46	3,16	2,84	2,50	2,14	1,76	1,36	1,30
13		3,85	3,55	3,24	2,92	2,57	2,21	1,82	1,41	1,35

Dördüncü derece-gün bölgesinin iklim verilerini içeren Van'ın yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkları Çizelge 4.19'da ifade edilmiştir.

Van yıllık ortalama sıcaklık verileri doğrultusunda, Haziran-Eylül ayları süresince soğutma, diğer aylarda ise ısıtma sezonu olduğu kabulü ile toprak tarafı su giriş sıcaklıkları hesaplanarak Çizelge 4.20'de belirtilmiştir.

Dördüncü iklim bölgesinde toprak kaynaklı ısı pompasının hesaplanan toprak devresi su sıcaklıklarında ve kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimi Çizelge 4.21 ve 4.22'de ifade edilmiştir

Çizelge 4.19 : Van ili meteorolojik verileri [51].

VAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıc. (°C)	-3,4	-2,8	1,3	7,6	13,1	18,2	22,3	22,0	17,3	10,8	4,4	-0,8
Maks. Ort. Sıc. (°C)	1,8	2,6	6,4	12,8	18,5	23,9	28,2	28,4	24,2	17,3	10,2	4,3
Min. Ort. Sıc (°C)	-7,7	-7,2	-3,0	2,5	6,9	10,7	14,5	14,5	10,6	5,6	0,2	-4,7
Ort. Güneşl. Süresi (saat)	4,3	5,2	6,0	7,2	9,2	11,4	12,1	11,3	9,5	7,0	5,4	4,2
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	10,0	9,8	12,1	12,2	10,9	5,2	2,0	1,3	2,5	8,4	8,8	9,8
Aylık Toplam Yağış Mik. Ort. (mm)	34,9	33,8	46,8	55,8	45,2	18,3	5,4	3,7	13,7	47,2	46,8	36,9

Çizelge 4.20 : Dördüncü derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri.

Dış Hava Sıcaklıkları (°C)	EWT_H	EWT_C
-20	0,5	-
-10	5,2	-
0	10,0	-
5	12,4	-
10	14,8	-
15	17,2	-
18	-	20,0
21	-	21,9
24	-	23,9
27	-	25,8
30	-	27,7
33	-	29,6

Çizelge 4.21 : Dördüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri.

ECWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
29,6	Elektrik Tüketimi	3,49	3,21	2,93	2,63	2,31	1,97	1,62	1,25	1,05
27,7		3,41	3,14	2,86	2,56	2,25	1,92	1,58	1,22	1,05
25,7		3,33	3,07	2,79	2,50	2,20	1,88	1,54	1,18	1,02
23,9		3,19	2,93	2,67	2,39	2,09	1,79	1,46	1,13	1,02

Çizelge 4.21(devamı) : Dördüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri.

ECWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
21,9	Elektrik Tüketimi	3,13	2,87	2,61	2,33	2,05	1,74	1,43	1,10	1
20		3,06	2,81	2,55	2,28	2,00	1,70	1,40	1,07	1

Çizelge 4.22 : Dördüncü derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri.

EWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
17,2		3,66	3,38	3,08	2,76	2,43	2,08	1,71	1,32	1
14,8		3,75	3,46	3,16	2,84	2,50	2,14	1,76	1,36	1,05
12,4	Elektrik Tüketimi	3,95	3,65	3,33	3,00	2,65	2,27	1,88	1,41	1,1
10		4,17	3,86	3,53	3,18	2,73	2,34	1,88	1,45	1,15
5,2		4,55	4,22	3,87	3,39	3,00	2,59	2,14	1,67	1,24
0,5		5,36	5,00	4,62	4,20	3,60	3,13	2,61	1,96	1,36

Son olarak beşinci derece-gün bölgesinin iklim verilerini içeren Erzurum'un yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıkları Çizelge 4.23'te ifade edilmiştir.

Çizelge 4.23 : Erzurum ili meteorolojik verileri [51].

ERZ.	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıc. (°C)	-9,1	-7,7	-2,5	5,3	10,7	14,9	19,3	19,5	14,7	8,1	1,0	-6,0
Maks. Ort. Sıc. (°C)	-4,0	-2,4	2,4	10,9	16,8	21,7	26,4	27,1	22,6	15,1	6,8	-1,1
Min. Ort. Sıc (°C)	-13,9	-12,6	-7,2	0,1	4,4	7,4	11,2	11,2	6,5	1,8	-3,6	-10,3
Ort. Güneşl. Süresi (saat)	3,2	4,3	5,1	6,3	7,9	10,2	11,2	10,6	9,0	6,7	4,8	3,0
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	11,2	11,2	12,3	13,8	16,1	11,0	6,6	5,2	5,1	9,6	9,3	10,7
Aylık Toplam Yağış Mik. Ort. (mm)	22,5	27,3	35,0	53,5	73,1	49,1	26,8	17,5	23,9	48,2	33,3	22,6

Erzurum için yapılan sıcaklık ölçüm verileri doğrultusunda, Haziran-Ağustos ayları süresince soğutma, diğer aylar için ise ısıtma sezonu olduğu kabulü ile toprak tarafı su giriş sıcaklıkları hesaplanarak Çizelge 4.24'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.24 : Beşinci derece-gün bölgesi için EWT_H ve EWT_C değerleri.

Dış Hava Sıcaklıkları (°C)	EWT_H	EWT_C
-20	0,5	-
-10	5,2	-
0	10,0	-
5	12,4	-
10	14,8	-
15	17,2	-
18	-	20,0
21	-	21,9
24	-	23,9
27	-	25,8
30	-	27,7
33	-	29,6

Isıtma ve soğutma sezonu için hesaplanan toprak tarafı su sıcaklıklarında ısı pompasının kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimleri Çizelge 4.25 ve 4.26'da ifade edilmiştir.

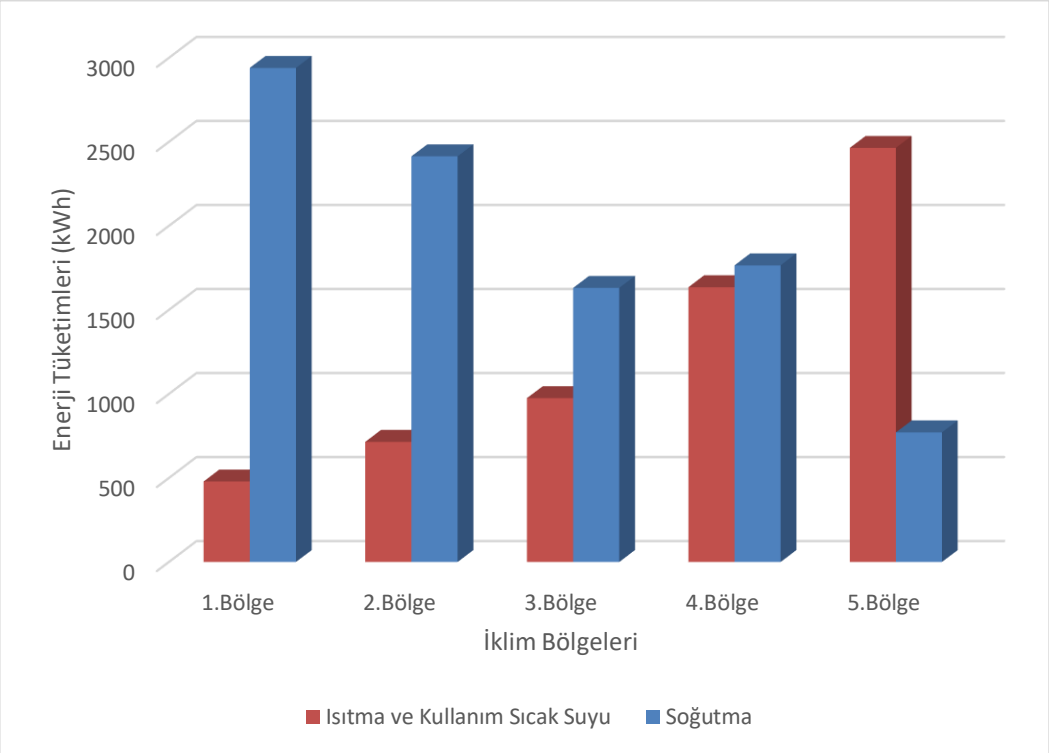
Çizelge 4.25 : Beşinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası soğutma sezonu elektrik tüketim değerleri.

ECWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
29,01		3,49	3,21	2,93	2,63	2,31	1,97	1,62	1,25	1,05
26,9		3,33	3,07	2,79	2,50	2,20	1,88	1,54	1,18	1,05
24,8	Elektrik Tüketimi	3,26	3,00	2,73	2,44	2,14	1,83	1,50	1,15	1,03
22,6		3,19	2,93	2,67	2,39	2,09	1,79	1,46	1,13	1,03
20,5		3,00	2,76	2,50	2,23	1,96	1,70	1,40	1,1	1
18,4		2,88	2,65	2,40	2,14	1,88	1,60	1,30	1,1	1

Hesaplanan sıcaklıklar ve kısmi kapasitelerdeki elektrik tüketimlerinin saatlik simülasyon programına işlenmesi sonucu toprak kaynaklı ısı pompasının beş farklı iklim bölgesi için enerji tüketim değerleri Şekil 4.3'te ifade edilmiştir.

Çizelge 4.26 : Beşinci derece-gün bölgesi toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma sezonu elektrik tüketim değerleri.

EWT (°C)	Kapasite kW	15 %100	13,5 %90	12 %80	10,5 %70	9 %60	7,5 %50	6 %40	4,5 %30	3 %20
14,4		3,75	3,46	3,16	2,84	2,5	2,08	1,71	1,32	1,05
11,8		4,05	3,65	3,33	2,92	2,57	2,21	1,82	1,41	1,1
9,3	Elektrik Tüketimi	4,17	3,86	3,53	3,18	2,73	2,34	1,88	1,45	1,15
6,7		4,55	4,22	3,87	3,39	3	2,59	2,14	1,67	1,25
1,6		5,36	5	4,62	4,2	3,6	3,13	2,61	1,96	1,36
-3,5		6	5,63	5	4,57	3,91	3,41	2,73	2,05	1,43



Şekil 4.3 : Beş derece-gün bölgesi için toprak kaynaklı ısı pompası enerji tüketimleri.

4.3 Farklı Derece-Gün Bölgeleri İçin İklimlendirme Sistemlerinin CO_2 Emisyonlarının Hesaplanması

Simülasyonlar kapsamında elektrik enerjisi ve doğal gaz enerjisi olmak üzere iki enerji tipi kullanılmıştır. 1 kWh elektrik harcandığında ve 1 sm^3 doğal gaz tüketildiğinde açığa çıkan CO_2 emisyonu belirlenerek bir önceki bölümde ifade

edilen enerji tüketimleriyle çarpılıp farklı mekanik sistemlerin her bir derece-gün bölgesindeki CO_2 emisyonu hesaplanmıştır. CO_2 emisyonlarının hesaplanmasında, cihazların imalatında ortaya çıkan emisyonlar dikkate alınmamıştır.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda, 1 kWh elektrik tüketildiğinde atmosfere yaklaşık olarak 0.6 kg CO_2 salımı yapılmaktadır [56]. 1 sm^3 doğal gaz yakıldığında ise atmosfere 2,75 kg CO_2 salımı gerçekleşmektedir [57].

Çizelge 4.27'de beş derece-gün bölgesinde karşılaştırılan farklı iklimlendirme sistemlerinin yıllık CO_2 emisyon miktarları ifade edilmiştir.

Çizelge 4.27 : Mekanik sistemlerin beş derece-gün bölgesinde yıllık CO_2 emisyonları.

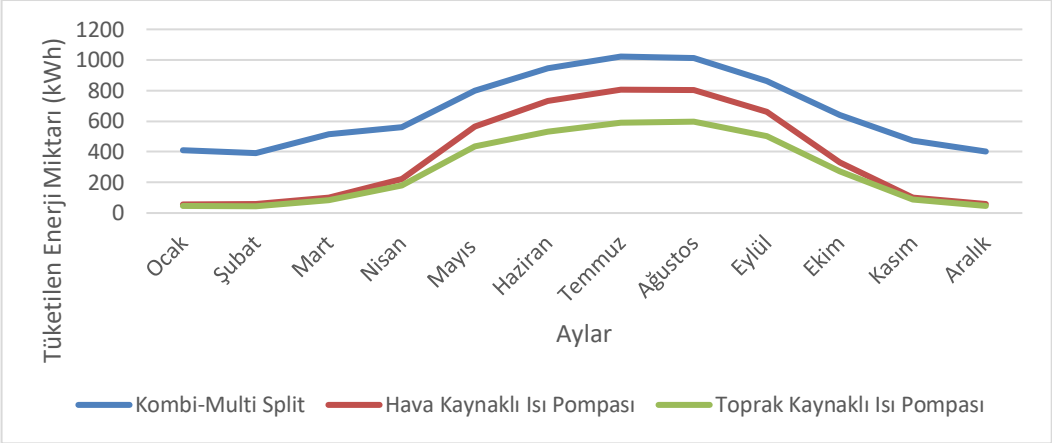
İklim Bölgeleri	İklimlendirme Sistemleri	CO_2 Emisyonları (kg/yıl)
1	Kombi-Multi Split	4241
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	2698
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	2051
2	Kombi-Multi Split	3938
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	2343
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1877
3	Kombi-Multi Split	3872
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	2693
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1564
4	Kombi-Multi Split	3224
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	2777
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	2260
5	Kombi-Multi Split	2839
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	4005
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1941

4.4 Mekanik Sistemlerin Karşılaştırılması

Türkiye'nin beş derece-gün bölgesinin iklim verilerini temsilen seçilen beş şehirde yer alacak bir konut binası için gerçekleştirilen simülasyonlarda yıl içindeki enerji tüketimi değişimi farklı iklimlendirme sistemleri ve her iklim bölgesi için grafiklerle ifade edilmştir. Bu grafiklerde kombi-multi split klima alternatifinde tüketilen doğal gaz miktarı da kWh cinsinden ifade edilmiştir. Söz konusu alternatifte, multi split klima yalnızca soğutma sezonunda kullanıldığından ısıtma sezonunda ve kullanım

sıcak suyu üretimindeki enerji tüketimleri kombinin, soğutma sezonundaki enerji tüketimleri ise multi split sistemin verilerini temsil etmektedir.

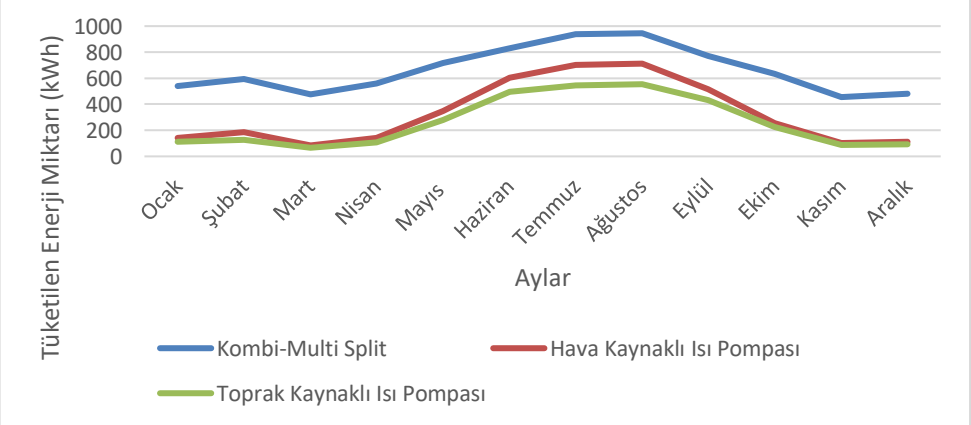
Birinci derece gün bölgesi için üç mekanik sistemin yıl içindeki enerji tükteim miktarları Şekil 4.4'te ifade edilmiştir.



Şekil 4.4 : Birinci derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri.

Isıtma ve kullanım sıcak suyu hazırlanmasında tüketilen enerji miktarları mercek altına alındığında, birinci iklim bölgesinde hava ve toprak kaynaklı ısı pompaları kombiye göre sırasıyla %80 ve %84 daha az enerji tüketmişlerdir. Soğutma sezonu incelendiğinde hava kaynaklı ısı pompası multi split klima sistemine göre % 22, toprak kaynaklı ısı pompası ise %42 daha az enerji tüketimi sağlamıştır.

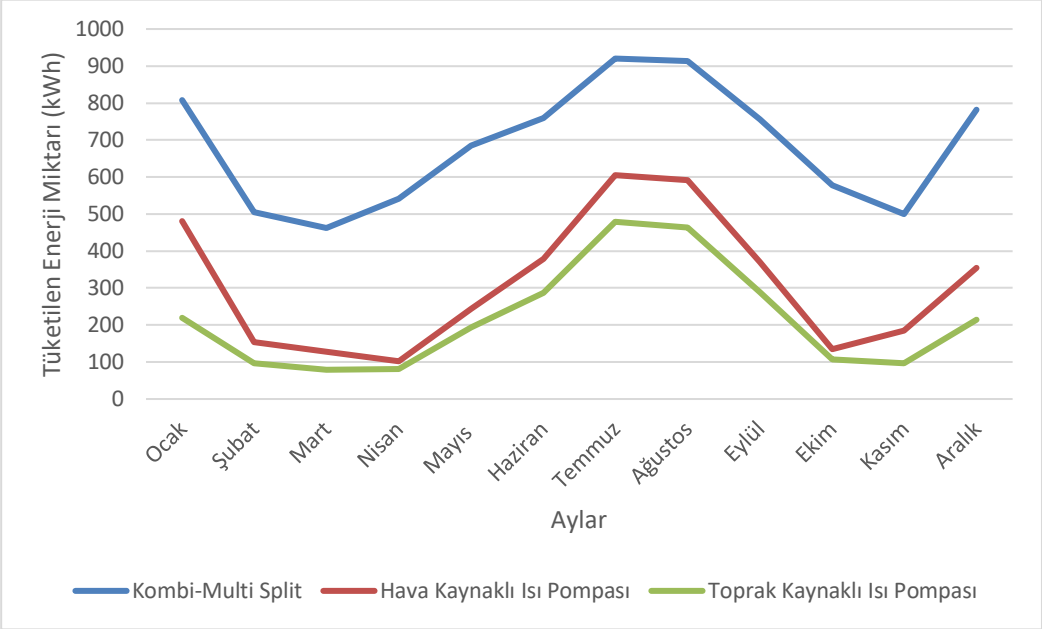
İkinci iklim bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimlerinin değişimi Şekil 4.5'te ifade edilmiştir.



Şekil 4.5 : İkinci derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri.

İkinci iklim bölgesinde hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompalarının ısıtma sezonunda ve kullanım sıcak suyu üretiminde kombiye kıyasla sırasıyla yüzde %78 ve %82 enerji tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. Soğutma sezonunda ise hava kaynaklı ısı pompası multi split klimaya göre %28'lik bir enerji tasarrufu sağlarken, toprak kaynaklı ısı pompasında bu oran yüzde %43 mertebelerine ulaşmıştır.

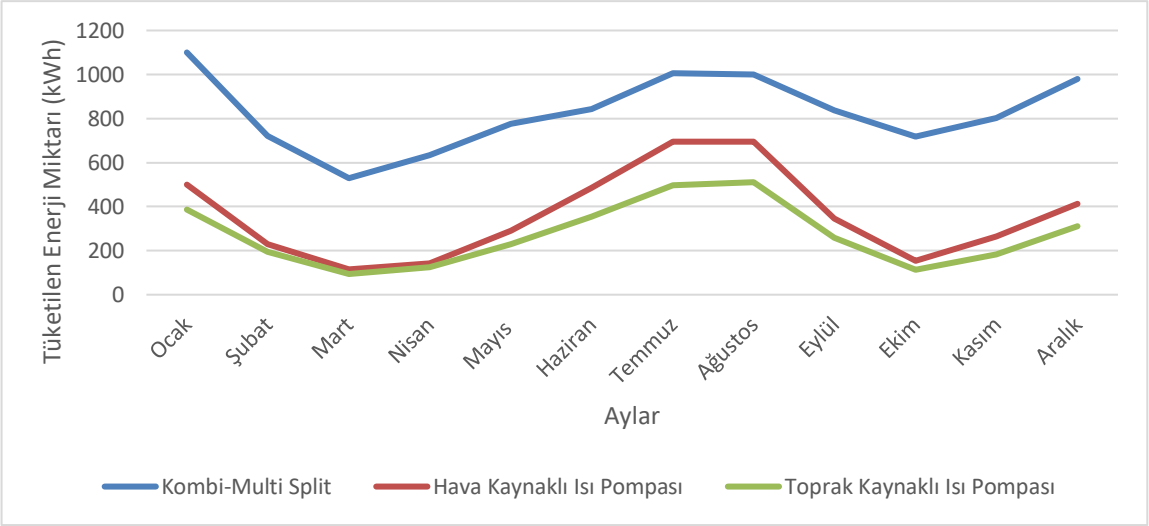
Üçüncü iklim bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimlerinin değişimi Şekil 4.6'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.6 : Üçüncü derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri.

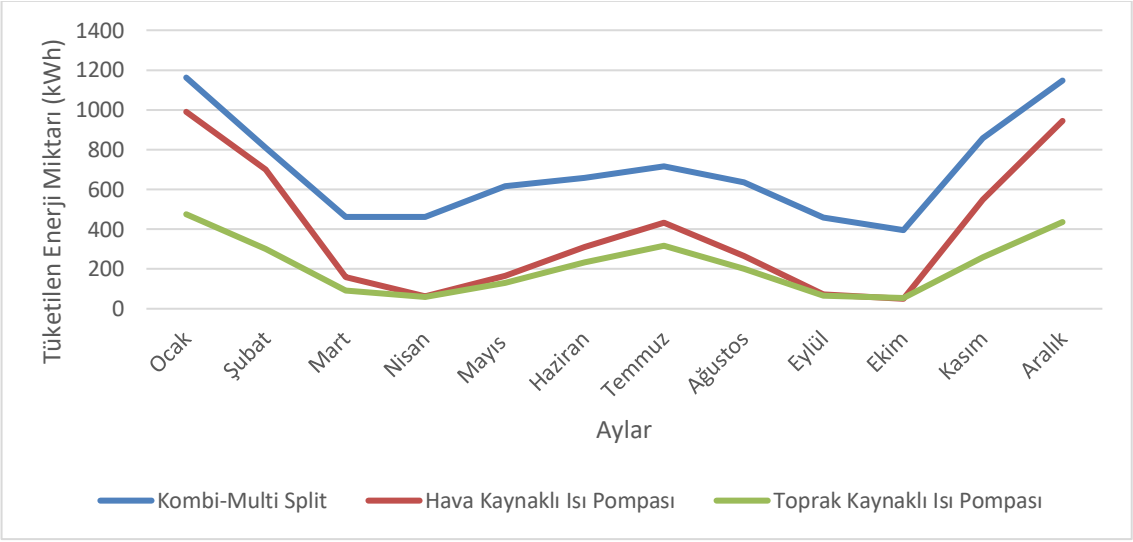
Üçüncü iklim bölgesinde hava kaynaklı ısı pompası referans sistem olan kombi sistemine göre, ısıtma ve kullanım sıcak suyu üretiminde %65 daha az enerji tüketirken, toprak kaynaklı ısı pompası %79 daha az enerji tüketmektedir. Soğutma sezonunda ise hava kaynaklı ısı pompası %24 mertebesinde, toprak kaynaklı ısı pompası ise %57'lik bir enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Dördüncü iklim bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimlerinin değişimi Şekil 4.7'de ifade edilmiştir. Buna göre ısıtma ve kullanım sıcak suyu üretimi işlemlerinde hava kaynaklı ısı pompası kullanıldığında %50 daha az enerji tüketildiği gözlemlenmiştir. Aynı işlem için toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığında elde edilen enerji tasarrufu %61 mertebelerinde olmuştur. Soğutma sezonunda ise, hava kaynaklı ısı pompası ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri multi split sisteme göre sırasıyla %18 ve %29 enerji tasarrufu sağlamışlardır.



Şekil 4.7 : Dördüncü derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri.

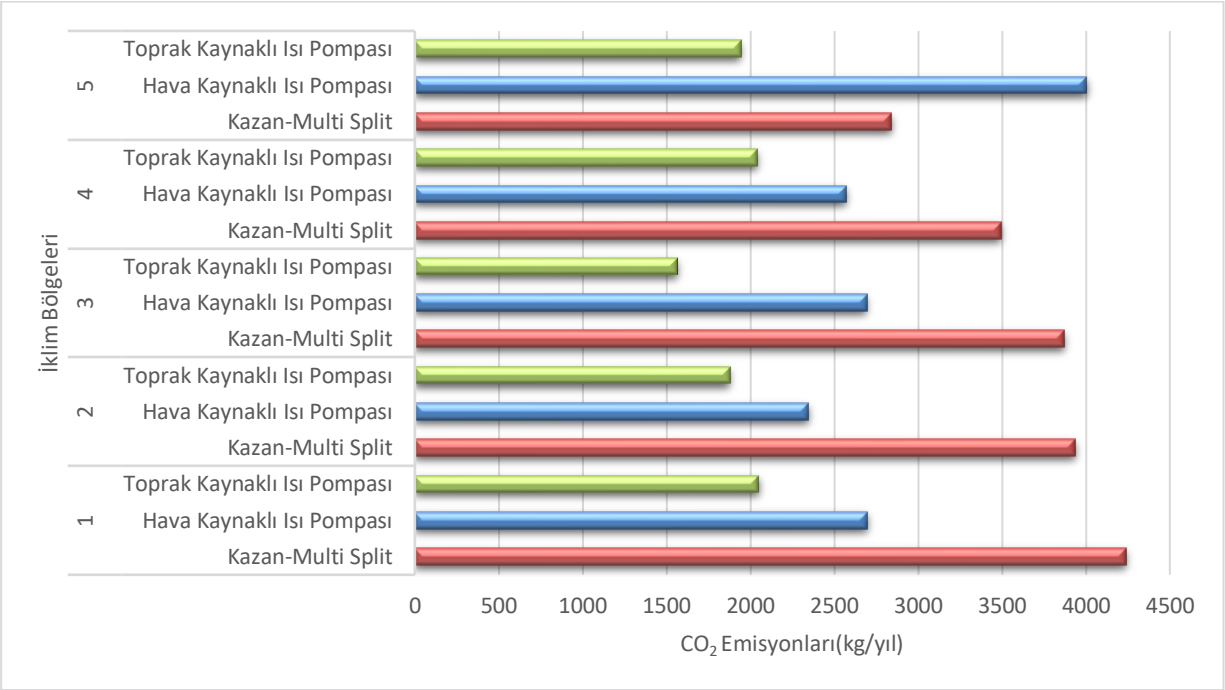
Son olarak beşinci iklim bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimlerinin değişimi Şekil 4.8'de ifade edilmiştir. Grafikteki veriler doğrultusunda, ısıtma ve kullanım sıcak suyu için kombi yerine hava kaynaklı ısı pompası kullanıldığında enerjide %18'lik bir tasarruf elde edilirken toprak kaynaklı ısı pompalarında bu oran %63 olarak dikkat çekmektedir. Soğutma sezonu için de hava kaynaklı ısı pompası referans multi split sistemine göre %9, toprak kaynaklı ısı pompası ise %44'lük bir enerji tasarrufu sağlamıştır.



Şekil 4.8 : Beşinci derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıl içindeki enerji tüketimleri.

Enerji tüketimlerine ek olarak, sistemlerin atmosfere yaydıkları CO_2 miktarı karşılaştırılarak sürdürülebilirlik açısından da mekanik sistemlerin karşılaştırılması

amaçlanmıştır. Şekil 4.9'da beş iklim bölgesi için simüle edilen iklimlendirme sistemlerinin yıllık CO_2 emisyon miktarları ifade edilmiştir.



Şekil 4.9 : Beş derece-gün bölgesi için tüm sistemlerin yıllık CO_2 emisyonları.

Beşinci iklim bölgesi haricindeki tüm bölgelerde, ısı pompaları kombi-multi split sistemine göre atmosfere daha az CO_2 salımı yapmaktadır. Beşinci derece-gün bölgesinde bu durumun geçerli olmayışının sebebi, bu bölgede dış hava sıcaklıklarının uzun süreler düşük olması sonucu hava kaynaklı ısı pompasının elektrikli ısıtıcısının ısıtma sezonun büyük bir bölümünde çalışmasıyla yüksek miktarda elektrik enerjisinin tüketilmesidir.

Tüm iklim bölgeleri incelendiğinde; birinci iklim bölgesinde hava kaynaklı ısı pompası ile referans sisteme göre %36, toprak kaynaklı ısı pompası ile ise %52 daha az CO_2 salımı elde edilmiştir. İkinci iklim bölgesinde bu oranlar %40 ve %52 iken üçüncü iklim bölgesinde %30 ve %60 olarak göze çarpmaktadır. Dördüncü iklim bölgesinde hava kaynaklı ısı pompası kombi-multi split sistemine göre %14 daha az CO_2 emisyonu gerçekleştirmiş olup toprak kaynaklı ısı pompasında bu oran %30 olarak elde edilmiştir. Beşinci iklim bölgesindeyse toprak kaynaklı ısı pompası kombi-multi split sistemine göre atmosfere %32 daha az CO_2 salımı gerçekleştirmektedir.

5. MALİYET ANALİZİ

5.1 Derece-Gün Bölgelerinde İklimlendirme Sistemlerinin Yıllık Enerji Faturaları ve Geri Ödeme Sürelerinin Hesaplanması

Carrier HAP kullanılarak, beş derece gün bölgesi için karşılaştırılan üç mekanik sistemin yıllık enerji faturaları elde edilmiştir. Enerji giderleri hesaplanırken 1 kWh elektrik fiyatı 2017 yılının birinci dönem ortalama fiyatı 0,41 TL olarak alınmıştır. 1 Sm^3 doğal gaz fiyatı ise konutlar için 2017 yılı birinci dönem ortalama fiyatı olan 1,1 TL olarak alınmıştır [58].

Simülasyonlar kapsamında karşılaştırılan mekanik sistemlerin geri ödeme süreleri; ilk yatırım maliyetleri, bakım maliyetleri ve yıllık enerji faturaları düşünülerek her derece-gün bölgesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Duvar tipi kombi ve multi split klima sistemlerinin fiyatları ilgili firmaların internet sitelerinden alınmıştır [59, 60]. Hava kaynaklı ısı pompası ve toprak kaynaklı ısı pompası fiyatları firmalarla bizzat görüşülerek edinilmiştir [61, 62]. Yıllık bakım maliyetleri de cihaz üreticileri ile görüşülerek maliyet analizine eklenmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompasının toprak kısmındaki borulama maliyetinin tayini için Swenka'nın çalışmasından faydalanılmıştır. Bu çalışmada farklı bölgelerdeki üreticilerden alınan fiyatlar belirtilmiştir. Söz konusu fiyatlarınm ortalaması alınarak toprak kaynaklı ısı pompasının maliyet analizinde yer alan ilk yatırım kalemine borulama maliyeti eklenmiştir [63]. İlk yatırım maliyetleri Ek A bölümünde Çizelge A.1'de ifade edilmiştir.

Birinci iklim bölgesi için incelenen mekanik sistemlerden hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompalarının geri ödeme süreleri Çizelge 5.1'de ifade edilmiştir. Çizelgedeki veriler incelendiğinde, birinci iklim bölgesinde ısıtma ve kullanım sıcak suyu hazırlama işlemleri için kombi yerine hava kaynaklı ısı pompası kullanıldığında yıllık enerji faturası %54 azalmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığında ise bu oran %60'a çıkmaktadır. Soğutma sezonunda ise hava kaynaklı ısı pompası enerji giderlerini %28 azaltırken toprak kaynaklı ısı pompası %47 azaltmaktadır.

Buna karşın ilk yatırım maliyetlerinde hava kaynaklı ısı pompası kombi multi split sisteminin yaklaşık iki katıyken toprak kaynaklı ısı pompasının ilk yatırım maliyeti, referans sistemin üç katına yakındır.

Çizelge 5.1 : Birinci derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri.

İklimlendirme Sistemleri	İlk Yatırım ve Bakım Maliyeti (TL)	Isıtma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Soğutma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Kombi-Multi Split Sistem	10900	480,8	2180,3	-
Hava Kaynaklı Isı Pompası	20700,0	221,4	1559,1	11,1
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	32650,6	189,7	1164,2	16,6

İkinci derece-gün bölgesi için sistemlerin geri ödeme süreleri ve enerji faturaları Çizelge 5.2'de ifade edilmiştir.

Çizelge 5.2 : İkinci derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri.

İklimlendirme Sistemleri	İlk Yatırım ve Bakım Maliyeti (TL)	Isıtma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Soğutma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Kombi-Multi Split Sistem	10900	781,3	1823,0	-
Hava Kaynaklı Isı Pompası	20700,0	346,1	1200,3	9,3
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	32650,6	283,1	955,9	15,9

İkinci iklim bölgesinde ısıtma ve kullanım sıcak suyu için üç farklı sistemin enerji faturaları karşılaştırıldığında hava kaynaklı ısı pompası %56, toprak kaynaklı ısı pompası %64 tasarruf sağlamaktadır. Soğutma sezonunda da multi split ile karşılaştırıldığında enerji faturalarında, hava kaynaklı ısı pompası %35, toprak kaynaklı ısı pompası %47 azalma sağlamaktadır.

Üçüncü iklim bölgesi verilerine göre sistemlerin simülasyonlarısonucunda yıllık enerji faturaları ve geri ödeme süreleri Çizelge 5.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 5.3 : Üçüncü derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri.

İklimlendirme Sistemleri	İlk Yatırım ve Bakım Maliyeti (TL)	Isıtma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Soğutma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Kombi-Multi Split Sistem	10900	864,7	1498,9	-
Hava Kaynaklı Isı Pompası	20700,0	639,1	1138,1	16,7
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	32650,6	386,1	698,9	17

Üçüncü derece-gün bölgesine bakıldığında, hava kaynaklı ısı pompasının kombi ile karşılaştırıldığında ısıtma ve sıcak su giderlerinde %26 azalma sağladığı görülmüştür. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığında ise bu oran %55 olmuştur. Soğutma döneminde hava kaynaklı ısı pompası enerji giderlerini %24 azaltırken toprak kaynaklı ısı pompasının %54 azalttığı belirlenmiştir.

Dördüncü iklim bölgesi verilerine göre sistemlerin simülasyonları sonucunda yıllık enerji faturaları ve geri ödeme süreleri Çizelge 5.4'te belirtilmiştir.

Dördüncü iklim bölgesinde ise ısıtma sistemi ile kullanım sıcak suyu hazırlama sistemleri için kombi ve hava kaynaklı ısı pompası karşılaştırıldığında hava kaynaklı ısı pompası alternatifinde enerji faturasının %24, toprak kaynaklı ısı pompası kullanıldığında ise %29 azaldığı görülmüştür. Soğutma sezonu için, hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompaları multi split sisteme göre enerji faturalarında sırasıyla %14 ve %44 azalma sağlamışlardır.

Beşinci derece-gün bölgesi için mekanik sistemlerin yıllık enerji faturaları ve geri ödeme süreleri Çizelge 5.5'te belirtilmiştir. Buna göre, ısıtma ve kullanım suyu için sistemler karşılaştırıldığında hava kaynaklı ısı pompasının yıllık enerji faturası kombiye göre yüksek olmuştur. Bunun sebebi düşük hava sıcaklıklarında hava kaynaklı ısı pompasının defrosta girmesiyle takviye elektrikli ısıtıcının yoğun olarak kullanılıyor olmasıdır. Toprak kaynaklı ısı pompası ise kombiye göre yıllık enerji faturasını %25 düşürmüştür. Soğutma sezonunda ise hava kaynaklı ısı pompası multi split sisteme göre yıllık enerji faturasını %9 düşürürken toprak kaynaklı ısı pompasında bu oran %44 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.4 : Dördüncü derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri.

Mekanik Sistemler	İlk Yatırım ve Bakım Maliyetleri (TL)	Isıtma Sezonu Yıllık Enerji Gideleri (TL)	Soğutma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Geri Ödeme Süreleri (Yıl)
Kombi- Multi Split Sistemi	10.900	914,4	1.160,7	-
Hava Kaynaklı Isı Pompası	20.700	696,6	999,5	25,9
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	32.650	647,5	645,9	27,8

Çizelge 5.5 : Beşinci derece-gün bölgesi mekanik sistemler geri ödeme süreleri.

Mekanik Sistemler	İlk Yatırım ve Bakım Maliyetleri (TL)	Isıtma Sezonu Yıllık Enerji Gideleri (TL)	Soğutma Sezonu Yıllık Enerji Giderleri (TL)	Geri Ödeme Süreleri (Yıl)
Kombi- Multi Split Sistemi	10.900	1305,9	549,3	-
Hava Kaynaklı Isı Pompası	20.700	2145,9	497,4	Sistem geri ödemesi mümkün değildir.
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	32.650	975,7	305,3	37,9

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada her geçen gün artan nüfusla birlikte enerji ihtiyacının da artması, bu ihtiyacın uzun süre tükenebilir enerji kaynaklarından sağlanması ve bunun sonucunda atmosfere yapılan yoğun karbon salımları sebebiyle ekosistem zarar görmüş olup, insanoğlu ve tüm canlılar bu durumdan olumsuz etkilenmişlerdir. Bu etkileri azaltmak ve yok etmek için dünyanın bir çok bölgesinde enerji tasarrufuna ve enerjiyi verimli kullanmaya dair önemli tedbirler ve yönetmelikler oluşturulmuştur. Enerji tüketiminin önemli bir kalemini oluşturan binalarda da enerji tüketimini minimize edip sürdürülebilir yapılar oluşturmaya dair bir çok çalışma yapılmaktadır.

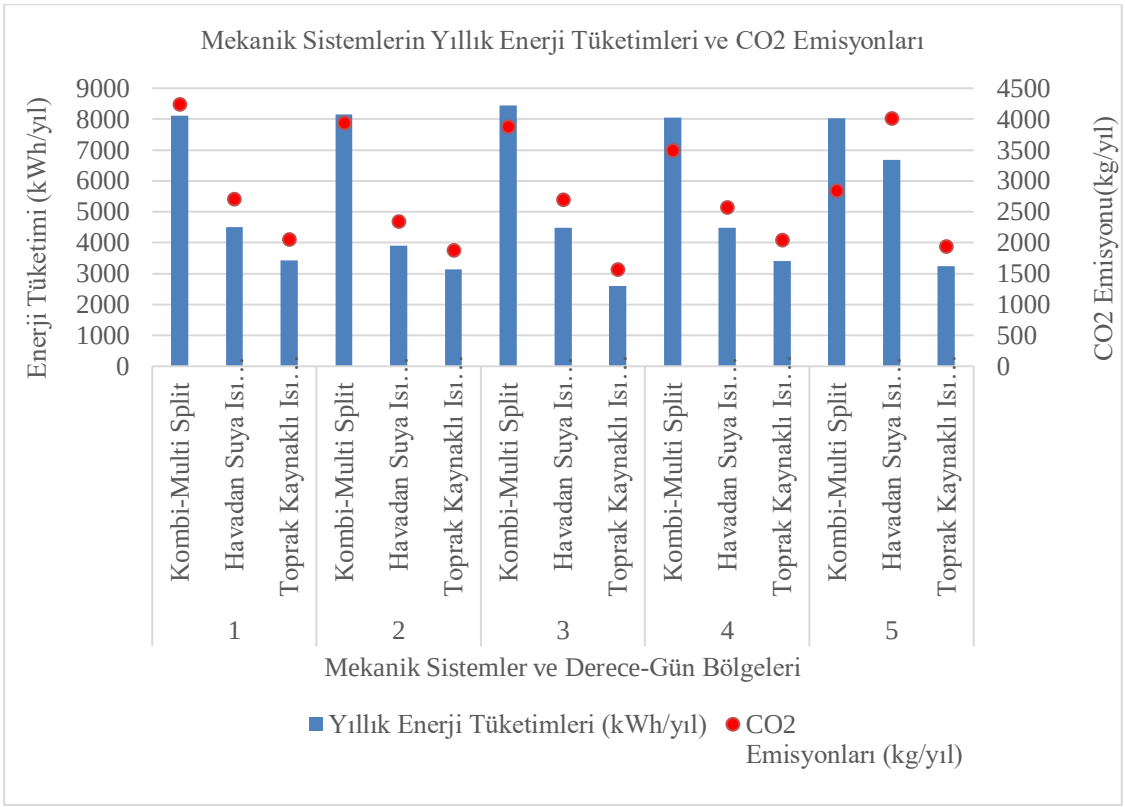
Dünyada olduğu gibi ülkemizde de binalar yoğun enerji tüketirler. Binalarda enerji tüketimi yapan kalemlere bakıldığında mekanik iklimlendirme sistemlerinin önemli bir paya sahip olduğu göze çarpmaktadır. Birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlı olan ülkemizde, binaların iklimlendirme sistemlerinde alınacak tedbirler ile enerjide dışa bağımlılık azaltılarak, doğaya verilen zarar da önemli ölçüde yok edilebilecektir.

Tez çalışması kapsamında ele alınan örnek bir konut binasında üç farklı mekanik iklimlendirme sisteminin beş derece-gün iklim bölgesindeki enerji tüketimler, enerji faturaları ve CO_2 emisyonları simülasyonlarla incelenmiştir. Simülasyonlar sonucu, mekanik sistemlerin her iklim bölgesindeki yıl boyu toplam enerji tüketimleri CO_2 emisyonları Şekil 6.1'de ifade edilmiştir.

Isıtma ve kullanım sıcak suyu hazırlanmasında tüketilen enerji miktarları mercek altına alındığında, birinci iklim bölgesinde hava ve toprak kaynaklı ısı pompaları kombiye göre sırasıyla %80 ve %84 daha az enerji tüketmişlerdir. İkinci iklim bölgesinde ise bu iki yüzde sırasıyla %78 ve %82 olarak göze çarpmaktadır. Üçüncü iklim bölgesinde hava kaynaklı ısı pompası baz sistem olan kombi sistemine göre %65 daha az enerji tüketirken, toprak kaynaklı ısı pompası %79 daha az enerji tüketmektedir. Dördüncü ve beşinci iklim bölgelerinde hava kaynaklı ısı pompası kombi sistemine göre sırasıyla %50 ve %18'lik enerji tasarrufu sağlamıştır. Toprak kaynaklı ısı pompasında bu oran sırasıyla %61 ve %63'tür.

Isıtma sezonunun uzun olduğu ve düşük dış hava sıcaklıklarının görüldüğü bölgelerde, hava kaynaklı ısı pompasında oluşan karlanma sebebiyle destek amaçlı yer alan elektrikli ısıtıcı daha uzun süreler kullanılmaktadır. Bu sebeple soğuk iklim bölgelerine doğru gidildikçe ısıtma sezonunda hava kaynaklı ısı pompasının sağladığı enerji tasarrufu azalmıştır.

Soğutma sezonuna bakıldığında hava kaynaklı ısı pompası %28'lik oranla en fazla enerji tasarrufunu ikinci bölgede gerçekleştirmiştir. En az tasarruf ise %9 ile beşinci derece-gün bölgesinde elde edilmiştir. Birinci, üçüncü ve dördüncü iklim bölgelerinde sırasıyla %22, %24 ve %18 lik enerji tasarruflar elde edilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının soğutma sezonu performansına bakıldığında, en yüksek enerji tasarrufunun %57 ile üçüncü iklim bölgesinde elde edildiği görülmektedir. En düşük enerji tasarrufunun ise %29 ile dördüncü bölgede elde edildiği gözlemlenmiştir. Birinci, ikinci ve beşinci bölgelerdeki enerji tasarruf yüzdeleri sırasıyla; %42,%43 ve %44 olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.1 : Beş derece-gün bölgesi için tüm mekanik sistemlerin yıllık enerji tüketimleri ve CO_2 emisyonları.

Çalışma kapsamında simülasyonları yapılan sistemlerin, yıllık enerji maliyetleri ve geri ödeme süreleri de Çizelge 6.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.1 : İklimlendirme sistemlerinin beş derece-gün bölgesi için özet tablosu.

İklim Bölgeleri	Mekanik Sistemler	Yıllık Enerji Faturaları (TL/yıl)	Yıllık CO2 Emisyonları (kg/yıl)	Geri Ödeme Süreleri (Yıl)
Birinci İklim Bölgesi	Kombi-Multi Split Sistemi	2661,1	4287	-
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	1780,4	2697,6	11,1
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1353,9	2051	16,6
İkinci İklim Bölgesi	Kombi-Multi Split Sistemi	2604,3	4076,9	-
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	1546,4	2343	9,3
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1239,1	1877	15,9
Üçüncü İklim Bölgesi	Kombi-Multi Split Sistemi	2363,5	4031,3	-
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	1777,2	2692,8	16,7
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1085	1644	17
Dördüncü İklim Bölgesi	Kombi-Multi Split Sistemi	2075	3492,5	-
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	1696,1	2569,8	25,9
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1293,3	1960	27,8
Beşinci İklim Bölgesi	Kombi-Multi Split Sistemi	1855,1	3301,6	-
	Hava Kaynaklı Isı Pompası	2643,3	4005	-12,4
	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1281,1	1941	37,9

Çizelge incelendiğinde, birinci ve ikinci iklim bölgeleri için sürdürülebilirlik ve maliyet açısından düşünüldüğünde hava kaynaklı ısı pompası, kombi-multi split sistemine alternatif olarak seçilebilecek sistem olarak göze çarpmaktadır. Üçüncü

iklim bölgesinde hava ve toprak kaynaklı ısı pompalarının geri ödeme süreleri birbirlerine yakın olduklarından yıllık enerji faturaları ve CO_2 emisyonları açısından bakıldığında toprak kaynaklı ısı pompası daha avantajlı gözükmektedir. Dördüncü iklim bölgesinde ısı pompaları yıllık enerji faturalarında ve CO_2 emisyonlarında önemli düşüşler sağlasalar da geri ödeme süreleri oldukça yüksek olduğundan bu bölgede kazan ve multi split sistemi daha avantajlı gözükmektedir. Beşinci iklim bölgesinde ise hava kaynaklı ısı pompasının kullanılması hem enerji tüketim miktarının hem de maliyetinin yüksek olmasından dolayı uygun gözükmezken, toprak kaynaklı ısı pompası enerji tüketimi ve CO_2 emisyonları açısından tasarruf sağlamasına rağmen yatırım maliyetleri yüksek olduğundan geri ödeme süresi oldukça yüksek çıkmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, 50 m^2 ölçekli, Türkiye'nin beş derece gün iklim bölgesinde TS 825 standarlarına uygun bina kabuğu özelliklerine sahip bir konut binasında, kullanım sıcak suyu ihtiyacı da göz önünde bulundurularak üç farklı iklimlendirme sistemi enerji maliyetleri ve CO_2 emisyonları açısından simülasyon vasıtasıyla karşılaştırılmıştır. Benzer çalışma, farklı bina tipleri ve ölçekleri için de yapılarak Türkiye'de yer alan her bir farklı bina tipi için uygun mekanik sistem tayini araştırılabilir. Mekanik sistemlere ek olarak güneş panelleri, biyoenerji, rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları da simülasyonlara eklenerek sürdürülebilirlik analizi geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Özsöz, M.** (2014). AB,2030 İklim ve Enerji Paketi Üzerinde Anlaşmaya Vardı. *Ekonomik Forum*, 64-68.

[2] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı** (2016). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı,İlgili ve İlişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri.* Ankara.

[3] **Wu, W., Skye, H. M., & Domanski, P. A.** (2018). Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net zero energy buildings. *Applied Energy, 212*, 577-591.

[4] **Becchio, C., Corgnati, S. P., Vio, M., Crespi, G., Prendin, L., Ranieri, M., & Vidotto, D.** (2017). Toward NZEB by optimizing HVAC system configuration in different climates. *Energy Procedia, 140*, 115-126.

[5] **Lechner, R., & Javed, S.** (2016). Life Cycle Cost-Optimized Cooling Systems for European Office Buildings. *CLIMA 2016-proceedings of the 12th REHVA World Congress.* Aalborg.

[6] **Ruiz, P. A., Flor, F. S., Felix, J. M., Lissen, J. S., & Martin, J. G.** (2016). Applying the HVAC systems in an integrated optimization method for residential building's design. A case study in Spain. *Energy and Buildings, 119*, 74-84.

[7] **Bichiou, Y., & Krarti, M.** (2011). Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings. *Energy and Buildings, 43*, 3373-3382.

[8] **Arroyo, P., Tommelein, I. D., Ballard, G., & Rumsey, P.** (2016). Choosing by advantages: A case study for selecting an HVAC system for net zero energy museum. *Energy and Buildings, 111*, 26-36.

[9] **Vakiloroaya, V., Samali, B., Fakhar, A., & Pishghadam, K.** (2014). A review of different strategies for HVAC energy saving. *Energy Conversion and Management, 77*, 738-754.

[10] **Cho, J., Shin, S., Kim, J., & Hong, H.** (2014). Development of an energy evaluation methodology to make multiple predictions of HVAC&R system energy demand for office buildings. *Energy and Buildings, 80*, 169-183.

[11] **Bellia, L., Capozzoli, A., Mazzei, P., & Minichiello, F.** (2007). A comparison of HVAC systems for artwork conservation. *International Journal of Refrigeration, 30*, 1439-1451.

[12] **Becchio, C., Cprgnati, S. P., Vio, M., Crespi, G., Prendin, L., & Magagnini, M.** (2017). HVAC solutions for energy retrofitted hotel in Mediterranean area. *Energy Procedia, 133*, 145-157.

[13] **Pamuk, R., & Kuruoğlu, M.** (2016). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Bina İnşaatlarında Evrensel Uygulama Örnekleri. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9*, 161-177.

[14] **İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı.** (2015) Endüstride Enerji Yönetimi: Genel Enerji [PowerPoint slides]. Retrieved from http://web.itu.edu.tr/~onaygil/ebt535.html

[15] **Candemir, B., Candemir, B., & Karaata, S.** (2012). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri. İMSAD.

[16] **Lombard, L. P., Ortiz, J., & Pout, C.** (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings 40*, 394-398.

[17] **Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Kadner, S., Minx, J. C., & Brunner, S.** (2014). IPCC Technical Summary. IPCC

[18] **Langmaid, J.** (2004). *Choosing building services, a practical guide for system selection.* London: BSRIA Guide.

[19] **TÜİK** (2000). *2000 Yılı Bina Sayımı.* Ankara.

[20] **Keskin, T.** (2010). *Binalar sektörü mevcut durum değerlendirmesi.*

[21] **Yılmaz, M.** (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4*(2), 33-54.

[22] **Kobaş, B.** (2010). *Oluşturulmakta olan Türk yeşil bina değerlendirme sisteminin malzeme kategorisi için BREEAM ve LEED örneklerinin incelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[23] **BREEAM The Enviromental Assessment Method for Buildings Around the World.** (2009). *BRE Global*.

[24] **Erten, D.** (2010). International green building certification systems: a comperative approach to LEED and BREEAM. *International Sustainable Buildings Conference.* Ankara

[25] **Sümer, E.** (2013). *Yeşil Bina Proje Yönetim Süreçleri ve Türkiye'de LEED ve BREEAM Uygulamalarında Proje Yönetimi Süreçlerine İlişkin Örnek Bir Çalışma*. (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[26] **LEED 2009 for New Construction and Major Renovations.** (2010). *US Green Building Council.*

[27] **TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları**. (2013). *Türk Standartları Enstitüsü.*

[28] **Enerji Verimliliği Kanunu.** (2007). *T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*.

[29] **Harputlugil, G. U.** (2011). Enerji performansına dayalı tasarımda analiz ve simülasyon. *Megaron*, 1-12.

[30] **Tunalı, S.** (2012). *Enerji simülasyon metodlarının bina tasarım sürecinde destek sistemi olarak kullanılması.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[31] **Nermin Köroğlu Isın, M. A.** (2011). Saatlik Analiz Programı. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Temel Bilgiler ve Tasarım Eki*.

[32] **Al-Rabghi, O. M., & Al-Johani, K. M.** (1996). Utilizing Transfer Function Method For Hourly Cooling Load Calculations. *Energy Conversation Management*, 319-332.

[33] **Muhammed Zeynel Öztürk, G. Ç.** (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırılmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Coğrafya Dergisi*, 17-27.

[34] **Köktürk, U.** Sıhhi Tesisat Tekniğinde Su Tüketim Hesabı. *Makina Mühendisleri Odası*.

[35] **Majumdar M. ve Sastry M.** (2010). Energy Efficient Lighting Design. *Development of Building Regulations and Guidelines to Achieve Energy Efficiency in Bangalore City.* Retrieved from: http://toolkits.reeep.org/file_upload/107080292_3.pdf

[36] **Autodesk sustainability workshop** (n.d.). Erişim: 05 Mart 2018, https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/equipment-and-lighting-loads.

[37] **Türkeri, A.** (t.y.) Bireysel ve merkezi ısıtma sistemlerinin tanıtımı ve karşılaştırılması. *Makina Mühendisleri Odası*, 181-188.

[38] **Yoğuşmalı kombi.**(2010) Erişim: 17 Mart 2018, http://yogusmalikombi.blogspot.com.tr/2012/02/kombi-nasl-calsr.html.

[39] **Küçükçalı, R.** (2001). *Isısan Klima Tesisatı.* İstanbul: Isısan.

[40] **Makina Mühendisleri Odası.** (2016). *Hava kaynaklı ısı pompası* [Powerpoint Sunumu]. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/statik_sayfa_ekleri/HAVA%20KAYNAKLI%20ISI%20POMPASI.pdf adresinden alındı

[41] **Yılmaz, M., Erdoğan, S., Çomaklı, Ö., & Dursun, B.** (2006). Hava Kaynaklı Isı Pompalarının Soğuk İklim Bölgelerinde Kullanımı İçin Önerilen Tasarım ve Modifikasyonlar. *Mühendis ve Makina,* 50-64.

[42] **Stherm monobloc heat pump user manual** (t.y.) http://www.sinclair-solutions.com/files/user-manual-en/heat-pumps/sinclair-um-owner-smh-en.pdf adresinden alındı.

[43] **Hepbaşlı, A., & Hancıoğlu, E.** (2001). Toprak Kaynaklı(Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi. *5. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi* (s. 521-564). İzmir: Makina Mühendisleri Odası.

[44] **Gazi Üniversitesi Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi.** (t.y.). *Toprak Kaynaklı Isı Pompaları* [Powerpoint Sunumu]. gazi.edu.tr/posts/download?id=124751 adresinden alındı

[45] **Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri** (t.y.) Erişim: 28 Mart 2018, http://www.akademimakina.com/Kataloglar/bulten_isi_pompasi.pdf

[46] **Küçükçalı, R.** (2001). *Isısan Sıhhi Tesisat.* İstanbul: Isısan.

[47] **Daikin Altherma** . (t.y.). *Daikin Alterma Düşük Sıcaklıklı Monoblok* (s. 2-10). içinde Oostende: Daikin Europe.

[48] **Önder, D.** (t.y.). Doğal Gaz, Genel Bilgileri. *Doğal Gaz Semineri* (s. 3-9). Makina Mühendisleri Odası.

[49] **Doğan, V.** (2003). Su-Toprak Kaynaklı Isı Pompaları. *Tesisat Mühendisliği,* 57-71.

[50] **Fuentes, E., Waddicor, D., Fannan, M. O., & Salom, J.** (2017). Improved methodology for testing part load performance of water-to-water heat pumps. *12th IEA Heat Pump Conference.* Rotterdam: International Energy Agency.

[51] **İzmir ili sıcaklık verileri** (2017). Erişim: 20 Şubat 2018,

https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=IZMIR

[52] **İstanbul ili sıcaklık verileri** (2017). Erişim: 20 Şubat 2018, https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL

[53] **Ankara ili sıcaklık verileri** (2017). Erişim: 20 Şubat 2018, https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANKARA

[54] **Van ili sıcaklık verileri** (2017). Erişim: 20 Şubat 2018, https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=VAN

[55] **Erzurum ili sıcaklık verileri** (2017). Erişim: 20 Şubat 2018, https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ERZURUM adresinden alındı

[56] **Bekiroğlu, O.** (t.y.). Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi. *Elektrik Mühendisleri Odası*.

[57] **Özdabak, A.** (t.y.). Endüstriyel Fırınlarda Enerji Etüdü Çalışması. *Makina Mühendisleri Odası*.

[58] **Elektrik ve Doğal Gaz Fiyatları, 1. Dönem: Ocak-Haziran 2017.** (2017). Erişim: 30 Mart 2018, www.tuik.gov.tr/PdfGetir.do?id=2463

[59] **Buderus Fiyat Listesi.** (2017). Erişim: 21 Şubat 2018, https://www.aktifisi.com/files/2017/02/bosch-fiyat-listesi.pdf.

[60] **Arçelik Klima Fiyat Listesi.** (2017). Erişim: 21 Şubat 2018 https://www.arcelik.com.tr/UPLOAD/BANNER/documents/catalog/pdf/multiklima.pdf.

[61] **Daikin.** (2018). Kişisel Görüşme. 20 Şubat, İstanbul.

[62] **Canovate**. Kişisel Görüşme. 20 Şubat, İstanbul.

[63] **Swenka, M. J.** (2008). *An energy cost analysis of residential ground-source heat pumps in Iowa* (Yüksek Lisans Tezi). https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.tr/&httpsredir=1&article=16436&context=rtd adresinden alındı.

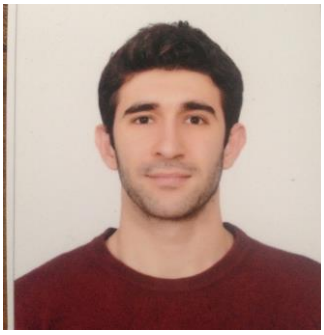
EKLER

EK A: İklimlendirme Sistemleri Yatırım Maliyetleri

Çizelge A.1 : İklimlendirme sistemleri ilk yatırım ve bakım maliyetleri.

Alternatifler	İklimlendirme Sistemleri	Yatırım Maliyeti (TL)	Yıllık Bakım Maliyeti (TL)
1	Duvar Tipi Kombi	4800	200
	Multi Split Klima Sistemi	9212	500
2	Hava Kaynaklı Isı Pompası	18400	2300
3	Serme Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası	31000	2300

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:Mustafa Evren Arslaner**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 04.05.1992/ÜSKÜDAR**

E-posta **:** evrenars@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** **:** Edremit Anadolu Lisesi (2006)
- **Lisans** **:** 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Akım Mühendislik İnşaat Proje Taahhüt Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti. (2015-günümüz)

YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- Say, N. Ö., Gönül, A., Çelik, İ., Arslaner, E., & Döner, B. (2017). First Microalgae Based Energy Generating House Design and Application of Turkey-Algaetect House. *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi* (pp. 43-55). İzmir: Makina Mühendisleri Odası.
- Arslaner E., 2018. Identification of Optimum Heating&Cooling Mechanical System For Five Different Climate Regions of Turkey by Using Carrier HAP Program. *13. International Hvac+R+Sanitary Technology Symposium,* April 12-14, 2018 Istanbul, Turkey.