

**TOPRAK VE SU KAYNAKLI ISI POMPALARININ  
EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ: GAZİANTEP ÖRNEĞİ**

**INVESTIGATING THE ECONOMIC AND  
ENVIRONMENTAL EFFECTS OF GROUND AND  
WATER SOURCE HEAT PUMPS: GAZİANTEP CASE  
STUDY**

**CEM ULUYÜCE**

**DOÇ. DR MERİH AYDINALP KÖKSAL**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

CEM ULUYÜCE'nin hazırladığı "Toprak ve Su Kaynaklı Isı Pompalarının Maliyet Analizi Yöntemi ile İncelenmesi: Gaziantep Örneği" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Aynur ERAY

Başkan




Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL

Danışman



Doç. Dr. Gamze Yücel İŞILDAR

Üye



Doç. Dr. Mustafa KOÇKAR

Üye



Dr. Öğretim Üyesi Özgür EKİCİ

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak ..... / ..... /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak

hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13 / 09 / 2019

CEM ULUYÜCE



## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin olarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

17 / 09 / 2019

 (İmza)

CEM ULUYÜCE

## ÖZET

### TOPRAK VE SU KAYNAKLI ISI POMPALARININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: GAZİANTEP ÖRNEĞİ

Cem ULUYÜCE

**Yüksek Lisans, Temiz Tükenmez Enerjiler Bölümü**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL**

**Eylül 2019, 89 sayfa**

Türkiye gibi, gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyaçları ve buna yönelik dışa bağımlı olarak harcanan maliyetler oldukça yüksektir. Ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlar ile sağlanmaktadır. Bu durum hem ekonomik hem çevresel olarak uzun vadede ülke ekonomisine zarar vermektedir. Toprak ve su kaynaklı ısı pompası ülkemizde de kullanılabilen temiz enerji teknolojilerinden sayılmaktadır. Doğal yaşamın korunabilmesi, karbon emisyonlarının makul seviyelere indirilebilmesi ve enerji kaynaklarının doğru kullanılabilmesi yönünde atılan adımların daha fazla fayda sağlaması için, toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının uygulama verilerini içeren bu tez çalışması oluşturulmuştur. Bu çalışmada hem ısıtma hem soğutma ihtiyacı bulunan bir bölgede toprak ve su kaynaklı ısı pompaları maliyet ve çevresel etkiler yönünden konvansiyonel doğalgazlı kazan sistemleri ve klima sistemleri ile detaylı olarak karşılaştırılmıştır

Bu sistemlerin ekonomik yönden analiz edilebilmesi için ilk yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken geçtiğimiz on senenin elektrik

ve doğalgaz fiyatları analiz edilerek gelecekte alabilecekleri değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji fiyatları ile yapılan yatırımların kendinin amorti etme süreleri belirlenmiştir.

Buna göre toprak ve su kaynaklı ısı pompaları konvansiyonel sistemlere oranla yıllık enerji maliyeti bazında oldukça ekonomik bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat bu sistemlerin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle yapılan hesaplamalarda kendilerini ortalama 18 senede amorti ettiği belirlenmiştir. Elazığ'da 2006 yılında yapılan başka bir çalışmada tek bir odanın ısıtma ve soğutulması için kurulan ısı pompası sistemlerinin kendini 11 yılda geri ödediği sonucuna varılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan sistemlerin 18 yıl olan geri ödeme süresinin 10 daireli bir apartmanda 1767 m<sup>2</sup> büyüklüğünde bir alan için oldukça makul olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Ayrıca karbon emisyon tüketimi bazında toprak kaynaklı ısı pompaları yılda 9.388 kg CO<sub>2</sub>/ yıl salım yaparken, su kaynaklı ısı pompaları 7.615 kg CO<sub>2</sub>/ yıl salım yapmaktadır. Konvansiyonel doğalgazlı kazan sistemleri ve klima sistemlerinin birlikte uygulandığı senaryoda ise 36.484 kg CO<sub>2</sub> / yıl salım yapıldığı tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin salım miktarını %74 oranında, su kaynaklı ısı pompalarının ise salım miktarını %79 oranında azalttığı gözlenmiştir. Bu da karbon emisyonlarının makul seviyelere indirilebilmesi ve enerji kaynaklarının doğru kullanılabilmesi yönünde ısı pompalarının kullanılmasının teşvik edilmesi gerektiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı Pompaları, Maliyet Analizi, Çevresel Etki Analizi, Karbon Emisyonları, Fosil Yakıtlar, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATING THE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF GROUND AND WATER SOURCE HEAT PUMPS: GAZIANTEP CASE STUDY**

**Cem ULUYÜCE**

**Master of Science, Department of Clean Renewable Energies**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL**

**June 2019, 89 Pages**

Both the energy needs and the costs spent externally on the energy in developing countries, such as Turkey, are quite high. In Turkey, most of the heating and cooling processes are done by fossil fuels. This situation harms the national economy both economically and environmentally in the long term. In order to solve this problem, the usage of renewable energy technologies for building heating and cooling processes should be encouraged. Ground and water source heat pumps are considered one of the clean energy technologies that can be used in Turkey.

This thesis contains application data of ground and water source heat pumps in order to provide more benefits for the protection of natural life, to reduce carbon emissions to reasonable levels and to use energy sources correctly. In this study, ground and water source heat pumps are compared with conventional natural gas boiler systems and air conditioning systems in terms of cost and environmental effects in a region where both heating and cooling demands are high.

In order to analyze these systems economically, initial investment costs and payback periods are calculated. While making these calculations, electricity and natural gas prices of the last 10 years have been analyzed and their possible future values have been estimated. The estimated energy prices and the duration of payback periods of the investments are determined.

In this regard, ground and water source heat pumps are a very economical alternative in terms of the annual energy cost compared to conventional systems. However, it was determined that these systems amortized themselves in 18 years in the calculations made due to the high initial installation costs. In another study conducted in Elazig province in 2006 concluded that the heat pump systems installed for the heating and cooling of a single room has a payback period of 11 years. The payback period of these systems, which is 18 years, seems to be quite reasonable for an area of 1767 m<sup>2</sup>.

In addition, based on the carbon emission consumption, ground source heat pumps emit 9.388 kg CO<sub>2</sub> / year and water source heat pumps emit 7.615 kg CO<sub>2</sub> / year. In the scenario where conventional natural gas boiler systems and air conditioning systems are applied together, 36,484 kg CO<sub>2</sub> / year emission is determined. In the calculations, it was observed that the emissions of ground source heat pump systems are 74% less and that of water source heat pumps are 79% less when compared with conventional natural gas boiler and air conditioning systems. This suggests that the use of heat pumps should be encouraged to reduce carbon emissions to reasonable levels and to use energy resources correctly.

**Keywords:** Heat Pumps, Economic Analysis, Environmental Impact Analysis, Carbon Emmissions, Fossil Fuels, Renewable Energy Sources



## TEŞEKKÜR

Bugünlere gelmemde emeği olan ve tez aşamamda her daim destek olan değerli annem Nalan DİZDAR ve değerli babam Erol ULUYÜCE'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, sabırla bilgi ve tecrübelerini aktaran, çalışmam konusunda beni yüreklendiren değerli danışmanım Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL'a teşekkür ederim.

Değerli hocam Prof. Dr. Aynur ERAY'a yüksek lisans yapmaya karar verdiğim günden itibaren verdiği destek, bölüme kabul aşamamda bana gösterdiği inanç ve bana kattığı bilgi ve tecrübeler için teşekkür ederim.

Çalışmam esnasında kullandığım yazılımı ücretsiz olarak kullanmamı sağlayan Alman ETU firmasına ve yazılımla ilgili tüm sorularıma sabırla cevap veren Andreas Straub'a teşekkür ederim.

Ayrıca Gaziantep ilindeki bina ısınma ihtiyacı kimlik belgesi ve enerji kimlik belgesi verilerini sağlayan, sorularıma sabırla cevap veren ve çalışmanın gidişatı konusunda yol gösteren Makine Mühendisi Mehmet Serkan Kızılkılınç'a değerli destekleri konusunda teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar .....	ix
ŞEKİLLER.....	x
EKLER.....	xi
1 GİRİŞ .....	1
1.1 Genel Bilgiler .....	1
1.2 Mevcut sorun.....	3
1.3 Tezin Amacı .....	4
1.4 Tezin Yapısı .....	4
2 ISI POMPASI .....	6
2.1 Isı Pompası Bileşenleri.....	7
2.1.1 Kompresörler .....	7
2.1.2 Buharlaştırıcılar .....	8
2.1.3 Yoğuşturucular.....	8
2.1.4 Genleşme Bileşenleri .....	9
2.2 Pompalarının Çalışma Prensipleri.....	9
2.2.1 Monovalent (Tekli) İşletim.....	9
2.2.2 Bivalent (Paralel Bağlı) İşletim .....	10
2.2.3 Çoklu İşletim (Multivalent İşletim) .....	11
2.3 Kaynaklarına Göre Isı Pompaları.....	12
2.3.1 Hava Kaynaklı Isı Pompaları .....	12
2.3.2 Su Kaynaklı Isı Pompaları .....	13

2.3.3	Toprak Kaynaklı Isı Pompaları.....	13
2.4	Isı Pompası Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları.....	16
2.5	Bölüm Değerlendirmesi .....	18
3	LİTERATÜR ÖZETİ.....	19
3.1	Isı Pompalarının Uygulamalarını İnceleyen Çalışmalar .....	19
3.2	Ekonomik ve Çevresel Etkilerin Analiz Edildiği Çalışmalar .....	20
3.3	Bölüm Değerlendirmesi .....	27
4	METODOLOJİ VE VERİ KAYNAKLARI.....	29
4.1	Veri Toplama .....	30
4.1.1	Toprak Sıcaklık Verileri .....	30
4.1.2	Isınma ve Soğutma Talebi .....	30
4.1.3	İlk Yatırım Maliyetleri.....	31
4.1.4	Bakım Maliyetleri .....	32
4.1.5	Enflasyon ve Faiz Oranı .....	33
4.1.6	Doğalgaz Tarifeleri .....	34
4.1.7	Elektrik Tarifeleri .....	34
4.1.8	CO <sub>2</sub> Emisyon Faktörleri.....	35
4.2	Veri Analizi.....	36
4.2.1	Doğalgaz Tarifeleri .....	36
4.2.2	Elektrik Fiyatları .....	37
4.3	Model Geliştirme .....	39
4.4	Senaryoların Analizleri .....	45
4.4.1	Ekonomik Analizler.....	45
4.4.2	Emisyon Hesapları.....	47
4.5	Bölüm Değerlendirmesi .....	47
5	SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	48
5.1	Konvansiyonel Sistemler, Klima ve Isı Pompaları Enerji Tüketim Miktarları	48

5.1.1	Konvansiyonel Doğalgazlı Sistemi Enerji İhtiyacı.....	48
5.1.2	Klima Sistemi Enerji İhtiyacı .....	48
5.1.3	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Enerji İhtiyacı .....	49
5.1.4	Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Enerji İhtiyacı.....	49
5.1.5	Yıllık Enerji Maliyetleri.....	50
5.2	İlk Yatırım ve Geri Ödeme Süresi Sonuçları .....	50
5.2.1	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Geri Ödeme Süresi Sonucu.....	51
5.2.2	Su Kaynaklı Isı Pompası Geri Ödeme Süresi Sonuçları.....	53
5.3	Emisyon Hesabı Sonuçları .....	54
5.4	Bölüm Değerlendirmesi .....	56
6	GENEL SONUÇLAR.....	57
	KAYNAKÇA.....	60
	EKLER.....	65
	EK 1 .....	65
	Gaziantep ili son 10 yıl doğalgaz fiyatları .....	65
	EK 2 .....	66
	Bina ısı enerjisi kimlik belgesi.....	66
	EK 3 .....	70
	Isı pompası fiyat teklifi .....	70
	EK 4 .....	72
	Klima fiyat teklifi.....	72
	EK 5 .....	73
	Doğalgazlı konvansiyonel kazan sistemi fiyat teklifi .....	73
	ÖZGEÇMİŞ .....	74

## TABLolar

### Sayfa No:

Tablo 1 – Kılavuz bina özellikleri .....	31
Tablo 2 - Konvansiyonel doğalgazlı sistem ve klima sistemi .....	32
Tablo 3 - Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi.....	32
Tablo 4 - Su kaynaklı ısı pompası sistemi .....	32
Tablo 5 – Kurulacak sistemlerin bakım maliyetleri.....	33
Tablo 6 – 2018 yılı aylık nominal faiz değerleri .....	33
Tablo 7 – Yıllık ortalama doğalgaz fiyatları.....	34
Tablo 8 - Yıllık ortalama elektrik fiyatları.....	34
Tablo 9 – Türkiye birincil enerji üretim istatistikleri .....	35
Tablo 10 – Yıllık ortalama doğalgaz fiyatları.....	36
Tablo 11 – Doğalgaz fiyatı analizi.....	37
Tablo 12 - Yıllık ortalama elektrik fiyatları.....	38
Tablo 13 – Elektrik fiyatı analizi .....	38
Tablo 14 – Sistemlerin yıllık enerji tüketimleri ve maliyetleri.....	50

## ŞEKİLLER

### Sayfa No:

Şekil 1. Isı pompası kullanım amacı [11] .....	6
Şekil 2. Isı pompası prensip şeması [13] .....	7
Şekil 3. Sol: pistonlu kompresör, sağ: rotatif kompresör örnekleri [14] .....	8
Şekil 4. Monovalent ısı pompası işletimi [14].....	10
Şekil 5. Bivalent ısı pompası çalışma örneği (seri bağlı bivalent işletim) [15].....	11
Şekil 6. Bivalent ısı pompası çalışma örneği (paralel bağlı bivalent işletim) [15].....	11
Şekil 7. Hava kaynaklı ısı pompası tesisat örneği [16].....	12
Şekil 8. Toprak kaynaklı ısı pompalarının çalışma prensibi [20].....	14
Şekil 9. Yatay tip toprak altı ısı değiştiricisi [15].....	15
Şekil 10. Dikey tip toprak altı ısı değiştiricisi [16].....	16
Şekil 11. Tez çalışması akış şeması .....	29
Şekil 12 Doğalgaz fiyat analizi TL / m <sup>3</sup> .....	37
Şekil 13 – Elektrik fiyat analizi TL / kWh.....	39
Şekil 14 – HeatPump 3D lokasyon verisi ekranı .....	40
Şekil 15 - HeatPump 3D iklim verisi ekranı.....	40
Şekil 16 - HeatPump 3D bina verisi ekranı .....	41
Şekil 17 – HeatPump3D soğutma talep grafiği .....	42
Şekil 18 - HeatPump 3D ısıtma ve soğutma ihtiyacı ekranı .....	42
Şekil 19 - HeatPump 3D sistem hidrolikleri ekranı .....	43
Şekil 20 - HeatPump 3D ekipman ölçeklendirme ekranı .....	44
Şekil 21 - HeatPump 3D TKIP simulasyon sonuç ekranı.....	44
Şekil 22 - HeatPump 3D SKIP simulasyon sonuç ekranı.....	45
Şekil 23 - TKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG1 – ELK1 grafiği .....	51
Şekil 24 - TKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG2 – ELK2 grafiği .....	52
Şekil 25 - TKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG3 – ELK3 grafiği .....	52
Şekil 26 - SKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG1 – ELK1 grafiği.....	53
Şekil 27 - SKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG2 – ELK2 grafiği.....	54
Şekil 28 - SKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG3 – ELK3 grafiği.....	54
Şekil 29 – Konvansiyonel sistemler ve ısı pompası sistemleri emisyon salım grafiği ...	55

## **EKLER**

### **Sayfa No:**

EK 1 .....	65
EK 2 .....	66
EK 3 .....	70
EK 4 .....	72
EK 5 .....	73

# 1 GİRİŞ

Bu bölümde enerjinin ve yenilenebilir enerjinin tanımından, yenilenebilir enerji teknolojilerinin günümüzdeki öneminden, ülkemizde enerji üretiminin hangi kaynaklardan karşılandığından, yenilenebilir enerjinin ülkemiz enerji üretimindeki payından bahsedilmiştir. Bunun yanında ülkemizde enerji ihtiyacı konusunda en büyük sorun olan enerjide dışa bağımlılık ve bu ihtiyacın getirdiği yüksek karbon emisyonları sorun olarak ele alınmış, ortaya çıkan tez çalışmasının bu sorunun çözümünde nasıl bir rol oynayabileceği tartışılmıştır.

## 1.1 Genel Bilgiler

Hayatın şekillenmesi ve yiyecek, içecek gibi çok temel gereksinimlerin elde edilmesi veya kullanılması gibi işlemlerin gerçekleştirilmesine katkı sağlaması dolayısıyla üzerinde durulması gereken kavramlardan ilki enerjidir. Artık bir ihtiyaç konumuna yükselmiş olan ve pek çok çeşidi bulunan enerji, günlük yaşantımızın çok önemli bir parçasını oluşturmaktadır [2].

Teknolojinin gelişmesi, artan nüfus, buna bağlı olarak gelişen üretim sistemleri, daha fazla enerji ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Küresel ısınma, çevresel diğer problemler ve fosil yakıtların tükenme tehlikesinin de ortaya çıkması ile insanoğlu yeni enerji üretim metodolojilerinin üzerinde durmuştur. Bugün, insanların temel ihtiyacı olan enerjinin üretilebilmesi için yenilenebilir enerji sistemleri adı verilen teknolojiler hızla yaygınlaşmaktadır.

Enerji, Türk Dil Kurumu'nca "Maddede var olan ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güç, erke" olarak; yenilenebilir enerji ise "Güneş, rüzgar vb. kaynaklardan elde edilen enerji" olarak tanımlanmıştır [3]. Yenilenebilir enerji, daha geniş bir ifadeyle, "enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynağı" olarak da tanımlanabilmektedir. Bunun gibi pek çok açıklaması mevcut olan yenilenebilir enerji, doğada kendiliğinden var olan ve her geçen gün varlığını sürdüren, kullanıldığı takdirde de çevreye zarar vermeyen ve kendini yenilemeye devam eden kaynaklardan elde edilen güç anlamına gelmektedir.



Yenilenebilir enerjilerin kendilerini yenileme özelliklerinden dolayı bitme, tükenme ya da canlıların yaşam dengesini bozma gibi dezavantajları oldukça azdır ancak doğal olarak var olmaları nedeniyle her coğrafi bölgede bulunmamaları ve gerekli olan enerjinin elde edilmesi için geniş yer kaplayan tesisler gerektirmeleri gibi eksi yönleri vardır. Fakat bu eksi yönler, yenilenebilir enerji olarak adlandırılmayan enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında yenilenebilir enerjinin çok ciddi bir öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle fosil yakıtlardan elde edilen enerjiler, tükenbilir nitelikte olmaları, çevreye zarar vermeleri ve özellikle ülkemize ithal edilerek elde edilmeleri dolayısıyla doğaya, ülke ekonomisine ve sağlığa zararlı olabilmektedir. Bu noktada, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması konusundaki sorunların giderilmesinin ve dünya genelinde daha çok tercih edilmesinin; doğaya, hayvanlara, insanlara ve diğer canlılara yarar sağlayacağı kesindir [4] .

Yenilenebilir enerji üretim mekanizmalarında, adından da anlaşılacağı üzere, tüketilmesi mümkün olmayan enerjiler ya da doğada hali hazırda var olan, kullanılan ve yeniden doğaya salınan maddeler kullanılmaktadır. Selam ve diğerlerinin aktardığına göre, Organization of Economic Cooperation and Development-International Energy Agency (OECD-IEA) yenilenebilir enerjiler için şu açıklamayı yapmaktadır: “Yenilenebilir enerji sürekli yeniden doğan doğal süreçlerden ortaya çıkmaktadır. Değişik şekillerde doğrudan ya da dolaylı olarak güneş veya dünyamızın içinde meydana gelen ısıdan oluşmaktadır. Güneş, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal, hidrojen, okyanus kaynakları ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen bu tanım kapsamındadır” [5].

Bugün dünya genelinde enerji elde etmek için tercih edilen ilk kaynak kömür, hemen ardından gelen petrol ve doğalgaz olsa da, söz konusu kaynakların tükenmesi, üretim maliyetlerinin yükselmesi ve teknolojinin gelişmesi gibi durumlar dolayısıyla da yavaş yavaş başka kaynaklara doğru bir arayış başlamıştır. Bu noktada devreye, fosil yakıtlara nazaran daha az zararlı olan “yenilenebilir enerji” girmiştir [2].

Yenilenebilir enerji, sahip olduğu birtakım özellikler nedeniyle pek çok avantaja sahiptir. Kullanıldığı ülkenin enerji yönünden ithal ettiği ürün sayısını azaltması, söz konusu ülkenin doğasına zarar vermemesi ve kaynakların sayısının artırılması bakımından önemli bir konumda olan yenilenebilir enerji, günümüzde dünya çapında kullanılan enerjinin yüzde 20’lik kısmını oluşturmakta ve bu oran gittikçe artmaktadır. Dünya genelinde yüzde 2,5’lik bir paya sahip olan nükleer enerji kaynakları ve yüzde 79’luk paya sahip olan fosil yakıtlar, doğa ve insan için tehdit oluşturmaktadır. Yüzde yirmilik paya sahip olan yenilenebilir enerjinin ise kendi

içindeki yüzde 9'luk dilimi, geleneksel yenilenebilir enerji kaynakları iken geri kalanı modern yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [6].

Bir ülkenin sahip olduğu enerji kaynaklarının çeşitliliği ve boyutu kadar, kullandığı enerji kaynakları da önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji ekonomi üzerinde oldukça büyük ölçüde bir katkı payına sahiptir [2].

Yenilenebilir enerji sistemleri, bugün pek çok ülkede ve kentte (örneğin C40 kentleri) kullanma zorunluluğuna dönüştürülmektedir. Bu alternatif yöntemler arasında toprak ve su kaynaklı ısı pompaları da mevcuttur [7].

Ülkemizin enerji konusundaki istatistikleri incelendiğinde Türkiye'de 2018 yılı toplam elektrik tüketimi 303.3 milyar kWh olarak gerçekleşmiş, elektrik üretimi ise 303.9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretiminin %37.3'ünün kömür, %29.8'inin doğalgaz, %19.8'inin hidrolik enerji, %6.6'sının rüzgar, %2.6'sının güneş, %2.5'inin jeotermal ve %1.4'ünün diğer kaynaklardan elde edildiği enerji bakanlığı kaynaklarında belirtilmiştir. Ülkemizde mevcut kurulu güç miktarları ise %31.9 hidrolik enerji, % 25.6 doğalgaz, %21.5 kömür, %7.9 rüzgar, %5.7 güneş, %1.4 jeotermal enerji ve % 5.9 diğer kaynaklar olarak açıklanmıştır. Bu bağlamda ülkemizin elektrik üretiminin % 27'lik kısmının yenilenebilir kaynaklardan karşılandığı görülebilmektedir. Kurulu gücümüzün ise %46.9'luk kısmını yenilenebilir kaynaklar oluşturmaktadır [8].

## **1.2 Mevcut sorun**

Ülkemizde artan nüfus ve buna bağlı olarak enerji talebinin artış göstermesi sebebiyle enerji tüketimimiz son yıllarda kayda değer bir artış göstermiştir. Kullandığımız enerjinin çoğunu dış kaynaklardan temin ettiğimiz göz önünde bulundurulduğunda yerli enerji üretiminin desteklenmesi ihtiyacı doğmuştur. Yerli enerji üretimi için olabildiğince temiz, tükenmez ve yenilenebilir kaynakların araştırılması ve potansiyelin belirlenmesi enerji tüketimi konusunda dışa bağımlılığı azaltmasının yanında karbon emisyonlarının düşürülmesinde büyük rol oynayacaktır. Yenilenebilir enerji teknolojileri kullanılarak elektrik üretilebildiği gibi, konut, okul, hastane, avm gibi mekanlarda fosil yakıtlar kullanılmadan ısıtma ve soğutma yapılabilmektedir. Bu amaçla kullanılan toprak ve su kaynaklı ısı pompaları, ülkemizde iklim ve yer anlamında uygulanması için bir çok elverişli bir bölge bulunmasına rağmen henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Suda ve toprakta hali hazırda bulunan ısı enerjisinin yalnızca elektrik enerjisi kullanılarak mekanlarda ısınma ve soğutma amaçlı kullanılması konusunda yapılan uygulamalar maliyet kaygıları sebebiyle ülkemizde oldukça azdır. Toprak ve su kaynaklı ısı pompaları hem son yıllarda yabancı para birimlerinin Türk Lirası karşısında değer kazanması sebebiyle, hem de ilk yatırım geri ödeme sürelerinin maliyetlerinin konvansiyonel sistemlere oranla çok daha yüksek olması sebebiyle ülkemizde henüz yaygın bir kullanıma sahip değildir. Bu bağlamda ülkemizde ısınma ve soğutma amaçlı kullanılacak ısı pompası sistemleri ile ilgili hem maliyet hem de farklı iklim koşullarında bu sistemlerin kullanılabilirliğini görmek amacıyla daha çok araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

### **1.3 Tezin Amacı**

Özellikle Türkiye gibi, gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyaçları ve buna yönelik dışa bağımlı olarak harcanan maliyetlerin çok yüksek olmasının yanı sıra, doğal yaşamın korunabilmesi, karbon emisyonlarının makul seviyelere indirilebilmesi ve enerji kaynaklarının doğru kullanılabilmesi yönünde atılan adımların daha fazla fayda sağlaması için, uygulama verileri ile örnek teşkil edecek bu çalışma oluşturulmuştur. Ülkemizde hem ısıtma hem soğutma ihtiyacı bulunan bir bölgede hem toprak hem su kaynaklı ısı pompalarının detaylı olarak incelendiği başka bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Tezin amacı hem ısıtma hem soğutma ihtiyacı olan bölgelerde inşa edilen yüksek enerji tüketimi bulunan binalarda, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanılmasının, konvansiyonel doğalgaz ısıtma ve klima ile soğutma sistemleri ile ekonomik ve çevresel etki bazında kıyaslanmasıdır. Yapılan çalışma ile gelecekte ısı pompası kullanımının teşvik edilmesi ve ülkemizde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

### **1.4 Tezin Yapısı**

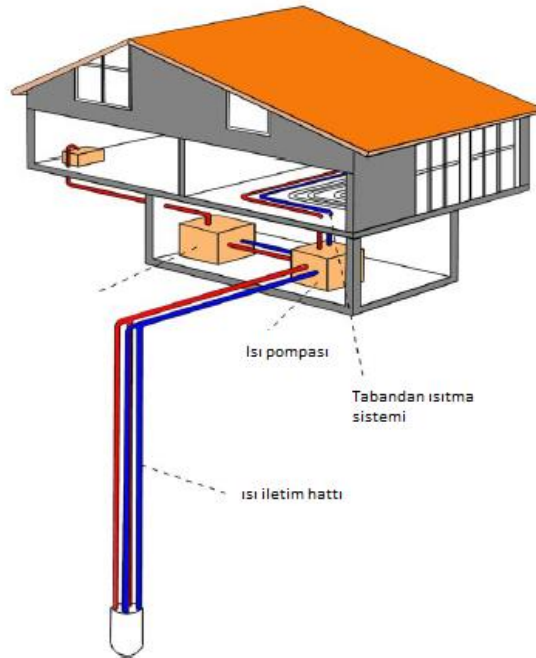
Tez çalışmasının ilk bölümünde ısı pompaları ile ilgili genel bilgilerden bahsedilmiş, bu cihazların çalışması için gerekli elemanların işlevleri teknik terimlerle açıklanmıştır. Daha sonraki bölümde literatürde ısı pompalarının farklı uygulamaları ile ilgili yapılan araştırmalar ve ısı pompası uygulamalarının maliyet analizi ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde daha önce yapılan çalışmalardan yararlanılarak çalışmanın metodolojisi belirlenmiş, çalışmada kullanılacak verilerden ve yazılımdan detaylı olarak bahsedilmiştir.

Çalışmanın en son bölümünde toplanan verilerin analiz edilmeleri sonrası elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlarla ilgili öneriler yer almıştır.

## 2 ISI POMPASI

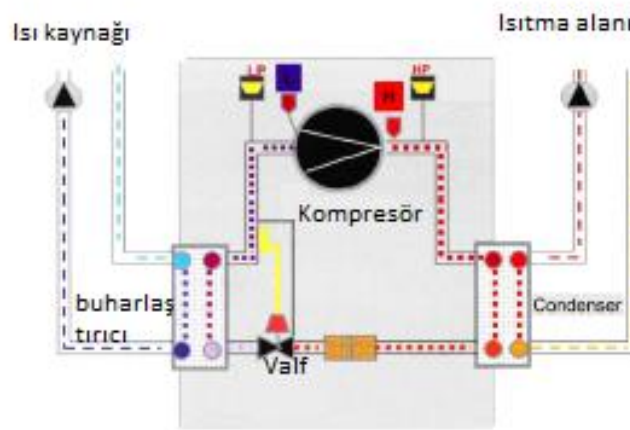
Enerji yok edilememekte ancak taşınabilmekte ve dönüştürülebilmektedir. Isı pompaları da diğer enerji transfer ve dönüştürme sistemleri gibi, var olan enerjinin amaçlar doğrultusunda kullanılmasını sağlamaktadır. Bu sistemlerde var olan ısı enerjisi, ısı enerjisi daha az olan başka bir ortama pompalanmaktadır. Isının taşıma işleminin gerçekleştirilmesi için genellikle elektrik enerjisi harcaması gerekse de, toplamda ortamı ısıtmak için kullanılacak olandan çok daha az elektrikle, yalnızca ısı enerjisini taşıyarak tasarruf etmek mümkündür [9].

Isı pompalarında ısı, ısıtılması planlanan ortamdaki daha yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan alınmaktadır. Bu prensibe dayanarak bir ortam ısıtılırken bir diğer ortamda ise soğutma yapılmaktadır [10]. Kışın iç mekanların ısıtılması, doğal ısı kaynaklarından ısı enerjisinin pompalanması ile gerçekleştirilirken, yazları da iç ortamın ısısı, dış ortama aktarılmakta ve böylece soğutma yapılmaktadır. Isının alınacak olduğu doğal kaynağın seçilmesi ise pompanın kullanılacağı yerin iklimsel, coğrafi koşullarına ve maliyetine bağlı olarak seçilmektedir. Özetle ısı pompaları ısı üreten sistemler değildir ve çalıştırılmaları için ısıyı alacakları bir kaynağa ihtiyaç vardır. Bu kaynaklar Şekil 1’de görülebileceği üzere doğada hali hazırda var olan ısı kaynaklarıdır [11].



Şekil 1. Isı pompası kullanım amacı [11]

Bu noktada ısı pompalarının aslında birer soğutma makinesi olduklarının altını çizmek gerekmektedir. Ancak soğutma amacının hangi tarafta kullanıldığı önemlidir. Isının emilerek aktarılması ile ısının fazla olduğu ortam soğutulmuş olmaktadır. Sıcak aylarda bu prensip mekanların soğutulması ile gerçekleşirken, soğuk aylarda ise kaynak için gerçekleşmektedir. Şekil 2’de görülebileceği üzere bir ısı pompasının şeması ve termodinamiği soğutma makineleri ile aynıdır. Isı pompalarının temel farkı çalışma amaçlarının değişkenlik göstermesidir. Isı pompalarının bu sebeple kontrol etme bileşenleri büyük öneme sahiptir [12][13].



Şekil 2. Isı pompası prensip şeması [13]

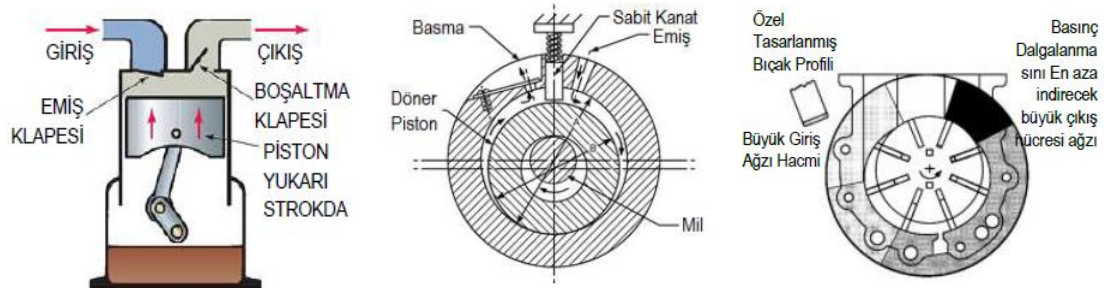
## 2.1 Isı Pompası Bileşenleri

Isı pompalarının işlevlerini ve çalışma prensiplerini daha iyi anlayabilmek adına bu cihazların bileşenlerini ve bu ünitelerin görevlerini açıklamakta fayda vardır.

### 2.1.1 Kompresörler

Kompresörler, buharlaştırıcıdan alçak basınç ile buhar halinde çıkan akışkanı, yoğuşma sıcaklığına getirebilmek amacıyla sıkıştırmaya yarayan elemandır. Bu elemanın çalışması için genellikle elektrik motorlarına ihtiyaç vardır. Kompresörler ısı pompası düzeneğinde soğutucu akışkanı, soğutucu akışkan çevriminde dolaştırmak için pompa görevi görmektedir. Düşük sıcaklıktaki ve düşük basınçtaki akışkan buharlaştırıcı düzeneğe buhar haline getirilmekte ve daha sonra bu buhar yoğuşturucuda sıkıştılarak sıvı faza kolayca geçebileceği basınca getirilmektedir [14].

Şekil 3'de görülebileceği üzere pistonlu kompresörler, rotatif (dönel) kompresörler ve yukarıdaki şekilde bulunmayan turbo (santrifüj) kompresörler vidalı kompresörler olmak üzere dört çeşit kompresör bulunmaktadır.



Şekil 3. Sol: pistonlu kompresör, sağ: rotatif kompresör örnekleri [14]

### 2.1.2 Buharlaştırıcılar

Buharlaştırıcılar genleşme valflerinde basıncı düşürülmüş soğutucu akışkanın ortamdaki ısıyı çektiği ve soğutucu akışkanın buharlaşmaya başladığı elemandır. Soğutucu akışkanın cinsine göre farklı malzemelerden yapılması mümkündür ancak çoğunlukla dayanıklılık açısından bakır ve çelik borular kullanılmaktadır. Buharlaştırıcılar şekillerine göre; gövde borulu buharlaştırıcılar, koaksiyal buharlaştırıcılar ve kanatlı buharlaştırıcılar olarak gruplara ayrılmaktadır [15].

### 2.1.3 Yoğuşturucular

Yoğuşturucular, kompresörde kızgın buhar halinde bulunan akışkanın çevre ortama ısı vererek soğuduğu ve yoğunlaştırıldığı yerdir. Soğutma işlemi hava veya su ile yapılır. Buna bağlı olarak yoğuşturucu sistemler hava soğutmalı ve su soğutmalı yoğuşturucular olarak iki gruba ayrılır [9].

#### **2.1.4 Genleşme Bileşenleri**

Genleşme bileşenleri, soğutucu akışkanı buharlaştırıcı için gerekli basınca düşürmek için sistemde var olan elemanlardır. Basınç ayarlamak ve akışkan miktarını ayarlamak için farklı borular genleşme bileşenleri olarak kullanılmaktadır [16].

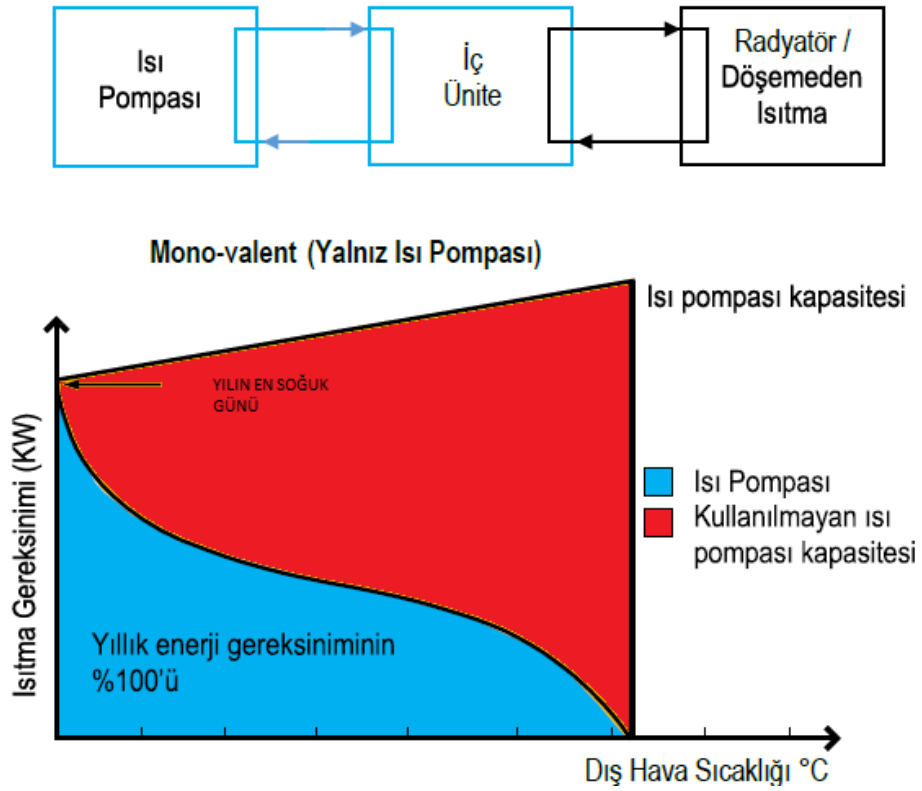
### **2.2 Pompalarının Çalışma Prensipleri**

Isı pompalarının görevlerini yerine getirebilmeleri için çeşitli işleme sistemleri mevcuttur. Pompanın nasıl çalışacağı ısıtılacak olan mekanın ve ısı kaynağının durumuna göre seçilmektedir. Maliyet ve verimliliğe ilişkin hesaplamalar da önemli etkenlerdir.

#### **2.2.1 Monovalent (Tekli) İşletim**

Tüm ısınma ihtiyacının tek bir ısı pompasından sağlandığı sistemlere verilen isimdir. Sistem, en soğuk günlerde yeterli ısıyı sağlayabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Şekil 4'de görülebileceği üzere kış aylarının en soğuk günlerinde tam verimli çalışırken diğer günlerde genellikle kısmi yük ile çalışmaktadır [17]. Bu tür sistemlerde genellikle toprak ve su kaynakları kullanılmaktadır. Kullanılan ısı pompasına bağlı olarak ısıtma devresi tasarım sıcaklıkları 55°C veya 60°C'yi geçmemelidir. Aksi halde sistemde bozulmalar olması mümkündür.



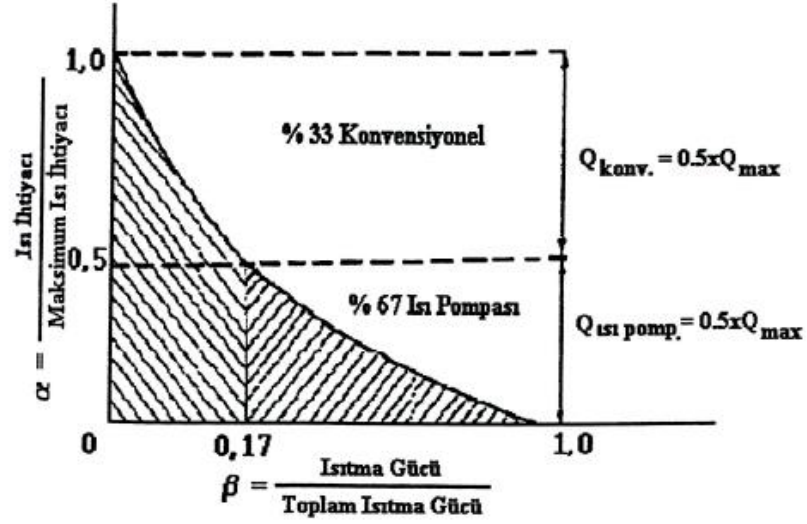


Şekil 4. Monovalent ısı pompası işletimi [14]

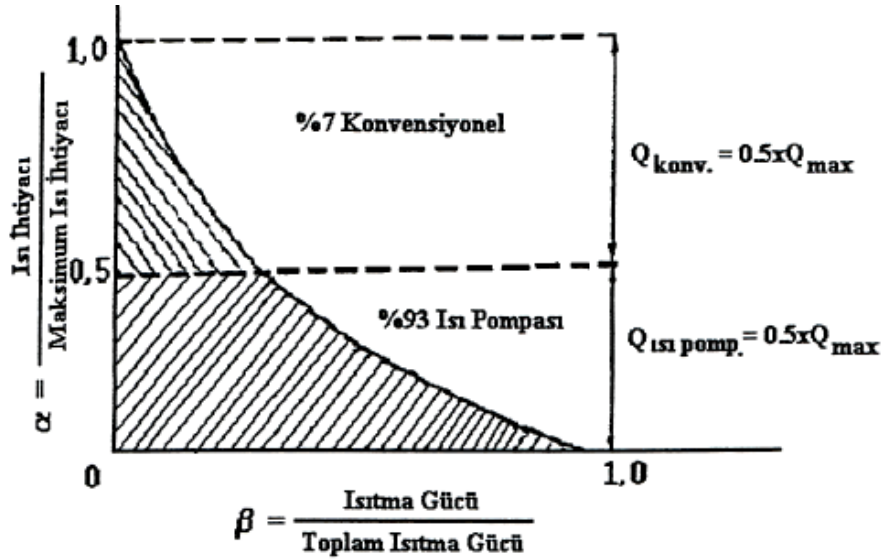
### 2.2.2 Bivalent (Paralel Bağlı) İşletim

Adından da anlaşılacağı üzere bu ısı pompası çeşitlerinin beslenmesi için birden fazla kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Kaynaklardan birinde yeterli ısı olmadığında ikinci kaynak devreye girerek sistemin aynı verimde çalışmaya devam etmesine olanak tanımaktadır. Kimi türlerinde ikincil kaynak doğal kimilerinde ise ek bir ısı üretim sistemi mevcuttur. Genellikle yılın belli dönemlerinde ikincil kaynak devreye girmektedir. Bu zamanlarda ısı üretimi için ek enerji tüketimi artmaktadır.

Şekil 5 ve Şekil 6'da, ısı pompasının ek bir ısı kaynağı vardır. Görüldüğü gibi ısı pompasının ısı verimi düştüğünde ikincil kaynak devreye girmektedir. %50 tüm güçte projelendirilen seri bağlı ısı pompasının ana kaynağından % 67, yan kaynağından % 33 ısı aldığı görülmektedir. Paralel bağlı işletimde ise ana kaynağın % 93; yan kaynağın ise % 7 oranında ısı sağladığı fark edilecektir.



Şekil 5. Bivalent ısı pompası çalışma örneği (seri bağlı bivalent işletim) [15]



Şekil 6. Bivalent ısı pompası çalışma örneği (paralel bağlı bivalent işletim) [15]

### 2.2.3 Çoklu İşletim (Multivalent İşletim)

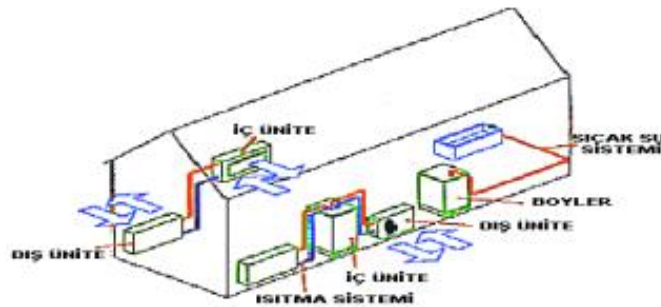
Bu işletim sisteminde ana kaynağın yanında birden fazla ek ısı kaynağı mevcuttur. Bu ısı ihtiyacı ısı pompasından, güneş enerjili ısı deposundan veya konvansiyonel sistemden karşılanabilmektedir [15].

## 2.3 Kaynaklarına Göre Isı Pompaları

Isı pompalarının ısıyı nereden aldıklarına göre çeşitleri mevcuttur. Her bir türün kendisine özgü özellikleri vardır. En yaygın olan ısı pompalarının hava kaynaklı ısı pompaları olduğu bilinmektedir. Ancak son yıllarda toprak, güneş ve su kaynaklı ısı pompalarının da binalarda kullanımı yaygınlaşmıştır [13].

### 2.3.1 Hava Kaynaklı Isı Pompaları

Hava kaynaklı ısı pompaları, yeraltı suları veya topraktan ısı almanın mümkün olmadığı yerlerde tercih edilen pompa türleridir. Isının kaynağı dış havadır. Çoğunlukla bir ısıtma soğutma sistemine ek olarak yapılması tercih edilmektedir. Yine çift taraflı işletim sistemine sahip ısı pompaları içinde de kullanılabilirler. İçerisinde donma engelleyici mekanizmalar bulunduğu için, çok soğuk havalarda bile sorunsuz çalışabilmektedir. Ancak sorunsuz çalışma için ısı pompasının binanın iç kısmında, buharlaştırıcının ise dış tarafta olmasına dikkat edilmelidir [9].



Şekil 7. Hava kaynaklı ısı pompası tesisat örneği [16]

Bir mekanın içindeki havanın kullanılabilmesi için buranın bir havalandırma sistemine sahip olması lazımdır. Ayrıca bir vantilatör sistemi ile mekanın tamamlanması gerekmektedir. Hava ısı pompasının kullanıldığı alanlarda havalandırma imkanı da doğmaktadır ve bu durum havanın kalitesi üzerinde olumlu etki sağlarken aynı zamanda mekandaki küf rutubet veya radon gazı birikimini de engellemektedir [16].

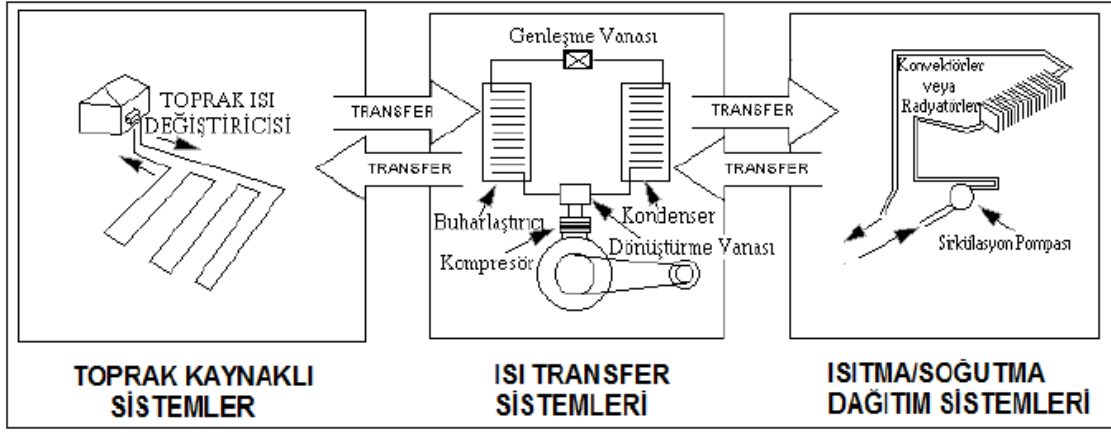
### **2.3.2 Su Kaynaklı Isı Pompaları**

Toprağın belirli bir derinliğinde yer altı suyu sıcaklık ortalaması yıl boyunca az değişiklik göstermektedir. Akış halinde bir yeraltı su kaynağı, göl, nehir, kuyu veya şehir şebekesini kaynak olarak kullanılabilen su kaynağı çeşidi su kaynaklı ısı pompası olarak adlandırılır. +8°C ila +12°C aralığındaki suyun varlığı sistemin çalışması için yeterli olmaktadır. Kuyu suyu kaynaklı ısı pompası sistemlerinde yeraltında bulunan su kaynağı açılan bir kuyu ile kaynağından alınır. Sistemde kullanıldıktan sonra emiş kuyusuna yaklaşık 15 metre uzaktaki bir geri basma kuyusu ile tekrar yer altına gönderilmektedir. Ayrıca borulamanın durgun su içerisine uygun bir biçimde yapılması ile nehirler ve göller de su kaynaklı ısı pompaları için ideal ortamlar olabilmektedir. Bunun sebebi su sıcaklığının yıl boyunca hava sıcaklığı kadar değişiklik göstermemesinden kaynaklıdır. Kaynağın su olarak kullanılmasının bir başka avantajı da suda kurulan ısı değiştirici sistemlerde ısı geçişlerinin daha yüksek gerçekleşmesidir [9].

### **2.3.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompaları**

Toprak altı, yılın hemen her döneminde aynı sıcaklıktadır ve yüzeyin soğuk olduğu dönemlerde ya da toprağın altından çok daha sıcak olduğu zamanlarda, ısı pompaları ile enerjinin başka yere sevk edilmesine bu sayede olanak tanımaktadır. Dolayısıyla topraktaki ısı düzeyinden faydalanarak da ısıtma ve soğutma yapmak mümkündür. Yazın iç mekandan alınan ısı toprak altına, kışın ise toprak altından alınan ısı iç mekana pompalanabilmektedir [18] [19].

Burada toprak ısısının aslında büyük oranda depolanmış güneş enerjisi olduğunu belirtmekte fayda vardır. Bu nedenle yüzey çok soğuk olsa dahi, toprak altı yüzeye göre oldukça sıcak kalabilmektedir. Isı pompalarının da çalışma prensibi, Şekil 8'de görülebileceği üzere toprak altındaki ısı kollektörlerinin ısıyı taşımaya dayanmaktadır [9].



Şekil 8. Toprak kaynaklı ısı pompalarının çalışma prensibi [20]

### 2.3.3.1 Pompa Kısmı

Toprak kaynaklı ısı pompalarının temelde ısı pompası, yer bağlantısı ve dağıtıcı sistem olmak üzere üç ana bölümü mevcuttur [18]. Burada ısı pompasının görevi sistem içerisinde dolaşan antifriz esaslı akışkanın sıkıştırılması ve genişletilmesidir. Böylece ısının yer bağlantısı ile dağıtıcı sistem arasında transfer edilmesine olanak tanımaktadır. Termodinamiğe göre, ısı sıcaklığın fazla olduğu bir ortamdan az olduğu bir ortama doğal olarak geçmektedir. Bunun tersine dönüştürülmesi için ısı pompası kullanılmaktadır. Yani yer yüzeyinin altındaki sıvı topraktan ısı taşıyan akışkana geçmektedir. Bölüm 2.1’de anlatıldığı üzere ısı geçişi, kaynama noktası düşük olan ancak donmayan akışkanın buharlaşmasına sebebiyet vermektedir. Buhar, düşük basınç ve düşük sıcaklıktaki akışkan elektrikle çalışan kompresör vasıtasıyla yüksek basınç altında yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Buharlaşmış olan sıvı buradan ikinci bir ısı dönüştürücüsüne gönderilmektedir. Buraya yoğunlaştırıcı adı verilmektedir. Yoğunlaştırıcı, çok yüksek sıcaklığa ulaşmış olan sıvıyı ısıtılmak istenen yere göndermekle görevlidir. Akışkan yoğunlaştırıcıdan çıktıktan sonra genişleme valfinden geçirilerek sıcaklığının ve basıncının düşmesi sağlanmaktadır. Sıcaklığı düşmüş olan sıvı, yeniden buharlaştırıcıya gönderilmektedir. Bu sistem sürekli olarak aynı döngüyü tekrar etmektedir [21].

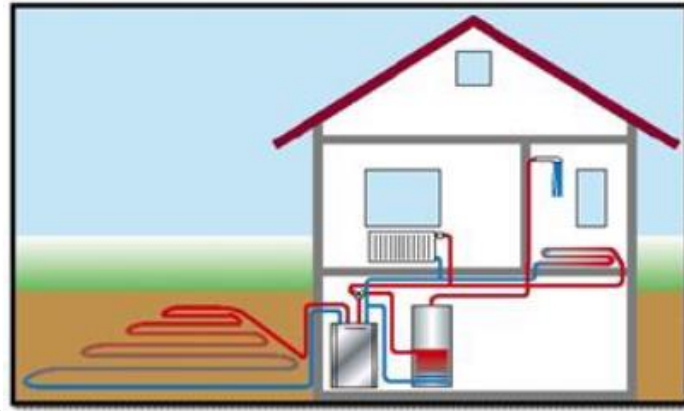
### 2.3.3.2 Yer Bağlantıları

Sistemin sahip olduğu yer bağlantıları, adından da anlaşılacağı üzere ısının gönderimini sağlayan ısı değiştiricilerinin bulunduğu alandır. Bunların toprak altına yatay veya dikey olarak yerleştirilmiş türleri vardır:

## Yatay Tip Toprak Kollektörleri

Çoğunlukla geniş arazilerde veya yeterli hendek alanının olduğu yerlerde tercih edilebilecek sistemlerdir. Isının elde edileceği değiştirici boruları yaklaşık olarak toprağın 1,5 - 2 metre altına yatay olarak döşenmektedir [21].

Projenin büyüklüğüne göre ve elde edilmek istenen sıcaklık verimliliğine de bağlı olarak boruların arasındaki mesafeler değişiklik gösterebilmektedir. Bu tür boru döşeme işlemlerinde borular yüzeye yakın olduğundan beklenen verimin elde edilebilmesi ve ısı transferinin en iyi şekilde gerçekleşmesi için boruların toprağın uygun derinliğine yerleştirildiğinden ve toprakla tamamen sıkıştırıldığından emin olunmalıdır. Toprak yüzeyi ile borular arasındaki mesafe arttıkça, mevsimsel sıcaklık değişimlerinden minimum etkilenen sistemin verimin artacağı da öngörülmektedir. Bu tip kollektörlerin en büyük dezavantajları ise kazı için oldukça geniş alanlara ihtiyaç duyulması ve hendek alanının ve derinliğinin artması ile artan kazı ve buna bağlı olarak ilk yatırım maliyetleridir [16].



Şekil 9. Yatay tip toprak altı ısı değiştiricisi [15]

## Dikey Tip Toprak Kollektörleri

Yüzeyin oldukça derin biçimde kazıldığı sistemlerdir. Bu ısı değiştiricileri yatay kollektörler için yeterince geniş alan olmadığında ya da zeminin hendek kazmak için elverişsiz olması halinde tercih edilmektedir. Farklı geometrilerde boruların kullanılması mümkün olan bu sistemlerde borular arasındaki mesafe verimlilik konusunda oldukça önemlidir. Bu sistemlerin

bir başka önemli özelliği de en az boruya ihtiyaç duyulması, mevsimlik sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyen toprak sıcaklığı, ve pompalama için gereken enerjinin diğer pek çok sisteme göre daha az olmasıdır [16].



Şekil 10. Dikey tip toprak altı ısı değiştiricisi [16]

### **Dağıtıcı Sistem**

Toprak kaynaklı ısı pompalarının son bölümü de dağıtıcı sistem bölümüdür. Bu sistemin ana görevi ısının hedeflenen yere gönderilmesini sağlamaktır.

### **2.4 Isı Pompası Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları**

Isı pompalarının bir projede kullanılıp kullanılmamasına karar verilebilmesi için, o sisteme sağlayacağı avantaj ve dezavantajlarının objektif biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Pompaların kullanım amacı ısıtma ve soğutmadır ve bu nedenle etkinliğinin de yüksek olması beklenmektedir. Isı pompalarının da doğru biçimde tasarlanması ve uygulanması halinde, verimlilik düzeyleri oldukça yüksek olacaktır [22].

Isı pompası kullanımının doğurduğu avantajlar noktasında değinilmesi gereken bir diğer konu ise basit kontroller ve ekipmanlardır. Kontrol edilebilirliğin karışık ve zor olduğu durumlar, rahatlık seviyesini düşüren ve etkinliğin sağlanmasını zorlaştıran unsurlardan olması sebebiyle istenmemektedir. Yapılan araştırmalarda kullanılan ısı pompası maliyetlerinin düşürülmesi için ise ekstra maliyetli cihaz ve yöntemlerin kullanılmasının fayda sağlamadığı gözlenmiştir.

Bahsedildiği üzere ısı pompalarının kurulumu, bakımı ya da onarımı için yüksek maliyetli cihaz ve yöntemler gerekmemektedir [23]. Dolayısıyla bu, ısı pompalarının kullanılmasının ekonomik yönden bir avantajdır.

Bütün pompanın iç ünitelerden meydana gelmesi nedeniyle toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının dış bir üniteye gereksinim olmadan kurulabilmesi de yine maliyetleri düşüren bir durumdur. Bunun yanı sıra ısı pompalarının tercih edilme ihtimali bulunan birçok ticari yapıda soğutma sistemiyle alınan, iç yüklerden meydana gelen fazla ısılar bulunmaktadır. Söz konusu fazla ısılar atık ısı olarak da değerlendirilmekte ve diğer ısınma ihtiyaçlarında kullanılabilir. Bu durum, ısı pompalarının sağladığı avantajlardan bir diğeridir [24].

Yukarıda, ısı pompalarının kurulumu için dış üniteye ihtiyaç duyulmamasının ekonomik faydasından bahsedilmiştir. Bu, ısı pompalarının kullanımları için önemli bir avantaj olup daha ayrıntılı değerlendirilmelidir. Isı pompasının kurulması için dış üniteye gereksinim olmaması maliyetleri düşürmesinin yanı sıra, ısı pompasının işgal ettiği yer oranını da azaltmaktadır. Bu da, pompanın hemen yanında yeni bir cihazın kurulmasına ya da kullanım alanı olarak kalmasına olanak sağlamaktadır. Yer tasarrufu olarak da adlandırabileceğimiz bu durum ısı pompası kullanımının hem ekonomik hem de gözle görülür açıdan daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Isı pompasının kullanımının sağladığı faydalar bunlarla sınırlı değildir. İşletmeler faaliyetlerini sürdürürken çevreye de minimum zarar verilmesi hedeflenmelidir. Bu noktada ısı pompasının çevre ile ilişkisi değerlendirilmelidir. EPA raporunda ısı pompalarının analiz edilen tüm teknolojilerin en düşük CO2 emisyonları ve en düşük toplam çevre giderleri şeklinde açıklandığı dikkat çekmektedir [25]. Buradan da anlaşılacağı üzere ısı pompalarının çevreye olan etkileri daha önceden değerlendirilmiş ve diğer ekipmanlara nazaran çevreye daha az zarar verdiği kanıtlanmıştır. Ancak bu noktada da, ısı pompasının tasarımının ve kurulumunun iyi yapılmış olması gerekmektedir. Olması gereken şekilde tasarlanan ve kurulan ısı pompası, kullanım esnasında daha az enerjiye ihtiyaç duyacaktır ve bu durum da çevreye verilen zararın minimum olması anlamına gelmektedir. Tasarlama olanaklarının oldukça çeşitli olması da ısı pompalarının bir diğer avantajıdır. Kullanım alanının da değişiklik göstermesi ve hatta alanların kısıtlı olması halinde ısı pompaları farklı şekillerde tasarlanarak kullanılabilir. Küçük odalar ya da tavan araları bile ısı pompalarının kurulması için yeterli alanlardır. Buna ek olarak ısı pompalarının kullanımı açısından ömrü de önemli bir detaydır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde ise ısı pompalarının oldukça uzun bir ömrünün olması yine avantajlar arasında sayılmaktadır [26][27].



Ancak bütün ekipmanlarda olduğu gibi ısı pompasının da birtakım dezavantajları mevcuttur. Bunlardan ilki kurulum bakımından gerektirdiği maliyetlerdir. İlk etapta oldukça maliyetli olan ve ciddi sermaye gerektiren ısı pompalarının bu özelliği, dezavantajları arasında ilk sıradadır. Diğer bir ifadeyle ısı pompalarının kurulum giderleri ve geri ödeme süreleri, çoğu zaman konvansiyonel sistemlerin giderinden çok daha fazladır ve bu durum ısı pompalarının tercih edilme oranını düşürmektedir [15]. Isı pompalarının diğer bir dezavantajı ise kurulum esnasında ısı değiştiricilerin yerleştirilmesi için gereken alanın oldukça fazla olmasıdır. Isıtma ve soğutma yapılacak binanın büyüklüğüne göre yerleştirilecek ısı değiştiricilerin de geniş alanlar kaplaması mümkündür. Bu sorunun çözümü olarak dikey kollektör kullanımı tercih edilebilir. Fakat bu kollektörlerin dezavantajları kurulacak derinliğe bağlı olarak yüksek sondaj maliyetleri ortaya çıkarabilmesidir.

## **2.5 Bölüm Değerlendirmesi**

Bu bölümde ısı pompalarının çalışma prensipleri ve mekanizmasında yer alan elemanlar incelenmiş, su kaynaklarının ısı pompası sistemlerinde kullanım şekli ve toprak ısı değiştirici sistemlerin tipleri hakkında bilgiler verilmiştir. Son bölümde ise bu sistemlerin kullanımının avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

### 3 LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde literatürde yapılan çalışmalar iki ayrı başlık altında incelenmiştir.

İlk kısımda ısı pompalarının teknik bilgilerini, daha önce yapılan uygulamalarını, çalışma prensiplerini, farklı iklimlerde ısı pompalarının performanslarını içeren çalışmalar referans alınmak üzere incelenmiş ve bu çalışmaların özetlerine yer verilmiştir.

İkinci kısımda ise yapılan tez çalışmasının ana yapısını oluşturan ekonomik ve çevresel etkilerin incelenmesi hedeflenmiştir. Farklı ısı pompası tipleri arasında yapılan mali kıyaslamaları, geri ödeme sürelerini, maliyet hesaplama yöntemlerini içeren çalışmalar incelenmiş ve bu kısımda özetlenmiştir.

#### 3.1 Isı Pompalarının Uygulamalarını İnceleyen Çalışmalar

Literatür incelendiğinde, toprak ve su ısı pompalarının verimlilikleri ve maliyetlerine ilişkin çeşitli çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Çalışmada daha objektif ve gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek adına önceden yapılmış çalışmaların incelenmesinde fayda vardır.

Kavanaugh, alanı 6700 m<sup>2</sup> olan bir okulun toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin değişik toprak ısı değiştiricisi boru şekillerini ve dört farklı pompa için durumlarını incelemiştir. Merkezden dışa doğru yayılan sistemde tekli halkalar, her bir tabaka için dolaşım pompaları ve üç merkezi sistem (değişken hızlı, sabit hızlı, birincil - ikincil halka şeklinde pompalar) ele alınmıştır. Bu dört pompa türü için yıllık enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır. Sırasıyla değişken hızlı pompanın, sabit hızlı pompanın ve birincil – ikincil sistemdeki pompanın yıllık tüketimi; 18800, 108600 ve 65500 kWh bulunmuştur. Buradan hareketle pompaların türü ve tasarımının, enerji sarfiyatını doğrudan etkilediğini söylemek mümkündür. Ayrıca bu durum kurulum maliyetini ve amortisman sürecini de doğrudan etkilemektedir [28].

Urchueguia ve diğerleri, özellikle soğutma ihtiyacının baskın olduğu değişken iklim koşullarında ısı pompalarının teknik ve ekonomik fayda analizini yaptıkları çalışmalarında su kaynaklı ısı pompası ile konvansiyonel havadan suya ısı pompası arasında deneysel bir karşılaştırma yapmışlardır. Bu karşılaştırmayı yaparken sistemlerin birbiriyle bağlı çalıştığını, aynı iklimsel yükler altında olduğunu varsayarak ısıtma ve soğutma enerjisi performanslarını değerlendirmişlerdir. Deneyler sonucunda toprak kaynaklı ısı pompalarının özellikle Türkiye'nin batısı ve İtalya gibi bölgelerde ısıtma ve soğutma konusunda konvansiyonel

sistemlere bir alternatif olabileceği sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda bu sistemlerin birlikte çalıştırıldığında tek konvansiyonel sistemin çalışmasına oranla çok daha verimli olabileceği sonucuna varmışlardır [29].

Ahmadi, 2017 yılında yayınlanan çalışmasında toprak kaynaklı ısı pompası hakkında en son gelişmeleri ele alarak kapsamlı bilgi ve detaylı incelemelere yer vermiştir. Ayrıca jeotermal kaynaklı ısı pompaları, su kaynaklı ısı pompaları ve yüzey suyu ısı pompaları ve çalışma prensipleri hakkında detaylı açıklamalar sunmuştur. Her bir sistemin avantajlarını ve dezavantajlarını incelemiştir [11].

### **3.2 Ekonomik ve Çevresel Etkilerin Analiz Edildiği Çalışmalar**

Paiho ve diğerlerinin 2017 yılında hazırladıkları çalışmada, Finlandiya’da, yeni nesil sıfır enerji tüketimini hedefleyen binalar üzerinde ısı pompalarının ısıtma ve soğutma sistemlerine sağladıkları faydaları araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, binaların inşaatlarında çok fazla değişiklik gerekmeden ısı pompalarının tesisatlarını oluşturmak mümkündür ve bu yenilebilir sistemler, oldukça düşük maliyetler ile kurulabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, kullanılan enerjinin yenilenebilir olmasından dolayı kurulum dışında ek maliyet oluşturmayacağını da göstermiştir. Çalışmada müstakil evler ve apartmanlar için ayrıca maliyet ve yaşam döngüsü analizleri de gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bu analiz sonucunda özellikle toprak ısı pompalarının yaşam döngüsü maliyetlerinin diğerlerine oranla daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Buradan yola çıkarak çeşitli yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin maliyet ve kullanım ömürleri aynı anda hesaplandığında, faydalarının hemen hemen aynı olduğunu söylemek mümkündür [30].

Arat ve Arslan tarafından, 2016 yılında, 25.000 nüfuslu bir alanda bölgesel ısıtma için jeotermal kaynaklı ısı pompalarının kullanılmasının ekonomik sonuçları üzerine bir çalışma yapılmıştır. Sistemlerde basınç ve ekserji analizleri, 12 farklı akışkan üzerinden yürütülmüş, referans olarak Simav bölgesindeki jeotermal kaynaklar kullanılmıştır. 4686 farklı tasarımın incelendiği çalışmada, elde edilen bulgular, Net Bugünkü Değer analizi ile birlikte Yaşam Döngüsü Maliyeti kavramının da ele alınması ile ekonomik açıdan en uygun merkezi ısıtma sisteminin ısı pompaları aracılığı ile gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Sonuçlar Simav bölgesindeki konutların bu sistem ile kolayca ısıtılabilirliğini ve bunun bölgede yaşayanlar için akıllıca bir yatırım olacağını da ortaya koymuştur [31].

Ristimäki ve diğeri tarafından Finlandiya'da sıfır enerjili bina yapımı ve bu binalarda kullanılacak ısı pompası uygulamalarının müstakil bir evde yapılacak hesaplamalarını içeren çalışmada, yaşam döngüsü maliyetleri, karbon emisyonları yaşam döngüsü değerlendirmesi ve farklı enerji sistemlerinin uygulanabilirliği analiz edilmiştir. Çalışmada, yaşam döngüsü, maliyet ve yaşam döngüsü yönetimi konularında bölgesel ısıtma (referans tasarımı), binaya entegre fotovoltaik paneller, toprak kaynaklı ısı pompası ve binaya entegre fotovoltaik panelli toprak kaynaklı ısı pompası incelemesi yapılmıştır. Elde edilen bulgular, yatırım maliyeti en yüksek tasarımların genellikle daha uzun ömürlü olduklarını göstermiştir. Ancak tüm sistemlerin karbon emisyonları konusunda benzerlik gösterdikleri ve uygun projelerde uygun entegrasyonlar ile çevresel zararın en az düzeye indirilebileceği de elde edilen bulgular arasındadır [32].

Süzer tarafından 2001 yılında İstanbul Hadımköy'de toprak kaynaklı ısı pompaları ile soğutulan ve ısıtılan evlerin ısı kaybı, ısı kazancı ve hava kaynaklı ısı pompası ve toprak kaynaklı ısı pompası boyutlandırması hesaplarının gerçekleştirildiği çalışmada, kullanılan ekipman nedeni ile toprak kaynaklı ısı pompası kurulum maliyetinin hava kaynaklı ısı pompası maliyetinden fazla olduğu, fakat toprak kaynaklı ısı pompalarının işletme giderlerinin hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha az olduğu gösterilmiştir. Çalışmada farklı günlerde yapılan uygulamalar neticesinde dış hava sıcaklığının düşük olduğu günlerde, hava kaynaklı ısı pompalarının problemlere sebebiyet verdiği de görülmüştür. Buradan hareketle ilk yatırım maliyetleri ve çalışma maliyetlerinin kıyaslanarak en doğru ekonomik fayda sonucuna ulaşılabileceği görülmektedir [12].

Kuş ve Çomaklı tarafından, 2015 yılında hazırlanan çalışmada, farklı ısı pompaları sistemlerinin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin tamamında en önemli gider kaleminin kurulum maliyeti ve çalışma esnasında kullanılan elektrik enerjisi olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında, ısı kaynağı olarak su ve hava seçilmiş, hava-su, su-su, hava-hava ve su-hava olmak üzere dört ayrı kaynak ile çalışabilen ısı pompası sistemi izlenmiş ve sabit yoğunlaştırıcı sıcaklığında buharlaştırıcı sıcaklığı artırılarak elde edilen ısı pompası etkinlik katsayısı değerleri (COP) grafiklere dönüştürülmüştür.

Belirlenen COP değerlerine bağlı elektrik tüketim miktarı ve yıllık elektrik maliyeti, dört farklı çalışma şekli için hesaplanmıştır. Mevcut ısı pompası sistemi ile aynı kapasiteye sahip bir elektrikli ısıtıcı ekonomik yönden karşılaştırılmıştır. İşletme ve kurulum maliyetleri göz önüne alınarak yapılan ekonomik analizlerde “Geri Ödeme Süresi Metodu” ve “Net Bugünkü Değer

Metodu” kullanılmıştır. Yapılan hesaplamaların sonuçları, en yüksek yıllık elektrik maliyeti havadan suya ısı pompası sisteminde, en düşük yıllık elektrik maliyeti ise sudan havaya ısı pompası sisteminde olduğunu göstermiştir. Buradan yüksek buharlaştırıcı kaynak akışkan sıcaklığına sahip sistemlerin daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Yaşam döngüsüne göre, pompaların tamamının kendilerini amorti ettikleri ve geleneksel enerji sistemleri karşısında amortisman süreleri sonucunda kullanıcılarına ekonomik kar sağladıkları görülmüştür [33].

Arslan tarafından 2014 yılında hazırlanan çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompaları ve doğalgazlı kombilerin enerji verimliliği ve ekonomik verimlilik kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama, birincil enerji tüketimi, farklı ısı kaynakları açısından enerji verimliliği yönünden DIN V 4701-10 standardında verilen tablo yöntemiyle irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, toprak kaynaklı ısı pompalarının daha düşük enerji tüketimi ile daha fazla ısı açığa çıkarttığını ve bu durumun kullanım sürecinde kullanıcıya ekonomik fayda sağlayacağını göstermiştir [14].

Yaşam döngüsü ve maliyete ilişkin bir diğer çalışma Marszal ve Heiselberg tarafından Danimarka özelinde sıfır enerji tüketen binalar için yapılmıştır. Yazarlar, alternatif enerji kaynakları seçmenin kafa karıştırıcı bir süreç olduğunu ve hangi kaynağın hem verimlilik hem de maliyet açısından en uygun olduğunun anlaşılması konusunda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. 2011 yılında tamamladıkları çalışmada fotovoltaik / güneş termal kollektörleri ve ortam havası / güneş kaynaklı ısı pompası ile fotovoltaik kurulum, bir toprak kaynaklı ısı pompalı fotovoltaik kurulum ile merkezi ısıtma ızgarası ile fotovoltaik tesis kıyaslaması yapmışlardır. Tüm sistem deneyleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile şebeke enerjisinden çok daha fazla ekonomik fayda elde edileceğini ancak en uygun sistem için binanın yapısı, kurulum maliyeti ve kullanım ömrü gibi detaylara da bakılması gerektiğini göstermiştir. Çalışmada bölgedeki tesis fiyatlarının da etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Örneğin Danimarka için ısı pompası kurulumunun daha düşük maliyetli olduğu belirtilmiştir [10].

Sıfır enerji harcanan binalarda kullanılan sistemlerin fayda maliyetlerine ilişkin bir başka çalışma da Leckner ve Zmeureanu tarafından hazırlanmıştır. Çalışmada binaların yıllık enerji tüketimleri, bu tüketime ve yenilenebilir enerji kurulumuna, bakımına ve çalıştırılmasına yönelik giderler ve bunların amortisman süreleri incelenmiştir. Montreal özelinde yapılan çalışmada yapılan bilgisayarlı simülasyon uygulamaları, güneş kaynaklı ısı pompaları ile

istenilen ısı derecelerine ulaşılabileceğini göstermektedir. Yapılan incelemede ortalama bir evde, istenilen ortalama değerler için kullanılacak olan güneş kaynaklı ısı pompası sistemlerinin kendini amorti etme süresinin 8,4 ile 8,7 yıl olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemin kombine bir sistem olarak kurulması durumunda, ödeme amortisman süresinin 3,5 ile 3,8 yıl aralığında değişebileceği de tespit edilmiştir. Fakat yaşam döngüsü analizleri ve bölgenin soğuk iklim koşulları da hesaba katıldığında, hiçbir zaman finansal geri ödemenin sağlanamadığını göstermektedir. Fakat bu çalışmada dikkat çeken bir diğer olgu da, şebekeden elde edilen enerjinin fiyatının ilgili bölgede çok düşük olmasıdır. Yani maliyetlere ilişkin uygulamalar gerçekleştirilirken, kurulum ve kullanıma ilişkin giderlerin yanı sıra, enerji fiyatları konusunda da dikkatli olmak gerekmektedir [34].

Esen, İnallı ve Esen tarafından Türkiye Elazığ bölgesi üzerinde yapılan çalışmada, yatay toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performans deneyleri ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bir oda için yerden ısıtma sistemi oluşturulmuştur. Test odasının ısıtma ve soğutma yükleri tasarım şartlarında sırasıyla 2,5 ve 3,1 kW olarak belirlenmiştir. Tüm kış ve bahar ayları sürecinde yapılan gözlem sonucunda ayrıntılı bir maliyet analizi sunulmuş ve farklı yerel yakıt / güç kaynakları yerine kullanılmaları durumunda geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Akaryakıt, sıvı benzin gazı, kömür, yağ ve doğalgaz gibi geleneksel ısıtma yöntemleri ile yapılan kıyaslama sonucunda, genel olarak ısı pompasının daha uygun ekonomik maliyetler oluşturduğu görülmüştür. Ancak doğalgaz kullanımı bir istisnadır. Sistem, doğalgaz ile çok daha ucuz enerji ihtiyacı karşılamaktadır [1].

Kural tarafından 2012 yılında yüksek lisans tezi kapsamında yürütülen çalışmada, Malatya ili sınırları içinde toprak kaynaklı ısı pompası uygulamasının merkezi klima ve doğalgazlı sistemlerle kıyaslaması yapılmıştır. Çalışma kapsamında yalnızca ısıtma yapabilen doğalgazlı sistemlere soğutma da yapabilmeleri için soğutma grubu sistemi uygulanmıştır. Uygulama aşamasında ısı pompası ve doğalgazlı sistemler yerden ısıtma, klima sistemi ise hava kanalları kullanarak ısıtma ve soğutma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Tüm uygulamada, her sistemin ilk yatırım maliyetleri ve yıl boyunca harcadıkları enerjiler kaydedilmiştir. Bunun neticesinde ise değerler kıyaslanmış, geri ödeme süreleri tespit edilmiştir. Hem ısıtma hem de soğutma bazlı olarak sistemler ele alındığında, toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşılmıştır [16].

Lam ve Chan tarafından 6 aylık süre ile çatı katında bulunan bir otel havuzunun ısıtılması için kullanılan sistemlerin yaşam döngüleri ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma

neticesinde on yıllık süre ile hava kaynaklı ısı pompası kullanıldığında, geleneksel yöntemlere göre daha fazla kâr elde edileceği görülmüştür [35].

Zhu ve diğerleri toprak kaynaklı ısı pompalarına ilişkin maliyet analizlerinin özellikle Florida gibi nemli ve sıcak bölgeler için pek fazla yapılmamış olduğunu belirtmektedir. Araştırmacılar, iklimin maliyet ve yaşam döngüsünü doğrudan etkileyebileceğini belirttikleri çalışmalarında önceki yaşam döngüsü maliyet analizi, nokta tahminlerini elde etmek için deterministik yöntemlerinin kullanıldığını ve bu tür çalışmalarda çoğu durumda verilerin varsayım ile elde edildiğinden bahsetmektedir. Daha doğru sonuçların elde edilmesi için çalışmalarında aynı sistemler için uygulanan deterministik ve olasılıksal yöntem karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Hangi yöntemin yaşam döngüsü maliyet analizi için daha uygun ve gerçekçi sonuçlar verdiğini tespit etmeye çalışmışlardır. Olasılıklı yöntemin deterministik yöntemden daha kritik bilgilerle daha güvenilir bir sonuç çıkardığı tespit edilmiştir. Çalışmanın en ilginç bulgusu, yenilenebilir enerji kullanımına yönelik bölgesel teşvikler dikkate alınmamasına rağmen her iki yöntemin de ekonomik yönden olumlu sonuçlar vermesi olmuştur. Isı pompalarının kullanıldığı ısıtma ve soğutma sistemleri, geleneksel yöntemlerden çok daha fazla kar elde etmeye fayda sağlamaktadır [36].

Vu ve diğerleri tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompalarında kullanılan dört farklı tip ısı değiştirici üzerinde yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi ile hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada toprak kaynaklı bir ısı pompasının tüm bileşenlerini içeren yaşam döngüsü maliyet analiz yöntemi şemalar ile gösterilmiştir [37].

Sarbu ve Sebarchievici toprak kaynaklı ısı pompası çalışma prensipleri, ısı pompası tipleri hakkında detaylı literatür çalışmasını ve ısı pompası kullanımının avantajlarını içeren 2013 yılında yaptıkları çalışma ile ısı pompalarının hem soğuk hem sıcak havalarda kullanımının geleneksel yöntemlere oranla enerji tasarrufu sağladığını ve emisyonları düşürdüğünü keşfetmişlerdir [13].

Luo ve diğerleri yaptıkları çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin teknolojik olarak uygun montajını sağlamak için, alt zeminin termal ve jeolojik özelliklerinin araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir. 2018 yılında yayınlanan çalışmalarında araştırmacılar Wuhan şehrinde üç tip toprak kaynaklı ısı pompası tesisinin jeotermal potansiyelini, jeolojik incelemelere dayanarak değerlendirmişlerdir. Değerlendirme, sığ jeotermal enerji potansiyeli, yüzey suyu ısı pompası sistemleri, yeraltı suyu ısı pompası sistemleri ve toprakla birleştirilmiş

ısı pompası sistemleri üzerinden yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ısı pompalarının türlerine ve çalışma prensiplerine göre verimliliklerinin kurulmuş oldukları bölgedeki doğal koşullar ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar en verimli yöntemin tespit edilebilmesi için aynı noktada hem farklı türdeki ısı pompaları hem de aynı türdeki ısı pompalarının farklı boyutları için ölçümlerin de yapılması gerektiğini belirtmektedir [38].

Badescu'nun 2006 yılında yaptığı çalışmada, Almanya'da ısıtma ve soğutma amacıyla yer kaynaklı bir sistemin kullanılmasının ekonomik yönden incelemesi ele alınmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası ve yeraltı ısı değiştiricisi sistemlerinin yaşam döngüsü maliyet analizine benzer şekilde analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda 3-10 yıl arası kullanımlarda toprak kaynaklı ısı pompasının en ekonomik yöntem olduğu ve en az emisyon ürettiği ortaya çıkmıştır [39].

Özyurt ve Ekinci'nin 2010 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi içerisinde yaptığı çalışmada bir toprak kaynaklı ısı pompasının ısınma ihtiyacı yüksek Erzurum ilindeki performans ve enerji analizlerinin yapılması ve sistemlerin performans katsayısının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bunun için bir yeraltı ısı değiştiricisi, su kaynaklı buhar sıkışmalı bir ısı pompası, su devir daim pompaları ve çeşitli hesaplama ve ölçüm cihazları kullanılmıştır. Çalışmalar sonunda sistemlerin performans katsayıları hesaplanmış ve Türkiye'nin en soğuk iklimine sahip Erzurum'da gerekli maliyet analiz çalışmaları yapılarak bu sistemlerin kullanılabileceği belirtilmiştir [40].

Pulat ve diğerlerinin 2009 yılında yaptıkları çalışmada, yumuşak iklime sahip Bursa ilinde yatay kollektörlü toprak kaynaklı ısı pompasının performans katsayısının belirlenmesi ve ısıtma performans analizinin yapılması hedeflenmiştir. Bunun için dış hava sıcaklıkları ve toprak sıcaklıkları da çalışmada dikkate alınmıştır. Konvansiyonel ısıtma sistemleri ile toprak kaynaklı ısı pompalarının ekonomik analizi yapılmış ve birim enerji fiyatlarına dayanarak toprak kaynaklı ısı pompalarının ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen en ekonomik opsiyonlara sahip doğalgaza oranla daha ekonomik olduğu saptanmıştır [41].

Kegel ve diğerleri 2012 yılında yaptıkları çalışmada yenilenebilir kaynaklar ile bir kaç farklı ısı pompası sisteminin Kanada iklimindeki kombinasyonunu incelemişlerdir. 1980'lerde yapılmış bir ev, enerji tasarruflu ev ve sıfır enerjili bina üzerinde 210 metrekarelik bir alanda yapılan çalışmada 20 yıllık yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda ısıtma yüklerinin fazla olması sebebiyle hava kaynaklı ısı pompası sisteminin 1980'lerde



yapılmış ev ve enerji tasarruflu ev üzerinde en ekonomik seçenek olduğu, su kaynaklı ısı pompasının ise ısıtma yüklerinin daha az olması sebebiyle sıfır enerjili bina üzerinde en ekonomik seçenek olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmada ayrıca Kanada'daki doğalgaz fiyatları da dikkate alınmıştır [42].

Ateş'in 2015 yılında yaptığı çalışmada, beş farklı ısıtma sisteminin, Türkiye'nin 4 farklı iklim bölgesinde yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi ile incelemesine yer verilmiştir. Çalışmada jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri, doğalgaz kaynaklı ısıtıcılar, talaş kaynaklı sobalar, toprak kaynaklı ısı pompaları yaşam döngüsü maliyetleri, ulaşılabilirlik, ilk yatırım maliyetleri, teknik altyapıları, kaynak maliyetleri, ve yıllık ısıtma maliyetleri bakımından incelenmiştir. Ayrıca yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır. Çalışma sonucunda yenilenebilir kaynakların Türkiye için yenilenebilir olmayan kaynaklara göre çok daha maliyetli olduğu sonucuna varılmış, ülkenin orta vadeli enerji planında destek mekanizmalarının artırılması yönünde tavsiyede bulunulmuştur [43].

Görüldüğü üzere, bir ısıtma ve soğutma sisteminin ne tür ekonomik faydaları beraberinde getireceğinin anlaşılabilmesi için öncelikle bölgenin toprak ve su kaynaklarının koşulları ve iklimi doğru değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, ısı pompasının bina içindeki boru tasarımı enerji verimliliğinin sağlanabilmesi ve istenen sıcaklıklara ulaşılabilmesi açısından oldukça önemlidir. Kimi ülke ve kentlerde, geleneksel yöntemler ile entegre edilmiş sistemler en yüksek faydayı sağlarken, kimi bölgelerde diğer yenilenebilir enerji sistemleri ile ısı pompası sistemlerini birlikte kullanmanın daha faydalı olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, Türkiye'de seçilen bölgede toprak ve su pompalarının birlikte incelendiği ve hangisinin daha verimli olduğunu anlamaya yönelik çalışmanın literatürde yer almadığı görülmektedir.

Rui ve arkadaşları, ısı pompası kullanımının düşük karbon emisyonlu ve düşük maliyetli ısıtma - soğutma ve sıcak su temini sağlamak için kullanılacak bir teknoloji olduğunun, ancak yanlış tasarlanmış ısı pompası sistemlerinin kurulum ve kullanım maliyetlerini artırabildiğini ve genellikle emisyonlarda beklenen düşüşü sağlamadığını belirtmektedir [44].

Güçül'ün 2016 yılında yaptığı çalışmada, konutların ülkedeki toplam enerji tüketiminin %30'unu oluşturduğundan bahsedilmiştir. Enerji tüketiminin ve emisyonların azaltılması için konutlarda uygulanabilecek yapısal iyileştirme senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryoların uygulanabilmesi amacıyla konutların yapısal özellikleri, mimarisi, ısı ihtiyacı ve izolasyon malzemeleri bina enerji simülasyon yazılımı ile test edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre örnek

konutta yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılabilmesi gözlenmiş, her bir yenilenebilir enerji sistemi için Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ile kurulacak sistemlerin geri ödeme süreleri doğalgaz ve elektrik bedellerinin gelecekteki olası senaryoları da dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca enerji talebinin azaltılması sonrası CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki düşüş hesaplanmıştır [45].

Görüldüğü üzere gerek dünyada gerekse Türkiye’de, ısı pompalarının farklı türlerini birbiri ile kıyaslayan ve bunların ekonomik açıdan değerlendirmesini yapan çalışma sayısı oldukça azdır. Genel olarak literatür incelendiğinde ısı pompası türlerinin diğer ısıtma ve soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığı fark edilecektir. Ancak ısı pompalarının farklı coğrafyalarda, farklı iklimlerde, farklı türlerde ve hatta aynı tür ısı pompalarının farklı projelerde birbirine kıyasla değişik sonuçlar verdikleri dikkat çekicidir. Bu durum ısı pompalarının daha geniş açılardan kıyaslanmasını daha net ekonomik veri elde edilmesi açısından önemli hale getirmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı Türkiye’de hem ısıtma hem soğutma ihtiyacı olan bir bölgede, meteorolojik veriler doğrultusunda geçmiş ve gelecekteki enerji fiyatlarını, yatırımların kendini geri ödeme sürelerini ve CO<sub>2</sub> salım oranlarını dikkate alarak toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının konvansiyonel sistemlere göre verimlilik analizinin yapılması ve uygun sistemlerin uygulamasının tavsiye edilmesidir. Ülkemizde genellikle hava kaynaklı ısı pompalarının kullanıldığı bilinmektedir [12]. Ancak son yıllarda toprak ve su kaynaklı ısı pompalarına ilgi artış göstermiştir [9]. Bunun en önemli nedeni kuşkusuz hem gelişen teknoloji hem de coğrafi ve doğal avantajlardır.

Bu amacın gerçekleşmesi için öncelikle temel kavramların açıklanması lazımdır. Enerji verimliliğinin gözetildiği, yeni nesil enerji üretim teknolojilerinin araştırıldığı ve daha çevreci ısıtma ve soğutma sistemlerinin dikkate alındığı bir çalışma yapılması öncelikli hedeftir. Bu hedef doğrultusunda ısı pompalarının çalışma prensipleri ve temel özelliklerine ilişkin literatür taramasının gerçekleştirilmesinin ardından, seçilen bölgedeki toprak ve su özellikleri de dikkate alınarak yapılmış uygulamalara ilişkin veriler derlenecek ve tez çalışmasında seçilen verilerle karşılaştırılarak sonuç ve öneriler tartışılacaktır.

### **3.3 Bölüm Değerlendirmesi**

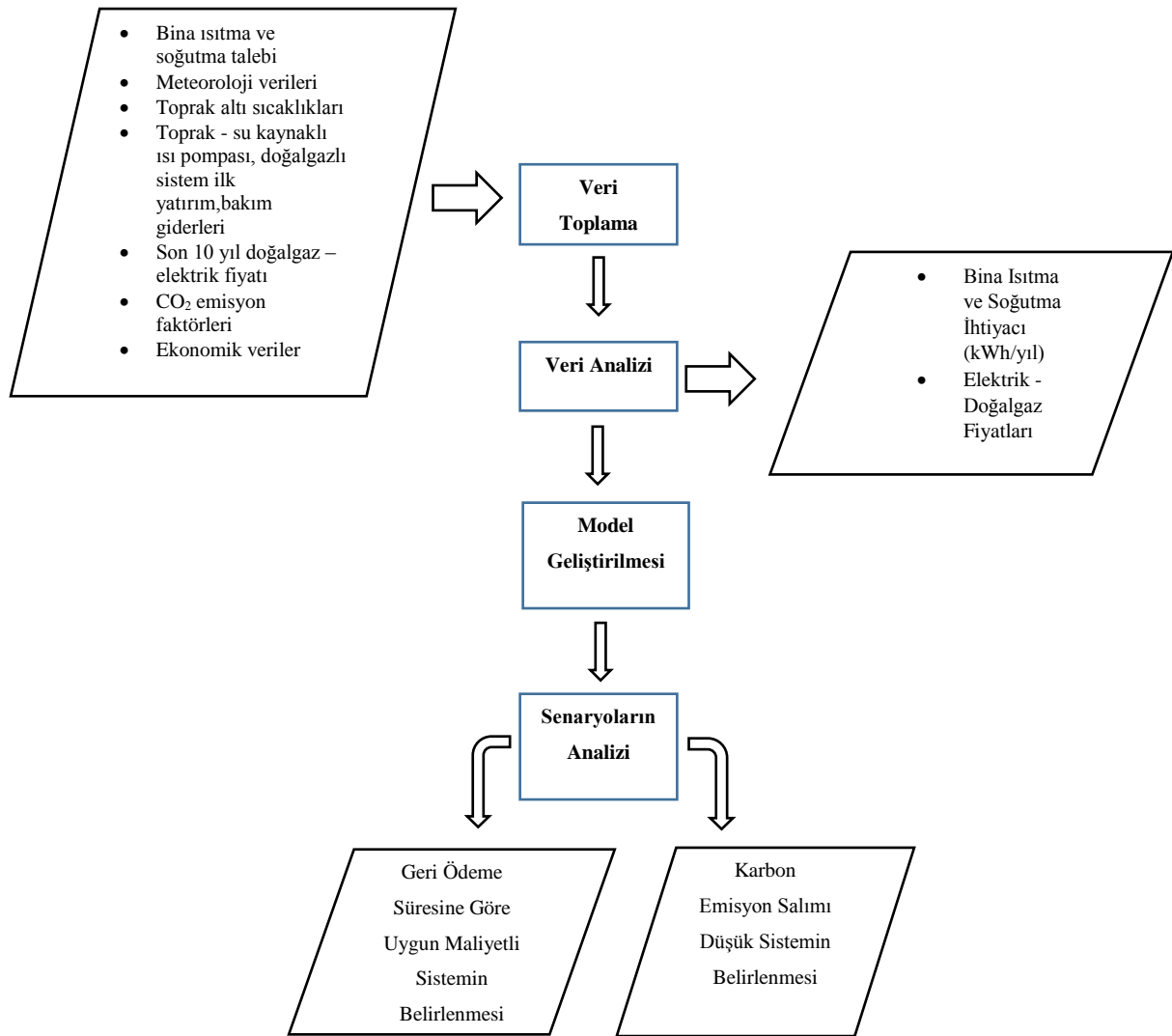
Bu bölümde ısı pompaları ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalardan bahsedilmiştir. Literatürde ısı pompası türlerini, kullanım alanlarını, maliyetlerini, uygun yer seçimini, farklı

uygulamalarını inceleyen çalışmalara, tez çalışmasında kullanılmak ve çalışmanın metodoloji ve veri analiz yöntemlerini belirlemek üzere bu bölümde yer verilmiştir.

## 4 METODOLOJİ VE VERİ KAYNAKLARI

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan metodlar ve yararlanılan veri kaynakları anlatılmıştır. Öncelikle yapılan çalışmada hangi adımlarla ilerlendiği akış şeması ile gösterilmiştir. Veri kaynaklarının, analiz için kullanılacak yazılıma hangi şekillerde eklendiği görsellerle açıklanmıştır. Bölümün sonunda ise tez çalışmasında analiz edilen her sistemin emisyon miktarları incelenmiştir.

Yapılacak analizlerde aşağıda Şekil 11’de yer alan tablodaki aşamalarla verilerin analiz edilmesi planlanmaktadır.



Şekil 11. Tez çalışması akış şeması

## 4.1 Veri Toplama

Tez çalışmasında analizi yapılacak bölgenin belirlenmesinde belli özellikler gözetilmiştir. Kış mevsiminde eksi derecelere, yaz mevsiminde ise yüksek sıcaklıklara çıkan sıcaklıklar ve buna bağlı olarak hem ısıtma hem de soğutma ihtiyaçları bulunan Gaziantep şehri çalışma yapılacak alan olarak belirlenmiştir. Bu alan belirlenirken yıllık ısıtma ve soğutma gün sayıları dikkate alınmıştır [46]. Yeni konutların ve yapıların oldukça fazla inşa edildiği bu ilimizde güncel verinin oldukça fazla olması da yine ısıtma ve soğutma ihtiyacı olan diğer illerimiz yerine Gaziantep'in tercih edilmesinde önemli rol oynamıştır.

### 4.1.1 Toprak Sıcaklık Verileri

Toprak sıcaklık verileri, analiz için kullanılan HeatPump 3D adlı yazılımın veri tabanında yer alan iklim bilgileri ile bağlantılı olarak kullanılmıştır. Yazılım ortalama toprak ve su sıcaklıklarına göre ortalama bir elektrik tüketim hesaplaması yapmaktadır.

### 4.1.2 Isınma ve Soğutma Talebi

Toprak ve hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin doğalgazlı konvansiyonel sistemler ile karşılaştırılacağı binanın özelliklerinin belirlenebilmesi için Gaziantep şehri seçilmiştir. Tez çalışmasında konvansiyonel sistemler olarak belirtilen sistemler ısıtma amaçlı kullanılan doğalgazlı merkezi ısıtma sistemleri ve soğutma amaçlı kullanılan split klima sistemleridir.

Isınma ihtiyacının belirlenebilmesi için EK 2'de yer alan 2019 yılında Gaziantep'te inşa edilen bir binanın ısı enerjisi kimlik belgesi verilerinden yararlanılmıştır. Bu belgede yer alan parametreler analiz için kullanılacak kılavuz binanın ısıtma ihtiyaçlarını göstermektedir. Isı enerjisi kimlik belgesi Gaziantep ilinde faaliyet gösteren özel bir şirketten temin edilmiştir.

Soğutma ihtiyacı ise kullanılan HeatPump 3D yazılımı ile hesaplanmıştır. Kılavuz binanın genel özellikleri aşağıda yer alan Tablo 1'de verilmiştir. Doğalgazlı kazan sistemlerinin %98 verimle çalıştığı kabul edilmiş, kılavuz bina ısı ihtiyacı kimlik belgesinde yer alan ısınma ihtiyacı verisi, %98 verime göre hesaplanmıştır. Kılavuz binaya salonlarda kullanılmak üzere 10 adet 24.000 BTU, odalarda kullanılmak üzere 30 adet 12.000 BTU klima monte edildiği varsayılmıştır. 12.000 BTU klimaların yılın 3 ayı, günde 2 saat çalıştığı varsayılmış, 24.000

BTU klimaların ise yılın 3 ayı günde 4 saat çalıştığı varsayılmıştır. Bu kabullere göre yıllık elektrik tüketimi ve emisyon hesapları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1 – Kılavuz bina özellikleri

<b>Kılavuz Bina Özellikleri</b>	
Toplam Kat Adedi	5
Ortalama Kat Yüksekliği	2.6 m
Toplam Bina Alanı	2511.7 m <sup>2</sup>
İklimlendirilen Alan	1769.3 m <sup>2</sup>
Her Katta İklimlendirilen Alan	465 m <sup>2</sup>
Toplam Daire Adedi	10
<b>Yıllık Enerji Tüketimleri</b>	
Isıtma	93.676 kWh/yıl
Soğutma	51.000 kWh/yıl

Bu veriler kullanılarak klavuz binanın toprak ve su kaynaklı ısı pompa sistemleri ile ısıtılması ve soğutulması durumunda, sistemin ne kadar elektrik harcayacağı, sistemin kendini geri ödeme süresi, hangi tür ısı pompasının kullanılmasının avantajlı olacağı ve maliyet analizleri **HeatPump3D** adlı yazılım yardımıyla yapılacaktır.

#### 4.1.3 İlk Yatırım Maliyetleri

Kılavuz olarak seçilen bina için toprak ve su kaynaklı olarak kullanılabilen ısı pompası, doğalgazlı kazan sistemi ve klima sistemleri referans olarak seçilmiştir. Bu sistemlerin maliyetleri aşağıda yer alan de verilmiştir. Buna göre konvansiyonel doğalgazlı kazan sistemi ve klima sisteminin birlikte uygulanması planlanmaktadır. Binada kullanılması planlanan sistemlerin kurulum maliyetlerinin yer aldığı dokümanlar ve fiyat teklifleri EK 3, EK 4 ve EK 5’de yer almaktadır. Yazılım yardımıyla yapılan analizlerde binanın yeterli miktarda ısıtılması ve soğutulması için gerekli ekipman gücü 207.7 kWh olarak belirlenmiştir. Bu gücün en ekonomik şekilde elde edilmesi için her ekipmandan ihtiyaç duyulan sayılar aşağıda yer alan Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’de belirtilmiştir. Buna bağlı olarak binada ısıtma ve soğutma yapılabilmesi için 2 adet toprak kaynaklı ısı pompasına veya 2 adet su kaynaklı ısı pompasına veya 1 adet doğalgaz kaynaklı kazan sistemi ve 40 adet split klimaya ihtiyaç duyulmaktadır. Klima adetleri her dairede 4 adet bulunacak şekilde hesaplanmıştır. 45 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki

toplam 10 dairede yer alan 10 salon için 24000 BTU güce sahip klima tercih edilirken, 30 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki toplam 10 dairede yer alan 30 oda için 12000 BTU gücünde klima tercih edilmiştir.

Tablo 2 - Konvansiyonel doğalgazlı sistem ve klima sistemi

<b>Ekipman Tipi</b>	<b>Adet</b>	<b>Toplam Fiyat</b>
150 kW Gücünde Duvar Tipi Yoğuşmalı Kazan Sistemi	2	50.000 TL
Klima Sistemi – 12000 BTU	30	111.000 TL
Klima Sistemi – 24000 BTU	10	53.000 TL

Tablo 3 - Toprak kaynaklı ısı pompası sistemi

<b>Ekipman Tipi</b>	<b>Adet</b>	<b>Toplam Fiyat</b>
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	2	565.000 TL
Toprak Altı Borulama, İç Tesisat Pompası ve İnşa Giderleri	1	50.000 TL

Tablo 4 - Su kaynaklı ısı pompası sistemi

<b>Ekipman Tipi</b>	<b>Adet</b>	<b>Toplam Fiyat</b>
Su Kaynaklı Isı Pompası	2	565.000 TL
Toprak Altı Borulama, İç Tesisat Pompası ve İnşa Giderleri	1	40.000 TL

#### 4.1.4 Bakım Maliyetleri

20 yıllık periyotta toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının ve doğalgazlı kazan sistemlerinin tahmin edilen bakım maliyetleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5 – Kurulacak sistemlerin bakım maliyetleri

	<b>Doğalgaz Merkezi Sistem</b>	<b>Klima</b>	<b>Toprak Kaynaklı Isı Pompası</b>	<b>Su Kaynaklı Isı Pompası</b>
<b>Bakım Maliyeti (Yıl /TL)</b>	250.00	150.00	250.00	250.00
<b>Adet</b>	1	40	2	2
<b>Toplam (Yıl /TL)</b>	250.00	6,000.00	500.00	500.00

Yapılan tahminler geri ödeme süresi hesaplamalarında dikkate alınmıştır.

#### 4.1.5 Enflasyon ve Faiz Oranı

Tablo 6’de yer alan Ocak – Aralık 2018 tarihleri arasında değişiklik gösteren yıllık nominal faiz değerleri TÜİK’ten temin edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak yıllık nominal faiz değerleri Tablo 6’de hesaplanmıştır [47].

Tablo 6 – 2018 yılı aylık nominal faiz değerleri

<b>Nominal Faiz</b>	
	<b>Nominal Faiz Değeri</b>
<b>Ocak 2018</b>	9.48
<b>Şubat 2018</b>	9.75
<b>Mart 2018</b>	9.94
<b>Nisan 2018</b>	11.00
<b>Mayıs 2018</b>	10.98
<b>Haziran 2018</b>	11.01
<b>Temmuz 2018</b>	11.39
<b>Ağustos 2018</b>	11.34
<b>Eylül 2018</b>	10.91
<b>Ekim 2018</b>	11.18
<b>Kasım 2018</b>	11.63
<b>Aralık 2018</b>	11.72
<b>Ortalama Nominal Faiz</b>	10.86

Bu tabloya göre yıllık ortalama nominal faiz değeri %10.86 olarak hesaplanmıştır.



#### 4.1.6 Doğalgaz Tarifeleri

Son 10 yılın ortalama doğalgaz tarifeleri EPDK'dan EK 1'de temin edilen verilere dayanarak hesaplanmış ve Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7 – Yıllık ortalama doğalgaz fiyatları

<b>Doğalgaz</b>			
	<b>Yıllık Ortalama Fiyat, TL/m<sup>3</sup></b>	<b>Yıllık Artış, TL/m<sup>3</sup></b>	<b>Yıllık Artış, Yüzde</b>
2009	0.704		
2010	0.624	-0.080	-11%
2011	0.647	0.022	4%
2012	0.840	0.194	30%
2013	0.867	0.026	3%
2014	0.959	0.093	11%
2015	1.211	0.251	26%
2016	1.264	0.053	4%
2017	1.213	-0.051	-4%
2018	1.187	-0.026	-2%
2019	1.354	0.167	14%

#### 4.1.7 Elektrik Tarifeleri

Son 10 yılın ortalama elektrik fiyatları EPDK'nın web sitesinden temin edilmiştir [48]. Temin edilen veriler Tablo 8'da gösterilmiştir.

Tablo 8 - Yıllık ortalama elektrik fiyatları

<b>Elektrik</b>			
	<b>Yıllık Ortalama Fiyat, TL/kWh</b>	<b>Yıllık Artış, krş/kWh</b>	<b>Yıllık Artış, Yüzde</b>
2009	0.201		
2010	0.217	0.017	8%
2011	0.222	0.005	2%
2012	0.260	0.038	17%
2013	0.284	0.024	9%
2014	0.291	0.007	2%
2015	0.310	0.020	7%

2016	0.332	0.022	7%
2017	0.332	0.000	0%
2018	0.374	0.042	13%
2019	0.441	0.067	18%

#### 4.1.8 CO<sub>2</sub> Emisyon Faktörleri

Bu kısımda doğalgaz ve elektrik kullanımında oluşan karbondioksit emisyon miktarlarının hesaplamasında kullanılan doğalgaz ve elektrik salım faktörü değerlerinden ve bu değerlerin hesaplama yönteminden bahsedilmiştir.

#### Doğalgaz Salım Faktörü

Doğalgaz Salım Faktörü hesaplanırken doğalgazın üst ısıl değeri olan 9155 kcal/m<sup>3</sup> değeri kullanılmıştır. Bu değer 10,62 kWh/m<sup>3</sup> olarak çevirilmiştir. Doğalgaz Salım Faktörü ise 56.100 kg CO<sub>2</sub>/TJ olarak belirtilmiştir. Bu değerler kullanılarak doğalgaz salım faktörü 2,14 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> kabul edilmiştir [45].

#### Elektrik Salım Faktörü

Elektrik salım faktörü hesaplamalarında 2018 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretimi istatistiklerinden yararlanılmıştır [8]. Doğalgaz, fueloil, linyit ve taş kömüründen üretilen elektriğin yüzdesi ile bu kaynakların özel salım faktörleri çarpılarak 2018 yılı için elektrik salım faktörü (ESF) değeri 0.51 olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama Tablo 9’de görülebilir [45].

Tablo 9 – Türkiye birincil enerji üretim istatistikleri

Birincil Enerji Kaynağı	Elektrik Üretim Yüzdesi (%)	Özel Salım Faktörleri (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	2018 Yılı
Doğalgaz	30.07%	0.374	0.112
Fueloil	0.48%	0.755	0.004
Linyit	14.94%	1.080	0.161
Taş Kömürü	22.32%	1.018	0.227
<b>TOPLAM</b>	68%		0.51

## 4.2 Veri Analizi

Veri analizi bölümünde temin edilen enerji tarife verileri, son 10 yılda gözlemlenen artışlar göz önünde bulundurularak gelecekteki fiyatların tahmin edilmesi yöntemi ile analiz edilmiştir. Farklı tarihlerde gerçekleşen artışlar için üç farklı senaryoda doğalgaz ve elektrik tarife grafikleri oluşturulmuştur.

### 4.2.1 Doğalgaz Tarifeleri

EPDK'dan temin edilen son 10 yıla ait ortalama doğalgaz fiyatları EK 1 ve Tablo 10'da gösterilmiştir. Çizelgede yer alan verilerin son 10 yılda TL ve yüzde cinsinden artış miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 10 – Yıllık ortalama doğalgaz fiyatları

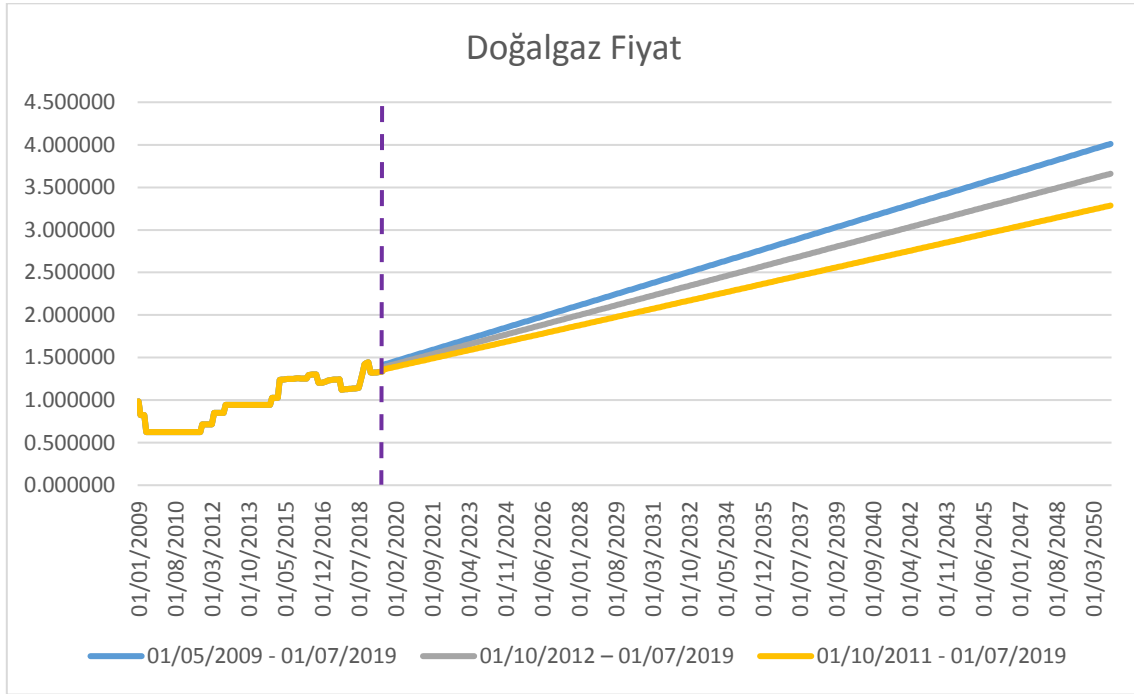
<b>Doğalgaz</b>			
	<b>Yıllık Ortalama Fiyat, TL/m<sup>3</sup></b>	<b>Yıllık Artış, TL/m<sup>3</sup></b>	<b>Yıllık Artış, Yüzde</b>
2009	0.704		
2010	0.624	-0.080	-11%
2011	0.647	0.022	4%
2012	0.840	0.194	30%
2013	0.867	0.026	3%
2014	0.959	0.093	11%
2015	1.211	0.251	26%
2016	1.264	0.053	4%
2017	1.213	-0.051	-4%
2018	1.187	-0.026	-2%
2019	1.354	0.167	14%

Bu veriler kullanılarak farklı tarih aralıkları seçilerek üç ayrı senaryo oluşturulmuştur. Belirlenen aralıklarda gerçekleşen artış ve azalış miktarları baz alınarak oluşturulan fiyat tahmin denklemleri Tablo 11'deki gibidir.

Tablo 11 – Doğalgaz fiyatı analizi

Tahmin No	Doğalgaz Fiyat Tahmini İçin Kullanılan Veri Aralığı	Eşitlik
DG1	01/10/2011 - 01/07/2019	$y = 0.00019846x - 7.27951858$
DG2	01/10/2012 – 01/07/2019	$y = 0.00016822x - 5.98624180$
DG3	01/05/2009 - 01/07/2019	$y = 0.00022662x - 8.48107297$

Tablo 11’de eşitlik sütununda yer alan x değeri hesaplama yapılan tarihi, y değeri ise bu tarihte tahmin edilen doğalgaz fiyatını göstermektedir. Bu değerlere göre önümüzdeki yıllarda doğalgaz fiyatlarının alacağı tahmini değerler Şekil 12’deki gibi oluşmuştur.



Şekil 12 Doğalgaz fiyat analizi TL / m<sup>3</sup>

Şekil 12’ye göre Geri Ödeme Süresi hesaplamalarında DG2 nolu tahmin, diğer tahminlerin ortalaması seviyesinde olması sebebiyle hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

#### 4.2.2 Elektrik Fiyatları

EPDK’dan temin edilen son 10 yıla ait ortalama elektrik fiyatları Tablo 12’de gösterilmiştir. [48] Çizelgede yer alan verilerin son 10 yılda TL ve yüzde cinsinden artış miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 12 - Yıllık ortalama elektrik fiyatları

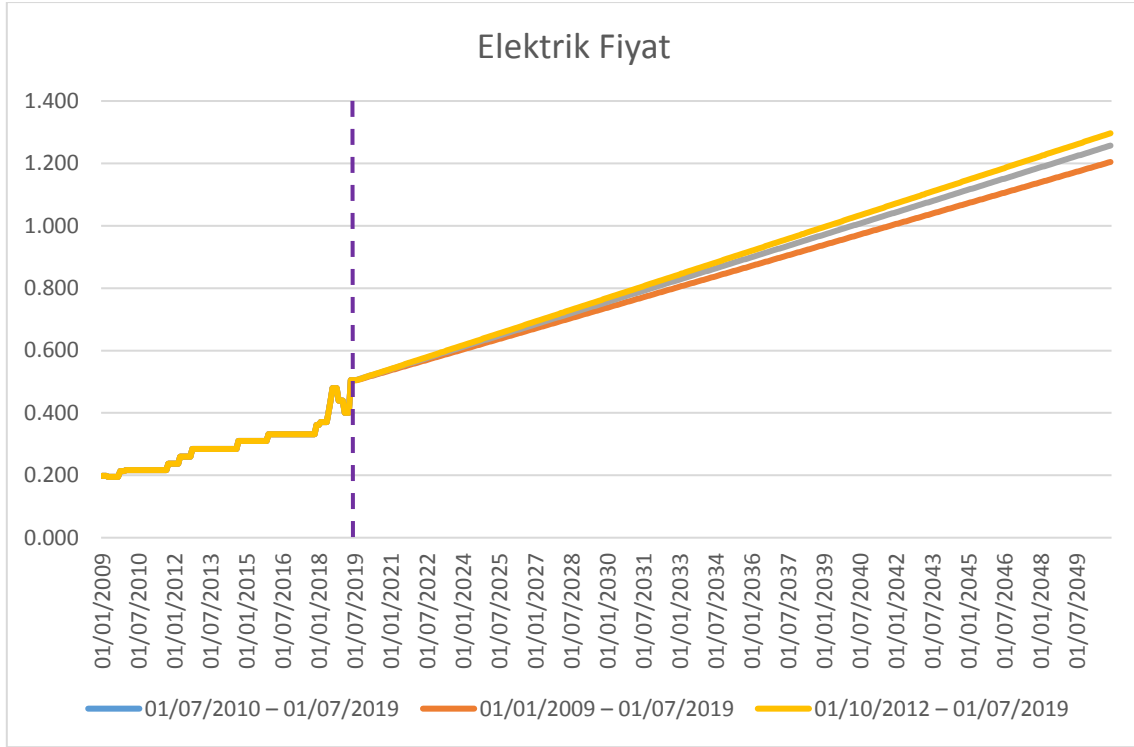
	Elektrik		
	Yıllık Ortalama Fiyat, TL/kWh	Yıllık Artış, krş/kWh	Yıllık Artış, Yüzde
2009	0.201		
2010	0.217	0.017	8%
2011	0.222	0.005	2%
2012	0.260	0.038	17%
2013	0.284	0.024	9%
2014	0.291	0.007	2%
2015	0.310	0.020	7%
2016	0.332	0.022	7%
2017	0.332	0.000	0%
2018	0.374	0.042	13%
2019	0.441	0.067	18%

Bu veriler kullanılarak farklı tarih aralıkları seçilerek üç ayrı senaryo oluşturulmuştur. Belirlenen aralıklarda gerçekleşen artış ve azalış miktarları baz alınarak oluşturulan fiyat tahmin denklemleri Tablo 13'deki gibidir.

Tablo 13 – Elektrik fiyatı analizi

Tahmin No	Elektrik Fiyat Tahmini İçin Kullanılan Veri Aralığı	Eşitlik
ELK1	01/01/2009 – 01/07/2019	$y = 0.00006112x - 2.16464188$
ELK2	01/07/2010 – 01/07/2019	$y = 0.00006562x - 2.36010227$
ELK3	01/10/2012 – 01/07/2019	$y = 0.00006913x - 2.51402702$

Tablo 13'de formül sütununda yer alan x değeri hesaplama yapılan tarihi, y değeri ise bu tarihte tahmin edilen elektrik fiyatını göstermektedir. Bu değerlere göre önümüzdeki yıllarda elektrik fiyatlarının alacağı tahmini değerler Şekil 13'deki gibi oluşmuştur.



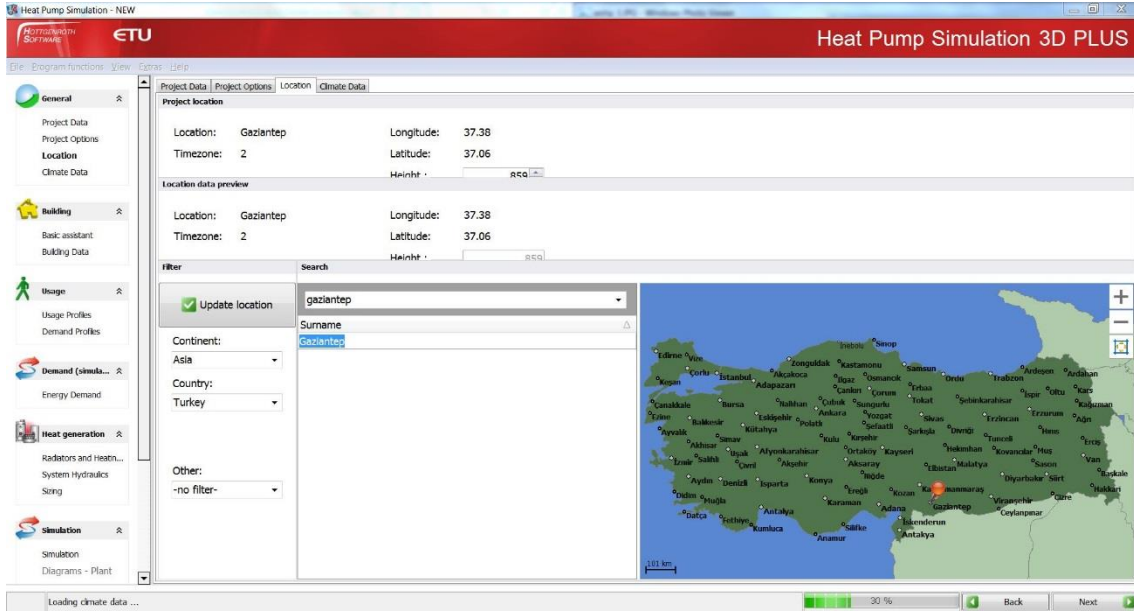
Şekil 13 – Elektrik fiyat analizi TL / kWh

Şekil 13'e göre Geri Ödeme Süresi hesaplamalarında ELK2 nolu tahmin, diğer tahminlerin ortalaması seviyesinde olması sebebiyle dikkate alınmıştır.

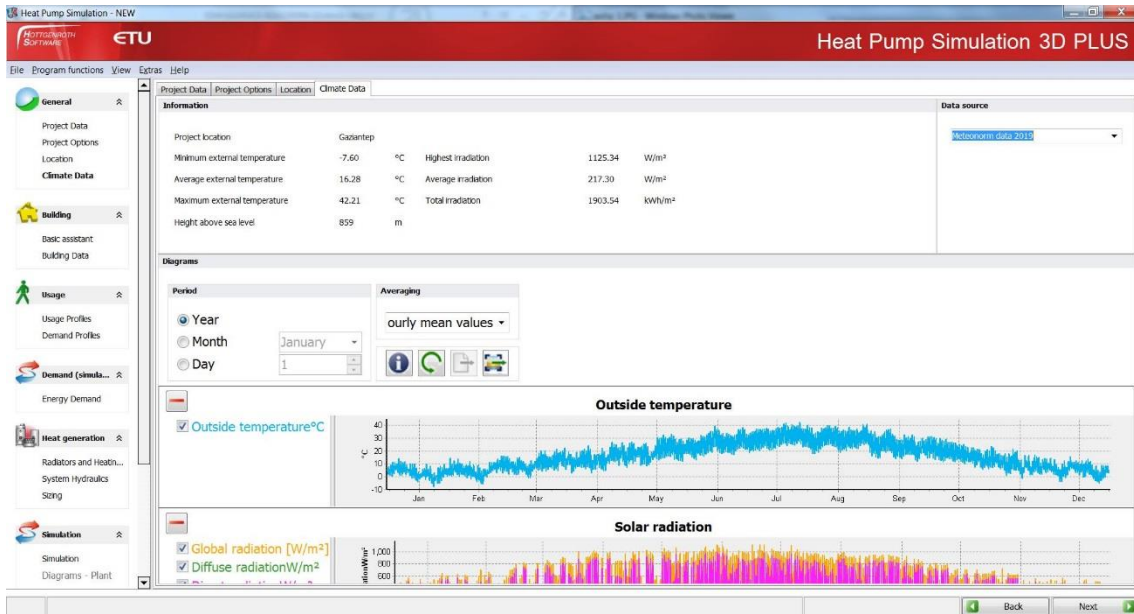
#### 4.3 Model Geliştirme

Tez çalışmasında yapılan hesaplamalarda ETU firması tarafından piyasaya sürülen **HeatPump3D** adlı yazılım kullanılmıştır. Yazılım tarafından gerçekleştirilen simülasyonda ısı pompalarının üzerindeki ısıtma ve soğutma yüklerini ve elektrik tüketimlerini doğru hesaplayabilmesi adına iklim bilgisi, binada iklimlendirilecek alan, ısıtma ve soğutma ihtiyacı verileri gibi verilerin yazılıma giriş yapılması gerekmektedir.

Bunun için Şekil 14 ve Şekil 15'de görüleceği üzere lokasyon kısmından kılavuz binanın yer aldığı Gaziantep ilinin seçilmesi gerekmektedir. Gaziantep ilinin seçilmesinin ardından lokasyonun yıllık bazda sıcaklık değerleri yazılımda alt kısımda yer alan grafiklerde gözlemlenebilmektedir.



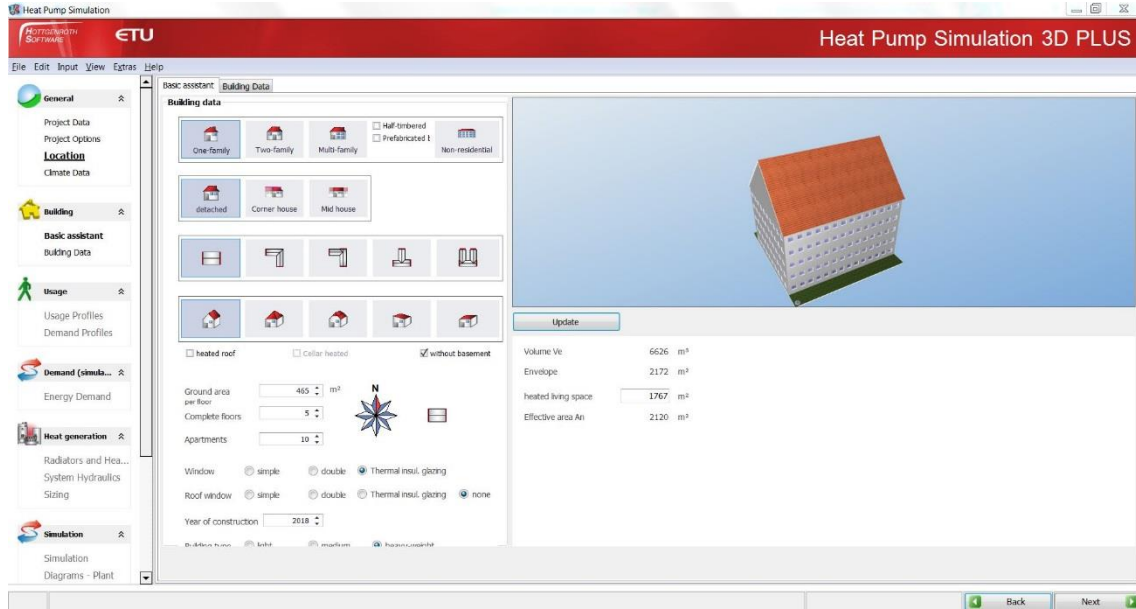
Şekil 14 – HeatPump 3D lokasyon verisi ekranı



Şekil 15 - HeatPump 3D iklim verisi ekranı

Bir sonraki aşamada Şekil 16’da görüldüğü üzere yazılımın basic assistant kısmından kılavuz bina özellikleri yazılıma eklenmiştir. Binada ısıtma yapılan toplam alan sayısı, bina enerji kimlik belgesinde yer alan değer olan  $1767 \text{ m}^2$  olarak yazılıma girilmiştir. Her kat için  $465 \text{ m}^2$  iklimlendirilen kullanım alanı bilgisi, 10 apartman dairesi ve kat sayısı 5 olarak giriş

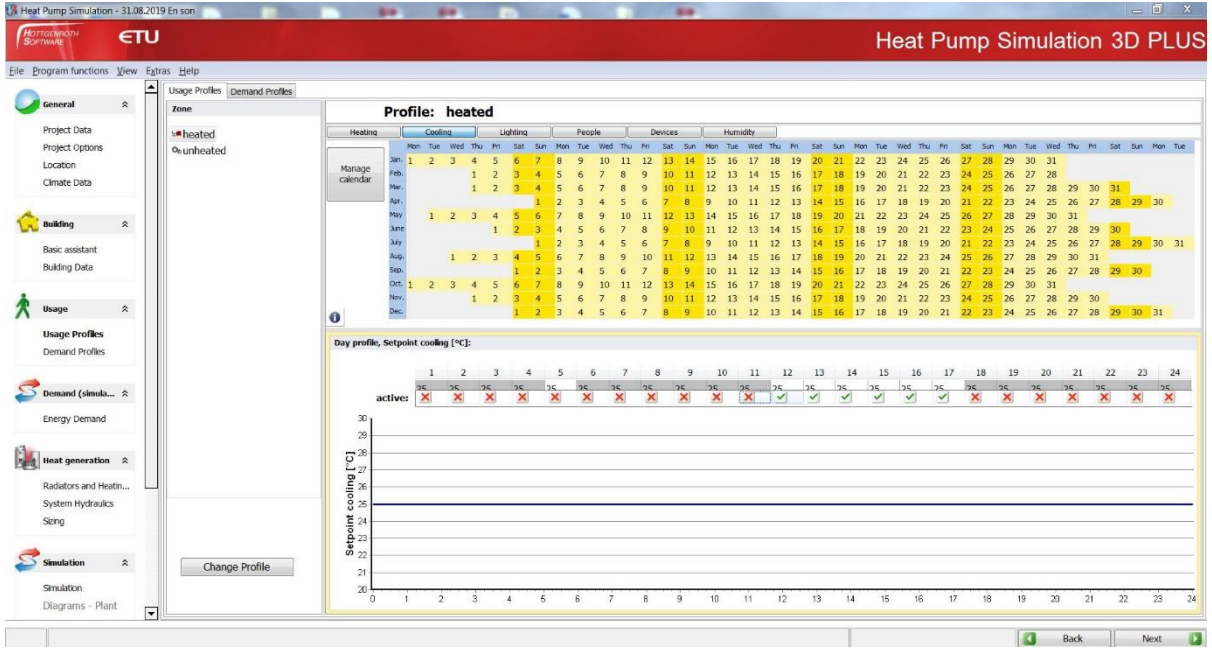
yapılmıştır. Binanın yapım yılı ısı ihtiyacı kimlik belgesinde de yer aldığı üzere 2019 olarak belirtilmiştir.



Şekil 16 - HeatPump 3D bina verisi ekranı

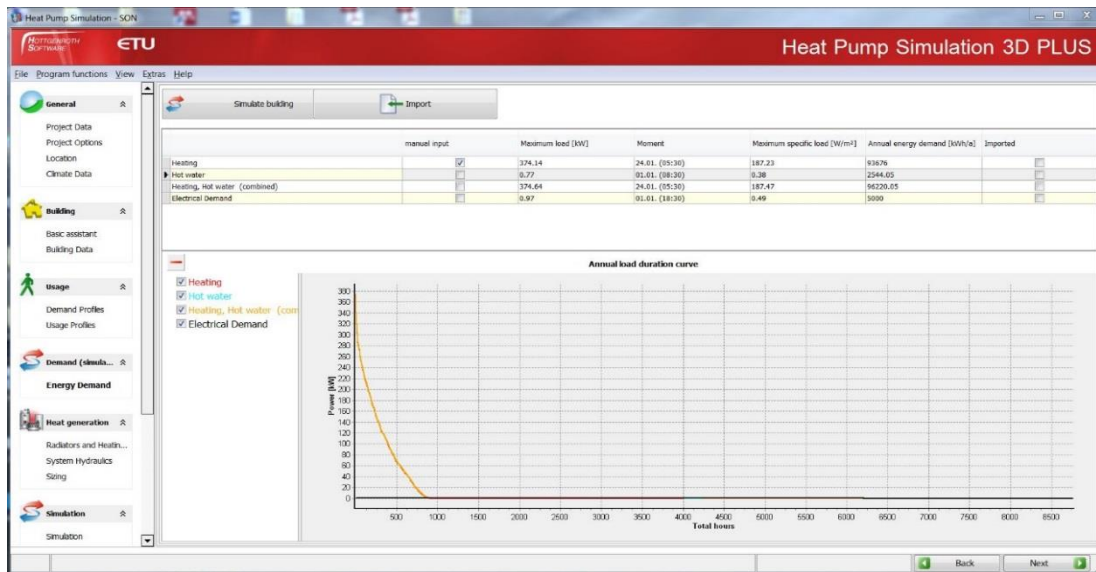
Bir sonraki aşamada Şekil 17’de görüldüğü üzere soğutma talep profili verilmektedir. Sistem yılın Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gün içinde toplam 6 saat boyunca dış sıcaklığın 25 derecenin üstüne çıktığı saatlerde soğutma yapacak şekilde ayarlanmıştır. Binada yapılacak tüm soğutma hesaplamaları bu talep profiline göre hesaplanmıştır.





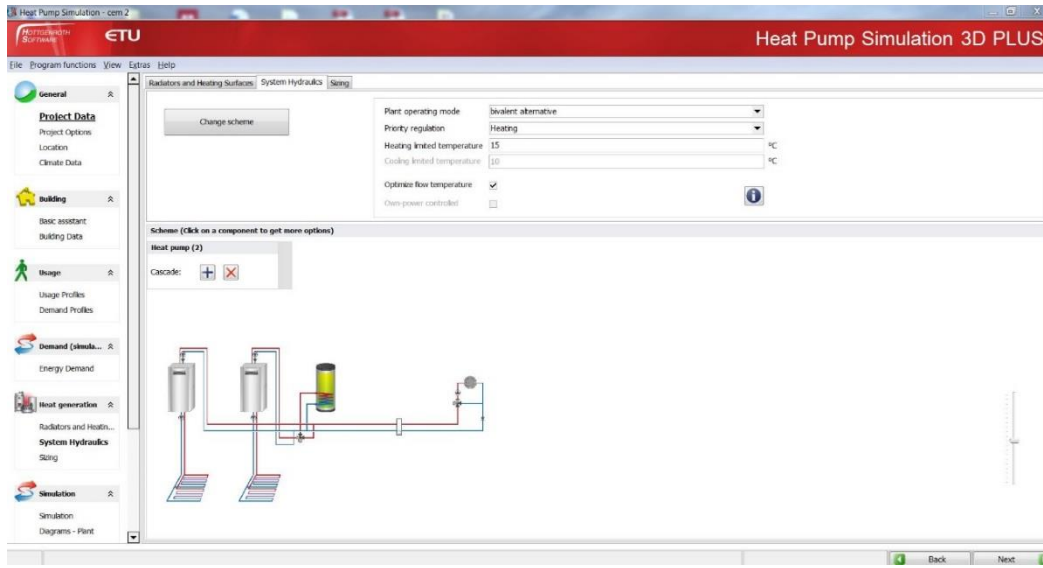
Şekil 17 – HeatPump3D soğutma talep grafiği

Bir sonraki aşamada Şekil 18’de görüldüğü üzere yazılım kılavuz binanın ısıtma ve soğutma yüklerini hesaplamaktadır. Binanın izolasyon, pencere, çatı ısı kayıplarının yazılıma detaylı olarak giriş yapılmaması sebebiyle ısıtma ihtiyacı verisi bina ısı ihtiyacı kimlik belgesinden alınarak 93.676 kWh / yıl olarak yazılıma giriş yapılmıştır.



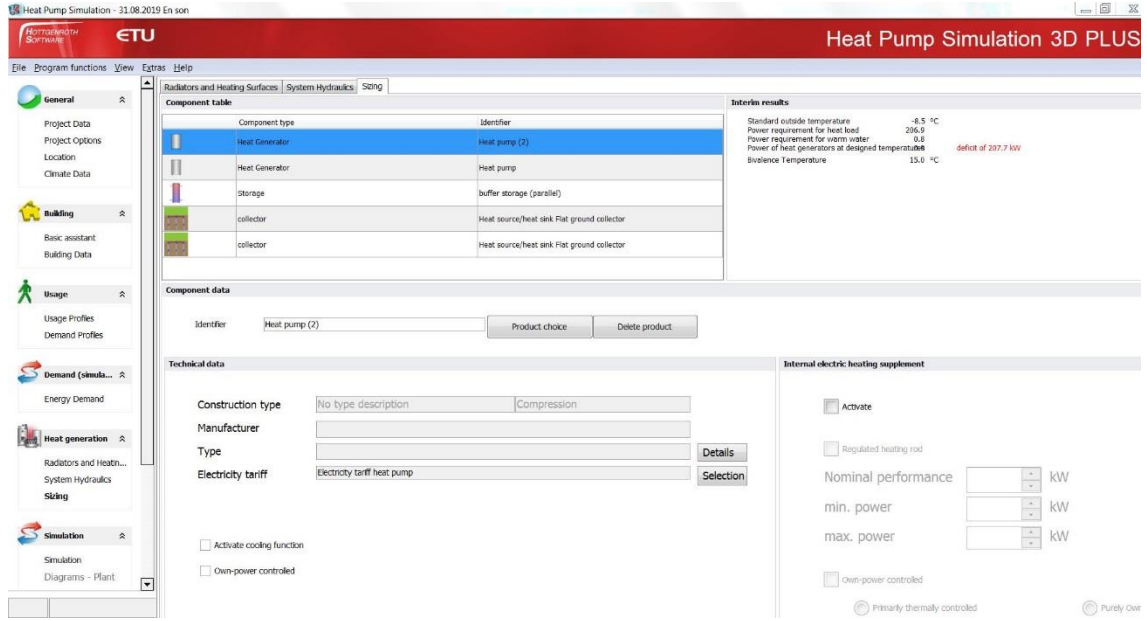
Şekil 18 - HeatPump 3D ısıtma ve soğutma ihtiyacı ekranı

Şekil 19’de görüldüğü üzere ısıtma yüklerinin yazılıma giriş yapılmasının ardından sistemin şemasının oluşturulması gerekmektedir. Yazılım için hem yatay - dikey toprak kolektörleri hem de yeraltı suyu kolektörleri için hesaplamalar yapılmıştır. İki ısı pompasının bivalent ve kaskad şekilde birbirine bağlandığı bir sistem şeması oluşturulmuştur.



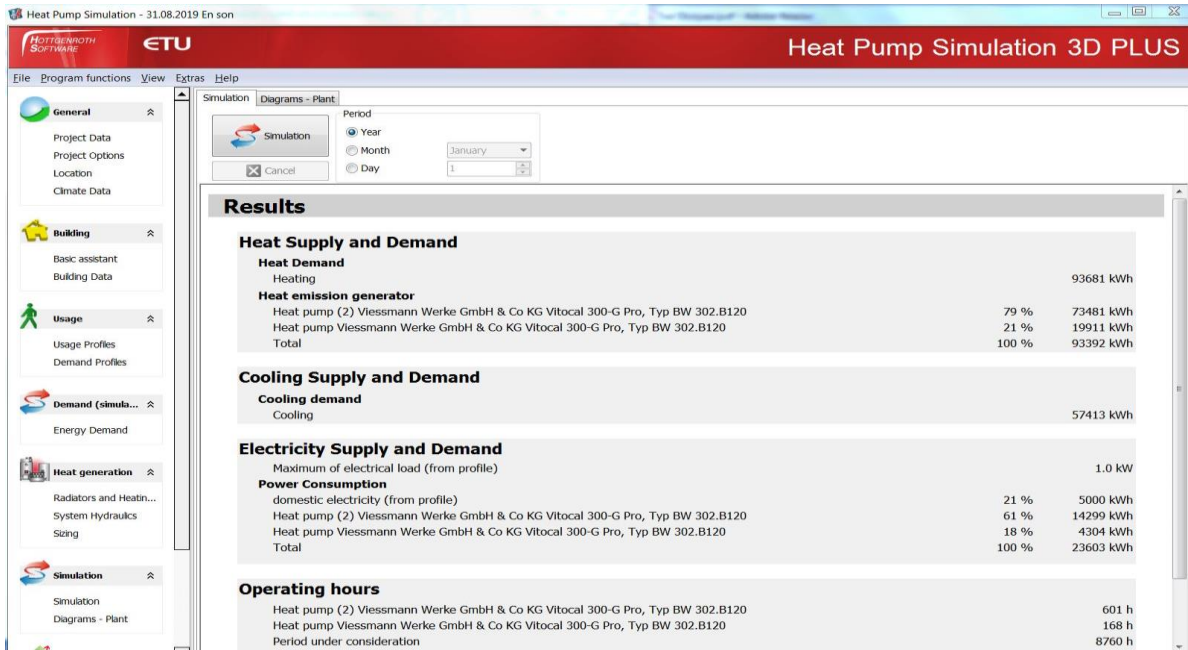
Şekil 19 - HeatPump 3D sistem hidrolikleri ekranı

Şekil 20’da görülebileceği üzere analizlerin bir sonraki aşamasında sisteme giriş yapılan mevcut ısıtma yükleriyle hesaplamalar yapılmaktadır. Bu hesaplamalarda yazılım kılavuz binanın ısıtma ve soğutma yük verilerini analiz ederek bir cihaz güç ihtiyacı verisi hesaplamaktadır. Yapılan hesaplamalarda yıllık 93.676 kWh ısınma ihtiyacı için sistem 207.7 kW gücünde bir ısınma sistemine ihtiyaç duymaktadır. Bu verilere dayanarak ülkemizde satış, bakım ve destek ağı yüksek, Alman bir üreticinin 2 adet 106,6 kW gücünde ısı pompası seçilmiş ve sisteme entegre edilmiştir. Daha sonra yazılımın simulation kısmından bu ısı pompalarının çalışma yüzdeleri ve elektrik tüketimleri hesaplanmıştır.



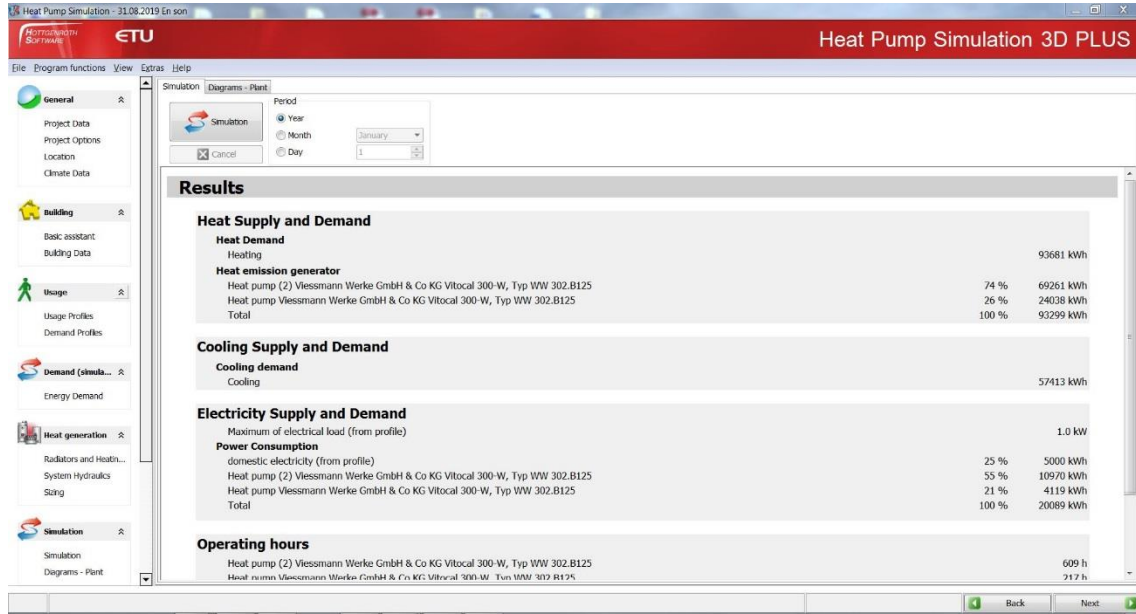
Şekil 20 - HeatPump 3D ekipman ölçeklendirme ekranı

Şekil 21’de görülebileceği üzere 106.6 kW gücünde 2 adet toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma yüzdeleri, ısıtma ve soğutma için duyulan ihtiyaç, elektrik tüketimleri ve çalışma saatleri hesaplanmıştır.



Şekil 21 - HeatPump 3D TKIP simulasyon sonuç ekranı

Şekil 22’de görülebileceği üzere 106.6 kW gücünde 2 adet su kaynaklı ısı pompasının çalışma yüzdeleri, ısıtma ve soğutma için duyulan ihtiyaç, elektrik tüketimleri ve çalışma saatleri hesaplanmıştır.



Şekil 22 - HeatPump 3D SKIP simulasyon sonuç ekranı

#### 4.4 Senaryoların Analizleri

Senaryoların analizleri kısmında binaya entegre edilmesi planlanan sistemler maliyet ve emisyon yönünden kıyaslanmıştır. Bunun için öncelikle ekonomik analizler yapılarak Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi ile sistemlerin kendini geri ödeme süresi belirlenmiştir. Daha sonra sistemlerin doğalgaz ve elektrik tüketimleri emisyon salım faktörleri ile çarpılarak atmosfere salım yaptıkları karbondioksit miktarı hesaplanmış ve sonuçlar kısmında incelenmiştir.

##### 4.4.1 Ekonomik Analizler

Tez çalışmasında toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının maliyet analizleri ve geri ödeme süreleri konvansiyonel doğalgazlı kazan ve klima sistemleriyle karşılaştırılmıştır. Bunun için

ısı pompalarının ve konvansiyonel sistemlerin ilk yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri, bakım giderleri, atmosfere saldıkları karbondioksit miktarları hesaplanmıştır. Bunun yanında son 10 yıla ait elektrik ve doğalgaz fiyatları ve yıllık nominal faiz artışları analiz edilmiş, ısı pompalarının Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemiyle geri ödeme süresi analiz edilmiştir.

NBD hesaplaması için kurulması planlanan sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinden senelik olarak elde edecekleri tasarruf miktarını ifade eden Net Nakit Akışı (NNA) çıkarılmıştır.

Eşitlik 1:

$$NNA_j^{TKIP} = NG_j^{TKIP} - NÇ_j^{TKIP} = (E_K \times DF_j) - (E_{TKIP,k} \times f_{e,j})$$

Toprak kaynaklı ısı pompaları için Net Nakit Akışı hesaplaması yukarıda gösterilen Eşitlik 1 ile yapılmaktadır. [45]

Eşitlik 1 için;

$NNA_j^{TKIP}$ : Toprak Kaynaklı Isı Pompası için belirlenen yılda net nakit akışı, TL/yıl

$NG_j^{TKIP}$ : Toprak Kaynaklı Isı Pompası için belirlenen yılda nakit girişi, TL/yıl

$NÇ_j^{TKIP}$ : Toprak Kaynaklı Isı Pompası için belirlenen yılda nakit çıkışı, TL/yıl

$j$  :Yıl

$E_K$  :Konvansiyonel doğalgazlı sistemler için ısıtma enerjisi talebi, m<sup>3</sup>/yıl

$DF$  :Doğalgaz tarifesi, TL/m<sup>3</sup>

$E_{TKIP,k}$  :Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Elektrik Tüketimi, kWh/yıl

$f_e$  :Elektrik tarifesi, TL/kWh

Net Bugünkü Değer (NBD) hesaplanmasının yapılabilmesi için Eşitlik 2'den yararlanılabilir.

Eşitlik 2:

$$NBD = \frac{NNA_1}{(1 + nf)} + \frac{NNA_2}{(1 + nf)^2} \cdots + \frac{NNA_N}{(1 + nf)^N}$$

$$= \sum_{j=1}^N \frac{NNA_j}{(1 + nf)^j}$$

Eşitlik 2'de;

NBD :Net Bugünkü Değer, TL

$NNA_j$  :Belirli bir yıl için net nakit akışı, TL/yıl

$nf$  :Nominal faiz

$j$  :Yıl

$N$  :Sistemin işletim süresi, yıl

Geri Ödeme Süresi (GÖS) Net Bugünkü Değerin pozitif değer aldığı ilk yıl ( $j$  ile gösterilmiştir) olarak tanımlanır [45].

#### 4.4.2 Emisyon Hesapları

Tez çalışmasında kurulacak ısıtma ve soğutma sistemlerinin tükettiği yakıt bazında yıllık CO<sub>2</sub> salım miktarları karşılaştırılmıştır. Bunun için yapılan hesaplamalarda doğalgazlı kazan sisteminin kullanacağı m<sup>3</sup>/yıl cinsinden doğalgaz miktarı doğalgaz salım faktörü (DSF) ile çarpılmıştır.

Toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının kullanacağı kWh/yıl cinsinden elektrik miktarı ise elektrik salım faktörü (ESF) ile çarpılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda sistemlerin CO<sub>2</sub> salım miktarları sonuçlar kısmında karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

#### 4.5 Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde tez çalışmasında yapılan analizlerin detaylarından ve bu analizler yapılırken yararlanılan veriler detaylı olarak açıklanmıştır. Enerji Bakanlığı, EPDK, TÜİK, Gaziantep Gaz Dağıtım A.Ş ve çeşitli mühendislik firmalarından alınan fiyat ve veriler bu bölümde detaylı olarak anlatılmış, ülkemizde üretilen elektriğin hangi kaynaklardan elde edildiğinden, son 10 yıldaki elektrik ve doğalgaz fiyatlarından, kurulacak sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinden, enflasyon ve faiz oranlarından bahsedilmiş ve tez çalışmasının analiz kısmında bu verilerden ne şekilde yararlandığına dair metodlar açıklanmıştır. Analiz için kullanılan yazılımdan ve yazılıma giriş yapılan verilerin analiz şekillerinden detaylı olarak bahsedilmiştir.

## 5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde konvansiyonel doğalgazlı sistemler ve klima sistemleri ile toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemleri için yapılan maliyet, tüketim ve emisyon analizleri sonrası ortaya çıkan sonuçlara değinilmiştir. Metodoloji ve analiz kısmında anlatılan verilerin Heat Pump 3D yazılımı kullanılarak analiz edilmesi sonucunda çıkan simülasyon sonuçları bu bölümde paylaşılmıştır.

### 5.1 Konvansiyonel Sistemler, Klima ve Isı Pompaları Enerji Tüketim Miktarları

Kılavuz bina için kullanılması planlanan konvansiyonel doğalgazlı sistemler, klima sistemleri ve ısı pompası sistemlerinin enerji tüketim miktarları aşağıda verilmiştir.

#### 5.1.1 Konvansiyonel Doğalgazlı Sistemi Enerji İhtiyacı

Konvansiyonel doğalgazlı sistemler kılavuz binada yalnızca ısıtma amacıyla kullanılacaktır. Bu sebeple bina ısı ihtiyacı kimlik belgesinde yer alan bina ısıtma ihtiyacı verisi konvansiyonel doğalgazlı sistemlerin enerji tüketiminin hesaplanmasında kullanılmıştır. Isıtma ihtiyacı kimlik belgesinde yer alan binanın yıllık ısı ihtiyacı değeri 93.676 kWh/yıl, doğalgaz kazanının %98 verim ile çalıştığı düşünülerek yıllık enerji tüketimi 95.588 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Daha sonra binanın yıllık doğalgaz tüketimi, doğalgaz ısı değerinin 10.62 kWh/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmesi ile 9001 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır [49].

#### 5.1.2 Klima Sistemi Enerji İhtiyacı

Klima sistemlerinin ihtiyacı belirlenirken her dairede yer alan 30 m<sup>2</sup> büyüklüğünde kabul edilen 3 oda için 12.000 BTU büyüklüğünde klimalar tercih edilmiş, 45 m<sup>2</sup> büyüklüğünde kabul edilen salon için ise 24.000 BTU büyüklüğünde klima tercihi yapılmıştır. Her bir dairede 12.000 BTU büyüklüğünde 3 klima ve 24.000 BTU büyüklüğünde 1 klima bulunduğu varsayılmıştır. Klimaların yılın Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında %80 kapasite ile çalıştığı, yatak odalarında yer alan 12.000 BTU klimaların günde 2 saat, salonlarda yer alan 24.000 BTU klimaların günde 4 saat çalıştığı kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak tercih edilen

klima üreticisinin fabrika değerleri baz alınarak yapılan hesaplamalarda 12.000 BTU klimaların 3.500 Wh tüketim yaptığı, 24.000 BTU klimaların ise 5.280 Wh tüketim yaptığı belirlenmiştir. Toplam 10 adet 24.000 BTU klimanın 3 ay boyunca harcadığı elektrik 19.008 kWh olarak, toplam 30 adet 12.000 BTU klimanın ise harcadığı elektrik 15.120 kWh olarak hesaplanmıştır. Tüm binadaki klima sistemi yıllık 34.128 kWh elektrik harcamaktadır.

### **5.1.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Enerji İhtiyacı**

Bölüm 4.3'te görülebileceği üzere Heat Pump 3D yazılımı ile sistemin kurulacağı il belirlenmiş, binada ısıtma ve soğutma yapılacak alan yazılımda belirtilmiş, bina ısıtma ve soğutma yüklerinin sisteme girilmesi ve uygun kollektör cinsinin seçimi sonrasında yazılım ile simülasyon yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda Şekil 17'de görülebileceği üzere aynı klima sisteminde olduğu gibi sistemin soğutma amacıyla Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında günde 6 saat çalışacağı yazılım talep seçeneklerinden aktif hale getirilmiştir. Isıtma yükleri ise EK 2'de yer alan bina ısı enerjisi kimlik belgesinden temin edilerek yazılıma giriş yapılmıştır. Bu simülasyon sonucunda binanın ısıtma ve soğutma amacıyla harcayacağı elektrik enerjisi Şekil 21'de görülebileceği 18.603 kWh / yıl üzere olarak belirlenmiştir.

### **5.1.4 Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi Enerji İhtiyacı**

Bölüm 4.3'te görülebileceği üzere Heat Pump 3D yazılımı ile sistemin kurulacağı il belirlenmiş, binada ısıtma ve soğutma yapılacak alan yazılımda belirtilmiş, bina ısıtma ve soğutma yüklerinin sisteme girilmesi ve uygun kollektör cinsinin seçimi sonrasında yazılım ile simülasyon yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda Şekil 17'de görülebileceği üzere aynı klima sisteminde olduğu gibi sistemin soğutma amacıyla Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında günde 4 saat çalışacağı yazılım talep seçeneklerinden aktif hale getirilmiştir. Isıtma yükleri ise EK 2'de yer alan bina ısı enerjisi kimlik belgesinden temin edilerek yazılıma giriş yapılmıştır. Bu simülasyon sonucunda binanın ısıtma ve soğutma amacıyla harcayacağı elektrik enerjisi Şekil 22'de görülebileceği üzere 15.089 kWh / yıl olarak belirlenmiştir.



### 5.1.5 Yıllık Enerji Maliyetleri

Konvansiyonel doğalgaz sistemleri ile toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin belirlenen enerji ihtiyaçları sonucunda 2019 yılı Temmuz ayında Gaziantep ilindeki enerji fiyatları ile yaptıkları yıllık tüketim maliyetleri Tablo 14’de gösterildiği gibidir [48][50]. Hesaplamalar yapılırken elektrik fiyatı 0.53 TL / kWh, doğalgaz fiyatı ise 1.33 TL / m<sup>3</sup> kabul edilmiştir.

Tablo 14 – Sistemlerin yıllık enerji tüketimleri ve maliyetleri

Yıllık Enerji Maliyeti	Toprak Kaynaklı Isı Pompası	Su Kaynaklı Isı Pompası	Doğalgazlı Konvansiyonel Sistem	Klima
Doğalgaz Tüketimi (m <sup>3</sup> /yıl)	-	-	9,001	-
Isıtma - Soğutma İçin Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)	18.603	15.089	-	34.128
Toplam Tüketim (TL / Yıl)	9.330	7.997	11.971	18.087

Bu sonuçlara dayanarak toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin konvansiyonel sistemlere ve klima sistemlerine oranla ısıtma ve soğutma enerjisi için harcanan enerji maliyetlerinin oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Bu sistemlerin yalnızca elektrik tüketmesi ve doğada mevcut haldeki ısı kaynaklarını kullanarak ısıtma ve soğutma yapması düşük tüketimin en büyük nedenleri olarak gösterilebilir. Ayrıca sistemde fosil yakıt tüketiminin sıfır olması sebebiyle toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemleri konvansiyonel sistemlere göre oldukça ekonomik tüketim değerlerine sahiptir.

### 5.2 İlk Yatırım ve Geri Ödeme Süresi Sonuçları

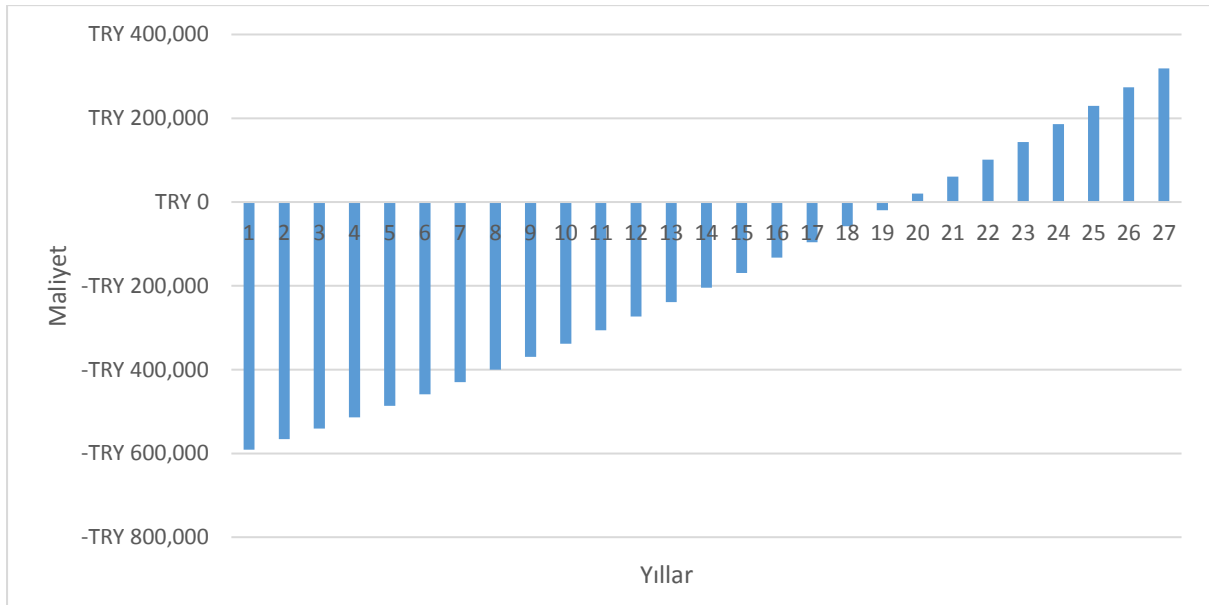
Yapılan hesaplamalar sonucunda Toprak ve Su Kaynaklı Isı Pompası sistemlerinin Türkiye’de mevcut döviz kurunun yüksek olması ve uygulama yapılacak alanlarda daha fazla kurulum maliyeti gerektirmesi sebebiyle doğalgaz kaynaklı konvansiyonel sistemlere göre daha yüksek maliyetli olduğu ve geri ödeme süresinin uzun seneler sürdüğü ortaya çıkmıştır.

### 5.2.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Geri Ödeme Süresi Sonucu

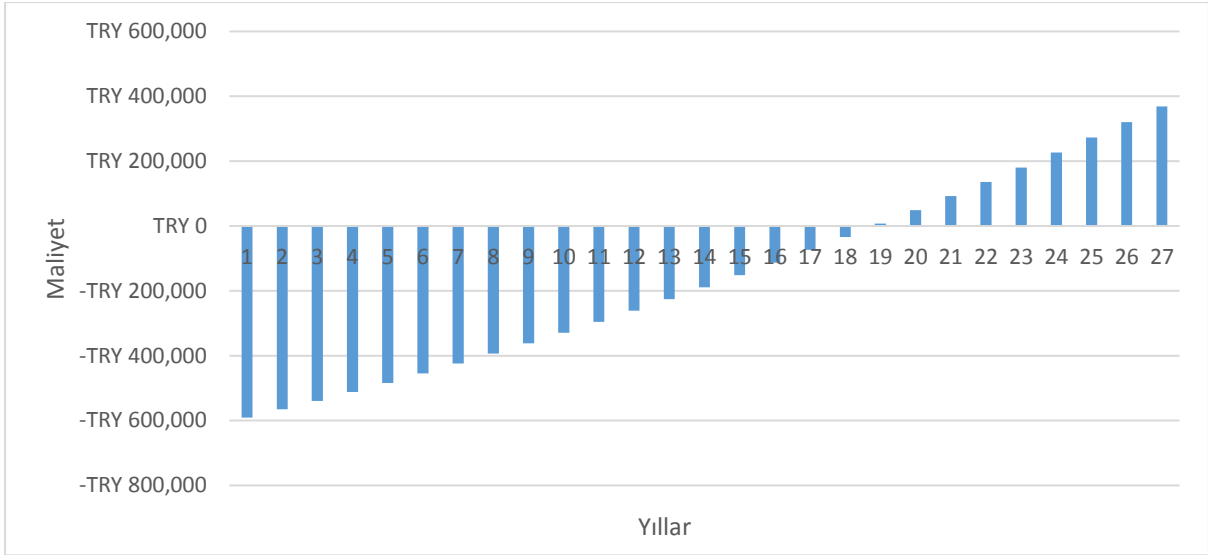
Toprak kaynaklı ısı pompaları için

Tablo 3’de gösterilen ilk yatırım maliyetleri ile Net Bugünkü Değer (NBD) ve Geri Ödeme Süresi analizleri Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak yapılmıştır.

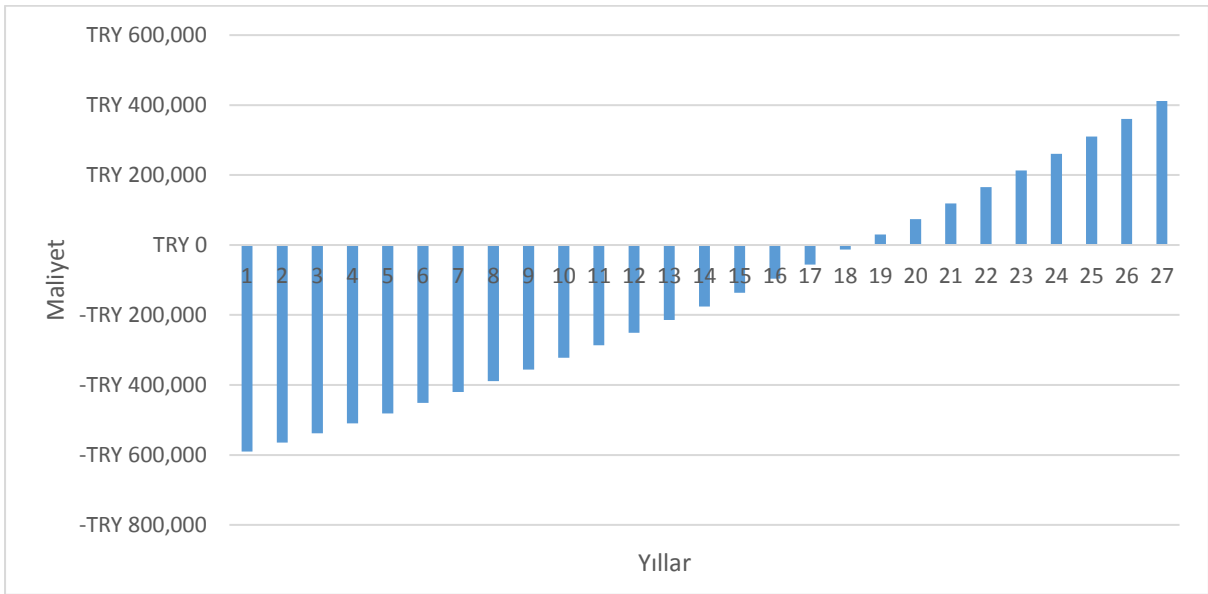
Tablo 3’de görülebileceği üzere toprak kaynaklı ısı pompalarının maliyeti yaklaşık 615.000 TL olarak hesaplanmış ve Şekil 24’de görülebileceği üzere doğalgaz ve elektrik için ortalama değerlerin (DG2 – ELK2) kullanılması ile geri ödeme süresi 19 yıl olarak hesaplanmıştır. Şekil 25’de görülebileceği üzere elektrik ve doğalgaz fiyatlarının en yüksek olduğu senaryoda (DG3 – ELK3) da geri ödeme süresi 19 yıl olarak gözlenmiştir. Şekil 23’de görülebileceği üzere elektrik ve doğalgaz fiyatlarının en düşük olduğu senaryoda (DG1-ELK1) yapılan hesaplamalarda ise toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemlerinin geri ödeme süreleri 20 yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 23 - TKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG1 – ELK1 grafiği



Şekil 24 - TKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG2 – ELK2 grafiği



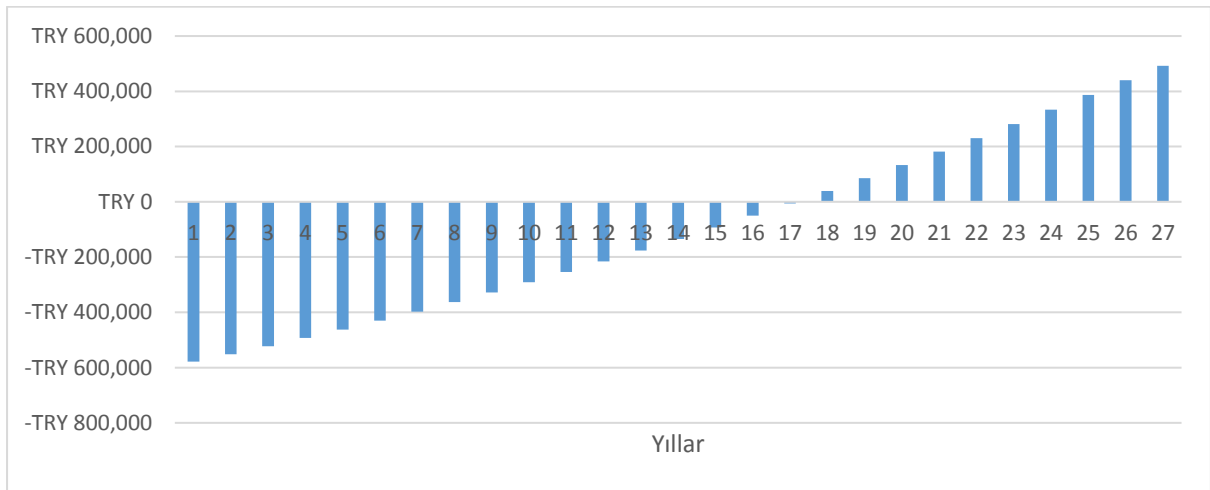
Şekil 25 - TKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG3 – ELK3 grafiği

## 5.2.2 Su Kaynaklı Isı Pompası Geri Ödeme Süresi Sonuçları

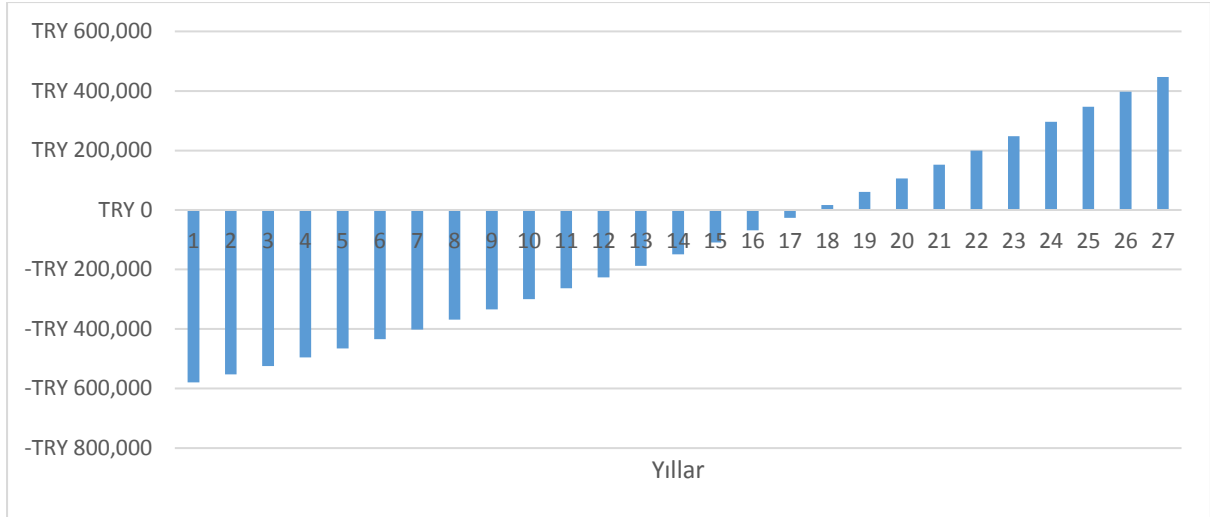
Su kaynaklı ısı pompaları için

Tablo 4'de gösterilen ilk yatırım maliyetleri ile Net Bugünkü Değer (NBD) ve Geri Ödeme Süresi analizleri Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak yapılmıştır.

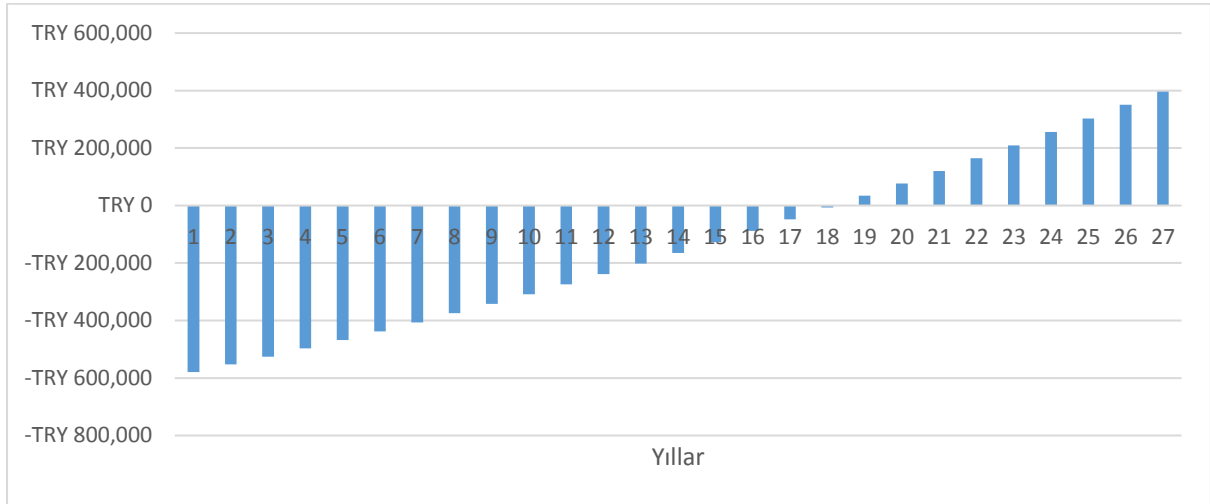
Tablo 4'de görülebileceği üzere toprak kaynaklı ısı pompalarının maliyeti yaklaşık 605.000 TL ve Şekil 27'de görülebileceği üzere geri ödeme süresi ortalama senaryoda (DG2 ve ELK2) 18 yıl olarak hesaplanmıştır. Elektrik ve doğalgaz fiyatının yüksek olduğu Şekil 28'de görülebilecek senaryoda (DG3 ve ELK3) geri ödeme süresi yine 18 yıl bulunmuştur. Şekil 26'da görülebileceği üzere elektrik ve doğalgaz fiyatının düşük olduğu senaryoda ise (DG1 ve ELK1) geri ödeme süresi 19 sene olarak hesaplanmıştır.



Şekil 26 - SKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG1 – ELK1 grafiği



Şekil 27 - SKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG2 – ELK2 grafiği



Şekil 28 - SKIP Net Bugünkü Değer (NBD) DG3 – ELK3 grafiği

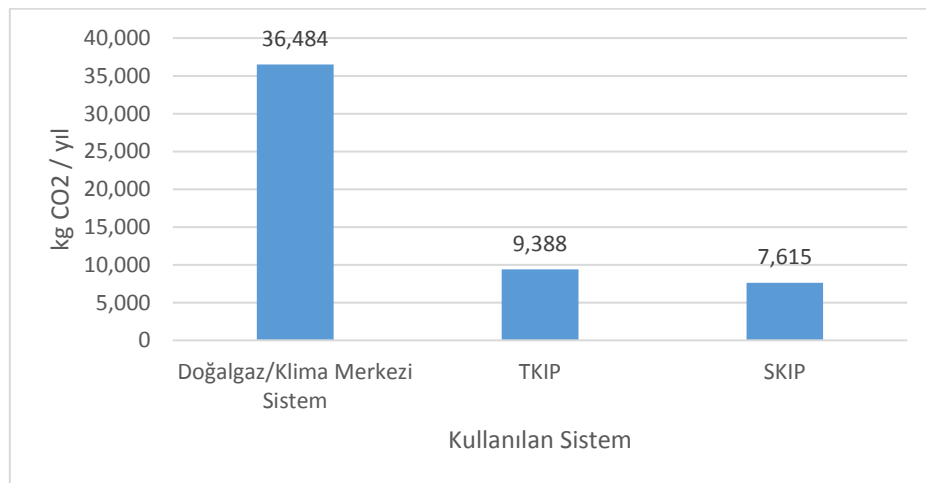
### 5.3 Emisyon Hesabı Sonuçları

Kılavuz olarak seçilen binada yapılan hesaplamalar sonucunda 93.676 kWh/yıl ısıtma ihtiyacına karşılık, %98 verimle çalışan doğalgaz kaynaklı kazan sistemlerinin 9001 m<sup>3</sup>/yıl doğalgaz tüketimi yapacağı hesaplanmış, buna karşılık bölüm 4.4.2’de 2,14 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> olarak belirtilen doğalgaz salım faktörü ile çarpımı sonucu yılda 19.262 kg CO<sub>2</sub>/yıl salım yapacağı görülebileceği üzere belirlenmiştir.

Aynı binaların soğutma ihtiyacı için klimalı sistemlerin kurulumu ile yıllık 34.128 kWh/yıl elektrik tüketileceği hesaplanmış ve buna karşılık bölüm 4.4.2’de 0,51 kg CO<sub>2</sub>/kWh olarak belirtilen elektrik salım faktörü ile çarpımı sonucu 17.223 kg CO<sub>2</sub>/yıl salım yapılacağı belirlenmiştir.

Konvansiyonel sistemlerin kullanıldığı senaryoda Şekil 29’de görülebileceği üzere binanın yıllık yapacağı toplam salım 36.484 kg CO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır.

Şekil 29’de görülebileceği üzere toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde (TKIP) yazılım tarafından hesaplanan 18.603 kWh/yıl değerine karşılık bölüm 4.4.2’de 0,51 kg CO<sub>2</sub>/kWh olarak belirtilen elektrik salım faktörü ile çarpılması sonucu bu değer 9.388 kg CO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmış, su kaynaklı ısı pompalarında (SKIP) ise aynı hesaplamanın yapılması ile 7.615 kg CO<sub>2</sub>/yıl olarak belirlenmiştir.



Şekil 29 – Konvansiyonel sistemler ve ısı pompası sistemleri emisyon salım grafiği

Yapılan hesaplamalarda toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin emisyon salım miktarını %74 oranında, su kaynaklı ısı pompalarının ise salım miktarını %79 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı yapılacak uygulamalarda çevresel kaygıların göz önünde bulundurularak yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımının teşvik edilmesinin önemi ortaya çıkmaktadır.

#### 5.4 Bölüm Değerlendirmesi

Bu bölümde metodoloji ve veri toplama bölümünde toplanan ısıtma ve soğutma talebi, ilk yatırım maliyetleri, doğalgaz ve elektrik tarifeleri gibi verilerin yazılım yardımıyla analiz edilmesi sonrası ortaya çıkan sonuçlar aktarılmıştır. Buna göre sistemlerin ekonomik analizleri yapılarak geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda sistemlerin ısıtma ve soğutma için harcadıkları doğalgaz ve elektrik miktarlarına göre hesaplanan emisyon salım miktarları karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda konvansiyonel doğalgazlı sistemlerin ve klima sistemlerinin, ısı pompası sistemlerine göre daha fazla enerji harcadığı gözlenmiş, toprak kaynaklı ısı pompalarının konvansiyonel doğalgazlı sistemler ve klima sistemlerine oranla yıllık %69, su kaynaklı ısı pompalarının ise yıllık %73 daha az enerji maliyetinin olduğu gözlenmiştir. Yine aynı sistemlerin emisyon bakımından yapılan kıyaslamasında toprak kaynaklı ısı pompalarının %74, su kaynaklı ısı pompalarının %79 daha az emisyon salımı yaptığı tespit edilmiştir. Konvansiyonel doğalgazlı sistemler ve klima sistemlerinin her sene fazladan harcadığı enerji, sisteme nakit akışı olarak geri dönmekte ve net bugünkü değer hesaplaması yapılarak geri ödeme süresini göstermektedir. Esen ve İnallı'nın 2006 yılında yayınladıkları bir makalede Elazığ'da tek bir odanın ısıtma ve soğutulması için kurulan ısı pompası sistemlerinin kendini 11 yılda geri ödediği sonucuna varılmıştır [1]. Bu senaryoda tez çalışmasında ele alınan 10 daireli bir apartman için ortalama 18 yıl olan geri ödeme süresinin uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

## 6 GENEL SONUÇLAR

Yapılan çalışma beş ayrı bölümde incelenmiştir. İlk olarak enerji ve temiz enerjinin tanımından, yenilenebilir enerjideki gelişmiş teknolojilerden, Türkiye'deki enerji üretim istatistiklerinden ve yenilenebilir enerjilerin ülkemiz elektrik üretimindeki katkısından bahsedilmiştir. Nüfusun artmasıyla artan enerji ihtiyacı ve artan karbon emisyonları mevcut sorun olarak belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı hem ısıtma hem soğutma ihtiyacı olan bir bölgede, toprak ve su kaynaklı su pompalarının kullanımının konvansiyonel sistemlerle ekonomik ve çevresel etki bazında kıyaslanması olarak belirlenmiştir. Enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturan konutlarda kurulabilecek yenilenebilir enerji olarak kabul edilen bu sistemlerin sağlayabileceği ekonomik avantajlar ve karbon emisyonunu düşürmedeki etkilerinin incelenmesi ve bu sistemlerin kullanımının teşvik edilmesi de tez çalışmasının diğer bir amacı olarak bu bölümde belirtilmiştir.

Çalışmada ısı pompası kavramı da detaylı olarak açıklanmıştır. Isı pompalarının çalışma prensipleri ve çalışma mekanizmasında yer alan teknik elemanlar anlatılmıştır. Bu sistemlerin kullanımının avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır. Literatürde ısı pompaları ile ilgili daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar, makaleler, tez çalışmaları ve yayınlardan derlenen bilgiler detaylı olarak incelenmiştir.

Tez çalışması esnasında izlenen yol haritası ise akış şeması ile detaylandırılmıştır. Çeşitli kurumlardan ve özel firmalardan toplanan teknik veriler detaylı olarak analiz edilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen Gaziantep ilinde son 10 yıldaki elektrik ve doğalgaz fiyatlarının geçmişteki artışları gözetilerek, gelecek tarihlerdeki tahminleri grafiklerle açıklanmıştır. Bu ilimizde kılavuz olarak kullanılacak binanın ısıtma ve soğutma ihtiyaçları verileri analizlerde kullanılmak üzere firmalardan ve Heat Pump 3D adlı yazılımdan temin edilmiştir. Kurulacak konvansiyonel doğalgazlı kazan sistemlerinin ve toprak – su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ilk yatırım ve bakım maliyetleri detaylı olarak incelenmiştir. Ülkemizdeki elektrik üretim kaynaklarına göre salım faktörü değerleri hesaplanmış ve emisyon hesaplarında kullanılacak bir veri haline getirilmiştir.

Çalışmanın en önemli kısmında ise elde edilen veriler kullanılarak çevresel ve ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Toplanan verilerin analiz edilmesi sonucu ortaya çıkan enerji ihtiyaçları, geri ödeme süreleri ve emisyon değerleri çalışmanın bir çıktısı olarak grafiklerle gösterilmiştir.



Toprak ve su kaynaklı ısı pompası uygulamaları ülkemizde henüz yaygın olarak gözlenmemektedir. Tez çalışmasında yapılan araştırma ve analizlerin ardından bu durumun farklı sebepleri olduğu ortaya çıkmıştır. En önemli sebep olarak Kuş ve Çomaklı'nın çalışmasında belirttiği gibi kurulum maliyetleri göze çarpmaktadır. Toprak ve su kaynaklı ısı pompası sistemlerinin yaklaşık 12 yıl gibi bir geri ödeme süresi olduğu yapılan analizlerde ortaya çıkmıştır. Esen ve İnallı'nın 2006'da Elazığ bölgesinde yaptığı analizlerde de ısı pompası sistemlerinin konvansiyonel sistemlerle kıyaslandığında uzun vadede daha uygun ekonomik maliyetlerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat bu sistemler içinde doğalgaz kullanımını bir istisna olarak en düşük maliyetli enerji tüketimi olarak göze çarpmıştır. Yürüttüğümüz çalışmada da bu duruma paralel sonuçlar gözlenmiş, fakat uzun vadede geri ödeme süresini tamamlayan toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Bulunan sonuçların aksine Kural'ın 2012'de Malatya'da yaptığı çalışmada konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının geri ödeme süresinin daha hızlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Esen ve İnallı'nın bulduğu sonuçlara paralel olarak yaptığımız çalışmada da doğalgazlı sistemlerin kurulum maliyetlerinin oldukça düşük olduğu gözlenmiştir.

Sonuçlar arasında çıkan farkların ülkemizdeki ekonomik durumla paralel olduğu düşünülmektedir. Ülkemizde toprak ve su kaynaklı cihazların satış fiyatlarının döviz üzerinden gerçekleşmesi, mevcut ekonomik durumdaki döviz kurlarının Türk Lirası karşısında değerli olması ve cihaz fiyatlarının konvansiyonel sistemlere göre oldukça yüksek olması bu cihazların geri ödeme sürelerinin yüksek olmasının sebeplerinden birisi olarak açıklanabilir. Çalışmaların yapıldığı dönemlerde daha düşük döviz kurlarının, daha düşük faizlerin geri ödeme sürelerinin farklılık göstermesine sebep olabileceği düşünülmektedir.

Toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının ülkemizde yaygın olarak kullanılmamasının bir diğer sebebi ise ülkemizde ısı pompaları ile ilgili yeterli bilginin literatürde ve piyasa koşullarında bulunmaması olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında çevre konusunda yeterli bilincin oluşmaması da konvansiyonel sistemlerin tercihinde rol oynayabilmektedir. Uygulayıcılar genelde çevresel faktörleri göz önünde bulundurmadan, mali kaygılarla hareket etmektedir. Bu çalışmada yapılan çevresel analizler ve emisyon hesapları ile bu bilincin oluşturulması hedeflenmiştir.

Aynı zamanda bina planları yapılırken bu ısı pompası uygulamaları için geniş alanlara veya elverişli sondaj koşullarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu faktörlerin de ısı pompası yerine konvansiyonel sistemlerin tercih edilmesinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir.

Tez çalışmasının tamamlanması sonrasında elde edilen çıktıları dayanarak çevre konusundaki bilincin oluşturulması ve düşük karbon emisyonlarının hedeflenmesi amacıyla devlet politikalarına çeşitli öneriler yapılabilir:

1 - Toprak ve su kaynaklı ısı pompalarının kullanımının arttırılmasının desteklenmesi amacıyla ilgili devlet kurumlarımızın teşvik edici politikalar belirlenmeli ve karbon salımı konusunda yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

2- Yenilenebilir enerji kaynakları ile ısıtma ve soğutma ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılacak uygulamalara teşvik ve hibelerle destek verilmelidir.

3- Yenilenebilir enerji ile ısıtma ve soğutma yapabilen cihazların ülkemizde üretilmesi konusunda üretici firmalara teşvik ve hibeler sağlanmalıdır.

Yapılan tez çalışmasında toplanan verilerle en gerçeğe yakın sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir. Fakat kullanılan yazılıma girilen verilerin detayı noktasında binanın tüm yapısal özelliklerinin tam olarak sisteme girilemediği düşünüldüğünde hata paylarının olabileceği öngörülmektedir. Çalışmanın en baştan yapılması halinde binanın yapısal tüm verilerinin tam olarak sisteme girilerek analizler yapılması tercih edilebilir.

Ülkemizde ısı pompaları alanında çalışan firmaların da oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın en baştan yapılması halinde yabancı firmalarla da iletişime geçerek daha uygun fiyatlı ekipmaların belirlenmesi noktasında adımlar atılabilir.

## KAYNAKÇA

- [1] H. Esen, M. Inalli, and M. Esen, “Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 9–10, pp. 1281–1297, 2006.
- [2] M. Yilmaz, “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi The energy potential of Turkey and its importance of renewable energy sources in terms of electricity production Mutlu YILMAZ,” *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Derg.*, vol. 4, no. 2, pp. 33–54, 2012.
- [3] “Türk Dil Kurumu Sözlükleri.” [Online]. Available: <https://sozluk.gov.tr/>. [Accessed: 09-Sep-2019].
- [4] C. D. Erdogan and B. Seçgin, “Yenilenebilir Enerjiler - Alan Eğitiminde Araştırma Projesi,” 2008.
- [5] A. A. Selam, S. Özel, and Ö. Akan Arıoğlu, “Yenilenebilir Enerji Kullanımı Açısından Türkiye’nin OECD Ülkeleri Arasındaki Yeri,” *Dumlupınar Üniversitesi Sos. Bilim. Derg. EYİ 2013 Özel Sayısı*, 2013.
- [6] E. T. Karagöl and I. Kavaz, “Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji,” *Seta Siyaset, Ekon. Ve Toplum Araştırmaları Vakfı*, vol. 197, no. 197, pp. 1–32, 2017.
- [7] N. B. Christiansen, “Urban Efficiency - How Cities Become More Liveable by Using Less Energy.pdf,” 2018.
- [8] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Elektrik.” [Online]. Available: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. [Accessed: 09-Sep-2019].
- [9] M. Öztürk, “Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında TopraNeminin Isı Pompasının Enerji Tüketiminin Etkisi,” 2015.
- [10] A. J. Marszal and P. Heiselberg, “Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark,” *Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 5600–5609, 2011.
- [11] M. H. Ahmadi, M. A. Ahmadi, M. S. Sadaghiani, M. Ghazvini, S. Shahriar, and M. Alhuyi Nazari, “Ground source heat pump carbon emissions and ground-source heat

- pump systems for heating and cooling of buildings: A review,” *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 37, no. 4. pp. 1241–1265, 2018.
- [12] B. Süzer, “Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Hava Kaynaklı Isı Pompasının Tekno - Ekonomik Açından Karşılaştırılması,” Yıldız Teknik Üniversitesi, 2001.
- [13] I. Sarbu and C. Sebarchievici, “General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings,” *Energy Build.*, vol. 70, pp. 441–454, 2014.
- [14] A. E. Arslan, “Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Doğalgazlı Kombi Birleşik Sisteminin Enerji Verimliliği Yönünden Araştırılması,” 2014.
- [15] Ö. Patlar, “Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Ekserji Analizi,” *Yüksek Lisans Tezi*, 2006.
- [16] A. K. Kural, “Malatya İlinde Bir Binada Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulamasının Merkezi Klima ve Doğalgazlı Sistemlerle Karşılaştırılması,” 2012.
- [17] F. Hengel, A. Heinz, and R. Rieberer, “Performance analysis of a heat pump with desuperheater for residential buildings using different control and implementation strategies,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 105, pp. 256–265, Jul. 2016.
- [18] R. Karabacak, S. Guven Acar, and O. Atalay, “Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Güneş Enerjisi Destekli Bir Pilot Tesiste Kurutma ve İklimlendirme Uygulamaları.pdf,” 2008.
- [19] A. Dikici, A. Akbulut, and F. Gulcimen, “Experimental Investigation of Ground Source, Solar Source and Air Source Heat Pumps in Elazığ and Energy and Exergy Analyses of These Systems,” *Isı Bilim. ve Tek. Derg.*, vol. 26, no. 2, pp. 49–61, 2006.
- [20] A. Hepbaşlı and Ö. A. Ertöz, “Geleceğin Teknolojisi : Yer Kaynaklı Isı Pompaları,” 1999.
- [21] Y. F. Evirgen, “Karayollarında Buzlanmayı Engelleyici Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Analizi ve PLC-SCADA ile Denetimi,” 2009.
- [22] A. Gagneja and S. Pundhir, “Heat Pumps and Its Applications,” *Int. J. Adv. Chem. Eng. Biol. Sci.*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [23] B. Lukanov, “Heat Pumps and Their Role in a Clean Energy System,” 2017.

- [24] L. Valizade, "Ground Source Heat Pumps," *J. Clean Energy Technol.*, vol. Vol 1, no. No:3, 2013.
- [25] M. L'Ecuyer, C. Zoi, and J. S. Hoffman, "The Potential of Advanced Residential Space Conditioning Technologies for Reducing Pollution and Saving Consumers Money.pdf," EPA, 1993.
- [26] T. Kurevija, "Energy and Environmental Advantages of Gas Heat Pumps Comparing To Conventional Heating and Cooling Systems," *Int. Congr. Energy Environ. 2006*, no. October 2006, 2006.
- [27] A. Bugaj and M. Miniewicz, "Technical and Environmental Assessment of Selected Heat Pump Configurations a Case Study," 2014.
- [28] S. Kavanaugh, *Development of design tools for ground - source heat pump piping*. ASHRAE Transactions, 1998.
- [29] J. F. Urchueguía, M. Zacarés, J. M. Corberán, Á. Montero, J. Martos, and H. Witte, "Comparison between the energy performance of a ground coupled water to water heat pump system and an air to water heat pump system for heating and cooling in typical conditions of the European Mediterranean coast," *Energy Convers. Manag.*, vol. 49, no. 10, pp. 2917–2923, 2008.
- [30] S. Paiho, S. Pulakka, and A. Knuuti, "Life-cycle cost analyses of heat pump concepts for Finnish new nearly zero energy residential buildings," *Energy Build.*, vol. 150, pp. 396–402, 2017.
- [31] H. Arat and O. Arslan, "Exergoeconomic analysis of district heating system boosted by the geothermal heat pump," *Energy*, vol. 119, pp. 1159–1170, 2017.
- [32] M. Ristimäki, A. Säynäjoki, J. Heinonen, and S. Junnila, "Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design," *Energy*, vol. 63, no. 2013, pp. 168–179, 2013.
- [33] A. Kus Cokgez and K. Comakli, "Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi," pp. 13–21, 2015.
- [34] M. Leckner and R. Zmeureanu, "Life cycle cost and energy analysis of a Net Zero

- Energy House with solar combisystem,” *Applied Energy*, vol. 88, no. 1. pp. 232–241, 2011.
- [35] J. C. Lam and W. W. Chan, “Life cycle energy cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools,” *Energy Conversion and Management*, vol. 42, no. 11. pp. 1299–1306, 2001.
- [36] Y. Zhu, Y. Tao, and R. Rayegan, “A comparison of deterministic and probabilistic life cycle cost analyses of ground source heat pump (GSHP) applications in hot and humid climate,” *Energy Build.*, vol. 55, pp. 312–321, 2012.
- [37] N. B. Vu, S. R. Lee, S. Park, S. Yoon, G. H. Go, and H. B. Kang, “Life Cycle Cost Analysis for Ground-Coupled Heat Pump Systems Including Several Types of Heat Exchangers,” *Int. J. Archit. Eng. Constr.*, vol. 2, no. 1, pp. 17–24, 2013.
- [38] J. Luo *et al.*, “Investigation of shallow geothermal potentials for different types of ground source heat pump systems (GSHP) of Wuhan city in China,” *Renew. Energy*, vol. 118, pp. 230–244, 2018.
- [39] V. Badescu, “Economic aspects of using ground thermal energy for passive house heating,” *Renew. Energy*, vol. 32, no. 6, pp. 895–903, 2007.
- [40] O. Ozyurt and D. A. Ekinici, “Experimental study of vertical ground-source heat pump performance evaluation for cold climate in Turkey,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 4, pp. 1257–1265, 2011.
- [41] E. Pulat, S. Coskun, K. Unlu, and N. Yamankaradeniz, “Experimental study of horizontal ground source heat pump performance for mild climate in Turkey,” *Energy*, vol. 34, no. 9, pp. 1284–1295, 2009.
- [42] M. Kegel, R. Sunye, and J. Tamasauskas, “Life Cycle Cost Comparison and Optimisation of Different Heat Pump Systems in the Canadian Climate,” *Proc. eSim 2012 Can. Conf. Build. Simulation, Halifax, Nov. Scotia, Canada, May 1-4*, no. May, pp. 492–505, 2012.
- [43] S. A. Ates, “Life Cycle Cost Analysis: An Evaluation of Renewable Heating Systems in Turkey,” *Energy Explor. Exploit.*, vol. 33, no. 4, pp. 621–638, 2015.

- [44] Y. Rui, D. Garber, and M. Yin, “Modelling ground source heat pump system by an integrated simulation programme,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 134, no. February, pp. 450–459, 2018.
- [45] G. N. Güğül, “Investigation and Techno-Economic Evaluation of the Ways to Minimize the Final Energy Consumption of a Detached House in Ankara,” 2016.
- [46] “Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri - Meteoroloji Genel Müdürlüğü.” [Online]. Available: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=merkez&m=27-00&y=2019&a=07>. [Accessed: 09-Sep-2019].
- [47] “Finansal Yatırım Araçları İstatistikleri.” [Online]. Available: [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1064](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1064). [Accessed: 09-Sep-2019].
- [48] “EPDK | Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.” [Online]. Available: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/18/tuketici-kosesi>. [Accessed: 09-Sep-2019].
- [49] “2019 Yılı Nisan Ayı Doğal Gaz Toptan Satış Fiyat Tarifesi | BOTAŞ - Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi.” [Online]. Available: <https://www.botas.gov.tr/Sayfa/2019-yili-nisan-ayi-dogal-gaz-toptan-satis-fiyat-tarifesi/210>. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [50] “Gazdaş.” [Online]. Available: <https://online.gazdas.com/onlineIslem/gaziantep.html#/app/fiyat>. [Accessed: 12-Sep-2019].

# EKLER

## EK 1

### Gaziantep ili son 10 yıl doğalgaz fiyatları



T.C.  
ENERJİ PİYASASI DÜZENLEME KURUMU  
Tarifeler Dairesi Başkanlığı



Sayın CEM ULUYÜCE

İlgi : 23/08/2019 tarihli ve 160083 sayılı yazı.

İlgide kayıtlı başvurunuzda; yüksek lisans tezinizde kullanılmak üzere Gaziantep ili için 2009-2019 yılları arasındaki aylık doğal gaz fiyat verileri talep edilmiştir. Bunun yanında Kurumumuz internet sitesinde (<https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/18/tuketici-kosesi>) yer alan elektrik fiyat verilerinin biriminin sitede yer almadığı belirtilerek bahse konu bölümdaki verilerin birimi hakkında bilgi talep edilmiştir. Başvurunuz incelenmiş olup konuya ilişkin açıklamalarımız aşağıda yer almaktadır.

Gaziantep ili için doğal gaz perakende satış fiyatları ilgili bölgede faaliyet gösteren Gazdaş Gaziantep Doğal Gaz Dağıtım AŞ'nin internet sitesinden yayımlanmakla birlikte 2014 yılı öncesi verilere bahse konu internet sitesinden ulaşılamaması nedeniyle aşağıdaki tabloda Gaziantep ili için 2009- 2019 yıllarında evsel tüketicilere (0-100.000 Sm<sup>3</sup>) yönelik tüm vergiler dâhil yıllık ortalama perakende satış fiyatı (PSF) sunulmaktadır

Tablo - Gaziantep İli İçin Evsel Kullanıcılara (0-100.000 Sm<sup>3</sup>) Yönelik Doğal Gaz Perakende Satış Fiyatı (TL/Sm<sup>3</sup>)

Yıllar	Aylar											
	ocak	şubat	mart	nisan	mayıs	haziran	temmuz	ağustos	eylül	ekim	kasım	aralık
2009	0,986261	0,823209	0,823209	0,823209	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192
2010	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192
2011	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,624192	0,713749	0,713749	0,713749
2012	0,713749	0,713749	0,713749	0,851071	0,851071	0,851071	0,851071	0,851071	0,851071	0,945658	0,945658	0,945658
2013	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658
2014	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	0,945658	1,028324	1,028324	1,028324
2015	1,028324	1,239063	1,239758	1,242295	1,244541	1,247633	1,250067	1,250622	1,249910	1,252081	1,255505	1,255050
2016	1,251831	1,251094	1,252319	1,251870	1,295198	1,296585	1,300556	1,301672	1,302246	1,202347	1,203142	1,205451
2017	1,210996	1,219424	1,231014	1,234829	1,238017	1,240371	1,241995	1,242214	1,244475	1,121683	1,122941	1,126992
2018	1,129954	1,131346	1,133418	1,134917	1,136963	1,140866	1,144312	1,231048	1,320663	1,422142	1,436512	1,442985
2019	1,322710	1,321729	1,324319	1,324714	1,327262	1,331485	1,333899	1,551135				

Başvurunuzdaki diğer husus olan, Kurumumuz internet sitesinde bulunan elektrik piyasası tarife uygulamalarına ilişkin tabloda yer alan elektrik fiyatlarının birimi ise kr/kWh'tır.

Bilgilerinize sunulur.

Nedim KORKUTATA  
Başkan a.  
Daire Başkanı



## EK 2

### Bina ısı enerjisi kimlik belgesi



Tarih : 27/05/2019  
Sayfa : 1

## BİNA HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### Bina Bilgileri

Projenin Adı : İTH.İHR.SAN  
İTH.İHR.SAN  
Binanın Adı : İTH.İHR.SAN  
İTH.İHR.SAN  
Ada/Parsel :  
Sokak-No :  
Semt : GÜVENEVLER  
İlçe / İl : ŞEHİTKAMİL/GAZİANTEP

### Dizayn Bilgileri:

Brüt Hacim : 5529  
Net Kullanım Alanı : 1769,28  
Tavan Yüksekliği : > 2.6 m  
İç Sıcaklık : 19  
Kat Adedi : B+Z+4N  
Bina Tipi : Konut  
Yakıt Türü : Doğalgaz  
Bölgesi : GAZİANTEP - 2  
Havalandırma : Doğal  
Pencere Alanı Oranı : %60'tan az

### Proje Sorumlusu Bilgileri:

Adı Soyadı :  
Mesleği :  
Sicil No :  
Kuruluşu :

Adresi :

Telefon :  
Faks :  
E-Posta :  
Web Adresi :

Kuruluşun Adı :  
Adresi :

Telefon :  
Faks :  
E-Posta :

Proje Adı : RAŞİT ARSLAN RST İNŞ.GAYRİMENKUL İTH.İHR.SAN

ISI İHTİYACI KİMLİK BELGESİ		
<b>Ada/Parsel</b>	:6070/22K-4D/4	
<b>Binanın Tanımı</b>	:	
<b>İTH.İHR.SAN</b>		
<b>Cadde ve Bina Numarası</b>	:	
<b>Semt/İlçe/İl</b>	: GAZİANTEP	
<b>Kullanılacak Yakıt Türü</b>	:Doğalgaz	
	Müsaade Edilen Maksimum Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı	Hesaplanan Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı
$A_{top} = 2511,7 \text{ m}^2$	$Q' = 17,98 \text{ kWh/m}^2$	$Q_{yil} = 16,94 \text{ kWh/m}^2$
$V_{brüt} = 5529 \text{ m}^3$	$Q' = \text{----} \text{ kWh/m}^2$	$Q_{yil} = \text{----} \text{ kWh/m}^2$
$A/V = 0,45 \text{ m}^{-1}$		
$A_n = 1769,3 \text{ m}^2$		
<p>Birim hacim veya birim alan başına tüketilecek yakıt miktarı [kg. m<sup>3</sup>]  <math>860 \times Q_{yil} / ( \text{Yakıtın Klorifik Değeri} \times \text{Sistem Verimi} ) [Kcal / kg.m^3] = 1,98 [kg.m^3]</math> yakıt</p> <p>Önemli Not : Buradaki hesaplama sonucu elde edilen yakıt miktarı, binanın TS 825'teki kabullerine göre yalıtılması sonucu elde edilmektedir. Yerleşim birimlerindeki iklimsel koşullara göre değişiklik gösterebilecek olan bu değer her zaman gerçek tüketimi vermeyebilir.</p>		
<p>Atop : Dış duvar, tavan, taban/döğeme, pencere, kapı. Dış ölçülere göre bulunur  Vbrüt : Binayı çevreleyen dış kabuğun ölçülerine göre hesaplanan hacmidir. Birimi "m<sup>3</sup>"tür.  A/V : Isı kaybeden toplam yüzeyin (Atop) ısıtılmış yapı hacmine (Vbrüt)oranıdır. Birimi "m<sup>-1</sup>" dir  Q' : A/V oranına bağlı olarak müsaade edilen maksimum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacıdır. Birimi "kWh/m<sup>2</sup>, kWh/m<sup>3</sup>" tür  Qyil :Bu bina için hesaplanmış olan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı. Birimi "kWh/m<sup>2</sup>, kWh/m<sup>3</sup>" tür.  An :Binanın net kullanım alanıdır ( An = 0.32 Vbrüt formülü ile hesaplanır. )</p>		
Binanın Enerji Verimliliği Endeksi		
<b>C Tipi Bina</b>	<b>B Tipi Bina</b>	<b>A Tipi Bina</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Normal Enerji Verimli Bina</b>	<b>İyi Enerji Verimli Bina</b>	<b>Süper Enerji Verimli Bina</b>
<p>Not : <math>Q_{yil}/Q' &lt; 0,99</math> veya <math>\geq 0,90</math> ise C tipi bina  <math>Q_{yil}/Q' &lt; 0,90</math> veya <math>\geq 0,80</math> ise B tipi bina  <math>Q_{yil}/Q' &lt; 0,80</math> ise A tipi bina</p>		
Düzenleyenler		Onay
Adı, Soyadı :	Adı, Soyadı:	
Ünvanı :	Ünvanı:	
İmza:	İmza:	

Kuruluşun Adı :  
Adresi :

Telefon :  
Faks :  
E-Posta :



## Binanın Özgül Isı Kaybı Hesabı

Tarih : 27/05/2019  
Sayfa : 5

Proje Adı :

**Havalandırma Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı,  $H_v$  = 1167,72 W/K**  
**Binanın Toplam Isı Kaybı,  $H = H_i + H_v$  = 2787,58 W/K**

Kuruluşun Adı :  
Adresi :

Telefon :  
Faks :  
E-Posta :



## YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI

Proje Adı :

Tarih : 27/05/2019

Sayfa : 6

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$\frac{H+H_c}{H_v}$ (W/K)	$T_i - T_d$ (K, °C)	$H(T_i - T_d)$ (W)	$\Phi_i$ (W)	$\Phi_s$ (W)	$\Phi_t = \Phi_i + \Phi_s$ (W)			
Ocak	2788	16,1	44.880	8.846	5.902	14.748	0,33	0,952	79.924.109
Şubat	2788	14,6	40.699	8.846	7.479	16.326	0,40	0,917	66.673.186
Mart	2788	11,7	32.615	8.846	9.481	18.327	0,56	0,831	45.047.893
Nisan	2788	6,2	17.283	8.846	10.205	19.051	1,10	0,596	15.349.577
Mayıs	2788	1	2.788	8.846	12.290	21.136	7,58	(-)	
Haziran	2788	Td yüksek	(-)	8.846	12.974	21.820	(-)	(-)	
Temmuz	2788	Td yüksek	(-)	8.846	12.613	21.460	(-)	(-)	
Ağustos	2788	Td yüksek	(-)	8.846	11.690	20.537	(-)	(-)	
Eylül	2788	Td yüksek	(-)	8.846	9.640	18.486	(-)	(-)	
Ekim	2788	4,9	13.659	8.846	7.612	16.458	1,20	0,564	11.347.727
Kasım	2788	10,5	29.270	8.846	5.637	14.483	0,49	0,867	43.301.245
Aralık	2788	15,2	42.371	8.846	5.143	13.989	0,33	0,952	75.320.197

Toplam  $Q_{yil} = \sum Q_{ay} = 336.963.934$  kJ

$Q_{yil} = 0,278 \times 1/1000 \times 336.963.934 = 93.676$  kWh

Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı  $Q' = 17,98$  kWh / m<sup>3</sup>  
Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı  $Q = 16,94$  kWh / m<sup>3</sup>

$Q < Q'$  olduğundan bu bina için yapılmış olan ısı yalıtım projesi TS 825 standardına uygundur.

Kuruluşun Adı :  
Adresi :

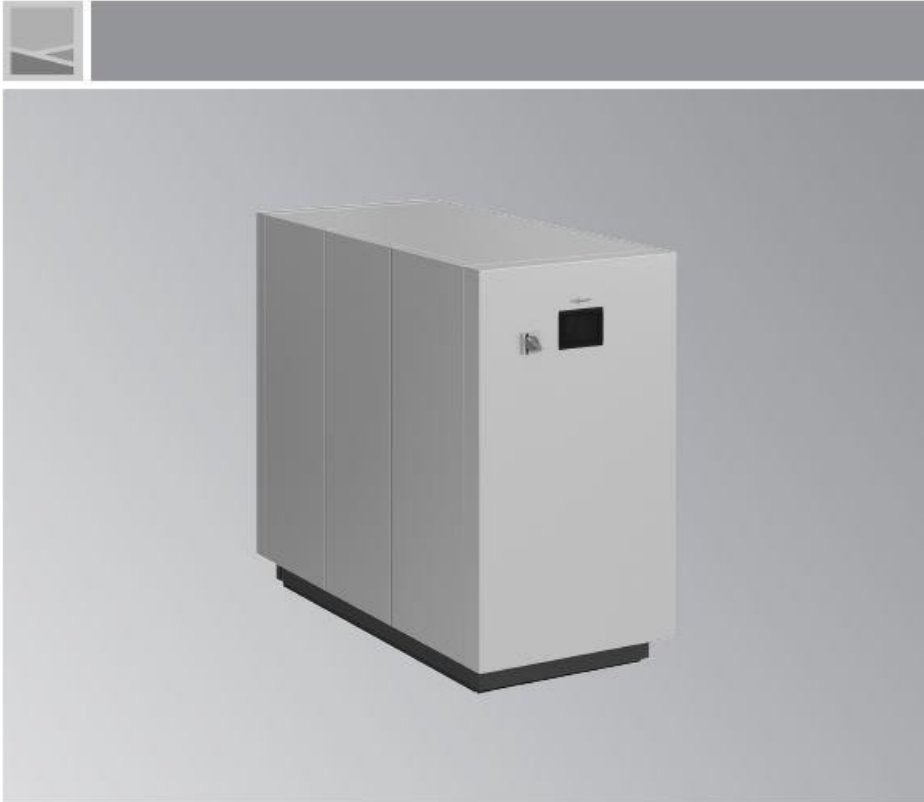
Telefon :  
Faks :  
E-Posta :

## EK 3

### Isı pompası fiyat teklifi

#### VITOCAL 300-G/-W PRO

Tek ve iki kademeli ısı pompası  
Antifiriz/su 82,8 - 222 kW



11.1

#### Vitocal 300-G/-W PRO

BW 301.C ve BW 302.D

Elektrikli motorlu ısı pompası, monovalent (tekli) veya bivalent (ikili) ısıtma sistemlerinde mahal ve kullanma suyu ısıtması için

Dış hava kompanzasyonlu işletme için ısı pompası kontrol paneli Vitotronic 200.

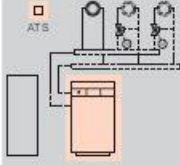
Maksimum işletme basıncı: Tesisat suyu 6 bar (0,6 MPa)

- EN 14511'e göre yüksek COP değeri: 4,7'ye kadar antifiriz 0 °C/su 35 °C
- İki kademeli tasarım sayesinde optimum seviyede yük dağılımı.
- Monovalent (tekli) ısıtma işletmesinde mahal ısıtması ve kullanma suyu ısıtması.
- Her tipe ve işletme koşullarına göre gidiş suyu sıcaklığı maks.65°C'ye kadar.
- Ses optimizasyonlu cihaz yapısı sayesinde düşük ses ve titreşim.
- Bütün işletme noktalarında en yüksek verim ile çalışan RCD sistemi (Refrigerant Cycling Diagnostic System) ve elektronik genleşme valfi sayesinde düşük işletme maliyetleri.
- Dış hava kompanzasyonlu işletme ve "natural" veya "active" cooling işletmesi için grafik ekranlı ve açık metin gösterimli kullanımı kolay Vitotronic kontrol paneli.

## VITOCAL 300-G/-W PRO

Antifriz/su ısı pompaları, Tip BW  
Tek kademeli ve iki kademeli

### Isıtma sistemi



- Karışım vanasız 1 ısıtma devresi
- Karışım vanalı 1 veya 2 ısıtma devresi

### Vitotronic 200 Tip WO1C, dış hava kompanzasyonlu işletme için

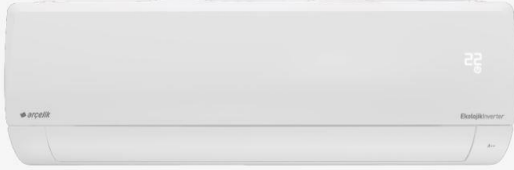
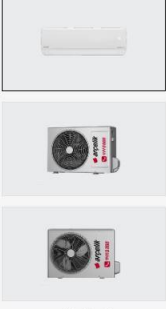


- Dijital ısı pompası kontrol paneli.
  - Boyler sıcaklık kontrolü.
  - Türkçe menü'lü kullanıcı ekranı.
  - Entegre arıza tespit sistemi.
  - Sıcak su eşanjörü kumandası.
  - İlave bir sıvı/gaz yakıtlı kazan kumandası.
  - 5 Vitocal'e kadar kaskad bağlama (aksesuar gerekli).
  - "Active cooling" ve "natural cooling" soğutma fonksiyonu.
  - Yüzme havuzu ısıtması.
  - Vitocom 100 ile iletişim kurma.
- Karışım vanalı ısıtma devresi, ilave sıvı/gaz yakıtlı kazan, soğutma fonksiyonu ve yüzme havuzu ısıtması için ek cihazlar gereklidir (aksesuarlar bölümüne bakınız).

Tip İşletme türü	Kapasite aralığı (kW) işletme noktası B0/W35, fark sıcaklık 5 K (EN 14511'e göre)							Sip.No. Euro MG Y
	86,6 Tek kade- meli	111,0 Tek kade- meli	82,8 İki kade- meli	106,6 İki kade- meli	134,6 İki kade- meli	173,2 İki kade- meli	222,0 İki kade- meli	
BW 301.C090 Antifriz/su	Z014568 34.701,-	-	-	-	-	-	-	Sip.No. Euro MG Y
BW 301.C120 Antifriz/su	-	Z014569 40.497,-	-	-	-	-	-	Sip.No. Euro MG Y
BW 302.D090 Antifriz/su	-	-	Z016814 37.011,-	-	-	-	-	Sip.No. Euro MG Y
BW 302.D110 Antifriz/su	-	-	-	Z016815 41.948,-	-	-	-	Sip.No. Euro MG Y
BW 302.D140 Antifriz/su	-	-	-	-	Z016816 49.324,-	-	-	Sip.No. Euro MG Y
BW 302.D180 Antifriz/su	-	-	-	-	-	Z016817 54.277,-	-	Sip.No. Euro MG Y
BW 302.D230 Antifriz/su	-	-	-	-	-	-	Z016818 72.725,-	Sip.No. Euro MG Y

## EK 4

### Klima fiyat teklifi



## 12325 EKOLOJİK

Ev Tipi Klima

★★★★★ Yorum (3)

Soğutma Kapasitesi : 12000 Btu/h  
Sessiz Çalışma : Var  
Enerji Sınıfı-Soğutma : A++

3.947 TL **3.699 TL**

SEPETTE ANINDA 500 TL İNDİRİM!

528,43 TL 'den Başlayan Taksitlerle

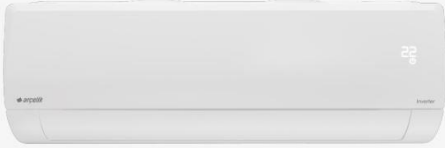

**SEPETE EKLE**

Favorilerime Ekle [Paylaş](#)

[Enerji Etiketi](#)

Ücretsiz Montaj Kolay İade Çağrı Merkezi

Yaygın Hizmet



## 24320 EKOLOJİK

Ev Tipi Klima

★★★★★ Yorum (2)

Sessiz Çalışma : Var  
Enerji Sınıfı-Soğutma : A++

5.654 TL **5.299 TL**

757 TL 'den Başlayan Taksitlerle

**SEPETE EKLE**

Favorilerime Ekle [Paylaş](#)

[Enerji Etiketi](#)

Ücretsiz Montaj Kolay İade Çağrı Merkezi

Yaygın Hizmet

## EK 5

### Doğalgazlı konvansiyonel kazan sistemi fiyat teklifi



Viessmann

Viessmann Vitodens 200 W -150 kW Duvar Tipi Yoğuşmalı Kazan

En Popüler 6. Yoğuşmalı Kazan

2 satıcı içinde kargo dahil en ucuz fiyat seçeneği

**24.900,00 TL** Ücretsiz kargo

Sepete Ekle

AXESS 9 taksit

Stokta 5 adet

1 iş günü

Satıcı: İstanbul Kombi Market **8,7** 132 Sipariş

Yorumları oku

**Viessmann Vitodens 200 - 150 kw Duvar Tipi Yoğuşmalı Kazan** Kazan Üreticisi Hakkında Isı konforu ve havalandırma sektörlerinde Almanya merkezli Viessmann, dünyanın en güvenilir markaları arasında yer almaktadır. 11 ülkede satışa sunulan Viessmann ürünlerine 120 ayrı satış temsilciliğinden ulaşabilirsiniz. Enerji verimli ve ödüllü tasarımlarıyla konfor üreten... Daha fazla

Satıcı ürün sayfası

Son 6 ay fiyat değişimi



Takip Et





HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~-TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
TEMİZ TÜKENMEZ ENERJİLER ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 10/10/2019

Tez Başlığı / Konusu: **TOPRAK VE SU KAYNAKLI ISI POMPALARININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: GAZİANTEP ÖRNEĞİ**

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 87 sayfalık kısmına ilişkin, 10/10/2019 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %8 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/~~dâhil~~
- 3- 5 kelimededen daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

10/10/2019 C. Uluçay  
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: CEM ULUYÜCE  
Öğrenci No: N16120996  
Anabilim Dalı: Temiz Tükenmez Enerjiler  
Programı: Temiz Tükenmez Enerjiler  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Doç. Dr. Merih Aydınalp Köksal

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

# ÖZGEÇMİŞ

## Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Cem ULUYÜCE  
Doğum Yeri: Çankaya / Ankara  
E-posta: uluyucem@gmail.com  
Adresi: Mürsel Uluç Mah. 942. Cadde 34/5 İlker – Çankaya - Ankara

## Eğitim

Lise: 2006 – 2010 TED Ankara Koleji Vakfı Özel Lisesi  
Lisans: 2010 - 2015 Hacettepe Üniversitesi , Jeoloji Mühendisliği Bölümü

## Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce - İleri Düzey  
Almanca – Giriş Seviyesi

## İş Deneyimi

2015 - 2018 Intro Visuals Panoramik Fotoğrafçılık Hizmetleri - Kurucu  
2018 - ..... Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği – Kıdemli Geçim Kaynakları Uzmanı

**Deneyim Alanları:** Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, Geçim Kaynakları, Girişimcilik, Panoramik Fotoğrafçılık