

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİLİ HİBRİT BİR ISI POMPASININ
TERMODİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdiñ ERKAN

HAZİRAN 2019

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİLİ HİBRİT BİR ISI POMPASININ
TERMODİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdinç ERKAN

UŞAK 2019

Erdiñç ERKAN tarafından hazırlanan “Toprak Hava Isı Değiştiricili Hibrit Bir Isı Pompasının Termodinamik Analizi” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdullah YILDIZ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Abdullah YILDIZ

.....

Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Canan KANDİLLİ

.....

Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Gökhan GÜRLEK

.....

Makine Mühendisliği, Ege Üniversitesi

Tarih: 03.07.2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Erdinç ERKAN



**TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİLİ HİBRİT BİR ISI POMPASININ
TERMODİNAMİK ANALİZİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Erdinç ERKAN

UŞAK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Bu çalışmada, toprak hava ısı değiştiricili bir ısı tasarımı yapılmış ve üretilmiştir. Hibrit sistem ile geleneksel hava kaynaklı ısı pompasının ısıtma performans katsayısı ve ekserji verimi benzer çevre kış şartlarında deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen hibrit sistemin enerji performans katsayısını maksimum %13,87, minimum %11,37 arttırdığı, ekserji performansını ise maksimum %34, minimum % 26 arttırdığı deneysel olarak gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak kaynaklı ısı pompası, enerji analizi, ekserji analizi, performans katsayısı, hava sıcaklığı, R134a.

Sayfa Adedi : 42

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Abdullah YILDIZ

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF A HYBRID HEAT PUMP

WITH EARTH AIR HEAT EXCHANGER

(M.Sc. Thesis)

Erdinç ERKAN

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

In this study, a heat design with soil air heat exchanger is made and produced. Heating performance coefficient and exergy efficiency of hybrid air system and conventional air source heat pump were compared experimentally under similar environmental winter conditions. It has been observed experimentally that the developed hybrid system increases the energy performance coefficient by a maximum of 13.87%, minimum by 11.37%, increases the exergy performance by a maximum of 34% and minimum by 26%.

Keywords: Ground source heat pump, energy analysis, exergy analysis, performance coefficient, air temperature, R134a.

Page Number : 42

Adviser : Doç. Dr. Abdullah YILDIZ

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Danıőmanım Doç. Dr. ABDULLAH YILDIZ'a ve yardımlarını, desteklerini esirgemeyen, bilgilerini ve deneyimlerini bizimle paylaşan hocam Doç. Dr. Mustafa Ali ERSÖZ'e vermiő oldukları desteklerden ötürü teşekkür ederim.

Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve Norm Holding'e teőekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	10
3.1ToprakKaynaklı Isı Pompası Tasarımı.....	10
4. TERMODİNAMİK ANALİZ	
4.1Termodinamiğin 1.Yasa (Enerji) Analizi.....	14
4.1.1 Kompresör.....	14
4.1.2Kondenser.....	15
4.1.3Genleşme(Kısma) valfi.....	15
4.1.4 Evaporatör.....	15
4.1.5 Enerji performansı (ECOP).....	16
4.2 Termodinamiğin 2.Yasa (Ekserji) Analizi.....	16
4.2.1 Kompresör.....	17
4.2.2 Kondenser.....	17
4.2.3 Genleşme(Kısma) valfi.....	17
4.2.4 Evaporatör.....	17
4.2.5 Ekserji performansı (ECOP).....	17
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	18
6. SONUÇLAR.....	26

KAYNAKLAR.....	27
ÖZ GEÇMİŞ.....	29



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Isı değiştiricinin teknik özellikleri.....	12
Çizelge 3.2. Ölçüm aletlerinin teknik özellikleri	14
Çizelge 5.1. Geleneksel ve hibrit sistemde ölçülen, hesaplanan parametreler ve değerleri....	19
Çizelge 5.2. Termodinamik özellikler ve hesaplanan kütleli değerleri.....	20
Çizelge 5.3. Enerji analizi sonuçları.....	20
Çizelge 5.4. Ekserji analizi sonuçları.....	22
Çizelge 5.5. Hibrit sisteminin maliyeti.....	25

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Çevre sıcaklığına bağlı güç tüketim değerleri.....	21
Şekil 5.2. Çevre sıcaklığına bağlı enerji performans katsayısı.....	21
Şekil 5.3. Çevre sıcaklığına bağlı ekserji yıkımı.....	22
Şekil 5.4. Çevre sıcaklığına bağlı ekserji verimi.....	22

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Geliştirilmiş hava ısı eşanjörü.....	4
Resim 2.2. Tek ve çift borulu toprak ısı değiştirici.....	5
Resim 2.3. Güneş enerjili toprak kaynaklı ısı pompası.....	5
Resim 2.4. Farklı boru model boru tipleri.....	8
Resim 3.1. Hava kaynaklı ısı pompası.....	10
Resim 3.2. Hava Kaynaklı Isı Pompası Kompresörü.....	10
Resim 3.3. Toprak hava kaynaklı ısı değiştirici.....	11
Resim 3.4. Hibrit sistem.....	12
Resim 3.5. Hibrit sistemin toprak altındaki bölümü	13
Resim 3.6. Toprak kaynaklı ısı pompasının ölçüm noktaları.....	13

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

\dot{E}	Enerji oranı (kW)
\dot{E}_x	Ekserji oranı (kW)
\dot{Q}	Isı transfer oranı (kW)
\dot{W}	Çalışma oranı veya güç (kW)
\dot{m}	Kütle akış hızı(kg/s)
T	Sıcaklık (K veya °C)
h	Spesifik entalpi (kJ/kg)
s	Spesifik entropi (kJ/kg)
ψ	Spesifik ekserji (kJ/kg)
exp	Genleşmevalfi
kond	Kondenser
evap	Evaporatör
komp	Kompresör
sis	Sistem
in	Giriş
out	Çıkış

Kısaltmalar

Açıklama

TKIP	Toprak kaynaklı ısı pompası
HKIP	Hava kaynaklı ısı pompası
COP	Performans katsayısı
GHKIP	Geleneksel hava kaynaklı ısı pompası

1.GİRİŞ

Ülkemizdeki sürekli artan nüfus, gelişen teknoloji ve sanayi ile enerji tüketimimiz her alanda artmaktadır. Bu enerji ihtiyacımızın belli bir çoğunluğunu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması sonucu artan sera gazının miktarı ile çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Yaşam döngüsünün devamlılığı için gerekli olan hava ve su, çevre kirliliğinden etkilenen en önemli doğal kaynaklardan ikisidir. Çevre kirliliğini azaltmak için belirli birimler bazı ülkelerle çevre kirliliğini azaltmak amaçlı sözleşmeler imzalamaktadır.

Gelişen sanayi ile birlikte enerji tüketimleri artmış, buna bağlı olarak maliyete de büyük etki etmeye başlamıştır. Bu nedenlerden gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir.

Günlük ev yaşantımızda enerji tüketimimiz çok fazladır. Isıtma, soğutma, aydınlatma, teknolojik ürünler vb. fosil kaynakların dünyada tükenebilir olması da enerji sektöründe tüketicilerin başka kaynaklara yönelmesine sebep olmuştur. Bu kaynakları kullanan sistemlerden biri de ısı pompasıdır. Ülkemizde son yıllarda artan ısı pompası kullanımına aslında yabancıda sayılmayız. Günlük yaşamımızda kullandığımız buzdolabı ve klima aynı mantıkla çalışmaktadır. Hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompaları olmak üzere 3 ana başlıkta toplayabiliriz. Genellikle kış aylarında havanın ve suyun sıcaklığı gün içerisinde çok farklılık göstermesine karşılık toprağın sıcaklığı değişimi çok azdır. Bu sebepten dolayı toprak kaynaklı ısı pompasının COP değeri daha yüksektir. Ancak ilk yatırım maliyeti olarak diğer iki sisteme göre yüksektir. Diğer dezavantajları ise boş toprak alanı bulunması, yerleştirilmesinde güçlük, tamir ve değişimlerdir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde toprak kaynaklı ısı pompalarının termodinamik analizi üzerine birçok çalışma mevcuttur.

Süzer (2001), çalışmasında toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) ile hava kaynaklı ısı pompasının (HKIP) maliyet karşılaştırmasını yapmıştır. TKIP ilk yatırım maliyeti, HKIP ilk yatırım maliyetinden daha fazla olduğunu işletme giderleri bakımından ise HKIP'nin maliyetinin daha fazla olduğunu belirtmiştir. TKIP'nin HKIP'ye göre yıllık 1400 Amerikan doları kadar ucuz olduğunu belirtmiştir. Bu miktarın çok fazla faktöre bağlı olduğu düşünülürse bölgeden bölgeye değişik göstereceğini belirtmiştir.

Çolak (2012), çalışmasında Erzurum ilinde dikey toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre, ısı pompasının ve tüm sistemin ortalama performans katsayısı sırasıyla 2.6-2.2 değerlerinde bulunmuştur.

Dumlu (2012), çalışmasında Erzurum ilindeki bir konutun ısıtma sezonunda toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemleri ve mevcut sistemler ile ısıtılması halinde bu konutun ekonomik analizini yapmıştır. Isıtma sistemleri ile TKIP'nin tüm sistem (COP) değerinin karşılaştırması yapılmış TKIP'nin hem ekonomik hem de temiz enerji olması sebebiyle daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Alkan (2014), çalışmasında Isparta ili şartlarında mahal ısıtması için toprak kaynaklı ısı pompasının alternatif soğutucu akışkanlar (6 adet) için ES ve MATLAB programları yardımıyla farklı sıcaklık aralıklarında termodinamik ve termo ekonomik yönden incelemesi yapılmıştır. En iyi sonucu R600a akışkanının verdiğini belirtmiştir.

Bayraktar (2015), çalışmasında Karabük ilinde Toprak Kaynaklı Isı Pompası destekli Pasif Ev tasarımının teorik olarak incelenmesi ele alınmıştır. Deneysel olarak elde edilen Karabük ilinde açılan kuyulardan toprak altı sıcaklık değerleri incelenmiştir TKIP sistemi ile PE uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen uzun vadede yüksek verimli uygulama modelleridir.

Temel (2016), çalışmasında hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının 7 ayrı iklim bölgesinden 7 ayrı ilin seçimi ile karşılaştırma yapılmıştır. İç Anadolu ve Doğu bölgelerimizde kışın hava sıcaklıklarının düşük olmasından dolayı su ve ya toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmiştir. Batı bölgelerimizde ise hava kaynağının uygulanabilirliğinin kolayca yapılabilmesi, bakım maliyetlerinin düşük olması ve bu bölgelerde seçtiğimiz illerde soğutma ihtiyacının ısıtmadan daha fazla veya eşit değerde olması sebebiyle, hava kaynaklı ısı pompasının su ve toprak kaynaklı ısı pompasına göre tercih sebebi olduğunu belirtmiştir.

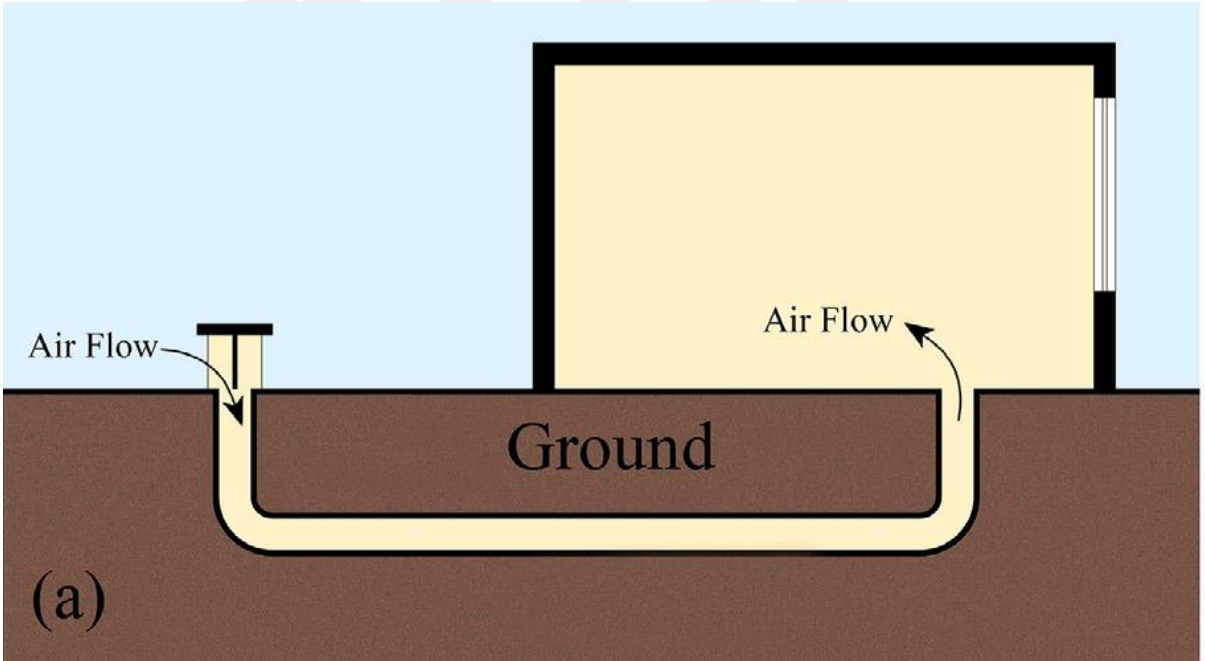
Madessa vd. (2016), çalışmasında dikey bir toprak döngü ile yapılandırılmış bir toprak kaynaklı ısı pompasının performansını araştırmak için bir parametrik çalışma yapmıştır. Isı pompasının farklı bileşenleri için matematiksel modeller geliştirilmiş ve zeminin derinliğinin, tuzlu suyun kütle akış hızlarının, çalışma akışkanlarının tiplerinin ve ölü durum durumunun etkisine göre ısı pompasının performansını analiz etmek için EES kullanmıştır. Sonuçlar, çalışma akışkanlarının çeşitli çalışma parametreleri için farklı performans gösterdiğini ve önemli ölçüde, soğutucu akışkanların toprak kaynaklı ısı pompası için çalışma akışkanı olarak seçilmesinin, termodinamik analiz yoluyla bulgulara varmıştır. 4 farklı akışkan ile toprak kaynaklı ısı pompasının sayısal analizini ele almıştır. Sistemin COP değerini etkileyen evaporatör sıcaklığını toprağın derinliği etkilendiğini belirtir. R-717 incelenen çalışma akışkanları arasında en iyi performansı gösterdiğini belirtmiştir.

Younes Noorollahi vd. (2017) çalışmasında toprak kaynaklı ısı pompasının daha yüksek performans katsayısı elde edilebilmesi için 3 farklı parametrelerde deneysel çalışma yapmıştır. İlk bölümde boru parametrelerini (hız, giriş sıcaklıkları ve çalışma sıvısı), ikinci bölümde boru çapı, eğim, boru merkezden merkeze mesafe, boru düzeni ve boru malzemesi gibi boru parametrelerin ve üçüncü bölümde boru uzunluğu, sondaj derinliği, çapını ve dolgu malzemesinin etkisini incelemiştir. İncelemeleri sonucunda giriş sıcaklığı, sirküle eden akışkanın hızının, dikey sistemler için boruların merkezden merkeze uzaklığının ve spiral

boru için ise dolgu malzemesinin ısı iletkenliği sistem performans katsayısına büyük etken olduğunu vurgulamıştır.

Liu vd. (2017), çalışmasında inşaat endüstrisindeki kazık ısı eşanjörlerinin yurt içi ve yurt dışı araştırma durumu özetlemiştir. Kazık ısı eşanjöründe ısı transferini etkilen faktörün yer altındaki toprak temas alanına dikkat çekmiştir. Spiral boru döşeme şeklinin toprak temas alanını etkin bir şekilde arttırdığını, en iyi ısı transferinin spiral boru olduğunu vurgulamıştır.

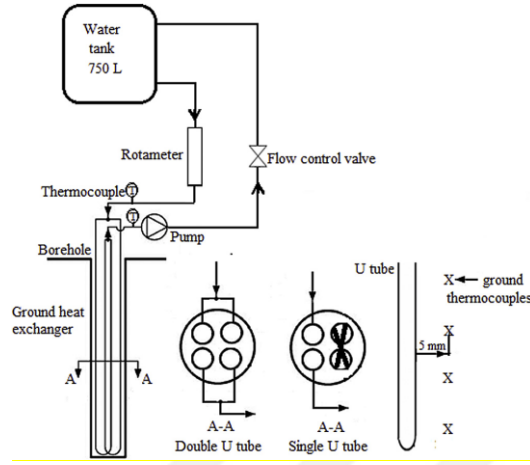
Fazlikhani vd. (2017), çalışmasında İran’da hava ısı eşanjörünün etkinliğini incelemek ve karşılaştırmak için, giriş hava sıcaklığı olmak üzere çeşitli parametreleri ele alarak yeni bir model geliştirmiştir. Yazd ve Hamadan’da kışın hava sıcaklıklarını max. sırasıyla 11,2 ° C ve 17,2 ° C artış, yazın ise max. sırasıyla 11,4 ° C ve 11,1 ° C düşüş meydana gelmiştir. Bu sistemin Yazd’da yazın daha verimli olduğunu, Hamadan’da ise kışın % 50.1-63.6 oranında enerji tasarrufu sağladığını belirtmiştir.



Resim 2.1. Geliştirilmiş hava ısı eşanjörü [10]

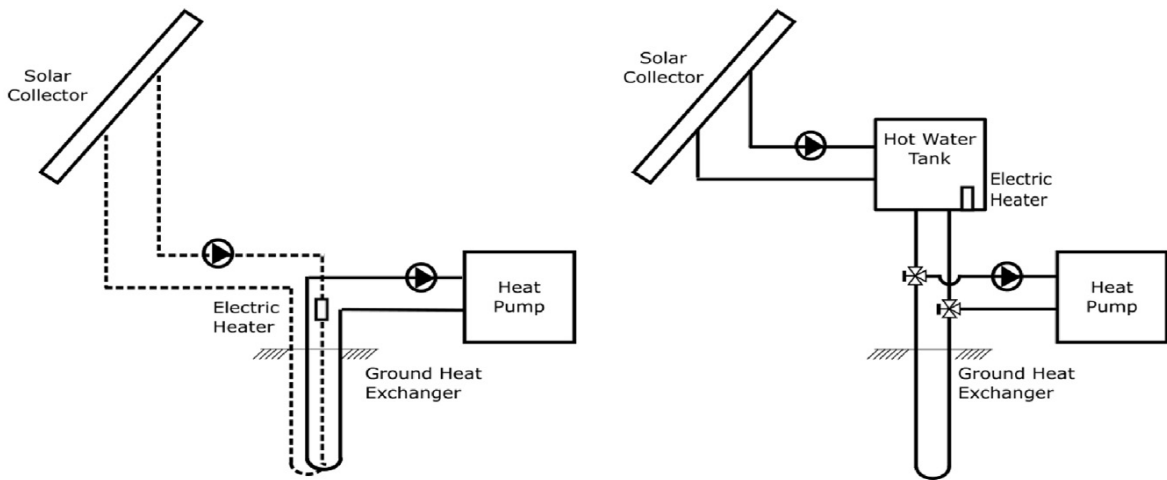
Sivasakthivel vd. (2017) Resim 2.2.’de görüldüğü gibi tek ve çift U borulu ısı eşanjörlerinin ısı performans analizi, etkinlikleri, zemin sıcaklıkları, ısı çekme ve enjeksiyon hızları ve çevresindeki zemin oluşumları üzerindeki etkileri üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Sistemde akışkan olarak su kullanmışlardır. Tek U borulu ısı eşanjörünün ısıtma ve soğutma

modlarında ortalama etkinliğini sırasıyla 0.34 ve 0.40 ve çift U borulu sistem için sırasıyla 0,46 ve 0,57 olarak hesaplamışlardır.



Resim 2.2. Tek ve çift borulu toprak ısı değıştirici [11]

Weeratunge vd. (2018), araştırmasında güneş enerjili toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin optimizasyonu ve karşılaştırmalı bir çalışmasını sunmaktadır. Sistemdeki termal depolamanın etkisini incelemek için iki tip sistem konfigürasyonu incelenmiştir. İki farklı amaç araştırılmıştır: elektrik tüketimini ve işletme maliyetini en aza indirmek. Sonuçlar, entegre termal depolamaya sahip sistemin, şebeke için pahalı yüksek elektrik üretimi ihtiyacını azaltan ve en düşük maliyet için optimize edildiğinde işletme maliyetini% 7,8 oranında azalttığını göstermiştir.



(a) System 1

(b) System 2

Resim 2.3. Güneş enerjili toprak kaynaklı ısı pompası [12]

Duman (2018), çalışmasında Sivas ilinde Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompasının kullanılabilirliği araştırmıştır. Toprak devresinde 270 m uzunluğunda boru hattı 2,5 metre derinliğe yerleştirilmiştir. Toprakta su-antifriz dolaştırarak ısı çekmiştir. Çalışma sonucunda Sivas ile için TKIP sisteminin sürekli ısıtma amaçlı kullanımda yeterli olmayacağını belirtmiştir.

Al-Khalıdı (2018), çalışmasında ısıtma modunda çalışan farklı karışım oranlarına ve farklı debilere sahip toprak kaynaklı ısı pompasının (TKIP) ısıtma performansı teorik ve deneysel olarak incelemiştir.. Toprak altı çevrimde, 3 m derinliğe yatay olarak döşenen 1'' çapındaki nikel- krom borular kullanmıştır. Çevrimde akışkan olarak R22 gazını tercih etmiştir. Evaporatöre giren ve TID sisteminde dolaşan su-etilen glikol karışımı M_r ' nin sıcaklığı arttıkça COP değeri arttığını belirtmiştir.

Meng vd. (2018), yer altı su sıcaklığının kısa ve uzun dönemli değerlendirmesini yaparak Almanya, Colonge bölgesinde kurulu toprak kaynaklı ısı pompasının kurulumunu önermiştir. Isı taşınım ve iletim denklemlerini göz önüne alan 2 boyutlu ısı taşıma modelini sonlu elemanları kullanarak yapmıştır. Kentsel alanlarda bina ısıtma ve soğutma için farklı senaryolar ortaya koymuş ve toprak altı su akışının kurulum için uygun olduğunu vurgulamıştır.

Gündü (2018), çalışmasında ısı pompasına ilave edilen bir sıvı pompası ve ejektör yardımı ile ısıtma kapasitesi ve ısıtma etkinliğinin artırılması araştırmıştır. R134a soğutucu akışkanını kullanarak enjektörlü soğutma sisteminin değişen parametrelere göre ilgili matematiksel model, Engineering Equation Solver (EES) yazılım programı ile çözümlenmiş ve analizleri yapmıştır. Kompresörün klasik sisteme göre harcadığı enerjinin azaldığını, ısıtma etkinlik katsayısının arttığını ve soğutma COP 'si ısıtma COP 'ne göre daha yüksek olduğunu vurgulamıştır.

Güler (2018), çalışmasında dikey tip bir toprak kaynaklı ısı pompası güneş enerjisi sistemi ile birleştirilerek yeni Hibrit sistem tasarlamıştır. Yeni sistemin %30 daha az enerji tükettiğini, kullanılan enerjinin ise %58'nin güneşten sağlamaktadır. Dikey tip bir toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin çalışma derinliğinin arttırılmasının ısıtma uygulamalarından daha çok soğutma uygulamalarında enerji tüketimi ve sistem performansı üzerinde etkisi olduğunu belirtmiştir.

Li vd. (2018), araştırmasında ısı pompasında COP etkisinin dikkate alınması gerektiğini, alınmaz ise giriş ve çıkış sıcakları hafife alınacak bunun sonucunda tasarlanmış olan sistemin toplam uzunluğunun gerekenden ya uzun ya da kısa olacağını belirtmiştir. GSHP sisteminin çalışması için yükselen bir yeraltı suyu tablosu faydalıdır. Yeraltı suyu sıcaklıklarının dalgalanmalarının etkisi dikkate alınmalıdır, aksi takdirde çıkış sıvısı sıcaklığında% 3-4 hatayla çıkacağını belirtmiştir.

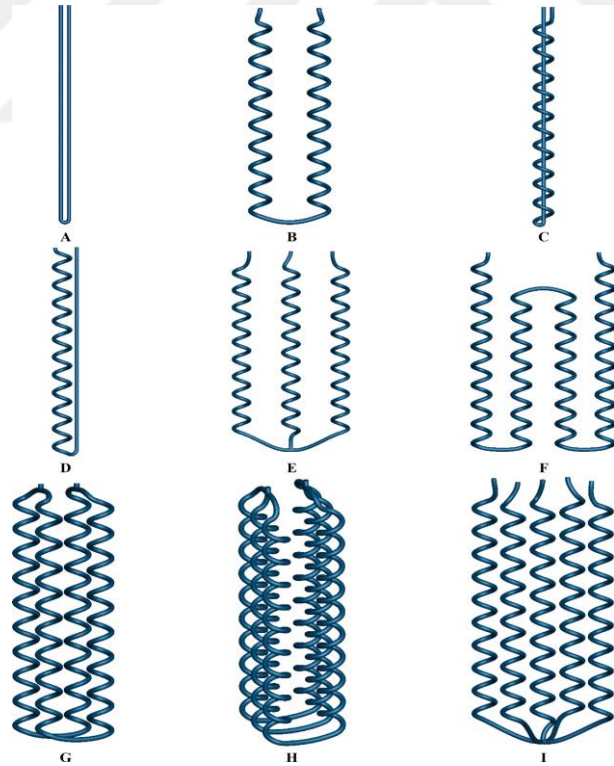
Li vd (2018), Rankine evrimi destekli toprak kaynaklı ısı pompası kombinasyon sistemini ele almıştır. Mevcut kombinasyon tipleri ve yeni kombinasyon tipleri Geçici Sistem Simülasyon Programı (TRNSYS) ile modellenmiştir. ORC nitesi mevsimsel depolama için yer ısı eşanjörlerine bağlandı. Sistem performansı bir yıl yirmi yıl boyunca simüle edildi. Yirmi yıllık simülasyon sonuçları, önerilen kombinasyon sisteminin, sabit toprak ısısı nedeniyle, yıllık ortalama sıcaklık katsayısını (COP) yaklaşık 3,8 olarak koruyabildiğini, buna karşın, geleneksel toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin yıllık ortalama COP'inin 3.7'den 3.2'ye düştüğünü göstermiştir.

Li vd. (2019), çalışmasında toprak yüzey sınır koşullarının, özellikle günlük gölgelemenin, yatay toprak kaynaklı ısı pompası (GSHP) sistemlerinin performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kuzey-Güney (N-S) sokaklarındaki çıkış sıvısı sıcaklığı ve dalgalanması, Doğu-Batı (E-W) sokaklarından daha yüksektir. Sokak boy oranlarındaki ve enlemlerdeki artış, sokakların güneş işığına maruz kalma süresini azaltabilir. Günlük güneş işınımı ve gölgeleme değişimleri, yatay GHE'lerin çıkış sıcaklıklarını gömülü 2,5 m derinliğe kadar etkiler. Bu nedenle, sığ yatay GHE'leri incelerken güneş işınımı ve gölgelemenin etkileri göz önünde bulundurulmasını belirtmiştir.

Lamarche vd. (2019), araştırmasında saatlik konfigurasyonda yatay yapılandırmaya sahip yer eşanjörlerini simüle etmek için analitik bir model sunulmuştur. Model, daha hızlı simülasyon sağlayan sonlu hat kaynağı yaklaşımının yeni bir formalizmine dayanmaktadır. Model, özellikle toprak ısı eşanjöründeki giriş sıcaklıkları uygulandığında, mevsimsel sıcaklık değişimlerinin etkisine yönelik yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca, hava-toprak sınır şartının ve gömülü alandaki farklı boru bölümleri arasındaki termal parazitlenmenin etkisini de dikkate almaktadır. Zemin ısı eşanjörü boyunca ısı akısı dağılımının yanı sıra sıcaklık, önceki modellerde olduğu gibi varsayılan bir zelti değildir. Model, buz oluşumu veya bazı yatay yapılandırmalarla ilişkili nem içeriği değişmesinden dolayı olası faz

değişimini dikkate almamaktadır. Dikey sondajlarla ilgili son çalışmalara dayanır ve yatay sistemlere uyarlanır. Saat bazında, ısı eşanjörüne sahip bir bina ile birleştiğinde yer eşanjörünün zaman tepkisini simüle etmek için değerli bir araç olması amaçlanmıştır.

Javadi vd. (2019), çalışmasını boru tipleri üzerinde çalışmasını yapmıştır. Isı değişim hızı, basınç düşüşü, ısı direnç, etkililik ve ısı performans kabiliyeti açısından yeni tip sarmal toprak ısı eşanjörü ile tek bir U borulu ısı eşanjörünü karşılaştırmaktadır. Söz konusu modeller aynı ısı transfer alanına sahiptir ve tüm sayısal simülasyonlar ticari CFD yazılımı tarafından gerçekleştirilir. Sayısal simülasyonların doğrulanması deneysel sonuçlara dayanılarak yapılır. Sonuçlar, üç sarmallı ısı eşanjörünün, diğer yer ısı eşanjörleri ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde en iyi termal performansa sahip olduğunu göstermiştir. Bunu, yaklaşık olarak aynı termal performansa sahip olanları çift sarmal (Resim2.2.G) ve sarmal (W borulu, Resim 2.2.F) toprak ısı eşanjörleri izler. Genel olarak, tek bir U tipi (Resim2.2.A) ısı eşanjörünün, tüm sarmal topraklı ısı eşanjörleri ile karşılaştırıldığında en düşük termal performansa ve minimum basınç düşüşüne sahip olduğu sonucuna varmıştır



Resim 2.4. Farklı boru model boru tipleri [23]

Literatürde görüldüğü gibi, yatay ve dikey tip toprak kaynaklı ısı pompalarının ve toprak hava ısı değiştiricilerinin termodinamik analizi yaygın bir şekilde çalışılmıştır. Fakat, topraktan alınan enerjiyi ısı pompasının evaporatörüne aktaran hibrit bir ısı pompası sistemine rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, geleneksel hava kaynaklı bir ısı pompası tasarımı yapılmış ve üretilmiştir. Daha sonra, hava kaynaklı ısı pompasının performansını arttırmak amacıyla hava-toprak kaynaklı bir ısı değiştirici tasarlanmış ve imal edilmiş ve evre kış aylarında evre havanın sıcaklığı bu toprak hava kaynaklı ısı değiştiriciden geçirilerek ısıtılmıştır. Isıtılan hava, hava kaynaklı ısı pompasının evaporatörüne ısı kaynağı olarak verilmiştir. Sonuçta, geleneksel hava kaynaklı ısı pompasının enerji ve ekserji performans değerleri tasarımı yapılan hibrit sistemin değerleri ile deneysel olarak karşılaştırılmıştır.



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Tasarımı

Bu çalışmada, ilk olarak Şekil 3.1. de verilen mahal ısıtma amaçlı hava kaynaklı ısı pompası tasarlanmıştır. Mahal olarak 0,5 m³ hacminde yalıtımlı buzdolabı kullanılmıştır. Kompresör olarak R134a gazı ile çalışan buzdolabı kompresörü, evaporatör (buharlaştırıcı) ve kondenser (yoğuşturucu) gaz hava çifti kullanan ısı değiştirici kullanılmıştır. Deneyler Aralık 2018-Şubat 2019 tarihlerinde Uşak Üniversitesinde kurulan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiş olup, doğruluğunu göstermek amacı ile 10'er defa tekrarlanmıştır.



Resim 3.1. Hava kaynaklı ısı pompası



Resim 3.2. Hava Kaynaklı Isı Pompası Kompresörü

İkinci aşamada, Resim 3.3.'de görülen toprak-hava kaynaklı ısı değiştiricisi tasarımı yapılmıştır. 5 cm çapında ve 24 m uzunlukta galvanizli borularda meydana gelen toprak hava ısı değiştiricisi dış ünitesi serpantin şeklinde yerin 2 m altına yerleştirilmiştir.



Resim 3.3. Toprak hava kaynaklı ısı değiştirici

Toprak hava ısı değiştiricinin teknik özellikleri Çizelge 3.1. de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Isı değiştiricinin teknik özellikleri

Özellik	Değer	Birim
Isı İletim Katsayısı	76	W/m.K
Boru Çapı (Dış)	0,0603	m
Boru Çapı (İç)	0,0525	m
Boru Uzunluğu	24	m
Toprak Derinliği	2	m

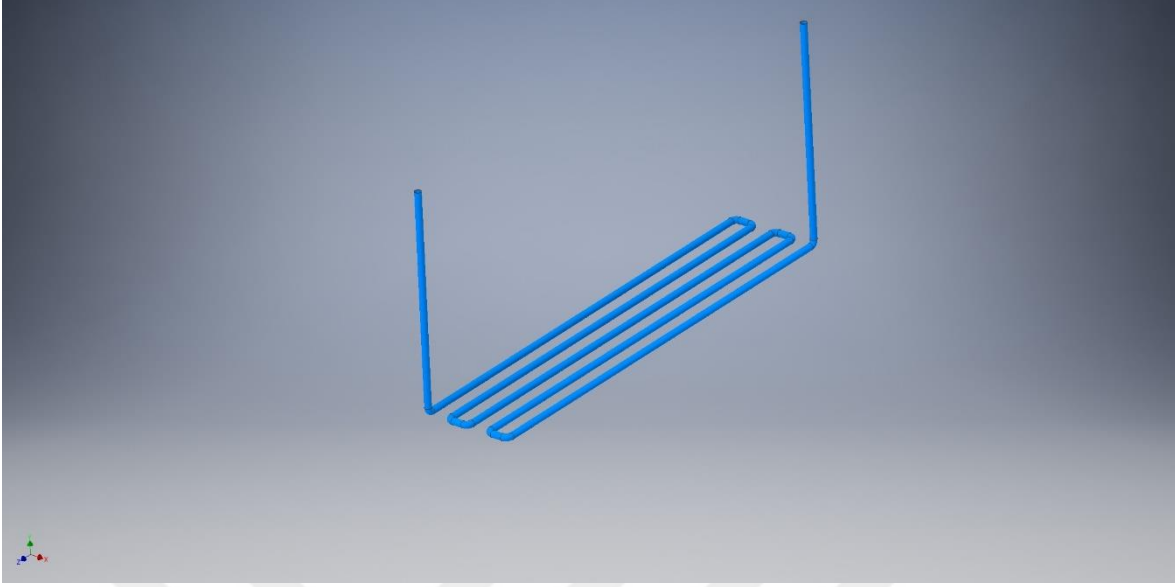
Toprak hava ısı değiştiricisinde geçirilen hava Resim 3.4.'de görülen davlumbaza girerek evaporatör için kaynak hava sıcaklığını oluşturmaktadır.



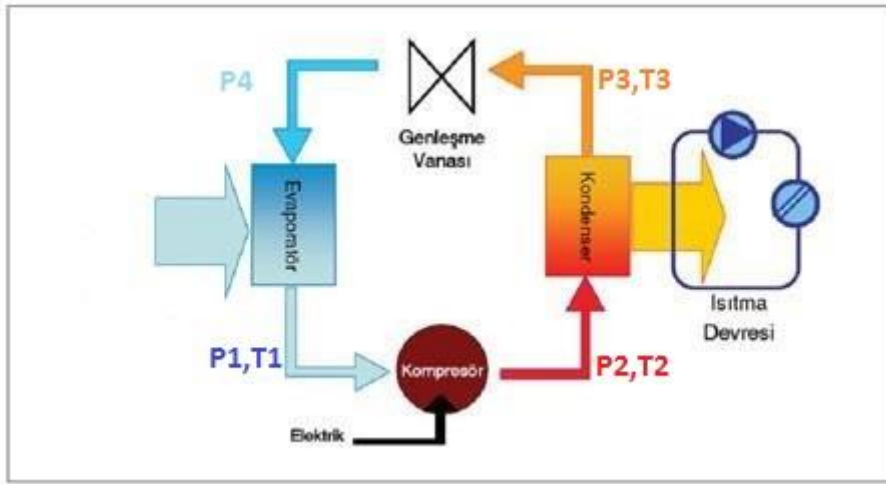
Resim 3.4. Hibrit sistem

Geleneksel hava kaynaklı ısı pompasında evaporatör havayı çevre havadan almakta iken, hibrit sistemde evaporatör havayı dış ortamdan (Tç) değil toprak altından ısınarak gelecek olan Tb'den (T5) alacaktır. Bu sayede sistemde bir verim artışı hedeflenmektedir.

Toprak kaynaklı ısı pompasının ölçüm noktaları Resim 3.6. da gösterilmiştir.



Resim 3.5. Hibrit sistemin toprak altındaki bölümü



Resim 3.6. Toprak kaynaklı ısı pompasının ölçüm noktaları

Gaz devresinde R-134a gazının basıncı 4 adet basınç sensörü ile sıcaklığı ise 5 adet Pt-100 tipi sıcaklık sensörü ile ölçülmüştür ve tüm ölçümler kayıt edilmiştir. Gaz devresinde kompresör giriş/evaporatör çıkış basıncı ve sıcaklığı (P_1, T_1), kompresör çıkış/kondenser giriş basıncı ve sıcaklığı (P_2, T_2), kondenser çıkış/kısılma vanası giriş basıncı ve sıcaklığı (P_3, T_3) ve evaporatör giriş basıncı (P_4) ölçülmüştür. Ölçüm aletlerinin teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ölçüm aletlerinin teknik özellikleri

Ölçüm Aleti	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Basınç sensörü	0-20 Bar	$\pm 0,025$ (% 2,5)
Sıcaklık sensörü	-50 / +450 °C	$\pm \% 0,5$
Debimetre	0-40 l/dk	$\pm 0,2$
Elektrik sayacı	Frekans 50 Hz, Çalışma gerilimi 230 V	Frekans ± 5 , Çalışma gerilimi $\pm 0,2$
Datalogger	2,5 – 100 ölçüm/sn.	



4. TERMODİNAMİK ANALİZ

GHKIP ve hibrit ısı pompasının termodinamik analizleri kararlı hal koşulları altında ve benzer dış hava sıcaklıkları altında yapılmıştır. Analizlerde kullanılan termodinamik özellikler REFPROP 9.0 programı vasıtasıyla elde edilmiştir.

4.1. Termodinamiğin 1. Yasa (Enerji) Analizi

Sürekli akışlı sistemlerde kütle denklemi:[7,9,10].

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (1)$$

Isı pompası sistemlerindeki ekipmanların girişi ve çıkışı arasındaki kot farkı olmadığından ve sistem bileşenlerine giren çalışma akışkanları, aynı hız ile girip çıktığından ($V_{giriş} \cong V_{çıkış}$) dolayı ısı pompası sistemlerinde kinetik ve potansiyel enerji ihmal edilebilir.

Sürekli akışlı sistemlerde kinetik ve potansiyel enerjinin ihmal edildiği sistemlerde genel enerji dengesi:

$$\dot{Q}_{giriş} + \dot{W}_{giriş} + \sum \dot{m}_{giriş} h_{giriş} = \dot{Q}_{çıkış} + \dot{W}_{çıkış} + \sum \dot{m}_{çıkış} h_{çıkış} \quad (2)$$

Termodinamiğin birinci yasa için, ısı kayıpları, kazançlar ve kapasiteler dâhil kütle ve enerji denge denklemleri aşağıda gösterilmiştir.

4.1.1. Kompresör

Isı pompası ünitesinin gaz devresinde ki kompresör, R-134a gazını 1 noktasından 2 noktası olan kondenser basıncına sıkıştırmaktadır ve bu esnada iş tüketmektedir. Kompresör için kütle ve enerji dengesi sırası ile Eş. (3) ve (4)'de verilmiştir.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r \quad (3)$$

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_r(h_2 - h_1) \quad (4)$$

Eş. (4)'de \dot{m}_r ısı pompası devresinde dolaşan gazın kütleli debisi (kg/s), h (kJ/kgK) özgül entalpi, alt indis 1 ve 2 sırası ile kompresör giriş ve çıkışını ifade etmektedir.

4.1.2 Kondenser

Gaz devresinde, kompresör vasıtasıyla sıkıştırılan soğutucu akışkan kızgın buhar halinde kondensere girmekte ve kondenserden sıkıştırılmış sıvı olarak çıkmaktadır. Kondenser için kütle ve enerji dengeleri;

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_r \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r(h_2 - h_3) \quad (6)$$

4.1.3 Genleşme (kısılma) valfi

3 noktasında sıkıştırılmış sıvı halinde bulunan soğutucu akışkan genleşme valfinde buharlaştırıcı basıncına kısılır. Genleşme valfi için kütle ve enerji dengeleri;

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_r \quad (7)$$

$$h_3 = h_4 \quad (8)$$

4.1.4 Evaporatör

Evaporatör ünitesinde düşük basınçta bulunan gaz çevre havadan ısıyı çekerek buharlaşır. Evaporatör için kütle ve enerji dengeleri;

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}_r \quad (9)$$

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \quad (10)$$

4.1.5 Enerji performansı (ECOP)

Isı pompası ünitesi için enerji performans katsayısı ($ECOP_{\text{HP}}$) Eş. (11) ve hibrit sistem için enerji performans katsayısı ($ECOP_{\text{sis}}$) Eş. (12) ile verilmiştir.

$$ECOP_{\text{HP}} = \frac{\dot{Q}_{\text{kond}}}{W_{\text{komp}}} \quad (11)$$

$$ECOP_{\text{sis}} = \frac{\dot{Q}_{\text{kond.}}}{W_{\text{komp}} + W_{\text{fan}}} \quad (12)$$

4.2 Termodinamiğin 2. Yasa (Ekserji) Analizi

Ekserji analizi, termodinamiğin birinci yasasının sınırlarını ele almaktadır. Ekserji kavramı, termodinamiğin hem birinci hem de ikinci yasasına dayanır. Ekserji, çevreye bağlı olarak bir malzemenin veya bir enerji akışının maksimum iş potansiyeli miktarı olarak tanımlanır.

Genel ekserji dengesi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$E\dot{x}_{\text{giriş}} - E\dot{x}_{\text{çıkış}} = E\dot{x}_{\text{yokolan}} \quad (13)$$

Kullanılabilirlik aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\Psi = \dot{m} \left[(h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \right] \quad (14)$$

Bir akışkan akışının ekserji değişimi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Delta\Psi = \dot{m} (\psi_{\text{çıkış}} - \psi_{\text{giriş}}) = \dot{m} \left[(h_{\text{çıkış}} - h_{\text{giriş}}) - T_0 (s_{\text{çıkış}} - s_{\text{giriş}}) + \frac{V_{\text{çıkış}}^2 - V_{\text{giriş}}^2}{2} + g(z_{\text{çıkış}} - z_{\text{giriş}}) \right] \quad (15)$$

Isı pompası sistemlerinde kinetik ve potansiyel enerji ihmal edilebilir.

Soğutucu akışkanın akış ekserjisindeki değişim;

$$\Delta\Psi = \dot{m} [(h_{\text{çıkış}} - h_{\text{giriş}}) - T_0 (s_{\text{çıkış}} - s_{\text{giriş}})] \quad (16)$$

$$\dot{E}_x = \dot{m}\psi \quad (17)$$

Sistem devre elemanları için ekserji denklemleri aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Kompresör

Kompresör için yok olan ekserji Eş. (35)'de verilmiştir.

$$E\dot{x}_{\text{yokolan,komp}} = \dot{m}_r(\psi_{2,a} - \psi_1) + \dot{W}_{\text{komp}} \quad (18)$$

4.2.2. Kondenser

Kondenser için yok olan ekserji;

$$E\dot{x}_{\text{yokolan,kond}} = \dot{m}_r(\psi_{2,a} - \psi_3) - \dot{Q}_{\text{cond}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{oda}}}\right) \quad (19)$$

4.2.3. Genleşme (Kısma) Valfi

Genleşme valfi için yok olan ekserji;

$$E\dot{x}_{\text{yokolan,exp}} = \dot{m}_r(\psi_3 - \psi_4) \quad (20)$$

4.2.4. Evaporatör

Evaporatör için yok olan ekserji;

$$E\dot{x}_{\text{yokolan,evap}} = \dot{m}_r(\psi_4 - \psi_1) + \dot{Q}_{\text{evap}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{çevre}}}\right) \quad (21)$$

4.2.5. Ekserji performansı (EXCOP)

Isı pompası ünitesi için ekserji performans katsayısı ($EXCOP_{HP}$) Eş. (22) ve hibrit sistem için ekserji performans katsayısı ($EXCOP_{sis}$) Eş. (23) ile verilmiştir.

$$EXCOP_{HP} = \frac{\dot{Q}_{cond} \left(1 - \frac{T_0}{T_{oda}}\right)}{\dot{W}_{komp}} \quad (22)$$

$$EXCOP_{sis} = \frac{\dot{Q}_{cond} \left(1 - \frac{T_0}{T_{oda}}\right)}{W_{komp} + W_{fan}} \quad (23)$$



5. .BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, hava kaynaklı bir ısı pompasının performansını arttırmak amacıyla hava-toprak kaynaklı bir ısı değiştirici tasarımı yapılmıştır. Kış aylarında çevre havanın sıcaklığı bu toprak hava kaynaklı ısı değiştiriciden geçirilerek ısıtılmıştır. Isıtılan hava, hava kaynaklı ısı pompasının evaporatörüne ısı kaynağı olarak verilerek performans artışı beklenmiştir. Geleneksel hava kaynaklı ısı pompasının enerji ve ekserji performansı, geliştirilen hibrit sistemin enerji ve ekserji performans değerleri ile deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Toprak-hava kaynaklı ısı değiştiricisine giren havanın sıcaklıkları sırasıyla -2 °C, -1 °C, 0,5 °C'den 6,3 °C, 6,4 °C ve 6,5 °C'ye çıkmıştır. Bu sıcaklıklar hibrit sistemde evaporatöre verilen havanın sıcaklığıdır.

Çizelge 5.1'de geleneksel ve hibrit sistemde ölçülen, hesaplanan parametreler ve değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2'de akışkana ait termodinamik özellikler ve hesaplanan kütleli debi değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Geleneksel ve hibrit sistemde ölçülen, hesaplanan parametreler ve değerleri

Ölçülen Parametreler	Faz	Hava Sıcaklığı (-2 °C)		Hava Sıcaklığı (-1 °C)		Hava Sıcaklığı (0,5 °C)	
		Hibrit	GHKIP	Hibrit	GHKIP	Hibrit	GHKIP
T ₁ (°C)	Kızgın buhar	-18,79	-22,46	-17,98	-22,57	-18,64	-21
P ₁ (bar)		0,61	0,34	0,67	0,32	0,63	0,44
T ₂ (°C)	Kızgın buhar	69,32	78,78	69,19	78	68,47	75,83
P ₂ (bar)		8,3	8,5	9	7,98	9,4	9,42
T ₃ (°C)	Sıkıştırılmış sıvı	32,26	36,62	34,5	31	35,5	37
P ₃ (bar)		8,1	8,3	8,97	7,96	9,2	9,4
P ₄ (bar)	Sıvı buhar karışımı	0,46	0,18	0,5	0,15	0,5	0,29
*T ₄ (°C)		-42,022	-58,079	-40,454	-60,897	-40,454	-50,264
*X ₄		0,4376	0,5059	0,4452	0,5069	0,4518	0,533
T _ç (°C)	Sıkıştırılmış sıvı	-2	-2	-1	-1	0,5	0,5
Teva. grş (°C)	Sıkıştırılmış sıvı	6,3	-	6,4	-	6,5	-
\dot{W}_{komp} (kW)	-	0,317	0,286	0,334	0,286	0,344	0,286
\dot{W}_{fan} (kW)	0,06	-	0,06	-	0,06	-	

* Hesaplanan değerler

Çizelge 5.2. Termodinamik özellikler ve hesaplanan kütleli debi değerleri

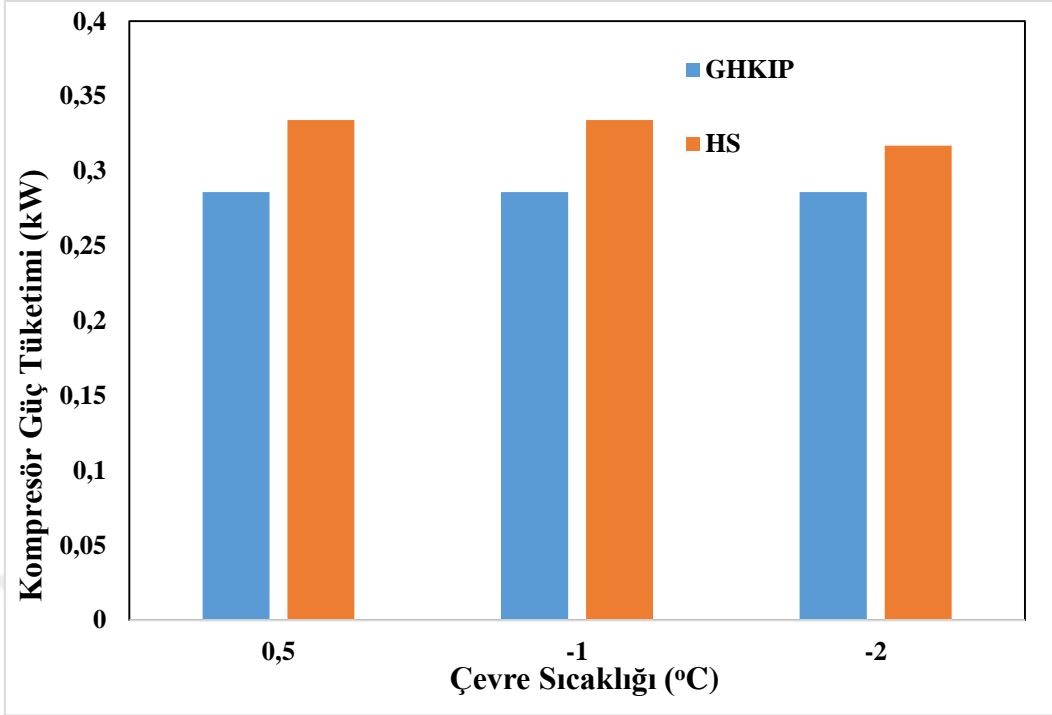
Çevre Sıcaklığı	Ölçüm Yapılan Noktalar	GHKIP				Hibrit			
		m	h	s	x	M	h	s	x
(0,5 °C)	1	0,00406	388,61	1,8356		0,00559	389,87	1,813	
	2	0,00406	458,89	1,8357		0,00559	451,35	1,8141	
	3	0,00406	251,95	1,1764		0,00559	249,74	1,1693	
	4	0,00406	251,95	1,2825	0,533	0,00559	249,74	1,2322	0,4518
(-1 °C)	1	0,00379	387,8	1,859		0,00534	390,27	1,8096	
	2	0,00379	463,12	1,86		0,00534	452,71	1,8212	
	3	0,00379	243,17	1,1482		0,00534	248,27	1,1646	
	4	0,00379	243,17	1,249	0,5069	0,00534	248,27	1,2259	0,4452
(-2 °C)	1	0,00374	387,82	1,8542		0,00494	389,82	1,8153	
	2	0,00374	464,21	1,8556		0,00494	453,9	1,8305	
	3	0,00374	245,53	1,15		0,00494	245	1,1541	
	4	0,00374	245,53	1,2526	0,5059	0,00494	245	1,2147	0,4376

Çizelge 5.3’de, Eşitlik (1-12) kullanılarak hesaplanan geleneksel ve hibrit sistem için enerji analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.3. Enerji analizi sonuçları

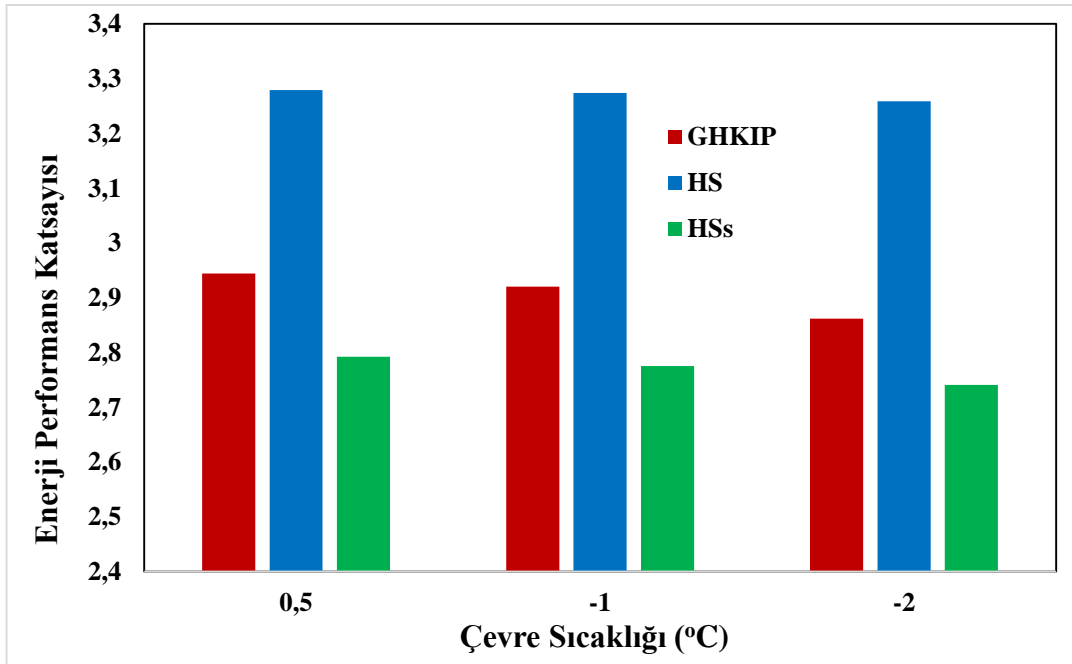
pÖlçülen Parametreler	Hava Sıcaklığı (-2 °C)		Hava Sıcaklığı (-1 °C)		Hava Sıcaklığı (0,5 °C)	
	Hibrit	GHKIP	Hibrit	GHKIP	Hibrit	GHKIP
\dot{Q}_{kond} (kW)	1,033	0,818	1,093	0,835	1,128	0,842
\dot{Q}_{evap} (kW)	0,716	0,532	0,759	0,549	0,784	0,556
ECOP _{HP}	3,259	2,862	3,274	2,92	3,279	2,944
ECOP _{sis}	2,741	-	2,775	-	2,792	-

Geleneksel ve hibrit sistemin çevre sıcaklığına bağlı kompresör güç tüketim ve enerji performans katsayısı değerleri sırasıyla Şekil 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Çevre sıcaklığına bağlı güç tüketim değerleri

Şekil 5.1'den görüldüğü gibi, kaynak sıcaklığı arttıkça iki sistemde kompresör güç tüketimi artmaktadır. -2 °C kaynak sıcaklığı için hibrit sistemin geleneksel sisteme göre güç tüketimi % 10,8, - 1 °C kaynak sıcaklığı için % 16,7 ve 0,5 °C için %20,2 artmaktadır.



Şekil 5.2. Çevre sıcaklığına bağlı enerji performans katsayısı

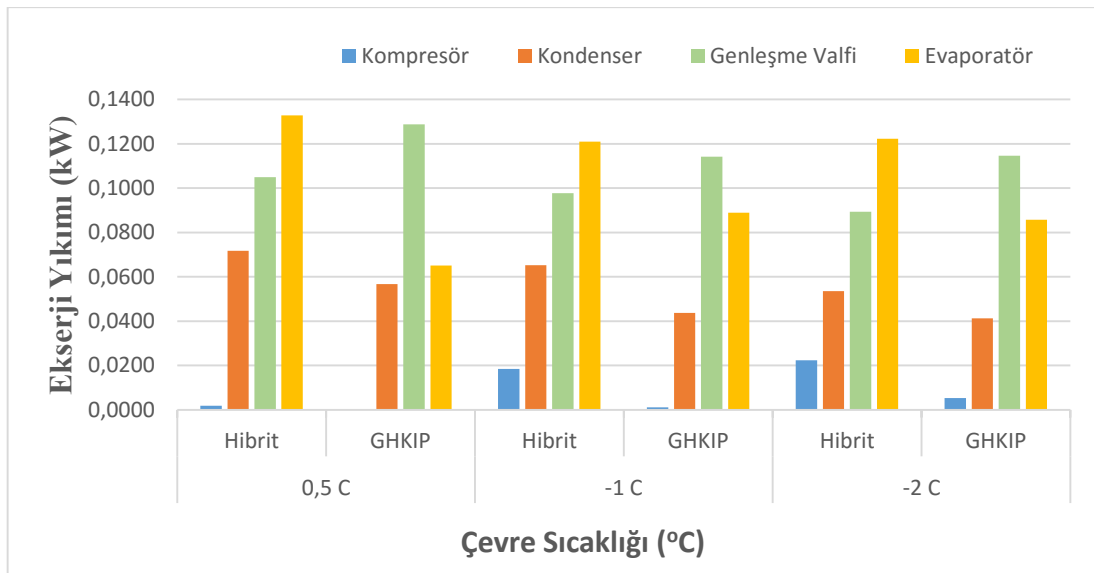
5.2’de görüldüğü gibi, GHKIP ve hibrit sistemde çevre sıcaklığı arttıkça sistemin enerji performans katsayısı da artmaktadır. Hibrit sistemde ısı pompası ünitesi için enerji performans katsayısı geleneksel sistemin performansına göre -2 °C, -1 °C ve 0,5 °C’de sırasıyla %13,87 , %12,12 ve %11,37’lik bir artış gösterirken hibrit ısı pompasının tüm sistemi için geleneksel sistemin performansına göre -2 °C, -1 °C ve 0,5 °C’de sırasıyla % 4,41 , % 5,25 ve % 5,44’lik bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın nedeni ise kullanılan fanın çektiği güçten kaynaklanmaktadır.

Eşitlik (13-23) ile hesaplanan ekserji analiz sonuçları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Ekserji analizi sonuçları

Ekipman	Hava Sıcaklığı (-2 °C)		Hava Sıcaklığı (-1 °C)		Hava Sıcaklığı (0,5 °C)	
	Hibrit	GHKIP	Hibrit	GHKIP	Hibrit	GHKIP
Kompresör	0,0224	0,0053	0,0185	0,0011	0,0019	0,0001
Kondenser	0,0535	0,0413	0,0652	0,0437	0,0717	0,0567
Genleşme Valfi	0,0894	0,1146	0,0978	0,1142	0,1050	0,1288
Evaporatör	0,1223	0,0857	0,1210	0,0889	0,1329	0,0651
Ekserji Verimi	0,062	0,0489	0,06561	0,0501	0,06768	0,05052

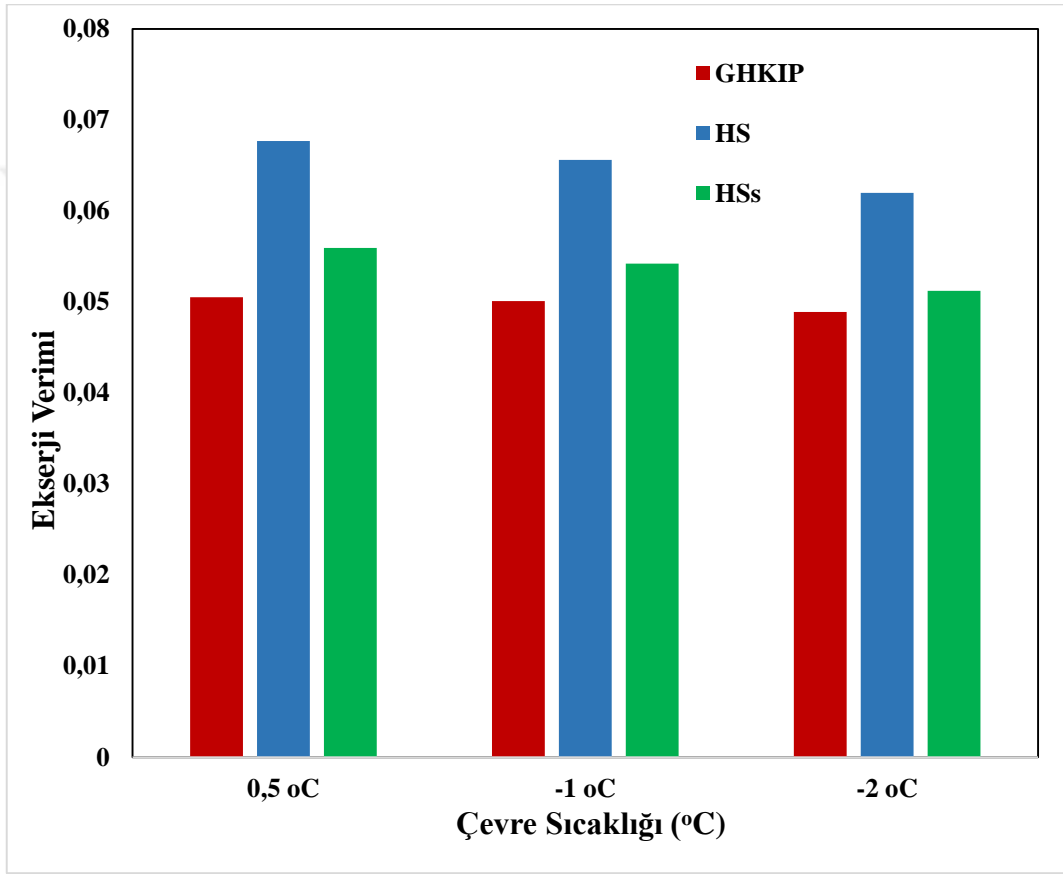
Şekil 5.3’de her bir ekipmanda meydana gelen tersinmezlik değerleri verilmiştir.



Şekil 5.3. Çevre sıcaklığına bağlı ekserji yıkımı

Şekil 5.3'den görüldüğü gibi, hibrit sistemde maksimum ekserji yıkımı evaporatörde meydana gelirken, GKIP sisteminde genleşme valfinden meydana gelmektedir. Her iki sistemde de minimum ekserji yıkımı kompresörde oluşmuştur.

Şekil 5.4'de çevre sıcaklığına bağlı olarak iki sistem için ekserji verim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Çevre sıcaklığına bağlı ekserji verimi

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi, hibrit sistemde ekserji verimi GKIP sisteminden deney yapılan üç sıcaklıkta da yüksektir. Hibrit sisteminde ve GKIP sisteminde deney yapılan hava sıcaklıkları düştükçe ekserji verimleri de düşmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında hibrit bir ısı pompası geliştirilmiş ve geleneksel ısı pompası ile deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Hibrit sistemde ısı pompası ünitesi için enerji performans katsayısı geleneksel sistemin performansına göre maksimum %13,87, minimum %11,37'lik artış meydana gelmiştir.
- Hibrit ısı pompasının tüm sistemi için geleneksel sistemin performansına göre maksimum %5,44, minimum %4,41'lik azalma meydana gelmiştir.
- Hibrit sistemde maksimum enerji kaydı evaporatörde meydana gelmişken, GHKIP sisteminde genleşme valfinden meydana gelmiştir.
- Her iki sistemde yapılan deneylerde hava sıcaklığı düştükçe ekserji verimi düşmektedir.

Geliştirilmiş hibrit sisteminde tüm sistem performansına bakıldığında tercih edilmemesi sonucuna varılabilir fakat yapılan maliyet analizinde geliştirilmiş hibrit sistemin yaklaşık 8 yılda kendini amorti ettiği hesaplanmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Süzer, B., 2001, “Toprak kaynaklı ısı pompası ile hava kaynaklı ısı pompasının tekno-ekonomik açıdan karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,51.
- [2] Çolak, D., 2012, “Toprak kaynaklı ısı pompasının performans analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 49-50.
- [3] Dumlu, S., 2012, “Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- [4] Alkan, R., 2014, “Farklı soğutucu akışkanlar için toprak kaynaklı ısı pompasının termoeconomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- [5] Bayraktar, M., 2001, “Toprak kaynaklı ısı pompası destekli pasif ev tasarımının Karabük ilinde uygulanması” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- [6] Temel, Ö., 2016, “Türkiye’de bölgelere göre ısı pompası seçim kriterleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- [7] Madessa, H.,B., 2016, ‘Parametric study of a vertically configured ground source heat pump system’, 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, Turin, Italy, 1040-1049.
- [8] Noorollahi, Y., 2017, ‘The effects of Ground Heat Exchanger Parameters Changes on Geothermal Heat Pump Performance’, S1359-4311(17)35678-8.
- [9] Liu, W., 2017, ‘Research Progress of Pile Heat Exchangers in Ground Source Heat Pump System’, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, Jinan,China, 3775-3781.
- [10] Fazlikhani, F., 2017, ‘Numerical analysis of the efficiency of earth to air heat Exchange systems in cold and hot-arid climates’, Energy conversion and management 148:78-89.
- [11] Sivasakthivel, T.,2017, ‘Experimental thermal performance analysis of ground heat exchangers for space heating and cooling applications’, Energy Conversion and Management 165:1168-1811.

- [12] Weeratunge, H., 2018, 'Model predictive control for a solar assisted ground source heat pump system', *Energy* 152:974-984.
- [13] Duman, N., 2018, "Toprak kaynaklı ısı pompasının Sivas şartlarında - kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması", Doktora Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas.
- [14] Al-Khalidi, M.M.H., 2018, "Toprak kaynaklı ısı pompası ile Isparta şartlarında bir ısıtma uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- [15] Meng, B., 'Modeling the groundwater temperature response to extensive operation of ground source heat pump systems, CUE2018-Applied Energy Symposium and Forum 2018: Low carbon cities and urban energy systems, Shanghai, China, 971-977.
- [16] Gündü, İ., 2018, "Isı pompasında ejektör yardımı ile ısıtma kapasitesi ve etkinliğimin artırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- [17] Güler, F., 2018, "Evsel uygulama için hibrit bir oprak kaynaklı ısı pompası sisteminin nümerik azanlizi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- [18] Li, W., 2018, 'Organic Rankine Cycle-assisted ground source heat pump combisystem for space heating in cold regions', *Energy Conversion and Management*, 195-205.
- [19] Liu, C., 2019, 'Influence of ground surface boundary conditions on horizontal ground source heat pump systems', *Applied Thermal Engineering*, 160-168.
- [20] Lamarche, L., 2019, 'Horizontal ground heat exchangers modelling', *Applied Thermal Engineering*, 534-545.
- [21] Li, W., 2018, 'Organic Rankine Cycle-assisted ground source heat pump combisystem for space heating in cold regions', *Energy Conversion and Management*, 195-205.
- [22] Li, C., 2018, 'Numerical simulation of ground source heat pump systems considering unsaturated soil properties and groundwater flow', *Applied Thermal Engineering*, 307-316.
- [23] Javadi, H., 'Performance analysis of helical ground heat exchangers with different Configurations', *Applied Thermal Engineering*, 24-26.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERKAN, Erdiñ

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 12.06.1993 / İzmir

Telefon : 0 543 261 9417

E-mail : erdmakmuh@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Pamukkale Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2015
Lise	Selim Sabahat Palanduz Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Deneyim
01/2016-10/2016	Dema İnşaat	Saha Mühendisi
12/2016-Devam ediyor	Norm Somun Salihli	Planlama Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Basketbol, Yüzme, Playstation