

**ISI MADENCİLİĞİ İÇİN**

**TERMAL TEPKİ TESTİ**

**UYGULAMASI**

**Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi**

**Yavuz ŞAHİN**

**Eskişehir 2022**

**ISI MADENCİLİĞİ İÇİN  
TERMAL TEPKİ TESTİ  
UYGULAMASI**

**Yavuz ŞAHİN**

**TEZSİZ YÜKSEK LİSANS DÖNEM PROJESİ**

**Enerji Kaynakları ve Yönetimi / İleri Teknolojiler Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üy. Şükrü ARDALI**

**Eskişehir  
Eskişehir Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Ocak 2022**

## DÖNEM PROJESİ ONAYI

.....'nın'.....  
.....' başlıklı çalışması, .../.../2022 tarihinde, 'Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, ..... Program/Bilim/Anabilim dalında dönem projesi olarak değerlendirilmiş ve kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı ve SOYADI

İmza

Proje Danışmanı : .....  
Anabilim Dalı Başkanı : .....

.....  
(Unvanı, Adı ve SOYADI)

..... Enstitüsü Müdürü

**APPROVAL FOR SEMESTER PROJECT**

The study titled'' .....  
.....''has been prepared and submitted by  
..... in partial fulfillment of the requirements in  
''Eskişehir Technical University Directives on Graduate Education and Examination''  
for Semester Project in the Department of ..... and has been evaluated and  
approved on .../.../2022

	Title, Name and SURNAME	Signature
Supervisor	: .....	.....
Head of the Department	: .....	.....

.....

(Title, Name and SURNAME)

Director of Graduate School of .....

## ÖZET

### ISI MADENCİLİĞİ İÇİN TERMAL TEPKİ TESTİ UYGULAMASI

Yavuz ŞAHİN

Enerji Kaynakları ve Yönetimi / İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2022

**Danışman:** Dr. Öğr. Üy. Şükrü ARDALI

Yeraltı zenginlikleri denildiğinde genelde akıllara madencilik faaliyetleri ve cevher zenginliği gelir. Ekonomik açıdan değerli bir cevherin kazanımı ise; keşif, işletme ve zenginleştirme gibi madencilik faaliyetleri ile mümkün olmaktadır. İnsanoğlunun ihtiyaçları doğrultusunda; Enerji, endüstriyel hammadde veya nadir element gibi doğal zenginlikleri yeraltından alıp çıkartmak elzem ve önemli bir konudur. Burada incelenecek konu, enerji (ısı) ihtiyacının, madencilik faaliyetlerinin tamamına başvurmadan, yeraltından uygun maliyetlerle karşılanabileceğini göstermektir. Yapılan çalışmada, Termal Tepki Testi (Thermal Response Test) [1] marifeti ile yeraltından ne kadar ısı çekilebileceği ya da ne kadar ısı verilebileceği ölçülecektir. Yer Kaynaklı Isı Pompası [2] (YKIP) uygulamaları için Sondaj Eşanjörleri [3] (SE) inşa etmek, termal tepki testi ile daha verimli ve ekonomik olabilecektir.

Yer kabuğunda açılan sondaj kuyularına yerleştirilen sızdırmaz borularla oluşturulan SE ile bir ısı köprüsü oluşturulmaktadır. Bu ısı köprüsü sayesinde, yerleştirilen SE'nün her bir metresinden 100Wh kadar ısı transferi yapılabilmektedir. 100m derinliğinde bir SE sayesinde toplam 10kWh ısı transferi sağlanabileceği düşünülürse durumu kavramak daha kolay olacaktır. Yeraltı yapısına bağlı olarak bu rakam elbette değişmektedir bu sebeple Termal Tepki Testleri yapılmakta ve bir SE üzerinden ne kadar ısı transferi yapılabileceği ölçülmektedir. Bu enerji YKIP gibi sistemlerle doğru bir şekilde kullanıldığı zaman yüksek verimli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. En azından ısınma ihtiyaçları için bu gibi yenilenebilir kaynaklara yönelmek sera gazlarının salınımını önemli oranda azaltacaktır.

SE inşa etmek, uzun yıllar boyunca yenilenebilir bir enerji kaynağından ısı elde etmek için yeterli olacaktır. Delgi işleminin maliyetli ve zor bir işlem olması ilk yatırım maliyetini arttırsa da işletme maliyetlerini azaltmak ilk yatırım maliyetini hızlı bir şekilde geri döndürecektir. 100m uzunluğunda bir SE'den 8600kg.cal ısı elde edilebilmektedir. Bu rakam 1m<sup>3</sup> doğalgazdan [4] alınacak Isı'ya eşdeğerdir.

**Anahtar Sözcükler:** Isı madenciliği, Yer kaynaklı ısı pompası, Sondaj eşanjörü, Enerji, Isı, Yenilenebilir enerji, Verimlilik, Isı köprüsü.

## **ABSTRACT**

### **THERMAL RESPONSE TEST FOR HEAT MINING APPLICATION**

Yavuz SAHIN

Energy Resources and Management / Department of Advanced Technologies

Eskişehir Technical University, Graduate Education Institute, January 2022

Supervisor: Dr. Öğr. Üy. Şükrü ARDALI

When it comes to underground riches, mining activities and ore richness usually come to mind. The acquisition of an economically valuable ore; It is possible through mining activities such as exploration, operation and enrichment. In line with the needs of human beings; Extracting and extracting natural resources such as energy, industrial raw materials or rare elements is an essential and important issue. The subject to be examined here is to show that the energy (heat) need can be met with reasonable costs from underground without resorting to all mining activities. In the study, it will be measured how much heat can be drawn from how deep or how much heat can be given by means of the Thermal Response Test [1] (TRT). Building Borehole Heat Exchangers [3] (BHE) for Ground Source Heat Pump [2] (GSHP) applications can be more efficient and economical with thermal response testing.

A thermal bridge is created with the SE, which is formed with impermeable pipes placed in boreholes drilled in the earth's crust. Thanks to this thermal bridge, 100Wh of heat transfer can be made from each meter of the placed SE. Considering that a total of 10kWh heat transfer can be achieved thanks to a 100m deep SE, it will be easier to understand the situation. Of course, this figure changes depending on the underground structure, so Thermal Response Tests are carried out and how much heat transfer can be made over a SE is measured. When this energy is used correctly with systems such as YKIP, it can be used as a highly efficient renewable energy source. At least, turning to such renewable sources for heating needs will significantly reduce greenhouse gas emissions.

Building the SE will be enough to generate heat from a renewable energy source for many years to come. Although drilling is a costly and difficult operation, it increases the initial investment cost, but reducing operating costs will quickly return the initial investment cost. 8600kg.cal heat can be obtained from a 100m long SE. This figure is equivalent to the Heat to be obtained from 1m<sup>3</sup> of natural gas [4].

**Keywords:** Heat mining, Ground source heat pump, Drilling heat exchanger, Energy, Heat, Renewable energy, Productivity, Thermal bridge.



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu dönem projesinin hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmam ile ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

(İmza)

.....

(Adı Soyadı)

**STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES**

I hereby truthfully declare that I have behaved in accordance with the scientific ethical principles and rules throughout the stages of preparation, data collection, analysis and presentation of my work; that I have cited the sources of all the data and information that could be obtained within the scope of this study, and included these sources in the references section. I also declare that, if a case contrary to my declaration is detected in my work at any time, I hereby express my consent to all the ethical and legal consequences that are involved.

.....

(Signature)

.....

(Name Surname)

## İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI .....	i
DÖNEM PROJESİ ONAYI.....	ii
APPROVAL FOR SEMESTER PROJECT .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES .....	ix
ŞEKİLLER DİZİN .....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ .....	xii
GRAFİKLER DİZİNİ .....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. YER KAYNAKLI ISI POMPASININ ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	1
3. TERMAL TEPKİ TESTİNİN AMACI.....	3
4. TEST KUYUSUNUN AÇILMASI VE SONDAJ EŞANJÖRÜNÜN YERLEŞTİRİLMESİ.....	4
5. TEST CİHAZININ TASARIMI VE KURULUMU .....	6
6. TESTİN UYGULANIŞI VE VERİLERİN ELDESİ.....	9
7. VERİLERİN İNCELENMESİ VE ISI TRANSFERİNİN HESAPLANMASI	11
8. ISIL İLETKENLİK (TERMAL KONDÜKTİVİTE) HASAPLANMASI.....	12
9. SONUÇ .....	13
KAYNAKÇA.....	15
DÖNEM PROJESİ HAZIRLAMA KONTROL LİSTESİ.....	17
ÖZGEÇMİŞ .....	18

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Carnot çevrimi basınç, hacim ve sıcaklık grafiği.....	2
Şekil 2.2 YKIP Çalışması ve iç akış şeması .....	3
Şekil 4.1 Kuyu kesiti .....	6

## GÖRSELLER DİZİNİ

<b>Görsel 4.1</b> Delgi işlemi .....	4
<b>Görsel 4.2</b> Boru yerleşimi .....	5
<b>Görsel 5.1</b> Triyak anahtarlama cihazı .....	7
<b>Görsel 5.2</b> Kontrol cihazı [9] .....	8
<b>Görsel 5.3</b> Debimetre .....	8
<b>Görsel 5.4</b> Kayıt cihazı [10] .....	9

## GRAFİKLER DİZİNİ

<b>Grafik 6.1</b> Giriş ve çıkış sıcaklık grafiği .....	10
<b>Grafik 7.1</b> Termal tepki testi sıcaklık farkı grafiği.....	11
<b>Grafik 8.1</b> Giriş-çıkış sıcaklığı regresyon eğrisi grafiği.....	12

## TABLÖLAR DİZİNİ

<b>Tablo 6.1</b> Termal Tepki Test sonuçları.....	10
---	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

YKIP	: Yer Kaynaklı Isı Pompası
SE	: Sondaj Eşanjörü
Q	: Kuyudan çekilen ısı (enerji) (Cal)
m	: Dolaşım sıvısı miktarı (g/saat)
c	: Dolaşım sıvısı özgül ısı (Cal/g°C)
$\Delta t$	: Kuyu giriş-çıkış sıcaklık farkı (°C)
COP	: Coefficient of Performance (Performans kat sayısı)
$\lambda_{eff}$	: Isıl iletkenlik (Termal Kondüktivite) (W/m/K)
H	: Kuyu derinliği (m)
k	: Sıcaklık eğrisinin logaritmik zamana karşı eğimi
W	: Watt
Cal	: Kalori
G	: Gram
°C	: Derece Celsius
$\pi$	: Pi sayısı
P	: Basınç
V	: Hacim
T	: Sıcaklık



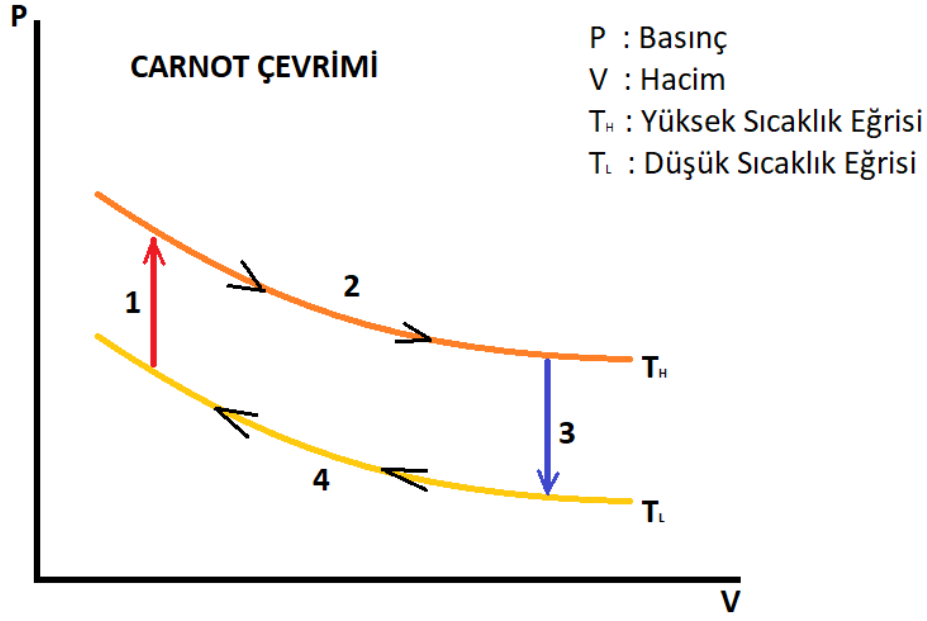
## 1. GİRİŞ

Yüksek miktarlarda enerji elde edebilmek için fosil yakıtlar kullanmak elbette ki uzun yıllardır kullanılan bir yöntem. Madencilik ve sondaj faaliyetleri ile kömür, doğalgaz veya petrol gibi başlıca yeraltı zenginliklerini yeryüzüne çıkarılmakta ve farklı biçimlerde insanlığın hizmetine sunulmaktadır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtlar; İklimlendirme, endüstriyel ısı ve elektrik enerjisi gibi çıktıkları olan ve bu çıktıları elde etmek için birçok işlem görmesi gereken yeraltı kaynaklarıdır. Bir fosil yakıtın, birçok zahmete girilerek yeryüzüne çıkarılması ve ısı üretmek için kullanılması yerine, sadece yeraltı ısısının yeryüzüne çıkarılmasını Isı Madenciliği olarak tanımlamak hiçte yanlış olmayacaktır.

Yeraltındaki Isı'yı faydalı bir çıktı haline getirebilmek 'Yer Kaynaklı Isı Pompası' (YKIP) ile mümkündür. YKIP verimli bir şekilde çalışabilmek için belli bir kütleye ve ısı alış-verişine ihtiyaç duyacaktır. YKIP'nın bu ihtiyacını karşılamak için farklı yeraltı sondaları yerleştirilebilir ancak YKIP için en verimli yöntem, dikey sondajlarla açılan deliklere (100-150m) Sondaj Eşanjörü (SE) yerleştirmektir. Eskişehir de yapılacak Termal Tepki Testi için, 105m derinliğinde açılan sondaj kuyusuna yerleştirilen 100m uzunluğundaki SE kullanılacaktır. Testin sonucunda yeraltından yapılabilecek ısı transferi ölçülmüş olacaktır. Bu sayede, uygulama yapılacak bölgenin ısı kapasitesi hesaplanarak, yapılacak YKIP uygulaması için daha verimli ve ekonomik seçimler yapılabilecek

## 2. YER KAYNAKLI ISI POMPASININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle ısı pompalarının çalışma prensibinden kısaca bahsetmekte fayda olacaktır. Bir ortamı ısıtmak için daha sıcak bir kütleden o ortama ısı çekmek gerekmektedir. Bir ortamı soğutmak için ise ortamdan daha soğuk bir kütleye ısı vermek gerekmektedir. Isı pompaları bu ısı aktarımını her iki yönde de yaparak konforlu ve ekonomik bir iklimlendirme sağlayabilmektedir. Isı pompalarının çalışma prensibi Carnot Çevrimine [5] dayanmaktadır. Fransız bilim insanı Sadi Carnot tarafından 1824 yılında ortaya atılan bu termodinamik çevrim; enerjinin sabit kaldığı,

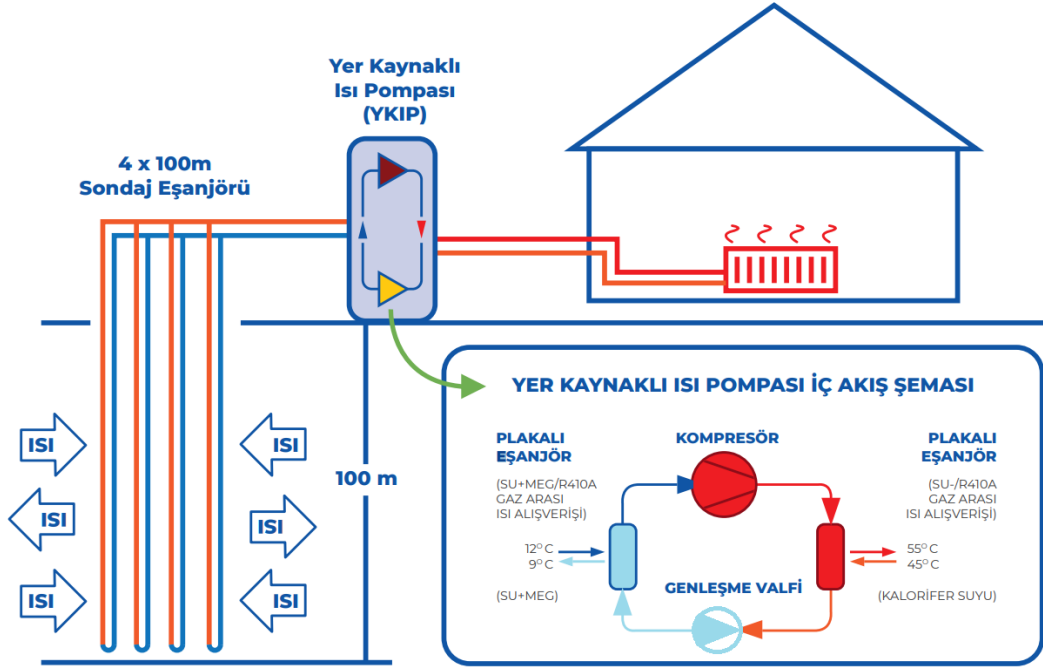


Şekil 2.1 Carnot çevrimi basınç, hacim ve sıcaklık grafiği

dışarıya kaçmadığı, en yüksek verimde çalışan ve kendini sürekli tekrarlayan kapalı bir çevrimdir (Şekil 2.1).

Kaynak kütle olarak havayı kullanan klimalar aslında birer Hava kaynaklı ısı pompasıdır [6]. YKIP ise adından da anlaşılacağı üzere kaynak kütle olarak yeraltını kullanır. Hava kaynağına kıyasla yerin altında mevsimsel sıcaklık değişimlerinden etkilenmeden ısı transferi yapabilmek YKIP'nın yüksek verimde çalışmasını sağlamaktadır. Isı pompalarının verimliliği COP (Coefficient of Performance) [7] değeri ile ölçülmektedir. COP değeri; cihazın sağladığı ısının tükettiği enerjiye oranıdır. Hava kaynaklı ısı pompalarında bu değer dış hava sıcaklığına bağlı olarak 1-4 arasında değişmektedir. Yer Kaynaklı Isı Pompalarında ise, mevsim sıcaklıklarına göre daha sabit kalan yeraltı sıcaklığı sayesinde COP değeri 3,5-7 arasında kalabilmektedir [8]. COP değeri YKIP cihazının yeraltından yapması gereken ısı transferi için belirleyici kriterdir. Bu değere göre, YKIP cihazının yeraltından transfer etmesi gereken ısı miktarı belirlenecek ve SE dizaynı yapılacaktır.

YKIP iç akış şeması (Şekil 2.2) ve carnot çevrimini (Şekil 2.1) birlikte düşünerek, soğutucu akışkan gaz çevrimi ile bir ortam için ısıtma yapıldığı düşünülürse; 1 numaralı kısımda kompresör ile basıncı arttırılan gaz bir miktar sıvılaşarak 2 numaralı kısma ilerler. Sıvı+gaz halindeki akışkan 2 numaralı kısımda ortama ısı verdikten sonra sıcaklığı ve basıncı düşürerek 3 numaralı kısma geçer. 3 numaralı kısımda genişleme valfi ile hızla



Şekil 2.2 YKIP Çalışması ve iç akış şeması

basınç kaybeden akışkan tekrar tamamen gaz haline geçerek 4 numaralı kısma geçer. Hızla genişlediği için sıcaklığı çok fazla düşen Soğutucu akışkan gazın tekrar 1 numaralı kısma geçebilmesi için ısı alması gerekmektedir. Gaz, bu ısıyı SE marifeti ile yeraltından çeker ve aynı döngüye tekrar başlar. Sondaj Eşanjörleri ile birlikte bu çevrimi gerçekleştirebilen YKIP, 1 birim elektrik kullanarak yaklaşık 3,5-7 birim ısıtma yapabilir.

### 3. TERMAL TEPKİ TESTİNİN AMACI

Isı madenciliği ile ısı transferi trafiğini yönetebilmek ve bu enerjiyi istenilen formda kullanabilmek için YKIP kullanılmaktadır. Dik kuyulu bir YKIP sistemini tasarlarken cihaz için gerekli ısı transferinin sağlanması elbette ki çok önemlidir. Bu sebeple yeterli derinlikte delgiler yapılarak YKIP cihazının ihtiyacını karşılamak üzere (SE) yerleştirmek gerekir. Dik kuyulu bir YKIP uygulaması için termal tepki testi yapmak, özellikle büyük kapasiteli projelerde oldukça önemlidir. Termal tepki testi sayesinde, yerleştirilecek her bir metre SE'den ne kadar ısı çekilebileceği belirlenir ve proje için toplam kaç metre SE gerektiği hesaplanır. Bu sayede YKIP'nın daha verimli çalışması sağlanır ve gereksiz delgi maliyetlerinden tasarruf edilmiş olur.

#### 4. TEST KUYUSUNUN AÇILMASI VE SONDAJ EŞANJÖRÜNÜN YERLEŞTİRİLMESİ

Delgi işlemi (Görsel 4.1) pahalı ve meşakkatli bir işlemdir. YKIP için en iyi performansı sağlamak ve inşaat sahasında başka alanlara engel teşkil etmeyecek şekilde delgi yerleri belirlenmelidir. Toplam delgi miktarı termal tepki testi sayesinde belirleneceği için ilk kuyu da bu test yapılır. Yapılan test için açılan kuyu, Eskişehir İnönü



Görsel 4.1 Delgi işlemi

ilçesine bağlı Dutluca Mahallesi'nde bir maden şantiyesidir. Kuyu çapı 114 mm, derinliği 105 metre derinliğindedir (Şekil 4.1). 105 metre delgi yapıldıktan sonra delici takım ve sondaj makinesi kuyudan çekilerek tek U tipindeki SE kuyuya yerleştirilmiştir. SE olarak 100m boyunda 2 adet 40mm HDPE 100 boru (Görsel 4.2) kullanılmıştır. Borular kuyuya indirilmeden önce, U şeklinde paslanmaz bir boru ile birbirine bağlanmıştır.

SE, ulaşacağı derinlik itibarı ile en az 10 bar çalışma basıncına uygun olarak seçilmiştir. Kuyu da delgi sonrası bir basınç ölçümü de yapılmış ve bu sayede kuyu içerisindeki su seviyesi ölçülebilmektedir. Borunun basınç dayanımı et kalınlığına bağlı olarak değişir. Et kalınlığı ise ısı iletimi için önem arz etmektedir. Zira et kalınlığının artması ısı geçirgenliği azaltacak ve SE performansını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu



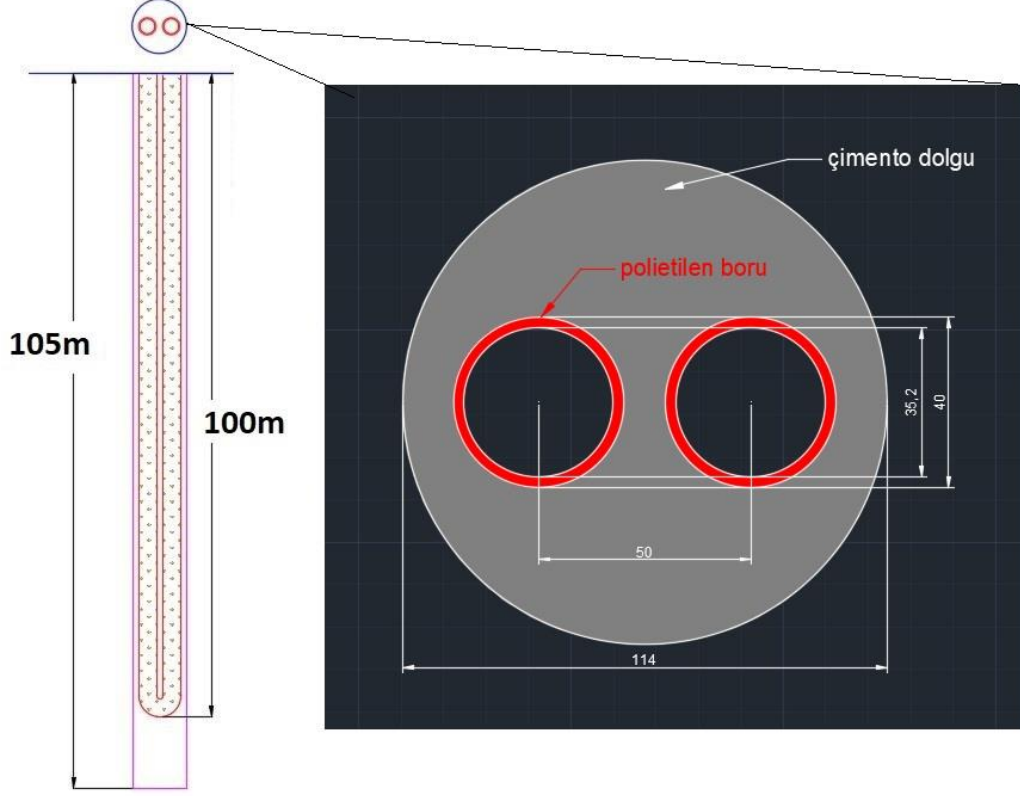


**Görsel 4.2** *Boru yerleşimi*

sebeple basınç dayanımı ile birlikte et kalınlığını da gözetmek önemlidir. SE'nü yerleştirmeden önce yapılan kaynak işlemleri için sızdırmazlık testi yapılmıştır. Sondaj Eşanjörünün kuyu içine sabitlenmesi ve sağlıklı bir ısı iletimi gerçekleştirebilmesi için kuyu cidarı ile SE arasında dolgu enjeksiyonu yapılmıştır. Enjeksiyon malzemesi olarak çimento şerbeti uygulanmıştır. Bu çimento şerbetinin yer altındaki çatlaklara ve boşluklara nüfus etmesi kaliteli bir ısı transferi için çok önemlidir. Bu sebeple çimento şerbetinin hava kabarcıklarının olmaması ve akışkan olması gereklidir. Bu bağlamda gerekli katkı maddeleri katılmıştır. Enjeksiyon, boşluk kalmayacak biçimde, kuyu dibinden yukarıya doğru bir enjeksiyon borusu marifeti ile yapılmıştır. Gerekli kuyu ağzı bağlantıları yapılarak SE test için hazır hale getirilmiştir.

Tek U şeklindeki SE için diğer bir parametre iki borunun kuyu kesitindeki yerleşimidir. Gidiş ve geliş hattı olarak iki boru arasında oluşan ısı köprülerinin etkisini azaltmak adına iki boru arasındaki mesafeyi mümkün olduğunca arttırmak fayda

sağlayacaktır. Bunu sağlamak adına kuyu boyunca iki boru arasına ayırıcılar yerleştirilmelidir.



Şekil 4.1 Kuyu kesiti

## 5. TEST CİHAZININ TASARIMI VE KURULUMU

Termal tepki testi yapabilmek için cihaz tasarımı, ısı vermek veya ısı çekmek olarak iki şekilde yapılabilir. Burada tasarlanan cihaz ısı vermek üzerine tasarlanmıştır. Bunun en büyük sebebi, soğutma yapabilecek bir cihaz yapımının daha maliyetli oluşudur. Cihaz üzerinde 3mm et kalınlığında paslanmaz çelikten imal edilmiş, 95LT kapasiteli bir su tankı mevcuttur. Tank içerisine 3 adet ısıtıcı rezistans yerleştirilmiş ve tank izole edilmiştir. Tank içerisindeki rezistansların toplam ısıtma gücü, 2 adet 10kW ve 1 adet 6kW olmak üzere toplam 26kW'dır. Bu rezistansların beslemeleri Triyak (Görsel 5.1) adı verilen bir anahtarlama elemanı sayesinde oransal olarak beslenebilmektedir. Bu sayede tank içerisindeki su istenilen sıcaklık seviyesinde tutulabilmektedir. İstenilen sıcaklık ise (Görsel 5.2) kontrol cihazı ile ayarlanabilmektedir. Tank içerisinde ısıtılan su, bir dolaşım pompası ile Sondaj Eşanjörüne iletilir. Bu aşamada suyun debisini ayarlamak için bir

şiber vana ve debimetre (Görsel 5.3) kullanılmıştır. Sirkülasyon pompası, dolaşımdaki suyu 40mm çapındaki U borudan (Şekil 4.1) oluşan SE'nin içinden dolaştırarak tekrar tanka ulaştıracak ve bu esnada oluşan basınç kayıplarını karşılayacak şekilde seçilmiştir. U borunun toplam uzunluğu yaklaşık 204m'dir. Sıcaklık ayarının yapılabilmesi ve kayıt tutulabilmesi için SE giriş ve çıkış tesisatına sıcaklık ölçen sensörler yerleştirilmiş ve yalıtım yapılmıştır. Cihazda, ölçüm yapılırken kayıt tutabilmek için bir kayıt cihazı (Görsel 5.4) kullanılmıştır. Kayıt cihazı 30 dakikalık aralıklarla giriş ve çıkış sıcaklıklarını kayıt etmek üzere ayarlanmıştır. Test işlemi bittikten sonra kayıt cihazının Ethernet çıkışı ile bilgisayar bağlantısı yapılarak kayıtlar bilgisayara xlsx uzantılı bir dosya şeklinde aktarılabilmektedir. Bu işlem internet bağlantısı ile uzaktan da yapılabilmektedir. Sıcaklık ayarı kontrol cihazı ile sabitlendikten sonra su dolaşım miktarı da debimetre gözlenerek şiber vana yardımı ile sabitlenir cihaz kayıt almak için uygun hale gelmiş olur.



**Görsel 5.1** Triyak anahtarlama cihazı





Görsel 5.2 Kontrol cihazı [9]



Görsel 5.3 Debimetre





Görsel 5.4 Kayıt cihazı [10]

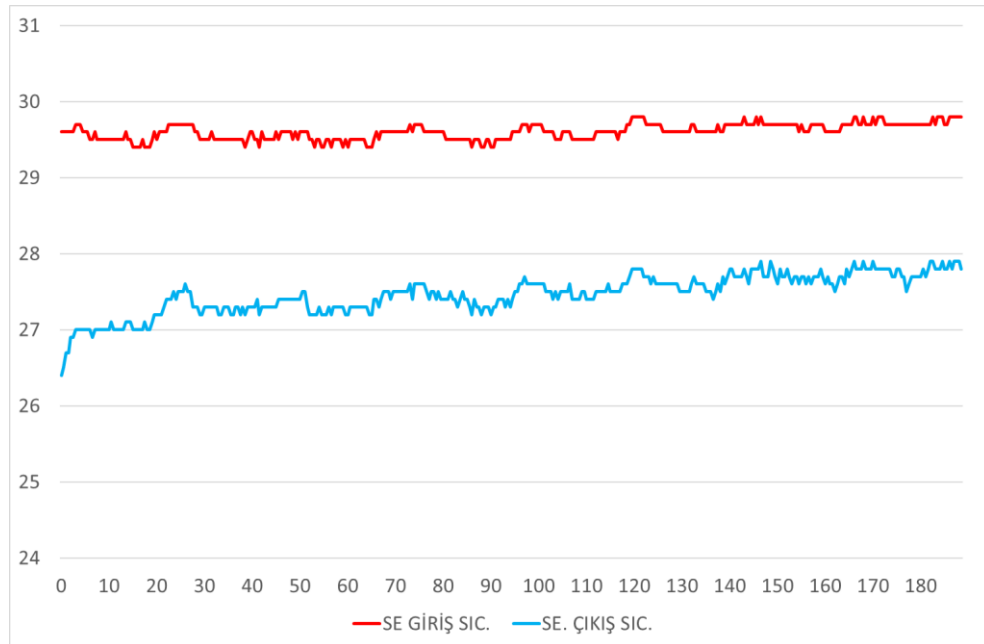
## 6. TESTİN UYGULANIŞI VE VERİLERİN ELDESİ

Cihaz ısı kaynağı olarak elektrikli rezistans kullanacağı için yeterli kesit alanına sahip bir kablo yardımı ile elektrik şebekesine bağlanmış ve kaçak akım rölesi ile elektrik kaçaklarına karşı önlem alınmıştır. Gerekli tesisat bağlantıları da yapıldıktan sonra dolaşım suyunun SE giriş sıcaklığı 30 °C, dolaşım debisi ise 3000 LT/h olarak sabitlenerek test 26-10-2021 saat 14:30 da başlatılarak, 03-11-2021 saat 10:00 da sonlandırılmıştır. Test yaklaşık 190 saat boyunca uygulanmış ve 30 dakikada bir giriş-çıkış sıcaklıkları kayıt altına alınmıştır. Test sonuçları tablo (Tablo 6.1) halinde bilgisayara aktarılmıştır. Aktarılan giriş çıkış sıcaklıklarına göre bir grafik (Grafik 6.1) oluşturulmuş ve incelenmiştir. SE ile aktarılan ısı miktarı sabittir ki test ile hesaplamak istediğimiz değer de tam olarak budur. Bir başka deyişle sıcaklık farkı SE içerisindeki dolaşım suyunun hızına bağlı olarak değişse de ısıl değer değişmeyecektir.

Grafiğin iki girdisi testin süresi uzadıkça birbirine yaklaşacaktır ancak bu sürenin uzunluğu kurulum yapılacak cihazın çalışma süresine bağlı olarak ayarlanabilir. Cihazın çalışma verimine ve süresine uygun olarak test süresini bilmek, SE uzunluğunu hesaplamak için bize yol gösterici olacak bir başka veridir.

**Tablo 6.1** Termal Tepki Test sonuçları

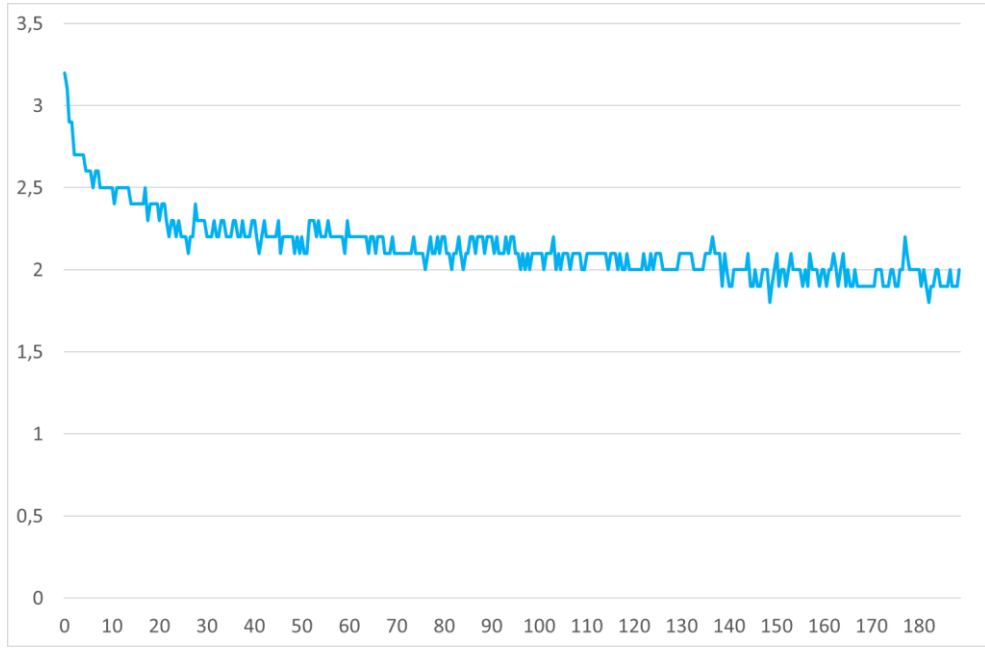
Tarih	Saat	SE giriş Sıc. (T <sub>1</sub> ) (°C)	SE çıkış Sıc. (T <sub>2</sub> ) (°C)
26.10.2021	14:30:00	29,6	26,4
26.10.2021	20:30:00	29,5	27
27.10.2021	02:30:00	29,5	27
27.10.2021	14:30:00	29,7	27,4
27.10.2021	20:30:00	29,5	27,3
28.10.2021	02:30:00	29,5	27,2
28.10.2021	14:30:00	29,6	27,4
28.10.2021	20:30:00	29,5	27,3
29.10.2021	02:30:00	29,4	27,2
29.10.2021	14:30:00	29,6	27,5
29.10.2021	20:30:00	29,6	27,5
30.10.2021	02:30:00	29,5	27,5
30.10.2021	14:30:00	29,6	27,6
30.10.2021	20:30:00	29,6	27,5
31.10.2021	02:30:00	29,5	27,4
31.10.2021	14:30:00	29,8	27,8
31.10.2021	20:30:00	29,6	27,6
1.11.2021	02:30:00	29,6	27,6
1.11.2021	14:30:00	29,7	27,8
1.11.2021	20:30:00	29,7	27,7
2.11.2021	02:30:00	29,7	27,6
2.11.2021	14:30:00	29,7	27,8
2.11.2021	20:30:00	29,7	27,8
3.11.2021	02:30:00	29,7	27,7



**Grafik 6.1** Giriş ve çıkış sıcaklık grafiği

## 7. VERİLERİN İNCELENMESİ VE ISI TRANSFERİNİN HESAPLANMASI

Test, 190 saat gibi uzun bir süre tatbik edilmiş ve bu sayede hesaplama verileri için daha kesin sonuçlar alınabilmiştir. Normalde minimum 50 saatlik bir test süresi de yeterli olacaktır [11]. Testin ilk saatlerinde sıcaklık farkının  $2,7^{\circ}\text{C}$  - $3^{\circ}\text{C}$  aralığında olduğu ancak ilk günden sonra yaklaşık  $2^{\circ}\text{C}$  üzerinde kaldığı gözlemlenmektedir. Test cihazının aralıksız çalışması, sıcaklık farkını azaltsa da  $2^{\circ}\text{C}$  altına çok fazla düşürememiştir (Grafik 7.1). Elde edilen veriler ile yapılacak ilk hesaplama, SE'den elde edilen Isı'nın hesaplanmasıdır. Bu hesaplama yapılırken Temel Isı Formülü [12] kullanılmaktadır.



**Grafik 7.1** Termal tepki testi sıcaklık farkı grafiği

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (7.1)$$

Burada; Q ısı (Cal.), m Dolaşımdaki suyun debisi (g/saat), c suyun özgül ısısı (Cal/g°C) ve  $\Delta t$  suyun giriş çıkış sıcaklık farkıdır ( $T_1-T_2$ ) (°C).

Termal tepki testi yapılırken elde edilen verilere göre bu hesaplamayı yapmak, uygulama yapılan bölgede inşa edilen SE'den elde edilecek Isı'yı hesaplama olanağı sağlayacaktır. Test için dolaşım sıvısının debisi (m) 3.000.000 gr/saat ( $3\text{m}^3/\text{saat}$ ) ayarlanmış ve test süresince sabit tutulmuştur. Test için dolaşım sıvısı olarak su

kullanılmış ve suyun özgül ısı (c) değeri olan 1, hesaba dâhil edilmiştir. Son olarak, 190 saatlik test için ortalama sıcaklık farkı ( $\Delta t$ )  $2,14^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Buna göre;

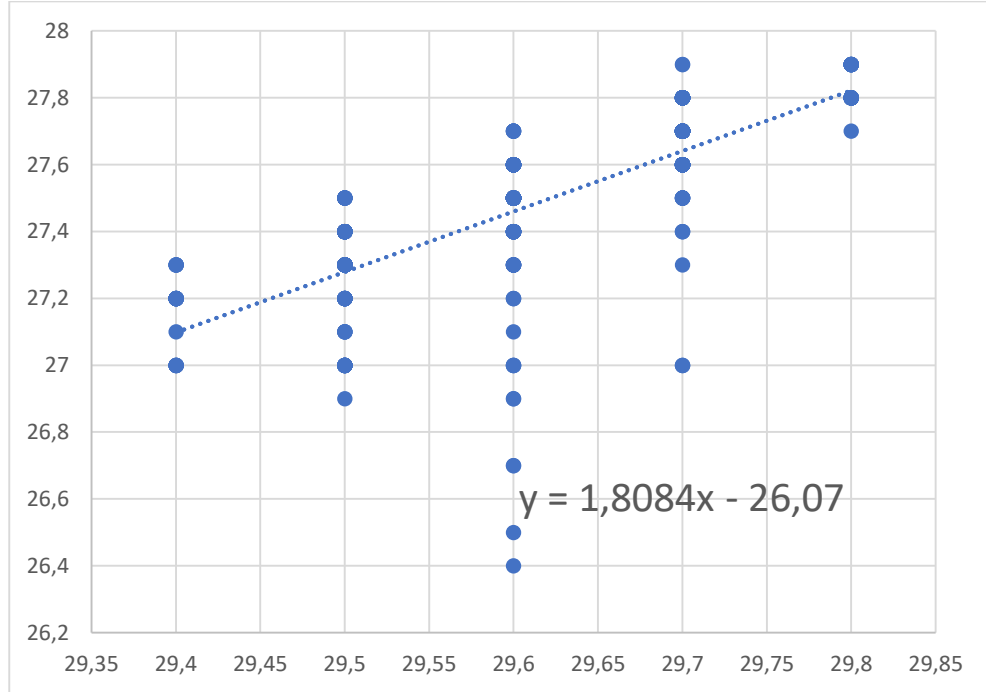
$$Q = \frac{3.000.000\text{gr}}{\text{saat}} * \frac{1\text{Cal}}{\text{gr}^{\circ}\text{C}} * 2,14^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 6.420\text{kg.cal/saat} = 7464\text{Wh}$$

Yapılan test sonucunda 100 metre uzunluğundaki SE2'den, ortalama 7464Wh ısı transferi yapılabileceği görülmüştür. Bu, metre başına yaklaşık 75Wh/m ısı aktarılabileceğini göstermektedir. Kullanılacak YKIP için kaç metre SE'ne ihtiyaç duyulacağı bu şekilde hesaplanacaktır.

## 8. ISIL İLETKENLİK (TERMAL KONDÜKTİVİTE) HASAPLANMASI

Yeraltı yapısal özellikleri, ısı iletimi ve ısı depolama için oldukça belirleyicidir. Uzun yıllar ısı transferi yapılacak ise yeraltı yapısı hakkında ne kadar bilgimiz olursa o denli sağlıklı bir model geliştirebiliriz. Kuyu genişliği, derinliği, kuyular arası mesafe, kuyu deseni ve eşanjör tipleri gibi birçok parametre bu yapısal özellikler ışığında dizayn edilmektedir.



**Grafik 8.1** Giriş-çıkış sıcaklığı regresyon eğrisi grafiği

SE gibi düzlemsel bir kaynak için ortalama akışkan sıcaklığının logaritmik zaman eğrisi belirlenerek yapılır [13]. Termal tepki testi ile elde edilen giriş-çıkış sıcaklıkları ile oluşturulan regresyon eğrisi grafiği (Grafik 8.1) ve 8.1 numaralı formül kullanılmıştır[11].

$$\lambda_{eff} = \frac{Q}{4\pi Hk} \quad (8.1)$$

Burada;  $\lambda_{eff}$  ısı iletkenlik (W/m/K), H SE uzunluğu (m) ve k sıcaklık eğrisinin logaritmik zamana karşı eğimi, Q Isı'dır.

Regresyon eğrisine göre k değeri 1,8084 olarak hesaplanmıştır. Buna göre;

$$\lambda_{eff} = \frac{7464W}{4 * \pi * 100 * 1,8084} = 3,28W/m/K$$

Termal tepki testinin yapıldığı bölgede yeraltı yapısının ısı iletkenliği 3,28W/m/K olarak hesaplanmıştır. Bu değer daha kapsamlı hesaplamaların yapılabilmesi için ileride yapılacak çalışmalar için kullanılacaktır. Bu çalışmada daha kapsamlı hesaplamalara gidilmemiş ve çalışma burada sonlandırılmıştır.

## 9. SONUÇ

Gelişen teknoloji, büyüyen şehirler ve sanayi tesisleri ile birlikte dünyada enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Artan enerji maliyetleri de tüketicileri enerji verimli ürünler kullanmaya mecbur kılmış durumda. Devletlerin enerji politikaları da bu yönde sürekli güncellenmekte ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması teşvik edilmektedir. Yeni enerji kaynakları bulunması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması adına birçok çalışma yapılmasının yanı sıra enerji tüketiminin de en aza indirgenmesi adına yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Hatta enerji tasarrufu adına bina yalıtımı gibi faydalı modelleri yasal zorunluluk haline getirmek günümüzde uygulanan yaptırımlardandır. Her ne kadar enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedeflense de asıl ve daha önemli olan çevre sağlığıdır. Enerji kaynaklarına ulaşmak için tabiatta sebep olunan tahribat, özellikle fosil yakıtların sebep olduğu hava kirliliği, CO<sub>2</sub> salınımının neden olduğu sera etkisi gibi sayabileceğimiz birçok olumsuzluk, yenilenebilir enerjinin ve enerji tasarruflu cihazların sadece ekonomik değil aynı zamanda çevreci de bir çözüm olduğunu bize gösteriyor.

Kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtları madencilik ve sondaj marifeti ile çıkarıp enerji kaynağı olarak kullanabiliyoruz. Bunlara ek olarak daha çevreci olan rüzgâr enerjisi santralleri ve güneş enerjisi santralleri mevcut. Bu çalışmada dikkat çekmek istenen enerji kaynağı ise zaten tabiatta bolca mevcut olan “ISI”. Bu bağlamda; özellikle ısıtma ve soğutma için gerekli enerjinin tabiattan elde edilebildiği “Isı Pompası” cihazlarının oldukça verimli ve çevreci cihazlar olduğunu söyleyebiliriz. Isı Pompalarında kaynak kalitesi ve devamlılığı tıpkı diğer yöntemlerde olduğu gibi çok önemlidir. YKIP uygulamasında enerji kaynağı; mevsim sıcaklıklarından etkilenmeyen büyük kütlesi ile muazzam bir ısı deposu olan yeraltıdır. YKIP uygulamalarında elde edilen enerji ilk bakışta jeotermal enerji gibi gözükse de aslında termal suya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle de uygulama alanı sınırsızdır, yani yer küreye ayak basabildiğiniz her yer sizin için bir enerji kaynağıdır. Dikey Sondaj Eşanjörleri yerleştirilerek yüksek miktarlarda ısı alışverişi yapılabilmektedir. Sondaj Eşanjörleri marifeti ile yeraltından ısı çekilebildiği gibi ısı depolaması da yapılabilmektedir. Kışın ortam ısıtması yapmak için yeraltından ısı çekilirken, yazın ihtiyaç duyulan soğutma enerjisi depolanmaktadır. Yazın ise ortamda soğutma yaparken yeraltına ısı verilir, bu sayede de kışın ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisini depolanmış olur. Bu durumda ısı depolanacak ya da ısı çekilecek yeraltı yapısı hakkında daha çok bilgi sahibi olmak ihtiyacımız olan enerjiyi verimli kullanabilmek adına bize büyük avantaj sağlayacaktır. Bu çalışmada yapılan termal tepki testi ile ısı pompası uygulaması yapılacak bir bölgenin ısı iletimi için verimliliği ölçülmüş ve SE tasarımı hakkında bir ön çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışma neticesinde, bölgede inşa edilecek bir SE ile ne kadar ısı aktarılacağı hesaplanarak, yapılacak YKIP yatırımının mali boyutunu ve sistemin tasarımını daha net bir şekilde oluşturmak mümkün olacaktır.

## KAYNAKÇA

- [1] S. Gehlin, “Thermal response test: in situ measurements of thermal properties in hard rock”, PhD Thesis, Luleå tekniska universitet, 1998.
- [2] A. M. Omer, “Ground-source heat pumps systems and applications”, *Renewable and sustainable energy reviews*, c. 12, sy 2, ss. 344-371, 2008.
- [3] J. Acuña, “Improvements of U-pipe borehole heat exchangers”, PhD Thesis, KTH, 2010.
- [4] “BOTAŞ Canlı Sözlük”. <https://www.botas.gov.tr/Sozluk?Kelime=796> (erişim 21 Ocak 2022).
- [5] “Carnot Çevrimi Nedir - Mühendis Beyinler”, 21 Temmuz 2021. <https://www.muhendisbeyinler.net/carnot-cevrimi-nedir/> (erişim 20 Ocak 2022).
- [6] P. Carroll, M. Chesser, ve P. Lyons, “Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 134, s. 110275, Ara. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110275.
- [7] “Coefficient of performance - Energy Education”. [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Coefficient\\_of\\_performance](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Coefficient_of_performance) (erişim 21 Ocak 2022).
- [8] L. Valizade, “Ground Source Heat Pumps”, *JOCET*, ss. 216-219, 2013, doi: 10.7763/JOCET.2013.V1.49.
- [9] “Siemens RWD62 Universal Kontrol Cihazı”. <https://www.otomatikkontrol.com.tr/RWD62-Universal-Kontrol-Cihazı,PR-1030.html> (erişim 21 Ocak 2022).
- [10] “Dixell Dijital Web Tabanlı Kontrol Cihazları XWEB500-5G000 EVO”, *Teksomar - Teknolojik Online Market*. <https://www.teksomar.com/dixell-dijital-web-tabanlı-kontrol-cihazlari-xweb500-5g000-evo> (erişim 22 Ocak 2022).
- [11] B. Sanner, G. Hellström, J. Spitler, ve S. Gehlin, “Thermal response test—current status and world-wide application”, içinde *Proceedings world geothermal congress*, 2005, c. 1436, s. 2005.

[12] “Monzó, P. Comparison of Different Line Source Model Approaches for Analysis of Thermal Response Test in a U-Pipe Borehole Heat Exchanger. Master’s Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Sweden, June 2011.

[13] “Gehlin, S. and Nordell, B.: Thermal Response Test - a Mobile Equipment for Determining Thermal Resistance of Borehole. - Proc. Megastock ’97, 103- 108, 1997.



## DÖNEM PROJESİ HAZIRLAMA KONTROL LİSTESİ

Evet Hayır

Dönem projesi, “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’na uygun olarak yazıldı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dış kapak ve iç kapak sayfası eklerde belirtilen şekilde düzenlendi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ön sayfalar i, ii, iii şeklinde Romen rakamları ile numaralandırıldı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dizinler, “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’na göre sıralandı ve metin içindeki yerleşime göre sayfa numaraları verildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Özet ve Abstract hazırlandı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dönem projesi onay sayfası, “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’na uygun olarak hazırlandı ve imzalandı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi sayfası imzalandı.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simgeler, kısaltmalar, tablolar ve şekillerin tamamı kontrol edilerek ilgili dizinde gösterildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ana metinde harf karakteri, büyüklüğü ve satır aralıkları “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’na uygun olacak şekilde düzenlendi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tablolar/çizelgeler, şekiller ve denklemler metin içine “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’na uygun şekilde yerleştirildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kaynakça “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’na göre düzenlendi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kaynakların tamamına dönem projesi içerisinde “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’na uygun atıfta bulunularak kaynakça bölümünde yer verildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etik Kurul onayları gerekli ise dönem projesine eklendi (Etik Kurul onayı gerekmiyorsa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anket, görüşme veya veri formları kullanıldı ise ilgili kurumlardan alınan izin yazıları ve formlar dönem projesine eklendi (Bu formlar kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ekler “Dönem Projesi Yazım Kılavuzu’nda belirtildiği şekilde sunuldu (Ek kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(Ek kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak). Dönem projesinin tamamı tek bir dosyada WORD ve PDF formatında kaydedilerek bir CD/DVD içinde Enstitüye teslim edildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dönem Projesi hazırlama kontrol listesi imzalanarak proje ile birlikte enstitüye teslim edildi.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

“Isı Madenciliği İçin Termal Tepki Testi Uygulaması” başlıklı dönem projesi, yukarıdaki listede yer alan konularla ilgili olarak tarafımızca kontrol edilmiş ve gerekleri yerine getirilmiştir.

.../.../.....

.....  
(İmza)

.....  
(İmza)

.....  
(Öğrencinin Adı SOYADI)

.....  
(Danışmanın Unvanı, Adı SOYADI)

.....  
(İmza)

.....  
(Anabilim Dalı Başkanının, Unvanı, Adı SOYADI)

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Yavuz ŞAHİN  
**Yabancı Dil** : İngilizce  
**Doğum Yeri ve Yılı** : İnegöl / 1984  
**E-Posta** : yavuzsahin1626@gmail.com

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2003-2007, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği
- 2007-2009, Maden Mühendisi, Habur LTD. ŞTİ, Şantiye Şefi
- 2009-2011, Maden Mühendisi, AHS Madencilik LTD. ŞTİ, Şantiye Şefi
- 2011 - Günümüz, Kurucu ortak Maden Mühendisi, GEMPA Müh. A.Ş., Yönetim kurulu Bşk. Yrd.

### Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2021, Maden Şantiyeleri İçin Yer Kaynaklı Isı Pompası (YKIP) Uygulaması, Maden Mühendisleri Odası 10.Uluslararası Delme Patlatma Sempozyumu poster bildiri. Antalya

### Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2007, TMMOB Maden Mühendisleri Odası