

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENERJİ BİLİM DALI**

**TOPRAK-HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ SİSTEMİNİN  
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ**

**Metin KURT**

**Danışman  
Doç. Dr. Leyla ÖZGENER**



**MANİSA-2019**

**Metin  
KURT**

**TOPRAK-HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ SİSTEMİNİN  
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ**

**2019**

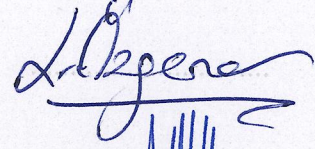
**Tez Sırtı Örneği**

## TEZ ONAYI

Metin KURT tarafından hazırlanan " **TOPRAK-HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ SİSTEMİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ**" adlı tez çalışması 19/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.


**Danışman**

**Doç. Dr. Leyla ÖZGENER**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



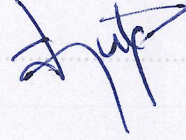
**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Yiğit AKSOY**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Koray ÜLGEN**  
Ege Üniversitesi



## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Metin KURT**



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ .....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ .....	1
2. ENERJİ KAYNAKLARI VE YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	6
2.1. Güneş Enerjisi .....	6
2.2. Hidrolik Enerji.....	7
2.3. Biyokütle Enerjisi.....	7
2.4. Rüzgâr Enerjisi.....	7
2.5. Jeotermal Enerji.....	8
3. DÜŞÜK ENTALPİLİ JEOTERMAL KAYNAKLARDAN FAYDALANMA YÖNTEMİ THID.....	9
3.1. Jeotermal Enerji.....	9
3.2. Toprak Hava Isı Değiştiricisi .....	10
4. MATERYAL VE YÖNTEM .....	11
4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği .....	11
4.1.1. Katı Model ve Sayısal Ağ Çalışmaları .....	12
4.1.2. Analiz Çalışmaları .....	15
5. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZLERİ.....	17
5.1. Saat 22:02 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi Sonuçları.....	17
5.2. Saat 23:47 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi Sonuçları.....	20
5.3. Saat 03:39 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi Sonuçları.....	23
5.4. Saat 06:11 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi Sonuçları.....	25
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	28
6.1. Sonuçlar.....	28
6.2. Öneriler.....	29
KAYNAKLAR .....	30
ÖZGEÇMİŞ .....	32

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

**THID:** Toprak Hava Isı Değiştiricisi

**HAD:** Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği

**CFD:** Computational Fluid Dynamics

**COP:** Performans katsayısı

**CAD:** Computer Aided Design

**cp:** Özgöl ısı (kJ/kg.K)

**h:** Isı taşınım katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)

**k:** Isı iletim katsayısı (W/mK)

**P:** Basınç (Pa)

**Re:** Reynolds sayısı

**ρ:** Akışkanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Yeraltı hava tüneli kurulumunun şematik gösterimi.....	2
Şekil 1.2. THID tesisatının şematik gösterimi .....	3
Şekil 3.1. Tipik bir toprak-hava ısı değiştiricisi sistemi .....	10
Şekil 4.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği akış şeması.....	11
Şekil 4.2. Toprak hava ısı değiştiricisi sisteminin üç boyutlu modeli .....	13
Şekil 4.3. Toprak hava ısı değiştiricisi sisteminin üç boyutlu modeli .....	13
Şekil 4.4. Toprak hava ısı değiştiricisi sisteminin sayısal ağ gösterimi.....	14
Şekil 4.5. Toprak hava ısı değiştiricisi sisteminin sayısal ağ gösterimi.....	14
Şekil 4.6. Toprak hava ısı değiştiricisi sisteminin sınır şartları .....	15
Şekil 5.1. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri .....	18
Şekil 5.2. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri ..	19
Şekil 5.3. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri ..	19
Şekil 5.4. Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı .....	20
Şekil 5.5. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri .....	21
Şekil 5.6. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri ..	21
Şekil 5.7. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri ..	22
Şekil 5.8. Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı .....	22
Şekil 5.9. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri .....	23
Şekil 5.10. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri	24
Şekil 5.11. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri	24
Şekil 5.12. Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı .....	25
Şekil 5.13. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri .....	26
Şekil 5.14. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri	26
Şekil 5.15. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri	27
Şekil 5.16. Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı .....	27

## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 4.1. Analizlerde kullanılan çözücü ayarları .....	16
Tablo 5.1. Analizlerde kullanılan parametre değerleri.....	17
Tablo 6.1. Deneysel, nümerik analiz sonuçları ve aralarındaki bağıl hata oranı	28





## TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Doç. Dr. Leyla ÖZGENER'e, çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Önder ÖZGENER'e, yüksek lisans eğitimim sırasında desteğı ve ANSYS yazılımı konusunda her türlü imkan ve desteğı veren Anova Mühendislik'e, çalışmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım Yüksek Makine Mühendisi Tansel SARI'ya, Makine Mühendisi Bektaş Baran TOPRAK'a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Metin KURT  
Manisa, 2019

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TOPRAK-HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ SİSTEMİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ

Metin KURT

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Leyla ÖZGENER

Bu çalışmada Ege Üniversitesi'nde kurulu olan toprak-hava ısı değıştiricisi sisteminin deneysel verileri, gerçekleştirilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı (HAD) analizlerinin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğı çözümleri için ANSYS 19.0 programı kullanılmıştır. Yapılan bu kıyaslama sonucunda analiz verilerinin, deneysel veriler ile arasındaki bağıl hata oranı %9,83 bulunmuştur.

Sonuç olarak, toprak-hava ısı değıştiricilerinin termal analizleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı (HAD) analizleri sonuçları ile kabul edilebilir düzeyde örtüşmektedir. Bu tip deneysel modeller kurulmadan önce ön çalışma maksadıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı (HAD) analizleri gerçekleştirilebilir ve sistem buna göre tasarlanabilir.

Doğruluğı deneysel veriler tarafından teyit edilen analiz modeli sayesinde istenildiğı takdirde parametrik olarak çalışma imkânı olacaktır. Örnek olarak kullanılan boru çapı değıştirilebilir ve sistemi tekrar kurmadan, analizler sayesinde çıktı parametresi alınabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı, Toprak-Hava Isı Eşanjörü, HAD, Fluent, THID

2019, 31 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF EARTH-AIR HEAT EXCHANGER**

**Metin KURT**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Leyla ÖZGENER**

In this study, experimental results of ground-air heat exchanger system, which was installed at Ege University, and the analysis results of Computational Fluid Dynamics (CFD) has been compared by using ANSYS 19.0 software. It has been found that computational error between the results of the analysis and experimental results is 9.83%.

Due to the computational results, the thermal analysis of ground-air heat exchanger which is within the acceptable computational error range which can be found in the current literature. Before the establishment of such experimental models, Computational Fluid Dynamics (CFD) can be performed for preliminary study and the system can be designed accordingly.

The accuracy of this model's analysis which is confirmed by the experimental data, proves that it should work in different parameters. As an example, the diameter of the pipe can be changed, and the output can be obtained by analysis without re-installing the system.

**Keywords: CFD, Fluent, Computational Fluid Dynamics, EAHE**

**2019, 31 pages**

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu ihtiyacı gidermek için büyük oranda fosil yakıt kaynakları kullanılmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarının hızla tükenmesi, ayrıca kullanımı yüzünden çevreye verdiği zararlardan dolayı alternatif enerji kaynakları bulunması ve kullanılması ihtiyacı doğmuştur. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kullanımını artırmak, endüstriyel alanların yanında konutlarda da yeşil ev uygulamaları gibi çalışmalar geliştirmeyi gerekli kılmaktadır [1].

Konutlarda ilk yatırım maliyetini oluşturan ısıtma-soğutma, aydınlatma, sulama hatta izolasyon gibi uygulamalar, yeşil ev uygulamalarına oranla çok daha düşük enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yeşil evlerdeki uygulamalar %50-70'e varan enerji tasarrufu elde edilebilmektedir [2].

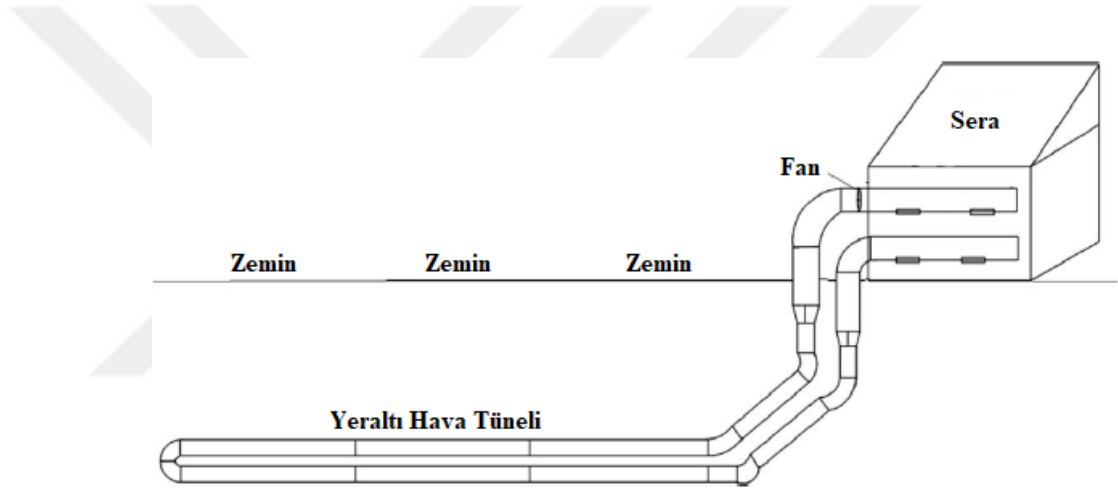
Yapılan literatür araştırması sonucunda konu ile bağlantılı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Daloğlu yaptığı çalışmada toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sistemini, Ankara'da konumlu bulunan bir evin soğutma ihtiyacını karşılamak üzere incelemiştir. Toprak sıcaklığı, yerin 4 metre altında yaklaşık 14 °C varsayılmıştır. Soğutma yükü belirlenen evin, ısı değiştirici sisteminin, değişken çap ve malzemelere göre boru uzunluğu hesap edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, teorik sonuçlarla ve literatürdeki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Toprak-hava ısı değiştiricisi sistemleri tarafından, bir evin ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesinin karşılanabileceği söylenmiştir [3].

Turgay, Fransa'da bulunan Beaucouzè kasabasında bir müstakil evin bahçesinde kurulu olan THID sisteminin performans sonuçlarını iki yıllık ölçüm değerlerine göre analiz etmiştir. Bu çalışmanın sonucunda THID sisteminin performansını etkileyen unsurların, boru sisteminin boyutlandırmasının yanı sıra, iklim şartları ve toprak özelliklerinin de etkisi olduğu görülmüştür. Sistemin tasarımında bu özelliklerinin de hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir [4].

Özgener ve Özgener yaptıkları çalışmada kapalı devre bir THID sisteminin soğutma durumundaki ekserjik performansını deneysel olarak incelemiştir. 2009-2011 yılları aralığında, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde deneysel veriler toplanmıştır. Farklı referans durumlarında ekserji verimleri bulunmuştur [5].

Özgener ve Özgener yaptıkları çalışmada İzmir'de bir seranın ısıtılması için uygulanan kapalı döngü THID sisteminin ideal tasarımının belirlenebilmesi için ekserjoekonomik analiz yapmışlardır. Isı değiştirici sistemlerinde ekonomik ve termodinamik faktörlerin sonuçları ne kadar değiştirdiği gözlemlenmiştir. Hesaplanan COP değeri 10,51 ve ekserji verimi %89,25'tir. Şekil 1.1'de kurulan bu sistemin şematik gösterimi verilmiştir [6].



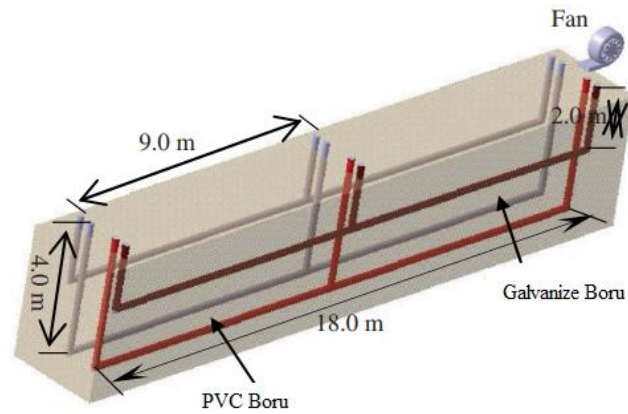
**Şekil 1.1.** Yeraltı hava tüneli kurulumunun şematik gösterimi [6]

Peretti ve ark, THID sistemleri ile havanın iklimlendirilmesinde, havalandırma sırasında ısı kayıplarının azaltılmasında ve binalarda ısı konforu artırmada önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir [7].

Sethi ve ark, THID sistemlerini seralarda yenilenebilir ve alternatif ısıtma sistemi olarak kabul etmektedirler [8].

Yapılan teorik ve deneysel çalışmalara göre, THID sisteminin ısı verim ve performansında aşağıdaki parametrelerin etki eder [7].

- İklimsel şartlar ve coğrafik konum: Toprak ile hava arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması, sistemin daha verimli olmasını sağlar. Örnek olarak çöllerde yüksek sıcaklıklarda, soğutma için efektif bir şekilde kullanılabilir.
- Toprak çeşidi: Sistemin enerji depolama özelliklerine, toprağın ısı iletkenliği, yoğunluğu ve ısı kapasitesi etki etmektedir.
- Boru özellikleri: Borunun kalınlığı, yalıtımı, çapı ve uzunluğu, THID sisteminin, uygun iklim koşullarına göre, seçimleri yapılması gereken parametreler olarak performansı üzerine etki etmektedir [9].
- Gömme derinliği: THID sistemi, toprak derinleştikçe hava ile arasındaki sıcaklık farkı artacağı, böylece enerji alışverişi artacağı için gömme derinliği sistemin verimini arttırmaktadır. 2 m derinlik boruların maliyet-sıcaklık faktörleri üzerine uygun olacağı belirtilmiştir [10]. Ancak, ideal derinliğin 3 m olduğunu da belirten araştırmalar mevcuttur [11]. Gömme derinliğinin, boru uzunluğuna göre sıcaklık kazanımı açısından daha çok etkisi olduğu tespit edilmiştir [12].
- Hava debisi: Hava debisi yükseldikçe, havanın sistem içerisinde geçireceği zaman azaldığından dolayı, ısı transferi azalacaktır. Bu yüzden sistem performansına olumsuz yönde etki etmektedir [13].



Şekil 1.2. THID tesisatının gösterimi [13]

R. Misra ve ark, THID ısıtım performansını, sıcak ve kuru hava şartlarında deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği modellemesini kullanarak incelemiştir. Sürekli çalışma şartlarında, toprak borusu çapının ısıtım iletkenliğinin ve akış hızının geçici olarak THID'nin termal performansına etkisi, zamana bağlı olarak analiz etmişlerdir [14].

Al-Ajmi ve ark, teorik olarak geliştirdikleri THID sistemi modeli sayesinde, sıcak ve kurak iklimlerdeki dış hava sıcaklıklarını ve soğutma potansiyelini tahmin etmişlerdir. Bir evin soğutma ihtiyacını sıcaklığın çok yüksek olduğu yaz aylarında %30'a kadar düşürdüğü gözlenmiştir [15].

V. Bansal ve ark, çalışmalarında THID sistemlerinde, borudan geçen hava hızının sisteminin performansını ne kadar yüksek oranda etkilediğini incelemiştir [16].

Özgener, Türkiye ve dünyadaki THID sistemlerinin deneysel ve analitik çalışmalarını incelemiştir. THID sistemlerinin, açık döngü ısıtma/soğutma ve kapalı döngü ısıtma/soğutma olduğundan bahsedilmiştir [17].

Özgener ve Özgener, prototip bir THID sisteminin termo-ekonomik parametrelerini gözlemlemiştir. Sistemdeki cihazlar için sermaye maliyetleri ve termodinamik kayıplar arasındaki ilişkiler araştırılmış ve sonuçlar sunulmuştur. Yazarların öngörülerine göre, tesisatların çoğunluğu düşük dereceli jeotermal kaynakları değerlendirmek için Türkiye'nin her bölgesinde uygulanabilir [18].

Özgener ve Özgener, yaz günlerinde seraların soğutulması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına dikkat çekmişlerdir. Kullanılan THID sisteminin genel ekserji verimlilik değeri %60,7 olarak raporlanmıştır [19].

Özgener ve Özgener, sera ısıtması için THID sisteminin performans özelliklerini araştırmıştır. Isıtma döneminde COP ortalaması 5,16 olarak raporlanmıştır [20].

Özgener, Özgener, Goswami D. Y., deneysel sonuçlara dayanarak, ısı eşanjörünün ısı direncini tahmin etmek için geliştirilmiş ilişkiler geliştirmişlerdir. Ortalama toplam ısı eşanjörü ısı direncinin, kararlı hal koşulunda sabit bir değer olarak 0.021 K-m / W olduğu tahmin edilmiştir [21].

Özgener, Özgener, Goswami D. Y., THID sisteminin ısıtma modunda termodinamik performansının (verimlilik) deneysel bir araştırmasını, 2009-2016 yılları arasındaki ölçüm kayıtlarından oluşan veriler ile gerçekleştirmişlerdir [22].

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak bir konutun ısıtma ve soğutma enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Bunun yanında çevreci ev “yeşil ev” sınıfına girecek evlerin yapımına katkıda bulunması da diğer bir hedeftir.

Ege üniversitesinde deneysel olarak sonuçlandırılmış toprak-hava ısı değiştiricisi sisteminin HAD analizlerini gerçekleştirip, elde edilen sonuçları deneysel verilerle kıyaslamak ve bu kıyaslama sonucunda analiz yönteminin doğruluğunun teyidi sağlanacaktır. Doğruluğu deneysel veriler tarafından teyit edilen analiz modeli sayesinde istenildiği takdirde parametrik olarak çalışma imkânı olacaktır. Örnek olarak kullanılan boru çapı değiştirilebilir ve sistemi tekrar kurmadan, analizler sayesinde çıktı parametresi alınabilecektir.

Ege üniversitesinde kurulu olan THID sistemi, Ege Üniversitesi, Celal Bayar Üniversitesi, Cornell Üniversitesi, USF (University of South Florida) ve TÜBİTAK'ın destekleri ile kurulup geliştirilmiştir. Ülkemizin bilinen ilk THID sistemidir. Deneysel veriler bu sistem üzerinden alınmıştır [6].



## 2. ENERJİ KAYNAKLARI VE YENİLENEBİLİR ENERJİ

Yenilenebilir enerji kaynağı, enerji kaynağından alınan enerjiyle aynı oranda veya kaynağın yorulma hızından daha hızlı bir şekilde yenilenebilme yeteneği olarak tanımlanır. Örnek olarak, güneş enerjisiyle çalışan teknoloji bu enerjiyi kullanır, ancak kullanılan enerji, toplam güneş enerjisine kıyasla çok düşük kalır. Yenilenebilir enerjinin en yaygın şekli güneşten gelir. Bazı formlar güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi depolar [23].

Yenilenebilir enerjinin bitkiler, hayvanlar ve insanlar tarafından kalıcı olarak sarf edilmesi mümkün değildir. Fosil yakıtlar çok uzun bir zaman diliminde teorik olarak yenilenebilirken, yakın gelecekte istismar edilmesinden dolayı tükenme riskiyle karşı karşıya kalmaktadırlar [23].

Yenilenebilir enerjiyi özetlersek, doğal enerji üretim süreçlerini kullanan enerji kaynakları, kendilerini kaynak tüketiminden daha hızlı bir şekilde yenileyebilir [23].

### 2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışınlarını güneş panelleri kullanarak ısıya ve elektriğe dönüştürmesi sonucunda oluşur. Doğal enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, çevre dostu bir şekilde elde edilebilir. Önceleri daha yüksek maliyetli olan bu tür enerji, günümüzde daha düşük maliyetler sayesinde elde edilebildiği için hızla artmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi kullanım alanları çok fazladır ve günden güne artmaktadır. Güneş pili (Fotovoltaik piller-PV) üretim maliyelerindeki düşüş ve teşviklerin katkısıyla yakın gelecekte dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim faaliyetlerinin artması beklenmektedir [24].

## **2.2. Hidrolik Enerji**

Hidroelektrik enerjisi, suyun akış kuvveti kullanılarak üretilen ve sera gazı salınımı yapmayarak çevreye zararı olmayan bir enerji türüdür. Hidroelektrik enerji, suyun akışı ile oluşan kinetik enerjinin kanallardan türbinlere aktarılması ile üretilir. [23]. Hidrolik enerjinin varlığı nehirlerle ve dolayısıyla yağış miktarlarına bağlıdır. Bu nedenle, hidrolik enerji, iklim koşullarındaki değişikliklerden etkilenen bir enerji türüdür. Ayrıca hidroelektrik santralleri, diğer enerji kaynaklarına kıyasla en düşük işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verimliliğe sahiptir [25]. Özellikle yüksek irtifa ve yüksek su hacmine sahip bölgelerde, hidroelektrikten elektrik üretimi büyük bir avantajdır.

## **2.3. Biyokütle Enerjisi**

Biyokütle, yenilenebilir ısıya ve enerjiye dönüştürülebilen bitkilerden veya atık ürünlerinden elde edilen büyük bir biyolojik malzemedir. Biyokütle enerjisi, yakma veya farklı yöntemlerle biyokütle atığının kullanılmasıyla elde edilen enerji türüdür [23]. Biyokütle malzemeleri işlenerek katı, sıvı ve gaz halindeki yakıtlara dönüştürülebilir. Sonuç olarak, biyoetanol, biyodizel, pirolitik gaz gibi ana ürünleri ve gübre ve hidrojen gibi yan ürünleri oluştururlar [26].

## **2.4. Rüzgâr Enerjisi**

Dünya'nın dönüşünün yarattığı rüzgarlar sayesinde ve güneşin dünyaya farklı açılarla gelmesinden oluşan basınç farkı ile elde edilen enerji türüdür. Yoğun rüzgarlarda rüzgâr türbinlerinin ürettiği rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından [23].

## 2.5. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineral, çeşitli tuzlar ve gaz içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhar yolu ile yüzeye taşınan ısı olarak tanımlanabilir [27].

Jeotermal enerji genellikle topraktan altından yüzeye oluşan çatlaklar ve kırılmalar tarafından oluşturulan zayıf bölgeler, yüzey suyundan veya özel olarak delinmiş kuyular kullanılarak elde edilir [28].

Jeotermal enerji kaynağı, yeryüzüne yakın katmanlardaki magma, su, buhar, sıcak kayalar olabilir. Isı kaynağı tarafından aşırı ısınan sıvı, normal yeraltı suyundan ve yüzey suyundan daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerir. Jeotermal enerji, fosil yakıtlar için en önemli alternatif enerji kaynağıdır [28].

### 3. DÜŞÜK ENTALPİLİ JEOTERMAL KAYNAKLARDAN FAYDALANMA YÖNTEMİ THID

#### 3.1. Jeotermal Enerji

Günümüzde toprak, çoğunlukla ısı pompaları için kaynak veya kuyu olmaktadır. THID sistemlerindeki akışkan boruları, zemine yatay ya da dikey olarak gömülmektedir. İklimlendirme sistemleri için THID sistemlerine diğer seçeneklerin yanında gereken önem verilmemiştir. Bununla birlikte, iç mekân hava kalitesinin önemli olması ve artan enerji maliyetleri ile topraktan havaya ısı eşanjörlerine yönelik bir eğilim beklenmektedir [29].

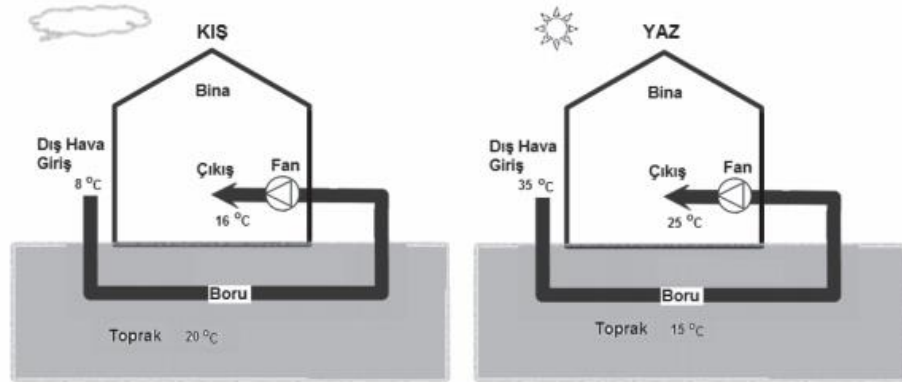
Isının terkedildiği veya ısının alındığı yerlere ısı enerjisi depoları denilmektedir. Genel olarak; atmosferik hava, denizler, nehirler ve topraklar ısı deposudur. Bu termal enerji depoları, ısı kaynakları veya ısı kuyuları olabilirler [30]. Günümüzde, enerji kaynakları azaldığından ve maliyetleri yükseldiğinden, alternatif enerji kaynaklarına yönelik eğilimler vardır. Geçmişte konvansiyonel enerji kaynaklarının yoğun, kolay erişilebilir ve ucuz olması göreceli olarak ekonomik ve teknolojik açıdan dezavantajlı enerji kaynaklarına ilgi yeterince olmamaktaydı ancak bu yaklaşım son zamanlarda değişmiştir. Tüm enerji kaynaklarını kullanmak için çaba harcanmaktadır.

Toprağın ısı kapasitesi yüksek olduğundan ve ortamdaki havaya kıyasla sıcaklık dalgalanmaları düşük olduğundan, toprak altı ısı kolayca kullanılabilir. Kışın toprak yüzeyinden daha derinlere inildikçe toprak sıcaklığı artmakta, yazın ise azalmaktadır. Yeterli bir derinlikte, toprak sıcaklığı yaz aylarında düşük, kış aylarında ise dış ortam sıcaklığından daha yüksektir. Bu sıcaklık farkını kullanarak, hava, toprakta gömülü kanal veya borulardan geçirilerek, yazın soğutmak, kışın ise ısıtmak için kullanılır. THID sistemleri kullanılarak bu sayede ısıtma, soğutma ve havalandırma enerji maliyetleri azaltılabilir [29].

### 3.2. Toprak Hava Isı Değiştiricisi

Toprak-hava ısı değiştiricisi, soğutma etkisi ile binanın ısısının dūřmesine katkı sağlar ve doğal havalandırmayı iyileştirmek için uygulanabilir. Genel olarak toprak-hava ısı değiştiricisi toprağın altına gōmūlmūř ve içinden geçen hava ile binanın içine verildiği borulardır. Zemin yūkssek ısısal durağan özellikler gōsterdięinden, sıcaklık yıl boyunca belirli bir derinlikte neredeyse sabittir. Bu durum sistemin yazın bir soğutucu, kışın ise bir ısı kaynağı olarak kullanılmasını sağlar [31].

Yazın sıcak ve kurak bōlgelerdeki toprağın birkaç metre altındaki sıcaklık değeri toprak yūzeyinin gūnlük ortalama sıcaklık değerinin altındadır ve gūndūz ki ortalama değerin çok altındadır. Bundan dolayı dışarıdaki ılıman havayı soğutmak için ısı emici olarak kullanılabilir [31].



şekil 3.1. Tipik bir toprak-hava ısı değiştiricisi sistemi [13]

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

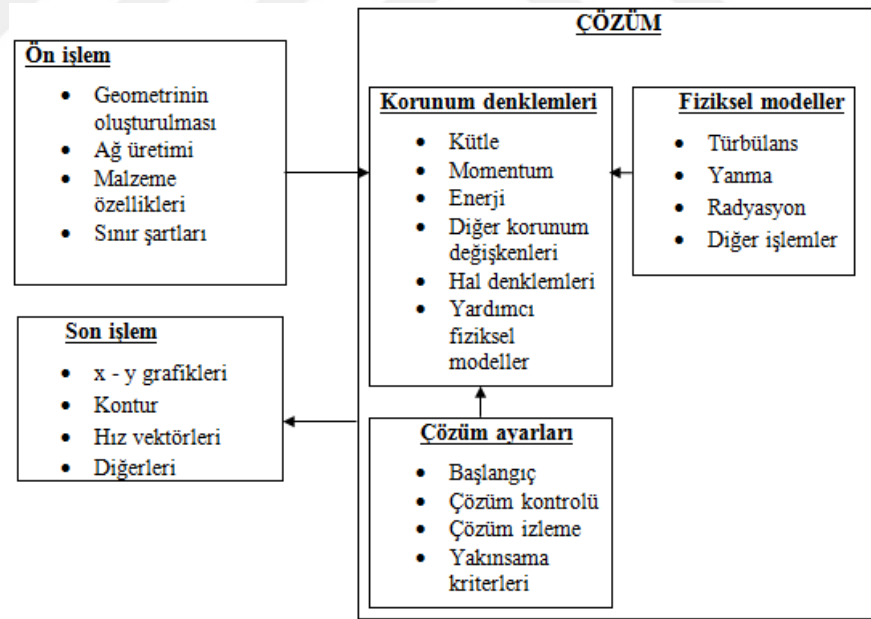
### 4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, akışkanlar mekaniği problemlerinin analizi ve çözülmesi için sayısal yöntem ve algoritmaların kullanıldığı bir akışkanlar mekaniği bilimi dalıdır. Bu yöntem kabaca akışkanların hareketini ve katıyla olan etkileşimini tanımlayan matematiksel denklemlerin, sayısal metotlarla çözülmesi olarak tanımlanabilir.

HAD analizleri genellikle üç aşamadan oluşur. Bu aşamalar sırasıyla;

- Katı model ve sayısal ağ tabakası oluşturulması
- Sınır şartları ve çözüm ayarlarının tanımlanması, çözümün yapılması
- Sonuçların işlenmesi ve yorumlanması

olarak sıralanabilir.



Şekil 4.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği akış şeması [32]

Daha detaylı olarak incelemek gerekirse Şekil 4.1. üzerinde, ön işlem, çözüm ve son işlem olarak gruplandırma yapılabilir.

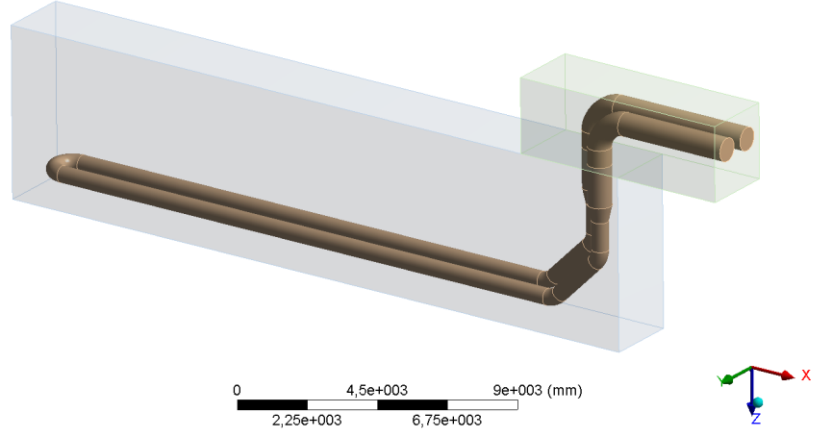
Ön işlem, ilk olarak çözümü yapılmak istenilen sistemin CAD ortamında katı modellenmesiyle (akış hacmi vb.) başlar. Oluşturulan bu model üzerinde sayısal ağ (mesh) çalışması yapılır. Malzeme özellikleri (yoğunluk, iletkenlik vb.) programın ara yüzünden sistem üzerine tanımlanır. Sınır şartlarında (giriş hava sıcaklığı, giriş debisi, toprak sıcaklığı vb.) tanımlanması ile ön işlem bölümü noktlanır.

Çözüm kısmında arka planda süreklilik, navier-stokes, enerji denklemleri çözümlenir. Bunlara ek olarak akış yapısına uygun olarak türbülans denklemi bu kısımda seçilir. Çözüm ayarları, çözüm süresini etkileyebilecek parametreler içermektedir. Bundan dolayı uygun çözüm ayarları seçilmelidir. Uygun çözüm ayarları her bir durum için farklılık gösterebileceğinden dolayı, doğru çözüm ayarı diye bir kavram mevcut değildir. Analizin yakınsama durumu, kullanılan monitörler (çözüm izleme) ile takip edilmelidir.

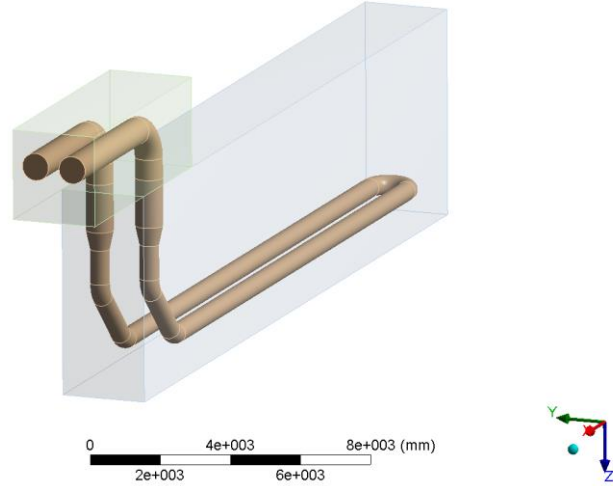
Son işlem aşamasında ise tamamlanan analiz sonrasında elde edilen sonuçlar incelenir. Oluşturulan kontur, vektör ya da grafikler yardımıyla görsel sonuçlar elde edilebilir.

#### **4.1.1. Katı Model ve Sayısal Ağ Çalışmaları**

HAD analizinde kullanılacak üç boyutlu model ANSYS SpaceClaim Direct Modeler yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Şekil 4.2. ve Şekil 4.3'de analize hazır hale getirilmiş katı modelden görünüm vermiştir.



**Şekil 4.2.** Toprak-hava ısı değiştiricisi sisteminin üç boyutlu modeli



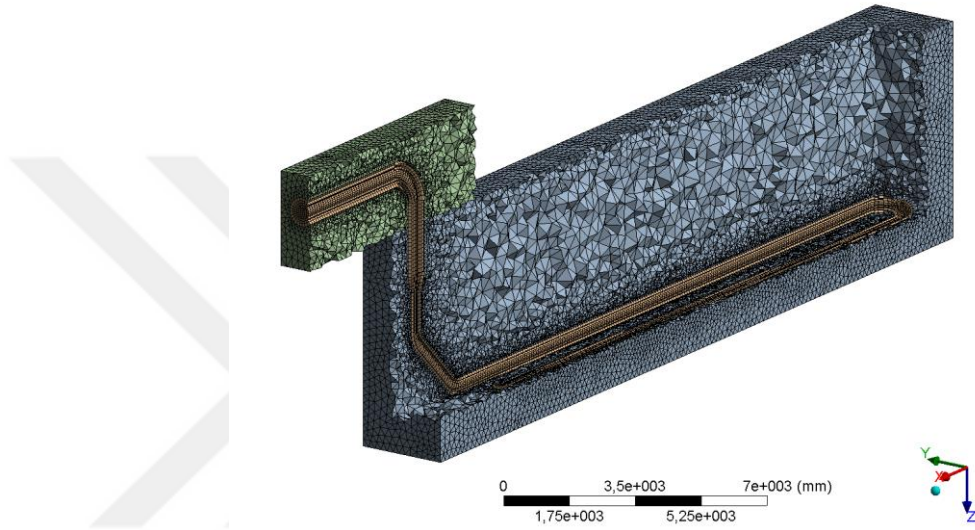
**Şekil 4.3.** Toprak-hava ısı değiştiricisi sisteminin üç boyutlu modeli

Sonlu hacimler yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Sonlu hacimler metodu akışkanlar mekaniği içerisinde, akışkanın hareket denklemlerinin integral hallerini fiziksel uzayda ayrıklaştırarak çözmek için kullanılır. Analizin yapılabilmesi için modelin sonlu sayıda küçük elemanlara (hacimlere) bölünmesi gerekmektedir. Sayısal ağ oluşturma olarak adlandırılan bu işlem sonucunda elde edilen modele sayısal ağ denir. Genellikle bu elemanlar küçüldükçe çözüm hassasiyeti artmaktadır. Ancak sayısı

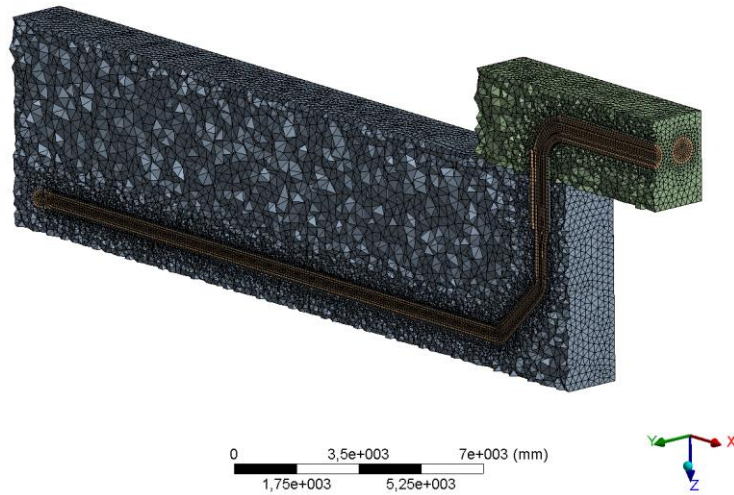


analiz süresine de doğrudan etki etmekte, artan eleman sayısı artan çözüm süresinin yanında fazladan bilgisayar kapasitesi de istemektedir.

Analizde kullanılan sayısal ağ ANSYS FLUENT Meshing yazılımı ile oluşturulmuştur. Analizlerde toplam eleman sayısı 1084251, düğüm noktası sayısı 253854'tür. Oluşturulmuş sayısal ağına örnekler Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.4. Toprak-hava ısı değiştiricisi sisteminin sayısal ağ gösterimi

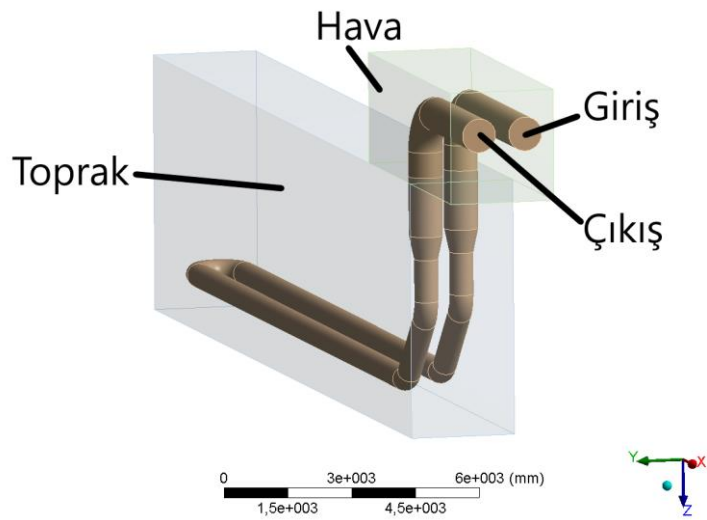


Şekil 4.5. Toprak-hava ısı değiştiricisi sisteminin sayısal ağ gösterimi

#### 4.1.2. Analiz Çalışmaları

HAD analizlerinde sayısal ağ oluşturulmasından sonraki işlem sınır şartlarının tanımlanması ve çözüm ayarlarının yapılmasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken hususların başında sayısal model, sınırlarda yapılacak analizin fiziğine uygun sınır şartlarının kullanılmasıdır. Analizde kullanılan sınır şartları Şekil 4.7’de görülebilir.

Sınır şartlarının yanı sıra akışın türbülans özellikleri, akışkan özellikleri ve çözücü ayarlarının doğru olarak belirlenmesi analizin hassasiyeti açısından oldukça önemlidir. Hassas bir çözüm alabilmek için çözüm sırasında kullanılacak alt modellerin de (türbülans modelleri gibi) uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Analizlerde kullanılan çözücü ayarları Tablo 4.1.’de görülebilir.



Şekil 4.6. Toprak-hava ısı değiştiricisi sisteminin sınır şartları

**Tablo 4.1.** Analizlerde kullanılan çözücü ayarları

Çözücü Tipi:	FLUENT 19.0
Simülasyon Koşulu:	Kararlı Durum (Steady-State)
Viskoz Model:	k-epsilon Standard Türbülans Modeli
Duvar Türbülans Etkileşimi:	Standard Wall Funtions
Hız-Basınç Etkileşimi:	SIMPLE Algoritması
Ayrıklaştırma Yöntemi:	Yüksek Çözünürlük
Yakınsama Parametresi:	Residuals $<10^{-4}$

## 5. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI ANALİZLERİ

Bu bölümde, deneysel olarak incelenen birbirinden farklı dört zaman diliminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri sonuçları verilecektir. Sırasıyla deneysel verilere göre rastgele seçilmiş zaman dilimleri şu şekildedir. Analizlerde kullanılan parametre değerleri Tablo 5.1.'de verilmiştir

- 09.10.2010 saat 22:02 verisi
- 09.10.2010 saat 23:47 verisi
- 10.10.2010 saat 03:39 verisi
- 10.10.2010 saat 06:11 verisi

**Tablo 5.1.** Analizlerde kullanılan parametre değerleri

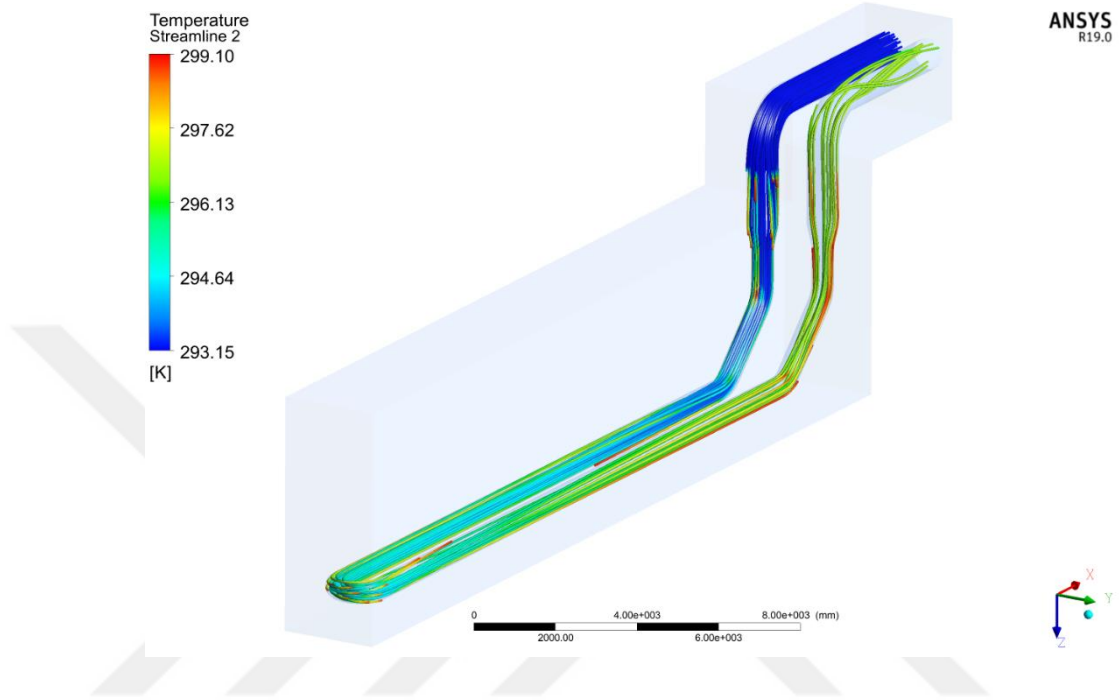
Parametreler	Değerler
Hava debisi (kg/s)	1.225
Hava termal iletkenliği (W/m-K)	0.0242
Hava yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	1.225
Hava özgül ısısı (J/kg-K)	1005
Toprak termal iletkenliği (W/m-K)	2.85
Toprak yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	2050
Toprak özgül ısısı (J/kg-K)	1840

### 5.1. Saat 22:02 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi Sonuçları

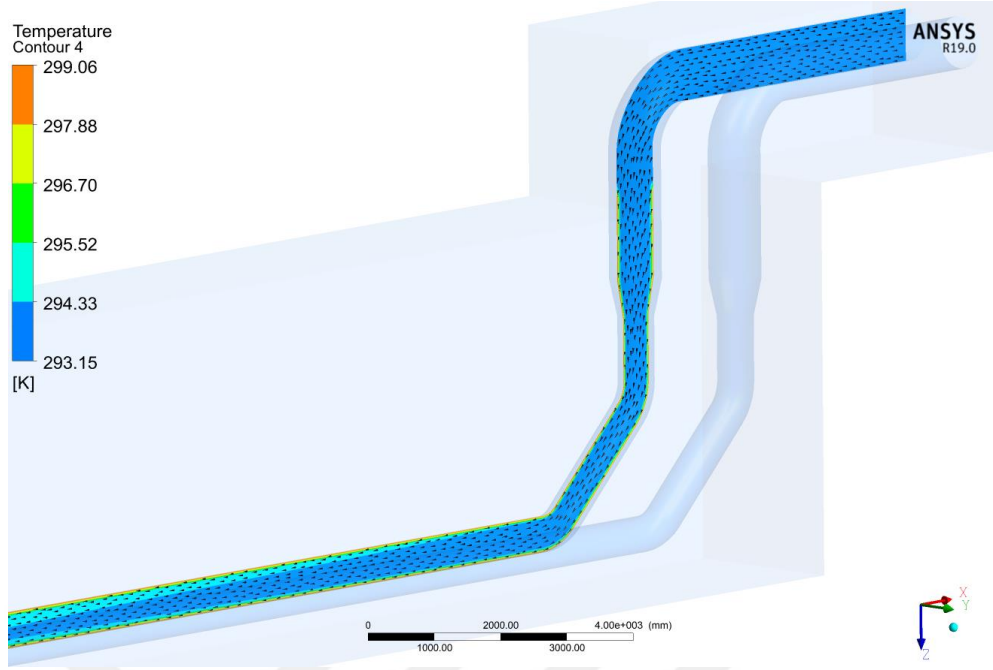
09.10.2010 tarihinde alınan verilere göre, giriş hava sıcaklığı 293.15 K olan havanın, yapılan analize göre çıkışındaki alan ağırlıklı ortalama sıcaklığı 296.81 K olmuştur.

Ortam sıcaklığı, giriş sıcaklığına eşit alınmıştır. Toprak sıcaklığı ise 09.10.2010 tarihinde alınan verilere göre 299.25 K'dir.

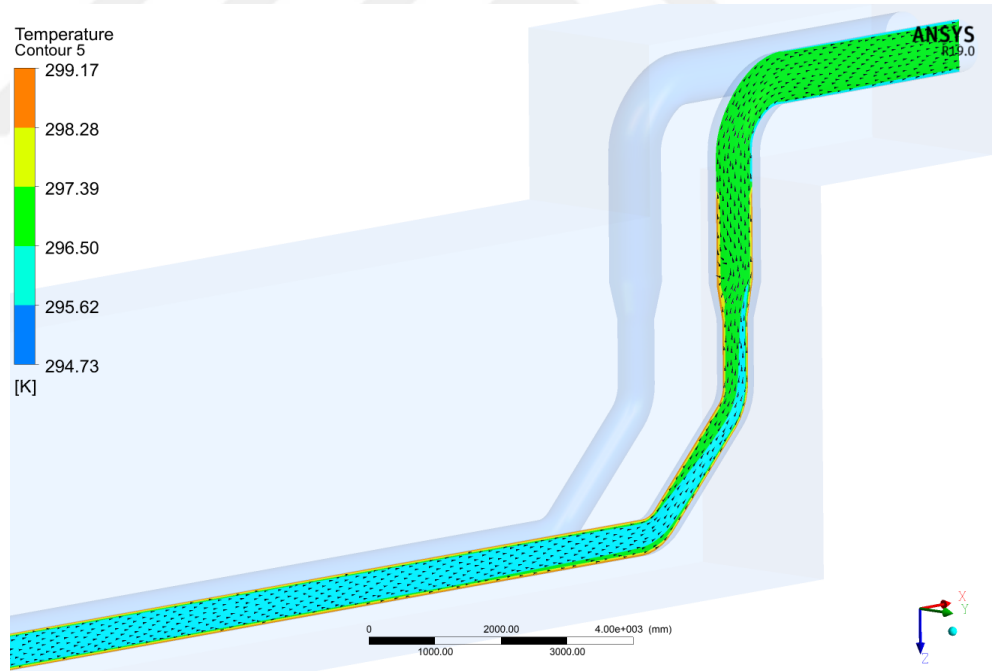
Yapılan analizde ortam sıcaklığı, hava hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden sabit sıcaklık olarak 293.15 K tanımlanmıştır. Toprak sıcaklığı, toprak hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden aynı şekilde sabit sıcaklık olarak 299.25 K tanımlanmıştır.



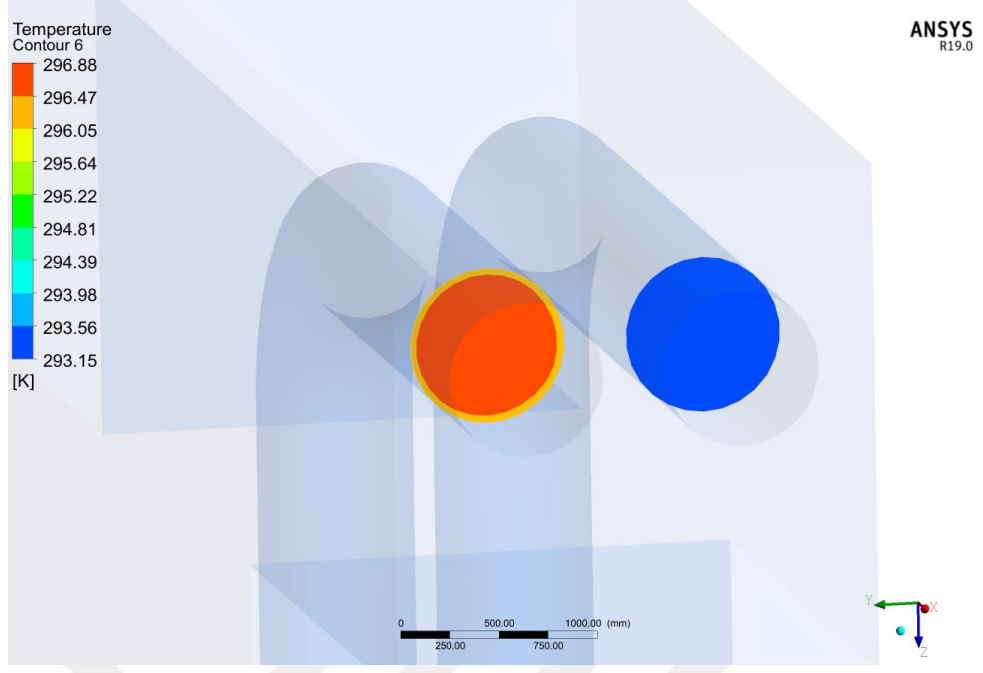
Şekil 5.1. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri



**Şekil 5.2.** Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri



**Şekil 5.3.** Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri



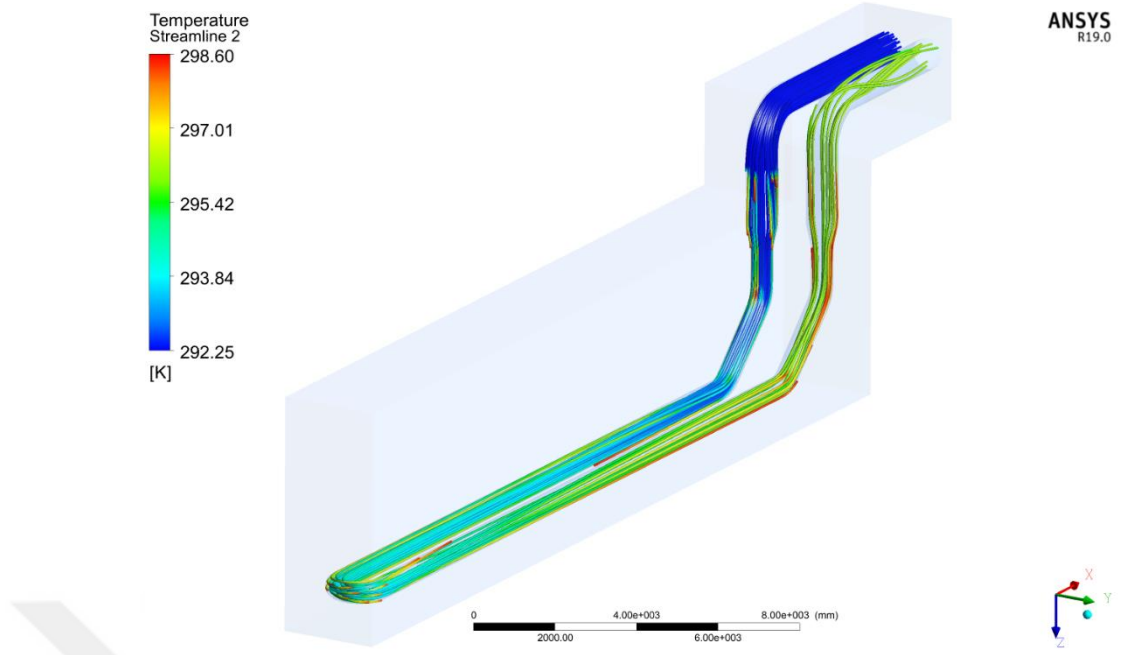
**Şekil 5.4.** Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı

## **5.2. Saat 23:47 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi Sonuçları**

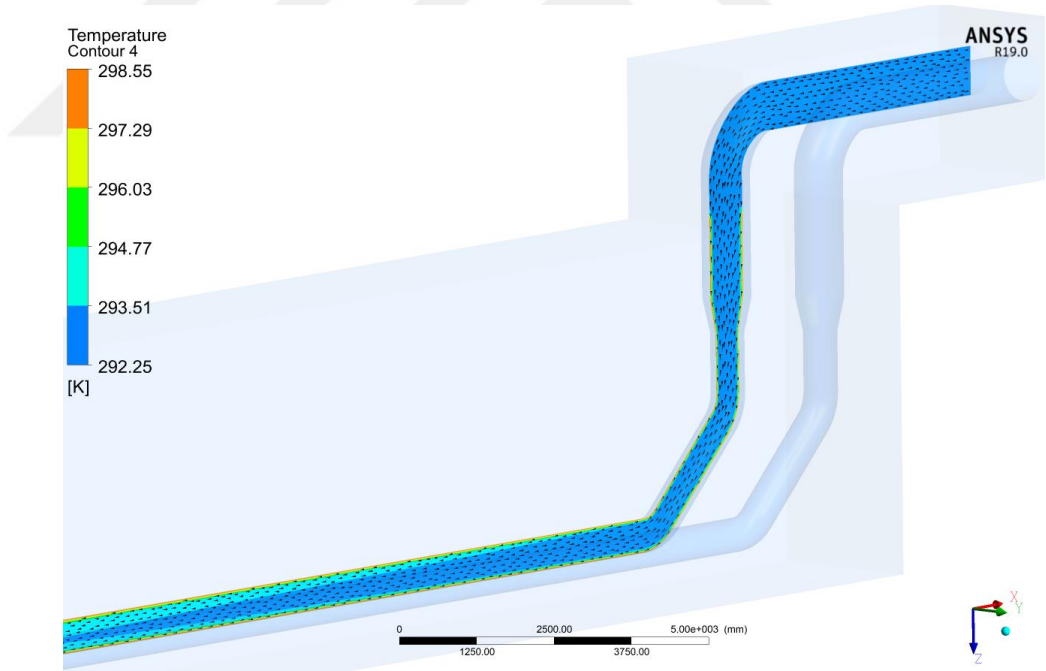
09.10.2010 tarihinde alınan verilere göre, giriş hava sıcaklığı 292.25 K olan havanın, yapılan analize göre çıkışındaki alan ağırlıklı ortalama sıcaklığı 296.15 K olmuştur.

Ortam sıcaklığı, giriş sıcaklığına eşit alınmıştır. Toprak sıcaklığı ise 09.10.2010 tarihinde alınan verilere göre 298.75 K'dir.

Yapılan analizde ortam sıcaklığı, hava hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden sabit sıcaklık olarak 292.25 K tanımlanmıştır. Toprak sıcaklığı, toprak hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden aynı şekilde sabit sıcaklık olarak 298.75 K tanımlanmıştır.

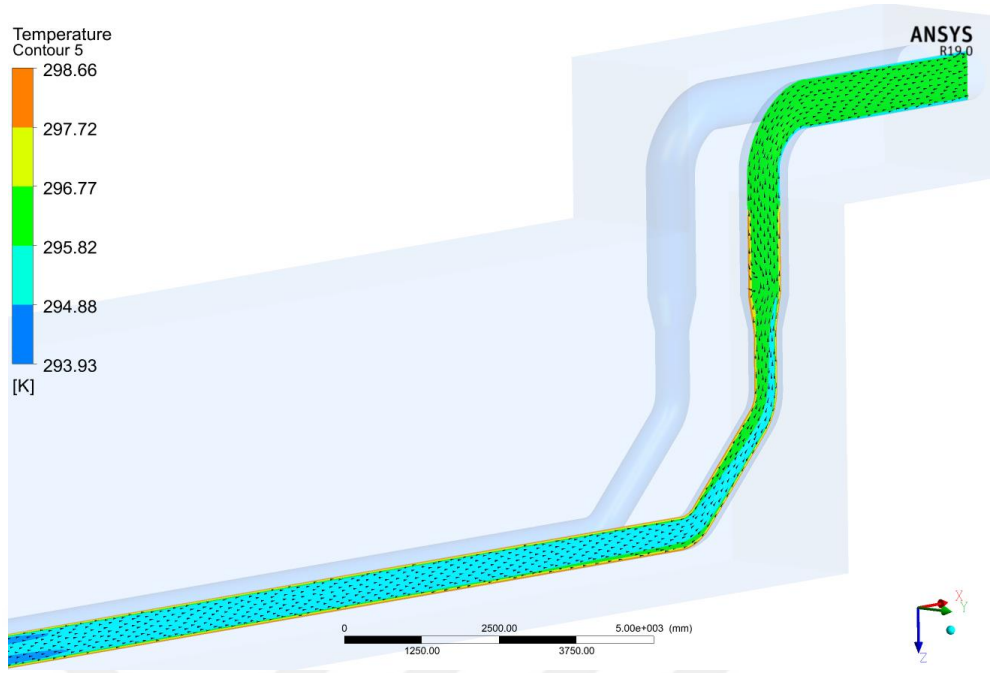


Şekil 5.5. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri

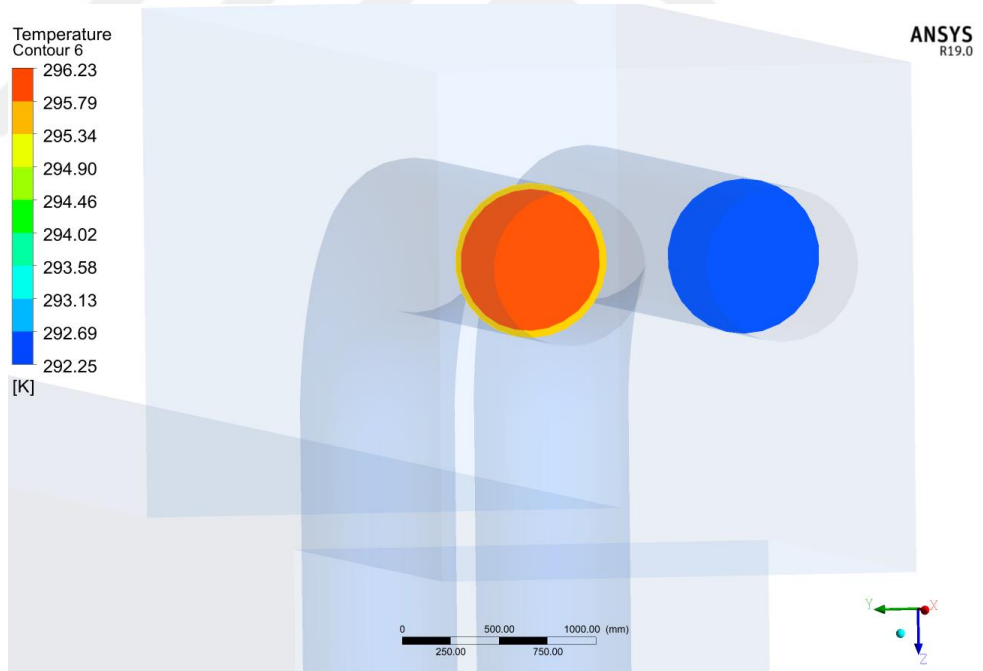


Şekil 5.6. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri





Şekil 5.7. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.8. Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı

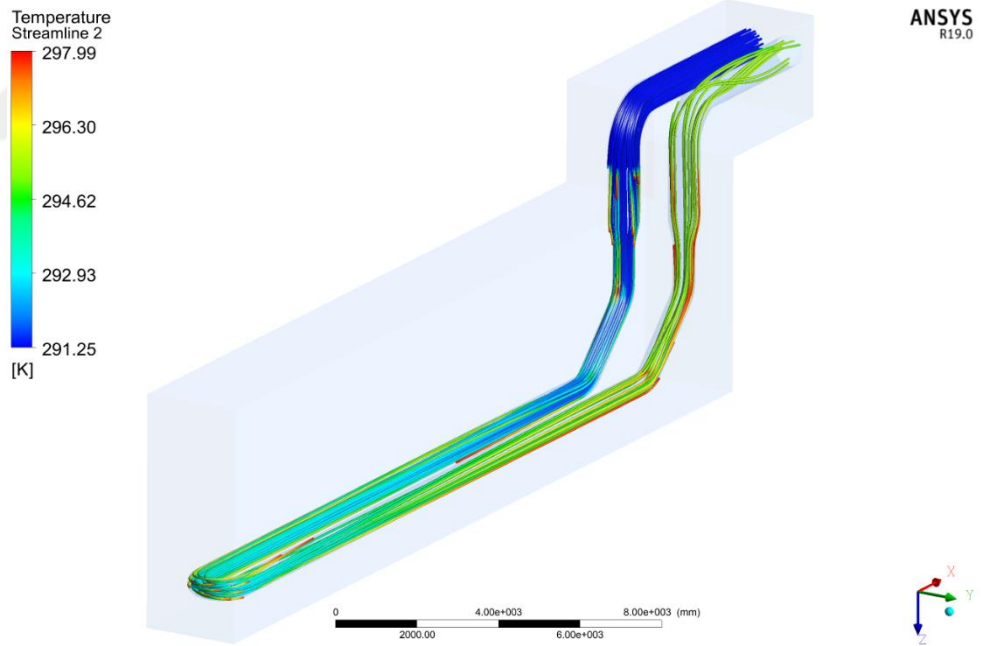
### 5.3. Saat 03:39 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi

#### Sonuçları

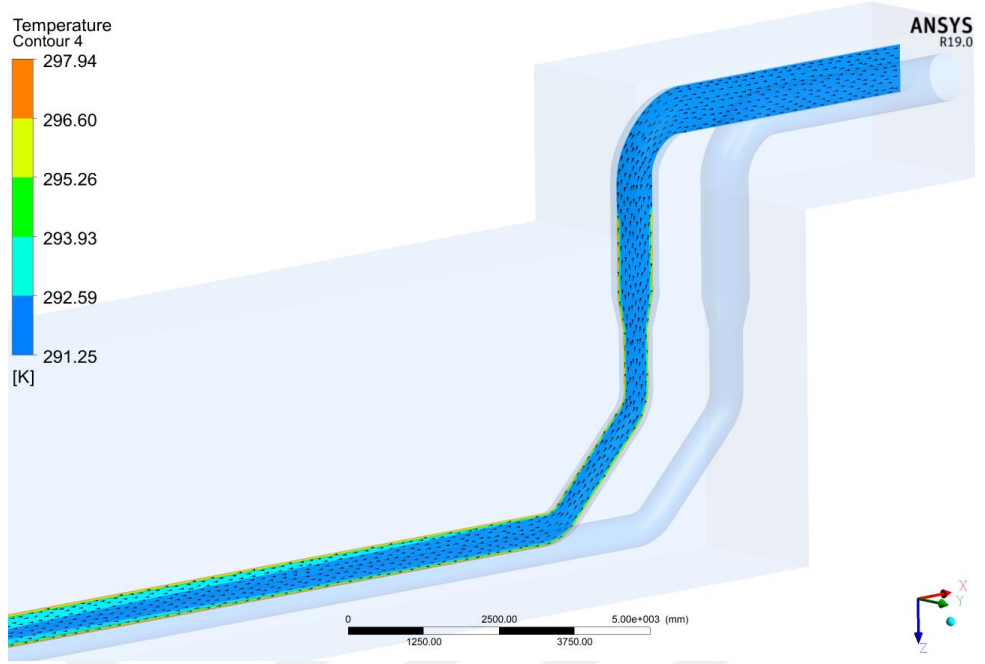
10.10.2010 tarihinde alınan verilere göre, giriş hava sıcaklığı 291.25 K olan havanın, yapılan analize göre çıkışındaki alan ağırlıklı ortalama sıcaklığı 295.39 K olmuştur.

Ortam sıcaklığı, giriş sıcaklığına eşit alınmıştır. Toprak sıcaklığı ise 09.10.2010 tarihinde alınan verilere göre 298.15 K'dir.

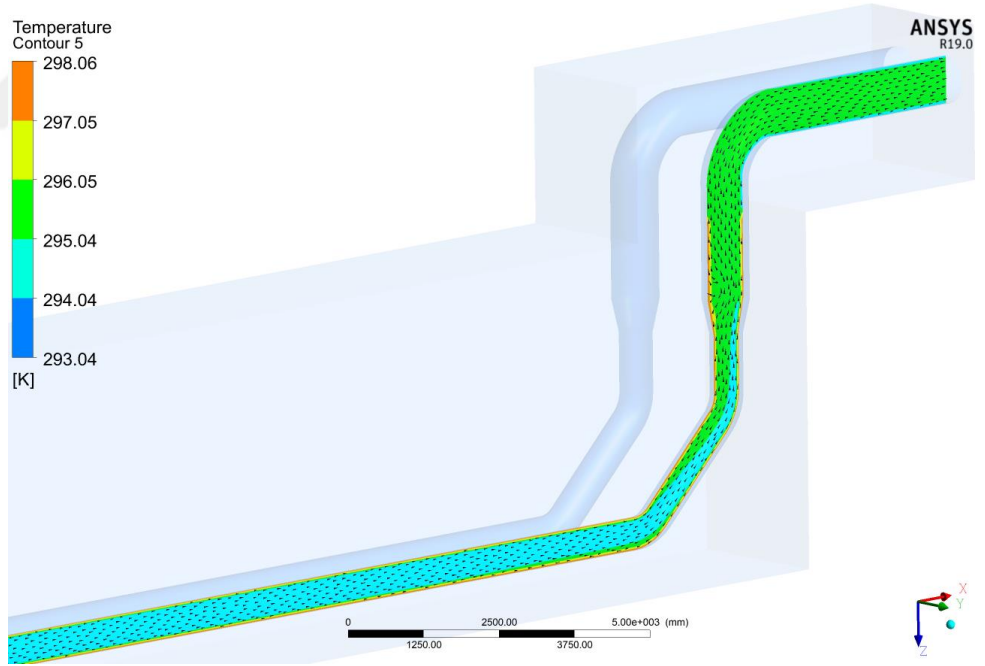
Yapılan analizde ortam sıcaklığı, hava hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden sabit sıcaklık olarak 291.25 K tanımlanmıştır. Toprak sıcaklığı, toprak hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden aynı şekilde sabit sıcaklık olarak 298.15 K tanımlanmıştır.



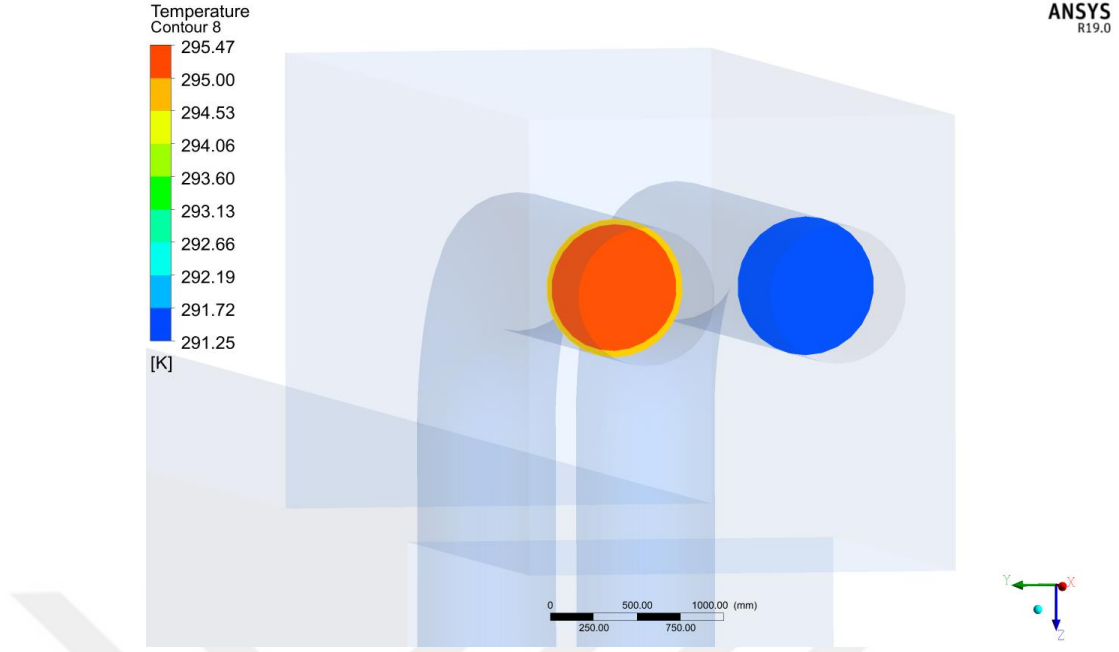
Şekil 5.9. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri



Şekil 5.10. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.11. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri



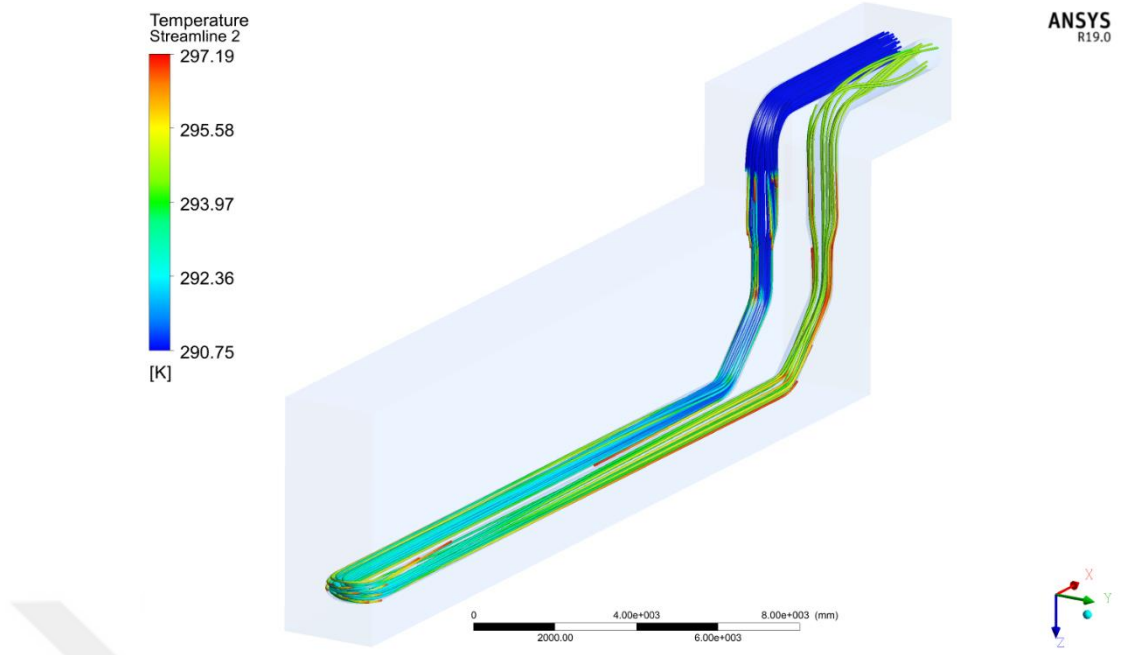
**Şekil 5.12.** Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı

#### **5.4. Saat 06:11 Verisine Göre Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi Sonuçları**

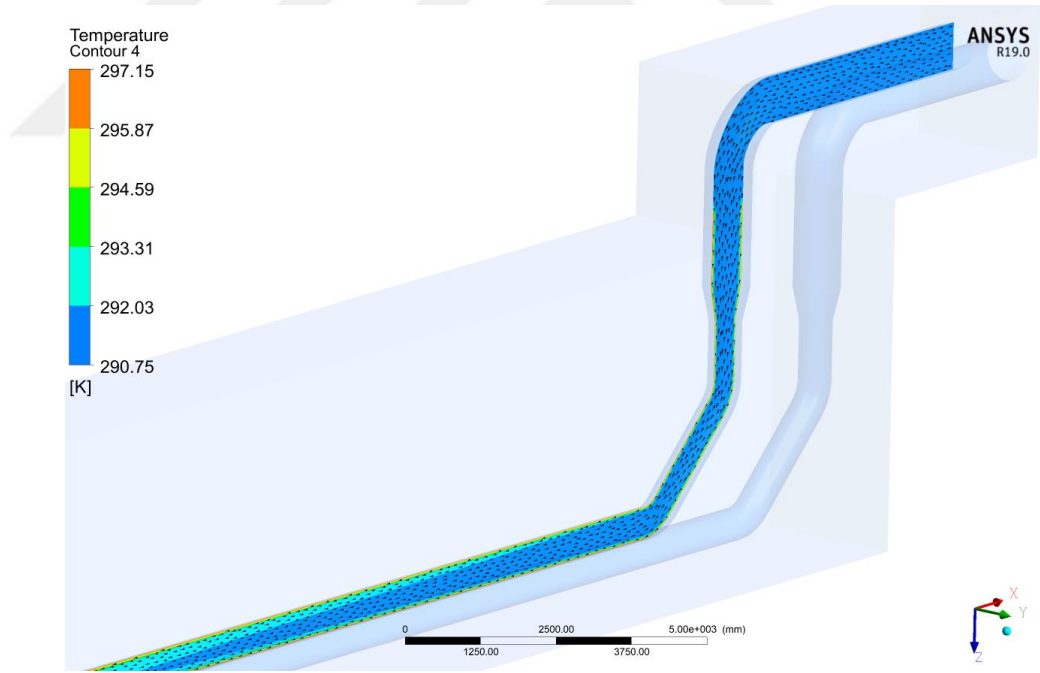
10.10.2010 tarihinde alınan verilere göre, giriş hava sıcaklığı 290.75 K olan havanın, yapılan analize göre çıkışındaki alan ağırlıklı ortalama sıcaklığı 294.71 K olmuştur.

Ortam sıcaklığı, giriş sıcaklığına eşit alınmıştır. Toprak sıcaklığı ise 09.10.2010 tarihinde alınan verilere göre 297.35 K'dir.

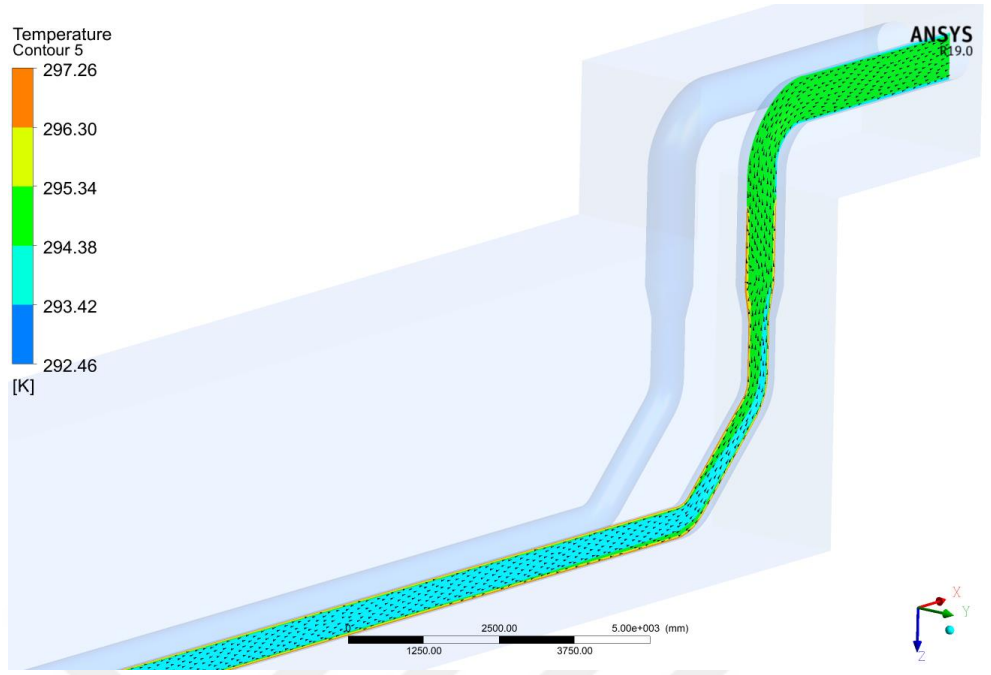
Yapılan analizde ortam sıcaklığı, hava hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden sabit sıcaklık olarak 290.75 K tanımlanmıştır. Toprak sıcaklığı, toprak hacmine “Cell Zone Conditions-Fixed Value” bölümünden aynı şekilde sabit sıcaklık olarak 297.35 K tanımlanmıştır.



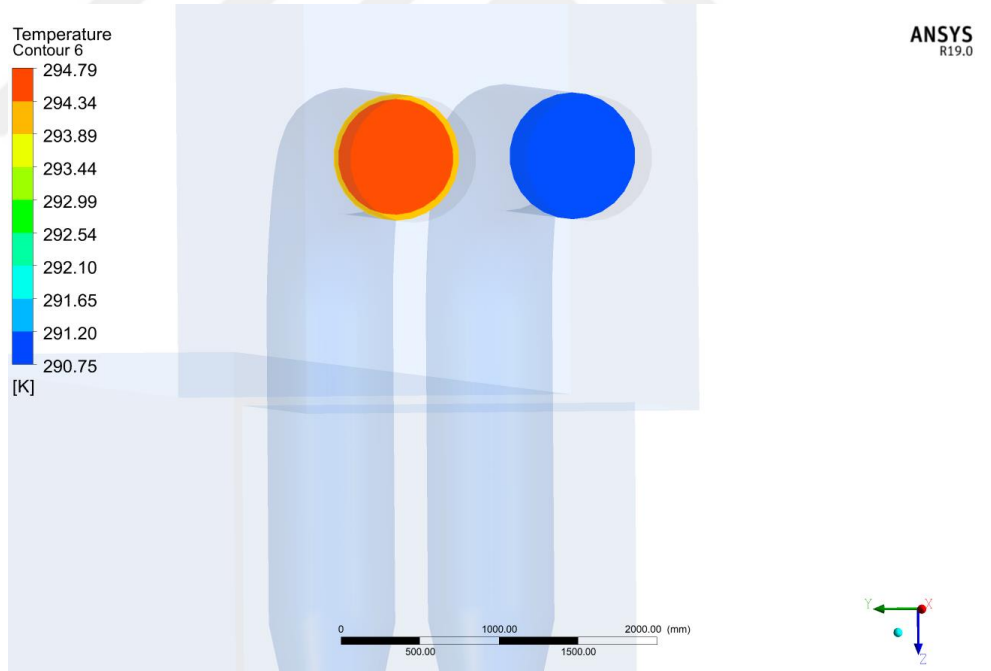
Şekil 5.13. Sıcaklığa bağlı olarak akış çizgileri



Şekil 5.14. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.15. Kesit üzerinde boru içerisindeki sıcaklık dağılımı ve hız vektörleri



Şekil 5.16. Girişten 1 m sonra ve çıkıştan 1 m önce kesit üzerindeki sıcaklık dağılımı

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada ölçümleri Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde 2009-2011 yılları arasında Özgener ve Özgener tarafından deneysel çalışmaları yapılmış olan çalışmadaki veriler referans alınmıştır [6]. Hesaplama akışkanlar dinamiği analizleri gerçekleştirilmiş olan modellerin sonuçlarının doğruluğunun tespiti için bu referans değerler kullanılmıştır. Toprak hava ısı değiştiricisinin termal analizi, hesaplama akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent 19.0 ile gerçekleştirilmiştir.

Özgener ve Özgener, İzmir'de sera ısıtılması için kullanılan bir kapalı döngülü THID'in en uygun tasarımının belirlenebilmesi için ekserjoekonomik analiz yapmışlardır. Yapılan çalışmada zamana bağlı olarak, toprak sıcaklığı ve havanın giriş-çıkış sıcaklık verileri kayıt altına alınmıştır [6].

Analizler sonucundan elde edilen verilerin, hali hazırda var olan verilerle kıyaslanıp, nümerik hata oranları Tablo 6.1.'de raporlanmıştır. HAD verilerine göre hava giriş sıcaklığı, deneysel olarak hava giriş sıcaklığına eşit olarak tanımlanmıştır.

**Tablo 6.1.** Deneysel, nümerik analiz sonuçları ve aralarındaki bağlı hata oranı

Verinin alınma tarihi ve saati	Toprak Sıcaklığı (°C)	Deneysel olarak hava giriş sıcaklığı (°C)	Deneysel olarak hava çıkış sıcaklığı (°C)	HAD verilerine göre hava çıkış sıcaklığı (°C)	Bağlı Hata (%)
09/10/2010 22:02	26.1	20	26	23.66	9
09/10/2010 23:47	25.6	19.1	25.5	23	9.8
10/10/2010 03:39	25	18.1	24.8	22.24	10.3
10/10/2010 06:11	24.2	17.6	24	21.56	10.2

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği verilerine göre, hava çıkış sıcaklığı, yapılan 4 analizin sonucunun aritmetik ortalamasının, deneysel verilere göre bağıl hata oranı %9,83' tür.

Sonuç olarak, toprak-hava ısı değiştiricilerinin termal analizleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri sonuçları ile kabul edilebilir düzeyde örtüşmektedir. Bu tip deneysel modeller kurulmadan önce ön çalışma maksadıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri gerçekleştirilebilir ve sistem buna göre tasarlanabilir.

## 6.2. Öneriler

Analizi yapılan model üzerinde oluşturulan sayısal ağı (mesh), farklı yoğunluklarda yeniden oluşturulması ile sonuçların sayısal ağıdan bağımsızlaştırılması sağlanabilir. Örnek olarak daha az sayıda mesh veya daha çok sayıda mesh kullanılarak elde edilen sonuçların birbiri ile kıyaslanması, elde edilen sonuçların kabul edilebilir bir oranın altında değişiklik göstermesi durumunda yapılan çalışma, oluşturulan sayısal ağıdan bağımsızlaştırılabilir. Böylelikle mesh yapısının etkisi (az ya da çok eleman sayısı) sonuç üzerinde etkili olmayacağı için farklı parametreler üzerinde değişiklik yapılarak farklı sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan parametreler (toprak yoğunluğu, giriş-çıkış sıcaklığı...) değiştirilip yeniden analiz edilerek, deneysel çalışma ihtiyacı ortadan kaldırılabilir.

Farklı tipte boru çaplarında, deneysel düzeneği yeniden kurmadan sayısal veriler üzerinden analiz gerçekleştirip sonuçlar raporlanabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Bayar, U., Atılgan, A. İ. Yeşil Ev Tasarımı ve Enerji Analizi İçin Uygulama Örneği. *Mühendis ve Makina*, 2015, 56, 671, 41-52.
- [2] Yıldırım, U., Güngör, A. Yeşil Evler ve Türkiye'deki Uygulamaları, TMMOB Makina Mühendisleri Odası 5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi. 2011, Ankara (Bildiriler Kitabı, 66-67.)
- [3] Daloğlu A., Performance Analysis of an Earth Tube Heat Exchanger for Summer Cooling in Ankara, *Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed*, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.
- [4] Turgay, B. EAHX (Toprak-Hava Isı Eşanjörü). 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kitabı. 2013, 307-315.
- [5] Ozgener, O., Ozgener, L. Three cooling seasons monitoring of exergetic performance analysis of an EAHE assisted solar greenhouse building. *Journal Of Solar Energy Engineering-Transactions Of The Asme*, 2013, 135:2, 021008-1-7.
- [6] Ozgener, O., Ozgener, L. Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergoeconomics. *Energy and Buildings*. 2011, 43, 960-965.
- [7] Peretti, C., Zarella, A., De Carli, M., Zecchin, R. The design and environmental evaluation of earth-to-air exchangers (EAHE). A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 28, 107-116.
- [8] Sethi, V.P., Sumathy K., Lee, C., Pal, D.S. Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies. *Solar Energy*, 2013, 96, 56-82.
- [9] Tan, L., Love, J. A. A literature review on heating of ventilation air with large diameter earth tubes in cold climates. 2013, 6, 3734-3743.
- [10] Badescu, V. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house. *Renewable Energy*, 2007, 32, 845-855.
- [11] Ascione, F., Bellia, L., Minichiello, F. Earth-to-air heat exchangers for Italian climates. *Renewable Energy*, 2011, 36, 2177-2188.
- [12] Ozgener, O., Ozgener, L., Tester, J. W. A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013, 62, 473-480.
- [13] Abbaspour-Fard, M. H., Gholami, A., Khojastehpour M. Evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the North-East of Iran with semi-arid climate. *International Journal of Green Energy*. 2011, 8,4, 499-510.
- [14] Misra, R., Bansal, V., Agrawal, G. D., Mathur, J., Aseri, T. K. CFD analysis based parametric study of derating factor for Earth Air Tunnel Heat Exchanger. *Applied Energy*. 2013, 103, 266-277.
- [15] Al-Ajmi, F., Loveday, D. L., Hanby, V. I. The cooling potential of earth–air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate. *Building and Environment*. 41(3), 2006, 235-244.
- [16] Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G. D., Mathur, J. Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for winter heating. *Energy and Buildings*, 2009, 41(11), 1151-1154.
- [17] Ozgener, L. A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, 4483-4490.

- [18] Ozgener, L., Ozgener, O. Three heating seasons monitoring of thermo-economic parameters of a prototype EAHE system for technological forecasting and evaluating low grade geothermal resources in Turkey. *Energy and Buildings*. 2013, 346-352.
- [19] Ozgener, L., Ozgener, O. An experimental study of the exergetic performance of an underground air tunnel system for greenhouse cooling. *Renewable Energy*. 2010, 2804-2811.
- [20] Ozgener, L., Ozgener, O. Energetic performance test of an underground air tunnel system for greenhouse heating. *Energy*. 2010, 4079-4085.
- [21] Ozgener, L., Ozgener, O., Goswami D. Y. Experimental prediction of total thermal resistance of a closed loop EAHE for greenhouse cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2011, 711-716.
- [22] Ozgener, L., Ozgener, O., Goswami D. Y. Seven years energetic and exergetic monitoring for vertical and horizontal EAHE assisted agricultural building heating. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, 175-179.
- [23] Özkara, G. (30.10.2018). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Nelerdir?. <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir>, (28.04.2019).
- [24] Koç, K., Kaya, K. Enerji kaynakları – Yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makine*. 2015, 56, 668, 36-47.
- [25] Erdoğan, M. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin termodinamik analiz yöntemi ile incelenerek, yenilenebilir enerji kullanımının gelecek projeksiyonlarının değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2014, (Yüksek Lisans Tezi).
- [26] Küçükkaya, E. (29.07.2017). Biyokütle Enerjisi Nedir?. <https://www.enerjiportali.com/biyokutle-enerjisi-nedir>, (28.04.2019).
- [27] Eetürk F., Akkoyunlu A., Varınca K.B. Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri, *Türkiye Stratejik Araştırmalar Merkezi. Tasarım yayınları*, 2006, 88
- [28] Küçükkaya, E. (26.09.2017). Jeotermal Nedir? Jeotermal Enerji Nedir?. <https://www.enerjiportali.com/jeotermal-nedir-jeotermal-enerji-nedir>, (28.04.2019).
- [29] Bulut, H, Karadağ, R, Demirtaş, Y, Hilali, İ. Şanlıurfa Kış Şartlarında Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisinin Performans Analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 2016, 152, 54-66.
- [30] Çengel, Y.A., Boles, M.A. *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Güven Kitabevi, İzmir, Türkiye, 2008.
- [31] Kalkan, N, Dağtekin, İ. Güneş Bacası ve Toprak Hava Isı Değiştiricisi Hibrit Sisteminin Pasif Soğutma Amaçlı Kullanılması. *BEU Journal of Science*. 2016, 5(1), 36-40.
- [32] Tu, J., Yeoh, G. H., & Liu, C. *Computational fluid dynamics: a practical approach*. Butterworth-Heinemann. 2008.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Metin KURT

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce(B2), Almanca(A1)

E-posta : metinkurt2010@gmail.com

### **Eğitim Durumu**

Lise : Gaziemir Anadolu Lisesi, 2005-2009

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2009-2013 (Mezuniyet derecesi: 3.54)

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2015-

### **Mesleki Deneyim**

Anova Mühendislik 2013-2018