T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK-HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ARAŞTIRILMASI

Baran PEKER

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2016

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT danışmanlığında, Baran PEKER 'in hazırladığı **"Toprak-Hava Isı Değiştiricisi Performansına Etki Eden Parametrelerin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Araştırılması"** konulu bu çalışma ...../...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman	:Prof. Dr. Hüsamettin BULUT	……
Üye	: Doç. Dr.Abdulcelil BUĞUTEKİN	…….....
Üye	:Yrd. Doç. Dr. İsmail HİLALİ	……

Bu Tezin Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. Şerafettin ÇELİK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1. Toprak Enerjisi 1
1.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği 3
1.2.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanıldığı alanlar 4
1.2.2. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde kullanılan programlar 5
1.2.3. Autodesk Simulation CFD 6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7
3. MATERYAL ve YÖNTEM 11
3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İşlem Aşamaları 11
3.2. Temel Denklemler 15
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 18
4.1. Isıtma Durumunda HAD Analiz Sonuçları 18
4.2. Soğutma Durumunda HAD Analiz Sonuçları 30
4.3. THID Sisteminde Farklı Boru Dizilişinin HAD Analizi 37
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 39
5.1. Sonuçlar 39
5.2. Öneriler 39
KAYNAKLAR 40
ÖZGEÇMİŞ 42

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ARAŞTIRILMASI

Baran PEKER

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Yıl:2016, Sayfa: 42

Günümüzde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımları, enerji, iklimlendirme ve savunma sanayi gibi bir çok alanda yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) araçları, analitik yöntemlerle doğrudan hesaplanamayan karmaşık mühendislik problemlerinde akışkan davranışını, ısı transferini ve basınç kayıplarını doğru tespit edilmesi ile zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, bir toprak-hava ısı değiştiricisi (THID)' nin performansına etki eden parametreler ısıtma ve soğutma durumu için, Autodesk Simulation CFD programıyla analiz edilmiştir. Simulasyon sonuçları, Şanlıurfa iklim koşullarında ölçülen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ile elde edilen sonuçların deneysel ölçümlerle uyum içinde olduğu ve deneysel sonuçlardan ortalama sapmasının ısıtma durumunda %10 ve soğutma durumunda % 3 olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ile toprak-hava ısı değiştiricilerinin termoakış analizleri her türlü çalışma durumunda yapılacağı ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, toprak-hava ısı değiştiricisi, Simulasyon, toprak enerjisi

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS AFFECTING ON EARTH AIR HEAT EXCHANGER PERFORMANCE WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Baran PEKER

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Year:2016, Page:42

Nowadays, Computational Fluid Dynamics (CFD) softwares are used in many industrial sectors such as energy, air-conditioning and defense widely and successfully. Because, Computational Fluid Dynamics (CFD) tools provide significant advantages in terms of time and cost with accurate detemination of fluid behavior, heat transfer and prseesure losses in complex engineering problems that can not be directly calculated by analytical methods. In this study, the parameters affecting on the performance of an earth air heat exchanger (EAHX) were analyzed by Autodesk Simulation CFD program for the heating and cooling conditions. Simulation results were compared with experimental results measured in Şanlıurfa climatic conditions. It is determined that the results obtained from the CFD sofware are in agreement with the experimental measurements and the average deviation from the experimental results is 10% for heating condition and 3% for cooling condition, respectively. As a result, it is seen that the thermofluid analysis of the earth air heat exchangers can be carried out for any working condition and the acceptable results can be obtained with aid of Computational Fluid Dynamics (CFD) sofware.

KEY WORDS: Computational Fluid Dynamics, earth air heat exchanger, Simulation, earth energy

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli tecrübe ve birikimleriyle beni yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüsamettin BULUT' a ve destekleriyle yanımda olan Makine Mühendisliği Bölümündeki tüm öğretim üyelerine teşekkür ederim. Ayrıca Yunus DEMİRTAŞ başta olmak üzere bölümümüzün tüm araştırma görevlilerine bana sağladıkları imkan ve kolaylıklardan dolayı teşekkür ederim. Son olarak aileme; bana duydukları güvenden dolayı çok teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Tipik bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisi (THID) Sistemi 2
Şekil 1.2. Autodesk Simulation CFD Analiz Sonucu..... 6
Şekil 2.1. THID sistemine ait şematik çizim. 10
Şekil 3.1. Model geometrisi 13
Şekil 3.2 Model üzerinde malzeme ataması 13
Şekil 3.3. Model üzerinde sınır şartlarının belirlenmesi..... 14
Şekil 3.4. Model üzerinde mesh oluşturulması 14
Şekil 3.5. Isı geçiş modelinin ayarlanması 15
Şekil 3.6. Çözümlemenin yapılması ve sonuçların kayıt edilmesi 15
Şekil 4.1. Arka kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 19
Şekil 4.2. Yan kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 19
Şekil 4.3.Üst kesitten THID Model 1 (3m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı20
Şekil 4.4. THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 20
Şekil 4.5. 4 Ocak 2015 için THID Model 1sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 23
Şekil 4.6. 12 Ocak 2015 için THID Model 1sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 23
Şekil 4.7. 20 Ocak 2015 için THID Model 1sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 24
Şekil 4.8. 28 Ocak 2015 için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 24
Şekil 4.9. THID Model 2 (2 m derinlik ve tek katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 25
Şekil 4.10. Arka kesitten THID Model 2 (2 m derinlik ve tek katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 25
Şekil 4.11. 4 Ocak 2015 için THID Model 2 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 27
Şekil 4.12. 12 Ocak 2015 için THID Model 2 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 27
Şekil 4.13. 20 Ocak 2015 için THID Model 2 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 28
Şekil 4.14. Arka kesitten THID Model 2 (2 m derinlik ve çift katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 28
Şekil 4.15. Yan kesitten THID Model 2 (2 m derinlik ve çift katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 29
Şekil 4.16. 12 Ocak 2015 için THID Model 3 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi..... 30
Şekil 4.17. Yan kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 31
Şekil 4.18. Üst kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 31
Şekil 4.19. Arka kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı 32
Şekil 4.20. 4 Temmuz 2015 için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi 34
Şekil 4.21. 12 Temmuz 2015 için için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi 34
Şekil 4.22. 20 Temmuz 2015 için için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi 35

Sayfa No

Şekil 4.23. 28 Temmuz 2015 için için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi 35
Şekil 4.24. 20 Temmuz 2015 için için THID Model 3 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi 36
Şekil 4.25. Düz tip boru dizilişli THID sistemi 37
Şekil 4.26. S tipi boru dizilişli THID sistemi 38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Toprağın fiziksel özellikleri 12
Çizelge 3.2. Farklı maddelere ait termofiziksel özellikler 12
Çizelge 4.1. Isıtma durumu için HAD analizi yapılan THID modelleri 18
Çizelge 4.2. 4 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları 21
Çizelge 4.3. 12 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları 21
Çizelge 4.4. 20 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları 22
Çizelge 4.5. 28 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları 22
Çizelge 4.6. 4 Ocak 2015'te THID Model 2 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları .. 26
Çizelge 4.7. 12 Ocak 2015'te THID Model 2 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları 26
Çizelge 4.8. 20 Ocak 2015'te THID Model 2 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları 26
Çizelge 4.9. 12 Ocak 2015' te THID Model 3 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları 29
Çizelge 4.10. 4 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları..... 32
Çizelge 4.11. 12 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları..... 33
Çizelge 4.12. 20 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları..... 33
Çizelge 4.13. 28 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları..... 33
Çizelge 4.14. 20 Temmuz 2015'te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları..... 36
Çizelge 4.15. Farklı boru tiplerine ait farklı hızlardaki analiz sonuçları 38

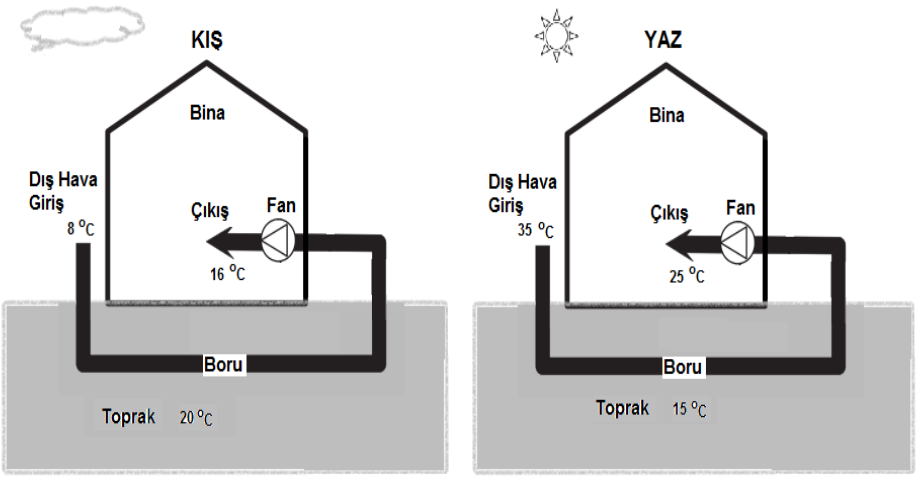
1. GİRİŞ

1.1. Toprak Enerjisi

Toprak enerjisi eskiden beri bilinen bir ısı kaynağıdır. Günümüzde toprak, daha çok ısı pompaları için kaynak veya kuyu olmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında akışkan boruları dikey veya yatay olarak toprak altına döşenmektedir. İklimlendirme, sera ve havalandırma sistemleri için toprağın enerji kaynağı veya kuyu olması ise biraz göz ardı edilmiştir. Ancak iç hava kalitesinin önem kazanması ve enerji maliyetlerinin artması ile hava-toprak ısı değiştiricilerine bir yönelmenin olacağı beklenmektedir.

Isının terkedildiği veya ısının alındığı depolara ısıl enerji depoları denilmektedir. Atmosfer havası, denizler, akarsular ve toprak birer ısıl enerji depolarıdır. Bu ısıl enerji depoları ısı kaynağı veya ısı kuyusu olabilirler (Çengel ve Boles (2008)). Enerji kaynaklarının azaldığı ve maliyetlerinin yükseldiği günümüzde farklı alternatif enerji kaynaklarına yönelmeler olmaktadır. Geçmişte konvansiyonel enerji kaynaklarının yoğun ve kolay ulaşılabilmesi ve ucuz olmasından dolayı göreceli olarak ekonomik ve teknolojik olarak dezavantajlı enerji kaynaklarına ilgi yeterince olmamaktaydı. Fakat bu yaklaşım günümüzde değişmiştir. Tüm enerji kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Toprağın yüksek ısıl kapasitesi ve ortam havasına göre sıcaklık dalgalanmalarının düşük olmasından dolayı toprak altı ısısı rahatlıkla kullanılabilir. Kışın toprak yüzeyinden derine inildikçe toprak sıcaklığı artmakta, yazın ise azalmaktadır. Yeterli bir derinlikte, toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığına göre yazın daha düşük ve kışın ise daha yüksektir. Bu sıcaklık farkı kullanılarak, hava, toprağa gömülmüş kanal veya borulardan geçirilerek, yazın soğutulur, kışın ise ısıtılır. Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisi (THID) sistemi Şekil 1.1.' de gösterildiği gibi borulardan ve hava hareketini sağlayan bir fandan meydana gelir. (Bulut ve ark., 2015)



Şekil 1.1. Tipik bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisi (THID) Sistemi

Toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) teknolojileri kullanılarak ısıtma, soğutma ve havalandırma enerji maliyetleri azaltılabilir.

Teorik ve deneysel çalışmalara göre, bir THID sisteminin ısıl verim ve performansına aşağıdaki parametreler etki eder (Abbaspour ve ark., 2011; Peretti ve ark., 2013):

1. **İklimsel şartlar ve coğrafik konum:** THID sistemleri dış ortam iklim şartlarından etkilenirler. Çok sıcak iklimli çöllerde THID sistemi, soğutma için en uygun yerler olmasına rağmen, ısıtmada ılıman ve sıcak yerlerde çok uygun değildir.

2. **Toprak çeşidi:** Yüksek ısıl iletkenliğe, yüksek yoğunluğa ve yüksek ısı kapasitesine sahip topraklar THID için uygundur. Bu toprak özelliklerinin enerji depolama üzerine katkısı sırasıyla %79, %48 ve %33'tür.

3. **Boru özellikleri:** Boru, pratik uygulama durumuna göre seçilmelidir. Örneğin suya doymuş topraklarda beton boru kullanılmamalı ve su izolasyonu yapılmalıdır. Bununla birlikte boru malzemesinin enerji depolaması üzerine etkisi çok önemli değildir. Boru malzemesi olarak metal veya PVC kullanılmaktadır. Boru uzunluğu da kapasiteyi belirler. En uygun boru uzunluğu iklim koşullarına ve istenen

kapasiteye göre belirlenir. Tan ve Love (2013), THID sistemlerinde daha büyük çaplı boruların kullanımı ve toprak sıcaklığının çekilen ısı üzerine etkisi ile ilgili literatür taraması yapmışlardır. Çok büyük çaplı (900 mm'den büyük) boruların sistem performansı üzerine etkisinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

4. **Gömme derinliği:** Gömme derinliği artıkça toprak ve hava arasındaki sıcaklık farkı artacak ve dolayısıyla enerji alışverişi de artacaktır. Toprak derinliği artıkça sistem kapasitesi de artmaktadır. Boruların derinliği bütün sistemin verimini etkilemektedir. Boruların 2 m derinlikte gömülmesi yıl boyu sıcaklık ve kazma maliyeti açısından uygun olduğu söylenmektedir (Badescu, 2007). Fakat optimum derinliğin 3 m olduğunu söyleyenler de bulunmaktadır (Ascione ve ark., 2011). Gömme derinliğinin THID sıcaklık kazanımı üzerine etkisi boru uzunluğundan daha fazladır. Bununla birlikte sistem maliyeti, toprak kaya yatağı derinliği ve su kodu gibi faktörler gömme derinliğini sınırlamaktadır. Özgener ve ark. (2013), derinlik ve zamana bağlı günlük toprak sıcaklığını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir.

5. **Hava debisi:** Yüksek hava debileri sistem performansını azaltmaktadır. Çünkü bir THID' nin ısıl performansı toprak ve boru içinden geçen hava arasındaki ısı transferine bağlıdır. Yüksek hava hızı çekilecek ısı açısından istenmez. Yüksek hava hızı, çıkış sıcaklığını düşürür.

1.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Mühendislik hesaplamalarında, akışkan davranışının doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Analitik yöntemlerle direkt olarak hesaplanamayan karmaşık problem ve modellerde, ısı transferi, basınç kayıpları, akış hızları gibi verilerin nümerik yöntemlerle, parçanın tasarım aşamasında iken belirlenmesi, zaman ve maliyet açısından üreticiye önemli avantajlar sağlamaktadır (HSK Ar-Ge, 2011).

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), akışkanlar mekaniği problemlerinin analizi ve çözümlenmesi için sayısal yöntem ve algoritmaların kullanıldığı bir akışkanlar mekaniği bilimi dalıdır. Sıvı ve gazların katı yüzeyler ile etkileşimleri

bilgisayar yardımı ile simüle edilir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), ilgili alanda detaylı hesaplamaların yapılabildiği, akış alanı ve diğer fiziksel detayların gösterilebildiği, bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. HAD analizlerinin sonuçları, simülasyon tabanlı ürün tasarım sürecinde ürünün çalışmasını, varsa problemleri bilgisayar ortamında simüle etmeye ve ürün performansını optimize etmekte önemli faydalar sağlar.

1.2.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanıldığı alanlar

Akışkanlar mekaniği ve ısı taransferi ile ilgili hesaplamalar, uzay ve havacılık, otomotiv, kimya, ısıtma, soğutma, havalandırma, biyomedikal ve gemicilik gibi birçok endüstriyel alanda karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), akış ve ısı transferinin olduğu sağlık, enerji, iklimlendirme, savunma sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Aşağıda HAD' ın kullanıldığı alanlar belirtilmektedir.

- Medikal cihazlar
- Isıtma, soğutma, havalandırma sistemleri
- Motor soğutma sistemleri
- Jet motorları ve turbomakinalar
- Aerodinamik ve hidrodinamik gövde tasarımı
- Giriş ve egzost sistemleri
- Yakıt sistemleri
- Transmisyon sistemleri
- Frenler, kavramalar
- Termostatlar
- Valfler
- Pompalar
- Kompresörler
- Fanlar
- Isı değiştiriciler
- Fırınlar, ocaklar

- Soğutma sistemleri, dondurucular
- Tesisat sistemleri
- Sulama, yağmurlama sistemleri
- Atık işleme ve arıtma sistemleri
- Kimyasal, gıda, malzeme prosesleri
- Yakıt hücreleri
- Askeri savunma sistemleri

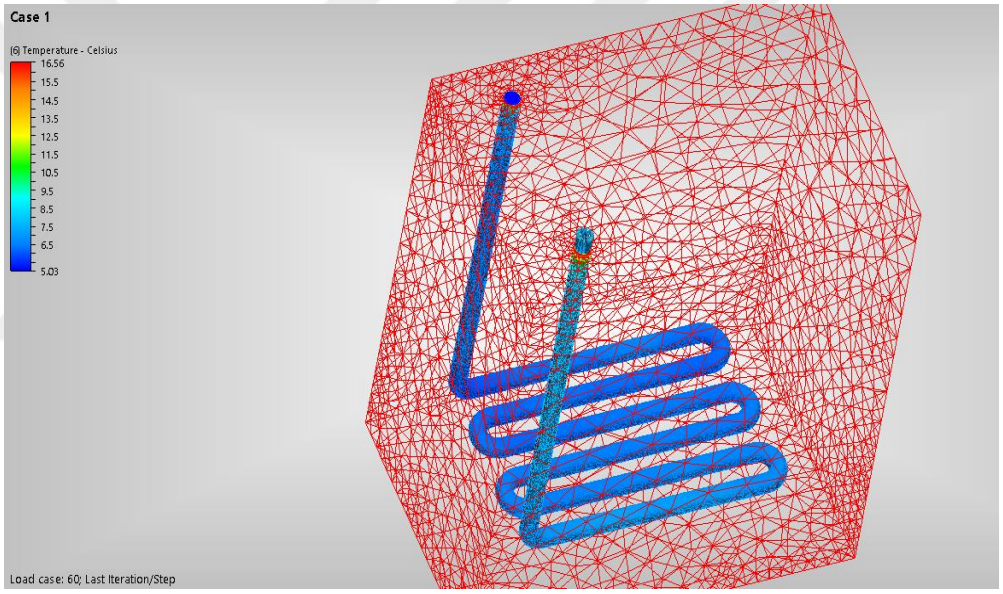
1.2.2. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde kullanılan programlar

Sanayi ve akademik çevrelerde kullanılan açık kodlu veya tescilli bazı HAD yazılım programları aşağıda verilmiştir.

- ANSYS CFX
- POLYFLOW
- ICEPAK
- AIRPAK
- MIXSIM
- ANSYS FLUENT
- XFLOW
- StarCCM+
- FLOW3D
- FLOWMASTER
- OpenFOAM
- POINTWISE
- MOHID
- Delft3D-FLOW
- OpenFVM
- FEATool
- FLUIDYN
- AUTODESK SIMULATION CFD

1.2.3. Autodesk Simulation CFD

Bu çalışmada kullanılan HAD yazılım programı olarak Autodesk Simulation CFD kullanılmıştır (http://www.autodesk.com/products/cfd/overview). Çalışma kapsamında toprak hava ısı değiştirici performansına etki eden parametreler analiz edilmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan dolayı maliyet ve zaman kaybı minimize edilmiştir. Bu amaçla 3 adet THID sistemi modellenmiş olup farklı derinlik ve çaplardaki sistemlerin kış ve yaz dönemlerinde performansları incelenmiştir. Şekil 1.2.' de toprak hava ısı değiştiricisi için Autodesk Simulation CFD'de yapılan simülasyonun analiz sonucu gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Autodesk Simulation CFD Analiz Sonucu

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde toprak hava ısı değiştiricisi sistemleri ile ilgili olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Farklı programların kullanıldığı bu çalışmalar, genel olarak ısıtma ve soğutma alanında olsa da genelde sera uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir.

Daloğlu (2015), Ankara ilinde bulunan bir evin soğutma ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan bir THID sistemi ile ilgili araştırma yapmıştır. Çalışmada 4 m derinlikte toprak sıcaklığının 14 °C' de sabit kaldığı kabul edilmiştir. Evin soğutma yükü belirlendikten sonra THID' nin boru uzunluğu; farklı çap ve farklı malzeme durumları için hesaplanmıştır. Aynı zamanda yapılan deneysel çalışmaya ait sonuçlar teorik sonuçlarla ve literatürdeki benzer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda literatürdeki diğer sonuçlardan daha iyi bir yaklaşım elde ettiği görülmektedir. Çalışma sonucunda THID sistemlerinin bir evin soğutma ihtiyacını karşılayabileceği ifade edilmiştir.

Bansal ve ark. (2013) tarafından, toprak ısıl iletkenliği ve sürekli çalışmanın THID'in ısıl performansı üzerine etkisi değişik boru uzunluğu için deneysel sonuçlar üzerinden CFD simülasyonu yapılmıştır. CFD olarak Fluent programı kullanılmıştır. Çalışmada THID boru çevresindeki sıcaklık dağılımı ve çalışma periyodunun THID'nin ısıl performansı üzerine etkisi incelenmiştir. Isıl etkinin gözlendiği boru etrafındaki toprak halkasının kalınlığı toprağın iletkenliğine ve THID sisteminin sürekli çalışma periyoduna bağlı olduğu ve toprak halkasının kalınlığı boru çapına eşit olduğu tespit edilmiştir.

Trzaski ve Zawada (2011), çevresel ve geometrik faktörlerin THID enerji verimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla bir sayısal model geliştirmişlerdir. Isı değiştiricinin çevresindeki işlem karmaşıklığından dolayı ölçüm ve analitik çözümlerin, inceleme için yeterli olamadığını ifade etmişlerdir. Bir THID'in verimini etkileyen çoklu ve birbirine bağlı değişkenler olduğundan, performans

optimizasyonu özel durumlar için yapısı, çalışma parametreleri, ilk yatırım ve enerji maliyetleri dikkate alınarak yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Fluent yazılımı, THID simülasyonlarında ve sayısal analizinde en çok kullanılan yazılımlardan biridir. Bir THID'in ısıl davranışı Brezilya, Viamao şartlarında yeni bir sayısal modelleme ile incelenmiştir. Sayısal modellemede Fluent programı kullanılmıştır. Toprak derinliği, THID ısıl performansı üzerine etkisi çalışılmıştır. 5 m'ye kadar olan toprak derinliği her 1 m için incelenmiş ve 3 m' den daha aşağı derinliklerin THID sisteminin ısıl potansiyeli kullanmasında önemli bir fark yapmadığı sayısal olarak da tespit edilmiştir.

Vaz ve ark. (2011), Bir THID'nin deneysel ve sayısal analizini Brazilya için yapmışlardır. Sayısal analizde Fluent kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasında %15 fark tespit edilmiştir. Sayısal analizin THID sistemlerinde, araştırmalarda ve proje geliştirilmesinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Fluent simülasyon programı kullanılarak bir THID sistemin kışın ısıtma durumunda ısıl performansı ve ısıtma kapasitesi Bansal ve ark., (2009) tarafından araştırılmıştır. Simülasyon, Batı Hindistan'daki Ajmer şehrinde kurulmuş THID deneysel sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Çelik ve PVC boru malzemesinin THID system performansı üzerinde önemli etkisi saptanmamıştır. Fakat hava hızının, THID sistem performansı üzerine önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Özgener ve Özgener (2013), soğutma durumu için kapalı devre bir THID'in ekserjik performansı deneysel olarak incelemişlerdir. Ölçümler Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova kampüsünde 2009-2011 yılları arasında alınmıştır. Ekserji verimi, farklı referans durumları için ayrıca belirlenmiştir.

Kapalı devre modunda bulunan THID' li sera ısıtma sistemlerinin performansını modellenmesi, analizi ve değerlendirmesi Hepbaşlı (2013) tarafından yapılmıştır. Çalışılan THID sisteminin toplam enerji verimi %72.10 ve 0 °C referans durum sıcaklığında toplam ekserji verimi değeri %19.18 olarak hesaplanmıştır.

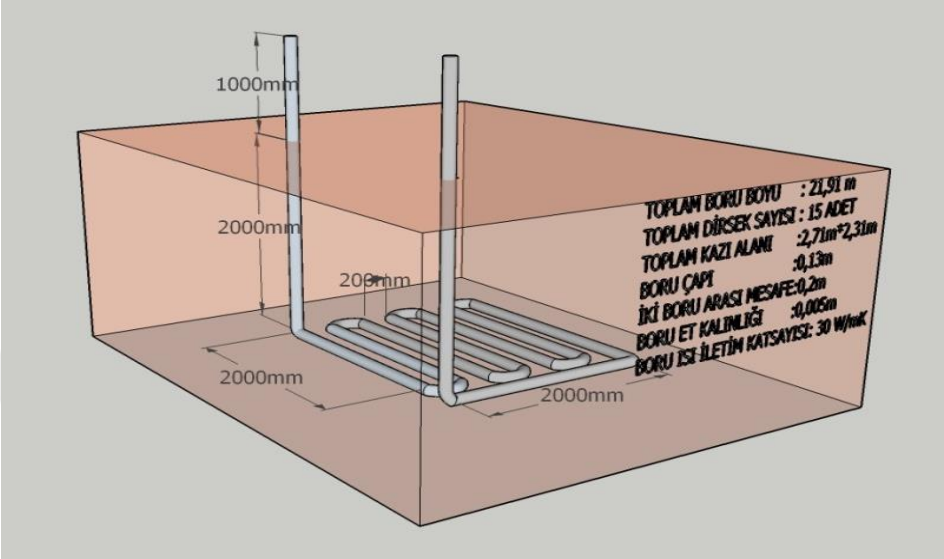
Bojic ve ark. (1997), %100 temiz hava kullanan yazın soğutma ve kışın ısıtma yapan bir THID sistemin teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Teorik çalışmanın sonucunda THID' nin binanın günlük ısıtma ve soğutma ihtiyacının bir kısmını sağladığı ve yazın kışa göre daha enerji verimli ve ekonomik olduğu bulunmuştur.

Ascione ve ark. (2011), THID' lerin İtalya şartlarındaki yaz ve kış ısıl performansını ve ekonomik analizini incelemişlerdir. Teorik analiz sonuçlarına göre THID' lerin en iyi performansı soğuk iklim koşullarına sahip yerlerde gösterdikleri tespit edilmiştir. Metalik olmayan boruların daha ekonomik olduklarını ifade etmişlerdir. THID sisteminin yazın havalandırma amacıyla kullanımı ayrıca analiz edilmiştir.

Toprak – hava ısı değiştiricisi (THID) ile havanın ısıtılması ile ilgili olarak Bulut ve ark. (2015a) tarafından Şanlıurfa ilinde yapılan çalışmada THID sisteminin ısıtma konumunda iyi performans gösterdiği ve ısıtma ve havalandırma uygulamaları açısından enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Şanlıurfa kış şartlarında, toprağın sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanılarak bir THID sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. 13 cm çapında ve 20 m uzunlukta galvanizli borulardan meydana gelen toprak-hava ısı değiştiricisi, serpantin şeklinde yerin 2 m altına yerleştirilen çalışmada; hava giriş ve çıkış sıcaklığı, hava hızı ve toprak sıcaklığı ölçümleri gündüz saatlerinde ve kesikli manuel olarak Aralık 2013-Şubat 2014 arasında yapılmıştır. Hava hızı ve sıcaklıklar arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Toprak ve dış hava sıcaklık farkı ölçülen değerlere göre maksimum 12.5 °C ve ortalama 5.8 °C olarak tespit edilmiştir. THID sisteminde çıkış ve giriş havası arasındaki sıcaklık farkı maksimum 11.6 °C ve ortalama 4.8 °C olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarla THID' nin etkinliği ortalama 0.83 ve COP değerinin ise ortalamada 1.7-5.9 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

2014 yılı yaz döneminde sıcak ve kuru iklim şartlarına sahip Şanlıurfa ilinde Bulut ve ark. (2015b) tarafından yapılan bir diğer deneysel çalışmanın sonuçlarına göre; THID' nin iyi bir ısıl performans gösterdiği ve soğutma ve havalandırma

uygulamalarında enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Giriş ve çıkış sıcaklıkları, THID' ne ait hava hızı ve toprak sıcaklığının ölçüldüğü çalışmada; yapılan ölçümlerin THID sistemi için ısıl ve istatistiksel analizi yapılmıştır. Şekil 2.1.' de kurulan deneysel sistem şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. THID sistemine ait şematik çizim (Bulut ve ark. (2015b).

Turgay (2013), Fransa'nın merkezinde yer alan Beaucouzè kasabasında bir villanın bahçesinde kurulmuş THID sisteminin performans sonuçlarını 2 yıllık ölçüm değerlerine göre analiz etmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda THID sisteminin performansını etkileyen unsurlar arasında, boru sisteminin boyutlandırmasının yanı sıra, iklim şartları ve toprak özelliklerinin de rol oynadığı görülmüştür. Sistemin tasarımında bu unsurların da hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir.

Ozgener ve Ozgener (2011), İzmir'de sera ısıtılması için kullanılan bir kapalı döngülü THID'ın en uygun tasarımını belirlemesini ekserjoekonomik analiz ile yapmışlardır. Bir THID için termodinamik ve ekonomik faktörlerin önemli olduğu çıkan sonuçlarla görülmüştür. Ortalama COP değeri ve ekserji verimi sırasıyla 10.51 ve % 89.25 hesaplanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Literatür taramasından THID sistemleri üzerine teorik, sayısal ve deneysel olarak çalışmalar yapıldığı görülmüştür. THID sistemine etki eden çok parametre olması ve değişik şartlarda farklı performans göstermelerinden dolayı her bir durum için ayrı ayrı teorik ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarından olan Autodesk Simulation CFD kullanılarak farklı özelliklerdeki THID sistemlerinin analizleri yapılmıştır.

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İşlem Aşamaları

Autodesk simulation CFD programında analiz için yapılacak işlemler aşağıda verilmiştir.

- Model geometrinin oluşturulması
- Malzeme özeliklerinin belirlenmesi
- Sınır şartlarının belirlenmesi
- Modelin ağ yapısının (mesh) oluşturulması
- Isı geçiş modelinin ayarlanması
- Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması
- İlk çözümlemenin yapılması
- Sonuçların kaydedilmesi
- Sonuçların değerlendirilmesi

Model geometriler, Autodesk Inventor 3D CAD bilgisayar çizim tasarım programıyla çizilmiştir. Çizilen modellerde deney düzeneğinin ölçüleri baz alınmıştır. Çizimler 2 farklı derinlikte ve farklı çaplarda 3 adet çizilmiştir. Toprak yaklaşık 1 m derinliğe kadar kırmızı kil, kum ve çakıl karışımından oluşmaktadır (Yeşilnacar ve ark. (2012)). Çalışma alanındaki toprak kum ve kil karışımı olduğu için toprak seçiminde öncelikle killi toprak seçilmiştir. Daha sonra kumlu toprak

seçilerek aynı çalışma tekrarlanmıştır. Çizelge 3.1.' de toprağa ait fiziksel özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Toprağın fiziksel özellikleri (Daloğlu (2015)).

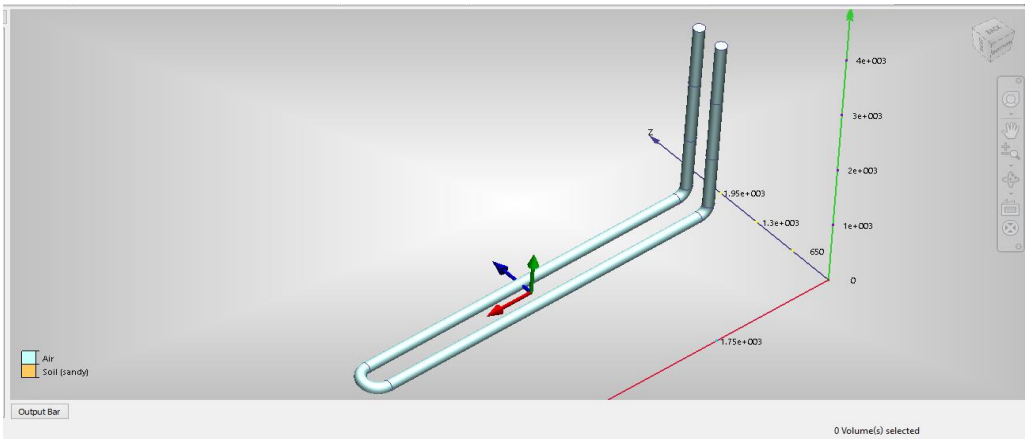
Toprak cinsi	Yoğunluk, ρ (kg/m^3)	Isı iletkenlik katsayısı, k (W/m K)	Isıl difüzyon katsayısı, ν (m^2/s)	Özgül ısı, C (J/kg K)
Kil	1500	1.4	$1.1x10^{-6}$	848
İri Çakıl	2050	0.519	$1.39x10^{-7}$	1842
Granit	2640	3.0	$1.4x10^{-6}$	811
Kum	1500	0.3	$2.5x10^{-7}$	800
Hafif ve nemli	-	0.87	$1.39x10^{-7}$	-
Ağır ve nemli	-	1.30	$5.55x10^{-7}$	-
Ağır ve kuru	-	0.95	$5.21x10^{-7}$	-

Çizelge 3.2.'de farklı malzemelere ait termofiziksel özellikler gösterilmektedir.

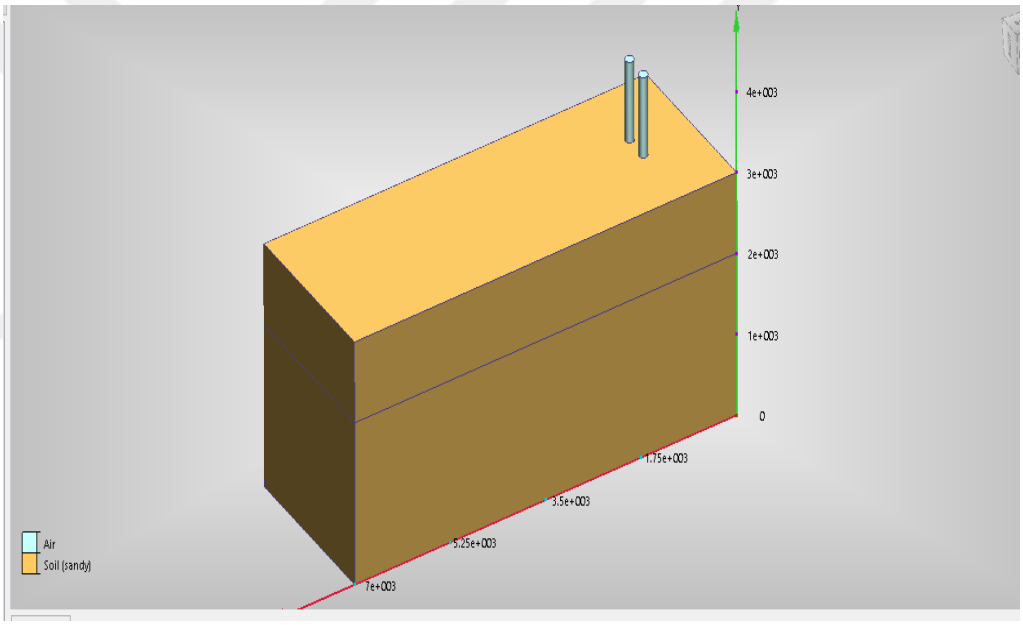
Çizelge 3.2. Farklı maddelere ait termofiziksel özellikler (Daloğlu (2015) ve Bansal ve ark.(2009)).

Madde	k (W / mK)	ρ (kg / m^3)	C_p (J / kgK)	ν (m^2 / s)	Pr
Çelik	54	7833	465	-	-
PVC	0.16	1380	900	-	-
Toprak	0.52	2050	1840	-	-
Hava	0.02624	1.225	1005	$16.97x10^6$	0.71

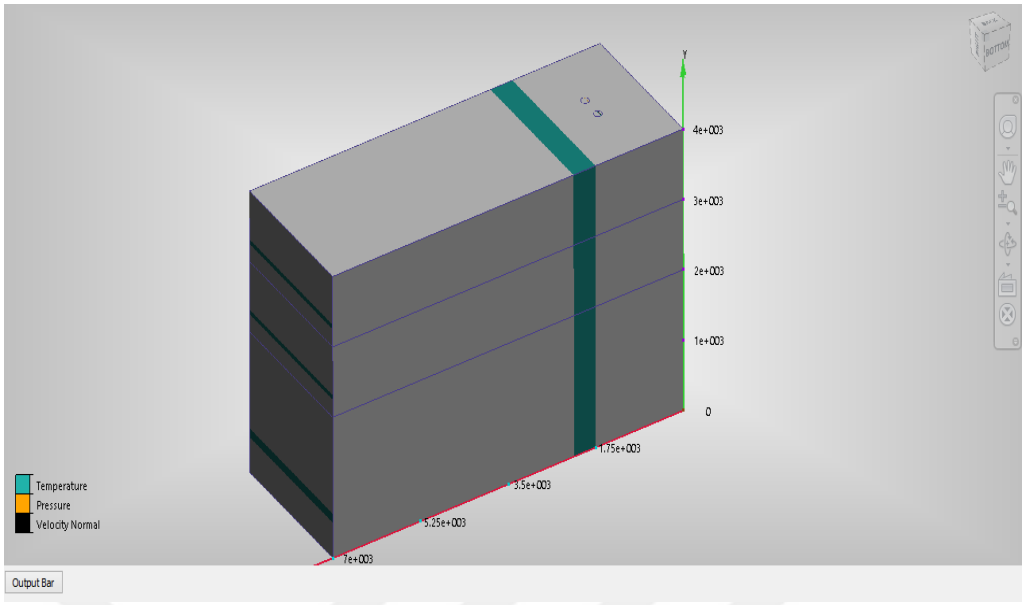
THID sisteminin önce deneysel sistemle aynı ölçülerde çizimi yapılmıştır. THID sisteminin HAD analizi ile ilgili aşamalar Şekil 3.1 ve Şekil 3.6 arasında verilmiştir. THID sisteminin model geometrisi Şekil 3.1.' de gösterilmektedir. Daha sonra model geometriye, toprak ve hava malzemesi ataması yapılmıştır (Şekil 3.2.). Model üzerinde hız, sıcaklık ve basınç sınır şartları belirlenerek Şekil 3.3.' de modelde gösterilmiştir. Şekil 3.4.' de modelde mesh oluşumu verilmektedir. Şekil 3.5.' de model üzerinde çözüm yapmadan önce ısı geçiş modeli seçilmektedir. Şekil 3.6.' da modelin sonuçlarının kaydedilmesi gösterilmektedir.



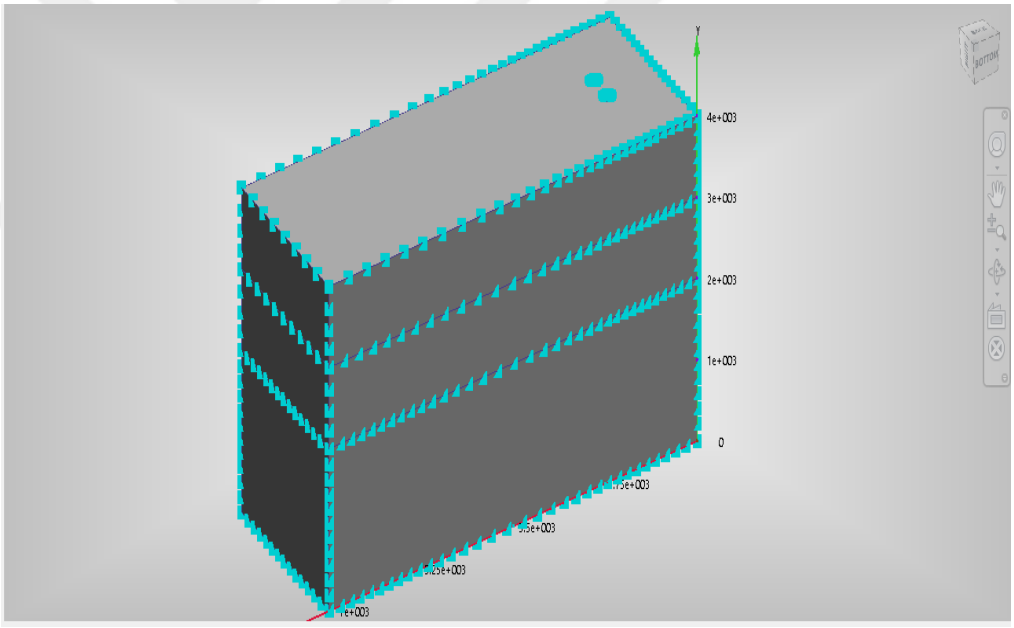
Şekil 3.1. Model geometrisi



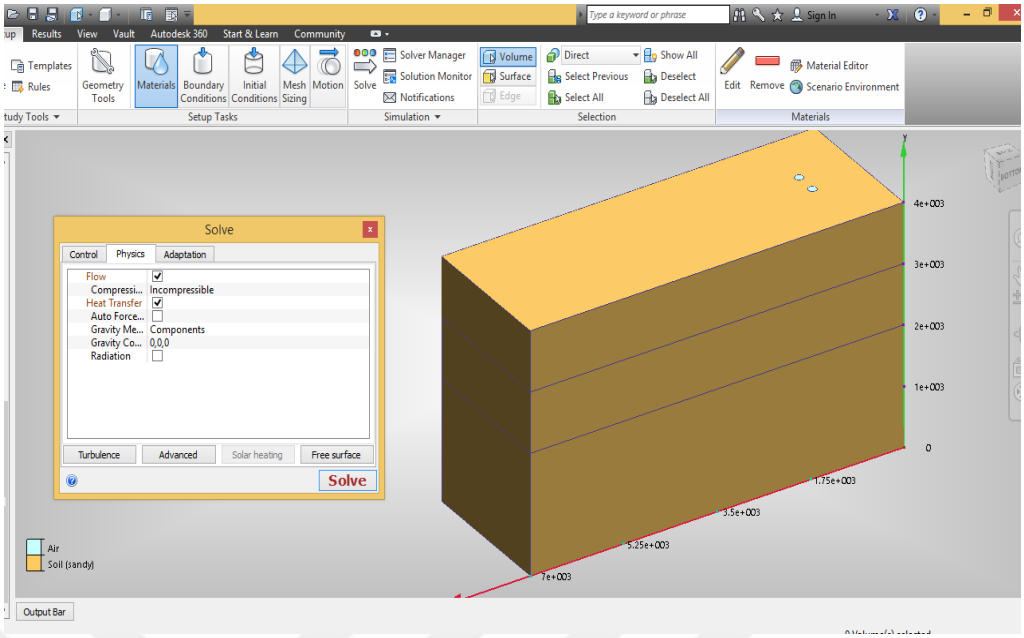
Şekil 3.2 Model üzerinde malzeme ataması



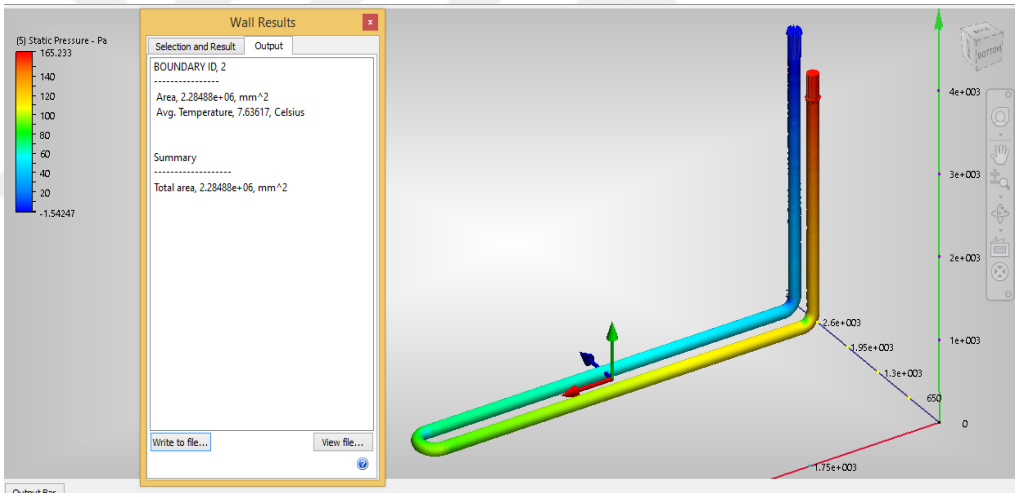
Şekil 3.3. Model üzerinde sınır şartlarının belirlenmesi



Şekil 3.4. Model üzerinde mesh oluşturulması



Şekil 3.5. Isı geçiş modelinin ayarlanması



Şekil 3.6. Çözümlemenin yapılması ve sonuçların kayıt edilmesi

3.2. Temel Denklemler

Akışkan akışı ve ısı transferinde temel denklemler, Navier-Stokes ve enerji denklemleridir. Autodesk CFD Simulation programının alt yapısını oluşturan süreklilik denklemi (Denklem 3.1.), x-momentum denklemi (Denklem 3.2.), y-

momentum denklemi (Denklem 3.3.), z-momentum denklemi (Denklem 3.4.) ve enerji denklemi (Denklem 3.5.) aşağıda verilmiştir.
(https://knowledge.autodesk.com/support/cfd).

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \tag{3.1}$$

X-Momentum Denklemi:

$$\rho\frac{\partial U}{\partial t} + \rho U\frac{\partial U}{\partial x} + \rho V\frac{\partial U}{\partial y} + \rho W\frac{\partial U}{\partial z} = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + S_{DR} + S_{\omega} +$$
$$\frac{\partial}{\partial x}\left[2\mu\frac{\partial U}{\partial x} - \rho uu\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}\right) - \rho uv\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x}\right) - \rho uw\right] \tag{3.2}$$

Y-Momentum Denklemi:

$$\rho\frac{\partial V}{\partial t} + \rho U\frac{\partial V}{\partial x} + \rho V\frac{\partial V}{\partial y} + \rho W\frac{\partial V}{\partial z} = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + S_{DR} + S_{\omega} +$$
$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}\right) - \rho uv\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[2\mu\frac{\partial V}{\partial y} - \rho vv\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y}\right) - \rho vw\right] \tag{3.3}$$

Z-Momentum Denklemi:

$$\rho\frac{\partial W}{\partial t}+\rho U\frac{\partial W}{\partial x}+\rho V\frac{\partial W}{\partial y}+\rho W\frac{\partial W}{\partial z}=\rho g_z-\frac{\partial P}{\partial z}+S_{DR}+S_{\omega}+$$
$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial U}{\partial z}+\frac{\partial W}{\partial x}\right)-\rho uw\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial V}{\partial z}+\frac{\partial W}{\partial y}\right)-\rho vw\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[2\mu\frac{\partial W}{\partial z}-\rho ww\right] \quad (3.4)$$

Enerji Denklemi:

$$\rho C_p\frac{\partial T}{\partial t}+\rho C_p U\frac{\partial T}{\partial x}+\rho C_p V\frac{\partial T}{\partial y}+\rho C_p W\frac{\partial T}{\partial z}$$
$$=\frac{\partial}{\partial x}\left[k\frac{\partial T}{\partial x}-\rho C_p uT'\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[k\frac{\partial T}{\partial y}-\rho C_p vT'\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[k\frac{\partial T}{\partial z}-\rho C_p wT'\right]+q_V \quad (3.5)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

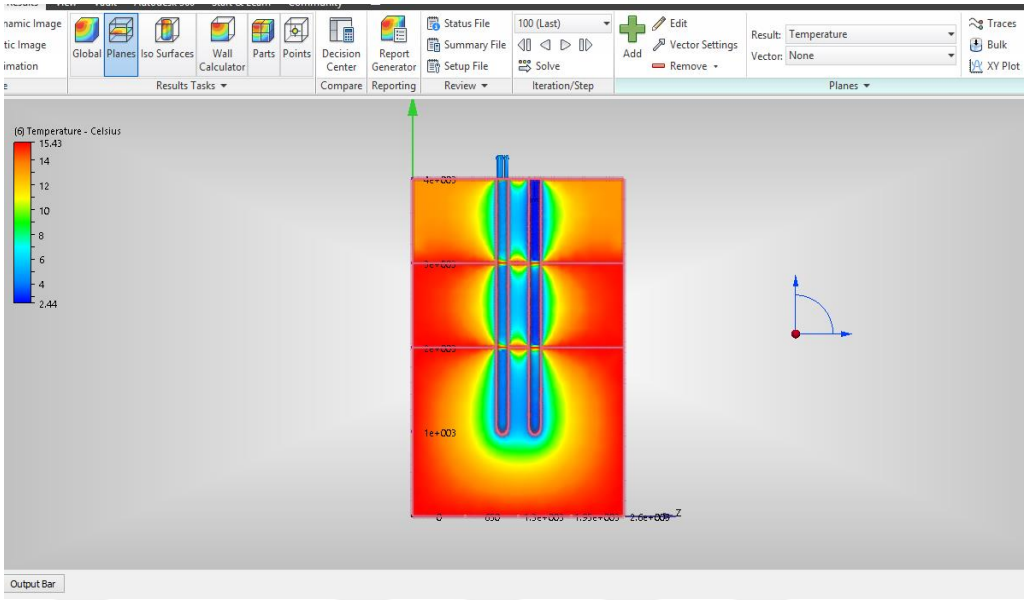
4.1. Isıtma Durumunda HAD Analiz Sonuçları

Autodesk Simulation CFD programıyla kış mevsimi için Ocak ayı baz alınıp ısıtma durumunda THID sistemlerinin performans analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları, deneysel ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. 3 farklı THID modeli üzerinde toplam 48 analiz yapılmıştır. THID modellerin geometrik özellikleri Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Modeller farklı çaplarda ve farklı derinliktedirler. Toprak üst yüzeyinden toprak altında döşenen boru derinliğine kadar toprak sıcaklığı değiştiğinden model üzerinde toprak katmanlara ayrılmış ve her katman için ölçülen toprak sıcaklıkları kullanılmıştır.

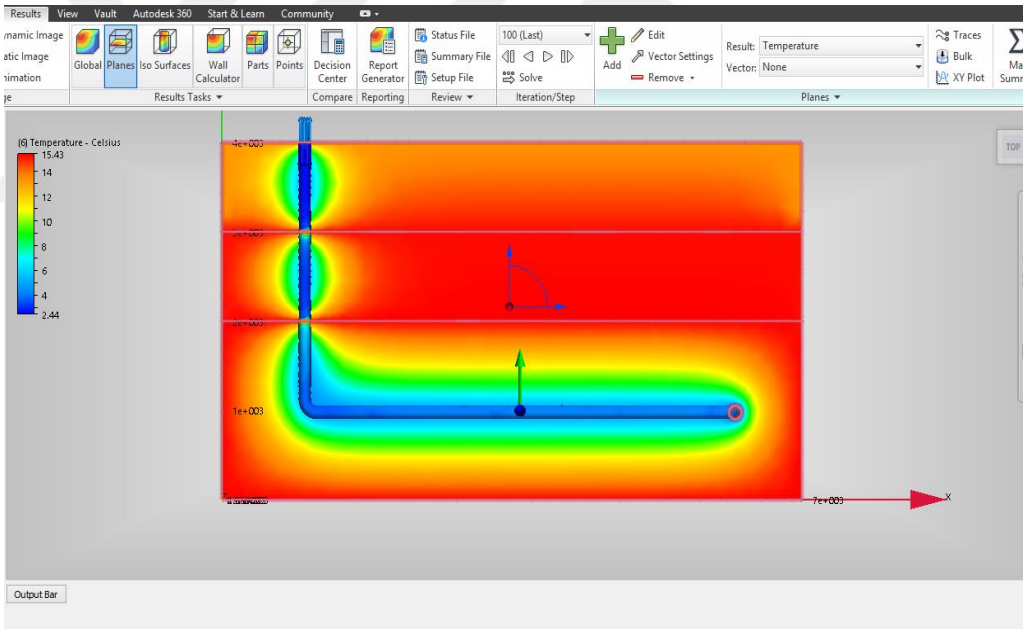
Çizelge 4.1. Isıtma durumu için HAD analizi yapılan THID modelleri

THID Modeli	Boru Çapı, mm	Toprak Derinliği, mm	Toprak katman sayısı	Analiz Sayısı
1	150	3000	3	24
2	130	2000	1	18
3	110	2000	2	6

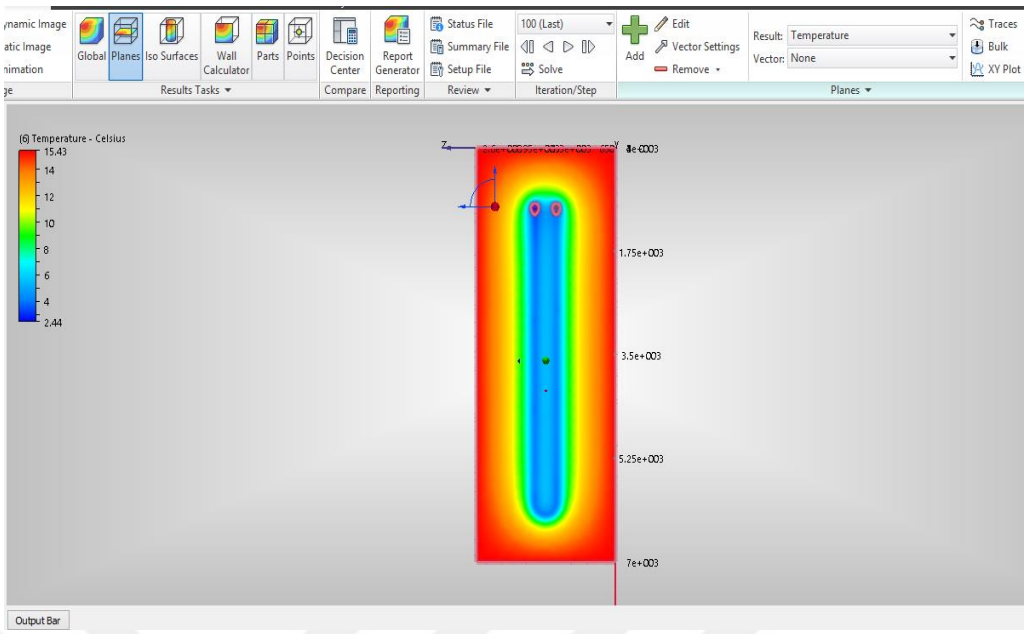
Autodesk Simulation CFD programında THID Model 1 için sıcaklık dağılımı ısıtma döneminde farklı kesitlerden Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4.' de gösterilmektedir. Şekillerden katmanlarda boru etrafındaki sıcaklık dağılımlarının farklı olduğu ve derinlik artıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir.



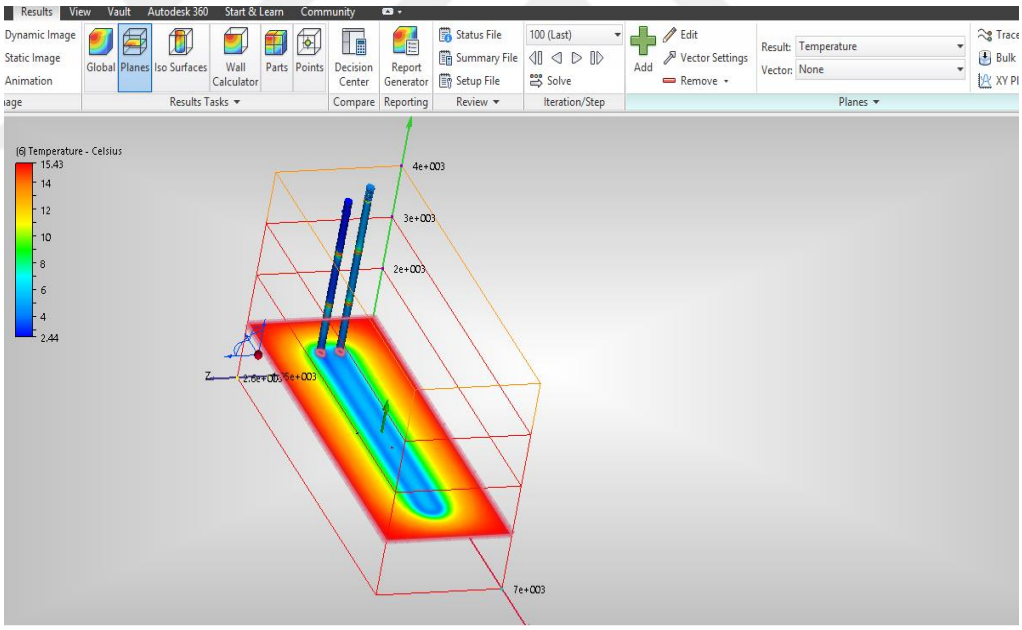
Şekil 4.1. Arka kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı



Şekil 4.2. Yan kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı



Şekil 4.3.Üst kesitten THID Model 1 (3m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı



Şekil 4.4. THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı

Çizelge 4.2., 4.3. 4.4. ve 4.5' te THID Model 1 sisteminin ısıtma durumunda performans analiz sonuçları 4, 10, 20 ve 28 Ocak 2015 tarihleri için sırasıyla verilmiştir. Çizelgelerden katmanlarda toprak sıcaklığının farklı olduğu ve deneysel

ölçümlerden sapmanın değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Deneysel ölçümlerden sapma aşağıdaki denklemle (Denklem 4.1.) tespit edilmiştir.

$$Sapma = \frac{|T_{çıkış}\ (CFD) - T_{çıkış}(Deneysel)|}{T_{çıkış}\ (Deneysel)} x100 \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2. 4 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

4 Ocak 2015	Sıcaklık, ^oC						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	13.66	16.56	17.54	6.11	10.56	9.1	13
06:00	13.68	16.57	17.55	4.97	9.82	8.38	14
10:00	13.26	16.2	17.17	8.82	10.74	10.78	1
14:00	13.53	16.31	17.23	11.64	12.5	12.7	1
20:00	13.6	16.42	17.33	7.1	10.84	9.74	10
22:00	13.64	16.45	17.36	7.01	10.71	9.75	9
	Hava Hızı, V=6100 mm/sn						

Çizelge 4.3. 12 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

12 Ocak 2015	Sıcaklık, ^oC						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	13.4	15.49	15.65	0.72	4.87	5.31	9
06:00	13.44	15.5	15.66	0.17	4.6	4.96	8
10:00	12.9	14.99	15.15	5.5	6.45	8.29	28
14:00	13.23	15.22	15.34	6.37	7.61	8.96	18
20:00	13.29	15.29	15.43	2.44	6.14	6.4	4
22:00	13.23	15.24	15.39	3.1	6.26	6.81	9
	Hava Hızı, V=6100 mm/sn						

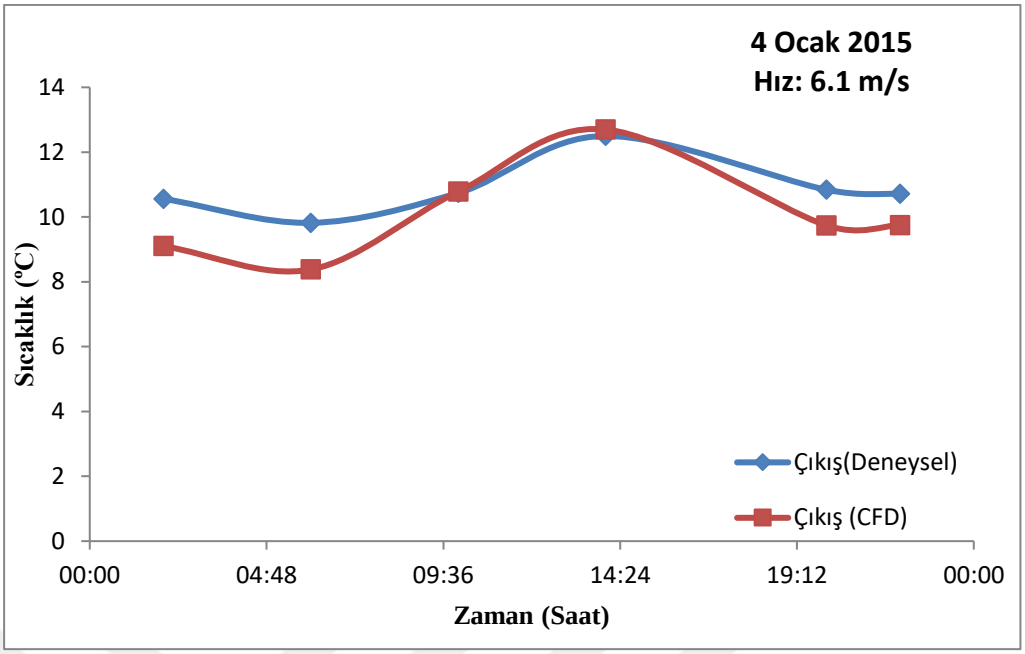
Çizelge 4.4. 20 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

20 Ocak 2015	Sıcaklık, ^{o}C						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	11.97	13.96	14.64	5.78	8.16	8.19	1
06:00	12.06	14.05	14.75	4.82	7.64	7.55	1
10:00	11.42	13.49	14.23	12.73	11.09	12.6	14
14:00	11.72	13.64	14.33	15.48	13.48	14.49	7
20:00	11.86	13.88	14.64	6.56	9.71	8.68	10
22:00	11.87	13.89	14.67	8.44	9.88	9.92	1
	Hava Hızı, V=6100 mm/sn						

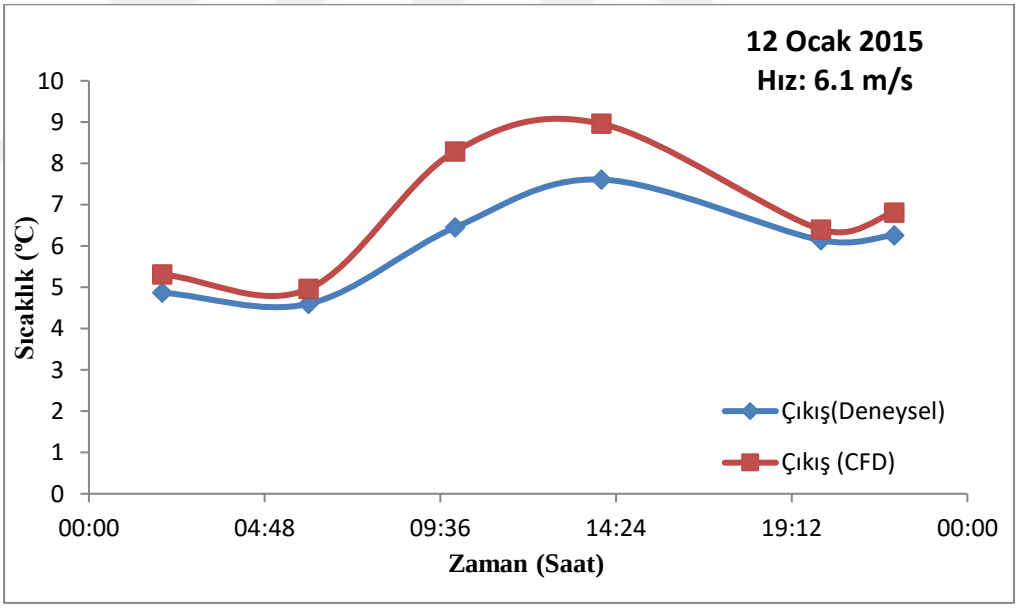
Çizelge 4.5. 28 Ocak 2015 tarihi için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

28 Ocak 2015	Sıcaklık, ^{o}C						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	11.34	13.52	14.66	8.12	9.72	9.58	1
06:00	11.39	13.56	14.71	7.01	8.85	8.87	1
10:00	11.22	13.4	14.55	10.11	10.4	10.85	4
14:00	11.11	13.29	14.42	12.23	11.66	12.21	5
20:00	11.36	13.52	14.62	6.26	9.25	8.35	10
22:00	11.35	13.5	14.6	6.85	9.03	8.74	3
	Hava Hızı, V=6100 mm/sn						

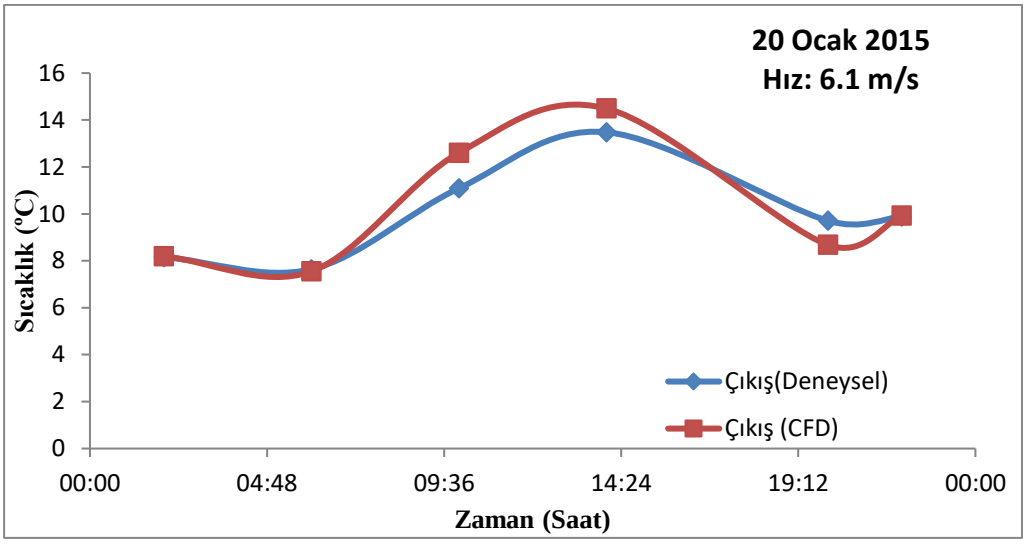
Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de Autodesk Simualation CFD analiz sonucu elde edilen çıkış sıcaklığı ve deneysel ölçüm sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimleri verilmiştir. Şekillerden gün boyunca CFD'den elde edilen çıkış sıcaklıklarının deneysel ölçüm sonuçları ile uyum içinde olduğu ve benzer değişimi gösterdiği görülmüştür.



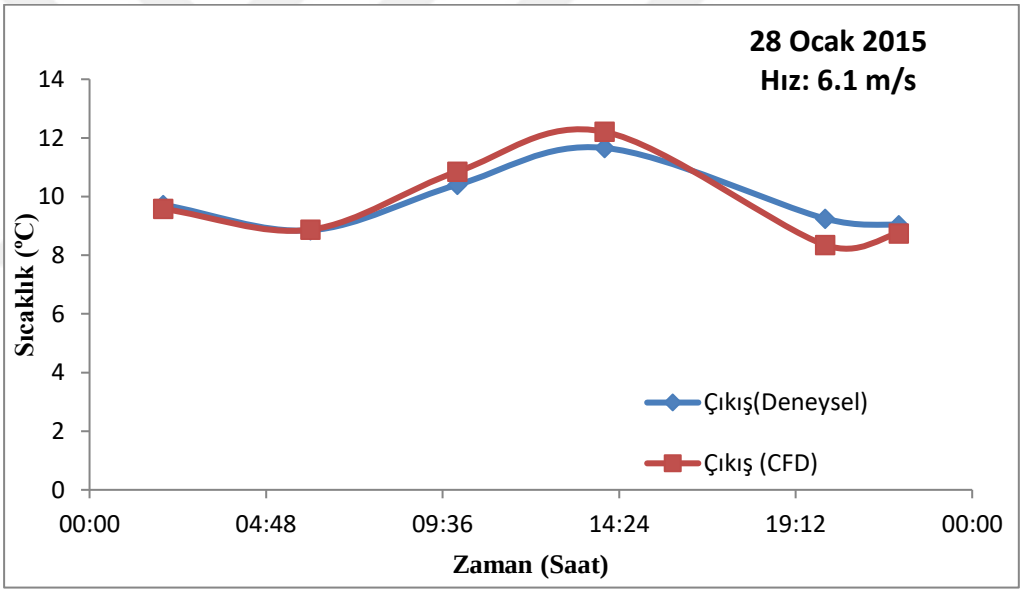
Şekil 4.5. 4 Ocak 2015 için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi



Şekil 4.6. 12 Ocak 2015 için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi



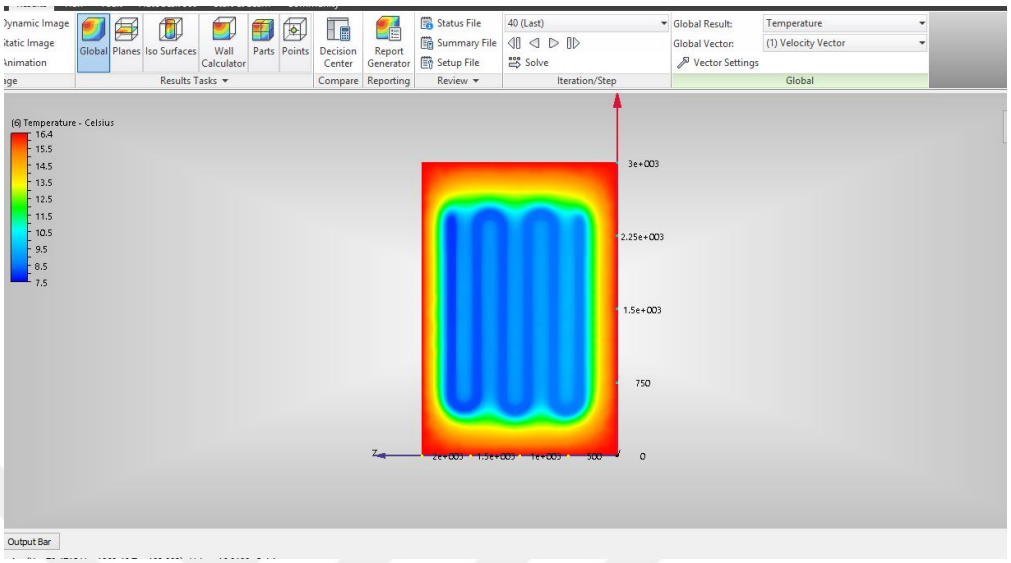
Şekil 4.7. 20 Ocak 2015 için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi



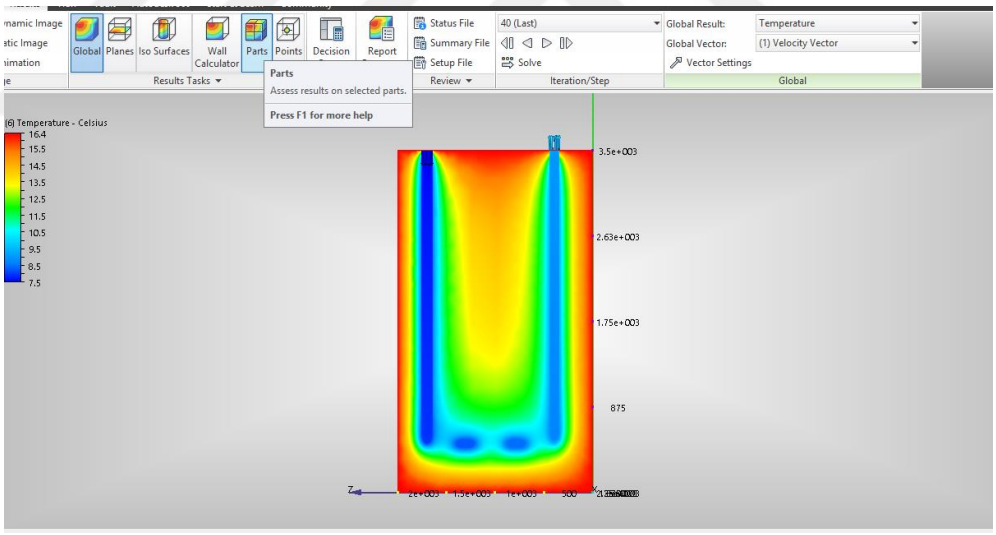
Şekil 4.8. 28 Ocak 2015 için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi

Şekil 4.9 ve 4.10'da THID Model 2 (Toprak derinliği 2 m ve tek toprak katmanı) için Autodesk Simulation CFD programında sıcaklık dağılımı ısıtma döneminde farklı kesitlerden gösterilmiştir. Şekil 4.9' dan serpantin şeklinde döşenmiş boruların birbirinden etkilendiği ve esas ısı transferinin ve sıcaklık değişiminin serpantinin dışında olan borularda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Serpantin şekilde yerleştirilmiş borular arasında yeterli miktarda boşluğun olması

gerektiği sonucuna varılmıştır. Şekil 4.10' da sıcaklıklardan giriş borusu (Sol taraftaki) ve çıkış borusu (Sağ taraftaki) açık bir şekilde kendilerini göstermektedir.



Şekil 4.9. THID Model 2 (2 m derinlik ve tek katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı



Şekil 4.10. Arka kesitten THID Model 2 (2 m derinlik ve tek katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı

Çizelge 4.6, 4.7 ve 4.8.' de THID Model 2 (2 m derinlik ve tek katman) sisteminin ısıtma durumunda performans analiz sonuçları 4, 10 ve 20 Ocak 2015 tarihleri için sırasıyla verilmiştir. Çizelgeden tek katman toprak için çıkış sıcaklığının deneysel ölçüme göre önemli sapma gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.6. 4 Ocak 2015'te THID Model 2 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

4 Ocak 2015	Sıcaklık, ^{o}C				
Saat	2 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	16.56	5.03	10.86	7.88	27
06:00	16.57	4.02	10.11	7.18	29
10:00	16.20	7.47	10.75	9.80	9
15:00	16.34	10.52	11.71	12.05	3
18:00	16.40	7.5	11.42	9.86	14
22:00	16.45	6.33	10.75	8.9	17
	Hava Hızı, V=4 m/s				

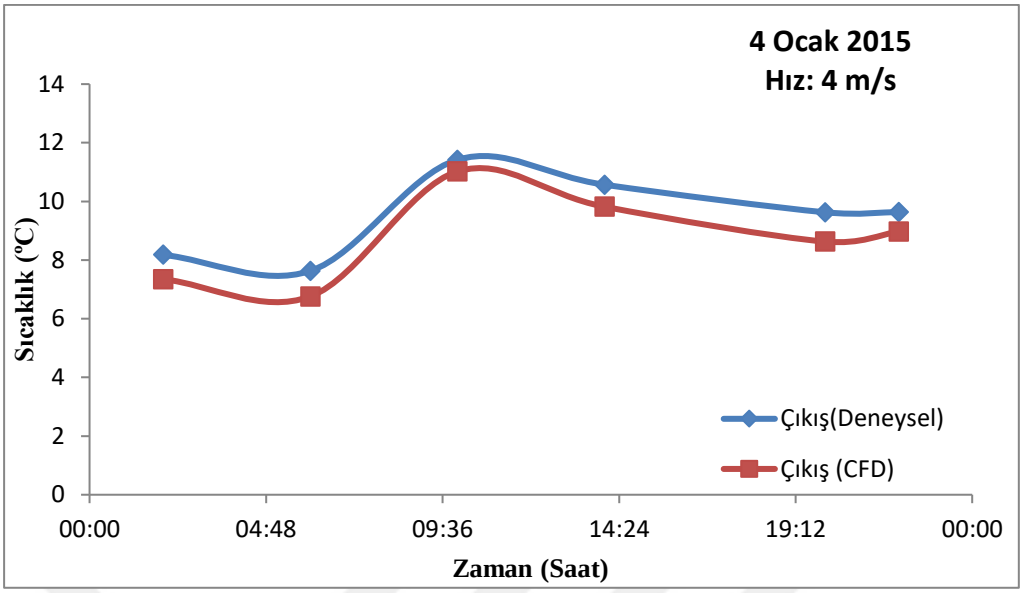
Çizelge 4.7. 12 Ocak 2015'te THID Model 2 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

12 Ocak 2015	Sıcaklık, ^{o}C				
Saat	2 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	15.49	0.11	5.25	4.18	20
06:00	15.5	-0.69	5.16	3.65	29
10:00	15.03	5.51	7.21	8.02	11
15:00	15.18	6.26	7.35	8.61	17
18:00	15.25	3.41	7.01	6.54	7
22:00	15.23	2.35	6.52	5.62	14
	Hava Hızı, V=4 m/s				

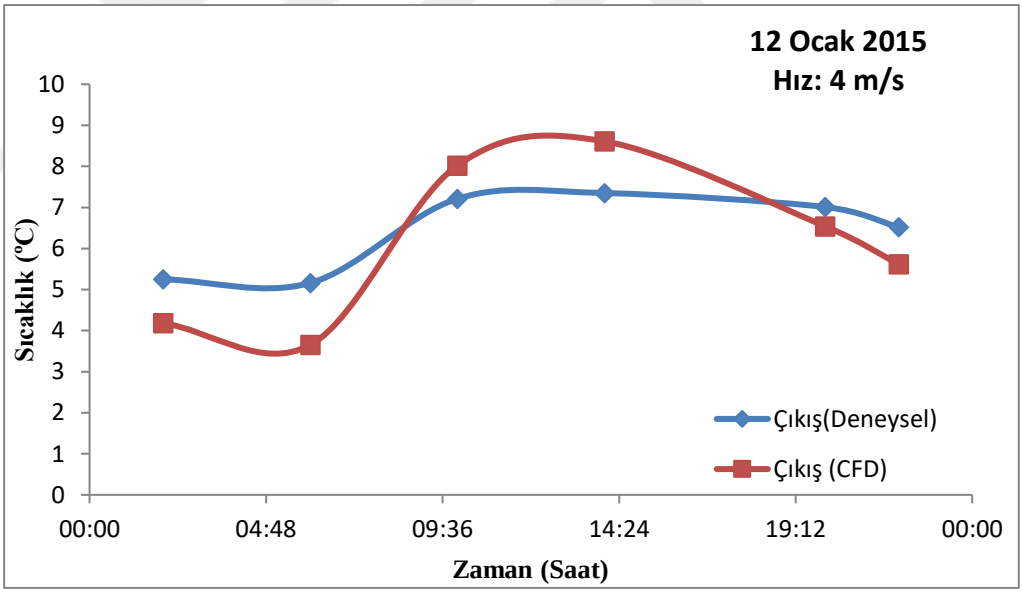
Çizelge 4.8. 20 Ocak 2015'te THID Model 2 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

20 Ocak 2015	Sıcaklık, ^{o}C				
Saat	2 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	13.96	4.74	8.18	7.35	10
06:00	14.05	3.88	7.63	6.76	11
10:00	13.8	9.92	11.42	11.02	4
15:00	13.8	8.25	10.57	9.82	7
18:00	13.88	6.48	9.63	8.63	10
22:00	13.82	7.06	9.64	8.97	7
	Hava Hızı, V=4 m/s				

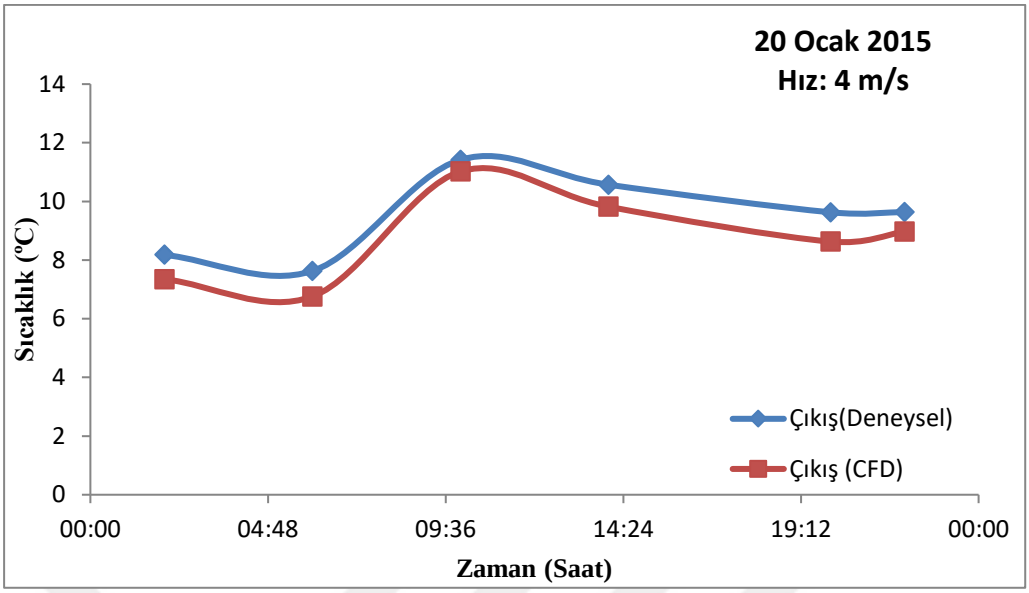
Şekil 4.11, 4.12, 4.13' te THID Model 2 için Autodesk Simualation CFD analiz sonucu elde edilen çıkış sıcaklığı ve deneysel ölçüm sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimleri verilmiştir. Şekillerden gün boyu sıcaklık değişiminin CFD ve ölçüm değerleri için benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11. 4 Ocak 2015 için THID Model 2 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi

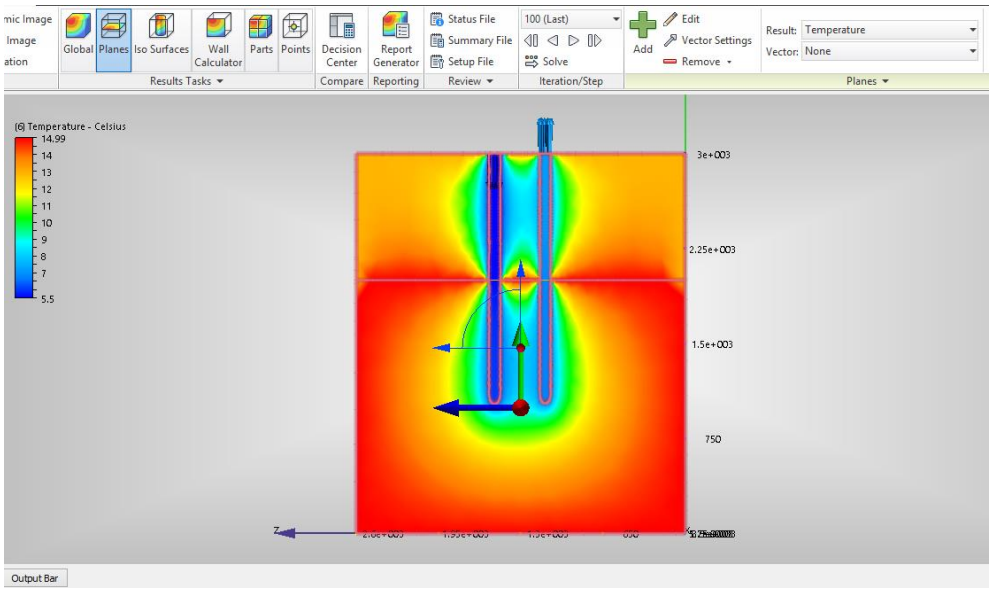


Şekil 4.12. 12 Ocak 2015 için THID Model 2 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi

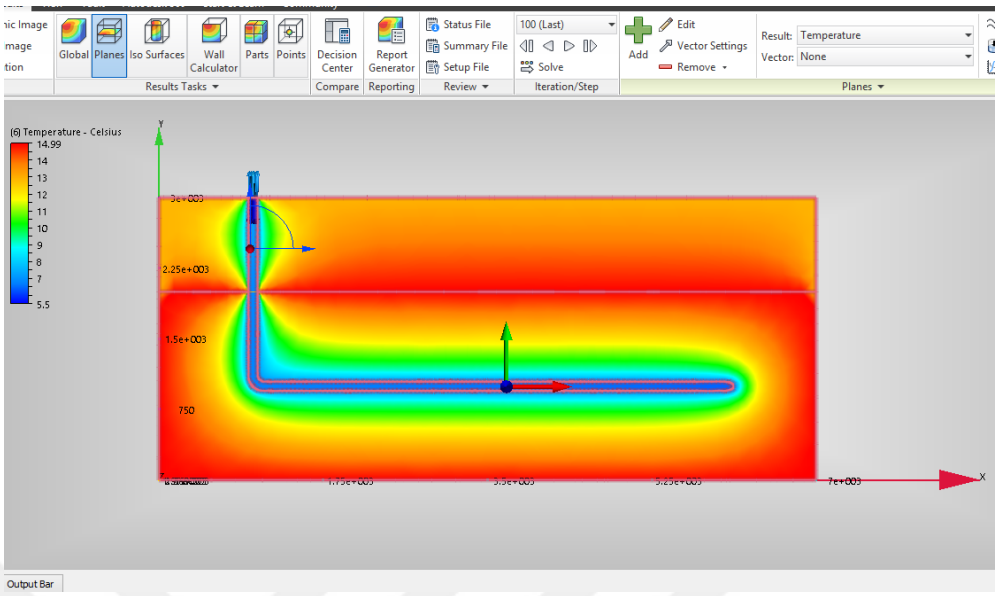


Şekil 4.13. 20 Ocak 2015 için THID Model 2 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi

Şekil 4.14 ve 4.15' te THID Model 3 (Toprak derinliği 2 m ve 2 toprak katmanı) için Autodesk Simulation CFD programında sıcaklık dağılımı ısıtma döneminde farklı kesitlerden gösterilmektedir. Şekil 4.9' dan serpantin şeklinde döşenmiş borulara göre boruların birbirini etkilemediği ve toprak katmanlarında sıcaklık dağılımının farkedilir düzeyde gerçekleştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. Arka kesitten THID Model 2 (2 m derinlik ve çift katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı

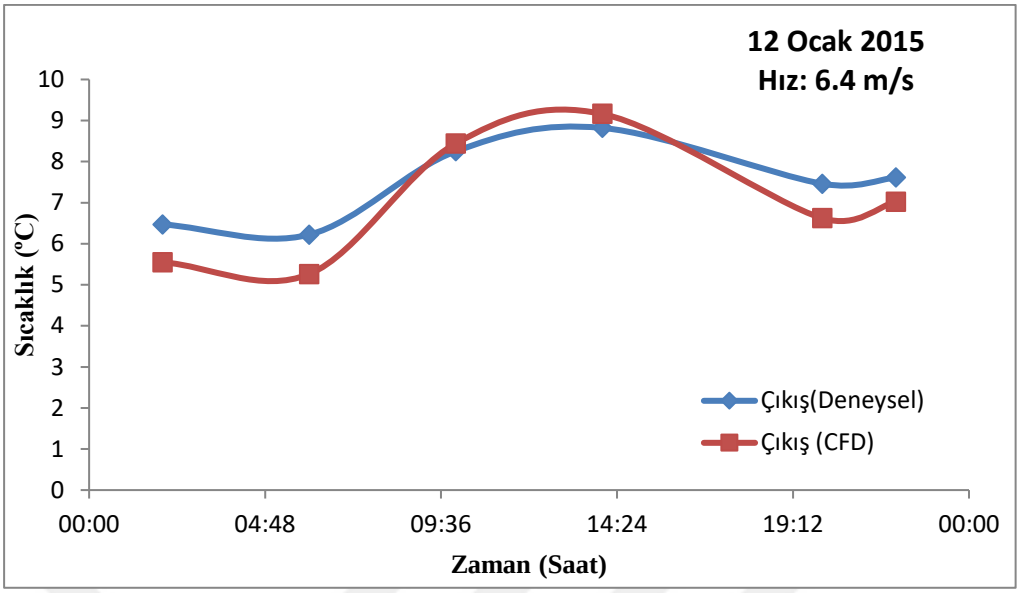


Şekil 4.15. Yan kesitten THID Model 2 (2 m derinlik ve çift katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı

Çizelge 4.9' da THID Model 3 (2 m derinlik ve çift katman) sisteminin ısıtma durumunda performans analiz sonuçları 12 Ocak 2015 tarihi için verilmiştir. Şekil 4.16' da ise THID Model 3 için Autodesk Simualation CFD analiz sonucu elde edilen çıkış sıcaklığı ve deneysel ölçüm sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. 12 Ocak 2015' te THID Model 3 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları

12 Ocak 2015	Sıcaklık, ºC					
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	13.4	15.49	0.72	6.47	5.55	14
06:00	13.44	15.5	0.17	6.22	5.26	15
10:00	12.9	14.99	5.5	8.25	8.44	2
15:00	13.23	15.22	6.37	8.82	9.16	4
18:00	13.29	15.29	2.44	7.46	6.62	11
22:00	13.23	15.24	3.1	7.61	7.02	8
	Hava Hızı, V=6.4 m/s					

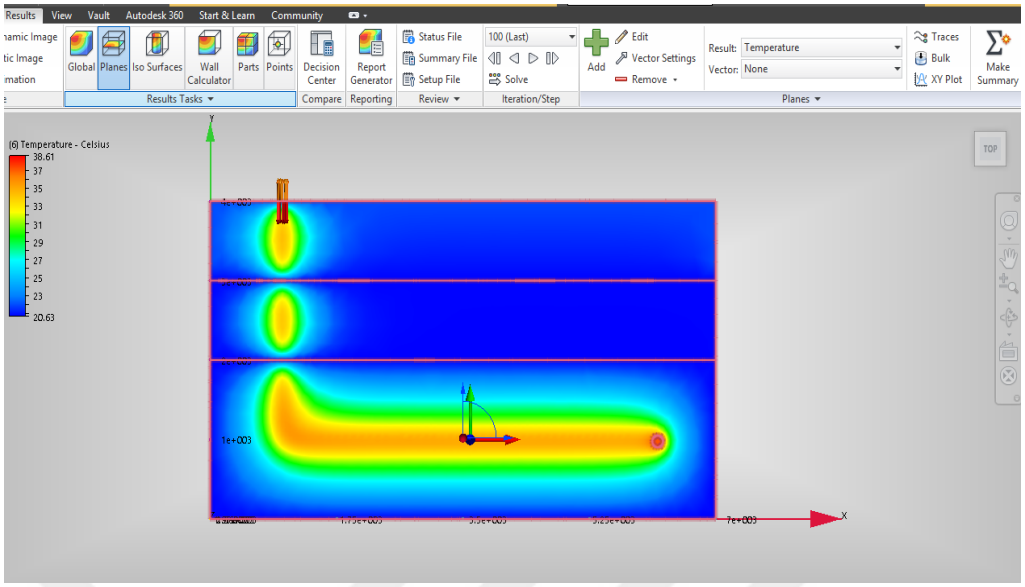


Şekil 4.16. 12 Ocak 2015 için THID Model 3 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi

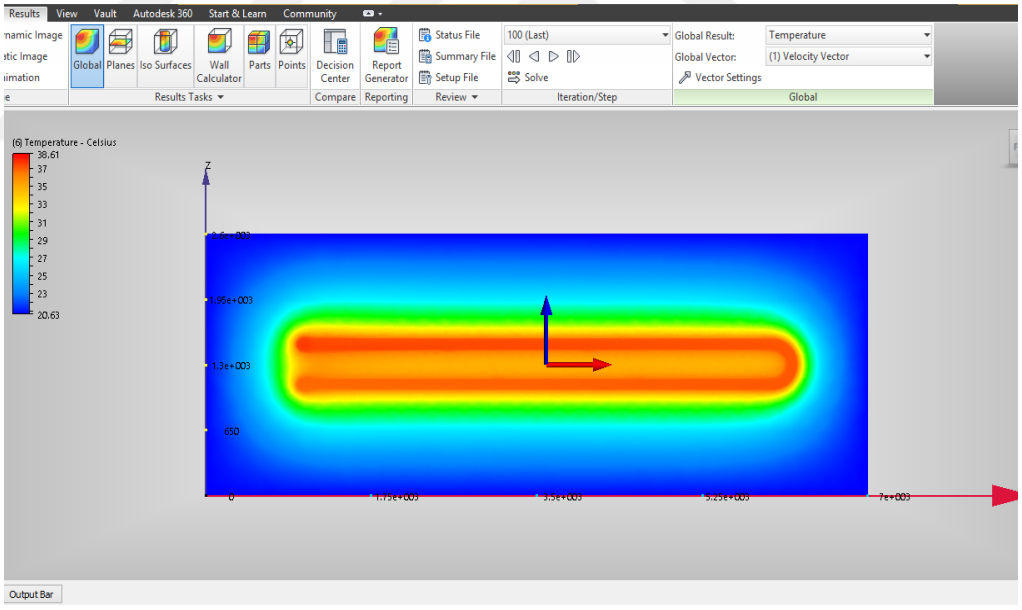
4.2. Soğutma Durumunda HAD Analiz Sonuçları

Soğutma durumu için yaz mevsiminden Temmuz ayı baz alınarak Autodesk Simulation CFD programıyla model olarak oluşturulan 2 adet THID sisteminin performans analizi yapılmış ve sonuçlar ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Soğutma durumunda analizi yapılan THID sistemlerinin Model 1 ve Model 3' ün geometrik özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir. Isıtma durumunda olduğu gibi soğutma için toprak katmanlara ayrılarak analizler yapılmıştır.

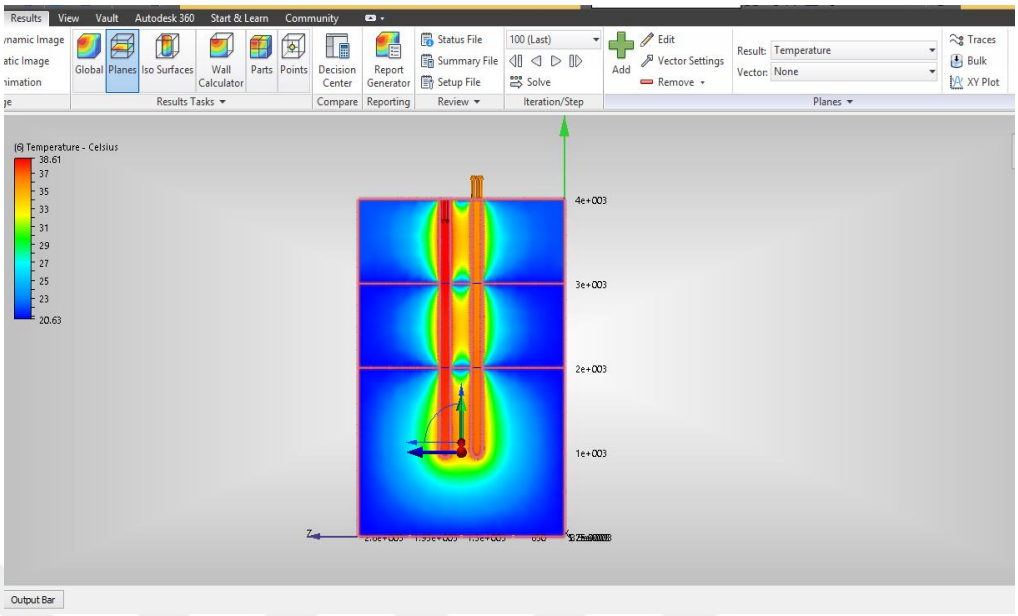
Şekil 4.17, 4.18, ve 4.19' da soğutma durumunda THID Model 1 için Autodesk Simulation CFD programında sıcaklık dağılımı farklı kesitlerden gösterilmektedir. Şekillerden katmanlarda boru etrafındaki sıcaklık dağılımlarının farklı olduğu ve derinlik artıkça sıcaklığın azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.17. Yan kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı



Şekil 4.18. Üst kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı



Şekil 4.19. Arka kesitten THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) için boru etrafında sıcaklık dağılımı

Çizelge 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13' te THID Model 1 (3 m derinlik ve 3 katman) sisteminin soğutma durumunda performans analiz sonuçları 4, 10, 20 ve 28 Temmuz 2015 tarihleri için sırasıyla verilmiştir. Çizelgelerden katmanlarda toprak sıcaklığının farklı olduğu ve deneysel ölçümlerden sapmanın değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Deneysel ölçümlerden sapma Denklem 4.1.' den hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. 4 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları.

4 Temmuz 2015	Sıcaklık, ºC						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	22.48	21.19	21.16	23.72	24.51	23.14	6
06:00	22.22	20.98	20.98	27.65	24.79	25.66	4
10:00	22.06	20.85	20.81	34.86	28.25	30.38	8
14:00	21.91	20.68	20.63	38.61	30.67	32.81	7
20:00	22.29	21.05	20.98	32.32	28.51	28.77	1
22:00	22.4	21.18	21.13	28.5	27.03	26.28	3
	Hava Hızı, V=6400 mm/s						

Çizelge 4.11. 12 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları.

12 Temmuz 2015	Sıcaklık, ºC						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	23.1	22.14	22.1	29.27	27.85	27.06	3
06:00	22.73	21.86	21.84	32.19	27.99	28.88	3
10:00	22.7	21.83	21.8	37.96	31.13	32.69	5
14:00	22.72	21.84	21.8	38.36	31.95	32.96	3
20:00	23.02	22.12	22.09	31.96	29.47	28.83	2
22:00	23.05	22.15	22.14	29.09	28.25	26.94	5
	Hava Hızı, V=6400 mm/s						

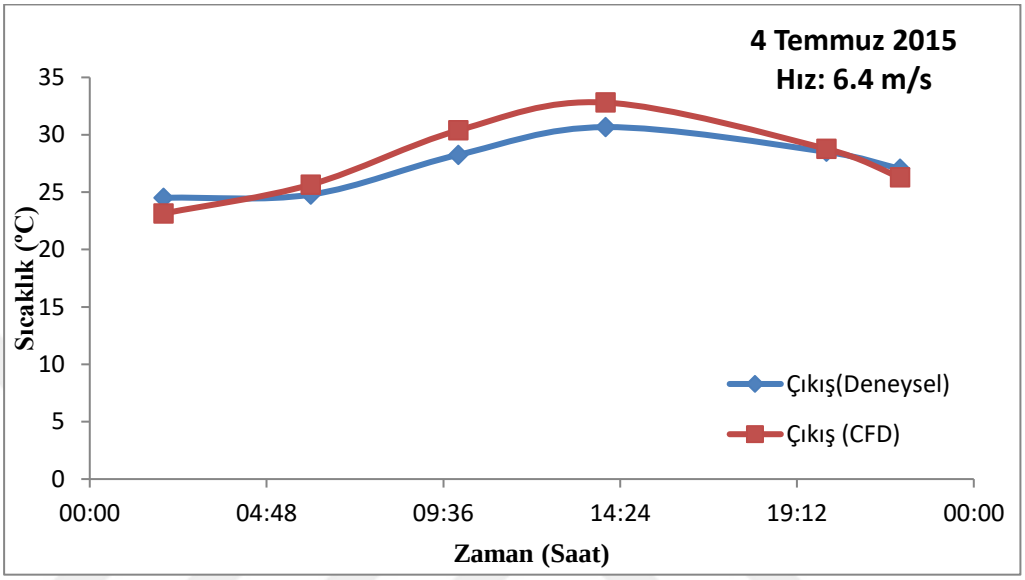
Çizelge 4.12. 20 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları.

20 Temmuz 2015	Sıcaklık, ºC						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	24.05	23.08	23.07	27.34	26.71	26.14	2
06:00	23.88	22.94	22.93	29.11	26.74	27.27	2
10:00	23.63	22.66	22.63	37.49	30.77	32.79	7
14:00	23.61	22.57	22.51	38.23	32.18	33.27	3
20:00	23.98	22.86	22.79	32.56	29.84	29.59	1
22:00	24	22.86	22.82	31.73	29.08	29.04	1
	Hava Hızı, V=7200 mm/s						

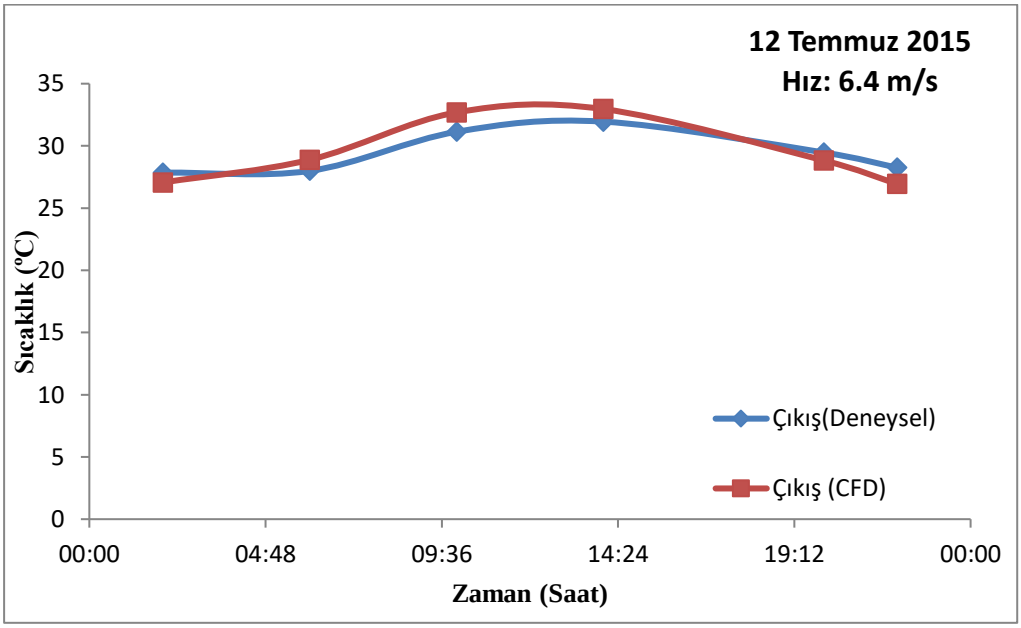
Çizelge 4.13. 28 Temmuz 2015' te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları.

28 Temmuz 2015	Sıcaklık, ºC						
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	3 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	24.63	23.4	23.22	25.58	26.53	25.11	5
06:00	24.38	23.2	23.04	28.81	26.65	27.19	2
10:00	24.24	23.05	22.88	32.58	29.04	29.67	2
14:00	24.11	22.89	22.69	37.92	31.7	33.19	5
20:00	24.43	23.2	22.98	31.42	29.31	28.95	1
22:00	24.5	23.29	23.07	23.22	29.16	29.5	1
	Hava Hızı, V=7200 mm/s						

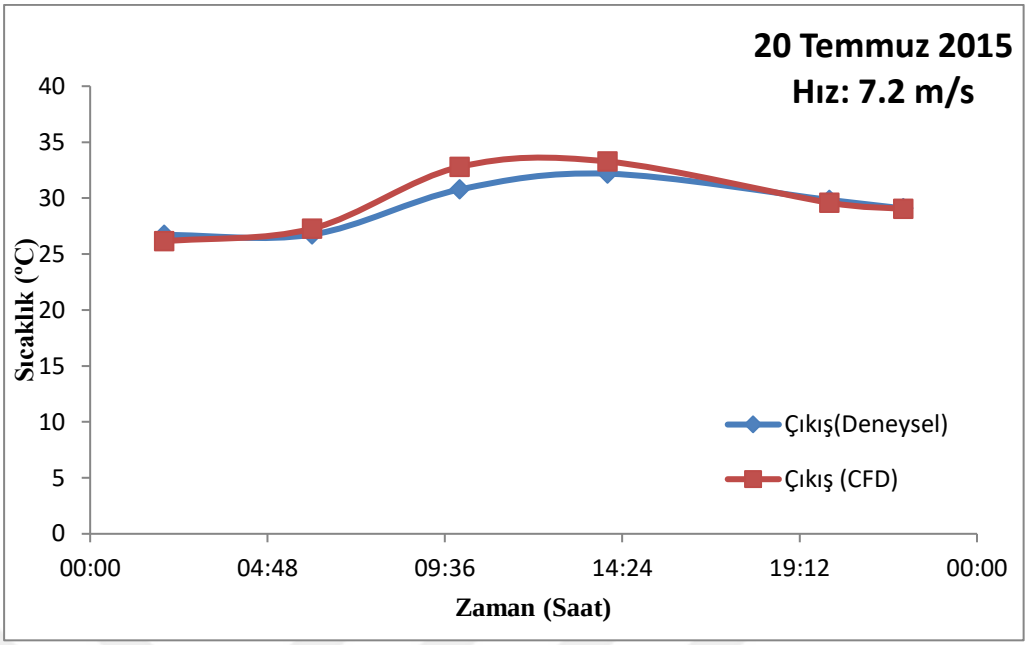
Şekil 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23'te Autodesk Simulation CFD analiz sonucu elde edilen çıkış sıcaklığı ve deneysel ölçüm sıcaklık değerlerinin gün boyunca değişimleri verilmiştir. Şekillerden gün boyunca CFD' den elde edilen çıkış sıcaklıklarının deneysel ölçüm sonuçları ile uyum içinde olduğu ve benzer değişimi gösterdiği görülmüştür.



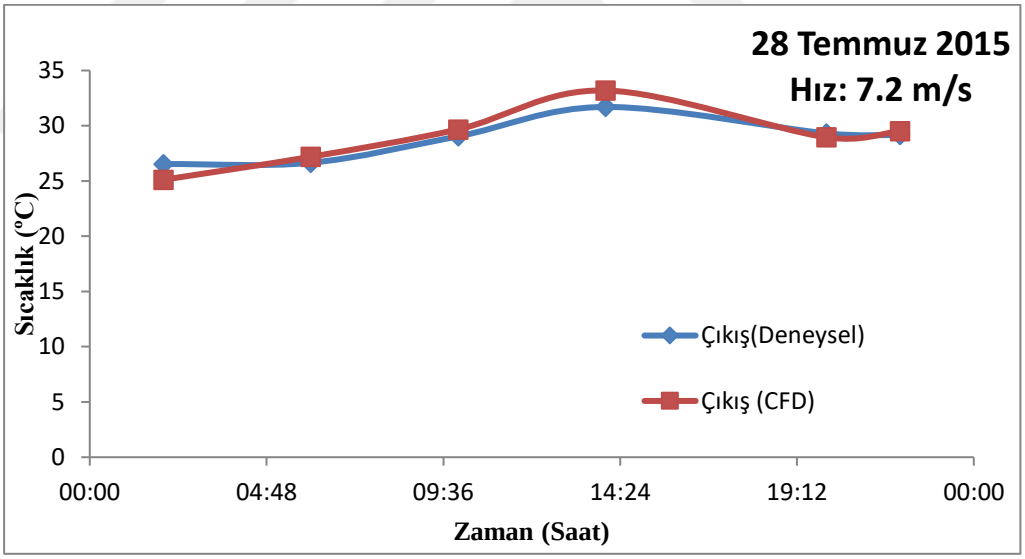
Şekil 4.20. 4 Temmuz 2015 için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi



Şekil 4.21. 12 Temmuz 2015 için için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi



Şekil 4.22. 20 Temmuz 2015 için için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi



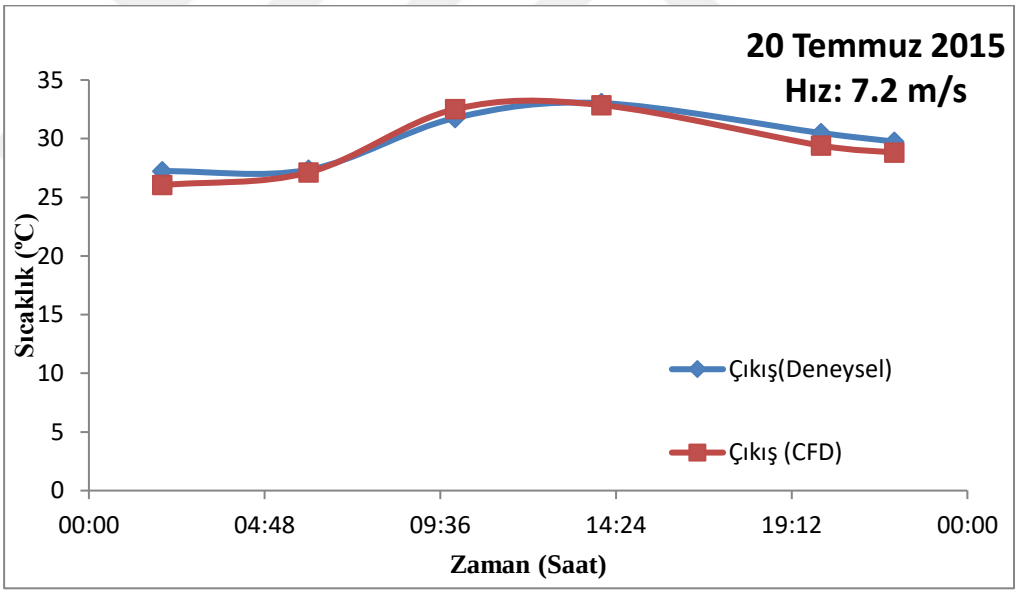
Şekil 4.23. 28 Temmuz 2015 için için THID Model 1 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi

Çizelge 4.14' te THID Model 3 (2 m derinlik ve 2 katman) sisteminin soğutma durumunda performans analiz sonuçları 20 Temmuz 2015 tarihi için verilmiştir. Çizelgeden katmanlar arasında toprak sıcaklık farkının 1 ^{o}C farklı olduğu ve deneysel ölçümlerden sapmanın çok büyük değişkenlik göstermediği görülmektedir. 20 Temmuz 2015 için THID Model 3 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış

sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 4.24' te verilmiştir. Şekilden CFD sonuçlarının son derece ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. 20 Temmuz 2015'te THID Model 1 için yapılan 6 adet analizin sınır şartları ve sonuçları.

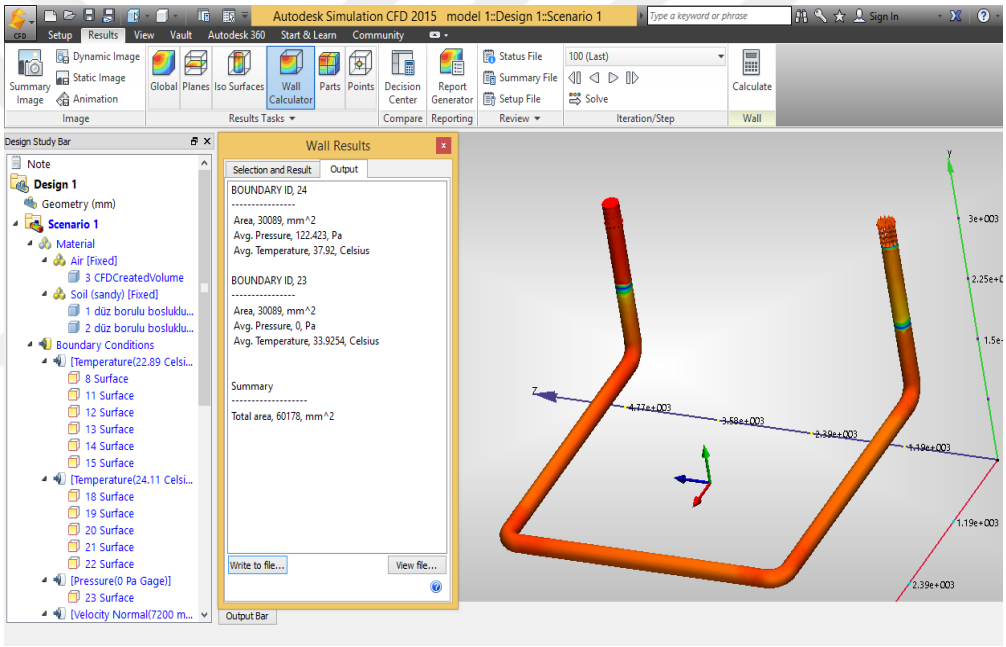
20 Temmuz 2015	Sıcaklık, ºC					
Saat	1 m Toprak	2 m Toprak	THID Giriş	THID Çıkış (Deneysel)	THID Çıkış (CFD)	Sapma, %
02:00	24.05	23.08	27.34	27.23	26.04	4
06:00	23.88	22.94	29.11	27.35	27.12	1
10:00	23.63	22.66	37.49	31.76	32.51	2
14:00	23.61	22.57	38.25	33.03	32.86	1
20:00	23.98	22.86	32.56	30.48	29.41	3
22:00	24	22.86	31.73	29.75	28.82	3
	Model 3 Hava Hızı, V=7200 mm/s					



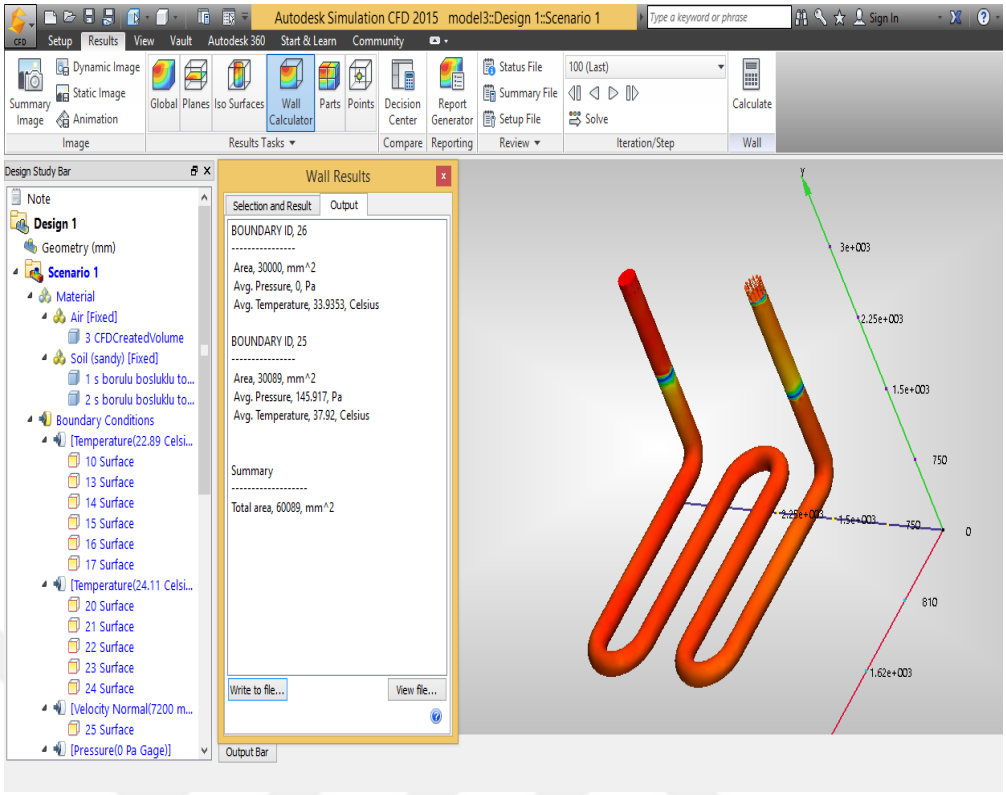
Şekil 4.24. 20 Temmuz 2015 için için THID Model 3 sisteminde CFD ve deneysel ölçüm çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi

4.3. THID Sisteminde Farklı Boru Dizilişinin HAD Analizi

THID Sisteminde boru dizilişinin performans üzerine etkisini tespit etmek düz ve S tipi boru dizilişi HAD Analizinde ele alınmıştır. Şekil 4. 25 ve 4.26' da aynı boyutlara sahip THID siztemleri düz ve S tipi diziliş için sırasıyla verilmiştir. Çizelge 4.15' te Autodesk Simulation CFD programı kullanılarak elde elde edilen farklı boru dizilişlere ait THID sistemlerinin basınç kayıpları ve çıkış sıcaklıkları verilmektedir. Çizelgeden Düz boru dizilişine göre S tipi dizilişte basınç kaybının arttığı fakat çıkış sıcaklığının önemli bir derecede değişmediği görülmektedir.



Şekil 4.25. Düz tip boru dizilişli THID sistemi



Şekil 4.26. S tipi boru dizilişli THID sistemi

Çizelge 4.15. Farklı boru tiplerine ait farklı hızlardaki analiz sonuçları

Boru Tipi	**Hız (mm / s)**	**Basınç Kaybı (ΔP) kPa**	**Giriş Sıcaklığı(°C)**	**Çıkış Sıcaklığı(°C)**
Düz Tip	6400	97.86	37.92	33.85
S Tip	6400	116.50	37.92	33.87
Düz Tip	7200	122.42	37.92	33.92
S Tip	7200	145.92	37.92	33.95

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Autodesk Simulation CFD programıyla, farklı yapılardaki toprak-hava ısı değiştiricisi (THID) sistemlerinin performans analizleri ısıtma ve soğutma durumu için analiz edilmiştir. Simulasyon sonuçlarının, Şanlıurfa iklim koşullarında ölçülen deneysel sonuçlar ile uyum içinde olduğu ve deneysel sonuçlardan ortalama sapmasının ısıtma durumunda %10 ve soğutma durumunda % 3 olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımının yaz mevsimindeki soğutma durumunda ölçüm sonuçlarına daha yakın sonuçlar verdiği ve HAD yazılımı ile toprak-hava ısı değiştiricilerinin termoakış analizleri her türlü çalışma durumda yapılabileceği ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

Boru dizilişinin basınç kaybında önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. Isı transferi açısından olumsuz bir etki yapmaması için borular arasındaki mesafenin yeterli olması gerektiği tespit edilmiştir. Toprak sıcaklığının derinlikle değiştiği gözönüne alındığında analizlerin toprağın katmanlara ayrılması ile yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca boru malzemesinin çok önemli olmadığı görülmüştür.

5.2. Öneriler

Mesh ağının yoğunlaştırılması, sisteme etki eden parametrelerin ve sınır şartlarının değiştirilmesiyle daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, HAD programında tüm toprak çeşitleri ile ilgili teknik değerlerin olması gerekir.

Farklı iklim koşullarında yapılan simulasyon sonuçları deneysel verilerle doğrulanabilir.

KAYNAKLAR

ABBASPOUR-FARD, M. H., GHOLAMI, A. and KHOJASTEHPOUR M. 2011. Evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the North-East of Iran with semi-arid climate. International Journal of Green Energy, 8:4, 499-510.

ASCIONE, F., BELLIA, L. and MINICHIELLO, F. 2011. Earth-to-air heat exchangers for Italian climates. Renewable Energy, 36: 2177,2188.

BADESCU, V. 2007. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house, Renewable Energy, 32: 845-855.

BANSAL, V., MISRA, R., AGRAWAL, G.D. and MATHUR, J. 2009. Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for winter heating. Energy and Buildings, 41: 1151–1154.

BANSAL, V., MISRA, R., AGRAWAL, G.D. and MATHUR, J. 2013. Transient effect of soil thermal conductivity and duration of operation on performance of Earth Air Tunnel Heat Exchanger. Applied Energy, 103: 1-11.

BOJIC, M., TRIFUNOVIC, N., PAPADAKIS, G. and KYRITSIS, S. 1997. Numerical Simulation, technical and economic evaluation of air-to-earth heat exchanger coupled to a building. Energy, 22:12, 1151-1158.

BULUT, H., DEMİRTAŞ Y., KARADAĞ R., HİLALİ İ. 2015b. Experimental Analysis of an Earth Tube Ventilation System under Hot and Dry Climatic Conditions, Proceedings of The 8th Mediterranean Congress of Heating Ventilation and Air-Conditioning-Climamed 2015, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.

BULUT H., KARADAĞ, R., DEMİRTAŞ, Y., HİLALİ, İ. 2015a. Şanlıurfa Kış Şartlarında Bir Toprak-Hava Isı Değiştiricisinin Performans Analizi. 12.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 1789-1804, İzmir.

ÇENGEL, Y.A. ve BOLES, M.A. 2008. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik (5. Basım), İzmir: İzmir Güven Kitabevi.

DALOĞLU A. 2015 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 2015, 1-8, 9–11 September 2015, Juan Les Pins, France.

HEPBASLI, A. 2013. Low exergy modelling and performance analysis of greenhouses coupled to closed earth-to-air heat exchangers (EAHEs). Energy and Buildings, 64: 224–230.

HSK Ar-Ge, 2011. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği. Teknik Bülten, 5: 1-6.

OZGENER, O. and OZGENER, L. 2011. Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergoeconomics. Energy and Buildings, 43: 960–965.

OZGENER, O. and OZGENER, L. 2013. Three cooling seasons monitoring of exergetic performance analysis of an EAHE assisted solar greenhouse building. Journal Of Solar Energy Engineering-Transactions Of The Asme, 135:2 , 021008-1-7.

OZGENER, O., OZGENER, L. and TESTER, J. W. 2013. A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat

exchangers applications. International Journal of Heat and Mass Transfer, 62: 473–480.

PERETTI, C., ZARRELLA, A., DE CARLI, M. and ZECCHIN, R. 2013. The design and environmental evaluation of earth-to-airexchangers (EAHE). A literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28: 107–116.

TAN, L. and LOVE, J. A. 2013. A literature review on heating of ventilation air with large diameter earth tubes in cold climates. Energies 6: 3734-3743.

TRZASKI, A. and ZAWADA, B. 2011. The influence of environmental and geometrical factors on air-ground tube heat exchanger energy efficiency. Building and Environment, 46: 1436-1444.

TURGAY, B. 2013. EAHX (Toprak-Hava Isı Eşanjörü). 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kitabı, 307-315.

VAZ, J., SATTLER, M.A., SANTOS, E.D. and ISOLDI, L.A. 2011. Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger. Energy and Buildings, 43: 2476–2482.

YEŞİLNACAR, M.İ., SÜZEN, M.L., ŞENER, B., DOYURAN V. , 2012. Municipal solid waste landfill site selection for the city of Sanliurfa-Turkey: an example using MCDA integrated with GIS. International Journal of Digital Earth, 5/2, 147-164.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Baran PEKER
Uyruğu	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	DİYARBAKIR 05.12.1988
Telefon :	5534253228
e-mail :	baranpeker19@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**		**Bitirme Yılı**
Lise :	Ziya Gökalp lisesi	DİYARBAKIR	2006
Üniversite :	Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü	ŞANLIURFA	2013
Yüksek Lisans :	Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD	ŞANLIURFA	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2015-	ŞİMŞEKLER A.Ş	Makine Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

UZMANLIK ALANI

Enerji, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Akışkanlar Mekaniği