

**BİR BİNANIN TERMAL KONFORUNU
SAĞLAMAK İÇİN TASARLANAN TOPRAK HAVA
ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN
BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih TAŞDELEN

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN

Elazığ - 2015

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR BİNANIN TERMAL KONFORUNU SAĞLAMAK İÇİN TASARLANAN
TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN
BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih TAŞDELEN

(121120108)

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 07.07.2015

Elazığ - 2015

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR BİNANIN TERMAL KONFORUNU SAĞLAMAK İÇİN TASARLANAN
TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Müh. Fatih TAŞDELEN
121120108

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Temmuz 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Temmuz 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN (Fırat Üniv.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nevin ÇELİK (Fırat Üniv.)

Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk CAN (Dicle Üniv.)

2. Taşdelen
1. Çelik
Ömer Faruk Can

TEMMUZ - 2015

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda her türlü yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİNE'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmam süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Naci KALKAN'a ve bana her zaman manevi destek olan anneme, babama, eşime ve neşe kaynağım olan biricik kızıma çok teşekkür ederim.

Fatih TAŞDELEN
ELAZIĞ - 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması.....	2
2. PASİF SOĞUTMA SİSTEMLERİ	9
2.1. Toprak Kaynaklı Pasif Soğutma Sistemi	9
3. TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN TANITILMASI.....	11
4. YÖNETİCİ DENKLEMLER VE SAYISAL ÇÖZÜM	13
4.1. Süreklilik ve Navier - Stokes Denklemleri	13
4.2. Enerji Denklemi	14
4.3. Türbülans Modelleri	14
4.4. Standart k-ε Model	16
4.5. Isı Transfer Katsayıları ve Boyutsuz Parametreler.....	16
4.5.1. Taşınım ısı transfer katsayıları	17
4.5.2. Reynolds sayısı.....	18
4.5.3. Sürtünme faktörü.....	18
4.5.4. Nusselt sayısı.....	18
4.5.5. Prandtl sayısı	19
5. MATEMATİKSEL MODEL	20
5.1. Toprak Hava Isı Değişiricisi (EAHE) Geometrisi	20
5.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).....	20
5.3. Sayısal Modelin Çözümüne Hazır Hale Getirilmesi	22
5.4. Sayısal Modelin Sınır Şartları ve Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	27
5.5. Literatür İle Karşılaştırma.....	29

6.	SAYISAL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	31
6.1.	Toprak Derinliğine Göre Sıcaklık Analizi Sonuçları	31
6.1.1.	H = 1 m toprak derinliği için sonuçlar	31
6.1.2.	H = 2 m toprak derinliği için sonuçlar	40
6.1.3.	H = 3 m toprak derinliği için sonuçlar	49
6.2.	Ortalama Nusselt Sayısı Değişimi.....	58
6.3.	Toprak Hava Isı Değiştiricisi Boyunca Hız Değişiminin İncelenmesi	60
7.	SONUÇ	65
8.	KAYNAKLAR.....	67
	ÖZGEÇMİŞ.....	71

ÖZET

Bu çalışmada Elazığ'daki (Türkiye) tipik bir konutun, sürekli çalışma koşulları altında toprak hava ısı değiştiricisi (EAHE) kullanılarak termal konforunu sağlamak için pasif jeotermal soğutma teknolojisi kullanılmıştır. EAHE termal performansı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ANSYS Fluent 12.1 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EAHE termal performansının analizi için Elazığ ilinin 2014 yılı Temmuz ayının maksimum ortalama sıcaklık değeri kullanılmıştır.

EAHE'nin termal performansı için PVC ve çelik (%0.5 C) olmak üzere iki farklı malzeme kullanılarak farklı toprak derinlikleri ($H = 1\text{ m}, 2\text{ m}, 3\text{ m}$) için sayısal analizler yapılmıştır. Türbülanslı akışta Reynolds sayısının farklı değerleri ($Re = 5 \times 10^3, 10^4, 15 \times 10^3, 2 \times 10^4, 4 \times 10^4, 6 \times 10^4, 10^5$) kullanılarak, problem kararlı koşul durumunda üç boyutlu olarak çözülmüştür.

Analizler sonucunda en fazla sıcaklık düşüşü 27.67 K ile 3 m derinliğe gömülü çelik (%0.5 C) boruda, en az sıcaklık düşüşü ise 12.36 K ile 1 m derinliğe gömülü PVC boruda meydana gelmiştir. En iyi termal performansın en küçük hava giriş hızında olduğu ayrıca EAHE malzeme cinsinin termal performansı önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Farklı toprak derinliklerinde termal analizleri yapılan sayısal model için en iyi termal konfor şartı 1 m toprak derinliğinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak Hava Isı Değiştiricisi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Sıcaklık, Ortalama Nusselt Sayısı

SUMMARY

Computer Aided Analysis of Earth-Air Heat Exchanger Designed to Ensure Thermal Comfort of a Building

In this study, passive geothermal cooling technology is used to provide thermal comfort of a typical building in Elazığ (Turkey) by using Earth-Air Heat Exchanger under steady state conditions. Thermal performance of EAHE is evaluated in ANSYS Fluent 12.1 program by using Computational Fluid Dynamics. Average of maximum temperature data of Elazığ in July 2014 is used to analyze thermal performance of EAHE.

Numerical analysis are performed for thermal performance of EAHE at different soil depths ($H = 1\text{ m}, 2\text{ m}, 3\text{ m}$) using two different materials such as PVC and steel ($\%0.5\text{ C}$). Problem is solved at steady state in three-dimensional model by using different values of the Reynolds number in turbulent flow ($Re = 5 \times 10^3, 10^4, 15 \times 10^3, 2 \times 10^4, 4 \times 10^4, 6 \times 10^4, 10^5$).

In the result of analysis, maximum temperature decrease takes place at 3 m deep buried steel pipe ($\%0.5\text{ C}$) by 27.67 K, and minimum temperature decrease occurs at 1 m deep buried PVC pipe by 12.36 K. It has been found that the best thermal performance occurs in the smallest air intake speed and also the type of EAHE material does not affect thermal performance significantly. Best thermal comfort requirement for thermal analysis with numerical models at different soil depths is obtained in 1 m soil depth.

Keywords : Earth Air Heat Exchanger, Computational Fluid Dynamics, Temperature, Average Nusselt Number

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 Toprak hava ısı değıştiricisinin şematik çizimi	11
Şekil 4.1 Toprak kalınlığı ile EAHE'nin enine kesit görünüşü.....	17
Şekil 5.1 HAD simülasyonunda kullanılan EAHE modelinin şematik çizimi.....	20
Şekil 5.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin temel aşamaları.....	21
Şekil 5.3 1 m toprak derinliğindeki toprak ve boruyu temsil eden yüzeylerin ağ gösterimi	22
Şekil 5.4 1 m toprak derinliğindeki toprak ve borunun boyuna kesit görünüşüne ait ağ gösterimi	23
Şekil 5.5 2 m toprak derinliğindeki toprak ve boruyu temsil eden yüzeylerin ağ gösterimi	23
Şekil 5.6 2 m toprak derinliğindeki toprak ve borunun boyuna kesit görünüşüne ait ağ gösterimi	24
Şekil 5.7 3 m toprak derinliğindeki toprak ve boruyu temsil eden yüzeylerin ağ gösterimi	24
Şekil 5.8 3 m toprak derinliğindeki toprak ve borunun boyuna kesit görünüşüne ait ağ gösterimi.....	25
Şekil 5.9 EAHE uzunluğu boyunca düğüm sayısına bağılı olarak değışen ortalama hava sıcaklık değeri.....	26
Şekil 5.10 Haziran - Ağustos 2014 dönemi ortalama toprak sıcaklık değışimi.	27
Şekil 5.11 Mevcut sonuçlarla literatürdeki sonuçlarının karşılaştırılması.....	30
Şekil 6.1 PVC kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları.....	33
Şekil 6.2 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları	34
Şekil 6.3 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	36
Şekil 6.4 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	36
Şekil 6.5 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	

(Re = 2×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	37
Şekil 6.6 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 2×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	37
Şekil 6.7 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 6×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	38
Şekil 6.8 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 6×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	38
Şekil 6.9 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 10^5 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)	39
Şekil 6.10 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 10^5 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	39
Şekil 6.11 PVC kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları	42
Şekil 6.12 Çelik (% 0.5 C) kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları.....	42
Şekil 6.13 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 5×10^3 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	45
Şekil 6.14 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 5×10^3 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	45
Şekil 6.15 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 2×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	46
Şekil 6.16 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 2×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	46
Şekil 6.17 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 6×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	47
Şekil 6.18 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 6×10^4 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	47
Şekil 6.19 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 10^5 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	48
Şekil 6.20 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları	
(Re = 10^5 , $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	48
Şekil 6.21 PVC kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama	

hava sıcaklık dağılımları	51
Şekil 6.22 Çelik (% 0.5 C) kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları.....	51
Şekil 6.23 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	54
Şekil 6.24 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	54
Şekil 6.25 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	55
Şekil 6.26 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	55
Şekil 6.27 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	56
Şekil 6.28 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	56
Şekil 6.29 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	57
Şekil 6.30 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m).....	57
Şekil 6.31 1 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) kanaldaki ortalama Nusselt sayısı değişimi	58
Şekil 6.32 2 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) kanaldaki ortalama Nusselt sayısı değişimi	59
Şekil 6.33 3 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) kanaldaki ortalama Nusselt sayısı değişimi	60
Şekil 6.34 PVC kanalda hava giriş dirseğine ait hız vektörleri dağılımı ($Re = 5 \times 10^3$, $H = 1$ m)	61
Şekil 6.35 PVC kanalda hava çıkış dirseğine ait hız vektörleri dağılımı ($Re = 5 \times 10^3$, $H = 1$ m)	61
Şekil 6.36 PVC kanalın uzunluğu boyunca hız vektörleri dağılımı ($Re = 5 \times 10^3$, $H = 1$ m, $X = 15$ m – 20 m).....	62
Şekil 6.37 PVC kanalda hava giriş dirseğine ait hız vektörleri dağılımı	

(Re = 10^5 , H = 1 m)	63
Şekil 6.38 PVC kanalda hava giriş dirseğine ait hız vektörleri dağılımı	
(Re = 10^5 , H = 1 m)	63
Şekil 6.39 PVC kanalın uzunluğu boyunca hız vektörleri dağılımı	
(Re = 10^5 , H = 1 m, X = 15 m – 20 m)	64

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1 EAHE uzunluğu boyunca farklı düğüm sayılarındaki ortalama hava sıcaklık değerleri	26
Tablo 5.2 Simülasyonda kullanılan fiziksel ve termal parametreler ve değerleri.....	28
Tablo 5.3 Misra ve diğ. simülasyonda kullandıkları fiziksel ve termal parametreler ve değerleri.....	29
Tablo 5.4 Misra ve diğ. yapmış oldukları çalışma ile simülasyon sonuçlarının kanal uzunluğu boyunca hava sıcaklık dağılımları.....	30
Tablo 6.1 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları.....	31
Tablo 6.2 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri.....	32
Tablo 6.3 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları.....	32
Tablo 6.4 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri.....	33
Tablo 6.5 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları.....	40
Tablo 6.6 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri.....	40
Tablo 6.7 Çelik (% 0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları....	41
Tablo 6.8 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri.....	41
Tablo 6.9 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları.....	49
Tablo 6.10 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri.....	49
Tablo 6.11 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları...	50
Tablo 6.12 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri.....	50

SEMBOLLER LİSTESİ

μ	: Dinamik viskozite (kg/m.s)
c_p	: Özgül ısı (kJ/kg.K)
D	: Boru çapı (m)
ε	: Yayılma hızı (m/s)
f	: Sürtünme faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
H	: Gömülü boru derinliği (m)
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Yatay kanal uzunluğu (m)
Nu	: Nusselt sayısı
P	: Basınç (Pa)
Pr	: Prandtl sayısı
r_1	: Borunun iç yarıçapı (m)
r_2	: Borunun dış yarıçapı (m)
Re	: Reynolds sayısı
T	: Sıcaklık (K)
t	: Zaman (s)
t_t	: Borunun cidar kalınlığı (m)
u	: x yönündeki anlık hız bileşeni (m/s)
V	: Akışkanın hızı (m/s)
v	: y yönündeki anlık hız bileşeni (m/s)
V_{ort}	: Akışkanın ortalama hızı (m/s)
w	: z yönündeki anlık hız bileşeni (m/s)
α	: Isıl yayılım katsayısı (m ² /s)
δ	: Toprak kalınlığı (m)
ν	: Kinematik viskozite (m ² /s)
ρ	: Akışkanın yoğunluğu (kg/m ³)
σ	: Türbülans Prandtl sayısı
Φ	: Viskoz dağılım fonksiyonu

Alt İndisler

a	: Hava
st	: Çelik
s	: Toprak
t	: Türbülans
w	: Cidar

KISALTMALAR LİSTESİ

CFD	: Computational Fluid Dynamics
COP	: Performans katsayısı
DNS	: Direct Numerical Simulation
EAHE	: Toprak Hava Isı Değiştiricisi
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

1. GİRİŞ

Dünya’da sürekli artan enerji talebi ve buna paralel olarak mevcut enerji kaynaklarının hızla tüketimi dünya ülkelerini yeni enerji kaynakları arayışına yöneltmiştir. Enerji talebinin karşılanmasında meydana gelen sorunlar ve aşırı fosil yakıt tüketimine bağlı olarak küresel ısınmanın etkilerini belirginleştirmesi, enerjinin güncel bir sorun olmasına ve Dünya’nın ana gündem maddesi haline gelmesine neden olmuştur. Özellikle gelişmiş ülkeler; enerji talebinin karşılanmasındaki problemlerin çözümü için enerji ana gündem maddesi ile sık sık toplantılar düzenlemektedir. Bu ülkeler enerji arz ve talep dengesini ayarlamak için çalışmaktadırlar [1].

Günümüzde, ülkemizde artan nüfus ile birlikte enerji kaynakları tükenmekte bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilim artmaktadır. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından dünyanın en zengin ülkelerinden birisidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji ve jeotermal enerji gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri saf, tükenmeyen, kolay ve ucuz bir şekilde temin edilebilmesidir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan jeotermal enerji günümüzde genel olarak konutların ısıtılması ve soğutulması, seraların ısıtılması, elektrik üretimi ve turizm gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, jeotermal enerjiden yararlanarak Elazığ ilindeki tipik bir konutun sürekli çalışma koşulları altında toprak hava ısı değiştiricisi (EAHE) kullanılarak pasif olarak soğutulması hedeflenmektedir. Literatür araştırmasında benzer çalışmaların ağırlıklı olarak deneysel yapıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada deneysel çalışmalardaki zaman ve para kaybını azaltmak için ANSYS Fluent 12.1 programı kullanılmıştır.

Toprak hava ısı değiştiricisinin termal analizi için Elazığ ilinin 2014 yılı temmuz ayı maksimum ortalama hava sıcaklığı verisi kullanılmış olup, bu veri Bitlis Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınmıştır [2]. EAHE için PVC ve çelik (%0.5 C) olmak üzere farklı iki malzeme kullanılmıştır. EAHE farklı toprak derinliklerine ($H = 1\text{ m}, 2\text{ m}, 3\text{ m}$) gömülerek, farklı Reynolds sayılarında ($Re = 5 \times 10^3, 10^4, 15 \times 10^3, 2 \times 10^4, 4 \times 10^4, 6 \times 10^4, 10^5$) türbülanslı akış koşullarında termal analizleri yapılmıştır.

Bu çalışma sekiz kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda giriş ile birlikte literatür çalışmasına yer verilmiştir. İkinci kısımda pasif soğutma sistemlerine değinilmiş ayrıca

toprak kaynaklı pasif soğutma sistemleri detaylandırılmıştır. Üçüncü kısımda toprak hava ısı değiştiricisi tanıtılmıştır. Dördüncü kısımda sayısal çalışmada kullanılacak olan temel akış denklemlerine yer verilmiştir. Akış türbülanslı olduğu için türbülans modelleri ile birlikte bu çalışmada kullanacağımız standart $k-\epsilon$ türbülans modeli tanıtılmıştır. Beşinci kısımda analizi yapılacak olan sayısal model tanıtılmış olup, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin gerekliliği anlatılmıştır. Altıncı kısımda analiz sonuçları anlatılmış olup, kanal uzunluğu boyunca kanalın farklı noktalarındaki ortalama Nusselt sayıları incelenmiştir. Yedinci kısımda sonuç ve son olarak sekizinci kısımda tez çalışmasının kaynakçası belirtilmiştir. Yapılacak analizlerin sonucunda EAHE sisteminin bir bina için termal konfor şartlarını sağlaması amaçlanmaktadır.

1.1. Literatür Araştırması

Toprak hava ısı değiştiricileri genel olarak kullanıldıkları mevsimlere göre bulundukları ortamları pasif olarak ısıtır veya soğuturlar. Bu sistemlerin termal performansları, genelde kullanılan boruların çapları ve yerleşimlerine, boru uzunluklarına, saptırıcı sayılarına ve hava giriş hızlarına göre değişir. Bu çalışmada, temmuz ayının maksimum sıcaklıklarının ortalaması kullanılarak farklı toprak derinliklerinde ve farklı hava akış hızlarında çelik (± 0.5 C) ve PVC boruların termal performansları sürekli koşullar altında araştırılmıştır. Hava ısı taşınım katsayısının termal performansı önemli ölçüde etkilediği bununla birlikte ısı değiştirici malzemesinin termal performansta kayda değer bir değişiklik yapmadığı tespit edilmiştir. Literatür araştırmasında genel olarak boru çapları ve hava giriş hızları değiştirilerek ısı değiştiricisinin termal performansları irdelenmiştir. Örneğin, Bansal vd. [3], çalışmalarında toprak boru hava ısı değiştirici sistemlerini kullanarak kışın bina ısıtma yükünü azaltmak için araştırma yapmışlardır. Toprak boru hava ısı değiştirici modeli Fluent simülasyon programı için geliştirilmiştir. Çalışma parametreleri etkileri (boru malzemesi, hava hızı) ile toprak boru hava ısı değiştiricisinin termal performansını incelemişlerdir. Çelik ve PVC borular üzerinde yapılan araştırmalarda toprak boru hava ısı değiştirici sisteminin performansının önemli ölçüde gömülü boru cinsinden etkilenen olmadığını, borudan geçen hava hızının büyük ölçüde toprak boru hava ısı değiştirici sisteminin performansını etkilediğini bulmuşlardır. 23.42 m uzunluğunda ve 0.15 m çapında bir boru için 2-5 m/s arasında değişen akış hızlarında 4.1 - 4.8 K sıcaklık artışı

olduğunu tespit etmişlerdir. Bansal vd. [4], çalışmalarında toprağın termal iletkenliği ve toprak hava tüneli ısı değiştiricisinin sürekli çalışma süresince termal performansını HAD simülasyonu kullanarak farklı boru uzunlukları için araştırmışlardır. Toprak hava tüneli ısı değiştiricisinin termal performansı 36 saat boyunca HAD simülasyonu gerçekleştirilerek analiz edilmiştir. 15.6 K, 17.0 K ve 17.3 K maksimum hava sıcaklık düşüşü sırasıyla termal iletkenlikleri 0.52 W/ mK, 2 W/ mK ve 4 W/ mK olan topraklarda gözlemlenmiştir. Wu vd. [5], toprak hava boru sistemlerinin soğutma kapasitesini ve termal performansını tahmin etmek için sayısal ısı transferi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine dayalı bir geçici ve örtük model geliştirmişlerdir. Sistemin termal performansını etkileyen önemli değişkenler olarak uzunluk, yarıçap, gömülü boru derinliği ve gömülü borudaki hava akış hızı olarak belirlenmiştir. Farklı boru uzunluklarını (20 m, 40 m, 60 m) kullanarak yapılan simülasyon sonuçlarında, uzun borularda yüksek soğutma kapasitesi elde etmişlerdir. Aynı zamanda farklı yarıçaplarda (0.1 m, 0.2m, 0.3 m) yapılan simülasyon sonuçlarında çap büyüdükçe çıkış hava sıcaklığının arttığını tespit etmişlerdir. Krarti vd. [6], bir yeraltı hava tünelinin enerji performansını belirlemek için geliştirilen basitleştirilmiş bir analitik model kullanmışlardır. Model hava tünel topraklama sisteminin çalışmasından birkaç gün sonra periyodik ve yarı-kararlı hal davranışına ulaştığını varsaymışlardır. Parametrik analiz tünel hidrolik çapının ve tünel içinde hava ve toprak arasındaki ısı transferi ile ilgili hava akış hızının etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Kumar vd. [7], toprak hava ısı değiştirici sisteminin enerji tasarruf potansiyelini ve binanın pasif termal performansını tahmin etmek için bir sayısal model geliştirmişlerdir. Modelin uzunluğu (hata aralığı %1.6 $\pm$) boyunca tüp ekstre sıcaklık değişimleri tahmin etmede daha doğru olduğu bulunmuştur. Ayrıca, kliması olmayan bir binanın termal performansını incelemek için kullanılabileceği ve ortalama oda sıcaklığını korumak için 80 m toprak tünelin soğutma potansiyelinin yeterli olduğunu bulmuşlardır. Al-Ajmi vd. [8], sıcak ve kuru iklim şartlarında toprak hava ısı değiştiricisi ile tipik bir binanın soğutulmasını amaçlamışlardır. Simülasyon sonuçlarında toprak hava ısı değiştiricisinin yazın pik saatlerinde (Temmuz ortası) 2.8 K'lık bir iç sıcaklık azalması ile pik soğutma yükünde 1700 W'lık bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Yaz sezonu boyunca toprak hava ısı değiştiricisinin %30 oranında tipik bir evde soğutma enerji talebinin azaltılması için yeterli potansiyele sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bansal vd. [9], çalışmalarında toprak hava ısı değiştiricisinin termal performansı analizi için 3.7 m derinliğe gömülü 23.42 m

uzunluğunda 0.15 m iç çapında yatay silindirik PVC boru kullanmışlardır. Toprak hava ısı değiştiricisinin geometrik modellemesi Gambit'te yapıldıktan sonra termal konfor şartları HAD modelleme kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Yapılan çalışmada hava sıkıştırılmaz olarak varsayılmıştır. Sistemin saatlik analizi termal konfor şartlarının sağlanması için sistem tarafından verilen havanın uygunluğu için yapılmıştır. Zhang vd. [10], çalışmalarında büyük kanalların hava akışını ve termal davranışlarını araştırmak için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımını kullanmışlardır. Kanal uzunluğu, yükseklik, genişlik, giriş boyutu, sıcaklık farkı (yüzey ve giriş havası arasındaki) toplu hava hızı ve çalışma modu ısı taşınımı için etkili parametreler olarak tespit edilmiştir. Yerel ısı transferi oranlarının toprağa enerji akışını ve toprak hava ısı değiştiricisinin enerji verimliliğini belirlemek için çok önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Bansal vd. [11], çalışmalarında toprak hava ısı değiştiricinin performansını arttırmak için ısı değiştiricinin çıkışına bir buharlaştırmalı soğutucu entegre etmişlerdir. Entegre sistemin saatlik analizi HAD modelleme kullanılarak sıcak ve kuru iklim koşullarında Fluent paket programı ile incelenmiştir. Araştırmalarını, bir yılın her saat için entegre toprak hava ısı değiştiricisi - evaporatif sisteminin performansını bulmak için yapmışlardır. Gan [12], çalışmasında değişen toprak ve atmosfer koşulları altında toprak hava ısı değiştiricisinin termal performansını araştırmıştır. Bir bilgisayar programını toprak hava ısı değiştiricisi termal performansının simülasyonu için geliştirmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilenden yapılan ısı değiştiricisi 200 mm dış çapa ve 7.7 mm bir duvar kalınlığına sahiptir. Çalışmada ısı değiştiricisinin uzunluğu ısıtma işlemi için incelenmiştir. Isı değiştiricisi, toprak ve besleme havası arasında doğrudan ısı ve nem etkileşimlerinin ısı transfer kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuştur. Mathur vd. [13], geçici koşullar altında toprak hava tüneli ısı değiştiricisinin termal performansını üç farklı toprak çeşidi üzerinde incelemişlerdir. Toprak hava ısı değiştirici olarak 40 m uzunluğunda 0.1 m dış çapına sahip bir PVC boru kullanmışlardır. Gambit'te geliştirilen HAD modeli Fluent'te simülasyonu yapıldıktan sonra deneysel verilerle doğrulanmıştır. HAD analizi, üç boyutlu bir geçici rejim kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hava ve toprak arasındaki hava sıcaklık düşüşü ve ısı transferi toprakların farklı termal özellikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bisoniya vd. [14], toprak hava ısı değiştirici sisteminin ısıtma/soğutma potansiyelini değerlendirmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine dayalı 3-D modelini geliştirmişlerdir. Toprak hava ısı değiştiricisi sistemi 19.228 m gömülü boru uzunluğuna,

0.1016 m boru çapına ve 2 m toprak derinliğine sahiptir. Toprak hava ısı değiştirici sisteminin yıllık enerji çıkışı 5 m/s hava akış hızı için 1290.53 kWh, 3.5 m/s hava akış hızı için 1031.44 kWh, 2 m/s hava akış hızı için 624.01 kWh olarak bulmuşlardır. Simülasyon sonuçlarını deneysel verilere karşı doğrulamışlardır. Mihalakakou [15], yapay sinir ağları yaklaşımını Atina şehir ısıtma sisteminin termal performansını tahmin etmek için kullanmıştır. Ayrıca, yapay sinir ağları modeli kullanılarak gömülü borunun çıkış sıcaklığı, giriş iklimsel parametrelerin her birinin etkisine bağlı olarak araştırılmış ve çıkış sıcaklığı tahmini için en önemli parametrenin zemin sıcaklığı olduğu bulunmuştur. Benhammou vd. [16], çalışmalarında bir rüzgâr kulesi yardımıyla çalışan toprak hava ısı değiştiricisi pasif soğutma modelini yazın soğutma amacıyla tasarlamışlardır. Toprak hava ısı değiştiricisi olarak gömme derinliği 2 m olan PVC boru kullanmışlardır. Ortam sıcaklığı 318 K'nin üzerinde kabul edilmiştir. Bu alışma boyunca rüzgâr kulesinin yüksekliğine soğutulacak odanın yüksekliği eklenerek toplam kule yüksekliği belirlenmiştir. Söz konusu oda 5 m x 10 m bir yüze ve 3.1 m bir yüksekliğe sahiptir. Analitik model iki aşamada yapılmıştır. İlkinde, gömülü boru içindeki hava akış hızını tahmin etmek için sabit nokta algoritmasına dayalı bir iteratif yöntem, ikincisinde ise hava çıkış sıcaklığını tespit etmek için adım adım yöntemini kullanmışlardır.

Liu vd. [17], çalışmalarında hava ve tünel yüzeyi arasındaki eşzamanlı ısı transferini açıklamak için tünel içindeki yoğuşma olaylarını dikkate alarak bir sayısal model geliştirmişlerdir. Yeraltı tünellerinin saha ölçümleri in'de Hidroelektrik istasyonlarından elde edilmiştir. Bu tüneller sırasıyla 50 m ve 70 m ortalama yeraltı derinliğinde bulunduklarından yüzey sıcaklıklarının etkisi ihmal edilmiştir. Saha lmleri basitleştirilmiş modelin simülasyon sonucunu doğrulamak için yapılmıştır. Tünel A için hava sıcaklığı ve bağlı nemdeki sapmayı sırasıyla 1.19 K ve %8.22 bulmuşlardır. Tünel B'nin farklı enine kesitinde yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum sapmayı 2.18 K ve ortalama sapmayı 0.34 K bulmuşlardır. Misra vd. [18], çalışmalarında deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğini kullanarak toprak hava tüneli ısı değiştiricisinin termal performansını incelemişlerdir. Kararlı ve geçici çalışma koşulları altında çalışan toprak hava tüneli ısı değiştiricisinin termal performansı değer kayıp faktörü açısından karşılaştırılmıştır. Kararlı durum koşulları altında akış hızının 5 m/s olduğu durumda 0.1 m çapında 60 m uzunluğundaki toprak hava tünelinde 18.8 K'lik bir sıcaklık düşüşü elde etmişlerdir. Misra vd. [19], çalışmalarında toprak hava kaynaklı ısı değiştiricisinin termal

performansını geçici çalışma koşullarında deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modelleme kullanılarak değerlendirmişlerdir. Sürekli çalışma süresinin etkileri, toprak boru çapının termal iletkenliği ve geçici koşullar altında toprak hava tüneli ısı değiştiricisinin termal performansı üzerinde akış hızını incelemişlerdir. Akış hızındaki artışın toprak hava tüneli ısı değiştirici sistemi termal performansının bozulmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Bansal vd. [20], geçici çalışma koşullarında toprak hava ısı değiştiricisinin termal performansını deneysel ve HAD modelleme kullanarak Fluent sürümü ile değerlendirmişlerdir. Deneysel testte 3.7 m derinliğe gömülü 0.1 m iç çapında 60 m yatay uzunluğunda PVC boru kullanmışlardır. Toprak hava ısı değiştiricisinin giriş ucuna dikey bir boru yoluyla 0.75 kW değerinde, tek fazlı değişken hızlı motorlu bir fan bağlamışlardır. HAD modelinde kararlı durum koşulu toprak hava ısı değiştiricisinin boru boyunca hava sıcaklığını belirlemek için kullanılmıştır. Termal iletkenlikleri sırasıyla 0.52 W/mK, 2 W/mK ve 4 W/mK olan üç toprak türünün analizini yapmışlardır. Misra vd. [21], çalışmalarında kış sezonunda geçici çalışma koşullarında toprak hava tüneli ısı değiştiricisinin termal performansını, deneysel ve HAD modelleme kullanarak değerlendirmişlerdir. Sürekli çalışma ve geçici koşullar altında toprağın termal iletkenliğinin toprak hava tüneli ısı değiştiricisi termal performansı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Toprağın termal iletkenliğinin 0.52 W/mK olduğu durumda, 5 m/s akım hızına sahip 0.1 m çapında 60 m uzunluğundaki toprak hava tüneli ısı değiştiricisinde kararlı durum koşulları altında 19.6 K'lık, geçici çalışma koşulları altında ise 24 saat sonra 17.2 K bir sıcaklık artışı olduğunu tespit etmişlerdir. Esen vd. [22], ısı kaynağı olarak zemini kullanarak bir ısı pompası sistemini değerlendirmişlerdir. Sayısal analiz için sonlu farklar yaklaşımını kullanmışlardır. Isı değiştirici olarak 1 m derinliğe gömülü çapı 16 mm olan yüksek yoğunluklu polietilen boru kullanılarak tek geçişli düz tüp yapılmıştır. Model sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin COP (Performans katsayısı) sayısal ortalama değeri 2002-2003 ısıtma sezonu için 3.2 olarak bulunmuştur. Niu vd. [23], deneysel çalışmalarını yapmak için 57 m uzunluğunda 0.45 m çapında yaklaşık 3 m yerin altında bulunan bir menfez çelik toprak hava ısı değiştiricisini kullanmışlardır. Burada 15.2 m uzunluğunda 4.52 m genişliğinde ve 2.4 m yüksekliğinde bir ana test odası bulunmaktadır. Simülasyon programı Matlab 8'de geliştirilmiştir. Toprak hava ısı değiştiricisi girişindeki hava sıcaklığı 299-307 K aralığında seçilmiştir. Toprak hava ısı değiştiricisi performansı üzerinde giriş hava sıcaklığının etkisi,

giriş havası bağıl neminin etkisi, hava hızının etkisi, tüp yüzey sıcaklığının etkisi ve boru çapının etkisi araştırılmıştır.

Sodha, vd. [24], bina kompleksinin içindeki termal konforu sağlamak için büyük toprak-hava tünel sistemini değerlendirmişlerdir. Deneysel ölçümleri doğrulamak için basit bir teorik model geliştirmişlerdir. Kesit alanı 0.528 m^2 olan 80 m uzunluktaki tünelin ısıtma kapasitesinin gerekli konfor koşullarının sağlanması için yetersiz olduğu tespit edilmiştir. İnallı vd. [25], toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin soğutma performansını incelemişlerdir. Kat alanı 16.24 m^2 olan bir test odasını kullanmışlardır. Yatay zemin ısı değiştiricisi boru mesafesi 0.3 m, boru çapı 0.016 m olarak 2 metre derinlik aşamasında toprağa verilmiştir. Sistemin ortalama soğutma performans katsayısını 2.01 olarak elde etmişlerdir. Deneysel ölçümlerle elde edilen sonuçlarda Elazığ iklim koşulları için mümkün olan en düşük maliyet ile güvenilir ve verimli bir şekilde bu sistemlerin kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Mathur vd. [26], model olarak 1 m x 1 m x 1 m ölçülerinde kübik bir ahşap oda yapmışlardır. Tüm sistem için kararlı hal koşullarını kabul etmişlerdir. Ayrıca kanaldaki hava akışı laminar, cam kapak kızıl ötesi radyasyon için opak ve akış kanalının girişindeki hava sıcaklığı oda sıcaklığına eşit olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak dikey yüzeyde $300-700 \text{ W/m}^2$ güneş radyasyonu için $55-150 \text{ m}^3/\text{h}$ arasındaki debilere tekabül eden havalandırma potansiyelinin var olduğunu ve güneş radyasyonu artışı ile doğrusal hava akımının arttığını tespit etmişlerdir. Ozgener vd. [27], çalışmalarında 47 metre yatay, 56 cm anma çapına sahip galvanizli bir zemin ısı değiştirici kullanmışlardır. Sera soğutma amacıyla tasarlanan yeraltı hava tünelinin ekserjetik performans özellikleri araştırılmıştır. Yer altı hava tüneline giren ve çıkan havanın sıcaklığı bakır-konstantan termokupl (PT-100) kullanılarak ölçülmüştür. Yeraltı hava tüneli girişinde hava sıcaklığını 314.22 K olarak ölçmüşlerdir. Kapalı hava tünel giriş ve çıkış arasında havanın maksimum ortalama sıcaklık farkı, yaklaşık 4.22 K olarak elde edilmiştir. Ozgener [28], PV destekli toprak hava ısı değiştirici sistemi üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Sera için yapılan deneyde toprağa gömülü boru çapı 0.56 m ve boru uzunluğu 47 m aynı zamanda sera bağlantısı için boru çapı 0.8 m ve boru uzunluğu 15 m'dir. Deney süresince toplam ortalama COP 10.09 olarak bulunmuştur. Yapılan deneyde sistemin maksimum soğutma kapasitesinin 16.93 kW olduğu tespit edilmiştir. Misra vd. [29], toprak hava ısı değiştiricisinin performansını dört farklı çalışma modunda değerlendirmişlerdir. Birinci mod'ta yalnızca klimayı çalıştırmışlardır, ısı değiştiricisi

işlevsel değil aynı zamanda bu modu temel durum olarak kabul etmişler ve bu temel durumu diğer üç modla karşılaştırmışlardır. Hibrid toprak hava ısı değiştiricisi ikinci mod'ta kullanıldığında sistem performansında önemli bir gelişme gözlemlenmiştir. Tüketilen toplam elektrik enerji tasarrufunu temel duruma kıyasla yaklaşık %6 olarak bulmuşlardır. Üçüncü mod'ta tüketilen elektrik enerjisi tasarrufu temel duruma göre %18 olduğundan bu mod'ta optimum performans sağlandığını tespit etmişlerdir. Dördüncü mod'ta ise temel duruma göre %16 daha fazla elektrik enerjisi tüketildiğinden sistemin performansını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Jakhar vd. [30], çalışmalarında kış sezonunda bir güneş hava ısıtma kanalı ile toprak hava ısı değiştiricisinin birleştirilmesiyle sistemin termal performansını deneysel olarak üç farklı koşulda değerlendirmişlerdir. Deneyi, toprak hava ısı değiştiricisinin çıkış ucuna bir güneş ısıtma kanalı ekleyerek sistemin ısıtma kapasitesini arttırmak için yapmışlardır. Toprak hava ısı değiştiricisi güneş hava ısıtma kanalı ile birleştiği zaman oda sıcaklığında 1.1–3.5 K ısıtma kapasitesinde 1217.625 - 1280.753 kWh ve COP'da 4.57 artış olduğunu bulmuşlardır.

2. PASİF SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Ekonomik krizlerin ard arda geldiği ülkemizde enerji maliyetleri de giderek artmaktadır. Ayrıca çevre tahribatının daha az olması bakımından fosil yakıt kullanımının azaltılması son derece önemlidir. Bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde hiç değilse binalarda kullanılan enerjinin tasarruf tedbirleri alınarak bir miktar azaltılması, mekanik soğutma tasarlanan binalarda bu sistemlerin kapasitelerinin düşürülmesi (döviz de pahalılaştığı için ithal olan soğutma ekipmanlarının kapasitelerini düşürmeye yarayan her türlü çaba değerlidir) önemlidir [31].

Mekanik soğutma sistemi olmayan binalarda da pasif soğutma ile daha rahat çalışma koşulları sağlamak mümkündür. Burada kullanılan pasif terimi, doğal soğutma kaynaklarını, ısı kuyularını, COP'si yaklaşık 4'den büyük mekanik soğutma sistemlerini kapsamaktadır. Binaların pasif ve düşük enerjili sistemlerle soğutulması, değişik doğal ısı kuyuları çevre havası, yüzeyin altındaki toprak vb vasıtasıyla sağlanabilir [31].

Bu soğutma sistemleri;

- Konfor havalandırması; gün içinde doğrudan insan konforunu sağlar.
- Gece havalandırması; bina gövdesini geceleyin soğutmaya amaçlar.
- Gece radyant soğutma; gündüz kullanımı için soğu depolar.
- Doğrudan evaporatif soğutma; havalandırma havasını mekanik olmayan yoldan soğutur.
- Dolaylı evaporatif soğutma; çatıya havuz vb. yaparak soğutma sağlar [31].

Bunların dışında aynı zamanda çalışma konusu olan, üzerinde geniş bir şekilde duracağımız toprak kaynaklı pasif soğutma sistemleri de vardır.

2.1. Toprak Kaynaklı Pasif Soğutma Sistemi

Sıcaklık farkları sayesinde toprak, bir bina için (özellikle sirkülasyon havasının soğutulmasında) ısı kuyusu olarak görev yapabilmektedir. Eğer toprak sıcaklığı yeterince düşükse, bu enerji, çeşitli şekillerde binanın soğutulmasında kullanılabilir. Bina mümkün olduğunca toprakla çevrelenebilirse, iletimle ısı transferi vasıtasıyla (duvarların ısı iletkenliği yüksek, yani duvarlar yalıtımsız olmalıdır) pasif soğutma yapılabilir. Bu

uygulama sıcak yaz ve ılıman kış iklimlerine sahip bölgeler için çok uygundur; ancak kışları soğuk olan iklimlerde ısı kayıplarını artıracığından bu yöntem tercih edilmez. Bir çok iklim bölgesinde binanın altında, yanında bazen de üstündeki toprak kütlesi bina için doğal bir soğutma kaynağı olarak hizmet verebilir. Çoğu yerlerde yüzeyin 2-3 m derinliklerindeki toprak soğutucu kaynak olabilecek durumdadır. Ancak çok sıcak bölgelerde toprak soğutucu kaynak olarak hizmet göremeyecek kadar sıcak olabilir. Bu durumlarda toprak yüzeyi çimlendirilebilir veya gündüz saatlerinde sulanabilir [31].

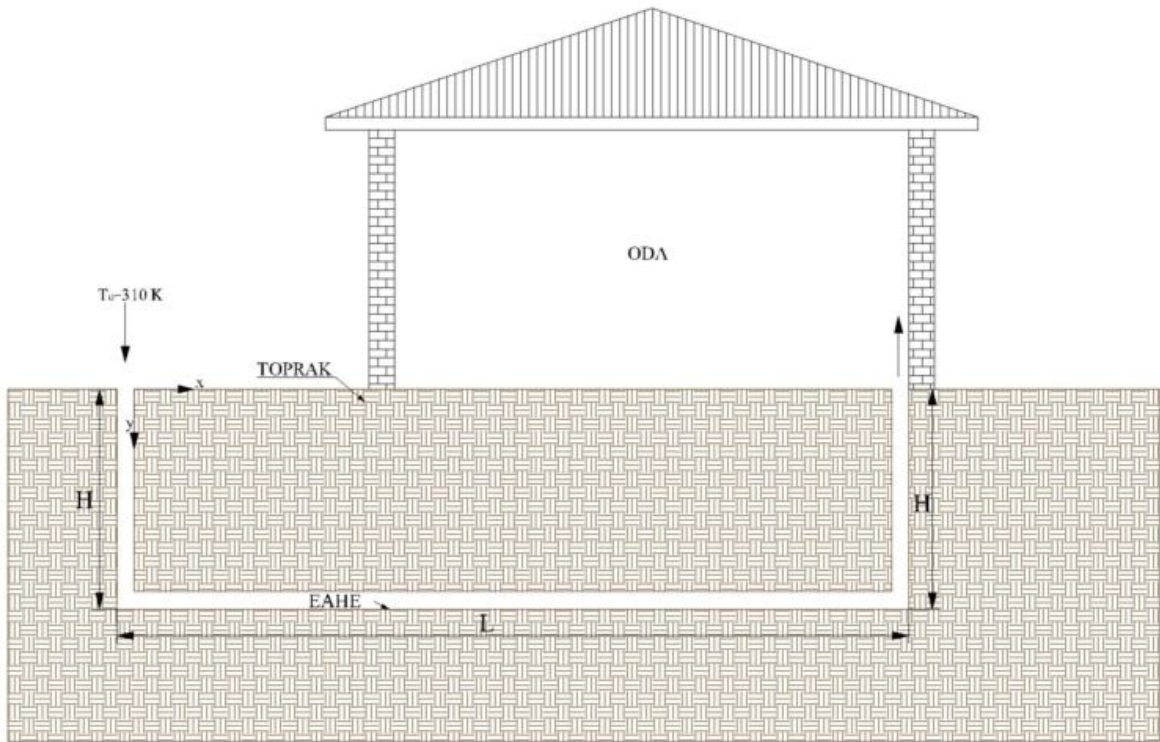
Bunun için Givoni tarafından iki farklı yöntem geliştirilmiştir. Yöntemlerin ikisinde de toprak yüzeyinde oluşacak olan buharlaşmayı önlemeyecek şekilde gölgelendirme sağlanmıştır. Birinci yöntemde, yazın toprak yüzeyi en az 10 cm kalınlığında ağaç, çakıl taşı gibi malzemelerle örtülmekte ve bunlar sulanmaktadır. İkinci yöntemde ise yaz yağmurları ve sulama ile birlikte toprak yüzeyinden su buharlaşması sağlanarak yüzey sıcaklığı ve alttaki toprak sıcaklığı düşürülebilmektedir. İsrail ve Kuzey Floarida’da yapılan çalışmalarda bu yöntemler uygulanarak toprak yüzey sıcaklığı, çevre sıcaklığından 10-16 K arasında düşük tutulabilmiştir [32].

Toprak kaynaklı soğutma doğrudan veya dolaylı olarak gerçekleşebilir. Bina dış yüzeyi toprak ile doğrudan temas halinde ise toprağın termal kütlesi, iç ortam sıcaklığının azalmasını sağlar. Dolaylı soğutma, ön soğutma yöntemidir. Yer altına döşenen borularda sirküle edilen su veya havanın ısıyı serin toprak katmanı sayesinde azalır ve bina içinde bu serinlikten yararlanır [33]. Bina çok iyi izole edildikten sonra, PVC borular ısı değiştirgeci olarak toprağa yerleştirilir. Bu borularda binanın sirkülasyon havası dolaştırılarak soğutulması sağlanabilir. Hava sirkülasyonu kapalı devre olabileceği gibi, dış havanın içeri alınması şeklinde de olabilir. İç havanın, toprağa gömülü bu borulardan dolaştırılmasıyla hava sıcaklığı, dış hava sıcaklığından 10 K daha düşük seviyelere getirilebilir. Çok yüksek dış hava sıcaklıklarına sahip bölgelerde ise verim daha da artmaktadır [31].

Gerçekleştirilecek bu çalışma ile birlikte 310 K sıcaklığındaki dış ortam hava sıcaklığı ile toprağın farklı derinliklerinde PVC ve çelik (%0.5 C) kanallar kullanılarak soğutma işlemi gerçekleştirmek suretiyle bina için gerekli termal konfor şartları sağlanacaktır.

3. TOPRAK HAVA ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN TANITILMASI

Elazığ iklim koşullarında tipik bir konutun soğutulması için kullanılan toprak hava ısı değiştiricisi (kanal) üç farklı toprak derinliğine ($H = 1$ m, 2 m, 3 m) göre termal performans analizleri ANSYS Fluent 12.1 programında yapılacaktır. Toprak hava ısı değiştiricisi olarak PVC ve çelik ($\%0.5$ C) malzemeler seçilmiştir. Her üç toprak derinliği için kullanılacak olan toprak hava ısı değiştiricisi $L = 30$ m yatay eksen uzunluğuna sahiptir. Şekil 3.1’de şematik çizimi verilen toprak hava ısı değiştiricisinin termal analizi farklı Reynolds sayıları ($Re = 5 \times 10^3, 10^4, 15 \times 10^3, 2 \times 10^4, 4 \times 10^4, 6 \times 10^4, 10^5$) için yapılacaktır.



Şekil 3.1 Toprak hava ısı değiştiricisinin şematik çizimi

Toprak hava ısı değiştiricisinin termal performansını araştırmak için 2014 yılı Temmuz ayının sıcaklık verileri kullanılmıştır. En iyi termal performansı elde edebilmek için farklı hava akış hızları ve gömülü boru derinliklerinde, farklı boru malzemesi kullanılarak analizler yapılmıştır. Toprak hava ısı değiştiricisi yapılan bütün analizlerde 0.1 m iç çapa ve 0.002 m cidar kalınlığına sahiptir. Toprağın 1 m derinliğinde sahip olduğu ortalama sıcaklık değeri 295.5 K olup, Elazığ İline ait bu değer Bitlis Meteoroloji İl

Müdürlüğünden alınmıştır. Toprağın 2 m ve 3 m derinliğine ait ortalama sıcaklık değerleri Meteoroloji İl Müdürlüğünde bulunmadığından bu mesafelerdeki ortalama toprak sıcaklık değerleri Lineer interpolasyon yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Toprağın 2 m derinliğindeki ortalama sıcaklık değeri 288.9 K, 3 m derinliğindeki ortalama sıcaklık değeri ise 282.3 K olarak tespit edilmiştir. Her üç toprak derinliğinde toprak hava ısı değiştiricisinin hava giriş kısmından, hava çıkış kısmına kadar olan bütün cidar yüzeyinin sıcaklık değeri ortalama toprak sıcaklık değerine eşdeğer kabul edilmiştir.

4. YÖNETİCİ DENKLEMLER VE SAYISAL ÇÖZÜM

4.1. Süreklilik ve Navier - Stokes Denklemleri

Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri tüm akışlara uygulanabilen en önemli akış denklemleridir. Süreklilik denklemi, diferansiyel boyutlardaki bir kontrol hacim içerisinde geçen akışkanın kütle korunum yasasını ifade ederken Navier-Stokes denklemleri ise Newtonun ikinci kanunun bir kontrol hacme uygulanmasıyla sonuçlanan hareket veya momentum korunum denklemleri olmaktadır. Kartezyen koordinatlarda, sabit fiziksel özelliklere sahip (izotermal), Newton tipi ve sıkıştırılamaz bir akış için süreklilik ve hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır [34].

Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.1)$$

Navier Stokes Denklemleri

x yönünde :

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4.2)$$

y yönünde :

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (4.3)$$

z yönünde :

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4.4)$$

Burada u, v ve w sırasıyla x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleridir. Bu denklemlerin tümüne birden yönetici denklemler denir. Tüm akış problemlerin çözümü bu denklem

takımı ile yapılmaktadır [34]. Toprak hava ısı değıştiricisinin termal analizi ANSYS Fluent 12.1 programında kararlı koşul durumunda üç boyutlu olarak yapılacaktır. Navier-Stokes denklem takımındaki u, v ve w hız bileşenleri değışkendir. Havanın diğér fiziksel özellikleri olan ρ (yoğunluk), P (basınç) ve μ (dinamik viskozite) sabittir.

4.2. Enerji Denklemi

Türbülanslı akışta, Kartezyen koordinatlarda sıkıştırılamaz akış için kullanılacak olan enerji denklemi aşağıda (4.5a) denkleminde verilmiştir.

$$\left[u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \mu \Phi \quad (4.5a)$$

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \quad (4.5b)$$

4.3. Türbülans Modelleri

Türbülans bir sıvının ya da gazın hareket halindeki düzensizliğidir. Türbülanslı olmayan akışa laminar akış denir. Akış koşullarının laminar veya türbülanslı olup olmadığını Reynolds sayısı belirler. Türbülans, pek çok bilim adamı tarafından ele alınmış, ancak analitik çözüm bulunamamış problemlerden biridir [35].

Düzgün akışa sahip bir akışkanın molekülleri birbirlerine mümkün olduğu kadar yakın kalmaya ve benzer davranışlar göstermeye meyillidir. 19. yüzyılın başlarında düzenli akışa sahip akışkanlara ait temel problemler çözülmüş ve akışkanlar dinamiğinin temelleri atılmıştır. Ancak, bilim uzun süre türbülans üzerinde çalışmayı reddetmiş, türbülansı daha çok bir mühendislik problemi olarak görmüştür [35].

Türbülans modellemesi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde önemli bir yere sahiptir ve türbülanslı akışı çözümlmek amacıyla, farklı sayısal yaklaşımlar geliştirilmiştir. Doğrudan Sayısal Modelleme (Direct Numerical Simulation) adı verilen DNS yönteminde, sayısal ağ ve zaman çözünürlüğü tüm ölçeklerdeki burgaçları çözümlerebilecek seviyede olup simülasyonlar herhangi bir modelleme gereksizsin temel taşınma denklemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemin oldukça fazla hesaplama hücresi ve zaman adımı

gerektirmesi DNS'in akademik çalışmalardaki kullanımını kısıtlı, pratik anlamda kullanımını ise imkânsız kılmaktadır [35].

Yüksek Reynolds sayılarında, türbülanslı akışta, akışın atalet kuvvetleri viskoz kuvvetlere göre daha baskın bir hal alır. Bunun sonucunda akışkan hareketi kararsız olmaya baslar. Hız ve diğler tüm akış özellikleri rasgele ve kaotik bir şekilde değışmeye baslar ve akış üç boyutlu olur. Türbülanslı bir problemin çözümü de doğası gibi karmaşıktır ve dolayısıyla türbülanslı problemlerin çözümünde kullanılmak üzere çeşitli türbülans modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen türbülans modelleri akışı tamamen tanımlayamamaktadır. Her bir akış benzetimi için tek bir türbülans modeli yoktur. Farklı özellikteki akış modellemeleri için farklı türbülans modeli kullanılabilmektedir [36].

Türbülanslı akış analizi için farklı türbülans modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerden bazıları aşağıda verilmiştir [37].

Türbülans modelleri;

- Zero Equation Model
- $k-\epsilon$ (epsilon) Model
- RNG $k-\epsilon$ Model (Reynolds Normalized Group Turbulence Model)
- $k-\omega$ (omega) Model
- SST Model (Shear Stress Transport Model)
- The Reynolds Stress Model
- Omega Based Reynolds Stress Model
- Ansys Cfx Transition Model
- The Large Eddy Simulation Model (LES)
- The Detached Eddy Simulation Model (DES)
- The Scale Adaptive Simulation Model (SAS)
- Buoyancy Turbulence Model

Yakınsama sağlamlığı, hesaplama maliyeti ve doğruluk açısından $k-\epsilon$ modelleri iyi bir seçim olmaktadır. Bu modeller genellikle kompleks akışları içeren ısı geçişli veya ısı geçişsiz endüstri tipi uygulamalar için uygundur. $k-\omega$ modellerinde $k-\epsilon$ modellerine benzer iki taşıma denklemi özölmektedir, ancak ikinci taşınan türbülans değışkeninin seçiminde farklılık vardır. Bu modeller, $k-\epsilon$ ve $k-\omega$, HAD simölasyonlarında sıkça uygulanır [35].

Hesaplama maliyeti, doğruluk ve yakınsama sağlamlığı açısından $k-\epsilon$ modelleri iyi bir seçim olduğundan yapacağımız sayısal analiz için standart $k-\epsilon$ türbülans modeli seçilmiştir.

4.4. Standart k-ε Model

Türbülanslı akışların sayısal çözümünde en yaygın olarak kullanılan modellerden birisi standart k-ε modelidir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve yayılım oranı (ε) denklemleri sırasıyla aşağıda verilmektedir [38].

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (4.6)$$

ve ε dağılımı yapılırsa,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (4.7)$$

şeklini alır. Standart k-ε modeline ait türbülans iletkenliği ve türbülans viskozitesi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$k_t = \frac{\mu_t C_p}{\sigma_t} \quad (4.8)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4.9)$$

türbülans model sabitleri ise $C_{1\epsilon} = 1.44$, $C_{2\epsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\epsilon = 1.3$ şeklindedir.

4.5. Isı Transfer Katsayıları ve Boyutsuz Parametreler

Toprak hava ısı değiştiricisinde meydana gelen ısı transferi için aşağıda verilmiş olan ısı taşınım katsayıları ve boyutsuz parametreler kullanılacaktır.

4.5.1. Taşınım ısı transfer katsayıları

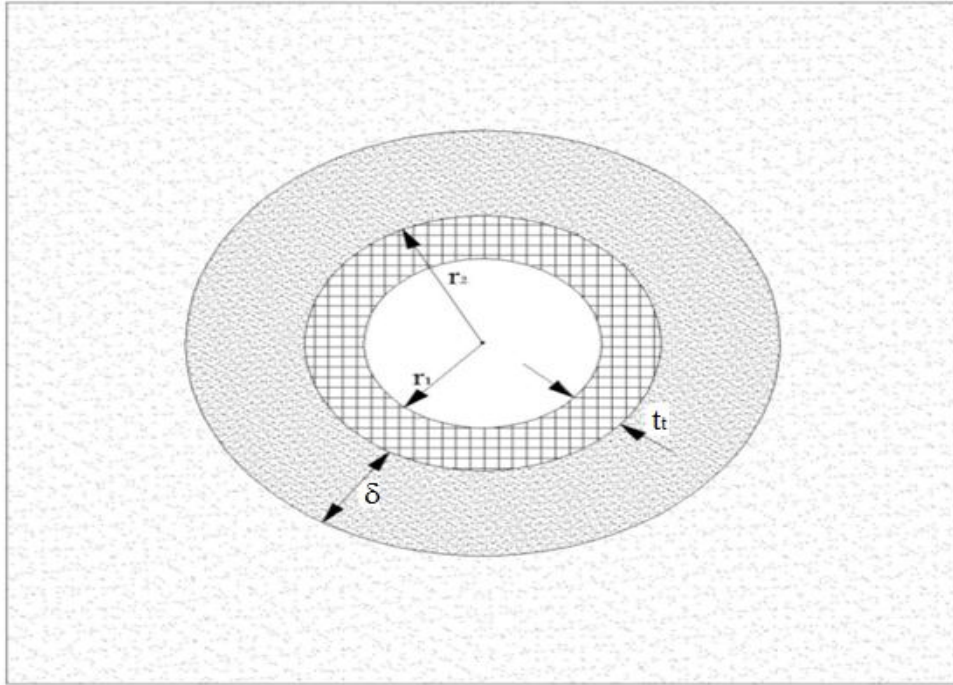
Havadan boruya geçen ısı transferi için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$h_a = \frac{Nu \cdot k_a}{D} \quad (4.10)$$

Nu : Nusselt sayısı

k_a : Havanın ısı iletim katsayısı (W/mK)

D : Boru çapı (m)



Şekil 4.1 Toprak kalınlığı ile EAHE'nin enine kesit görünüşü

Borudan toprağa geçen ısı transferi için ise aşağıdaki denklem kullanılır [39].

$$h_s = \frac{k_s}{r_2 \ln\left(1 + \frac{\delta}{r_2}\right)} \quad (4.11)$$

k_s : Toprağın ısı iletim katsayısı (W/mK)

δ : Toprak kalınlığı (m)

r_2 : Borunun dış yarıçapı (m)

4.5.2. Reynolds sayısı

Laminardan türbülanslı akışa geçiş, diğer parametrelerin yanı sıra yüzey geometrisi, yüzey pürüzlülüğü, serbest akım hızı, yüzey sıcaklığı ve akışkan tipine bağlıdır. Osborne Reynolds, 1880’li yıllarda yorucu deneylerden sonra, akış rejiminin esasta akışkandaki atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağlı olduğunu ortaya koydu. Boyutsuz bir nicelik olan bu oran Reynolds sayısı olarak adlandırılır [40]. Dairesel boru içerisindeki akışlarda Reynolds sayısı aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$Re = \frac{\rho V_{ort} D}{\mu} = \frac{V_{ort} D}{\nu} \quad (4.12)$$

4.5.3. Sürtünme faktörü

Pürüzsüz borular için türbülanslı akışta sürtünme faktörü,

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad 3000 < Re < 5 \times 10^6 \quad (4.13)$$

birinci Petukhov eksplisit denkleminde bulunabilir [40].

4.5.4. Nusselt sayısı

Nusselt sayısı bir akışkan tabakası üzerinde taşınımın iletme oranının sonucu olarak, o akışkan tabakasındaki ısı transferi iyileşmesini gösterir. Nusselt sayısı ne kadar büyük olursa taşınım da o kadar etkili olur. Türbülanslı akışta Nusselt sayısı sürtünme faktörü ile ilişkili olup daha düşük Reynolds sayılarında bu bağıntının duyarlılığı,

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3}-1)} \quad \left(\begin{array}{l} 0.5 \leq Pr \leq 200 \\ 3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6 \end{array} \right) \quad (4.14)$$

ile verilmektedir [40].

4.5.5. Prandtl sayısı

Hız ve termal tabakaların birbirlerine göre kalınlıklarını en iyi olarak

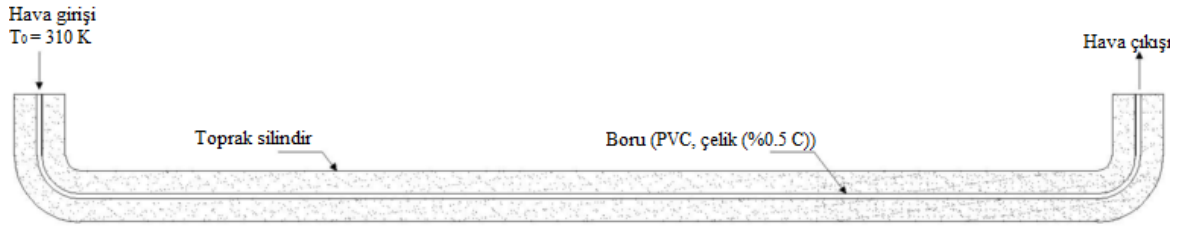
$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (4.15)$$

şeklinde tanımlanan boyutsuz parametre Prandtl sayısı ile verilmektedir [40].

5. MATEMATİKSEL MODEL

5.1. Toprak Hava Isı Değiştiricisi (EAHE) Geometrisi

Toprak hava ısı değiştiricisine ait şematik çizim Şekil 5.1’de verilmiştir. Toprak silindirin çapı 1 m, PVC ve çelik (%0.5 C) borunun iç çapı 0.1 m ayrıca boru cidar kalınlığı 0.002 m olarak belirlenmiştir. Toprak hava ısı değiştiricisi yatay ekseninde 30 m uzunluğa sahip olup, 1 m toprak derinliğinde 32.91 m, 2 m toprak derinliğinde 34.91 m ve 3 m toprak derinliğinde 36.91 m toplam uzunluğa sahiptir.



Şekil 5.1 HAD simülasyonunda kullanılan EAHE modelinin şematik çizimi

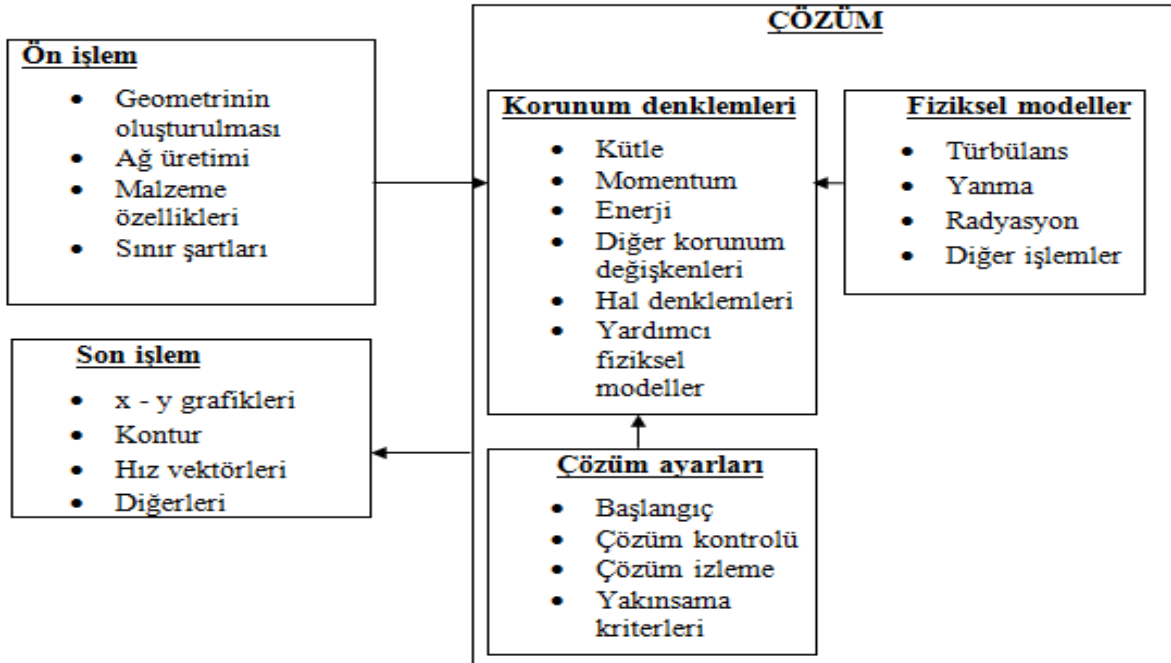
5.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) akışkan hareketini ifade eden temel kütle, momentum ve enerji denklemlerinin bilgisayar aracılığı ile çözülmesi ilkesine dayanan sayısal bir yöntemdir. HAD kısmi diferansiyel denklemleri bilgisayarlarda çözümlenebilen bir takım cebirsel denklemlere dönüştürerek akışkan dinamiği üzerinde hızlı ve pratik çalışma imkânı vermektedir. Akışı ifade eden kısmi diferansiyel denklemler sayısal olarak çözülerek akış içindeki basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ve bu parametrelere bağlı olarak birçok alt veriye kolaylıkla ulaşılabilmektedir. HAD yöntemi ile, ilgili fiziksel probleme ait bir model oluşturulabilmekte, akışkan ve akış ile ilgili temel fiziksel ve kimyasal ilkeler oluşturulan bu modelde tanımlanarak, kullanılan bilgisayar yazılımı sayesinde akışkan

dinamiği ile, ilgili fiziksel problemin gerçek davranışları hakkında bilgiler alınabilmektedir. Probleme ait geometrinin kolaylıkla oluşturulup analiz edilmesine imkân vermesinin yanında, deneysel çalışmalara nispeten zamandan ve ekonomik açıdan fayda sağlaması HAD’ni ön plana çıkarmıştır [41].

Günümüzde hesaplamalı akışkanlar dinamiği araştırma–geliştirme ve ürün tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak bir uçak kanadının üzerindeki basınçlar, bir yeraltı rezervuarının sıcaklık dağılımı, bir ortamdaki hava akımı dağılımı veya hareketli bir arabanın etrafındaki hava hızı gibi akış ile ilgili birçok parametre bulunabilir. Son yıllardaki hesaplamalı akışkanlar dinamiği teorisi ve bilgisayar yazılımlarındaki gelişmeler yüksek türbülanslı akışların ve dinamik sistemlerin sayısal olarak incelenmesine ve sanal ortamda simüle edilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca, tek fazlı akışların yanında çok fazlı akışlar da artık çözülebilir hale gelmiştir. Örneğin pompalarda kavitasyon gibi zararlı etkenlerin yapısı incelenmekte ve alınan sonuçlara göre önlemler alınmaktadır [37].

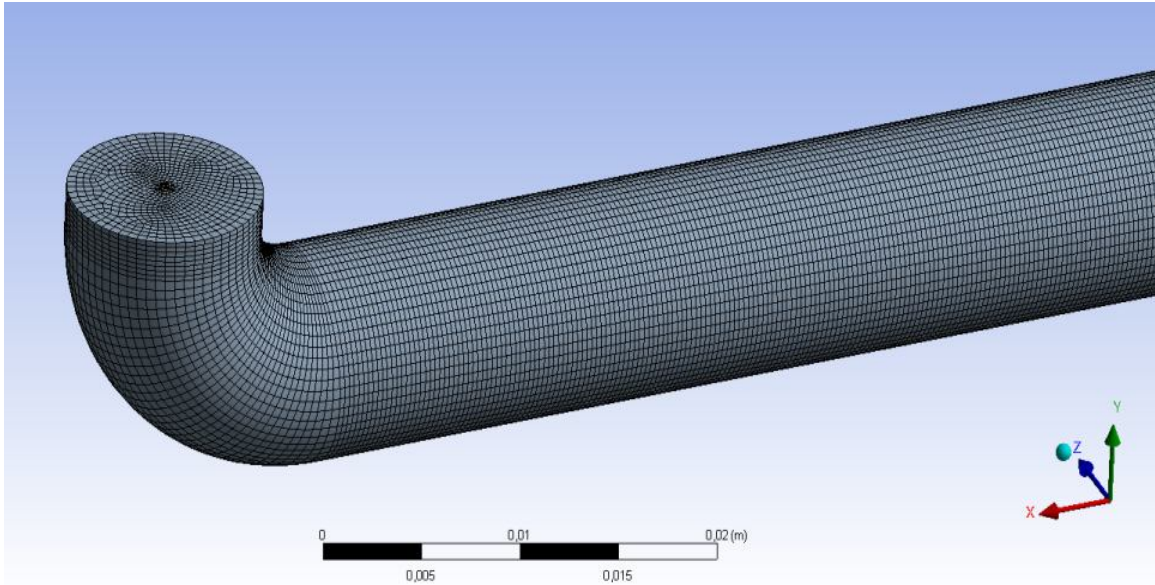
Isı, akış ve kimyasal tepkime problemlerini çözebilmek için geliştirilmiş HAD yazılımları ön işlem, çözüm ve son işlem olmak üzere üç temel aşamada gerçekleşir. Şekil 5.2’ de bu temel aşamalarda gerçekleştirilen işlemler gösterilmektedir [42].



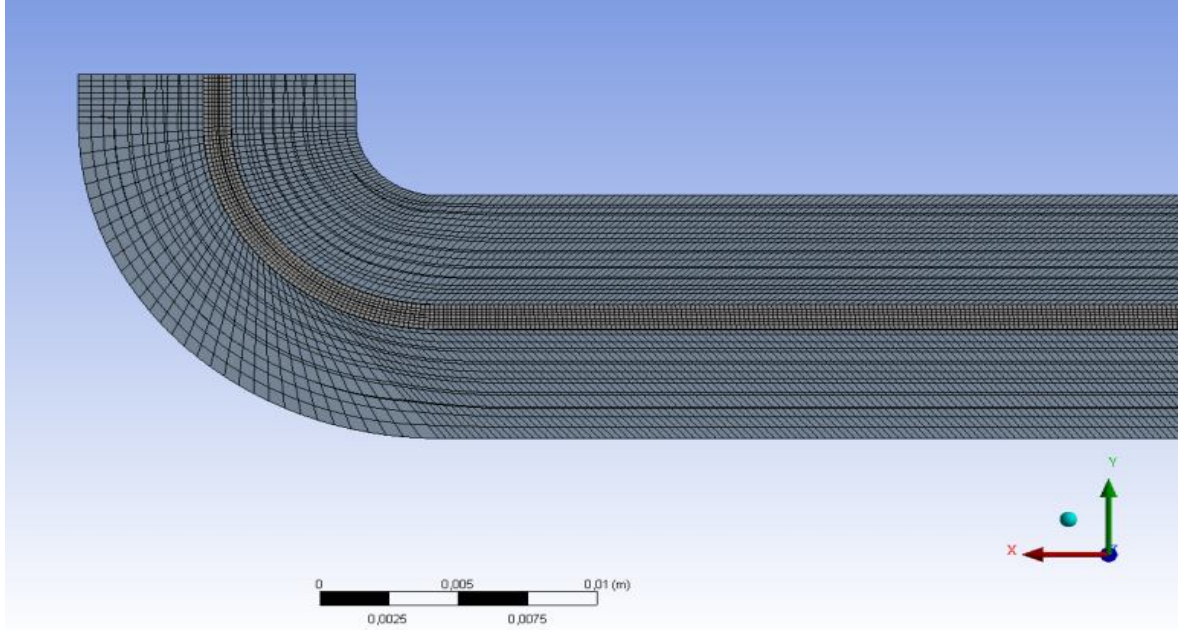
Şekil 5.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin temel aşamaları [43]

5.3. Sayısal Modelin Çözümeye Hazır Hale Getirilmesi

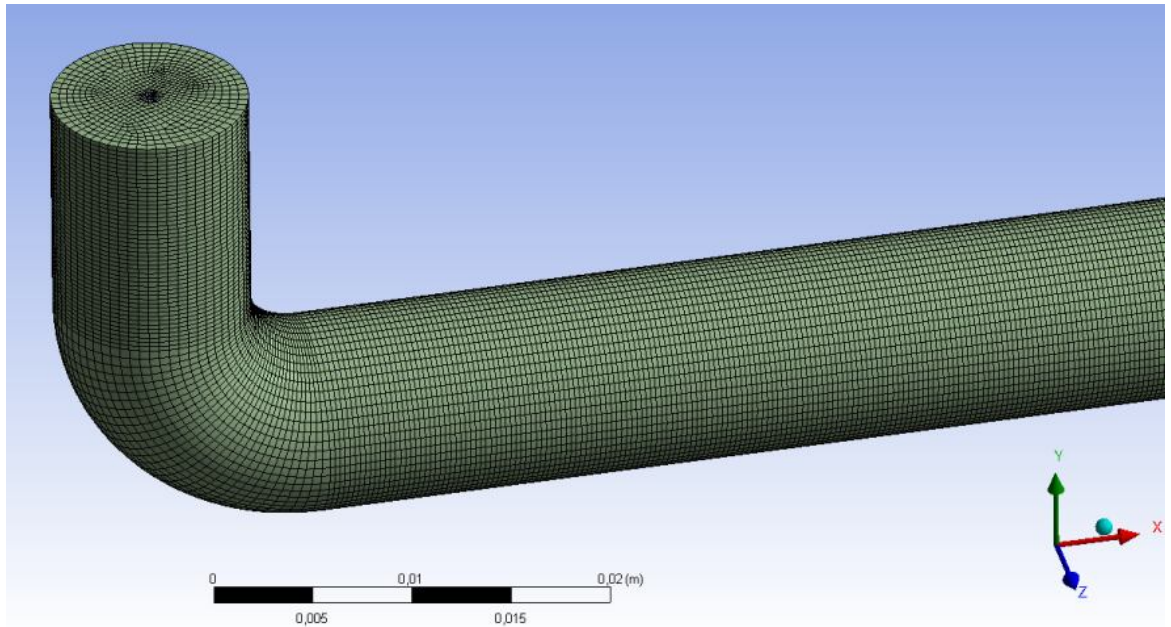
Sonlu hacimler yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Sonlu hacimler metodu akışkanlar mekaniğinde, akışkanın hareket denklemlerinin integral hallerini fiziksel uzayda ayrıklaştırarak çözmek için kullanılır. Çözüm için, incelenecek bölgenin üst-üste binmeyen sonlu sayıda kontrol hacmine bölünmesi gerekmektedir. Bu sonlu sayıdaki elemanların tamamı çözüm ağı veya sayısal ağ olarak adlandırılmaktadır. Genellikle değişkenler kontrol hacimlerinin merkezinde hesaplanır. Diğer metotlardan farklı olarak, sonlu hacimler yöntemi ile hesaplamalar düğüm noktalarında yapılmadığından çok esnek çözüm ağlarına uygulanabilmektedir. Bu avantajı dolayısıyla, yapısal çözüm ağlarında olduğu kadar yapısal olmayan çözüm ağlarında da başarılı sonuçlar vermektedir. Karmaşık geometrilere uygulanabilmesi ve daha esnek olması açısından daha çok yapısal olmayan çözüm ağları tercih edilmektedir [36]. Aşağıda Şekil 5.3 – Şekil 5.8 arasında farklı toprak derinliklerindeki sayısal modellere ait çözüm ağları gösterilmiştir.



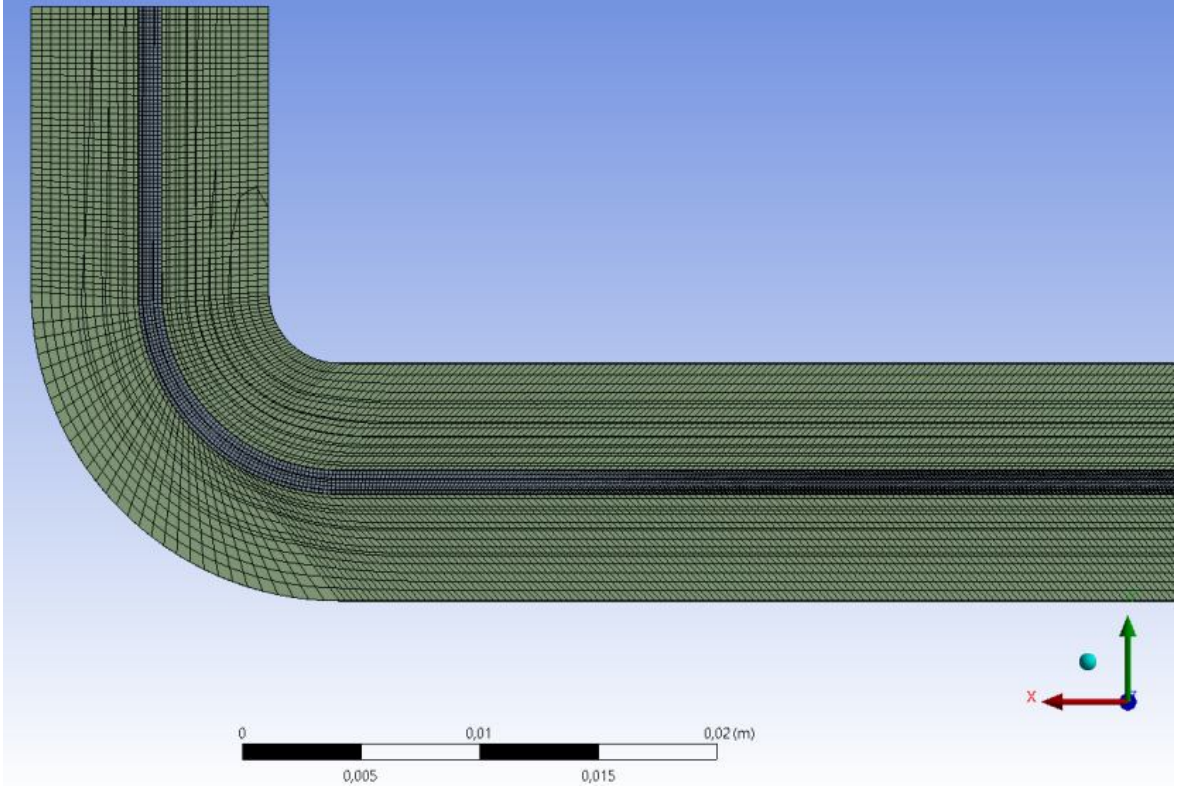
Şekil 5.3 1 m toprak derinliğindeki toprak ve boruyu temsil eden yüzeylerin ağ gösterimi



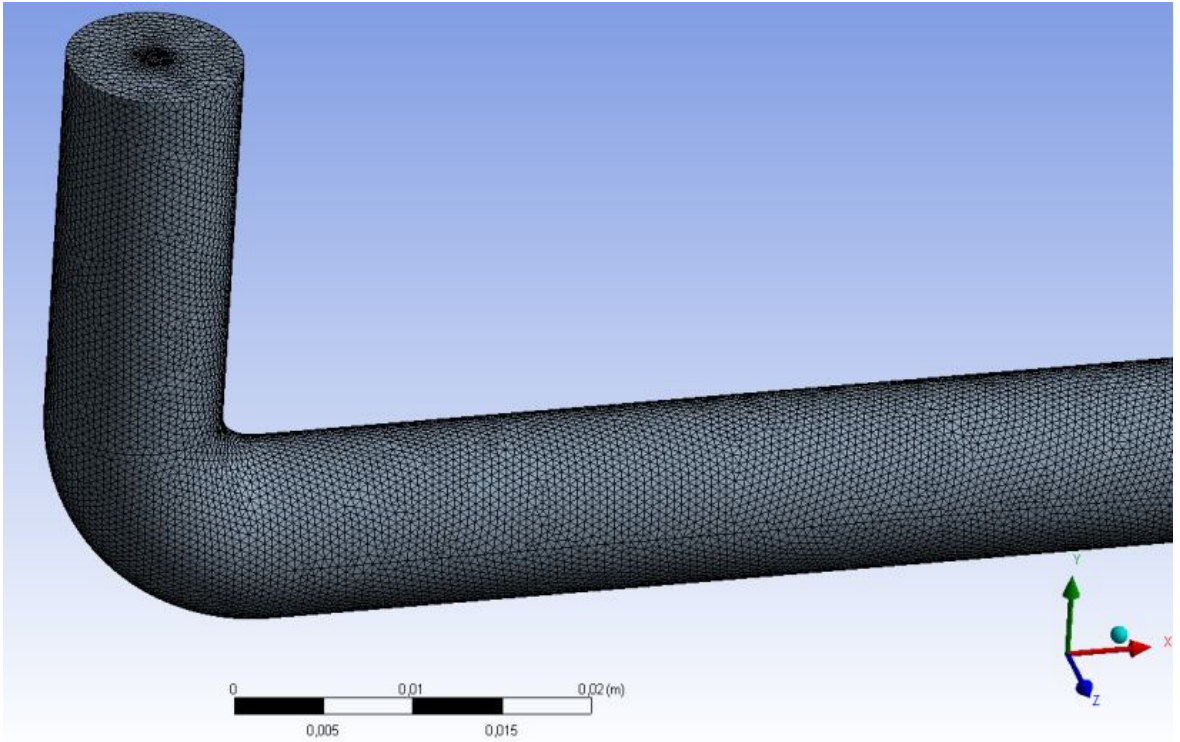
Şekil 5.4 1 m toprak derinliğindeki toprak ve borunun boyuna kesit görünüşüne ait ağ gösterimi



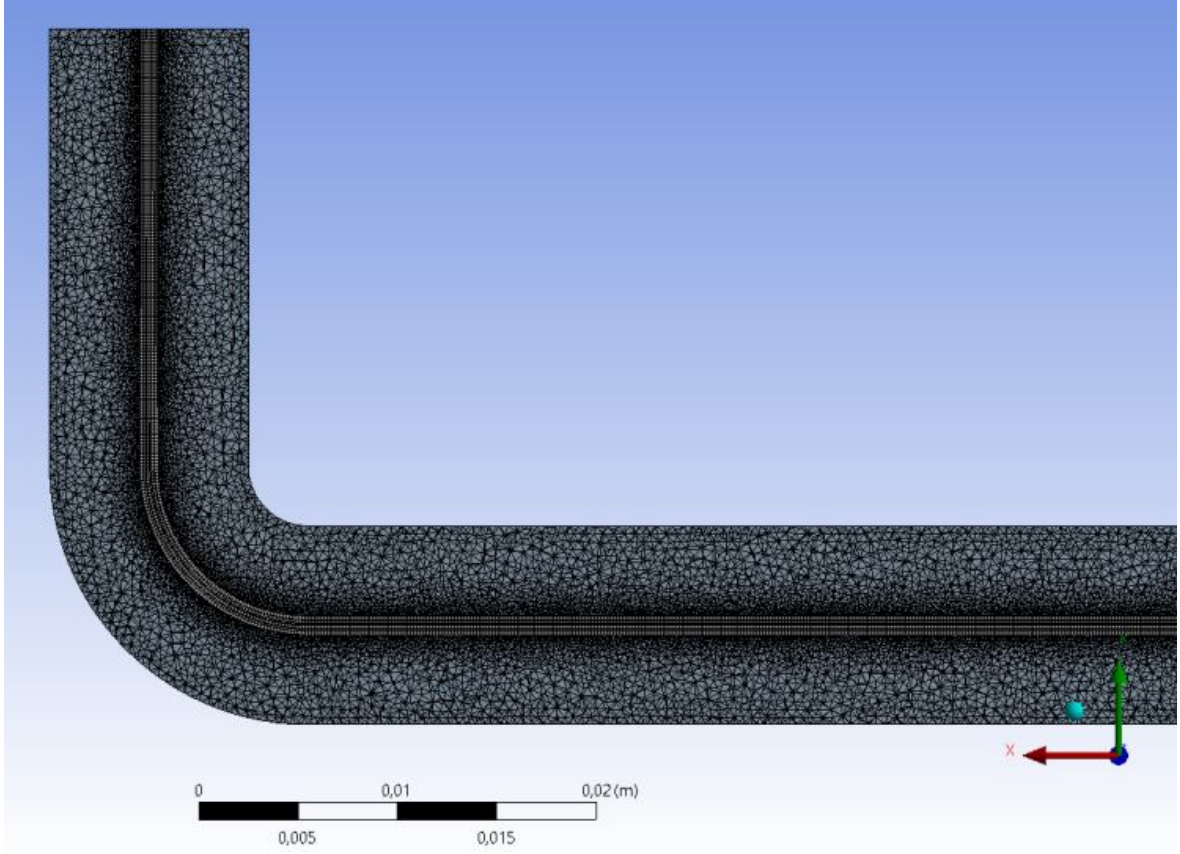
Şekil 5.5 2 m toprak derinliğindeki toprak ve boruyu temsil eden yüzeylerin ağ gösterimi



Şekil 5.6 2 m toprak derinliğindeki toprak ve borunun boyuna kesit görünüşüne ait ağ gösterimi



Şekil 5.7 3 m toprak derinliğindeki toprak ve boruyu temsil eden yüzeylerin ağ gösterimi



Şekil 5.8 3 m toprak derinliğindeki toprak ve borunun boyuna kesit görünüşüne ait ağ gösterimi

1 m toprak derinliğindeki sayısal model 994108 hacim elemanından ve 1099980 düğüm noktasından, 2 m toprak derinliğindeki sayısal model 1029922 hacim elemanından ve 1148476 düğüm noktasından ve 3 m toprak derinliğindeki sayısal model 3342809 hacim elemanından ve 813993 düğüm noktasından oluşmaktadır.

Yapılan çözüm ağları sonucunda en uygun düğüm sayısının tespiti için Reynolds sayısının 4×10^4 değeri kullanılarak 1 m toprak derinliğindeki EAHE uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık değerleri incelenmiştir.

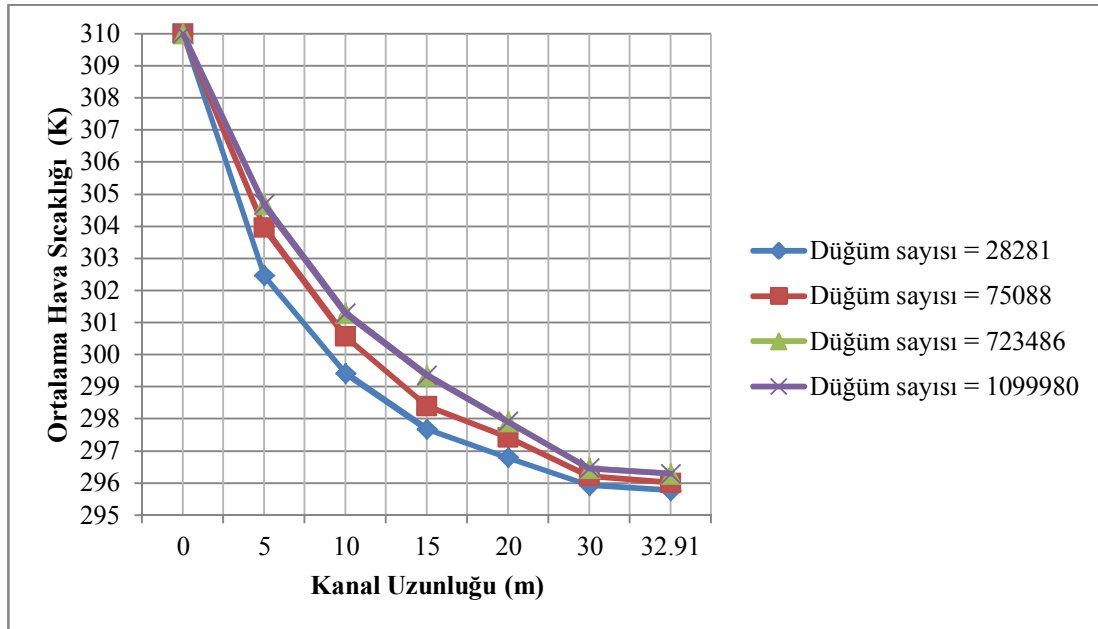
Tablo 5.1’de EAHE uzunluğu boyunca farklı düğüm noktalarına ait ortalama hava sıcaklık değerleri verilmiştir. EAHE uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık değerleri düğüm sayılarındaki artışa bağlı olarak değişmiştir. Düğüm sayısı arttıkça kanalın farklı mesafelerindeki ortalama hava sıcaklık değerleri de artmıştır. Tablo 5.1 incelendiği zaman 723486 adet düğüm sayısına ait ortalama hava sıcaklık değerleri ile 1099980 adet düğüm sayısına ait ortalama hava sıcaklık değerleri birbirine eşit bulunmuştur. Bu sonuca bağlı olarak 1099980 adet düğüm sayısı çözüm ağı için yeterli kabul edilmiştir. Farklı toprak

derinliklerindeki toprak hava ısı değiştiricilerine ait çözüm ağ yapıları da ayrıca kontrol edilmiştir.

Tablo 5.1 EAHE uzunluğu boyunca farklı düğüm sayılarındaki ortalama hava sıcaklık değerleri (K)

Gömülü PVC boru derinliği = 1 m				
Reynolds sayısı	4×10^4			
Düğüm sayısı	28281	75088	723486	1099980
Kanal Uzunluğu (m)				
Giriş	310	310	310	310
5	302.46	303.96	304.68	304.68
10	299.42	300.57	301.3	301.3
15	297.68	298.4	299.36	299.36
20	296.8	297.43	297.91	297.91
30	295.93	296.22	296.46	296.46
Çıkış	295.77	296.01	296.29	296.29

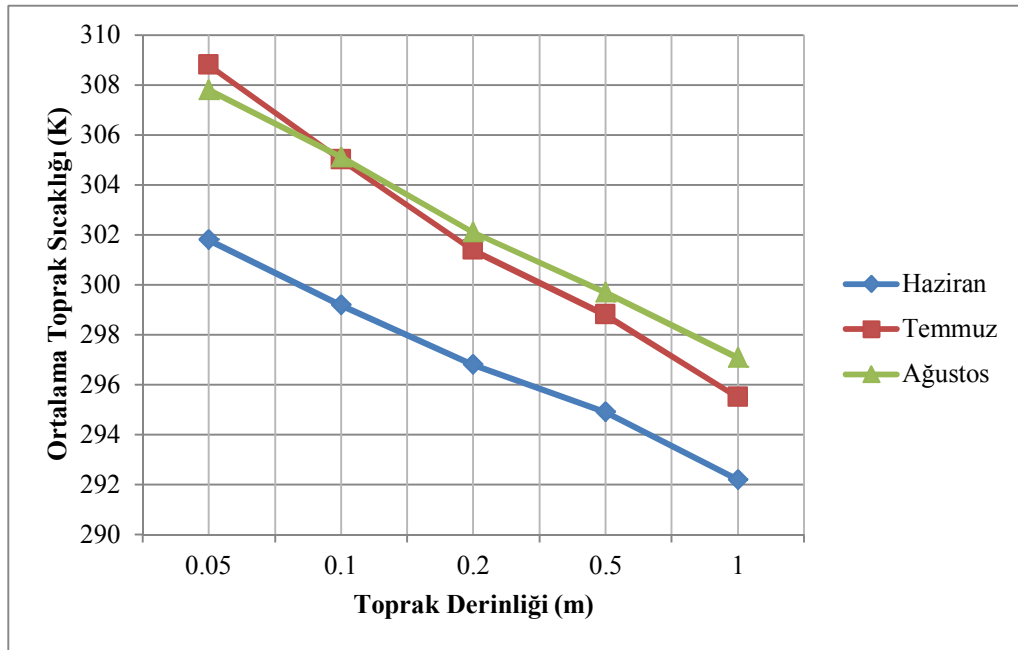
EAHE uzunluğu boyunca düğüm sayısına bağlı olarak ortalama hava sıcaklık değişimleri şekil 5.9’da grafik halinde verilmiştir.



şekil 5.9 EAHE uzunluğu boyunca düğüm sayısına bağlı olarak değişen ortalama hava sıcaklık değerleri

5.4. Sayısal Modelin Sınır Şartları ve Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Sayısal modelin çözüm ağ kalitesi belirlendikten sonra sınır şartları ve malzeme özelliklerinin programa girilmesi işlemine geçilmiştir. Yapılan bütün analizlerde havanın toprak hava ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı $T_0 = 310$ K olarak alınmıştır. Sayısal modelin toplam uzunluğu boyunca cidar sıcaklığı toprağın farklı derinliklerindeki ($H = 1$ m, 2 m, 3 m) ortalama toprak sıcaklıklarına eşit kabul edilmiştir. Toprak hava ısı değiştiricisinin uzunluğu boyunca cidar sıcaklığı 1 m toprak derinliğinde $T_w = 295.5$ K olarak alınmıştır. Elazığ İlinin 2014 yılı yaz dönemine ait ortalama toprak sıcaklığı değişimi Şekil 5.10’da verilmiştir [2].



Şekil 5.10 Haziran - Ağustos 2014 dönemi ortalama toprak sıcaklık değişimi [2].

2 m toprak derinliğinde toprak hava ısı değiştiricisinin cidar sıcaklığı $T_w = 288.9$ K, 3 m toprak derinliğinde $T_w = 282.3$ K olarak alınmıştır. Toprak hava ısı değiştiricisi PVC ve çelik (± 0.5 C) malzemelerden seçilmiş olup, PVC'nin ısı iletim katsayısı $k_{PVC} = 0.161$ W/mK, çeliğin (± 0.5 C) ısı iletim katsayısı $k_{st} = 54$ W/mK'dir. Ayrıca toprağın ısı iletim katsayısı $k_s = 2.5$ W/mK olarak alınmıştır [44]. Sayısal çalışmada literatür çalışmalarında en uygun çözüm aralığını veren standart k - ϵ türbülans modeli

kullanılmış olup, kararlı akış durumu için Reynolds sayılarına ($Re = 5 \times 10^3$, 10^4 , 15×10^3 , 2×10^4 , 4×10^4 , 6×10^4 , 10^5) göre belirlenen ortalama hava akış hızlarının farklı değerleri kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Tablo 5.2’de sayısal analizde kullanılacak olan fiziksel ve termal parametreler verilmiştir.

Tablo 5.2 Simülasyonda kullanılan fiziksel ve termal parametreler ve değerleri

Parametreler	Değerler
EAHE’nin toplam uzunluğu (m)	32.91, 34.91, 36.91
Toprak silindir çapı (m)	1
Boru iç çapı (m)	0.1
Boru cidar kalınlığı (m)	0.002
Hava yoğunluğu (kg/m^3)	1.1378
Hava giriş sıcaklığı (K)	310
Hava termal iletkenliği (W/mK)	0.02639
Hava özgül ısısı (J/kg.K)	1007
Hava dinamik viskozitesi (kg/m.s)	0.000019042
Toprak termal iletkenliği (W/mK)	2.5
Toprak yoğunluğu (kg/m^3)	2050
Toprak özgül ısısı (J/kg.K)	1840
Çelik (%0.5 C) yoğunluğu (kg/m^3)	7833
Çelik (%0.5 C) termal iletkenliği (W/mK)	54
Çelik (%0.5 C) özgül ısısı (J/kg.K)	465
PVC yoğunluğu (kg/m^3)	1380
PVC termal iletkenliği (W/mK)	0.161
PVC özgül ısısı (J/kg.K)	900

Her bir malzemenin ve havanın yoğunlukları, termal iletkenlikleri, özgül ısıları sırasıyla programa girilmiştir.

5.5. Literatür İle Karşılaştırma

Gerçekleştirilecek olan sayısal çalışma sonunda elde edilen sonuçların doğruluğunun tespiti için Misra ve diğerlerinin [19]. yapmış oldukları çalışma ANSYS Fluent 12.1 programında analiz edilmiştir.

Misra ve diğ [19]. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine (HAD) dayalı Fluent programını kullanarak EAHE termal performansını araştırmışlardır. EAHE'nin termal performansını incelemek için termal iletkenlikleri 0.52 W/mK, 2 W/mK ve 4 W/mK olan üç farklı toprak çeşidi kullanmışlardır. Fiziksel ve termal parametreleri Tablo 5.3'de verilen Misra ve diğerlerine [19]. ait sayısal model standart k - ϵ türbülans modeli kullanılarak ANSYS Fluent 12.1 programında analizi yapılmıştır.

Tablo 5.3 Misra ve diğ [19]. simülasyonda kullandıkları fiziksel ve termal parametreler ve değerleri

Parametreler	Değerler
Hava hızı (m/s)	5
Hava yoğunluğu (kg/m ³)	1.225
Dış ortam sıcaklığı (K)	319.1
Hava termal iletkenliği (W/mK)	0.024
Hava özgül ısısı (J/kg.K)	1006
Toprak derinliği (m)	3.7
Toprak sıcaklığı (K)	300.2
Toprak termal iletkenliği (W/mK)	2
Toprak yoğunluğu (kg/m ³)	2050
Toprak özgül ısısı (J/kg.K)	1840
PVC termal iletkenliği (W/mK)	1.16
PVC yoğunluğu (kg/m ³)	1380
PVC özgül ısısı (J/kg.K)	900

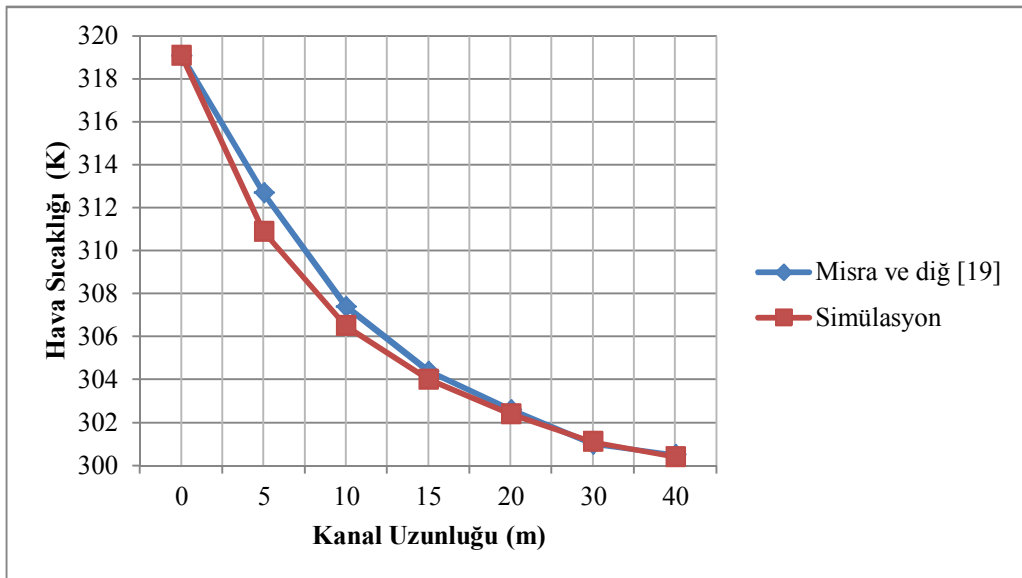
Sayısal çalışma sonunda elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'de verilmiştir. Her iki modelin hava sıcaklıkları karşılaştırıldığı zaman kanalın beşinci metresinde 1.8 K, onuncu

metresinde 0.9 K, on beşinci metresinde 0.4 K, yirminci metresinde 0.2 K, otuzuncu metresinde 0.1 K ve kırkıncı metresinde 0.1 K'lık bir sıcaklık farkı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.4 Misra ve diğ [19]. yapmış oldukları çalışma ile simülasyon sonuçlarının kanal uzunluğu boyunca hava sıcaklık dağılımları (K)

Kanal Uzunluğu (m)	Hava hızı = 5 m/s		
	Kararlı koşul durumu		
	Misra ve diğ [19]	Simülasyon	Bağıl hata (%)
Giriş	319.1	319.1	0
5	312.7	310.9	0.57
10	307.4	306.5	0.29
15	304.4	304	0.13
20	302.6	302.4	0.06
30	301	301.1	0.03
40	300.5	300.4	0.03

Her iki modele ait hava sıcaklık dağılımları grafiksel olarak Şekil 5.11’de verilmiştir. Sonuç olarak karşılaştırılan her iki modelin belirli mesafelerindeki hava sıcaklık dağılımları arasında iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11 Mevcut sonuçlarla literatürdeki sonuçlarının karşılaştırılması [19].

6. SAYISAL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Toprak Derinliğine Göre Sıcaklık Analizi Sonuçları

Kanal malzemesi olarak PVC ve çelik (%0.5 C) malzemelerden tasarlanan toprak hava ısı değiştiricisi toprağın farklı derinliklerine ($H = 1\text{ m}, 2\text{ m}, 3\text{ m}$) gömülerek türbülanslı akış koşullarında termal performans analizleri yapılmıştır. Ortalama hava akış hızına göre değişen Reynolds sayısının farklı değerleri ($Re = 5 \times 10^3, 10^4, 15 \times 10^3, 2 \times 10^4, 4 \times 10^4, 6 \times 10^4, 10^5$) kullanılarak sıcaklık analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, tüm analizlerde kanal uzunluğu boyunca 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m mesafelerdeki ve kanal çıkışındaki sıcaklıklar tespit edilmiştir.

6.1.1. $H = 1\text{ m}$ toprak derinliği için sonuçlar

PVC kanala 310 K sıcaklığında giren hava Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde kanal çıkışında 295.54 K olmuştur. Bu sıcaklık değeri Reynolds sayısının değeri 10^5 olduğu durumda kanal çıkışında 297.64 K olarak bulunmuştur. PVC kanalın farklı mesafelerindeki ortalama hava sıcaklık dağılımları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları (K)

Reynolds sayısı	Gömülü PVC boru derinliği = 1 m						
	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
Giriş	310	310	310	310	310	310	310
5	301.56	302.30	303.09	303.41	304.68	305.27	306.13
10	298.06	298.87	299.50	300.04	301.30	302.32	303.41
15	296.58	297.12	297.60	298.04	299.36	300.15	301.50
20	295.95	296.29	296.62	296.95	297.91	298.72	299.94
30	295.58	295.68	295.80	295.94	296.46	297.04	297.94
Çıkış	295.54	295.62	295.71	295.82	296.29	296.75	297.64

Reynolds sayısının en küçük değerinde kanala giren hava giriş hızı en küçük değerinde olacağından dolayı kanalda diğer hava giriş hızlarına göre daha fazla kalacaktır. Bu nedenle hava sıcaklığı kanal boyunca Reynolds sayısının en küçük değerinde daha fazla

düşecektir. PVC kanala ait farklı mesafelerdeki hava sıcaklık düşüşleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.2 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri (K)

Gömülü PVC boru derinliği = 1 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
0-5	8.44	7.7	6.91	6.59	5.32	4.73	3.87
0-10	11.94	11.13	10.5	9.96	8.7	7.68	6.59
0-15	13.42	12.88	12.4	11.96	10.64	9.85	8.5
0-20	14.05	13.71	13.38	13.05	12.09	11.28	10.06
0-30	14.42	14.32	14.2	14.06	13.54	12.96	12.06
0-32.91	14.46	14.38	14.29	14.18	13.71	13.25	12.36

Farklı Reynolds sayılarında yapılan analizler neticesinde Reynolds sayısının değeri büyüdükçe kanal uzunluğu boyunca sıcaklık düşüşlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda PVC kanalda en iyi termal performansın Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde olduğu tespit edilmiştir. Çelik (%0.5 C) kanala ait farklı mesafelerdeki ortalama hava sıcaklıkları dağılımları Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları (K)

Gömülü çelik (%0.5 C) boru derinliği = 1 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
Giriş	310	310	310	310	310	310	310
5	301.35	301.99	302.46	302.78	303.57	303.90	304.42
10	297.90	298.42	298.90	299.24	300.15	300.59	301.25
15	296.45	296.83	297.15	297.42	298.20	298.57	299.29
20	295.88	296.08	296.32	296.50	297.08	297.41	297.89
30	295.55	295.61	295.70	295.76	296.02	296.20	296.52
Çıkış	295.53	295.57	295.62	295.68	295.87	296.03	296.31

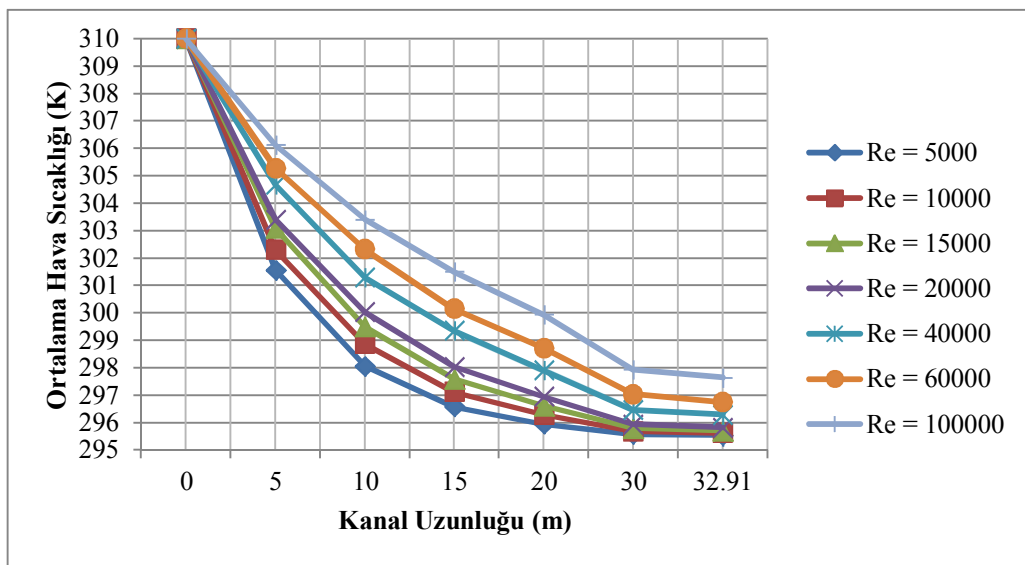
Tablo 6.3’de görüldüğü üzere Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde çelik (%0.5 C) kanal çıkışında hava sıcaklığı 295.53 K olarak bulunmuştur. Reynolds sayısının değeri arttıkça kanal uzunluğu boyunca hava sıcaklıklarında artış gözlemlenmiştir. Reynolds sayısı 10^5 değerinde olduğu zaman kanal çıkışında hava sıcaklığı 296.31 K olarak bulunmuştur.

Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca yapılan sıcaklık analizleri neticesinde Tablo 6.4’de görüldüğü üzere kanal çıkışında en fazla sıcaklık düşüşü Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde 14.47 K olarak tespit edilmiştir. Kanal çıkışında en az sıcaklık düşüşü ise Reynolds sayısının 10^5 değerinde 13.69 K olarak bulunmuştur.

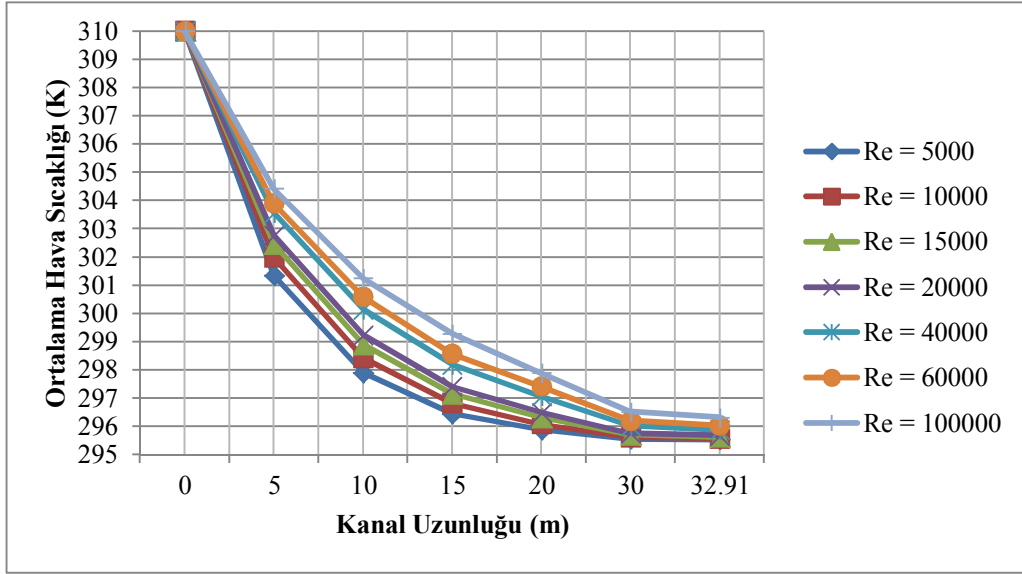
Tablo 6.4 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri (K)

Gömülü çelik (%0.5 C) boru derinliği = 1 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	1.5×10^4	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
0-5	8.65	8.01	7.54	7.22	6.43	6.1	5.58
0-10	12.1	11.58	11.1	10.76	9.85	9.41	8.75
0-15	13.55	13.17	12.85	12.58	11.8	11.43	10.71
0-20	14.12	13.92	13.68	13.5	12.92	12.59	12.11
0-30	14.45	14.39	14.3	14.24	13.98	13.8	13.48
0-32.91	14.47	14.43	14.38	14.32	14.13	13.97	13.69

PVC kanalda olduğu gibi çelik (%0.5 C) kanalda da Reynolds sayısının değeri arttıkça kanal uzunluğu boyunca sıcaklık düşüşleri azalmaktadır. 1 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) malzemelerden tasarlanan toprak hava ısı değiştiricisinin farklı noktalarındaki ortalama hava sıcaklık dağılımları Şekil 6.1 – Şekil 6.2’de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 6.1 PVC kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları



Şekil 6.2 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları

Toprağın 1 m derinliğine göre farklı Reynolds sayılarında kanalın farklı mesafelerindeki ($x_1 = 5$ m, $x_2 = 15$ m ve $x_3 = 30$ m) toprak ve havaya ait sıcaklık konturları kanalın y-z düzlemine göre Şekil 6.3 – Şekil 6.10 arasındaki şekillerde verilmiştir.

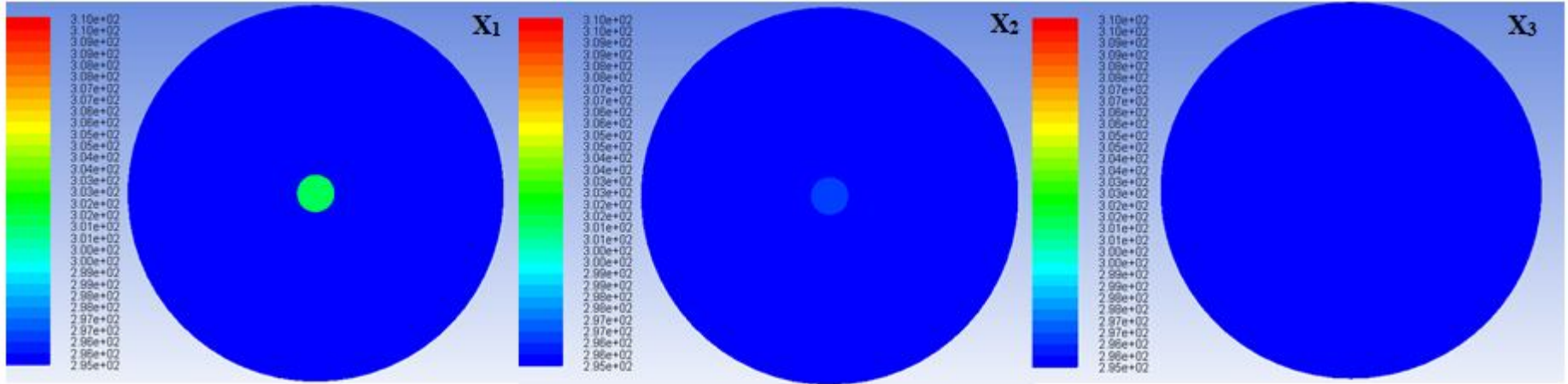
Şekil 6.3 – Şekil 6.4’de Reynolds sayısı 5×10^3 değerinde iken y-z düzlemine göre kanalın farklı mesafelerindeki hava ve toprağa ait sıcaklık konturları görülmektedir. Şekil 6.3’de PVC kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 301.56 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 296.58 K ve otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 295.58 K olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.4’de çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 301.35 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 296.45 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 295.55 K olarak tespit edilmiştir.

Şekil 6.5 – Şekil 6.6’da Reynolds sayısı 2×10^4 değerinde iken hava ve toprağa ait sıcaklık konturları görülmektedir. Şekil 6.5’de PVC kanalın beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 303.41 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 298.04 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 295.94 K olarak tespit edilmiştir. Şekil 6’da ise çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 302.78 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 297.42 K ve otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 295.76 K olarak tespit edilmiştir.

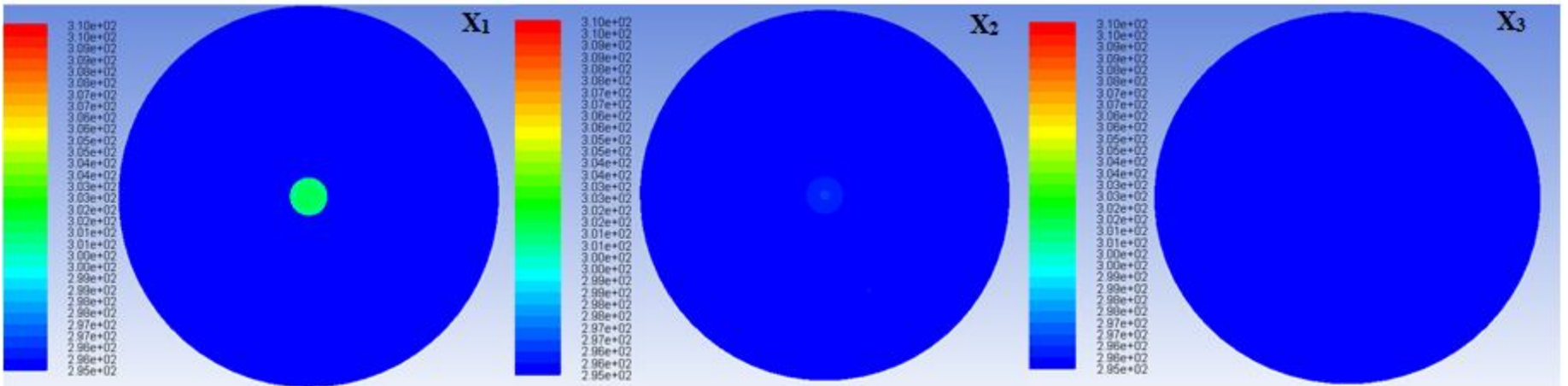
Şekil 6.7 – Şekil 6.8’de Reynolds sayısı 6×10^4 değerinde olduğu zaman hava ve toprağın sıcaklık konturları görülmektedir. Şekil 6.7’de PVC kanalın beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 305.27 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 300.15 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 297.04 K olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.8’de ise çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 303.90 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 298.57 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 296.20 K olarak tespit edilmiştir.

Şekil 6.9 – Şekil 6.10’ da ise Reynolds sayısı 10^5 değerinde iken hava ve toprağa ait sıcaklık konturları görülmektedir. Şekil 6.9’da PVC kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 306.13 K, kanalın on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 301.50 K ve kanalın otuzuncu metresinde ise ortalama hava sıcaklık değeri 297.94 K olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.10’da görüldüğü üzere çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 304.42 K, kanalın on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 299.29 K ve kanalın otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 296.52 K olarak tespit edilmiştir.

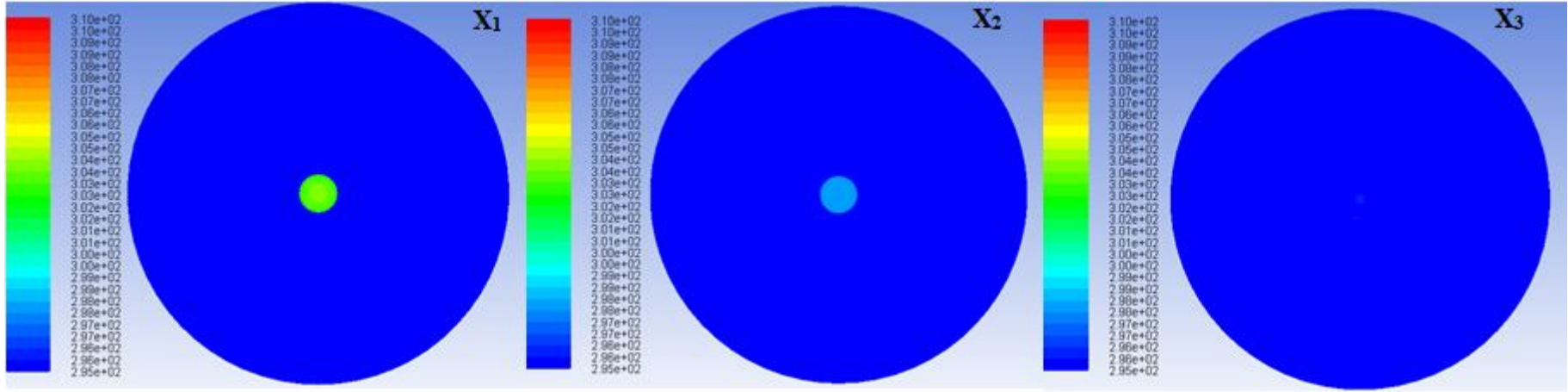
Şekil 6.3 – Şekil 6.10 arasındaki şekillere bakıldığında zaman kanal içerisinde en yüksek hava sıcaklıklarının kanalın tam orta kesiminde oluştuğu, kanal cidarlarında ise hava sıcaklıklarının daha düşük olduğu görülmektedir.



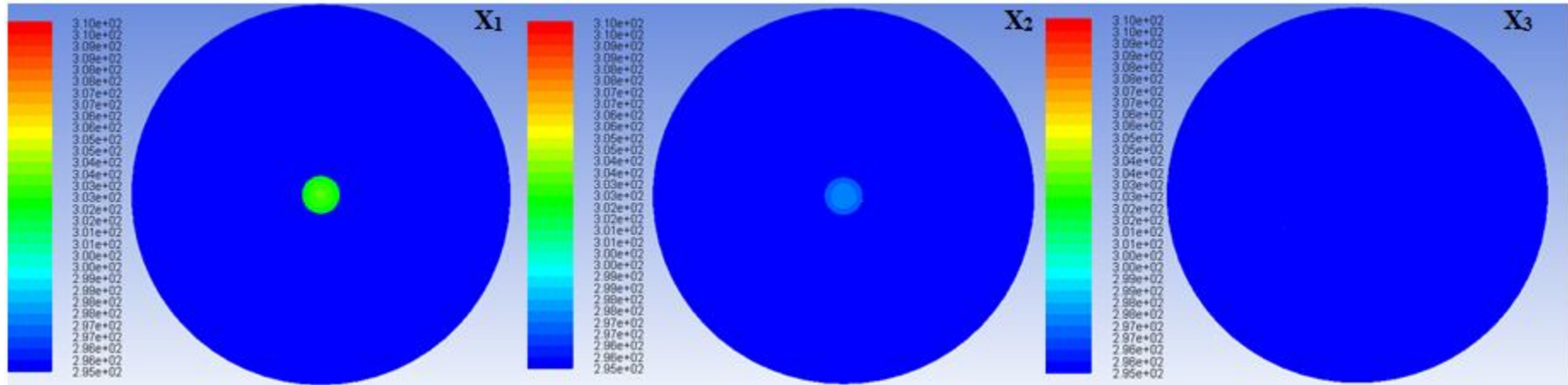
Şekil 6.3 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



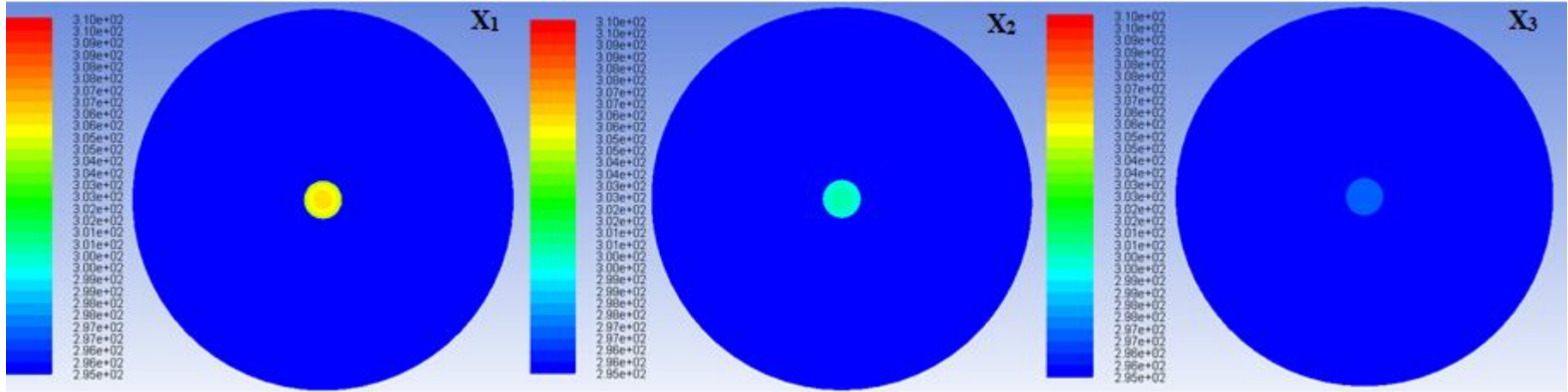
Şekil 6.4 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



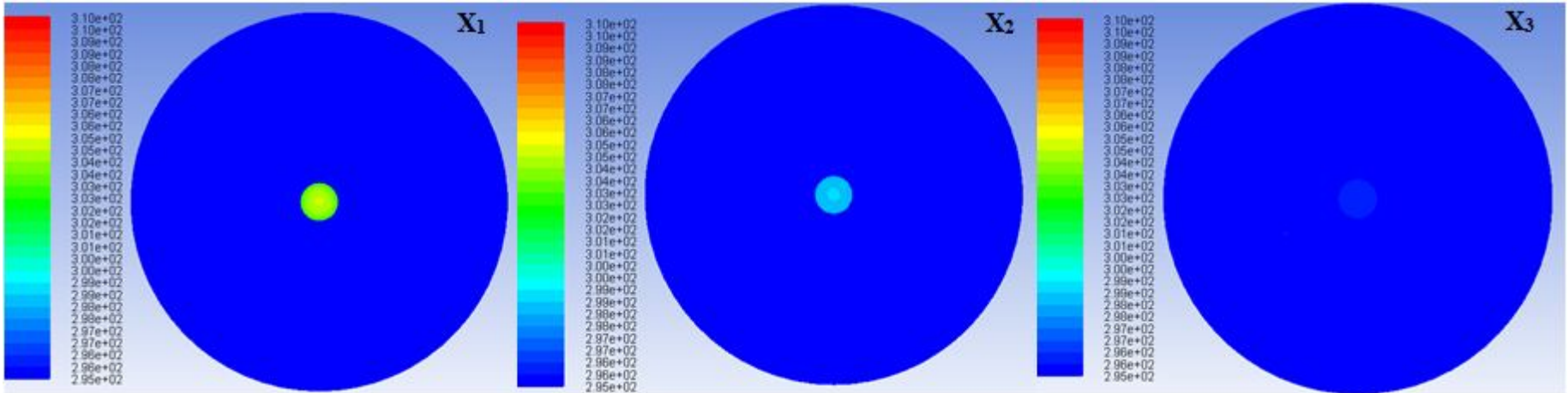
Şekil 6.5 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



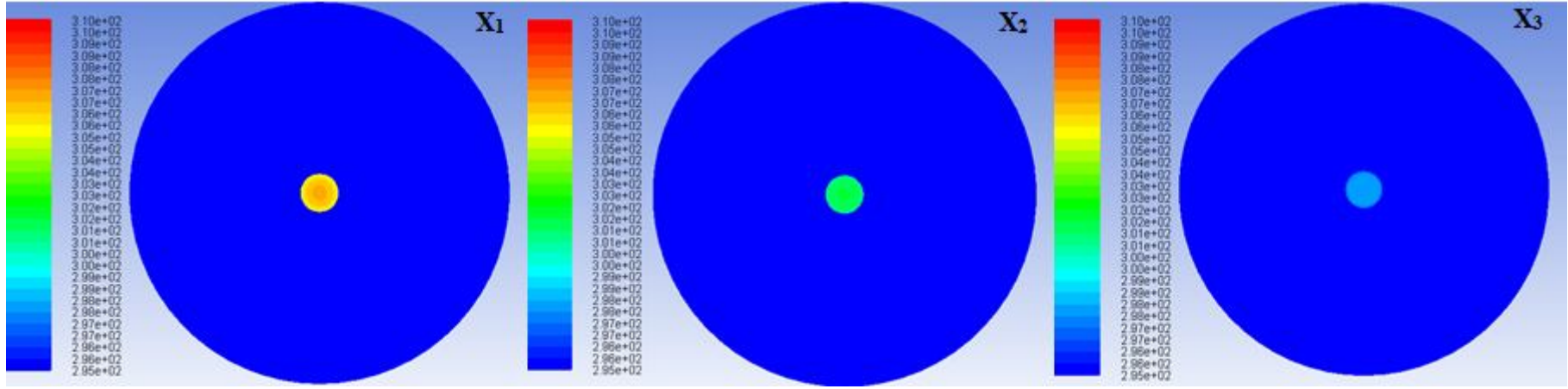
Şekil 6.6 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



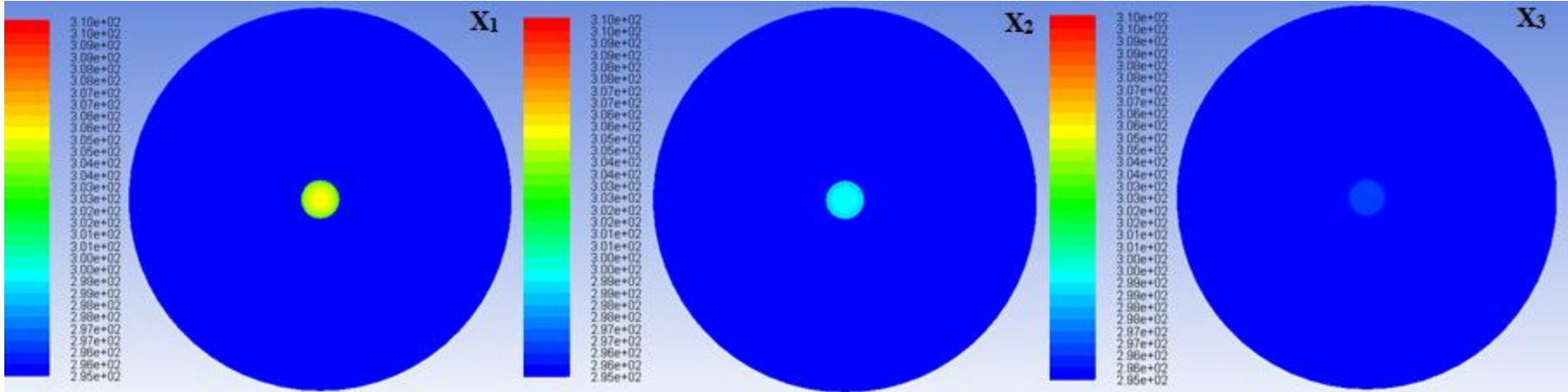
Şekil 6.7 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.8 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.9 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.10 Çelik (%0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)

6.1.2. H = 2 m toprak derinliği için sonuçlar

Toprağın 2 m derinliğindeki sıcaklık değeri lineer interpolasyon yöntemi kullanılarak 288.9 K olarak bulunmuştur. PVC kanalın farklı mesafelerindeki ortalama hava sıcaklık dağılımları Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları (K)

Gömülü PVC boru derinliği = 2 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
Giriş	310	310	310	310	310	310	310
5	297.78	298.89	299.63	300.17	302.04	302.58	303.93
10	292.55	293.67	294.51	295.37	297.19	298.55	300.10
15	290.42	291.22	291.93	292.54	294.36	295.56	297.19
20	289.55	290.03	290.50	290.94	292.45	293.51	295.27
30	289.02	289.15	289.31	289.53	290.32	291.03	292.56
Çıkış	288.95	289.02	289.13	289.25	289.82	290.42	291.61

Toprak hava ısı değiştiricisine $T_o = 310$ K sıcaklığında giren hava, yapılan sıcaklık analizleri sonucunda Reynolds sayısı 5×10^3 değerinde olduğu zaman kanalı 288.95 K sıcaklığında, Reynolds sayısının değeri 10^5 olduğu durumda kanalı 291.61 K sıcaklığında terk etmiştir. PVC kanalın farklı mesafelerindeki hava sıcaklık düşüşleri Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.6 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri (K)

Gömülü PVC boru derinliği = 2 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
0-5	12.22	11.11	10.37	9.83	7.96	7.42	6.07
0-10	17.45	16.33	15.49	14.63	12.81	11.45	9.9
0-15	19.58	18.78	18.07	17.46	15.64	14.44	12.81
0-20	20.45	19.97	19.5	19.06	17.55	16.49	14.73
0-30	20.98	20.85	20.69	20.47	19.68	18.97	17.44
0-34.91	21.05	20.98	20.87	20.75	20.18	19.58	18.39

Reynolds sayısının değeri 5×10^3 olduğu zaman kanal çıkışındaki sıcaklık düşüşü 21.05 K olarak tespit edilmiştir. Reynolds sayısının artışına bağlı olarak kanal çıkışındaki sıcaklık düşüşleri azalmıştır. Reynolds sayısının değeri 10^5 olduğu zaman yapılan sıcaklık analizinde kanal çıkışında 18.39 K değerinde sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. Bu sonuca bağlı olarak Reynolds sayısının değeri arttıkça kanal boyunca termal performansın azaldığını söyleyebiliriz. Tablo 6.7’de çelik (%0.5 C) kanalın farklı noktalarındaki ve çıkışındaki ortalama hava sıcaklık dağılımları verilmiştir.

Tablo 6.7 Çelik (% 0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları (K)

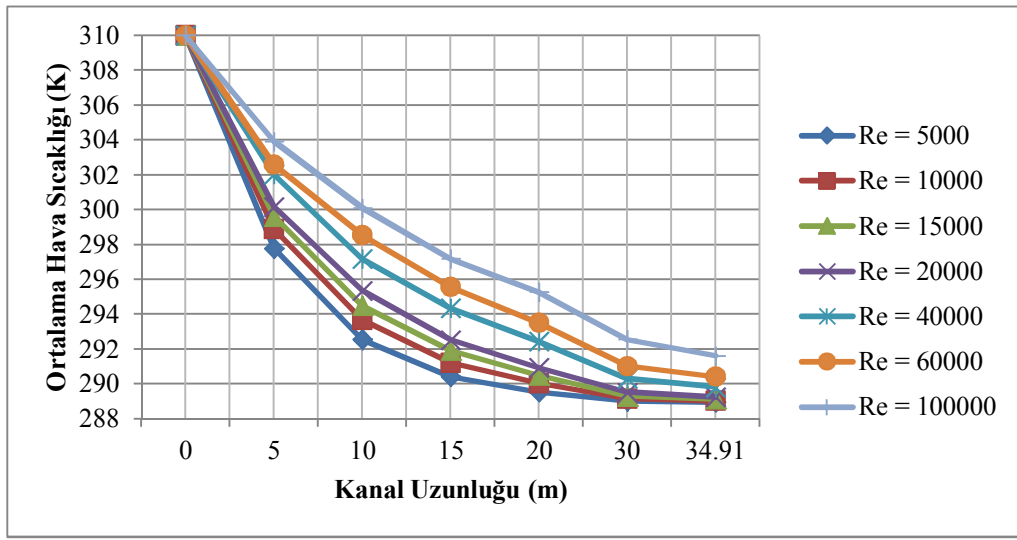
Gömülü çelik (%0.5 C) boru derinliği = 2 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
Giriş	310	310	310	310	310	310	310
5	297.40	298.15	298.70	299.10	300.43	300.70	301.51
10	292.33	293.14	293.90	294.26	295.37	296.11	296.85
15	290.26	290.81	291.23	291.64	292.66	293.29	294.10
20	289.44	289.76	290.12	290.32	291.03	291.63	292.35
30	289	289.06	289.15	289.26	289.62	289.85	290.39
Çıkış	288.93	288.97	289.03	289.08	289.30	289.50	289.84

Tablo 6.7’de görüldüğü üzere Reynolds sayısının değeri 5×10^3 iken çelik (%0.5 C) kanal için yapılan sıcaklık analizinde kanal çıkışında ortalama hava sıcaklığı değeri 288.93 K olarak bulunmuştur. Reynolds sayısının değeri 10^5 iken yapılan sıcaklık analizinde ise kanal çıkışında ortalama hava sıcaklık değeri 289.84 K olarak bulunmuştur.

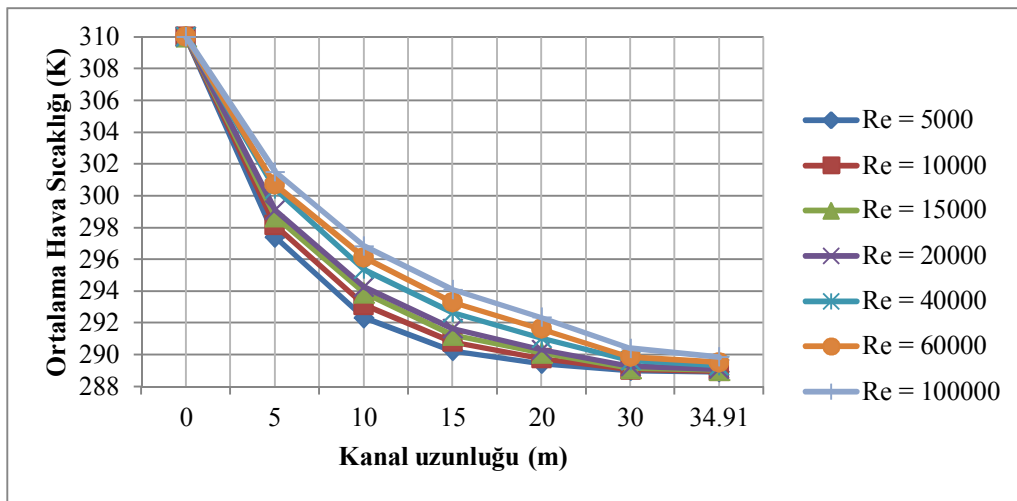
Tablo 6.8 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri (K)

Gömülü çelik (%0.5 C) boru derinliği = 2 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
0-5	12.6	11.85	11.3	10.9	9.57	9.3	8.49
0-10	17.67	16.86	16.1	15.74	14.63	13.89	13.15
0-15	19.74	19.19	18.77	18.36	17.34	16.71	15.9
0-20	20.56	20.24	19.88	19.68	18.97	18.37	17.65
0-30	21	20.94	20.85	20.74	20.38	20.15	19.61
0-34.91	21.07	21.03	20.97	20.92	20.7	20.5	20.16

Tablo 6.8’de görüldüğü üzere farklı Reynolds sayılarında yapılan sıcaklık analizlerinde çelik (%0.5 C) kanal çıkışında en fazla sıcaklık düşüşü Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde 21.07 K olarak bulunmuştur. Çelik (%0.5 C) kanal çıkışında en az sıcaklık düşüşü ise Reynolds sayısının 10^5 değerinde 20.16 K olarak tespit edilmiştir. 2 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) malzemelerden tasarlanan toprak hava ısı değiştiricisinin farklı noktalarındaki ortalama hava sıcaklık dağılımları Şekil 6.11 – Şekil 6.12’de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 6.11 PVC kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları



Şekil 6.12 Çelik (% 0.5 C) kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları

Farklı Reynolds sayıları kullanılarak toprağın 2 m derinliğine göre sıcaklık analizi yapılan toprak hava ısı değiştiricisinin farklı mesafelerindeki ($x_1 = 5$ m, $x_2 = 15$ m, $x_3 = 30$ m) toprak ve havaya ait sıcaklık konturları kanalın y-z düzlemine göre Şekil 6.13 – Şekil 6.20 arasındaki şekillerde verilmiştir.

Şekil 6.13 – Şekil 6.14’de Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için kanalın y-z düzlemine göre farklı mesafelerindeki toprak ve havaya ait sıcaklık konturları görülmektedir. Şekil 6.13’de PVC kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 297.78 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 290.42 K ve otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 289.02 K olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.4’de çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 297.40 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 290.26 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 289 K olarak tespit edilmiştir.

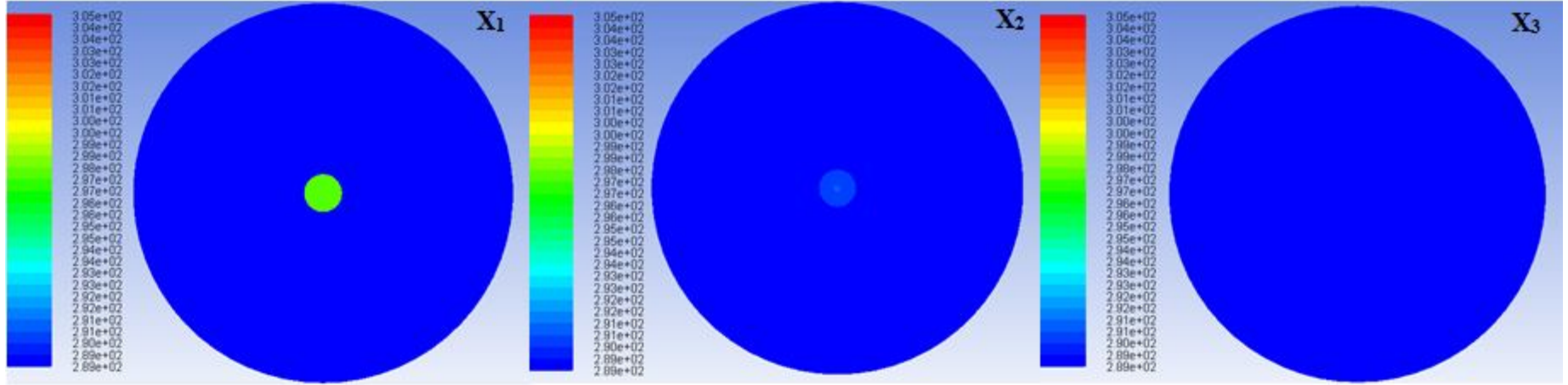
Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için Şekil 6.15 – Şekil 6.16’da hava ve toprağa ait sıcaklık konturları görülmektedir. Şekil 6.15’de PVC kanalın beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 300.17 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 292.54 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 289.53 K olarak bulunmuştur. Şekil 6.16’da ise çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 299.10 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 291.64 K ve otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 289.26 K olarak bulunmuştur.

Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için hava ve toprağa ait sıcaklık konturları Şekil 6.17 – Şekil 6.18’de görülmektedir. Şekil 6.17’de PVC kanalın beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 302.58 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 295.56 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 291.03 K olarak bulunmuştur. Şekil 6.18’de ise çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 300.70 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 293.29 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 289.85 K olarak bulunmuştur.

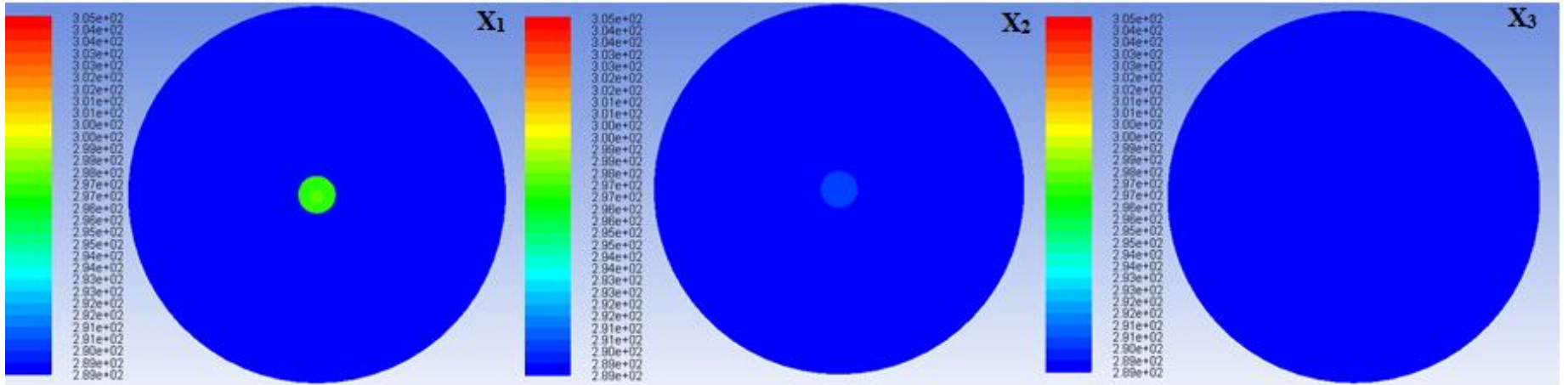
Reynolds sayısının 10^5 değeri için hava ve toprağa ait sıcaklık konturları Şekil 6.19 – Şekil 6.20’de görülmektedir. Şekil 6.19’da PVC kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 303.93 K, kanalın on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 297.19 K ve kanalın otuzuncu metresinde ise ortalama hava sıcaklık değeri 292.56 K olarak bulunmuştur. Şekil 6.20’de çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 301.51 K, kanalın on beşinci metresinde ortalama hava

sıcaklık değeri 294.10 K ve kanalın otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 290.39 K olarak bulunmuştur.

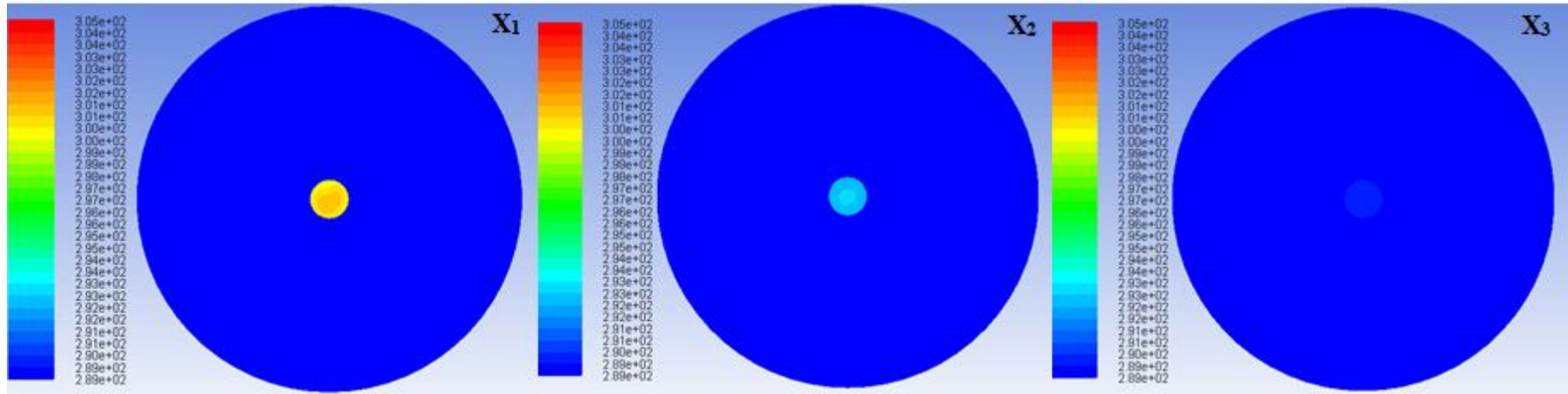
Reynolds sayısının değeri arttıkça PVC ve çelik (%0.5 C) kanallar arasındaki hava sıcaklık farkları da artmaktadır. Örneğin Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için yapılan sıcaklık analizinde kanalın beşinci metresinde her iki kanal arasındaki sıcaklık farkı 0.38 K iken, Reynolds sayısının değeri 10^5 olduğu zaman aynı mesafedeki sıcaklık farkı 2.24 K olmaktadır. Ayrıca 1 m toprak derinliği için yapılan sıcaklık analizinde gözlemlendiği gibi bu analizde de aşağıdaki Şekil 6.13 – Şekil 6.20 arasındaki şekillere bakıldığında zaman en yüksek hava sıcaklıklarının kanalın orta kesimlerinde olduğu, kanalın orta kesiminden uzaklaştıkça kanal cidarlarına doğru hava sıcaklıklarının azaldığı görülmektedir.



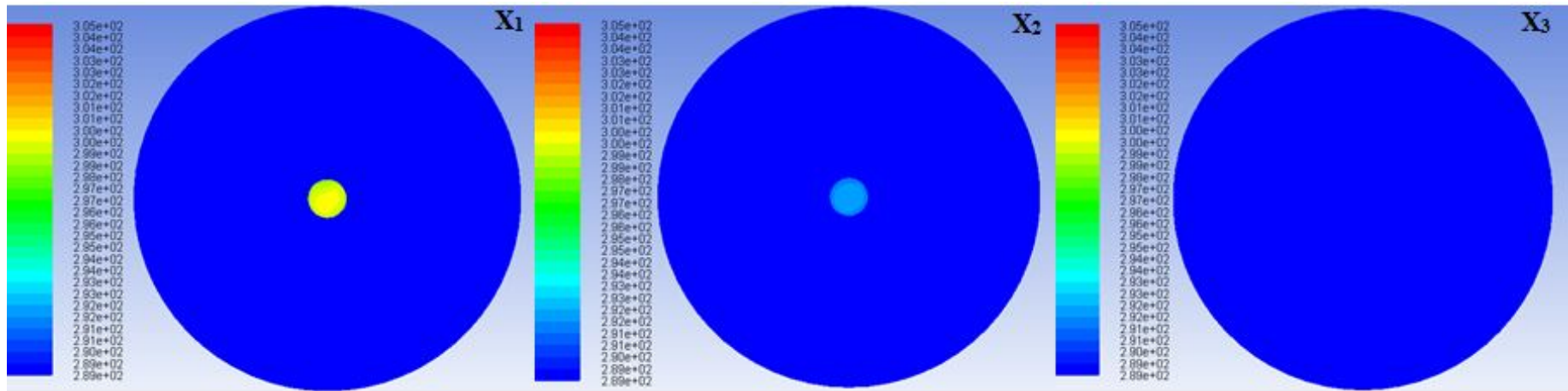
Şekil 6.13 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



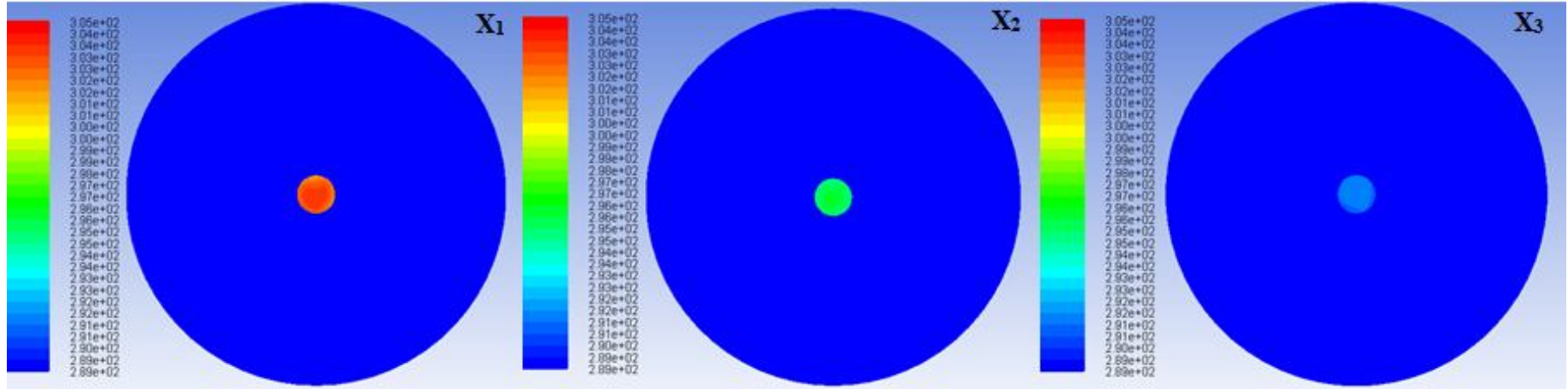
Şekil 6.14 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



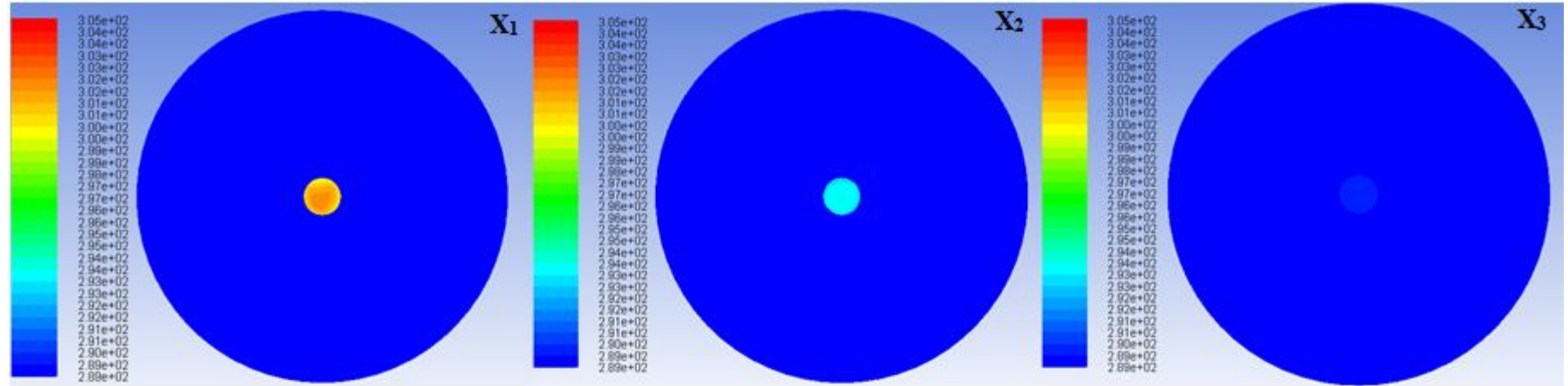
Şekil 6.15 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



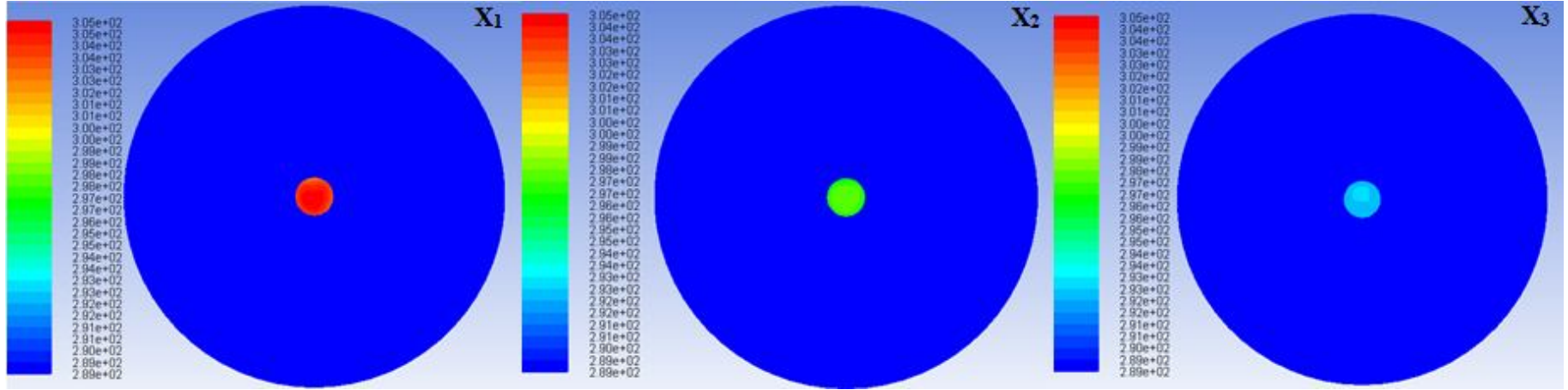
Şekil 6.16 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



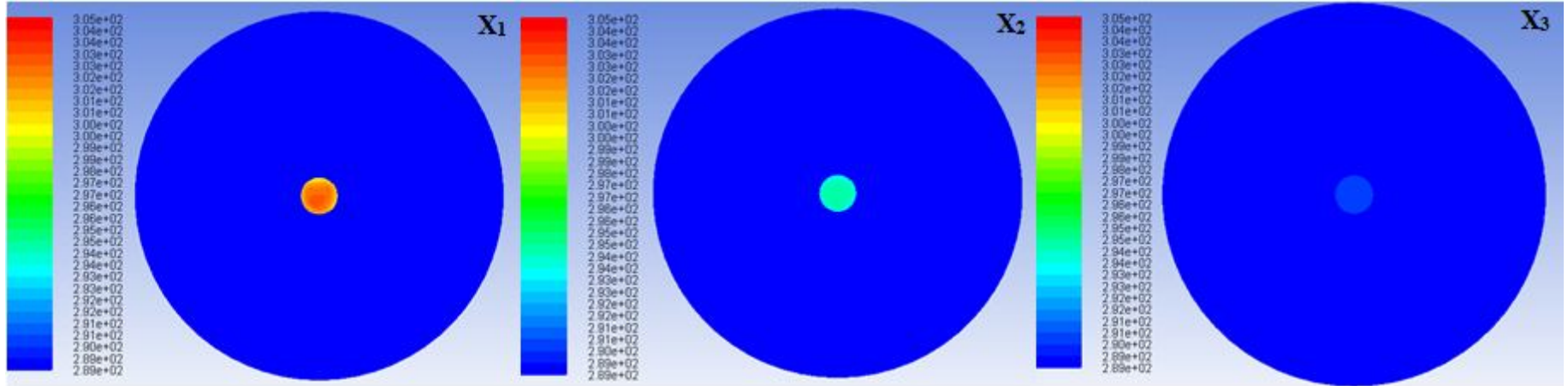
Şekil 6.17 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.18 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.19 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.20 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)

6.1.3. H = 3 m toprak derinliği için sonuçlar

Lineer interpolasyon yöntemi kullanılarak toprağın 3 m derinliğindeki sıcaklık değeri 282.3 K olarak bulunmuştur. PVC kanal çıkışında en küçük ortalama hava sıcaklık değeri Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde 282.34 K olarak bulunmuştur. PVC kanal çıkışında en büyük ortalama hava sıcaklık değeri ise Reynolds sayısının 10^5 değerinde 285.53 K olarak tespit edilmiştir. PVC kanalın farklı noktalarındaki ve çıkışındaki ortalama hava sıcaklık değerleri Tablo 6.9’de verilmiştir.

Tablo 6.9 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları (K)

Gömülü PVC boru derinliği = 3 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
Giriş	310	310	310	310	310	310	310
5	293.94	295.64	296.46	297.43	299.32	300.83	302.35
10	287.17	288.58	289.88	290.93	293.50	295.28	297.34
15	284.35	285.38	286.27	287.17	289.49	291.21	293.81
20	283.15	283.84	284.39	285.12	287.04	288.45	290.76
30	282.45	282.66	282.91	283.15	284.35	285.27	287.04
Çıkış	282.34	282.42	282.54	282.69	283.35	284.07	285.53

Yapılan analizlerde Reynolds sayısının değeri büyüdükçe PVC kanalın farklı noktalarındaki ve çıkışındaki ortalama hava sıcaklık değerlerinde de artış kaydedilmiştir. Tablo 6.10’da Reynolds sayısındaki değişime bağlı olarak PVC kanalın farklı noktalarındaki ve çıkışındaki hava sıcaklık düşüşleri verilmiştir.

Tablo 6.10 PVC kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri (K)

Gömülü PVC boru derinliği = 3 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
0-5	16.06	14.36	13.54	12.57	10.68	9.17	7.65
0-10	22.83	21.42	20.12	19.07	16.5	14.72	12.66
0-15	25.65	24.62	23.73	22.83	20.51	18.79	16.19
0-20	26.85	26.16	25.61	24.88	22.96	21.55	19.24
0-30	27.55	27.34	27.09	26.85	25.65	24.73	22.96
0-36.91	27.66	27.58	27.46	27.31	26.65	25.93	24.47

Reynolds sayısının farklı değerlerinde yapılan analiz sonucunda, PVC kanalda gerçekleşen en fazla ortalama hava sıcaklık düşüşü Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde 27.66 K olarak, en az ortalama hava sıcaklık düşüşü ise Reynolds sayısının 10^5 değerinde 24.47 K olarak bulunmuştur. Reynolds sayılarının değişimine bağlı olarak yapılan analiz sonucunda çelik (%0.5 C) kanalın farklı noktalarında ve çıkışında meydana gelen ortalama hava sıcaklık değişimleri Tablo 6.11’ de verilmiştir.

Tablo 6.11 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık dağılımları (K)

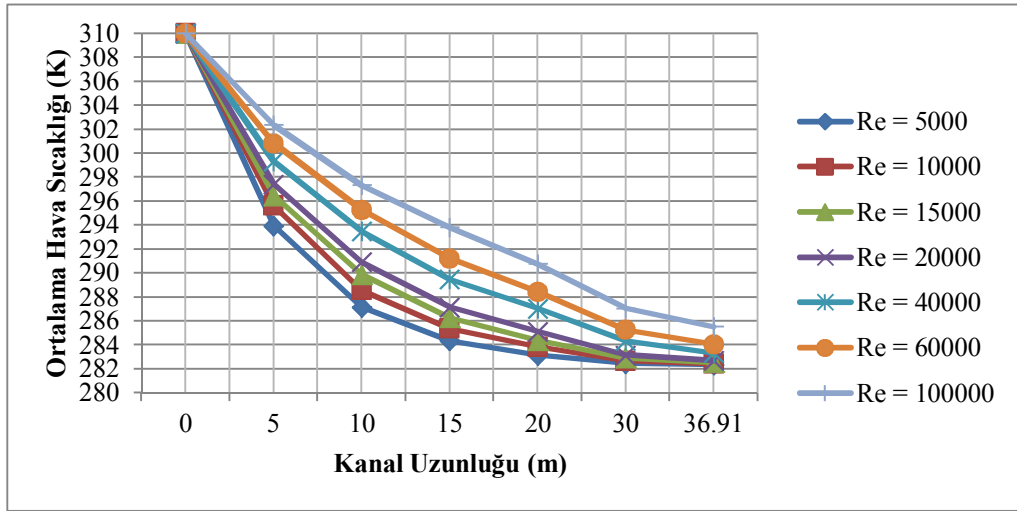
Gömülü çelik (%0.5 C) boru derinliği = 3 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
Giriş	310	310	310	310	310	310	310
5	293.30	294.63	295.38	296.16	297.64	298.05	299.04
10	286.75	287.81	288.71	289.43	291.03	292.05	293.30
15	284.09	284.82	285.43	286	287.60	288.20	289.50
20	283.02	283.46	283.87	284.19	285.25	285.90	286.91
30	282.44	282.52	282.66	282.84	283.23	283.62	284.23
Çıkış	282.33	282.37	282.43	282.50	282.75	282.98	283.38

Tablo 6.11’de görüldüğü üzere 3 m toprak derinliğine göre sıcaklık analizi yapılan çelik (%0.5 C) kanalın farklı noktalarındaki ve çıkışındaki ortalama hava sıcaklık değerleri Reynolds sayısındaki artışa bağlı olarak artmıştır. Reynolds sayısının değeri 5×10^3 iken çelik (%0.5 C) kanal çıkışında ortalama hava sıcaklık değeri 282.33 K olarak bulunmuştur. Reynolds sayısının değeri 10^5 olduğu zaman bu değer 283.38 K olarak tespit edilmiştir.

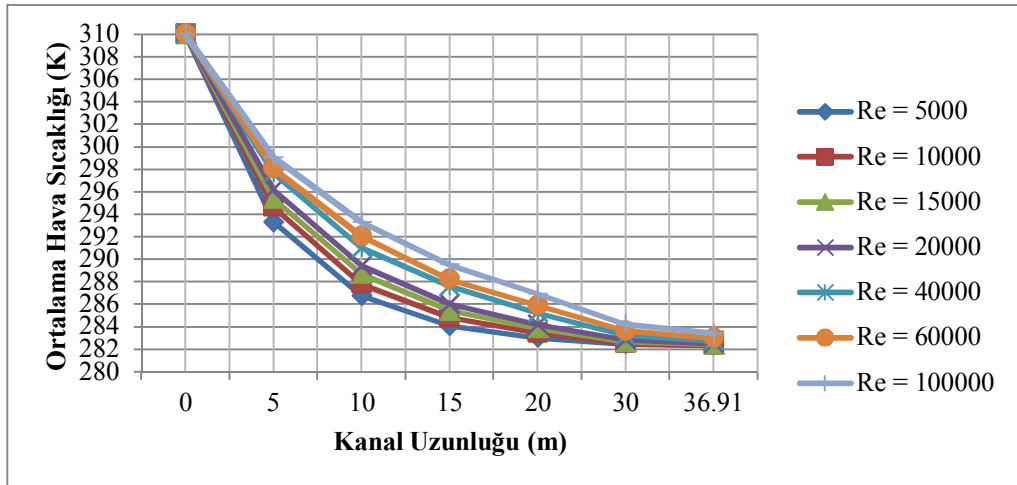
Tablo 6.12 Çelik (%0.5 C) kanal uzunluğu boyunca ortalama hava sıcaklık düşüşleri (K)

Gömülü çelik (%0.5 C) boru derinliği = 3 m							
Reynolds sayısı	5×10^3	10^4	15×10^3	2×10^4	4×10^4	6×10^4	10^5
Kanal Uzunluğu (m)							
0-5	16.7	15.37	14.62	13.84	12.36	11.95	10.96
0-10	23.25	22.19	21.29	20.57	18.97	17.95	16.7
0-15	25.91	25.18	24.57	24	22.4	21.8	20.5
0-20	26.98	26.54	26.13	25.81	24.75	24.1	23.09
0-30	27.56	27.48	27.34	27.16	26.77	26.38	25.77
0-36.91	27.67	27.63	27.57	27.5	27.25	27.02	26.62

Tablo 6.12’de Reynolds sayısındaki değişime bağlı olarak çelik (%0.5 C) kanalın farklı noktalarındaki ve çıkışındaki ortalama hava sıcaklık düşüşleri verilmiştir. Reynolds sayısının değeri büyüdükçe çelik (%0.5 C) kanalın farklı noktalarındaki ve çıkışındaki ortalama hava sıcaklık düşüşleri azalmıştır. Reynolds sayısının en küçük değeri olan 5×10^3 ’de çelik (%0.5 C) kanal çıkışındaki ortalama hava sıcaklık düşüşü 27.67 K iken bu değer Reynolds sayısının en büyük değeri olana 10^5 ’de 26.62 K olmaktadır. PVC ve çelik (%0.5 C) kanallara ait ortalama hava sıcaklık değerleri Şekil 6.21 – Şekil 6.22’de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 6.21 PVC kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları



Şekil 6.22 Çelik (% 0.5 C) kanal uzunluğu boyunca farklı Reynolds sayılarına ait ortalama hava sıcaklık dağılımları

Toprağın 3 m derinliğine göre farklı Reynolds sayıları kullanılarak yapılan sıcaklık analizleri sonucunda kanalın beşinci metresindeki, on beşinci metresindeki ve otuzuncu metresindeki sıcaklık konturları kanalın y-z düzlemine göre aşağıda Şekil 6.23 – Şekil 6.30 arasındaki şekillerde verilmiştir.

Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için yapılan sıcaklık analizleri sonucunda kanalın y-z düzlemine göre farklı mesafelerindeki hava ve toprağa ait sıcaklık konturları aşağıda Şekil 6.23 – Şekil 6.24’de verilmiştir. Şekil 6.23’de PVC kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 293.94 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 284.35 K ve otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 282.45 K olarak bulunmuştur. Şekil 6.24’de çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 293.30 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 284.09 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 282.44 K olarak bulunmuştur.

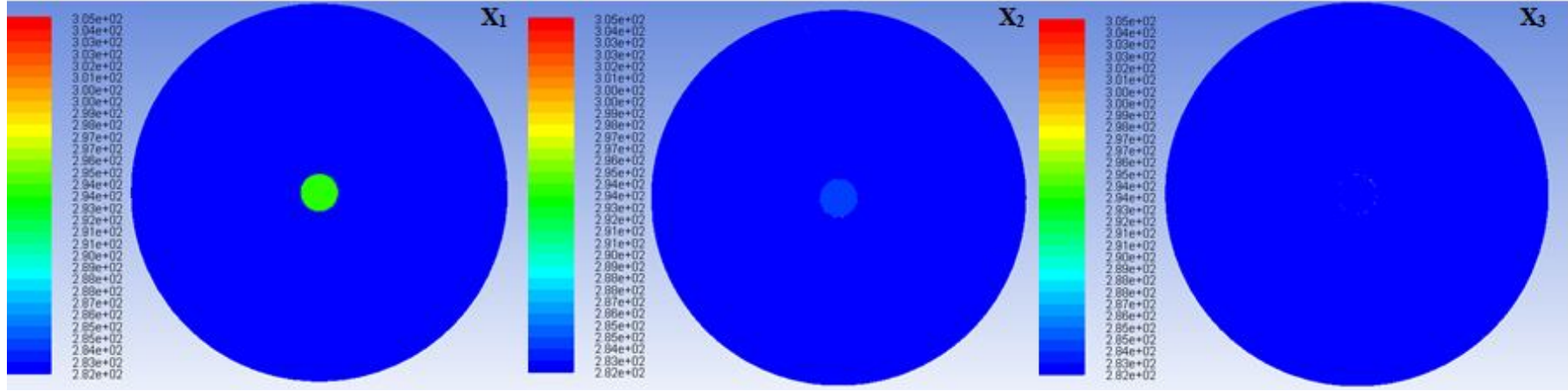
Şekil 6.25 – Şekil 6.26’da Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için kanalın y-z düzlemine göre hava ve toprağa ait sıcaklık konturları verilmiştir. Şekil 6.25’de PVC kanalın beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 297.43 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 287.17 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 283.15 K olarak bulunmuştur. Şekil 6.26’da ise çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 296.16 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 286 K ve otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 282.84 K olarak bulunmuştur.

Şekil 6.27 – Şekil 6.28’de Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için kanalın y-z düzlemine göre hava ve toprağa ait sıcaklık konturları verilmiştir. Şekil 6.27’de PVC kanalın beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 300.83 K, on beşinci metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 291.21 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 285.27 K olarak bulunmuştur. Şekil 6.28’de ise çelik (%0.5 C) kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 298.05 K, on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 288.20 K ve otuzuncu metresindeki ortalama hava sıcaklık değeri 283.62 K olarak bulunmuştur.

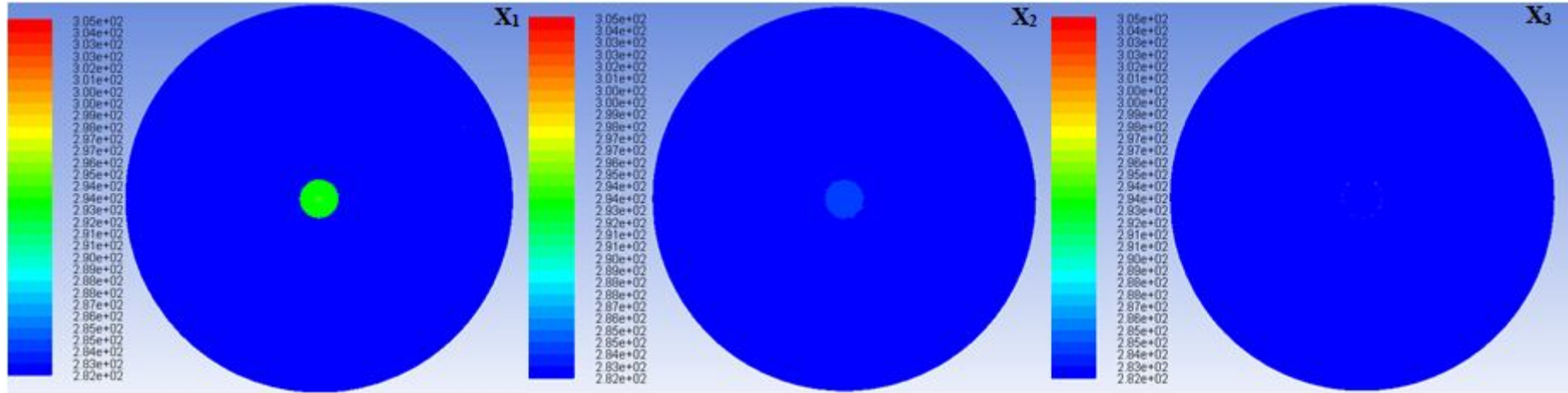
Şekil 6.29 – Şekil 6.30’ da Reynolds sayısının 10^5 değeri için kanalın y-z düzlemine göre hava ve toprağa ait sıcaklık konturları verilmiştir. Şekil 6.29’da PVC kanalın beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 302.35 K, kanalın on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 293.81 K ve kanalın otuzuncu metresinde ise ortalama hava sıcaklık değeri 287.04 K olarak bulunmuştur. Şekil 6.30’de çelik (%0.5 C) kanalın beşinci

metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 299.04 K, kanalın on beşinci metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 289.50 K ve kanalın otuzuncu metresinde ortalama hava sıcaklık değeri 284.23 K olarak bulunmuştur.

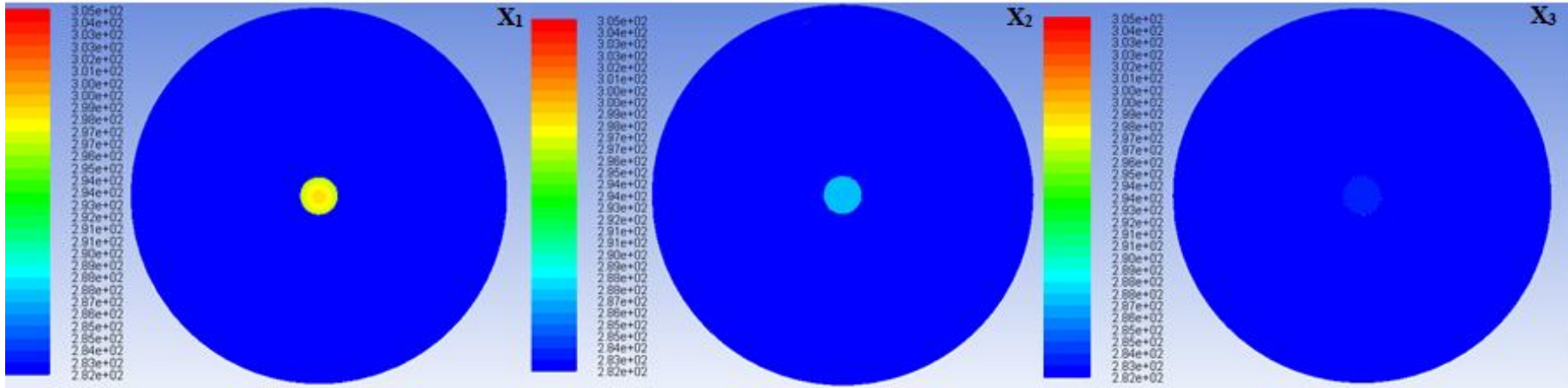
Toprağın 1 m ve 2 m derinliğine göre yapılan analizlerde olduğu gibi 3 m toprak derinliğine göre yapılan bu analizde de Reynolds sayısının değeri arttıkça PVC ve çelik (%0.5 C) kanalların uzunlukları boyunca ve çıkışlarındaki ortalama hava sıcaklık değerleri artmıştır. Ayrıca yapılan sıcaklık analizleri sonucunda Reynolds sayısının değeri arttıkça PVC ve çelik (%0.5 C) kanalların farklı noktalarındaki ve çıkışlarındaki ortalama hava sıcaklık değerleri arasındaki farkta artmaktadır. Aşağıdaki Şekil 6.23 – Şekil 6.30 arasındaki şekiller incelendiği zaman ortalama hava sıcaklık değerlerinin kanalın orta kesimlerinde kanalın cidarlarına göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.



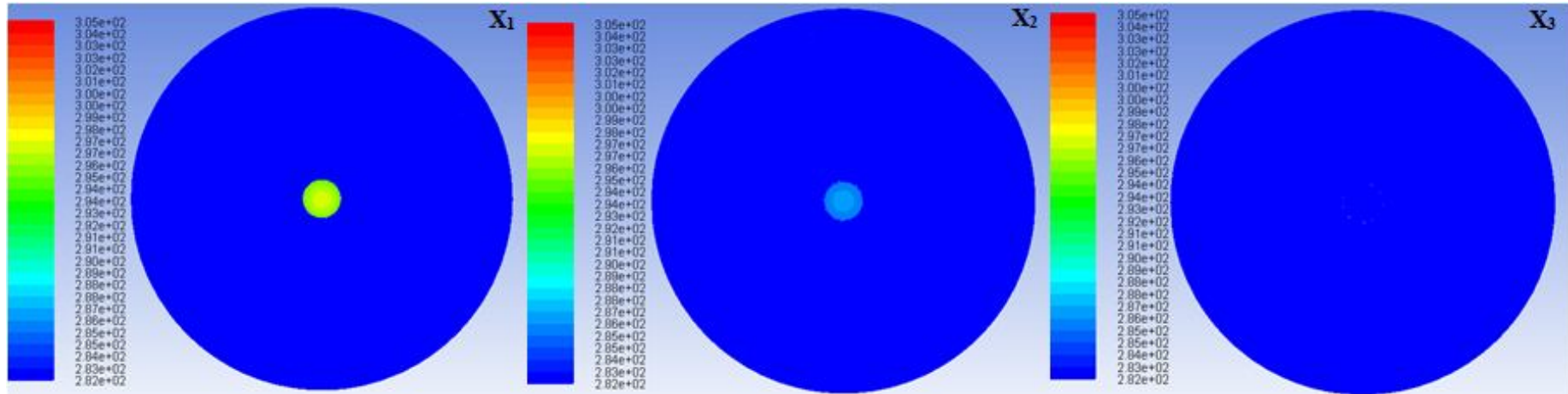
Şekil 6.23 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



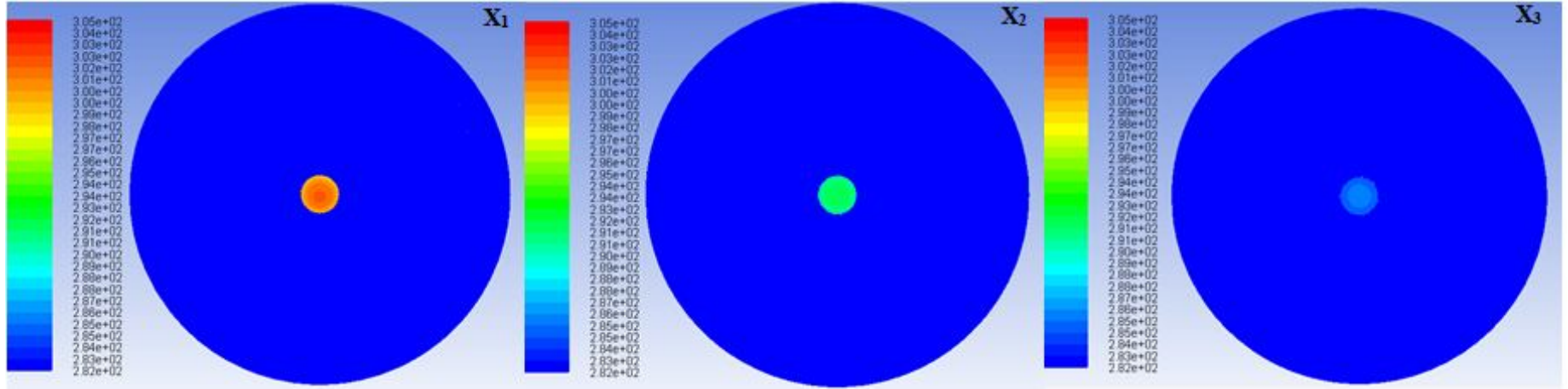
Şekil 6.24 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 5 \times 10^3$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



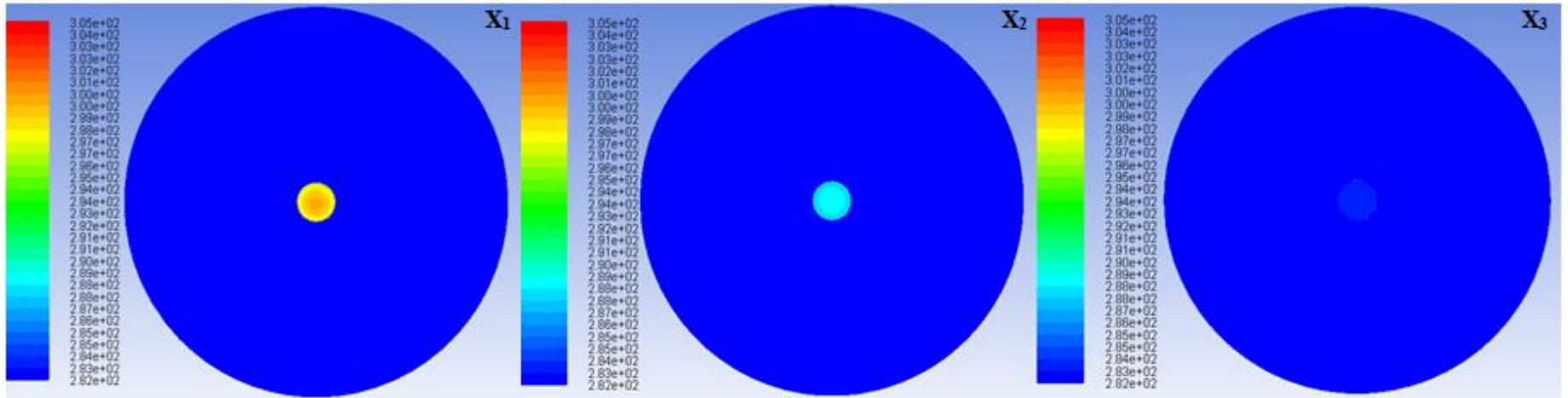
Şekil 6.25 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



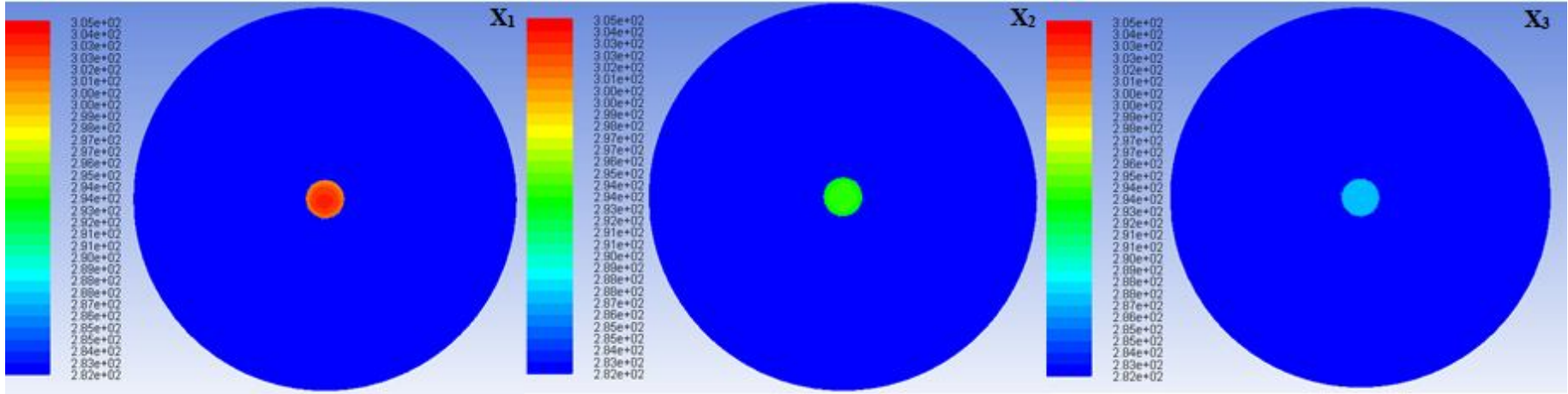
Şekil 6.26 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 2 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



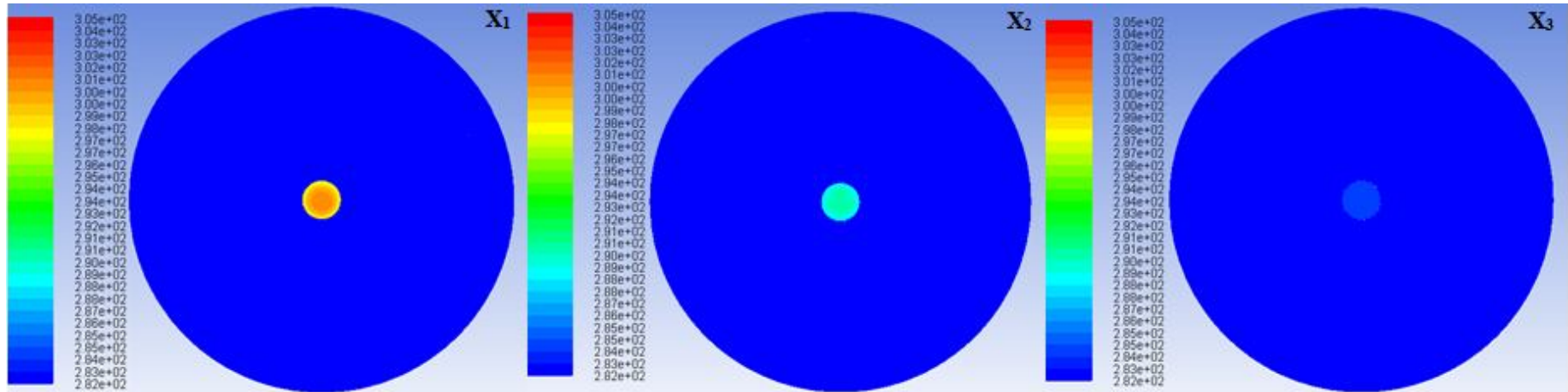
Şekil 6.27 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.28 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 6 \times 10^4$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



Şekil 6.29 PVC kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)



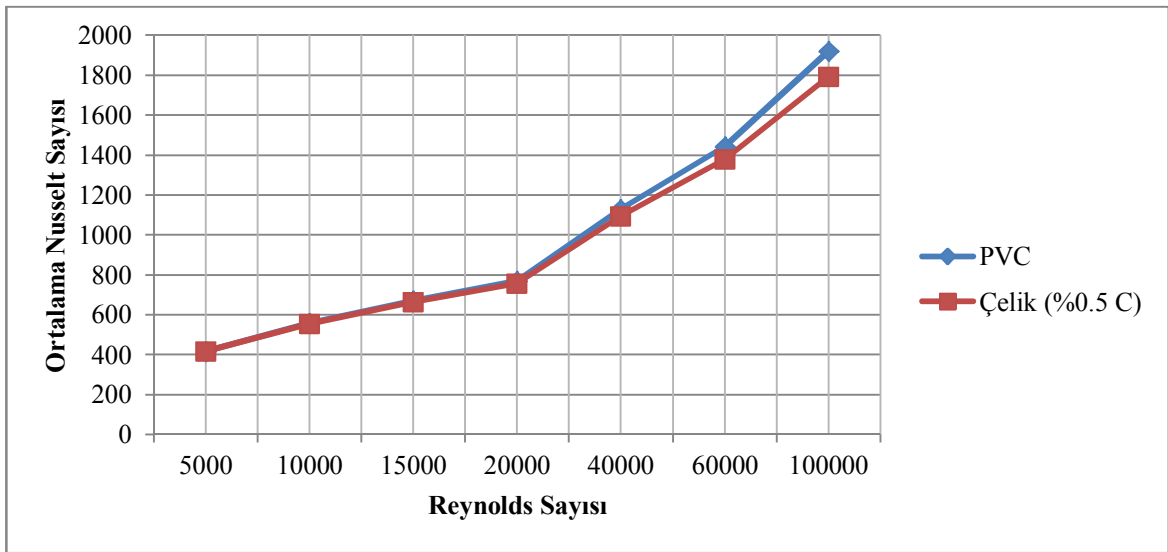
Şekil 6.30 Çelik (% 0.5 C) kanala ait hava ve toprağın sıcaklık konturları ($Re = 10^5$, $X_1 = 5$ m, $X_2 = 15$ m, $X_3 = 30$ m)

6.2. Ortalama Nusselt Sayısı Değişimi

Bu bölümde farklı toprak derinliklerine ($H = 1 \text{ m}$, 2 m , 3 m) gömülü PVC ve çelik ($\%0.5 \text{ C}$) kanalların uzunlukları boyunca ortalama Nusselt sayıları değişimi Reynolds sayısının bütün değerleri ($Re = 5 \times 10^3$, 10^4 , 15×10^3 , 2×10^4 , 4×10^4 , 6×10^4 , 10^5) için incelenmiştir.

1 m toprak derinliğine gömülü PVC kanalın uzunluğu boyunca ortalama Nusselt sayısı Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için 417.636, Reynolds sayısının 10^4 değeri için 558.597, Reynolds sayısının 15×10^3 değeri için 670.925, Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için 770.836, Reynolds sayısının 4×10^4 değeri için 1130.032, Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için 1444.323 ve Reynolds sayısının 10^5 değeri için 1919.959 olarak bulunmuştur.

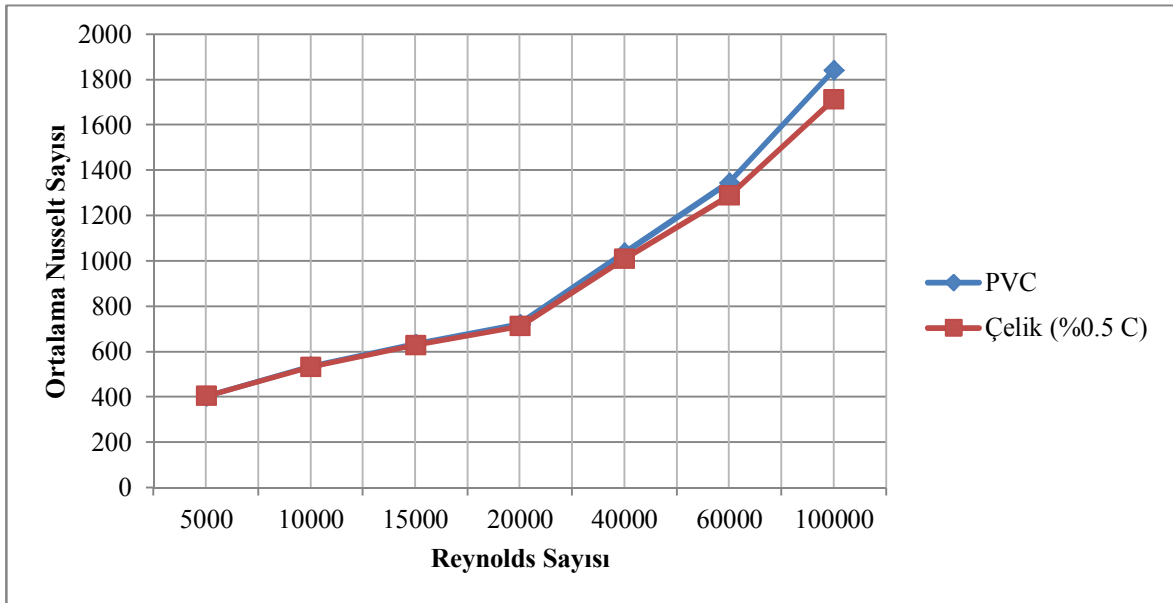
1 m toprak derinliğine gömülü çelik ($\%0.5 \text{ C}$) kanalda ise bu değerler Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için 416.478, Reynolds sayısının 10^4 değeri için 554.608, Reynolds sayısının 15×10^3 değeri için 663.195, Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için 758.672, Reynolds sayısının 4×10^4 değeri için 1095.443, Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için 1380.208 ve son olarak Reynolds sayısının en büyük değeri olan 10^5 için kanal uzunluğu boyunca ortalama Nusselt sayısı değeri 1792.718 olarak tespit edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 6.31’de 1 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik ($\%0.5 \text{ C}$) kanalın uzunlukları boyunca ortalama Nusselt sayıları değişimi grafik halinde verilmiştir.



Şekil 6.31 1 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik ($\%0.5 \text{ C}$) kanaldaki ortalama Nusselt sayısı değişimi

2 m toprak derinliğine gömülü PVC kanalın uzunluğu boyunca ortalama Nusselt sayısı değeri Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için 405.3, Reynolds sayısının 10^4 değeri için 536.494, Reynolds sayısının 15×10^3 değeri için 635.574, Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için 722.659, Reynolds sayısının 4×10^4 değeri için 1037.789, Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için 1345.94 ve Reynolds sayısının 10^5 değeri için 1843.458 olarak tespit edilmiştir.

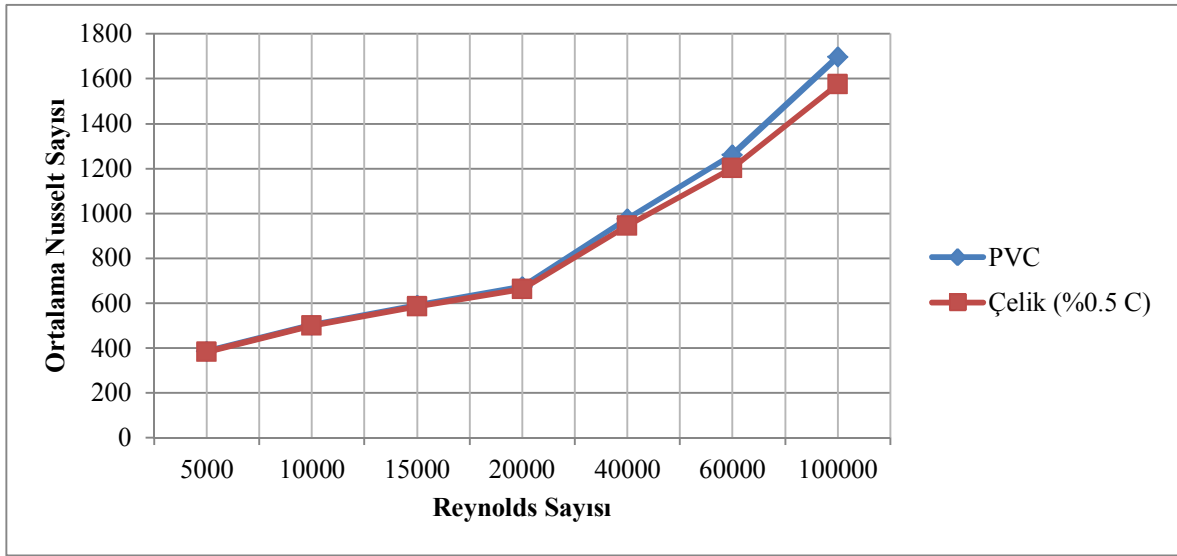
2 m toprak derinliğine gömülü çelik (%0.5 C) kanalın uzunluğu boyunca ortalama Nusselt sayısı değeri Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için 404.145, Reynolds sayısının 10^4 değeri için 533.274, Reynolds sayısının 15×10^3 değeri için 629.66, Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için 712.79, Reynolds sayısının 4×10^4 değeri için 1010.356, Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için 1288.312 ve Reynolds sayısının 10^5 değeri için 1714.167 olarak bulunmuştur. Aşağıdaki Şekil 6.32’de PVC ve çelik (%0.5 C) kanalın uzunlukları boyunca ortalama Nusselt sayıları değişimi grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 6.32 2 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) kanaldaki ortalama Nusselt sayısı değişimi

3 m toprak derinliğine gömülü PVC kanalın uzunluğu boyunca ortalama Nusselt sayısı değeri Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için 384.649, Reynolds sayısının 10^4 değeri için 502.834, Reynolds sayısının 15×10^3 değeri için 592.298, Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için 673.296, Reynolds sayısının 4×10^4 değeri için 977.1, Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için 1261.947 ve Reynolds sayısının 10^5 değeri için 1698.058 olarak bulunmuştur.

Bu değerler 3 m toprak derinliğine gömülü çelik (%0.5 C) kanalda Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için 383.149, Reynolds sayısının 10^4 değeri için 498.877, Reynolds sayısının 15×10^3 değeri için 586.069, Reynolds sayısının 2×10^4 değeri için 662.109, Reynolds sayısının 4×10^4 değeri için 944.165, Reynolds sayısının 6×10^4 değeri için 1202.035 ve Reynolds sayısının 10^5 değeri için 1576.519 olarak tespit edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 6.33’de 3 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) kanaldaki ortalama Nusselt sayıları değişimi verilmiştir.



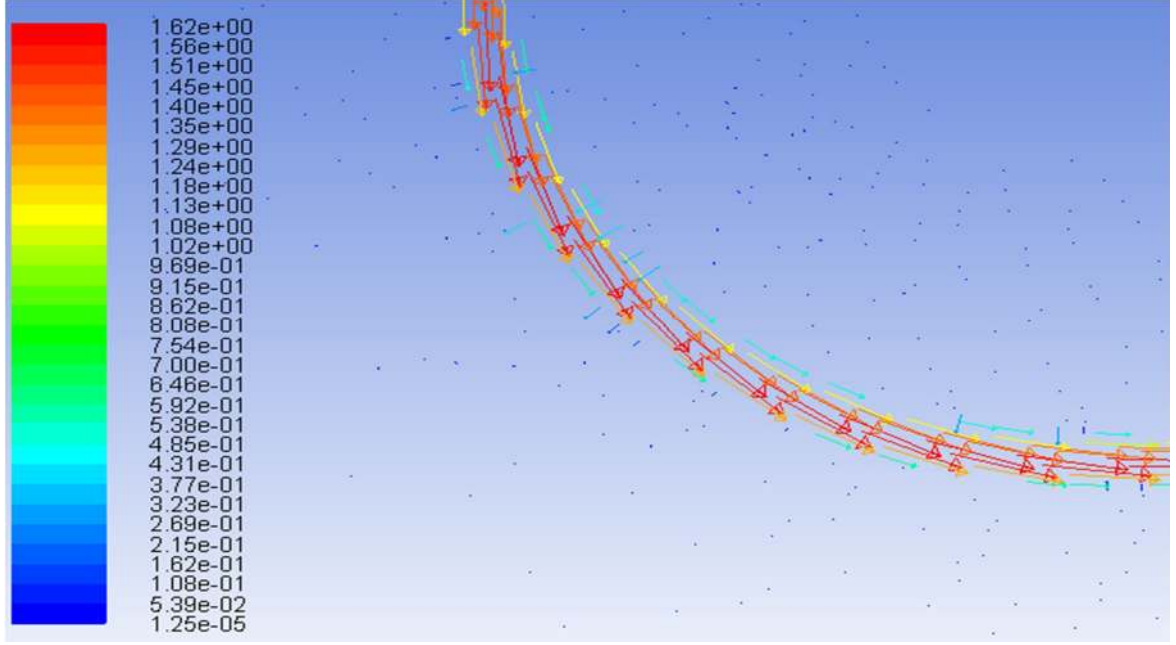
Şekil 6.33 3 m toprak derinliğine gömülü PVC ve çelik (%0.5 C) kanaldaki ortalama Nusselt sayısı değişimi

Sonuç olarak yapılan bütün analizlerde PVC kanallarda oluşan ortalama Nusselt sayısı değerleri çelik (%0.5 C) kanallarda oluşan ortalama Nusselt sayısı değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca PVC ve çelik (%0.5 C) kanalların uzunlukları boyunca Reynolds sayısındaki artışa bağlı olarak ortalama Nusselt sayısı değerlerinde artış meydana gelmiştir.

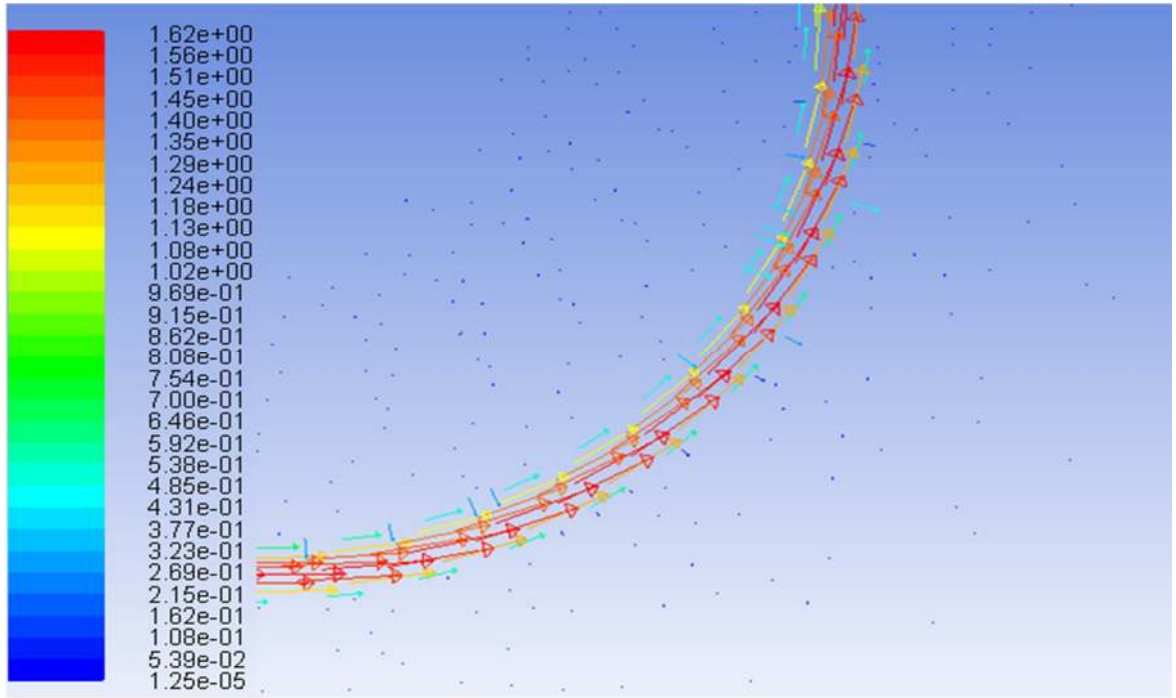
6.3. Toprak Hava Isı Değiştiricisi Boyunca Hız Değişiminin İncelenmesi

Bu bölümde toprağın 1 m derinliğine gömülü PVC kanalın hava giriş ve çıkış dirseklerine ait hız vektör dağılımları ile kanalın on beşinci metresi ile yirminci metresi arasında kalan bölgeye ait hız vektör dağılımları incelenmiştir. Reynolds sayısının 5×10^3

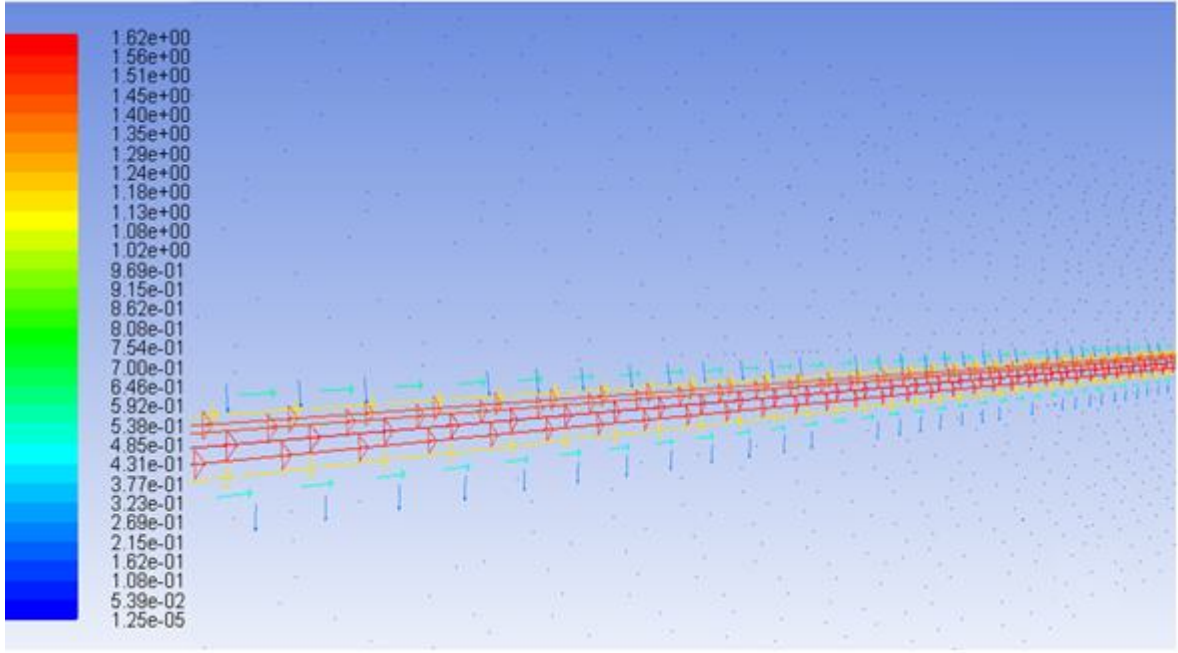
değeri için 1 m toprak derinliğine gömülü PVC kanalın farklı kesimlerine ait hız vektör dağılımları aşağıda Şekil 6.34 – Şekil 6.36 arasındaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 6.34 PVC kanalda hava giriş dirseğine ait hız vektörleri dağılımı ($Re = 5 \times 10^3$, $H = 1$ m)



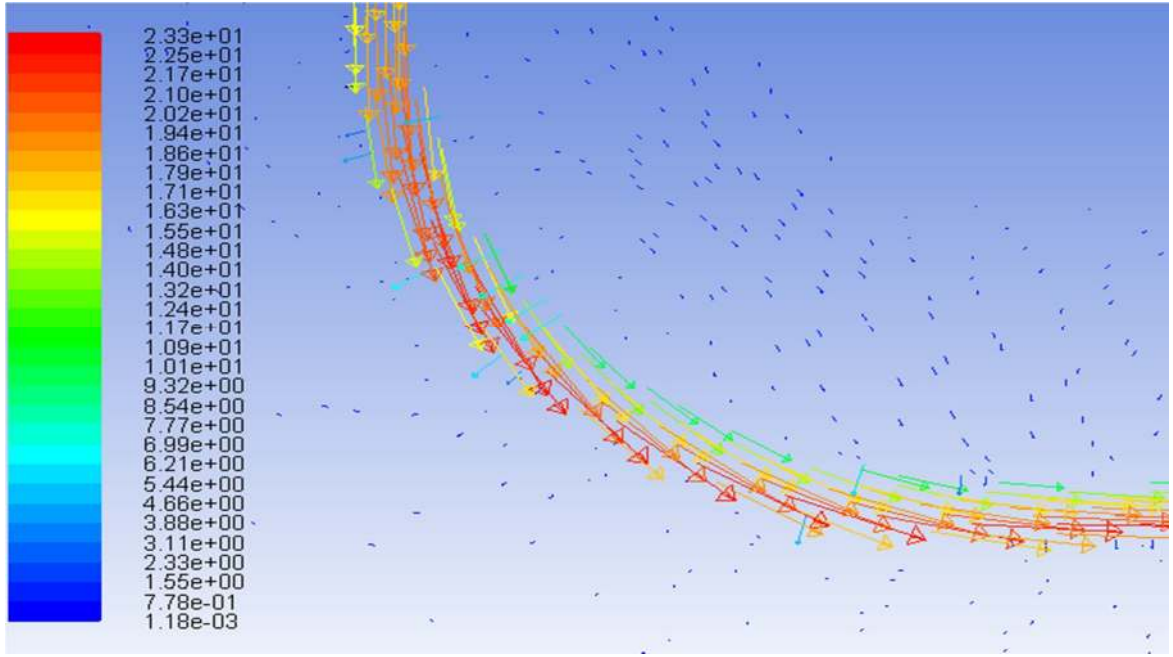
Şekil 6.35 PVC kanalda hava çıkış dirseğine ait hız vektörleri dağılımı ($Re = 5 \times 10^3$, $H = 1$ m)



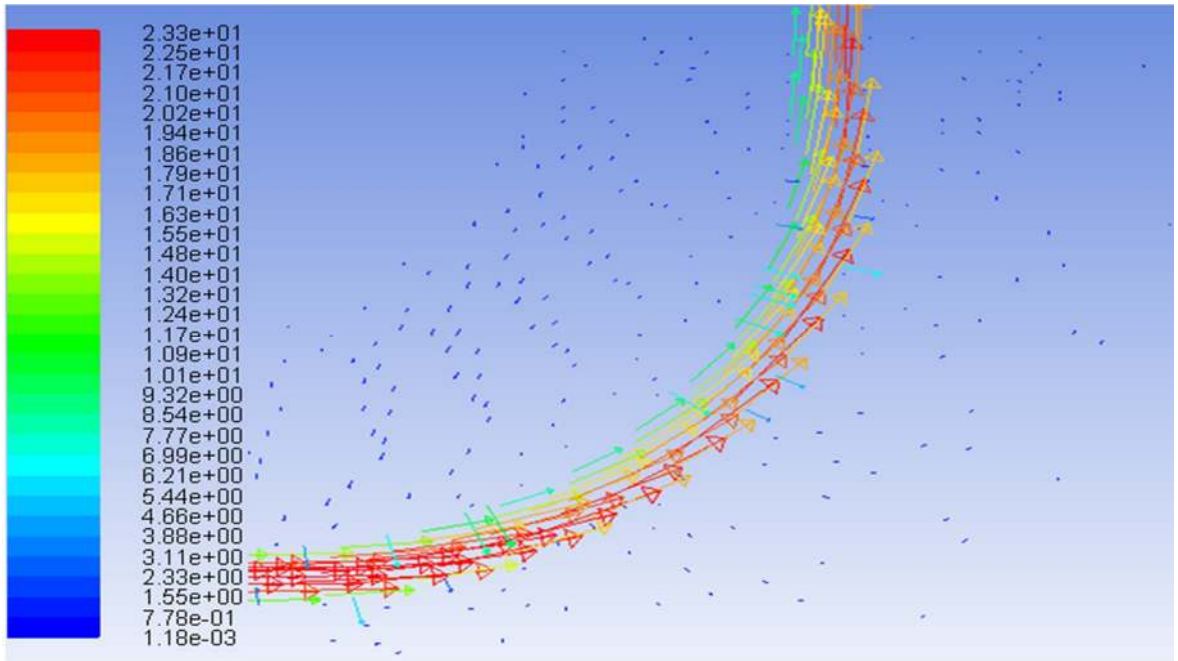
Şekil 6.36 PVC kanalın uzunluğu boyunca hız vektörleri dağılımı ($Re = 5 \times 10^3$, $H = 1$ m, $X = 15$ m – 20 m)

Türbülanslı akış koşullarında Reynolds sayısının 5×10^3 değeri için hava giriş ve çıkış dirsekleri ve kanalın on beşinci metresi ile yirminci metresi arasında kalan bölge incelendiği zaman kanalın cidar kısımlarında viskoz etkiler sebebiyle hava akış hızının azaldığı, kanalın cidar kısımlarından uzaklaştıkça hava akış hızının giderek arttığı gözlemlenmektedir.

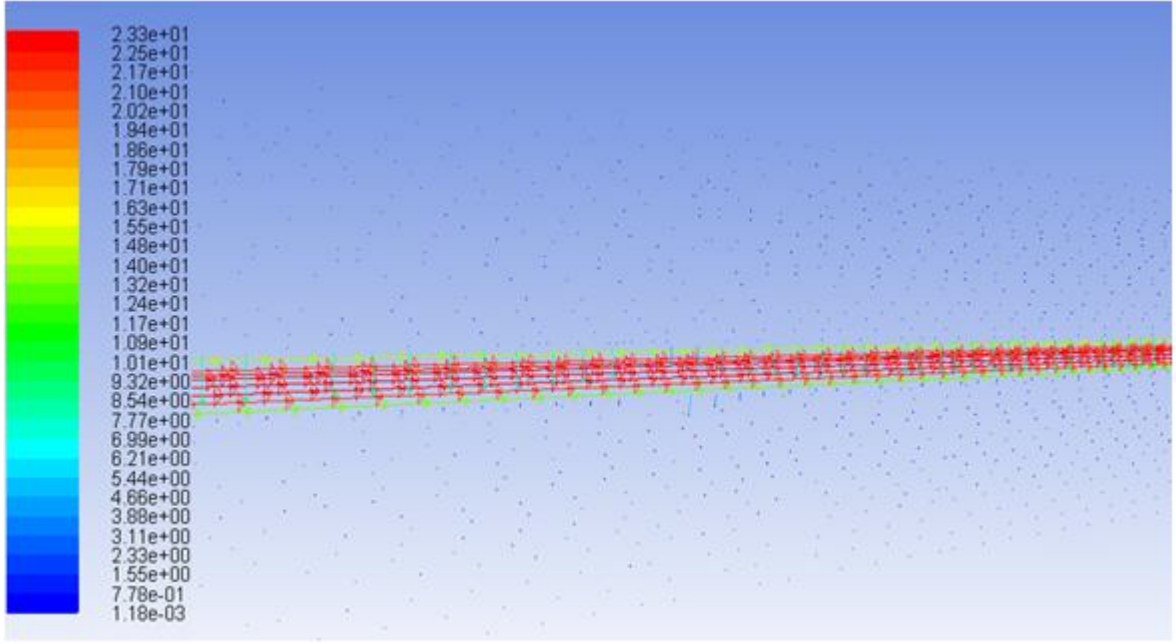
Reynolds sayısının 10^5 değeri için hava giriş ve çıkış dirsekleri ve kanalın on beşinci metresi ile yirminci metresi arasında kalan bölgeye ait hız vektörleri dağılımı aşağıda Şekil 6.37 – Şekil 6.39 arasındaki şekillerde verilmektedir. Reynolds sayısının 5×10^3 değerinde olduğu gibi Reynolds sayısının 10^5 değerinde de kanalın cidar kısımlarında hava akış hızının düştüğü, kanalın cidar kısımlarından uzaklaştıkça hava akış hızının giderek arttığı gözlemlenmiştir. Reynolds sayısı 5×10^3 değerinde iken Şekil 6.34 ve Şekil 6.35 incelendiği zaman hava giriş ve çıkış dirseklerinin iç kıvrılma ve dış kıvrılma yüzeylerindeki hava akış hızları birbirlerine yakın değerde olduğu gözlenmektedir. Ancak Reynolds sayısının değeri 10^5 olduğu durumda aşağıdaki Şekil 6.37 ve Şekil 6.38 incelendiği zaman hava giriş ve çıkış dirseklerinin iç kıvrılma yüzeyine yakın bölgelerinde hava akış hızlarının değeri dış kıvrılma yüzeyine yakın bölgelerindeki hava akış hız değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.37 PVC kanalda hava giriş dirseğine ait hız vektörleri dağılımı ($Re = 10^5$, $H = 1$ m)



Şekil 6.38 PVC kanalda hava giriş dirseğine ait hız vektörleri dağılımı ($Re = 10^5$, $H = 1$ m)



Şekil 6.39 PVC kanalın uzunluğu boyunca hız vektörleri dağılımı ($Re = 10^5$, $H = 1$ m, $X = 15$ m – 20 m)

7. SONUÇ

Bu çalışmada Elazığ ilindeki tipik bir konutun toprak hava ısı değiştiricisi (EAHE) kullanarak sürekli çalışma koşulları altında yaz mevsiminin ortasında pasif soğutma sistemi kullanılarak soğutulması hedeflenmiştir. Toprak hava ısı değiştiricisinin termal performansı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı kullanılarak ANSYS Fluent 12.1 programıyla gerçekleştirilmiştir.

Reynolds sayısının farklı değerleri ($Re = 5 \times 10^3$, 10^4 , 15×10^3 , 2×10^4 , 4×10^4 , 6×10^4 , 10^5) kullanılarak farklı toprak derinliklerine ($H = 1$ m, 2 m, 3 m) ve farklı kanal malzemelerine (PVC, çelik (%0.5 C)) göre yapılan sayısal çalışmada toprak hava ısı değiştiricisinin termal performansı incelenmiştir.

Yapılan bütün analizlerde kanal çıkışlarında en fazla sıcaklık düşüşü Reynolds sayısının en küçük değeri olan 5×10^3 değerinde, en az sıcaklık düşüşü ise Reynolds sayısının en büyük değeri olan 10^5 değerinde gerçekleşmiştir. 1 m toprak derinliğinde en fazla sıcaklık düşüşü 14.47 K ile çelik (%0.5 C) kanalda, en az sıcaklık düşüşü ise 12.36 K ile PVC kanalda gerçekleşmiştir. 2 m toprak derinliğinde en fazla sıcaklık düşüşü 21.07 K ile çelik (%0.5 C) kanalda, en az sıcaklık düşüşü 18.39 K ile PVC kanalda olmuştur. 3 m toprak derinliğinde ise en fazla sıcaklık düşüşü 27.67 K ile çelik (%0.5 C) kanalda, en az sıcaklık düşüşü ise 24.47 K ile PVC kanalda gerçekleşmiştir. Bu çalışmada kullanılan farklı kanal malzemeleri arasında kanal uzunluğu boyunca kayda değer bir sıcaklık düşüşü farkı olmadığından kanal malzeme cinsi termal performansı önemli ölçüde etkilememiştir.

Normal şartlar altında salon ve oturma odaları için termal konfor sıcaklığı 295 K civarındadır. Bu sıcaklık değerine 1 m toprak derinliğine gömülü çelik (%0.5 C) ve PVC kanallarda oldukça yaklaşılmıştır. 2 m ve 3 m toprak derinliklerine gömülü çelik (%0.5 C) ve PVC kanallarda ortalama hava sıcaklığı termal konfor sıcaklığı altına düşmüştür. Bununla beraber 2 m ve 3 m toprak derinliklerinde 1 m toprak derinliğine göre daha fazla kanal malzemesine ihtiyaç duyulacağından ve aynı zamanda toprak hafriyatı 1 m toprak derinliğine göre daha fazla olacağından 1 m toprak derinliği termal konfor şartlarını sağlamak için diğer toprak derinliklerine göre daha elverişlidir.

Bu çalışmalara ek olarak kanal uzunluğu boyunca kanalın farklı noktalarındaki ortalama Nusselt sayıları değişimide incelenmiştir. PVC kanala ait ortalama Nusselt sayılarının çelik

(%0.5 C) kanala ait ortalama Nusselt sayılarından daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Yapılan sayısal çalışma sonunda kanal uzunluğu boyunca elde edilen sıcaklık verileri literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sonuçların literatürle uyumlu olduğu görölmüştür.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Diñçer, F.**, 2011. Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *KSU. Journal of Engineering Sciences*, 14(1).
- [2] **Bitlis Meteoroloji İl Müdürlüğü**, Elazığ İli Dış hava ve toprak sıcaklıkları, 2014.
- [3] **Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G. D., & Mathur, J.**, 2009. Performance analysis of earth–pipe–air heat exchanger for winter heating. *Energy and Buildings*, 41(11), 1151-1154.
- [4] **Bansal, V., Misra, R., Agarwal, G. D., & 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.
- [5] **Wu, H., Wang, S., & Zhu, D.**, 2007. Modelling and evaluation of cooling capacity of earth–air–pipe systems. *Energy Conversion and Management*, 48(5), 1462-1471.
- [6] **Krarti, M., & Kreider, J. F.**, 1996. Analytical model for heat transfer in an underground air tunnel. *Energy conversion and management*, 37(10), 1561-1574.
- [7] **Kumar, R., Ramesh, S., & Kaushik, S. C.**, 2003. Performance evaluation and energy conservation potential of earth–air–tunnel system coupled with non-air-conditioned building. *Building and Environment*, 38(6), 807-813.
- [8] **Al-Ajmi, F., Loveday, D. L., & Hanby, V. I.**, 2006. The cooling potential of earth–air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate. *Building and Environment*, 41(3), 235-244.
- [9] **Bansal, V., Misra, R., Agrawal, G. D., & Mathur, J.**, 2012. Performance evaluation and economic analysis of integrated earth–air–tunnel heat exchanger–evaporative cooling system. *Energy and Buildings*, 55, 102-108.
- [10] **Zhang, J., & Haghighat, F.**, 2009. Convective heat transfer prediction in large rectangular cross-sectional area Earth-to-Air Heat Exchangers. *Building and Environment*, 44(9), 1892-1898.
- [11] **Bansal, V., Mishra, R., Agarwal, G. D., & Mathur, J.**, 2012. Performance analysis of integrated earth–air–tunnel–evaporative cooling system in hot and dry climate. *Energy and Buildings*, 47, 525-532.

- [12] **Gan, G.** (2014). Dynamic interactions between the ground heat exchanger and environments in earth–air tunnel ventilation of buildings. *Energy and Buildings*, 85, 12-22.
- [13] **Mathur, A., Srivastava, A., Agrawal, G. D., Mathur, S., & Mathur, J.,** 2014. CFD analysis of EATHE system under transient conditions for intermittent operation. *Energy and Buildings*, 87, 37-44
- [14] **Bisoniya T. S., Kumar A. Baredar P.,** 2015. Energy metrics of earth–air heat exchanger system for hot and dry climatic conditions of India. *Energy and Buildings* 86,214-221
- [15] **Mihalakakou, G.,** 2003. On the heating potential of a single buried pipe using deterministic and intelligent techniques. *Renewable Energy*, 28(6), 917-927.
- [16] **Benhammou M., Draoui B., Zerrouki M., Marif Y.,** 2015. Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate. *Energy Conversion and Management* 91, 1–11
- [17] **Liu, X., Xiao, Y., Inthavong, K., & Tu, J.,** 2014. A fast and simple numerical model for a deeply buried underground tunnel in heating and cooling applications. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 545-552.
- [18] **Misra, R., Bansal, V., Agrawal, G. D., Mathur, J., & Aseri, T.,** 2013. Transient analysis based determination of derating factor for earth air tunnel heat exchanger in summer. *Energy and Buildings*, 58, 103-110.
- [19] **Misra, R., Bansal, V., Agrawal, G. D., Mathur, J., & Aseri, T. K.,** 2013. CFD analysis based parametric study of derating factor for Earth Air Tunnel Heat Exchanger. *Applied Energy*, 103, 266-277.
- [20] **Bansal, V., Misra, R., Agarwal, G. D., & Mathur, J.,** 2013. ‘Derating Factor’ new concept for evaluating thermal performance of earth air tunnel heat exchanger: A transient CFD analysis. *Applied Energy*, 102, 418-426.
- [21] **Misra, R., Bansal, V., Agrawal, G. D., Mathur, J., & Aseri, T.,** 2013. Transient analysis based determination of derating factor for Earth Air Tunnel Heat Exchanger in winter. *Energy and Buildings*, 58, 76-85.
- [22] **Esen, H., Inalli, M., & Esen, M.,** 2007. Numerical and experimental analysis of a horizontal ground-coupled heat pump system. *Building and Environment*, 42(3), 1126-1134.

- [23] **Niu F., Yu Y., Yu D., Li H.,** 2015. Heat and mass transfer performance analysis and cooling capacity prediction of earth to air heat exchanger. *Applied Energy* 137 (2015) 211–221
- [24] **Sodha, M. S., Sharma, A. K., Singh, S. P., Bansal, N. K., & Kumar, A.,** 1985. Evaluation of an earth—air tunnel system for cooling/heating of a hospital complex. *Building and Environment*, 20(2), 115-122.
- [25] **İnalh, M., & Esen, H.,** 2005. Seasonal cooling performance of a ground-coupled heat pump system in a hot and arid climate. *Renewable Energy*, 30(9), 1411-1424.
- [26] **Mathur, J., Bansal, N. K., Mathur, S., & Jain, M.,** 2006. Experimental investigations on solar chimney for room ventilation. *Solar Energy*, 80(8), 927-935.
- [27] **Ozgener, L., & Ozgener, O.,** 2010. An experimental study of the exergetic performance of an underground air tunnel system for greenhouse cooling. *Renewable Energy*, 35(12), 2804-2811.
- [28] **Ozgener, L.,** 2011. A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4483-4490.
- [29] **Misra, R., Bansal, V., Agarwal, G. D., Mathur, J., & Aseri, T.,** 2012. Thermal performance investigation of hybrid earth air tunnel heat exchanger. *Energy and Buildings*, 49, 531-535.
- [30] **Jakhar, S., Misra, R., Bansal, V., & Soni, M. S.,** 2014. Thermal performance investigation of earth air tunnel heat exchanger coupled with a solar air heating duct for northwestern India. *Energy and Buildings*.
- [31] **Çakmanus, İ.,** 2001. Binalarda pasif soğutma sistemlerinin tasarım kriterleri http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/3ad3e314e2a2b43_ek.pdf?dergi=201 [Erişim tarihi : 07 Şubat 2015]
- [32] **Givoni, B.,** 1998. Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons.
- [33] **Coşar Régnier, A.,** 2011 Bina ve yakın çevresi termal konforunun sağlanmasında su ögesinin önemi: Antalya örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

- [34] **Düz, H.** 2013. Giriş ve tam gelişmiş akış bölgesinde laminar-türbülans geçiş özelliklerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [35] **Doğan, F. B.**, 2014. Eş merkezli dönen iki silindir arasında oluşan taylor ve von karman vortekslerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi. Yüksek Lisan Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
- [36] **Mehdiyev, N.**, 2009. Yüksek süratlı kayıcı bir teknenin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile form optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [37] **Can, Ö. F.**, 2011. Eğrisel yüzeyler üzerindeki akışlarda Reynolds ve Prandtl sayılarının Nusselt sayısına etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [38] **Durmuş, S.**, 2014. İç soğutma kanallarında türbülator kullanımının incelenmesi ve RANS temelli türbülans modelleriyle benzetimi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.
- [39] **Hollmuller, P., & Lachal, B.** 2014. Air–soil heat exchangers for heating and cooling of buildings: Design guidelines, potentials and constraints, system integration and global energy balance. *Applied Energy*, 119, 476-487.
- [40] **Çengel Y. A.**, 2011. Isı ve Kütle Transferi, Güven Kitabevi, İZMİR
- [41] **Gedik, E.** 2012. Silindirik borularda manyetohidrodinamik akışın deneysel olarak incelenmesi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal analizi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [42] **Aksu, E.**, 2011. Gemi direncinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- [43] **Tu, J., Yeoh, G. H., & Liu, C.** 2008. Computational fluid dynamics: a practical approach. Butterworth-Heinemann.
- [44] **Esen, H., & İnallı, M.**, 2003. Elazığ İklim Şartlarında Yatay Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Performansı. F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2), 109-117

ÖZGEÇMİŞ

Fatih TAŞDELEN, 05.09.1980 yılında Bitlis'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bitlis'te tamamladıktan sonra 2000 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. İş hayatına 2007 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Bitlis Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde başladı. 2012 yılında çalıştığı kurumundan ayrılarak, Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.