

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI HATVE ÇAPLI U TİPİ ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN ISIL VERİMLİLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

ONUR KÜÇÜKGENÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ÖZDEN AĞRA**

İSTANBUL, 2016

ÖNSÖZ

Bu tezde farklı hatve (kavis) çaplı toprak kaynaklı U tipi ısı değiştircilerin ısı performansını bilgisayar ortamında incelenmiştir. Toprağa yatay biçimde yerleştirilmiş ısı değiştircilerin ısı performansını etkileyen faktörler incelenmiş ve daha önceden yapılan çalışmalardaki ısı değiştircilerin ısı performansı birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Öncelikle tez danışmanım sayın Doç. Dr. Özden AğRA'ya, Doç. Dr. Hakan Demir'e, Araş. Gör. Dr. Mustafa Kemal SEVİNDİR'e ve Araş. Gör. Mehmet Salih Cellek'e tez süreci boyunca yaptığı yardımlar ve göstermiş olduğu özveriden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez zamanımda bana destek olan aileme teşekkür ederim.

Mayıs, 2016

Onur KÜÇÜKGENÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	3
TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİ	3
2.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistem Dizaynını Etkileyen Faktörler	6
2.1.1 Toprak.....	6
2.1.1.1 Toprak Sıcaklığı	6
2.1.1.2 Toprak Termal Özellikleri	7
2.1.1.3 Su Hareketi	8
2.1.1.4 Donma	9
2.1.2 Toprak Isı Değiştirici Konfigürasyonu	9
2.1.2.1 Yatay Tip	9
2.1.2.2 Dikey Tip	11
2.1.3 Kullanılan Malzeme	12
2.1.4 Isı değiştirici içerisinde dolaştırılan akışkan tipi.....	13
BÖLÜM 3	15

YATAY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI DEĞİŞTİRİCİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE NÜMERİK ANALİZ	15
3.1 Yatay Tip Toprak Isı Değişiriciler İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar ..	15
3.2 Yatay Tip Isı Değişiricilerin Ansys-Fluente Modellenmesi, Teknik Özellikleri Ve Nümerik Analizlerinin Yapılması.....	58
3.2.1 Ansys-Fluent	58
3.2.1.1 Korunum Denklemleri	58
3.2.1.2 Turbulanslı Akışta Standart k-ε Modeli	59
3.2.1.3 Ansys-Fluent k-ε Modeli Taşınım Isısı Ve Kütle Transferi	59
3.2.1.4 Isı Değişiriciler İçin Akış Doğrultusunda Basınç Düşümünün Ansys-Fluente Modellenmesi	60
3.2.2 Yatay Tip Isı Değişiricilerin Teknik Özellikleri	62
3.2.3 Yatay Tip Isı Değişiricilerin Geometrileri	63
3.2.4 Yatay Tip Isı Değişiricilerin Ansys-Fluente Modellenmesi	65
BÖLÜM 4	73
SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGE LİSTESİ

a	Sürtünme katsayısı veya gerilme sensörü
A	Ana akış yüzey alanı
A_C	Minimum kesit alanı
b	Sürtünme üssel sayısı
c_p	Isıl Kapasite (kJ/kgK)
C1E,2E	Deneysel çalışmalarda bulunan sabit sayılar
D	Boru çapı (m)
D_H	Hidrolik çap (m)
D_P	Isı değiştiricinin konulduğu toprak derinliği (m)
E	Toplam enerji
f	Akış doğrultusundaki basınç kayıp katsayısı
F	Kuvvet (N/m ²)
F_C	Sürtünme faktörü
G_b	Kaldırma kuvvetinin neden olduğu türbülanslı kinetik enerji
G_k	Ana hız gradyanlarının neden olduğu türbülansın sahip olduğu kinetik enerji
H	Toprak yüksekliği (m)
k	Türbülanslı akışta kinetik enerji
K_c	Giriş kayıp katsayısı
K_e	Çıkış kayıp katsayısı
K_{eff}	Isı iletim katsayısı
k_s	Kayanın ya da toprağın ısı iletkenliği (W/mK)
L	Toprağın veya ısı değiştiricinin uzunluğu (m)
N	Hatve Sayısı
p	Statik basınç
P	Hatve Çapı
P_{rt}	Türbülanslı Prandtl sayısı (0,85)
r	Radyal koordinant
Re	Reynold Sayısı
Re_{min}	Minimum akış alanındaki hız için Reynold sayısı
s	Slinky ya da helisel tip ısı değiştiricide hatveler arası mesafe (m)
T_{ijeff}	Deviatorik gerilme kuvveti
t	Zaman (s)
t_m	Ana toprak sıcaklığı (°C)

t_o	Yıllık ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
UA_{MIN}	Minimum akış alanındaki akışkan hızı
V	Su hızı (m/s)
V_e	Çıkıştaki hacim
V_i	Girişteki hacim
V_m	Ortalama özgül hacim
q	Isı değiştirciler için birim metrekarede elde edilen ısı miktarı
$q_{\text{üst}}$	Çift katlı slinky tip ısı değiştircide ikinci (üst) kısımdan elde edilen ısı miktarı
x	Eksenel koordinant
W	Toplam ısı değişim oranı
W/m	Birim boru uzunluğu ve 1 metre toprak ebadında elde edilen ısı miktarı
W/m^2	Isı değiştircilerden birim metrekare başına elde edilen ısı miktarı
α	Belli bir yoğunluğa sahip toprakta iletilen enerjinin depolanan enerjiye oranı
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
u_x	Eksenel hız (m/s)
u_R	Radyal hız (m/s)
ρg	Yer çekimi kuvveti
λ	Toprağın ısı iletim katsayısı
ϵ	Türbölanslı akışta kinetik enerjinin dağılım oranı
σ, ϵ	Türbölanslı durumlarda Prandtl sayıları
μ_t	Dinamik vizkozite
Δp	Akış doğrultusundaki basınç kaybı
σ	Yüzey alanı oranı için minumum akış miktarı

KISALTMA LİSTESİ

COP	Sisteme verilen 1 W enerji karşılığında sistemden elde edilen ısı miktarı oranı
HER	Toprak kaynaklı ısı değiştiricide ısı değişim oranı
P013	Isı pompası dūzeneęi (hava oranı: 0,189 m ³ /s, boru çapı: 20 mm, antifriz oranı: 13,2 L/min)
P019	Isı pompası dūzeneęi (hava oranı: 0,283 m ³ /s, boru çapı: 30 mm, antifriz oranı: 19 L/min)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Toprak kaynaklı ısı pompasının soğutma ve ısıtma kısmı çevrimi [2].....	3
Şekil 2. 2 Çevrim sırasında kullanılan gazın T-S grafiği [2]	5
Şekil 2. 3 Belçika’da aylara göre iki farklı toprak derinliğinde toprak sıcaklıklarının karşılaştırılması [3]	7
Şekil 2. 4 Yatay olarak yerleştirilmiş spiral tip ısı değiştiricisi [3].....	10
Şekil 2. 5 Farklı boru sayılarında yatay olarak yerleştirilmiş ısı değiştiricileri [3].....	10
Şekil 2. 6 Dikey olarak yerleştirilmiş tek ve çift borulu U tip kolektörler [8]	11
Şekil 2. 7 Dikey olarak yerleştirilmiş spiral halkalı ve U tipi ısı değiştiricileri [3].....	12
Şekil 3. 1 Nam ve Chae Numerik Modelleme [10]	16
Şekil 3. 2 Toprak genişliğinin ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10]	17
Şekil 3. 3 Boru çapının ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10].....	17
Şekil 3. 4 Su sıcaklığının ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10].....	18
Şekil 3. 5 Akışkan debisinin ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10].....	18
Şekil 3. 6 Su giriş sıcaklığının ısı transfer oranı üzerinde etkisi (Soğutma) [10].....	19
Şekil 3. 7 Lineer tip toprak ısı değiştiricinin nümerik olarak modellenmesi [11].....	20
Şekil 3. 8 Helisel tip toprak ısı değiştiricinin nümerik olarak modellenmesi [11].....	20
Şekil 3. 9 Slinky tip toprak ısı değiştiricinin nümerik olarak modellenmesi [11]	21
Şekil 3. 10 Toprak derinliğinin ısı transferi üzerindeki etkisi [11]	21
Şekil 3. 11 Su hızının ısı transferi üzerindeki etkisi [11].....	22
Şekil 3. 12 Toprağın ısı iletim katsayısının ısı transferi üzerindeki etkisi [11].....	22
Şekil 3. 13 Farklı tip ısı değiştiriciler için ısı transfer yüzeyi (m^2) [11]	23
Şekil 3. 14 ısı değiştiricilerin geometrileri [12].....	24
Şekil 3. 15 Helisel ve slinky tip ısı değiştirici için ısı miktarı (Hatve çapı=6 cm) [12].....	25
Şekil 3. 16 Helisel, slinky ve u tipi ısı değiştirici için ısı miktarı (Hatve çapı=30 cm) [12] 25	
Şekil 3. 17 Slinky ve helisel tip ısı değiştiriciler için ortalama su sıcaklığı (Hatve çapı=6cm) [12]	26
Şekil 3. 18 Slinky, helisel ve U tipi ısı değiştirici için ortalama su sıcaklığı (Hatve=30 cm) [12]	26
Şekil 3. 19 Lineer (U) tipi ısı değiştirici [13].....	28
Şekil 3. 20 Slinky tip ısı değiştirici [13].....	28
Şekil 3. 21 ısı değiştiriciler için bir yıl boyunca günlere göre elde edilen ısı miktarı [13] 29	
Şekil 3. 22 ısı değiştiricilerin kış mevsiminde bir günde elde ettiği ısı miktarı [13]	30

Şekil 3. 23 Tek kat slinky tip ısı değiştiricinin geometrik özellikleri [14]	31
Şekil 3. 24 Çift kat slinky tip ısı değiştiricinin geometrik özellikleri [14]	31
Şekil 3. 25 Deneysel analiz boyunca toprak sıcaklığının derinliğe göre değişimi [14]	32
Şekil 3. 26 Isı değiştiricilerin ortalama birim boru uzunluğu başına ısı miktarı (W/m) [14]	33
Şekil 3. 27 Isı pompası girişinde ısı değiştiricilerin su sıcaklıkları [14].....	33
Şekil 3. 28 Deneysel çalışmada ısı değiştiricilerin toprak içindeki yerleşimi [15]	34
Şekil 3. 29 Deneysel çalışmada ısı değiştiricilerin şematik gösterimi [15].....	35
Şekil 3. 30 Bilgisayar ortamında slinky tip ısı değiştiricinin 3 boyutlu modeli [15].....	36
Şekil 3. 31 Slinky tip ısı değiştiricilerin zamana bağlı ortalama su sıcaklığı [15]	36
Şekil 3. 32 Isıl iletiminin hatveler arasındaki mesafeye göre değişimi [15].....	37
Şekil 3. 33 Hatveler arası mesafe 0,40 m olan ısı değiştiricinin su giriş ve sıcaklığıyla birlikte 1 metre derinlikteki toprak sıcaklığının deneysel ve bilgisayar ortamında karşılaştırılması [15]	38
Şekil 3. 34 Hatveler arası mesafe 0,60 m olan ısı değiştiricinin su giriş ve sıcaklığıyla birlikte 1 metre derinlikteki toprak sıcaklığının deneysel ve bilgisayar ortamında karşılaştırılması [15]	38
Şekil 3. 35 Hatveler arası mesafe 0,80 m olan ısı değiştiricinin su giriş ve çıkış sıcaklığıyla birlikte 1 metre derinlikteki toprak sıcaklığının deneysel ve bilgisayar ortamında karşılaştırılması [15]	39
Şekil 3. 36 Lineer tip ısı değiştirici [16]	40
Şekil 3. 37 Helisel tip ısı değiştirici [16]	41
Şekil 3. 38 Slinky tip ısı değiştirici [16].....	41
Şekil 3. 39 Lineer tip ısı değiştiricinin kış mevsiminde elde ettiği ısı miktarı [16].....	42
Şekil 3. 40 Lineer tip ısı değiştiricinin yaz mevsiminde toprağa transfer ettiği ısı miktarı [16]	43
Şekil 3. 41 Helisel tip ısı değiştiricinin kış mevsiminde elde ettiği ısı miktarı [16]	43
Şekil 3. 42 Helisel tip ısı değiştiricinin yaz mevsiminde toprağa transfer ettiği ısı miktarı [16]	44
Şekil 3. 43 Slinky tip ısı değiştiricinin kış mevsiminde elde ettiği ısı miktarı [16]	44
Şekil 3. 44 Slinky tip ısı değiştiricinin yaz mevsiminde toprağa transfer ettiği ısı miktarı [16]	45
Şekil 3. 45 Lineer ve slinky tip ısı değiştiricileri [17]	47
Şekil 3. 46 140 saat sonunda lineer tip ısı değiştirici ile slinky tip ısı değiştiriciden (d=1 m) elde edilen ısı miktarı (W/m) [17].....	47
Şekil 3. 47 Bir metre toprak ebadında her iki ısı değiştirici için elde edilen ısı miktarı (W/m) [17]	48
Şekil 3. 48 Slinky tip ısı değiştiricilerde hatve çapının ısı transferi üzerindeki etkisi [17].....	48
Şekil 3. 49 Hatveler arası mesafenin elde edilen ısı transferi üzerindeki etkisi [17].....	49
Şekil 3. 50 Bir metre toprak ebadında hatveler arası mesafenin ısı transferi üzerindeki etkisi [17]	50
Şekil 3. 51 Tek ve çift sıralı toprak ısı değiştiricileri [18].....	51
Şekil 3. 52 Isıtma döneminde tek sıralı ısı değiştirici için farklı durumlarda COP değeri	51
Şekil 3. 53 Isıtma dönemi boyunca montaj derinliğinin tek ve çift sıralı ısı değiştirici üzerinde etkisi [18].....	52

Şekil 3. 54 Tek ve çift sıralı ısı değıştiricilerin P019 ünitesinde ısıtma sezonunda tükettikleri toplam enerji miktarı [18].....	53
Şekil 3. 55 Tek ve çift sıralı ısı değıştiriciler için toprak derinliğinin COP üzerindeki etkisi [18]	53
Şekil 3. 56 Soğutma dönemi boyunca farklı toprak derinliğindeki ısı değıştiricilerin tükettiğı ısı miktarı [18]	54
Şekil 3. 57 Tek ve çift sıralı ısı değıştiricilerin farklı toprak derinliğinde yıllık COP değeri [18]	55
Şekil 3. 58 Farklı toprak derinliğindeki P019 ünitesinde bulunan tek ve çift sıralı ısı değıştiricilerin yıl boyunca tükettikleri enerji tüketimi [18]	55
Şekil 3. 59 Durum1'den Durum5'e kadar slinky tip ısı değıştiricilerden elde edilen ısı miktarı [19].....	57
Şekil 3. 60 Farklı yoğunluktaki toprağına yerleştirilen aynı teknik özelliklere sahip ısı değıştiricilerden elde edilen ısı miktarı [19]	57
Şekil 3. 61 Hatve (kavis) çapı sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm olan 3 adet tek sıralı U tipi ısı değıştiricinin geometrileri	63
Şekil 3. 62 Hatve (kavis) çapı sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm olan birbirine seri bağılı 3 adet U tipi ısı değıştiricinin geometrileri	64
Şekil 3. 63 Yatay Tip Isı Değıştiricilerin Ansys-Fluentte Modellenmesi	65
Şekil 3. 64 Yatay tip ısı değıştirici için oluşturulan mesh	66
Şekil 3. 65 Boru yüzeyi ile toprak yüzeyinin temas ettiğı bölgede oluşturulan mesh.....	66
Şekil 3. 66 Fluent	67
Şekil 3. 67 k-epsilon modeli	68
Şekil 3. 68 Suya ait teknik özellikler	68
Şekil 3. 69 Toprağına ait teknik özellikler	69
Şekil 3. 70 Polietilen boruya ait teknik özellikler	69
Şekil 3. 71 Suya ait hız ve türbölans oranları	70
Şekil 3. 72 Toprağıın üst kısmına ait teknik özellikler.....	70
Şekil 3. 73 Toprak dış yüzeylerin adyabatik olarak sisteme girilmesi	71
Şekil 3. 74 Toprağıın başlangıç sıcaklığına göre analizin yapılması.....	71
Şekil 3. 75 Toplam analiz süresi (6 aylık)	72
Şekil 4. 1 Altı ay içerisinde polietilen borudan elde edilen ısı miktarı (W).....	80
Şekil 4. 2 Altı ay içerisinde polietilen borudan elde edilen ısı miktarı (W/m)	80
Şekil 4. 3 Altı ay içerisinde bakır borudan elde edilen ısı miktarı (W).....	81
Şekil 4. 4 Altı ay içinde bakır borudan elde edilen ısı miktarı (W/m)	82
Şekil 4. 5 Bakır ve polietilen borudan altı ay içerisinde 1 saniyede elde edilen ortalama ısı miktarı (W)	82
Şekil 4. 6 Bakır ve polietilen borudan altı ay içerisinde 1 saniyede elde edilen ortalama ısı miktarı (W/m)	83
Şekil 4. 7 Hatve çapı (25cm) olan ısı değıştiricinin bulunduğı topraktaki sıcaklık dağılımı	84
Şekil 4. 8 Hatve çapı (50cm) olan ısı değıştiricinin bulunduğı topraktaki sıcaklık dağılımı	84
Şekil 4. 9 Hatve çapı (75cm) olan ısı değıştiricinin bulunduğı topraktaki sıcaklık dağılımı	85
Şekil 4. 10 Deneysel çalışma ile nümerik çalışma arasındaki ortalama sapma	86

Şekil 4. 11 Deneysel çalışma ile nümerik çalışma arasında 33.saatteki sapma.....	86
Şekil 4.12 Hatve çapları sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm olan çok sıralı U tipi ısı değıştirciler	88

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Toprağın tipine göre genel ısıl özellikler [5]	8
Çizelge 3. 1 Birbiriyle karşılaştırılan teknik özellikleri verilmiş geometriler [10]	16
Çizelge 3. 2 Isı değiştiricilerin teknik özellikleri [12]	24
Çizelge 3. 3 Slinky, helisel ve U tipi ısı değiştiricilerden elde edilen ısı miktarı [12]	27
Çizelge 3. 4 Isı değiştiricilerin topraktan elde ettikleri yıllık ısı transfer miktarı [13]	29
Çizelge 3. 5 Lineer ve slinky tip ısı değiştirici için kış mevsiminde günlük toplam ısı miktarı [13]	30
Çizelge 3. 6 Slinky tip ısı değiştiricilerin teknik özellikleri [15]	35
Çizelge 3. 7 Slinky tip ısı değiştiricilerin çalışma periyotları ve ısı miktarları [15]	35
Çizelge 3. 8 Kış mevsiminde farklı çalışma durumları için ısı değiştiricilerin ısı miktarı ..	45
Çizelge 3. 9 Yaz mevsiminde farklı çalışma durumları için ısı değiştiricilerin ısı miktarı ..	46
Çizelge 3. 10 Üç farklı tipteki toprağın teknik özellikleri [19]	56
Çizelge 3. 11 Farklı tipteki slinky tip ısı değiştiricilerin 60 gün içinde elde ettikleri ısı miktarı [19]	56
Çizelge 4. 1 Nam ve Chae'nin çalışmasından elde edilen sonuçlar	73
Çizelge 4. 2 Dasara Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar	74
Çizelge 4. 3 Yoon Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar	75
Çizelge 4. 4 Adamovsky Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar	75
Çizelge 4. 5 Fujii Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar-1	75
Çizelge 4. 6 Fujii Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar-2	75
Çizelge 4. 7 Congedo Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar	76
Çizelge 4. 8 Wu Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar	76
Çizelge 4. 9 Tarnawski Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar	77
Çizelge 4. 10 Ghong Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar	77

**FARKLI HATVE ÇAPLI U TİPİ ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN ISIL VERİMLİLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Onur KÜÇÜKGENÇ

Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özden AĞRA

Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde ısıtma ya da soğutma, toprak içerisine dikey ya da yatay olarak yerleştirilmiş farklı geometrilere sahip ısı değiştiricileri ile yapılır. Toprak içerisine yerleştirilmiş bu ısı değiştiricileri sayesinde topraktan akışkana ya da akışkandan toprağa ısı transferi olur. Isı transferini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler; toprağın teknik özellikleri, ısı değiştiricisi geometrisi, toprak derinliği ve dış ortam sıcaklığıdır. Bu çalışmada ise yatay olarak yerleştirilmiş ve bilgisayar ortamında dizayn edilmiş U tipi ısı değiştiricilerde farklı hatve çaplarının ısı performans üzerindeki etkisi ANSYS-FLUENT programında incelenmiştir. Hatve çaplarının ısı transferi, basınç ve sıcaklık üzerindeki etkisi incelenmiş ve uygun hatve çapı belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: U tipi ısı değiştirici, yatay tip ısı değiştirici, farklı hatve çaplı ısı değiştirici

COMPARİNG OF THERMAL EFFICIENCIES FOR DIFFERENT U TYPE HEAT EXCHANGERS WITH VARIOUS PITCH DIAMETERS

Onur KÜÇÜKGENÇ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Özden AĞRA

The heating or cooling in a ground source heat pump system is done via heat exchangers which are installed as vertically and horizontally and have different geometries. Through these heat exchangers those are installed into the ground, heat transfer occurs from ground to liquid or vice versa. There are many parameters which effect heat transfer process. These parameters are; technical features of the ground, the geometry of heat exchangers, depth of ground and the temperature of the media. In this study, the effects on thermal performance of different pitch diameters in the U type heat exchangers which are designed at computer environment are examined way horizontally installed on ANSYS-FLUENT program. The effect of pitch diameters on heat transfer, pressure and temperature is examined and the most efficient pitch diameter is investigated.

Keywords: U type heat exchanger, horizontal heat exchanger, various pitch diameters with heat exchanger

1.1 Literatür Özeti

Isıtma-soğutma sektörünün geleceğini iki temel unsur belirleyecektir. Birincisi klasik enerji kaynaklarındaki azalma ve buna bağlı olarak bu enerji kaynaklarının fiyatının gittikçe artması. Bu nedenle de enerji maliyetlerinin ısıtma soğutma sistemlerinin seçimini ve kullanımını etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu söylenebilir. Bir başka deyişle enerji maliyetlerindeki artış daha verimli cihaz ve sistemlerin kullanılması gerekliliğini doğurmuştur. İkincisi fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan çevre kirliliği ve küresel ısınma. Fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan ürünler insan sağlığını ve doğayı tehdit etmektedir. Bu ortaya çıkan sonuçları önlemek için yenilenebilir enerji sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan biri de toprak kaynaklı ısı pompasıdır.

Toprak kaynaklı ısı pompası, toprağı ısı kaynağı veya ısı çukuru olarak kullanan bir ısı pompası sistemidir. Toprak kaynaklı bir ısı pompası toprakla, toprak ısı değiştiricisi yardımıyla ilişkilendirilmiştir. Yatay ve dikey yerleşim olmak üzere temelde iki tip uygulaması vardır. Toprak ısı değiştiricisi doğrudan genişmeli veya ikincil akışkanlı olabilir. Doğrudan genişmeli tipte toprak ısı değiştiricisi ara bir ısı değiştiricisi olmadan doğrudan buharlaştırıcı veya yoğuşturucu olarak kullanılır. İkincil akışkanlı tipte ise, ısı pompası ile toprak arasındaki ısı transferi ikincil bir devre ve ikincil bir akışkan (su veya antifrizli su çözeltisi) ile sağlanır. [1]

Toprak kaynaklı ısı pompasının farklı uygulamaları olup verimi artırabilmek için farklı tiplerde yatay ve dikey olmak üzere ısı değiştiricileri kullanılır. Bunlar genel olarak

lineer, u-tipi, helisel ve slinky dir. Yapılan literatür araştırmasında toprak içerisine yatay olarak yerleştirilen ısı değiştiricilerinde birçok etkenin ısı verimi etkilediği gözlemlenmiştir. Bu etkenlerden en önemlileri sırasıyla; derinlikle fonksiyonel toprağın ısı iletim katsayısı ve sıcaklığı, ısı değiştirici içerisinde dolaştırılan suyun miktarı, sıcaklığı ve içerisine konulan antifriz miktarı, ısı değiştirici için kullanılan borunun ısı iletim katsayısı ve dış ortam sıcaklığıdır.

Literatür araştırması sonucunda ortaya çıkan sonuçlara bakıldığında, toprak içerisine yatay olarak yerleştirilen ısı değiştiricilerde ısı verimi etkileyen birçok etken olduğu için her bölge için ayrı ayrı optimizasyon gerekmektedir. Çünkü toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığından etkilenmekte ve toprağın ısı iletim katsayısı her bölge için farklılık göstermektedir. Ancak hem bilgisayar hem de deneysel çalışmalardan alınan bilgilere bakıldığında, helisel tip ısı değiştiricinin slinky ve U tipi ısı değiştiriciye oranla ısı verimi daha yüksektir. En düşük verim ise U tipi ısı değiştiricide gözlemlenmiştir. Bunun nedeni; helisel tip ısı değiştiricinin aynı toprak ebadında toprak ile daha fazla ısı transfer yüzeyinin bulunmasıdır.

1.2 Tezin Amacı

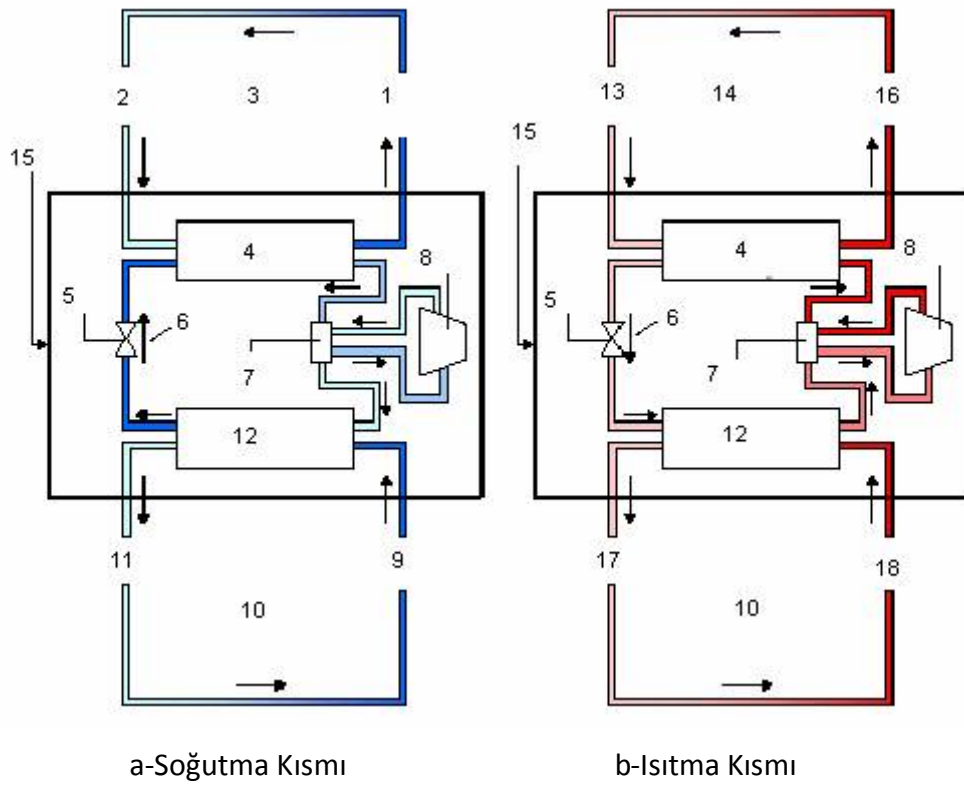
Farklı hatve çaplarına sahip U tipi ısı değiştiricilerin ısı performansı bilgisayar ortamında ANSYS-FLUENT kullanılarak incelenmiştir. Tezin amacı, diğer tüm teknik özellikler aynı tutularak (toprak sıcaklığı, derinliği, ısı iletim katsayısı, su sıcaklığı, ısı değiştiricide kullanılan borunun ısı iletim katsayısı, suyun debisi gibi.) sadece hatve (kavis) çapının ısı performans üzerindeki etkisidir. Yapılan analiz sonucunda hatve (kavis) çapı arttıkça ısı performansın arttığı gözlemlenmiştir.

1.3 Hipotez

Toprak içerisine yatay olarak yerleştirilen ısı değiştiricide ısı performansı en çok etkileyen etken, toprağın ve borunun ısı iletim katsayısı ile birlikte toprak sıcaklığı ve ısı değiştiricinin toprak ile temas eden yüzey alanıdır. Buna ek olarak boru içerisinde suyun akış tipi de ısı performansı etkiler. Isıl performansı etkileyen toprak sıcaklığı, toprağın derinliği ve dış ortam sıcaklığının fonksiyonu şeklinde ifade edilebilir.

TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİ

Toprak kaynaklı ısı pompası, ısı kaynağı olarak toprağı, yer suyunu veya yüzey sularının tümünü içine alan bir ısı pompası terimi olarak tarif edilebilir. Toprak kaynaklı ısı pompası Şekil 2.1’de görüldüğü gibi üç çevrimden oluşur. Toprak kaynaklı ısı pompası yardımıyla ısıtma ve soğutma yapılabilir. [2]



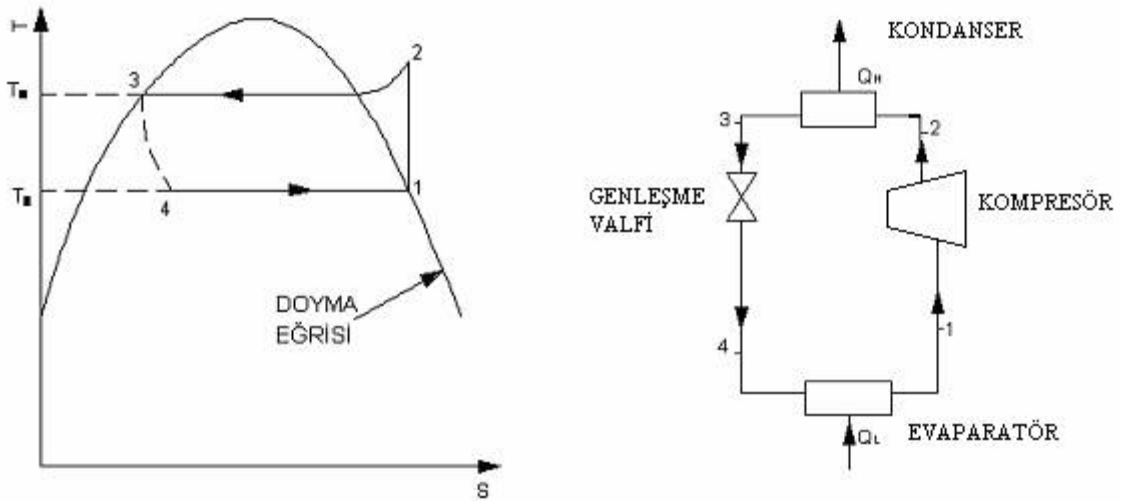
Şekil 2. 1 Toprak kaynaklı ısı pompasının soğutma ve ısıtma kısmı çevrimi [2]

İlk çevrim, su/su çevrimi veya hava/su çevrimi uygulamalarının olduğu çevrimdir. İkinci çevrim, ısı pompasının olduğu soğutma çevrimidir. Aslında ısı pompası çevrimi ile buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi arasında herhangi bir fark yoktur, her iki çevrimde de amaç ısıyı düşük sıcaklıktaki ortamdan çekerek yüksek sıcaklıktaki ortama atmaktır. Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde, ısıtma ve soğutma kısımları arasındaki dönüşüm, ters dönüşümlü vana kullanılarak yapılmaktadır. Üçüncü çevrim, toprağın ısını verdiğini veya aldığı su veya antifriz çözeltisinin dolaştığı toprak ısı değiştiricisi çevrimidir. Şekil 2.1’de ifade edilen numaralar aşağıda açıklanmıştır. [2]

1. Soğutma yükünü karşılama giriş kısmı
2. Soğutma yükünü karşıladıktan sonra dönüş kısmı
3. Soğutmak istenen yerin soğutma yükünü karşılama çevrimi
4. Su soğutmalı veya hava soğutmalı ısı değiştiricisi
5. Kısılma valfi
6. Çevrim yönü
7. 4 yollu ters dönüşüm vanası
8. Kompresör
9. Toprak ısı değiştiricisinden su soğutmalı ısı değiştiricisine gelen akışkan
10. Toprak kaynaklı ısı değiştiricisi çevrimi
11. Su soğutmalı ısı değiştiricisinden toprak ısı değiştiricisine giden akışkan
12. Su soğutmalı ısı değiştiricisi
13. Isıtma yükünü karşıladıktan sonra dönüş kısmı
14. Isıtılmak istenen yerin ısıtma yükünü karşılama çevrimi
15. Isı pompası
16. Isıtma yükünü karşılamak için giriş kısmı
17. Su soğutmalı ısı değiştiricisinden toprak ısı değiştiricisine giden akışkan
18. Toprak ısı değiştiricisinden su soğutmalı ısı değiştiricisine gelen akışkan

Toprak kaynaklı ısı pompası soğutma çevriminde, soğutulmak istenen ortamı soğutacak akışkan, su soğutmalı ya da hava soğutmalı ısı değıştiricisinden geçerek ortamdaki aldığı ısıyı ısı değıştirici içerisindeki mevcut akışkana transfer eder. Isı transferi yapılan buharlaşma gizli ısı yüksek olan gazın kompresör yardımıyla basıncı ve sıcaklığı artırılır. Akabinde bu akışkan toprakta soğutulan suya ısını verir. Topraktaki suya ısını veren buharlaşma gizli ısı yüksek olan gaz kısımla vanasından geçerek çevrimi tamamlamış olur. Toprakta soğuk olarak gelen su ise tekrardan soğutulmak üzere toprağa geri gönderilir.

Toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma çevriminde ise, ısıtılmak istenen ortamı ısıtacak akışkan, su veya hava soğutmalı ısı değıştiricisinden geçerken buharlaşma gizli ısı yüksek olan akışkandan sıcaklığı daha düşük olduğu için ısı alır. Isısını veren gaz akışkan ise genleşme vanasından geçer. Akabinde topraktan gelen suyun ısını alır. Kompresörde basıncı ve sıcaklığı artırılarak çevrimi tamamlamış olur. Toprakta sıcaklığı artırılıp gelen su ise tekrardan topraktan ısı almak üzere toprağa geri gönderilir. Şekil 2.2'de çevrim sırasında kullanılan buharlaşma gizli ısı yüksek gazın T-S grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 Çevrim sırasında kullanılan gazın T-S grafiği [2]

2.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistem Dizaynını Etkileyen Faktörler

Toprak kaynaklı ısı sisteminde verimi genel anlamda üç faktör etkiler. İlk etken toprak, ikinci etken toprağın içerisine yerleştirilen kolektör, son etken ise ısı pompası sistemidir. [3]

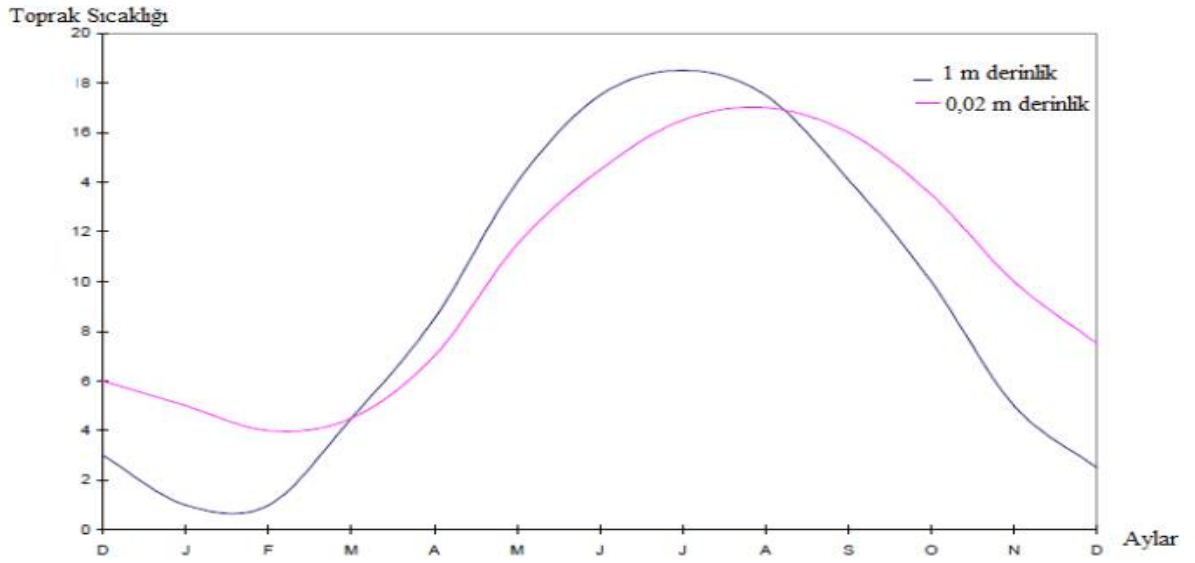
Toprak kaynaklı ısı pompaları yer kabuğunda depolanan enerjiyi kullanır. Dünya yüzeyinden radyasyon, yağmur ve rüzgar ile enerjinin bütün çoğunluğu transfer edilir. Depolanan enerjinin yüzde 3'ünden daha azı özünde kullanılır. Yapılan sondaj çalışmaları gösteriyor ki her 100 metrede bir 1,5°C ile 4,5°C sıcaklık artışı ve ortalama enerji akısı ise 60 mW/m² dir. Bu enerji suyun hareketi boyunca ya da iletim ile aktarılabilir. [3]

2.1.1 Toprak

Toprak içerisinde bulunan ısı değiştiricisine transfer edilen ısı miktarını iki ana faktör belirler. Birincisi ısı değiştiricinin yüzey alanı (boru uzunluğu ve çapı), ikincisi ise belirli bir ısı yükünü karşılamaya çalışan ısı değiştiricinin konulduğu toprağın özellikleridir. Bilindiği üzere ne yazık ki toprağın özellikleri tam anlamıyla bilinemez. Çünkü toprağın özelliği birçok faktörden etkilenir ve bu yüzden çok az ölçülebilir bilgiye ulaşılabilir. Toprağın termal direnci ve sıcaklığı yılın belli aralıklarında ve yağmur miktarına göre değişkenlik gösterebilir. Ve bu durum toprağın içerisindeki kolektörün etrafındaki nem miktarını değiştirebilir. [3]

2.1.1.1 Toprak Sıcaklığı

Toprak ile topraktaki ısı değiştiricisi içinden geçen akışkanın sıcaklık farkından dolayı topraktan akışkana ya da akışkandan toprağa ısı transferi olur. Bu yüzden toprağın sıcaklığını bilmek çok önemlidir. 2 metreden daha az toprak derinliklerinde toprağın sıcaklığı, sezona bağlı olarak yıllık ortalama hava sıcaklığının üstünde ya da altında değişkenlik gösterir. Şekil 2.3'de Belçika'da 0,02 metre ile 1 metre derinlikteki toprağın sıcaklık değişimi aylara göre verilmiştir. [3]



Şekil 2. 3 Belçika’da aylara göre iki farklı toprak derinliğinde toprak sıcaklıklarının karşılaştırılması [3]

Kusuda (1965) toprak sıcaklığına, minimum yüzey sıcaklığının gerçekleştiği zamana ve toprak derinliğine bağlı olarak değişkenlik gösteren ve yılın her periyodunda toprak sıcaklığını hesaplayabilecek bir analitik denklem buldu. Yatay olarak toprağa yerleştirilen kolektörler için toprak sıcaklığını ölçebilmeye bu denklem imkan sağlayabilir. Düşük derinliklerde toprağın sıcaklık değişimi gözden kaybolur ve 10 metrenin altındaki derinliklerde yaklaşık yıllık ortalama hava sıcaklığında sabit kalır. Eggen’in İskandinavya için önerdiği denklem (2.1)’deki gibidir. [4]

$$t_m = t_o + 0.02 (h) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2.1)$$

Burada;

t_m : Ana toprak sıcaklığı

t_o : Yıllık ortalama hava sıcaklığı

h : Toprak derinliği (m)

2.1.1.2 Toprak Termal Özellikleri

Isı pompası sisteminin dizaynını en çok etkileyen iki özellik toprak ya da kayanın ısı iletkenliği (k_s) ya da ısı kapasitesidir (c_p). Isıl difüzyon (α) ise belli bir yoğunluğa sahip toprağın iletilen enerjinin depolanan enerjiye oranıdır. (2.2)’de gösterildiği gibidir. [3]

$$\alpha = k_s / \rho c_p \quad (\rho: \text{toprak yoğunluğu}) \quad (2.2)$$

Toprak ve kayadaki termal özellikler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Kaya ile toprak arasındaki en önemli fark kayalar önemli ölçüde daha çok ısı iletkenlik ve ısı difüzyon sayısına sahiptir. EPRI (1989) ve arkadaşları kaya ve toprakta yatay tip toprak ısı değiştiricisi için yeterli olan loop dizaynını anlatan bir test prosedürü ve kriterlerin olduğu bir liste oluşturdu. [5]

Çizelge 2. 1 Toprağın tipine göre genel ısı özellikler [5]

Toprak tipi	Isıl iletkenlik (W/m K)	Isıl Kapasite (kj/kg K)	Yoğunluk	Isıl difüzyon (m ² /gün)
Granit	2.1-4.5	0.84	2,64	0.078-0.18
Kalker	1.4-5.2	0.88	2,48	0.056-0.20
Mermer	2.1-5.5	0.80	2,56	0.084-0.23
Kumtaşı				
*kuru	1.4-5.2	0.71	2,24	0.074-0.28
*ıslak	2.1-5.2			0.110-0.28
Kil				
*Nemli	1.4-1.7	1.3-1.7		0.046-0.056
*Islak	1.7-2.4	1.7-1.9	1,44-1,92	0.056-0.074
Kum				
*Nemli		1.3-1.7		0.037-0.046
*Islak	2.1-2.6	1.7-1.9	1,44-1,92	0.065-0.084

Topraktaki nem miktarı ısı özellikleri önemli ölçüde etkiler. Hava partikülleri arasına su girdiği zaman, bu temas direncini azaltır. Isıl iletkenlik kuru toprak için 0.25 W/ m K den ıslak toprak 2.5 W/m K e kadar değişkenlik gösterebilir. Isıl iletkenlik özgül nem eşiğinin üzerinde göreceli olarak sabittir. Ancak özgül nem eşiğinin altında ısı iletkenlik hızlı bir şekilde düşer. [5]

2.1.1.3 Su Hareketi

Suyun hareketi toprak boyunca transfer edilen ısıyı etkileyen çok önemli bir etkidir. Isı, iletimin yanı sıra suyun hareketinden dolayı olan tanışım sayesinde transfer edilir. [3]

2.1.1.4 Donma

Toprağın içerisinde bulunan ısı değiştiricinin etrafındaki toprak donduğunda, gizli ısı açığa çıkar. Bu sayede ısı iletkenlik artar ve ısı borudan daha geniş yüzeye transfer edilebilir. [3]

2.1.2 Toprak Isı Değiştirici Konfigürasyonu

Toprak içerisine yerleştirilen ısı değiştirici yatay ve dikey olarak yerleştirilebilir. Isı değiştiricisini yatay ya da dikey olarak yerleştirirken dikkat edilen bazı hususlar vardır. Bunlar; toprak alanı, mevcut toprak tipi ve kazı maliyetidir. [3]

2.1.2.1 Yatay Tip

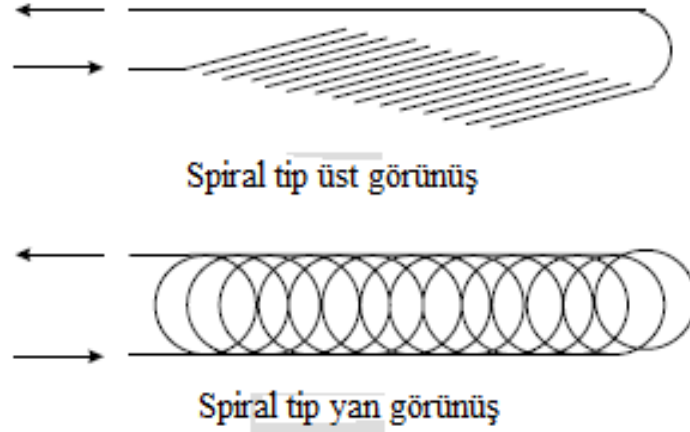
Yatay tip ısı değiştiriciler büyük ya da sert kayadan arındırılmış geniş alanlara yerleştirilir. Yatay tip ısı değiştiricileri genellikle küçük sistemler için daha uygundur. [3]

En çok kullanılan yatay konfigürasyonlar Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'deki gibidir. Kuzey Amerika'da öngörülen toprak derinliği 1,2 metre ile 1,8 metre arasındadır. İsveç'te ise en uygun derinliğin 1 metre olduğu ve kolektöründe yatay Şekilde yerleştirildiği durum olduğu kanıtlanmıştır. Avrupa'da üreticiler tarafından önerilen derinlik ise genellikle 0,5 metreden 1 metreye kadardır. Genellikle her bir metrede kazı maliyeti boru maliyetinden daha yüksektir. Bu yüzden tek bir çukurda birden çok boru kullanmak, borunun her bir metre başına elde ettiği enerjinin azalmasına rağmen ekonomik olacaktır. [3]

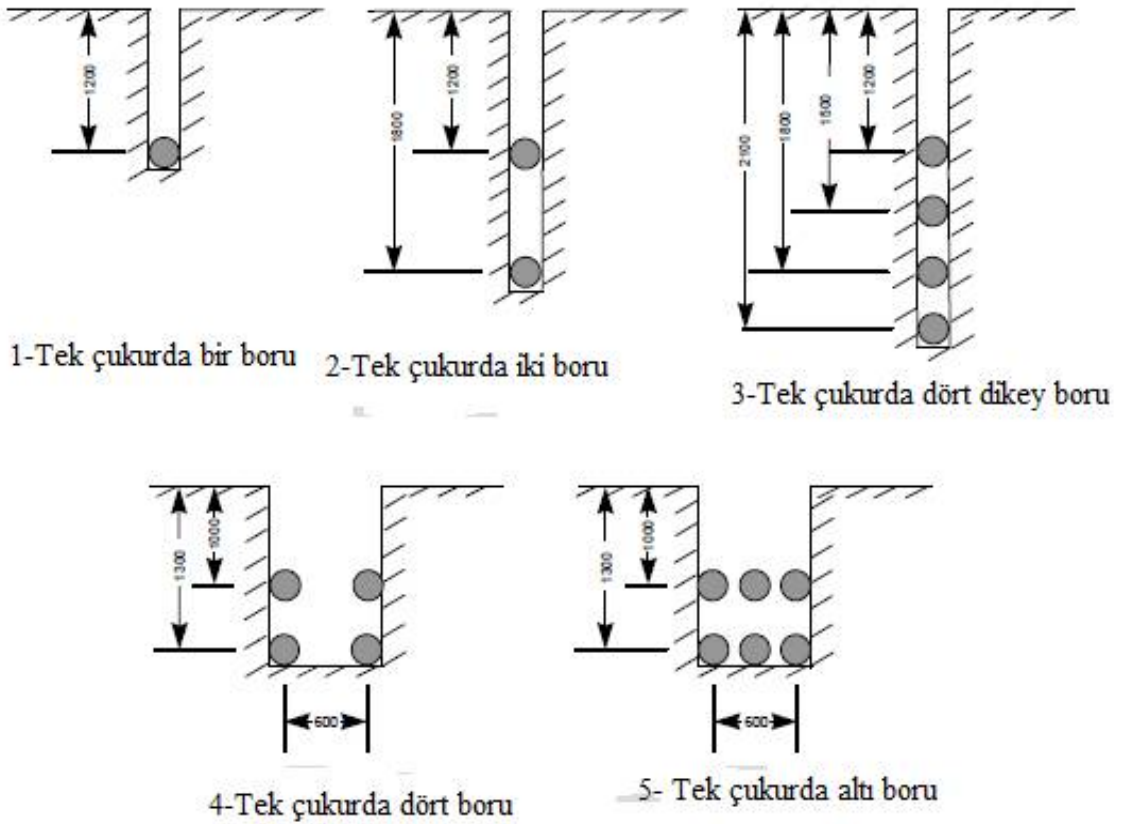
Yatay tip kolektörler tek borulu, çok borulu ve spiral gibi üç tipe yerleştirilebilir. Başlangıçta tek borulu sistem Amerika'da kullanılmıştır. Tek bir çukura yerleştirilen altı borudan fazla çok borulu sistem ise, çukurun her bir metredeki ısı kazancını arttırmıştır. Borular arasında öngörülen minimum mesafe ise 0,3 metredir. [3]

Spiral tip ise toprak alanını daha aza indirgemek için kullanılır.(Svec 1991). Burada toprak ısı değiştiricisi, gerdirilmış küçük çaptaki polietilen (PE) borunun 600 mm çapındaki uzatılmış borunun içinden geçirilerek yapılmıştır. Daha sonrasında bu, dar çukurda dik olarak ya da yatay olarak serilmış vaziyette geniş bir çukurun alt kısmına yerleştirilmıştir. Bu tipin en önemli avantajı, ısı çıkarım yüzeyinin etkili bir Şekilde halka

çapı olan silindir gibi olmasıdır. Tek borulu tip için çukur uzunluğu boru uzunluğunun %20'si ya da %30'u dur. Ama eşdeğer ısı performans için boru uzunluğu ikiye çıkartılabilir. Ayrıca spiral Slinky tip olarak da bilinir. [6]



Şekil 2. 4 Yatay olarak yerleştirilmiş spiral tip ısı değıştiricisi [3]



Şekil 2. 5 Farklı boru sayılarında yatay olarak yerleştirilmiş ısı değıştiricileri [3]

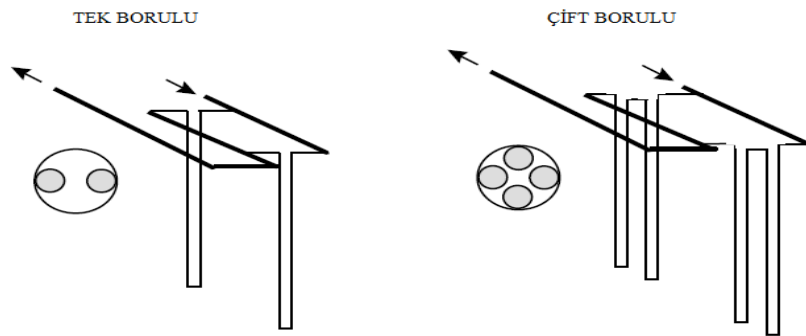
2.1.2.2 Dikey Tip

Dikey tip kolektörler kısıtlı alanı olan yerlerde kullanılır. Buna ek olarak dikey tip kolektörler daha az boru metrajına ve pompa enerjisine sahiptir. Bu tip kolektörler en çok toprak ve ısıl iletim katsayısı düşük olan alüvyonlu çakıl kabul edilen kaya tiplerinde kullanılır. [3]

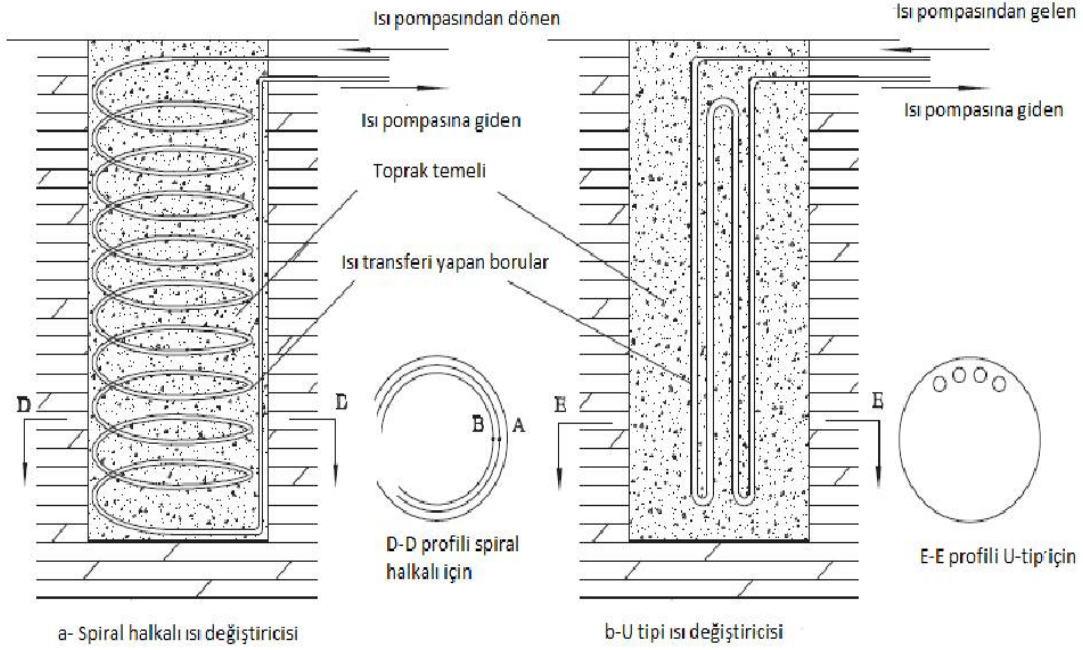
Dikey kuyularda en çok kullanılan kolektör tipleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekil 2.6'da gösterilen tek borulu kolektör genellikle Amerika'da kullanılır. İsviçre'de ise çift borulu kolektör kullanılır. Çukurlar genellikle 100 mm ile 150 mm çapı arasında, 15 metre ile 180 metre derinliğindedir. Çok derin açılmış çukurlar için problemler akışkanın en derin noktadan geri dönme sorunu ve statik basınçtır. Bu yüzden genelde 120 metreden daha az derinlikte çukur açılır. Almanya'da lisans verilebilmesi için çukur derinliğinin 100 metreden daha derin olması gerekmektedir. [3]

Kavanaugh'a göre U şeklinde bükülmüş aşağı ve yukarı hareket eden boruda biraz ısı kaybı olacaktır. Ancak bu ısı kaybı tek bir döngüde birçok çukur kullanılırsa azaltılabilir. Ticari kurulum ve daha büyük yerleşimlerde çukurlar paralel ve seri-paralel konfigürasyonlarda birbirine bağlanır. [7]

Yeterli aralıklarla birbirine komşu olarak dizilmiş çukurlar arasında göz ardı edilebilir karşılıklı bir ısıl etkileşim vardır. Hopkirk ve Kaelin'e göre önerilen ayırım en az 5 metreden tercihen 15 metre arasındadır. Genelde daha ve az sayıdaki çukurlar daha ekonomiktir. Daha az yer gerektirir. Derinlikle birlikte örselenmemiş toprağın sıcaklığı da artacaktır. Buna rağmen derinlik birçok etken tarafından örneğin pompa enerjisi gibi birçok etken tarafından sınırlandırılır. [8]



Şekil 2. 6 Dikey olarak yerleştirilmiş tek ve çift borulu U tip kolektörler [8]



Şekil 2. 7 Dikey olarak yerleştirilmiş spiral halkalı ve U tipi ısı değiştiricileri [3]

2.1.3 Kullanılan Malzeme

Kullanılan boru malzemesi bakım masrafını, pompanın kullandığı enerjiyi, genel harcamaları ve ısı pompasının performansını etkiler. Uygulamada uzunluk, materyal ve alan çok önemlidir. Örneğin; indirekt sirküle edilen sistemlerde toprak kolektörü için termoplastik boru kullanılır. Bakırda kullanılabilir. Ancak bakır tüm plastiklerden daha termal olmasına rağmen ekonomik olmaması plastik boruların kullanılmasına neden olmuştur. [3]

En çok kullanılan malzeme yüksek yoğunluğa sahip polietilen ve polibütildir. Bunlar bükülgen yapılı malzemedir. Isı değiştiricisinin ısınmış kısımları için PVC malzeme önerilmemektedir. Çünkü PVC, yer hareketlerine ve termal genişlemenin yaratmış olduğu dirence dayanım göstermemektedir. Borunun çapı pompanın gücünü az tutabilmek için yeteri kadar büyük olmalı ancak küçük olması da türbülanslı akışa neden olur. Bu da boru içerisinde dönen akışkan ile boru iç yüzeyi arasında daha fazla ısı transferine neden olur. Bu yüzden bu seçimde yapılabilir. [3]

Genel olarak kullanılan boru çapı 20 mm ile 40 mm arasındadır. Büyük çaplar daha pahalıdır, daha fazla akışkan hacmi gerektirir ve buna ek olarak küçük çaplı borulara oranla montajı daha zordur. [3]

Bakır borunun kullanıldığı sistemlerde topraktaki ısı değiştirici için genelde 12 mm çapında bakır boru kullanılır. Ayrıca bakır borunun toprağın durumuna göre korozyondan etkilenmemesi için çevresi plastik malzeme ile kaplanır. Bakır kullanmak toprak içerisindeki sarım sayısını azaltır, ayrıca pompanın basma gücünü azaltır. Bakır boru kullanılan sistemler pahalı olmasına rağmen, araştırmalar bakır borunun sarım dizaynına ve masrafları azaltmaya odaklanmıştır. [3]

2.1.4 Isı değiştirici içerisinde dolaştırılan akışkan tipi

İndirekt sistemler için su veya su-antifriz çözeltisi kullanılır. Dolaştırılan akışkanın donma noktası ısı pompasının ana sıcaklığının en az 5°C altında olmalıdır. Kuzey Avrupa'da doğal olarak antifriz çözeltisi kullanılır. İdeal akışkan ısı transferini iyi şekilde etkileyecek özelliklere, düşük viskoziteye, güvenli, ucuz ve uzun süreli kullanılabilir olmalıdır. Antifriz özeltilerinin uygunluğu ile ilgili düşünölen çalışma iki ana başlıkta toplanmıştır. [3]

Tuzlar;

-Kalsiyum klorür, sodyum klorür, potasyum karbonat

Organikler;

-Glikollar; etilen glikol, propilen glikol

-Alkoller; metil, izopropil ve etil

-Diğeri; potasyum asetat

Tuzlar, su ile birlikte çözelti şeklinde kullanılırlar. Ve genelde güvenli, ucuz, iyi bir ısı transferi karakteristiğine sahip ve uzun süreli kullanılabilir oldukları için tercih edilirler. En önemli dezavantajı ise çoğu metalde korozyona neden olmasıdır. Buna rağmen İsvite potasyum karbonat iyi bir ısı transferi karakteristiğine sahip olduğu için denenmektedir. [3]

Glikollar, sulu çözelti olarak kullanılırlar. Göreceli olarak güvenli, korozyona neden olmayan, uygun ısı transferi karakteristiğine sahiptir. Glikollar yaygın olarak Avrupa'da kullanılır. Etilen glikol kısmen zehirlidir. Buna rağmen propilen glikol neredeyse zehirsizdir. -10°C'nin altındaki sıcaklıklarda etilen glikol ve propilen glikolün akışkanlığı

azalır ve bu da daha yüksek pompa gücü gerektirir ve ısı pompası sisteminin verimliliği düşer. [3]

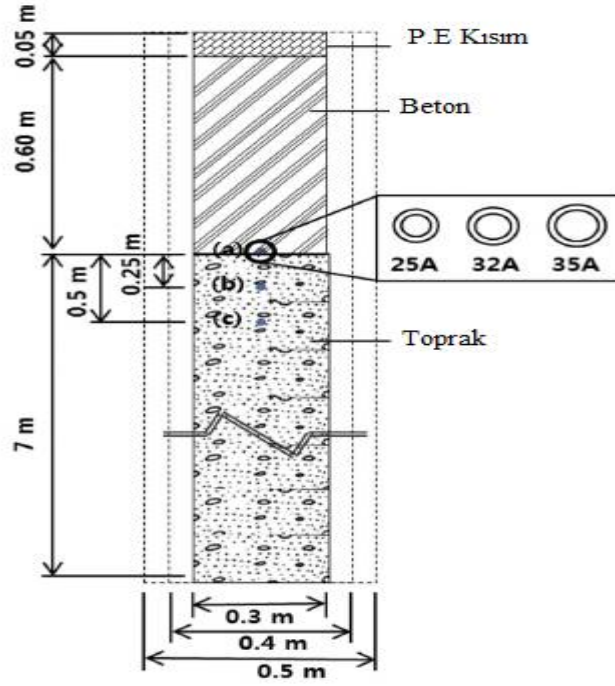
Alkoller, kısmen korozyona neden olan, uygun ucuzlukta ve uzun süreli kullanılan akışkanlardandır. Ana dezavantajı ise patlayıcı ve zehirli olmalarıdır. Alkoller Amerika'da popüler olmasına rağmen Avrupa'da kullanılmaz. Örneğin; Almanya'da yer altı sularına zarar verdiği için alkollerin kullanılmasına izin verilmez. Kuzey Amerika'da ise potasyum asetatı ilgi vardır. [3]

YATAY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI DEĞİŞTİRİCİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE NÜMERİK ANALİZ

3.1 Yatay Tip Toprak Isı Değıştiriciler İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

Nam ve Chae [10]'nin yaptığı çalışmada, yatay tip ısı değıştiricilerin optimum dizaynı için boru içerisinde dolaşan su ile toprak arasındaki ısı değışim oranları nümerik ortamda hesaplanmıştır. Topraktaki ısı transferi, sonlu eleman yöntemiyle hesaplanmıştır. Toprak yüzeyindeki ısı akısı, toplam radyasyon, atmosferik radyasyon, yer yüzeyinden zamanla olan uzun dalga ışınımı, hissedilir ve gizli ısı akıları ile hesaplanmıştır. Nam ve Chae'nin çalışmasında modelleme Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi boruların çapları sırasıyla 25 mm, 32 mm ve 35 milimetredir. Toprak derinliği 0,65 metredir. Borunun üst kısmı betonla kaplı iken toprağın alt kısmı toprakla temas halindedir. Toprak genişliği sırasıyla 0,30 m, 0,40 m ve 0,50 metredir. Bu çalışmada hedeflenen, optimum montaj derinliği, boru çapı ve toprak genişliğinin ısı transferi üzerindeki etkisidir. Birbiriyle karşılaştırılan modellemeler Çizelge 3.1'deki gibidir.

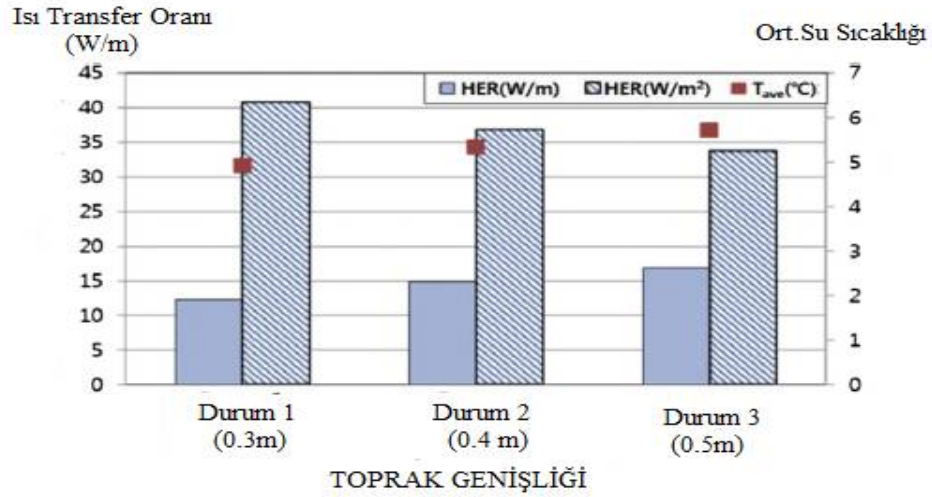


Şekil 3. 1 Nam ve Chae Numerik Modelleme [10]

Çizelge 3. 1 Birbiriyle karşılaştırılan teknik özellikleri verilmiş geometriler [10]

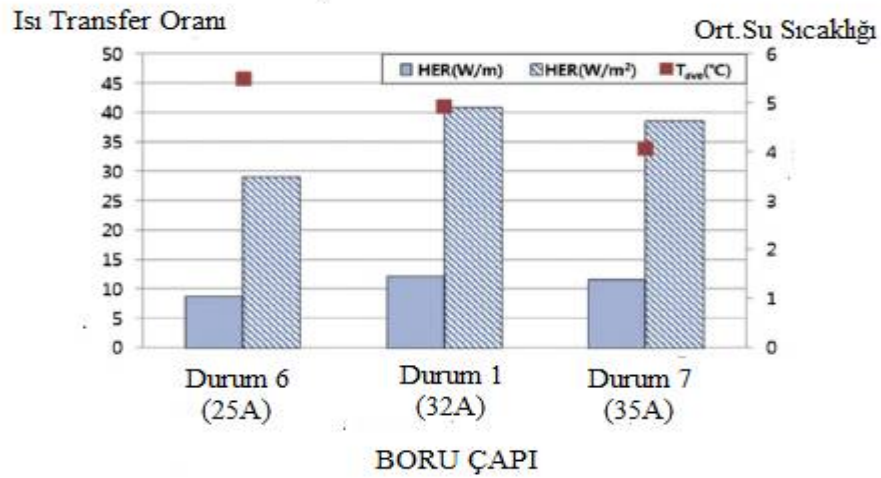
NUMERİK MODELLEME	Boru Çapı	Toprak Genişliği (m)	Akış oranı (L/min)	Su Sıcaklığı	Operasyon zamanı (saat)	Isıtma/Soğutma
Durum 1	32	0.3	9,52	3	9	ISITMA
Durum 2	32	0.4	9,52	3	9	ISITMA
Durum 3	32	0.5	9,52	3	9	ISITMA
Durum 4	32	0.3	9,52	3	9	ISITMA
Durum 5	32	0.3	9,52	3	9	ISITMA
Durum 6	25	0.3	9,52	3	9	ISITMA
Durum 7	35	0.3	9,52	3	9	ISITMA
Durum 8	32	0.3	9,52	0	9	ISITMA
Durum 9	32	0.3	9,52	5	9	ISITMA
Durum 10	32	0.3	4,76	3	9	ISITMA
Durum 11	32	0.3	11,42	3	24	ISITMA
Durum 12	32	0.3	2,85	3	24	ISITMA
Durum 13	32	0.3	6,66	3	24	ISITMA
Durum 14	32	0.3	9,52	3	24	ISITMA
Durum 15	32	0.3	11,42	3	24	ISITMA
Durum 16	32	0.3	9,52	0	24	ISITMA
Durum 17	32	0.3	9,52	5	24	ISITMA
Durum 18	32	0.3	9,52	30	24	SOĞUTMA
Durum 19	32	0.3	9,52	35	24	SOĞUTMA
Durum 20	32	0.3	9,52	40	24	SOĞUTMA

Çizelge 3.1’de verilen geometrilerin nümerik analiz sonuçlarına göre birim metre ve birim metrekare başına elde edilen ısı miktarı boru çapı, toprak genişliği, akışkan debisi, su sıcaklığı gibi parametreler temel alınarak karşılaştırılmıştır. Nümerik analizi yapılan geometrilere ait sonuçlar şekillerde belirtildiği gibidir.



Şekil 3. 2 Toprak genişliğinin ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10]

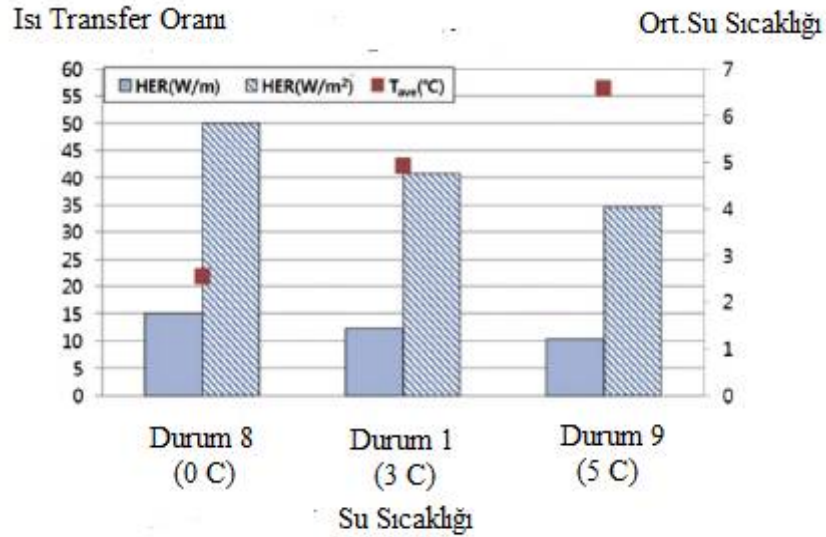
Şekil 3.2’den görüldüğü gibi toprak genişliği arttıkça topraktan suya birim metre boru uzunluğu başına düşen ısı miktarı artarken, borunun yerleştirildiği yüzeyden birim metrekarede elde edilen ısı miktarı azalmaktadır. Ortalama su sıcaklığı ise toprak yüzeyi 0,4 metre olan modellemeye daha yüksektir. Boru çapının topraktan akışkana olan ısı transferi üzerindeki etkisi ise Şekil 3.3’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 3 Boru çapının ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10]

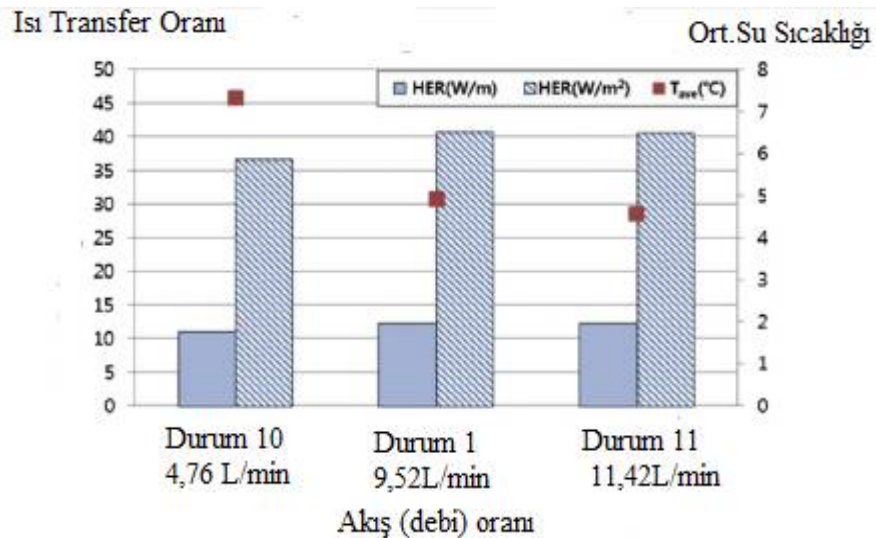
Şekil 3.3'den anlaşıldığı üzere toprak içine yerleştirilen boru 32A iken birim metre ve birim metrekareden elde ısı miktarı en fazladır. Boru çapı 32A olduğunda suyun ortalama sıcaklığı 50°C civarındadır.

Su giriş sıcaklığının ısı transfer oranı üzerindeki etkisi Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3. 4 Su sıcaklığının ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10]

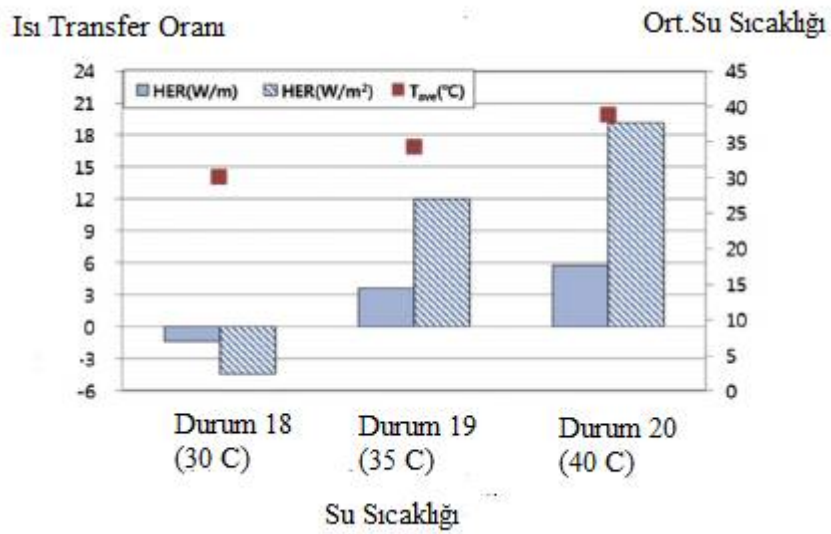
Şekil 3.4'de görüldüğü gibi su giriş sıcaklığı 0°C iken birim metre ve birim metrekare başına elde edilen ısı en fazladır. Su sıcaklığı 50°C iken elde edilen ısı miktarı en düşüktür. Debi miktarının ısı transfer oranı üzerindeki etkisi Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 5 Akışkan debisinin ısı transferi üzerindeki etkisi (Isıtma) [10]

Şekil 3.5'den anlaşıldığı gibi suyun akış oranı arttıkça birim metre ve birim metre kareden elde edilen ısı miktarının arttığı görülmektedir. Ancak Durum 1 ile Durum 11 arasında ısı transfer farkının çok fazla olmadığı görülmektedir. Ortalama su sıcaklığının Durum 11'de Durum 1'den daha düşük olmasının sebebi su giriş sıcaklıkları her iki durumda aynı olmasına rağmen Durum 11'de kütleli debi daha fazla olduğu için suyun ortalama sıcaklığı bu durumda daha düşüktür.

Şekil 3.6'da soğutma durumu için farklı su giriş sıcaklıklarındaki modellemelerin ısı transfer oranları gösterilmiştir.

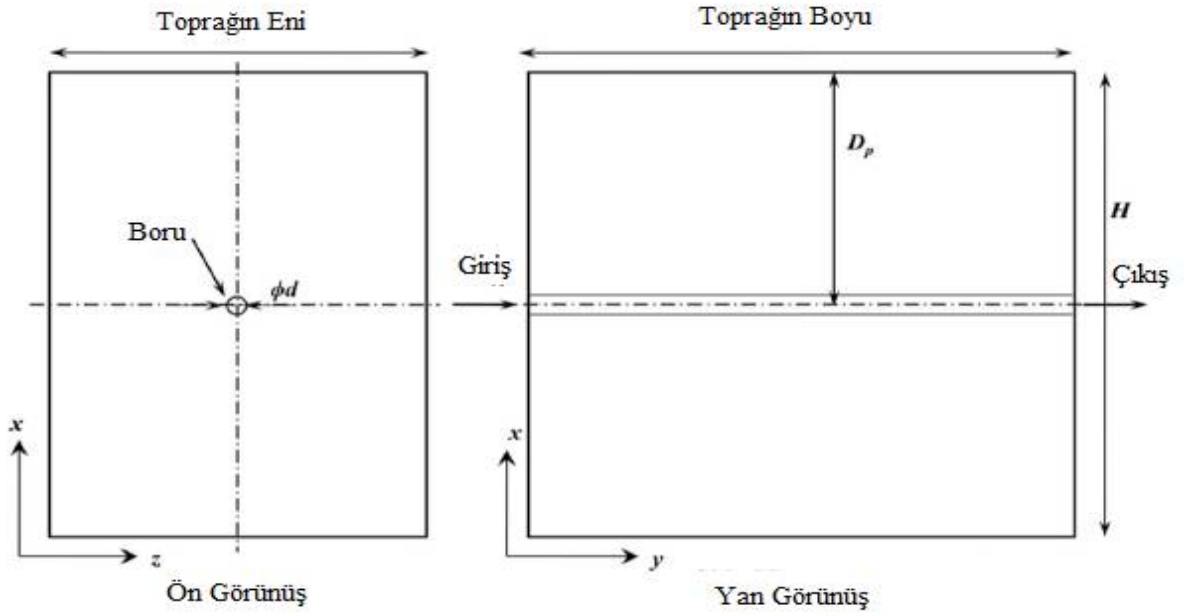


Şekil 3. 6 Su giriş sıcaklığının ısı transfer oranı üzerinde etkisi (Soğutma) [10]

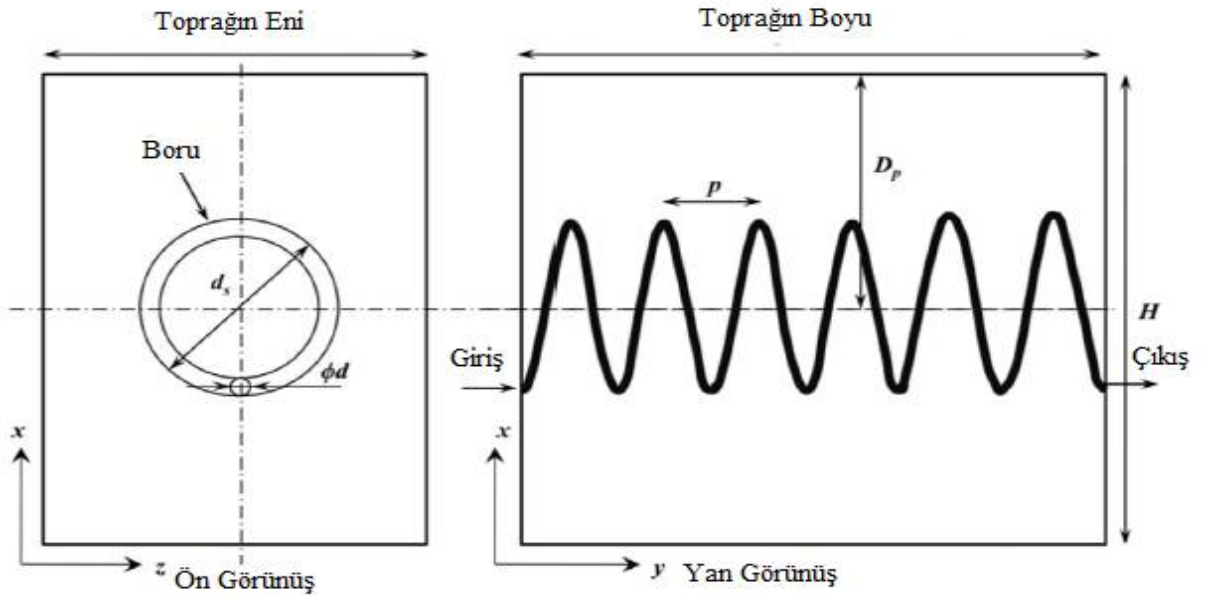
Şekil 3.6'da görüldüğü gibi soğutma durumu için su sıcaklığı 30°C olduğunda suyun toprağa ısı vermesi beklenirken topraktan ısı aldığı için birim metre ve birim metrekareden elde ettiği ısı negatif gözükmektedir. Yani sistemde soğutma yapılabilmesi için su sıcaklığının 30°C nin üzerinde olması gerekmektedir.

Dasare vd. [11] toprak içerisine yatay olarak yerleştirilmiş lineer, helisel ve slinky tip ısı değiştiricilerini karşılaştırmışlardır. Isı değiştiriciler toprak içerisine her bir tip için 3 farklı derinlikte yerleştirilmiştir. Bu çalışmada genelleştirilmiş kütle, momentum ve enerji denklemleri, ısı değiştiricilerin ısı performansını analiz etmek için toprak, boru ve akışkan için kullanılmıştır. Toprak içerisindeki sıcaklık, mevsimsel ve toprak derinliğinin fonksiyonu olarak ifade edilmiş, ve her derinlikte toprağın homojen olduğu düşünülmüştür. Analizler bir yıl olarak düşünülmüştür. Boru malzemesi polietilen ve

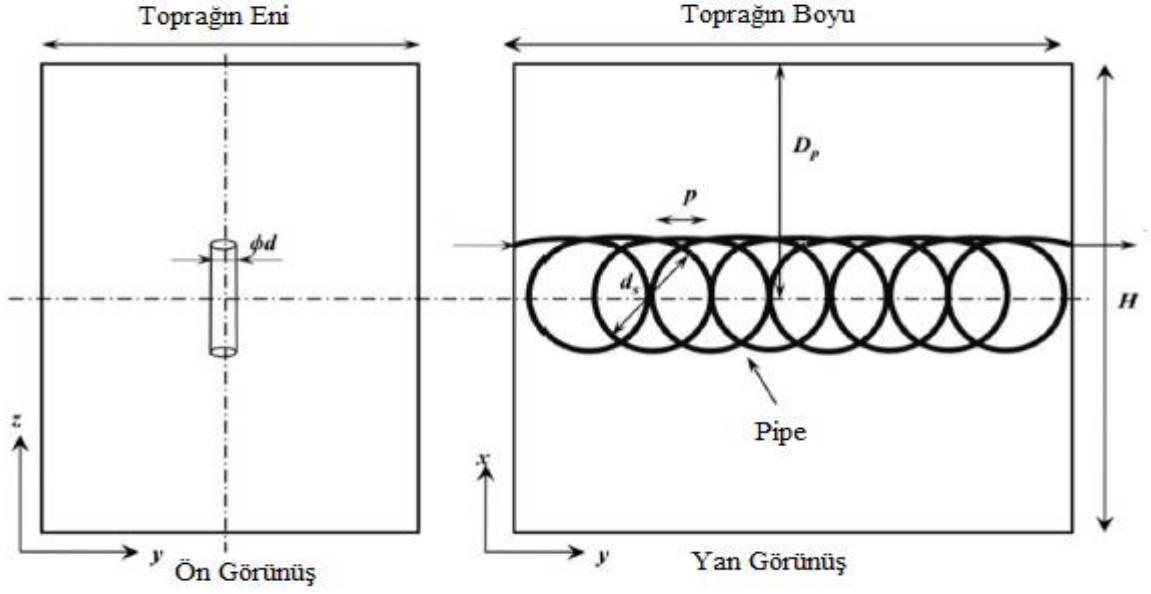
borunun çapı 5 cm dir. Ayrıca yapılan hesaplamalar sonucunda akış türbülanslı olduğundan analiz k- ϵ modeli aracılığıyla yapılmıştır. Dasare vd. nümerik analizini yaptığı ve birbiriyle ısı performans yönünden karşılaştırdığı geometriler Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 7 Lineer tip toprak ısı değıştircinin nümerik olarak modellenmesi [11]

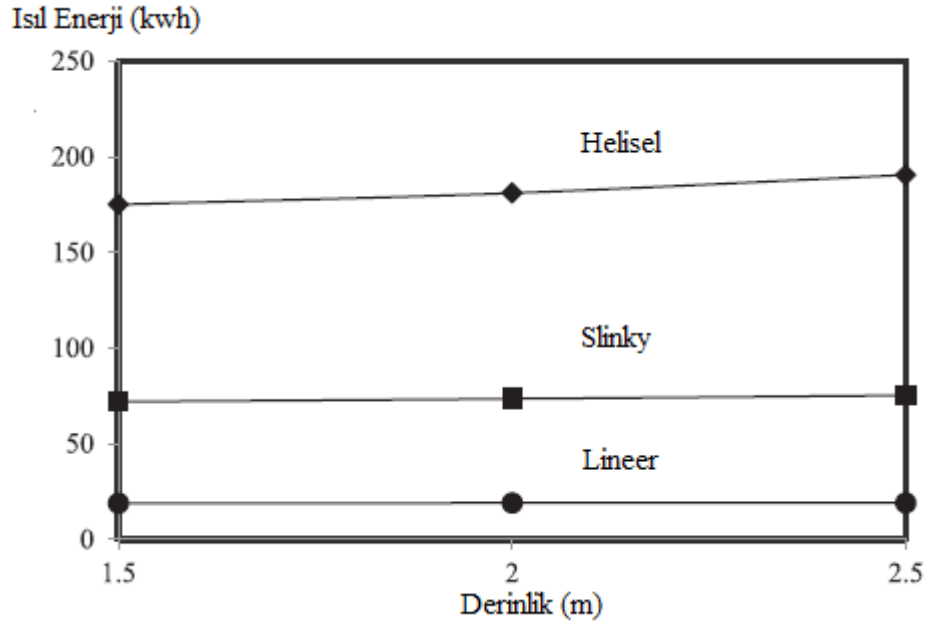


Şekil 3. 8 Helisel tip toprak ısı değıştircinin nümerik olarak modellenmesi [11]



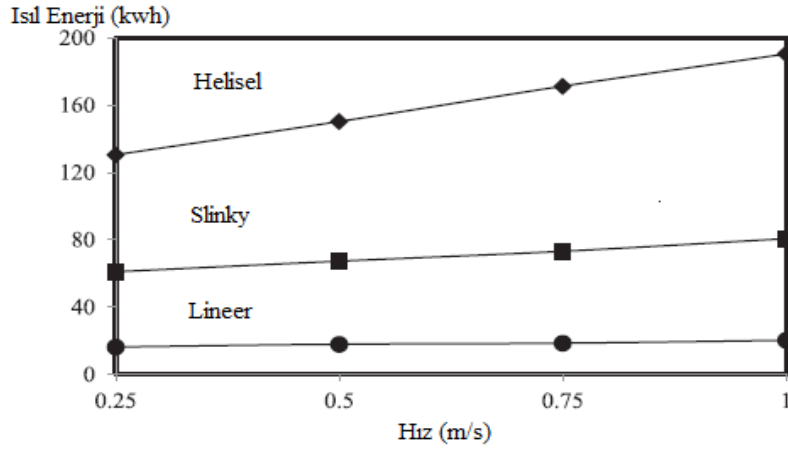
Şekil 3. 9 Slinky tip toprak ısı değiştiricinin nümerik olarak modellenmesi [11]

Analizler sonucunda ısı değiştiricilerin yerleştirildiği toprak derinliğinin, boru içinde dolaşan akışkan hızının ve toprağın ısıl iletim katsayısının topraktan akışkana transfer olan ısıya etkisini gösteren grafikler aşağıda belirtildiği gibidir. Şekil 3.10'da toprak derinliğinin farklı ısı değiştiriciler için ısı transferi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



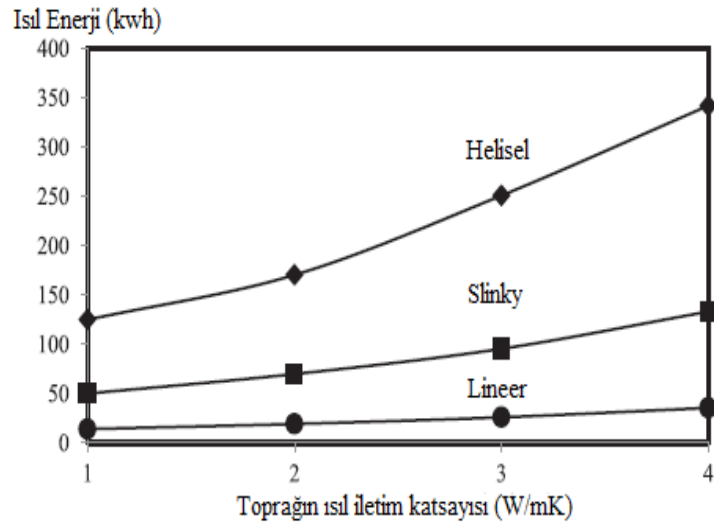
Şekil 3. 10 Toprak derinliğinin ısı transferi üzerindeki etkisi [11]

Elde edilen sonuçlara göre nümerik analizleri yapılan ısı değiştirciler arasında ısı transferi en fazla olan ısı değiştircisi helisel tiptir. Lineer tip üç farklı tip arasında ısı performans olarak en düşüktür. Ayrıca Şekil 3.10’da görüldüğü gibi üç farklı tip içinde toprak derinliği arttıkça ısı performans artmaktadır. Toprak içerisinde yerleştirilmiş ısı değiştircilerin içerisinde dolaşan suyun hızının ısı performans üzerindeki etkisi Şekil 3.11’de gösterildiği gibidir.



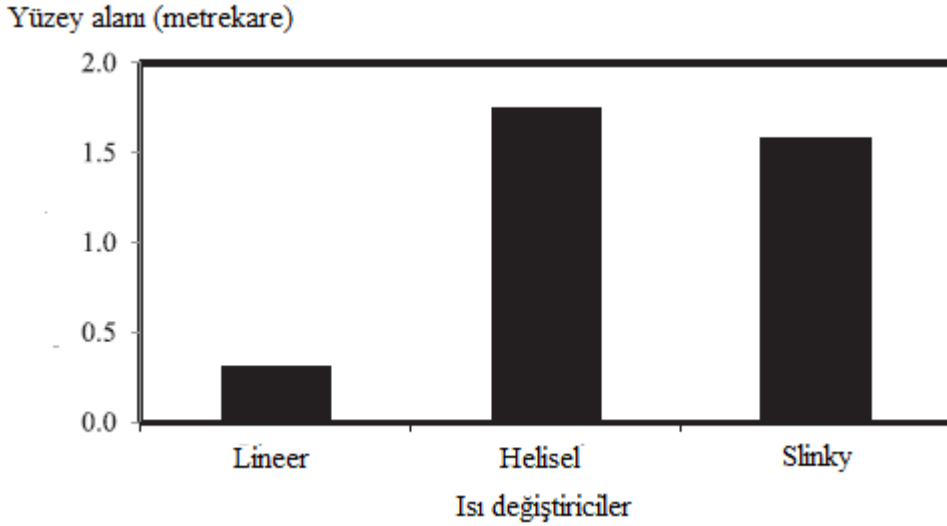
Şekil 3. 11 Su hızının ısı transferi üzerindeki etkisi [11]

Görüldüğü üzere her üç ısı değiştircide de su hızı 0,25 m/s den 1 m/s doğru arttıkça elde edilen ısı miktarı artmaktadır. Helisel tip ısı değiştircideki artış diğerlerine oranla daha yüksek seviyededir. En düşük seviyede olan ise lineer tip ısı değiştircidir. Şekil 3.12’de toprağın ısı iletim katsayısının ısı performans üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3. 12 Toprağın ısı iletim katsayısının ısı transferi üzerindeki etkisi [11]

Toprağın ısı iletim katsayısı arttıkça ısı değiştircilerin topraktan elde ettikleri ısı miktarı artmaktadır. Ayrıca helisel tip ısı değiştircide toprağın ısı iletim katsayısı arttıkça topraktan akışkana daha fazla ısı transferi olmaktadır. Şekil 3.13'de ise lineer, slinky ve helisel tip ısı değiştircilerin ısı transfer yüzeyleri belirtilmiştir.



Şekil 3. 13 Farklı tip ısı değiştirciler için ısı transfer yüzeyi (m^2) [11]

Şekil 3.13'den görüldüğü gibi lineer tip ısı değiştircinin ısı transfer yüzeyi $0,4 m^2$, helisel tip ısı değiştircinin $1,75 m^2$, slinky tip ısı değiştircinin ise $1,60 m^2$ civarındadır. Aynı toprak ebatlarında helisel tip ısı değiştircinin ısı transfer yüzeyi diğerlerine oranla daha fazla olduğundan ısı miktarı helisel tipte doğal olarak daha fazladır. Isı transfer yüzeyi bakımından helisel tip, lineer tipten 4 kat daha fazla olmasına rağmen diğer grafiklere bakıldığında helisel tipten elde edilen ısı miktarı lineer tip ısı değiştirciye oranla 4 kattan daha fazladır. Ayrıca helisel tip ısı değiştircinin ısı transfer yüzeyi slinky tip ısı değiştirci ile aynı olmasına rağmen grafiklerden anlaşılacağı üzere helisel tip ısı değiştirciden elde edilen ısı miktarı, slinky tip ısı değiştirciden elde edilen ısı miktarının yaklaşık 2,4 katıdır. Görüleceği üzere helisel tip ısı değiştircisi, dizayn edilmiş bu ortam şartlarında en verimli ısı değiştircidir.

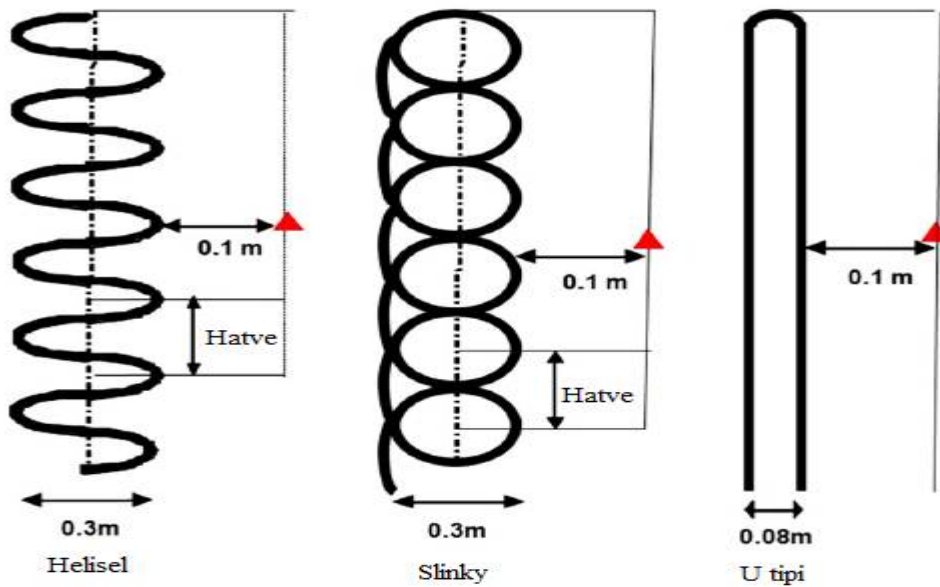
Yoon vd. [12] $5m \times 1m \times 1m$ ebatlarındaki çelik bir kutu içerisine yatay olarak yerleştirilmiş U tipi, helisel ve slinky tip toprak kaynaklı ısı değiştircilerin ısı değişim oranlarını deneysel incelenmiştir. Bu çalışmada çelik kutu içerisi kum ile doldurulmuştur. Isıl testler ısı değiştirciler için 30 saat boyunca yapılmıştır. Deneysel

çalışmada ekipmanlar bir adet ısıtıcı, pompa, akış ölçer, su tankı ve elik kutudur. Toprak elik kutu içerisine homojen olarak sıkıştırılmıştır. elik kutu 10 mm kalınlığında çift katmanlı polietilen ile izole edilmiştir. Sıcaklık sensörleri toprak ısı değiştiricinin içine boru çıkışına konulmuştur. ısı değiştirici yaklaşık 50 cm derinliktedir. Polibütan boruların giriş çıkış çapı sırasıyla 16 mm ve 20 mm dir. Birbiriyle deneysel olarak karşılaştırılan ısı değiştiricilerin hatve çapları, toplam boru uzunlukları, slinky ve helisel için toplam halka sayısı izelge 3.2'deki gibidir.

Çizelge 3. 2 ısı değiştiricilerin teknik özellikleri [12]

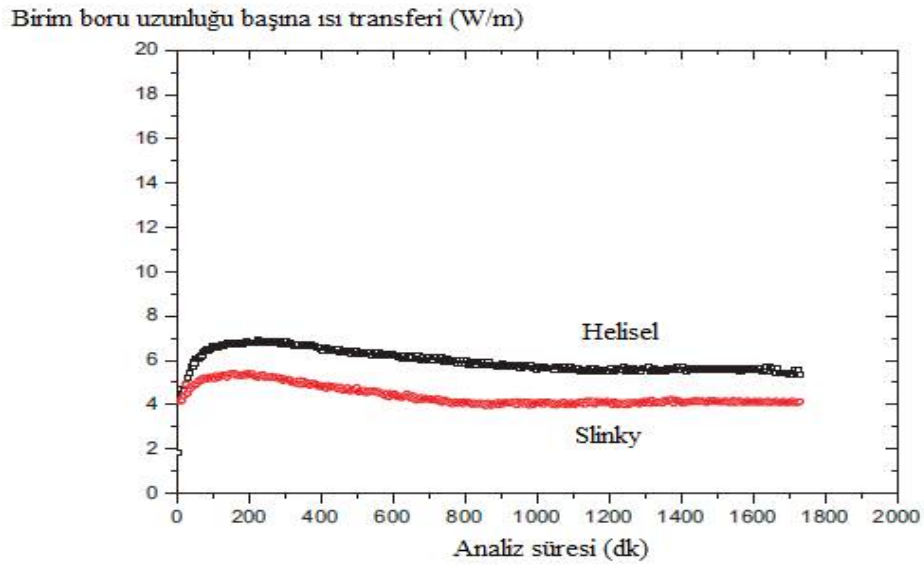
ısı değiştiriciler	Hatve apı (P)	Halka Sayısı (N)	Toplam Uzunluk (L)
Helisel	P=6 cm	N=63	L=62 m
	P=30 cm	N=15	L=18 m
Slinky	P=6 cm	N=63	L=66 m
	P=30 cm	N=15	L=24 m
U tipi	P= 8 cm		L= 8 m

Yoon vd. deneysel karşılaştırdığı ısı değiştiricilerin geometrileri şekil 3.14'de gösterilmiştir.



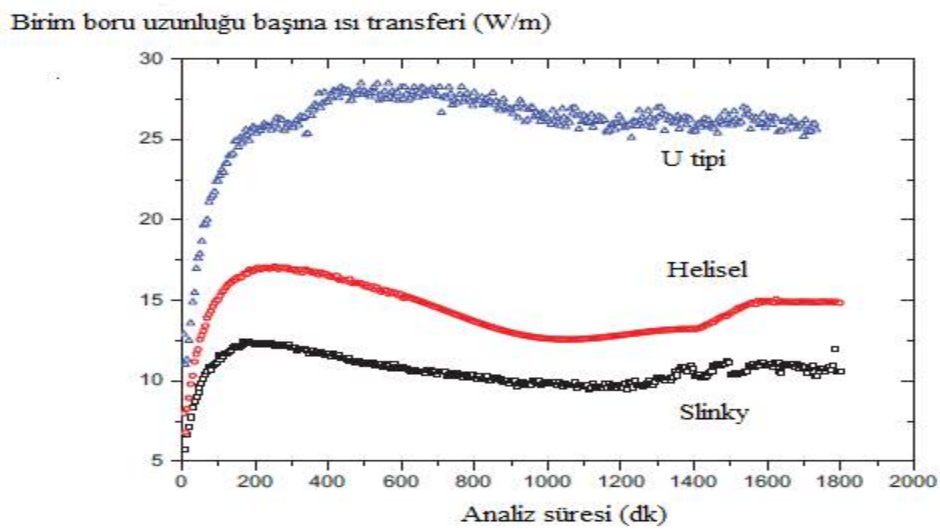
Şekil 3. 14 ısı değiştiricilerin geometrileri [12]

Şekil 3.15'de hatve çapları 6 cm olan slinky ve helisel tip ısı değıştircilerin birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı miktarı gösterilmiştir.



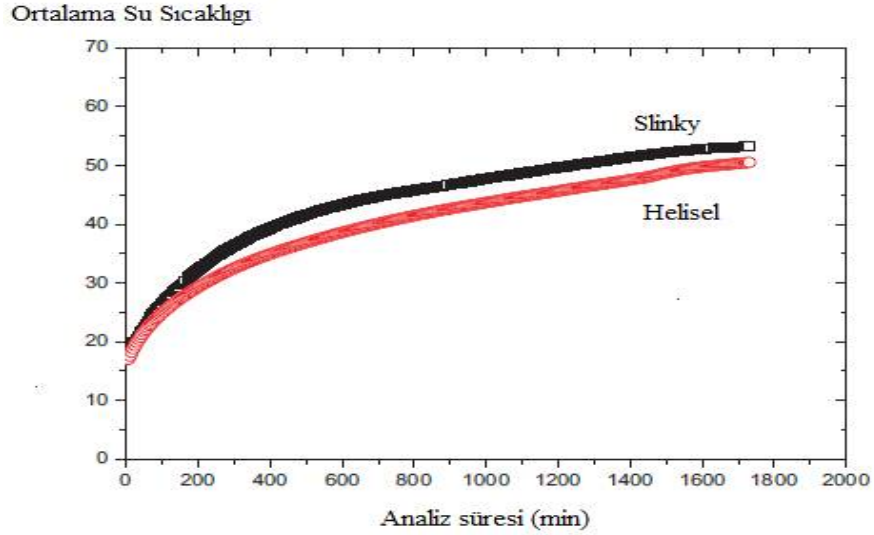
Şekil 3. 15 Helisel ve slinky tip ısı değıştirci için ısı miktarı (Hatve çapı=6 cm) [12]

Görüldüğü gibi helisel tip ısı değıştircide slinky tip ısı değıştirciye oranla daha fazla ısı transferi olmuştur. Helisel tipte ortalama ısı transferi 5,8 W/m iken, slinky de 4 W/m dir. Zamana bağlı olarak helisel tip ısı değıştirci ve slinky tip ısı değıştircide de düşüş gözlenmiştir. Her iki tipte de yaklaşık 175 dakikada elde edilen ısı miktarı pik değere ulaşmıştır. Şekil 3.16'da hatve çapları 30 cm olan helisel ve slinky tip ısı değıştirci ile U tipi ısı değıştirciden birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı miktarı gösterilmiştir.

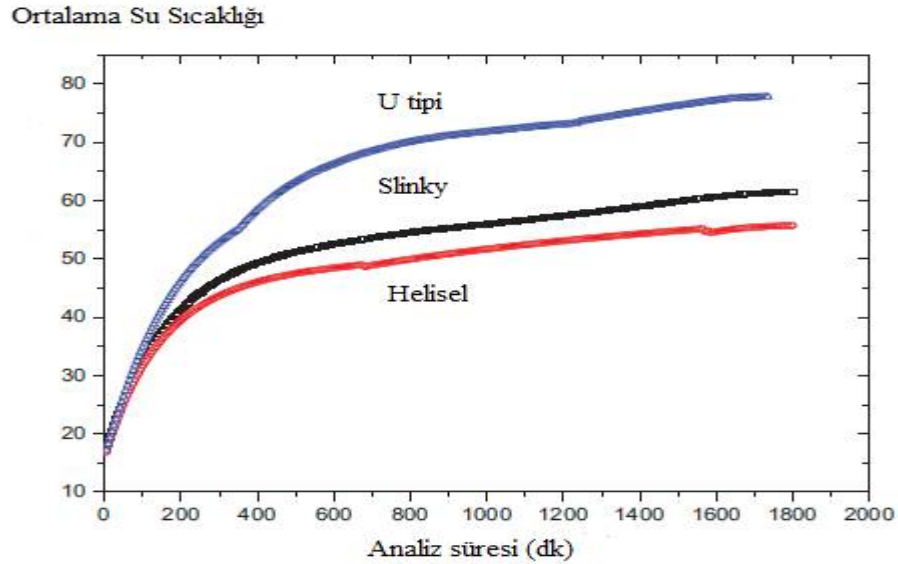


Şekil 3. 16 Helisel, slinky ve u tipi ısı değıştirci için ısı miktarı (Hatve çapı=30 cm) [12]

Hatve çapı 30 cm olan helisel ve slinky tip ısı değıştircide zamanla elde edilen ısı miktarı benzer şekilde eğilim göstermiştir. Helisel tipten elde edilen ısı miktarı ortalama 13,5 W/m iken, slinky tip ısı değıştircide ortalama 10 W/m dir. U tipi ısı değıştirci de ise yaklaşık 25 W/m dir. Görüldüğü gibi U tipi ısı değıştirciden elde edilen ısı miktarı diğerlerine oranla daha yüksek değerdedir. Slinky, helisel ve U tipi ısı değıştirci için ortalama su sıcaklık değerleri Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 17 Slinky ve helisel tip ısı değıştirciler için ortalama su sıcaklığı (Hatve çapı=6cm) [12]



Şekil 3. 18 Slinky, helisel ve U tipi ısı değıştirci için ortalama su sıcaklığı (Hatve=30 cm) [12]

Şekillerden de görüldüğü gibi hatve çapı 6 cm ve 30 cm de ortalama su sıcaklığı slinky ve helisel tip ısı değiştirici de benzer eğilim göstermekle birlikte slinky tip ısı değiştiricide ortalama su sıcaklığı helisel tipten daha yüksektir. Slinky tip ısı değiştiricide 1800 dk sonunda su sıcaklığı 60°C iken helisel tip ısı değiştirici de 55°C dir. U tipi ısı değiştirici de su sıcaklığı 1800 dakika sonunda 75°C dir.

Çizelge 3.3'de ise deneysel çalışma sonunda slinky, helisel ve U tipi ısı değiştirici için birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı miktarı ve toplam ısı miktarı gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı miktarı U tipi ısı değiştiricide diğerlerine oranla daha yüksektir. U tipi ısı değiştiricide birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı oranı 26 W/m iken 30 cm hatve çaplı helisel tip ısı değiştirici için aynı oran 14,45 W/m, 30 cm hatve çaplı slinky tip ısı değiştirici de 10,64 W/m dir. Deneysel sonuçlara bakıldığında hatve çapı arttıkça helisel ve slinky tip ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarının arttığı görülmüştür. Aynı hatve çaplarında helisel tipin slinkyye oranla daha verimli ısı değiştirici olduğu gözlemlenmiştir.

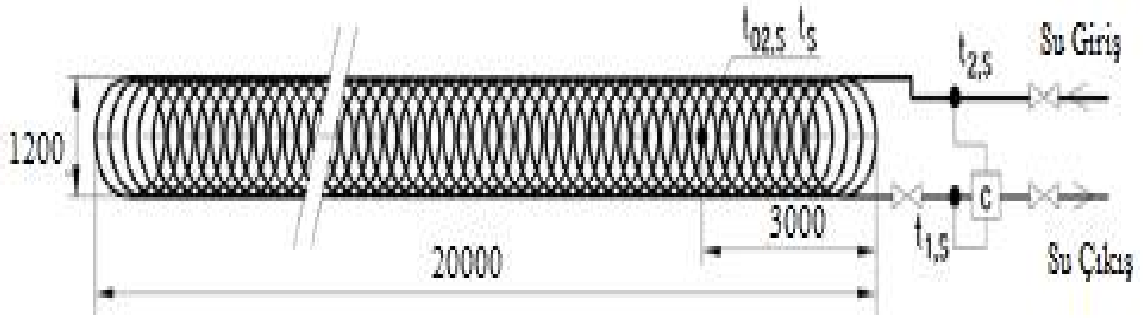
Çizelge 3. 3 Slinky, helisel ve U tipi ısı değiştiricilerden elde edilen ısı miktarı [12]

Isı değiştiriciler	Hatve çapı (P)	Isı değişim oranı (W)	Birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı oranı (W/m)
Helisel	P=6 cm	373,2	6,02
	P=30 cm	260,21	14,45
Slinky	P=6 cm	290,61	4,42
	P=30 cm	255,3	10,64
U tipi		210,89	26

Adamovsky vd. [13] yatay olarak yerleştirilmiş lineer (U tipi) toprak ısı değiştirici ile slinky tip ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarını 2012-2013 ısıtma periyodunda bir yıl analiz etmişlerdir. Toprak sıcaklığı dış ortam sıcaklığı ve toprağın derinliğine bağlı olarak ifade edilmiştir. Isı değiştiricilerde kullanılan boru polietilendir. Boru giriş ve çıkışında su sıcaklığını ölçmek için sensörler mevcuttur. Ayrıca ısı değiştiricinin 20 cm üzerine de sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Isı değiştiricilerin içerisinde dolaşan akışkanın %33'ü etanol %67'si sudur. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de ısıl analizleri yapılan ısı değiştiricilerin geometrileri gösterilmiştir.



Şekil 3. 19 Lineer (U) tipi ısı değıştirci [13]

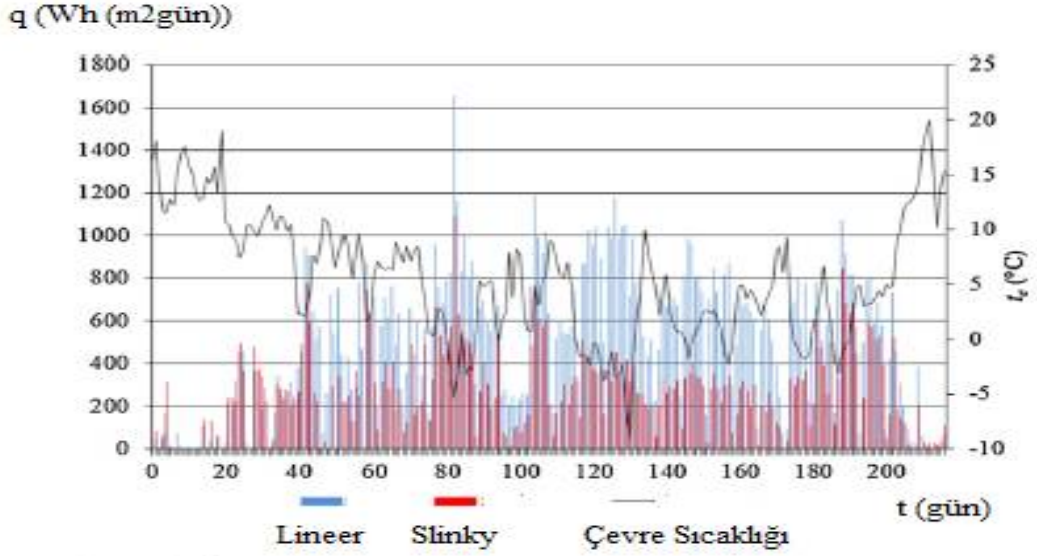


Şekil 3. 20 Slinky tip ısı değıştirci [13]

Linear (U) tip ısı değıştircinin toplam boru uzunluğu 330 metredir. Linear tip ısı değıştirci 1,80 metre derinliğe konulmuştur. Su giriş ve çıkışının 4 metre ilerisine ve su giriş çıkışına sensörler konularak toprağın ve akışkanın sıcaklığı ölçülmüştür. Linear tip ısı değıştircinin hatve çapı 1 metredir. Boru giriş çıkışından ısı farkını ölçen elektronik bir cihaz konulmuştur. Su giriş ve çıkışına kesme vanaları konulmuştur.

Slinky tip ısı değıştircinin ise toplam boru uzunluğu 200 metredir. Slinky tip ısı değıştirci 1,50 metre derinliğe konulmuştur. Su giriş ve çıkışının 3 metre ilerisine ve su giriş çıkışına sensörler konularak toprağın ve akışkanın sıcaklığı ölçülmüştür. Slinky tip ısı değıştirci de 53 adet hatve vardır ve hatveler arası uzaklık 0,38 metredir.

Şekil 3.21 ve Çizelge 3.4'de 2012-2013 ısıtma periyodu boyunca her iki ısı değıştirci için elde edilen ısı miktarı gösterilmiştir.



Şekil 3. 21 Isı değiştiriciler için bir yıl boyunca günlere göre elde edilen ısı miktarı [13]

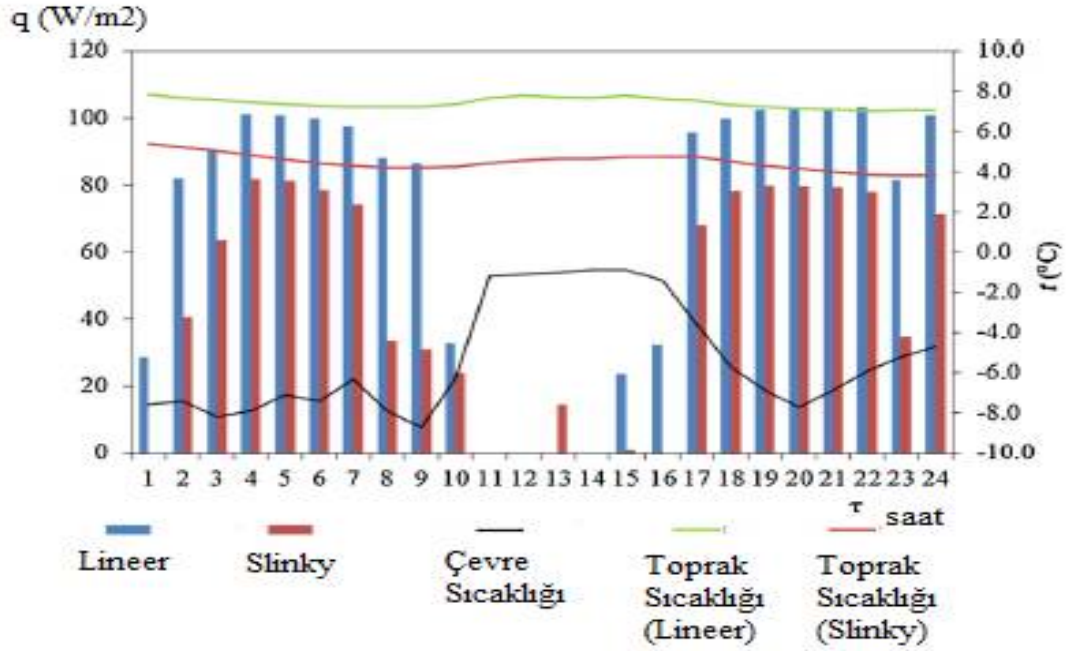
Çizelge 3. 4 Isı değiştiricilerin topraktan elde ettikleri yıllık ısı transfer miktarı [13]

Topraktan elde edilen ısı miktarı	Lineer tip ısı değiştiricisi	Slinky tip ısı değiştiricisi
Ortalama (Wh/(m2gün))	503,38	264,25
Maksimum (Wh/(m2gün))	1658,3	1093,47
Toplam (kwh/m2)	109,23	57,34

Çizelge 3.4'den görüldüğü gibi lineer tip ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı slinky tip ısı değiştiriciye göre daha fazladır. Lineer tip ısı değiştiriciden ısıtma periyodu boyunca elde edilen ısı miktarı 109,23 kwh/m2 dir. Lineer tip ısı değiştiriciden gün içerisinde elde edilen maksimum ısı miktarı 1658,3 tür. Slinky tip ısı değiştiriciden analiz süresince elde edilen ısı miktarı 57,34 kwh/m2 dir. Slinky tip ısı değiştiriciden elde edilen ortalama günlük ısı miktarı 264,25 Wh/m2gün dür. Şekil 3.22 ve Çizelge 3.5'de slinky ve lineer tip ısı değiştiricisi için kış mevsiminde bir gün boyunca elde edilen ısı miktarı gösterilmiştir.

Çizelge 3. 5 Lineer ve slinky tip ısı değiştirici için kiş mevsiminde günlük toplam ısı miktarı [13]

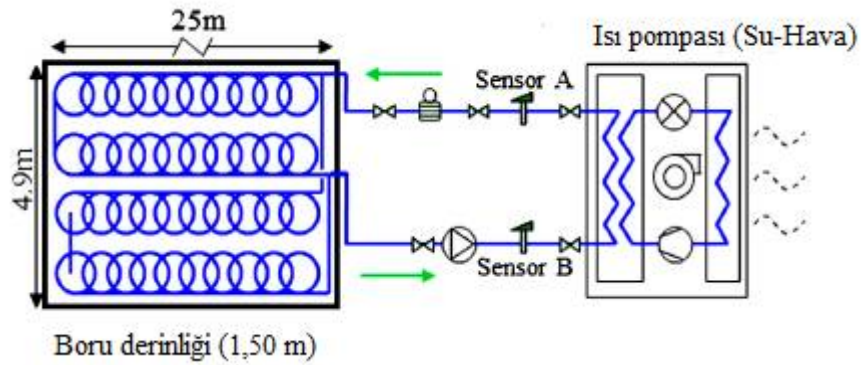
Topraktan elde edilen ısı miktarı	Lineer tip ısı değiştirici	Slinky tip ısı değiştirici
Ortalama (W/m ²)	68,84	45,54
Maksimum (W/m ²)	103,12	81,66
24 saatte elde edilen toplam ısı (Wh/m ²)	1652,19	1092,98



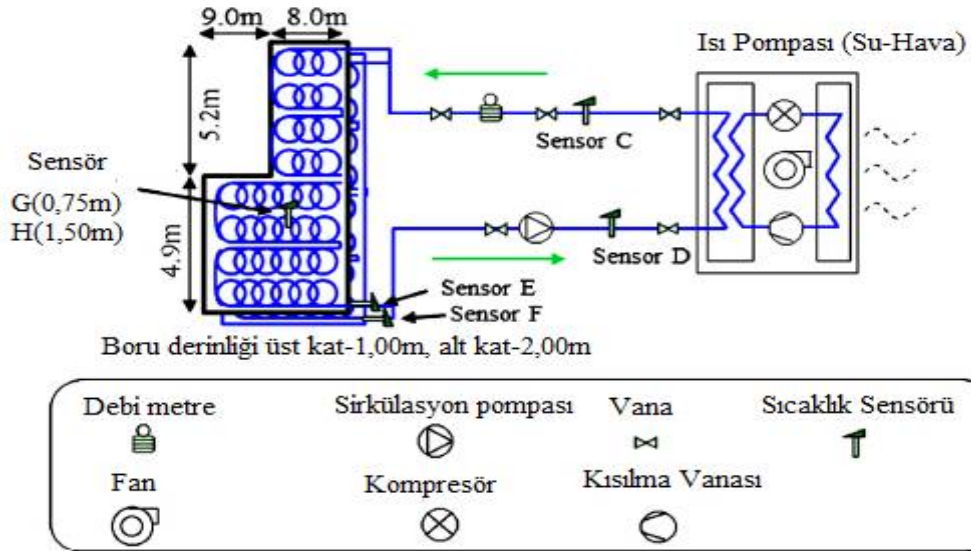
Şekil 3. 22 Isı değiştiricilerin kiş mevsiminde bir günde elde ettiği ısı miktarı [13]

Şekil 3.22 ile Çizelge 3.5'den grldği gibi lineer tip için bir günde elde edilen ısı miktarı 1652,19 Wh/m² iken slinky tip ısı değiştirici için 1092,98 Wh/m² dir. Lineer tip ısı değiştirici için gün içerisinde elde edilen en yüksek ısı transferi 103,12 W/m² iken slinky tip ısı değiştirici için 81,66 W/m² dir. Analiz sonuçlarına dayanarak yıllık ve günlük toplam ısı transferi miktarına bakıldığında lineer tip ısı değiştiricinin slinky tip ısı değiştiriciye oranla daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

Fujii vd. [14] çift kat ve tek kat yatay olarak yerleştirilmiş slinky tip ısı değıştircileri karşılaştırmış nümerik analizlerini yapmıştır. Yapılan deneysel çalışmada uzun dönem ısıtma ve soğutma testleri yapılmış ve topraktan ısı değıştircilere geçen ısı miktarı karşılaştırılmıştır. Testler sonucunda çift katlı slinky tip ısı değıştircinin tek katlı ısı değıştirciye oranla daha fazla ısı elde ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca çift katlı slinky tip ısı değıştirci de ilk katın toprak derinliği 1,50 m ikinci katın toprak derinliği ise 2,00 metre olmalıdır ve ısı değıştircinin içerisinde dolaştırılan akışkan üst kattan alt kata doğru hareket etmelidir. Isı miktarı açısından birbiriyle karşılaştırılan ısı değıştirciler Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'deki gibidir.



Şekil 3. 23 Tek kat slinky tip ısı değıştircinin geometrik özellikleri [14]

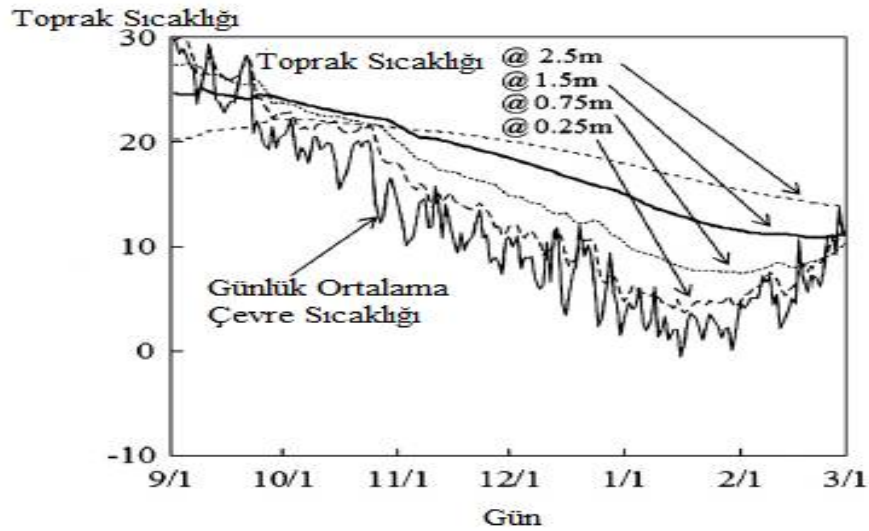


Şekil 3. 24 Çift kat slinky tip ısı değıştircinin geometrik özellikleri [14]

Tek katlı slinky tip ısı değiştiricinin yerleştirildiği derinlik 1,50 metredir. Isı değiştiricinin giriş ve çıkışında su sıcaklığını ölçen sıcaklık sensörleri bulunmaktadır. Isı değiştiricinin çıkışında suyu basınlandıran bir adet pompa ve girişinde ise suyun debisini ölçen bir adet debimetre bulunmaktadır. Hatveler arası mesafe 0,60 metre, hatve çapı ise 0,80 metredir.

Çift katlı slinky tip ısı değiştiricinin st kısmının yerleştirildiği derinlik 1,00 m, alt kısmının yerleştirildiği derinlik ise 2,00 metredir. Toprak ve su sıcaklıklarını ölçen sensörler, ısı değiştiricinin girişi ve çıkışına, toprak derinliği 0,75 m-1,00 m-1,50 m-2,00 m konulmuştur. Debimetre sayesinde ısı değiştirici içerisinde dolaşan akışkanın debisi ölçülmektedir.

Her iki ısı değiştiricide bir ısı pompası grubuna bağlı olup bu sayede ısıtma ya da soğutma yapılmaktadır. Isı pompası grubunda bir adet kompresör, bir adet kısılma vanası ve bir adet fan bulunmaktadır. Deneysel analiz sonucunda sıcaklık sensörlerinden ölçülen toprak sıcaklıkları Şekil 3.25'de gösterildiği gibidir.

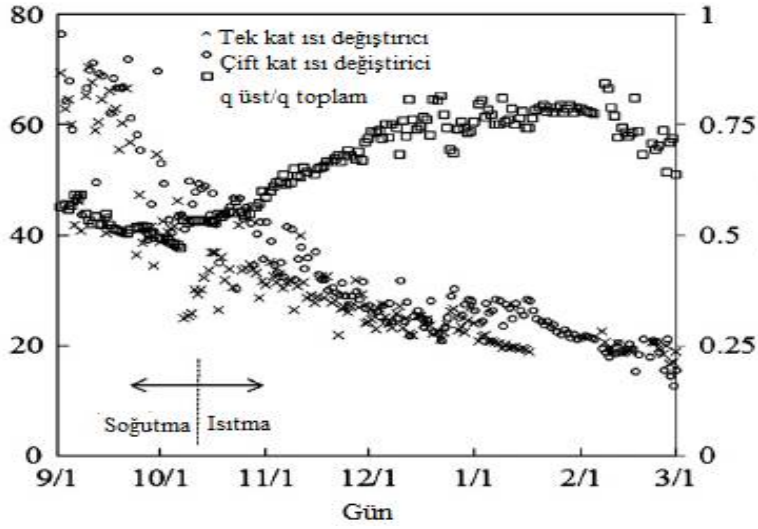


Şekil 3. 25 Deneysel analiz boyunca toprak sıcaklığının derinliğe göre değişimi [14]

Şekil 3.25'dan görüldüğü gibi toprak sıcaklığı derinlik arttıkça artmaktadır. Toprak sıcaklığı her derinlik için gün içerisinde farklılık göstermektedir. 2,50 metre derinlikte toprağın ortalama sıcaklığı 18°C dir. 0,25 metre derinlikte ise ortalama toprak sıcaklığı 10°C civarındadır. Şekil 3.26'da ısı değiştiricilerden günlük ortalama birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı miktarları gösterilmiştir.

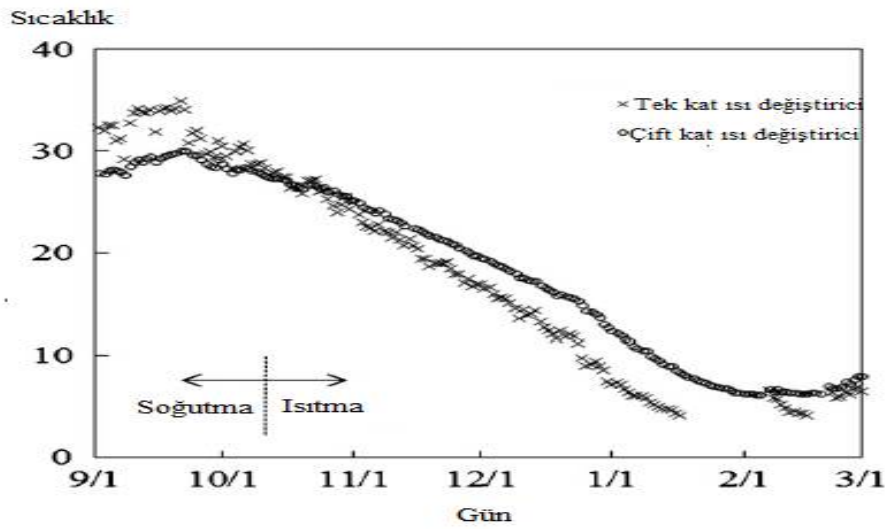
Isı Transfer Oranı (W/m)

Çift kat ısı değiştiricide q üst kat/q toplam oranı



Şekil 3. 26 Isı değiştiricilerin ortalama birim boru uzunluğu başına ısı miktarı (W/m) [14]

Isıtma ve soğutma dönemlerinde çift kat ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı tek kat ısı değiştiriciye oranla daha fazladır. Isıtma süresince çift kat ve tek kat ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı azalmaktadır. Isıtma dönemi boyunca çift kat ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı ortalama 30 W/m iken tek kat ısı değiştirici için ise 25 W/m dir. Çift kat ısı değiştiricide ısıtma döneminde zamanla q üst kat/q toplam oranı artmaktadır. Bu değer ortalama 0,75 civarındadır. Soğutma döneminde tek kat ısı değiştiricide olan ısı transferi 45 W/m dir. Şekil 3.27'de ise ısı pompası girişindeki suyun sıcaklığı zamana bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 27 Isı pompası girişinde ısı değiştiricilerin su sıcaklığları [14]

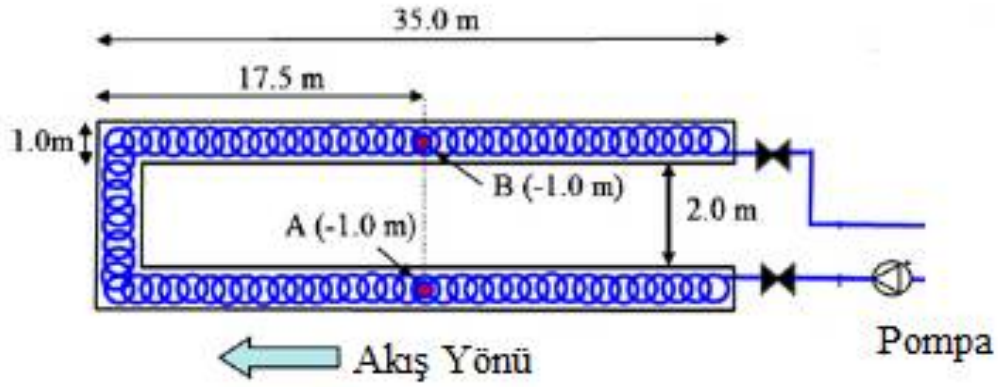
Soğutma döneminde, tek kat ısı değiştiricinin ısı pompası girişinde su sıcaklığı ortalama 34°C iken çift kat ısı değiştiricide 30°C dir. Isıtma döneminde çift kat ısı değiştiricide su sıcaklığı ortalama 18°C dir. Isıtma döneminde, çift kat ısı değiştiricide ısı pompası girişinde su sıcaklığı tek kat ısı değiştiriciye oranla daha yüksektir. Tek kat ısı değiştiricide ısıtma döneminde ısı pompası girişinde su sıcaklığı ortalama 14°C dir. Her iki ısı değiştiricide gün içerisinde ısı pompası girişinde su sıcaklığı azalmaktadır.

Fujii vd. [15] yatay olarak yerleştirilmiş slinky tip ısı değiştiricileri kısa dönem (5 gün-yaz) boyunca bilgisayar ortamında ve deneysel olarak karşılaştırmıştır. Toplamda 3 adet farklı hatve çapına sahip ısı değiştiriciler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Isı değiştiricilerin hatve arası mesafeleri 0,40m, 0,60m, 0,80m dir. Hatve çapları ise her birinin 0,80 metredir. Ortalama yıllık hava sıcaklığı 16,5°C, ağustos ayı için ortalama sıcaklık 27,5°C alınmıştır. Polietilen borunun giriş ve çıkış çapı sırasıyla 34mm ve 24 mm dir. Isı değiştiricilerin kazı uzunluğunun ortasına 1,00 m derinlikte toprak sıcaklığını ölçen sensörler konulmuştur. Deneysel çalışması yapılan slinky tip ısı değiştiricilerin şematik görünümü şekil 3.28 ve şekil 3.29'daki gibidir.



Hatve çapı 0,80 m, hatveler arası mesafe sırasıyla 0,40 m, 0,60 m ve 0,80 metredir.

şekil 3. 28 Deneysel çalışmada ısı değiştiricilerin toprak içindeki yerleşimi [15]



Şekil 3. 29 Deneysel çalışmada ısı değıştircilerin şematik gösterimi [15]

Çizelge 3.6 ve 3.7'de üç farklı slinky tip ısı değıştircinin teknik özellikleri ile birlikte elde edilen ısı miktarı gösterilmiştir.

Çizelge 3. 6 Slinky tip ısı değıştircilerin teknik özellikleri [15]

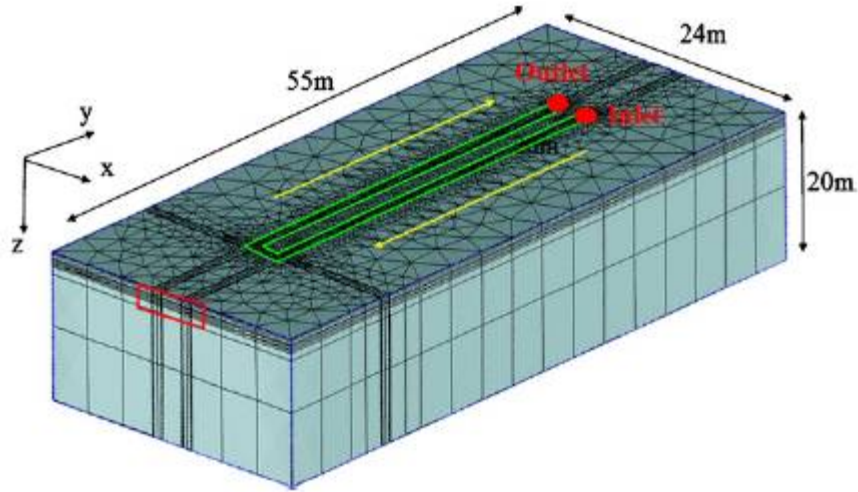
Hatve Numarası	Hatveler arası mesafe (m)	Boru uzunluğu (m)	Kazı uzunluğu (m)	Kazı derinliği (m)	Boru uzunluğu/kazı uzunluğu	Hatve çapı (m)
1	0,4	500	72	1,5	6,94	0,8
2	0,6	380	72	1,5	5,28	0,8
3	0,8	308	72	1,5	4,28	0,8

Çizelge 3. 7 Slinky tip ısı değıştircilerin çalışma periyotları ve ısı miktarları [15]

Hatve Numarası	Debi (L/min)	Ortalama ısı transferi (kw)	Ortalama ısı transferi (W/m)	Ortalama Çevre Sıcaklığı	Çalışma periyodu
1	10,4	4,4	61,1	24,8	22-8-2008/27-8-2008
2	11,3	4,54	63	26	22-8-2009/22-9-2009
3	12,1	4,56	63,3	27,9	17-8-2009/22-8-2009

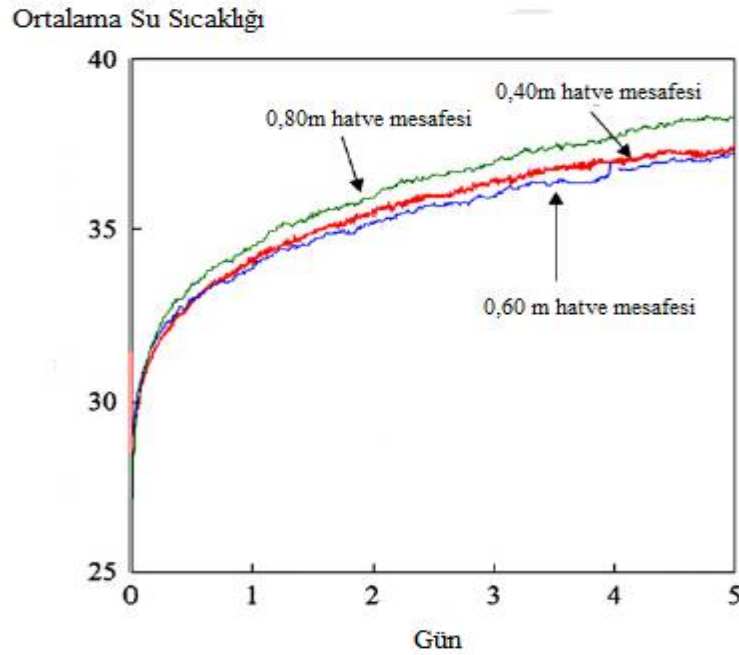
Çizelgelerden görüldüğü gibi ısı iletim katsayıları 0,35 W/m K olan ısı değıştircileri, ısı iletim katsayısı 1,09 W/m K olan toprağa yerleştirildiklerinde hatveler arası mesafe arttıkça ısı değıştircilerin topraktan elde ettikleri ısının arttığı gözlemlenmiştir. Hatveleri arasındaki mesafe 0,80 metre olan ısı değıştirciden 4,56 kw ısı elde edilirken

hatveleri arasındaki mesafe 0,40 metre olan ısı değiştiriciden 4,40 kw elde edilmektedir. Şekil 3.30'da bilgisayar ortamında slinky tip ısı değiştiricinin 3 boyutlu modeli gösterilmiştir.



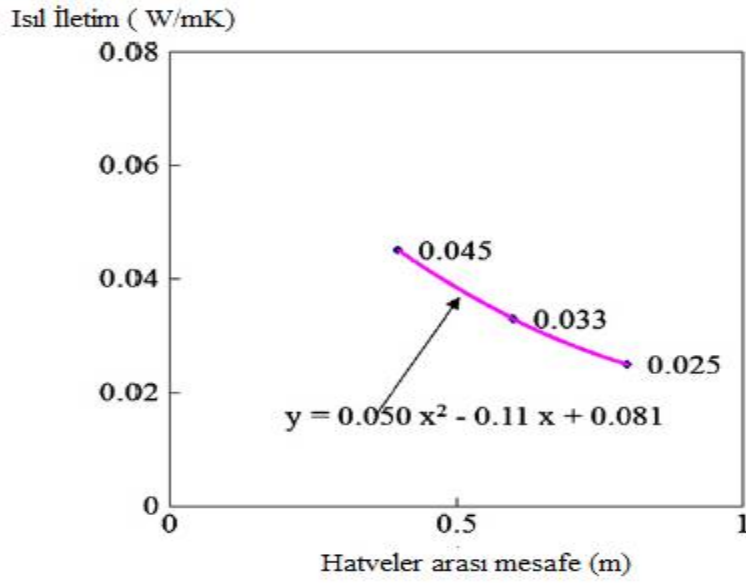
Şekil 3. 30 Bilgisayar ortamında slinky tip ısı değiştiricinin 3 boyutlu modeli [15]

DeneySEL çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre ısı değiştiricilerdeki ortalama su sıcaklığı Şekil 3. 31'deki gibidir.



Şekil 3. 31 Slinky tip ısı değiştiricilerin zamana bağlı ortalama su sıcaklığı [15]

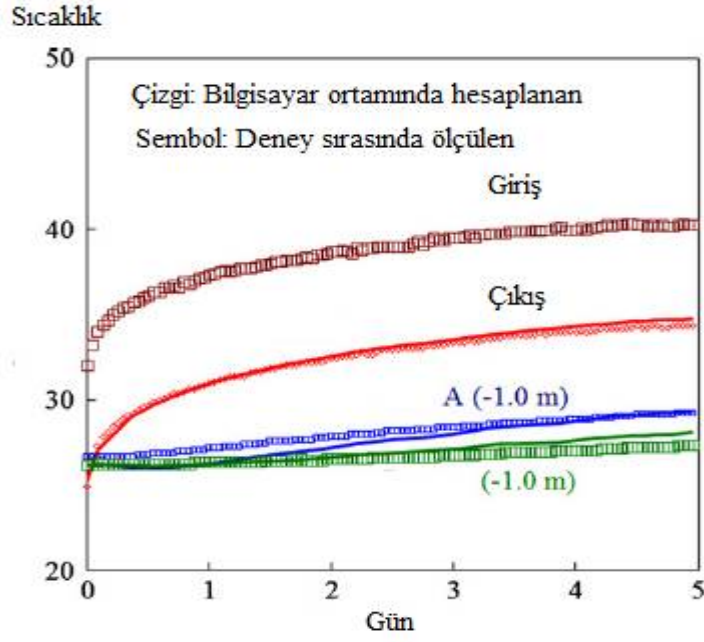
Şekil 3.31’de görüldüğü gibi 0,80 metre hatve mesafesi olan ısı değiştiricide ortalama su sıcaklığı daha yüksektir.0,40 metre hatve mesafesi olan ısı değiştirici ile 0,60 metre hatve mesafesi olan ısı değiştiricinin ortalama su sıcaklığı birbirine çok yakındır. 5 gün sonunda 0,80 metre hatve mesafesi olan ısı değiştiricide ortalama su sıcaklığı 38,2°C iken diğer ısı değiştiricilerde ortalama su sıcaklığı 37,5°C değerindedir. Isı değiştiricilerde ısı iletimin hatveler arasındaki mesafeye göre değişimini veren denklem aşağıdaki gibidir.



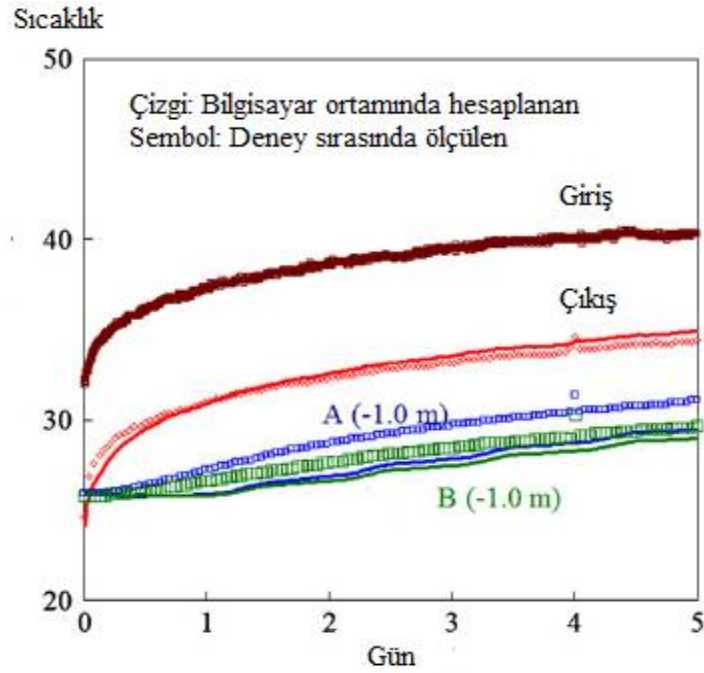
Şekil 3. 32 Isıl iletiminin hatveler arasındaki mesafeye göre değişimi [15]

Şekil 3.32’den görüldüğü gibi hatveler arası mesafe arttıkça borunun ısı iletimin azaldığı görülmektedir. Hatveler arası 0,40 metredeyken 0,045 W/m K olan ısı iletim, hatveler arası 0,80 metre olduğunda 0,025 W/m K düşmektedir.

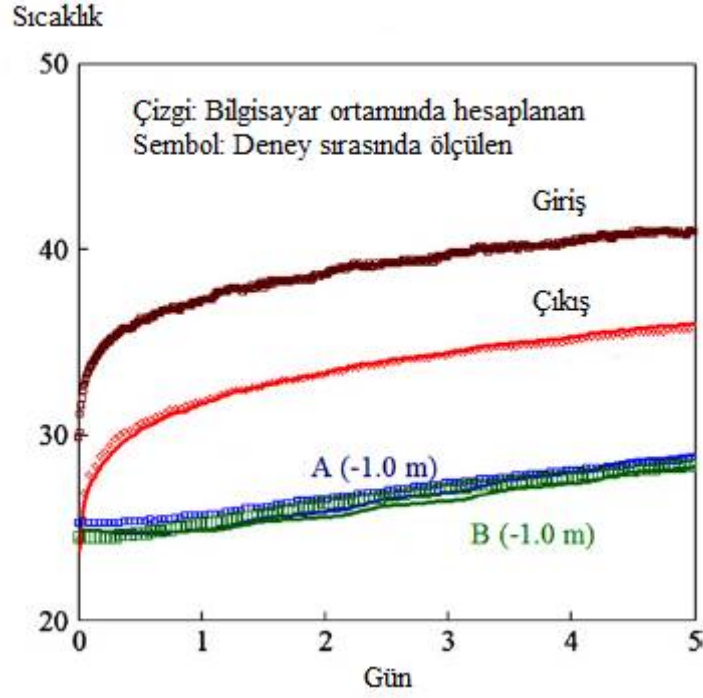
Her bir slinky tip ısı değiştirici için giriş ve çıkış su sıcakları ile kazı uzunluğunun tam ortasında 1 metre derinlikteki toprak sıcaklığı deneysel ve bilgisayar ortamında bulunmuştur.



Şekil 3. 33 Hatveler arası mesafe 0,40 m olan ısı değiştiricinin su giriş ve sıcaklığıyla birlikte 1 metre derinlikteki toprak sıcaklığının deneysel ve bilgisayar ortamında karşılaştırılması [15]



Şekil 3. 34 Hatveler arası mesafe 0,60 m olan ısı değiştiricinin su giriş ve sıcaklığıyla birlikte 1 metre derinlikteki toprak sıcaklığının deneysel ve bilgisayar ortamında karşılaştırılması [15]



Şekil 3. 35 Hatveler arası mesafe 0,80 m olan ısı değiştiricinin su giriş ve çıkış sıcaklığıyla birlikte 1 metre derinlikteki toprak sıcaklığının deneysel ve bilgisayar ortamında karşılaştırılması [15]

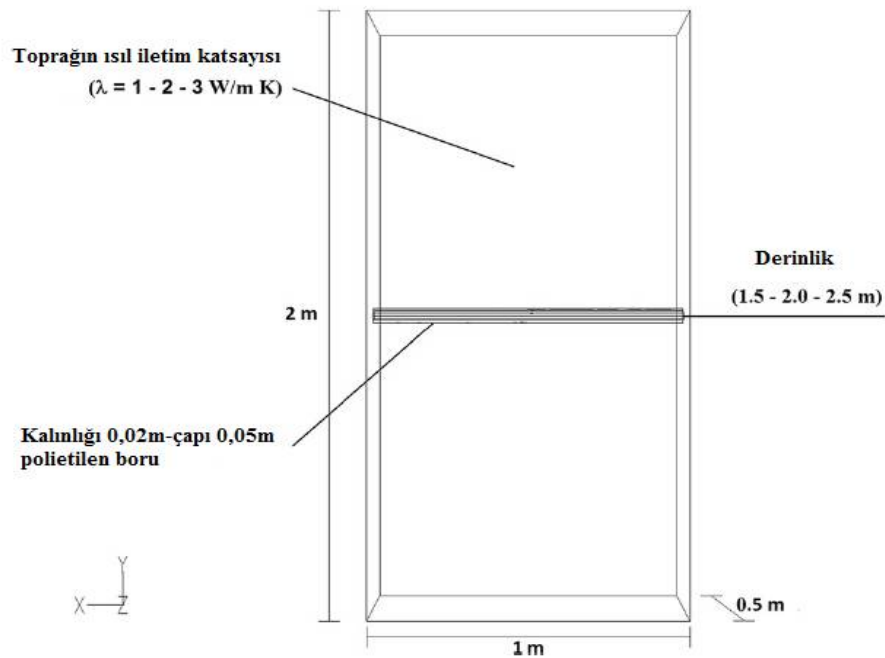
Şekillerden görüldüğü gibi giriş su sıcaklığı, çıkış su sıcaklığından daha yüksek olduğundan sistemde soğutma olduğu yani ısı değiştiriciden toprağa ısı transferi olduğu görülmektedir. Hatve mesafesi arttıkça A ve B noktasındaki toprak sıcaklıkları deneysel ve bilgisayar ortamında birbirine yaklaşmıştır. Çıkıştaki su sıcaklığı her üç slinky tip ısı değiştiricide de bilgisayar ortamında deneyselle göre daha yüksektir. Yaklaşık 34°C dir.

Hatve mesafesi 0,40 m olan ısı değiştiricide A noktasındaki toprağın sıcaklığı deneysel çalışmada daha yüksektir. 4.günden sonra toprak sıcaklığı deneysel çalışmada da bilgisayar ortamında da yaklaşık 27,4°C dir. B noktasındaki toprak sıcaklığı ise başlangıçta yaklaşık aynıyken 2.günden sonra bilgisayar ortamında daha yüksektir. Yaklaşık 26,5°C dir.

Hatve mesafesi 0,60 m olan ısı değiştiricide A noktasındaki toprağın sıcaklığı deneysel çalışmada daha yüksektir. 5.günün sonunda toprak sıcaklığı yaklaşık 30,5°C dir. B noktasında da toprak sıcaklığı deneysel çalışmada daha yüksektir ve yaklaşık olarak 5.günün sonunda 29°C dir. A ve B noktasının toprak sıcaklığı bilgisayar ortamında birbirine çok yakın değerler olup yaklaşık olarak 5.günün sonunda 28,6°C dir.

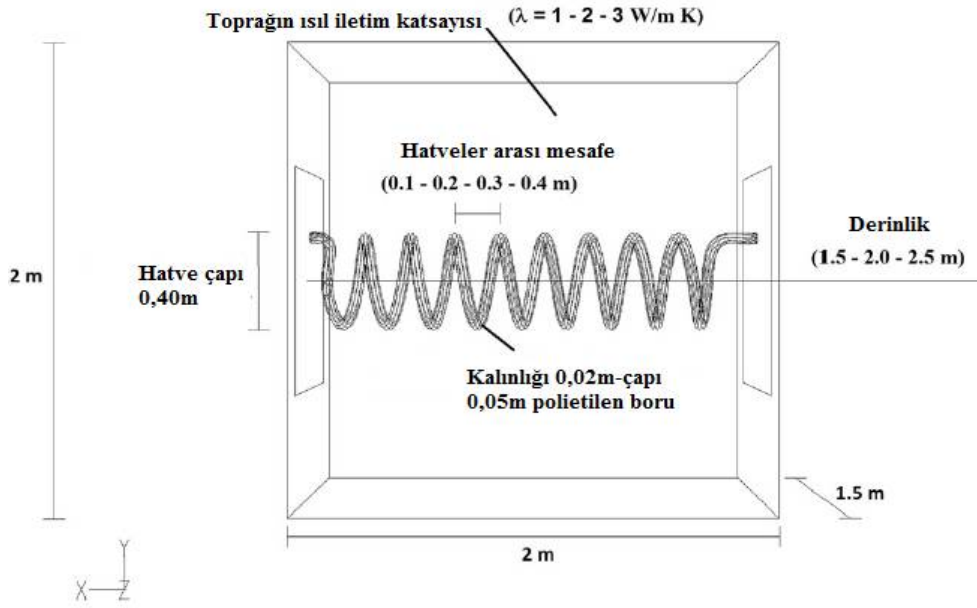
Hatve mesafesi 0,80 m olan ısı değiştiricide A ve B noktasındaki toprağın deneysel ve bilgisayar ortamında elde edilen sıcaklığı birbirine çok yakındır. A noktasında 5.günün sonunda deneysel ve bilgisayar ortamında elde edilen toprak sıcaklığı yaklaşık 28°C iken B noktasında bu değer yaklaşık 27,7°C civarındadır.

Congedo vd. [16] farklı geometrilerdeki yatay tip ısı değiştiricilerin CFD analizini yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en önemli parametre; toprağın ısı değiştirici etrafındaki ısıl iletim katsayısıdır. Bir diğer önemli parametre ise boru içerisindeki akışkanın hızıdır. Sonuçlara göre toprak derinliği sistem performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri değildir ve helisel tip ısı değiştirici lineer ve slinky tip ısı değiştiriciye oranla ısıl performans olarak daha iyi bir ısı değiştiricidir. Nümerik alışma yaz ve kiş dönemi olmak üzere toplam bir yıldır. Her bir ısı değiştirici için toprağın ısıl iletim katsayısının, su hızının ve toprak derinliğinin elde edilen ısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yılın her dönemi için boru içindeki su sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasındaki fark sabit 7°C dir. Toprak sıcaklığı sabit değildir ve zamana göre değişkenlik göstermektedir. Birbiriyle bilgisayar ortamında karşılaştırılan geometriler Şekil 3.36, Şekil 3.37 ve Şekil 3.38’de gösterildiği gibidir.

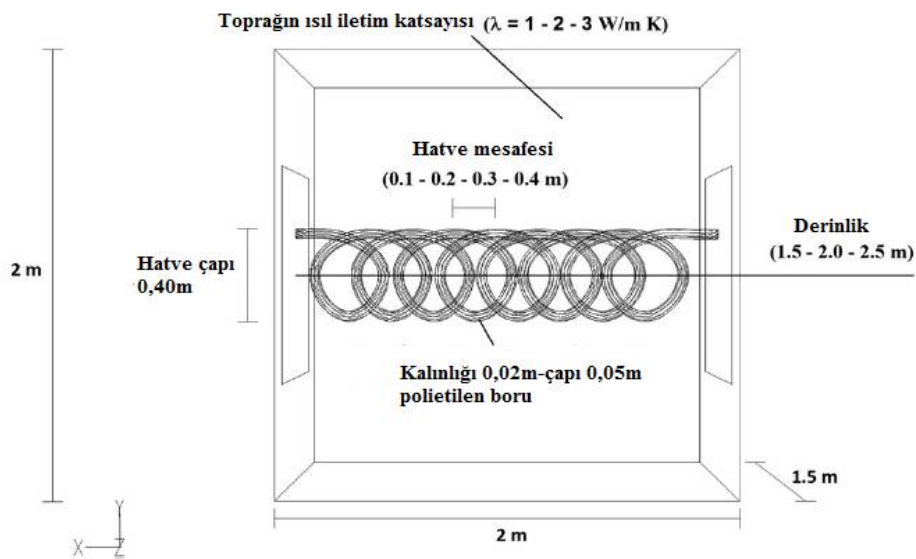


Şekil 3. 36 Lineer tip ısı değiştirici [16]

Şekil 3.36'dan görüldüğü gibi lineer tip ısı değiştiricinin içerisine yerleştirildiği toprağın ebatı 1m x 0,5m x 2m dir. Isı değiştirici sırasıyla 1,5 m-2,0 m-2,50 m derinlikte toprak içerisine yerleştirilmiştir. Isı değiştiricide kullanılan boru polietilen olup borunun çapı 0,05 m kalınlığı ise 0,02 m dir. Bilindiği üzere toprağın ısı iletim katsayısı toprak ısı değiştiricilerin topraktan elde edilen ya da toprağa transfer olan ısı miktarı etkileyen en önemli etkidir. Nümerik analizi yapılan lineer tip ısı değiştirici için bu katsayılar sırasıyla 1 W/m K, 2 W/m K ve 3 W/m K dir.

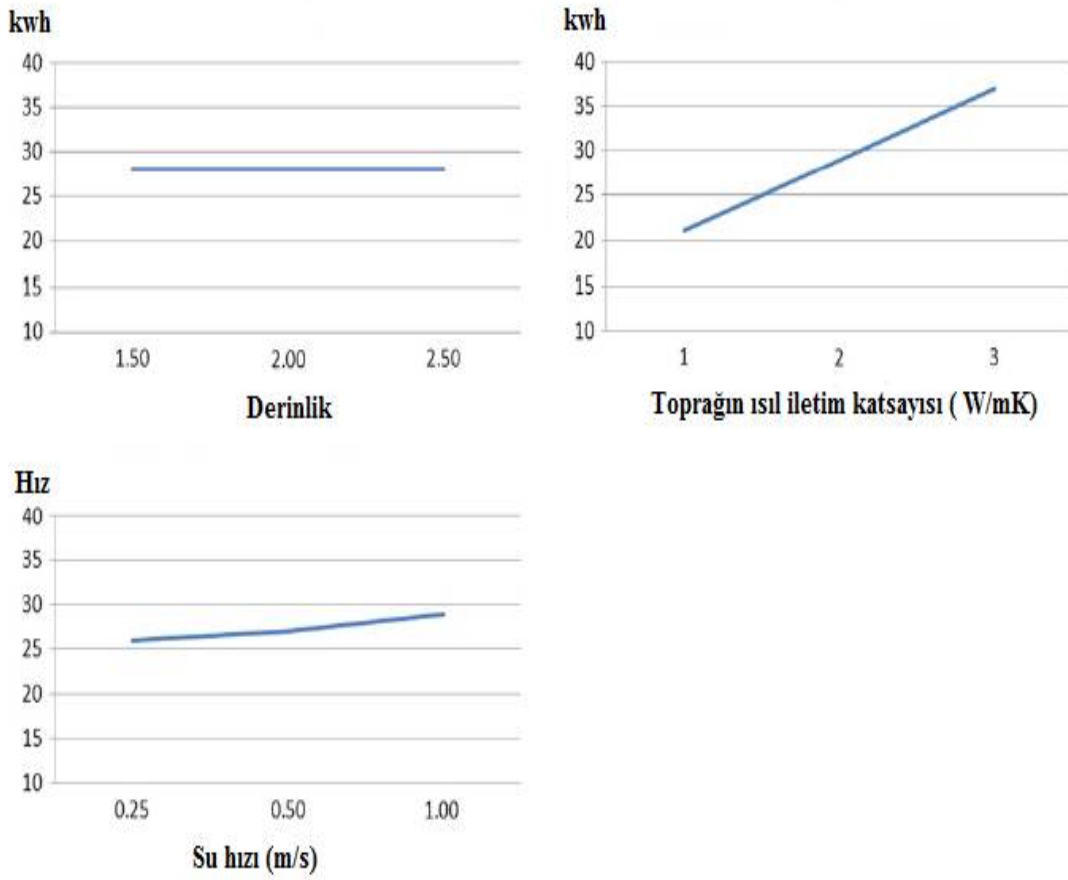


Şekil 3. 37 Helisel tip ısı değiştirici [16]

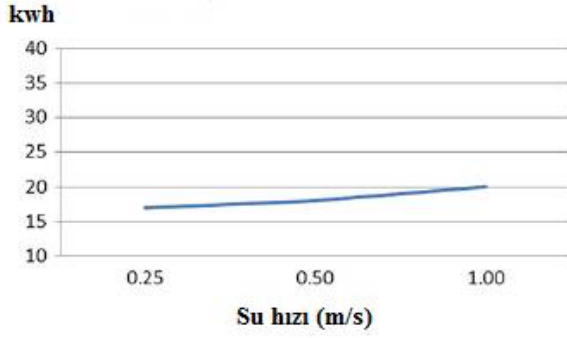
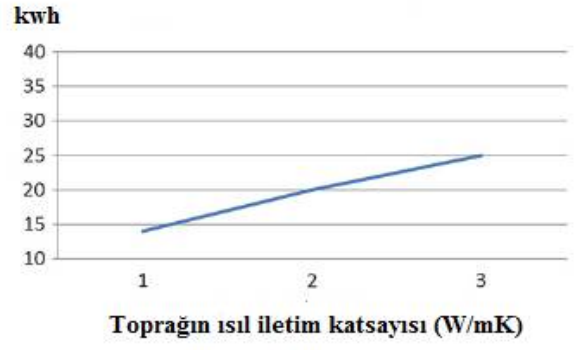
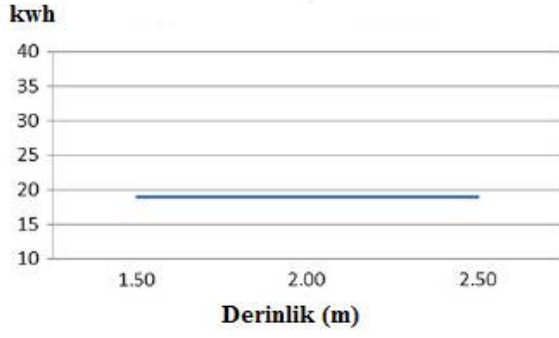


Şekil 3. 38 Slinky tip ısı değiştirici [16]

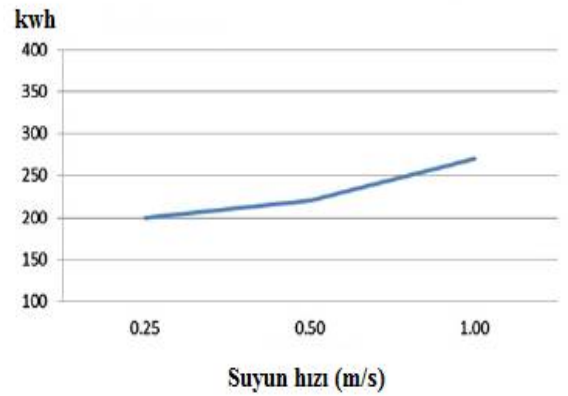
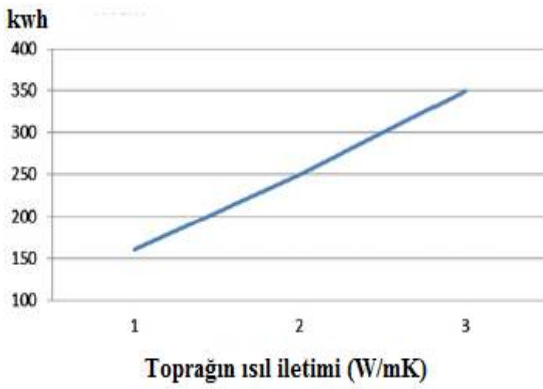
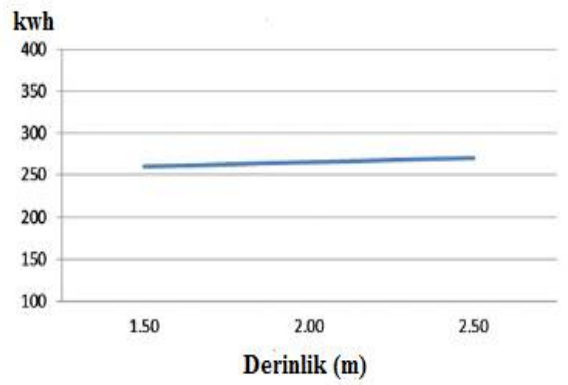
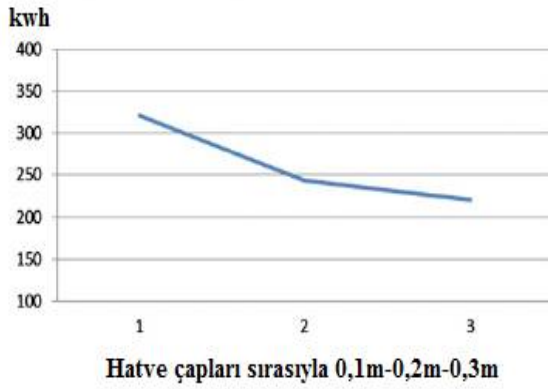
Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'den görüldüğü gibi helisel ve slinky tip ısı değiştirici için tüm teknik özellikler aynıdır. Her iki ısı değiştirici de 2mx1,5mx2m ebatlarında toprağa yerleştirilmiştir. Hatve çapı 0,40m, hatveler arası mesafe ise sırasıyla 0,1m-0,2m-0,3m-0,4 metredir. Toprağın ısı iletim katsayısı ise sırasıyla 1 W/m K, 2 W/m K, 3 W/m K dir. Her üç ısı değiştirici için farklı çalışma durumlarında yaz ve kiş döneminde elde edilen ısı transferi aşağıdaki gibidir.



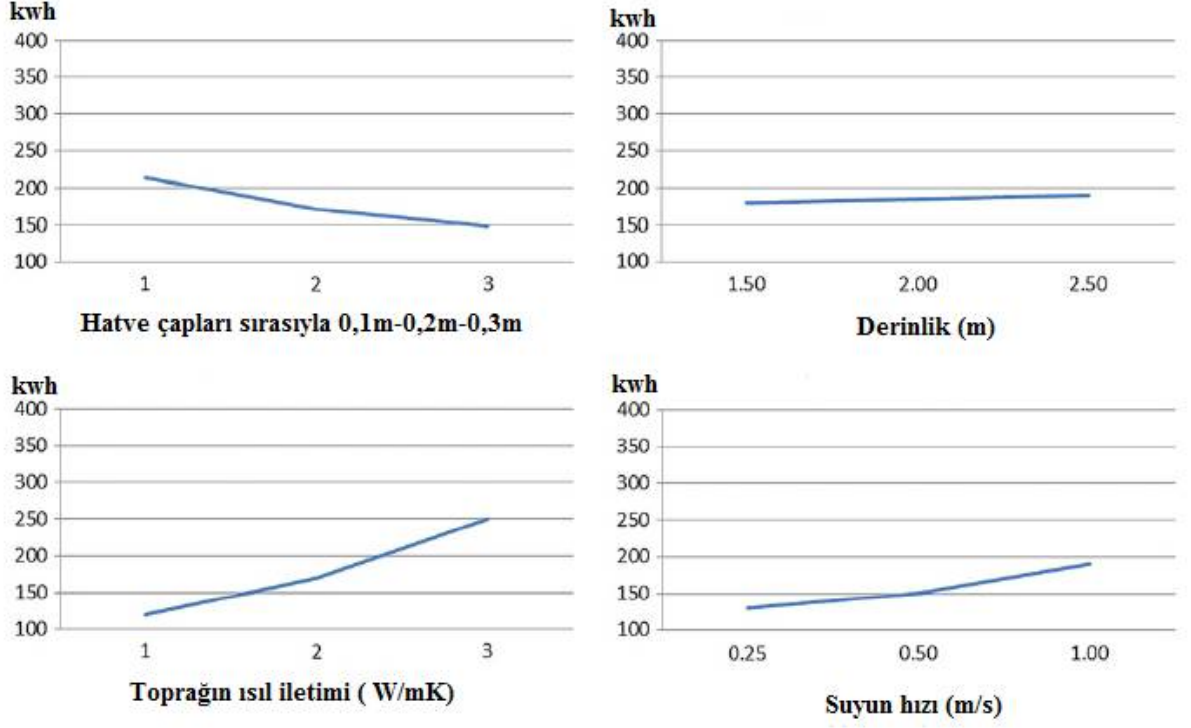
Şekil 3. 39 Lineer tip ısı değiştiricinin kiş mevsiminde elde ettiği ısı miktarı [16]



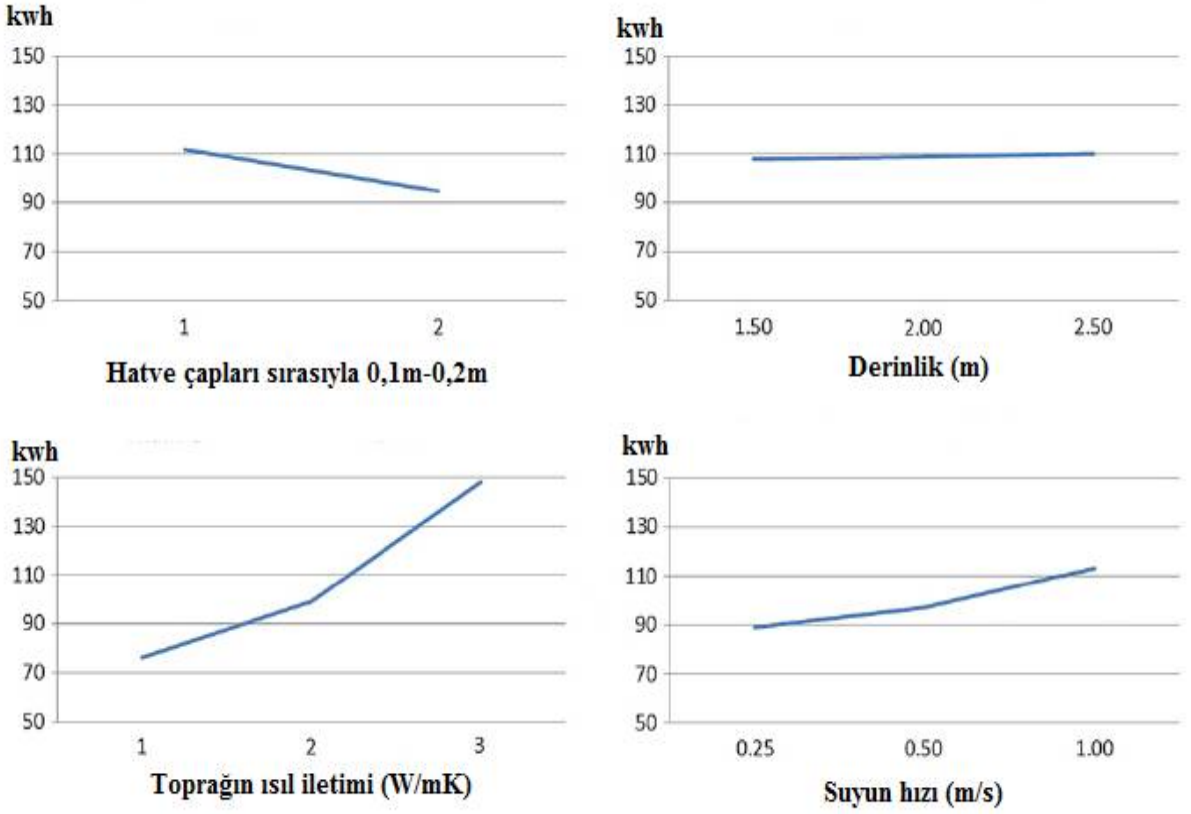
Şekil 3. 40 Lineer tip ısı değiştiricinin yaz mevsiminde toprağa transfer ettiği ısı miktarı [16]



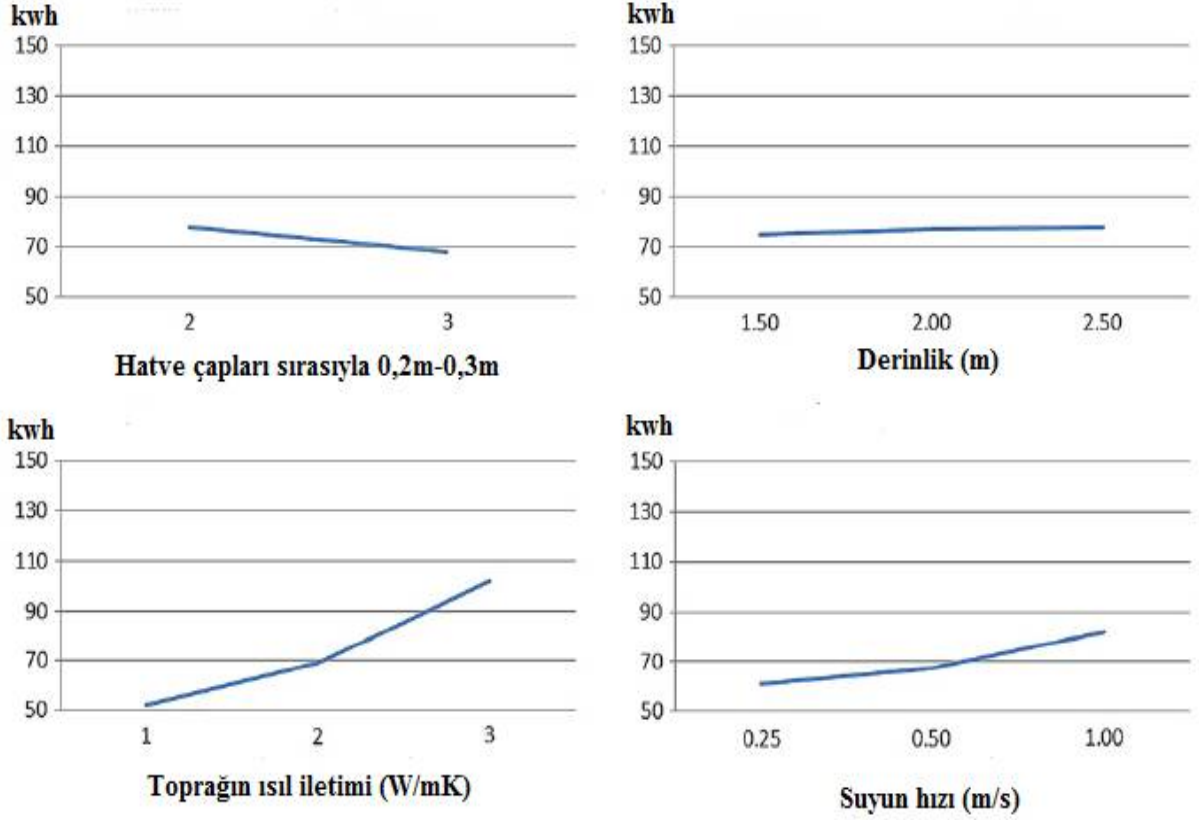
Şekil 3. 41 Helisel tip ısı değiştiricinin kiş mevsiminde elde ettiği ısı miktarı [16]



Şekil 3. 42 Helisel tip ısı değiştiricinin yaz mevsiminde toprağa transfer ettiği ısı miktarı [16]



Şekil 3. 43 Slinky tip ısı değiştiricinin kış mevsiminde elde ettiği ısı miktarı [16]



Şekil 3. 44 Slinky tip ısı değiştiricinin yaz mevsiminde toprağa transfer ettiği ısı miktarı [16]

Yaz ve kış dōnemi için her bir ısı değiştiricinin farklı çalışma durumları için ısı miktarı Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'daki gibidir.

Çizelge 3. 8 Kış mevsiminde farklı çalışma durumları için ısı değiştiricilerin ısı miktarı

Isı değiştirici tipine göre elde edilen ısı (kwh)	Toprak ısı iletim katsayısı (W/m K)			Toprak derinliği (m)			Hatve çapları (hatveler arası uzaklık) (m)			Su Hızı (m/s)		
	1	2	3	1,5	2	2,5	0,1	0,2	0,3	0,25	0,5	1
Lineer tip	21	28	37	28	28	28	-	-	-	26	27	29
Helisel	160	250	350	255	260	275	325	245	220	200	225	270
Slinky	75	100	150	108	110	110	112	95	-	90	98	114

Çizelge 3. 9 Yaz mevsiminde farklı çalışma durumları için ısı değiştiricilerin ısı miktarı

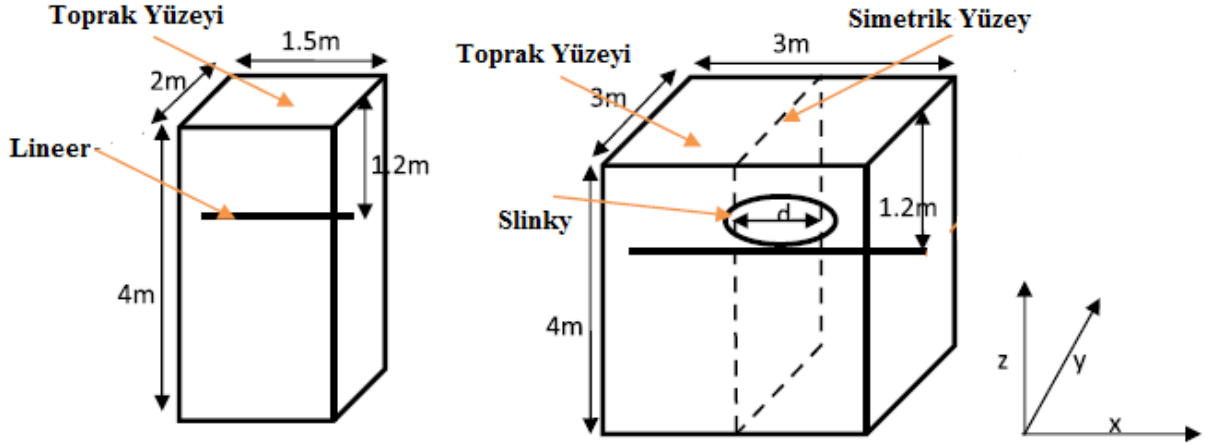
Isı değiştirici tipine göre elde edilen ısı (kwh)	Toprak ısı iletim katsayısı (W/m K)			Toprak derinliği (m)			Hatve çapları (hatveler arası uzaklık) (m)			Su Hızı (m/s)		
	1	2	3	1,5	2	2,5	0,1	0,2	0,3	0,25	0,5	1
Lineer tip	14	20	25	19	19	19	-	-	-	17	18	20
Helisel	120	170	250	180	185	190	215	175	150	130	150	195
Slinky	51	70	103	75	79	80	-	80	69	60	68	77

Çizelgelerden görüldüğü gibi;

- ✓Her ısı değiştirici için yaz ve kış döneminde de toprak derinliğinin ısı miktarı üzerinde bir etkisi yoktur.
- ✓Helisel tip ısı değiştiriciden elde edilen toplam ısı miktarı yaz ve kış döneminde diğerlerine oranla daha yüksektir.
- ✓Her ısı değiştiricide toprağın ısı iletim katsayısı ve suyun hızı arttıkça ısı miktarının arttığı görülmektedir.
- ✓Isı değiştiriciler her farklı çalışma durumunda kışın topraktan daha fazla ısı alırken yazın kış dönemine oranla daha az miktarda ısıyı toprağa iletmektedir.
- ✓Helisel ve slinky tip ısı değiştiricide hatveler arası uzaklık arttıkça topraktan elde edilen ve toprağa verilen ısı miktarı azalmaktadır.
- ✓Yaz ve kış döneminde ısı miktarını en çok etkileyen etken toprağın ısı iletim katsayısıdır.
- ✓Toplam ısı miktarına Kwh cinsinden bakılıp ısı değiştiricilerin verimlilikleri karşılaştırıldığında en verimli ısı değiştiricinin helisel olduğu, en verimsiz ısı değiştiricinin de lineer tip ısı değiştirici olduğu gözlemlenmektedir.

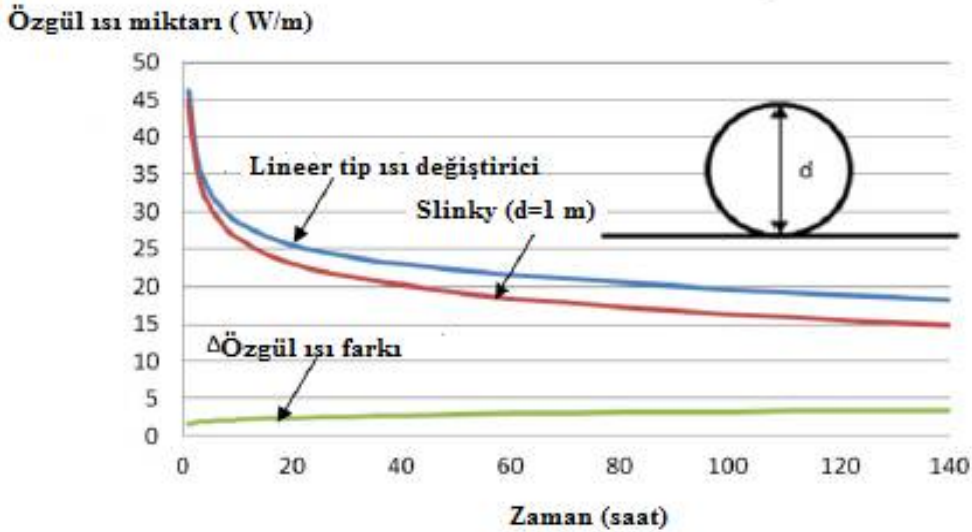
Yupeng Wu vd. [17] yatay olarak yerleştirilmiş slinky tip ısı değiştiricinin nümerik simülasyonunu yaptı. Slinky tip ısı değiştiricilerin hatve ve boru çapları değiştirilerek hangi ısı değiştiricinin daha verimli olduğu incelenmiştir. Nümerik sonuçlara bakıldığında farklı boru çaplarında slinky tip ısı değiştiriciden elde edilen özgül ısılarda önemli bir fark yoktur. Ancak büyük çaptaki boruda birim metre başına elde edilen ısı

daha fazladır. Buna ek olarak lineer tip ısı değiştirici ile slinky tip ısı değiştirici de birbiriyile karşılaştırılmıştır. ısı değiştiricilerin boru çapı 40 mm dir. Karşılaştırılan geometriler Şekil 3.45'deki gibidir.



Şekil 3. 45 Lineer ve slinky tip ısı değiştiricileri [17]

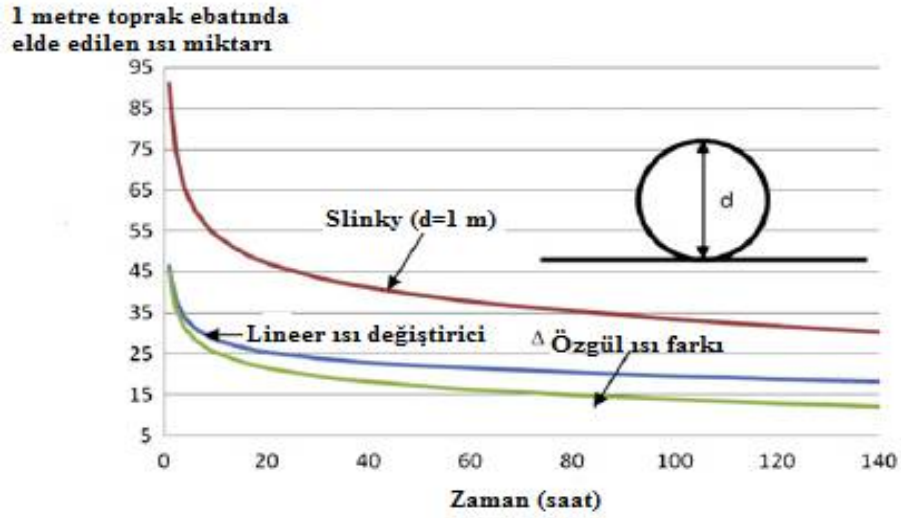
Şekil 3.46'da 140 saat sonunda lineer tip ısı değiştirici ile hatve çapı 1 metre olan slinky tip ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı gsterilmiştir.



Şekil 3. 46 140 saat sonunda lineer tip ısı değiştirici ile slinky tip ısı değiştiriciden (d=1 m) elde edilen ısı miktarı (W/m) [17]

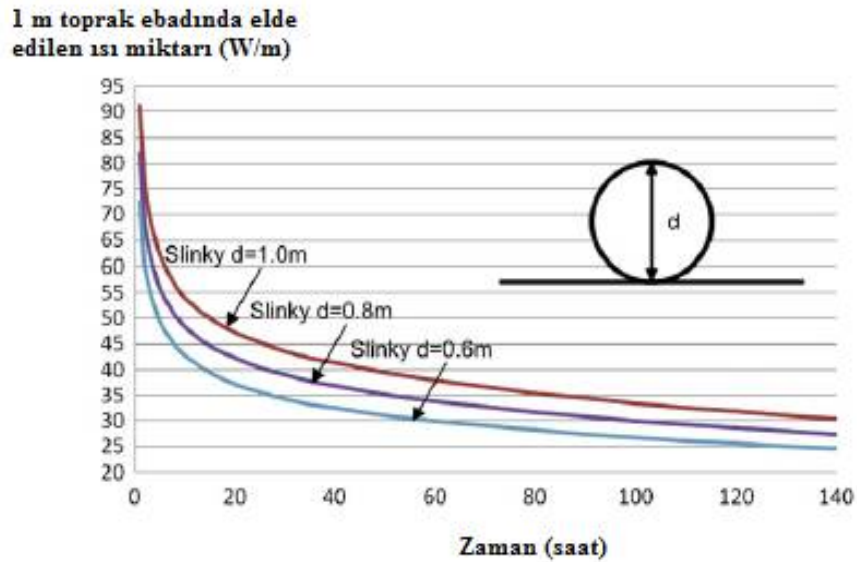
140 saat sonrasında lineer tip ısı değiştiricinin slinky tip ısı değiştiriciye göre toplam özgöl ısı kazanımı daha fazladır. Zamanla her iki ısı değiştiricide de özgöl ısı miktarı

azalmaktadır. Şekil 3.47'de 1 metre toprak ebadında elde edilen ısı miktarları gösterilmiştir.



Şekil 3. 47 Bir metre toprak ebadında her iki ısı değiştirici için elde edilen ısı miktarı (W/m) [17]

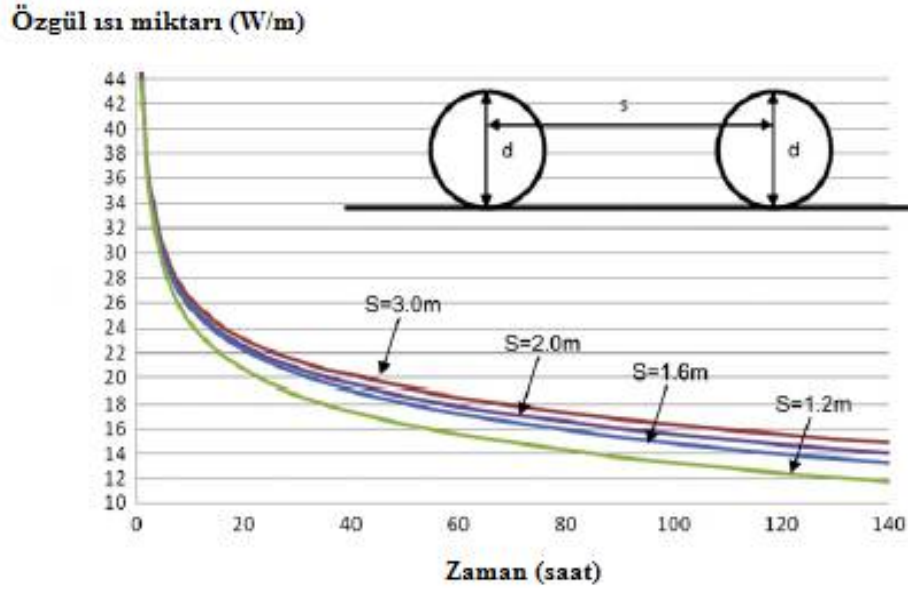
Şekilden görüldüğü gibi 1 metre toprak ebadında elde edilen ısı miktarı slinky tip ısı değiştiricide daha fazladır. Slinky tip ısı değiştiricilerde hatve çapının elde edilen ısı miktarı üzerindeki etkisi Şekil 3.48'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. 48 Slinky tip ısı değiştiricilerde hatve çapının ısı transferi üzerindeki etkisi [17]

Slinky tip ısı değiştiricinin hatve çapı arttıkça 1 metre toprak ebadında elde edilen ısı miktarı artmaktadır. Başlangıçta 1 m hatve çaplı ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı

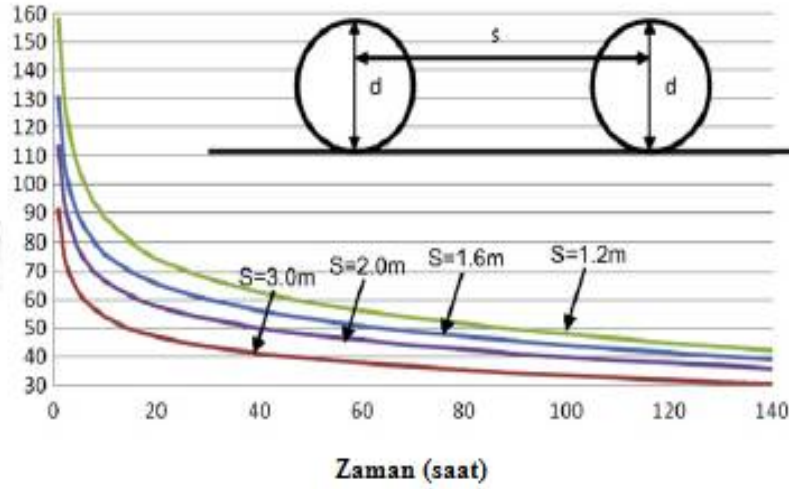
90 W/m, 0,80 m hatve çaplı ısı değiştirciden elde edilen ısı miktarı 80 W/m, 0,60 m hatve çaplı ısı değiştirciden elde edilen ısı miktarı ise 70 W/m dir. Zamanla her üç ısı değiştirciden elde edilen ısı miktarı azalmıştır ve 140 saat sonunda ortalama elde edilen ısı miktarı 30 W/m dir. şekil 3.49'da hatveler arası mesafenin elde edilen ısı miktarı üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



şekil 3. 49 Hatveler arası mesafenin elde edilen ısı transferi üzerindeki etkisi [17]

Slinky tip ısı değiştircilerinde hatveler arasında mesafe azaldıkça elde edilen toplam ısı miktarı azalmaktadır. Hatveler arasındaki mesafe 3 metre olduğunda başlangıçta elde edilen ısı miktarı 44 W/m iken 140 saat sonunda yaklaşık olarak 15 W/m dir. şekil 3.50'de ise 1 metre toprak ebadında hatveler arası mesafenin ısı transferi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

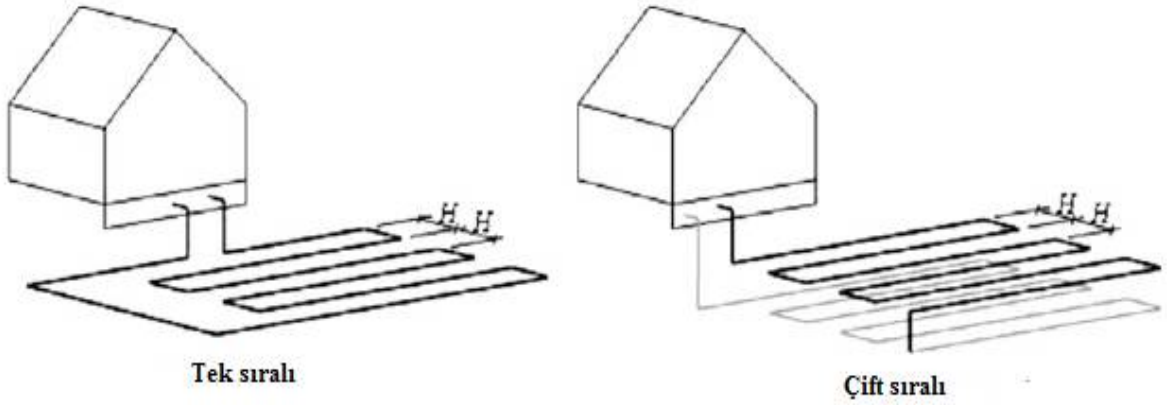
1 m toprak ebadında elde edilen ısı miktarı (W/m)



Şekil 3. 50 Bir metre toprak ebadında hatveler arası mesafenin ısı transferi üzerindeki etkisi [17]

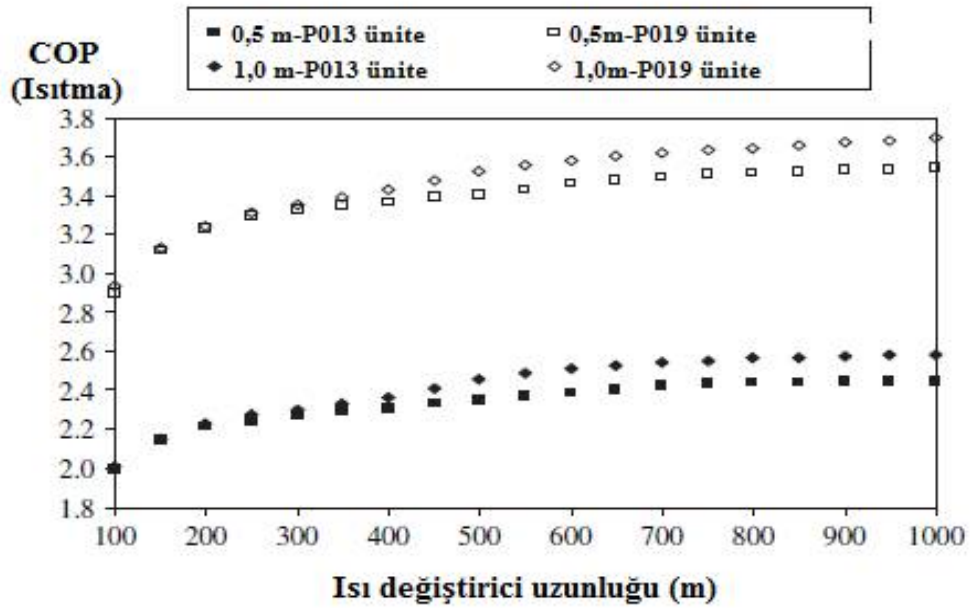
1 metre toprak ebadında hatveler arası mesafe arttıkça elde edilen ısı miktarı azalmıştır. Hatveler arası mesafe 1.2 metre iken başlangıçta 160 W/m ısı elde edilirken 140 saatin sonunda bu miktar azalmış ve yaklaşık olarak 43 W/m seviyelerine kadar düşmüştür. Bütün ısı değıştiricilerde zamana bağılı olarak elde edilen ısı miktarları azalmıştır. Hatveler arası mesafe 3 metre olduğunda başlangıçta elde edilen ısı miktarı 90 W/m iken 140 saatin sonunda bu miktar 30 W/m dir.

Tarnawski vd. [18] Kuzey Japonya için yatay tip ısı değıştiricili ısı pompasını analiz etmişlerdir. Tarnawski vd. göre ısıtmada ya da soğutmada yatay tip ısı değıştirici kullanmak, elektrik ya da yakıta göre daha uygundur. Tarnawski vd. tek sıralı ve çift sıralı yatay U tip ısı değıştiriciyi birbiriyle karşılaştırmıştır. Ayrıca iki farklı ısı pompası düzeneğini de karşılaştırmıştır. P013 tipi ısı pompası düzeneğinde hava oranı 0,189 m³/s, 20 mm boru çaplı toprak ısı değıştirici için antifriz oranı 13,2 L/min dir. P019 tipi ısı pompası düzeneğinde hava oranı 0,283 m³/s, 30 mm boru çaplı toprak ısı değıştirici için antifriz oranı 19,0 L/min dir. Birbiriyle karşılaştırılan ısı değıştiriciler Şekil 3.51'de gösterildiği gibidir.



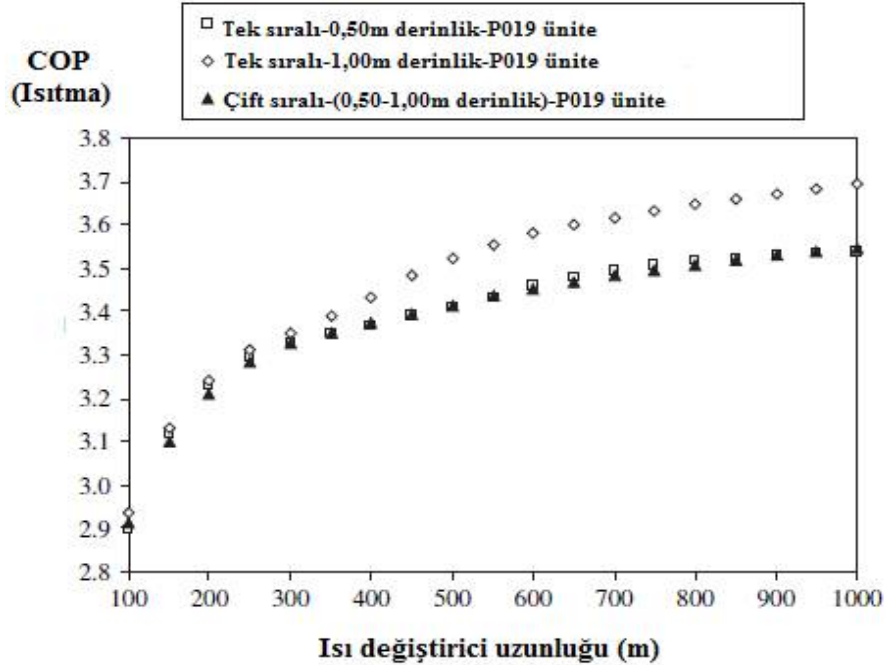
Şekil 3. 51 Tek ve çift sıralı toprak ısı değiştiricileri [18]

Nümerik simülasyonda ısı değiştiriciler toprağın 0,5m ya da 1 metre derinliğe konulmuş ve H değerleri her iki ısı değiştirici içinde 0,50 metredir. Tek sıralı ısı değiştirici için ısıtma döneminde montaj derinliğinin COP üzerindeki etkisi Şekil 3.52’de ifade edilmiştir.



Şekil 3. 52 Isıtma döneminde tek sıralı ısı değiştirici için farklı durumlarda COP değeri Şekil 3.52’den görüldüğü gibi tek sıralı ısı değiştirici için ısıtma döneminde COP, iki farklı ısı pompası düzeneğinde de toprak derinliği 1 metre olduğunda artmıştır. P013 ünitesinin COP değeri P019 ünitesinin COP değerinden daha düşüktür. P019 ünitesinin COP değeri ısı değiştiricinin boyunun 100 m ile 1000 m olduğu zamanda ortalama 3,3

dür. P013 ünitesinin COP değeri ise aynı durumda ortalama 2,2 dir. Her iki ısı değiştirici de toprak derinliği 0,5 metre ya da 1 metredir. Şekil 3.53’de tek ve çift sıralı ısı değiştirici aynı ısı pompası düzeneğindedir ve sadece toprak derinliğinin ısıtma COP değeri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

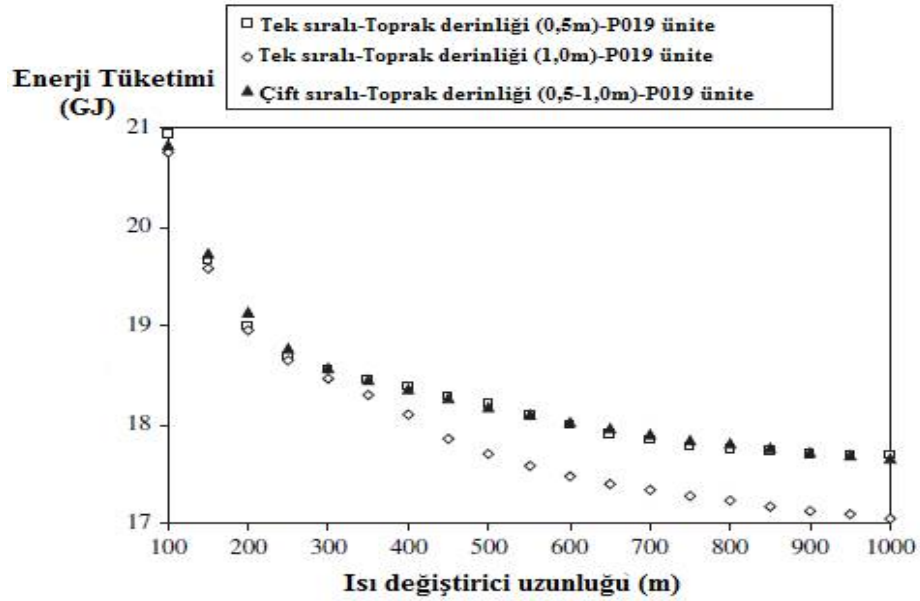


Şekil 3. 53 Isıtma dönemi boyunca montaj derinliğinin tek ve çift sıralı ısı değiştirici üzerinde etkisi [18]

Tek ve çift sıralı U tipi ısı değiştiricinin konulduğu ısı pompası ünitesi P019 ve tek sıralı ısı değiştiricinin derinliği 0,50 m ile 1 metredir. Çift sıralı ısı değiştiricinin ilk kısmının konulduğu derinlik 0,50 m, ikinci kısmının konulduğu derinlik 1 metredir. Yapılan analiz sonucunda derinliği 1 metre olan tek sıralı ısı değiştiriciden elde edilen COP miktarının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

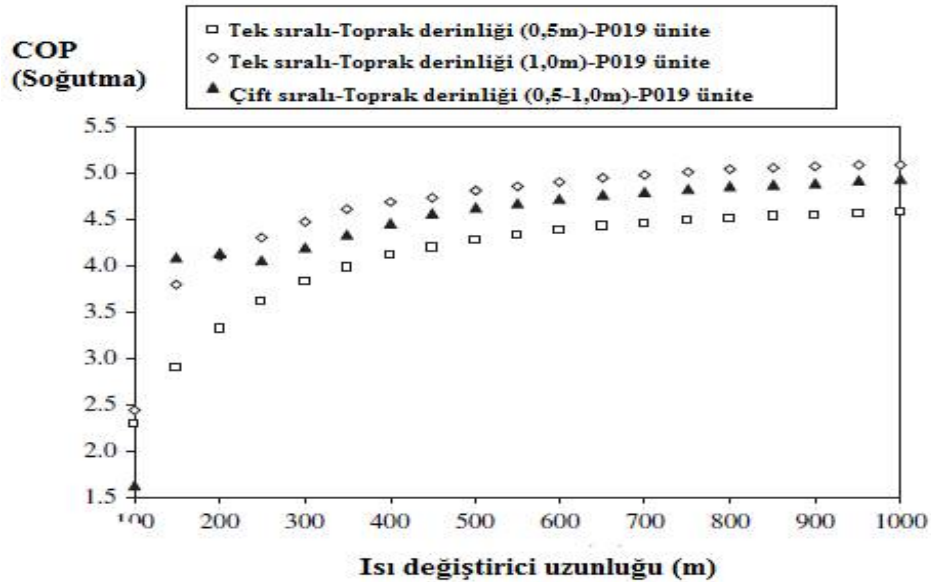
Şekil 3.54’de P019 ünitesine farklı toprak derinliklerinde yerleştirilmiş tek ve çift sıralı ısı değiştiricinin ısıtma sezonu boyunca tükettikleri ısı miktarı belirtilmiştir. Şekil 3.54’den görüldüğu gibi ısıtma sezonu boyunca tüketilen enerji miktarına bakıldığında 1 metre derinlikteki tek sıralı U tipi ısı değiştiricinin diğerlerine oranla daha az enerji tükettiği görülmektedir. 0,50 metre derinlikteki tek sıralı U tipi ısı değiştirici ile ilk kısmı toprağın 0,50 metre altına ikinci kısmı toprağın 1 metre altına yerleştirilen çift sıralı U tipi ısı değiştiricinin enerji tüketimlerinin benzer eğilim gösterdiği görülmüştür. Her üç

ısı değiştiricide de ısı değiştiricinin uzunluğu 100m'den 1000 metreye doğru ilerlediğinde ısı değiştiricilerin enerji tüketimeleeri azalmaktadır.



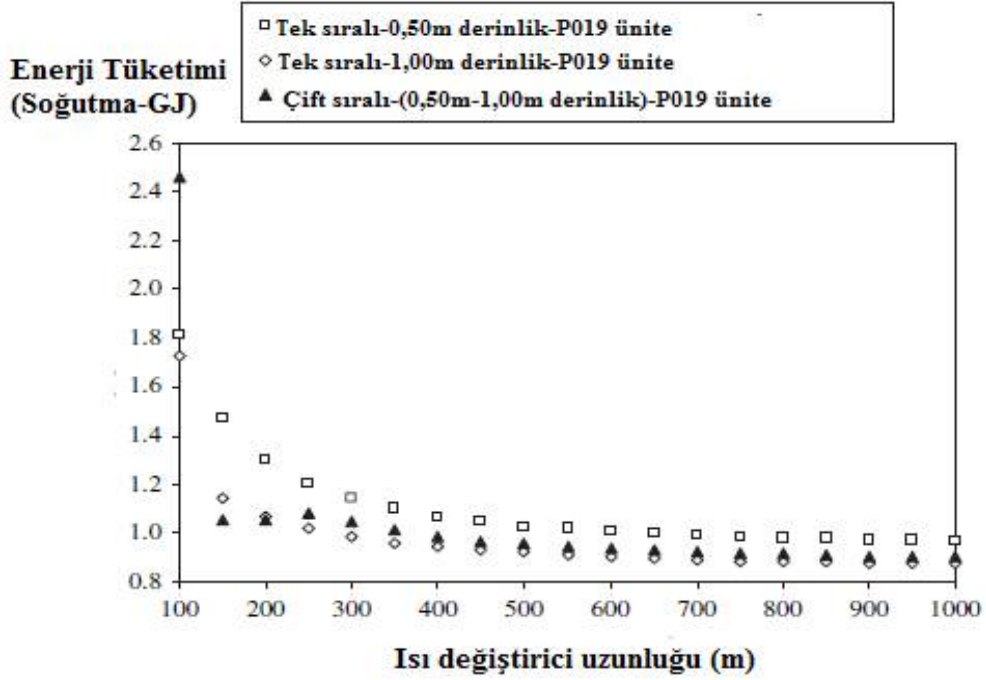
Şekil 3. 54 Tek ve çift sıralı ısı değiştiricilerin P019 ünitesinde ısıtma sezonunda tükettikleri toplam enerji miktarı [18]

Şekil 3.55'de tek ve çift sıralı ısı değiştiriciler için toprak derinliğinin soğutma döneminde COP üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



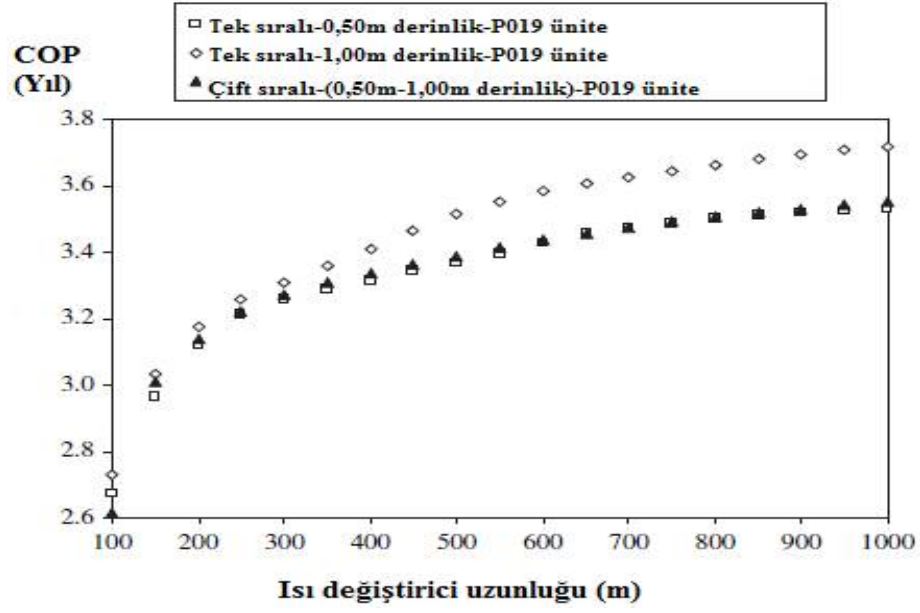
Şekil 3. 55 Tek ve çift sıralı ısı değiştiriciler için toprak derinliğinin COP üzerindeki etkisi [18]

Şekil 3.55'den görüldüğü gibi soğutma sezonu süresince COP değeri en yüksek olan 1 metre derinlikteki tek sıralı U tipi ısı değiştiricidir. En düşük COP değerine sahip ısı değiştirici ise 0,50 m derinlikteki U tipi ısı değiştiricidir. Boru uzunluğu 100 m ile 1000 m arasında 1 metre toprak derinliğindeki ısı değiştiricinin COP değeri ortalama 4,5 dir. Şekil 3.56'da soğutma dönemi boyunca tek ve çift sıralı ısı değiştiricilerin farklı toprak derinliklerinde tükettiği enerji miktarı görülmektedir.



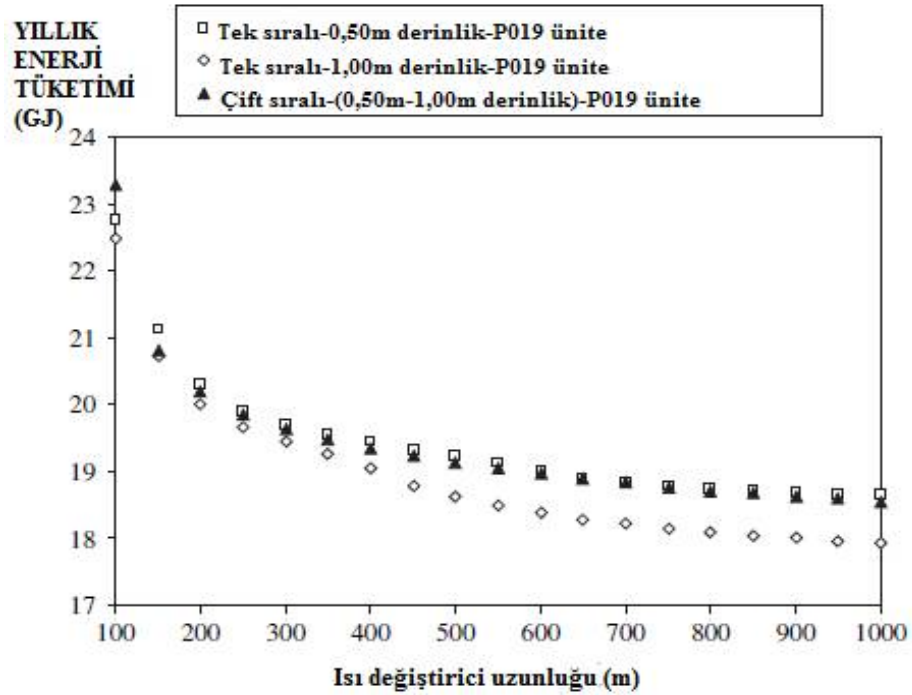
Şekil 3. 56 Soğutma dönemi boyunca farklı toprak derinliğindeki ısı değiştiricilerin tükettiği ısı miktarı [18]

Şekil 3.56'dan görüldüğü gibi soğutma dönemi boyunca tüketilen enerji en az toprak derinliği 1 metre olan ısı değiştiricidir. Şekil 3.57 ve Şekil 3.58'de tek ve çift sıralı ısı değiştiricilerin P019 ünitesinde yıllık ortalama COP ve enerji tüketim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 57 Tek ve çift sıralı ısı değiştiricilerin farklı toprak derinliğinde yıllık COP değeri [18]

Yıllık COP değerine bakıldığında 1 metre derinlikteki tek sıralı U tipi ısı değiştiricinin diğerlerine oranla COP değeri daha yüksektir. 100 metre ve 1000 metre boru uzunluğunda ortalama COP değeri 3,35 dir.



Şekil 3. 58 Farklı toprak derinliğindeki P019 ünitesinde bulunan tek ve çift sıralı ısı değiştiricilerin yıl boyunca tükettikleri enerji tüketimi [18]

Şekil 3.58'den görüldüğü gibi yıllık enerji tüketim miktarına bakıldığında 1 metre derinlikteki tek sıralı ısı değiştiricinin daha az enerji tükettiği, 0,50 metre derinlikteki tek sıralı ısı değiştirici ile çift sıralı ısı değiştiricinin benzer eğilim gösterdiği görülmektedir.

Ghong vd. [19] yatay olarak yerleştirilmiş slinky tip ısı değiştiricinin termal simülasyonunu bilgisayar ortamında yapmıştır. Ghong vd. bu çalışmada 5 farklı hatve çapı, 3 farklı boru mesafesi ve 3 farklı tip toprak kullanmıştır. Isı değiştiriciler birbiriyle ısı verim bakılarak karşılaştırılmıştır. Isı değiştiriciler toprağın 1,2 m altına konulmuştur ve ısı değiştiricilerin boru çapı 40 mm dir. Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'de üç farklı tipteki toprağın ve birbiriyle karşılaştırılan geometrilerin teknik özellikleri verilmiştir. [19]

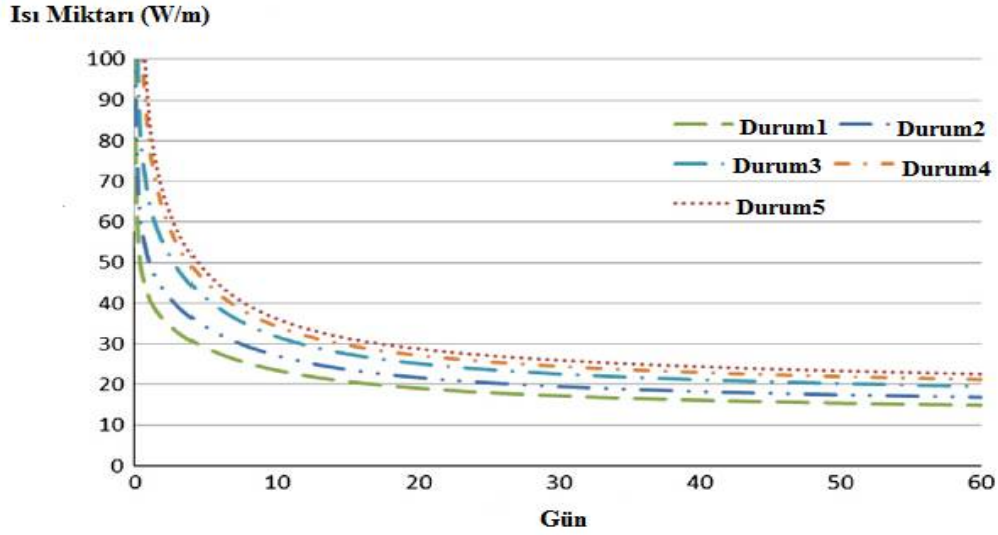
Çizelge 3. 10 Üç farklı tipteki toprağın teknik özellikleri [19]

Toprağın tipi	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (kJ/kgK)	Isı İletim Katsayısı (W/Mk)
A	1587,32	1,4648	1,24
B	1442	0,837	0,35
C	1440	1,7	2,6

Çizelge 3. 11 Farklı tipteki slinky tip ısı değiştiricilerin 60 gün içinde elde ettikleri ısı miktarı [19]

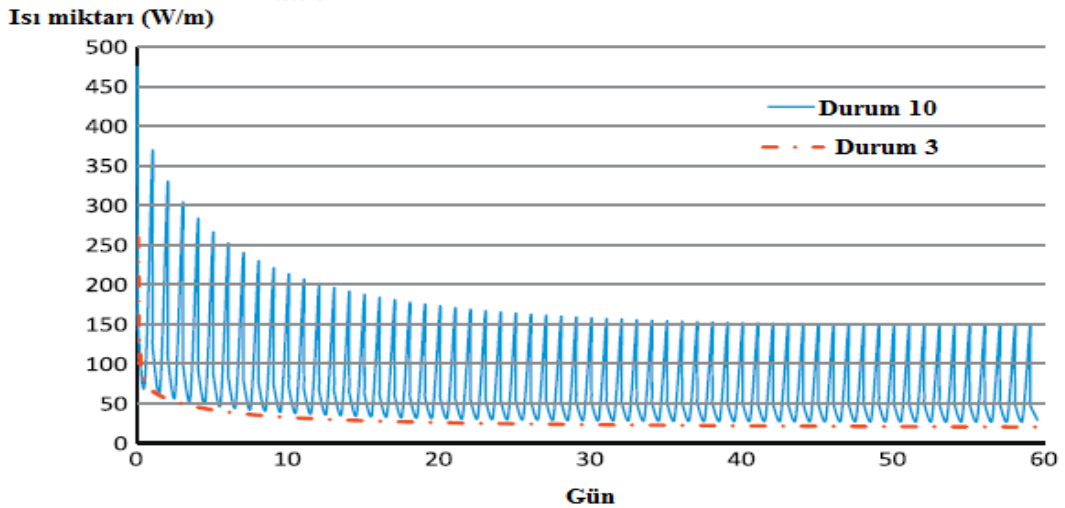
Durum	Hatve çapı (m)	Hatveler Arası Mesafe (m)	Toprak Tipi	60 Gün içerisinde elde edilen ısı miktarı (W/m)
1	1	3	A	14,9
2	1	2	A	16,87
3	1	1	A	19,55
4	1	0,5	A	21,24
5	1	0,25	A	22,58
6	1,2	1,2	A	20,48
7	0,8	0,8	A	18,51
8	1	1	B	6,23
9	1	1	C	36,65
10	1	1	A	75,49

Şekil 3.59'da 5 farklı tip ısı değıştirci karşılaştırılmıştır. Isı değıştircilerin tamamında hatve çapı 1 metredir. Hatveler arası mesafe ise sırasıyla 0,25m, 0,50 m, 1 m, 2 m ve 3 m dir.



Şekil 3. 59 Durum1'den Durum5'e kadar slinky tip ısı değıştircilerden elde edilen ısı miktarı [19]

Şekil 3.59'dan görüldüğü gibi 60 günlük süre içerisinde elde edilen ısı miktarı Durum 5'de en fazladır. Başlangıçta 100 W/m K olan ısı miktarı 60 gün sonunda yaklaşık 25 W/m dir. Şekil 3.60'da aynı teknik özelliklere sahip ısı değıştirciler farklı yoğunluktaki toprak içerisine konulmuş ve elde edilen ısı miktarları karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. 60 Farklı yoğunluktaki toprağa yerleştirilen aynı teknik özelliklere sahip ısı değıştircilerden elde edilen ısı miktarı [19]

Şekil 3.60'dan görüldüğü gibi 60 günlük süre içerisinde Durum 10'dan Durum 3'e göre daha fazla ısı elde edilmiştir. Durum 10 için 60 gün süresince gün içerisinde belli zamanlarda pik değerler olmuştur. Bu değerler başlangıçta 370 W/m iken, 30.günden sonra bu değer 200 W/m dir. Durum 3 için başlangıçta elde edilen ısı miktarı 100 W/m iken 10.günden sonra ortalama elde edilen ısı miktarı 25 W/m dir.

3.2 Yatay Tip Isı Değiştiricilerin Ansys-Fluentte Modellenmesi, Teknik Özellikleri Ve Nümerik Analizlerinin Yapılması

3.2.1 Ansys-Fluent

3.2.1.1 Korunum Denklemleri

Bütün akışkanlar için ANSYS-FLUENT momentum, enerji ve kütle korunum denklemlerini kullanarak analiz yapar, akışkan ile ilgili sıcaklık, basınç, enerji, hız gibi önemli parametreler hakkında bilgi verir. Aşağıda ANSYS-FLUENT programının kullandığı kütle, enerji, momentum ve süreklilik denklemleri verilmiştir. [9]

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (3.1)$$

(3.1)'de hesaplanan kütle korunum denkleminin genel formudur. Sıkıştırılabilen akışın yanı sıra sıkıştırılamaz akış içinde bu denklem geçerlidir. İki boyutlu geometriler için süreklilik denklemi (3.2)'de gösterilmiştir. [9]

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x}(\rho v_x) + \frac{\delta}{\delta r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = S_m \quad (3.2)$$

Burada x, aksel koordinant, r radyal koordinant, v_x aksel hız ve v_r ise radyal hızdır. Momentum korunumu denklemi, ivmelendirilmeyen akış çerçevesinde (3.3)'deki gibidir. [9]

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho \vec{v}) + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla(\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3.3)$$

Burada p, statik basınç, τ gerilme sensörünü, ρg ve F ise sırasıyla yer çekimi ve kuvveti ifade etmektedir. Enerji korunumu denklemi ise (3.4)'de ifade edilmiştir. [9]

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho E) + \nabla(\bar{v}(\rho E + p)) = -\nabla(\sum_j h_j j_j) + S_h \quad (3.4)$$

3.2.1.2 Turbulanslı Akışta Standart k-ε Modeli

ANSYS-FLUENT, akış türbülanslı olduğu zaman numerik analizi yapılan modeli farklı tip türbülans denklemleri kullanarak çözdürebilir. Bunlardan biri Standart k-ε modelidir. Standart k-ε modeli yarı ampirik bir modeldir ve bu modelleme türbülanslı kinetik enerji k ile onun dağılım oranı ε bağlıdır. Bu modelde akış tamamen türbülanslı olarak düşünülür ve moleküler viskozitenin etkileri göz ardı edilebilir niteliktedir. Bu nedenle Standart k-ε modeli sadece akışın tamamen türbülanslı olduğu durumlarda geçerlidir. Standart k-ε için taşınım denklemleri (3.5) ve (3.6)'da ifade edilmiştir. [9]

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho k) + \frac{\delta}{\delta x_j}(\rho k v_j) = \frac{\delta}{\delta x_j}[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}] \frac{\delta k}{\delta x_j} + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \quad (3.5)$$

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho \epsilon) + \frac{\delta}{\delta x_j}(\rho \epsilon v_j) = \frac{\delta}{\delta x_j}[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}] \frac{\delta \epsilon}{\delta x_j} + c_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + c_{3\epsilon} G_b) - c_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3.6)$$

(3.5) ve (3.6)'da, G_k ana hız gradyenlerinin neden olduğu türbülansın sahip olduğu kinetik enerjiyi, G_b, kaldırma kuvvetinin neden olduğu türbülanslı kinetik enerjiyi ifade etmektedir. C_{1ε}, C_{2ε} ve C_{3ε} sabit sayılardır. σ_k ve σ_ε türbülanslı durumlarda Prandtl sayılarıdır. 'k ve ε' için türbülanslı durumda viskozite (3.7)'deki gibi hesaplanır. [9]

$$\mu_t = \rho c_m \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.7)$$

Burada, C_m sabittir. Bu modelleme için sabitlerin değerleri sırasıyla aşağıda verilmiştir. Bu sabit değerler deneysel çalışmalardan elde edilmiştir. [9]

$$C_{1\epsilon} = 1,44, C_{2\epsilon} = 1,92, C_m = 0,09, \sigma_k = 1,0, \sigma_\epsilon = 1,3$$

3.2.1.3 Ansys-Fluent k-ε Modeli Taşınım Isısı Ve Kütle Transferi

ANSYS-FLUENT, türbülanslı ısı taşınımını Reynold'un türbülanslı momentum transferi için oluşturduğu kıyaslama modeline göre çözer. Modellenmiş enerji denklemi (3.8)'de gösterilmiştir. [9]

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho E) + \frac{\delta}{\delta x_j} [v_i (\rho E + P)] = \frac{\delta}{\delta x_j} (k_{eff} \frac{\delta T}{\delta x_j} + v_i (T_{ij})_{eff} + S_h) \quad (3.8)$$

Burada E, toplam enerjiyi, k_{eff} ısı iletimini ve $T_{ij,eff}$ ise deviatorik gerilme kuvvetini ifade etmektedir. Standart k-ε model için k_{eff} (3.9)'da ifade edilmiştir. [9]

$$k_{eff} = k + \frac{C_p \mu_t}{Pr_t} \quad (3.9)$$

Burada k, ısı iletim katsayısıdır. Pr_t ise, türbülanslı Prandtl sayısı olup 0,85 dir. [9]

3.2.1.4 Isı Değiştiriciler İçin Akış Doğrultusunda Basınç Düşümünün Ansys-Fluentte Modellenmesi

ANSYS-FLUENT, basınç düşümünü (3.10)'da gösterildiği gibi hesaplamaktadır.

$$\Delta p = \frac{1}{2} f \rho_m U_{Amin}^2 \quad (3.10)$$

Burada,

Δp : Akış doğrultusundaki basınç kaybı

f: Akış doğrultusundaki basınç kayıp katsayısı

ρ_m : Akışkanın yoğunluğu

U_{Amin} : Minimum akış alanındaki akışkan hızı

ifade etmektedir. Akış doğrultusundaki basınç kayıp katsayısı f, (3.11)'de ifade edilmiştir. [9]

$$f = (K_c + 1 - \sigma^2) - (1 - \sigma^2 - K_e) \frac{V_e}{V_i} + 2 \left(\frac{V_e}{V_i} - 1 \right) + f_c \frac{A}{A_c} \frac{V_m}{V_i} \quad (3.11)$$

Burada,

σ : Yüzey alanı oranı için minimum akış

K_c : Giriş kayıp katsayısı

K_e : Çıkış kayıp katsayısı

A: Ana akış yüzey alanı

A_c : Minimum kesit alanı

F_c : Sürtünme faktörü

V_e : Çıkıştaki hacim

V_i : Girişteki hacim

V_m : Ortalama özgül hacimdir. $[0,5(V_e+ V_i)]$

K_c ve K_e değerleri deneysel çalışmalardan elde edilmiş ampirik verilerdir. F_c , sürtünme faktörü (3.12)'deki gibi ifade edilir. [9]

$$f_c = a \cdot Re_{min}^b \quad (3.12)$$

Burada,

a: Sürtünme katsayısı

b: Sürtünme üssel sayısı

Re_{min} : Minimum akış alanındaki hız için Reynold sayısıdır.

Denklem 3.12'de a ve b deneysel çalışmalardan elde edilen ampirik değerlerdir. Reynold sayısı (3.13)'deki gibi ifade edilmektedir. [9]

$$Re_{min} = \frac{\rho_m U_{Amin} D_H}{\mu_m} \quad (3.13)$$

Burada,

ρ_m : Akışkanın yoğunluğu

μ_m : Akışkanın dinamik vizkozitesi

D_h : Hidrolik çap

U_{Amin} : Minimum akış alanında akışkanın hızı

İfade edilir. Isı değiştiriciler için hidrolik çap (3.14)'de ifade edilmektedir. [9]

$$D_H = 4L\left(\frac{A_c}{A}\right) \quad (3.14)$$

Burada, L akışkanın ısı değiştirici içerisinde sirküle olduğu toplam uzunluktur.

U_{Amin} ise (3.15) yardımıyla ifade edilmektedir. [9]

$$U_{Amin} = \frac{U}{\sigma} \quad (3.15)$$

Burada, U ana akış hızını, σ ise minimum akış oranıdır.

3.2.2 Yatay Tip Isı Değiştiricilerin Teknik Özellikleri

Toprak içerisine yerleştirilen ısı değiştiricinin geometrisi, topraktan akışkana ya da akışkandan toprağa olan ısı transferini etkilemektedir. Bu çalışmada, 2 adet modelleme içerisinde her birinde 3'er geometri olmak üzere toplamda 6 adet farklı geometrideki ısı değiştirici birbiriyle karşılaştırılmıştır. Isı değiştiricileri, her bir modellemede sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm hatve (kavis) apına sahiptir. Tüm geometrilerde polietilen ve bakır boru içerisinden geçen akışkan olarak su kullanılmıştır. Bütün geometrilerde suyun, toprağın, dış ortamın teknik özellikleri tamamen aynıdır. Bu çalışmada sadece hatve çaplarının sıcaklık, basınç ve ısı transferi üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Toprağın, suyun, kullanılan polietilen borunun ve dış ortamla ilgili teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Toprak;	Polietilen Boru-Bakır Boru	Su;
$\rho = 1587,32 \text{ kg/ m}^3$	$\rho = 940 \text{ kg/ m}^3\text{-}8978 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 998.2 \text{ kg/ m}^3$
$c = 1464.8 \text{ J/kg K}$	$c = 2300 \text{ J/kg K-}381 \text{ J/kg K}$	$c = 4182 \text{ J/kg K}$
$k = 1.73 \text{ W/mK}$	$k = 0.38 \text{ W/mK-} 387.6 \text{ W/mK}$	$k = 0.6 \text{ W/mK}$

Suyun giriş sıcaklığı 274 K dir. 274 Kelvinde suyun dinamik viskozitesi 1.519×10^{-3} dür. Buna ek olarak suyun hızı $V= 0,2 \text{ m/s}$ dir.

Suyun $0,2 \text{ m/s}$ hıza sahip olduğunda akışın laminar ya da türbülanslı olduğunun anlaşılabilmesi için Reynold sayısının hesaplanması gerekmektedir.

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad (3.16)$$

Burada;

V: Suyun hızı (m/s)

D: Suyun içerisinde geçtiği borunun çapı (m)

u : Suyun dinamik viskozitesi (kg/ms)

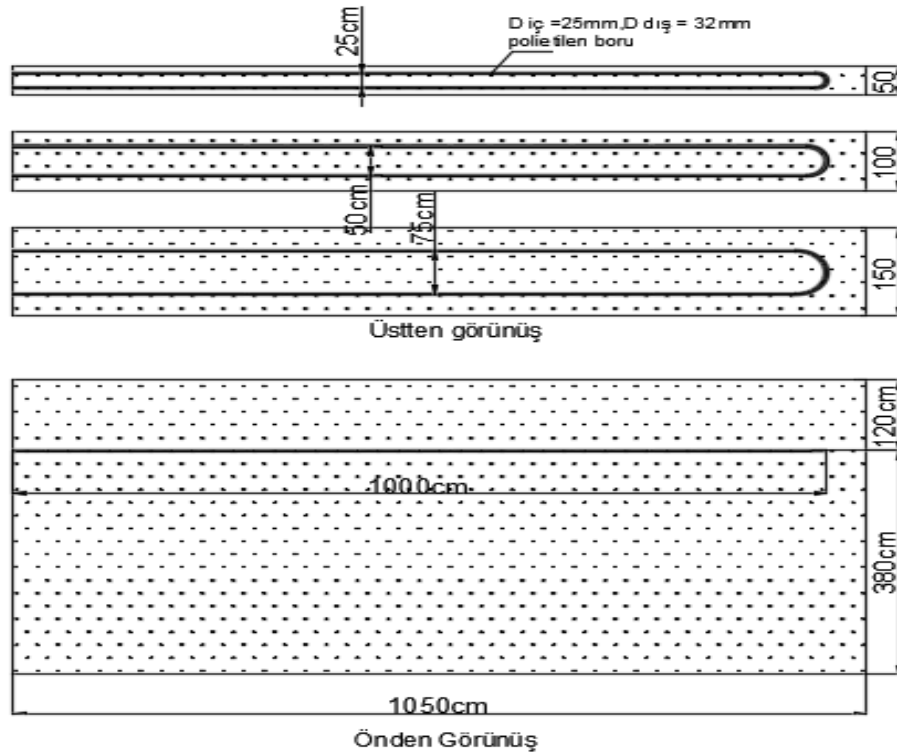
$$Re = \frac{0.2 \left(\frac{m}{s}\right) \times 0.025(m) \times 998 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{0.00159 \left(\frac{kg}{ms}\right)}$$

Buradan Reynold değeri 3285,06 gelir. 3285,06 > 2300 olduğundan akış türbülanslıdır.

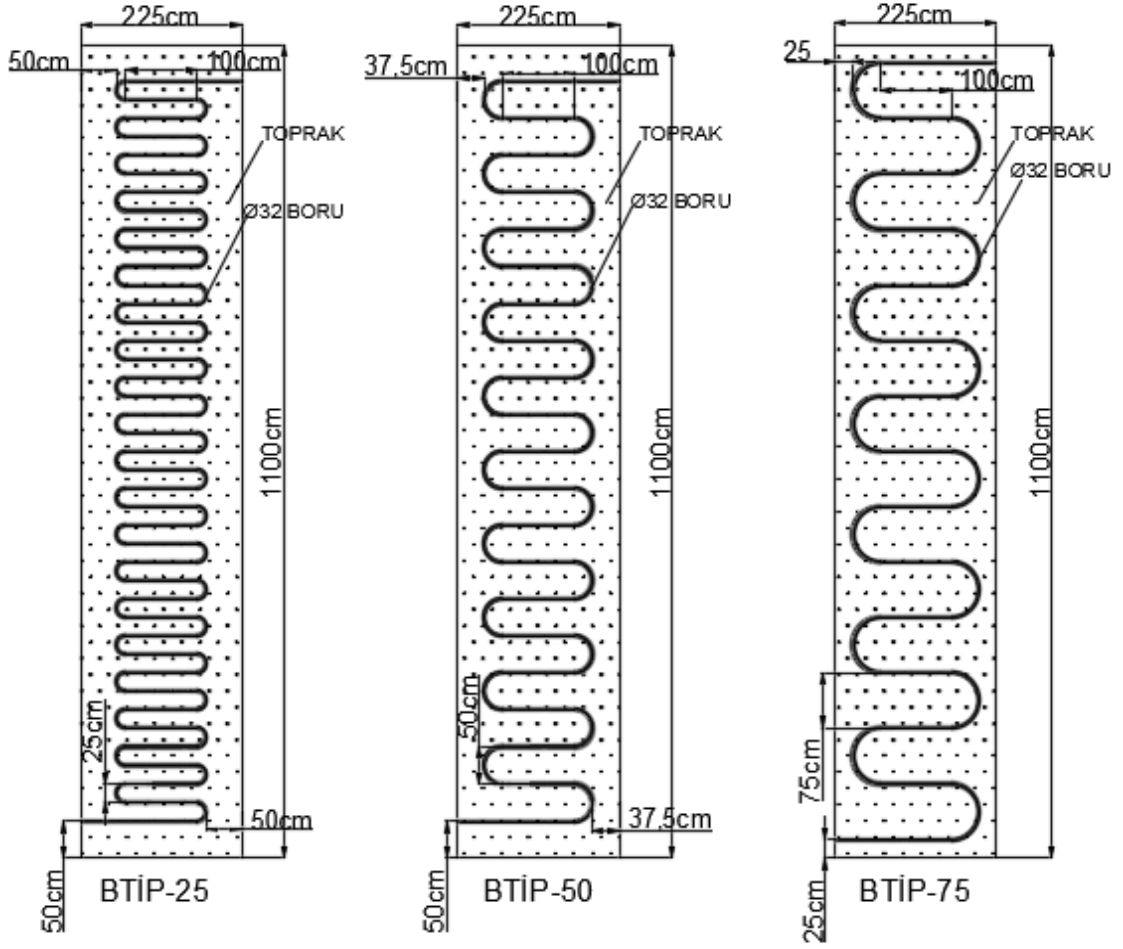
Toprağın üst yüzeyinden rüzgar ile olan taşınım 25 W/m² olarak alınmıştır. Ayrıca rüzgarın sıcaklığı 278 Kelvindir. Toprak iç sıcaklığı ise 289 Kelvindir. Sistem adyabatiktir.

3.2.3 Yatay Tip Isı Değiştiricilerin Geometrileri

U tipi ısı değiştiricilerin hatve (kavis) çapı sırasıyla 25cm, 50cm ve 75 cm olup toprak içerisindeki görünüşleri Şekil 3.61 ve Şekil 3.62'deki gibidir.



Şekil 3. 61 Hatve (kavis) çapı sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm olan 3 adet tek sıralı U tipi ısı değiştiricinin geometrileri



Şekil 3. 62 Hatve (kavis) çapı sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm olan birbirine seri bağlı 3 adet U tipi ısı değiştiricinin geometrileri

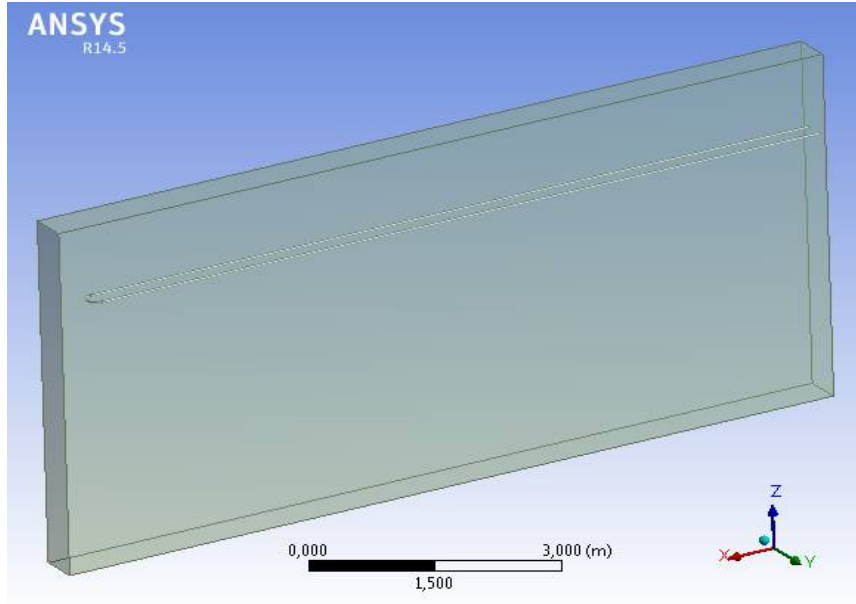
Bütün geometrilerde kullanılan borunun iç çapı 25 mm dış çapı ise 32 mm dir. Borunun et kalınlığı 3,5 mm dir. Buna ek olarak her bir ısı değiştirici toprağın 1,2 metre altına yerleştirilmiştir. Buna ek olarak toprak yüksekliği her ısı değiştiricide aynıdır ve 5 metredir. Toprak eni, tek sıralı U tipi ısı değiştirici de sırasıyla 50 cm, 100 cm ve 150 cm dir. Toprak uzunluğu ise 1050 cm dir. Çok sıralı ısı değiştiricilerde her üç geometrinin toprak ebatları aynıdır. Toprağın eni 225 cm, toprağın boyu 1100 cm dir.

3.2.4 Yatay Tip Isı Değiştiricilerin Ansys-Fluentte Modellenmesi

Ansys-Fluent'te modelleme ve sonuçlar sırasıyla 4 farklı işlem yapılarak yapılmaktadır. Sırasıyla yapılan işlemler aşağıda belirtildiği gibidir.

- Geometri
- Meshing
- Fluent
- Results

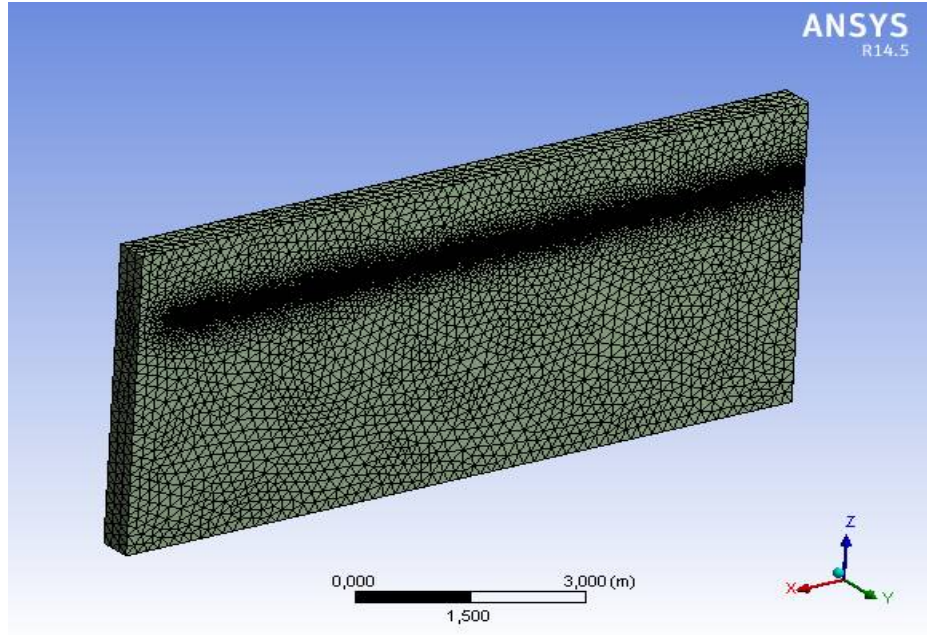
Geometri kısmında, analizi yapılacak geometri oluşturulur. 3 boyutlu ya da 2 boyutlu modelleme bu kısımda yapılmaktadır. Analizi yapılan 3 boyutlu yatay tip ısı değiştirici Şekil 3.63'deki gibidir.



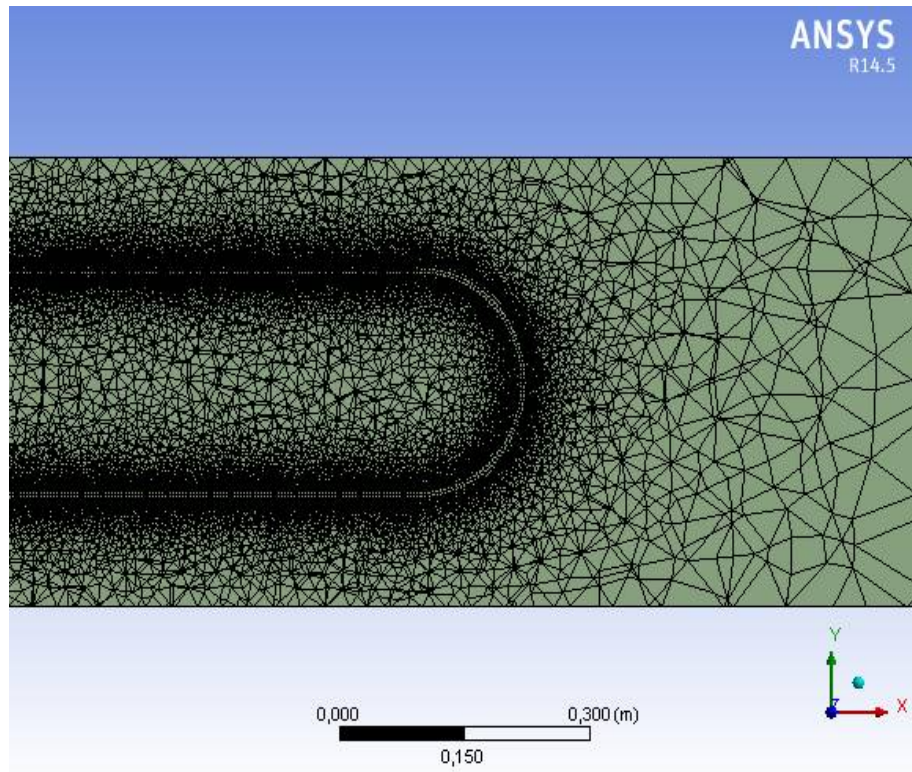
Şekil 3. 63 Yatay Tip Isı Değiştiricilerin Ansys-Fluentte Modellenmesi

Geometri istenilen ölçülerde oluşturulduktan sonra Meshing kısmına geçilir. Meshing bölümünde 3 boyutlu yatay tip ısı değiştirici istenilen ölçülerde küçük parçalara ayrılır. Topraktan boruya ısı transferi olduğu için boru yüzeyi ile toprak yüzeyinin birleştiği noktalara daha sık mesh atılmıştır. Isı değiştirici için mesh oluşturulurken fiziksel referans olarak CFD seçilmiştir. Ayrıca pürüzlülük giderme (smoothing) yüksek tutulmuştur. Boru çapı toprağa göre çok küçük olduğundan boru ile toprağın temas ettiği noktalara daha iyi mesh atılabilmesi için uyumluluk (relevance center) yüksek

tutulmuştur. Şekil 3.64 ve Şekil 3.65’de ısı değiştiriciler için oluşturulan mesh gösterilmektedir.

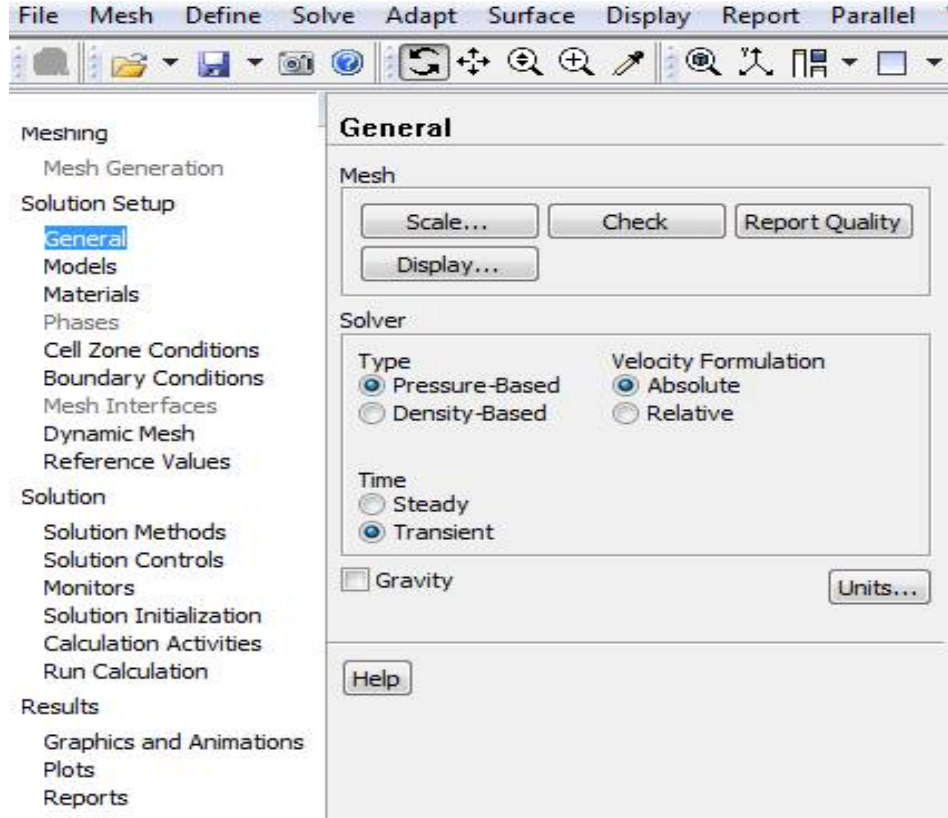


Şekil 3. 64 Yatay tip ısı değiştirici için oluşturulan mesh



Şekil 3. 65 Boru yüzeyi ile toprak yüzeyinin temas ettiği bölgede oluşturulan mesh

Mesh oluşturulduktan sonra Fluent kısmına geçilir. Fluentte akışın tipi, toprak-su-borunun teknik özellikleri, sınır ve yakınsama şartları belirlenir. Şekil 3.66'da Fluent gösterilmiştir.

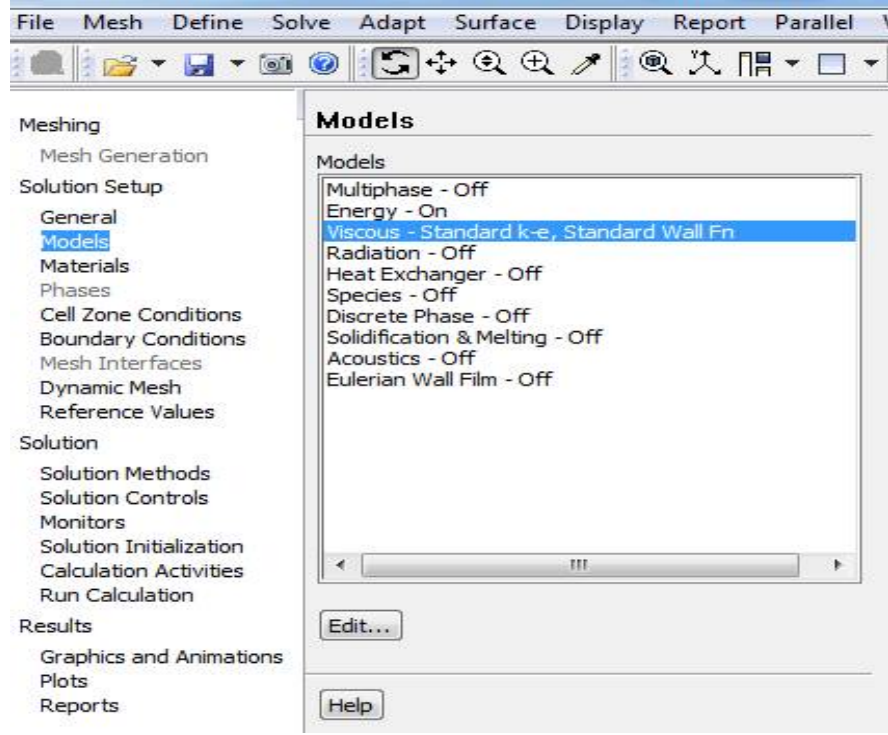


Şekil 3. 66 Fluent

Şekil 3.66'dan görüldüğü gibi Fluent üç ana kısımdan oluşmaktadır.

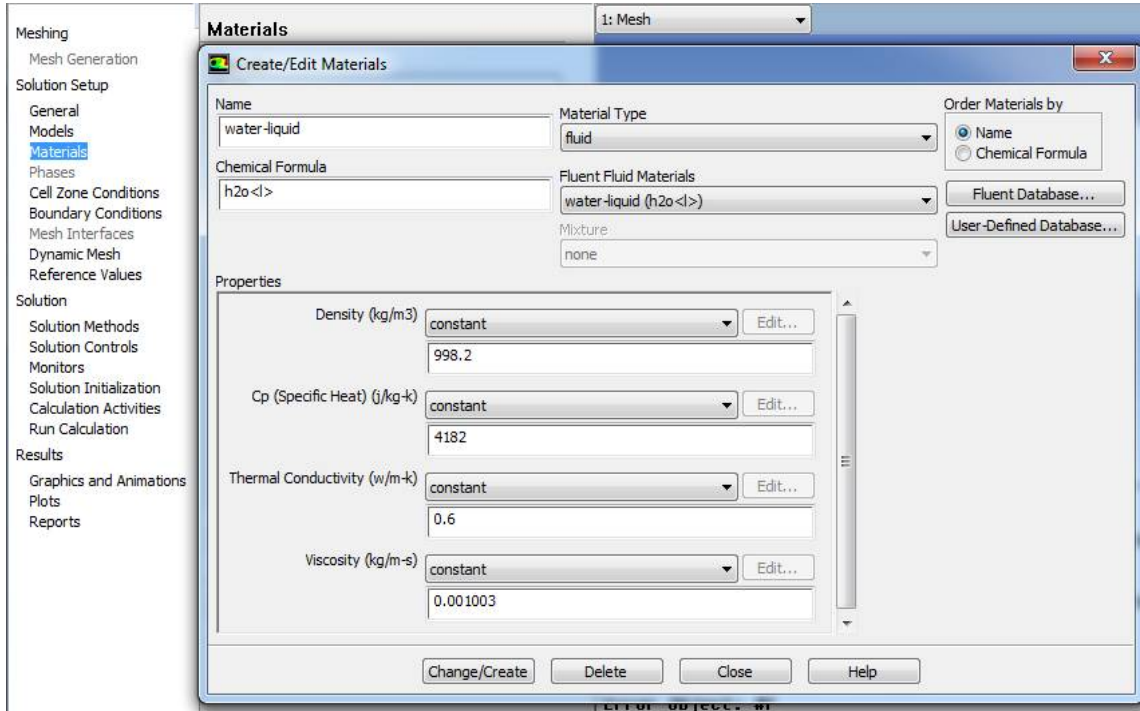
- Çözüm şartları (Solution Setup)
- Çözüm (Solution)
- Sonuçlar

Akışkan su olduğundan çözüm basınca bağlı olarak çözdürülmüştür. Akış 6 ay süresince yapıldığından ve toprak sıcaklığı zamana bağlı olarak değiştiğinden zaman transient olarak alınmıştır. Fluentte model belirlenirken topraktan suya ısı transferi olduğundan enerji denklemleri kullanılması gerekmektedir. Ayrıca akış türbülanslı olduğu için Şekil 3.67'de gösterildiği gibi analiz k-epsilon modeline göre çözdürülmüştür.

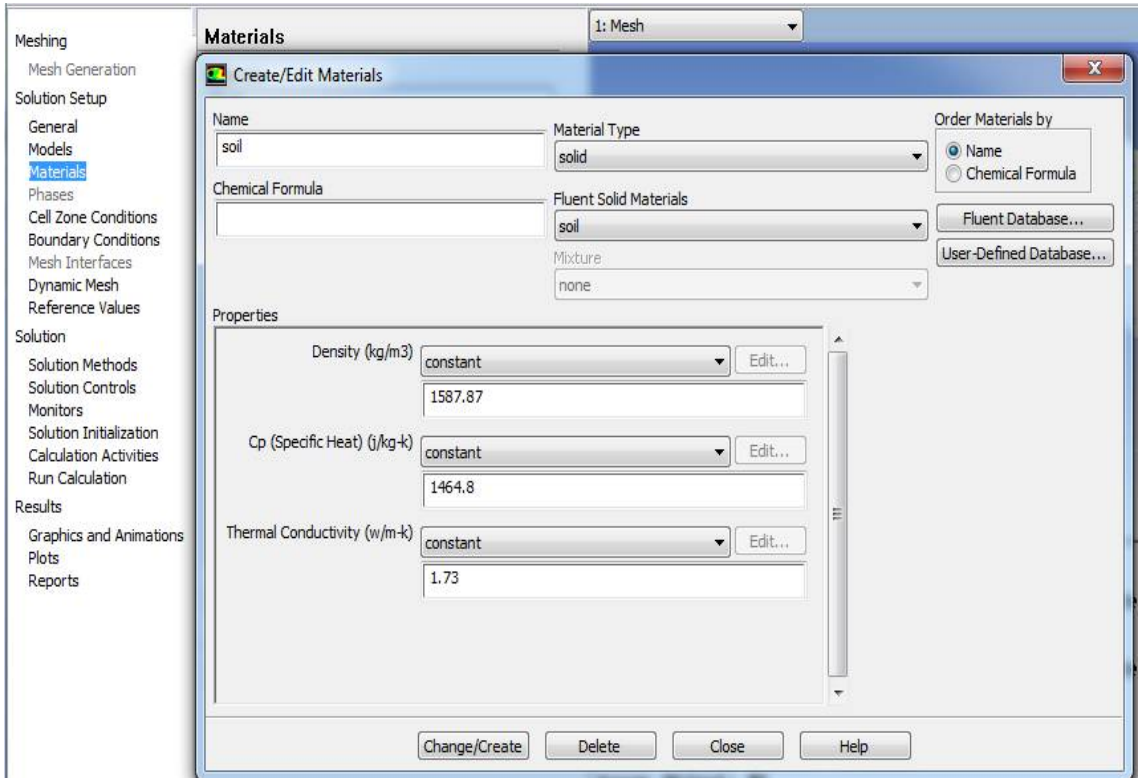


Şekil 3. 67 k-epsilon modeli

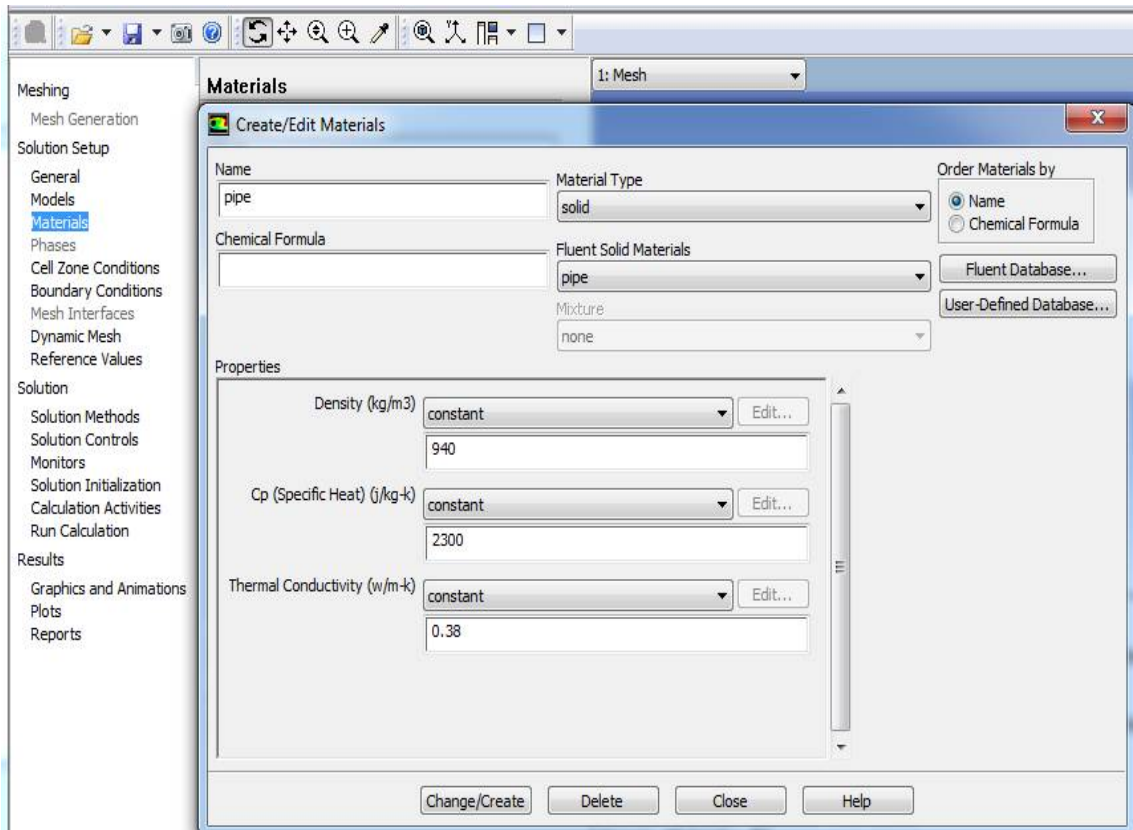
Materyal (Materials) kısmında toprak, su ve boruya ait teknik özellikler (yoğunluk, özgül ısı, ısıl iletim katsayısı) Şekil 3.68, Şekil 3.69 ve Şekil 3.70'deki gibi sisteme girilmiştir.



Şekil 3. 68 Suya ait teknik özellikler

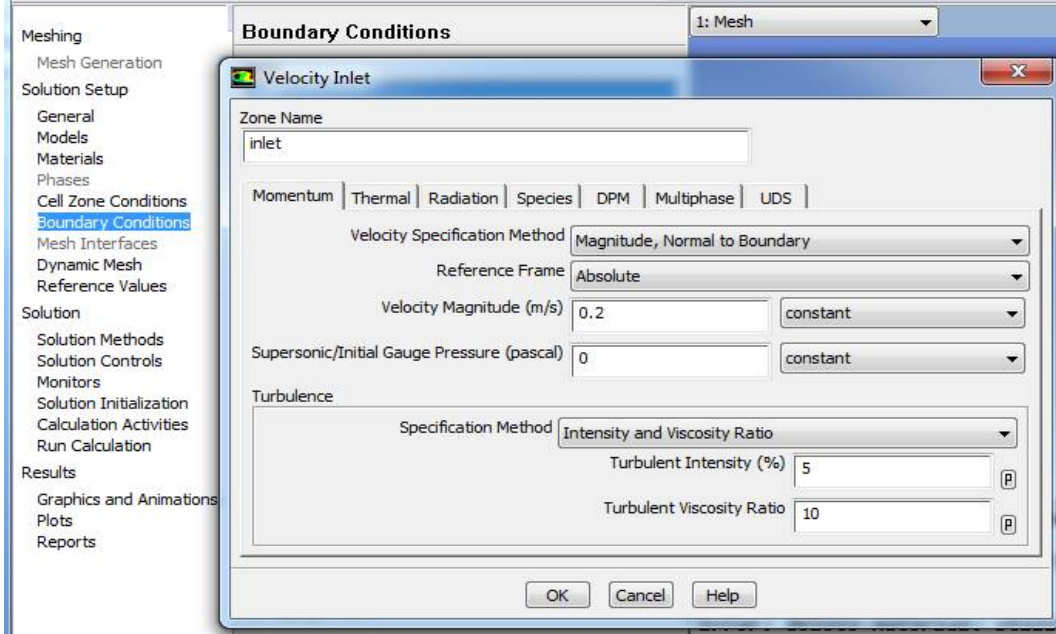


Şekil 3. 69 Toprağa ait teknik özellikler

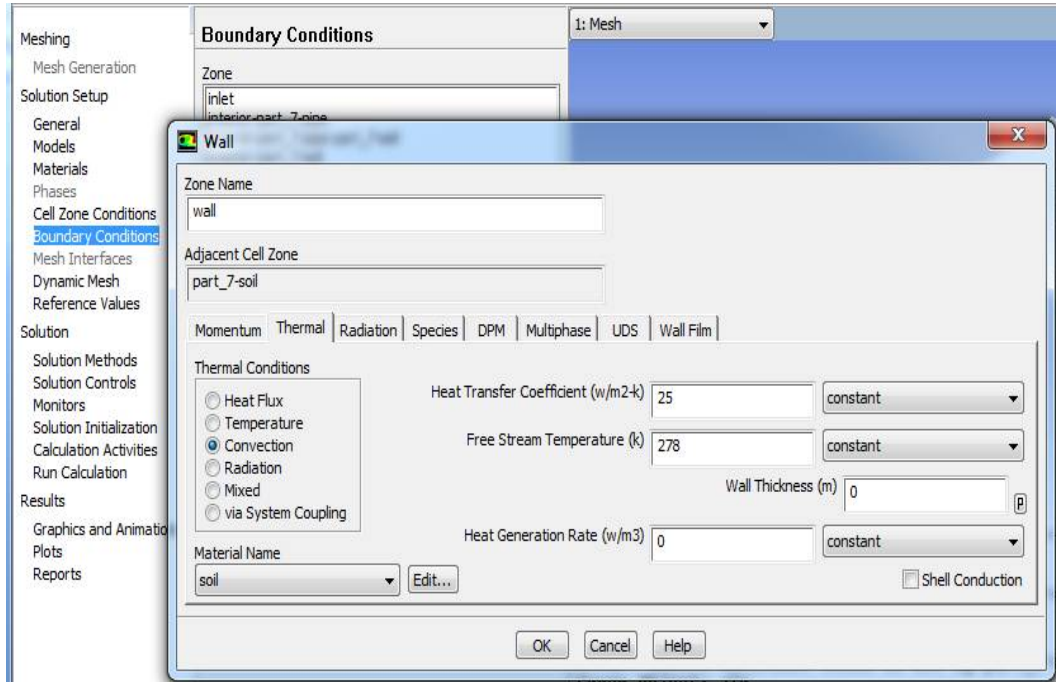


Şekil 3. 70 Polietilen boruya ait teknik özellikler

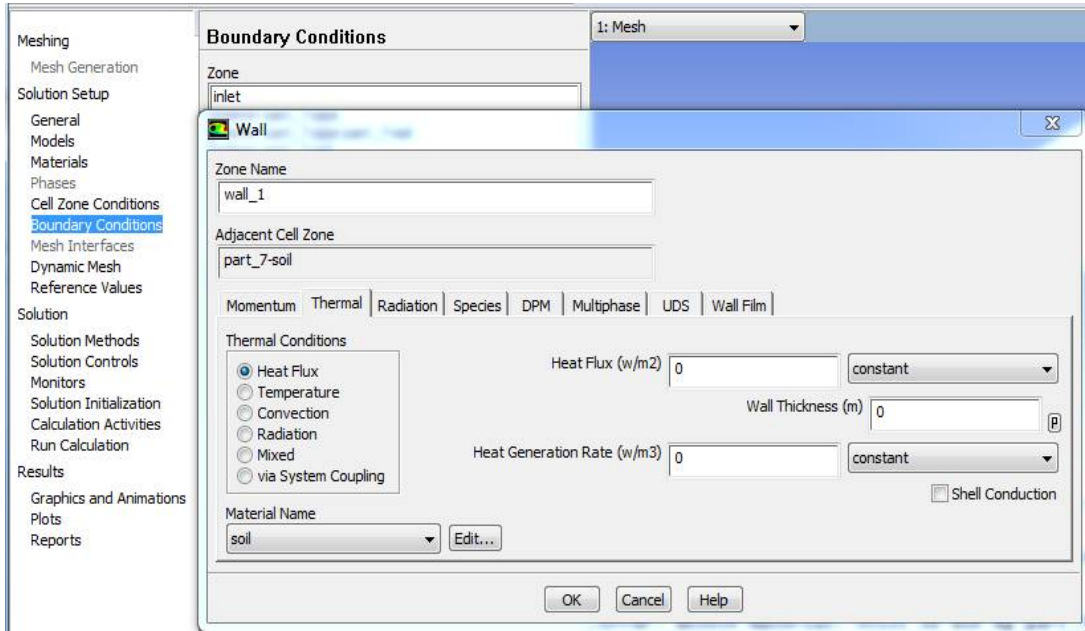
Sınır şartları Şekil 3.71, Şekil 3.72 ve Şekil 3.73’de gösterildiği gibi sisteme girilmiştir. Şekil 3.71’de görüldüğü gibi suyun hızı 0,2 m/s olarak sisteme girilmiştir. Şekil 3.72’de toprağın üst kısmından taşınım ile kaybedilen ısı miktarı 25 W/m^2 ve dış sıcaklık ise 278 K dir. Şekil 3.73’de ise toprağın adyabatik olduğu yani sisteme dışarıdan ısı girmediği kabulü yapılmıştır.



Şekil 3. 71 Suya ait hız ve türbülans oranları

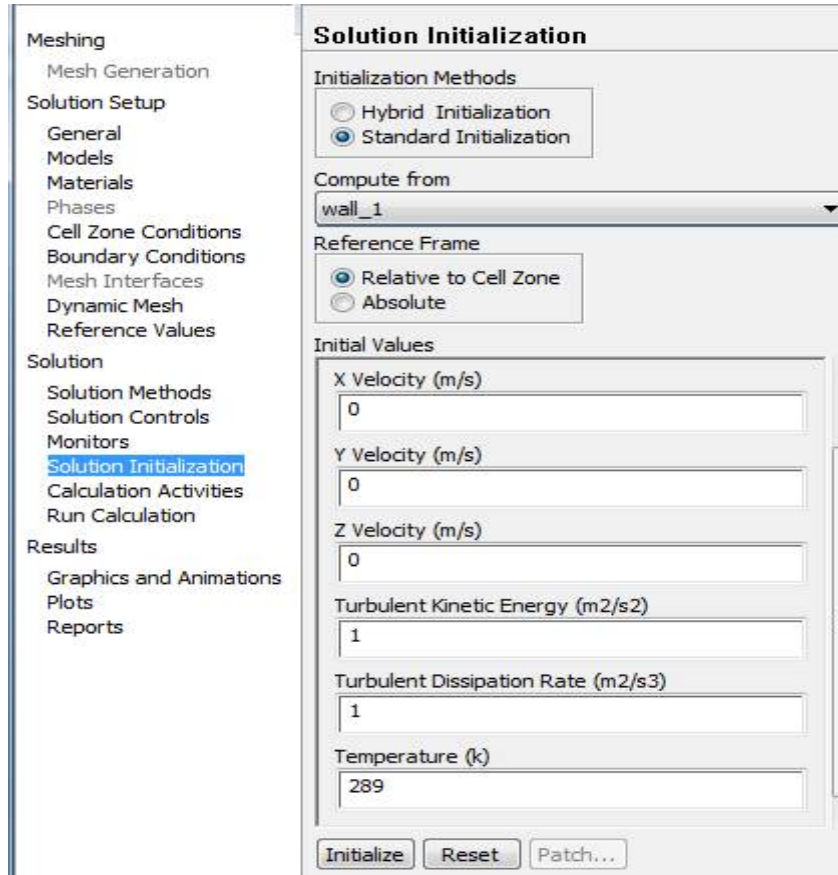


Şekil 3. 72 Toprağın üst kısmına ait teknik özellikler



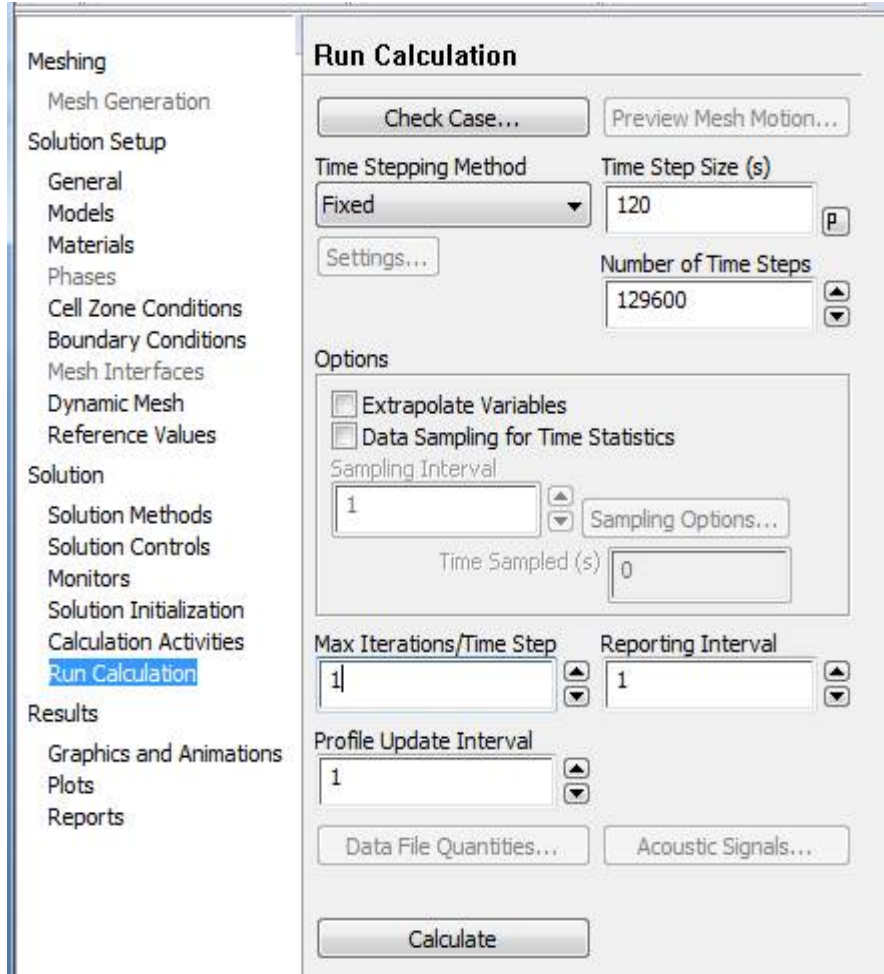
Şekil 3. 73 Toprak dış yüzeylerin adyabatik olarak sisteme girilmesi

Şekil 3.74'de gösterildiği gibi analiz toprağın ilk sıcaklığı 289 Kelvin'e göre çözdürülmüştür.



Şekil 3. 74 Toprağın başlangıç sıcaklığına göre analizin yapılması

Şekil 3.75'den görüldüğü gibi analiz 120 saniye aralıklarla toplam 129600 iterasyon yapılarak 6 aylık süreyi kapsamaktadır.



Şekil 3. 75 Toplam analiz süresi (6 aylık)

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Makalelerde daha önceden yapılmış teorik ve deneysel çalışmalarda elde edilen veriler aşağıdaki çizelgelerde sırasıyla gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 Nam ve Chae'nin çalışmasından elde edilen sonuçlar

LİNEER TİP MODEL	Boru Çapı (mm)	Toprak eni (m)	Akış oranı (L/min)	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Zaman (saat)	Derinlik (m)	Dönem	W/m	W/m ²
Durum 1	32	0,3	9,52	3	9	0,65	ISITMA	12	41
Durum 2	32	0,4	9,52	3	9	0,65	ISITMA	15	36
Durum 3	32	0,5	9,52	3	9	0,65	ISITMA	17	34
Durum 4	32	0,3	9,52	3	9	0,65	ISITMA		
Durum 5	32	0,3	9,52	3	9	0,65	ISITMA		
Durum 6	25	0,3	9,52	3	9	0,65	ISITMA	8	29
Durum 7	35	0,3	9,52	3	9	0,65	ISITMA	11	38
Durum 8	32	0,3	9,52	0	9	0,65	ISITMA	15	50
Durum 9	32	0,3	9,52	5	9	0,65	ISITMA	10,5	35
Durum 10	32	0,3	4,76	3	9	0,65	ISITMA	11	36,5
Durum 11	32	0,3	11,42	3	24	0,65	ISITMA	13	40,5
Durum 12	32	0,3	2,85	3	24	0,65	ISITMA		
Durum 13	32	0,3	6,66	3	24	0,65	ISITMA		
Durum 14	32	0,3	9,52	3	24	0,65	ISITMA		
Durum 15	32	0,3	11,42	3	24	0,65	ISITMA		
Durum 16	32	0,3	9,52	0	24	0,65	ISITMA		
Durum 17	32	0,3	9,52	5	24	0,65	ISITMA		
Durum 18	32	0,3	9,52	30	24	0,65	SOĞUTMA	-1	-4,5
Durum 19	32	0,3	9,52	35	24	0,65	SOĞUTMA	4	12
Durum 20	32	0,3	9,52	40	24	0,65	SOĞUTMA	6	19,5

Çizelge 4. 2 Dasara Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar

Numerik Modelleme	Boru Çapı(mm)	Toprak Derinliği (m)	Su hızı (m/s)	Toprağın ısı iletim katsayısı (W/m K)	Zaman (yıl)	Dönem	Isı Miktarı (kwh)	Tip
1	50	1,5	-	-	1	ISITMA	175	HELİSEL
2	50	1,5	-	-	1	ISITMA	75	SLİNKY
3	50	1,5	-	-	1	ISITMA	20	LİNEER
4	50	2	-	-	1	ISITMA	180	HELİSEL
5	50	2	-	-	1	ISITMA	78	SLİNKY
6	50	2	-	-	1	ISITMA	23	LİNEER
7	50	2,5	-	-	1	ISITMA	187	HELİSEL
8	50	2,5	-	-	1	ISITMA	79	SLİNKY
9	50	2,5	-	-	1	ISITMA	25	LİNEER
10	50	-	0,25	-	1	ISITMA	130	HELİSEL
11	50	-	0,25	-	1	ISITMA	60	SLİNKY
12	50	-	0,25	-	1	ISITMA	15	LİNEER
13	50	-	0,5	-	1	ISITMA	155	HELİSEL
14	50	-	0,5	-	1	ISITMA	65	SLİNKY
15	50	-	0,5	-	1	ISITMA	20	LİNEER
16	50	-	0,75	-	1	ISITMA	170	HELİSEL
17	50	-	0,75	-	1	ISITMA	72	SLİNKY
18	50	-	0,75	-	1	ISITMA	22	LİNEER
19	50	-	1	-	1	ISITMA	195	HELİSEL
20	50	-	1	-	1	ISITMA	80	SLİNKY
21	50	-	1	-	1	ISITMA	25	LİNEER
22	50	-	-	1	1	ISITMA	125	HELİSEL
23	50	-	-	1	1	ISITMA	50	SLİNKY
24	50	-	-	1	1	ISITMA	10	LİNEER
25	50	-	-	2	1	ISITMA	160	HELİSEL
26	50	-	-	2	1	ISITMA	60	SLİNKY
27	50	-	-	2	1	ISITMA	20	LİNEER
28	50	-	-	3	1	ISITMA	250	HELİSEL
29	50	-	-	3	1	ISITMA	80	SLİNKY
30	50	-	-	3	1	ISITMA	30	LİNEER
31	50	-	-	4	1	ISITMA	340	HELİSEL
32	50	-	-	4	1	ISITMA	125	SLİNKY
33	50	-	-	4	1	ISITMA	40	LİNEER

Çizelge 4. 3 Yoon Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar

Deneysel Çalışma	Hatve Çapı (cm)	Zaman (saat)	Boru Çapı (mm)	Toprak Derinliği (m)	Hatve Sayısı	Toplam Uzunluk (m)	Toplam Isı miktarı (W)	Birim Boru Uzunluğu Başına Elde Edilen Isı Miktarı (W/m)	Tip
1	6	30	16	0,5	63	62	373,2	6,02	HELİSEL
2	30	30	16	0,5	15	18	260,21	14,45	HELİSEL
3	6	30	16	0,5	63	66	290,61	4,42	SLİNKY
4	30	30	16	0,5	15	24	255,3	10,64	SLİNKY
5	8	30	16	0,5	1	8	210,89	26	U TİPİ

Çizelge 4. 4 Adamovsky Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar

Deneysel Çalışma	Toprak Derinliği (m)	Zaman	Boru Uzunluğu (m)	Boru Çapı (mm)	Toplam Yıllık Isı Miktarı (kwh/m ²)	24 Saatte Elde Edilen Isı Miktarı (Wh/m ²)	Tip
1	1,8	1 yıl	330	40	109,23	1652,19	U TİPİ
2	1,5	1 yıl	200	32	57,34	1092,98	SLİNKY

Çizelge 4. 5 Fujii Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar-1

Deneysel Çalışma	Toprak Derinliği		Zaman	Tip	Ortalama Günlük Birim Boru Uzunluğu Başına Elde Edilen Isı Miktarı (W/m)
	1.Kat	2.Kat			
1	1,5	-	24 saat	Tek Sıralı Slinky	32
2	1	2	24 saat	Çift Sıralı Slinky	36

Çizelge 4. 6 Fujii Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar-2

Deneysel Çalışma (Slinky Tip)	Hatveler Arası Mesafe (m)	Boru Uzunluğu (m)	Boru Çapı (mm)	Toprak Derinliği (m)	Hatve Çapı (m)	Debi Miktarı (L/min)	Ortalama Isı Transferi (kw)	Bir Metre Toprakta Ortalama Isı Transferi (W/m)
1	0,4	500	34	1,5	0,8	10,4	4,4	61,1
2	0,6	380	34	1,5	0,8	11,3	4,54	63
3	0,8	308	34	1,5	0,8	12,1	4,56	63,3

Çizelge 4. 7 Congedo Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar

Isı değiştirici tipine göre elde edilen ısı (kwh)	Toprak ısı iletim katsayısı (W/m K)			Toprak derinliği (m)			Hatve çapları (hatveler arası uzaklık) (m)			Su Hızı (m/s)			Dönem
	1	2	3	1,5	2	2,5	0,1	0,2	0,3	0,25	0,5	1	
Lineer tip	21	28	37	28	28	28	-	-	-	26	27	29	KIŞ
Helisel	160	250	350	255	260	275	325	245	220	200	225	270	KIŞ
Slinky	75	100	150	108	110	110	112	95	-	90	98	114	KIŞ

Isı değiştirici tipine göre elde edilen ısı (kwh)	Toprak ısı iletim katsayısı (W/m K)			Toprak derinliği (m)			Hatve çapları (hatveler arası uzaklık) (m)			Su Hızı (m/s)			Dönem
	1	2	3	1,5	2	2,5	0,1	0,2	0,3	0,25	0,5	1	
Lineer tip	14	20	25	19	19	19	-	-	-	17	18	20	YAZ
Helisel	120	170	250	180	185	190	215	175	150	130	150	195	YAZ
Slinky	51	70	103	75	79	80	-	80	69	60	68	77	YAZ

Çizelge 4. 8 Wu Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar

Slinky Tip	Zaman (saat)	Boru Çapı (mm)	Toprak derinliği (m)	Toprak uzunluğu (m)	Slinky hatve çapı (m)	Hatveler Arası Mesafe (m)	1 metre toprak ebatında elde edilen ısı miktarı (W/m)	Birim metre başına elde edilen ısı miktarı (W/m)
1	140	40	1,2	1,5	0,6	-	37	-
2	140	40	1,2	1,5	0,8	-	42	-
3	140	40	1,2	1,5	1	-	45	18
4	140	40	1,2	1,5	-	-	22	20
5	140	40	1,2	1,5	-	1,2	60	16
6	140	40	1,2	1,5	-	1,6	55	17
7	140	40	1,2	1,5	-	2	48	17,5
8	140	40	1,2	1,5	-	3	40	18

Çizelge 4. 9 Tarnawski Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar

U tipi ısı değiştirici	Altı Aylık Çalışma Dönemi	Toprak Derinliği (m)	Hatve (Kavis) çapı (m)	Isı pompası tipi			Cop	Enerji Tüketimi (GJ)
				Hava Oranı (m ³ /s)	Isı değiştirici boru çapı (mm)	Antifriz oranı (L/min)		
1-Tek Katlı	Isıtma	0,5	0,5	0,189	20	13,2	2,4	-
2-Tek Katlı	Isıtma	1	0,5	0,189	20	13,2	2,5	-
3-Tek Katlı	Isıtma	0,5	0,5	0,283	30	19	3,5	17,6
4-Tek Katlı	Isıtma	1	0,5	0,283	30	19	3,7	17
5-Çift Katlı	Isıtma	1.derinlik 0,5- 2.derinlik 1,0	0,5	0,283	30	19	3,49	17,7
6-Tek Katlı	Soğutma	0,5	0,5	0,283	30	19	4,5	1
7-Tek Katlı	Soğutma	1	0,5	0,283	30	19	5	0,9
8-Çift Katlı	Soğutma	1.derinlik 0,5- 2.derinlik 1,0	0,5	0,283	30	19	4,7	0,95

Çizelge 4. 10 Ghong Vd. çalışmasından elde edilen sonuçlar

Nümerik Çalışma	Zaman (gün)	Boru Çapı (mm)	Toprak Derinliği (m)	Toprak Tipi	Hatve Çapı (m)	Hatveler Arası Mesafe (m)	60 gün içerisinde elde edilen ısı miktarı (W/m)	Tip
1	60	40	1,2	A	1	3	14,9	Slinky
2	60	40	1,2	A	1	2	16,87	Slinky
3	60	40	1,2	A	1	1	19,55	Slinky
4	60	40	1,2	A	1	0,5	21,24	Slinky
5	60	40	1,2	A	1	0,25	22,58	Slinky
6	60	40	1,2	A	1,2	1,2	20,48	Slinky
7	60	40	1,2	A	0,8	0,8	18,51	Slinky
8	60	40	1,2	B	1	1	6,23	Slinky
9	60	40	1,2	C	1	1	36,65	Slinky
10	60	40	1,2	A	1	1	75,49	Slinky

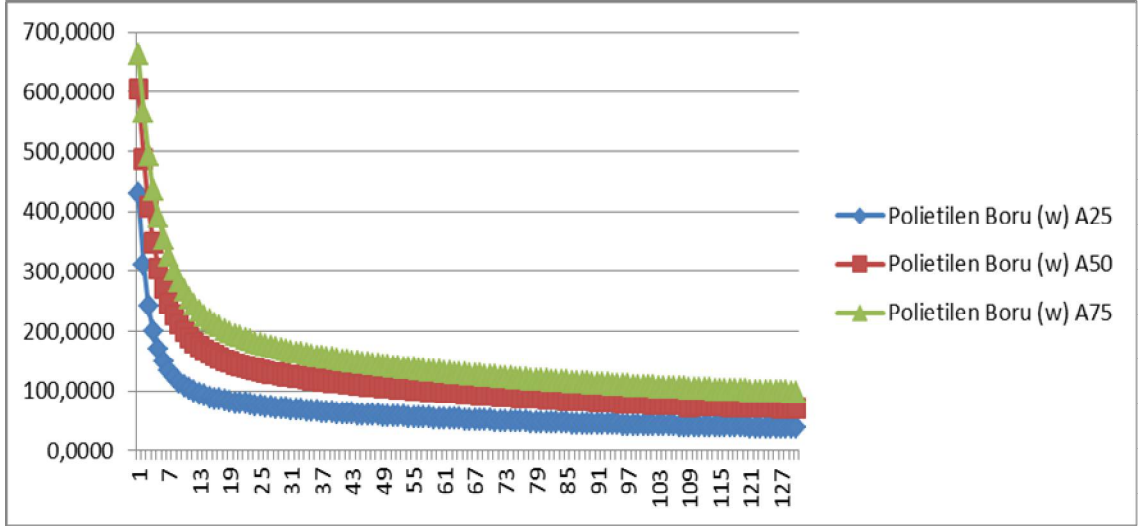
Toprağın tipi	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (kj/kgK)	Isı İletim Katsayısı (W/m K)
A	1587,32	1,4648	1,24
B	1442	0,837	0,35
C	1440	1,7	2,6

- ✓ Nam ve Chae'nin çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı miktarı en çok Durum 3'teki gibidir. Bunun nedeni; toprağın eni arttıkça toprak miktarı artacağından topraktan suya geçen ısı miktarı da artacaktır. Ancak toprak alanı artacağından birim metrekare başına elde edilen ısı miktarı düşecektir. Tüm durumlardan elde edilen sonuçlara bakıldığında Nam ve Chae'nin çalışmasında en ideal boru çapının 32 mm olduğu görülmektedir.
- ✓ Dasara vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, en verimli ısı değiştiricinin helisel tip ısı değiştirici olduğu görülmüştür. Toprak derinliği, su hızı ve toprağın ısı iletim katsayısı arttıkça ısı değiştiricilerin tamamında ısı miktarının arttığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Yoon vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, toplamda elde edilen ısı miktarı helisel tip ısı değiştiricide en fazladır. Ancak birim boru uzunluğu başına elde edilen ısı miktarına bakıldığında U tipi ısı değiştiricide en fazla ısı transferi olmuştur.
- ✓ Adamovsky vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, U tipi ısı değiştiricinin boru uzunluğu Slinky tip ısı değiştiriciye oranla daha fazla olduğundan U tipi ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı daha fazladır.
- ✓ Fujii vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, çift sıralı slinky tip ısı değiştiriciden elde edilen ısı miktarı tek sıralı slinky tip ısı değiştiriciye oranla daha fazladır. Buna ek olarak hatveler arası mesafe ve su debisi arttıkça bir metre topraktan elde edilen ortalama ısı miktarı da artmıştır.

- ✓Congedo vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, kış ve yaz döneminde ısı değiştiricilerin verimlilikleri yüksekten alçağa doğru sırasıyla helisel, slinky ve lineer tip ısı değiştiricidir.
- ✓Wu vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, slinky tip ısı değiştiricide hatve çapı ve hatveler arası mesafe arttıkça elde edilen ısı miktarının arttığı görülmektedir.
- ✓Tarnawski vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, COP değeri en yüksek olan ısı değiştiricinin COP değeri 3.7, toplam enerji tüketimi ise 17 GJ dır. Soğutma döneminde ise aynı ısı değiştiricinin COP değeri 5 ve toplam enerji tüketimi 0,9 GJ dır.
- ✓Ghong vd. çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, slinky tip ısı değiştiricide hatveler arası mesafe 3 metreden sırasıyla 2m, 1m, 0,5m, 0,25m düştükçe topraktan elde edilen ısı miktarı artmıştır. Ayrıca çalışma sırasında 3 adet farklı teknik özellikleri olan toprak kullanılmıştır. A tipi toprağın termal difüzyonu diğerlerine oranla daha yüksek olduğundan bu toprak tipinden elde edilen ısı miktarı daha fazladır.

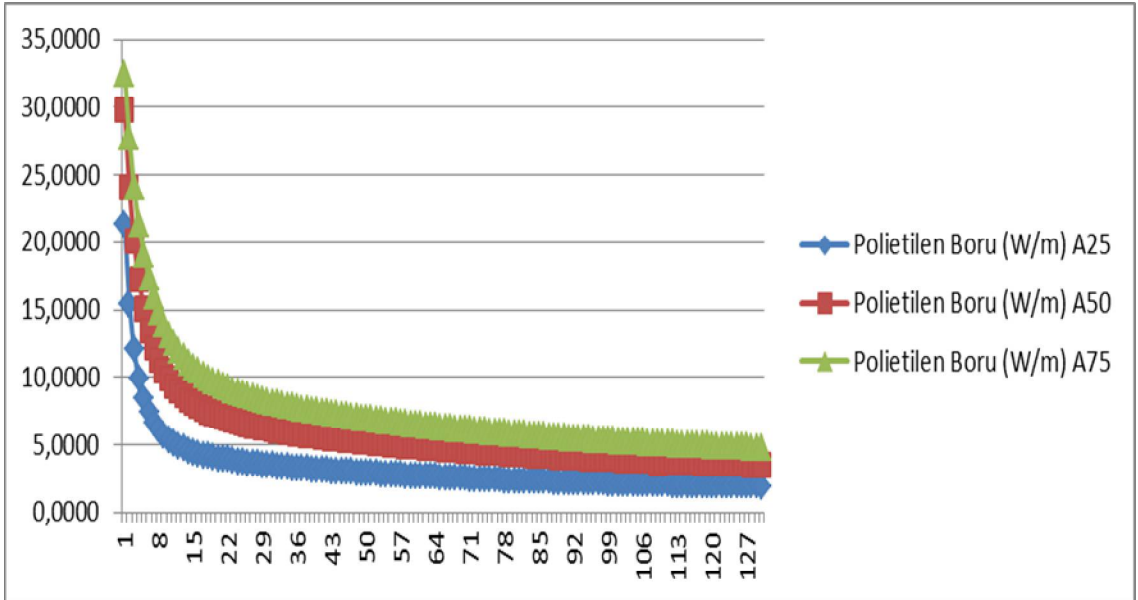
Bilgisayar ortamında ANSYS-FLUENT'te analizi yapılan polietilen ve bakır boruya ait geometrilerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1/Şekil 4.11'de gösterildiği gibidir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de tek sıra olarak toprağa yerleştirilen polietilen borudan altı ay içerisinde elde edilen ısı miktarı $W-W/m$ olarak gösterilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de ise bakır borudan elde edilen ısı miktarı gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında her iki ısı değiştiricide topraktan elde edilen ısı miktarı zamanla azalmaktadır. Bunun nedeni; toprak sıcaklığı, ısı değiştiriciler topraktan ısı çektiği için zamana bağlı olarak azalmaktadır. Buna ek olarak her iki ısı değiştiricide elde edilen ısı değerleri birbirine çok yakındır. Bu yüzden bakır borunun pahalı ve korozyona uğraması nedeniyle bakır boru yerine ona yakın ısı değerleri veren bükülgen ve basınca dayanıklı polietilen borunun toprak kaynaklı ısı pompasında kullanılması daha uygundur.



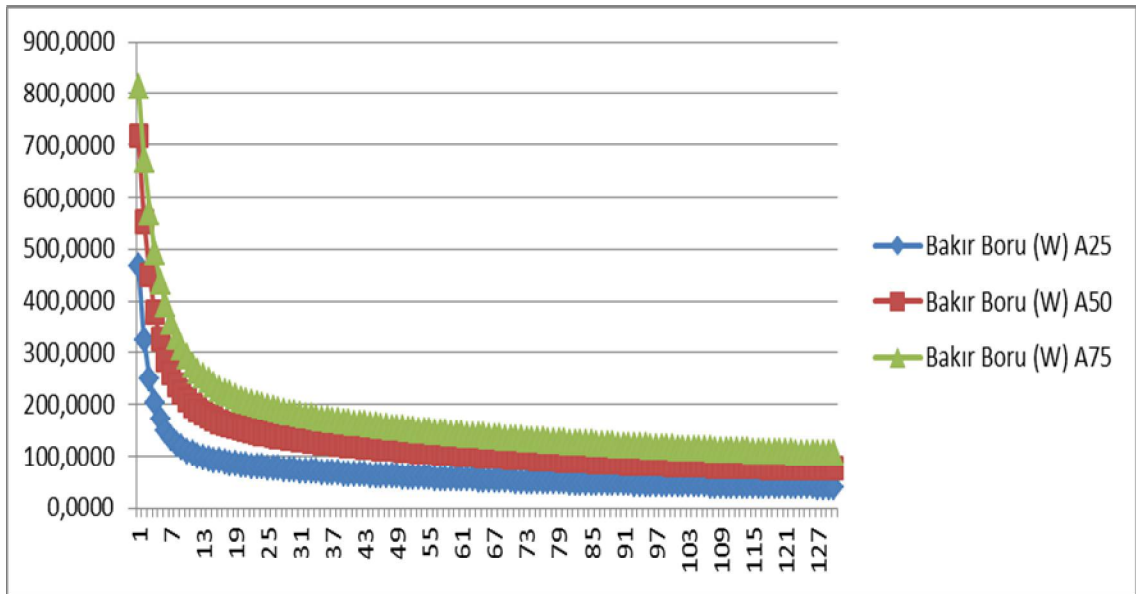
Şekil 4. 1 Altı ay içerisinde polietilen borudan elde edilen ısı miktarı (W)

Şekil 4.1'den görüldüğü gibi polietilen boruda hatve çapı arttıkça toprak miktarı arttığından altı ay içerisinde en çok ısı transferi hatve (kavis) çapı 75 cm olan ısı değiştiriciden elde edilmiştir. En düşük ısı transferi ise hatve (kavis) çapı 25 cm olan ısı değiştiriciden elde edilmiştir. Isı değiştiriciler toprağa yerleştirildikten 33 saat sonra hatve çapı 75 cm olan ısı değiştiriciden saniyede 662 W ısı elde edilirken, hatve çapı 50 cm olan ısı değiştiriciden 605 W, hatve çapı 25 cm olan ısı değiştiriciden ise 430 W elde edilmiştir. Altı ay sonunda ise bu değerler sırasıyla 98 W, 72 W ve 39,45 W tır.



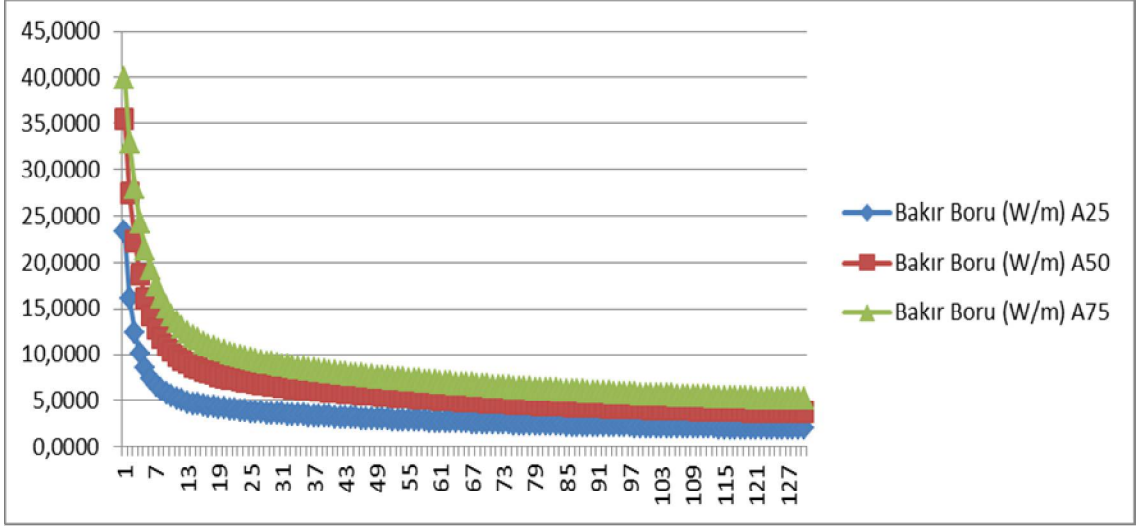
Şekil 4. 2 Altı ay içerisinde polietilen borudan elde edilen ısı miktarı (W/m)

Şekil 4.2’de polietilen borudan farklı hatve çaplarında birim metre başına elde edilen ısı miktarları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi hatve çapı arttıkça ısı değiştiriciden birim metrede elde edilen ısı miktarı artmıştır. 33.saat sonunda hatve çapı 75 cm olan ısı değiştiriciden birim metrede elde edilen ısı miktarı saniyede W/m cinsinden 32,40 dir. Hatve çapı 50 cm olan ısı değiştiriciden birim metrede elde edilen ısı 29,82 W/m, hatve çapı 25 cm olan ısı değiştiriciden ise 21,30 W/m ısı elde edilmiştir. Altı ay sonunda ise birim metreden elde edilen ısı miktarı ise hatve çapı 75 cm, 50 cm ve 25 cm için sırasıyla 4,80 W/m, 3,55 W/m ve 1,96 W/m dir.



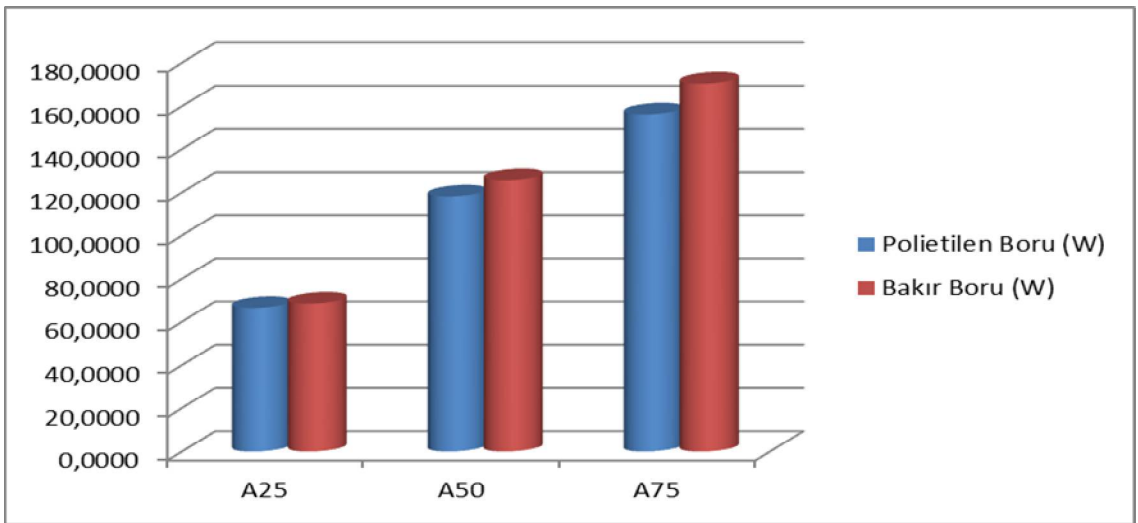
Şekil 4. 3 Altı ay içerisinde bakır borudan elde edilen ısı miktarı (W)

Şekil 4.3’den görüldüğü gibi bakır boruda hatve çapı arttıkça toprak miktarı arttığından altı ay içerisinde en çok ısı transferi hatve (kavis) çapı 75 cm olan ısı değiştiriciden elde edilmiştir. En düşük ısı transferi ise hatve (kavis) çapı 25 cm olan ısı değiştiriciden elde edilmiştir. Isı değiştiriciler toprağa yerleştirildikten 33 saat sonra hatve çapı 75 cm olan ısı değiştiriciden saniyede 814 W ısı elde edilirken, hatve çapı 50 cm olan ısı değiştiriciden 719 W, hatve çapı 25 cm olan ısı değiştiriciden ise 469 W elde edilmiştir. Altı ay sonunda ise bu değerler sırasıyla 105 W, 75,5 W ve 40,49 W tır.



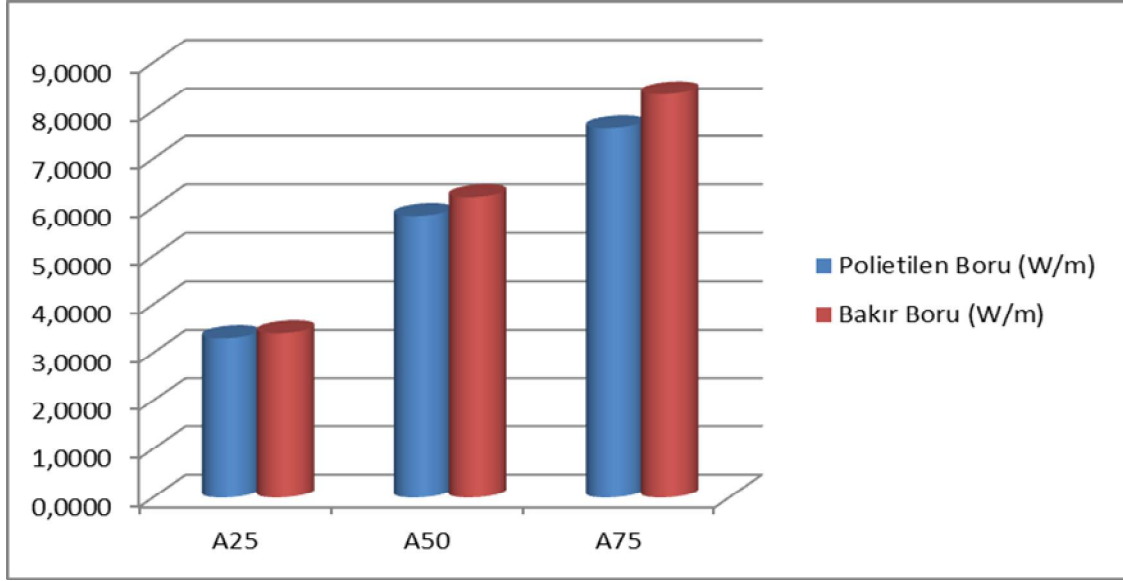
Şekil 4. 4 Altı ay içinde bakır borudan elde edilen ısı miktarı (W/m)

Şekil 4.4'de bakır borudan farklı hatve çaplarında birim metre başına elde edilen ısı miktarları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi hatve çapı arttıkça ısı değiştiriciden birim metrede elde edilen ısı miktarı artmıştır. 33.saat sonunda hatve çapı 75 cm olan ısı değiştiriciden birim metrede 1 saniyede elde edilen ısı miktarı W/m cinsinden 39,85 dir. Hatve çapı 50 cm olan ısı değiştiriciden birim metrede elde edilen ısı miktarı ise 35,45 W/m, hatve çapı 25 cm olan ısı değiştiriciden ise 23,26 W/m ısı elde edilmiştir. Altı ay sonunda ise birim metreden elde edilen ısı miktarı ise sırasıyla 4,80 W/m, 3,55 W/m ve 1,96 W/m dir. Bakır ve polietilen borudan 6 ay içinde 1 saniyede elde edilen ortalama ısı miktarı farklı hatve çapları için W-W/m cinsinden Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4. 5 Bakır ve polietilen borudan altı ay içerisinde 1 saniyede elde edilen ortalama ısı miktarı (W)

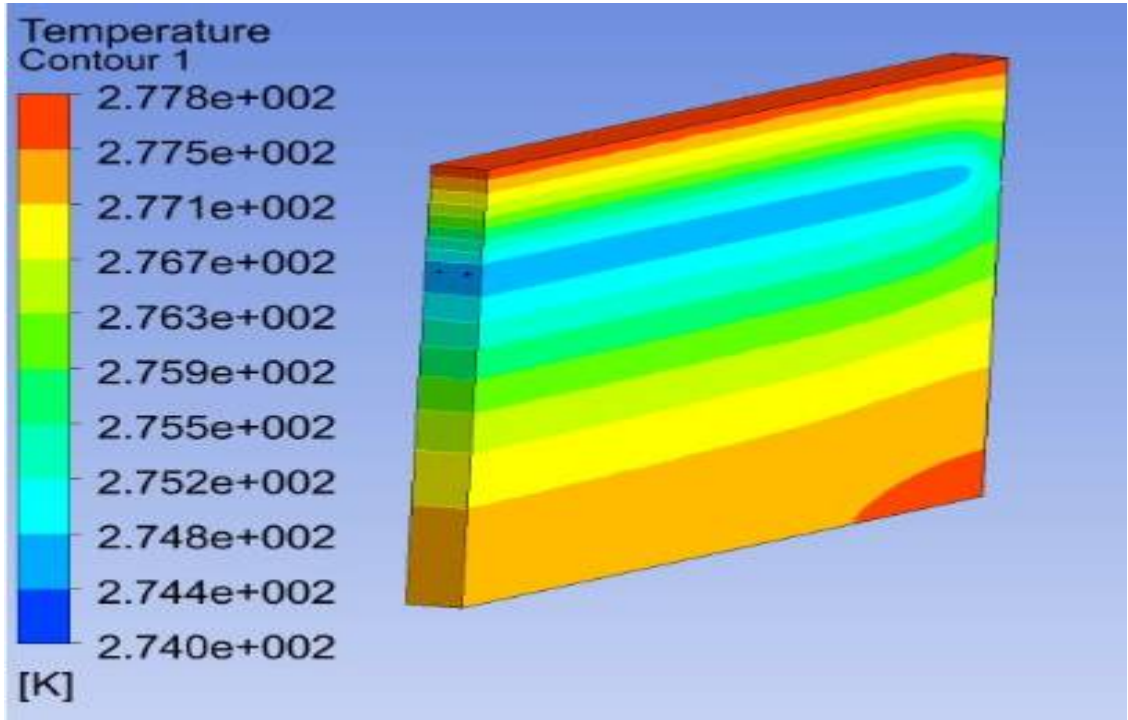
Şekil 4.5'den görüldüğü gibi altı ay içerisinde bakır boru ile polietilen borudan elde edilen ortalama ısı miktarı birbirine yakındır. Polietilen borudan altı ay içerisinde 1 saniyede topraktan akışkana transfer olan ısı miktarı 25 cm hatve çapı için 66,56 W, 50 cm hatve çapı için 118,16 W ve 75 cm hatve çapı için 156,17 W dir. Bakır boru için elde edilen ortalama değerler ise sırasıyla 68,58 W, 125,92 W ve 170,62 W dir.



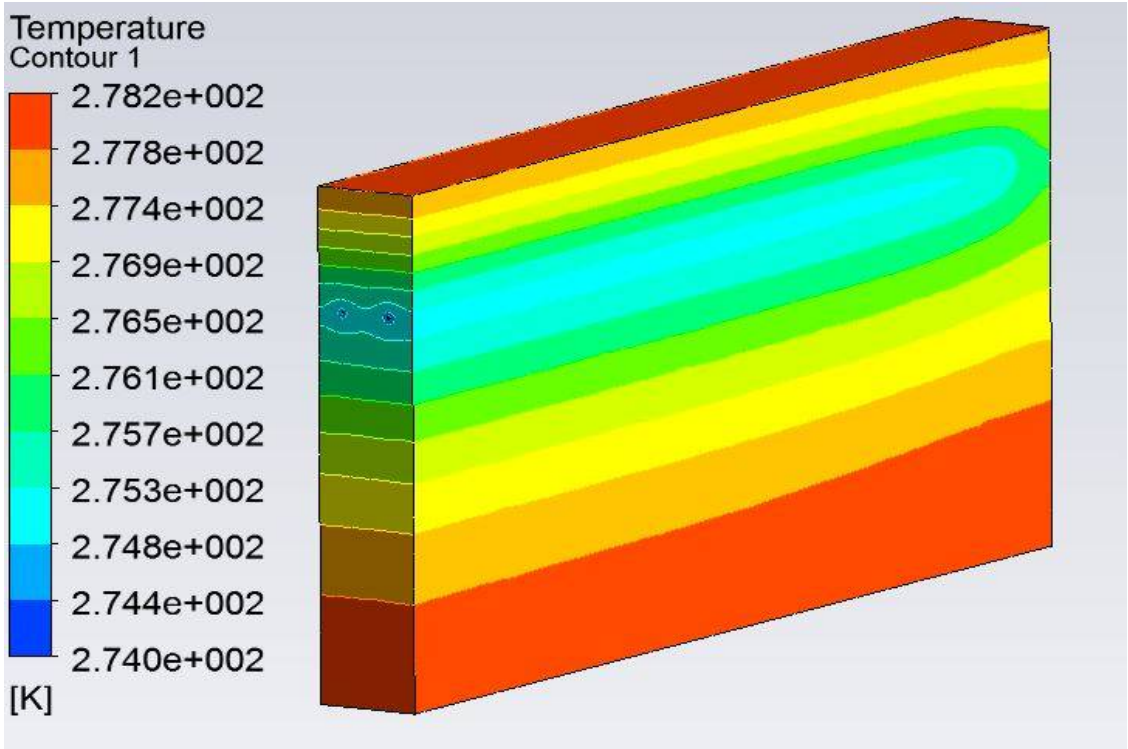
Şekil 4. 6 Bakır ve polietilen borudan altı ay içerisinde 1 saniyede elde edilen ortalama ısı miktarı (W/m)

Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi bakır ve polietilen borudan yapılan ısı değiştiricilerden altı ay süresi içinde birim metre başına elde edilen ısı miktarı birbirine yakındır. Polietilen boruda hatve çapları 25 cm, 50 cm ve 75 cm olduğunda 1 saniyede elde edilen ısı miktarı sırasıyla 3,30 W/m, 5,82 W/m ve 7,65 W/m dir. Bu değerler bakır boruda ise sırasıyla 3,41 W/m, 6,21 W/m ve 8,35 W/m dir.

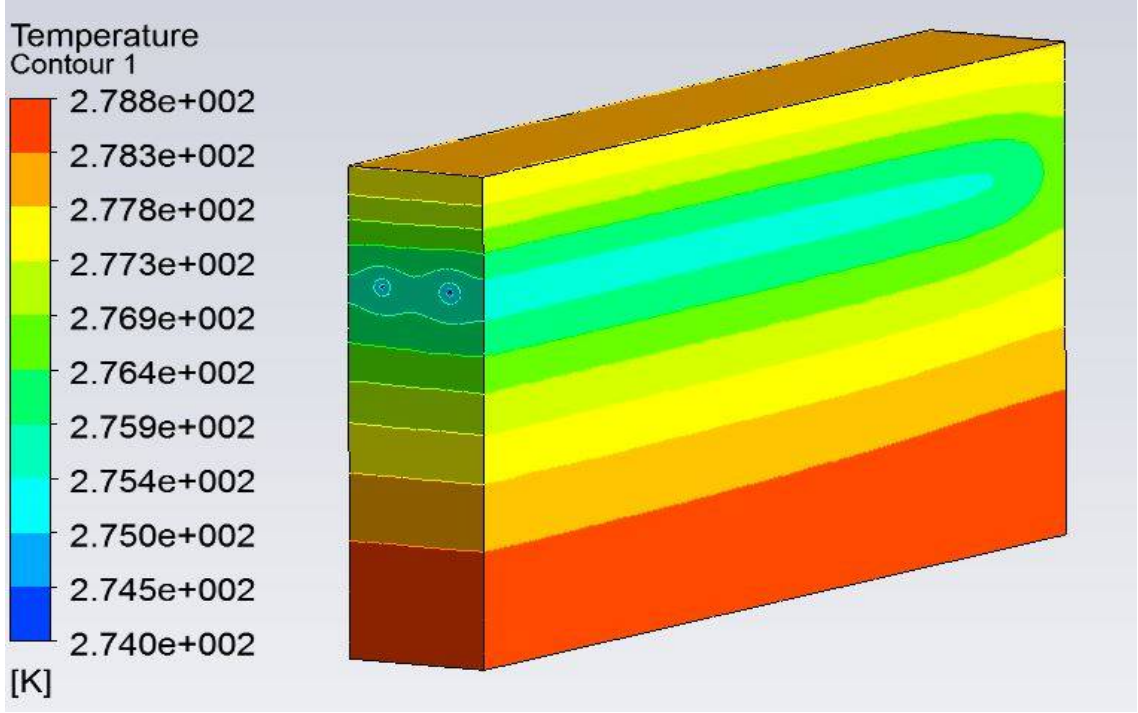
Isı değiştiriciler için altı ayın sonunda toprağın sıcaklık dağılımı hatve çapı 25 cm için Şekil 4.7'de, hatve çapı 50 cm için Şekil 4.8'de, hatve çapı 75 cm için Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4. 7 Hatve çapı (25cm) olan ısı değiştiricinin bulunduğu topraktaki sıcaklık dağılımı



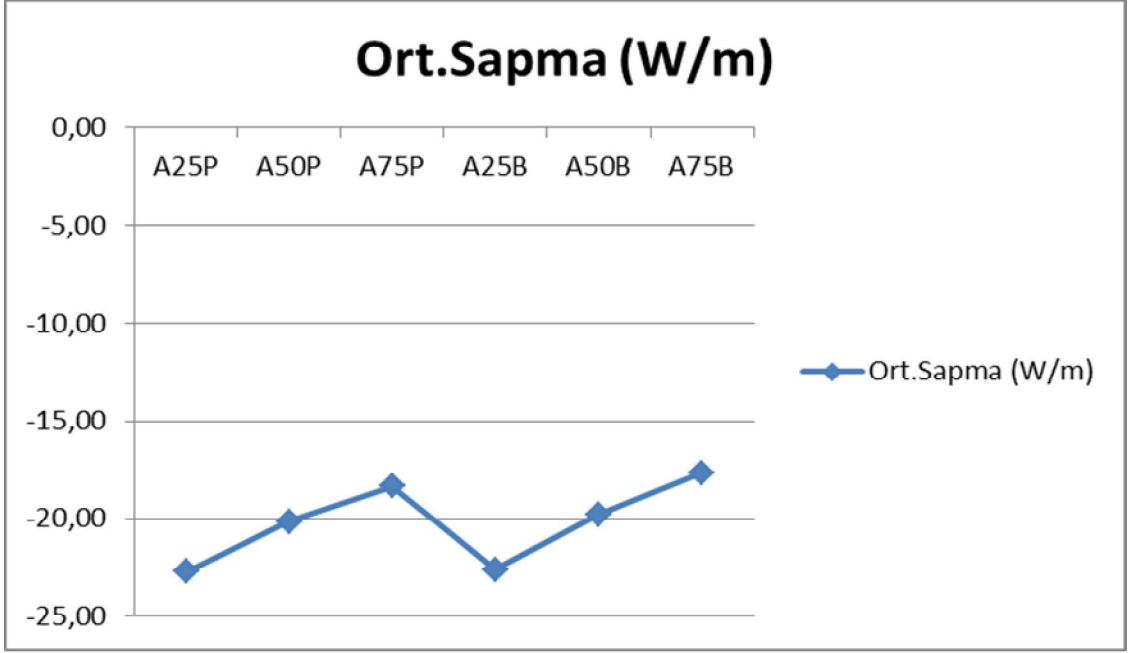
Şekil 4. 8 Hatve çapı (50cm) olan ısı değiştiricinin bulunduğu topraktaki sıcaklık dağılımı



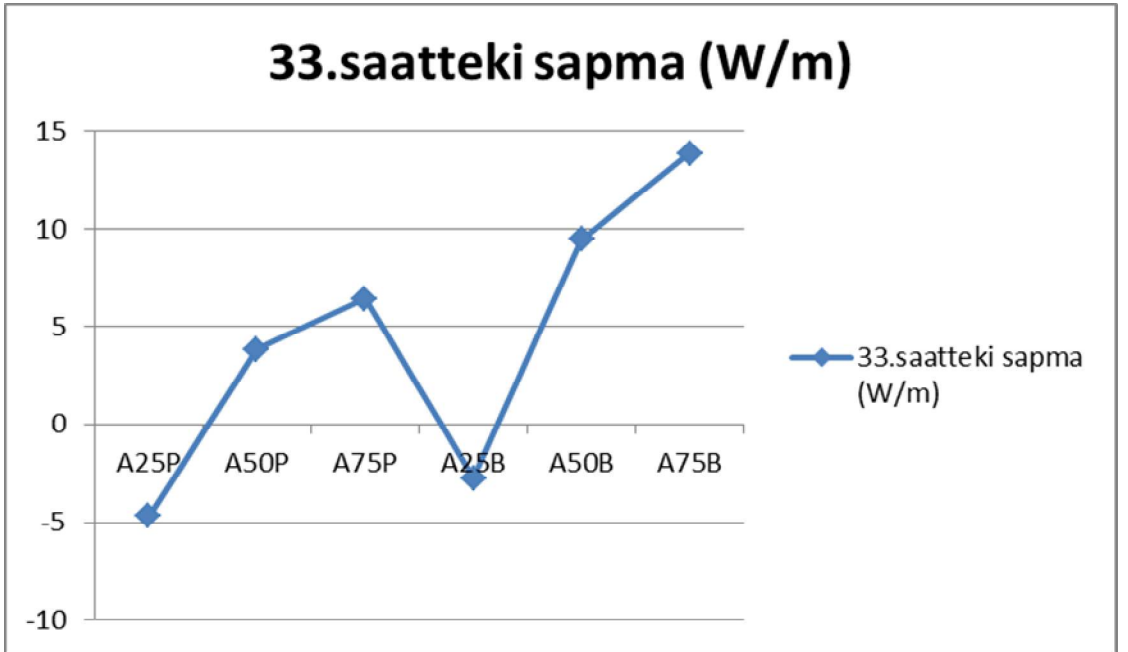
Şekil 4. 9 Hatve çapı (75cm) olan ısı değiştiricinin bulunduğu topraktaki sıcaklık dağılımı

Her bir ısı değiştirici için altı ay sonunda toprağın sıcaklık dağılımına bakıldığında hatve çapı 25 cm olan yatay tip ısı değiştiricide toprak alt sıcaklığı diğer ısı değiştiricilere oranla daha düşük değerlere gelmiştir. Bunun nedeni, 25 cm hatve çaplı ısı değiştiride toprak miktarı daha azdır. Toprak sıcaklığı boru çevresinde yaklaşık 274,4 K dir. Başlangıçta her üç ısı değiştirici için de toprak sıcaklığı 289 K olmasına rağmen 6 ay sonunda 278,2 K ile 274 K arasına kadar düşmüştür.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de nümerik analizi yapılan polietilen ve bakır borunun deneysel bir çalışma ile arasındaki ortalama ısı değerleri (W-W/m) ve 33.saatteki (W-W/m) sapma verileri verilmiştir. Deneysel veride 30 saat içerisinde ortalama değer 208 W-26 W/m dir.



Şekil 4. 10 Deneysel çalışma ile nümerik çalışma arasındaki ortalama sapma



Şekil 4. 11 Deneysel çalışma ile nümerik çalışma arasında 33.saatteki sapma

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'den görüldüğü gibi polietilen boruda ortalama sapma W/m değerlerine bakıldığında hatve çapı 25 cm, 50 cm ve 75 cm olduğunda sapma değerleri sırasıyla -22,70 W/m, -20,18 W/m ve -18,35 W/m dir. Bakır boruda ise bu değerler sırasıyla -22,59 W/m, -19,79 W/m ve -17,65 W/m dir. Isı değıştirciler arasında sapma oranlarının yüksek çıkmasının nedeni nümerik analizi yapılan bakır ve polietilen borunun ortalama değeri altı aylık süreci, deneysel çalışma ise 30 saatlik süreci

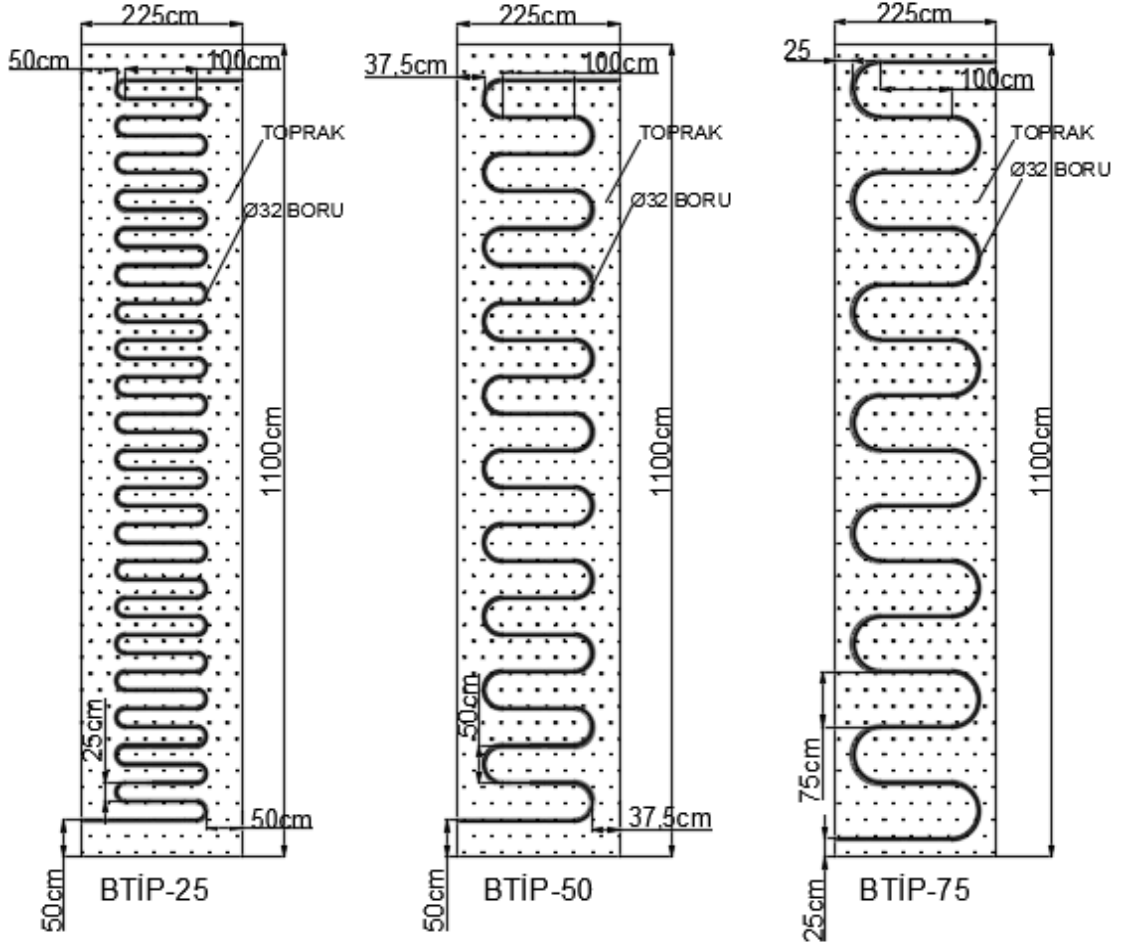
kapsamaktadır. 33.saatteki sapmaya bakıldığında ise polietilen borudaki sapma oranı polietilen boru için 25 cm, 50 cm ve 75 cm hatve çaplı ısı değiştiriciler için sırasıyla -4,67 W/m, 3,82 W/m ve 6,4 W/m dir. Bakır boruda ise bu değerler sırasıyla -2,74 W/m, 9,45 W/m ve 13,85 W/m dir. Sapma oranının fazla olmasının nedeni deneysel çalışmada hatve çapı 0,1 metredir. Ayrıca toprak eni 0,3 metredir. Toprağın teknik özellikleri deneysel çalışmada daha yüksektir.

ÖNERİLER

- ✓ Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminde ısının alındığı ve verildiğı kısım toprak olduğundan ve toprak sıcaklığı da dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğinden dünya üzerinde her bölgede farklı optimizasyonlar gereklidir.
- ✓ Toprak sıcaklığı ve toprağın ısı difüzyonu ısı performansını etkileyen en önemli faktördür. Bu yüzden herhangi bir bölgede toprak kaynaklı ısı pompası kurulmak isteniyorsa toprağın teknik özellikleri ile birlikte dış ortam sıcaklığına dikkat edilmelidir.
- ✓ Toprak kaynaklı ısı değiştirici içerisinde su hızı arttıkça akış laminardan türbülansa doğru kayar. Bu sayede ısı transferi artar. Ancak su hızı arttığından hacimsel debi artacağından suyu ısı değiştirici içerisinde sirküle eden pompanın ektiğı g artar. Bir taraftan topraktan daha fazla ısı çekilir veya verilirken diğer taraftan pompanın ektiğı g ve yatırım maliyeti artar. Bu da bir optimizasyon çalışmasıdır ve kurulum öncesinde maliyet analizi yapılmalıdır.
- ✓ Suyun toprak içerisinde donmasını engellemek için su içerisine suyun donma noktasını düşürecek akışkanların katılması gereklidir. Türkiye için bu akışkan glikol olabilir.
- ✓ Deneysel ve nümerik çalışmalara bakıldığında ısı performans olarak en iyi ısı değiştiricinin helisel tip ısı değiştirici olduğu görülmektedir. Eğer ısı değiştirici için montaj alanı yeterliyse helisel tip ısı değiştiricinin kullanılması daha uygundur.

DAHA SONRA YAPILACAK ÇALIŞMA

Hatve (kavis) çapı sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm olan polietilen borulu çok sıralı U tipi ısı değıştircilerin ısı değıştircilerin ısı performansı incelenmeli ve tez çalışmasında kullanılan bakır borulu ısı değıştircilerle mukayese edilmelidir.



Şekil 4. 12 Hatve çapları sırasıyla 25 cm, 50 cm ve 75 cm olan çok sıralı U tipi ısı değıştirciler

KAYNAKLAR

- [1] Demir, H., (2006). Toprak Kaynaklı Isı Pompası Ve Toprak Isı Değiştircilerinin Optimizasyonu Ve Geliştirilmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Esen, H., (2007). Düşey Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Konut İklimlendirme Sistemlerinde Mevsimlik Davranışının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [3] Rawlings, R., Ground Source Heat Pumps, www.bsria.co.uk, 20 Kasım 2015.
- [4] Kusuda, T. ve Achenbach, P.R., (1965). "Earth Temperature And Thermal Diffusivity At Selected Stations In The United States", *Ashrae Trans.* Vol. 71, 1:61-75.
- [5] EPRI, NRECA, OKLAHOMA STATE UNIVERSITY, (1989). Soil And Rock Classification For The Design Of Ground-Coupled Heat Pump Systems, International Ground Source Heat Pump Association, Oklahoma.
- [6] Svec, O.J., (1991). "Comprehensive Design Of Large Spiral Ground Heat Exchangers", *Heat Pump Centre*, 8:169-179.
- [7] Kavanaugh, S.P., (1994). "Ground Source Heat Pumps For Commercial Buildings", Energy Information Services, Tuscaloosa, AL.
- [8] Hopkirk, R.J. ve Kaelin, B., (1991). "Analysis Of Vertical Tube Heat Exchangers For Design Optimization", *Heat Pump Centre*, 8:149-168.
- [9] ANSYS-FLUENT 12.0 Theory Guide, (2009). ANSYS, Inc.
- [10] Nam, J. ve Chae, H.B., (2014). "Numerical Simulation For The Optimum Design Of Ground Source Heat Pump System Using Building Foundation As Horizontal Heat Exchanger", *Energy*, 73:933-942.
- [11] Dasare, R.R. ve Saha, S.K., (2015). "Numerical Study Of Horizontal Ground Heat Exchanger For High Energy Demand Applications", *Applied Thermal Engineering*, 85:252-263.

- [12] Yoon, S., Lee, S.R ve Go, G.H., (2015). "Evaluation Of Thermal Efficiency In Different Types Of Horizontal Ground Heat Exchangers", *Energy and Buildings*, 105:100-105.
- [13] Adamovsky, D., Neuberger, P. ve Adamovsky, R., (2015). "Changes In Energy And Temperature In The Ground Mass With Horizontal Heat Exchangers-The Energy Source For Heat Pumps", *Energy and Buildings*, 92:107-115.
- [14] Fujii, H., Yamasaki, S., Maehara, T., Ishikami, T. ve Chou, N., (2013). "Numerical Simulation And Sensitivity Study Of Double-Layer Slinky-Coil Horizontal Ground Heat Exchangers", *Geothermics*, 47:61-68.
- [15] Fujii, H., Nishi, K., Komaniwa, Y. ve Chou, N., (2012). "Numerical Modeling Of Slinky-Coil Horizontal Ground Heat Exchangers", *Geothermics*, 41:55-62.
- [16] Congedo, P.M., Colangelo G. ve Starace, G., (2012). "CFD Simulations Of Horizontal Ground Heat Exchangers: A Comparison Among Different Configurations", *Applied Thermal Engineering*, 33-34:24-32.
- [17] Wu, Y., Gan, G., Verhoef, A., Vidale, P.L. ve Gonzalez, R.G., (2013). "Experimental Measurement And Numerical Simulation Of Horizontal-Coupled Slinky Ground Source Heat Exchangers", *Applied Thermal Engineering*", 30:2574-2583.
- [18] Tarnawski, V.R., Leong, W.H., Momose, T. ve Hamada, Y., (2009). "Analysis Of Ground Source Heat Pumps With Horizontal Ground Heat Exchangers For Northern Japan", *Renewable Energy*, 34:127-134.
- [19] Ghong, C.S.A., Gan, G., Verhoef, A., Garcia, R.G. ve Vidale, P.L., (2013). "Simulation Of Thermal Performance Of Horizontal Slinky-Loop Heat Exchangers For Ground Source Heat Pumps", *Applied Energy*, 104:603-610

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Onur KÜÇÜKGENÇ
Doğum Tarihi ve Yeri :28.02.1990-Maçka/TRABZON
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :kucukgenconur@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Gaziosmanpaşa Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015-2016	Akbey İnşaat	Turkish Doco 3 Şantiyesi Mekanik Tesisat Şantiye Şefi

2014-2015	Baray Elektromekanik	Taksim Acıbadem Hastanesi Şantiyesinde Mekanik Tesisat Kısım Şefi
2013-2014	Gürbey Mekanik Ltd.Şti	Koç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Şantiyesinde Havalandırma Kısım Şefi