

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SPIRAL VE PARALEL YERDEN ISITMA KONFIGÜRASYONLARINDA
OXYPEX VE ALPEX BORULARININ ISIL PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARDELEN ÇÖMLEKÇİ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ.DR. MUHAMMED ELİTAŞ

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. ÜSAME DEMİR

BİLECİK, 2025

10715356

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SPIRAL VE PARALEL YERDEN ISITMA KONFIGÜRASYONLARINDA
OXYPEX VE ALPEX BORULARININ ISIL PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARDELEN ÇÖMLEKÇİ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ.DR. MUHAMMED ELİTAŞ

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. ÜSAME DEMİR

BİLECİK, 2025

10715356

BEYAN

“Spiral ve Paralel Yerden Isıtma Konfigürasyonlarında OXYPEX ve ALPEX Borularının Isıl Performans Değerlendirmesi” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.	
DESTEK ALINMIŞTIR	DESTEK ALINMAMIŞTIR
Destek alındı ise;	
Destekleyen kurum;	
Desteğin Türü	Proje Numarası
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)	
2- TÜBİTAK	
Diğer;.....	
ETİK KURUL onayı var ise;	
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....

Kardelen ÇÖMLEKÇİ

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın her aşamasının hazırlanmasında desteğini esirgemeyen ve yanımda olan danışanlarım Sayın Doç. Dr. Muhammed ELİTAŞ'a ve Sayın Doç.Dr. Üsame DEMİR'e,

Çalışmamın yapımında ve yürütülmesinde destek olan Novaplast Plastik fabrikası (VESBO) Genel Müdürü Sayın Samed SAMEDİ'ye,

Ekipman ve uygulama yönünden tüm destekleri sağlayan, bilgi ve birikimleri ile bana yol gösteren Novaplast Plastik fabrikası Kalite Müdürü Sayın Burcu ÖZARI ve Novaplast Plastik fabrikası Üretim Müdürü Sayın Adnan GEÇER'e,

Çalışmanın başlangıç aşamasında kaynak uygulaması ve boru hattının döşemesinde tüm desteklerinden ve yardımlarından dolayı Novaplast Plastik fabrikası çalışanları Sayın Sabri AL ustaya ve Sayın Mehmet ERDEN ustaya,

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi olarak benden desteğini eksik bırakmayan aileme,

Teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Kardelen ÇÖMLEKÇİ

2025

ÖZET

SPIRAL VE PARALEL YERDEN ISITMA KONFIGÜRASYONLARINDA OXYPEX VE ALPEX BORULARININ ISIL PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Günümüz teknolojinin gelişmesi ile yaşam alanlarında daha konforlu alanlar oluşturulmak istenilmektedir. Bu konfor alanlarında ısıtma yöntemi olarak farklı yollara başvurulmaktadır. Yerden ısıtma sisteminde bu tercihlerden biridir. Bu çalışmada, 16 mm çapında 2 mm kalınlığa sahip olan oksijen bariyeri sağlayan 3 katmandan oluşan PEX hammaddeli ve çok katmanlı olarak geçen ortasından alüminyum folyo geçmekte olan ALPEX boru adı verilen yerden ısıtma boruları kullanılmıştır. Oxypex ve Alpex borular test odası içerisine spiral (salyangoz) ve paralel tipi adı verilen döşeme sistemi ile döşenmiştir. Test odası içerisindeki sıcaklıklar kontrol edilebilmesi amacıyla farklı yerlerde konumlandırılmış termoçift ile sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Ortam ısısı ve test odası içerisindeki sıcaklık sabit tutularak ölçümler yapılmıştır. Toplamda 7 saatlik zaman diliminde belli aralıklarla alınan ölçümler doğrultusunda test odası içerisindeki ısı verileri elde edilmiştir. Oxypex yerden ısıtma borusu döşeli sistemde spiral ve paralel döşeli borularda ısı transferi karşılaştırıldığında paralel döşeli 38,53 W daha fazladır. Alpex yerden ısıtma borusu döşeli olan sistemde toplam ısı transferi spiral döşeli borularda 7,417 W daha iyidir. Yüzeyler arası ısı transferinde boru ısıl direnci, et kalınlığı ve boru dışındaki ısıl direnç karşılaştırıldığında Oxypex ve Alpex boruda paralel döşeli sistemde yüzeyler arası ısı transferi boruların döşemesi birbirine yakın olduğundan daha iyidir. Borularda ortaya çıkan ısı kaybı döşeme yöntemine ve cinsine bağlı göre farklılık göstermektedir.

Anahtar Kelime: Yerden ısıtma, Spiral döşeme, Paralel döşeme, Oksijen Bariyeri, OXYPEX boru, ALPEX boru, Isı transferi.

ABSTRACT

THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF OXYPEX AND ALPEX PIPES IN SPIRAL AND PARALLEL UNDERFLOOR HEATING CONFIGURATIONS

With the development of today's technology, it is desired to create more comfortable areas in living spaces. Different methods are used as heating methods in these comfort areas. Underfloor heating system is one of these preferences. In this study, underfloor heating pipes called ALPEX pipe, which consists of 3 layers of PEX raw material, which provides oxygen barrier with a diameter of 16 mm and a thickness of 2 mm and has aluminum foil in the middle passing through the multi-layered PEX raw material, were used. Oxypex and Alpex pipes were laid in the test room with a laying system called spiral (snail) and parallel type. In order to control the temperatures in the test room, temperature measurements were taken with thermocouples positioned in different places. Measurements were made by keeping the ambient temperature and the temperature in the test room constant. In total, heat data in the test room were obtained in line with the measurements taken at certain intervals in a 7-hour period. When the heat transfer in the spiral and parallel laid pipes in the Oxypex underfloor heating pipe laid system is compared, the parallel laid is 38.53 W more. In the system where Alpex underfloor heating pipes are laid, the total heat transfer is 7.417 W better than in spiral laid pipes. When the pipe thermal resistance, wall thickness and external heat resistance are compared in the heat transfer between surfaces, the heat transfer between surfaces in the parallel laid system in Oxypex and Alpex pipes is better because the laying of the pipes is close to each other. The heat loss in the pipes varies depending on the laying method and type.

Keywords: Underfloor heating, Spiral laying, Parallel laying, Oxygen Barrier, OXYPEX pipe, ALPEX pipe, Heat transfer.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
GRAFİKLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALARVE SİMGELER LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. YERDEN ISITMA SİSTEMİ.....	6
3.1. Yerden Isıtma Sistemi Avantaj ve Dezavantajları.....	6
3.2. Yerden Isıtma Sistemlerinde Dikkat Edilmesi Gereken Yönler.....	8
3.3. Yerden Isıtma Sistemi Kullanım Alanları	8
3.4. Yerden Isıtma Sistemi Elemanları	12
3.4.1. Isıtmada Kullanılan Borular	12
3.4.1.1. OXYPEX Borular	12
3.4.1.1.1. OXYPEX Boru Hammaddesi	13
3.4.1.1.2. OXYPEX Boru Tabakaları Ve Geçirgenlik Değeri.....	14
3.4.1.2. ALPEX Borular.....	15
3.4.1.2.1. ALPEX Boru Hammaddesi	15
3.4.1.2.2. ALPEX Boru Tabakaları Ve Et Kalınlık	15
3.4.1.3. Boruların Özellikleri.....	16
3.4.1.4. Boru İşaretlemesi	17
3.4.1.5. Depolama ve Nakliye.....	17
3.4.2. Geçme Manşon.....	17

3.4.3. Yerden Isıtma Straforu	17
3.4.4. Kolektör	18
3.5. Yerden Isıtma Sistemi Tesisat Kontrolü	18
3.6. Montaj ve Döşeme	18
3.7. Boruların Dizilişi ve Döşeme Şekilleri	19
3.7.1. Paralel Döşeme	19
3.7.2. Spiral Döşeme	19
3.8. Bağlantı Çalıştırma (Basınç testi, Isıtma)	20
4. DENEYSEL KURULUM	21
4.1. Deney Odası Şematik Gösterimi	22
4.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar	22
4.3. Salyangoz Tipi Döşeme Yapılan Isıtma Borusunun Kullanımı ve Zemin Yapısı	24
4.4. Paralel Tipi Döşeme Yapılan Isıtma Borusunun Kullanımı ve Zemin Yapısı	25
4.5. Ölçüm Sistemi	26
5. DENEYSEL KURULUM ISI HESABI	27
5.1. Zemin Isı Hesabı	27
5.2. Zemin Hesabına Göre Belirsizlik Isı Analizi	29
5.3. Su Giriş ve Çıkış Sıcaklık Hesabı	29
5.4. Boru İçerisinden Geçmekte Olan Isı Taşınım Hesaplanması	30
5.5. Yüzeyler Arası Isı Transfer Hesaplanması	30
5.6. Isı Kaybı Hesabı	31
5.7. Isı Kaybı Sonucunda Ortaya Çıkan Maliyet Hesabı	31
5.8. Boru Maliyet Hesabı	31
6. DENEYSEL SONUÇLAR	33
6.1. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Deney Sonucu	33

6.1.1. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Boruda Zemin Isı Hesaplanması	46
6.1.2. Spiral Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Boruda Zemin Hesabına Göre Belirsizlik Isı Analizi Hesabı	47
6.1.3. Spiral Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Boruda Su Giriş Ve Çıkış Sıcaklık Hesaplanması	48
6.1.4. Spiral Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Boru İçerisinden Geçmekte Olan Isı Taşınım Hesabı	51
6.1.5. Spiral Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Borularda Yüzeyler Arası Isı transfer Hesabı	52
6.1.6. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Döşeli Borularda Isı Kaybı Hesabı.....	54
6.1.7. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Isı Kaybından Dolayı Oluşan Maliyet Hesabı.....	54
6.1.8. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Maliyet Hesabı	54
6.2. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Deney Sonucu	54
6.2.1. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Boruda Zemin Isı Hesaplanması.....	70
6.2.2. Paralel Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Boruda Zemin Hesabına Göre Belirsizlik Isı Analizi Hesabı	71
6.2.3. Paralel Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Boruda Su Giriş Ve Çıkış Sıcaklık Hesaplanması	71
6.2.4. Paralel Döşemeye Göre Oxypex ve Alpex Döşeli Boru İçerisinden Geçmekte Olan Isı Taşınım Hesabı	76
6.2.5. Paralel Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Borularda Yüzeyler Arası Isı Transfer Hesabı.....	76
6.2.6. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Döşeli Borularda Isı Kaybı Hesabı.....	78

6.2.7. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Isı Kaybından Dolayı Oluşan Maliyet Hesabı.....	78
6.2.8. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Maliyet Hesabı ...	78
7. SPİRAL VE PARALEL DÖŞEME YÖNTEMİ KARŞILAŞTIRILMASI	79
8. SONUÇLAR	90
KAYNAKÇA	93



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. OXYPEX Geçirgenlik Aralığı	14
Tablo 3.2. ALPEX Boru Et kalınlığı	16
Tablo 6.1. Spiral Döşenmiş OXYPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması	49
Tablo 6.2. Spiral Döşenmiş ALPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması	51
Tablo 6.3. Paralel Döşenmiş OXYPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması	73
Tablo 6.4. Paralel Döşenmiş ALPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması.....	75



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1.Yerden Isıtma Sistemi.....	9
Şekil 3.2. Camilerde Yerden Isıtma Sistemi	9
Şekil 3.3. Camilerde yerden ısıtma sistemi.....	10
Şekil 3.4. Futbol Sahalarında Yerden Isıtma Sistemi	10
Şekil 3.5. Çim Sahalarda Yerden Isıtma Sistemi	11
Şekil 3.6. Hamamlarda Yerden Isıtma Sistemi	11
Şekil 3.7. Yüzme Havuzlarında Yerden Isıtma Sistemi.....	12
Şekil 3.8. OXYPEX Yerden ısıtma borusu (VESBO)	12
Şekil 3.9. PEX hammadde Katmanları	13
Şekil 3.10. Oxypex Boru Katmanı	14
Şekil 3.11. ALPEX Yerden Isıtma Borusu	15
Şekil 3.12. ALPEX Boru Katman Dağılımı.....	16
Şekil 3.10. Strafor	17
Şekil 3.11. Kolektör	18
Şekil 3.12. Değişik Boru Döşeme Desenleri.....	19
Şekil 3.13. Boru paralel Döşeme Modeli.....	19
Şekil 3.14. Ortalama Döşeme Sıcaklığı	19
Şekil 3.15. Farklı Döşeme Şekilleri	20
Şekil 4.1. Deney Düzenek Odası	21
Şekil 4.2. Deney Düzenegi Şematik Gösterimi.....	22
Şekil 4.3. Yerden ısıtma Boruları.....	23
Şekil 4.4. Kolektörler	23
Şekil 4.5. Pompa	23
Şekil 4.6. Su Kazanı.....	24

Şekil 4.7. Elektrik Panosu	24
Şekil 4.8. Oxypex ve Alpex Isıtma Borusu.....	25
Şekil 4.9. Oxypex Boru mikroskop Katman Görüntüsü	25
Şekil 4.9. Oxypex ve Alpex Isıtma Borusu.....	26
Şekil 5.1.Yalıtımlı Boru Katmanı	30



GRAFİKLER LİSTESİ

	Sayfa
Grafik 6.1. Oxypex ve Alpex Boru Saat 09:00 Ölçümü	33
Grafik 6.2. Oxypex ve Alpex Boru Saat 09:30 Ölçümü	34
Grafik 6.3. Oxypex ve Alpex Boru Saat 10:00 Ölçümü	35
Grafik 6.4. Oxypex ve Alpex Boru Saat 10:30 Ölçümü	36
Grafik 6.5. Oxypex ve Alpex Boru Saat 11:00 Ölçümü	37
Grafik 6.6. Oxypex ve Alpex Boru Saat 11:30 Ölçümü	38
Grafik 6.7. Oxypex ve Alpex Boru Saat 12:00 Ölçümü	38
Grafik 6.8. Oxypex ve Alpex Boru Saat 12:30 Ölçümü	39
Grafik 6.9. Oxypex ve Alpex Boru Saat 13:00 Ölçümü	40
Grafik 6.10. Oxypex ve Alpex Boru Saat 13:30 Ölçümü	41
Grafik 6.11. Oxypex ve Alpex Boru Saat 14:00 Ölçümü	42
Grafik 6.12. Oxypex ve Alpex Boru Saat 14:30 Ölçümü	43
Grafik 6.13. Oxypex ve Alpex Boru Saat 15:00 Ölçümü	43
Grafik 6.14. Oxypex ve Alpex Boru Saat 15:30 Ölçümü	44
Grafik 6.15. Oxypex ve Alpex Boru Saat 16:00 Ölçümü	45
Grafik 6.16. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 09:00 Ölçümü	55
Grafik 6.17. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 09:30 Ölçümü	56
Grafik 6.18. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 10:00 Ölçümü	57
Grafik 6.19. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 10:30 Ölçümü	58
Grafik 6.20. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 11:00 Ölçümü	59
Grafik 6.21. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 11:30 Ölçümü	60
Grafik 6.22. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 12:00 Ölçümü	61
Grafik 6.23. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 12:30 Ölçümü	62

Grafik 6.24. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 13:00 Ölçümü	63
Grafik 6.25. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 13:30 Ölçümü	64
Grafik 6.26. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 14:00 Ölçümü	65
Grafik 6.27. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 14:30 Ölçümü	66
Grafik 6.28. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 15:00 Ölçümü	67
Grafik 6.29. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 15:30 Ölçümü	68
Grafik 6.30. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 16:00 Ölçümü	69
Grafik 7.1. Yerden Isıtma Boruları ve Döşeme Yöntemine Göre Isı transferi	80
Grafik 7.2. Ortalama Su Sıcaklığının Boru Cinsine ve Döşeme Yöntemine Göre Zamana Bağlı Değişimi	81
Grafik 7.3. Yerden Isıtma Boruları ve Döşeme Yöntemine Göre Isı Taşımı	82
Grafik 7.4. Yerden Isıtma Boruları ve Döşeme Yöntemine Göre Yüzeyler Arası Isı Transferi	84
Grafik 7.6. Döşeme Yöntemine Göre Oxypex ve Alpex Borularda Isı Kaybı	87
Grafik 7.7. Isı Kaybı ile Ortaya Çıkan Maliyet.....	88
Grafik 7.8. Aynı Şartlarda Farklı Ömürlerde Isı Kaybı Maliyeti.....	89

KISALTMALARVE SİMGELER LİSTESİ

°: Derece

°C: Celcius (Santigrat Derece)

K: Kelvin

%: Yüzde

ϵ : Yüzey Emisyonu

β : Havanın Kinematik Viskozitesi

θ : Termal İletkenlik

α : Havanın Termal Yayılımı

l: Uzunluk

ΔQ : Isı Transferi

ΔT_s : Toplam Suyun Giriş Sıcaklığı

A: Alan

A: Zemin Yüzey Alanı

A_0 : Borunun Dış Alanı

A_i : Borunun İç Alanı

ALPEX: Alüminyum Folyolu 5 Katmanlı Çapraz Bağlı Polietilen

Ca: Isı Kaybı Sonucu Maliyet

cm: Santimetre

C_f : Yakıt Fiyatı

C_p : Suyun Özgül Isısı

D: Boru Dış Çapı

D_i : Yalıtım Tabakası Isıl İletkenlik

DIN: Almanya Standartları Enstitüsü

EN: Avrupa Normu

EVOH: Etilen Vinil Alkol (Neme Duyarlı Polimer)

g: Gram

Gr: Grashof Sayısı

h_0 : Havanın Isı Taşınım Katsayısı

H_c : Konvektif Isı Transfer Katsayısı

h_i : Suyun Isı Taşınım Katsayısı

H_u : Yakıt Alt Isıl Değer

hf (Pa): Basınç Düşümü

H_t : Radyant Isı Transfer Katsayısı

H_{tot} : Zemin Isı Transfer Oranı

H_r : Radyant Isı Transfer Katsayısı

ISO: Uluslararası Standartlar Örgütü

J: Joule

k: Kapsam Faktörü

k_{boru} : Borunun Isı İletim Katsayısı

k_i : Malzeme Isıl İletkenlik

k_{yal} : Yalıtım Malzemesinin Isı İletim Katsayısı

Kw: Kilowat

L: Boru Boyu

m: Metre

mm: Milimetre

M.Ö: Milattan Önce

n: Sistemin Yılda Ne Kadar Süre Çalıştığı

Nu: Nusselt Sayısı

OXYPEX: Oksijen Bariyerli Boru

PE: Polietilen

PEX: Çapraz Bağlı (Cross-Linked) Yüksek Polietilen

PEX-b: Pex Borunun SİLAN Yöntemi

PN: Anma Basıncı

Pr: Prandtl Sayısı

Q: Sirküle Edilen Su Sıcaklığı

Q₁: Oda Isı Kapasitesi

Q₂: Zeminden Kaynaklı Isı Kapasitesi

Q_{1f}: Yüzeyden Transfer Edilen Isı

Q_{1p}: Zemindeki Borudan Sağlanan Isı

Q_{yy}: Yüzeyler Arasında Sıcaklık

R'₀: Genel Zemin Isı Direnci

R₀: Yalıtım Malzemesinin Isıl Direnci

R₁: Borunun Isıl Direnci

Ra: Rayleigh Sayısı

R_{iç}: Boru İç Katman

R_{dış}: Dış ortamdaki Isıl Direnç

R_i: Et kalınlıksız Yarıçap

R_{top}: Toplam Isıl Direnç

s: Et Kalınlık

SDR: Standart Boyut Oranı

T_a: Test Odası İç Hava Sıcaklığı

T_{CD}: Boru Cidar Sıcaklığı

T_e: Suyun Çıkış Sıcaklığı

T_g: Giriş Suyu Sıcaklığı

T_h: Çıkış Suyu Sıcaklığı

T_i: Suyun Boru İçindeki Sıcaklığı

T_o: Dış Ortam Sıcaklığı

T_{ort}: Ortalama Sıcaklık

T_{out}: Test Odası Dışındaki Ortam Sıcaklığı

T_s: Zemin Yüzey Sıcaklığı

T_{s,ç}: Su Çıkış Sıcaklığı

T_{s,g}: Su Giriş Sıcaklığı

T_{s,m}: Ortalama su Sıcaklığı

t_{y0}: Strafor Üst Yüzey Sıcaklığı

T_w: Boru Duvarı Sıcaklığı

TSE: Türk Standartları Enstitüsü

U: Yalıtımlı Zemin Isı Transfer Katsayısı

W: Watt

1. GİRİŞ

Yerden ısıtma sistemi ilk olarak M.Ö. 80 yılında Çin, Roma, Tibet ve Rusya’da ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu yenilik Anadolu’da ise M.Ö. 13.yy’da kullanılmaya başlamıştır.

Bulunan bu yerden ısıtma sistemi ilk olarak evlerin içinde kullanılmakta olan sıcak baca içerisindeki gazların döşemelerin altındaki zeminde ve duvarlardaki kanallardan dolaştırılması düşüncesi ile başlanılmış. Bulunan metot geliştirilmiş ve baca gazı yerine kızgın su buharları ile ısınma sağlanmış. Endüstri gelişmeye başladığında buhar makinelerinin yardımıyla yerden ısıtma sistemleri endüstri içerisinde de kullanımına yer verilmiş.

Teknoloji ile ortaya çıkan yenilikler sayesinde başta baca gazı ve bakır borular kullanılarak kurulan yerden ısıtma sistemleri günümüzde plastik alanında kaydedilen olumlu gelişmeler sayesinde kullanımı zor olan bakır ve demir boruları arkasında bırakarak yerini plastik borulara bırakmıştır. Ekonomik olarak büyümeler sonucunda insanlar termal konforun ve sağlıklı ortamların olmasını talep etmektedir. Sağlıklı bir ortamın oluşturulmasının başında ısıtma sistemi gelmektedir (Karbon Isıtıcı , 2024) .

Ülkemizde ise ilk defa Kayseri’de bulunan Gevher Nesibe Darüşşifası’dır. Ülkemizde bakır boruların yardımıyla kullanıma başlanmış. Sistemde amaç insan ve mekan arasında oluşan ısı transferi değerlendirilerek yerden ısıtma sisteminde mekan ile insan vücudu arasındaki ısı kaybını minimize etmektir. Bu ısı transferi de yerden ısıtma sisteminin uygunluğunu ortaya çıkarmıştır (Karbon Isıtıcı , 2024).

İnsanlar yapıları gereği soğuk ile ortaya çıkabilecek rahatsızlıklardan uzak olmak için ısıtma sistemleri kullanmaktadır. Ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda ise kullanmış oldukları boruların yer zemine döşenmesinde değişikliklere gitmişlerdir. Farklı şekillerde döşenmesine etki eden başlıca nedenler ise yerleşim yeri olarak seçilen odanın ısıtma yüküne, duvarın özelliklerine, içerideki pencere ve kapı sayısına bağlıdır. İçeride bulunan etkenler ısı dağılımını her koşulda etkilemektedir.

Hayatımızda olan yerden ısıtma sistemi son zamanlarda önemli bir ivme yaparak kullanımını arttırmıştır. Türkiye’nin de içinde olduğu ve Dünya’nın pek çok bölgesinde yerden ısıtma sistemi teknolojinin de günümüze vermiş olduğu iyileştirmeler sonucunda günlük yaşam alanlarında da kullanımını arttırmıştır (Kas Vana, 2025).

Bu tez çalışmasıyla hedeflenen amaç, belirlenmiş olan aynı ortam şartlarındaki bir test odasında farklı yapıdaki iki farklı yerden ısıtma sisteminin zemine döşenmesi ile oda içerisinde oluşan ısı sıcaklık dağılımının ısı transferine etkisi incelenmiştir. Kullanılan boruların katman kalınlıkları incelenmesi için mikroskop ile ölçümler yapılmıştır. Alınan bu katman kalınlıkları boru yüzeyindeki kalınlığı bize vermesinden dolayı sonraki çalışmalarda katmanın olması gereken kalınlığının fayda sağlayabileceği düşünülmüştür. Tez çalışmasının 2. bölümünde yerden ısıtma sistemi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. 3. bölümde yerden ısıtma sistemi hakkında bilgiler verilmiştir. 4. bölümde yerden ısıtma sistemi kurulu olan bir test odasında kullanılan ekipmanlar ve zemin yapısından bahsedilmiştir. 5. bölümde zeminde kullanılan borulara göre zemin ısı hesaplaması ve belirsizlik analizine değinilmiştir. 6. bölümde test odası içerisinde zaman aralıklarına göre elde edilen ısı sıcaklıklarına detaylı değinilmiştir. 7. bölümde ise tez çalışması kapsamında elde edinilen bilgiler ve sonuçlar doğrultusunda maddeler sıralanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

W Wu X. (2015), çalışmasında radyant zeminlerdeki ısıtma ve soğutma sistemi ile ısı transferini hesaplayarak yeni bir model kurmuştur. Yüzey sıcaklığındaki ve ısı transferindeki maksimum farklar değerlendirildiğinde ortalaması alınan suyun 40 °C ve 60 °C arasında olduğu zamanda zemindeki ısıtma 0,8 °C ve 8,1 W/m² olduğu sonucuna varılmış. Su sıcaklığı 10°C ve 20°C'ye düştüğünde zemin soğutma sistemindeki değerleri 0,3 °C ve 2,0 W/m² bulmuştur. Böylelikle radyant olarak zemin ısıtma ve soğutma sisteminde ele alınan sıcaklıkların doğru olduğuna ve böylelikle de sistem tasarımının doğruluğuna ulaşmıştır (Wu, Zhao, Olesen, Fang, & Wang, 2015).

Zhou G. ve He J. yapmış olduğu çalışmada bir test odası zeminine ısıtma boruları döşemişlerdir. Test odası içerisinde sıcaklık ölçümleri için T tipi termocift kullanmışlar. Sıcaklık ölçümleri için zemin yüzeyinden iki farklı noktada ölçüm değerleri almışlardır. Testlere başlamadan önce manometre, termocift ve su akış hızının sıfır noktada ayarlamışlar. Su döngüsüne su doldurularak 40 °C ayarlanıp sistemi çalıştırmışlardır. Oda sıcaklığı 25 °C'ye geldiğinde ısıtıcı kapatılıp 19 °C'ye düşene kadar beklemişler ve bu işlemi dört farklı kombinasyonda da tekrarlamışlar. Böylelikle dört farklı durumda da oda ve zemin katmanlarının farklı konumlarındaki sıcaklıkların değişimini gözlemlemişler. PE bobin kullanımında zemin yapısındaki ısıtma borusunun mat ve daha düzgün sıcaklık dağılımı yaptığını oda sıcaklığına kısa sürede ulaşıldığını, termal kütleyi kumla karşılaştırdıklarında aynı odanın oda sıcaklığına ulaşmasının iki kat uzun sürdüğüne ulaşmışlardır (Jing & Guobing, 2015).

Oubenmoh S., Allouhi A. ve arkadaşları çalışmasında yerden ısıtma sisteminin optimum kullanımı için özel tasarımlarını ele almışlardır. Sistem panellerinin termal özellikleri izotropikliği, sıcaktan bağımsızlığı ve analizde boruların gömülü olduğu katı bölgenin sıcaklık gradyanlarını dikkate almışlardır. Yerden ısıtma sisteminde ısı transferini düzenleyecek olan denklemler için başlangıç sıcaklığını her defasında 10 °C almışlar. Giriş suyu sıcaklığının yüksek olmasına karşılık ortalama sıcaklığında o kadar hızlı olduğunu bulmuşlar. Giriş sıcaklığı yüksek olduğunda ısıtma süresinin de önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varmışlar (Oubenmoh & vd., 2018) .

Aacharya A. ve arkadaşları farklı boru düzeneklerinin sıcaklık üzerindeki analizini incelemişlerdir. Çift cidarlı serpantin, serpantin ve modüle edilmiş spiral şekilli üç farklı boru sistemi düzenlemesi ile oda içerisindeki sıcaklık dağılımını simüle etmişler ve çıkan sonuçları karşılaştırmışlar. Yapılan testler sonucunda spiral şekilli yerleşimin 320 K sıcaklık dağılımından dolayı giriş ve çıkışta oluşan sıcaklığın 13 °C olduğunu gözlemlemişler. Böylelikle de oda ısıtılmasında daha konforlu sıcaklık sağlanmış. Serpantin sistemin termal sıcaklık koşullarının kötü şartlarda periyodik olarak hava hareketi döngüsü olduğunu gözlemlemişler. Çift cidarlı serpantininde 20°C sıcaklığa sahip bir gradyanın oluştuğunu bu sonucunda üç düzen üzerinde en kötüsü olduğunu tespit etmişler. Düzenler arasında ısı dağılımı göz önüne alındığında en iyi sonucun spiral düzen olduğunu sıcaklığın eşit dağıldığı sonucuna ulaşmışlardır (Aacharya, Khanal, Humagain, Kattel, & Baral, 2021).

Atılğan (2009), çalışmasında güneş enerjisi yardımıyla yerden ısıtma sistemi kurmuştur. Güneş enerjisinin yetersiz kaldığı noktalarda 2 kW gücünde ısıtıcı kullanmışlardır. Tabana döşemiş olduğu boru 16 mm çapında ve 2 mm kalınlığında PVC borudur. Aynı konfor şartlarında yapılan ölçümlerde maksimum döşeme sıcaklığının 29,5°C'yi geçmediği sonucuna varmış. Test odası içerisindeki kişilerin ısı konfor ölçümü yapılırken kişinin kıyafet kalınlık ve inceliğini göz önüne aldığı kalın giysinin daha ısı konfor sağladığı sonucuna varmış. Döşeme sıcaklığını döşemeden 0,2 m, 0,6 m ve 1,0 m yükseklikte ölçümler aldığı 1.0 m'de daha konfor alanı olduğunu ölçmüştür (Atılğan & Ataer, 2009).

Li T. (2018) ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada tabandan ısıtma sisteminin eski tarz ısıtma yöntemleri ile bir arada kullanılması halinde ısı performansını incelemişler. Kang adı verilen ve yerden ısıtmanın kırsal bölgelerdeki %85 değeri kadar ısıtma amacıyla kullanılan yapıları incelemişler. Kapalı ortamdaki hava sıcaklığı, Kang ve tabanın yüzey sıcaklığını dikkate aldıklarında tek bir yöntemi ele aldıklarında istenilen ısı performansına ulaşılmadığını, sistemin her açıdan birlikte çalışması ile istenilen ısı performansına ulaşıldığı sonucuna ulaşmışlardır (Tao, Yanfeng, Yaowen, Dengja, & Yingying, 2018).

Karakoyun Y. (2019), çalışmasında ısıtma ve soğutma sistemi ile ısı transferini incelemiştir. Sistem içinde dolaşan suya alternatif olarak nanoakışkan kullanılmış. Sistemde akışkan sıcaklığının artması sonucunda ışıınım, taşınım ve ısı transferinin arttığı sonucuna varılmış. Işıınım 5,2-6,3 W/m²K, taşınımı 2,3-4,4 W/m²K ve ısı transfer katsayı 8,6-10,9 W/m²K değerinde bulunmuş. Sistemde kullanılmış olan farklı nanoakışkanların (Al₂O₃-su, MWCNT-su, MWCNT-su) yerden ısıtma sisteminde kullanılan suya göre %1,7-%4,9 aralığında iyileşme olduğu sonucuna varılmış (Karakoyun, 2019).

Anigrou Y. ve Zouini M. (2024), çalışmalarında optimum sıcaklık dağılımı amacıyla buhar banyolarındaki ısıtma için kurulabilecek boru düzenini belirlemeyi amaçlamışlar. Isının yukarı doğru çıkışını istediklerinden dolayı yalıtımı tabana yapmışlardır. Kurdukları sistemde boruların içindeki akış hızını, giriş sıcaklıklarını ve borunun yapılandırmasını ele almışlar. Giriş su sıcaklığını 70 °C 'de tutarak yaptıkları deneyde 5 °C'lik bir sıcaklık farkına ulaşmışlar. Giriş sıcaklığını 40 °C'ye ayarlandığında 3°C'e kadar bir fark oluşmuş. Paralel ve spiral döşemede yapılan hesaplamalar sonucunda spiral döşemenin basınç kayıplarının daha az olduğu sonucuna varmışlar (Anigrou & Zouini, 2024).



3. YERDEN ISITMA SİSTEMİ

Yerden ısıtma sistemlerine günümüz doğrultusunda bakıldığında klasik sistemlere oranla daha yaygın kullanılmaya başlanılmıştır. Kullanım alanı genişledikçe yerden ısıtma sistemlerinin çeşitleri de ortaya çıkmıştır. Bunlar: Elektrikli döşeme ile ısıtma ve sıcak sulu döşeme sistemi ısıtma olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yerden ısıtma olarak adlandırılmış olan sistemlerde mekan içerisindeki ısı kayıplarını, zemin beton içerisindeki borularla ısı kaynağından alınmış olan enerjiyi zemin içinde yayarak dağıtan ve ısınan zeminle birlikte ortamı da ısıtmış olan sistemlerdir (Yılmaz, Kayfeci, & Keçebaş, 2010).

Sistemde kullanılan borular yardımıyla ısıtma sağlanan ortamda konfor ve enerjiden verim elde edilir. Homojen yayılım sağlayan bu sistemler döşenmiş olan ortamda eşit bir sıcaklık sağlar. Geleneksel yöntemlerle kullanılan radyatörlü ısıtmalarda enerji yüksektir fakat yerden ısıtma sisteminde enerji düşüktür (Yapı, 2025).

Sistemin kuruluş prensibi ısı kaybı olan bir mekandaki ısı kaybını karşılamaktır. Burada sıcak su merkezi bir üreticiden elde edilerek döşeme altındaki özel borular içerisinde sirküle edilerek karşılanmasıdır. Isınmış olan su boru içerisinde geçerek homojen bir ısıtma sağlamış olur (Yılmaz, Kayfeci, & Keçebaş, 2010).

3.1. Yerden Isıtma Sistemi Avantaj ve Dezavantajları

Avantaj:

- Yerden ısıtma sistemlerinde düşük sıcaklıklarda ısı üretilmektedir. Düşük sıcaklık üretilmesinden dolayı enerji alternatif enerji kaynaklarından da sağlanabilmektedir.
- Düşük sıcaklık kullanımından dolayı yoğunlaşma kazanları sayesinde klasik kazanlara oranla %25'e varan yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir.
- Zemin üzerinde ısı homojen olarak dağılmaktadır.
- Ortama dışarıdan gelen ısı değişikliklerinden kaynaklı ani sıcaklık dalgalanmaları olmaz.
- Isıtma boruları (Pe-x borular), döşeme içerisine veya duvarlara ek parça yapılmaksızın döşenir.
- Döşeme altında olacağından dolayı bakım ve temizlik ihtiyacı oluşturmaz.
- Döşenmiş olan oda içerisinde hareketli bir donanımına sahip olmadığından gürültü oluşturmaz.

- Oda içerisinde ısıtıcı bulunmadığından dolayı estetik olarak yaşam alanı kullanımı rahattır.
- Görünür alanlarda boru bulunmaz.
- Nemli bir ortam oluşturmaz.
- Yapı bakımından ayırım yapılmaksızın her türlü yapı da ısıtma sistemi olarak kullanılabilir (Sistemleri T. M., 2024).
- %80 olarak radyant bir ısıtmaya sahip olduğundan ısıtma olduğu süre zarfında herhangi bir hava hareketi olmaz.
- Sessiz çalışma sağlar.
- Odaların içerisinde metal herhangi bir ekipman olmadığından suyun ısınması ya da soğumasını süresince genleşme veya büzüşme yaşanması sırasında metal bir yüzeye temas olmadığından rahatsız edici ses sorunu yaşanmaz (Katalogu, 2025)
- Farklı enerji kaynakları ile uyumludur.
- Zeminden başlayan ısıtma ilk olarak ayakları ısıtır ve böylelikle kişileri ısıtma daha çabuk sağlar (Çözümleri, 2025).

Dezavantajları:

- Düşük sıcaklık ile su ısıtması yapıldığından dolayı zemini ısıtması zaman almaktadır. Dolayısıyla oda içerisinde istenilen ısıya ulaşmak için bir süre beklemek gerekir.
- Isı ihtiyacının yüksek olduğu mekanlarda yerden ısıtma sistemi kullanılmamalıdır. Fazla istenilen ısı takviye ısıtma cihazları kullanılarak giderilmelidir.
- Yerden ısıtma boruları döşeme altında olacağından dolayı döşenmeden önce kalitesi kontrol edilmelidir. Testleri yapıldıktan sonra döşeme tamamlanmalıdır.
- Yanlış tasarım sonrasında düzeltme yapmak zordur.
- Kolektör bağlantıları en başından iyi hesaplanarak bağlanmalıdır. Yer değişimi yapılması imkansızdır (Sistemleri T. M., 2024).
- Sistem ısıtma amaçlı açıldıktan 4-5 saat kadar sonra ortam ısıtılmaya başlar. Bundan dolayı sistemin kapatılması önerilmez. Kapatmak yerine düşük ayarda çalıştırmak gerekir (Çözümleri, 2025).

3.2. Yerden Isıtma Sistemlerinde Dikkat Edilmesi Gereken Yönler

- Yerden ısıtma sistemi kurulu olan yerlerde tabana uygun yüzey sıcaklıkları ele alınarak ısıtma yapılmalıdır.
- Isı iletme dirençleri ele alınarak tabana kaplama yapılmalıdır.
- Isı yalıtımında kullanılan döşeme malzemeleri uygun seçilmelidir.
- Kullanılan borular yatay konumda ve birbirlerine paralel olarak döşenmelidir.
- Borular şap betonu ile örtülmelidir. Kullanılmış olan şap betonu soğuğa ve dona karşı korunaklı olmalıdır. Mermer ve seramik kullanılan kaplamalarda ise derz dolgu kullanılmalıdır.
- Şap kullanımında çekme veya genleşme ortaya çıkabilmektedir. Kurduğundan emin olunması gerekmektedir.
- Boru üzerine atılan şapı daha kısa sürede kurutmak ve daha kısa sürede ısınmak amacıyla sisteme yüksek sıcaklıkta su verilmemelidir.
- Kullanılacak olan straforlar döşenirken aralarında açıklık kalmamalıdır (Şenol, 2008).

3.3. Yerden Isıtma Sistemi Kullanım Alanları

Yerden ısıtma sistemleri kullanımı günümüzde giderek artmaktadır. İlk zamanlarda mekân ısıtması ve soğutması amacıyla kullanılan bu sistemler şimdilerde farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak buzlanma tehlikesi olan yollarda, rampalarda, çatılarda ve spor sahalarında da kullanılmaktadır.

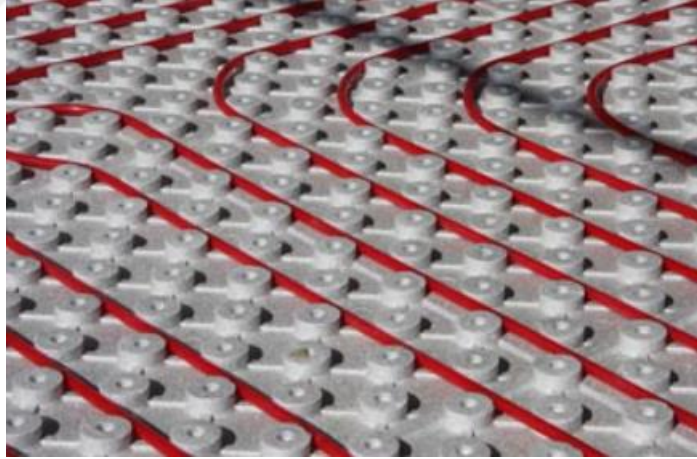
Konut ısıtmalarında: Yerden ısıtmanın tercih edildiği en geniş kapsamlı alanlardan biridir. Ortam içerisinde ısı akışını homojen olarak dağıtmasından ve yakıt tasarrufu sağlamasından dolayı avantajlıdır (Doğan & Çalışır, 2012).



Şekil 3.1.Yerden Isıtma Sistemi

Kaynak: (Enerji H. , 2024)

- Cami ve açık-kapalı spor salonlarında gibi büyük hacme sahip olan alanlarda kullanılmaktadır. Yukarı çıkan sıcak hava büyük hacme sahip yerlerde ortam sıcaklığının aşağılarda düşük olmasına sebep verir ve bu da ortamdaki kişilerin üşümesine sebebiyet verir. Bundan dolayı bu yerlerde yerden ısıtma sistemi tercih edilmektedir (Isıtmax, 2019).



Şekil 3.2. Camilerde Yerden Isıtma Sistemi

Kaynak: (Konenerji, 2025)

- Camilerde kullanılan borulu ısıtma sistemlerinde kömürlü kalorifer kazanı, doğalgaz kazanı ya da ısı pompası kullanımı ile sistem çalıştırılır (Konenerji, 2025).



Şekil 3.3. Camilerde Yerden Isıtma Sistemi

Kaynak: (Isıtma, 2024)

- Çim sahalarda kullanılan yerden ısıtma sisteminin amacı kışın hava şartlarından kaynaklı ortaya çıkabilecek olan buzlanmayı ve donmayı önlemektir. Çim sahasındaki çimlerin altından sürekli bir sıcaklık oluşmasından kaynaklı çim daha dayanıklı ve uzun ömürlü olacaktır (Isıtmax, 2019).



Şekil 3.4. Futbol Sahalarında Yerden Isıtma Sistemi

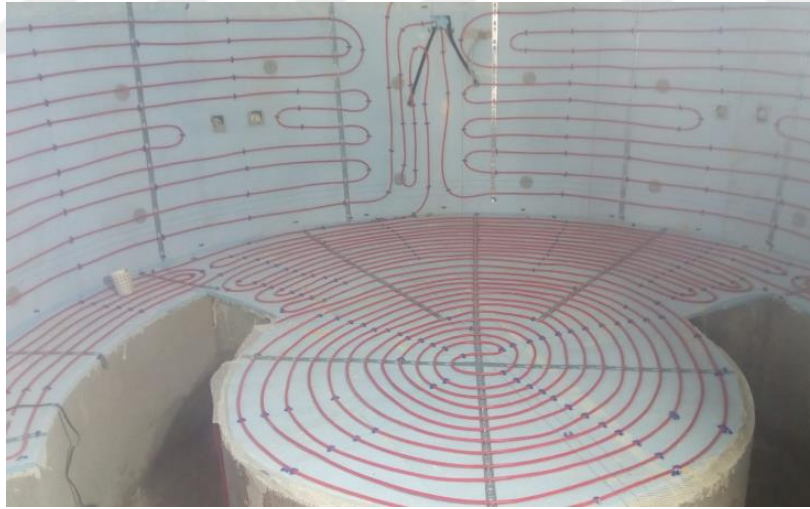
Kaynak: (Enerji S. , 2024)



Şekil 3.5. Çim Sahalarda Yerden Isıtma Sistemi

Kaynak: (Isıtmax, 2019)

- Hamamlarda eski çağlardan itibaren tercih edilen sistemlerden biridir yerden ısıtma sistemi. Bu yapılarda sistemin iyi bir şekilde izole edilmesi gerekmektedir çünkü buralarda normal sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklık olması istenmektedir. Hamamlarda sadece yerden ısıtma sistemi kullanılmaz buna ek olarak duvarlarda da ısıtma sistemi döşenir (Isıtmax, 2019).



Şekil 3.6. Hamamlarda Yerden Isıtma Sistemi

Kaynak: (Konerji, 2019)

- Yüzme havuzlarında havuz çevresindeki yerlerde dolaşım esnasında daha konforlu bir alan oluşturmak için ısıtma sistemi olarak yerden ısıtma yapılmaktadır. Aynı zamanda kullanılan bu ısıtma sistemi havuz hacminin ısıtılmasına da yardımcı olabilmektedir. Havuz dışında kullanılan yerden ısıtma sistemi sayesinde çevreye dağılan suların ısı ile karşılaşması sonucunda buharlaşabilmektedir (Doğan & Çalışır, 2012).



Şekil 3.7. Yüzme Havuzlarında Yerden Isıtma Sistemi

Kaynak: (Teknolojik Isıtma Sistemleri, 2025)

3.4. Yerden Isıtma Sistemi Elemanları

3.4.1. Isıtmada Kullanılan Borular

3.4.1.1. OXYPEX Borular

Yerden ısıtma sistemlerinde oksijen bariyerli borular kullanılmaktadır Standarda göre uygun olan EVOH polimer tabakaya sahiptir. Sıcak su sistemlerinde kullanılan bu borular 95 °C'ye kadar kullanılabilir. Şekil 3.8'de yerden ısıtma borusu verilmiştir.



Şekil 3.8. OXYPEX Yerden Isıtma Borusu (VESBO)

Kaynak: (Vesbo, 2024)

Boru ölçüleri olarak 16 mm ile 32 mm arasındaki çaplarda kılıflı kullanım veya kılıfsız kullanım olarak sunulmaktadır. Et kalınlığı 2 mm olmaktadır.

Suyun yüksek sıcaklıklarda tercih edilmesi ile kapalı devre sistemlerinde su içerisinde oksijen miktarı artabilmekte ve bu da korozyonun daha hızlı oluşmasına sebep olmaktadır. Bu

borularda üç katmanlı yapısındaki dış yüzey ortamda olan havanın boru içerisine girmesine engel olarak oksijenden dolayı ortaya çıkabilecek korozyonu önler (Vesbo, 2024).

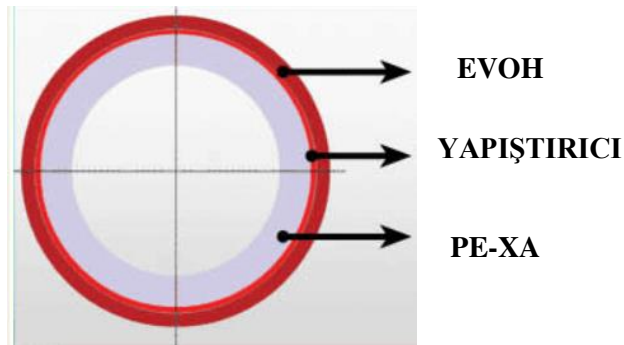
3.4.1.1.1. OXYPEX Boru Hammaddesi

Yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan borularda ana hammadde olan PEX, çapraz bağlı yüksek polietilendir (PE). Standart olarak yüksek yoğunluklu polietilen hammaddelerden üretilmiş olan borular yüksek sıcaklıklara dayanmazken, moleküllerinin çapraz bağlı hale getirilmesi ile oluşan PEX hammadde kullanılarak üretilmiş olan borular yüksek sıcaklıklarda uzun süreli olarak kullanım sağlayabilmektedir.

Vesbo, borularına esneklik ve uzun süreli bir ömür sağlayabilmek amacıyla PEX borularının üretiminde Silan prosesi kullanarak çapraz bağlanmış polietilen hammaddeler kullanılmaktadır. Silon prosesi olarak geçen ve kullanılan borular EN ISO 15875-2 standardına göre PEX-b olarak adlandırılmaktadır.

Etilen vinil alkol kopolimeri yani EVOH yüksek bariyer özelliği taşımaktadır. Oksijen bariyerli olarak adlandırılan boruların üst yüzeyinde EVOH olarak adlandırılan hammadde kullanılmaktadır (Demirci, 2009).

Su ile fazla temasında malzeme oksijeni engelleme gücünü kaybedebilmektedir. Bundan dolayı EVOH su buharını engellemeye yardımcı olan diğer polimerlerle çevrilmiş bir iç katman olarak kullanılabilir (Plastik Ambalaj Teknolojisi, 2025).



Şekil 3.9. PEX Hammaddesi Katmanları

Kaynak: (VESBO, 2007)

Yüksek sıcaklık ile çalışmakta olan ısıtma sistemlerinde tercih edilen plastik borular havada oluşmakta olan oksijen moleküllerinin boru içerisine geçişine engel olamazlar. OXYPEX olarak adlandırılan borular sayesinde boru içerisine oksijen geçişi engellenmiş olur (VESBO, 2007)

3.4.1.1.2. OXYPEX Boru Tabakaları Ve Geçirgenlik Değeri

Yüzey tabakası yani dış tabaka mükemmel oranda bir oksijen bariyeri özelliği gösteren EVOH kopolimer tabakadır. %100 oranında bir koruma sağlar

Orta tabaka olarak adlandırılan kısımda dış tabaka ile iç tabakanın birbirine yapışmasını sağlayan yapıştırıcı içeren tabakadır.

İç tabaka su ile temas halinde olduğundan hijyeniktir. Çapraz bağ içeren PE-X tabaka olarak adlandırılır.



Şekil 3.10. Oxypex Boru Katmanı

Kaynak: (VESBO, 2007)

Oksijen geçirgenliği ele alındığında;

	Anma Basıncı	PN 16	PN 12,5	PN 12,5	PN 12,5
	Standart Boyut Oranı	SDR 6	SDR 11	SDR 11	SDR 11
Dış Çap	mm	16	20	25	32
s (Et kalınlığı)	mm	1,8 - 2,2	1,9 – 2,3	2,3– 2,8	2,9 – 3,4
EVOH (Oksijen geçirgenlik oranı)	Ccc20µm/m ² .gün.atm	0,03	0,03	0,03	0,03

Tablo 3.1. OXYPEX Geçirgenlik Aralığı

Kaynak: (VESBO, 2007)

3.4.1.2. ALPEX Borular

Yerden ısıtılarda tercih edilen boru sistemlerinden bir diğeri de ALPEX olarak adlandırılan borulardır. Bu borular çok katmanlıdır. Metal boru ile plastik borunun özelliklerini tek bir boruda birleştirmeyi hedefler. Orta katmanındaki alüminyum katman sayesinde %100 oksijen bariyer özelliği sağlamaktadır (Vesbo, 2024).



Şekil 3.11. ALPEX Yerden Isıtma Borusu

Kaynak: (Antema Teknik, 2024)

3.4.1.2.1. ALPEX Boru Hammaddesi

Yüksek kaliteye sahip olan boruların içerisinde çapraz bağ ile bağlanmış polietilen, orta kısmında alın kaynağı yapılmış alüminyum ve dışarısında sıcaklık dayanımına karşı dirençli olan polietilenden oluşmaktadır.

3.4.1.2.2. ALPEX Boru Tabakaları Ve Et Kalınlık

İç yüzey suyun temaslı olduğu yer olmasından dolayı hijyenik, pürüzsüz ve insan sağlığına olumsuz bir etkisi olmayan çapraz bağlı polietilenden (PE-Xb) oluşmaktadır.

Orta tabakası borunun çevresinin de oksijen yayılımına karşı koruma özelliği olan sert, dayanıklı TIG kaynaklı bir alüminyum folyo tabakasından oluşmaktadır.

Bağlayıcı tabaka olarak adlandırılan orta tabakanın altı ve üstünde olan kısım alüminyum folyoyu iç ve üst tabakanın birbirine yapışmasını sağlayan özel yapıştırıcı içermekte.

Dış yüzeyde paslanmaya karşı direnç gösteren, içerisinde bulunan alüminyum folyonun aşınmasını engelleyen çapraz bağ içeren polietilenden (PE-Xb) oluşmaktadır.

3.4.1.4. Boru İşaretlemesi

Yerden ısıtma borularında 1m ara ile son metreye kadar işaretleme yapılmaktadır.

IIb VESBO, PE-Xb Çapraz Bağlı Polietilen Borular, 16x2.0 mm, TS 10762-2 EN ISO 15875-2 DIN 16892 / 16893 Germany Standart, T_{max} 95°C Class 1/8, 2/8, 4/10, 5/8 bar, TSE

3.4.1.5. Depolama ve Nakliye

Yerden ısıtma boruları üretim alanından çıktığından itibaren yetkili kişiler tarafından yüklemesi yapılmalıdır. Boru yüzeyine zarar vermeyecek şekilde depolanmalıdır. Bazı borular koruyucu kılıflı üretilmemektedir. Bu borular beton yüzeye ve keskin köşeli yerlere koyulmamalıdır. Dış yüzeyinin renk pigmentleri ve formu bozulmaması için uzun süre güneş ışınına maruz kalmamalıdır (Şenol, 2008).

3.4.2. Geçme Manşon

Geçme manşon olarak adlandırılmış olan bağlantı elemanlarına sökme işlemi yapılamamaktadır. Bu şekilde yapılan bağlantı tekniği DIN 18380 kurallarınca şaplı döşemeler altında tadilat boşluğu olmadan kullanılabilen malzemelerdir.

Yerden ısıtma sisteminde kullanılan boruların bağlantılarında herhangi bir kaçak olması istenilmeyen bir durum olduğundan geçme manşon kullanılır. Aynı zamanda borular içinde sökülmesi zor bağlantı olmasına yol açar (Şenol, 2008).

3.4.3. Yerden Isıtma Straforu

Yerden ısıtma sistemlerinde kullanılmakta olan boruların döşemesi yapılmadan önce zemin üzerine ısıtmanın istenilen amaç dışında kullanımını engellemek amacıyla zemin üzerine strafor adı verilmekte olan ısı yalıtım malzemesi döşenmektedir.

Yerden ısıtmada kullanılmakta olan bu strafor yüzeyleri mantar yapıya sahiptir ve aralarından boruların geçmesi ile boruları yere sabitler.



Şekil 3.10. Strafor

Kaynak: (Sistemleri İ. T., 2024)

3.4.4. Kolektör

Kolektörler yerden ısıtma sistemlerinde kullanılmakta olan borularının su giriş ve çıkışlarında suyun dağıtımını sağlayan elemanlardır.

1 mm kalınlığında ve dört girişe sahip kolektörlerden sıcak suyun giriş ve çıkışı sağlanmaktadır.



Şekil 3.11. Kolektör

3.5. Yerden Isıtma Sistemi Tesisat Kontrolü

Yerden ısıtma yöntemlerinde ısıtılacak olan bölgenin her tarafında eşit bir ısı dağılımı olması gerekmektedir. Yaşam alanında fazla yüksek olan ısı kişileri rahatsız edeceğinden dolayı termostatlar ile oda içi ısı kontrolü yapılabilir. Ani sıcaklık artışları ve ani sıcaklık düşüşlerini kontrol altında tutma işlemi termostatlardan alınan veriler doğrultusunda önlenebilmektedir.

3.6. Montaj ve Döşeme

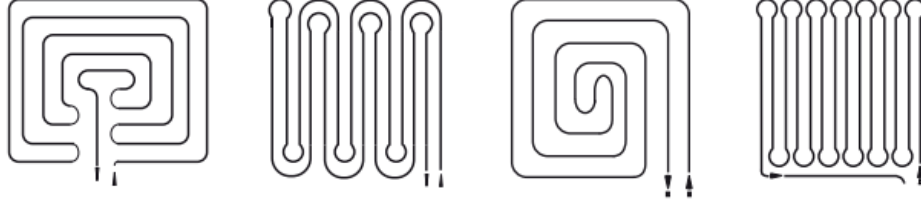
İnşaat durumundaki alanda kapı, pencere ve sıva işlemleri tamamlanmış olmalıdır. Şap döşeme işlemi ısıtma alanı tamamlandıktan sonra yapılabilir. Boruların içerisinden geçecek olan su için kolektörler duvara bağlanmalı ve elektrik bağlantıları tamamlanmalıdır.

Rulo halinde gelmekte olan borular strafor kanalları arasından çevrilerek belli bir basınç uygulanarak yerleştirilmektedir. Uygulanan bu kuvvet boruya zarar vermeyecek şekilde olmalıdır. Boru strafor köşelerinden dönüşü ve kıvrım olan yerlerinde sıkıca kavraması amacıyla tutucu başlıklar kullanılmasına dikkat edilmelidir.

Boru döşemesi genel olarak dış duvarlardan başlanarak döşenir. Taban üzerinde ısıtım daha verimli bir şekilde yayılımı amacıyla boru çift büküm adı verilen sistem ile döşenmelidir.

3.7. Boruların Dizilişı ve Döşeme Şekilleri

Yerden ısıtma sistemlerinde boruların döşenmesinde farklı döşeme yöntemleri bulunmaktadır.

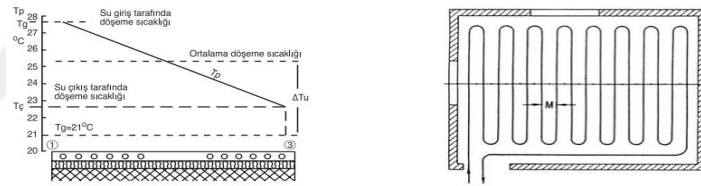


Şekil 3.12. Değişik Boru Döşeme Desenleri

Kaynak: (Kar-el, 2024).

3.7.1. Paralel Döşeme

Bu tip döşeme deseninde döşemenin sıcaklığında önemli düzeyde farklar mevcuttur. Su girişinden suyun çıkışına kadar döşeme sıcaklığında sürekli düşüş görülmektedir.

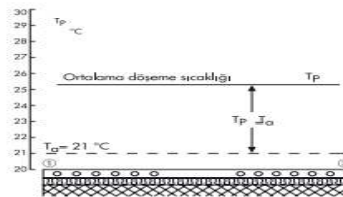


Şekil 3.13. Boru paralel Döşeme Modeli

Kaynak: (Kar-el, 2024)

3.7.2. Spiral Döşeme

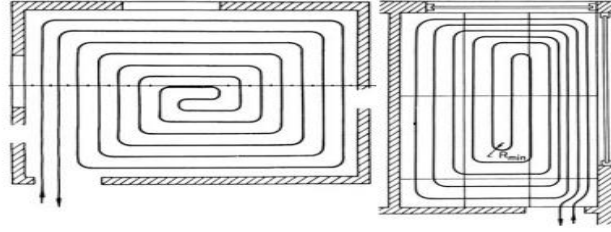
Bu tip döşemede sıcaklık tabanda sabit kalmaktadır. Isı kaybı kaçakların olduğu pencere ve dış duvar taraflarında daha sık, ısı kaybının az olduğu kısımlarda seyrek boru döşemesi yapılmaktadır. Böylelikle farklı şekillerde spiral döşeme (salyangoz tipi) ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.14. Ortalama Döşeme Sıcaklığı

Kaynak: (Kar-el, 2024)

Basınç dengesine dikkat edilmelidir. Döşemenin farklı şekillerde olmasından dolayı sıcak su düşük basınç bölgelerine gitmesi durumunda ısıtmada dengesizlik ortaya çıkabilmektedir. Bunu önlemek için basınç ayarlayıcılar kullanılmaktadır. Bunu engellemek amacıyla da toplam boru uzunlukları eşit olarak çalışılmalıdır (Döşemeden ısıtma).



Şekil 3.15. Farklı döşeme şekilleri

Kaynak: (Kar-el, 2024)

3.8. Bağlantı Çalıştırma (Basınç testi, Isıtma)

Hattı devreye almadan önce bağlantıların son kez kontrolleri yapılmalıdır. Kontroller yapıldıktan sonra sızdırmazlık kontrolü için su basınç kontrolü yapılmalıdır. Basınç testi sistem içerisine su doldurulduğunda sisteminde çalışabilme basıncının 1,5 katına kadar basınç verilerek kontrol sağlanabilmektedir. Net bir sonuç alabilmek için test süresi 1 saati geçmesi daha verimlidir. Sıcaklığının kontrolünü yapabilmek için sıcaklık testi yapılmalı ve son olarak da sistemdeki su tam olarak boşaltılarak hava basınç testi yapılır (İFAN Group, 2022).

4. DENEYSEL KURULUM

Sistemde esas olarak sıcak su tankı, su basıncı için gerekli pompa, besleme borusu, ısıtma terminal cihazı, test odası ve dönüş borusu ile yapılmış bir zemin ısıtma sistemi kullanılarak test odası yapılmıştır.

Yalıtım malzemesi kullanılarak yapılan zemin, tavan ve dört duvar içten izole edilmiştir. İzole edilmiş bir ortam kullanılması nedeni ise ısı transferinin yüzeylerden kaçmasına sebebiyet vermeden ısı alışverişini deney odası içerisinde tutmaktır. Boru döşenecek yüzeyler taban olarak ayrılmıştır.

Bu çalışmada Novaplast plastik fabrikası (VESBO) üretim bölümünde konumlandırılan test odası boyutları 250 cm (derinlik), 200 cm (genişlik) ve 200 cm (yükseklik)'dir. Bu test odasında sadece tek bir kapı mevcuttur. Test odası duvarları 20 cm kalınlığında levhalardan imal edilen yalıtım ile yapılmıştır. Zeminde ısıtma boruları kullanılmıştır. 19 °C iç mekân sıcaklığı için test odası ısıtması yapılmıştır.

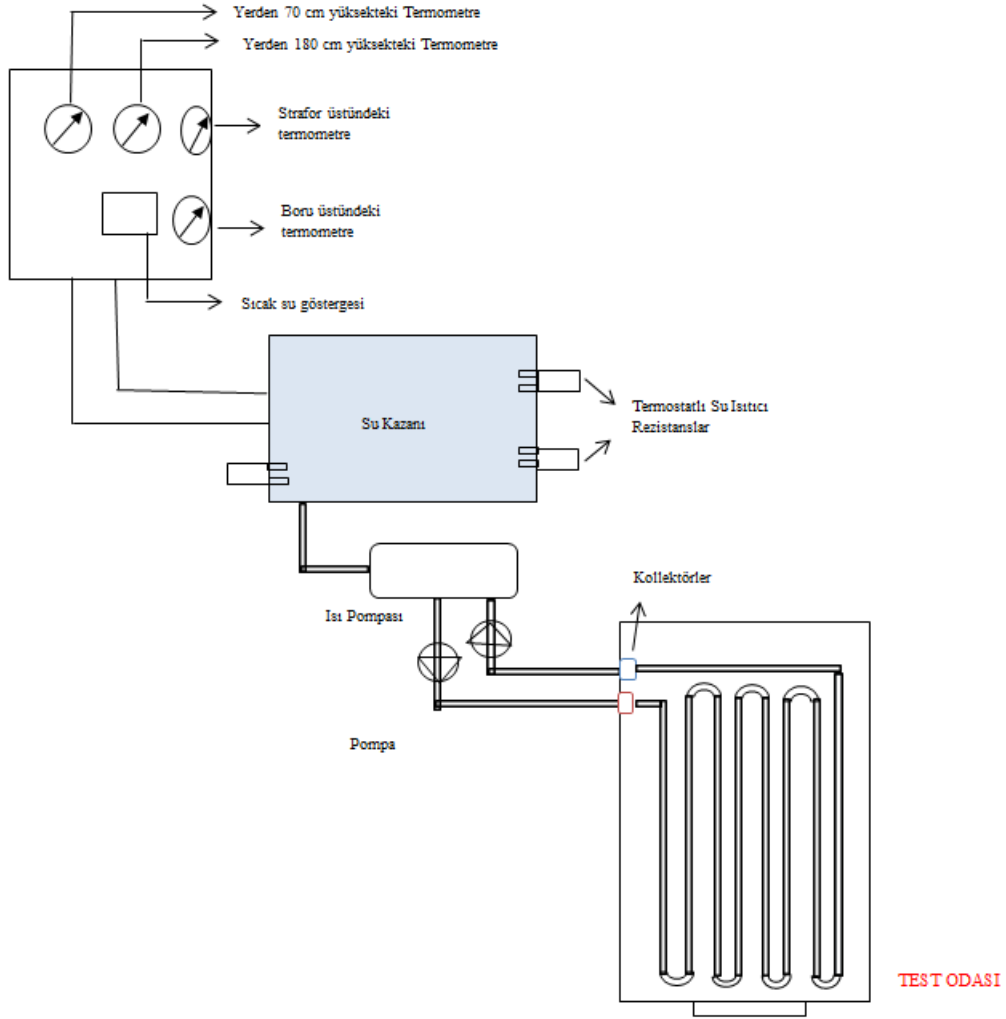
Deney odası tabanına döşenen strafor üzerine ilk olarak oksijen bariyerli ısı yalıtım borusu (Oxypex), ikinci olarak ALPEX (alüminyumlu) ısı yalıtım borusu döşenmiştir. Farklı zaman aralıklarında alınacak olan ısı ölçüm sonuçlarına ulaşabilmek için verilerin okunması elektrik panosuna bağlanmış olan göstergelerden takip edilmiştir. Tez çalışması süresince yapılmış olan deneylerde test odasının bulunduğu ortamın sıcaklık değişimi takibi yapılmıştır. Deneyde iki farklı tip boru kullanılacağı için boru üzerinde döşeme malzemesi kullanılmamıştır.



Şekil 4.1. Deney Düzenek Odası

4.1. Deney Odası Şematik Gösterimi

Deney düzeneğinde kurulan sistemin şematik gösterimi şekil 4.2’de verilmiştir. Burada gösterilmiş olan sistem yerden ısıtma sistemidir. Oda içerisinde tabana kullanılacak olan borular sırası ile döşenmiştir.



Şekil 4.2. Deney Düzeneği Şematik Gösterimi

4.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar

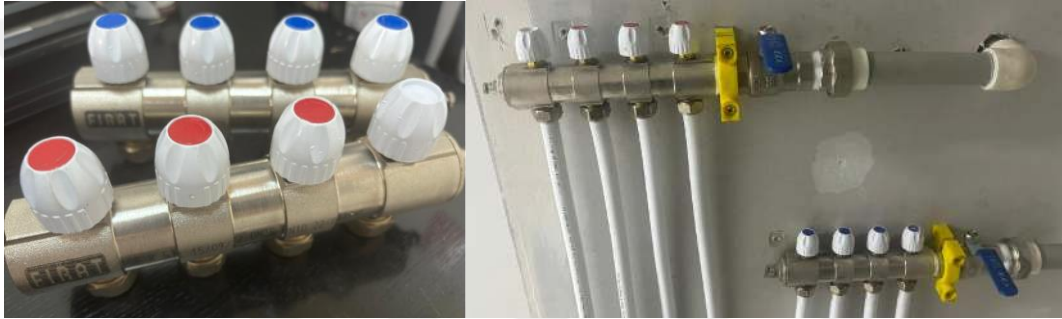
Yerden ısıtma borusu: Vesbo marka 16 mm çapında 2 mm kalınlığında oksijen bariyerli yerden ısıtma borusu ve 16 mm çapında 2 mm kalınlığında AL-PEX boru kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Yerden Isıtma Boruları

Kaynak: (Vesbo, 2024)

Kolektörler: Deneyde borular arasında geçecek olan akışkanın sıcak ve soğuk su kontrolü sağlayan vanalar kullanılmıştır. Kullanılan kolektörler FIRAT marka olup 4 girişten oluşmaktadır.



Şekil 4.4. Kolektörler

Termoçift (Yüzey ısı çiftler): Test odası içerisindeki sıcaklık değerlerinin ölçülerek kontrolü sağlanabilmesi amacıyla duvar yüzeylerine termoçiftler yerleştirilmiştir.

Debimetre: Sistemde kullanılan akışkanın debisini ölçmek için debimetre kullanılmıştır.

Pompalar: Sistemin çalışmasında yardımcı olan devre içerisindeki dolaşımın sağlanmasını için LOWARA marka pompa kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Pompa

Su kazanı: Sistemin ısınmasında yardımcı olması için su kazanı kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Su Kazanı

Sistem elektrik panosu: Sistemde kullanılan tüm cihazların elektrik bağlantılarının yapılmış olduğu ve kontrolünün sağlandığı elektrik panosu kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Elektrik Panosu

4.3. Salyangoz Tipi Döşeme Yapılan Isıtma Borusunun Kullanımı ve Zemin Yapısı

Test odası zemininde 10 cm kalınlığında profil kullanılmıştır. Profil üzerine yerden ısıtma köpükleri (strafor) döşemesi gerçekleştirilmiştir. Strafor ısıtma borusunun döşenmesine uygun olarak seçilmiştir. Köpük üzerine yapılacak olan ölçümlere göre Oxypex ve Alpex ısıtma boruları döşemesi yapılmıştır.

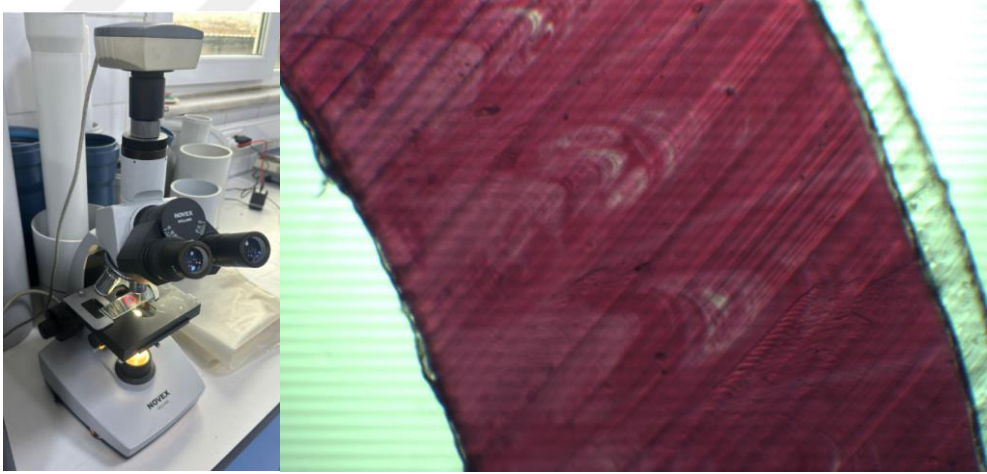
Kullanılan boru 16 mm çapında, 2 mm kalınlığındadır. 14 m² alana döşenmiş olan bu borular strafor üzerinde salyangoz tipi adı verilen döşeme yöntemi kullanılmıştır. Salyangoz

tipi yapılan döşemelerde döşemenin her yerinde aynı ortalama sıcaklık görülebilmektedir. Şekil 4.8’de gösterilen Oxypex ve Alpex boruların sistemdeki döşenmiş görüntüsü mevcuttur.



Şekil 4.8. Oxypex ve Alpex Isıtma Borusu

3 katmanlı yapısı sayesinde dış yüzeyden boru içerisine hava girişini engellenmektedir. Katman kalınlıkları kontrolü için Novex marka mikroskop kullanılmaktadır. Mikroskop görüntüsü şekil 4.9’da katman dağılımları incelenmiştir.



Şekil 4.9. Oxypex Boru Mikroskop Katman Görüntüsü

4.4. Paralel Tipi Döşeme Yapılan Isıtma Borusunun Kullanımı ve Zemin Yapısı

Test odası zeminine yerden ısıtma köpükleri (strafor) döşemesi gerçekleştirilmiştir. Strafor üzerine sırası ile Oxypex ve Alpex olarak adlandırılan ısıtma borularının döşemesi yapılmıştır.

Kullanılan farklı özellikteki her iki borunun yapı 16 mm ve 2 mm kalınlığındadır. 14 m² olan test odası zemininde paralel tipi döşeme yöntemi kullanılmıştır. Paralel tipi döşenen borular gidiş dönüş şeklinde yan yana döşenmiştir. Borular arası mesafe 15 cm'dir.

Şekil 4.9'da sistem için döşeli olan Oxypex ve Alpex borunun görüntüsü mevcuttur.



Şekil 4.9. Oxypex ve Alpex Isıtma Borusu

4.5. Ölçüm Sistemi

Test odasına döşenmiş olan borular giriş ve çıkış su akışı için iki farklı kolektöre bağlanmaktadır. Deney odasının yanında bulunan boş alanda su pompası ile ve su kazanı yerleştirilmiştir. Sıcak su tankı içerisindeki suyun sıcaklığını izlemek amacıyla içine termocift yerleştirilmiştir. Belli aralıklarla alınan veriler panodaki göstergeden takip edilmiştir.

Test odası içerisinde tabanda ve duvarda toplamda dört adet termometre kullanılmıştır. Yerleştirilen termometreler odanın duvarında yerden 70 cm yükseklikte ve aynı konumda yerden 180 cm yükseklik olarak duvarda iki noktadandır. Diğer iki termometre ise biri strafor üzerinde diğeri ise ısı yalıtım borusu üzerine yerleştirilmiştir. Oda içinde yerleştirilmiş olan termometrelerde ısı ölçümlerini alabilmek amacıyla göstergesi pano üzerine yerleştirilmiştir.

5. DENEYSEL KURULUM ISI HESABI

İlk olarak test çalışması başlamadan önce basınç göstergeleri, termofit ve suyun akış hızı ölçeri sıfır noktasında sabit tutarak çalışma başlatılmıştır. Başlangıç ortam ısısı baz alınarak tank su ile doldurulmuştur ve su tankı rezistansı 70 °C'ye ayarlanmıştır. Bu değer doğrultusunda zemin yüzeyinde oluşabilecek ısı yüksekliği kontrol edilmiştir. Su tankı ısıtıcıları çalıştırılarak deney başlatılmıştır. Su tankı içerisinde bulunan ısıtılmış su sistem içerisine bağlı olan boru ile test odası içinde yerde döşeli olan oksijen bariyerli boru içerisine aktarılmaktadır. Daha sonra ısıyı test odası içerisine aktararak su tankına geri döner. Su ısısı test odası içerisinde döşeli olan boru içerisinden havaya aktarılır. Oda sıcaklığı 29 °C'ye ulaşana kadar zemin ve hava sıcaklıkları ölçümü alınır.

5.1. Zemin Isı Hesabı

Sistemdeki zemin yapısında ki ısı dengesi göz önünü alınarak, zemindeki ısı transferi ΔQ ile elde edilir (Jing & Guobing, 2015).

$$\Delta Q = Q - Q_1 - Q_2 \quad (5.1)$$

Burada verilen Q sirküle edilmekte olan su ile sağlanan ısı değeridir. Odaya verilmiş olan ısı kapasitesi Q_1 ve zeminden kaynaklı olarak ortaya çıkan ısı kaybı ise Q_2 olarak belirtilmektedir.

Q = Boru içerisinde dolaşmakta olan sıcak sudan sağlanan ısı

$$Q = c_p m (t_g - t_h) \quad (5.2)$$

C_p olarak belirtilen değer suyun özgül ısısını, m suyun kütle akış hızını, t_g ve t_h ise sırası ile giriş suyu ve çıkış suyun sıcaklığını belirtmektedir.

Q_1 = Test odası ısıtma kapasitesidir.

$$Q_1 = Q_{1f} + Q_{1p} \quad (5.3)$$

Test odasındaki yüzeyden transfer edilmekte olan ısı Q_{1f} ve zemin yapısının dışındaki borular tarafından sağlanan ısı Q_{1p} olarak ifade edilir.

Q_{1f} sıcaklığı:

$$Q_{1f} = h_{tot} A (t_s - t_a) \quad (5.4)$$

A , test odası zemin yüzey alanıdır, t_s zemin yüzey sıcaklığı, t_a test odası içindeki havanın sıcaklığı. H_{tot} hesaplaması konvektif ısı transfer katsayısı h_c ile radyant ısı transfer katsayısı olan h_r 'nin toplam zemindeki ısı transfer oranını vermektedir.

H_c değeri bulmak için;

$$Nu = 0.15Ra^{1/3} (8 \times 10^6 1.5 \times 10^9) \quad (5.5)$$

$$Ra = GrPr \quad (5.6)$$

$$Gr = \frac{g\beta(t_s - t_a)l^3}{\nu^2} \quad (5.7)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (5.8)$$

$$h_v = \frac{Nu \lambda}{l}$$

Nu: Nusselt sayısı, Ra: Rayleigh sayısı, Gr: Grashof sayısı ve Pr: Prandtl sayısı vermektedir.

Havanın kinematik viskozitesi β olarak ifade edilmektedir.

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{t_s - t_a}{2} + 273.15\right)} \times \nu \quad (5.9)$$

Termal iletkenlik: ϑ

Havanın termal yayılımı: α

$$\text{Uzunluk} = l = \frac{A}{P} \quad (5.10)$$

H_r olarak ifade edilmekte olan radyant ısı transfer katsayısı:

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s^2 + T_a^2)(T_s + T_a) \quad (5.11)$$

Zemindeki yüzeydeki emisyon ε olarak ifade edilmektedir. Stefan-Boltzmann sabiti olarak gösterilen $\sigma = 5.67E - 8 W m^{-2} K^{-4}$.

Q_{1p} sıcaklığı:

$$Q_{1p} = h_c A (t_w - t_a) \quad (5.12)$$

Boru duvarı sıcaklığı t_w ve odadaki havanın sıcaklığı t_a 'dır. Boruların ısı transfer alanı A 'dır. Boru yüzeyi ile oda içerisindeki havanın ısı transfer katsayıları h_c 'dir.

$$h_c = 1.04x \left(\frac{t_w - t_a}{D}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.13)$$

D: Boruların dış çapıdır.

Q_2 = Zemin yapısının ısı kaybı değeridir.

$$Q_2 = UA(t_{y0} - t_{out}) \quad (5.14)$$

Borunun döşendiği yalıtım katmanın üst yüzey sıcaklığı t_{y0} olarak ifade edilir. Test odasının dışındaki ortam sıcaklığı t_{out} 'dur. U olarak ifade edilen değer yalıtımlı zeminin yapısındaki genel olarak ısı transfer katsayısıdır.

$$U = \frac{1}{R'_0} \quad (5.15)$$

Yalıtım malzemesi ile kaplı olan zeminin genel ısı direnci R'_0 olarak ifade edilmektedir.

$$R'_0 = R_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (5.16)$$

Genel durumlarda R_0 : $2,15 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ olarak yalıtım içermeyen zemin yapılarındaki direnç değeridir. Zemin yapılarında kullanılmakta olan malzemelerin ısı iletkenlik k_i ve yalıtım tabakasındaki ısı iletkenlik d_i 'dir.

5.2. Zemin Hesabına Göre Belirsizlik Isı Analizi

Test odasındaki deneylerde alınan ölçümlerde sonuçların belirsizliği analiz edilebilmektedir. Denklemden bulunan sıcak suyun ısısı Q , ölçülmüş olan m ve t fonksiyonuna göre belirsizliği şu şekildedir (Jing & Guobing, 2015).

$$u'(Q) = \frac{u(Q)}{Q} = \sqrt{u'^2(m) + 2u'^2(t)} \quad (5.17)$$

Alınmış olunan belirsizlik bileşenlerinde kapsama faktörü $\sqrt{3}$ olarak kabul edilmiştir. Düzgün bir şekilde dağılıma sahip olunan akış hızölçerlerin maksimum hata sınırı ($\pm 0,5\%$)'dir.

$$u'(m) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = \%0.29 \quad (5.18)$$

Olması gereken %95 dağılım dikkate alınınca kapsam faktörü $k=2$ alınmaktadır. Bağlı belirsizlik değeri:

$$u'_E(\Delta Q) = k \times u'(\Delta Q) \quad (5.19)$$

5.3. Su Giriş ve Çıkış Sıcaklık Hesabı

Yerden ısıtma sistemlerinde boruların yerleştiriliş şekline göre suyun giriş ve çıkışında farklı sıcaklıklar hesaplanabilmektedir. Ortalama su sıcaklığını elde edilmesi ile kullanılan boruların uzunluğuna ve borular arası belirlenen mesafeyi hesaplanabilmektedir.

Spiral yani salyangoz tipi döşeme yapılması durumunda döşeme üzerinde her yerde ortalama aynı sıcaklık oluşacaktır.

Bundan dolayı $T_{s,g}$ su girişidir, $T_{s,\ç}$ su çıkış sıcaklığını vermektedir. Ortalama su sıcaklığı;

$$T_{s,m} = \frac{T_{s,g} + T_{s,\ç}}{2} \quad (5.20)$$

Su giriş ve çıkış sıcaklıkları daha öncesinde ayarlanmış bir sistemde ise suyun giriş sıcaklık değeri;

$$T_{s,g} = T_{s,m} + \frac{\Delta T_s}{2} \quad (5.21)$$

Paralel döşeme yöntemi kullanılarak döşemesi yapılan boru sistemlerinde ise suyun ortalama sıcaklığını bulmak için;

$$T_{s,m} = T_h + \frac{(T_{s,g} + T_h) - (T_{s,\zeta} + T_h)}{\ln \frac{T_{s,g} - T_h}{T_{s,\zeta} - T_h}} \quad (5.22)$$

Formülü kullanılmaktadır (VESBO, 2007).

5.4. Boru İçerisinden Geçmekte Olan Isı Taşınım Hesaplanması

Boru içerisinde taşınım katsayısı h_i olarak ifade edilmektedir (Yıldız, 2013).

$$\frac{h_i \times D}{k_i} = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \quad (5.23)$$

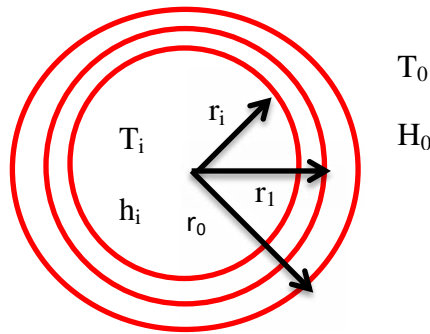
5.5. Yüzeyler Arası Isı Transfer Hesaplanması

Yüzeyler arasında sıcaklık hesabı için;

$$Q_{zy} = \frac{T_{ort} - T_o}{R_{top}} \quad (5.24)$$

Formülasyonu kullanılarak hesaplanmaktadır. R_{top} değeri kullanılan borunun en iç çapından başlayarak dış çapa kadar olan katmanlarıdır (Yıldız, 2013).

$$R_{top} = R_{iç} + R_1 + R_0 + R_{dış} \quad (5.25)$$



Şekil 5.1. Yalıtımlı Boru Katmanı

$$R_{iç} = \frac{1}{h_i A_i} \quad (5.26)$$

$$R_1 = \frac{\ln \frac{r_1}{r_i}}{2 * \pi * L * k_{boru}} \quad (5.27)$$

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_0}{r_1}}{2 * \pi * L * k_{yal}} \quad (5.28)$$

$$R_{dış} = \frac{1}{h_0 A_0} \quad (5.29)$$

Yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında ara katmanların sıcaklıkları hesaplanmalıdır. Borunun merkez noktasından başlayarak katmanlardaki sıcaklıklar adım adım hesaplanabilir (Çengel, 2003).

$$T_i = T_s - (Q_{zy} \times R_{iç}) \quad (5.30)$$

$$T_1 = T_i - (Q_{zy} \times R_1) \quad (5.31)$$

$$T_{CD} = T_1 - (Q_{zy} \times R_2) \quad (5.32)$$

5.6. Isı Kaybı Hesabı

Yalıtımlı bir boruda ısı kaybının değerini hesaplamak amacıyla bir eşitlik mevcuttur (Çengel, 2003).

$$A = \pi r^2 DL \quad (5.33)$$

$$\Delta T \ln = \frac{(T_s - T_0) - (T_e - T_0)}{\ln \frac{(T_s - T_0)}{(T_e - T_0)}} \quad (5.34)$$

$$Q = UA \Delta T \ln \quad (5.35)$$

5.7. Isı Kaybı Sonucunda Ortaya Çıkan Maliyet Hesabı

Yalıtım yapılmış bir alandaki toplam ortaya çıkmakta olan ısıtma maliyeti kullanılan yakıtta göre değişkenlik gösterebilmektedir (ÖZEL, 2008).

Q: Isıtma mevsimi süresince duvarın birim yüzeyindeki ısı kaybını gösterir.

C_f : Yakıt fiyatı (TL/m³, TL/kg)

H_u : Yakıt alt ısı değeri (J/m³, J/kg)

η : Isıtma verimi

n: Sistemin yılda ne kadar süre çalıştığı

$$Ca = \frac{Q \times C_f \times n}{n \times H_u} \quad (5.36)$$

5.8. Boru Maliyet Hesabı

Yerden ısıtma sistemlerinde borunun kolektörden çıkışı ve yere döşenip geri dönüşüne kadarki ideal boru uzunluğu 80 metre olması tercih edilir. Sistemde kolektöre bağlı borunun metrajı 100 metreyi aşması durumunda sistemde basınç düşüşü ve ısıda dengesizlik gözlemlenebilir (İso Mühendislik, 2024).

Boru uzunluk hesabı için;

$$\Delta L: \frac{A \times 100}{\text{Boru Aralığı}} \text{ (İso Mühendislik, 2024)} \quad (5.37)$$

denklemini kullanılabilmektedir.

Isıtılacak alan (m^2) test yapılan odanın metrekaresini, boru aralığı (cm) döşenen boruların ara mesafesini ve boru çapı (mm) kullanılan borunun çapını belirtmektedir.

Kullanılmakta olan borunun ağırlığı hesabında çap ve et kalınlığı baz alınmaktadır (Yıldız, 2013).

$$m_{\text{boru}} = [D(\text{mm}) - Et \text{ kalınlığı}(\text{mm})] \times Et \text{ kalınlık}(\text{mm}) \times (0,026) \quad (5.38)$$

Boru maliyet hesabı için (Yıldız, 2013);

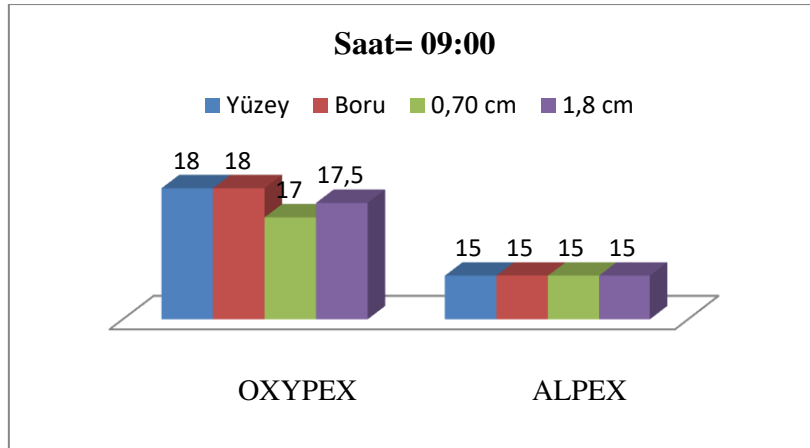
$$C_{\text{Boru}} = (1,308032 + 0,54011 \times m_{\text{boru}} + 1,4933 \times 10^{-5} \times m_{\text{boru}}) \times L \quad (5.39)$$

6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Deney Sonucu

Test odası içerisinde Oxypex ve Alpex olarak adlandırılmış borular spiral yani salyangoz tipi yerden döşeme yöntemi kullanılmıştır. Tercih edilen bu yöntemde ölçüm sonuçları sabah saat 09:00'da başlamış ve saat 16:00'a kadar devam etmiştir. Her yarım saatte bir ölçümler alınarak her iki boru için strafor yüzeyi, boru, yerden 0,7 m yükseklik ve 1,8 m yükseklikten veriler alınarak karşılaştırılmıştır.

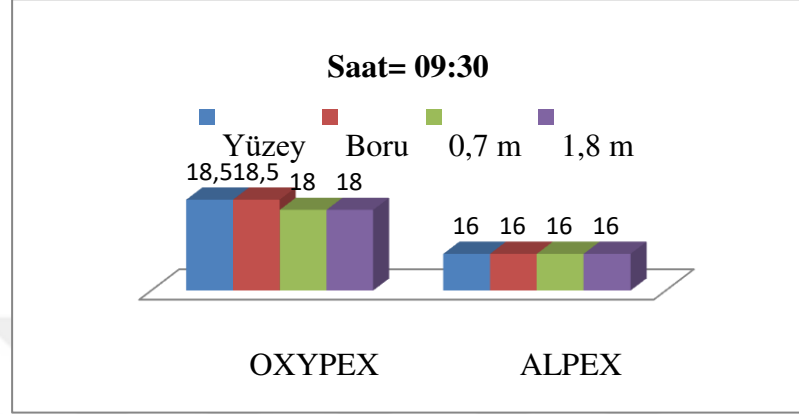
Grafik 6.1'de, saat 09:00 itibariyle Oxypex ve Alpex borularla oluşturulmuş yerden ısıtma sistemlerinde farklı ölçüm noktalarından alınan sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Oxypex borulu sistemde yüzey ve boru sıcaklıkları 18 °C olarak ölçülmüş, yerden 0,70 m yükseklikteki sıcaklık 17 °C ve 1,80 m yükseklikteki sıcaklık ise 17,5 °C olarak kaydedilmiştir. Bu veriler, Oxypex sisteminin ısıyı zeminden yukarıya doğru dengeli bir şekilde ilettiğini göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise tüm ölçüm noktalarında sıcaklık değeri sabit olup 15 °C olarak belirlenmiştir. Bu durum, Alpex sisteminin henüz etkin bir ısı yayılım sağlamadığını ya da sistemin başlangıçta düşük performans gösterdiğini düşündürmektedir. Genel olarak, günün erken saatlerinde Oxypex borulu sistemin Alpex borulu sisteme kıyasla daha yüksek sıcaklık değerleri sağladığı ve daha homojen bir ısı dağılımı oluşturduğu görülmektedir.



Grafik 6.1. Oxypex ve Alpex Boru Saat 09:00 Ölçümü

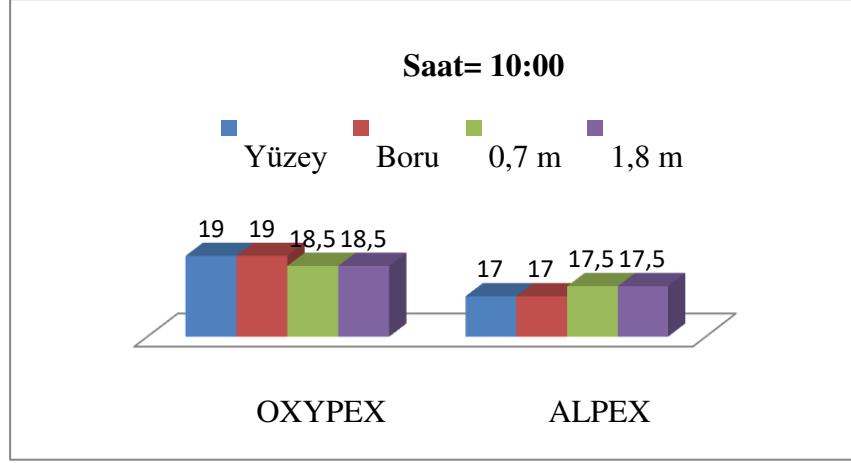
Grafik 6.2'de, saat 09:30'da Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinden alınan sıcaklık ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Oxypex borulu sistemde yüzey ve boru sıcaklıkları 18,5 °C olarak ölçülürken, yerden 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklık değerleri 18 °C'dir. Bu durum, Oxypex sisteminin kısa süre içerisinde hem zemin düzeyinde hem de iç hacimde etkili bir sıcaklık artışı sağladığını ve ısıyı yukarıya doğru homojen şekilde

ilettiğini göstermektedir. Diğer yandan Alpex borulu sistemde, tüm ölçüm noktalarında sıcaklık değeri 16 °C olup, önceki saate göre 1 °C’lik bir artış gözlemlenmiştir. Ancak bu artış, Oxypex sistemine kıyasla daha sınırlı kalmaktadır. Elde edilen veriler, ısıtma sürecinin ilk yarım saatinde Oxypex borulu sistemin Alpex’e göre daha hızlı ve daha dengeli bir ısı dağılımı sağladığını ortaya koymaktadır.



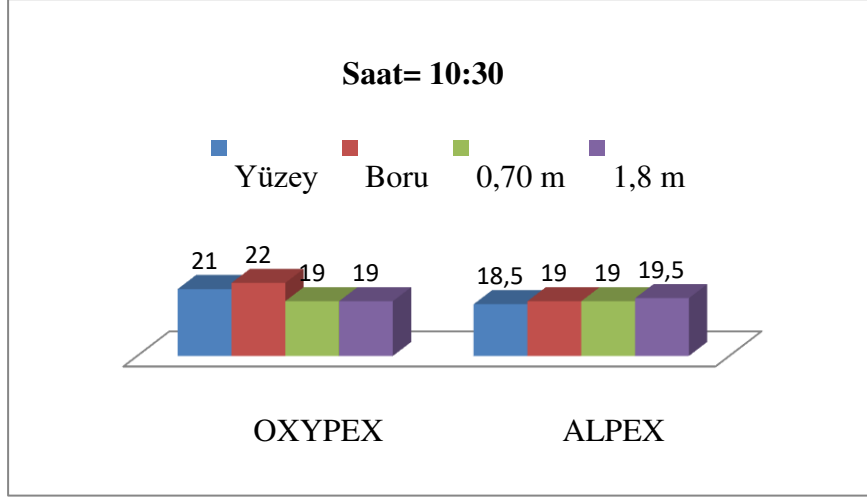
Grafik 6.2. Oxypex ve Alpex Boru Saat 09:30 Ölçümü

Grafik 6.3’te, saat 10:00 itibarıyla Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinden elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırılmaktadır. Oxypex borulu sistemde yüzey ve boru sıcaklıkları 19 °C’ye yükselmiş; yerden 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise sırasıyla 18,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu artış, Oxypex sisteminin ısıtma performansının sürdürülebilir şekilde devam ettiğini ve sıcaklığın iç hacme dengeli biçimde yayıldığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey ve boru sıcaklıkları 17 °C, 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar 17,5 °C olarak ölçülmüştür. Önceki saat dilimlerine göre belirgin bir sıcaklık artışı gözlenmekte olup, Alpex sisteminin de ısıl etkinliğini artırmaya başladığı anlaşılmaktadır. Ancak bu artış, Oxypex’e kıyasla daha sınırlı ve gecikmeli gerçekleşmektedir. Sonuç olarak, saat 10:00 itibarıyla Oxypex borulu sistemin daha yüksek sıcaklık değerleri sağladığı ve iç ortamda daha homojen bir ısı dağılımı oluşturduğu söylenebilir. Bu durum, Oxypex’in termal yanıt hızının Alpex’e göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.



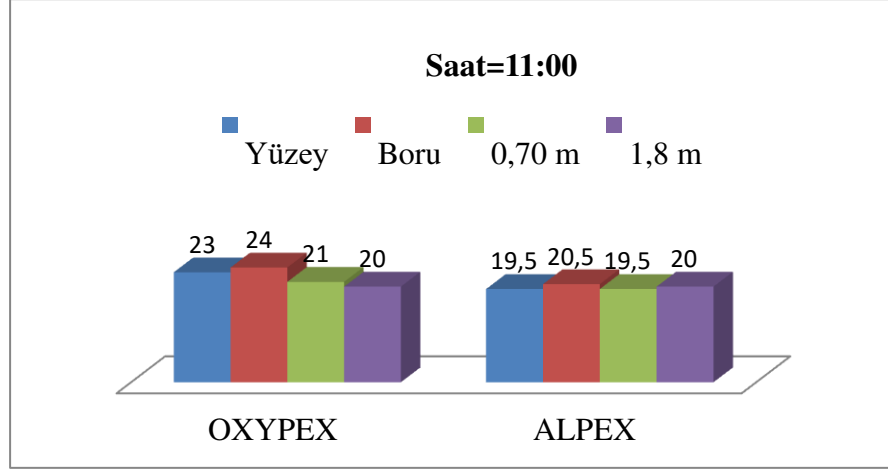
Grafik 6.3. Oxyplex ve Alpex Boru Saat 10:00 Ölçümü

Grafik 6.4'te, saat 10:30'da Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinde ölçülen sıcaklık değerleri karşılaştırılmaktadır. Oxyplex borulu sistemde boru sıcaklığı 22 °C'ye, yüzey sıcaklığı ise 21 °C'ye ulaşmıştır. Yerden 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise 19 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Oxyplex sisteminde boru çevresinde belirgin bir sıcaklık artışı olduğunu ve bu artışın ortam havasına doğru iletildiğini göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 18,5 °C, boru ve 0,70 m yüksekliği sıcaklıkları 19 °C, 1,80 m yüksekliği ise 19,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, Alpex sisteminin önceki saat dilimlerine göre ısı yayılımını artırdığını ve özellikle iç ortam havasına yönelik etkisinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymaktadır. Bu ölçüm saatinde Oxyplex, zemin ve boru çevresinde daha yüksek sıcaklıklar sağlarken, Alpex sisteminde sıcaklık dağılımının daha homojen olduğu, özellikle üst yüksekliklerde (1,80 m) sıcaklık değerinin Oxyplex'ten daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, Alpex sisteminin geç ısınmakla birlikte ortam havasına daha doğrudan etki etmeye başladığını göstermektedir.



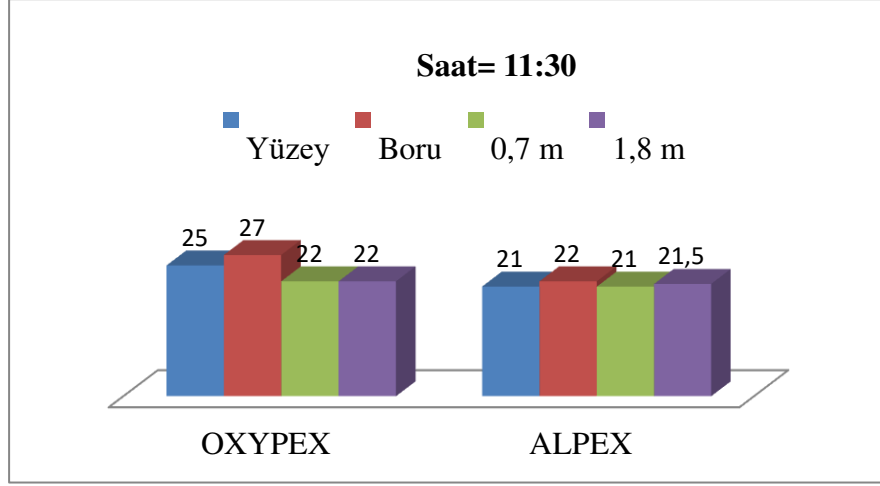
Grafik 6.4. Oxyplex ve Alplex Boru Saat 10:30 Ölçümü

Grafik 6.5’te, saat 11:00 itibariyle Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Oxyplex borulu sistemde en yüksek sıcaklık değeri 24 °C ile boru üzerinde ölçülmüş; yüzey sıcaklığı 23 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 21 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık ise 20 °C olarak kaydedilmiştir. Bu bulgular, Oxyplex sisteminin zemin ve boru çevresinde ısıl etkinliğini artırarak iç ortama yukarıdan aşağıya doğru etkili bir ısı iletimi sağladığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 20,5 °C, yüzey ve 0,70 m yüksekliği sıcaklıkları 19,5 °C, 1,80 m yüksekliği ise 20 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sisteminin sıcaklık değerlerinde artış devam etmekte olup, ölçüm noktaları arasında sıcaklık farkları oldukça azalmıştır. Bu durum, Alpex sisteminde sıcaklığın homojenleşmeye başladığını ve ortam içindeki dağılımın dengelendiğini göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Oxyplex sisteminin daha yüksek sıcaklıklara ulaştığı ve daha hızlı ısınma sağladığı, Alpex sisteminin ise zamanla daha homojen bir sıcaklık profili oluşturmaya başladığı anlaşılmaktadır.



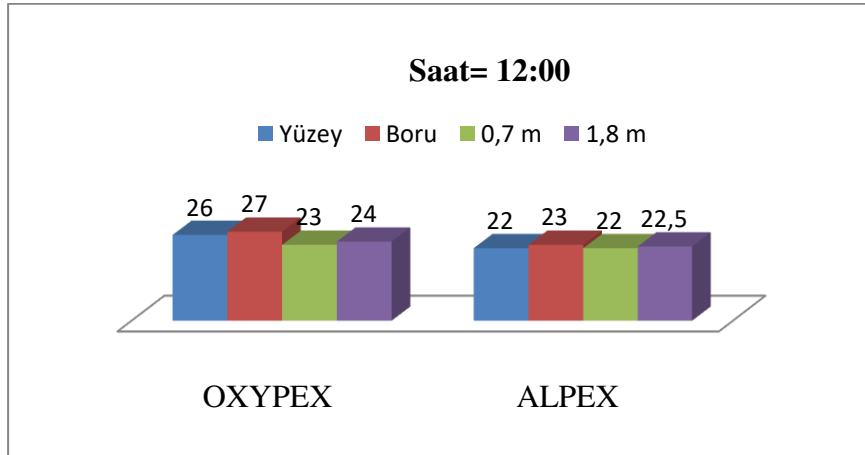
Grafik 6.5. Oxyplex ve Alpex Boru Saat 11:00 Ölçümü

Grafik 6.6'da, saat 11:30 itibarıyla Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinden alınan sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Oxyplex sisteminde boru sıcaklığı 27 °C, yüzey sıcaklığı 25 °C, yerden 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise 22 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Oxyplex borulu sistemin ısıtma etkisinin hem zeminde hem de iç ortam havasında belirgin şekilde arttığını ve sıcaklığın yukarıya doğru etkin bir biçimde taşındığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 22 °C, yüzey ve 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklıklar 21 °C, 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık ise 21,5 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sisteminin ısıtma performansı istikrarlı biçimde artmakta olup, sıcaklık dağılımında homojenlik sağlanmaya devam etmektedir. Sonuç olarak, saat 11:30 itibarıyla Oxyplex sisteminin zeminde daha yüksek sıcaklık sağladığı, Alpex sisteminin ise iç hava sıcaklığında daha dengeli bir dağılım oluşturduğu görülmektedir. Oxyplex, hızlı tepki veren bir sistem olarak öne çıkarken; Alpex daha yavaş ancak istikrarlı ve dengeli bir ısı yayılım sunmaktadır.



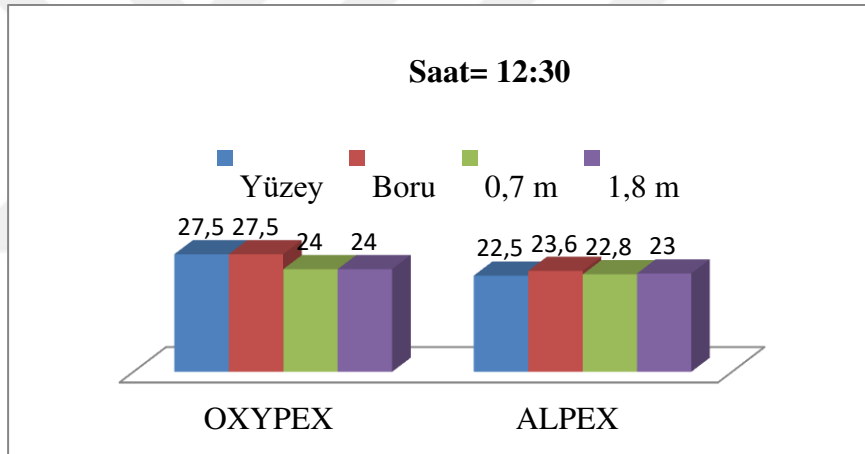
Grafik 6.6. Oxyplex ve Alplex Boru Saat 11:30 Ölçümü

Grafik 6.7’de, saat 12:00 itibarıyla Oxyplex ve Alplex borulu yerden ısıtma sistemlerinden elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırılmaktadır. Oxyplex borulu sistemde boru sıcaklığı 27 °C, yüzey sıcaklığı 26 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 23 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık 24 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Oxyplex sisteminin yüksek ısıtma performansını sürdürdüğünü ve ısıнын zemin seviyesinden iç ortam havasına etkili biçimde taşındığını göstermektedir. Alplex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 23 °C, yüzey ve 0,70 m seviyesindeki sıcaklıklar 22 °C, 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık ise 22,5 °C olarak belirlenmiştir. Alplex sisteminde sıcaklık artışı istikrarlı şekilde devam etmekte olup, ölçüm noktaları arasındaki fark oldukça düşüktür. Bu durum, Alplex sisteminin daha düşük sıcaklıklarla çalışmasına rağmen iç ortamda daha homojen bir ısı dağılımı sağladığını ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Oxyplex sisteminin daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşarak hızlı ve etkili bir ısıtma sağladığı, Alplex sisteminin ise daha dengeli fakat nispeten daha düşük sıcaklıklarla çalışan bir sistem olduğu sonucuna varılabilir.



Grafik 6.7. Oxyplex ve Alplex Boru Saat 12:00 Ölçümü

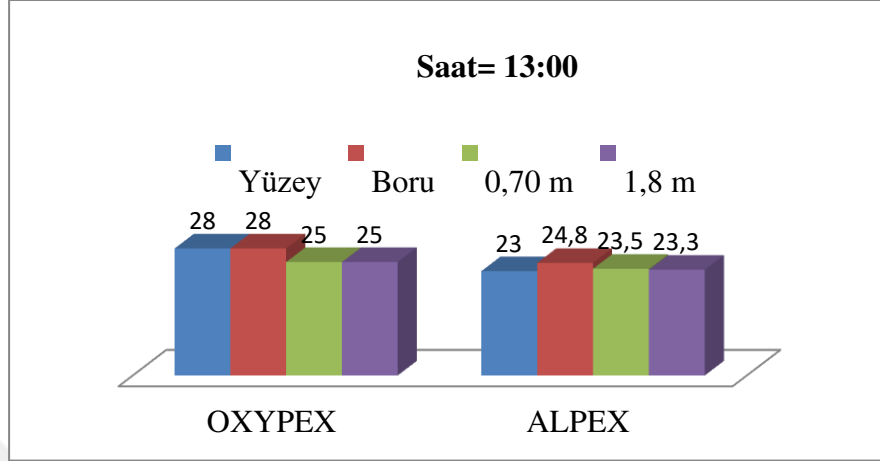
Grafik 6.8’de, saat 12:30 itibarıyla Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinden alınan sıcaklık değerleri karşılaştırılmaktadır. Oxyplex borulu sistemde hem yüzey hem de boru sıcaklığı 27,5 °C olarak ölçülmüştür. Yerden 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise 24 °C olarak belirlenmiştir. Bu veriler, Oxyplex sisteminin hem zemin düzeyinde hem de iç ortamda etkili bir ısıtma sağladığını ve sıcaklığın yukarıya doğru homojen bir şekilde iletildiğini göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 22,5 °C, boru sıcaklığı 23,6 °C, 0,70 m seviyesindeki sıcaklık 22,8 °C ve 1,80 m seviyesindeki sıcaklık 23 °C olarak ölçülmüştür. Alpex sisteminde sıcaklık artışı devam etmekte olup, özellikle boru çevresindeki sıcaklık yükselmiştir. Ayrıca iç ortam sıcaklıklarında da oldukça dengeli bir dağılım gözlemlenmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Oxyplex sistemi daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşarak hızlı ve etkili bir ısı transferi sağlarken, Alpex sistemi daha düşük sıcaklıklarla çalışmakla birlikte iç hacimde dengeli ve konforlu bir sıcaklık dağılımı oluşturmayı sürdürmektedir.



Grafik 6.8. Oxyplex ve Alpex Boru Saat 12:30 Ölçümü

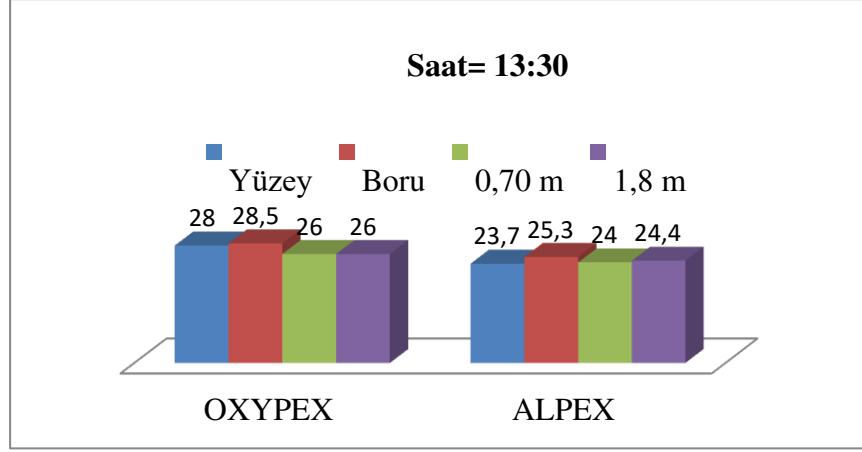
Grafik 6.9’da, saat 13:00 itibarıyla Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait sıcaklık ölçümleri karşılaştırılmaktadır. Oxyplex borulu sistemde hem yüzey hem de boru sıcaklığı 28 °C, yerden 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise 25 °C olarak ölçülmüştür. Bu değerler, Oxyplex sisteminin hem zemin düzeyinde hem de iç ortamda güçlü ve dengeli bir ısıtma performansı sunduğunu göstermektedir. Zeminle birlikte iç hacimdeki sıcaklık farkı azalarak homojen bir ısı dağılımına işaret etmektedir. Alpex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 24,8 °C, yüzey sıcaklığı 23 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 23,5 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık 23,3 °C olarak kaydedilmiştir. Alpex sisteminde de sıcaklık değerleri istikrarlı biçimde artmaya devam etmektedir. Özellikle boru çevresindeki sıcaklık yükselmiş, iç hacim sıcaklıkları da birbirine yakın değerlerde ölçülerek dengeli bir ısı

dağılımının sürdüğü görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde, Oxyplex sistemi daha yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşarak hızlı ve etkili bir ısıtma sağlarken; Alpex sistemi daha düşük sıcaklıklarla çalışsa da iç ortamda konforlu ve homojen bir sıcaklık dağılımı sunmaya devam etmektedir.



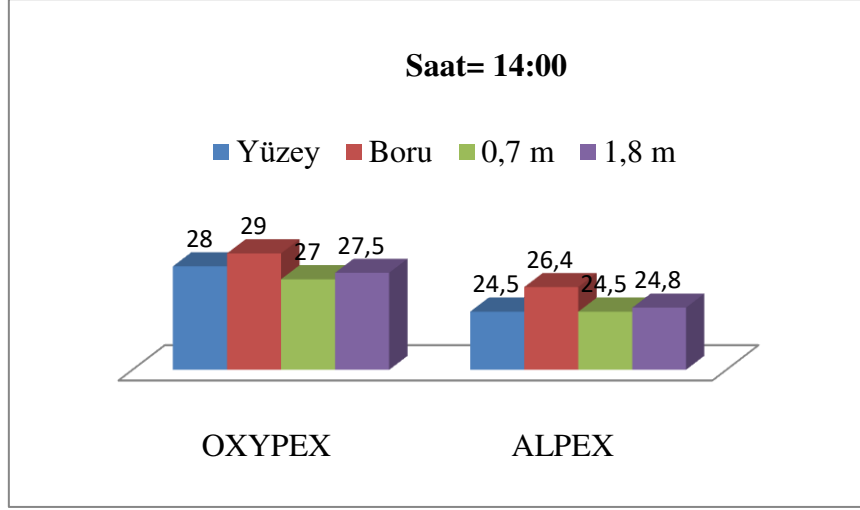
Grafik 6.9. Oxyplex ve Alpex Boru Saat 13:00 Ölçümü

Grafik 6.10’da, saat 13:30 itibarıyla Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait sıcaklık ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Oxyplex borulu sistemde yüzey sıcaklığı 28 °C, boru sıcaklığı 28,5 °C, yerden 0,70 m ve 1,80 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise 26 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, Oxyplex sisteminin zeminde maksimum sıcaklık değerlerine ulaştığını ve iç hacimde de ısı yayılımının güçlü şekilde sürdüğünü göstermektedir. Yerden yükseldikçe sıcaklık farkı düşük kalmakta, bu da ortamda homojen bir ısı dağılımı sağlandığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 25,3 °C, yüzey sıcaklığı 23,7 °C, 0,70 m yüksekliği sıcaklığı 24 °C ve 1,80 m yüksekliği sıcaklığı 24,4 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sisteminde de sıcaklık değerleri artmaya devam etmektedir ve ölçüm noktaları arasındaki fark oldukça azdır. Bu da Alpex sisteminin, nispeten daha düşük sıcaklıklarla çalışmasına rağmen iç ortamda dengeli bir ısı profili sunduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Oxyplex borulu sistem yüksek sıcaklık seviyesi ve hızlı ısıtma kapasitesiyle öne çıkarken, Alpex borulu sistem daha düşük sıcaklıklarla istikrarlı ve homojen bir iç ortam sıcaklığı sağlamaktadır. Her iki sistem de bu aşamada ortam konforu açısından etkin ısıtma performansı göstermektedir.



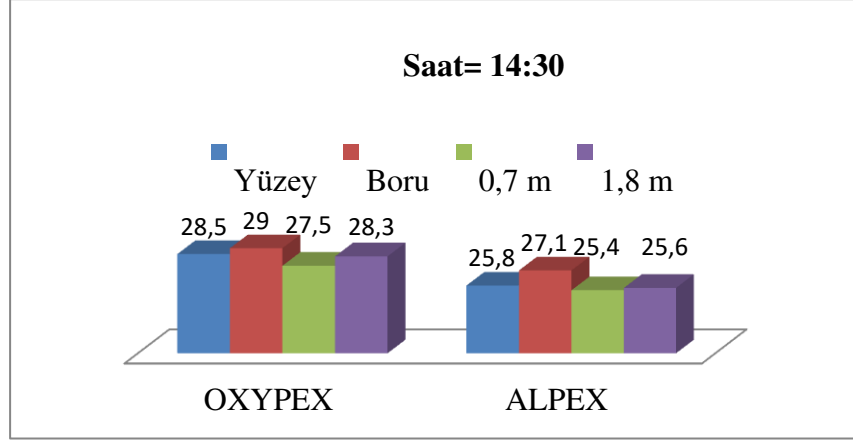
Grafik 6.10. Oxyplex ve Alplex Boru Saat 13:30 Ölçümü

Grafik 6.11’de, saat 14:00 itibarıyla Oxyplex ve Alplex borulu yerden ısıtma sistemlerinden elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırılmaktadır. Oxyplex borulu sistemde boru sıcaklığı 29 °C, yüzey sıcaklığı 28 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 27 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık 27,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Oxyplex sisteminin ısıtma performansının en üst düzeye ulaştığını ve zeminle birlikte iç ortamda oldukça homojen ve yüksek seviyede bir sıcaklık sağladığını göstermektedir. Alplex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 26,4 °C, yüzey sıcaklığı 24,5 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 24,5 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık 24,8 °C olarak belirlenmiştir. Alplex sisteminde de sıcaklık değerleri düzenli olarak artmakta ve ölçüm noktaları arasındaki farkın az olması sayesinde dengeli bir sıcaklık dağılımı elde edilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Oxyplex sistemi yüksek ısı iletim kapasitesiyle hem zemin düzeyinde hem de iç hacimde hızlı ve etkin bir ısı yayılım sağlamakta; Alplex sistemi ise daha düşük sıcaklıklarla çalışmasına rağmen iç ortamda yeterli konforu sunan dengeli bir dağılım sağlamaktadır. Saat 14:00 itibarıyla her iki sistem de istikrarlı şekilde çalışmakta olup, Oxyplex yüksek sıcaklık avantajı, Alplex ise homojenlik avantajı sunmaktadır.



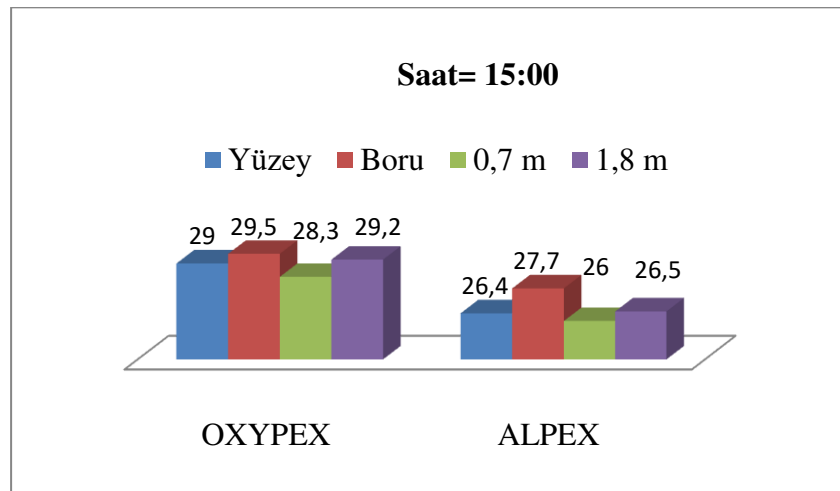
Grafik 6.11. Oxyplex ve Alpex Boru Saat 14:00 Ölçümü

Grafik 6.12’de, saat 14:30 itibarıyla Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinden elde edilen sıcaklık ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Oxyplex borulu sistemde boru sıcaklığı 29 °C, yüzey sıcaklığı 28,5 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 27,5 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık 28,3 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, Oxyplex sisteminin hem zemin seviyesinde hem de iç ortamda yüksek ve dengeli bir ısı dağılımı sağladığını ve ısıtma etkinliğini koruduğunu göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 27,1 °C, yüzey sıcaklığı 25,8 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 25,4 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık 25,6 °C olarak ölçülmüştür. Alpex sisteminde de sıcaklık değerleri artışını sürdürmekte olup, ölçüm noktaları arasındaki fark oldukça düşüktür. Bu durum, sistemin iç ortamda homojen bir sıcaklık profili oluşturduğunu ve konfor koşullarını sağladığını göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, saat 14:30 itibarıyla Oxyplex sisteminin daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaştığı, buna karşılık Alpex sisteminin daha düşük sıcaklıklarla çalışmakla birlikte homojen bir ısı dağılımı sunduğu gözlemlenmektedir. Oxyplex hızlı ve güçlü bir ısı transferi sağlarken, Alpex ise iç ortam konforuna yönelik dengeli bir performans sergilemektedir.



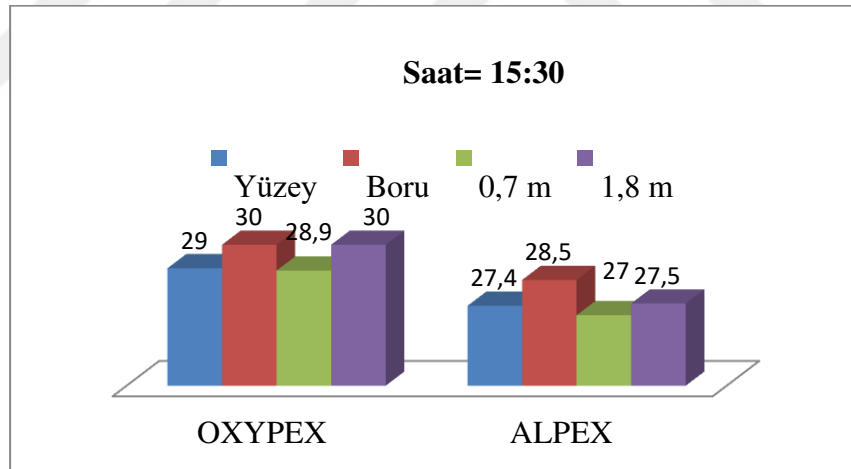
Grafik 6.12. Oxpex ve Alpex Boru Saat 14:30 Ölçümü

Grafik 6.13’de, saat 09:00 itibariyle Oxpex ve Alpex borularla oluşturulmuş yerden ısıtma sistemlerinde farklı ölçüm noktalarından alınan sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Oxpex borulu sistemde yüzey ve boru sıcaklıkları 18 °C olarak ölçülmüş, yerden 0,70 m yükseklikteki sıcaklık 17 °C ve 1,80 m yükseklikteki sıcaklık ise 17,5 °C olarak kaydedilmiştir. Bu veriler, Oxpex sisteminin ısıyı zeminden yukarıya doğru dengeli bir şekilde ilettiğini göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise tüm ölçüm noktalarında sıcaklık değeri sabit olup 15 °C olarak belirlenmiştir. Bu durum, Alpex sisteminin henüz etkin bir ısı yayılım sağlamadığını ya da sistemin başlangıçta düşük performans gösterdiğini düşündürmektedir. Genel olarak, günün erken saatlerinde Oxpex borulu sistemin Alpex borulu sisteme kıyasla daha yüksek sıcaklık değerleri sağladığı ve daha homojen bir ısı dağılımı oluşturduğu görülmektedir.



Grafik 6.13. Oxpex ve Alpex Boru Saat 15:00 Ölçümü

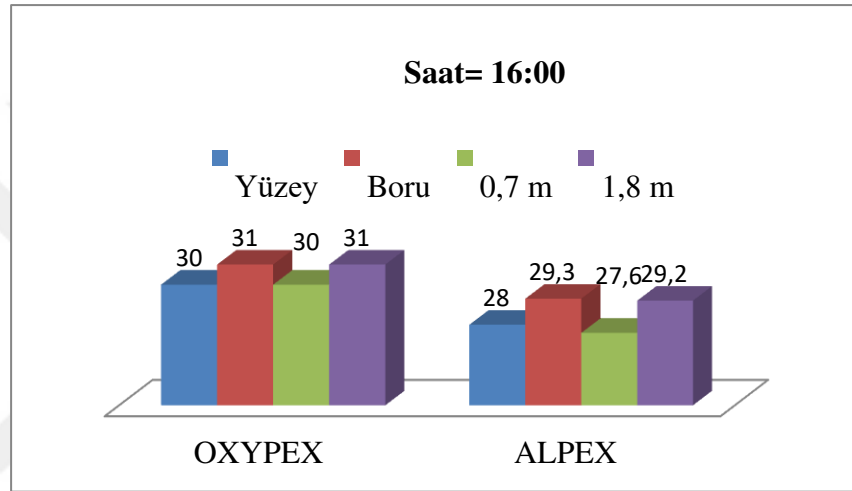
Grafik 6.14'te, saat 15:30 itibarıyla Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinden elde edilen sıcaklık ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Oxypex borulu sistemde boru ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklıklar 30 °C, yüzey sıcaklığı 29 °C, 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık ise 28,9 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Oxypex sisteminin zemin, iç ortam ve tavan seviyelerinde yüksek sıcaklık düzeyine ulaştığını ve sıcaklığın hacim boyunca oldukça homojen bir şekilde yayıldığını göstermektedir. Sistem, test sürecinin sonuna doğru kararlı ve yüksek verimli bir ısıtma performansı sunmaktadır. Alpex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 28,5 °C, yüzey sıcaklığı 27,4 °C, yerden 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 27 °C, 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık ise 27,5 °C olarak ölçülmüştür. Alpex sisteminde sıcaklık değerleri istikrarlı şekilde yükselmiş olup, ölçüm noktaları arasındaki farkın oldukça düşük olması homojen bir ısı dağılımına işaret etmektedir. Bu durum, sistemin iç ortam konforunu sağlayacak düzeyde verimli çalıştığını göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, saat 15:30 itibarıyla Oxypex borulu sistem daha yüksek sıcaklık değerleriyle maksimum ısı performansına ulaşırken; Alpex borulu sistem ise daha düşük sıcaklıklarla çalışmasına rağmen iç ortamda homojen ve konforlu bir ısıtma sunmaya devam etmektedir.



Grafik 6.14. Oxypex ve Alpex Boru Saat 15:30 Ölçümü

Grafik 6.15'te, saat 16:00 itibarıyla Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinden elde edilen sıcaklık ölçüm sonuçları sunulmaktadır. Oxypex borulu sistemde boru ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklıklar 31 °C, yüzey ve 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklıklar ise 30 °C olarak ölçülmüştür. Bu değerler, Oxypex sisteminin günün sonunda maksimum ısıtma kapasitesine ulaştığını ve ısıtmanın hem zeminde hem de iç ortam havasında oldukça dengeli ve yüksek seviyede dağıldığını göstermektedir. Tüm ölçüm noktalarında sıcaklık farkı oldukça azdır ve bu da homojen bir ısı konfor ortamı yaratıldığını göstermektedir. Alpex

borulu sistemde ise boru sıcaklığı 29,3 °C, yüzey sıcaklığı 28 °C, 0,70 m yüksekliğindeki sıcaklık 27,6 °C ve 1,80 m yüksekliğindeki sıcaklık 29,2 °C olarak ölçülmüştür. Alpex sisteminde de sıcaklık artışı gün boyunca istikrarlı şekilde devam etmiş, özellikle iç ortam havasındaki sıcaklıklar (1,80 m) yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu durum, sistemin gün sonunda hem zeminden hem de yukarı seviyelerden yeterli ısı transferi sağladığını ve homojen bir sıcaklık profili sunduğunu göstermektedir. Genel değerlendirme yapıldığında, saat 16:00 itibarıyla Oxypex borulu sistem daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşarak iç mekânda güçlü ve dengeli bir ısıtma sağlamış, Alpex borulu sistem ise daha düşük sıcaklıklarla çalışmasına rağmen ortamda yeterli ve dengeli bir termal konfor oluşturmıştır.



Grafik 6.15. Oxypex ve Alpex Boru Saat 16:00 Ölçümü

Spiral döşeme yöntemi kullanılarak yapılan yerden ısıtma uygulamasında, Oxypex ve Alpex borular ile elde edilen sıcaklık değişimleri zamana bağlı olarak karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Test süreci boyunca dış ortam sıcaklığının yaklaşık 20 °C olduğu koşullarda, her iki boru tipi ile de iç ortam sıcaklığının 30 °C'ye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir.

Oxypex borulu sistem, ısıtma sürecine 18 °C başlangıç sıcaklığı ile başlamış ve yaklaşık yedi saatlik bir süre sonunda iç ortam sıcaklığı 30 °C'ye ulaşmıştır. Grafik verilerine göre sıcaklık artışı her yarım saatte düzenli bir şekilde gerçekleşmiş, özellikle zemin, boru çevresi ve iç ortam yüksekliklerinde sıcaklık farkları minimum düzeyde kalmıştır. Ayrıca, duvara yerleştirilen iki farklı termočiftten elde edilen verilerde yalnızca 1 °C düzeyinde bir sıcaklık farkı görülmesi, sistemin hem homojen bir ısı dağılımı sağladığını hem de ısıtma performansının kararlı olduğunu göstermektedir.

Diğer yandan, Alpex borulu sistem, daha düşük bir başlangıç sıcaklığı olan 15 °C ile ısıtma sürecine başlamış ve aynı şekilde iç ortam sıcaklığı 30 °C'ye kadar çıkarılmıştır. Alpex sisteminde sıcaklık artışı Oxypex'e kıyasla daha yavaş ve kademeli gerçekleşmiş, ancak zamanla iç ortamda homojen bir ısı dağılımı sağlandığı görülmüştür. Buna karşın, duvara yerleştirilen iki termoçiftten elde edilen sıcaklık farkı 1,6 °C olarak ölçülmüş, bu da sistemin daha uzun sürede dengeye geldiğini ve duvar yüzeylerinde sıcaklık farkının daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, zamanla sıcaklık artışı incelendiğinde her iki sistemin de hedef sıcaklığa ulaştığı, ancak Oxypex borulu sistemin daha hızlı ısındığı, daha düşük sıcaklık farklarıyla homojen bir dağılım sağladığı ve daha verimli bir ısıtma performansı sunduğu anlaşılmaktadır. Alpex borulu sistem ise daha gecikmeli ancak istikrarlı bir ısı yayılımı sağlamış; özellikle iç ortam sıcaklığında dengeyi koruyarak konfor açısından yeterli bir sonuç vermiştir, ancak yüzeyler arasındaki farkın daha belirgin olması, ısı yayılımının mekânsal olarak daha sınırlı kaldığını göstermektedir..

6.1.1. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Boruda Zemin Isı Hesaplanması

Spiral döşeli olan Oksijen bariyerli ve alüminyum folyo içeren boruda zemindeki ısı transferi ΔQ hesaplanmaktadır.

OXYPEX borular için;

Q olarak adlandırılan boru içerisindeki suyun sıcaklığından sağlanmakta olan ısı OXYPEX'te 34,07 W'dır.

Q_1 test odasının ısıtma kapasitesini bulmak için denklem (5.3) kullanılmalıdır. Q_1 hesaplanırken yüzeyden transfer edilen ısı ve borular tarafından sağlanan ısı için gerekli olan hesaplamalar (5.4) denklemi ve (5.12) denklemi yardımı ile hesaplanır. Q_{1f} denklem (5.4) ve Q_{1p} denklem (5.12) üzerinden hesaplamalar sonucunda;

$Q_{1f} = 0,049$ ve $Q_{1p} = 7,252$ 'dir. Böylelikle test odası ısıtma kapasitesi spiral döşeli Oxypex boruda 7,301 W'dır.

Q_2 zemin yapısından ortaya çıkan ısı kaybı hesaplanmasında ise denklem (5.14) kullanılmaktadır. U olarak ifade edilmiş olan yalıtımlı zemin genel ısı transfer katsayısı denklem (5.15) ile hesaplanır. Oxypex borularda U değeri test odası için 0,46 Wm^2K^{-1} . Oxypex boru için Q_2 böylelikle 6,44 W,

Oxypex boruda toplam ısı transfer değeri ise $\Delta Q=23,33$ W'dır.

ALPEX borular için;

Q olarak adlandırılan boru içerisindeki suyun sıcaklığından sağlanmakta olan ısı Alpex'de 34,07 W'dır.

Q_1 test odasının ısıtma kapasitesini bulmak için denklem (5.3) kullanılmalıdır. Q_1 hesaplanırken yüzeyden transfer edilen ısı ve borular tarafından sağlanan ısı için gerekli olan hesaplamalar (5.4) denklemi ve (5.12) denklemi yardımı ile hesaplanır. Q_{1f} denklem (5.4) ve Q_{1p} denklem (5.12) üzerinden hesaplamalar sonucunda;

$Q_{1f}= 0,018$ W ve $Q_{1p}=3,052$ W'dır. Böylelikle test odası ısıtma kapasitesi spiral döşeli Alpex boruda $Q_1=3,07$ W'dır.

Q_2 zemin yapısından ortaya çıkan ısı kaybı hesaplanmasında ise denklem (5.14) kullanılmaktadır. U olarak ifade edilmiş olan yalıtımlı zemin genel ısı transfer katsayısı denklem (5.15) ile hesaplanır. Alpex boru için Q_2 böylelikle 3,22 W gelmektedir.

Alpex boruda toplam ısı transfer değeri ise $\Delta Q=27,78$ W'dır.

6.1.2. Spiral Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Boruda Zemin Hesabına Göre Belirsizlik Isı Analizi Hesabı

Sistem içerisinde düzgün şekilde olan dağılmakta olan akış hızölçer hata sınırı denklem (5.18) yardımı ile hesaplanır.

Oxypex borular için;

$u'(Q)= \%0,214$ için $u'(Q_1)=\%0,0421$, $u'(Q_2)= \%0,0371$, $u'(\Delta Q)= \%0,1347$ 'dir.

Bağıl belirsizlik değeri denklem (5.19) ile $u'_E(\Delta Q)=0,2694$ 'tir.

Test odası içerisinde Oxypex boru döşeli hesaplandığında zemindeki ısı depolaması için bulunan bağıl belirsizlik $\%2,694$ 'tir.

Alpex borular için;

$u'(Q)=\%0,1967$ için $u'(Q_1)=\%0,0177$, $u'(Q_2)= \%0,01859$, $u'(\Delta Q)= \%0,16039$ 'dir.

Bağıl belirsizlik değeri denklem (5.19) ile hesaplandığında $u'_E(\Delta Q) = 0,3206$ 'dir.

Test odası içerisinde Alpex boru döşeli zemindeki ısı depolaması için bulunan bağıl belirsizlik $\%0,320$ 'dir.

6.1.3. Spiral Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Boruda Su Giriş Ve Çıkış Sıcaklık Hesaplanması

Tablo 6.1’de spiral döşeme yöntemiyle yerleştirilen OXYPEX borulu yerden ısıtma sisteminde, sistemin yedi saat boyunca çalıştırılması sonucunda elde edilen su giriş-çıkış sıcaklıkları ve ortalama su sıcaklıkları zaman serisi olarak sunulmuştur. Saat 09:00’da 16 °C olan su giriş sıcaklığı, saat 16:00 itibarıyla 27,5 °C’ye yükselmiş; çıkış sıcaklığı ise aynı süre zarfında 15 °C’den 25,5 °C’ye ulaşmıştır. Bu iki parametre dikkate alınarak hesaplanan ortalama su sıcaklığı ise 15,5 °C’den başlayarak test süresinin sonunda 26,5 °C’ye kadar yükselmiştir.

İlk saatlerde sıcaklık artışı görece düşük seviyelerde gerçekleşmiş, ısıtma sisteminin zeminle ve iç ortamla ilk temasında ısıl denge henüz kurulamadığı gözlemlenmiştir. Ancak saat 11:00’den itibaren sistemin tepki hızı artmış ve ortalama sıcaklıkta daha belirgin bir yükselme eğilimi gözlemlenmiştir. Bu artış, hem sistemdeki suyun sıcaklığının yükselmesini hem de zemine ve iç ortama daha etkili bir ısı transferinin gerçekleştiğini göstermektedir.

Saat 13:00’ten itibaren sistemin verimli çalışma evresine girdiği söylenebilir. Ortalama su sıcaklığı bu saatten itibaren 22 °C’nin üzerine çıkmış ve iç ortam sıcaklığının konfor seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Saat 15:00’ten sonra ise sistemin kararlı bir hale geldiği ve sıcaklık artış hızının yavaşladığı dikkat çekmektedir. Bu durum, sistemin ısıl doyum noktasına yaklaştığını ve iç ortamda istenilen sıcaklık seviyesinin sürdürülebilir biçimde sağlandığını göstermektedir.

Ayrıca giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları arasındaki farkın genellikle 1–2 °C civarında kalması, sistemin zemine ısı aktarımı sırasında büyük kayıplar yaşamadığını ve verimli bir ısıtma süreci yürüttüğünü göstermektedir. Bu veriler genel olarak değerlendirildiğinde, spiral döşeme yöntemiyle uygulanan OXYPEX borulu sistemin kontrollü ve dengeli bir ısınma profili sunduğu, iç ortamda hem hızlı hem de homojen bir sıcaklık dağılımı sağladığı sonucuna varılabilir.

	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ortalama Su Sıcaklığı (°C)
09:00	16	15	15,5
09:30	17	16	16,5
10:00	17,5	16,5	17
10:30	18	17	17,5
11:00	19,5	18	18,75
11:30	20	18,5	19,25
12:00	21	20	20,5
12:30	22	21	21,5
13:00	23	21,5	22,25
13:30	24,5	22,5	23,5
14:00	24,5	23	23,75
14:30	25,5	23,5	24,5
15:00	26,5	24,5	25,5
15:30	26,5	25	25,75
16:00	27,5	25,5	26,5

Tablo 6.1. Spiral Döşenmiş OXYPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması

Tablo 6.2’de spiral döşeme yöntemiyle yerleştirilen ALPEX borulu yerden ısıtma sisteminde, yedi saat boyunca sistemin çalıştırılması sonucunda elde edilen su giriş-çıkış sıcaklıkları ve ortalama su sıcaklıkları sunulmuştur. Saat 09:00’da 16 °C olan su giriş sıcaklığı, saat 16:00 itibarıyla 35 °C’ye kadar yükselmiş; çıkış sıcaklığı ise aynı sürede 15 °C’den 33 °C’ye ulaşmıştır. Buna bağlı olarak ortalama su sıcaklığı 15,5 °C’den başlayarak test süresinin sonunda 34 °C’ye kadar artmıştır.

İlk iki saatlik süreçte sıcaklık artışı sınırlı düzeyde gerçekleşmiş ve ortalama sıcaklık 15,5 °C'den 18,75 °C'ye yükselmiştir. Bu erken evrede, sistemin zemin ile etkileşimi ve ısıyı iç ortama iletme süreci henüz tam etkin hale gelmemiştir. Ancak saat 11:00'den itibaren su giriş sıcaklığının artmasıyla birlikte, ortalama su sıcaklığında da gözle görülür bir yükselme başlamıştır. Saat 12:00'de ortalama su sıcaklığı 22,5 °C'ye ulaşarak, iç ortam sıcaklığında anlamlı bir artışa zemin hazırlamıştır.

Saat 12:30 ile 14:30 arasındaki dönem, ALPEX borulu sistemin yüksek verimlilikle çalıştığı aralık olarak değerlendirilebilir. Bu süreçte ortalama sıcaklık 24 °C'den 29,25 °C'ye yükselmiş; iç ortamda ısı konforu sağlanmaya başladığı bir evreye geçilmiştir. Bu dönemde hem giriş hem çıkış sıcaklıklarındaki artış, sistemin hem borular aracılığıyla hem de yüzeyden etkin ısı yayılımı sağladığını göstermektedir.

Saat 15:00 sonrasında, sistemin giriş suyu sıcaklığı 31,5 °C'den 35 °C'ye kadar yükselmiş, ortalama su sıcaklığı ise 30,75 °C'den 34 °C'ye ulaşmıştır. Bu dönemde sistemin iç ortamı hedeflenen sıcaklık seviyesine ulaştırdığı ve ısı transferinin belirgin biçimde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları arasındaki farkın test süresinin sonunda 2 °C'ye kadar düşmesi, sistemin ısı dengeye yaklaştığını ve suyun zeminden geçerken daha az soğuduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, ALPEX borulu spiral döşeme sistemi ilk saatlerde yavaş bir sıcaklık artışı göstermiş olsa da, özellikle günün ikinci yarısında hızlı ve istikrarlı bir sıcaklık yükselişi gerçekleştirmiştir. Ortalama su sıcaklığının düzenli artışı, sistemin ısı performansının zamanla geliştiğini ve test odasında hedeflenen ısı konforunun sağlandığını ortaya koymaktadır. Bu veriler, ALPEX boruların gecikmeli ancak kararlı ve dengeli bir ısıtma sağladığını göstermektedir.

	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ortalama Su Sıcaklığı (°C)
09:00	16	15	15,5
09:30	18	17	16,5
10:00	18,5	17,5	18
10:30	19,5	18	18,75
11:00	21	19	20
11:30	22,5	20	21,25
12:00	24	21	22,5
12:30	25	23	24
13:00	25,5	23,5	24,5
13:30	26,5	24,5	25,5
14:00	28	26	27
14:30	30	28,5	29,25
15:00	31,5	30	30,75
15:30	33	31	32
16:00	35	33	34

Tablo 6.2. Spiral Döşenmiş ALPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması

6.1.4. Spiral Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Boru İçerisinden Geçmekte Olan Isı Taşınım Hesabı

Boru içerisinden geçen suyun taşınım katsayısı h_i olarak ifade edilir ve denklem (5.23)'deki denklem ile hesaplanır.

Yerden ısıtma sisteminde kullanılan Oxyplex spiral döşeli boruda 16,20 mm çapında kullanılan boruda taşınım katsayısı $7,09 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2\text{K}$. Alpex spiral döşeli boruda 16,20 mm çapında kullanılan boruda taşınım katsayısı $4,10 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.1.5. Spiral Döşemeye Göre Oxyplex Ve Alpex Döşeli Borularda Yüzeyler Arası Isı transfer Hesabı

Oxyplex döşeli boruda yüzeyler arası sıcaklık hesabı denklem (5.24)'ten bulunabilmektedir. Q_{zy} bulunabilmesi için borunun en iç çapından dış çapına kadar olan katmanların çaplarının toplamı bilinmelidir bunun için ise denklem (5.25) kullanılabilir.

Borunun ısıl direnci denklem (5.26) ile hesaplanır.

$$R_{iç} = \frac{1}{(7,09 \times 10^{-4}) \times \pi \times (2,16087)^2} = 96,14$$

Boru et kalınlığındaki ısıl direnci R_1 (5.27) ile hesaplanır.

$$R_1 = \frac{\ln \frac{0,008}{0,00199}}{2 \times \pi \times 60 \times 54} = 6,83 \times 10^{-5}$$

Borunun yalıtım içeren ısıl direnci R_2 (5.28) ile hesaplanır.

$$R_2 = \frac{\ln \frac{0,00216}{0,00208}}{2 \times \pi \times 60 \times 0,045} = 2,22 \times 10^{-3}$$

Boru dışındaki ısıl direnç ise denklem (5.29) ile hesaplanır.

$$R_{dış} = \frac{1}{1,21 \times (3) \left(\frac{1}{3}\right) \times 2 \times \pi \times 0,00216 \times 60} = 0,706$$

R_{top} değeri böylelikle denklem (5.25) den bulunabilir.

$$R_{top} = (96,14) + (6,83 \times 10^{-5}) + (2,22 \times 10^{-3}) + (0,706) = 96,84$$

Yüzeyler arasındaki ısı transferi Q_{zy} denklem (5.24)'ten hesaplanabilir.

$$Q_{zy} = \frac{\left(\frac{286,99 + 289}{2}\right) - 286}{96,84} = 0,020 \text{ W}$$

Ara katmanların sıcaklık hesapları için;

T_i denklem (5.30) ile hesaplanır.

$$T_i = 289 - (0,020 \times (0,0133)) = 288,9 \text{ K}$$

T_1 denklem (5.31) ile hesaplanır.

$$T_1 = 288,9 - (0,020 \times 6,83 \times 10^{-5}) = 288,8 \text{ K}$$

T_{CD} denklem (5.32) ile hesaplanır.

$$T_{CD} = 288,8 - (0,020 - 2,22 \times 10^{-3}) = 288,7 \text{ K}$$

Alpex döşeli boruda yüzeyler arası sıcaklık hesabı denklem (5.24)'ten bulunabilmektedir. Q_{zy} bulunabilmesi için borunun en iç çapından dış çapına kadar olan katmanların çaplarının toplamı bilinmelidir bunun için ise denklem (5.25) kullanılabilir.

Borunun ısıl direnci denklem (5.26) ile hesaplanır.

$$R_{iç} = \frac{1}{(4,10 \times 10^{-4}) \times \pi \times (2,19)^2} = 161,6$$

Boru et kalınlığındaki ısıl direnci R_1 (5.27) ile hesaplanır.

$$R_1 = \frac{\ln \frac{0,010}{0,00187}}{2 \times \pi \times 60 \times 54} = 8,23 \times 10^{-5}$$

Borunun yalıtım içeren ısıl direnci R_2 (5.28) ile hesaplanır.

$$R_2 = \frac{\ln \frac{0,00287}{0,010}}{2 \times \pi \times 60 \times 0,050} = 2,65 \times 10^{-4}$$

Boru dışındaki ısıl direnç ise denklem (5.29) ile hesaplanır.

$$R_{dış} = \frac{1}{1,21 \times (2) \left(\frac{1}{3}\right) \times 2 \times \pi \times 0,00219 \times 60} = 0,797$$

R_{top} değeri böylelikle denklem (5.25) den bulunabilir.

$$R_{top} = (161,6) + (8,23 \times 10^{-5}) + (2,65 \times 10^{-4}) + (0,797) = 162,4$$

Yüzeyler arasındaki ısı transferi Q_{zy} denklem (5.24)'ten hesaplanabilir.

$$Q_{zy} = \frac{\left(\frac{286,9+288}{2}\right) - 286}{162,4} = 8,9 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Ara katmanların sıcaklık hesapları için;

T_i denklem (5.30) ile hesaplanır.

$$T_i = 288 - ((8,9 \times 10^{-3} \times (161,6)) = 286,5 \text{ K}$$

T_1 denklem (5.31) ile hesaplanır.

$$T_1 = 288,6,5 - ((8,9 \times 10^{-3}) \times 8,23 \times 10^{-5}) = 286,4 \text{ K}$$

T_{CD} denklem (5.32) ile hesaplanır.

$$T_{CD} = 286,4 - ((8,9 \times 10^{-3}) \times 2,65 \times 10^{-4}) = 286,3 \text{ K}$$

6.1.6. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Döşeli Borularda Isı Kaybı Hesabı

Sistemde kullanılan borularda ısı kaybı hesabı (5.33), (5.34) ve (5.35)'te verilen denklemler ile hesaplanmaktadır.

Oxypex döşeli boruya göre toplam ısı kaybı 0,162 W'dır. Alpex döşeli boruya göre toplam ısı kaybı 0,195 W'dır.

6.1.7. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Isı Kaybından Dolayı Oluşan Maliyet Hesabı

Sistemde kullanılan borunun şartları göz önüne alındığında kullanılan yakıtın doğal gaz olması ile (5.36)'da ki denkleme göre Oxypex boruda ısı kaybı maliyeti 3,93 TL'dir. Alpex boruda ısı kaybı maliyeti 4,73 TL'dir.

6.1.8. Spiral Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Maliyet Hesabı

Oxypex boruda kullanılmakta olan boru uzunluğu denklem (5.37)'de ele alındığında boru uzunluğu 60 metredir. Boru ağırlığı (5.38) denkleminde çap değeri 16,20 cm ve et kalınlığı 2,05 cm olan boru kullanılarak toplam ağırlığı 75,41 kg/m'dir. Boru maliyet hesabı (5.39) denkleminde hesaplandığında kullanılan boru maliyeti 2527,3 TL'dir.

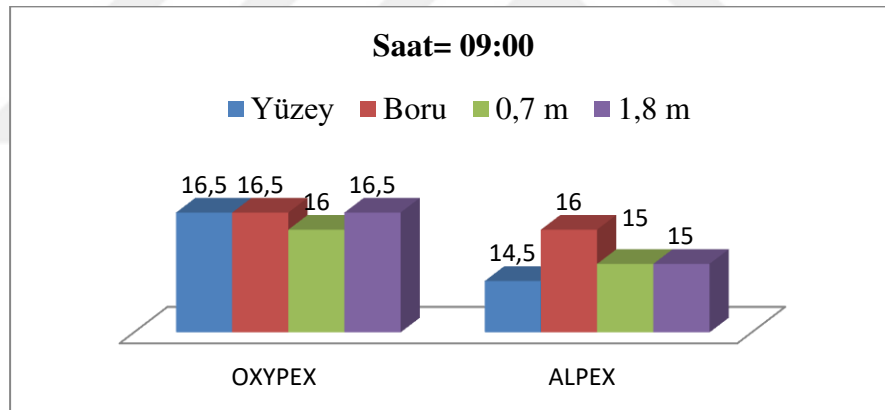
Alpex boruda kullanılmakta olan boru uzunluğu denklem (5.37)'de ele alındığında boru uzunluğu 60 metredir. Boru ağırlığı (5.38) denkleminde çap değeri 16,20 cm ve et kalınlığı 2,10 cm olan boru kullanılarak toplam ağırlığı 76,9 kg/m'dir. Boru maliyet hesabı (5.39) denkleminde hesaplandığında kullanılan boru maliyeti 2575,5 TL'dir.

6.2. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Deney Sonucu

Test odası içerisinde Oxypex ve Alpex olarak adlandırılmış borular paralel tip yerden döşeme yöntemi kullanılmıştır. Tercih edilen bu yöntemde ölçüm sonuçları sabah saat 09:00'da başlamış ve saat 16:00'a kadar devam etmiştir. Her yarım saatte bir ölçümler alınarak her iki boru için strafor yüzeyi, boru, yerden 0,7 m yükseklik ve 1,8 m yükseklikten veriler alınarak karşılaştırılmıştır.

Grafik 6.16'da, test odasında paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxypex ve Alpex borular için saat 09:00 itibarıyla yapılan sıcaklık ölçümleri karşılaştırılmıştır. Ölçümler, her iki boru tipi için strafor yüzeyi, boru üzeri, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yükseklikten alınmıştır. Oxypex borulu sistemde, yüzey ve boru sıcaklıkları 16,5 °C olarak ölçülmüş; 0,7 metre yüksekliğinde 16 °C, 1,8 metre yüksekliğinde ise yine 16,5 °C sıcaklık tespit edilmiştir.

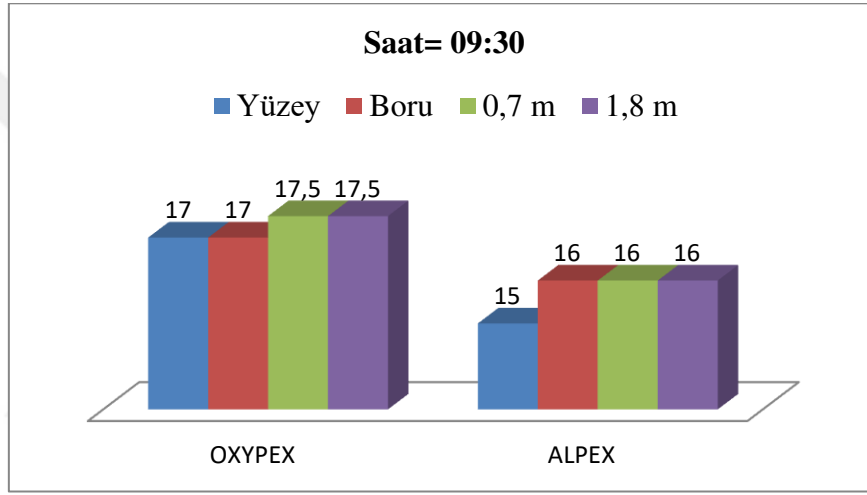
Bu veriler, sistemin testin başlangıcında dahi zeminden iç ortama doğru oldukça homojen bir ısı dağılımı sağladığını göstermektedir. Özellikle yüzey ve boru sıcaklıklarının eşit olması, ısınn borudan doğrudan zemine başarılı bir şekilde aktarıldığını göstermektedir. Ayrıca 0,7 m ile 1,8 m arasındaki sıcaklık farkının yalnızca 0,5 °C olması, ısınn iç ortam havasına dengeli şekilde yayıldığını ortaya koymaktadır. Alpex borulu sistemde ise boru sıcaklığı 16 °C olarak ölçülmesine rağmen yüzey sıcaklığı 14,5 °C olarak kaydedilmiştir. Bu durum, borudan çıkan ısınn zemine aktarımında gecikme yaşandığını göstermektedir. Yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerdeki sıcaklık değerleri ise 15 °C olarak eşit çıkmış, bu da iç ortam havasında homojenlik sağlanmaya başlandığını, ancak genel sıcaklık seviyesinin Oxypex sistemine göre daha düşük kaldığını göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, paralel döşeme yöntemiyle kurulan sistemde Oxypex borulu sistem, ilk saat itibarıyla daha yüksek ve dengeli sıcaklık değerlerine ulaşarak ısıtma performansı açısından daha verimli bir başlangıç yapmıştır. Alpex borulu sistem ise daha düşük yüzey sıcaklığı ve geç iletim eğilimi göstermiş, bu da sistemin daha geç ısınacağını ve iç ortam sıcaklığını artırmasının zaman alacağını göstermektedir.



Grafik 6.16. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 09:00 Ölçümü

Grafik 6.17’de, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinde saat 09:30 itibarıyla elde edilen sıcaklık ölçümleri karşılaştırılmaktadır. Ölçümler, yüzey, boru, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yükseklikten alınmıştır. Oxypex borulu sistemde, yüzey ve boru sıcaklıkları 17 °C olarak ölçülmüş, yerden 0,7 m ve 1,8 m yüksekliklerdeki sıcaklık değerleri ise 17,5 °C’ye ulaşmıştır. Bu veriler, sistemin çalışmasının üzerinden yalnızca yarım saat geçmiş olmasına rağmen iç ortam havasında etkili bir ısı dağılımının başladığını göstermektedir. Özellikle ortam sıcaklığının zemin düzeyinden daha yüksek ölçülmesi, zeminden yukarıya doğru etkin bir ısı transferinin gerçekleştiğini ve sistemin çevresel koşullara hızlı tepki verdiğini ortaya koymaktadır. Alpex

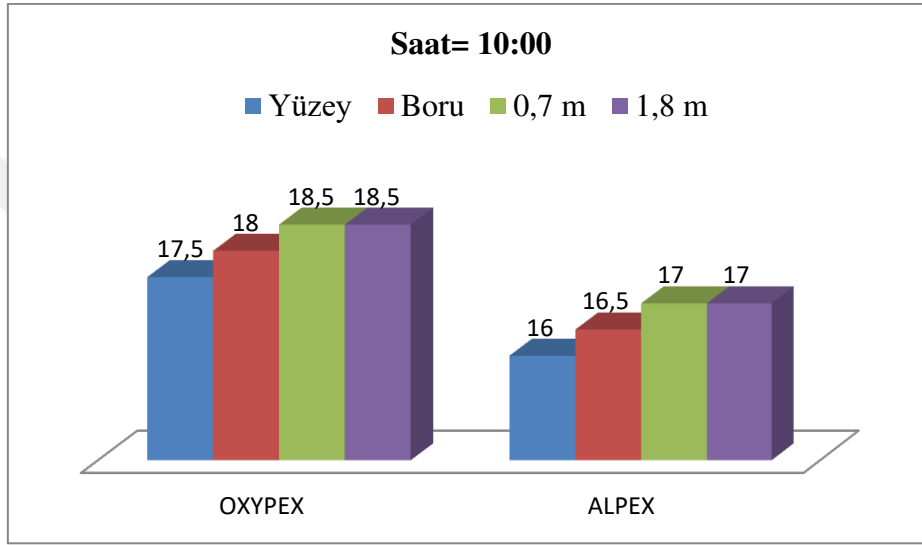
borulu sistemde ise boru, 0,7 m ve 1,8 m sıcaklıkları 16 °C olarak ölçülmüşken, yüzey sıcaklığı yalnızca 15 °C düzeyindedir. Bu durum, boru çevresinde ısının oluşmasına karşın zemine iletiminde hâlâ bir gecikme yaşandığını ve sistemin yüzey ısını artırmakta zorlandığını göstermektedir. İç ortam havasında ise sıcaklık artışı başlamış olup homojenlik sağlanmıştır, ancak genel sıcaklık seviyesi Oxyplex sistemine göre daha düşüktür. Sonuç olarak, paralel döşeme yönteminde Oxyplex borulu sistem, ısıyı hem zemine hem de iç ortama daha hızlı ve dengeli bir şekilde aktarırken; Alpex borulu sistemde sıcaklık artışı daha sınırlı kalmakta ve yüzey sıcaklığının hâlâ düşük olması nedeniyle iç ortamda etkin bir ısı yayılımı henüz tam anlamıyla sağlanamamaktadır. Bu durum, Oxyplex sistemin daha hızlı yanıt veren ve erken saatlerde daha verimli çalışan bir yapı sunduğunu göstermektedir.



Grafik 6.17. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alpex Boru Saat 09:30 Ölçümü

Grafik 6.18’de, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinde saat 10:00 itibarıyla yapılan sıcaklık ölçümleri sunulmuştur. Ölçümler, her iki boru tipi için yüzey, boru üzeri, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yükseklikten alınmıştır. Oxyplex borulu sistemde yüzey sıcaklığı 17,5 °C, boru sıcaklığı 18 °C, 0,7 m ve 1,8 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise 18,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, sistemin çalışmasının üzerinden bir saat geçtikten sonra ısıtmanın hem zemine hem de iç ortama etkili bir biçimde ulaştığını göstermektedir. Özellikle iç ortam yüksekliklerindeki sıcaklıkların boru sıcaklığından dahi yüksek olması, zeminden yukarıya doğru güçlü bir ısı iletimi gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu, Oxyplex sistemin hızlı tepki verdiğini ve ısı dağılımının oldukça verimli şekilde sürdüğünü göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 16 °C, boru sıcaklığı 16,5 °C, 0,7 m ve 1,8 m yüksekliklerdeki sıcaklıklar ise 17 °C olarak ölçülmüştür. Alpex sistemde de ısınma etkisinin devam ettiği, ancak yüzey sıcaklığının hâlâ boru sıcaklığının altında kaldığı görülmektedir. Bu durum, borudan zemine

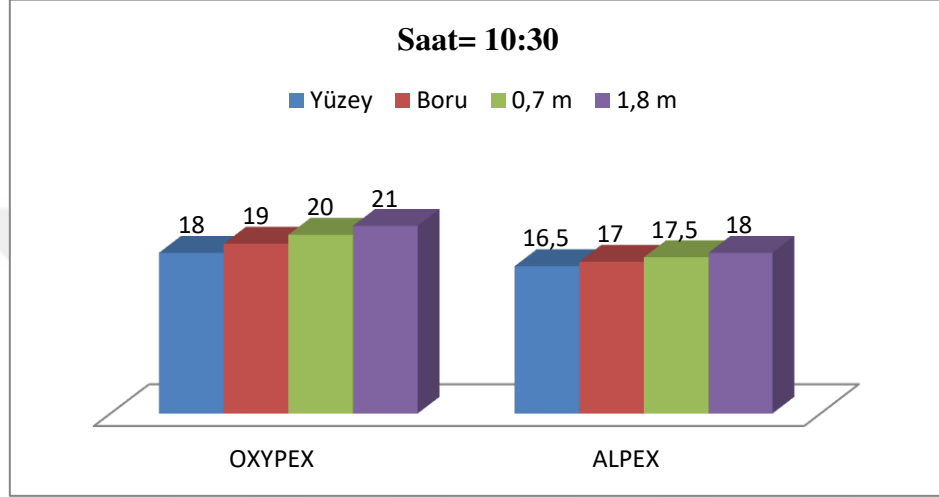
ısı transferinin hâlâ Oxyplex sistemine kıyasla daha düşük verimlilikte gerçekleştiğini göstermektedir. İç ortam havasında homojen bir sıcaklık sağlanmış olsa da, sistemin genel sıcaklık seviyesi daha düşüktür. Sonuç olarak, saat 10:00 itibarıyla paralel döşeme sisteminde Oxyplex borulu yapı, hem zeminde hem de ortam havasında daha yüksek sıcaklık değerleri sunarak ısıtma performansında üstünlük göstermektedir. Alpex borulu sistem ise ısınma eğilimini sürdürmekte, ancak zemine ısı iletimindeki gecikme nedeniyle iç ortamda hedef sıcaklıklara daha yavaş ulaşmaktadır. Bu durum, Oxyplex sistemin özellikle erken saatlerde daha etkin bir ısıtma çözümü sunduğunu bir kez daha doğrulamaktadır.



Grafik 6.18. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alpex Boru Saat 10:00 Ölçümü

Grafik 6.19’da, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 10:30’daki sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler her iki boru tipi için yüzey, boru, yerden 0,7 m ve 1,8 m yükseklikten alınmıştır. Oxyplex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 18 °C, boru sıcaklığı 19 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 20 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 21 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, sistemin çalışmasının üzerinden bir buçuk saat geçmiş olmasına rağmen iç ortam sıcaklığında hızlı ve kararlı bir artış yaşandığını göstermektedir. Özellikle yerden 1,8 m yükseklikteki sıcaklığın 21 °C’ye ulaşmış olması, sistemin yalnızca zemini değil, ortam havasını da etkin biçimde ısıttığını ve yukarıya doğru güçlü bir ısı transferi gerçekleştirdiğini göstermektedir. Bu da Oxyplex sistemin yüksek tepki hızı ve güçlü ısıtma kapasitesi sunduğunu ortaya koymaktadır. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 16,5 °C, boru sıcaklığı 17 °C, 0,7 m yüksekliği sıcaklığı 17,5 °C ve 1,8 m yüksekliği sıcaklığı 18 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sistemde ısıtmanın devam ettiği görülmektedir; sıcaklık değerleri bir önceki saate göre artmış, özellikle iç ortam havasına (özellikle 1,8 m yüksekliğe) doğru etkili

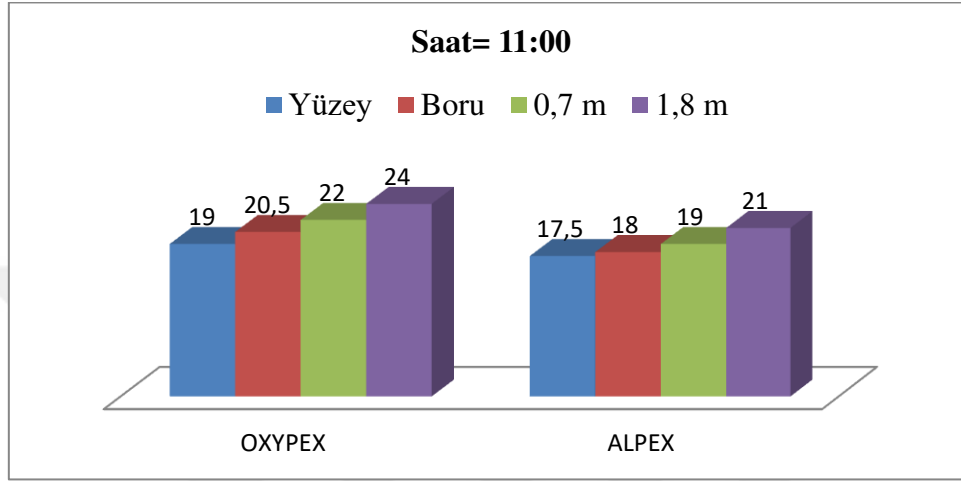
bir ısı iletimi başlamıştır. Ancak yüzey sıcaklığı hâlâ boru sıcaklığının gerisinde kalmakta ve ısı zeminden tam anlamıyla yansıtılamamaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, paralel döşeme sisteminde Oxypex borulu yapı hem zemin hem de iç ortam açısından daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşarak ısıtma performansında bariz bir üstünlük sağlamaktadır. Alpex borulu sistem ise zamanla ısınmakta ve ortam havasında homojenlik oluşturmaya başlamaktadır ancak hâlâ Oxypex sistemin gerisinde kalmaktadır. Bu fark, boru tipi ve malzeme yapısının ısı transfer verimliliğine doğrudan etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Grafik 6.19. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 10:30 Ölçümü

Grafik 6.20’de, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 11:00 itibarıyla alınan sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler; yüzey, boru, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerde gerçekleştirilmiştir. Oxypex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 19 °C, boru sıcaklığı 20,5 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 22 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 24 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, Oxypex sistemin ısıtma sürecinde yüksek verimle çalıştığını ve sıcaklığı yalnızca zemin düzeyinde değil, tüm iç hacimde etkin biçimde yaydığını göstermektedir. Özellikle 1,8 m’de ölçülen 24 °C değeri, sistemin ortam havasını kısa sürede konfor seviyesine ulaştırabildiğini ortaya koymaktadır. Yerden yukarıya doğru sıcaklık artışı da sistemin başarılı bir ısı iletim profiline sahip olduğunu doğrulamaktadır. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 17,5 °C, boru sıcaklığı 18 °C, 0,7 m yüksekliği sıcaklığı 19 °C ve 1,8 m yüksekliği sıcaklığı 21 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sistemde de ısıtma etkinliğinin arttığı görülmektedir. Sıcaklıklar düzenli bir artış eğilimindedir ve özellikle 1,8 m yükseklik noktasında 21 °C’ye ulaşılması, iç ortam havasında yeterli ısı birikimi sağlandığını göstermektedir. Ancak, yüzey sıcaklığının hâlâ düşük seyretmesi, zeminden ısı transferinde

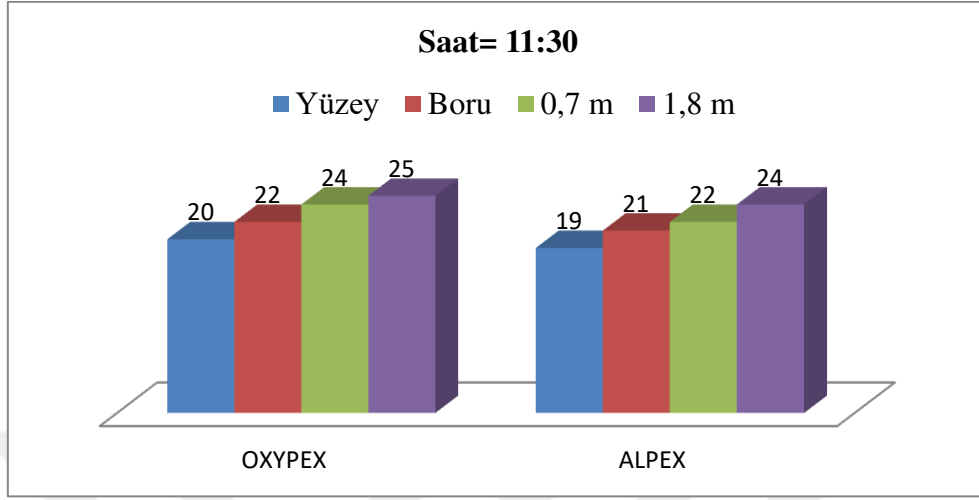
Oxypex'e kıyasla daha geç tepki verdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, saat 11:00 itibarıyla paralel döşeme sisteminde Oxypex borulu yapı, tüm ölçüm seviyelerinde daha yüksek sıcaklık değerleriyle daha hızlı ve dengeli bir ısı dağılımı sunmaktadır. Alpex borulu sistem ise zamana bağlı olarak iç ortamı ısıtmaya devam etmekte, ancak yüzey-ortam arasındaki ısı iletiminde Oxypex kadar etkili bir performans sergilememektedir. Bu veriler, sistem tepkilerinin ve boru yapılarının ısı verimliliği üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Grafik 6.20. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 11:00 Ölçümü

Grafik 6.21'de, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 11:30'daki sıcaklık ölçüm sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler, yüzey, boru, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerden alınmıştır. Oxypex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 20 °C, boru sıcaklığı 22 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 24 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 25 °C olarak ölçülmüştür. Bu değerler, sistemin iç ortamı etkin biçimde ısıttığını ve ısı iletiminde oldukça dengeli bir performans sergilediğini göstermektedir. Yüzey ve boru sıcaklıkları arasındaki fark, ısı transferinin sürekliliğini ortaya koyarken; yukarı yönlü sıcaklık artışı, ortam havasının da hızlı bir şekilde ısındığını ve ısıtmanın homojen biçimde yayıldığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 19 °C, boru sıcaklığı 21 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 22 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 24 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sistemi, önceki saatlerde olduğu gibi ısınmaya devam etmekte ve özellikle iç ortam yüksekliğinde hedef sıcaklık seviyelerine yaklaşmaktadır. Ancak yüzey sıcaklığı hâlâ boru sıcaklığının gerisinde kalmakta, bu da zeminden ısı iletiminin Oxypex'e kıyasla daha geç ve zayıf olduğunu göstermektedir. Genel değerlendirmede, saat 11:30 itibarıyla Oxypex sistemi, yüzeyden yukarıya kadar tüm seviyelerde daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşarak daha etkin ve hızlı bir ısıtma performansı ortaya koymuştur. Alpex sistemi ise ısıtma etkisini artırmakta olup, özellikle iç

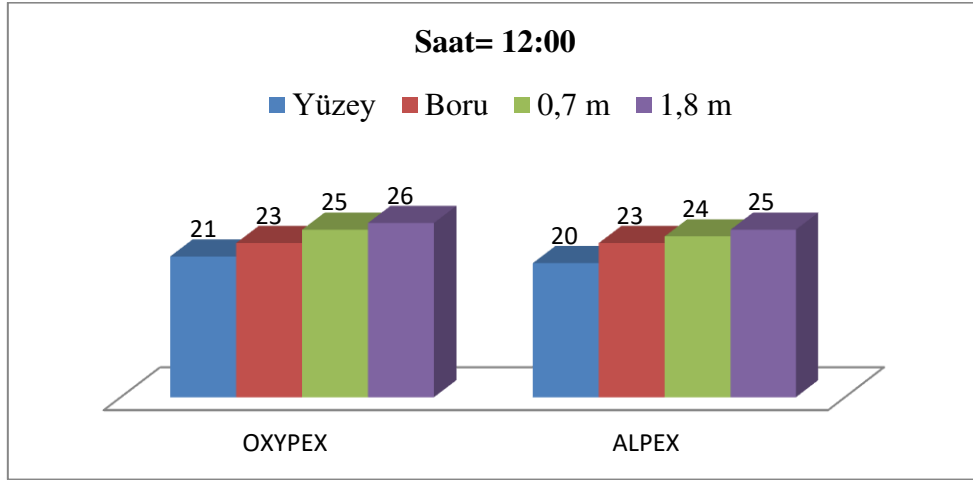
ortam havasında başarılı bir homojenlik sağlamaktadır. Ancak yüzey-boru arası ısı iletimi açısından hala Oxpex sisteminin gerisindedir. Bu durum, malzeme ve yapı farklılıklarının ısı transfer verimliliği üzerindeki etkisini bir kez daha göstermektedir.



Grafik 6.21. Paralel Döşenmiş Oxpex ve Alpex Boru Saat 11:30 Ölçümü

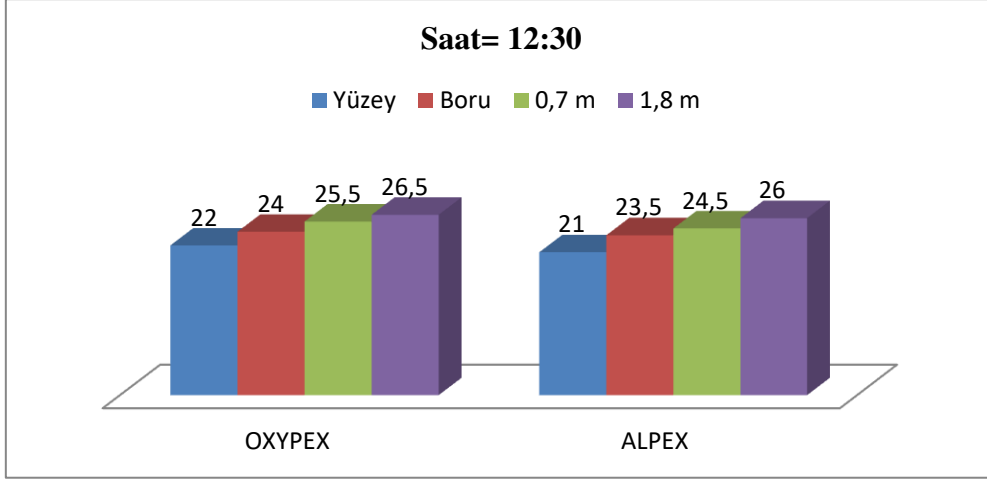
Grafik 6.22’de, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxpex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 12:00 itibarıyla yapılan sıcaklık ölçümleri sunulmuştur. Ölçümler; yüzey, boru, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerde gerçekleştirilmiştir. Oxpex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 21 °C, boru sıcaklığı 23 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 25 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 26 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, sistemin iç ortamı etkili biçimde ısıttığını ve sıcaklığın zeminden yukarıya doğru sürekli ve artan şekilde aktarıldığını göstermektedir. Özellikle 0,7 m ve 1,8 m seviyelerinde ulaşılan yüksek sıcaklık değerleri, Oxpex sistemin ortam havasını konfor seviyesine taşımada oldukça başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Yüzey ve boru sıcaklıkları arasındaki uyum da ısı transferinde sürekliliğin sağlandığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 20 °C, boru sıcaklığı 23 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 24 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 25 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sistemi de ısıtma sürecinde yüksek performansa ulaşmakta ve iç ortam havasında homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamaktadır. Ancak yüzey sıcaklığının boru sıcaklığının hâlâ altında kalması, zeminden ısı transferinin Oxpex sistemine göre daha geç gerçekleştiğini göstermektedir. Sonuç olarak, saat 12:00 itibarıyla her iki sistem de etkili bir ısıtma performansı sergilemektedir. Oxpex borulu sistem, özellikle zeminden yukarıya ısı iletiminde daha hızlı ve dengeli bir sonuç sunarken; Alpex borulu sistem ise iç ortam havasında homojenlik sağlamakta ancak zeminden ısı

geçişinde bir miktar gecikme yaşamaktadır. Bu durum, Oxypex'in yüksek ısı iletim kapasitesi ve hızlı tepki süresiyle sistem verimliliğinde bir adım önde olduğunu göstermektedir.



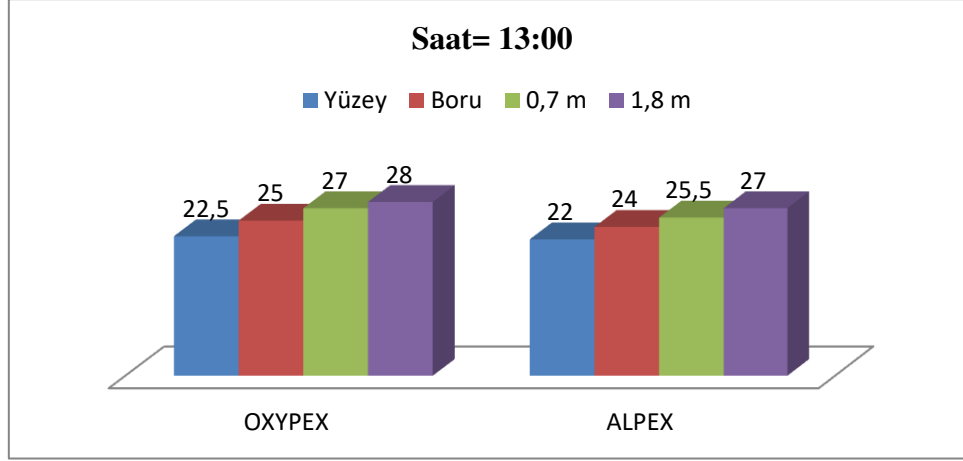
Grafik 6.22. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alplex Boru Saat 12:00 Ölçümü

Grafik 6.23'te, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxypex ve Alplex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 12:30 itibarıyla alınan sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler; yüzey, boru, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerden yapılmıştır. Oxypex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 22 °C, boru sıcaklığı 24 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 25,5 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 26,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, Oxypex sistemin iç ortamı oldukça etkili biçimde ısıttığını ve ısıyı zeminden yukarıya doğru başarıyla ilettiğini göstermektedir. Yükseklik arttıkça sıcaklığın artması, ortam havasının tamamen ısındığını ve sistemin konfor sıcaklığına ulaştığını ortaya koymaktadır. Yüzey ve boru sıcaklıkları arasındaki uyum da ısının sürekli ve dengeli biçimde iletilmesini doğrulamaktadır. Alplex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 21 °C, boru sıcaklığı 23,5 °C, 0,7 m yüksekliği sıcaklığı 24,5 °C ve 1,8 m yüksekliği sıcaklığı 26 °C olarak tespit edilmiştir. Alplex sistemin de iç ortamı etkin biçimde ısıttığı ve yükseklikle birlikte sıcaklığın homojen şekilde yayıldığı görülmektedir. Ancak yüzey sıcaklığının hâlâ boru sıcaklığının altında kalması, ısı transferinde Oxypex kadar hızlı ve doğrudan bir iletim gerçekleşmediğini göstermektedir. Sonuç olarak, saat 12:30 itibarıyla her iki sistem de iç ortamda konfor seviyelerine yaklaşmakta ya da ulaşmakta olup, Oxypex borulu sistem, sıcaklık dağılımındaki süreklilik, zemin-yükseklik arasındaki dengeli artış ve yüksek performansı ile bir adım önde görünmektedir. Alplex borulu sistem ise yüzey sıcaklığı dışında ölçüm noktalarında başarılı sonuçlar vermekte, ancak ısı transfer hızında Oxypex'e göre daha yavaş tepki vermektedir. Bu fark, özellikle sistemin ilk çalıştırma saatlerinde Oxypex'in daha verimli bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.



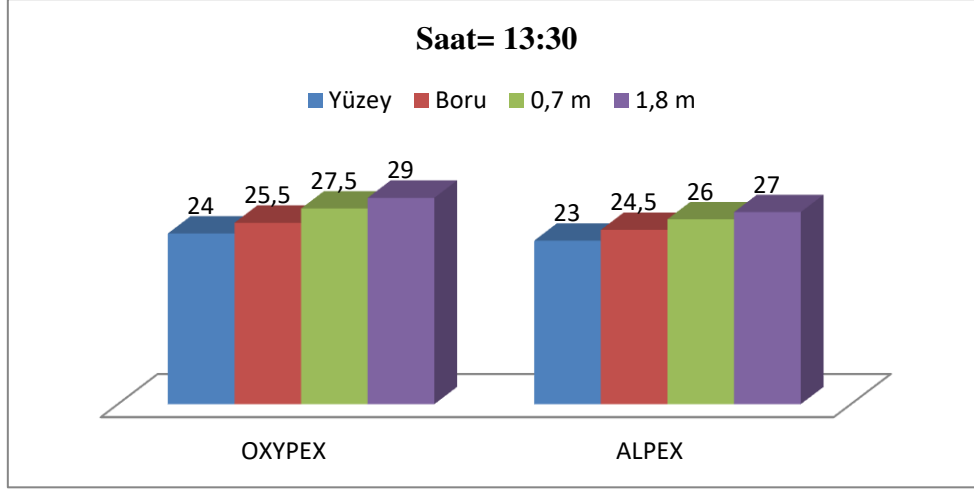
Grafik 6.23. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alplex Boru Saat 12:30 Ölçümü

Grafik 6.24'te, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alplex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 13:00 itibarıyla yapılan sıcaklık ölçümleri sunulmaktadır. Ölçümler, strafor yüzeyi (zemin yüzeyi), boru, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerden gerçekleştirilmiştir. Oxyplex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 22,5 °C, boru sıcaklığı 25 °C, 0,7 m yüksekliğindeki sıcaklık 27 °C ve 1,8 m yüksekliğindeki sıcaklık 28 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, sistemin iç hacme doğru ısı transferini oldukça başarılı biçimde gerçekleştirdiğini ve zeminden yukarıya doğru sıcaklığın kademeli şekilde arttığını göstermektedir. Özellikle 1,8 m'de ulaşılan 28 °C değeri, ortamda konfor sıcaklığının sağlandığını ve ısıtmanın homojen şekilde yayıldığını kanıtlamaktadır. Alplex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 22 °C, boru sıcaklığı 24 °C, 0,7 m yüksekliği sıcaklığı 25,5 °C ve 1,8 m yüksekliği sıcaklığı 27 °C olarak belirlenmiştir. Alplex sistemi de iç ortam havasını etkin biçimde ısıtmakta ve yukarı yönlü sıcaklık dağılımını başarıyla gerçekleştirmektedir. Ancak yüzey sıcaklığı Oxyplex'e göre 0,5 °C daha düşük kalmakta, bu da ısıнын zemine geçişinde hala Oxyplex kadar hızlı bir iletim olmadığını göstermektedir. Sonuç olarak, her iki sistem de saat 13:00 itibarıyla iç ortamda hedeflenen konfor seviyelerine yaklaşmakta ya da ulaşmış durumdadır. Oxyplex borulu sistem, yüzeyden iç ortama kadar olan tüm noktalarda daha yüksek sıcaklık değerleri sunarak daha etkin ve hızlı bir ısıtma performansı sergilemektedir. Alplex borulu sistem ise performansını artırmakla birlikte, zeminden ısı geçişinde hâlâ Oxyplex'in bir adım gerisindedir. Bu fark, malzeme yapısı ve taşınım özellikleri açısından Oxyplex borularının ısı transfer verimliliğinin daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.



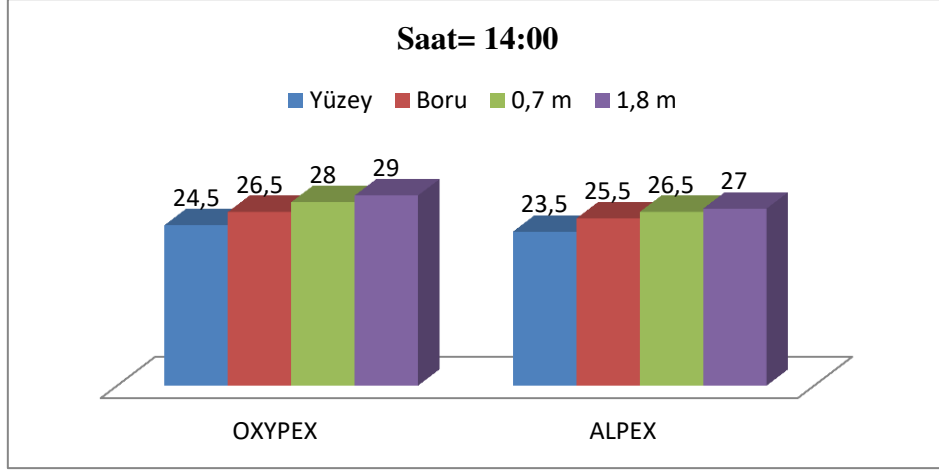
Grafik 6.24. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alplex Boru Saat 13:00 Ölçümü

Grafik 6.25'te, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alplex borulu yerden ısıtma sistemlerinin saat 13:30 itibarıyla alınan sıcaklık ölçümleri sunulmaktadır. Ölçümler; zemin yüzeyi, boru üzeri, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yükseklikten gerçekleştirilmiştir. Oxyplex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 24 °C, boru sıcaklığı 25,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 27,5 °C, 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık ise 29 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Oxyplex sistemin iç ortamda oldukça başarılı bir ısı yayılımı sağladığını göstermektedir. Yerden yukarıya doğru sıcaklık düzenli biçimde artmakta, bu da sistemin hem zemini hem de ortam havasını etkin bir şekilde ısıttığını kanıtlamaktadır. Özellikle 1,8 m'deki 29 °C'lik sıcaklık, kullanıcı konfor sınırlarının üst düzeyde karşılandığını göstermektedir. Alplex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 23 °C, boru sıcaklığı 24,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 26 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 27 °C olarak ölçülmüştür. Alplex sistemin de benzer bir ısıl eğilim sergilediği görülmektedir. İç ortam sıcaklıkları yükselmiş ve özellikle üst seviyelerde ısı birikimi sağlanmıştır. Ancak yüzey ve boru sıcaklıkları, Oxyplex sistemle kıyaslandığında daha düşük kalmaktadır. Bu fark, zeminden ortama ısı geçişinin Alplex boruda daha yavaş ilerlediğini ortaya koymaktadır. Genel olarak saat 13:30 itibarıyla her iki sistem de iç ortamda hedeflenen sıcaklık seviyelerine ulaşmıştır. Oxyplex borulu sistem, özellikle yukarıya doğru iletimde daha yüksek sıcaklıklara ulaştığı için daha hızlı ve etkili bir ısıtma performansı göstermektedir. Alplex borulu sistem ise konfor düzeyine yaklaşmakta olup, iç hacimdeki sıcaklığı başarılı şekilde yükseltmekle birlikte zeminden ısı iletiminde Oxyplex'in gerisinde kalmaktadır. Bu durum, Oxyplex boruların daha yüksek taşınım katsayısı ve daha iyi ısı transfer kabiliyetine sahip olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.



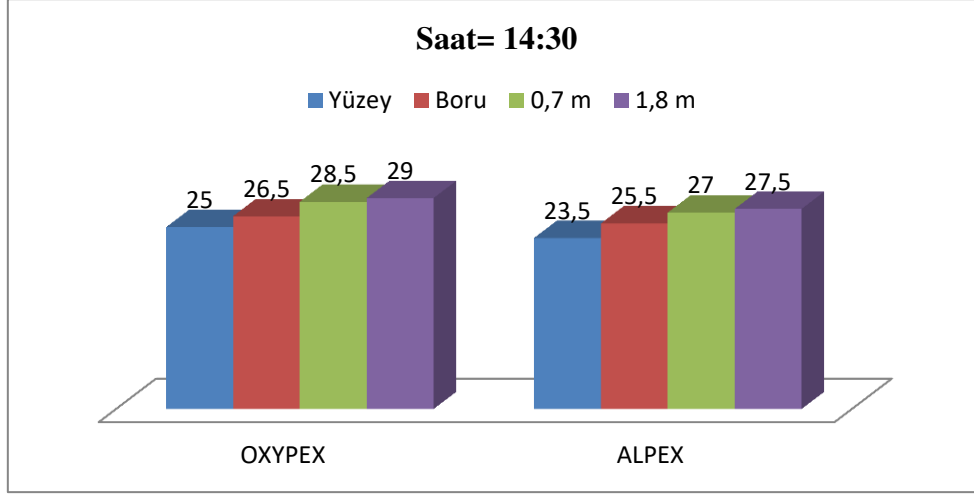
Grafik 6.25. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alpex Boru Saat 13:30 Ölçümü

Grafik 6.26’da, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinin saat 14:00 itibarıyla elde edilen sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler; zemin yüzeyi, boru hattı, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yükseklikten alınmıştır. Oxyplex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 24,5 °C, boru sıcaklığı 26,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 28 °C, 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık ise 29 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, sistemin hem zeminde hem de iç ortamın tüm dikey düzlemlerinde etkin biçimde çalıştığını ve sıcaklığı dengeli şekilde ilettiğini göstermektedir. Sıcaklık değerleri, kullanıcı konfor sıcaklık aralığına ulaşmış ve sistemin kararlı hale geldiğini ortaya koymuştur. Özellikle 1,8 m’de 29 °C seviyesine ulaşılması, ortam havasının tamamının ısındığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 23,5 °C, boru sıcaklığı 25,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 26,5 °C, 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık ise 27 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sistemi de benzer bir eğilim göstermekte, ortam sıcaklığı istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Ancak sıcaklık değerleri Oxyplex sistemine kıyasla her noktada yaklaşık 1–2 °C daha düşüktür. Bu fark, ısı transferinin Alpex borularda daha yavaş ilerlediğini ve sistemin biraz daha geç kararlı hale geldiğini göstermektedir. Sonuç olarak, saat 14:00 itibarıyla her iki sistem de ortamı hedeflenen sıcaklığa taşımış durumdadır. Oxyplex borulu sistem, zeminden tavana kadar daha yüksek ve dengeli sıcaklık değerleri sunarak ısıtma performansında üstünlük sağlamaktadır. Alpex borulu sistem ise sıcaklık dağılımını başarıyla gerçekleştirse de, iletim verimliliği ve yüzey tepkisi açısından Oxyplex’in bir adım gerisindedir. Bu fark, özellikle kullanıcıya daha hızlı konfor sağlanması gereken durumlarda Oxyplex’in tercih edilmesini desteklemektedir.



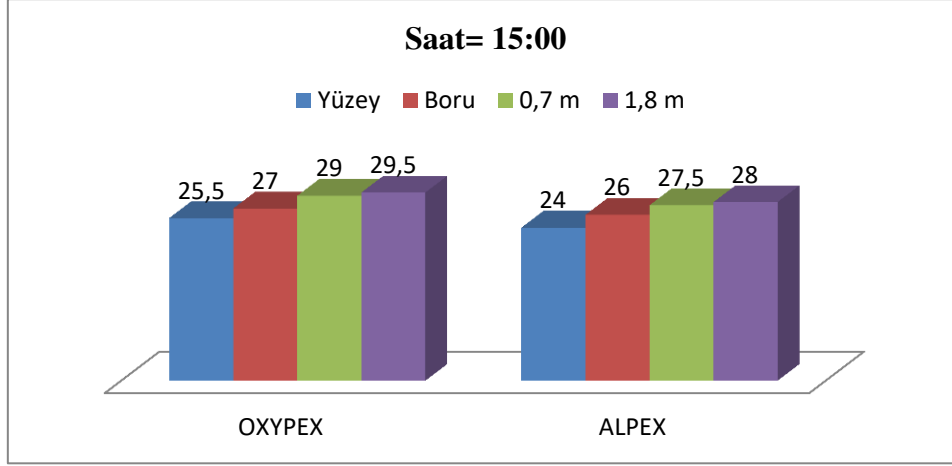
Grafik 6.26. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alpex Boru Saat 14:00 Ölçümü

Grafik 6.27’de, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinin saat 14:30 itibarıyla elde edilen sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ölçümler; yüzey, boru üzeri, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerden yapılmıştır. Oxyplex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 25 °C, boru sıcaklığı 26,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 28,5 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 29 °C olarak ölçülmüştür. Bu değerler, sistemin sıcaklığı zeminden yukarıya doğru verimli ve kararlı bir şekilde ilettiğini açıkça göstermektedir. Özellikle 0,7 m ve 1,8 m seviyelerinde ulaşılan sıcaklıklar, ortam konforunun üst düzeyde sağlandığını, ısıtmanın iç hacimde homojen bir şekilde dağıldığını ve sistemin maksimum verime yaklaştığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 23,5 °C, boru sıcaklığı 25,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 27 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 27,5 °C olarak kaydedilmiştir. Alpex sistemi de benzer şekilde iç ortam sıcaklığını yükseltmiş ve ısı konforuna yaklaşmıştır. Ancak Oxyplex sistemine göre tüm ölçüm noktalarında sıcaklık değerleri yaklaşık 1–1,5 °C daha düşüktür. Özellikle yüzey sıcaklığının düşük kalması, zeminden ısı iletiminde hâlâ Oxyplex’e kıyasla daha az etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, saat 14:30 itibarıyla her iki sistem de ortam havasında hedeflenen sıcaklığa yaklaşmış, ancak Oxyplex borulu sistem, zemin ve iç hacimde daha yüksek sıcaklık değerleriyle daha güçlü bir ısıtma performansı sergilemektedir. Alpex borulu sistem ise iç ortam havasında başarılı sonuçlar sunsa da, ısıtmanın zeminden aktarımında Oxyplex’e göre daha yavaş tepki vermektedir. Bu durum, sistemlerin tepki süresi, ısı transfer kapasitesi ve enerji verimliliği açısından Oxyplex’in daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.



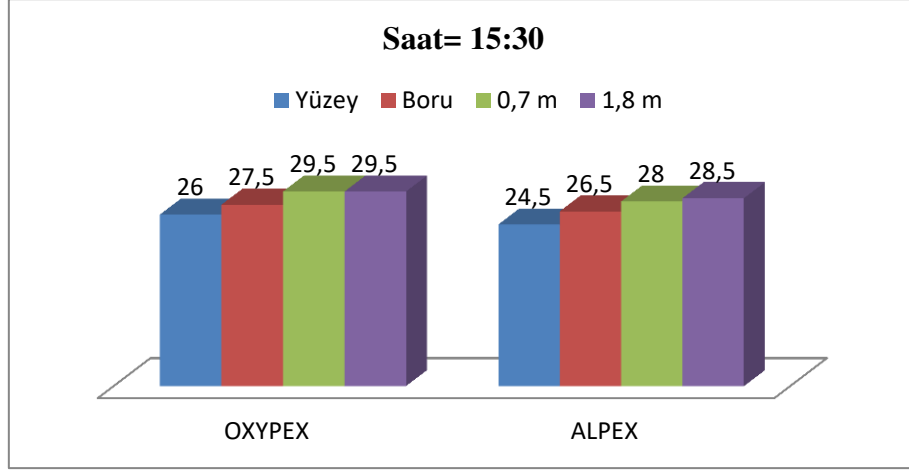
Grafik 6.27. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alpex Boru Saat 14:30 Ölçümü

Grafik 6.28’de, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinin saat 15:00 itibarıyla alınan sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler; zemin yüzeyi, boru hattı, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerden gerçekleştirilmiştir. Oxyplex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 25,5 °C, boru sıcaklığı 27 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 29 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 29,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, Oxyplex sistemin ısıyı hem zemine hem de iç ortama başarılı bir şekilde ilettiğini ve ısıtma performansının neredeyse maksimum seviyeye ulaştığını göstermektedir. Özellikle iç ortamda ulaşılan yüksek sıcaklıklar, sistemin konfor koşullarını sağladığını ve sıcaklığın homojen dağıldığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 24 °C, boru sıcaklığı 26 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 27,5 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 28 °C olarak kaydedilmiştir. Alpex sistemi de ortam sıcaklığını etkili biçimde artırmış ve konfor aralığına ulaşmıştır. Ancak sıcaklık değerleri Oxyplex’e kıyasla hâlâ 1–1,5 °C daha düşüktür. Özellikle yüzey sıcaklığının düşük kalması, Alpex sistemin zeminden iç ortama ısı iletiminde daha yavaş ve düşük verimli çalıştığını göstermektedir. Sonuç olarak, saat 15:00 itibarıyla her iki sistem de ortamı hedeflenen sıcaklığa taşımıştır. Oxyplex borulu sistem, hem daha hızlı hem de daha homojen ısı dağılımı ile daha yüksek bir ısıtma performansı sergilemektedir. Alpex borulu sistem ise iç ortamda yeterli sıcaklığı sağlamakla birlikte, ısı iletim hızı ve yüzey sıcaklığı açısından Oxyplex’in bir adım gerisindedir. Bu durum, özellikle kısa sürede yüksek verimle çalışan sistemlerin tercih edilmesi gereken uygulamalarda Oxyplex’in daha uygun bir çözüm olduğunu göstermektedir.



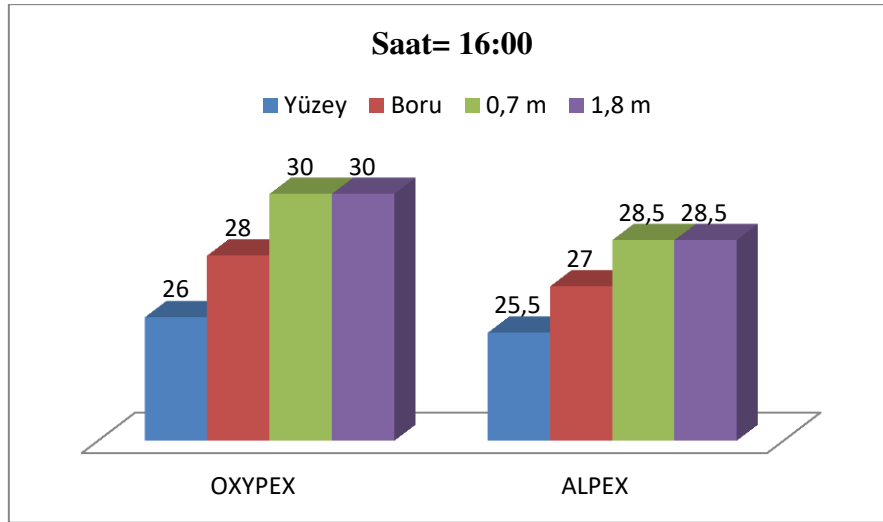
Grafik 6.28. Paralel Döşenmiş Oxyplex ve Alpex Boru Saat 15:00 Ölçümü

Grafik 6.29’da, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 15:30 itibarıyla alınan sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler; zemin yüzeyi, boru, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerden yapılmıştır. Oxyplex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 26 °C, boru sıcaklığı 27,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 29,5 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 29,5 °C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, sistemin iç hacimdeki sıcaklığı sabit ve konforlu düzeyde tutabildiğini, ayrıca ısıyı zeminden yukarıya doğru verimli ve homojen biçimde iletmeye devam ettiğini göstermektedir. Yüzey ile ortam sıcaklıkları arasındaki fark, ısıнын ortam havasına geçişinin etkinliğini yansıtmaktadır. Bu seviyede Oxyplex sistemin kararlı ve yüksek verimle çalıştığı görülmektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 24,5 °C, boru sıcaklığı 26,5 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 28 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 28,5 °C olarak belirlenmiştir. Alpex sistemi de iç ortam havasında yeterli sıcaklık düzeyine ulaşmıştır. Özellikle 0,7 m ve 1,8 m seviyelerinde elde edilen değerler, ortamın konfor koşullarına taşındığını göstermektedir. Ancak yüzey sıcaklığı, Oxyplex’e göre 1,5 °C daha düşük olup, zeminden ısı iletiminde hâlâ nispeten daha zayıf kaldığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, saat 15:30 itibarıyla her iki sistem de iç ortamda hedeflenen sıcaklık düzeyine ulaşmış görünmektedir. Ancak Oxyplex borulu sistem, hem yüzey hem de ortam sıcaklıkları bakımından daha yüksek değerlere ve daha homojen bir dağılıma sahiptir. Alpex borulu sistem ise benzer performansa yaklaşmakla birlikte, ısıyı zeminden yukarıya iletme konusunda Oxyplex sistemine kıyasla daha sınırlı bir verim sunmaktadır. Bu fark, Oxyplex’in hem tepki süresi hem de maksimum sıcaklık düzeyleri açısından daha üstün olduğunu göstermektedir.



Grafik 6.29. Paralel Döşenmiş Oxypex ve Alpex Boru Saat 15:30 Ölçümü

Grafik 6.30'da, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxypex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 16:00 itibarıyla elde edilen sıcaklık ölçümleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ölçümler; zemin yüzeyi, boru hattı, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerden alınmıştır. Oxypex borulu sistemde, yüzey sıcaklığı 26 °C, boru sıcaklığı 28 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 30 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık yine 30 °C olarak ölçülmüştür. Bu değerler, sistemin ısı iletiminde oldukça yüksek bir verim sağladığını göstermektedir. Özellikle 0,7 m ve 1,8 m seviyelerinde ulaşılan 30 °C sıcaklık, iç ortamın tamamen konfor aralığına eriştiğini ve sıcaklık dağılımının homojen şekilde sürdüğünü ortaya koymaktadır. Ayrıca yüzey ve boru sıcaklıkları arasındaki artış, ısınn borudan zemine ve ardından ortam havasına etkili biçimde aktarıldığını göstermektedir. Alpex borulu sistemde ise yüzey sıcaklığı 25,5 °C, boru sıcaklığı 27 °C, 0,7 metre yüksekliğindeki sıcaklık 28,5 °C ve 1,8 metre yüksekliğindeki sıcaklık 28,5 °C olarak ölçülmüştür. Alpex sistemi de yüksek performanslı bir ısıtma sağlamış, iç ortam havası düzeyinde sıcaklık değerlerini istenen düzeye ulaştırmıştır. Ancak hem yüzey hem de boru sıcaklıkları Oxypex sistemine kıyasla daha düşük seviyelerde kalmakta, bu da zeminden ısı geçişinin Oxypex'e göre daha düşük verimlilikle gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak, saat 16:00 itibarıyla her iki sistem de ortamı konforlu bir sıcaklık düzeyine taşımış durumdadır. Oxypex borulu sistem, tüm ölçüm noktalarında daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşarak daha hızlı, daha güçlü ve daha dengeli bir ısıtma performansı sergilemiştir. Alpex borulu sistem ise iç ortam havasında etkili olmakla birlikte, yüzey ve boru seviyesinde Oxypex'in gerisinde kalmaktadır. Bu durum, Oxypex sistemin malzeme yapısı ve ısı iletim kabiliyeti bakımından Alpex'e göre daha avantajlı olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.



Grafik 6.30. Paralel Döşenmiş Oxpex ve Alpex Boru Saat 16:00 Ölçümü

Paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen Oxpex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerine ait saat 09:00 ile 16:00 arasındaki sıcaklık ölçümleri değerlendirildiğinde, iki sistem arasında belirgin farklar ortaya çıkmaktadır. Oxpex borulu sistem, sabah saat 09:00'da 16,5 °C düzeyinde dengeli bir başlangıç yapmış ve gün içerisinde düzenli bir sıcaklık artışı göstererek saat 16:00'da 30 °C seviyesine ulaşmıştır. Ölçüm noktalarının tümünde, özellikle boru ve yüzey sıcaklıkları arasındaki fark oldukça düşüktür. Bu durum, ısıнын borudan zemine ve zeminden iç ortama hızlı ve etkili şekilde aktarıldığını göstermektedir. Ayrıca, yerden 0,7 metre ve 1,8 metre yüksekliklerdeki sıcaklık değerleri sabah saatlerinden itibaren istikrarlı biçimde artış göstermiş, gün sonunda 30 °C ile yüksek bir konfor düzeyine ulaşılmıştır. Bu veriler, Oxpex sistemin hem tepki süresi hem de ısı iletim verimliliği açısından başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Alpex borulu sistem ise 09:00'da daha düşük bir başlangıç sıcaklığına sahiptir. Yüzey sıcaklığı bu saatte 14,5 °C iken, boru sıcaklığı 16 °C olarak ölçülmüştür. Gün içerisinde sıcaklık artışı gerçekleşmiş olsa da, bu artış Oxpex'e göre daha yavaş gerçekleşmiş ve sistemin ısıya tepkisi daha geç başlamıştır. Saat 16:00 itibarıyla Alpex sistemde 0,7 m ve 1,8 m yüksekliklerdeki sıcaklık 28,5 °C'ye ulaşmıştır. Bu değer, ortam konforu açısından yeterli olsa da, yüzey sıcaklığının Oxpex'e göre daha düşük seyretmesi, zeminden iç ortama ısı transferinin daha az verimli olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Oxpex borulu sistem günün erken saatlerinden itibaren daha hızlı tepki vermiş, daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşmış ve zeminden tavana kadar olan sıcaklık dağılımını daha homojen şekilde sağlamıştır. Alpex sistemi ise iç ortam havasını ısıtmakta başarılı olsa da, yüzey sıcaklığındaki yavaş artış ve borudan zemine ısı

geçişindeki gecikme, sistemin verimliliğini sınırlamaktadır. Sonuç olarak, Oxypex borulu yerden ısıtma sistemi, daha hızlı, daha verimli ve daha dengeli bir ısıtma performansı sergileyerek Alpex sistemine göre üstünlük sağlamaktadır.

6.2.1. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX ve ALPEX Boruda Zemin Isı Hesaplanması

Paralel döşeli olan Oksijen bariyerli ve alüminyum folyo içeren boruda zemindeki ısı transferi ΔQ hesaplanmaktadır.

OXYPEX boru için;

Oxypex boruda Q olarak adlandırılan boru içerisindeki suyun sıcaklığından sağlanmakta olan ısı 68,15 W'dır.

Q_1 test odasının ısıtma kapasitesini bulmak için denklem (5.3) kullanılmalıdır. Q_1 hesaplanırken yüzeyden transfer edilen ısı ve borular tarafından sağlanan ısı için gerekli olan hesaplamalar (5.4) denklemi ve (5.12) denklemi yardımı ile hesaplanır.

Q_{1f} denklem (5.4) üzerinden hesaplama sonucunda; Oxypex boru için $Q_{1f} = 0,019$ W.

Q_{1p} denklem (5.12) üzerinden hesaplama sonucunda; Oxypex boru için $Q_{1p} = 3,045$ W.

Böylelikle test odası ısıtma kapasitesi paralel döşeli Oxypex boruda 3,064 W.

Q_2 zemin yapısından ortaya çıkan ısı kaybı hesaplanmasında ise denklem (5.14) kullanılmaktadır. U olarak ifade edilmiş olan yalıtımlı zemin genel ısı transfer katsayısı denklem (5.15) ile hesaplanır.

Oxypex borularda U değeri test odası için $0,46 \text{ Wm}^2\text{K}^{-1}$. Q_2 değeri Oxypex boru için böylelikle 3.22 W.

Oxypex boruda toplam ısı transfer değeri ise $\Delta Q = 61,86$ W'dır.

ALPEX boru için;

ALPEX boruda Q olarak adlandırılan boru içerisindeki suyun sıcaklığından sağlanmakta olan ısı 34,07 W'dır.

Q_1 test odasının ısıtma kapasitesini bulmak için denklem (5.3) kullanılmalıdır. Q_1 hesaplanırken yüzeyden transfer edilen ısı ve borular tarafından sağlanan ısı için gerekli olan hesaplamalar (5.4) denklemi ve (5.12) denklemi yardımı ile hesaplanır.

Q_{1f} denklem (5.4) üzerinden hesaplama sonucunda; Alpex boru için $Q_{1f} = 0,015$ W.

Q_{1p} denklem (5.12) üzerinden hesaplamalar sonucunda; Alpex boru için $Q_{1p} = 7,252$ W.

Böylelikle test odası ısıtma kapasitesi paralel döşeli Alpex boruda $Q_1 = 7,267$ W'dır

Q_2 zemin yapısından ortaya çıkan ısı kaybı hesaplanmasında ise denklem (5.14) kullanılmaktadır.

U olarak ifade edilmiş olan yalıtımlı zemin genel ısı transfer katsayısı denklem (5.15) ile hesaplanır.

Alpex boruda U değeri test odası için $0,46 \text{ Wm}^2\text{K}^{-1}$. Q_2 değeri Alpex boru ise $6,44$ W olarak hesaplanır.

Alpex boruda toplam ısı transfer değeri ise $\Delta Q = 20,363$ W'dır.

6.2.2. Paralel Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Boruda Zemin Hesabına Göre Belirsizlik Isı Analizi Hesabı

Sistem içerisinde düzgün şekilde olan dağılmakta olan akış hızölçer hata sınırı denklem (5.18) yardımı ile hesaplanır.

Oxypex borular için;

$u'(Q) = \%0,3934$ için $u'(Q_1) = \%0,0177$, $u'(Q_2) = \%0,0186$, $u'(\Delta Q) = \%0,3571$ 'dir. Bağıl belirsizlik değeri denklem (5.19) ile hesaplandığında $u'_E(\Delta Q) = 71,42$ 'dir.

Test odası içerisinde Oxypex boru döşeli zemindeki ısı depolaması için bulunan bağıl belirsizlik $\%0,7142$ 'dir.

Alpex borular için;

$u'(Q) = \%0,1967$ için $u'(Q_1) = \%0,419$, $u'(Q_2) = \%0,1115$, $u'(\Delta Q) = \%0,432$ 'dir. Bağıl belirsizlik değeri denklem (5.19) ile hesaplandığında $u'_E(\Delta Q) = 8,64$ 'tür.

Test odası içerisinde Alpex boru döşeli zemindeki ısı depolaması için bulunan bağıl belirsizlik $\%8,64$ 'tür.

6.2.3. Paralel Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Boruda Su Giriş Ve Çıkış Sıcaklık Hesaplanması

Tablo 6.3'te, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen OXYPEX borulu yerden ısıtma sisteminde, sistemin çalıştırılmaya başlandığı saat olan 09:00'dan 16:00'ya kadar geçen süre boyunca suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ile ortalama su sıcaklıkları ve dış ortam sıcaklıkları

verilmiştir. Bu veriler, sistemin dinamik davranışını ve ısı transfer verimliliğini analiz etmek açısından son derece değerlidir.

Saat 09:00'da dış ortam sıcaklığı 13 °C iken, sistemdeki suyun giriş sıcaklığı 17 °C, çıkış sıcaklığı 16 °C ve ortalama sıcaklığı 16,57 °C olarak ölçülmüştür. Bu noktada sistem henüz yeni devreye alınmıştır ve su sıcaklıkları dış ortamdan bağımsız şekilde düşük seviyelerdedir. Isıtmanın başlarında, suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark sınırlı olmakla birlikte, bu fark zamanla sistemin etkinleşmesiyle birlikte belirgin şekilde artış göstermiştir.

Saat 10:30'a gelindiğinde, suyun giriş sıcaklığı 23 °C'ye, çıkış sıcaklığı 19 °C'ye ve ortalama sıcaklık 20,90 °C'ye ulaşmıştır. Bu durum, ısıtma sisteminin aktif çalıştığını ve borularda dolaşan suyun sıcaklığının arttığını göstermektedir. Ayrıca, sistemin ortamla ısı alışverişi başladıkça çıkış sıcaklığı girişe oranla daha düşük kalmış; bu da suyun bir kısmının enerjisini zemine aktararak ısı transfer görevini yerine getirdiğini ortaya koymuştur.

Özellikle saat 12:00'den itibaren sistemin doyumluğa yaklaştığı görülmektedir. Bu saatten sonra suyun giriş sıcaklığı 29 °C'ye, çıkış sıcaklığı 26 °C'ye, ortalama sıcaklık ise 27,63 °C'ye ulaşmıştır. Isı transferi daha verimli hale gelmiş, giriş-çıkış farkları artmış, ancak sistemin genel sıcaklık kapasitesi de yükselmiştir.

Saat 13:30 ve sonrası dikkat çekicidir. Bu zaman aralığında giriş sıcaklığı 35 °C'den 43 °C'ye kadar yükselmiş, çıkış sıcaklığı da paralel olarak 33 °C'den 41 °C'ye çıkmıştır. Ortalama sıcaklık 14:30'da 39,5 °C, 15:30'da 42,87 °C ve 16:00 itibarıyla 42,5 °C olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler, sistemin maksimum çalışma rejimine ulaştığını, suyun iç ortamda yeterli bir süre boyunca dolaştığını ve boru içindeki sıcak suyun, iç mekânı verimli biçimde ısıtabildiğini göstermektedir.

Dış ortam sıcaklığının gün boyunca 13 °C ile 14,6 °C arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler oldukça stabil kalmış ve iç ortam sıcaklıklarını etkileyecek düzeyde bir dalgalanma göstermemiştir. Bu nedenle sistemin performansındaki artış doğrudan yerden ısıtma sisteminin ve OXYPEX boruların çalışma verimliliğine bağlıdır.

Genel olarak değerlendirildiğinde:

Su sıcaklıkları gün boyunca düzenli ve kararlı bir artış göstermiştir.

Giriş-çıkış sıcaklık farkı, ısı transferi açısından sistemin aktif çalıştığını göstermektedir.

Ortalama su sıcaklıkları zamanla yükselmiş, bu da ortam sıcaklığının da artarak konfor şartlarını sağladığını göstermektedir.

OXYPEX borulu sistemin ısı transfer etkinliği yüksektir ve sistem kısa sürede verimli ısıtma sağlayacak düzeye ulaşmıştır.

Bu tablo, sistemin yalnızca iç ortamı ısıtmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji verimliliğini koruyarak sıcaklık düzeylerini kontrollü bir şekilde artırabildiğini göstermektedir. OXYPEX boruların bu bağlamda hem tepki süresi hem de maksimum sıcaklık taşıma kapasitesi açısından güvenilir ve başarılı bir performans sergilediği sonucuna varılabilir.

	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ortalama Su Sıcaklığı (°C)
09:00	13	17	16	16,57
09:30	13,2	18	17	17,54
10:00	13,4	20	17,5	18,72
10:30	13,5	23	19	20,90
11:00	13,7	26	21	23,31
11:30	13,9	27	24	25,44
12:00	14	29	26	27,63
12:30	14,1	31	28	29,89
13:00	14,3	33	31	32,48
13:30	14,5	35	33	34,5
14:00	14,6	37	35	37,12
14:30	14,5	39	37	39,5
15:00	14,5	40	39	39,5
15:30	14,3	42	40	42,87
16:00	14	43	41	42,5

Tablo 6.3. Paralel Döşenmiş OXYPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması

Tablo 6.4'te, paralel döşeme yöntemiyle yerleştirilen ALPEX borulu yerden ısıtma sisteminin sabah saat 09:00'dan itibaren yedi saat boyunca çalıştırılması sonucu elde edilen su giriş ve çıkış sıcaklıkları ile ortalama su sıcaklıkları yer almaktadır. Ayrıca her bir zaman diliminde ortam sıcaklığı da ölçülmüştür. Bu veriler, sistemin zamana bağlı olarak nasıl tepki verdiğini ve ısıtma performansını değerlendirmek açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Günün ilk saatinde, yani saat 09:00'da ortam sıcaklığı 13 °C iken suyun giriş sıcaklığı 17 °C, çıkış sıcaklığı 15 °C ve ortalama sıcaklık 15,89 °C olarak ölçülmüştür. Bu durum, sistemin yeni devreye girdiğini ve henüz zemine ya da iç ortama önemli bir ısı transferi gerçekleştirmediğini göstermektedir. Su sıcaklıkları sabah saatlerinden itibaren düzenli olarak artmış, saat 10:30'a gelindiğinde giriş sıcaklığı 24 °C, çıkış sıcaklığı 21 °C ve ortalama sıcaklık 22,5 °C'ye ulaşmıştır. Bu artış, sistemdeki suyun iç ortamla daha yoğun bir ısı alışverişine başladığını göstermektedir. Saat 11:00 itibarıyla su giriş sıcaklığı 27 °C'ye yükselmiş ve çıkış sıcaklığı 24 °C olmuştur. Ortalama sıcaklık bu saatte 25,5 °C'ye ulaşarak sistemin iç ortamı ısıtmada etkili olduğunu ortaya koymuştur. Öğle saatlerine gelindiğinde, örneğin saat 12:00'de, suyun giriş sıcaklığı 31 °C, çıkış sıcaklığı 29 °C ve ortalama sıcaklık 29,88 °C olarak ölçülmüştür. Bu veriler, sistemin ısı kararlılığına yaklaşmaya başladığını ve ortamda istenen konfor sıcaklıklarının sağlanmaya başlandığını göstermektedir. Günün ilerleyen saatlerinde sistemin ısıtma kapasitesi daha da artmıştır. Saat 13:00'te ortalama sıcaklık 35 °C, saat 14:30'da ise 41,5 °C'ye kadar çıkmıştır. En yüksek değerler ise saat 15:30 ve 16:00 arasında gözlemlenmiştir. Bu saatlerde sırasıyla ortalama sıcaklıklar 45,4 °C ve 48,2 °C'ye ulaşmıştır. Bu seviyeler, sistemin artık maksimum performansa eriştiğini ve iç ortamda tam anlamıyla ısı konfor sağladığını göstermektedir. Bu süre zarfında ortam sıcaklığı da sabit kalmış ya da yalnızca 1-2 °C'lik sınırlı bir artış göstermiştir; bu da dış ortamın etkisinin sınırlı olduğunu ve sıcaklık artışının sistemin iç dinamiklerinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, ALPEX borulu sistem zamanla su sıcaklığını düzenli biçimde artırmış ve zeminden iç ortama başarılı bir ısı transferi gerçekleştirmiştir. Giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın gün boyunca korunmuş olması, suyun sürekli olarak ortama ısı aktardığını göstermektedir. Sistem, her ne kadar gün sonunda istenilen sıcaklıklara ulaşmış olsa da, sabah saatlerinde ısı transferinin yavaş ilerlediği ve ısı konfora daha geç ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Bu durum, sistemin istikrarlı ancak görece daha yavaş tepkili bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Yani ALPEX borulu sistem, kararlı bir ısıtma performansı sunsa da, hızlı tepki ve erken saatlerde etkin ısıtma gerektiren uygulamalar için daha yüksek iletim kapasitesine sahip sistemlere kıyasla ikinci planda kalmaktadır.

	Ortam Sıcaklığı (°C)	Su Giriş Sıcaklığı (°C)	Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	Ortalama Su Sıcaklığı (°C)
09:00	13	17	15	15,89
09:30	13,2	19	17	17,96
10:00	13,4	21	19	19,95
10:30	13,5	24	21	22,5
11:00	14	27	24	25,5
11:30	14,2	29	26	27,08
12:00	14,5	31	29	29,88
12:30	14,7	34	30	31,1
13:00	15	37	32	35
13:30	15,1	39	35	38,63
14:00	15,3	41	37	38,83
14:30	15,3	43	40	41,5
15:00	15,2	44	41	42,5
15:30	15,1	46	43	45,4
16:00	14,9	49	45	48,2

Tablo 6.4. Paralel Döşenmiş ALPEX Boruda Su Giriş-Çıkış ve Ortalaması

6.2.4. Paralel Döşemeye Göre Oxypex ve Alpex Döşeli Boru İçerisinden Geçmekte Olan Isı Taşınım Hesabı

Boru içerisinden geçen suyun taşınım katsayısı h_i olarak ifade edilir ve denklem (5.23)'teki denklem ile hesaplanır.

Yerden ısıtma sisteminde kullanılan Oxypex paralel döşeli boruda 16,20 mm çapında kullanılan boruda taşınım katsayısı $6,69 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2\text{K}$. Alpex paralel döşeli boruda 16,20 mm çapında kullanılan boruda taşınım katsayısı $4,10 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2\text{K}$.

6.2.5. Paralel Döşemeye Göre Oxypex Ve Alpex Döşeli Borularda Yüzeyler Arası Isı Transfer Hesabı

Paralel döşeli boruda yüzeyler arası sıcaklık hesabı denklem (5.24)'ten bulunabilmektedir. Q_{zy} bulunabilmesi için borunun en iç çapından dış çapına kadar olan katmanların çaplarının toplamı bilinmelidir bunun için ise denklem (5.25) kullanılabilir.

OXYPEX boru için;

Borunun ısıl direnci denklem (5.26) ile hesaplanır.

$$R_{iç} = \frac{1}{(9,69 \times 10^{-4} \times (14,67))} = 70,34$$

Boru et kalınlığındaki ısıl direnci R_1 (5.27) ile hesaplanır.

$$R_1 = \frac{\ln \frac{0,008}{0,00199}}{2\pi \times 60 \times 54} = 6,83 \times 10^{-5}$$

Borunun yalıtım içeren ısıl direnci R_2 (5.28) ile hesaplanır.

$$R_2 = \frac{\ln \frac{0,00216}{0,08}}{2\pi \times 60 \times (0,045)} = 2,22 \times 10^{-3}$$

Boru dışındaki ısıl direnç ise denklem (5.29) ile hesaplanır.

$$R_{dış} = \frac{1}{\frac{1}{2} \Delta t \left(\frac{1}{3} \right) \times 2\pi \times d \times l} = 1,555$$

R_{top} değeri böylelikle denklem (5.25) den bulunabilir.

$$R_{top} = (70,34) + (6,83 \times 10^{-5}) + (2,22 \times 10^{-3}) + (1,555) = 71,89$$

Yüzeyler arasındaki ısı transferi Q_{zy} denklem (5.24)'ten hesaplanabilir.

$$Q_{zy} = \frac{\left(\frac{289,96 - 290}{2} \right) - (286)}{71,89} = 0,034 \text{ W}$$

Ara katmanların sıcaklık hesapları için;

T_i denklem (5.30) ile hesaplanır.

$$T_i = 290 - (0,034 - 70,34) = 287,6 \text{ K}$$

T_1 denklem (5.31) ile hesaplanır.

$$T_1 = 287,6 - (0,034 - 6,83 \times 10^{-5}) = 279,5 \text{ K}$$

T_{CD} denklem (5.32) ile hesaplanır.

$$T_{CD} = 287,5 - (0,034 - 2,22 \times 10^{-3}) = 287,4 \text{ K}$$

ALPEX boru için;

Borunun ısıl direnci denklem (5.26) ile hesaplanır.

$$R_{iç} = \frac{1}{(4,10 \times 10^{-4})(13,20)} = 184,7$$

Boru et kalınlığındaki ısıl direnci R_1 (5.27) ile hesaplanır.

$$R_1 = \frac{\ln \frac{0,010}{0,00120}}{2\pi \times 60 \times 54} = 1,041 \times 10^{-4}$$

Borunun yalıtım içeren ısıl direnci R_2 (5.28) ile hesaplanır.

$$R_2 = \frac{\ln \frac{0,0150}{0,010}}{2\pi \times 60 \times 0,039} = 0,0275$$

Boru dışındaki ısıl direnç ise denklem (5.29) ile hesaplanır.

$$R_{dış} = \frac{1}{\frac{1}{2} \Delta t \left(\frac{1}{3} \right) \times 2\pi \pi d x l} = 2,43$$

R_{top} değeri böylelikle denklem (5.25) den bulunabilir.

$$R_{top} = (184,7) + (1,041 \times 10^{-4}) + (0,0275) + (2,43) = 187,15$$

Yüzeyler arasındaki ısı transferi Q_{zy} denklem (5.24)'ten hesaplanabilir.

$$Q_{zy} = \frac{\left(\frac{287+287}{2} \right) - (286)}{187,15} = 5,34 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Ara katmanların sıcaklık hesapları için;

T_i denklem (5.30) ile hesaplanır.

$$T_i = 287 - ((5,34 \times 10^{-3}) \times (184,7)) = 286 \text{ K}$$

T_1 denklem (5.31) ile hesaplanır.

$$T_1 = 286 - ((5,34 \times 10^{-3}) \times (1,041 \times 10^{-4})) = 285,9 \text{ K}$$

T_{CD} denklem (5.32) ile hesaplanır.

$$T_{CD} = 285,9 - ((5,34 \times 10^{-3}) \times 0,0275) = 285,8 \text{ K}$$

6.2.6. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Döşeli Borularda Isı Kaybı Hesabı

Sistemde kullanılan borularda ısı kaybı hesabı (5.33), (5.34) ve (5.35)'te verilen denklemler ile hesaplanmaktadır.

OXYPEX paralel döşeli boruya göre toplam ısı kaybı 0,193 W'dır. ALPEX paralel döşeli boruya göre toplam ısı kaybı 0,192 W'dır.

6.2.7. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Isı Kaybından Dolayı Oluşan Maliyet Hesabı

Sistemde kullanılan borunun şartları göz önüne alındığında kullanılan yakıtın doğal gaz olması ile (5.36)'da ki denkleme göre Oxypex boruda ısı kaybı maliyeti 4,68 TL'dir. Alpex boruda ısı kaybı maliyeti 4,65 TL'dir.

6.2.8. Paralel Döşemeye Göre OXYPEX Ve ALPEX Borularda Maliyet Hesabı

Oxypex boruda kullanılmakta olan boru uzunluğu denklem (5.37)'de ele alındığında boru uzunluğu 60 metredir. Boru ağırlığı (5.38) denkleminde çap değeri 16,20 cm ve et kalınlığı 2,05 cm olan boru kullanılarak toplam ağırlığı 75,41 kg/m'dir. Boru maliyet hesabı (5.39) denkleminde hesaplandığında kullanılan boru maliyeti 2527,3 TL'dir.

Alpex boruda kullanılmakta olan boru uzunluğu denklem (5.37)'de ele alındığında boru uzunluğu 60 metredir. Boru ağırlığı (5.38) denkleminde çap değeri 16,20 cm ve et kalınlığı 2,10 cm olan boru kullanılarak toplam ağırlığı 76,9 kg/m'dir. Boru maliyet hesabı (5.39) denkleminde hesaplandığında kullanılan boru maliyeti 2575,5 TL'dir.

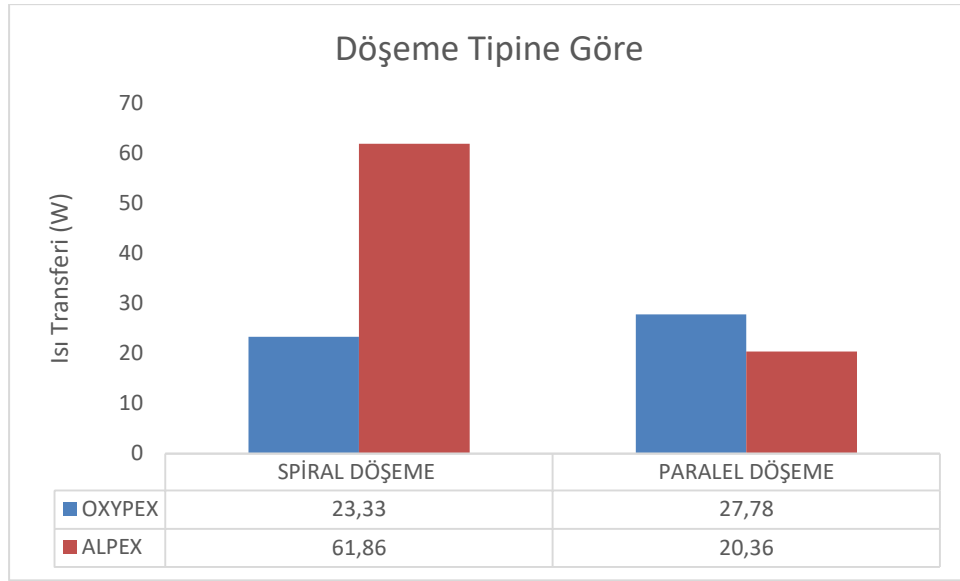
7. SPİRAL VE PARALEL DÖŞEME YÖNTEMİ KARŞILAŞTIRILMASI

Yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan boru tipi kadar, bu boruların zemine nasıl döşendiği de sistemin ısı transfer performansını doğrudan etkilemektedir. Döşeme yöntemi, borunun zemine temas alanını ve suyun dolaşım düzenini belirlediğinden, aynı boru tipinde bile farklı döşeme şekilleriyle elde edilen ısı verimi değişebilmektedir. Bu nedenle, hem boru türü hem de döşeme tipi dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler, sistem tasarımında doğru tercih yapılmasını sağlar. Grafik 7.1’de, Oxypex ve Alpex boruların spiral ve paralel döşeme yöntemleriyle kullanılması durumunda ortaya çıkan toplam ısı transferi değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Grafikte yer alan değerlere göre, Alpex borulu sistemde spiral döşeme yöntemiyle en yüksek ısı transferi elde edilmiştir. Alpex boru spiral döşemede 61,86 W gibi yüksek bir ısı transferi sağlarken, paralel döşemede bu değer 20,36 W’a düşmektedir. Bu durum, Alpex borunun spiral formda zemine daha sık aralıklarla döşenmesi sayesinde ısıyı zemine daha etkin şekilde ilettiğini göstermektedir. Spiral döşeme ile hem temas yüzeyi artmakta hem de suyun dolaşımı daha homojen sağlanmaktadır. Dolayısıyla Alpex boru, spiral döşeme tercih edildiğinde daha verimli bir sistem performansı sunmaktadır.

Buna karşılık Oxypex borulu sistemde, spiral döşemeye göre paralel döşeme yöntemiyle daha fazla ısı transferi sağlanmıştır. Spiral döşemede ısı transferi 23,33 W ile sınırlı kalırken, paralel döşemede bu değer 27,78 W’a yükselmiştir. Bu sonuç, Oxypex borunun yapısal özellikleriyle daha uzun doğrusal hatlarda (paralel döşeme gibi) ısıyı daha etkili iletebildiğini düşündürmektedir. Ayrıca borunun ısıl iletkenliği yüksek olduğundan, daha az dönüş ve daha düzenli akışın sağlandığı paralel döşemede ısı kaybı azaltılmış ve transfer daha verimli hale gelmiştir.

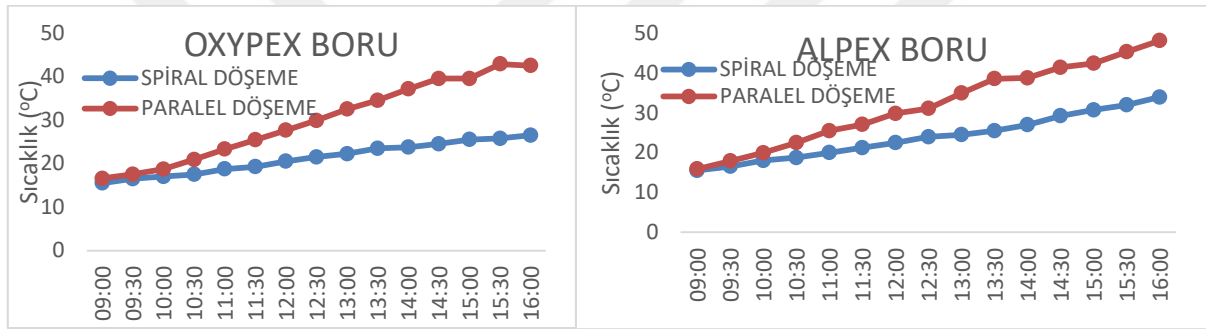
Sonuç olarak, döşeme şekli ile boru tipi arasında karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. Alpex boru spiral döşemede, Oxypex boru ise paralel döşemede daha yüksek ısı transferi sağlamaktadır. Bu durum, sistem tasarımında yalnızca boru malzemesinin değil, aynı zamanda bu boruların döşenme biçiminin de dikkate alınması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Enerji verimliliği ve ısıl konfor hedefleniyorsa, boru türü ile döşeme yöntemi birlikte optimize edilmelidir.



Grafik 7.1. Yerden Isıtma Boruları ve Döşeme Yöntemine Göre Isı transferi

Grafik 7.2’de, Oxyplex ve Alpex borulu yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan spiral ve paralel döşeme yöntemlerine göre sistem içerisinden geçen suyun ortalama sıcaklığı, zamanın fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Bu grafikler, yalnızca boru cinsi ya da döşeme biçiminin değil, aynı zamanda sisteme giren ve çıkan suyun sıcaklık değerlerinin ısı performansına olan etkisini de ortaya koymaktadır. Oxyplex borulu sistem incelendiğinde, paralel döşeme yöntemiyle daha yüksek ortalama su sıcaklıklarına ulaşıldığı görülmektedir. Bu yöntemde, boruların giriş ve çıkış noktaları birbirine daha yakın yerleştirildiğinden, döngü süresi kısa olmakta ve suyun daha az ısı kaybına uğraması sağlanmaktadır. Bu durum, özellikle sabah saatlerinden itibaren ortalama sıcaklık değerlerinin spiral döşemeye göre daha yüksek seyretmesiyle kendini göstermektedir. Spiral döşemede ise borunun daha uzun bir güzergâhta dolaşması ve giriş-çıkış arasındaki mesafenin fazla olması, suyun daha fazla ısı kaybetmesine ve ortalama sıcaklığın daha düşük kalmasına yol açmaktadır. Ancak her iki yöntemde de su giriş sıcaklığındaki artış, çıkış sıcaklığında da benzer bir artışa sebep olmakta; bu da sistemin ısı transferinde kararlı bir performans sergilediğini göstermektedir. Alpex borulu sistemde de benzer bir eğilim gözlenmektedir. Paralel döşeme yöntemiyle çalışan sistemde, ortalama sıcaklık artışı gün boyunca daha belirgin olmuştur. Su giriş sıcaklığı zamana bağlı olarak yükseldikçe, çıkış sıcaklığı da paralel şekilde artmış ve bunun sonucunda ortalama sıcaklık değerleri özellikle öğleden sonra saatlerinde daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. Spiral döşeme uygulamasında ise benzer şekilde sıcaklıklar artmakla birlikte, paralel döşeme kadar yüksek değerlere ulaşamamıştır. Bu fark, döşeme biçiminin ve boru akış mesafesinin sistem verimliliği üzerindeki etkisini desteklemektedir. Genel olarak, sisteme

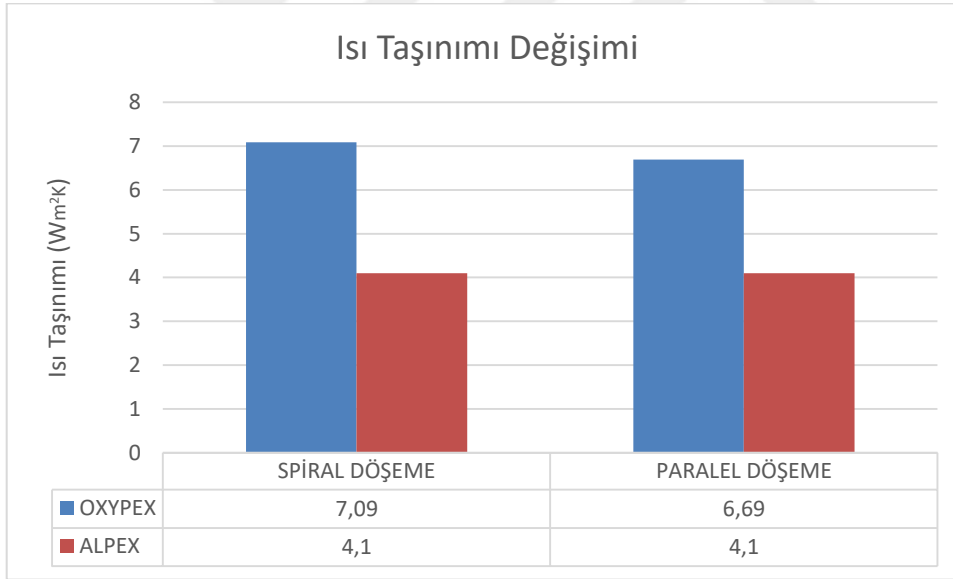
giren suyun sıcaklığındaki artışın, çıkış suyu sıcaklığını ve dolayısıyla ortalama sıcaklık değerlerini doğrudan etkilediği açıkça görülmektedir. Ortalama su sıcaklığı, doğrudan giriş ve çıkış değerlerinin aritmetik ortalaması olduğundan, giriş sıcaklığındaki yükselme sistemin genel ısıtma kapasitesini artırmaktadır. Paralel döşeme uygulamalarında giriş ve çıkışın birbirine yakın olması bu ısıtmayı daha verimli kılarken, spiral döşemede uzun boru hattı nedeniyle daha fazla ısı kaybı yaşanabilmektedir. Sonuç olarak, Grafik 7.2’de gösterilen ortalama sıcaklık değişimleri hem boru cinsine hem de döşeme yöntemine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Ancak bu farklılık, sistemin genel işleyişinde bir olumsuzluk oluşturmamaktadır. Her iki boru tipi ve döşeme yöntemi de zamanla sıcaklık artışı sağlayarak iç ortam ısınıyı yükseltmekte ve konfor koşullarını desteklemektedir. Sadece döşeme geometrisi ve boru yerleşimi, ısı transfer verimliliğinde belirleyici rol oynamaktadır.



Grafik 7.2. Ortalama Su Sıcaklığının Boru Cinsine ve Döşeme Yöntemine Göre Zamana Bağlı Değişimi

Sistemde kullanılan boruların ısı taşımın katsayıları karşılaştırıldığında (Grafik 7.3) Alpex borunun ısı taşınımı döşeme şekline bağlı olarak bir değişiklik göstermemiştir. Oksijen bariyerli boruda ise paralel döşeme yöntemi spiral döşeme yöntemine göre $4 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2\text{K}$ daha azdır. Grafik 7.3’te, Oxypex ve Alpex boruların spiral ve paralel döşeme yöntemlerine göre gösterdiği ısı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$) değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu grafik, her iki boru türünün zemine ne ölçüde ısı aktarabildiğini ve döşeme biçiminin bu aktarıma olan etkisini değerlendirmek amacıyla oluşturulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere, Oxypex borular, her iki döşeme yönteminde de Alpex borulara kıyasla daha yüksek ısı taşınım katsayısına sahiptir. Spiral döşeme uygulamasında Oxypex borunun ısı taşınım değeri $7,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, paralel döşemede ise $6,69 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak ölçülmüştür. Bu durum, Oxypex borunun yapısal özellikleri itibarıyla yüksek ısı iletkenliğine sahip olduğunu ve döşeme şekline bağlı olarak verimliliğini büyük ölçüde koruyabildiğini göstermektedir. Spiral döşeme durumunda taşınım katsayısının biraz daha yüksek olması, borunun zemine daha sık

aralıklarla yerleştirilmesinden kaynaklanmakta; bu da yüzeyle temas alanını artırarak ısı geçişini kolaylaştırmaktadır. Alpex borulara ait ısı taşınım katsayısı ise hem spiral hem de paralel döşeme yöntemlerinde sabit kalmakta ve $4,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ seviyesindedir. Bu sabitlik, Alpex borunun yapısal özellikleri gereği ısı taşınımının döşeme biçiminden daha az etkilendiğini, yani döşeme yönteminden bağımsız olarak sınırlı bir ısı iletim kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Alpex boruların yerden ısıtma uygulamalarında tercih edileceği durumlarda, sistem tasarımında daha yüksek sıcaklıklarla çalışılması ya da ısı kaybının azaltılması için ilave yalıtım önlemleri alınması gerekebilir. Sonuç olarak, Grafik 7.3'te sunulan veriler, Oxypex boruların her iki döşeme yönteminde de daha yüksek ve verimli bir ısı taşınımı sağladığını, Alpex boruların ise döşeme biçiminden bağımsız olarak daha düşük taşınım kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, yerden ısıtma sistemlerinin tasarımında boru seçiminde yalnızca malzeme değil, döşeme biçiminin de dikkate alınması gerektiğini açıkça göstermektedir. Oxypex borular döşeme planına daha duyarlı ve daha esnek performans sunarken, Alpex borular sabit performans değerleri ile sınırlı kalmaktadır.



Grafik 7.3. Yerden Isıtma Boruları ve Döşeme Yöntemine Göre Isı Taşınımı

Grafik 7.4'te, Oxypex ve Alpex boruların spiral ve paralel döşeme yöntemleriyle kullanıldığı yerden ısıtma sistemlerinde, boru yüzeyi ile zemin yüzeyi arasında gerçekleşen ısı transferi miktarları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu grafik, özellikle boruların katman yapısı, iletkenliği ve döşeme geometrisinin ısı geçişine olan etkisini değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Verilere göre, Alpex borular her iki döşeme yönteminde de Oxypex borulara kıyasla çok daha yüksek yüzeyler arası ısı transferi gerçekleştirmiştir. Spiral döşeme

uygulamasında Alpex borunun yüzeyler arası ısı transferi 8,9 W gibi oldukça yüksek bir değere ulaşırken, paralel döşemede bu değer 5,34 W olarak gerçekleşmiştir. Bu fark, spiral döşeme ile daha sık aralıklarla döşenen borunun zemine daha homojen ısı yaymasıyla açıklanabilir. Aynı zamanda Alpex borunun yapı itibarıyla katmanlar arası ısı geçişine daha uygun özellik göstermesi, bu transferi artıran bir diğer etkidir. Buna karşın, Oxypex boruların yüzeyler arası ısı transferi son derece düşük kalmıştır. Spiral döşemede bu değer yalnızca 0,02 W, paralel döşemede ise 0,034 W olarak hesaplanmıştır. Bu oldukça düşük değerler, Oxypex borunun yapısal olarak ısıyı borudan dış yüzeye iletme kapasitesinin sınırlı olduğunu veya bu boruda kullanılan yalıtım katmanlarının ısı geçişini büyük ölçüde engellediğini göstermektedir. Aynı zamanda, bu düşük değerler, ısıyı doğrudan borudan zemin yüzeyine aktarmak yerine boru içindeki suyun sıcaklığının korunmasına yönelik bir performansın ön planda olduğunu da düşündürmektedir.

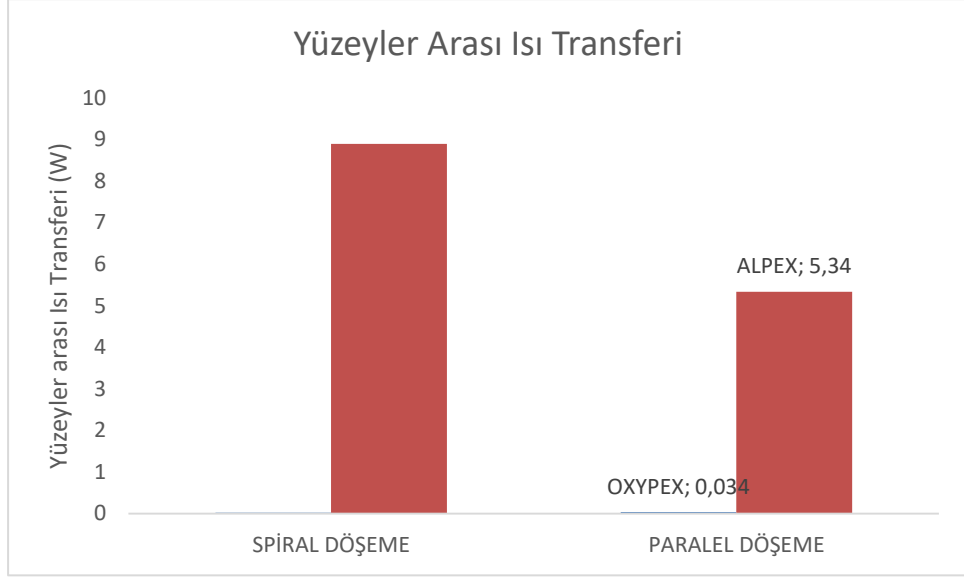
Bu bağlamda değerlendirildiğinde:

Alpex borular, yüksek yüzeyler arası ısı transferi ile iç ortama daha doğrudan ve etkin ısı iletimi sağlar.

Oxypex borular, düşük yüzeyler arası ısı transferi nedeniyle daha çok enerji korunumuna yönelik çalışır ve ısıнын yayılımı daha sınırlıdır.

Spiral döşeme, her iki boru tipi için de yüzey temas alanını artırdığından, ısı transferine katkı sağlar ancak bu katkı, borunun kendi iletkenlik kapasitesiyle sınırlı kalır.

Sonuç olarak, yüzeyler arası ısı transferi açısından Alpex borular, özellikle spiral döşeme yöntemiyle kullanıldığında daha verimli bir ısıtma performansı sunmaktadır. Oxypex borular ise bu açıdan sınırlı kalmakta ve sistemin genel ısıtma başarısını boru içerisindeki suyun sıcaklığı üzerinden sağlamaktadır. Bu durum, boru tercihiinde yalnızca su sıcaklığı değil, yüzeyler arası geçişin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.



Grafik 7.4. Yerden Isıtma Boruları ve Döşeme Yöntemine Göre Yüzeyler Arası Isı Transferi

Grafik 7.5'te, yerden ısıtma sisteminde kullanılan farklı boru türleri ve döşeme yöntemlerine göre borunun iç, orta ve cidar katmanlarında oluşan sıcaklık değişimleri Kelvin (K) cinsinden karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Grafik; Oxypex Spiral Döşeme (O.S.D), Oxypex Paralel Döşeme (O.P.D), Alpex Spiral Döşeme (A.S.D) ve Alpex Paralel Döşeme (A.P.D) olmak üzere dört farklı uygulama koşuluna göre hazırlanmıştır. Bu gösterim, boru içinde ve çevresinde meydana gelen ısıl gradyentlerin, malzeme ve döşeme biçimine göre nasıl farklılık gösterdiğini değerlendirmek açısından önemlidir.

O.S.D (Oxypex Spiral Döşeme) uygulamasında, iç katman sıcaklığı 288,9 K ile en yüksek değere ulaşmış, orta katman sıcaklığı 288,8 K ve cidar sıcaklığı ise 288 K olarak ölçülmüştür. Katmanlar arası sıcaklık farkı oldukça düşüktür. Bu durum, Oxypex borunun homojen ısı dağılımı sağladığını ve ısıyı boru boyunca dengeli biçimde ilettiğini göstermektedir.

O.P.D (Oxypex Paralel Döşeme) yönteminde ise iç katman sıcaklığı 287,6 K iken, orta katman sıcaklığı 279,5 K gibi oldukça düşük bir seviyeye gerilemiştir. Cidar sıcaklığı ise 287,4 K'dir. Orta katman sıcaklığındaki ani düşüş, bu uygulamada ısı transferinde bir zayıflık veya malzeme içi direnç oluştuğunu göstermektedir. Bu fark, boru yapısında veya döşeme şeklinden kaynaklı olarak ısının iletiminde kesinti veya zayıf iletkenlik bölgelerinin oluşabileceğini düşündürmektedir.

A.S.D (Alpex Spiral Döşeme) uygulamasında iç, orta ve cidar katman sıcaklıkları sırasıyla 286,5 K, 286,4 K ve 286,3 K seviyelerindedir. Bu değerler, katmanlar arasında oldukça küçük farklar olduğunu ve ısı iletim sürecinin Alpex boruda dengeli şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

A.P.D (Alpex Paralel Döşeme) yönteminde ise iç katman sıcaklığı 286 K, orta katman 285,9 K ve cidar sıcaklığı 285,8 K olarak gözlemlenmiştir. Spiral döşemeye kıyasla burada da benzer şekilde sıcaklıklar birbirine yakın seyretmiş, ancak genel olarak tüm sıcaklıklar daha düşük kalmıştır. Bu durum, Alpex borunun spiral döşemede daha etkili ısı iletimi sağladığını düşündürmektedir.

Sonuç olarak:

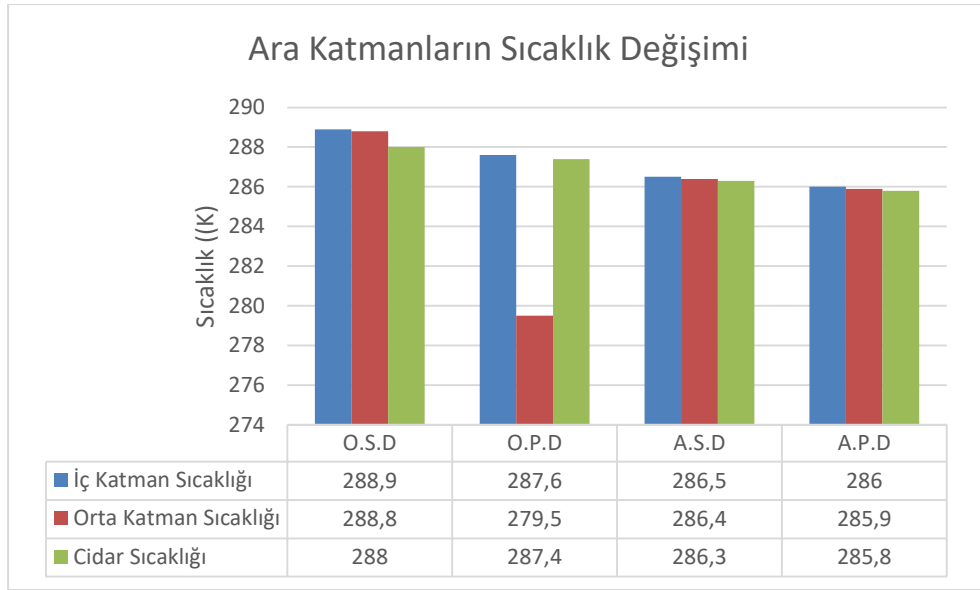
Oxypex Spiral Döşeme, en yüksek iç katman sıcaklığına ulaşmış ve sistem genelinde homojen ısı dağılımı göstermiştir.

Oxypex Paralel Döşeme, özellikle orta katman sıcaklığındaki ani düşüş nedeniyle ısı geçişinde zayıf performans sergilemiştir.

Alpex borular, her iki döşeme yönteminde de istikrarlı bir ısı geçişi sağlasa da genel sıcaklık değerleri Oxypex'e kıyasla daha düşüktür.

Spiral döşeme, her iki boru tipi için de iç ve dış katmanlar arasında daha dengeli sıcaklık geçişi sağlayarak yüzeyler arası ısı transferinde olumlu etkiler göstermektedir.

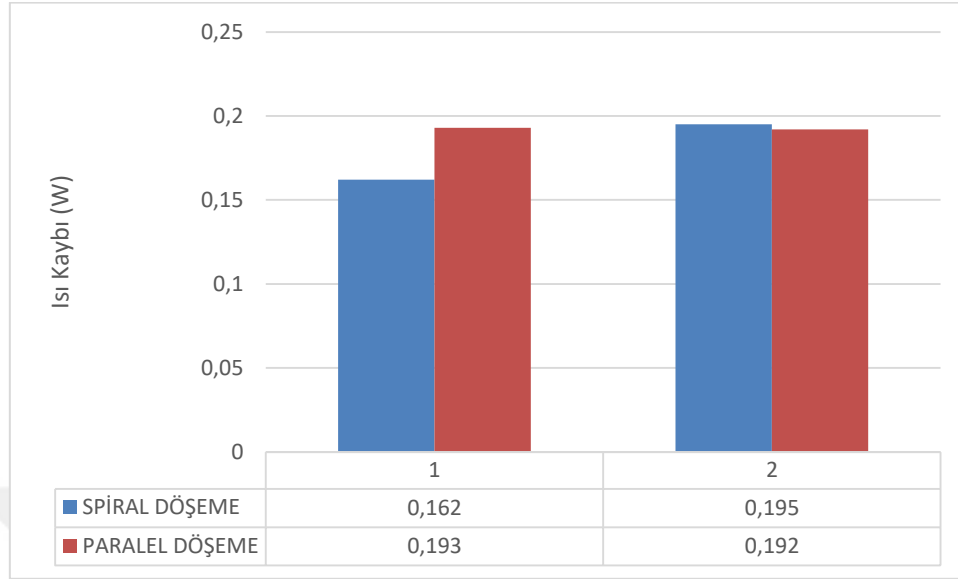
Bu grafik, boru içindeki ısı iletim sürecinin katmanlar arası dengesine göre değerlendirilmesini mümkün kılmakta ve sistem tasarımında dikkat edilmesi gereken mühendislik parametrelerine ışık tutmaktadır.



Grafik 7.5. Ara Katmanların Sıcaklık Hesapları

Grafik 7.6’da, Oxypex ve Alpex borular için spiral ve paralel döşeme yöntemlerine göre oluşan ısı kaybı değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafik üzerinde “1” numarasıyla temsil edilen Oxypex boru ve “2” numarasıyla temsil edilen Alpex boru için her iki döşeme yöntemi dikkate alınarak yapılan değerlendirme, sistemlerin enerji kaybı açısından performanslarını ortaya koymaktadır. Oxypex borulu sistemde spiral döşeme yöntemi kullanıldığında oluşan ısı kaybı 0,162 W olarak belirlenmiştir. Aynı boru paralel döşeme yöntemiyle uygulandığında ise ısı kaybı 0,193 W’a yükselmektedir. Bu fark, spiral döşeme yöntemiyle boruların zemine daha sık aralıklarla yerleştirilmesi sayesinde ısının daha etkin ve kontrollü yayılmasına olanak tanıdığını, böylece ısı kaybının azaltıldığını göstermektedir. Paralel döşeme yönteminde borular daha uzun hatlar boyunca döşendiği için suyun daha fazla mesafe kat etmesi ve bu sırada daha fazla ısı kaybına uğraması olasıdır. Alpex borulu sistemde ise spiral döşeme yöntemiyle elde edilen ısı kaybı 0,195 W, paralel döşemede ise 0,192 W olarak ölçülmüştür. Her iki döşeme yöntemi arasında ısı kaybı açısından neredeyse fark bulunmamakta, bu da Alpex borunun ısı iletimi bakımından döşeme yöntemine daha az duyarlı olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle, Alpex borunun ısı kaybı değerleri döşeme tipi değişse dahi yaklaşık sabit kalmaktadır. Sonuç olarak, Oxypex boruda döşeme yönteminin ısı kaybı üzerinde belirgin bir etkisi varken, Alpex boruda bu etki oldukça sınırlıdır. Mutlak değerler açısından değerlendirildiğinde ise, Alpex borunun her iki döşeme yönteminde de Oxypex boruya kıyasla daha yüksek ısı kaybı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, sistemin enerji verimliliği açısından Oxypex boru ile spiral döşeme yönteminin daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Enerji kayıplarını azaltmak ve verimliliği

artırmak amacıyla sistem tasarımında boru tipi ile birlikte döşeme şeklinin de dikkatle seçilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.



Grafik 7.6. Döşeme Yöntemine Göre Oxypex ve Alpex Borularda Isı Kaybı

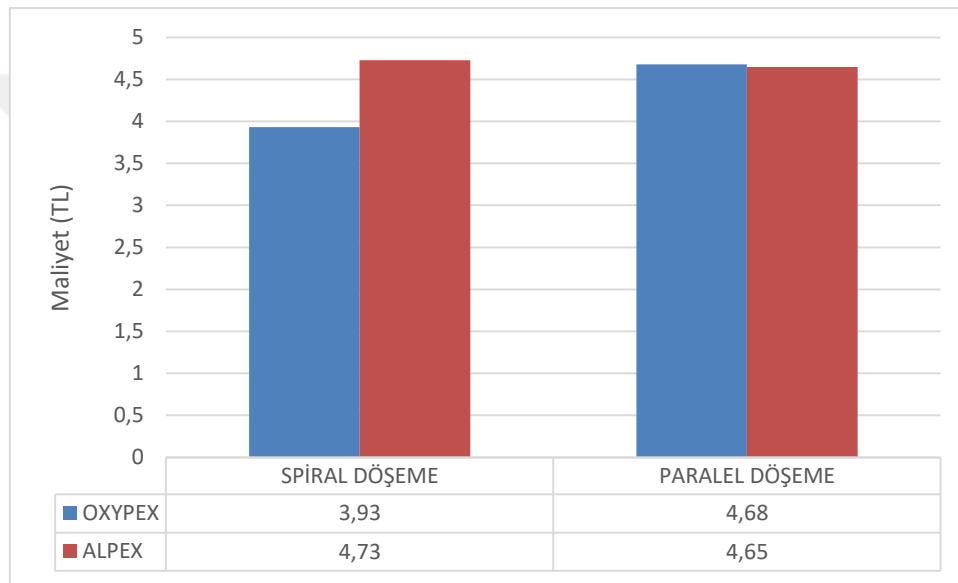
Grafik 7.7’de, yerden ısıtma sisteminde kullanılan Oxypex ve Alpex borular için spiral ve paralel döşeme yöntemlerine göre ısı kaybına bağlı olarak oluşan maliyetler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Veriler TL cinsinden ifade edilmiştir ve sistemdeki ısı kayıplarının ekonomik yansımaları değerlendirmek açısından önemlidir. Spiral döşeme yönteminde, Oxypex boru için ortaya çıkan maliyet 3,93 TL iken, Alpex boru için bu değer 4,73 TL’ye çıkmaktadır. Alpex borunun bu yöntemde daha yüksek ısı kaybına neden olması, doğrudan maliyetin artmasına yol açmıştır. Spiral döşeme düzeninde, Alpex borunun daha fazla enerji kaybı oluşturması, sistemin daha fazla enerji tüketmesine ve dolayısıyla ekonomik yükün artmasına neden olmaktadır. Paralel döşeme yönteminde ise Oxypex borunun maliyeti 4,68 TL, Alpex borunun maliyeti ise 4,65 TL’dir. Bu döşeme yönteminde her iki borunun maliyetleri oldukça yakın olup neredeyse eşit seviyededir. Ancak dikkat çekici olan nokta, spiral döşemede daha avantajlı olan Oxypex borunun paralel döşemede maliyet açısından Alpex boruya yaklaşmasıdır. Bu durum, paralel döşemenin Oxypex için daha fazla enerji kaybına yol açtığını ve bu nedenle ekonomik açıdan daha az verimli olduğunu göstermektedir.

Oxypex boru, spiral döşeme yöntemiyle kullanıldığında daha düşük enerji kaybına ve dolayısıyla daha düşük maliyete sahiptir.

Alpex boru, spiral döşemede daha fazla enerji kaybı yarattığı için maliyeti de yükselmektedir.

Paralel döşeme yönteminde, her iki boru tipi için maliyetler yakın olmakla birlikte, sistemin genel enerji performansında fark yaratmamaktadır.

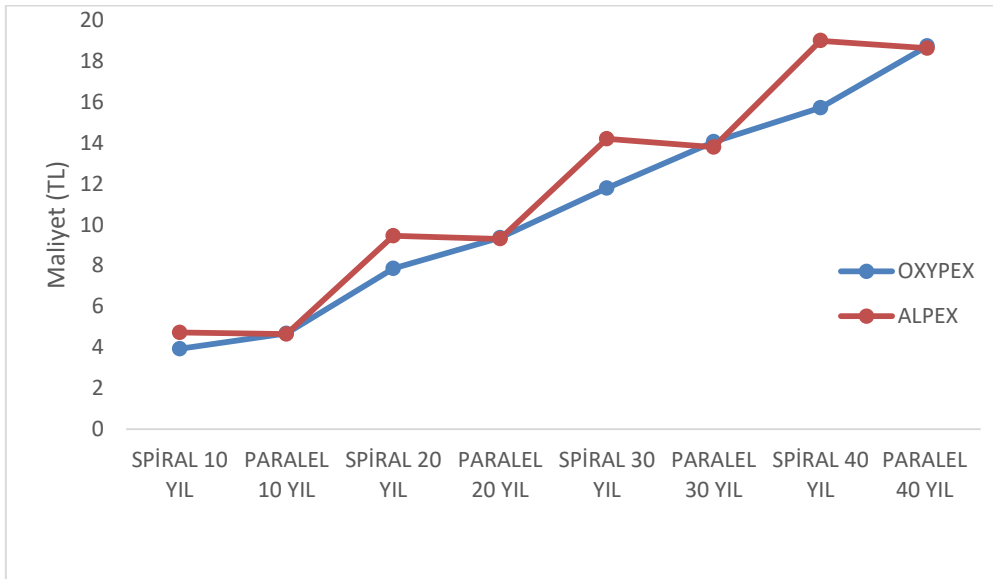
Sonuç olarak, ısı kaybının ekonomik yansıması boru türü ve döşeme biçimiyle doğrudan ilişkilidir. Spiral döşeme yönteminde Oxypex boru ekonomik açıdan daha avantajlı bir seçenek sunarken, Alpex boru ile spiral döşeme daha yüksek maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle sistem tasarımında yalnızca teknik performans değil, maliyet analizleri de göz önünde bulundurulmalı ve uygun boru-döşeme kombinasyonu tercih edilmelidir.



Grafik 7.7. Isı Kaybı ile Ortaya Çıkan Maliyet

Grafik 7.8’de, Oxypex ve Alpex borular için spiral ve paralel döşeme yöntemleri kullanılarak hesaplanan ısı kaybına bağlı uzun vadeli maliyet değişimi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Söz konusu grafik, sistemlerin 10, 20, 30 ve 40 yıllık ömürleri boyunca oluşacak toplam enerji kaybı maliyetlerini Türk Lirası cinsinden göstermektedir. İlk 10 yıl içinde, Oxypex boru için spiral döşeme yaklaşık 4 TL, paralel döşeme ise 5 TL civarında bir maliyete neden olmuştur. Aynı süre zarfında Alpex boru için her iki döşeme yönteminde oluşan maliyet 5 TL seviyesindedir. Bu sonuçlar, kısa vadede döşeme yöntemlerinin maliyet açısından belirgin fark yaratmadığını göstermektedir. 20 yıllık kullanım süresi sonunda ise farklar daha görünür hale gelmiştir. Spiral döşemede Alpex borunun maliyeti 9,5 TL’ye ulaşırken, Oxypex boruda aynı yöntemle maliyet 7,8 TL olmuştur. Paralel döşemede her iki boru da yaklaşık 9,5 TL seviyesinde maliyete sahiptir. Bu durum, spiral döşemede Alpex

borunun daha yüksek enerji kaybına sebep olduğunu ve bunun doğrudan maliyete yansıdığını göstermektedir. 30 yıl sonunda, spiral döşemede Alpex borunun maliyeti 14,3 TL'ye yükselmiştir. Aynı koşullarda Oxypex boruda maliyet 11,8 TL olarak hesaplanmıştır. Paralel döşemede ise her iki borunun maliyetleri birbirine yakın olup yaklaşık 13,8–14 TL civarındadır. Bu veriler, Oxypex borunun uzun vadede daha stabil ve düşük maliyetli bir performans sunduğunu göstermektedir. 40 yıllık değerlendirmeye gelindiğinde, spiral döşeme yönteminde Alpex borunun toplam maliyeti 18,9 TL'ye ulaşırken, Oxypex borunun maliyeti 15,8 TL'de kalmıştır. Paralel döşemede ise her iki boru tipi yaklaşık 18,7–18,9 TL düzeyinde benzer maliyetlere sahiptir. Bu sonuç, paralel döşemenin uzun vadede her iki boru için de daha yüksek maliyetli bir sistem oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, spiral döşeme yöntemiyle kullanılan Oxypex boru, uzun vadede daha düşük ısı kaybına ve dolayısıyla daha düşük işletme maliyetine sahiptir. Buna karşılık Alpex boru, özellikle spiral döşeme ile uygulandığında zamanla artan ısı kayıpları sebebiyle daha yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Paralel döşeme yöntemi ise, ilk yıllarda düşük farklar gösterse de uzun vadede her iki boru tipi için benzer ve yüksek maliyetli bir sonuç doğurmaktadır. Sonuç olarak, sistem ömrü uzadıkça ısı kaybı maliyetlerinin önemi artmakta ve bu durum, boru seçiminin ve döşeme biçiminin sistem verimliliği üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle yerden ısıtma sistemi tasarımında sadece ilk kurulum maliyeti değil, uzun vadeli işletme maliyetleri de dikkate alınarak boru tipi ve döşeme yöntemi birlikte değerlendirilmelidir.



Grafik 7.8. Aynı Şartlarda Farklı Ömürlerde Isı Kaybı Maliyeti

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan Oxypex (oksijen bariyerli) ve Alpex (alüminyum folyo içerikli) iki farklı boru tipi, spiral (salyangoz) ve paralel döşeme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak test edilmiş ve ısı transferi, ısı kaybı, sıcaklık dağılımı ve maliyet gibi temel performans parametreleri üzerinden detaylı analizler gerçekleştirilmiştir.

8.1 Isıl Performans Karşılaştırması

Yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan her iki boru tipi için hem zemin (strafor yüzey) hem de oda içersinden (0,7 m ve 1,8 m) elde edilen sıcaklık verileri, sistemin zamanla nasıl tepki verdiğini göstermektedir. Deneysel verilerden elde edilen bazı temel bulgular şu şekildedir:

Spiral döşeme yönteminde, boruların zemine daha sık ve merkezi şekilde yerleştirilmesi nedeniyle ısı dağılımı daha homojen ve etkilidir. Özellikle Oxypex boruda spiral döşeme, zemin boyunca sürekli bir boru varlığı sağladığından ısı transfer kapasitesi %15 daha fazladır.

Alpex borularda, spiral döşeme yönteminde boru yüzeyinin alüminyum tabaka ile kaplı olması sayesinde ısı daha uzun süre tutulmuş, bu da ısı transferi üzerinde pozitif yönde %67'lik artış sağlamıştır (spiral Alpex: 61,86 W; paralel Alpex: 20,36 W).

Boru yüzeyindeki sıcaklık artışları zamanla doğrusal değil, logaritmik bir eğilimle artmakta ve ortalama su sıcaklıkları sistemin genel ısıl davranışını yansıtmaktadır. Örneğin, spiral döşemede Oxypex için su sıcaklığı 7 saat sonunda 26,5 °C'ye ulaşırken, Alpex'te bu değer 34 °C olarak ölçülmüştür.

Paralel döşeme yönteminde su giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) daha fazladır. Bu durum, akış yönünde ısı kaybının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Spiral döşeme ile karşılaştırıldığında paralel döşemede ΔT yaklaşık %25 daha yüksektir.

8.2 Isı Taşınımı ve Yüzeyler Arası Isı Transferi

Isı taşınım katsayısı (h_i), Oxypex borularda spiral döşeme için $7,09 \times 10^{-4}$ W/m²K, paralel döşeme için $6,69 \times 10^{-4}$ W/m²K olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, spiral döşemede taşınım katsayısının %6'e kadar daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Alpex borularda taşınım katsayısı hem spiral hem de paralel döşeme yöntemlerinde sabit kalmış, $4,10 \times 10^{-4}$ W/m²K olarak ölçülmüştür. Bu durum, borunun malzeme özelliğinden (alüminyum tabaka) kaynaklıdır ve döşeme biçiminden bağımsız ısı iletimi sağlamaktadır.

Yüzeyler arası ısı transferi , Alpex boruda spiral döşeme için 8,9 W, paralel döşeme için 5,34 W olarak hesaplanmıştır. Buna karşın Oxypex boruda bu değerler çok daha düşüktür: spiral döşemede 0,02 W, paralel döşemede ise 0,034 W. Alpex borulardaki alüminyum folyo tabakası, ısıyı daha etkili ilettiğinden yüzeyler arası geçişleri daha yüksek düzeyde gerçekleştirmiştir.

Ara katman sıcaklıkları, döşeme türüne göre farklılık göstermektedir. Spiral döşemede iç–orta–dış katman sıcaklıkları Alpex boru için sırasıyla 288,6–286,4–285,8 K iken, paralel döşeme ile bu değerler 286,0–285,9–285,8 K seviyelerinde ölçülmüştür.

8.3 Isı Kaybı ve Enerji Verimliliği

Toplam ısı kaybı spiral döşeme yöntemiyle uygulanan Oxypex boruda 0,162 W, Alpex boruda 0,195 W olarak hesaplanmıştır. Paralel döşemede ise Oxypex boru 0,193 W, Alpex boru 0,192 W'lık ısı kaybına sahiptir. Bu veriler spiral döşemede Oxypex borunun daha düşük ısı kaybı sağladığını (%17 azalma) ortaya koymaktadır.

Döşeme tipine göre kayıpların dağılımı incelendiğinde, spiral döşemede Alpex borunun ısı transferi daha yüksek olmasına karşın, ısı kaybı da benzer oranda artmıştır. Bu durum, malzemenin iletkenliği yüksek olsa dahi sistem tasarımında kayıp mekanizmalarının birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

8.4 Maliyet Analizi

Isı kayıplarından kaynaklanan doğal gaz maliyetleri, sistem ömrüne göre hesaplanmış ve aşağıda sunulmuştur:

Döşeme Türü		Boru Tipi	10 Yıl (TL)	20 Yıl (TL)	30 Yıl (TL)	40 Yıl (TL)
Spiral	Oxypex		3,93	7,86	11,79	15,72
Paralel	Oxypex		4,68	9,36	14,05	18,73
Spiral	Alpex		4,73	9,46	14,20	19,00
Paralel	Alpex		4,65	9,31	13,79	18,63

Uzun vadede (40 yıl), spiral döşeme ile Oxypex borunun toplam ısı kaybı maliyeti %17 daha düşüktür.

Alpex borunun ısıyı yüzeyde daha uzun süre tutması nedeniyle maliyet farkları kısa vadede belirgin olmasa da sistem ömrü arttıkça maliyet artış hızı da artmaktadır.

8.5 Genel Sonuçlar ve neriler

Spiral döşeme, özellikle Oxypex borular için daha verimli ve enerji tasarruflu bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Alpex borular ısıyı daha yüksek hızla iletmesine rağmen, spiral döşeme ile birlikte ısı kayıpları da yükselmekte, bu da uzun vadede ekonomik dezavantaj oluşturabilmektedir.

Boru tipinden bağımsız olarak, döşeme yönteminin sistem performansı üzerindeki etkisi %20'ye kadar varan farklılıklar yaratabilmektedir.

Test ortamında kullanılan yapı malzemesi, ortam sıcaklığı, dış etkenler (pencere, kapı açıklıkları) ve sistemin yalıtım durumu ölçüm sonuçlarında belirleyici rol oynamaktadır. Gerçek kullanım koşullarına göre bu parametreler yeniden kalibre edilmelidir.

Sonuç Olarak:

Yerden ısıtma sistemlerinin tasarımında, sadece ilk yatırım maliyeti değil, döşeme yöntemi, boru tipi, uzun dönem ısı kaybı ve enerji tüketim maliyetleri birlikte değerlendirilmelidir. Bu alışma göstermektedir ki, spiral döşeme yöntemi ile uygulanan Oxypex borular, hem teknik performans hem de uzun vadeli enerji verimliliği açısından en uygun çözüm olarak öne çıkmaktadır. Alpex borular ise belirli durumlarda daha yüksek yüzey sıcaklığı sağlayabilmesine rağmen, ısı kaybı ve maliyet açısından dikkatli planlama gerektirmektedir.

KAYNAKÇA

- Aacharya, A., Khanal, S., Humagain, B., Kattel, S., & Baral, B. (2021).** CFD analysis of temperature distribution of different piping arrangement used in radiant floor heating. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, Vol. 15, No. 2.
- Anigrou, Y., & Zouini, M. (2024).** Comparative numerical study of floor heating systems using. *Scientific African* 24 (2024). *Scientific AFRİCAN*.
- Antema Teknik. (2024).** VESBO ALPEX. [Erişim: 13.08.2024, <https://antemateknik.com.tr/urun/vesbo-alpex/>].
- Atılgan, İ., & Ataer, Ö. E. (2009).** *Güneş Enerjisi ile Radyatör ve Döşemededen Isıtılan Kapalı Bir Ortamın Isıl Konfor Analizi*, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği, Ankara.
- Çengel, Y. (2003).** Heat Transfer A Practical Approach. *McGraw-Hill, USA*, 931 s.
- Çözümleri, T. (2025).** *Tesisat Çözümleri Yerden Isıtma Sistemi* [Erişim: 07.02.2025 <https://www.tesisatcozumleri.com/yerden-isitma-sistemi/>].
- Demirci, M. (2009).** Polietilen-EVOH Harmanlarının Hazırlanması ve Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi. *İstanbul*.
- Doğan, V., & Çalışır, O. (2012).** Döşemededen (Yerden) Isıtma Sistemlerinde Hesap Yöntemi. *Tesisat Mühensliği, Sayı 130*, 41-50.
- Enerji, H. (2024).** *Sulu Yerden Isıtma Sistemleri*. [Erişim: 26.09.2024, <https://www.hakenerji.com.tr/icerik/5642/sulu-yerden-isitma-sistemleri-hakenerji>].
- Enerji, S. (2024).** *Futbol Sahalarına Yerden Isıtma Sistemi*. [Erişim: 27.09.2024, <https://www.skglobalenerji.com/futbol-sahalarinda-yerden-isitma-sistemi>].
- İFAN Group. (2022).** *Yerden Isıtma Basınç Testi Standartı* [Erişim: 04.02.2025 <https://tr.ifan-plast.com/info/floor-heating-pressure-test-standard-73710181.html>].
- Isıtma, K. C. (2024).** *Camilerde Yerden Isıtma* [Erişim: 24.09.2024, <https://www.camihalisiisitma.com/yerden-isitma-2.html>].
- Isitmax. (2019).** *Çim Sahalarda Alttan Isıtma Sistemleri Nedir?* [Erişim:02.02.2025 <https://www.isitmax.com/cim-sahalarda-alttan-isitma-sistemleri-nedir/>].
- Isitmax. (2019).** *Yerden Isıtma Uygulama Alanları* [Erişim:01.02.2025 <https://www.isitmax.com/yerden-isitma-uygulama>].

alanlari/?srsId=AfmBOopXsE5eswOTwhZ4_fS9iyqleWwwq9DdYjQa3FPD2lc5URwI6cKV].

İso Mühendislik. (2024). *Yerden ısıtma Boru Hesabı* [Erişim: 18.02.2025, <https://isomuhendislik.com/yerden-isitma-boru-hesabi/>].

İzobor. (2025). *Su Debisi ve Boru Çapı Hesabı* [Erişim: 18.02.2025, http://www.izobor.com.tr/pdf/Su_debisi_ve_boru_capi_hesabi.pdf].

Jing, H., & Guobing, Z. (2015). Thermal performance of a radiant floor heating system with different heat storage materials and heating pipes, *Science Direct, Applied Energy*, 138, 648-660.

Karakoyun, Y. (2019). Döşemeden Isıtma ve Soğutma Sistemlerinin Isı Transferi Karakteristiklerinin İncelenmesi.(Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karbon Isıtıcı . (2024). *Karbonik Isıtma Sistemleri* [Erişim: 21.04.2024, <https://www.karbonisiticifilm.com/yerden-isitma-sisteminin-tarihcesi/>].

Kar-el. (2024). *Yerden Isıtma Sistemlerinin Hesabı. Döşemeden Isıtma. (8.4)* 216-217.

Kas Vana. (2025). *KAS Yerden Isıtma Sistemi Nedir?* [Erişim:09.02.2025, <https://kas.com.tr/blog/yerden-isitma-sistemi-nedir/>].

Katalogu, Y. (2025). *Yerden Isıtma ile ilgili En Çok Sorulan Sorular.* [Erişim:08.02.2025, https://www.yapikatalogu.com/blog/yerden-isitma-ile-ilgili-en-cok-sorulan-sorular_467#:~:text=Yerden%20%C4%B1s%C4%1tma%20sistemi%20kombi%2C%20kazan,%2D50%20%CC%8AC'yi%20ge%C3%A7memektedir].

Konenerji.(2025). *Cami Isıtma Sistemleri* [Erişim:01.02.2025 https://www.camiisitma.net/cami_hali_alti_isitma_sistemleri.asp].

Konerji. (2019). *Hamam Isıtma Sistemi Fiyatları-Elektrikli* [Erişim:01.02.2025 <https://www.hamamsauna.com/hamam-isitma-sistemi-fiyatlari-elektrikli/>].

Oubenmoh, S., & vd. (2018). Some particular design considerations for optimum utilization of under floor heating systems, *Science Direct, Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 423-432.

ÖZEL, M. (208). Bina Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları İçin Dinamik Yaklaşım Ve Maliyet Analizi. *Gazi Üniv. Müh.Mim.Fak.Der. , Cilt 23, No 4*, 879-884.

Plastik Ambalaj Teknolojisi. (2025). *Ambalaj Üretiminde Kullanılan Plastik Filmler* [Erişim:04.02.2025 <https://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2249-ambalaj-ueretiminde-kullan-ilan-plastik-filmler>].

Sistemleri, İ. T. (2024). *Yerden Isıtma Straforu* [Erişim: 21.09.2024, <https://izmirteknik-isitma-sogutma.com/product/yerden-isitma-straforu/>].

Sistemleri, T. M. (2024). *Döşemeden Isıtma Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları*, [Erişim adresi: 12.04.2024, <https://www.termofh.com/dosemeden-isitma-avantajlar-dezavantajlar>].

Şenol, G. (2008). *Döşemeden ısıtma sistemlerinin tüm yönleriyle incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Tao, L., Yanfeng, L., Yaowen, C., Dengja, W., & Yingying, W. (2018). Experimental study of the thermal performance of combined floor and Kang heating terminal based on differentiated thermal demands, *Energy and Buildings*, Vol 171, 15 July 2018, 196-208.

Teknolojik Isıtma Sistemleri, K. (2025). *Havuz Çevresi Zeminden Isırma* [Erişim: 02.02.2025 https://www.yerdenisitma.com/havuz_cevresi_zeminden_isitmasi.htm].

Tesisat. (2016). *Su Debisi ve Boru Çapı Hesabı* [Erişim:18.02.2025, <https://www.tesisat.org/su-debisi-ve-boru-capi-hesabi.html>].

Vesbo. (2024). *Vesbo Genel Ürün Kataloğu*. [Erişim: 04.04.2024, <https://www.vesbo.com.tr/vesbo-genel-urun-katalogu/mobile/index.html#p=4>].

VESBO, B. (2007). *PE-X Bina İçi Isıtma Sistemleri Teknik Katalog* [Erişim:04.02.2025 <https://www.vesbo.com.tr/wp-content/uploads/2014/05/vesbo-pek.pdf>].

Wu, X., Zhao, J., Olesen, B. W., Fang, L., & Wang, F. (2015). A new simplified model to calculate surface temperature and heat transfer of radiant floor heating and cooling systems, *Science Direct, Energy and Buildings*, 105, 285-293.

Xiaozhou Wu, J. Z. (2015). A new simplified model to calculate surface temperature and heat transfer of radiant floor heating and cooling systems. Elsevier.

Yapı, K. (2025). *Yerden Isıtma Sistemi Nedir?* [Erişim:08.02.2025, https://www.yapikatalogu.com/blog/yerden-isitma-sistemi-nedir_517]

Yıldız, D. (2013). *Isıtma Sistemleri İçin Yalıtım Kalınlığı Ve Boru Çapının Termoekonomik Optimizasyonu*.

Yılmaz, S., Kayfeci, M., & Keçebaş, A. (2010). Çift Fazlı (Isı Borulu) Güneş Kollektörlerini Konut Isıtmasında Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi, Tesisat Mühendisliği, 300-399, 116, 5-10. *Cilt*(116).

