

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ÜNİVERSİTE KAMPÜSLERİNDE YAPILACAK BÖLGESEL
ISITMA SİSTEMİ YERALTI BORULARININ
ISI KAYIPLARININ ARAŞTIRILMASI

ERKAN BİLGİÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Okan KON (Tez Danışmanı)
Dr. Öğr. Üyesi Ali Hüsnü BADEMLİOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt BİRCAN

BALIKESİR, MAYIS – 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Üniversite Kampüslerinde Yapılacak Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Isı Kayıplarının Araştırılması**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Erkan BİLGİÇ

(imza)

ÖZET

**ÜNİVERSİTE KAMPÜSLERİNDE YAPILACAK BÖLGESEL
ISITMA SİSTEMİ YERALTI BORULARININ
ISI KAYIPLARININ ARAŞTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ERKAN BİLGİÇ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. OKAN KON)
BALIKESİR, MAYIS-2024**

Birincil enerji kaynaklarına ihtiyacın artması, ülkelerin yeni saha ve kaynak bulma yönündeki mücadelelerini artırmış, birincil enerji kaynaklarına kesinti olmadan ulaşılma ideali, zaman zaman ülkeleri karşı karşıya getiren çok yönlü sorunların oluşmasına neden olmuştur. Bu kapsamda ülkemiz enerji tasarrufu ve verimliliği, enerji arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılık risklerinin azaltılması, çevrenin korunması ve iklim değişikliğine karşı mücadelenin etkinliğinin artırılmasının sağlanması amacıyla Enerji Verimliliği 2030 Strateji planını açıklamıştır. Bu plan doğrultusunda kullanılan ve kullanılacak enerjinin azaltılması maksadıyla üniversite kampüslerinde yapılacak bölgesel yeraltı ısıtma sistemi borularının ısı kayıplarının araştırılması ele alınmıştır. Isı kayıplarının temel faktörlerinden birisi olan çevre koşulları kapsamında, Balıkesir ili meteorolojik verilerine dayanılarak toprak tipine ve derinliğe bağlı olarak toprak sıcaklık hesaplamaları yapılmıştır. Çevre şartlarının etkisi ile oluşan ısı kayıplarının önlenmesinde en büyük araçlardan birisi olan yalıtım uygulaması için çeşitli kalınlıklarda yalıtım malzemeleri (XPS, EPS, taş yünü) 4 çeşit boru çapı (50, 100, 200, 400 mm) üzerine tatbik edilmiş, sonrasında çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü farz edilerek hesaplamalar yapılmıştır. “TS 825’e göre” 2. ısıtma derece gün bölgesinde olan Balıkesir ili için yıllık ısı kaybı, yıllık enerji gereksinimi, yıllık yakıt (Doğalgaz, kömür, fuel-oil) tüketimi bulunmuştur. Ayrıca yeraltı boruları için ısı kaybı, aylık enerji kaybı ve yıllık enerji kaybı hesaplamaları yapılmıştır. Borulama sisteminde ısıtma için kullanılacak akışkanın sıcak su ve kızgın su olması durumuna göre ayrıca incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Yeraltı bölgesel ısıtma, boru yalıtımı, yeraltı toprak sıcaklığı, enerji tasarrufu

ABSTRACT

RESEARCH OF HEAT LOSSES OF UNDERGROUND PIPES OF DISTRICT HEATING SYSTEM TO BE BUILT IN UNIVERSITY CAMPUSES

MSC THESIS

ERKAN BİLGİÇ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. OKAN KON)

BALIKESİR, MAY - 2024

The increasing need for primary energy resources has increased the struggle of countries to find new fields and resources, and the ideal of accessing primary energy resources without interruption has led to the emergence of multifaceted problems that confront countries from time to time. In this context, our country has announced the Energy Efficiency 2030 Strategy Plan in order to ensure energy saving and efficiency, ensuring energy supply security, reducing external dependency risks, protecting the environment and increasing the effectiveness of the fight against climate change. In order to reduce the energy used and to be used in line with this plan, the research of the heat losses of the district underground heating system pipes to be constructed in the university campuses has been discussed. Within the scope of environmental conditions, which is one of the main factors of heat losses, soil temperature calculations were made depending on soil type and depth based on meteorological data of Balıkesir province. Insulation materials (XPS, EPS, rock wool) of various thicknesses were applied on 4 types of pipe diameters (50, 100, 200, 400 mm) for insulation application, which is one of the biggest tools in preventing heat losses caused by the effect of environmental conditions, and then calculations were made assuming that they were buried in various depths and soil types. According to "TS 825", annual heat loss, annual energy requirement, annual fuel (natural gas, coal, fuel-oil) consumption were found for Balıkesir province which is in the 2nd heating degree day zone. In addition, heat loss, monthly energy loss and annual energy loss calculations were made for underground pipes. The fluid to be used for heating in the piping system is also analysed according to hot water and superheated water.

KEYWORDS: Underground district heating, pipe insulation, subsurface soil temperature, energy saving

Science Code / Codes: 91408, 91412, 91436

Page Number: 149

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xi
KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji Kullanımının Dünya ve Türkiye Üzerindeki Yeri	2
1.2 Isı Yalıtımı.....	3
1.2.1 Tesisat Yalıtımının Önemi ve Faydaları	4
1.2.2 Isı Yalıtımıyla İlgili Temel Terimler	5
1.2.3 Isı Yalıtım Malzemelerinde Beklenen Performans Özellikleri	6
1.2.4 Isı Yalıtım Malzemeleri.....	7
1.3 Literatür Taraması	14
1.4 Tezin İçeriği, Önemi ve Maksadı	44
2. MALZEME VE METOD	46
2.1 Kullanılan Boru Sistemi	46
2.2 Isı Kaybı Hesabı ve Enerji Gereksinimi	47
2.3 Hesaplamalarda Kullanılan Değerler	52
3. BULGULAR	55
3.1 Meteorolojik Verilere Dayalı Toprak Tipine Bağlı Sıcaklıklar	55
3.2 Ön Yalıtımlı Boru İçin Isıl Direnç ve Isı Transfer Katsayısı Değişimi.....	58
3.2.1 Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Birim Uzunluktaki Yeraltına Gömülmüş Ön Yalıtımlı Boru İçin Isıl Direnç ve Isı Transfer Katsayısı Değişimi	59
3.2.2 Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Birim Uzunluktaki Yeraltına Gömülmüş Ön Yalıtımlı Boru İçin Isıl Direnç ve Isı Transfer Katsayısı Değişimi	67
3.3 Yeraltına Gömülü Birim Uzunluktaki Ön Yalıtımlı Borunun Yalıtımsız Boruya Göre Isı Transfer Katsayısı Yüzde Değişimi	71
3.3.1 Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sisteminde Birim Uzunluktaki Ön Yalıtımlı Borunun Yalıtımsız Boruya Göre Yeraltında Isı Transfer Katsayısının Yüzde Değişimi ...	72
3.3.2 Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sisteminde Birim Uzunluktaki Ön Yalıtımlı Borunun Yalıtımsız Boruya Göre Yeraltında Isı Transfer Katsayısı Yüzde Değişimi	75
3.4 Bölgesel Isıtma Sisteminde Yalıtım Kalınlığının Artışına Bağlı Olarak Yeraltına Gömülü Borularda Isı Transfer Katsayısının Yüzde Değişimi	77
3.4.1 Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Yalıtım Kalınlığına Bağlı Olarak Yeraltında Birim Uzunluktaki Boru İçin Isı Transfer Katsayısındaki Yüzde Değişim	77
3.4.2 Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Yalıtım Kalınlığına Bağlı Olarak Yeraltında Birim Uzunluktaki Boru İçin Isı Transfer Katsayısındaki Yüzde Değişim	80
3.5 Yıllık Isı Kayıpları, Yıllık Enerji Gereksinimi, Yıllık Yakıt Tüketimi.....	82
3.5.1 Derece-Gün Hesabına Göre Yıllık Isı Kaybı	82
3.5.1.1 Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Derece-Gün Hesabına Göre Yıllık Isı Kaybı	82
3.5.1.2 Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Derece-Gün Hesabına Göre Yıllık Isı Kaybı	89

3.5.2	Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Enerji Gereksinimi.....	93
3.5.2.1	Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yıllık Enerji Gereksinimi	93
3.5.2.2	Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yıllık Enerji Gereksinimi	101
3.5.3	Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Yakıt Tüketimi	106
3.5.3.1	Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Yakıt Tüketimi	106
3.5.3.2	Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Yakıt Tüketimi	108
3.6	Farklı Parametreler Çerçevesinde Toprak Altındaki Borularda Isı Kaybı, Aylık ve Yıllık Enerji Kaybı	110
3.6.1	Farklı Parametreler Çerçevesinde Yeraltındaki Borularda Oluşan Isı Kaybı	110
3.6.1.1	Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametreler Çerçevesinde Oluşan Isı Kaybı	110
3.6.1.2	Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametreler Çerçevesinde Oluşan Isı Kaybı	117
3.6.2	Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltındaki Borularda Oluşan Aylık Enerji Kaybı	123
3.6.2.1	Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametrelere Çerçevesinde Oluşan Aylık Enerji Kaybı	124
3.6.2.2	Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametrelere Çerçevesinde Oluşan Aylık Enerji Kaybı	125
3.6.3	Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltındaki Borularda Oluşan Yıllık Enerji Kaybı	127
3.6.3.1	Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltı Borularında Oluşan Yıllık Enerji Kaybı	127
3.6.3.2	Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltı Borularında Oluşan Yıllık Enerji Kaybı	131
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	134
5.	KAYNAKLAR.....	139
	ÖZGEÇMİŞ	149

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: XPS malzemesinin uygulama örneği.	8
Şekil 1.2	: EPS malzemesinin uygulama örneği.	8
Şekil 1.3	: Taş yünü malzemesinin uygulama örneği.	9
Şekil 1.4	: Cam yünü malzemesinin uygulama örneği.	9
Şekil 1.5	: PUR/PIR malzemesinin uygulama örneği.	10
Şekil 1.6	: PEF malzemesinin uygulama örneği.	11
Şekil 1.7	: FEF malzemesinin uygulama örneği.	11
Şekil 1.8	: PF malzemesinin uygulama örneği.	12
Şekil 1.9	: Cam köpüğü malzemesinin uygulama örneği.	12
Şekil 1.10	: EP/EPB malzemesinin uygulama örneği.	13
Şekil 1.11	: Mantar levha malzemesinin uygulama örneği.	13
Şekil 2.1	: Yeraltı ön yalıtımlı borulama sistemini oluşturan katmanlar.	46
Şekil 2.2	: Kızgın su hattı şematik görüntüsü.	47
Şekil 3.1	: Derinliğe ve aylara bağlı kuru toprak sıcaklık grafiği.	55
Şekil 3.2	: Derinliğe ve aylara bağlı kum veya çakıllı toprak sıcaklık grafiği.	56
Şekil 3.3	: Derinliğe ve aylara bağlı killi toprak sıcaklık grafiği.	57
Şekil 3.4	: Derinliğe ve aylara bağlı balçık toprak sıcaklık grafiği.	57
Şekil 3.5	: Derinliğe ve aylara bağlı doymuş kumlu toprak sıcaklık grafiği.	58
Şekil 3.6	: Derinliğe ve aylara bağlı doymuş silt ya da killi toprak sıcaklık grafiği.	58
Şekil 3.7	: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kuru toprak, XPS).	60
Şekil 3.8	: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kum veya çakıllı toprak, XPS).	61
Şekil 3.9	: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, killi toprak, XPS).	62
Şekil 3.10	: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, balçık toprak, XPS).	63
Şekil 3.11	: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak, XPS).	65
Şekil 3.12	: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş silt ya da killi toprak, XPS).	66
Şekil 3.13	: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kuru toprak, taş yünü).	67
Şekil 3.14	: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kum veya çakıllı toprak, taş yünü).	68

Şekil 3.15	: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, killi toprak, taş yünü).	69
Şekil 3.16	: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, balçık toprak, taş yünü).	70
Şekil 3.17	: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak, taş yünü).	70
Şekil 3.18	: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş silt ya da killi toprak, taş yünü).	71
Şekil 3.19	: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, kuru toprak, XPS).	72
Şekil 3.20	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, 0.01 m XPS).	73
Şekil 3.21	: XPS, EPS, Taş yünü yalıtım malzemesine bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak).	75
Şekil 3.22	: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, kuru toprak, taş yünü).	76
Şekil 3.23	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, 0.01 m taş yünü).	76
Şekil 3.24	: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (Kuru toprak, taş yünü).	78
Şekil 3.25	: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (1 m derinlik, taş yünü).	79
Şekil 3.26	: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (1 m derinlik, kuru toprak).	80
Şekil 3.27	: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (Doymuş kumlu toprak, taş yünü).	81
Şekil 3.28	: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (1 m derinlik, taş yünü).	82
Şekil 3.29	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 50-400 mm boru çapı).	83
Şekil 3.30	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, kuru toprak).	84
Şekil 3.31	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, kum veya çakıllı toprak).	85
Şekil 3.32	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, balçık toprak).	86
Şekil 3.33	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, killi toprak).	87
Şekil 3.34	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, doymuş silt ya da killi toprak).	88
Şekil 3.35	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, doymuş kumlu toprak).	89
Şekil 3.36	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı).	90

Şekil 3.37	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, kuru toprak).	90
Şekil 3.38	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, kum veya çakıllı toprak).	91
Şekil 3.39	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, balçık toprak).....	91
Şekil 3.40	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, killi toprak).	92
Şekil 3.41	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın sıcak su, 400 mm boru çapı, taş yünü, doymuş silt veya killi toprak).	92
Şekil 3.42	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın sıcak su, 400 mm boru çapı, taş yünü, doymuş kumlu toprak).	93
Şekil 3.43	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (400 mm boru çapı).	94
Şekil 3.45	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Kum veya çakıllı toprak, 400 mm boru çapı, XPS).	96
Şekil 3.46	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Balçık toprak, 400 mm boru çapı, XPS).	97
Şekil 3.47	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Killi toprak, 400 mm boru çapı, XPS).	98
Şekil 3.48	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş silt ya da killi toprak, 400 mm boru çapı, XPS).	99
Şekil 3.49	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş kumlu toprak, 400 mm boru çapı, XPS).	100
Şekil 3.50	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (400 mm boru çapı).	101
Şekil 3.51	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Kuru toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).	102
Şekil 3.52	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Kum veya çakıllı toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).	103
Şekil 3.53	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Balçık toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).	103
Şekil 3.54	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Killi toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).	104
Şekil 3.55	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak ön yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş silt ya da killi toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).	105
Şekil 3.56	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş kumlu toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü)... ..	105
Şekil 3.57	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda oluşan enerji kaybı için yakıt tüketimi (400 mm boru çapı).	106
Şekil 3.58	: Derinliğe, toprak tipine, yalıtım kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, XPS, kömür).	107
Şekil 3.59	: Yalıtım malzemesine ve kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak, 10 m derinlik).	108
Şekil 3.60	: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda oluşan enerji kaybı için yakıt tüketimi (400 mm boru çapı).	108

Şekil 3.61	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için doğal gaz, fuel-oil ve kömür için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, kuru toprak, taş yünü).	109
Şekil 3.62	: Derinliğe, toprak tipine, yalıtım kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, taş yünü, doğal gaz). ..	110
Şekil 3.63	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kuru toprak).....	111
Şekil 3.64	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1.5 m derinlik, kuru toprak)....	111
Şekil 3.65	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2 m derinlik, kuru toprak).....	112
Şekil 3.66	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2.5 m derinlik, kuru toprak)....	112
Şekil 3.67	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 3 m derinlik, kuru toprak).....	112
Şekil 3.68	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 5 m derinlik, kuru toprak).....	113
Şekil 3.69	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 10 m derinlik, kuru toprak)....	113
Şekil 3.70	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kum veya çakıllı toprak).	114
Şekil 3.71	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, balçık toprak). ...	114
Şekil 3.72	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, killi toprak).....	115
Şekil 3.73	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, doymuş silt ya da killi toprak).	116
Şekil 3.74	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm boru çap, 1 m derinlik, doymuş kumlu toprak).	116
Şekil 3.75	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kuru toprak).	118
Şekil 3.76	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1.5 m derinlik, kuru toprak).	118
Şekil 3.77	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2 m derinlik, kuru toprak).	118
Şekil 3.78	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2.5 m derinlik, kuru toprak).	119
Şekil 3.79	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 3 m derinlik, kuru toprak).	119
Şekil 3.80	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 5 m derinlik, kuru toprak).	119

Şekil 3.81	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 10 m derinlik, kuru toprak).	120
Şekil 3.82	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kum veya çakıllı toprak).	120
Şekil 3.83	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, balçık toprak).	121
Şekil 3.84	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki ısı boruda kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, killi toprak).	122
Şekil 3.85	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, doymuş silt ya da killi toprak).	122
Şekil 3.86	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, doymuş kumlu toprak).	123
Şekil 3.87	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 1 m derinlik). ..	124
Şekil 3.88	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 10 m derinlik). ..	124
Şekil 3.89	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 1 m derinlik).	126
Şekil 3.90	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 10 m derinlik).	126
Şekil 3.91	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı birim uzunluktaki boruda yıllık enerji kaybı (400mm boru çapı).	128
Şekil 3.92	: XPS, EPS ve Taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık enerji kaybı (400mm boru çap, 1 m derinlik, kuru toprak).	128
Şekil 3.93	: XPS, EPS ve Taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak yıllık enerji kaybı (400mm çap, 1 m derinlik).	129
Şekil 3.94	: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Kuru toprak).	130
Şekil 3.95	: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Doymuş kumlu toprak).	131
Şekil 3.96	: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda yıllık enerji kaybı (400mm boru çapı).	132
Şekil 3.97	: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Kuru toprak).	133
Şekil 3.98	: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Doymuş kumlu toprak).	133

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Isıtma sisteminde kullanılan borunun özellikleri.	52
Tablo 2.2: Hesaplamalarda kullanılan toprak özellikleri.....	53
Tablo 2.3: Balıkesir iline ait iklim verileri.	53
Tablo 2.4: Ön yalıtımlı borularda yalıtım katmanı olarak tercih edilen malzemenin özellikleri.....	53
Tablo 2.5: Hesaplamalarda kullanılan yakıtların teknik parametreleri.....	54
Tablo 2.6: Bölgesel ısıtma borulama sisteminde ısı taşıyıcı akışkanın değerleri.	54
Tablo 2.7: Çalışmada kullanılan 2022 yılı aylık bazda ısınma yapılan süreler.	54

SEMBOL LİSTESİ

A	: Borunun toplam yüzey alanı (m^2)
A_d	: Borunun dış yüzey alanı (m^2)
A'_d	: Boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanı (m^2)
AIG	: Aylık ısıtma günü (saniye)
A_i	: Borunun iç yüzey alanı (m^2)
A_s	: Sıcaklık genliği ($^{\circ}C$)
D_t	: Yalıtılmış boru çapı (m)
DG	: Derece-gün ($^{\circ}C$ -gün)
E	: Toprak altındaki borulardan aylık enerji kaybı (J/m^2)
E_g	: Boru sistemi için yıllık enerji gereksinimi (W)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
H_{alt}	: Yakıtın alt ısı değeri (J/kg , J/m^3)
h_a	: Hava boşluğunun ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
h_i	: Boru sistemi iç yüzeyi ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
IDG	: Isıtma Derece-gün ($^{\circ}C$ -gün)
k_a	: Kanal içindeki havanın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_i	: Boru içerisindeki suyun ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_b	: Çelik borunun ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_c	: Kanal ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{kap}	: Kılıf borunun ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{öny}	: Ön yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_t	: Toprağın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k₁, k₂, ..., k_n	: Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)
L	: Boru sisteminin birim uzunluğu (m)
m_{yakıt}	: Yıllık yakıt tüketimi (kg/m)
Nu_D	: Sabit sıcaklıktaki bir silindir etrafındaki yerel Nusselt sayısı
Pr	: Prantl sayısı
Q_A	: Boru sisteminin yıllık ısı kaybı (W)
Q_b	: Boru sisteminde meydana gelen ısı kaybı (W)
Rad	: Rayleigh sayısı
R_{as}	: Kanaldaki boşluğun direnci (m^2K/W)
R_b	: Tüm boru sisteminin toplam ısı direnci (m^2K/W)
R_{bya}	: Yeraltı boru sisteminin toplam ısı direnci (m^2K/W)
R_{bya,y}	: Yeraltı yalıtımlı boru sistemi katmanlarının toplam ısı direnci (m^2K/W)
R_{bya,y-sız}	: Yeraltı yalıtımsız boru sistemi katmanlarının toplam ısı direnci (m^2K/W)
r_c	: Kanal yarıçapı (m)
Re	: Reynould sayısı
r_i	: Yalıtım boru yarıçapı (m)
r₀	: Boru iç yüzey yarıçapı (m)
r₁, r₂, ..., r_n	: Boru sistemi tabakalarının yarıçapları (m)
t	: takvim yılının başlangıcından geçen süredir (gün)
T_b	: Denge sıcaklık değeri ($^{\circ}C$)
t_c	: Kanal et kalınlığı (m)
T_a	: Günlük ortalama atmosfer sıcaklığını (K)
T_o	: Dış ortam sıcaklığı (K)
t₀	: Toprak yüzeyinin faz sabiti (gün)
T_s	: Borunun en dış yüzeyindeki sıcaklık (K)

T_{sa}	: Günlük ortalama sıcaklık değeri ($^{\circ}C$)
$T_{s,m}$: Yıllık ortalama zemin yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_t	: Toprak sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{ts}	: Boru içerisindeki taşıyıcı suyun ortalama tasarım sıcaklığı (K)
T_{∞}	: Boruyu çevreleyen hava katmanı sıcaklığı (K)
ΔT	: Boru sisteminde iç ve dış tasarım sıcaklık farkı (K)
U	: Boru sistemi toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
ΔU	: Yalıtılmamış ve yalıtılmış borularda toplam ısı transfer katsayıları farkı
V	: Yalıtım malzemesinin hacmi (m^3)
ϑ	: Kinematik viskozite (m^2/s)
x_{cp}	: Kanalin çevresi (m)
YIG	: Yıllık ısıtma günü (saniye)
z	: Boru merkezinden toprak üstü yükseklik (m)
π	: Pi sayısı
η_{is}	: Isıtma sisteminin verimi (%)
λ	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
Λ	: Isıl geçirgenlik (W/m^2K)
$1/\Lambda$: Isıl geçirgenlik direnci (m^2K/W)
α	: Isı yayılım katsayısı (m^2/s)
α_{toprak}	: Toprak difüzyonu (m^2/s)
α	: Yüzeysel ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
$1/\alpha$: Yüzeysel ısı taşınım direnci (m^2K/W)
β	: Hacimsel genleşme katsayısı ($1/K$)
φ	: Bağlı nem (%)
μ	: Su buharı difüzyon direnç faktörü
θ	: Su besleme borusu çapının yalıtım katmanı çapına oranını
β	: Su besleme borusu aralığının yalıtım katmanı çapına oranını

KISALTMA LİSTESİ

AHP	: Absorpsiyonlu Isı Pompası
ATC	: Yıllık Toplam Maliyet
ATEI	: Yıllık Toplam Çevresel Etki
CEN	: Avrupa Standardizasyon Komitesi
CHP	: Kombine Isı ve Enerji
CO₂	: Karbondioksit
CMFR	: Sabit Kütle Akış Hızı
DG	: Derece-gün
DH	: Bölgesel Isıtma
DHST	: Bölgesel Isıtma Depolama Tankı
ECB	: Mantar Levhalar
EP	: Genleştirilmiş Perlit
EPB	: Genleştirilmiş Perlit Levhası
EPS	: Ekspande Polistiren
FEF	: Elastomerik Kauçuk Köpüğü
HEXH	: Egzoz Isısı ile İlgili Isı Eşanjörü
HEXT	: Çıkarılan Isı ile İlgili Isı Eşanjörü
HM	: Ortalama Isı
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IDS	: Isıtma Derece-saat
IDG	: Isıtma Derece-gün
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
ITHE	: Anlık Isı Eşanjörü
LTDH	: Düşük Sıcaklıklı Bölgesel Isıtma
MAC	: Minimum Yıllık Maliyet
MTDH	: Orta Sıcaklıklı Bölgesel Isıtma
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NPV	: Net Bugünkü Değer
NPS	: Nominal Boru Boyutu
NSC	: Net Tasarruf Edilen Karbon
NSE	: Net Enerji Tasarrufu
PDPUL	: Birim Uzunluk Başına Optimum Basınç Düşüşü
PEF	: Polietilen Köpüğü
PF	: Fenol Köpüğü
PUR	: Poliüretan Sert Köpük
RRAR	: Bağlı Radyatör Alanı Oranı
SO₂	: Kükürt Dioksit
TOTS	: İki Beslemeli, Tek Dönüslü 3'lü Boru Yapısı
TS	: Türk Standartları
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UEVEP	: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
ULTDH	: Ultra Düşük Sıcaklıklı Bölgesel Isıtma
XPS	: Ekstrüde Polistiren
VMFR	: Değişken Kütle Akış Hızı
VDH	: Değişken Sıcaklıklı Bölgesel Isıtma
WF	: Ahşap Lifli Levhalar
WW	: Ahşap Yünü

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasının her aşamasında göstermiş olduğu yolla bilimsel çalışmayı sonuçlandırmamda yardımcı olan, Lisans eğitimim dahil her aşamada yanımda olan bildiklerini esirgemeyen ve bu süreçte her zaman destek olan kıymetli bilim adamı, Danışmanım Doç. Dr. Okan KON'a,

Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Babama ayrıca tez aşaması boyunca anlayışlarından dolayı amirlerime ve iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Balıkesir, 2024

Erkan BİLGİÇ

1. GİRİŞ

Enerji asırlar boyu insanoğlunun hem bedeni gücünü hem de hayvan gücünü kullanarak elde ettiği temel bir kaynak olarak görülmüştür. Daha sonraları ülkeler tarafından enerjinin, hem iktisadi hem de toplumsal anlamda gelişimin temel bir unsuru olarak görülmeye başlanması ile birlikte, farklı enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ve bu ihtiyacı gidermeye yönelik çabalar da yoğunlaşmıştır. İşte tam bu noktada, bilhassa da Sanayi Devrimi'nin gerçekleşmesi ile birlikte, insan ve hayvan gücünün yerini farklı enerji kaynakları almaya başlamıştır. İlk olarak kömür ile başlamış, daha sonra petrol ve doğalgaz gibi iki önemli enerji kaynağının kullanılmaya başlanmasıyla devam etmiştir. Bu ve buna benzer şekildeki gelişmelerden de anlaşılacağı üzere ülkeler, toplumsal gelişimin başta unsurlarından biri enerjidir. (Kocaoğlu, 2020).

Teknolojik gelişmeler ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmış ve gelecekte de artmaya devam edecektir. Enerji tasarrufu ve verimliliği uygulamaları ile enerji tüketiminin azaltılması, enerji arzını artırmak, çevre kirliliğini azaltmak, küresel ısınmayı yavaşlatmak, ekonomik gelişmeyi sağlamak ve ulusal güvenliği artırmak için en kolay, temiz ve ucuz yoldur (Kocaoğlu, 2020).

Dünya Ekonomik Forumu (WEF) tarafından yayınlanan “2023 yılı Küresel Riskler Raporuna” göre önümüzdeki 10 yıllık süreçte dünya ekonomisi etkilemesi beklenen risklerin ilk 6 sırasındaki 5 riski çevre ve iklim etmenli riskler oluşturmaktadır (Dünya Ekonomik Forumu, 2023). Tüm bu gelişmeler bizlere esasında insanlığın büyük bir tehdit altında olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yaşam tarzından iş modellerine, üretimden tüketime çok yönlü yeşil dönüşüm ve değişimlerin yaşanması tercihten ziyade bir zorunluluk halini almıştır. Bu itibarla ülkeler, enerji başta olmak üzere dönüşüm çalışmalarına hız vermiş, düşük karbonlu veya yeşil büyüme trendlerine eğilim artış göstermiştir. (Gürtepe ve Birpınar, 2023).

Bu kapsamda; Enerji tasarrufu ve verimliliği, enerji arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılık risklerinin azaltılması, çevrenin korunması ve iklim değişikliğine karşı mücadelenin etkinliğinin artırılmasının sağlanması gibi 2023 yılı hedeflerimizin ve enerji politikalarımızın en önemli bileşenlerinden biridir. Ayrıca, Türkiye'nin ilk enerji verimliliği eylem planı olan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023) 02/01/2018 tarihinde

yürürlüğe girmiştir. 6 farklı sektörde bulunan 55 adet eylemin hayata geçirilmesi ile 2023 yılına kadar 10.9 milyar ABD doları yatırım ile kümülatif olarak 23.9 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) enerji tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Bu da 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminde %14 oranında bir azalmaya denk gelmektedir. 2033 yılına kadar sağlanması beklenen tasarruf karşılığı ise 30.2 milyar dolardır. Enerji Verimliliği 2030 Strateji Belgesi'nde 10 stratejik amaç ve 23 hedef belirlenmiştir. Belirlenen hedeflere ulaşmak için ise Eylem Planında; sanayi ve teknoloji, bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, tarım, ortak konular, start-up ve dijitalleşme olmak üzere toplam 7 tematik başlıkta 61 eylem ve 266 faaliyete yer verilmiştir. II. UEVEP ile 2024-2030 yılları arasında 20.2 milyar ABD doları enerji verimliliği yatırımı yapılması ve kümülatif olarak 37.1 MTEP birincil enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir. Hedeflerin gerçekleştirilmesiyle 2024-2030 yılları arasında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminde %16 oranında ve emisyonlarda 100 milyon ton CO₂ azaltım sağlanacağı hesaplanmıştır (Enerji ve Tabiatlar Bakanlığı, t.y).

Enerji Verimliliği; binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim veya ürün miktarı başına düşen enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Bir ekonominin gelişebilmesi ve bu gelişmenin uzun süreli ve sürdürülebilir olması; ihtiyaç duyulan enerjinin yeterli miktarda, en az maliyetle, güvenilir bir şekilde ve çevreye en az zarar veren yöntemlerle temin edilebilmesine bağlıdır (Enerji Verimliliği Derneği, t.y.).

1.1 Enerji Kullanımının Dünya ve Türkiye Üzerindeki Yeri

Dünya çapında artan sanayileşme, nüfus, tüketim harcamalarının yanı sıra teknolojik gelişmeler ve yüksek yaşam standartları gibi sebeplerden dolayı enerjiye olan talep her geçen yıl %4-5 oranında artmaktadır. Artan bu talep genellikle maliyetinin düşük ve ulaşılabilirliğinin kolay olması nedeniyle yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Özellikle petrol, doğalgaz ve kömür gibi yüksek hidrokarbon içeren fosil yakıtların kullanımından kaynaklı olarak çevreye karbondioksit ve benzeri sera gazları salınmaktadır. Bu durum çevre kirliliğine ve küresel ısınmanın hızlanmasına yol açmaktadır. Buna bağlı olarak biyolojik çeşitlilikte ve tarımsal üretimde azalmalar, iklim değişiklikleri, erozyonlarda artışlar kaçınılmaz bir hale gelmektedir (Özbektaş, vd., 2023).

Fosil yakıtların dünyadaki kullanım oranının incelendiğinde petrol, doğalgaz ve kömürün birbirine yakın oranlarda seyrettiği görülmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde en yüksek orana

sahip yakıtın petrol (%38) olduğu görülmektedir. Petrolü sırasıyla %33 oranla kömür ve %29 oranla doğalgaz izlemektedir (Arı ve Yılmaz, 2023).

İnsan hayatı ve üretim süreçlerinin temel unsurlarından biri olan enerjinin ekonomik büyüme ve sosyal gelişme ile ilişkisinin yanı sıra çevreye olan etkilerine yönelik ayrıntılı istatistiklerin derlenmesi amacıyla hane halkı nihai enerji tüketimlerinin karşılaştırılabilir ve kapsamlı düzeyde elde edilmesi ihtiyacına yönelik Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından, hanelerde tüketilen enerjinin; alan ısıtma, alan soğutma, su ısıtma, pişirme, aydınlatma ve elektrikli ev aletlerinin kullanımı gibi başlıca nihai kullanım alanlarına ve enerji kaynaklarına göre belirlenmesi için bülten yayınlanmıştır. Hane halkı Nihai Enerji Tüketim Araştırması sonuçlarına göre; 2022 yılında hanelerin toplam nihai enerji tüketimi 1 milyon 287 bin 738 terajul olarak gerçekleşmiştir. Hanelerde tüketilen enerji kaynaklarının paylarına göre, nihai enerji tüketiminde %48.3 ile doğal gaz, %17.1 ile elektrik ve %14.3 ile kömür en çok tüketilen enerji kaynakları olmuştur. Hane halkı toplam nihai enerji tüketimi, kullanım amacına göre incelendiğinde; 2022 yılında alan ısıtma amaçlı tüketim, toplam tüketimin %65.3'ünü oluşturmaktadır (TÜİK, 2022).

1.2 Isı Yalıtımı

Isı, belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle geçen enerjidir. Termodinamiğin 2. yasası gereği sıcak olan akışkandan ortama doğru veya ortamdaki soğuk akışkana doğru enerjinin niteliğini azaltan bir ısı transferi meydana gelmesi kaçınılmazdır (Tanyıldızı ve Dağtekin, 2021). Isı yalıtımı; farklı sıcaklıktaki iki ortam (dış hava – yaşanan mahaller) arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere denir. Tesisat ısı yalıtımı; boruların ve havalandırma kanallarının içinde taşınan akışkanın ve havanın dış ortam koşul ve sıcaklıklarında etkilenmeden ısı kazanımı ya da ısı kaybını engelleyebilmek ve sistemin sağlıklı olarak çalışmasını sürdürmesini sağlamak adına yapılan işleme denir. Tesisat yalıtımı ile enerji kayıp veya kazançları dışında, hattı oluşturan boruların yoğuşma sebebiyle korozyona uğraması önlenir (İzoder, t.y.).

Isı yalıtımı ile ilgili olarak tasarım ve projelendirme ile ilgili esasların belirlendiği TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardı; 4 Haziran 1999 tarih ve 23725 sayılı resmi gazetede yayımlanması ve bu standardın paralelinde hazırlanan "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nin 08 Mayıs 2000 tarih 24043 sayılı resmi gazetede yer alması ile TS 825

standardı 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren uygulaması zorunlu standart olarak yürürlüğe girmiştir. 14 Haziran 2000 tarihinden sonra yapılan binalar; bu standardın ve yönetmeliğin koşullarına uymak zorundadır.

Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" binalarda meydana gelen enerji tüketimlerine daha bütüncül yaklaşım ortaya koymaktadır. 05 Aralık 2009 tarihinde yürürlüğe giren "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nde daha önce yayımlanan "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nden farklı olarak ısıtmanın yanı sıra soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su temini gibi enerji kullanım alanları ve ısıtma/soğutma sistemleri, aydınlatma armatürleri vb. sistemlerin verimlilikleri dikkate alınmaktadır. 05 Aralık 2009 tarihinde yürürlüğe giren "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" kapsam olarak ısıtma amaçlı enerji tüketimlerini de ele aldığından "Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği" içerik olarak tamamen "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'ne dahil edilmiştir. Dolayısıyla; Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesi ısı yalıtımı uygulamalarının zorunluluğu aynen devam etmektedir (İzoder, t.y.).

1.2.1 Tesisat Yalıtımının Önemi ve Faydaları

Binalarda ısıtma ve soğutma uygulamalarına için harcanan enerjinin kullanılan tüm enerjilere oranının %75'inden fazlasının olduğu düşünüldüğünde, ısı yalıtımının ne kadar önemli enerji tasarruf aracı olduğu ortaya çıkmaktadır. Binalara ve tesisata uygulanan ısı yalıtımı ile tesisat boru çapları, petek boyutları, kazan ve soğutma cihaz kapasiteleri düşmektedir. Bu sayede ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji kaynaklarında tasarruf sağlanmış olur. Enerji kaynakları açısından büyük oranda dışa bağımlı olduğu düşünüldüğünde ısı yalıtımı yapılması ekonomik açıdan da Ülkemiz için önemlidir (Şişman, 2005). Isı ve tesisat yalıtımının faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Isıtma ve soğutma amacıyla yapılan harcamalardan tasarruf ettirir, kışın daha iyi bir ısınma, yazın ise serin kalmaya imkan sağlar (İzoder, t.y.).
- Tesisat yalıtımı yoğuşmayı engellediğinden tesisatın korozyona (paslanmaya) karşı uzun ömürlü olmasını sağlar (İzoder, t.y.).
- Yakıt tüketimini ve dolayısıyla atık gaz salınımlarını azaltarak çevre kirliliği ve küresel ısınmanın önlenmesine katkıda bulunur (İzoder, t.y.).
- Sağlayacağı verimlilikle, Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltır (İzoder, t.y.).

- İçerisinde yüksek sıcaklıklarda akışkan taşınan tesisatlar da yalıtım uygulamaları ile, hattın çevresinde bulunan diğer teçhizat ya da ekipmanın ve bu tesisat hatlarında görevli personelin sıcaklık etkisinden korunmasını sağlar (İzoder, t.y.).
- Tesisattan kaynaklı seslerin azaltılması, insanların daha gürültüsüz bir ortamda yaşamasını sağlar (İzoder, t.y.).
- Titreşim kaynaklı seslerin yalıtılması sayesinde binanın taşıyıcı sisteminin zarar görmesi engellenir, binanın ömrünü uzatır (İzoder, t.y.).

1.2.2 Isı Yalıtımıyla İlgili Temel Terimler

Isıl iletkenlik katsayısı (Isı iletim katsayısı): Bir malzemenin birim kalınlığından, birim alan ve birim sıcaklık farkı başına olan ısı transfer hızı olarak tanımlanır. Bir malzemenin ısıl iletkenliği, malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin ölçüsüdür. Sembolü (λ) veya k harfiyle ifade edilir, birimi (W/mK)'dir (Tanyıldızı ve Dağtekin, 2021).

Isı Geçirgenlik: Kalınlığı d(m) olan bir malzemenin paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1K olduğunda, 1 saatte 1 m² yüzeyden dik olarak geçen ısı miktarıdır. Sembolü (Λ)'dır. Birimiye (W/m²K)'dir (Karakoç vd., 2011).

Isı Geçirgenlik Direnci: Isıl geçirgenlik katsayısının aritmetik olarak tersidir. Kalınlığı “d” (m) olan bir objenin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 1K olduğu zaman, birim yüzeyin ısı transferine gösterdiği dirençtir. “1/ Λ ” sembolü gösterilir. Birimi (m²K/W)'dir. Eşitlik (1.1) ile hesaplanır (Karakoç vd., 2011).

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (1.1)$$

Isıl Geçirgenlik Katsayısı: Belirli kalınlıktaki “d(m)” bileşik malzemenin paralel iki yüzeyinin arasındaki sıcaklık farkı 1K olduğunda, malzemenin 1 saatte 1 m² yüzeyinden geçen ısı miktarıdır. Sembolü (U)'dur. Birimiye (W/m²K)'dir (Karakoç vd., 2011).

Isıl Geçirgenlik Direnci: Isıl geçirgenlik katsayısının aritmetik olarak tersiyle ifade edilir. Sembolü (1/U)'dur. Birimiye (m²K/W)'dir. Eşitlik (1.2) ile hesaplanır (Karakoç vd., 2011).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d} \quad (1.2)$$

Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısı: Malzemenin yüzeyi ile yüzeyin değdiği hava arasındaki sıcaklık farkı 1K iken, malzemenin bu alana dik yönde 1 m²'sinden 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Sembolü (α)'dır. Birimiye (W/m²K)'dir (Karakoç vd. 2011).

Yüzeysel Isı Taşınım Direnci: Yüzeysel ısı transfer katsayısının aritmetik olarak tersiyle ifade edilir. Sembolü ($1/\alpha$)'dır. Birimiye (m²K/W)'dir (Karakoç vd. 2011).

Isı transfer hızı: Birim zamanda transfer edilen ısı miktarına denir. Q ile gösterilir. Birimi J/s ve watt'a (W) eşdeğerdir (Tanyıldızı ve Dağtekin, 2021).

Bağıl Nem: Havanın doymuşluk haline kıyasla yüzde olarak taşıdığı su miktarı oranıdır. Bir başka deyişle bağıl nem, havanın içindeki su buharı ağırlığının aynı sıcaklıktaki havanın içerebileceği en fazla su buharı ağırlığına oranı olarak da ifade edilebilir. Bağıl nemi, havadaki kısmi su buharı basıncının aynı sıcaklıktaki doymuş su buharı basıncına oranı ile de ifade edilebiliriz. Bağıl nem (ϕ) sembolü ile gösterilir ve birimsizdir. Bazı uygulamalarda bağıl nem, nispi (relatif) rutubet olarak adlandırılarak, yüzde (%) olarak da ifade edilir. Bağıl nem, terleme sıcaklığına etki eden en önemli faktördür (Tesisat org., t.y.).

Çiğ Noktası Sıcaklığı: Belirli şartlardaki havanın çiğ noktası sıcaklığını, aynı şartlarda bulunan ve aynı miktarda su buharı bulunduran doymuş havanın sıcaklığı olarak da adlandırabiliriz. İçinde su buharı bulunan havanın temas ettiği yüzeyin sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığının altına düştüğü zaman yüzeyde su zerrecikleri birikmesi yani terleme başlar. Yüzey sıcaklığı, temas ettiği havanın %100 bağıl nem halindeki sıcaklığın altına düştüğü anda terleme görülür (Tesisat org., t.y.).

1.2.3 Isı Yalıtım Malzemelerinde Beklenen Performans Özellikleri

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde yalıtımın yapılacak olan yapı elemanına ve konumuna bağlı olarak malzemenin;

- Yüksek ısı tutuculuk,
- Yeterli çekme dayanımı,
- Basınç dayanımı,
- Su ve neme dayanıklılık,
- Kimyasal etmenlere dayanıklılık,

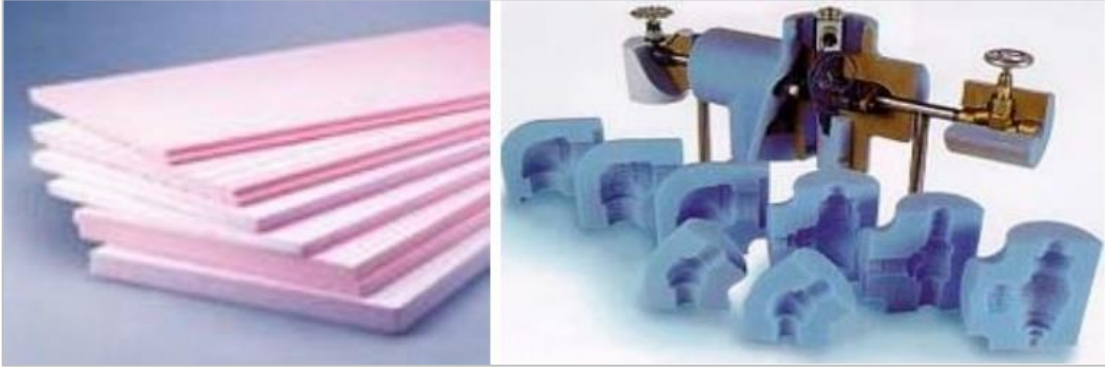
- Yangın sınıfı,
- Boyutsal kararlılık,
- Biyolojik etkilere dayanıklılık,
- Çürümezlik,
- Uzun ömürlülük,
- Gözeneklilik özelliği,
- Düşük birim ağırlığı,
- Kimyasal bileşimi,
- Sıcaklık karşısındaki davranışı,
- Koşullara uygun buhar geçirimsizlik,
- Çevre ve ekosistem açısından zararsızlık,
- Sağlık açısından zararsızlık,
- Az enerji tüketimi,
- Bakım gerektirmeme ve kullanım sonrası değerlendirilebilirlik gibi özellikleri etkili olmaktadır. Ayrıca toplam maliyet, malzemenin kolay uygulanabilir, temin edilebilir, depolanabilir olması da seçimi etkileyen diğer unsurlar arasında yer almaktadır (Şimşek, 2019).

1.2.4 Isı Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtım malzemeleri; ısı kaybı ve kazançlarının azaltılmasında kullanılan, düşük kalınlıklarda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla üretilmiş, hafif, makul kalınlıklarda yüksek ısı direnç özelliğine sahip özel ürünlerdir. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği ısı iletkenliğinin düşük olması ve ısı geçişine karşı gösterdikleri direncin yüksek olmasıdır. ISO ve EN Standartlarına göre; ısı iletkenlik katsayısı 0.065 W/mK büyük ise yapı malzemesi ısı iletkenlik katsayısı 0.065 W/mK küçük ise ısı yalıtım malzemesi olarak kabul edilmiştir (İzoder, t.y.).

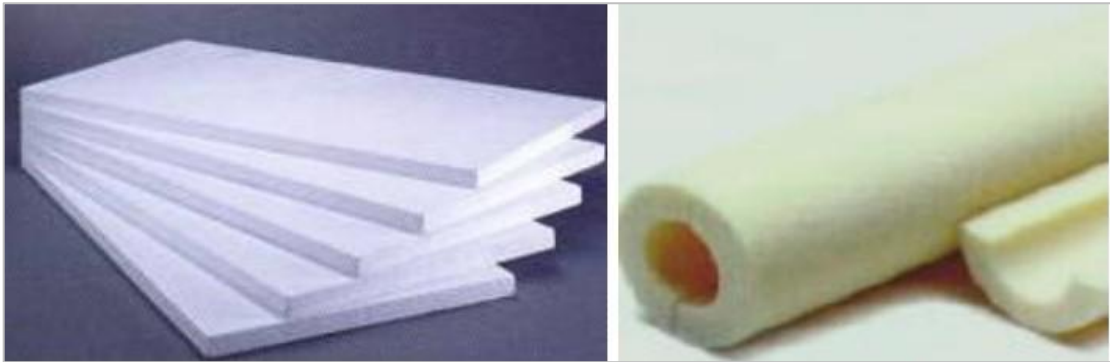
Ekstrüde Polistiren Köpüğü (XPS): Polistiren hammaddesinin ekstrüzyon (haddeleme) ile çekilmesi ile üretilen ortak çeperli kapalı hücre yapısına sahip ısı yalıtım malzemeleridir. Pürüzsüz (ciltli), pürüzlü veya pürüzlü kanallı yüzey biçimleri bulunmaktadır. Değişik yoğunluklarda ($\geq 25 \text{ kg/m}^3$) levha veya boru biçiminde üretilebilir. Kullanım sıcaklığı -50/+75~80°C aralığındadır. Yangına tepki sınıfı D veya E' dir. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0.030-0.040 \text{ W/(mK)}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 80-$

250'dir. Hacimce su emme %0-0.5 dir. Basma dayanımı 100 ile 1000 kPa arasında değişir. XPS malzemesinin uygulama rneği Şekil 1.1'de gösterilmiştir (İzoder, t.y.).



Şekil 1.1: XPS malzemesinin uygulama rneği (İzocam, t.y.).

Ekspande Polistiren Köpük (EPS): Polistiren hammaddesinin su buharı ile temas etmesi durumunda hammaddesinde bulunan pentan gazının genleşmesiyle büyük bloklar halinde şişirilip ve sıcak tel ile kesilerek üretilirler. Levha şeklinde kalıp içerisinde şişirilerek de retilbilirler. EPS levhaların ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az 15 kg/m^3 olması gerekmektedir. Kullanım sıcaklığı $-50/ +75\sim 80^\circ\text{C}$ aralığındadır. Yangına tepki sınıfı D veya E' dir. TS 825'e göre Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0.035-0.040 \text{ W/(mK)}$ dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 20-100$ dr. Hacimce su emme % 1-5 dir. Basma dayanımı 30 ile 500 kPa arasında değişir. EPS malzemesinin uygulama rneği Şekil 1.2'de gösterilmiştir (İzoder, t.y.).



Şekil 1.2: EPS malzemesinin uygulama rneği (İzoder, t.y.).

Taş Yünü: Bazik bileşimli magmatik kayalardan ve inorganik bir hammadde olan bazalt ve diyabazların $1350-1400^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilip bunların organik bağlayıcılar ile sıcaklık ve basınç altında levha haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda ($30-200 \text{ kg/m}^3$) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilir. Kullanım sıcaklığı $-50/$

+650~750 °C aralığındadır. A1 veya A2 sınıfı yanmaz malzemedir. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0.035-0.050 \text{ W/(mK)}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 1$ 'dir. Hacimce su emme %2.5-10'dur. Basma dayanımı 0.5 ile 500 kPa arasında değişir. Taş yünü malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.3'te gösterilmiştir (İzoder, t.y.).



Şekil 1.3: Taş yünü malzemesinin uygulama örneği (İzoder, t.y.).

Cam Yünü: İnorganik bir hammadde olan kuvars kumunun yüksek basınç altında 1200-1250 °C de ergitilerek, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (14-100 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilebilir. Kullanım sıcaklığı -50 / + 250°C aralığındadır. A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0.035-0.050 \text{ W/(mK)}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 1$ 'dir. Hacimce su emme %3-10'dur. Cam yünü malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.4'te gösterilmiştir (İzoder, t.y.).



Şekil 1.4: Cam yünü malzemesinin uygulama örneği (İzoder, t.y.).

Poliüretan Köpüğü (PUR/PIR): Poliüretan terimi polifonksiyonel izosiyanatların en az iki hidroksil grubu içeren bileşiklerle katılma reaksiyonu sonucunda plastik(polimer) oluşturması anlamına gelir. Poliüretan ismini (PU) bu reaksiyon sonucu oluşan üretan grubundan alır. Bu sınıftaki malzemeler üre, amid, eter, ester bağları da içerebilir. Bundan dolayı poliüretan ismi çok değişken yapıda polimerler için kullanılır. Poliüretan iki ayrı kimyasal komponentin bir araya getirilmesi ile üretilir. PUR/PIR farklı yoğunluklarda (≥ 30 kg/m³) levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir. Kullanım sıcaklığı -200/ +110 °C aralığındadır. Yangına tepki sınıfı D, E veya F dir. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0.025-0.040$ W/(mK) arasında değişkenlik gösterir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 30-100$ 'dir. Hacimce su emme maksimum %3 tür. Basma dayanımı minimum 25- 800 kPa olmalı ve uygulama yerine göre yoğunlukla doğru orantılı olacak şekilde artış gösterir (İzoder, t.y.). Poliüretan köpüğü malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5: PUR/PIR malzemesinin uygulama örneği (Yalçın boru, t.y).

Polietilen Köpüğü (PEF): Ekstrüzyon yöntemiyle imal edilen polietilen esaslı yalıtım malzemelerdir. Kullanılacak yere göre çeşitli ürün gamı bulunmaktadır. Teknik açıdan değerlendirilirse 10 °C'de ortalama 0.035-0.050 W/mK ısı iletkenlik değerine sahiptir. Kullanım sıcaklığı -80/+95°C arasındadır. $\mu \geq 1000$ su buharı difüzyon direnç faktörüne sahiptir. E veya F yangın tepki sınıfındadır (İzoder, t.y.). Polietilen köpüğü malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6: PEF malzemesinin uygulama örneği (İzocam, t.y).

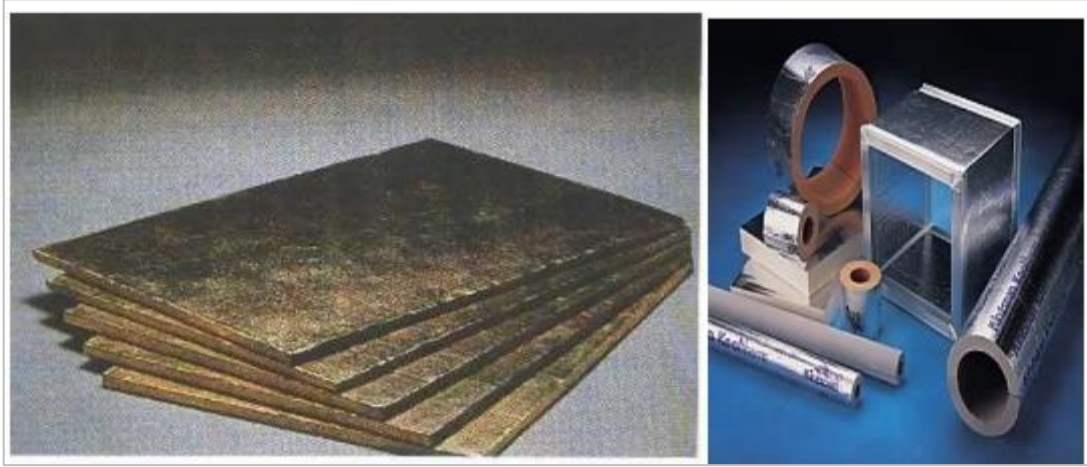
Elastomerik Kauçuk Köpüğü (FEF): Ekstrüzyon metoduyla, boru veya levha şeklinde üretilen elastomerik kauçuk köpüğü esaslı malzemelerdir Tesisat yalıtımında kullanılmak üzere $40-75 \text{ kg/m}^3$ yoğunluklarında levha ve boru biçiminde, alüminyum folyo kaplamalı veya kaplamasız olarak üretilirler. Yangına tepki sınıfı B, duman gazı üretimi sınıfı s3, damlacık teşekkülü sınıfı d0'dır. Isıl iletkenlik hesap değeri $0.030-0.040 \text{ W/mK}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu \geq 3000$ veya $\mu \geq 7000$ 'dir. Kullanım sıcaklığı: $-40/105 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır. Elastomerik kauçuk köpüğü malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.7'de verilmiştir (İzocam, t.y).



Şekil 1.7: FEF malzemesinin uygulama örneği (İzocam, t.y).

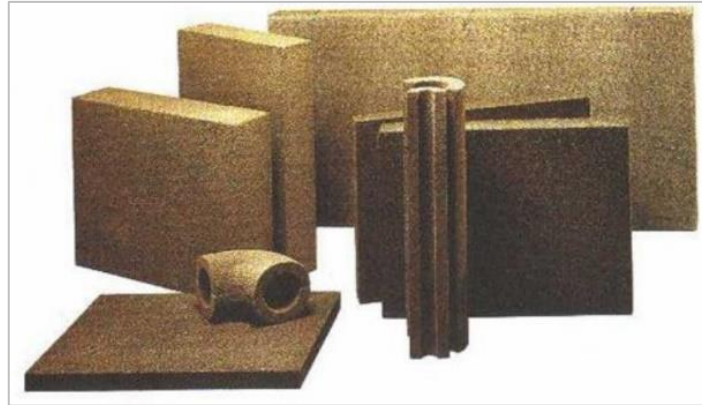
Fenol Köpüğü (PF): Fenol-Formaldehit bakalitine anorganik şişirici ve sertleştirici maddeler katılarak elde edilir. Muhtelif yoğunluklarda levha ve boru biçiminde alüminyum folyo, metal vb. kaplamalar ile donatılabilmektedir. Yangına tepki sınıfı kaplamasız B, duman gazı üretimi sınıfı s2, damlacık teşekkülü sınıfı d0, alüminyum folyo kaplamalı yangına tepki sınıfı C, duman gazı üretimi sınıfı s2, damlacık teşekkülü sınıfı d0 dır. TS 825'e göre ısıl iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0,030-0,045 \text{ W/(mK)}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı

$\mu=10-50$ dir. Kullanım sıcaklığı $-180/+120$ °C aralığındadır (İzoder, t.y.). Fenol köpüğü malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.8’de verilmiştir.



Şekil 1.8: PF malzemesinin uygulama örneği (İzocam, t.y.).

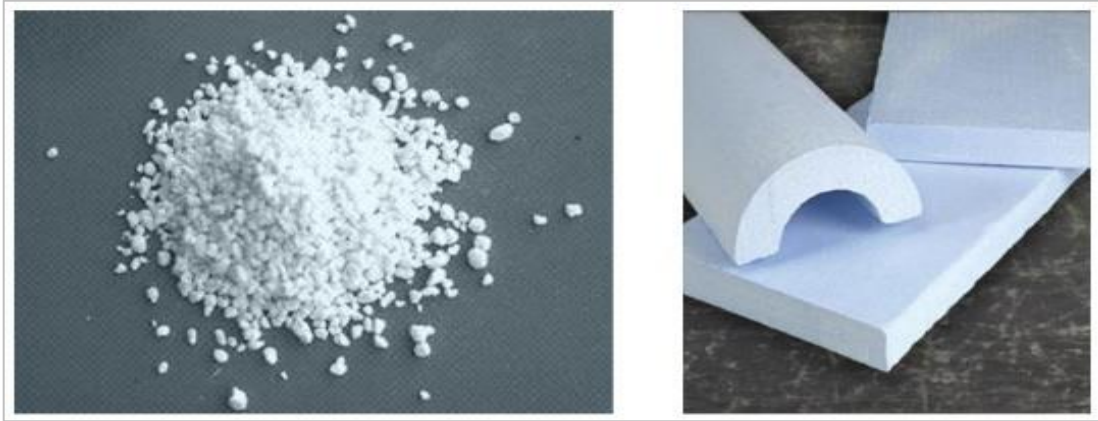
Cam Köpüğü: Atık cam kırıklarının dolgu malzemesi ile bileşiminden üretilmektedir. Bu bileşenler ısıtılıp ayrışması sonucunda genişerek istenen şekilde farklı yoğunluklarda (100 ila 150 kg/m^3) cam köpüğü üretilir. $0.045-0.060$ W/mK ısıl iletkenlik değerine sahiptir. $-260/+430$ °C arası istenen uygulamalarda kullanılabilir. $430-8800$ kPa basma dayanımı haizdir. Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu = \infty$ ’dur. Çürüme, küflenme oluşmaz. Yanma sınıfı olarak A tipi malzemedir. Cam köpüğü malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.9’da verilmiştir (İzoder, t.y.).



Şekil 1.9: Cam köpüğü malzemesinin uygulama örneği (İzoder, t.y.).

Genleştirilmiş Perlit (EP) ve Genleştirilmiş Perlit Levhası (EPB): Bünyesinde %2-4 oranında bağlı su bulunduran ve camsı bir kayadır. Perlitin en önemli özelliği ısıtılarak yumuşama sıcaklığına getirildiğinde orijinal hacminin 4-24 katına çıkabilmesidir. Perlit temel olarak silika ve alüminyum bileşimlerinden oluşmuş olsa da kolaylıkla nem absorbe

edebilen higroskopik katkılarda içerebilir. Ham perlitin kırılıp değişik ebatlardaki eleklerden geçirilerek tasnif edilmesinin ardından 800-1150 °C'ye kadar hızlı bir şekilde ısıtılarak bünyesindeki özsuyun buharlaşması ile patlaması sonucu granül halinde genişletilmiş perlit elde edilir. Levha veya granül olarak torbalara konularak kullanılabilir. A sınıfı yanmazdır. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0.045-0.065 \text{ W/(mK)}$ 'dir Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu=5$. Kullanım sıcaklığı -250/+1000 °C aralığındadır. Genleştirilmiş Perlit (EP) ve Genleştirilmiş Perlit Levhası (EPB) malzemesinin uygulama örneği Şekil 1.10'da verilmiştir (İzoder, t.y.).



Şekil 1.10: EP/EPB malzemesinin uygulama örneği (İzoder, t.y.).

Mantar Levhalar (ECB): Ağaçlardan soyulan mantar temizlenip prostesten geçirilerek granül haline getirilir. Granüller kurutma cihazında temizleme ve tıraşlama prosesinden elde edilen mantar tozlarının yakılması ile elde edilen kızgın buhara tabi tutulur. Belli bir kürlenme süresinin ardından testere ile talep edilen kalınlıklarda kesilerek değişik yoğunluklarda (80-500 kg/m³) mantar levhalar elde edilir. Yangına tepki sınıfı E sınıfıdır. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $\lambda = 0,045-0,055 \text{ W/(mK)}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu=5-10$ dur. Kullanım sıcaklığı -180/+100 °C aralığındadır (İzoder, t.y.). Mantar levha malzemesi uygulama örneği Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11: Mantar levha malzemesinin uygulama örneği (İzoder, t.y.).

1.3 Literatür Taraması

Bölgesel ısıtma sistemi, boru ısı kayıpları ve yalıtımla ilgili literatürdeki çalışmalar incelenirse;

Phetteplace, (1995). yaptığı çalışmada, duruma özgü parametre değerlerine dayalı bir uygulama için en uygun boru boyutlarını veren rasyonel bir tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, enerji fiyatlarının artması, mevsimsel enerji maliyetleri, sistem ömrü boyunca ısı kayıplarındaki artışlar, mevsimsel ısı talebindeki değişiklik, yük yönetimi stratejisi, ısı tüketicisinin etkisi vb. tüm önemli maliyetlerin dahil edilmesine olanak sağlar. Uygulamaya yönelik bir bölgesel ısıtma şebekesinin tasarımındaki ana kısıtlamaların her biri değerlendirilir ve dikkate alınır. Bu yöntemin, bir bölgesel ısıtma sisteminin borularının çoğunu boyutlandırmak için pratik olduğu düşünülmüştür.

Bøhm, B. (2000) yaptığı çalışmada, gömülü ısıtma borularından kaynaklanan kararlı durum ısı kaybını belirleme teorisi ve sabit su sıcaklıklarında düzensiz ısı kaybını ele alan önceki yaklaşımlar gözden geçirilmiştir. Düzensiz ısı kaybının kararlı durum ısı kaybı denklemleri kullanılarak hesaplanabileceği bozulmamış bir toprak sıcaklığı bulmak için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu sabit zemin sıcaklığının konumu sayısal simülasyon ve deneylerle bulunmuştur. Bu zemin sıcaklığının konumu, yalıtımsız borular veya kötü durumdaki yalıtımlı borularda, yalıtımlı borulara göre zemin yüzeyine daha yakın olduğu, ön yalıtımlı borular için bu konum yaklaşık olarak boru muhafazasının üst kısmında olduğu sonucu varılmıştır.

Bøhm, (2001) yaptığı çalışmada, yüzde ve mutlak ısı kayıpları arasındaki fark açıklanmıştır. Bölgesel ısıtma borularını çevreleyen zeminde ve boru sıvısında değişen sıcaklıklardan kaçınmak için iyi koşullardaki ısı iletimi problemi ele alınmış buna bağlı olarak birleşik ısı ve nem transferi göz ardı edilmiştir. Faaliyette olan bir bölgesel ısıtma sistemi incelenmiştir. Söz konusu sistemde zeminin ilk ısınması meydana gelmiş ve iklimin yıllık değişimine bağlı olarak zemin sıcaklıklarının az çok döngüsel davranışı olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan süperpozisyon modeline göre, sıcaklık alanı, sabit durumlu bir sıcaklık alanı ile iklim tarafından oluşturulan geçici bir sıcaklık alanıyla birleştirilmiştir. Karlstrup şehrinde yapılan deneyde 273/400 mm iletim hattı için bazı sonuçlar elde edilmiştir. İlk olarak, poliüretan sert köpük (PUR) yalıtımının termal iletkenliği Borgström yöntemiyle belirlenmiştir. Besleme borusu için $\lambda=0.0294$ W/(mK) ve dönüş borusu için $\lambda=0.0287$ W/(mK) hesaplanmıştır.

İkinci olarak ısı akış sensörleri, PUR termal iletkenliği için bulunan değerler ve boru yalıtımı boyunca sıcaklık farkı kullanılarak kalibre edilmiştir. Uygulanan üç farklı ısı akış sensör tipi için 1.3-1.5 aralığında düzeltme faktör değerleri elde edilmiştir. Borunun aslında yer yüzeyindeki değişken sıcaklık dağılımının yanı sıra yerdeki değişken sıcaklık alanı üzerinde de etkisi olacağı görülmüştür. Bölgesel ısıtma borusunun etkisi, diğer şeylerin yanı sıra boru yalıtımının ısıl direncine ve borunun derinliğine bağlı olacağı, bölgesel ısıtma borularından sürekli durum ısı kaybını hesaplamak için kullanılan denklemlerde, değişim göstermemiş bir zemin sıcaklığı seçilmesi gerektiği, iyi durumdaki ön izolasyonlu boru sistemleri için bu zemin sıcaklığının konumunun yaklaşık olarak boru muhafazasının tepesine karşılık geldiği görülmüştür.

Çomaklı, (2003) yaptığı çalışmada, bölgesel ısıtma sistemi kullanılan Atatürk Üniversitesi kampüsündeki boru dağıtım hatlarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Isı dağıtım şebekesi, çapları DN 65 mm ile DN 250 mm arasında değişen ve toplam uzunluğu yaklaşık 12 km olan boru ağına sahip olduğu, borulardaki ısı kayıpları, günlük ortalama dış sıcaklık değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Borularda ısı kayıplarının azalmasına etki eden etken faktör boru yalıtım malzemesi olduğu ve ortalama 8 cm kalınlığında yalıtım malzemesi kullanıldığı varsayılmıştır. Borularda 8 cm yalıtım kalınlığı yerine 20 cm yalıtım kalınlığı kullanılması durumunda ısı kayıplarında yaklaşık ortalama %25 civarında bir azalma olacağı tespit edilmiştir.

Sahin ve Kalyon, (2004) yaptıkları çalışmada, ışınlama ve taşınım ile ısı transferine maruz kalan dairesel bir boru için kritik yalıtım yarıçapı analitik olarak incelenmiştir. Dairesel borunun içinde yoğuşma veya buharlaşmanın, boru içindeki yığın akışkan sıcaklığının sabit kalacağı şekilde gerçekleştiği varsayılmıştır. Akışkan bir uçtan diğer uca taşınırken, uygulamaya bağlı olarak ısı transferinin artması veya azalması istenmiştir. Yalıtım kalınlığının değişimine göre ısı transfer oranının değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışma; radyatif ve konvektif ısı transfer ortamına maruz kalan dairesel boru için, belirli kısıtlamaların karşılanması koşuluyla, kritik bir yalıtım yarıçapı bulunabileceği, yalıtımın kritik yarıçapının konveksiyon veya radyasyon azaldığında artacağı, bu nedenle kritik yarıçapın varlığı hem taşınım hem de radyasyon parametrelerine bağlı olduğu, düşük taşınım ve radyasyon ısı transferleri için kritik yalıtım yarıçapı arttıkça, sadece yüksek konveksiyon veya radyasyon ısı transfer ortamlarında ısı transferini iyileştirmek için kritik yalıtım yarıçapının kullanılması uygun hale geldiği, maksimum ısı transferinin radyasyon ve

konveksiyon parametrelerinin bir fonksiyonu olduğu, ışıma ve taşınım parametreleri arttıkça maksimum ısı transferi de artacağı sonucuna varılmıştır.

Bøhm ve Kristjansson, (2005) yaptıkları çalışmada, ısı kaybının ve ısı kaybı katsayılarının nasıl hesaplanabileceği anlatılmıştır. İki akış borusu ve bir dönüş borusu üçlü boru sistemi kullanılmıştır. Farklı dağıtım boruları ve farklı servis boruları için ısı kayıpları açısından bir karşılaştırma yapılmıştır. Dağıtım borusu için, yumurta şeklindeki ikiz borunun bir çift tek boruya kıyasla ısı kaybını %37 ve yatırımları %12 oranında azaltabileceğini, servis boruları için, üçlü borunun ısı kaybını ortak bir çift tekli boruya kıyasla %45, dairesel ikiz borulara kıyasla %24 azaldığını, yatırım endeksindeki azalma ise %21 olarak hesaplamışlardır.

Badescu, (2006) yaptığı çalışmada, toprak ısı eşanjörünün termal davranışı, sayısal geçici iki boyutlu bir yaklaşımla modellenmiştir. Zemin yüzeyi sınır koşulu, hava ve toprak arasındaki konvektif enerji alışverişini, zemin yüzeyi tarafından emilen güneş radyasyonunu, zemin yüzeyindeki buharlaşmadan kaynaklanan gizli ısı akısını ve uzun dalga radyasyonunu dikkate alan bir enerji dengesi denklemi ile belirlenmiş, bu yaklaşım yüzeydeki ve çeşitli derinliklerdeki zemin sıcaklık profilinin hesaplanmasını sağlamıştır. Toprak ısı eşanjörü tarafından sağlanan enerji, derinlik, çap ve boru malzemesi gibi farklı tasarım parametrelerine önemli ölçüde bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Ben Jmaa Derbel ve Kanoun, (2010) yaptıkları çalışmada, Güney Akdeniz ikliminin bir örneğini temsil eden Sfax'ın (Tunus) bir banliyösünde 2006 yılında farklı derinliklerde zemin sıcaklığını kaydetmek için bir deney yapılmıştır. Toprağın sıcaklığı, toprağın özellikleri ve meteorolojik koşullar dikkate alınarak termal bir model kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar teorik öngörülerle karşılaştırılmıştır. Toprak özelliklerinin zemin sıcaklığı üzerindeki etkisini tahmin etmek için, farklı toprak termal iletkenlikleri test edilmiştir. Bir toprak boru sisteminin basitleştirilmiş bir modeli geliştirilmiştir. Kaydedilen yıllık ortam havası sıcaklığının ve çeşitli derinliklerde tahmin edilen toprak altı sıcaklığının değişimleri kaydedilmiştir. Bu rakama atıfta bulunarak, ortam hava sıcaklığı kışın yaklaşık 6 °C 'ye düştüğünde ve yazın 35 °C 'ye ulaştığında, tahmin edilen toprak altı sıcaklığının $z = 0.1$ m derinlik için 10 ila 32 °C, $z = 2$ m derinlik için 16 ila 26 °C ve $z = 4$ m derinlik için 19 ila 23 °C arasında değiştiğine dikkat edilmiştir. Bu, meteorolojik değişikliklerin etkisini azaltan toprağın termal kapasitesinden kaynaklandığı

sonucuna varılmış ayrıca akışkan boru derinliği, yarıçapı ve uzunluğunun topraktaki etkileri incelenmiştir.

Başoğul ve Keçebaş (2011) yaptıkları çalışmada Afyonkarahisar (Türkiye) ilinde bulunan jeotermal bölgesel ısıtma sistemi hatlarında kullanılan boruların optimal izolasyon kalınlıkları, enerji tasarrufları ve yatırım maliyetini karşılama süreleri dört farklı boru (50, 100, 150, 200 mm) boyutu için hesaplanmıştır. Bu çalışmada yaşam döngüsü maliyet analizine bağlı olarak (LCC) bir optimizasyon modeli gerçekleştirilmiştir. Yapılan alışma sonucu jeotermal bölgesel ısıtma boru hatlarında, 200 mm nominal boru boyutu için optimal izolasyon kalınlığı ve enerji tasarruf değerine ve en düşük yatırım maliyetini karşılama süresine ulaşılmıştır. Burada 50 mm yerine 200 mm nominal boru kullanılarak %300 civarında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Daha büyük boru boyutlarında optimum yalıtım kalınlıklarının birbirinin aynı veya çok yakın değerde olduğu, daha büyük tüm boru boyutları için aynı optimum kalınlığa sahip bir izolasyon malzemesi kullanabileceği, yüksek termal iletkenliğe sahip topraklar veya ıslak alanlarda borulardan ısı kaybını artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Keçebaş, vd., (2011) yaptıkları çalışmada, Afyonkarahisar ilindeki beş farklı boru boyutu ve dört farklı yakıt tipi için merkezi ısıtma boru hattı şebekelerinde kullanılan boruların optimal yalıtım kalınlıklarını, yatırım maliyetini karşılama süresini ve 10 yıllık bir ömür süresi için olası enerji tasarrufunu hesaplanmışlardır. Bu nedenle P1-P2 yöntemi ile Life Cycle Cost (LCC) analizine bağlı olarak bir optimizasyon modeli gerçekleştirilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve sıcak su akışı olan bir boru hattı sistemi (50-200 mm nominal boyutlar) düşünölmüştür. Sonuçlar, nominal boru boyutlarına ve yakıt türlerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 0.085 ile 0.228 m arasında, enerji tasarrufunun 10041 \$/m ile 175171 \$/m arasında ve geri ödeme sürelerinin 0.442 ile 0.808 yıl arasında değiştiğini göstermektedir. En yüksek enerji tasarrufu değerine fuel-oil yakıt türü için 250 mm nominal boru ölçüsünde ulaşılırken, en düşük değer jeotermal enerji için 50 mm'de elde edilmektedir. Ekonomik ve çevresel avantajları göz önüne alındığında, jeotermal enerji ve ardından doğal gaz daha iyi bir seçim sonucuna varılmıştır.

Keçebaş, (2012a) yaptığı çalışmada Türkiye'nin en soğuk ili olan Afyonkarahisar için kömür, doğal gaz ve fuel-oil gibi farklı yakıtların kullanılması durumunda ekserji yöntemi ve yaşam döngüsü maliyeti kavramı kullanılarak yalıtım kalınlığı optimize edilmiştir.

Eksergo ekonomik analiz kullanılarak boru yalıtım kalınlığının optimizasyonu için termo-ekonomik değerlendirme yapılmıştır. Bu analiz, ekserji ve yaşam döngüsü maliyet analizlerini kullanan termodinamiğin ve ekonominin (yani eksergoekonomi) ikinci yasasının bir kombinasyonudur. Ayrıca, bir duyarlılık analizi, yalıtım maliyeti, ekserji maliyeti, enflasyon oranı ve faiz oranı gibi ekonomik parametrelerin ve aşırı hava katsayısı, baca gazı sıcaklığı ve yanma odası parametreleri gibi yanma parametrelerinin optimum yalıtım ve ekserji tasarrufu üzerinde gözle görülür bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, fazla hava katsayısı 1.1, yakıt giriş sıcaklığı 10 °C, baca gazı 190 °C ve yanma odası 600 °C sıcaklık değerlerinde doğal gaz, kömür ve fuel-oil yakıtları için ekserjetik tasarrufta %68.27, %71.54 ve %77.85 oranlarında optimum yalıtım kalınlığının 0.065, 0.071, 0.099 m olarak belirlendiğini göstermiştir. Böylece hava kirleticilerinde yaklaşık aynı oranlarda azalma sağlanmıştır. Yakıtın giriş sıcaklığının artması ve fazla hava katsayısının, baca gazlarının ve yanma odasının sıcaklıklarının düşmesiyle optimum yalıtım kalınlığı azalır. Ayrıca, optimum yalıtım kalınlığı, toplam yıllık ekserji maliyeti, ekserji tasarrufu ve ısı transferine bağlı ekserji kayıpları, ısıtma derece-gün (HDD) değerlerinin artmasıyla artarken, dış hava sıcaklığının artmasıyla azalır (referans durum). Son olarak, eksergo ekonomik optimizasyon için optimum yalıtım kalınlığı, enerji ekonomik optimizasyondan daha yüksek olduğu değerlendirilmesini yapmıştır.

Ying ve Yufeng, (2012) yaptıkları çalışmada, Datong'daki bölgesel ısıtma sistemi bir durum çalışması olarak ele alınmıştır. Dilatancy teknolojisi (çoklu ısı değiştiricili sistem) ve bölgesel ısıtma sisteminin temel özellikleri diyagramlar şeklinde sunulmuştur. Bölgesel ısıtma sisteminde ısı değiştirme teknolojisinin temel avantajı, sıcaklık farkını arttırması, çapları ve birincil yan şebekenin ilk yatırımını azaltmasıdır. Dilatancy teknolojisi, ısıtma ortamının kapasitesini arttırmak için birincil yan-bölgesel ısıtma şebekesinin sıcaklık farkını 50 °C'den 70 °C'ye iyileştirdiği ve geleneksel sistemden performansının 0.4 kat daha yüksek olduğu, ısı kapasitesi, aynı hız ve çap koşulu altında geleneksel sistemden performansının 1.4 kat daha fazla olduğu, geleneksel ısıtma sistemi ısı yükünün gereksinimini karşılayamadığında, ısı borusu çapını arttırmadan ısı eşanjör istasyonlarına yüksek sıcaklık ısı pompaları monte edileceği sonucuna varılmıştır.

Li ve Svendsen, (2012) yaptıkları çalışmada, ağ optimizasyon prosedürünü ve ağ eşzamanlılık faktörünü dahil etmek için bir bölgesel ısıtma ağı tasarımı ve simülasyon kodu geliştirilmiştir. Simülasyon aracılığıyla, genel sistem enerji ve ekserji verimlilikleri

hesaplanmış ve bölgesel ısıtma sisteminin ana bileşenleri için ekserji kayıpları belirlenmiştir. Toplam şebeke enerji girdisi, bölgesel ısıtma tesisinden gelen ısı girdisi ve pompalama gücü girdisinin toplamı olduğu, toplam tüketici ısıtma talebinin toplam şebeke enerji girdisine oranı olarak tanımlanan sistem enerji verimliliği, ortam sıcaklığının düşmesiyle artacağı buna istinaden sistem enerji verimliliği, en soğuk mevsimden en sıcak mevsime (yaz koşulu) kadar düşük sıcaklık için %92.4 ile %70.4 ve orta sıcaklık için %90.2 ile %57.8 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Düşük ve orta sıcaklık için yıllık sistem enerji verimliliği sırasıyla %85.6 ve %79.2 olduğu, bağıl şebeke ısı kaybı, ortam sıcaklığı arttıkça artacağı ve bu da sistem enerji verimliliğinin tersi bir eğilim gösterdiği, sonuçlara dayanarak sistem enerji/ekserji kayıplarını daha da azaltmak ve tüketici ısı talebi ile bölgesel ısıtma arzı arasındaki kalite eşleşmesini iyileştirmek için önerilerde bulunulmuştur.

Kayfeci, (2013) yaptığı çalışmada, yaşam döngüsü maliyet analizi (LCCA) yöntemi kullanılarak, Isparta (Türkiye) ve farklı derece-gün değerlerine sahip illerdeki ısıtma sistemlerinin çeşitli boru çapları ve yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yıllık maliyet ve geri ödeme süresi tahmin edilmiştir. Çalışmada yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 0.048 ile 0.134 m arasında, enerji tasarrufunun ise 10.84 ile 49.78 \$/m arasında değiştiği; geri ödeme süresi ise 0.74 ile 1.29 yıl arasında değiştiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre anma çapı (DN) 250 mm olan EPS yalıtım malzemesi en yüksek enerji tasarrufunu sağlarken, en düşük değer DN 50 mm olan fiberglas yalıtım malzemesinde olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalar ve sonuçlar ışığında ısıtma sistemlerinde uygun boru çapının ve optimum kalınlıktaki yalıtım malzemesi seçiminin önemli ekonomik avantaj ve tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

Borinaga-Treviño, vd., (2013) yaptıkları çalışmada, kapalı devre jeotermal ısı eşanjörlerinin tasarımı için gerekli olan Termal Tepki Testi (TRT), aynı jeolojik ve geometrik özelliklere sahip 4 farklı sondaj deliğinde farklı derz dolgu malzemesi kullanılarak yapılmış bunun sonucu olarak zeminin ısı iletkenliği ve sondaj deliği ısı direnci üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Farklı derz dolgu malzemeleri içeren 3 farklı sondaj deliği için zeminin görünür ısı iletkenliği tahmin edilmiştir. 3 farklı sondaj deliğindeki Termal Tepki Testi, ortalama 2.28 W/(mK) termal iletkenlik değeri ve 0.05 W/(mK) standart sapma göstermiştir. İkinci Termal Tepki Testinin başlamasından hemen sonra meydana gelen bir yağmur fırtınasından kaynaklanan termal iletkenlik tahmininde %9'luk bir artış göstermiş, yağmur

yüze yakın zeminin su içeriğini etkiledi ve su filtrasyonunun zeminin termal iletimini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Baldvinsson ve Nakata, (2015) yaptıkları çalışmada, düşük sıcaklıklı bir bölgesel ısıtma sisteminin tasarımı ve işletimi için yüksek mekânsal çözünürlüğe dayalı bir yöntem sunmuş ve durum karşılaştırması yoluyla fizibilitesini, enerji ve ekserji performansını değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak Kuzey Japonya'daki bölge tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında talep tarafı, dağıtım tarafı ve biyokütle CHP (birleşik ısı ve güç) tesisinin ana tedarik kaynağı olarak seçildiği tedarik tarafı dikkate alınmıştır. Bina sıcaklık ihtiyacını karşılamak için yerden ısıtma sistemi modeli kullanılmıştır. Sonuçlar, Kuzey Japonya'daki konut dışı binalar için yüksek yüklerde düşük sıcaklıkta ısıtmanın mümkün olmadığını, bina yalıtımının iyileştirilmesi ısıtma kalitesi talebini önemli ölçüde azalttığını, bununla birlikte düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtmanın özellikle ekserji verimliliği açısından orta sıcaklıktan daha iyi performans gösterdiğini ancak kurulum ve işletme maliyeti arasındaki maliyet dengesini gösteren büyük boru çapı gerektirdiği kanısına varmışlardır.

Xamán, vd., (2015) yaptıkları çalışmada, Meksika'daki üç şehirde bir topraktan havaya ısı eşanjörünün (EAHE) sözde geçici termal davranışının sayısal bir çalışmasını sunmuşlardır. İklim koşulları, zor hava (Juarez City, Chihuahua), ılıman hava (Mexico City, D.F.) ve sıcak hava (Merida, Yucatan) için yazın en sıcak gününe ve kışın en soğuk gününe karşılık gelmektedir. EAHE simülasyonları sonlu hacim yöntemine dayalı bir kurum içi kod kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Saatlik simülasyonlar bir gün boyunca dört Reynolds sayısı (100, 500, 1000, 1500) için gerçekleştirilmiştir. EAHE tarafından sağlanan maksimum soğutma potansiyeli Juarez, Merida ve Mexico City'de sırasıyla 17.4, 10.2 ve 10 °C olmuştur. EAHE, Ju'arez, Merida ve Meksiko City'de sırasıyla 6.3, 12.5 ve 3.2 °C'lik bir maksimum ısıtma potansiyeli sağlamıştır. Bu soğutma ve ısıtma etkileri, bu tür iklimlerde bulunan binaların içindeki termal konforu artırabilir sonucuna varılmıştır.

Lim, vd., (2015) yaptıkları çalışmada, karmaşık bir enerji ağı sistemindeki ısı akışını ve sıcaklık değişimini tahmin etmek için Matlab'da Simulink kullanılarak geliştirilen sayısal bir model sunmaktadır. Çalışma, ısı pompalarının aralıklı çalışmasını ve gece boyunca ısı transferi için geliştirilen boru için bir termal rutini tartışmaktadır. Isı pompası tarafından sağlanan toplam enerji borulara ve binalara bölünmüş, boru kaybı toplam enerji tüketiminin %10'unu oluşturduğu ve her binadaki kayıp, yapının büyüklüğüyle doğru orantılı olduğu

sonucuna varılmıştır. Yazılım, deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmış ve makale, sistem bileşenlerinin sıcaklık değişimlerinin ve enerji akış özelliklerinin ayrıntılı bir analizini sunmuştur.

Başoğul, vd., (2016) yaptıkları çalışmada, boru yalıtımının ekonomik ve çevresel etkileri açısından en yaygın ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Böylece boruların optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde yaşam döngüsü değerlendirme analizi ile ilgili yeni bir yöntem denemişlerdir. Ayrıca, çeşitli boru yalıtım kalınlıkları için gerçekleştirilen optimum yalıtım kalınlığını belirleyen enerji, maliyet veya çevresel kriterler kullanılarak yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ve yaşam döngüsü değerlendirmesini (LCA) yöntemlerinin sonuçları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesini (LCA) dikkate alan çevresel optimizasyon kriterinden elde edilen yalıtım kalınlıklarının, yalnızca yalıtım malzemelerini, yakıtları ve borunun nominal boru boyutlarını dikkate alan ekonomik kriter optimizasyon yönteminden (LCC) elde edilenlerden çok daha yüksek olduğu görülmüştür. LCA analizini kullanarak optimum yalıtım kalınlığını, toplam çevresel etkiyi ve net tasarrufu analitik olarak hesaplamak mümkündür, ancak LCC analizinin en önemli avantajı, karmaşık problemleri kolay ve hızlı bir şekilde modelleme yeteneğidir. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde LCC analizinden yararlanır; ancak, çevresel etkinin azaltılması için LCC analizi LCA analizi ile desteklenmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Berge, vd., (2016) yaptıkları çalışmada İsveç'in güneybatı kıyısındaki bir şehir olan Varberg'deki bir bölgesel ısıtma ağına bağlı iki bölgesel ısıtma borusu üzerindeki ölçümleri sunmaktadır. Her iki boru da DN 2*80/250 ve DN 2*25/140 boyutlarında ikiz borulardır. Her iki boruda da besleme borusu bir vakum yalıtım paneli ile kaplanmış ve muhafaza borusunun geri kalanı poliüretan köpük yalıtım ile doldurulmuştur. Ayrıca söz konusu çalışma vakum yalıtım panellerinin durumunu değerlendirmek için bir yöntemin geliştirilmesini de kapsamaktadır. Ölçümler sonucu sadece poliüretan köpüklü borunun referans kısmındaki aynı konumla karşılaştırıldığında, vakum panellerinin dış tarafındaki sıcaklıkta net bir fark olduğunu görülmüş ve vakum panellerinin besleme borusundan ısı akışını azaltma amaçlı etkisine sahip olduğunu sonucuna varılmıştır.

Köfinger, vd., (2016) yaptıkları çalışmada Avusturya'daki dört temsili durum çalışması kullanılarak düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma şebekeleri için ekonomik ve ekolojik olarak

optimize edilmiş konseptlerin geliştirilmesi anlatılmaktadır. Bu tesisler Aktivpark Güssing, Seestadt Aspern, Winkelweg Siedlung ve Hummel-Kaserne'dir. Dört durum çalışması, farklı arz-talep bağlantı şemalarını inceleme ve sonuç olarak tüketim ve üretim ayarları ve ilgili kontrol stratejileri gibi yerel çerçeve koşullarını dikkate alarak optimize edilmiş senaryolar üretme imkânı sunmuştur. Senaryo analizi hem ekonomik hem de ekolojik konular dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarının mevcudiyetinin ve ekonomik koşullarının LTDH ağlarını kolaylaştırmak için kilit bir faktör olduğunu göstermiş ve kırsal alanlarda, daha düşük şebeke sıcaklıkları nedeniyle daha düşük ısı kayıpları LTDH şebeke performansı için faydalı olduğu tespit edilmiştir.

Jie, vd., (2016) yaptıkları çalışmada, İşletme stratejilerine dayalı olarak bir bölgesel ısıtma (DH) boru şebekesinin birim uzunluk başına optimum basınç düşüşünü (PDPUL) ve minimum yıllık maliyetini (MAC) belirlemek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Çin'in Hebei Eyaletindeki bir DH sistemi üzerinde dört farklı işletme stratejisi kullanılarak bir durum çalışması yapılmıştır. Çalışmada, pompa genel verimliliği, elektrik fiyatı, ısı fiyatı ve faiz oranının DH boru şebekesinin optimal PDPUL ve MAC üzerindeki etkilerini incelemek için bir duyarlılık analizi yöntemi kullanılmıştır. Duyarlılık analizine göre, pompanın genel verimliliğinin ve elektrik fiyatının, DH boru şebekesinin optimum PDPUL ve MAC'si üzerinde büyük bir etkisi olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni, pompalama maliyetinin DH boru şebekesinin yıllık maliyetinin en büyük bölümünü oluşturmasıdır. Elektrik fiyatı %10 değiştiğinde, DH boru şebekesinin MAC'i %3.47 oranında değişmiştir. Öte yandan, pompanın genel verimliliği %10 değiştiğinde, DH boru ağının MAC'si %3.62 oranında değişmiştir. Bu nedenle, pompanın genel verimliliğini artırarak büyük ekonomik fayda elde edilmiştir. Pompanın genel verimliliği %60'tan %90'a yükseldiğinde, dört çalışma stratejisi için DH boru ağının MAC'si sırasıyla %12.71, %19.95, %12.70 ve %19.95 oranında azaltılmıştır. Sonuçlar, matematiksel modelin DH boru ağının optimum PDPUL ve MAC'ini belirlemek için kullanılabileceğini göstermiştir. DH boru ağının MAC'si, değişken kütle akış hızı (VMFR) işletim stratejileri için sabit kütle akış hızı (CMFR) işletim stratejilerine göre daha düşük bulunmuştur. Birincil taraftaki tasarım besleme sıcaklığının düşürülmesi, optimum PDPUL değerinde bir azalmaya neden olmuştur. Ancak MAC, sıcaklıktaki düşüşle birlikte artmıştır. Pompanın genel verimliliği, tüm parametreler arasında optimum PDPUL ve DH boru ağının MAC'si üzerinde en büyük etkiye sahip olmuştur.

Danielewicz, vd., (2016) yaptıkları çalışmada, yeraltı ısıtma şebekesi boru hatlarının enerji kayıplarını belirlemek ve geçici çalışma koşullarında etraflarındaki sıcaklık dağılımını ölçmek için yenilikçi bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan yöntem, sayısal modellerden ve gerçek nesnelere ölçülen verilerinden yararlanılmıştır. Kullanılan boru hatlarının boyutları 6 m genişliğinde, 8 m yüksekliğinde ve 1 m derinliğinde olup, zeminde sıfır ısı akışı koşulları altında, hesaplanan alanın kenarlarına dik yönde ve zeminin termal iletkenliğinin etkileri dikkate alınarak simüle edilmiştir. Ağ, gelişmiş fonksiyonlar kullanılarak geliştirilmiş, bu da ortalama 0.99 ortogonal kalite (1.00'e yakın) ve 0.05 Çarpıklık (0.00 ile 0.25 arasında) ile yüksek kaliteye neden olmuştur. Simülasyon modelinin daha iyi doğruluğunu elde etmek için başlangıç koşulları, tek bir andaki kararlı durum koşullarında ısı kayıplarının üç boyutlu analizinin sayısal sonuçlarına göre belirlenmiştir. Doğrulama süreci, zemin sıcaklıkları arasındaki farklar yaklaşık 0.1°C olduğu için modelin doğru tasarlandığı sonucuna varılmıştır.

Zhang, vd., (2017) yaptıkları çalışmada, doğrudan gömülü bölgesel ısıtma boru hattı şebekelerinde optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (LCCA) yöntemine bağlı olarak MATLAB yazılımı ile Xi'an / Çin şehrinde çeşitli boru çapları, yakıt türleri ve toprak derinliği için hesaplanmıştır. Sonuçlar, optimal izolasyon kalınlığının 0.060 ila 0.121 metre, enerji tasarruflarının 36395 \$/m ila 194682 \$/m ve geri ödeme sürelerinin 0.445 ila 1.691 yıl olarak değiştiği hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanıldığında ve toprak derinliği 1 m olduğunda, en yüksek enerji tasarrufu değerine fuel-oil yakıt türü için 500 mm nominal boru boyutunda ulaşıırken, en düşük değer jeotermal enerji için 100 mm'de elde edilmektedir. Bu nedenle, farklı boru çapları ve yakıt türleri için optimum kalınlık seçimi özellikle ekonomik ve çevresel avantajlar açısından hayati önem taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Fazlikhani, vd., (2017) yaptıkları çalışmada, İran'daki Yazd şehri örnek alınarak kurak ve sıcak, Hemedan şehri örnek alınarak soğuk iklimlerde topraktan-havaya ısı eşanjör (EAHE) sistemlerinin verimliliğini incelemek ve karşılaştırmak üzere giriş havası sıcaklıkları, boru uzunlukları ve zemin sıcaklıkları dahil olmak üzere çeşitli parametrelerin her iki iklimde de ısıtma ve soğutma potansiyeli üzerindeki etkisini değerlendirmek için kararlı bir durum modeli geliştirilmiştir. Bu modeli geliştirmek için, çeşitli derinliklerdeki toprak sıcaklığı hesaplanarak borular için en uygun derinlik belirlenmiştir. Daha sonra, EAHE sisteminin matematiksel modeli tasarlanmıştır. EAHE'nin, boru içinde akan hava ile borunun iç yüzeyi

arasındaki konveksiyon ısı transferi, borunun iç ve dış yüzeyi arasındaki iletim ısı transferi ve borunun dış yüzeyi ile toprak arasındaki iletim ısı transferi olmak üzere üç birleşik ısı transferi süreci modellenmiştir. Ayrıca iki şehir için sinoptik istasyonlardan toplanan saatlik hava durumu bilgileri, boru çıkış havası sıcaklığını elde etmek için uygulanmış, hem sıcak kuru hem de soğuk iklimler için boru boyunca hava ve toprak arasındaki ısı transferi miktarı bulmak için kullanılmıştır. Her iki iklimdeki iki şehirde de, daha büyük derinlikler daha düşük sıcaklık değişimlerine, daha düşük maksimum toprak sıcaklıklarına ve bu değerler yıllık ortalamaya yaklaştıkça daha yüksek minimum toprak sıcaklıklarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlarda toprak sıcaklığının genliği derinlikle birlikte azaldığı, 1.0, 3.0 ve 5.0 metre derinliklerde toprak sıcaklığının genliğinin Yezd'de sırasıyla 10.2, 5.7 ve 3.2 °C ve Hamadan'da 8.8, 4.9 ve 2.7 °C ölçülmüştür. Bu parametrenin Yezd'de 14 m ve Hamadan'da 13.2 m derinlikte sifıra yaklaştığı tespit edilmiştir. Bu derinliklerde toprak sıcaklığı Yezd'de 18.2 °C ve Hamadan'da 12.1 °C sabit değerlere ulaştığı hesaplanmıştır. Yezd'de 1 m derinlikteki maksimum ve minimum sıcaklıklar sırasıyla 28.4 °C ve 7.6 °C ancak 4 m derinlikte bu değerler sırasıyla 21.2 °C ve 14.8 °C olduğu tespit edilmiştir. Hamadan şehri içinde 4 m derinlik artışının minimum sıcaklığı arttırdığı ve maksimum sıcaklığı 7.4 °C düşürdüğü tespit edilmiştir.

Wang, vd., (2017) yaptıkları çalışmada, borulara yapılan ilk yatırımı ve ısı dağıtım maliyetlerini dikkate alarak tasarımı kolaylaştırmak için yeni bir optimizasyon modeli geliştirmektedir. Model, şebekenin akış yönündeki her boru için farklı çap serilerinden oluşan tüm olası şebeke senaryolarını üretmektedir. Daha sonra malzeme fiyatları ve yıllık işletme süresi seviyelerindeki belirsizlikler dikkate alınarak her bir şebeke senaryosu için ilk yatırım, ısı dağıtım maliyeti ve toplam yıllık maliyet hesaplanmıştır. Saatlik ölçülen verilerle genel bir ağdaki boruların yerinde ısı kaybı durumunu tahmin etmek için bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Bunu çözmek için özel bir Genetik Algoritma (GA) da kullanılmıştır. Gerçek bir bölgesel ısıtma sisteminin çalışmasında, 24 saat boyunca boruların yerinde ısı kayıpları, saatlik ölçülen verilerle önerilen model tarafından tahmin edilmiştir. Isı kaybı profillerini göstermek için iki çift besleme/dönüş borusu seçilmiştir. Bir çift besleme/dönüş borusunun ısı kayıpları sırasıyla 23.95-23.41 (W/m) ve 16.08-16.96 (W/m)'dir. Başka bir çift besleme/dönüş borusunun ısı kayıpları ise sırasıyla 24.73-25.17 (W/m) ve 17.21-18.61 (W/m) hesaplanmıştır. Dönüş borusunun ısı kaybı profili, besleme borusununkinden daha düşük ve daha dalgalı olduğu görülmüştür. Model örnek bir bölgesel ısıtma şebekesine uygulanmış ve sonuçlar modelin oldukça iyi çalıştığını, optimum şebeke tasarımını net bir

şekilde belirlediğini ve ısı dağıtım maliyetinin bölgesel ısıtma şebeke tasarımında ilk yatırımdan daha önemli olduğunu göstermiştir.

Van der Heijde, vd., (2017) yaptıkları çalışmada, çift borulardaki kararlı durum ısı kayıpları için yapılan matematiksel türetmeleri ve varsayımları ayrıntılı olarak sunmaktadır. Modelin parametre analizi, ısı kaybında kütle akış hızından etkisinin çok az olduğunu, etkisinin boruların uzunluğunun ve çapının dahil edilmesiyle ulaşılacağına, düşük değerlerdeki kütle akış hızının ısı kayıpları üzerindeki etkisinin artan boru çaplarıyla birlikte daha da azalacağı tespit edilmiştir. Ayrıca, sıcaklık seviyelerinin ve boru boyutlarının besleme borusundan dönüş borusuna olan ısı kayıplarının önemi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Belirli boru boyutları için çapın çok az etkisi olduğu, ancak sıcaklıkların önemli bir faktör olduğu sonucuna varılmıştır. Kalan ısı kaybı hesaplaması, boru boyutları ve malzemeleri tarafından belirlenen sıcaklık seviyelerine ve termal direnç faktörlerine dayanmıştır. Ayrıca, ortak yalıtımlı ikiz boruların artan sonuçların daha doğru olması için besleme ve dönüş tarafındaki ısı kayıplarının da analize dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Averfalk ve Werner, (2018) yaptıkları çalışmada, gelecekteki piyasa koşullarında uygulanabilirliği artırmak için yeni konut binalarında daha düşük yıllık ortalama dönüş sıcaklıklarına ulaşmak için gerekli teknik iyileştirmeler için bir öneri sunmayı amaçlamışlardır. Önerilen teknik çözüm; üç borulu dağıtım şebekeleri, apartman dağıtım merkezleri ve ısı eşanjörleri için daha uzun termal uzunluklar olmak üzere üç temel değişiklikten oluşmaktadır. Bu üç teknik değişiklik, sisteme gömülü sıcaklık hatalarını ele almayı amaçlamaktadır. Ayrıca, binaların farklı enerji performansları ve ısı eşanjörlerindeki farklı termal uzunluklara ilişkin önerilen teknik çözümü değerlendirmek için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Sonuçlar, üç teknik değişikliğin uygulanmasının, yaklaşık 50 °C 'lik besleme sıcaklıkları ile 17-21 °C 'lik zaman ağırlıklı yıllık ortalama dönüş sıcaklıklarına ulaştığını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca, binalardaki enerji performansı arttıkça, konut dağıtım merkezlerinde şebeke dönüş akışlarını dağıtım ve devridaim akışlarına ayırma ihtiyacının arttığını doğrulamaktadır.

Pratiwi, vd., (2018) yaptıkları çalışmada, Yukarı Ren Vadisi'nde geliştirilen bir EGS (Gelişmiş Jeotermal Sistem) projesi olan Fransa'daki Rittershoffen jeotermal santralinin sera gazı (GHG) emisyonları analiz edilmiş ve ölçülmüştür. Bu çalışmada, Illkirch Graffenstaden'de (Strazburg) yapılacak olan EGS için benzer bir analiz de sunulmuştur.

Yaşam döngüsü envanteri gerçek bir projeye dayalı olarak oluşturulur. LCA'ya (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) uygun olarak bir ısı santrali, enerji santralleri ve kojenerasyon tesislerinden oluşan beş farklı senaryo geliştirilmiştir. Her bir fazın ve malzeme türünün sera gazı emisyonlarına katkısı, sıcak nokta analizi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada, sera gazı emisyonlarının potansiyel olarak azaltılmasına yönelik sahaya özgü bazı yaklaşımlar da değerlendirilmiştir.

Claesson ve Javed, (2018) yaptıkları çalışmada, simetrik borulu tek U-borulu toprak ısı eşanjörlerinin sondaj deliği ısıl direncini hesaplamak için yeni ikinci dereceden ve daha yüksek dereceden çok kutuplu formüllerin türetilmesi ve çözümleri sunulmuştur. Hem ikinci dereceden hem de üçüncü dereceden çok kutuplu formüller, sıfırıncı dereceden ve birinci dereceden çok kutuplu formüllere kıyasla doğrulukta önemli gelişmeler sunmuştur. İkinci ve üçüncü dereceden çok kutuplu formüller kullanılarak hesaplanan termal dirençler, orijinal onuncu dereceden çok kutuplu yöntemin sırasıyla %1 ve %0.2'si dahilindedir. Üçüncü dereceden çok kutuplu formül en yüksek doğruluğu sağlamasına rağmen, basitliği nedeniyle pratik kullanım için ikinci dereceden formül önerilmiştir.

Yang ve Svendsen, (2018) yaptıkları çalışmada, Danimarka'daki bir ultra düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma (ULTDH) sisteminin gerçek performansı uzun vadeli ölçümlere dayalı olarak incelenmiştir. Sistem, merkezi ısı pompası ve yerel güçlendiricileri bir araya getirirken, bu konfigürasyonun genel sistem performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Örnek sistemin enerji, ekserji ve ekonomi performansları orta sıcaklık bölgesel ısıtma sistemi (MTDH) ve düşük sıcaklık bölgesel ısıtma sistemi (LTDH) ile karşılaştırılmıştır. Yılın büyük bölümünde 47 °C civarındaki besleme sıcaklığı ile ısı talebini karşılamak mümkün olduğu yerel hidroforun elektrik tüketimi, tüm farklı enerji kaynakları arasında yalnızca %4'lük bir paya sahip olduğu, düşük ısı yoğunluklu alan için dağıtım kayıplarının daha önemli olduğu, ULTDH sisteminin ısı dağıtım verimliliği farklı aylara göre %45 ile %75 arasında değiştiği, kullanma sıcak suyu hazırlamak için kullanılan enerji tüketimi ısı talebini karşılamak için kullanılan toplam enerji tüketiminin %5 ile 13'ünü oluşturduğu, ULTDH sisteminin maksimum ekserji verimliliği, en soğuk ayda %34 ile zirveye ulaşan dağıtım verimliliği ile benzer bir şekilde değiştiği, Hem ULTDH sistemi hem de LTDH (55/25 °C) sistemi, MTDH (70/40 °C sistemi) ile karşılaştırıldığında daha iyi dağıtım verimliliği gösterdiği, ekserji analizlerine göre, LTDH sistemi diğer iki senaryodan daha yüksek ekserji verimliliği gösterdiği, ULTDH şebekesi yenilenebilir enerji kaynaklarından

üretileen ısınnın marjinal maliyetinin ucuz olması nedeniyle iyi bir ekonomi gösterdiği ayrıca daha düşük dağıtım kayıpları toplam ısı yükünün azaltılmasına yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçlar, ek ısıtmasız LTDH sisteminin en yüksek enerji ve ekserji verimliliğine sahip olduğunu göstermiş, ULTDH sistemi, dağıtım ısı kaybından önemli ölçüde tasarruf sağlaması nedeniyle enerji, ekserji ve ekonomi açısından MTDH sistemine kıyasla daha iyi performansa sahip olduğu hesaplanmıştır.

Wang, vd., (2018) yaptıkları çalışmada, ısı kaynaklarının ve dağıtım merkezlerinin saatlik ölçümleri ile genel bir boru ağının yerinde ısı kayıplarını tahmin etmek için yeni bir model önerilmiştir. Önerilen model ile her bir boru boyunca ayrıntılı bir ısı kaybı profili elde edilmiş ve bu da hasarlı yalıtımın yerinin doğruluğunu önemli ölçüde artırabileceği öngörülmüştür. Gömülü boruların termal bozulması da uygun bir şekilde değerlendirilebileceği varsayılmıştır. Durum çalışmasında, önerilen modeli doğrulamak için 3 ısı kaynağı ve 34 dağıtım merkezine sahip gerçek bir bölgesel ısıtma sistemi analiz edilmiştir. Tüm boruların 24 saat boyunca yerinde ısı kayıpları saatlik ölçülen verilerden hesaplanmıştır. Sonuçlar, bir dönüş borusunun ısı kaybı profilinin, ilgili besleme borusununkinden daha düşük ve daha değişken olduğunu göstermiştir. Seçilen boruların ısı kayıpları referans değerlerden yaklaşık %3.51-8.32 daha yüksek olduğu, bu da seçilen boruların yalıtımının hafifçe eskidiğini veya çevredeki toprak tarafından korozyona uğradığını göstermiştir.

Ghaith ve Ur Razzaq, (2018) yaptıkları çalışmada, toprak havalı ısı eşanjörünün (EAHE) entegre geleneksel hava soğutma sisteminin enerji ve çevresel yönleri incelenmiştir. Önerilen tasarım TRNSYS yazılımında simüle edilmiş ve sistem bileşenleri, çeşitli tasarım parametrelerini değiştirmenin sistemin performansı üzerindeki etkisi değerlendirilerek optimize edilmiştir. Toprak borularının optimize edilmiş tasarımında, borular zemin yüzeyinin 4 metre altına gömüldüğünde optimize edilen sistemin en sıcak günde çalıştırıldığında %87.4'lük bir termal verimlilik elde edildiği ve ortam havasının sıcaklığını ortam havasının sıcaklığını 46 °C'den yaklaşık 29 °C'ye düşürebileceği bulunmuştur. Ayrıca, optimize edilmiş EAHE sisteminin geleneksel iklimlendirme sistemi ile entegre edilmesinin etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Önerilen sistemin Yıllık Enerji Tüketiminde (YET) önemli tasarruflar sağladığı ve uygulama için ekonomik olarak uygun olduğu görülmüştür.

Alsagri, vd., (2019) yaptıkları çalışmada, bölgesel ısıtma boru hattının dağıtım ve servis bölümleri için üçlü boruların (iletim bölümünün iki dağıtım borusu ve bir dönüş borusu) kullanılması incelenmiştir. Bu amaçla, farklı yük ve boyutlarda sıcaklık düşüşü ve ısı kaybı oranlarının tahmini için kesin korelasyonlar geliştirmek üzere ikili borular ve üçlü borular sayısal olarak modellenmiştir. Gerekli korelasyonlar elde edildikten sonra, geleneksel bölgesel ısıtma sistem şemasının termodinamik modeli ve modifiye edilmiş versiyonu geliştirilmiş ve sistemler incelenerek analiz edilmiştir. Analizler, üç örnek gün için (sıcak, orta ve soğuk), sistemin toplam günlük ısı kayıplarının sırasıyla 710.3, 899.4 ve 1126.1 kWh iken 260.4, 357.0 ve 464.2 kWh'ye düşürülebileceğini göstermiştir. Ayrıca, analizler modifiye sistemin daha küçük ısı depolama ünitelerine izin verdiğini ve bunun da daha düşük sistem maliyeti anlamına geldiğini, değiştirilmiş sistemin servis ve iletim boruları üzerindeki ısı kayıpları oranı açısından geleneksel sistemden daha iyi performans göstermiştir.

Terhan, (2019) çalışmasında Kars ilinde konumlanmış Karayolları 18. Bölge Müdürlüğü kampüsündeki 4. jenerasyon düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma sisteminin ısı hatlarının enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Isıtma gidiş ve dönüş suyu hatları ile sıcak su ve sirkülasyon hatlarının geçtiği ısı kanallarından meydana gelen ısı kayıpları araştırılmış, enerji ve ekserji açısından değerlendirilmiştir. Bölgesel ısıtma sisteminin ortalama yıllık yakıt tüketimi 809793.50 m³ olduğunu, sisteme giren yıllık yakıt ekserjisinin 28598.6 MW olarak hesaplanmıştır. Isı kanalları içerisindeki ısıtma gidiş ve dönüş boruları, sıcak su ve sirkülasyon borularından olan ısı kaybı toplam değeri 46.47 kW, ısıtma gidiş ve dönüş borularından olan enerji ve ekserji kayıp oranları sırasıyla %3.68 ve %3.08 olarak bulunmuştur. Sıcak su ve sirkülasyon borularından olan enerji ve ekserji kaybı da %1.83 ve %1.44 olarak hesaplanmıştır. Isı hatlarındaki borulardan kaynaklanan ekserji kayıp değeri ve oranı sırasıyla 41.55 kW ve 4.52% olduğunu ve bu oranın 3.08%'lik kısmı ısıtma tesisatı gidiş ve dönüş borularından meydana geldiğini değerlendirmiştir.

İlhan, (2019) yaptığı çalışmada, yeraltı ve üstü olmak üzere iki farklı bölgesel ısıtma borulama sistemi için farklı nominal boru çaplarına en uygun izolasyon kalınlığını hesaplayarak ekonomik ve çevresel etkilerini değerlendirmiştir. Hesaplamalarda beş farklı derece-gün bölgesinde bulunan İzmir, Kayseri, Ankara, Erzurum ve Balıkesir şehirleri seçilmiştir. Yakıt türü olarak doğalgaz, kömür ve fuel-oil, izolasyon malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü tercih edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde en uygun izolasyon kalınlığının yer üstü borulama sistemi için 4.3 ila 24.5 cm arasında, yeraltı

borulama sistemi için ise 4 ila 22.2 cm arasında değiştiği hesaplanmıştır. En düşük ve optimal izolasyon kalınlığı doğalgaz yakıtı ve XPS yalıtım malzemesi kullanımı durumunda oluşmuştur. Ancak fuel-oil yakıtı ve EPS izolasyon malzemesi kullanılması durumunda en fazla enerji tasarrufu sağlandığı hesaplanmıştır.

Volkova, vd., (2019) yaptıkları çalışmada, Kopli'nin (Tallinn, Estonya) yeni gelişmekte olan şehir yerleşimi için alternatif ısı temini senaryolarının bir analizini sunmaktadır. Senaryolar ekonomik ve çevresel açılarından analiz edilmiştir: senaryo A-mevcut bölgesel ısıtmaya ağına bağlantı (besleme/dönüş sıcaklıkları 95/55 °C, gaz yakıtlı kazan dairesi); senaryo B-küçük yerel bölgesel ısıtmaya ağına (80/40 °C, küçük gaz yakıtlı kazan dairesi); senaryo C-küçük yerel düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma ağına (60/35 °C, küçük gaz yakıtlı kazan dairesi, ısı kaynağı olarak deniz suyu kullanan entegre büyük ölçekli ısı pompası). Çalışmanın sonuçları, tüketilen 1 MWh ısı başına birincil enerji tüketiminin A senaryosu için 1.33 MWh, B senaryosu için 1.15 MWh ve C senaryosu için 0.71 MWh olduğunu göstermiştir.

Fu, vd., (2019) yaptıkları çalışmada, doğrudan gömülü bitişik ısıtma borularının döşeme ve montaj parametrelerinin optimum kombinasyonu araştırılmıştır. Amaç fonksiyonu yaşam döngüsü maliyet analizi (LCCA) yöntemi ile elde edilmiş ve MATLAB yazılımının Genetik Algoritma yöntemi ile çözülmüştür. Sonuçlar, nominal boru çapının artmasıyla optimum gömme derinliğinin önce arttığını ve sonra azaldığını, optimum yalıtım kalınlığı genellikle boru nominal çapının artmasıyla azaldığı, bu durumun daha küçük boyutlu ısıtma boruları için daha küçük gömülü derinlik ve daha büyük yalıtım kalınlığının benimsenmesi gerektiğini göstermiştir. Daha büyük boyutlu ısıtma boruları için daha büyük gömülü derinlik ve daha küçük yalıtım kalınlığı seçilmesi gerektiği ayrıca boru boşluğu, boru çapına karşılık gelen minimum değerde olması sonucuna ulaşılmıştır.

Taşdemir, (2019) yaptığı çalışmada, çelik boruların farklı çapları için yalıtım kalınlığı ve yaşam döngüsü maliyetleri üzerine hava boşluğunun etkileri incelenmiştir. Hesaplama yöntemi olarak ısıtma derece günlere dayanan yaşam döngüsü maliyet analizi kullanılmıştır. Böylece yalıtım kalınlığı, hava boşluğu, boru çapı ve ısıtma derece gün değerlerine göre amaç fonksiyonları olan optimum yalıtım kalınlığı, enerji maliyet tasarrufu ve geri dönüş süresi karşılaştırmalı değerlendirilmiştir. Çalışma için Afyonkarahisar şehri seçilmiş, hesaplamalar için yalıtım malzemeleri XPS, Taş Yünü ve EPS, yakıt türü olarak da kömür, fuel-oil ve doğalgaz kullanılmıştır. Yapılan çalışmada boru çaplarını kıyaslamak için 50,

100, 200, 400, 600, 800 ve 1000 mm'lik paslanmaz çelik boru çapları kullanılmıştır. Boru yüzeyinde hava boşluğunun olmadığı 0 cm ve 1 cm'lik aralık ile 1 cm'den 5 cm'ye kadar hava boşluğu kalınlıkları düşünülmüştür. Sonuçlar hava boşluğu kullanılmasıyla küçük ve büyük çaplı borularda optimum yalıtım kalınlık değerlerinde sırasıyla 89% ve 57%'lik bir düşüş sağladığı tespit edilmiştir.

Arabkoohsar, vd., (2019) yaptıkları çalışmada, iki besleme sıcaklığına sahip bölgesel ısıtma tasarımı için üçlü boruların termal performansı sayısal olarak analiz edilmiştir. Aynı zamanda, üç hattın en iyi düzenlemesini bulmak için muhafaza içindeki boruların farklı düzenlemelerini de içermiştir. Buna ek olarak, tüm sonuçlar, bölgesel ısıtma sistemlerinde bu tür boruların kullanılmasının etkisini daha iyi görmek için normal ikiz borular için elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. İletim boru hattının uzunluğunun 10 km, üçlü borunun besleme ve dönüş hatlarının sıcaklıklarının 70/40/30 °C, ikiz boruların besleme ve dönüş sıcaklıklarının 70/35 °C ve çevre sıcaklığının 10 °C olduğu durum için, bölgesel ısıtma sistemlerinde ortalama bir seviye olan tüm hatlar için 2×10^5 Reynolds sayısında, ikiz borunun ısı kaybı yaklaşık 145 kW, en iyi üçlü tasarım yaklaşık 80 kW ısı kaybı hesaplanmıştır. Muhafaza içindeki boruların herhangi bir düzenlemesi ile üçlü boru sisteminin, ikiz boru tedarik yönteminden daha iyi olduğunu ve bölgesel ısıtma sisteminin daha iyi enerji verimliliği ile sonuçlandığını göstermiştir. İyileştirme seviyesi boru uzunluğuna, borulardaki suyun kütle akış hızına, bölgesel ısıtma şebekesinin ısı yoğunluğuna, besleme ve dönüş sıcaklıklarına vb. bağlı olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Khosravi ve Arabkoohsar, (2019) yaptıkları çalışmada, 3. nesil bölgesel ısıtma sistemlerinin mevcut ikiz borularla gerçekçi bir şekilde uygulanabilir olup olmadığını veya pratik olarak uygulanabilir hale getirmek için borularda bir revizyon yapılması gerekip gerekmediği araştırılmıştır. Bunun için, bu tür boruların termal-hidrolik performansı ANSYS FLUENT yazılımında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri (sonlu hacim yaklaşımı) ile incelenmiştir. Çok düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma (ULTDH), düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma (LTDH) ve değişken sıcaklıklı bölgesel ısıtma (VTDH) sistemleri olmak üzere ele alınan üç durum için bu tür boruların genel termal ve hidrolik performans değerlendirme sonuçları sunulduktan sonra, yalıtım kalınlığının ve borunun termal ataletinin değiştirilmesinin her bir durumun performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yalıtım kalınlığı dış çapının 554 mm'den 590 mm'ye çıkarılması, VTDH sisteminin (150 kW'den 123 kW'ye), LTDH sisteminin (110 kW'den 90 kW'ye) ve ULTDH'nin (85 kW'den 72

kW'ye) besleme hatlarında sırasıyla yaklaşık %20, %18 ve %14 daha az ısı kaybına neden olmuştur. Dönüş hatları için iyileştirme oranları daha iyi sonuç görülmüş sırasıyla VTDH, LTDH ve ULTDH sistemleri için aynı miktarda yalıtım kalınlığı arttırıldığında sırasıyla %33, %32 ve %30 tasarruf oranları gözlemlenmiştir. Hem besleme hem de dönüş hatları dahil olmak üzere tüm boru için ısı kaybı değerleri (yalıtım kalınlığının artırılmasından önce ve sonra) sırasıyla 180 kW'den 143 kW'ye, 138 kW'den 110 kW'ye ve 105 kW'den 83 kW'ye düşmüştür. Bölgesel ısıtma sistemlerinde çalışma sıcaklıklarını düşürmenin temel amacı daha düşük bir kayıp oranı elde etmek olduğundan, iletim boru hatlarındaki yalıtımların mevcut standart borulara kıyasla güçlendirilmesi olumlu etkiler göstermiştir. Sonuçlar, hem düşük hem de ultra düşük sıcaklıklı sistemlerin, üçüncü nesil bölgesel ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan normal ikiz boruları verimli bir şekilde kullanabileceğini, ancak borunun yalıtımının maliyete dayalı olarak orantılı bir şekilde güçlendirilebileceğini göstermiştir. VTDH sistemi konseptinin pratikte hiçbir zaman uygulanamayacağı sonucuna varılmıştır.

Dolna ve Mikielwicz, (2020) yaptıkları çalışmada, dağıtım borularının termal enerji kayıplarını azaltmayı amaçlayan bir çözümün uygulandığı çok düşük ve düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma şebekesinin termal enerji dengesi denklemi sunulmuştur. Ultra düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma dağıtım borularının gömülü olduğu zemin sıcaklığını artırarak ana borulardan tüketicilere giden besleme/dönüş dağıtım borularındaki ısı kayıplarının azaltılmasıyla ilgilidir. Bu çözüm, ısı yalıtımı olmayan düşük boyutlu boruların kullanıldığını varsayılarak yapılmıştır. CFD hesaplamaları, besleme borusu ile dönüş borusu arasındaki uygun mesafeyi belirlemek için yapılmıştır. Besleme/geri dönüş dağıtım borusunun en uygun karşılıklı mesafesinin 0.25 m olduğu hesaplanmıştır.

Nowak-Ocłoń ve Ocłoń, (2020) yaptıkları çalışmada, ön yalıtımlı ve ikiz borular kullanarak ısıtma şebekelerini modernize etmenin ekonomik analizi sunmuşlardır. Maliyet analizinde, DN25'ten DN100'e kadar değişen ısıtma şebekesi borularının çeşitli tipleri, çapları ve teknolojik diyagramlarının yanı sıra farklı yalıtım türleri de dikkate alınmıştır. Beş ısıtma şebekesi borusu çeşidini karşılaştırmak için bir net bugünkü değer (NPV) analizi yapılmıştır. Standart Poliüretan köpük (PUR) yalıtımlı borular (Durum 0), artı Poliüretan köpük (PUR) yalıtımlı borular (Durum 1), Standart Çapraz bağlı polietilen (PEX) yalıtımlı borular (Durum 2), Poliüretan köpük (PUR) yalıtımlı ikiz borular (Durum 3) ve Çapraz bağlı polietilen (PEX) yalıtımlı ikiz borular (Durum 4). Bunlar şunları içeriyordu: En yüksek NPV değeri

Durum 2 (NPV = 7000 V, DN65) ve Durum 4'te (NPV = 5200 V, DN50) bulunmuştur, bu da onları yatırım için dikkate alınması gereken en iyi seçenekler haline getirmiştir. İkiz Boru sistemleri daha pahalı olmasına rağmen, daha düşük ısı transfer kayıpları nedeniyle daha kârlı olduğu tespit edilmiştir. Isı kayıpları, ön yalıtımlı ve çift borulu ısıtma şebekeleri de dahil olmak üzere çeşitli ısıtma şebekeleri için hesaplanmıştır. Kalan ısı kaybı hesaplaması yalnızca boru boyutları ve malzemeleri kullanılarak belirlenen sıcaklık seviyelerine ve termal direnç faktörlerine dayanmaktadır. Ekonomik açıdan en uygun maliyetli seçeneğin İkiz Boru sisteminin kullanılması olduğu tespit edilmiştir. Bu borular daha pahalı olmasına rağmen kullanım sırasında ön yalıtımlı borulara kıyasla çok daha az ısı kaybı yaşandığı hesaplanmıştır. Bu tip borulara yatırım yapmak kısa bir geri dönüş süresine (6-7 yıl) ve pozitif bir NPV'ye sahiptir, bu da onu bölgesel ısıtma şebekeleri için en iyi seçim haline getirmektedir. Çalışma, Durum 3'ün (PEX yalıtımı) Durum 4'e (PUR yalıtımı) göre ekonomik açıdan daha faydalı olduğunu ortaya koyulmuştur.

Arabkoohsar ve Alsagri, (2020) yaptıkları çalışmada, mahalle ölçeğinde ısı pompalarının ve üçlü boruların, ultra düşük sıcaklıklı bir bölgesel ısıtma sisteminde kullanılması önerilmiş ve termodinamik olarak analizler yapılmıştır. Danimarka'da daha önce yapılmış bir bölgesel ısıtma sistemi çalışması ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bölgesel ısıtma şebekesi için önerilen çözümü kullanarak, toplam günlük ısı kayıplarının soğuk, orta ve sıcak günler için sırasıyla 1053.2, 692.8 ve 182.3 kWh'den 913.4, 557.5 ve 155.2 kWh'ye düştüğü hesaplanmıştır. Üçlü boruların kullanımının, sıcak su ve hacim ısıtma besleme hatlarının ayrılmasına izin vererek kayıp oranını azaltmak için oldukça yararlı olabileceğini göstermiştir.

Howard, vd., (2020) yaptıkları çalışmada, elde edilen sonuçlara ve tartışılan parametrelere dayanarak, Danimarka'daki on dört bölgesel dağıtım şebekesi incelemiştir. Son teknoloji boru iletim katsayılarına sahip şebekelerin performansları, karşılaştırmak ve sıralamak için çok değişkenli istatistiksel yöntem önerilmiş ve uygulanmıştır. Bölgesel dağıtım şebeke verimliliklerinin %68-92 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Raporlanan verimlilikler ve katkıda bulunan faktörlerin analizi, büyük ölçekli bölgesel ısıtma sistemlerini karşılaştırmak için tek bir parametrenin yeterli olmadığını ve çok parametreliliğin kullanılması gerektiğini göstermiştir. Bu doğrultuda; çalışma sıcaklığı, boru serisi, boru yaşı, ikiz boru sayısı, enerji yoğunluğu ve boru lambda parametreleri kullanılmıştır. Verimlilik, bağıl ısı kaybı ve teknik değerlendirme faktörü kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ele alınan

durum çalışmalarından mevcut ve gelecekteki şebeke performansının istatistiksel analizinin geliştirilmesi için daha fazla yön gösterdiği ve 4. nesil bölgesel ısıtma şebekelerinin incelenmesinde faydalı olacağı kanısına varılmıştır. Bu yöndeki gelecek çalışmalara bir dizi bölgesel ısıtma şebekesinin karşılaştırılması için bir algoritma geliştirmeyi ve hedef bölgelerdeki boru bölümlerinin en iyi uygulama ile yenilenmesi için karar desteği oluşturmayı içereceği sonucuna varılmıştır.

Yanhu, vd., (2020) yaptıkları çalışmada, Çin-Rusya Ham Petrol Boru Hattı ile çevresindeki permafrost (iki yıldan fazla donmuş toprak) arasındaki termal etkileşimi araştırmak için çalışma sahasındaki hava ve petrol sıcaklıkları toplanmış ve boru hattının geçiş yolu üzerindeki ve dışındaki zemin sıcaklıkları gözlemlenmiştir. Gözlemler, gömülü boru hattından kaynaklanan büyük ısı kaybının zemin sıcaklıklarında hızlı bir artışa ve alttaki permafrostun çözülmesine neden olduğunu göstermiştir. Hızlı permafrost çözülmesini yavaşlatmak için, mevsimsel hava soğutmalı dolgu ve boru yalıtımını birleştiren yeni bir tasarım önerilmiştir. Ortam havası, dolgu, sıcak yağ borusu ve permafrost arasındaki karmaşık ısı transferi sürecini tanımlamak için birleşik bir model geliştirilmiştir. Sayısal simülasyonlar, tasarımın soğuk mevsimde ısıyı boru hattından ortamlara etkili bir şekilde aktarabildiğini ve sıcak mevsimde permafrost alt zeminin ısı alımını azaltabildiğini göstermiştir. Tasarım, soğuk bölgelerde inşa edilen boru hattı sistemlerinin zemin termal rejimlerini kontrol etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Laferrièrea, vd., (2020) yaptıkları çalışmada, tam zamanlı ölçekte yarı analitik bir sondaj alanı simülasyon modelinin geliştirilmesini ve doğrulanmasını kapsamaktadır. Model, hem sondaj deliklerindeki kısa vadeli geçici termal etkileri hem de sondaj alanındaki uzun vadeli termal etkileşimleri hesaba katarken, rasgele olarak konumlandırılmış sondaj deliklerinden oluşan sondaj alanlarının simülasyonuna izin vermektedir. Simülasyon modeli, jeotermal sondajlardaki kısa vadeli geçici ısı transferini modellemek için bir termal direnç ve kapasitans yöntemini ve uzun vadeli zemin sıcaklığı değişikliklerini modellemek için bir g-fonksiyon yöntemini birleştirmektedir. Sondaj deliklerinin silindirik geometrisini hesaba katmak ve hesaplanan g-fonksiyonunun geçerliliğini kısa vadeli modelin kısa zaman ölçeklerine genişletmek için sonlu hat kaynağı çözümü kullanılarak g-fonksiyonunun hesaplanmasında iyileştirmeler önerilmiştir. Ayrıca, değişken simülasyon zaman adımlarına izin vermek için geliştirilmiş bir yük toplama algoritması tavsiye edilmiştir.

Verma, vd., (2020) derleme makalesinde, toprak hava borulu ısı eşanjörü ile açıklanan pasif enerjinin kullanımı üzerine çeşitli tartışmalar yapılmıştır. Yazarlar tarafından hava hızı, boru derinliği ve boru uzunluğu gibi farklı koşullar ve parametreler altında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Toprağın ısı iletkenliğinin, toprak hava borulu ısı eşanjör sisteminin verimli çalışması için kilit nokta olduğu ve ayrıca operasyonda daha iyi performans elde etmek için toprağın ısı iletkenliğinin borunun ısı iletkenliğinin yakınında tutulması gerektiği bulunmuştur. 4 m ve üzeri derinlikte taban sıcaklığı sabit hale geldiği, ölçülen değerin dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığına eşit olduğu ayrıca tabanın sabit sıcaklığı yaz sıcaklığından daha düşük, kış mevsimi ise tersine olduğu ve bu sıcaklık gradyanı ihtiyaca göre termal konfor için kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Ulusoy, (2020) yaptığı çalışmada, Van Yüzüncü Yıl Üniversite kampüsünde 8.5 ile 12 ton/saat buhar üreten kazanının, fakülte ve idari binaların (toplam 49 adet) ısıtılması için kullanılan eşanjörlerin ve 8473 m boru hattının enerji ve ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kazanlardaki enerji veriminin ortalama %90, ekserji veriminin %31, ekserjetik veriminin %29 olduğu tespit edilmiştir.

Corcione, vd., (2021) yaptıkları çalışmada, Homojen bir toprağa gömülü ön yalıtımlı çift borulu bölgesel ısıtma (DH) sistemlerinden kaynaklanan ısı kayıpları sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma, boruların çapı ve mesafesi, yalıtımın boyutu, yalıtım ve toprak arasındaki termal iletkenlik oranı ve çift borulu sistemin gömülme derinliği kontrol parametreleri olarak kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı termofiziksel özelliklere sahip bitişik katı bölgeler boyunca ısı transfer oranını hesaplamak amacıyla açık kaynaklı Open FOAM çerçevesi kullanılarak sonlu farklar yönteminin kontrol hacmi formülasyonuna dayalı bir hesaplama programı geliştirilmiştir. Çalışmanın ana kapsamı; sıcak ya da soğuk boruların geometrisi ve göreceli konumunun yanı sıra, sıcaklık dengesizliğinin, gömme derinliğinin hem yalıtımın hem de toprağın fiziksel özelliklerinin ısı kayıplarını ne ölçüde etkilediğini araştırmak, termal direnç geliştirme bakış açısıyla bölgesel ısıtma sisteminin optimal bir konfigürasyonunun varlığını analiz etmek, pratik termal mühendislik uygulamaları için yararlı olan her bir boru ile çevresi arasında mevcut olan termal direncin değerlendirilmesi için doğru korelasyon denklemleri geliştirmek olarak belirlenmiştir. Homojen bir toprağa gömülü ön yalıtımlı çift borulu sistemler üzerine kapsamlı bir sayısal çalışma, ısı iletiminin sabit durum denklemini sonlu farklar yöntemiyle çözerek yürütülmüştür. Özellikle her bir boru ile zemin yüzeyi arasındaki ve iki boru arasındaki

boyutsuz ısı dirençleri, topraktan meydana gelen toplam ısı kayıplarını elde etmek için hesaplanmıştır. Borular arasındaki merkezden merkeze mesafe ve ön izolasyonlu çift borulu sistemin boyutsuz gömme derinliği kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır, her ikisi de bağımsız değişkenler olarak boru çapı ve toprağın termal iletkenlikleri ile yalıtım arasındaki oran tarafından normalize edilmiştir. Çalışma sonucunda; her bir kontrol parametresi değeri için besleme borusunun ısı kayıplarını en aza indiren optimum bir boru aralığının olduğu, optimum boru aralığının yalıtım çapı ve gömme derinliği arttıkça artarken, dönüş borusunun sıcaklığı arttıkça optimum boru aralığının azaldığı, yalıtım çapı küçüldükçe minimum ısı kaybının arttığı bulunmuştur.

Terhan, (2021) yaptığı çalışmada, düşük sıcaklıklı bir bölgesel ısıtma şebekesinde bulunan gidiş ve dönüş suyu boruların optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için Eşdeğer Yıllık Değer (EAW) Analiz Yöntemi kullanılarak bir termo-ekonomik analiz araştırılmıştır. Analizde, farklı nominal boru boyutlarına (20-150 mm) bağlı olarak boru yalıtım malzemesinin (cam yünü) kullanım ömrü boyunca sağladığı enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, optimum yalıtım kalınlıklarının 30 mm ile 40 mm arasında bulunduğunu göstermiştir. Boru yalıtım malzemesinin yatırım maliyeti 0.53-11.78 \$/m aralığında değişirken, yalıtım malzemesinin toplam enerji tasarrufu 25-100 mm gibi değişken boru yalıtım kalınlığına göre 19.24 \$/m'den 102.17 \$/m'ye dalgalanmaktadır. Farklı yalıtım kalınlıklarının geri ödeme süreleri 0.06 ile 2.53 yıl arasında hesaplanmıştır.

Küçüktopcu, vd., (2021) yaptıkları çalışmada, Konya ilinde sera koşulları için yalıtılmış ısıtma boru hatlarının ekonomik ve çevresel etkilerini değerlendirmiştir. Bu bağlamda, P1–P2 yöntemi kullanılarak Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC) analizine dayalı bir optimizasyon modeli gerçekleştirilmiştir. Kömür, doğalgaz ve fuel-oil yakıtları kullanılarak, 25 ila 65 mm arasında değişen nominal boru boyutları test edilmiştir. Sistemde sıcak su kullanılmıştır. Bulgularda en yüksek yalıtım kalınlığının 0.807 m, en yüksek enerji tasarrufunun 62351 \$/m ve en düşük geri ödeme süresinin 0.502 yıl ile 65 mm nominal boru çapı için fuel-oil akaryakıtı kullanıldığında elde edilmiştir.

Madan ve Weidlich, (2021) yaptıkları çalışmada, farklı bölgesel ısıtma şebekesi ve bir bölgesel soğutma şebekesi için göreceli ısı kayıpları ve kazançları incelenmiştir. Kararlı durum ısı kayıplarının hesaplanması için Wallentén ve Kvisgaard/Hadvig modelleri uygulanmıştır. Orijinal modellerde uygulanan farklı zemin sıcaklıkları nedeniyle sonuçlar

arasında yaklaşık 3 W/m'lik sabit bir sapma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ortam borusu ile zemin sıcaklığı arasındaki sıcaklık gradyanı azaldıkça ısı kayıpları sürekli olarak azaldığından, ısı kayıplarının bağıl sapması bölgesel soğutma durumu için %38'e kadar yükselmektedir. Düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma ve soğutma için farklı kararlı durum modellerinin bu sonuçları, bu uygulamalar için bozulmamış zemin sıcaklığının doğru bir şekilde seçilmesinin önemini gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Wang, vd., (2021) yaptıkları çalışmada, Yıllık Toplam Çevresel Etkiyi (ATEI) en aza indirmek amacıyla, Eko-gösterge yöntemine dayalı olarak çift gömülü bölgesel ısıtma (DH) borularının optimum yalıtım kalınlığını (IT) belirlemek için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model MATLAB'da fsolve fonksiyonu kullanılarak çözülmüştür. Isı kaynaklarının, işletme stratejilerinin, yalıtım malzemelerinin, gömülü derinliğin (BD), nominal boru boyutunun (NPS) ve meteorolojik koşulların optimum değerler üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Meteorolojik koşullar açısından, Pekin, Taiyuan, Xining, Harbin ve Hailar şehirlerinde optimal yalıtım kalınlığı sırasıyla 0.745 m ile 3.469 m, 0.780 m-3.633 m, 0.865 m-3.898 m, 0.891 m-4.089 m ve 0.963 m-4.429 m arasında değişirken, minimum yıllık toplam çevresel etkisi 320.15 mPts/(m·yıl) ile 2205.45 mPts/(m·yıl), 354.56 mPts/(m·yıl) ile 2417.03 mPts/(m·yıl), 445.63 mPts/(m·yıl) ile 2782.77 mPts/(m·yıl), 476.24 mPts/(m·yıl) ile 3062.58 mPts/(m·yıl) ve 566.77 mPts/(m·yıl) ile 3598.12 mPts/(m·yıl) arasında değişmektedir. Buradan büyük optimum değerlerin daha soğuk meteorolojik koşullara karşılık geldiği anlamına geldiği sonucuna varılmıştır. Hassasiyet analizinde ısı kaynağı birim ısıtma enerjisi tüketimi, yalıtım malzemesi çevresel etki noktası, ısı kaynağı çevresel etki noktası ve yalıtım malzemesi hizmet ömrünün optimum değerler üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen modelin optimum değerleri elde etmek için uygulanabileceğini doğrulamıştır. Duyarlılık analizinde, ısı kaynağı ünitesinin ısıtma enerjisi tüketimi ve ısı kaynağı çevresel etki noktasının minimum yıllık toplam çevresel etki üzerinde daha büyük bir etkiye sahipken, duyarlılık parametrelerinin optimum yalıtım kalınlığının üzerinde büyük bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Yalıtım malzemeleri açısından, cam yününün optimum yalıtım kalınlığı taş yünü ve sert poliüretan köpükten daha büyükken, cam yününün yıllık toplam çevresel etkisi taş yünü ve sert poliüretan köpükten daha küçük olduğu bu sonuca istinaden cam yününün yalıtım malzemesi olarak kullanılması çevre için faydalı olacağı çıkarımı yapılmıştır.

Li, vd., (2021) yaptıkları çalışmada, optimum yalıtım kalınlığını ve bölgesel ısıtma sistemleri için toprağa gömülü çift boruların minimum yıllık toplam maliyetini elde etmek için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Optimizasyon modelini çözmek için sıfır noktası teoremi ve fsolve fonksiyonu kullanılmıştır. Üç tip ısı kaynağı, dört işletme stratejisi, üç tip yalıtım malzemesi, yedi nominal boru boyutu, üç gömülü derinlik, ortalama yalıtım kalınlığı ve minimum yıllık toplam maliyetini hesaplamasında dikkate alınmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı, kömür yakıtlı kombine ısı ve enerji santrali, kömür yakıtlı kazan ve doğalgaz yakıtlı kazan için sırasıyla 0.055 m ile 0.108 m, 0.065 m ile 0.133 m ve 0.104 m ile 0.250 m arasında hesaplanmıştır. Köpük kauçuk, Sert fenolik köpük ve Sert poliüretan köpük için ortalama yıllık ısı kaybı maliyetinin minimum yıllık toplam maliyet oranı sırasıyla %64.10, %64.04 ve %64.64 olduğu görülmüştür. Sonuçlar, bölgesel ısıtma sistemleri için gömülü çift boruların ortalama yalıtım kalınlığı ve minimum yıllık toplam maliyetinin optimizasyon modeli kullanılarak elde edilebileceğini göstermiştir.

Liu ve Strunz, (2022) yaptıkları çalışmada, çeşitli boru modeli kategorilerini akışların zorlanmış konveksiyonla yönlendirildiği belirli uygulamalara bağlayan tutarlı ve kapsamlı bir modelleme çerçevesinin geliştirilmesidir. Çerçeve, parçalı ve dağıtılmış parametrelere dayalı boru modellemesini dikkate almaktadır. İlgili durumda transfer fonksiyonu gösterimleri formülize edilmiş ve model performansları doğrulanmıştır. Dağıtılmış parametre ile toplu parametre kategorilerinin karşılaştırmalı analizinin aydınlatıcı olduğu gösterilmiştir. İkinci kategori için, borunun uzamsal uzantısı boyunca değişen sıcaklık dağılımları şeklinde termal geçişler gözlemlenmiş ve dağıtılmış parametrelili boru modelinde sadece giriş ve çıkış sıcaklıkları sunulmuştur. Öte yandan, dağıtılmış parametrelili boru modeli daha kararlı hesaplama sunmuştur. Bu, temel bir toplama işlemi için gereken süreye kıyasla matematiksel bir işlem için gereken hesaplama süresinin tam sayı katını ölçmek için yeni tanıtılan eşdeğer kayan nokta işlemi (eFLOP) sayısı ile doğrulanmıştır. Modellerin uygulaması, çeşitli geçici durumları içeren bir kombine ısı ve güç şebekesi için gösterilmiştir.

Tianhu, vd., (2022) çalışmalarında doğrudan gömülü buhar boru hattı için bir yaşam döngüsü maliyet modeli P1–P2 yöntemine dayalı olarak oluşturulmuş ve yalıtım performansını iyileştirmek için bir optimizasyon yöntemi önerilmiştir. Yalıtım malzemesi ve boru çapının toplam kullanım ömrü maliyeti, ekonomik kalınlık, enerji verimliliği ve geri ödeme süresi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Düşük sıcaklıkta çalışma koşulu altında (280 °C), SiO₂

aerojel battaniyesinden (SAB) oluşan kompozit yalıtım şeması yüksek sıcaklığa dayanıklı cam yünü yalıtımından daha iyi ekonomik verimlilik sergilemiş, ayrıca kullanım ömrü maliyeti ve ekonomik kalınlık, boru çapının artmasıyla önemli bir düşüş göstermiş ve ekonomik fayda buna uygun olarak artmıştır. Yüksek sıcaklıkta çalışma koşulu altında (350 °C), yalıtım katmanını sınırlayan kalınlık optimizasyon yöntemi, büyük çaplı (DN500 ~ DN700) boru hattı için uygun olmuştur. Yeni kompozit yalıtım çözümü (SiO₂ aerojel örtü ve yüksek sıcaklığa dayanıklı cam yününden oluşan) geleneksel kompozit yalıtımdan (alüminyum silikat yünü ve yüksek sıcaklığa dayanıklı cam yünü) daha iyi toplam yaşam döngüsü maliyeti, ekonomik kalınlık ve ekonomik verimlilik göstermiştir.

Terhan, (2022) yılında yaptığı çalışmada, besleme-dönüş boruları, sıcak su ve sirkülasyon boruları gibi borulardan ısı kanallarına olan ısı kayıpları enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel bazda incelenmiştir. Doğal gaz, fuel-oil ve kömür gibi yakıt türleri için Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (LCCA) yöntemi kullanılarak tüm nesil bölgesel ısıtma sistemleri şebekesindeki boruların optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları, CO₂ emisyonlarının azaltılması, ilk yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri araştırılmıştır. Farklı nominal boru boyutları ve farklı iklim bölgeleri için cam yünü ve taş yünü gibi çeşitli yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre 4. nesil bölgesel ısıtma (DH) şebekesindeki borulardan ısı kayıpları 3. nesle göre en sıcak iklim bölgesinden en soğuk iklim bölgesine doğru %38.19 ile %33.33 arasında azalmıştır.

Fester, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, uzaktan okunan saatlik ısı ölçer verilerine, boru koordinatlarına ve toprak sıcaklık ölçümlerine dayalı olarak servis borularında oluşan ısı kayıplarını sürekli olarak hesaplayabilen bir yöntem geliştirmek üzerinedir. Yöntem, tüm sistemde ölçülen veya simüle edilen akışları gerektirmediği, bu da daha büyük ölçekte uygulamayı engelleyen tam bir termo hidrolik ağ modeli oluşturmanın olağan adımını atlamayı mümkün kılmıştır. Toprak sıcaklık ölçümleri Danimarka Meteoroloji Enstitüsü'nden yararlanılarak, tahmin edilen ısı kaybı, iletim katsayısı U 'yu $W/(mK)$ cinsinden verecek şekilde normalleştirilmiş ve farklı uzunluktaki borular arasında doğrudan karşılaştırma yapılmasına ve mevsimler boyunca zamanında gelişimin değerlendirilmesine olanak tanımıştır. Tahmin edilen ısı kayıpları, veri setlerinin simülasyonu ve ek ölçüm ekipmanı kurulmuş, bir test alanından alınan yüksek düzeyde zaman çözümlü veriler kullanılarak tamamlayıcı tekniklerle doğrulanmıştır.

Zhou, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, sıcak petrol boru hatlarının donmuş toprak yapısını bozması sebebiyle termo-mekanik birleştirilmiş modele dayanarak, koruyucu önlemlerin donmuş toprağın mekanik stabilizesini iyi koruyup koruyamayacağı ve gömülü boru hattının stres konsantrasyonunu azaltıp azaltamayacağı araştırılmıştır. 40 yılda çözülme derinliği yalıtımsız boruda 18 m, 2 cm yalıtımda 12.5 m, 4 cm yalıtımda 10.5 m, 6 cm yalıtımda 9.1 m, 8 cm yalıtımda 8.8 m, 10 cm yalıtımda 8.4 m hesaplanmıştır. Araştırma sonucu yalıtım tabakasının makul kalınlığının 8 cm olduğu tespit edilmiştir.

Terhan ve Abak, (2023) yaptıkları çalışmada Türkiye'de bir kampüste yer alan binaların enerji ve ekserji analizleri, gerçek işletme verileri kullanılarak ve örnek olay olarak bölgesel ısıtma sistemindeki ölçümler alınarak yapılmıştır. Tüm binalardan kaynaklanan enerji ve ekserji talepleri, kayıpları günlük ortalama dış ortam sıcaklık verilerine göre hesaplanmıştır. Yapı bileşenlerinden birim alana düşen ortalama ekserji kayıplarına göre ortalama toplam ekserji kaybı 2.39×10^{-2} kW/m² yıl olarak hesaplanmakta olup, bu kaybın 1.42×10^{-3} kW/m²'si (%5.92) dış duvarlardan, 1.93×10^{-3} kW/m²'si (%8.07) döşemelerden, 7.37×10^{-4} kW/m²'si (%3.08) çatılardan, 1.58×10^{-2} kW/m²'si (%65.99) pencere ve kapılardan, 4.04×10^{-3} kW/m² (%16.92) infiltrasyonlu havalandırmadan hesaplanmıştır. Binanın enerji ihtiyacı değerleri, yalıtımsız duvar için en sıcak iklimden en soğuk iklim bölgesine doğru 2.68–25.70 kWh/m³ arasında bulunmuştur. Yalıtımsız durumda yakıt tüketimi en sıcak bölgeden en soğuk bölgeye doğru 1.93-18.48 m³/m² arasında değişmektedir. Binanın dış duvarının optimum yalıtım kalınlığı değerleri, farklı iklim bölgelerine göre 2.3–10.0 cm arasında hesaplanmıştır. Dış duvar yalıtımı 3 cm durumunda, yakıt tüketimi farklı yalıtım malzemelerine ve iklim bölgelerine göre yalıtımsız duruma göre %46.63 – %53.46 oranında azaldığı hesaplanmıştır.

Güler, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, yeraltı sıvı depolama ve taşıma sistemlerinin ısı yüklerini belirlemek için akışkan sıcaklığı ve toprak sıcaklığını dikkate alan yeni bir derece-saat yöntemi önerilmiştir. Böylece Türkiye'de İzmir ve Erzurum gibi soğuk ve sıcak iklime sahip iki şehir için ısıtma ve soğutma derece-saat hesaplanmıştır. Ayrıca depolanan ve taşınan akışkanın sıcaklıkları 10°C aralıklarla -40 ile +40 °C arasında seçilmiştir. Son olarak, derece-saat hesaplamaları için teorik çıkarımlar genel hatlarıyla sunulmuş ve Türkiye'deki iki şehir için basit bir uygulama verilmiştir. Çalışmanın sonuçları, ısı yükü dalgalanmasında İzmir'de soğutma derece-saat değerine, Erzurum'da ise ısıtma derece-saat değerine dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir. İzmir'de negatif akışkan sıcaklığının artmasıyla birlikte

sadece yaz mevsiminde derece-saat azalmıştır. Pozitif akışkan sıcaklığı arttıkça derece saatlerinin kış mevsiminde arttığı, yaz mevsiminde ise azaldığı görülmüştür. Derece saat değerleri iki il için farklı olmasına rağmen Erzurum'da da benzer sonuçlar görülmüştür. İzmir ve Erzurum'da sırasıyla +20 °C ve +10 °C akışkan sıcaklığında derece-saat değerleri yıl boyunca sabit kalmıştır. Bu farklılık genel olarak iki ilin güneş radyasyonu, rüzgâr hızı, yağış miktarı gibi meteorolojik değerlerinin farklı olmasından kaynaklanmıştır. Değiştirilen derece-saat değerleri, ısı yükü dalgalanmalarını önlemenin yanı sıra, beklendiği gibi farklı iklim bölgelerinin özelliklerini yansıttığını da göstermiştir.

Rosa ve Bianco, (2023) yaptıkları çalışmada, yalıtım malzemesinin, somutlaştırılmış enerji ve somutlaştırılmış karbon emisyonları kavramını ve yalıtım uygulamasıyla ilişkili yatırımın ekonomik değerlendirmesini ortaya koyarak, sivil ve endüstriyel boru sistemlerinde yalıtım katmanlarının optimum kalınlığını belirlemek için farklı optimizasyon yaklaşımlarını araştırılmıştır. Boru boyutu, yalıtım malzemeleri, birincil yakıt, çalışma sıcaklığı, iklim koşulları, yakıt piyasası fiyatı, yalıtım katmanının üretim ülkesi vb. gibi çeşitli teknik ve ekonomik özellikler dikkate alınmıştır. Net bugünkü değer yöntemine (NPV) göre EPS, XPS ve Taş yünü yalıtım katmanları ile elde edilen optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır. EPS ve XPS yalıtım katmanları için benzer optimum kalınlıklar elde edilirken (yaklaşık 10 cm), daha yüksek termal iletkenliği nedeniyle Taş yünü için daha yüksek bir kalınlığa ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Yani NPV'nin maksimum değerine karşılık gelen kalınlığı göstermektedir. Akışkan sıcaklıklarındaki artışın, optimum kalınlığın tüm endekslerin (Net bugünkü değer (NPV), Net enerji tasarrufu (NSE) ve Net tasarruf edilen karbon (NSC)) maksimum değerinin artmasına yol açtığı belirtilebilir. Bunun nedeni, hepsinin akışkan ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olan yalıtımın yapılmasıyla elde edilen enerji/yakıt tasarrufu ile ilgili olmasıdır. Ayrıca, yalıtım kalınlığı optimizasyonu için belirli bir endeks seçiminin farklı sonuçlara yol açtığı gözlemlenmiştir. NPV tabanlı optimizasyon sonuçları, akışkan sıcaklığının bir fonksiyonu olarak optimum kalınlığın (EPS ve XPS: 6-13 cm; Taş yünü: 8-16 cm) daha düşük bir varyasyonunu göstermektedir ki bunlar dikkate alınan boru boyutu için kabul edilebilir değerlerdir. Benzer sonuçlar NSC tabanlı optimizasyon ile biraz daha geniş bir aralıkta, ancak daha yüksek değerlerde optimum kalınlık (EPS: 9 cm-18 cm; XPS: 7-15 cm; Taş yünü: 9-16 cm) elde edilmiştir. Öte yandan, NSE optimizasyonu çok daha yüksek optimum kalınlık değerlerine (15 cm-28 cm aralığı) yol açmaktadır, bu da özellikle daha yüksek sıcaklıklar için toplam boru boyutunun kabul edilebilir değerlerin ötesinde artmasına neden olacaktır. Sonuçlar,

boru geometrisinin, çalışma koşullarının ve ısıtma sisteminin optimum yalıtım kalınlığını güçlü bir şekilde etkilediğini, iklim koşullarının ise özellikle 45 °C 'nin üzerindeki sıvı çalışma sıcaklığı için çok az etkisi olduğunu göstermiştir.

Jakubek, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, bölgesel ısıtma sistem kapsamında çift borulu konfigürasyonla karşılaştırmalı olarak ön yalıtımlı borulardan kaynaklanan ısı kaybını analiz etmek için bir yöntem sunmuştur. Analitik çözüm (1D model) ile hesaplanan zemindeki ısı kayıplarını, özel deney düzeneğindeki ölçümlerle karşılaştırmıştır. Analitik çözüm kullanılarak besleme tarafındaki ön yalıtımlı borular için ısı kayıpları DN65, DN50, DN40 için sırasıyla 25.07 W/m, 20.77 W/m ve 16.93 W/m'dir. Laboratuvar ortamında ölçülen sıcaklıklara göre hesaplanan ısı kayıpları ise 22.98 W/m, 18.94 W/m ve 15.41 W/m'dir. Laboratuvar ölçümleri ile analitik çözüm sonuçları arasındaki yani %8.33, %8.77 ve %8.94 fark hesaplanmıştır. Dönüş tarafı DN65, DN50, DN40 boru çapı için analitik yöntemle hesaplanan ısı kaybı sırasıyla 9.65 W/m, 9.98 W/m ve 7.87 W/m, laboratuvar cihazlarında ölçülen sıcaklıklar için ısı kayıpları ise 10.86 W/m, 9.06 W/m ve 7.02 W/m bulunmuştur. Laboratuvar cihazları ve analitik çözüm sonuçları arasındaki yüzde farkı %4.86, %4.40 ve %5.02 olmak üzere %5'e yakın çıkmaktadır. DN65 + DN65, DN50 + DN50, DN40 + DN40 çaplarında ikiz borulu ön yalıtımlı borulama için analitik çözüm kullanılarak yapılan hesaplamada ısı kayıplarının 8.19 W/m, 8.34 W/m ve 9.01 W/m olduğu, laboratuvar cihazlarında ölçülen sıcaklıklar için ısı kayıpları ise 8.97 W/m, 8.90 W/m ve 9.53 W/m'dir. Ölçümler ve analitik çözüm arasındaki fark sırasıyla %9.55, %7.59 ve %5.84 olarak tespit edilmiş yani fark %10'a kadar çıktığı görülmüştür. En yüksek ısı kaybının tekli ön yalıtımlı borularda meydana geldiği, en düşük ısı kaybının ise çift borulu konfigürasyon için elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Chen, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, bölgesel ısıtma sisteminin ısı kayıplarını azaltmak, ısı üretim verimliliğini artırmak ve yenilenebilir enerjiyi daha verimli kullanmak gibi avantajlarına dayanarak, düşük dereceli yenilenebilir ısı kaynaklarını tamamen kullanan yeni bir TOTS (İki beslemeli/Tek dönüşlü, üçlü boru yapısı) önermiştir. Aynı yalıtım katmanında farklı besleme sıcaklıklarına sahip iki su besleme borusu (yüksek sıcaklıkta kullanım sıcak suyu borusu ve düşük sıcaklıkta hacim ısıtma borusu) ve dönüş borusunun ayrı taşınması ile çok borulu bir sistem yapısı oluşturulmuştur. Bu yeni üç borulu sistemin yapısal özelliklerine dayanarak, sistemin toplam ısı kaybı ile borular arasındaki ısı transferi arasındaki farklı yapısı incelenmiş, bununla beraber temel yapısal parametreleri boyutsuz bir şekilde

ölçülerek yeni yapısal ısı tedarik ve iletim sisteminin ısı kaybı, yenilikçi bir şekilde, araştırılmıştır. Enerji açısından değerlendirmede toplam ısı kaybı, borular arası ısı transferi ve kapsamlı ısı θ (su besleme borusu çapının yalıtım katmanı çapına oranını) ile pozitif ilişkilidir. $\theta = 0.1945$ olduğunda, θ %2 arttıkça, toplam ısı kaybındaki maksimum artış 1.56 W/m, borular arası ısı transferindeki maksimum artış 0.17 W/m, kapsamlı ısıdaki maksimum artış ise 1.6 W/m'dir. Toplam ısı kaybı β (su besleme borusu aralığının yalıtım katmanı çapına oranını) ile pozitif, borular arasındaki ısı transferi β ile negatif ilişkilidir. Kapsamlı ısı β ile uç değer ilişkisine sahiptir. $\beta = 0.0509$ olduğunda, β %2 arttıkça, toplam ısı kaybındaki maksimum artış 0.55 W/m, borular arasındaki ısı transferindeki maksimum artış 0.3W/m, kapsamlı ısıdaki maksimum artış 0.4 W/m'dir. Kapsamlı ısıda toplam ısı kaybı baskındır. $\theta=0.1945$ ve $\beta=0.0739$ olduğunda, kapsamlı ısı 18.12 W/m ile en düşük seviyededir. Son olarak, dördüncü nesil bölgesel ısıtma sisteminin uygulanması için teorik rehberlik sağlamak üzere yeni bir TOTS ekonomik değerlendirme sistemi önerilmiştir.

Düber, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, pratik ve tasarımla ilgili uygulamalar için farklı modellerin uygunluğunu araştırılmıştır. Üç zemin modeli ve değişen karmaşıklıkta üç boru modeli incelenmiştir. Tüm model kombinasyonlarında sabit bir zemin yükü sınır koşulu ve sondaj kuyusu ısı eşanjörü (BHE) modeli ile birleştirilmiştir. Modellerin performansı çeşitli gerçekçi koşullar altında değerlendirilmiştir. İlginç bir şekilde, ortak bir hendekte altı çift borunun simülasyonu yapılırken, boruların demet halinde düzenlenmesi ve termal girişim nedeniyle boru başına çevredeki zeminle ısı alışverişi önemli ölçüde azalmıştır. Bir çift 30 m boru için BHE ısı yükü, bağlantı boruları boyunca ısı transferi nedeniyle %40 artarken, altı çift boru durumunda bu oran her zaman %10 olmuştur. Çalışılan senaryodaki baskın yükler olan soğutma yükleri için, BHE yükü bir çift boru ile %5, altı çift boru ile ise sadece %2.6 oranında azaldığı hesaplanmıştır. İncelemeler, incelenen tüm boru modellerinin uygulama için eşit derecede uygun olduğunu göstermiştir. Zemin modelleriyle ilgili olarak, yatay sonlu çizgi kaynak modeli ve sayısal 2D model homojen zemin özellikleri için aynı sonuçları görülmüştür. Zemin direnci modelinden, zemindeki sıcaklık birikimini ihmal ettiği ve önemli sapmalara yol açtığı ortaya konulmuştur.

Jie, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, enerji kademeli kullanımına dayalı olarak, kombine ısı ve güç (CHP) tabanlı bölgesel ısıtma (DH) sisteminin bağıl radyatör alanı oranı (RRAR) optimize edilmiştir. Optimum RRAR ve minimum yıllık toplam maliyeti (ATC) elde etmek için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Çalışma, Çin'in Tianjin kentindeki CHP tabanlı

bir DH sistemini durum çalışması olarak ele alınmıştır. Makale, duyarlılık analizi yoluyla ekipman ömrü, radyatör fiyatı, elektrik fiyatı ve faiz oranının optimizasyon sonuçları üzerindeki etkisini analiz etmiştir. RRAR 1'den 3'e yükseldiğinde, çıkarılan ısının toplam ısı içindeki payı %87.14'ten %65.20'ye düşerken, egzoz ısısının toplam ısı içindeki payı %12.86'dan %34.80'e yükselmektedir. Sonuçlar, geliştirilen modelin optimum RRAR'ı elde etmek için kullanılabileceğini doğrulamıştır. RRAR arttıkça, absorpsiyonlu ısı pompasında (AHP) kullanılan çekilen ve egzoz ısısı artarken, çekilen ısı ile ilgili ısı eşanjöründe (HEXT) kullanılan çekilen ısı azalmaktadır. RRAR arttıkça toplam çıkarılan ısı azalır ve toplam egzoz ısısı artar. Optimum RRAR'ın kullanılması önemli ekonomik, enerji ve çevresel faydalar sağlayabilir. Duyarlılık analizi, optimum RRAR'ın radyatör ve elektrik fiyatından daha fazla etkilendiğini, minimum ATC'nin ise elektrik fiyatından daha fazla etkilendiğini sonucuna varılmıştır.

Zhang, vd., (2023) yaptıkları çalışmada, doğrudan gömülü bölgesel ısıtma boru hatlarının yalıtımının termo-ekonomik değerlendirmesini ele alınmıştır. Beş nominal boru çapına, dört yakıt türüne, dört yalıtım malzemesi türüne ve dört gömme derinliğine sahip bölgesel ısıtma boru hatlarının optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu etkisi ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü maliyet analizine dayalı sayısal bir kod geliştirilmiş ve literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çin'de üç farklı iklim davranışı gösteren Xi'an, Shenyang ve Harbin olmak üzere üç temsili şehir üzerinde çalışılmıştır. Yakıt olarak yağ, yalıtım malzemesi olarak taş yünü, 500 mm nominal boru çapı ve 1 m gömme derinliği kullanılarak elde edilen en yüksek optimum yalıtım kalınlığı değerleri sırasıyla Harbin, Shenyang ve Xi'an'da 176, 153 ve 121 mm'dir. Optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresinin yalıtım, yakıt ve gömme derinliğindeki değişikliklere ne kadar duyarlı olduğunu göstermek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçlar, yalıtım ve yakıtın optimum yalıtım ve geri ödeme süresi üzerinde gömme derinliğinden daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Suresh, vd., (basım aşamasında) yaptıkları çalışmada, yalıtım malzemesi ve kalınlığı seçilirken maliyet ve güvenlik arasında bir denge elde etmek için simülasyonlar ve hesaplamalar yapmak üzere farklı termal iletkenliklere sahip üç farklı yalıtım malzemesi ile birlikte üç farklı boyutta paslanmaz çelik boru (1, 2, 4 inç) seçilmiştir. Bunu gerçekleştirmek için, farklı senaryolar için kararlı durum termal analizi yapılmıştır. 1 inç boru için 0.02 m yarı çaplı EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 36.52 watt, 0.14 m yarı çaplı EPS yalıtım

malzemesi kullanıldığında 8.62 watt, 0.02 m yarı çaplı XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 31.75 watt, 0.14 m yarı çaplı XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 6.077 watt, 0.02 m yarı çaplı cam elyafi yalıtım malzemesi kullanıldığında 39.74 watt, 0.14 m yarı çaplı cam elyafi yalıtım malzemesi kullanıldığında 11.14 watt, 2 inç boru için 0.032 m yarı çaplı EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 70.14 watt, 0.15 m yarı çaplı EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 11.37 watt, 0.032 m yarı çaplı XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 64.07 watt, 0.15 m yarı çaplı XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 8.025 watt, 0.032 m yarı çaplı cam elyafi yalıtım malzemesi kullanıldığında 73.91 watt, 0.14 m yarı çaplı cam elyafi yalıtım malzemesi kullanıldığında 15.26 watt, 4 inç boru için 0.06 m yarı çaplı EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 117.4 watt, 0.18 m yarı çaplı EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 15.83 watt, 0.06 m yarı çaplı XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 103.9 watt, 0.18 m yarı çaplı XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında 11.19 watt, 0.06 m yarı çaplı cam elyafi yalıtım malzemesi kullanıldığında 1674.15 watt, 0.18 m yarı çaplı cam elyafi yalıtım malzemesi kullanıldığında 90.12 watt ısı kaybı hesaplanmıştır. Isı kaybı teorik hesaplamalar yardımıyla doğrulanmış ve simülasyon ayrıca bir Mesh Yakınsama çalışması ile teyit edilmiştir. Simülasyon, tüm bu durumlarda ısı kaybını bulmak için farklı yalıtım kalınlıkları ve malzemeleri için gerçekleştirilmiştir.

1.4 Tezin İçeriği, Önemi ve Maksadı

Çalışmada üniversite kampüslerinde yapılacak yeraltı bölgesel ısıtma sistemindeki boruların ısı kayıpları araştırılmıştır. Hesaplamalar, ön yalıtımlı borular kullanıldığı düşünülerek yapılmıştır. Ön yalıtımlı boru sistemi; ısı taşınımını sağlayan çelik boru, ön yalıtım, yalıtım malzemesi ve kılıf boru katmanlarından oluşmaktadır. Bu borulama sisteminin ısı kayıpları, farklı toprak tipine, yeraltında farklı derinliklerde olması durumuna ve artan yalıtım kalınlık durumlarına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Değerlendirmeler TS 825'e (2013 yılında yayımlanan) göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir ili için yapılmıştır.

90/70 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi için nominal çapı 50, 100, 200, 400 mm olmak üzere dört farklı boru üzerine 1 ila 15 cm kalınlığında ekstrüde polistiren (XPS), ekspande polistiren (EPS) ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanılarak oluşturulan ön yalıtımlı boru, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5 ve 10 metre olacak şekilde yedi farklı derinliğe yeraltına gömüldüğü farz edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Ek olarak ısı ihtiyacının yüksek olması ve hatların çok uzun mesafelere gitmesi durumu düşünülerek, 140/100 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sisteminde, nominal boru çapı 50, 100, 200, 400 mm, yalıtım kalınlığı 1’den 15 cm’ye doğru artan kalınlıkta olacak şekilde taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı borunun, beton kaplama içerisinde 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5 ve 10 metre derinliğe yeraltına gömülmesi durumu ele alınarak hesaplamalar tekrarlanmıştır.

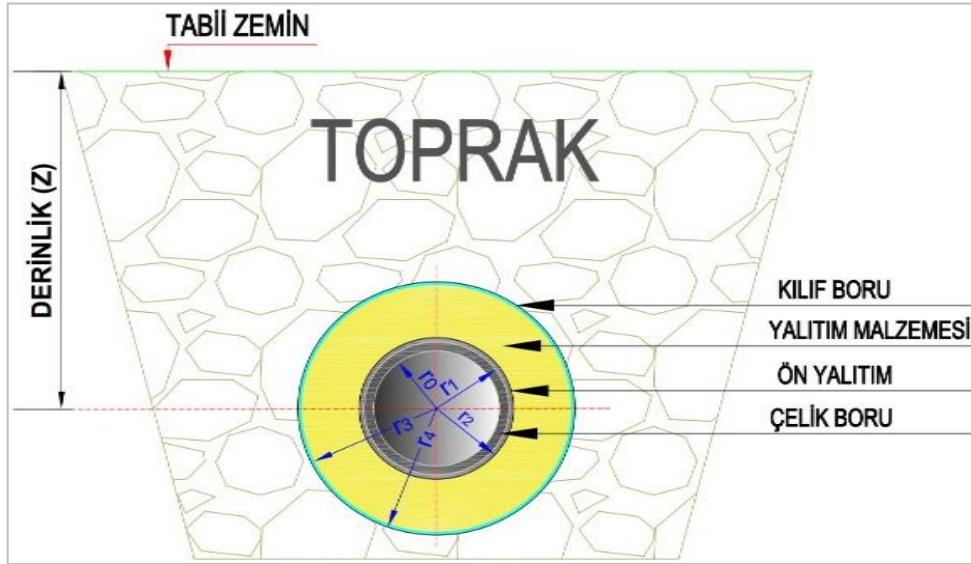
Çalışmada, 19.5 °C temel sıcaklık baz alınarak 21 yıllık en düşük ve en yüksek dış ortam hava sıcaklıkları doğrultusunda hesaplanmış ısıtma derece-gün yöntemi kullanılarak ısı kayıpları, enerji gereksinimi ve yakıtlara bağlı yıllık yakıt tüketimi hesabı yapılmıştır. Ayrıca borulardaki ısı kaybı bulunarak, aylık ve yıllık enerji kaybı hesaplamaları yapılmıştır.

Hesaplamalar sonucu bulunan değerler üzerinden çıkarımlar yapılarak ısı kaybının azaltılması suretiyle enerji tasarrufunun sağlanması ve atmosfere salınan gaz emisyonlarının azaltılması hedeflenmiştir. Böylece kullandığımız yakıt türlerinin büyük bir bölümünü ithal eden ülkemiz göz ününe alındığında ısıtma için kullanılan yakıt girdilerimizin azaltılması amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE METOD

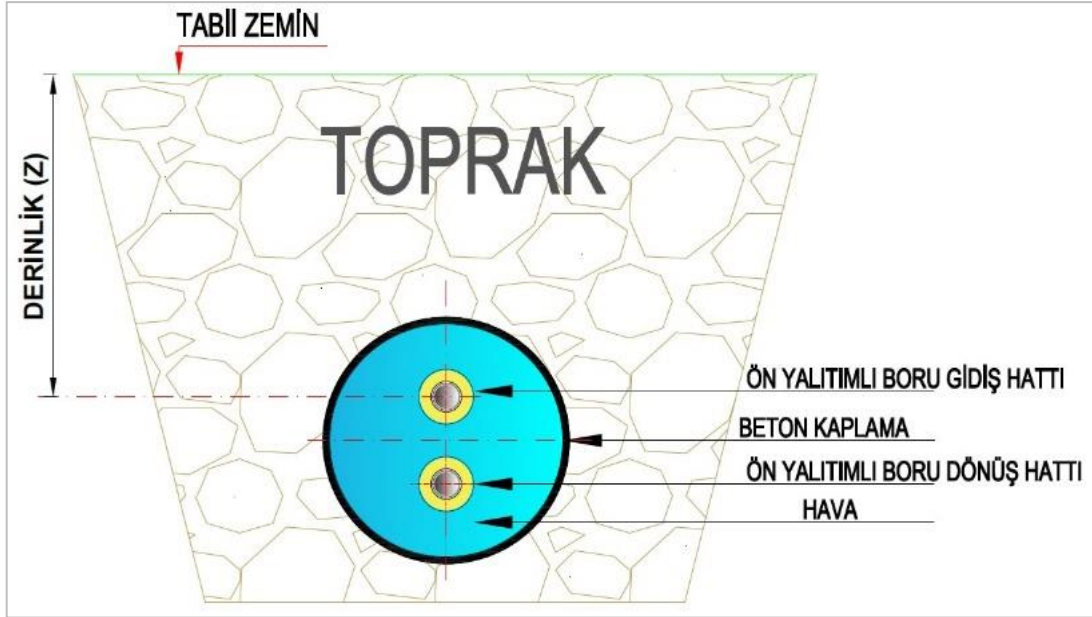
2.1 Kullanılan Boru Sistemi

Merkezi ısıtma sistemleri için ısıyı oluşturan kaynak ve ısının taşınması için kullanılan borulama sistemi büyük önem taşımaktadır (Kon ve İlhan, 2022). İçlerinden dış ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta akışkan geçen borular, çevrelerine ısı enerjisi verirler. Enerji kaybı, iç akışkanın hızı ve sıcaklığı, boru malzemesinin yalıtımlı olup olmaması ve dış ortam sıcaklıklarına göre değişiklik gösterir. Ayrıca borularda kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısı ve bu malzemenin kalınlığı da ısı kaybını değiştirmektedir. Kalınlık arttıkça ısı kaybı azalırken, ilk yatırım maliyeti artmaktadır (Kürekci, 2013). Çalışmada yeraltı ön yalıtımlı boru sistemini oluşturan katmanlar Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Yeraltı ön yalıtımlı borulama sistemini oluşturan katmanlar (Kon, 2022).

Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı taşıyan toprak altı boru hatlarındaki ısı kayıpları ve sıcaklık değişimleri; yalıtım malzemesi, çevre, dış hava şartları, toprak altı borular için toprak tipi ve kullanılan borunun yapısı gibi bazı nedenlerden dolayı önemli derecede etkilenir. Bu çalışmada, farklı toprak tiplerine ve derinliğe gömülmüş, 90/70 °C’de sıcak sulu boru sistemi ile beton kaplama içerisine yerleştirilmiş 140/100 °C’de kızgın sulu bir boru sistemi ele alınmış ve şematik görüntüsü Şekil 2.2’de verilmiştir. Bu boru sistemi, Balıkesir ili için ısıtmanın olduğu aylardaki toprak yüzeyindeki ortalama sıcaklıklar baz alınarak, toprak tipine bağlı olarak çeşitli derinlikteki toprak sıcaklıklarının hesaplaması yapılmıştır. Söz konusu toprak sıcaklıklarında, boru sistemine çeşitli yalıtım malzemesi ve kalınlıklarının uygulanması sonucu birim uzunluktaki ısı kayıpları bulunmuştur.



Şekil 2.2: Kızgın su hattı şematik görüntüsü (Jakubek, vd., 2023).

2.2 Isı Kaybı Hesabı ve Enerji Gereksinimi

Bölgesel ısıtmada kazanlar aracılığıyla oluşturulan ısı, sıcak akışkan kullanılarak kapalı devre bir ağ üzerinden binalara aktarılır. Binaların hacim ısıtması ve kullanım sıcak suyu ihtiyaçları, aktarılan ısı ile karşılanır. Böyle bir sistemde sıcak sıvı, ağlardan binalara sabit durum akışı altında ve sabit bir düşük hızda boruların içine pompalanır. Bu nedenle borular, öncelikli ısı kayıplarının ana kaynağı olarak ele alınmalıdır. Isı taşıyan boru hatlarındaki ısı kayıpları ve sıcaklık değişiklikleri, yalıtım, çevre şartları (gömülü borular için toprak) ve boru yapısı önemli derecede etkilidir. Bu bölgesel ısıtma sistemi için hesaplamalar yapılırken sıcak suyun (90/70 °C) ve kızgın suyun (140/100 °C) kararlı durum, kararlı akış kontrol hacmi koşullarında sabit bir hız ile borudan pompalandığı düşünülmüştür. Borulama sistemindeki akış sürtünmesi nedeniyle oluşan basınç düşümleri ve moleküler difüzyon yoluyla farklı türde moleküllerin karışması durumları bu çalışmada ihmal edilmiştir. Borunun dış sıcaklığı sabit, toprağın homojen olduğu, su infiltrasyonu nedeniyle toprak nem seviyesinin zamansal değişimin olmadığı kabul edilmiştir (Çallı, 2016).

Bölgesel ısıtma sisteminde borulama sistemi için kullanılacak borularda birim uzunluktaki ısı kaybı (Q_b) denklem (2.1) ile yeraltına gömülü borudan gerçekleşen ısı kaybı denklem (2.2) ile hesaplanmaktadır (Keçebaş, 2013; Kayfeci, 2013).

$$Q_b = U \cdot A \cdot (T_{ts} - T_o) = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

$$Q_{bya} = U \cdot A \cdot (T_{ts} - T_t) = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Bu eşitliklerde U, boru sistemi için toplam ısı transfer katsayısı, A, borunun toplam yüzey alanı, T_{ts}, boru içindeki suyun ortalama tasarım sıcaklığı, T_o, ise dış ortam sıcaklığı, T_t, ise yılın ısınma yapılan ayları için toprak türüne ve derinliğine bağlı olarak toprak altı sıcaklığını ifade eder. (Keçebaş, 2013; Kayfeci, 2013).

“U” boru sisteminin toplam ısı transfer katsayısı eşitlik (2.3), yalıtım yapılmış ve yapılmamış borularda ısı transfer katsayıları arasındaki fark eşitlik (2.4) gibidir (Keçebaş 2012; Kayfeci, 2013).

$$U = \frac{1}{R_b} \quad (2.3)$$

$$\Delta U = U_{y-sız} - U_y = \frac{1}{R_{b,y-sız}} - \frac{1}{R_{b,y}} \quad (2.4)$$

Borunun tüm katmanları için toplam ısıl direnç R_b, yeraltı borularının tüm katmanları için toplam ısıl direnç R_{bya} eşitlik (2.5) ile bulunmaktadır (Keçebaş, vd., 2011; Kayfeci, 2013).

$$R_{bya} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{2\pi L k_n} + \frac{\ln\left(\frac{4Z}{r_n}\right)}{2\pi L k_t} \quad (2.5)$$

Burada; k₁, k₂, k_n borulama tabakalarının ısıl iletkenliklerini ve r₁, r₂, r_n onların yarıçaplarını ifade etmektedir. Z taşıyıcı borunun merkezinden toprak üst seviyesine olan yüksekliği olup bu çalışmada 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 metre kabul edilmiştir. Toprağın ısıl iletkenlik katsayısı k_t, taşıyıcı borunun uzunluğu L ile gösterilmiştir. Yalıtım yapılmış borunun iç yüzey alanı A_i = 2.π.Lr₀ ile dış yüzey alanı A_d = 2.π.Lr_n formülüyle hesaplanmaktadır (Keçebaş, vd., 2011; Kayfeci, 2013).

Toprağa gömülü yalıtımsız boruların toplam ısıl direnci eşitlik (2.6) ile bulunmaktadır (Keçebaş, vd., 2011; Kayfeci, 2013).

$$R_{bya,y-sız} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{4Z}{r_n}\right)}{2\pi L k_t} \quad (2.6)$$

Toprak altı yalıtımlı boruların toplam ısıl direnci eşitlik (2.7) ile bulunmaktadır (Keçebaş, vd., 2011; Kayfeci, 2013).

$$R_{bya,y} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_b} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_{\delta ny}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_y} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi L k_{kap}} + \frac{\ln\left(\frac{4Z}{r_n}\right)}{2\pi L k_t} \quad (2.7)$$

Burada; k_b çelik borunun, $k_{\text{öny}}$ ön yalıtım malzemesinin, k_y yalıtım malzemesinin, k_{kap} kılıf borunun ısı iletim katsayısını ifade etmektedir. A'_d yalıtımlı borunun son katmanının dış yüzey alanı olup $A'_d = 2\pi L r_4$ eşitliği ile bulunabilmektedir. Borunun iç yüzeyi için ısı taşınım katsayısı h_i gösterilmiş olup eşitlik (2.8) ile bulunmaktadır (Kaynaklı, 2014).

$$h_i = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left(\frac{k_i}{2r_0} \right) \quad (2.8)$$

Burada; “Re” boyutsuz Reynould sayısı olup boru içindeki akışın davranışını belirlemek için kullanılır. “Pr” Prandl sayısı olup hız ve ısı tabakanın birbirine göre kalınlıklarını tanımlayan sayıdır (Tanyıldızı ve Dağtekin, 2021). “ k_i ” boru içindeki taşıyıcı sıvının ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Toprak sıcaklığının zamana ve derinliğe bağlı değişiminin belirlenebilmesi için toprak yüzeyindeki yıllık ve aylık sıcaklık değişimlerinin de bilinmesi gerekir. Yüzeydeki toprak sıcaklığının zamana bağlı değişimi Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Gerek meteorolojideki yüzey sıcaklıkları verilerinden, gerek hava kayıtlarından toprak sıcaklığının yaz ortasında bir maksimum ve kış ortasında bir minimum değere haiz olduğu ve zamana bağlı sıcaklık değişiminin sinüs veya kosinüs dalgalanmalarına çok yakın bir seyir izlediği görülmektedir. Dolayısıyla toprak sıcaklığının belirli bir derinlikte zamanla periyodik olarak değiştiğini kabul etmek mümkündür (Demir, 2006). Buradan yola çıkarak, toprak tipine göre z derinliğindeki sıcaklık eşitlik (2.9) ile hesaplanabilmektedir. T_t , derinliğin (z) ve zamanın (t) bir fonksiyonu olan yeraltı toprak sıcaklığıdır (Fazlikhani, vd., 2017; Rostia, vd., 2019; Boutera, vd., 2022).

$$T_t = T_{s,m} - A_s \times \exp\left(-z \times \sqrt{\frac{\pi}{365 \times \alpha_t}}\right) \times \cos\left(\frac{2\pi}{365} \times \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \times \sqrt{\frac{365}{\pi \times \alpha_t}}\right)\right) \quad (2.9)$$

$T_{s,m}$, yıllık ortalama zemin yüzey sıcaklığıdır. t_0 toprak yüzeyinin faz sabiti (gün) ve t takvim yılının başlangıcından (gün) geçen süredir. t süresi bulunurken sıcaklığı bulunmak istenen günün yılın kaçınıcı gününe denk geldiği hesaplanır. “ t_0 ” toprak yüzeyi sıcaklığının minimum olduğu zaman yılın kaçınıcı gününe denk geldiğini göstermektedir. Burada, A_s sıcaklık genliği, z toprak derinliği, α_t toprak difüzyonudur.

Kanal içerisindeki boruların, toprak altındaki birim uzunluktaki ısı kayıplarını hesaplamak için aşağıdaki formüller kullanılır (Çomaklı, 2003; Ulusoy, 2020; Terhan, 2022).

Birim uzunluktaki (1 m) kanalda oluşan ısı kaybı eşitlik (2.10) ile hesaplanır.

$$Q_k = 2 \left[\frac{(T_{ts} - T_a)}{(R_i + R_c + R_{as} + R_e)} \right] \quad (2.10)$$

$$T_{ts} = \left(\frac{T_s + T_r}{2} \right) \text{ boru sisteminin ortalama sıcaklığını,} \quad (2.11)$$

T_a = Günlük ortalama atmosfer sıcaklığını ifade eder.

Yalıtım malzemesi ısı direnci (R_i);

$$\Sigma R_i = \frac{1}{2 \times \pi \times k_{\text{ony}}} \ln \left(\frac{\Sigma r_i}{\Sigma r_p} \right) \text{ “}r_i\text{” yalıtım boru çapını, “}r_p\text{” boru çapını ifade eder.} \quad (2.12)$$

Kanal boşluğu ısı direnci (R_c);

$$R_c = \frac{1}{2 \times \pi \times k_c} \times \ln \left(\frac{r_c + t_c}{r_c} \right) t_c; \text{ kanalın et kalınlığını ifade eder.} \quad (2.13)$$

k_c , kanal malzemesi ısı iletim katsayısıdır.

$$r_c = \frac{x_{cp}}{2 \times \pi} \quad x_{cp}, \text{ Kanalın çevresini ifade eder.} \quad (2.14)$$

Kanal içindeki boşluğunun direnci (R_{as});

$$R_{as} = \frac{1}{2 \times \pi \times h_a \times r_i} \quad r_i; \text{ yalıtılmış boru yarı çapını ifade eder.} \quad (2.15)$$

Kanal içindeki boşluğun (h_a) ısı taşınım katsayısı eşitlik (2.16) ile bulunur.

$$h_a = \frac{k_a}{D_t} \times Nu_D \quad D_t; \text{ yalıtılmış boru çapını ifade eder.} \quad (2.16)$$

Yerel Nusselt sayısını sabit sıcaklıkta ve bir silindirin etrafında hesaplamak için Churchill tarafından aşağıdaki formül önerilmiştir (Tanyıldızı ve Dağtekin, 2021).

$$Nu_D = \left[0.6 + 387 \left(\frac{Ra_D}{\left[\left(1 + (0.559/P_r)^{16} \right)^{9/16} \right]} \right)^{1/6} \right]^2 \quad (2.17)$$

$$Ra_D = Gr \times Pr = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_{\infty}) \times D^3}{\nu^2} \times Pr \quad (2.18)$$

$$\beta = \frac{1}{T_{film}} \quad \beta; \text{ hacimsel ısı genleşme katsayısı} \quad (2.19)$$

$$T_{film} = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (2.20)$$

T_s boru dış katmanı üzerindeki sıcaklık, T_∞ boruyu çevreleyen hava katmanı sıcaklığı ifade eder. T her zaman mutlak sıcaklık alınır (K).

Toprak direnci (Re);

$$R_e = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times k_e} \right] \ln \left[\frac{h_c}{r_c} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{D_T}{h_c} \right)^2} \right) \right] \quad (2.21)$$

k_e toprak iletim katsayısını, h_c ise kanal yüksekliğini ifade eder.

Yıllık enerji tüketimi ve maliyet analizi genellikle tasarım ısı yükü hesaplamaları ile birlikte yapılır ve ısıtma sistemlerinin seçiminde önemli bir rol oynar. Yıllık ısı tüketimini hesaplamak için çeşitli yöntemler kullanılır. Bir binanın yıllık enerji tüketimini tahmin etmenin en basit ve etkili yolu ise saatlik verileri kullanarak yıllık ısıtma derece günlerin (IDG) sayısını belirlemektir. Bunun için (2.22) formülü kullanılmıştır (Keçebaş, 2012 b).

$$IDG = (1 \text{ yıl}) \sum_1^{365} (T_b - T_{sa})^* \quad (2.22)$$

Burada; T_b denge sıcaklık değeri ve T_{sa} günlük ortalama sıcaklıktır. Parantez üzerindeki * işareti sadece pozitif olan değerlerin hesaba katıldığını belirtmekte ve $T_b < T_{sa}$ olduğunda sıcaklık farkları sıfır olarak alınmaktadır. Temel sıcaklık ısıtmanın gerekli olduğu en alt dış sıcaklıktır. (Keçebaş, 2013). Çalışmada denge sıcaklık 19.5 °C için 21 yıllık en yüksek ve düşük dış ortam hava sıcaklıkları kullanılarak sayısal hesaplamalar yapılmış Balıkesir ilinin IDG değeri 2312 °C-gün olarak alınmıştır (Dombaycı, 2009). Çalışmada, TS 825'e (2013 yılında yayımlanan) göre 2. IDG bölgesindeki Balıkesir ili için Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının ısıtma olmadığından IDG=0 alınmıştır (Kon, 2014).

Derece-gün yöntemi ile bölgesel ısıtma borulama sisteminin yıllık ısı kaybı eşitlik (2.23)'e göre hesaplanır (Keçebaş, 2013).

$$Q_A = 86400 IDG U \quad (2.23)$$

Eşitlik (2.24)'te gösterilen borulamadaki ısı kayıplarını karşılamak için gerekli yıllık enerji miktarı, yıllık ısı kaybının ısıtma sisteminin verimine (η_{is}) bölünmesiyle hesaplanır (Başoğul, vd., 2016).

$$E_g = \frac{86400 IDG U}{\eta_{1s}} \quad (2.24)$$

Isıtma borularında meydana gelen ısı kayıpları için harcanan yıllık yakıt miktarı ise eşitlik (2.25)'te gösterilen yıllık enerji gereksiniminin yakıtın alt ısı değerine (H_{alt}) bölünmesiyle bulunur (Başoğul, vd. 2016).

$$m_{yakıt} = \frac{86400 IDG U}{H_{alt} \eta_{1s}} \quad (2.25)$$

Toprak altındaki borulardan Aylık Enerji kaybı ise eşitlik (2.26) ile hesaplanır.

$$E = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot AIG \quad (J/m^2) \quad (2.26)$$

Toprak altındaki borulardan yıllık enerji kaybı eşitlik (2.27) ile hesaplanır. Yıllık ısıtma günü (YIG) ısıtma yapılan yıldaki toplam gün sayısını ifade eder.

$$E = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot YIG \quad (J/m^2) \quad (2.27)$$

2.3 Hesaplamalarda Kullanılan Değerler

Yapılan tez çalışmasında 4 farklı boru çapı kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan boru (ANSI B 36.10) sınıfına haiz paslanmaz çelik borudur. İletkenlik katsayısı 16.2 W/mK olup 1371-1399 °C erime noktası sahiptir. Boru özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Isıtma sisteminde kullanılan borunun özellikleri (Keçebaş, 2013; Ertürk, 2016).

Nominal Boru Çapı		Dış çapı	Et kalınlığı	Ağırlık Sınıflandırması	Sch No	Birim uzunluk ağırlığı
(mm)	(inç)	(mm)	(mm)			(kg/m)
50	2	60.3	3.91	STD	40	5.44
100	4	114.3	6.02	STD	40	16.07
200	8	219.1	8.18	STD	40	42.55
400	16	406.4	9.53	STD	30	93.27

Çalışmada, Balıkesir şehri için derece-gün (DG) yöntemiyle değerler bulunurken 21 yıllık en yüksek ve düşük dış ortam hava sıcaklıkları kullanılarak yapılan hesaplar doğrultusunda 19.5 °C temel sıcaklık için 2312 °C-gün IDG bulunmuştur (Dombaycı, 2009).

Çalışmada 6 farklı toprak tipi için 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 metre derinlikteki toprak sıcaklıkları için hesaplamalar yapılmış hesaplamalarda kullanılan toprak özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Hesaplamalarda kullanılan toprak özellikleri (Salomone, 1989; Austin,1998; Poudyal, 2014; Shojaee, 2017).

Toprak Tipi	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)	Toprak difüzyonu (α_t) (m ² /s)
Kuru Toprak	0.45	0.0000036
Kum veya Çakıllı Toprak	0.77	0.0000045
Killi Toprak	1.11	0.0000054
Balçık	0.91	0.0000049
Doymuş Kumlu Toprak	2.5	0.0000093
Doymuş Silt ya da Killi Toprak	1.67	0.0000066

Tablo 2.3'te çalışmada kullanılan Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan verilere dayanarak hazırlanan Balıkesir iline ait iklim verileri gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Balıkesir iline ait iklim verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024).

Aylar (t)	Toprak üstü Sıcaklığı (T _{s,m}) (°C)	Dış Ortam Minimum Sıcaklık (°C)	Toprak üstü Sıcaklık Genliği (A _s) (°C)	Minimum Toprak üstü Sıcaklığın olduğu ayın günü (t ₀) (gün)	Minimum Toprak üstü Sıcaklığın olduğu yılın günü (t ₀) (gün)
Ocak (31 gün)	-0.6	0.2	22.60	Ayın 7. günü	Yılın 7. günü
Şubat (28 gün)	2.6	3.3	18.37	Ayın 10. günü	Yılın 41. günü
Mart (31 gün)	4.0	4.8	15.47	Ayın 18. günü	Yılın 77. günü
Nisan (30 gün)	4.4	5.3	11.30	Ayın 13. günü	Yılın 103. günü
Ekim (31 gün)	8.2	9.1	16.97	Ayın 27. günü	Yılın 300. günü
Kasım (30 gün)	4.3	5.2	17.33	Ayın 8. günü	Yılın 312. günü
Aralık (31 gün)	-0.2	0.6	14.43	Ayın 18. günü	Yılın 352. günü
Ortalama	3.24	4.07	16.63	Yılın 7. günü	

Tablo 2.4'te çalışmada yalıtım katmanı olarak tercih edilen malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.4: Ön yalıtımlı borularda yalıtım katmanı olarak tercih edilen malzemenin özellikleri (Ertürk, 2016).

Yalıtım Malzemesi	Standart	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
Eksrüde Polistren (XPS)	TS EN 13164	28-30	0.031
Ekspande Polistren (EPS)	TS EN 13163	16	0.036
Taş yünü	TS EN 13162	100	0.040

Tablo 2.5'te çalışmada ısıtma borularında oluşan ısı kayıplarını karşılamak için harcanan yakıtların özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.5: Hesaplamalarda kullanılan yakıtların teknik parametreleri (Ertürk, 2016).

Yakıtlar	Alt Isıl Değer (Hu)	Verim η_{is}
Doğalgaz	$34.485 \times 10^6 \text{ J/m}^3$	93%
Fuel-oil	$41.278 \times 10^6 \text{ J/kg}$	80%
Kömür	$29.260 \times 10^6 \text{ J/kg}$	65%

Tablo 2.6'da tez çalışmasında kullanılan ısı taşıyıcı akışkanın değişmediği kabul edilen değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2.6: Bölgesel ısıtma borulama sisteminde ısı taşıyıcı akışkanın değerleri (Ertürk, 2016).

Parametreler	Sabit değerler
Boru içi ortalama sıcak su sıcaklığı	$(90 + 70)/2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$
Boru İçi ortalama kızgın su sıcaklığı	$(140 + 100)/2 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$
Boru sistemi içindeki sıcak su hızı	0.8 m/s
Boru sistemi içindeki kızgın su hızı	1.5 m/s

Çalışmada aylık ve yıllık enerji kaybının hesaplaması için kullanılan aylık ısıtma günü verileri (saniye) Tablo 2.7'de verilmiştir. Hesaplamalarda ısınmanın olduğu 2022 yılının Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım, Aralık aylarındaki iş günleri kabul edilmiş ve günde 12 saat ısıtmanın olduğu düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. AIG, aylık ısıtma gününü (saniye) ifade etmektedir.

Tablo 2.7: Çalışmada kullanılan 2022 yılı aylık bazda ısınma yapılan süreler.

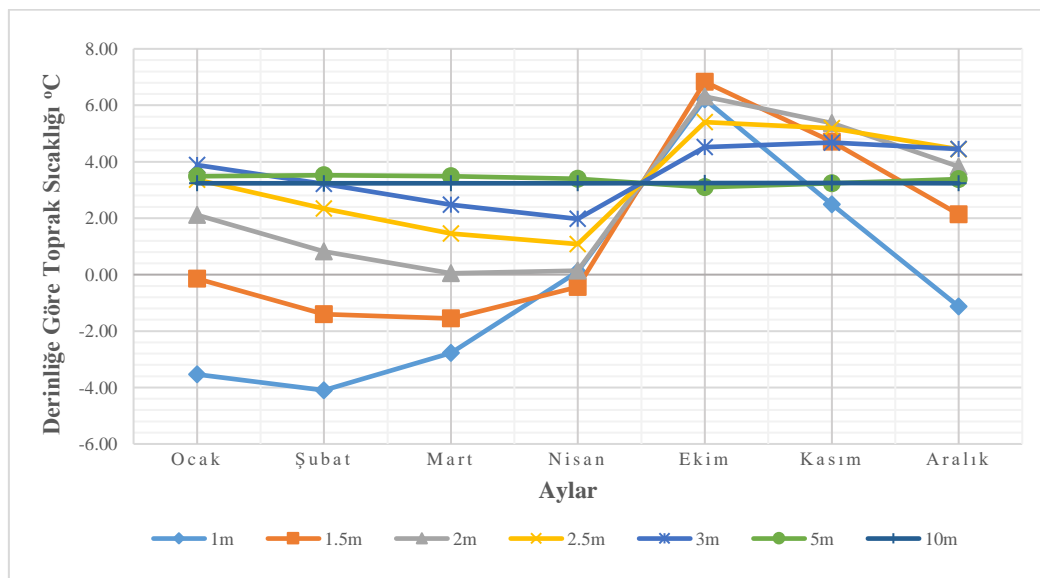
Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Ekim	Kasım	Aralık
Aylık Isıtma Günleri (AIG)	21	20	23	21	21	22	22
saniye	907200	864000	993600	907200	907200	950400	950400

3. BULGULAR

Çalışmada TS 825'e göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir şehri baz alınarak sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi boruları için 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) nominal çap tercih edilmiş, söz konusu borulama sistemi; derinliğe, toprak tipine, yalıtım malzemesine, artan yalıtım kalınlıklarına göre hesaplamaları yapılmıştır. Bununla birlikte kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemi boruları 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) çapta beton kanal içerisinde olması durumu ele alınmış, derinliğe, toprak tipine, artan yalıtım kalınlığına göre hesaplanmalar tekrarlanmıştır. Hesaplamalara dayanarak yıllık ısı kaybı, enerji gereksinimi, yakıt tüketimi, aylık enerji kaybı ve yıllık enerji kaybı tespit edilmiştir.

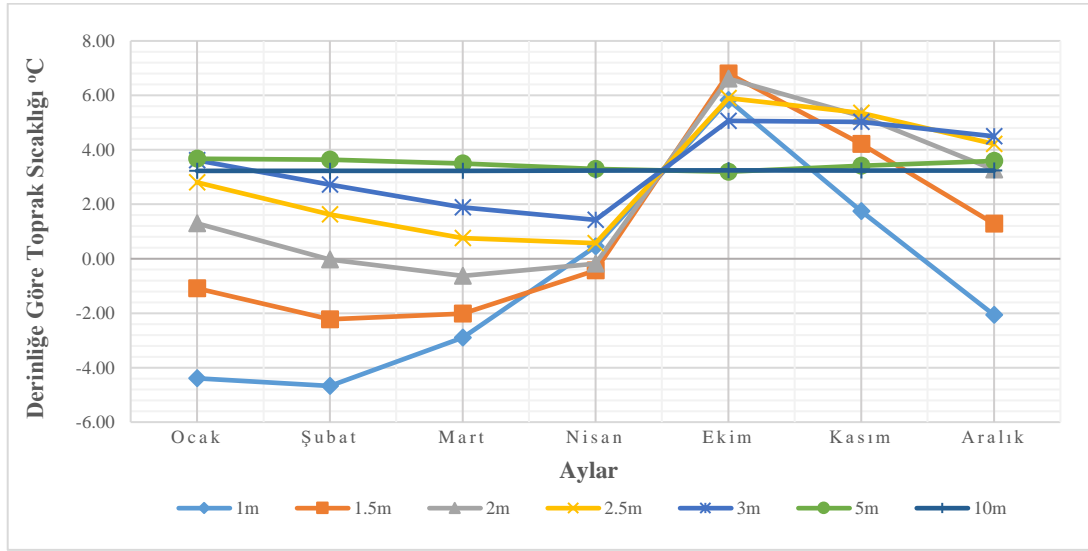
3.1 Meteorolojik Verilere Dayalı Toprak Tipine Bağlı Sıcaklıklar

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine dayanarak hesaplanan kuru toprak tipi için derinliğe bağlı toprak sıcaklıkları Şekil 3.1'de verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere 1 ila 3 metre derinlikte mart veya nisan ayının bitiminden itibaren toprak sıcaklıklarının arttığı yaz aylarında maksimum seviyeye ulaştığı yaz ayından kış mevsime doğru toprak ısı direncine bağlı olarak düştüğü görülmektedir. En soğuk toprak sıcaklığı şubat ayında 1 ve 1.5 metre derinlikte sırasıyla -4.10 °C ve -1.51 °C elde edilmiştir. Söz konusu sıcaklıklar yalıtımsız borular için don derinliğini ihtiva etmekte ve ısı kaybının maksimum olduğu anlamına gelmektedir. 2 metre derinlikten itibaren toprak sıcaklıkları 0 °C'nin üzerine çıkmaya başlamıştır. Fakat 5 metre derinlikten sonra sıcaklık değişimi minimuma inmiş ve 10 metre derinlikte stabil hale gelmiştir.



Şekil 3.1: Derinliğe ve aylara bağlı kuru toprak sıcaklık grafiği.

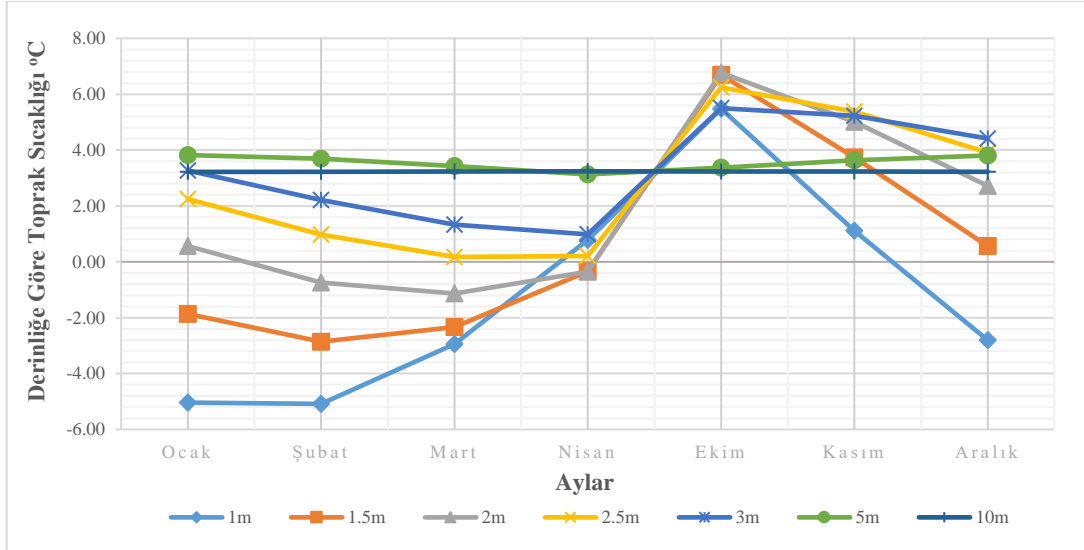
Kum ve çakıllı toprak için hesaplanan toprak sıcaklık değerleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. En soğuk toprak sıcaklığı şubat ayında 1 ve 1.5 metre derinlikte sırasıyla -4.67 °C ve -2.22 °C ile elde edilmiştir. Fakat kum veya çakıl toprakta 2 metreden sonra toprak özelliğinden dolayı toprak sıcaklığı mart ayına kadar düşmeye devam etmektedir. Söz konusu sıcaklıklar yalıtımsız borular için don derinliğini ihtiva etmekte ve ısı kaybının maksimum olduğu anlamına gelmektedir. 2.5 metre derinlikten itibaren toprak sıcaklıkları 0 °C’nin üzerine çıkmaya başlamıştır. Fakat 5 metre derinlikten sonra sıcaklık değişimi minimuma inmiş ve 10 metre derinlikte stabil hale gelmiştir.



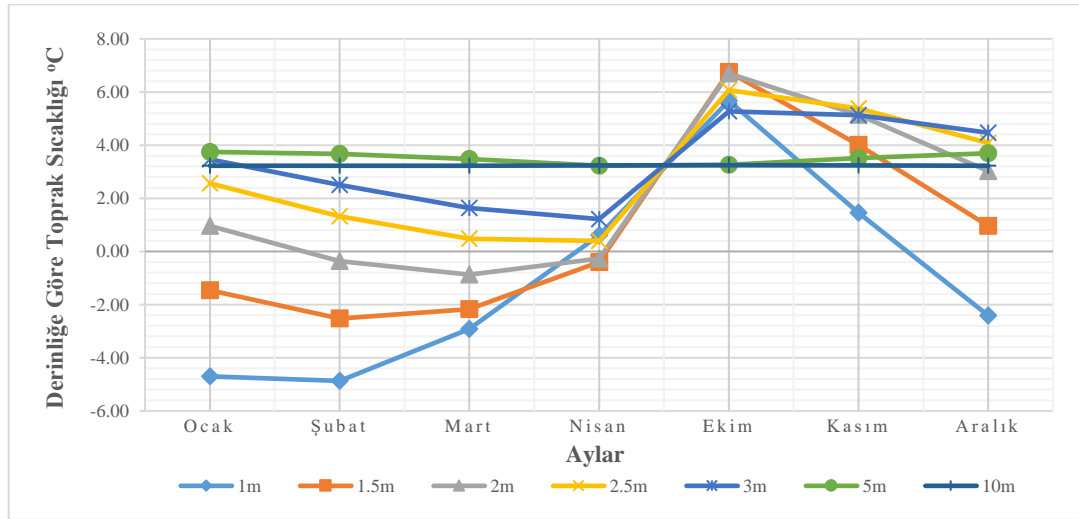
Şekil 3.2: Derinliğe ve aylara bağlı kum veya çakıllı toprak sıcaklık grafiği.

Killi toprak için hesaplanan toprak sıcaklık değerleri Şekil 3.3’te gösterilmiştir. En soğuk toprak sıcaklığı, şubat ayında 1, 1.5 metre derinlikte sırasıyla -5.08 °C, -2.86 °C, mart ayında 2 metre derinlikte -1.13 °C elde edilmiştir. Söz konusu sıcaklıklar yalıtımsız borular için don derinliğini ihtiva etmekte ve ısı kaybının maksimum olduğu anlamına gelmektedir. 2.5 metre derinlikten ise toprak sıcaklıkları 0 °C’ye yaklaşmıştır. Fakat 5 metre derinlikten sonra sıcaklık değişimi minimuma inmiş ve 10 metre derinlikte stabil hale gelmiştir.

Balçık toprak için hesaplanan toprak sıcaklık değerleri Şekil 3.4’te gösterilmiştir. En soğuk toprak sıcaklığı, şubat ayında 1, 1.5 metre derinlikte sırasıyla -4.87 °C, -2.52 °C, mart ayında 2 metre derinlikte -0.87 °C elde edilmiştir. Söz konusu sıcaklıklar yalıtımsız borular için don derinliğini ihtiva etmekte ve ısı kaybının maksimum olduğu anlamına gelmektedir. 2.5 metre derinlikten ise toprak sıcaklıkları 0 °C’ye yaklaşmıştır. Fakat 5 metre derinlikten sonra sıcaklık değişimi minimuma inmiş ve 10 metre derinlikte stabil hale gelmiştir.



Şekil 3.3: Derinliğe ve aylara bağlı killi toprak sıcaklık grafiği.

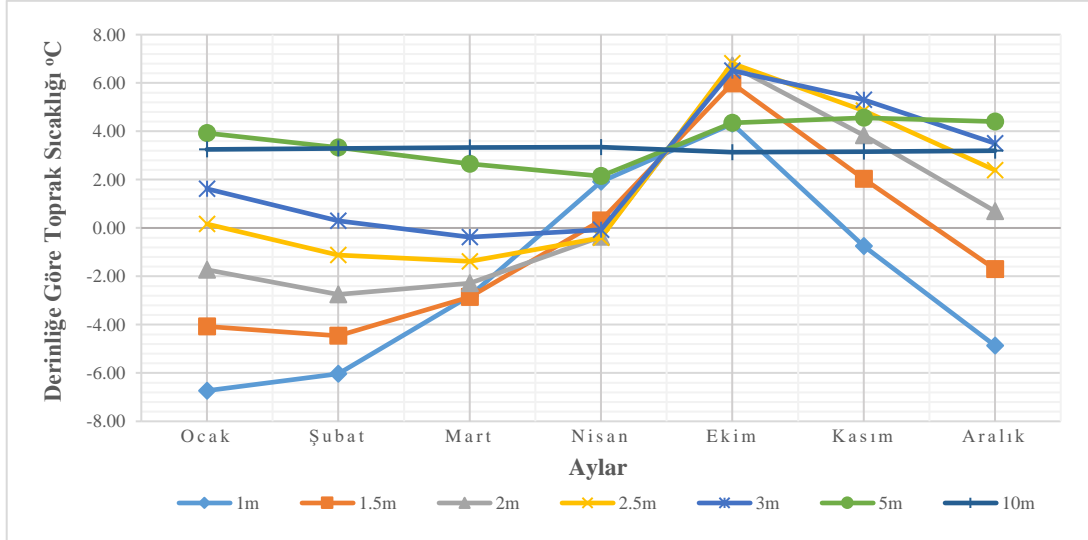


Şekil 3.4: Derinliğe ve aylara bağlı balçık toprak sıcaklık grafiği.

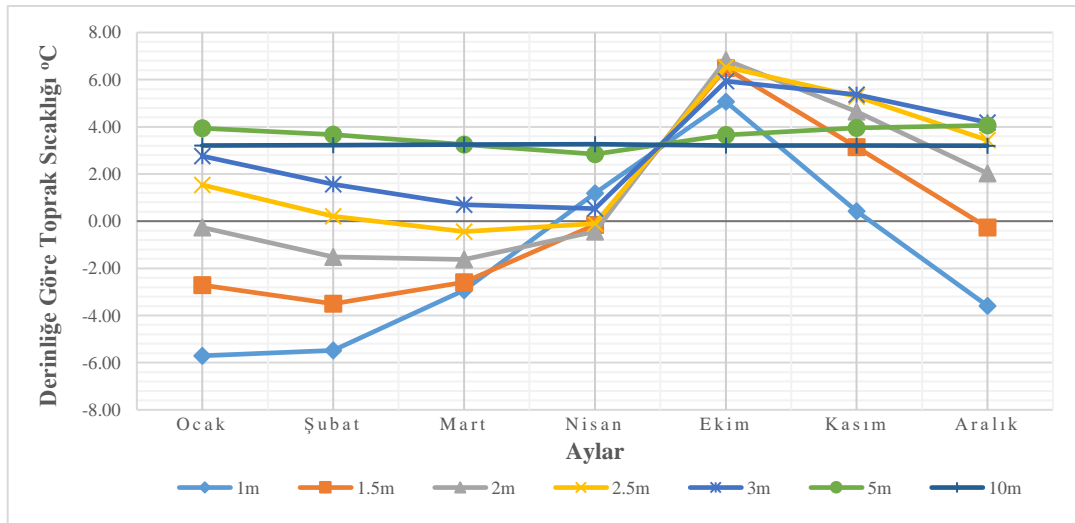
Doymuş kumlu toprak için hesaplanan toprak sıcaklık değerleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir. En soğuk toprak sıcaklığı, ocak ayında 1 metre derinlikte $-6.73\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1.5 ve 2 metre derinlik için şubat ayında sırasıyla $-4.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $-2.75\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2.5 ve 3 metre için ise mart ayında sırasıyla $-1.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $-0.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Söz konusu sıcaklıklar yalıtımsız borular için don derinliğini ihtiva etmekte ve ısı kaybının maksimum olduğu anlamına gelmektedir. 5 metre derinlikten sonra sıcaklık değişimi minimuma inmiş ve 10 metre derinlikte stabil hale gelmiştir.

Doymuş silt ya da killi toprak için hesaplanan toprak sıcaklık değerleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir. En soğuk toprak sıcaklığı, ocak ayında 1 metre derinlikte $-5.71\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1.5 ve 2 metre derinlik için şubat ayında sırasıyla $-3.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $-1.51\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2.5 metre için ise mart ayında

-0.44 °C olarak hesaplanmıştır. Söz konusu sıcaklıklar yalıtımsız borular için don derinliğini ihtiva etmekte ve ısı kaybının maksimum olduğu anlamına gelmektedir. Fakat 5 metre derinlikten sonra sıcaklık değişimi minimuma inmiş ve 10 metre derinlikte stabil hale gelmiştir.



Şekil 3.5: Derinliğe ve aylara bağlı doymuş kumlu toprak sıcaklık grafiği.



Şekil 3.6: Derinliğe ve aylara bağlı doymuş silt ya da killi toprak sıcaklık grafiği.

3.2 Ön Yalıtımlı Boru İçin Isıl Direnç ve Isı Transfer Katsayısı Değişimi

TS 825'e göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir şehri alınarak, ortalama 80 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipine gömüldüğü, 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığı düşünülerek, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısıl direnç ve ısı transfer katsayısındaki değişim hesaplanmıştır.

Ayrıca, beton kaplama içerisinde ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipine gömüldüğü, 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığı düşünülerek, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısındaki değişim hesaplanmıştır.

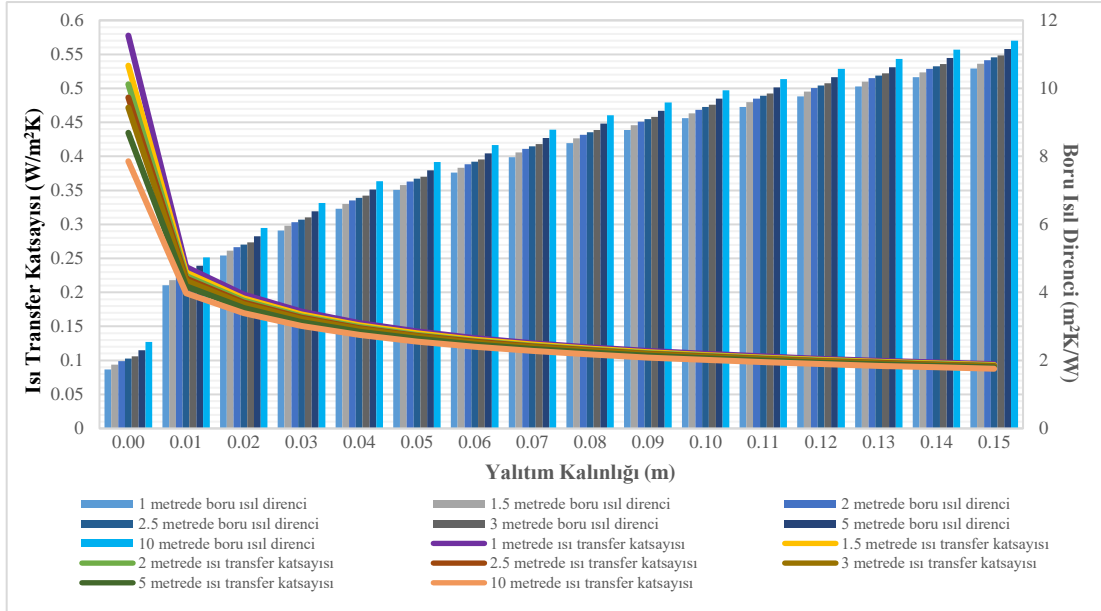
3.2.1 Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Birim Uzunluktaki Yeraltına Gömülmüş Ön Yalıtımlı Boru İçin Isıl Direnç ve Isı Transfer Katsayısı Değişimi

Şekil 3.7’de kuru toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru ısı direnci ve ısı transfer katsayısının değişim ilişkisi verilmiştir. Grafik; ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değerleri olarak iki yönden incelenebilir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 1.731 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.578 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 2.546 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.393 W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 4.214 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.237 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 4.870 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.205 W/m²K, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnç 10.584 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.094 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 11.399 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.088 W/m²K hesaplanmıştır. Buradan derinlik ve yalıtım kalınlığı arttıkça ısı direnç artarken ısı transfer katsayısı düşmektedir.

Kuru toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnç 4.056 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.247 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnç 4.870 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.205 W/m²K, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnç 9.475 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.106 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnç 10.029 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.097 W/m²K hesaplanmıştır.

Kuru toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine

minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısıl direnç 3.995 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.253 W/m²K, 10 metre derinlikte ısıl direnç 4.771 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.205 W/m²K, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısıl direnç 8.788 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.114 W/m²K, 10 metre derinlikte ısıl direnç 9.602 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.010 W/m²K hesaplanmıştır.



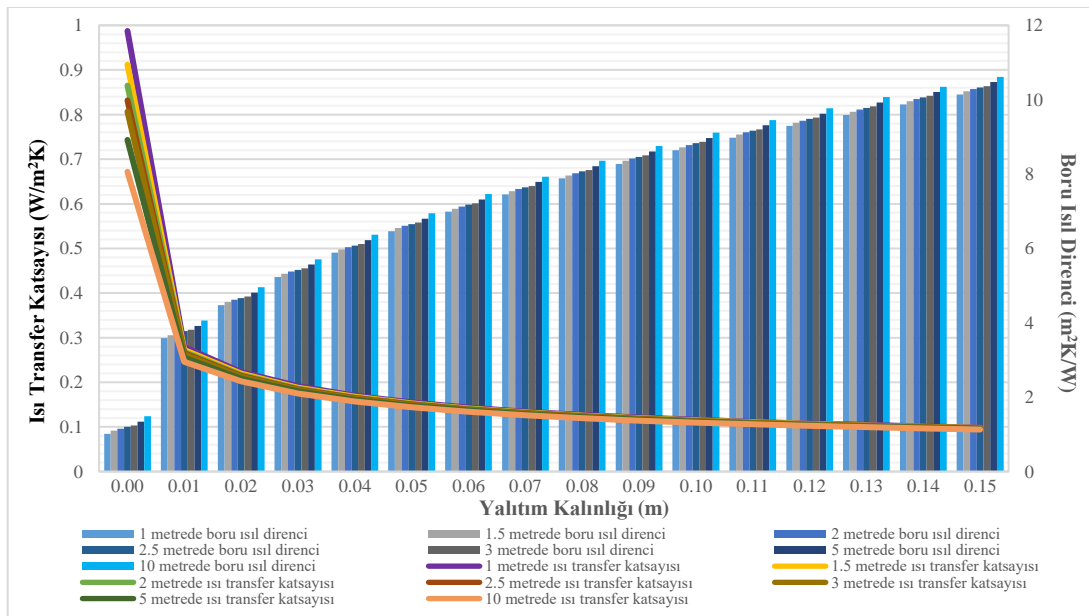
Şekil 3.7: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kuru toprak, XPS).

Şekil 3.8'de kum veya çakıllı toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru ısıl direnci ve ısı transfer katsayısının değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısıl direnç 1.013 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.987 W/m²K, 10 metre derinlikte ısıl direnç 0.672 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.393 W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısıl direnç 3.585 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.279 W/m²K, 10 metre derinlikte ısıl direnç 4.061 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.246 W/m²K, maksimum 0,15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısıl direnç 10.140 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.099 W/m²K, 10 metre derinlikte ısıl direnç 10.616 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.094 W/m²K hesaplanmıştır.

Kum veya çakıllı toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun

üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnci $3.426 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.292 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnci $3.902 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.256 \text{ W/m}^2\text{K}$, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnci $9.031 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.111 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnci $9.507 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.105 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır.

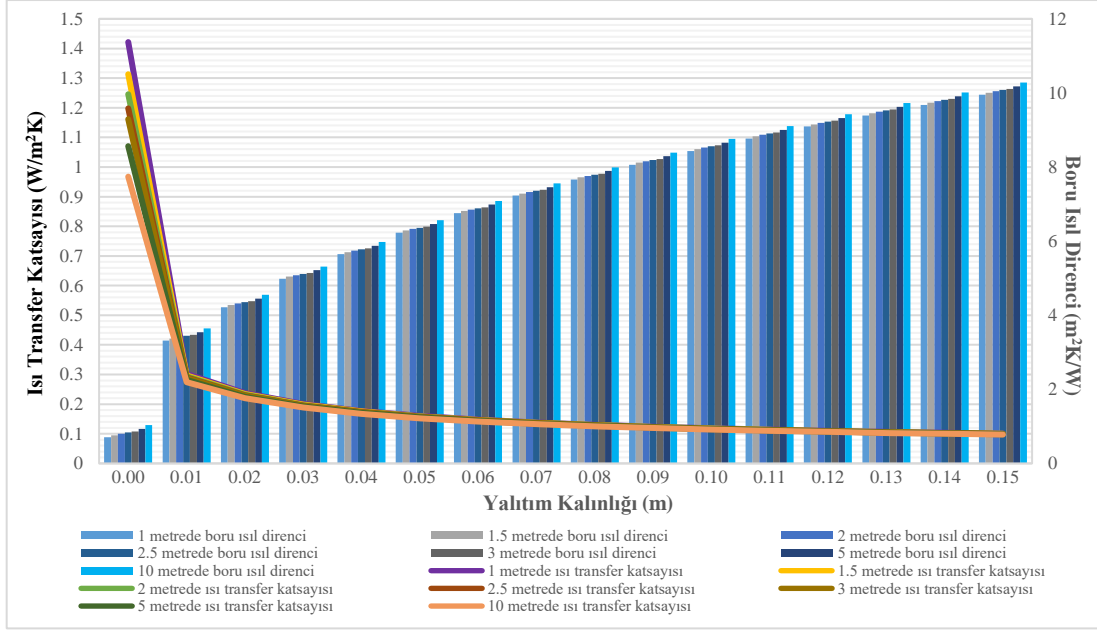
Kum veya çakıllı toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnci ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnci $3.328 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.301 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnci $3.804 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.263 \text{ W/m}^2\text{K}$, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnci $8.344 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.120 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnci $8.820 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.113 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.8: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnci ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kum veya çakıllı toprak, XPS).

Şekil 3.9’da killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru ısı direnci ve ısı transfer katsayısının değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnci $0.703 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $1.422 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnci $1.034 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.968 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında

sırasıyla 1 metre derinlikte ısıl direnç $3.313 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.302 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısıl direnç $3.644 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.274 \text{ W/m}^2\text{K}$, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısıl direnç $9.949 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.101 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısıl direnç $10.279 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.097 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır.



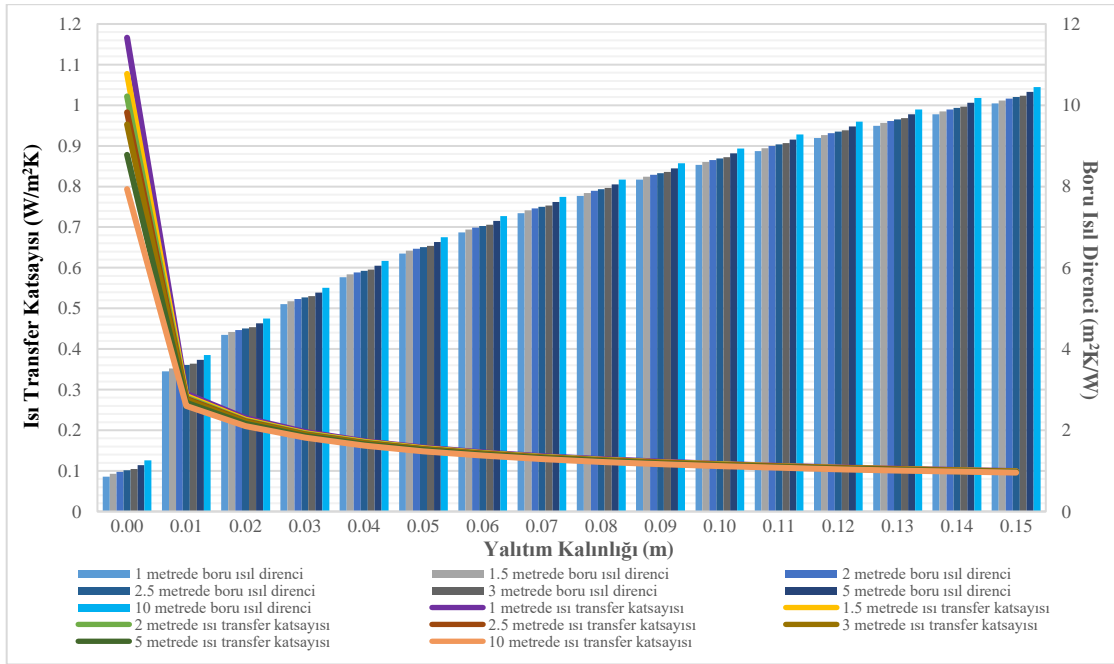
Şekil 3.9: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, killi toprak, XPS).

Killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısıl direnç $3.315 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.317 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısıl direnç $3.485 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.287 \text{ W/m}^2\text{K}$, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısıl direnç $8.840 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.113 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısıl direnç $9.170 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.109 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır.

Killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısıl direnç $3.057 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.327 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısıl direnç $3.387 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı

transfer katsayısı 0.295 W/m²K, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnci 8.157 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.123 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnci 8.483 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.118 W/m²K hesaplanmıştır.

Şekil 3.10'da, balçık toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru ısı direnci ve ısı transfer katsayısının değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnci 0.857 m²K/W, ısı transfer katsayısı 1.166 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnci 1.260 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.794 W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnci 3.448 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.290 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnci 3.851 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.260 W/m²K, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnci 10.044 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.100 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnci 10.447 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.096 W/m²K hesaplanmıştır.



Şekil 3.10: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnci ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, balçık toprak, XPS).

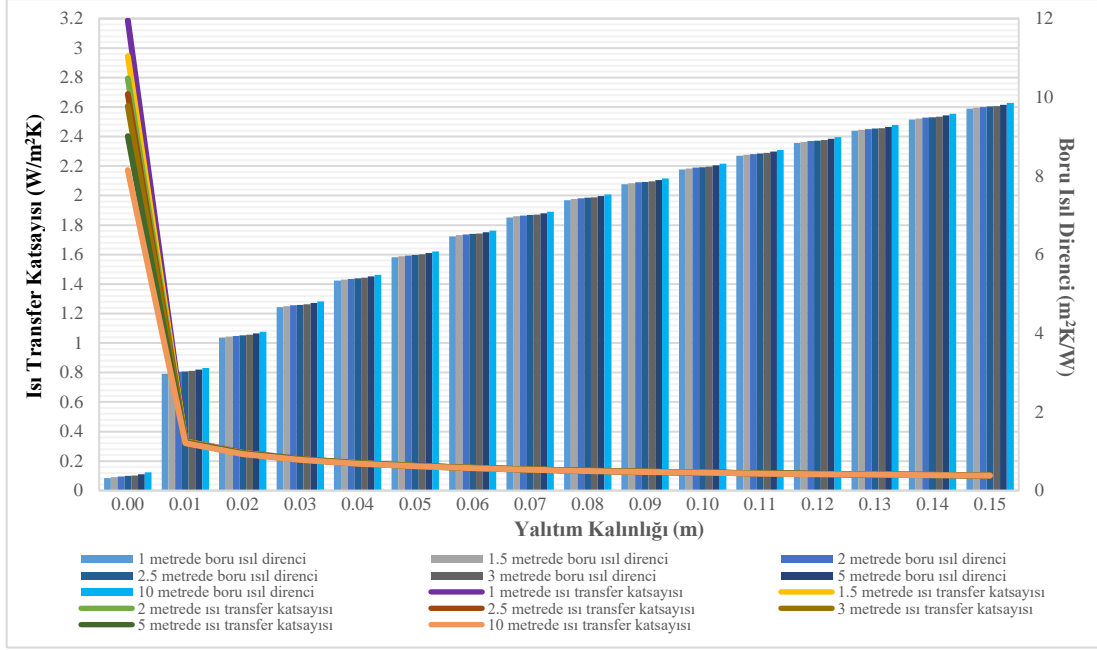
Balçık toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnci ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnci 3.290

m^2K/W , ısı transfer katsayısı $0.304 W/m^2K$, 10 metre derinlikte ısı direnç $3.693 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.271 W/m^2K$, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnç $8.936 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.112 W/m^2K$, 10 metre derinlikte ısı direnç $9.338 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.107 W/m^2K$ hesaplanmıştır.

Balçık toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru ısı direnci ve ısı transfer katsayısının değişim ilişkisi verilmiştir. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç $3.192 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.313 W/m^2K$, 10 metre derinlikte ısı direnç $3.594 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.278 W/m^2K$, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnç $8.248 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.121 W/m^2K$, 10 metre derinlikte ısı direnç $8.651 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.116 W/m^2K$ hesaplanmıştır.

Şekil 3.11'de doymuş kumlu toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru ısı direnci ve ısı transfer katsayısının değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnç $0.314 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $3.187 W/m^2K$, 10 m derinlikte ısı direnç $0.460 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $2.172 W/m^2K$ hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnç $2.972 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.336 W/m^2K$, 10 m derinlikte ısı direnç $3.118 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.321 W/m^2K$, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnç $9.708 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.103 W/m^2K$, 10 m derinlikte ısı direnç $9.855 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.101 W/m^2K$ hesaplanmıştır.

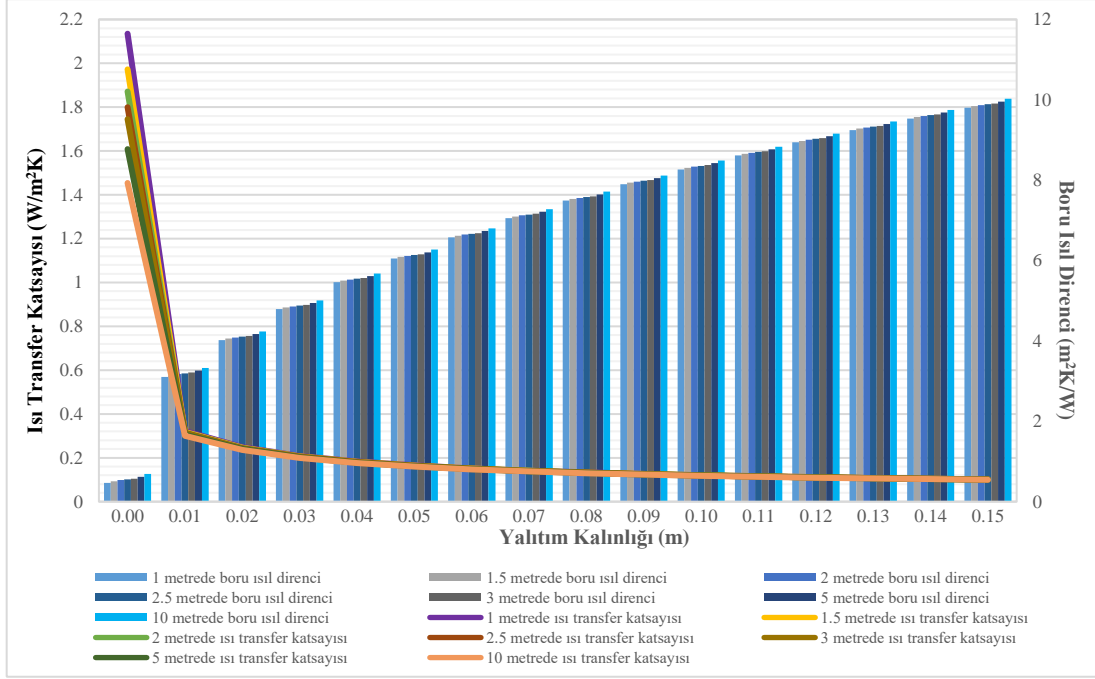
Doymuş kumlu toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnci ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnç $2.813 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.335 W/m^2K$, 10 m derinlikte ısı direnç $2.960 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.338 W/m^2K$, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnç $8.600 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.116 W/m^2K$, 10 m derinlikte ısı direnç $8.746 m^2K/W$, ısı transfer katsayısı $0.114 W/m^2K$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.11: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnci ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak, XPS).

Doymuş kumlu toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnci ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnci 2.715 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.368 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnci 2.862 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.349 W/m²K, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnci 7.912 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.126 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnci 8.059 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.124 W/m²K hesaplanmıştır.

Şekil 3.12’de, doymuş silt ya da killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru ısı direnci ve ısı transfer katsayısının değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnci 0.468 m²K/W, ısı transfer katsayısı 2.135 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnci 0.688 m²K/W, ısı transfer katsayısı 1.454 W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnci 3.107 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.322 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnci 3.327 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.301 W/m²K, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnci 9.804 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.102 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnci 10.023 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.100 W/m²K hesaplanmıştır.



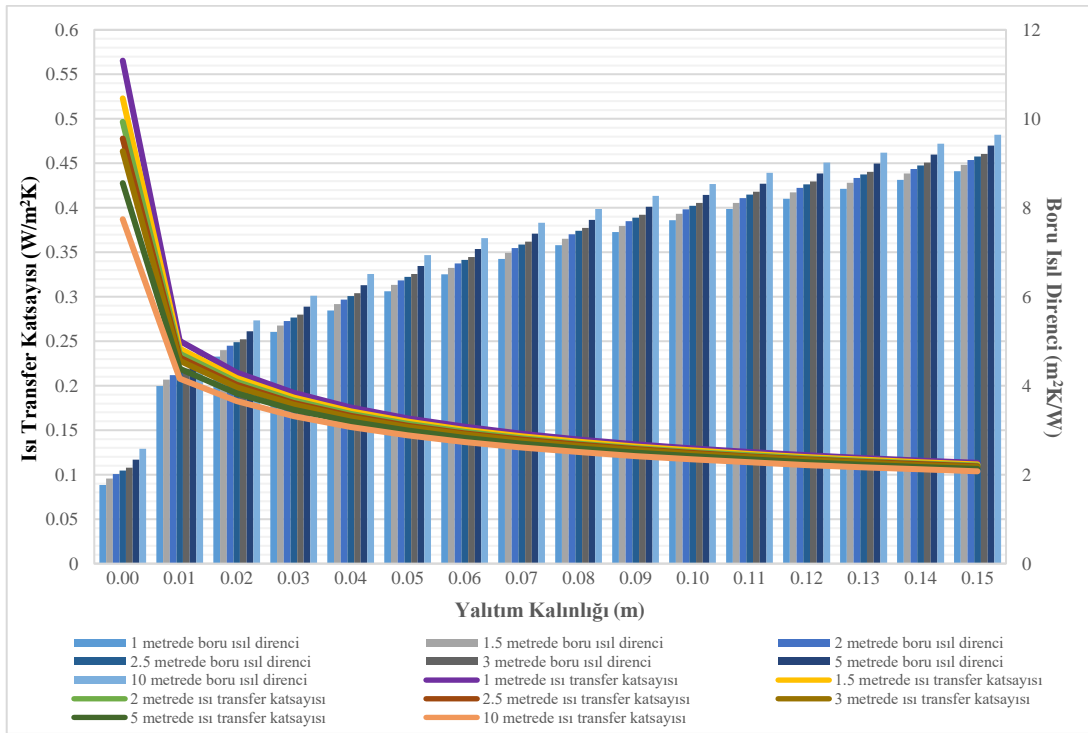
Şekil 3.12: Ortalama 80 °C sıcak su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş silt ya da killi toprak, XPS).

Doymuş silt ya da killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnç 2.949 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.339 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnç 3.168 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.316 W/m²K, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnç 8.695 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.115 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnç 8.915 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.112 W/m²K hesaplanmıştır.

Doymuş silt ya da killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı hesabı yapılmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnç 2.850 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.351 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 3.070 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.326 W/m²K, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnç 8.008 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.125 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnç 8.227 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.122 W/m²K hesaplanmıştır.

3.2.2 Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Birim Uzunluktaki Yeraltına Gömülmüş Ön Yalıtımlı Boru İçin Isıl Direnç ve Isı Transfer Katsayısı Değişimi

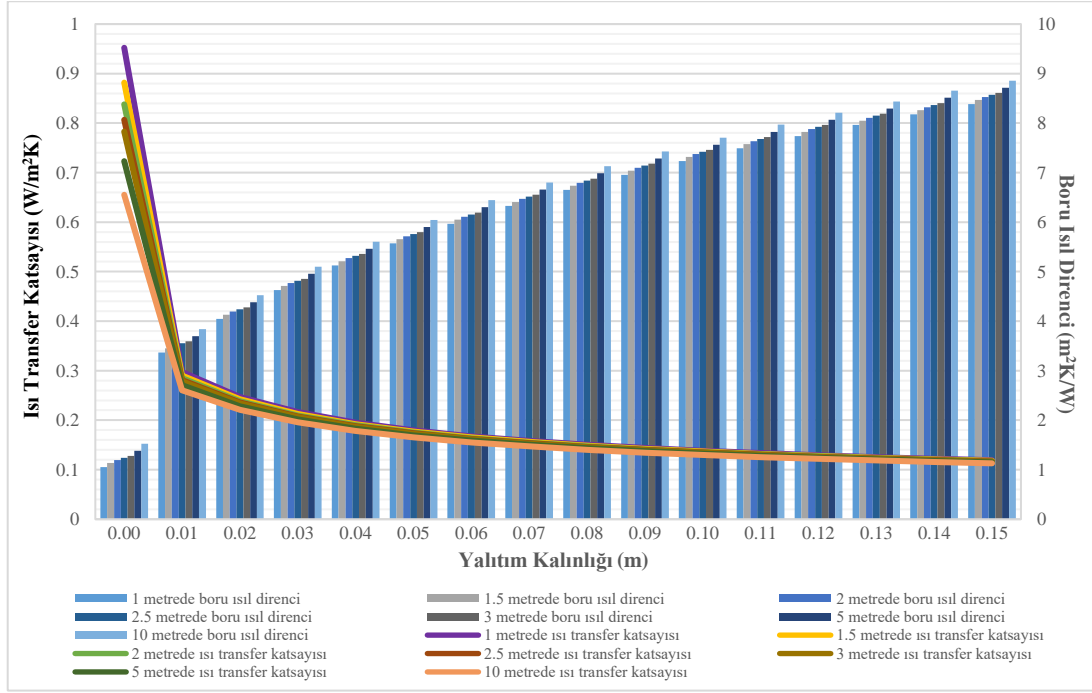
Şekil 3.13'te kuru toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 m derinlikte ısıl direnç $1.769 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.565 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 m derinlikte ısıl direnç $2.583 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.387 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısıl direnç $3.995 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.250 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 m derinlikte ısıl direnç $4.809 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.208 \text{ W/m}^2\text{K}$, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısıl direnç $8.825 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.113 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 m derinlikte ısıl direnç $9.640 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.104 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.13: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kuru toprak, taş yünü).

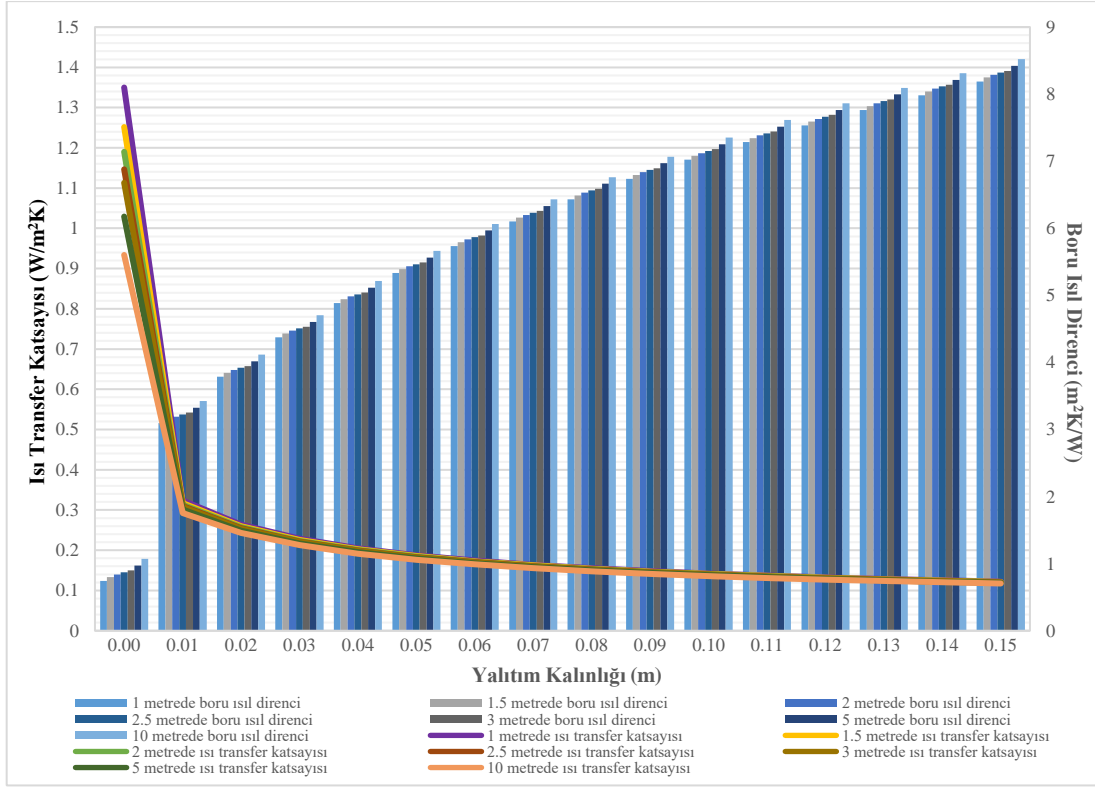
Şekil 3.14'te kum veya çakıllı toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısıl direnç ve ısı transfer katsayısı değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 m derinlikte ısıl direnç $1.050 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.952 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 m derinlikte ısıl direnç $1.526 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı 0.655

W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 m yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 m derinlikte ısı direnç 3.365 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.297 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnç 3.841 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.260 W/m²K, maksimum 0.15 m yalıtım uygulandığında ise 1 m derinlikte ısı direnç 8.381 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.119 W/m²K, 10 m derinlikte ısı direnç 8.857 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.113 W/m²K hesaplanmıştır.



Şekil 3.14: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, kum veya çakıllı toprak, taş yünü).

Şekil 3.15'te killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 0.741 m²K/W, ısı transfer katsayısı 1.350 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 1.071 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.934 W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 3.094 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.323 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 3.424 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.292 W/m²K, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnç 8.190 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.122 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 8.520 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.117 W/m²K hesaplanmıştır.

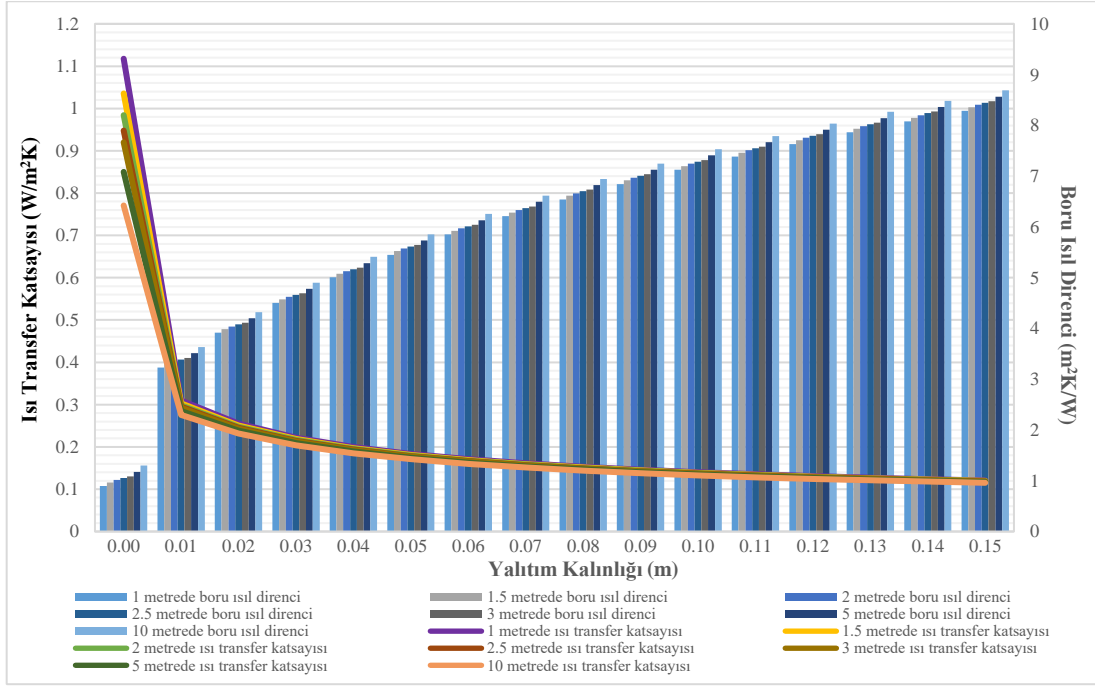


Şekil 3.15: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, killi toprak, taş yünü).

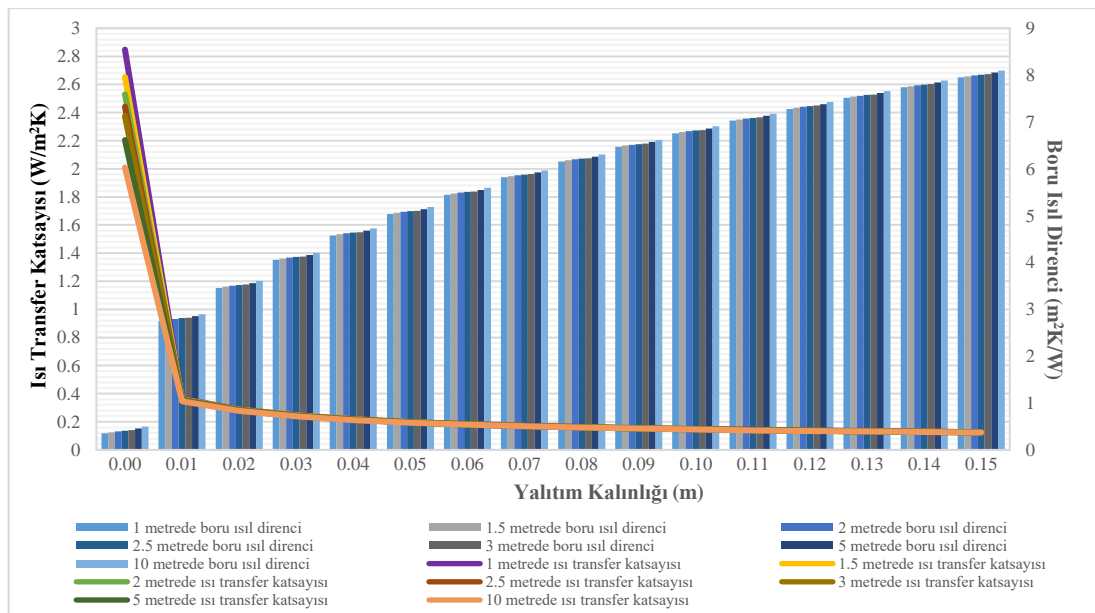
Şekil 3.16'da balçık toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 0.895 m²K/W, ısı transfer katsayısı 1.118 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 1.298 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.771 W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 3.229 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.310 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 3.632 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.275 W/m²K, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnç 8.285 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.121 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 8.688 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.115 W/m²K hesaplanmıştır.

Şekil 3.17'de doymuş kumlu toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 0.351 m²K/W, ısı transfer katsayısı 2.848 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 0.948 m²K/W, ısı transfer katsayısı

2.009 W/m²K hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç 2.752 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.363 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 2.899 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.345 W/m²K, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnç 7.949 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.126 W/m²K, 10 metre derinlikte ısı direnç 8.096 m²K/W, ısı transfer katsayısı 0.124 W/m²K hesaplanmıştır.

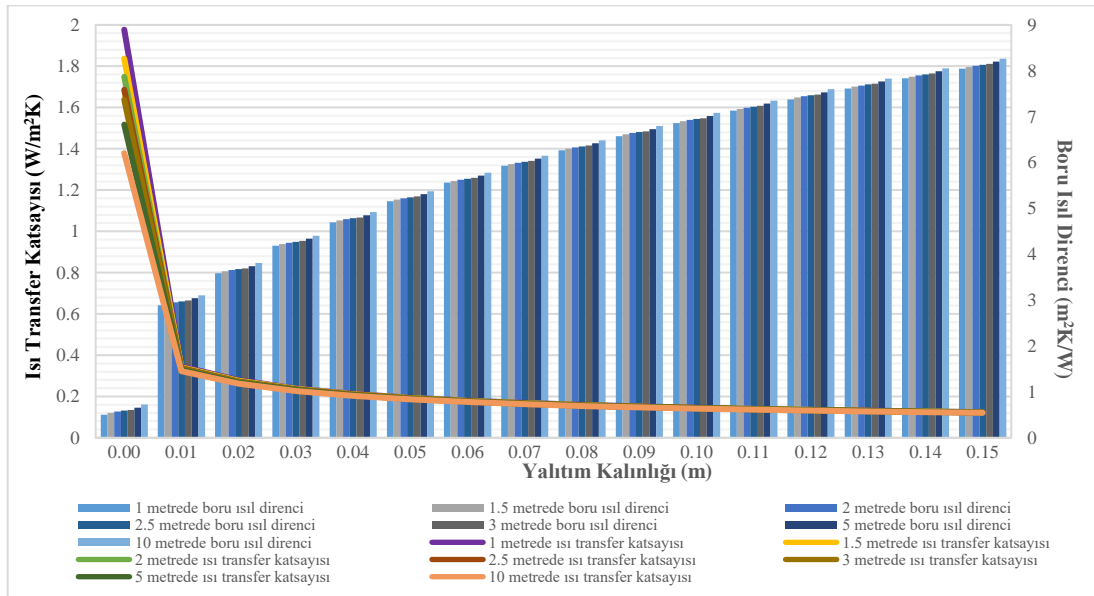


Şekil 3.16: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, balçık toprak, taş yünü).



Şekil 3.17: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan ön yalıtımlı boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak, taş yünü).

Şekil 3.18’de doymuş silt ya da killi toprağa gömülü 50 mm çapında ön yalıtımlı boru için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişim ilişkisi verilmiştir. Yalıtımsız olarak sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç $0.506 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $1.977 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnç $0.725 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $1.379 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır. Borunun üzerine minimum 0.01 metre yalıtım uygulandığında sırasıyla 1 metre derinlikte ısı direnç $2.888 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.346 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnç $3.107 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.322 \text{ W/m}^2\text{K}$, maksimum 0.15 metre yalıtım uygulandığında ise 1 metre derinlikte ısı direnç $8.045 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.124 \text{ W/m}^2\text{K}$, 10 metre derinlikte ısı direnç $8.264 \text{ m}^2\text{K/W}$, ısı transfer katsayısı $0.121 \text{ W/m}^2\text{K}$ hesaplanmıştır.



Şekil 3.18: Ortalama 120 °C kızgın su taşıyan boru için birim uzunluktaki ısı direnç ve ısı transfer katsayısı değişimi (50 mm boru çapı, doymuş silt ya da killi toprak, taş yünü).

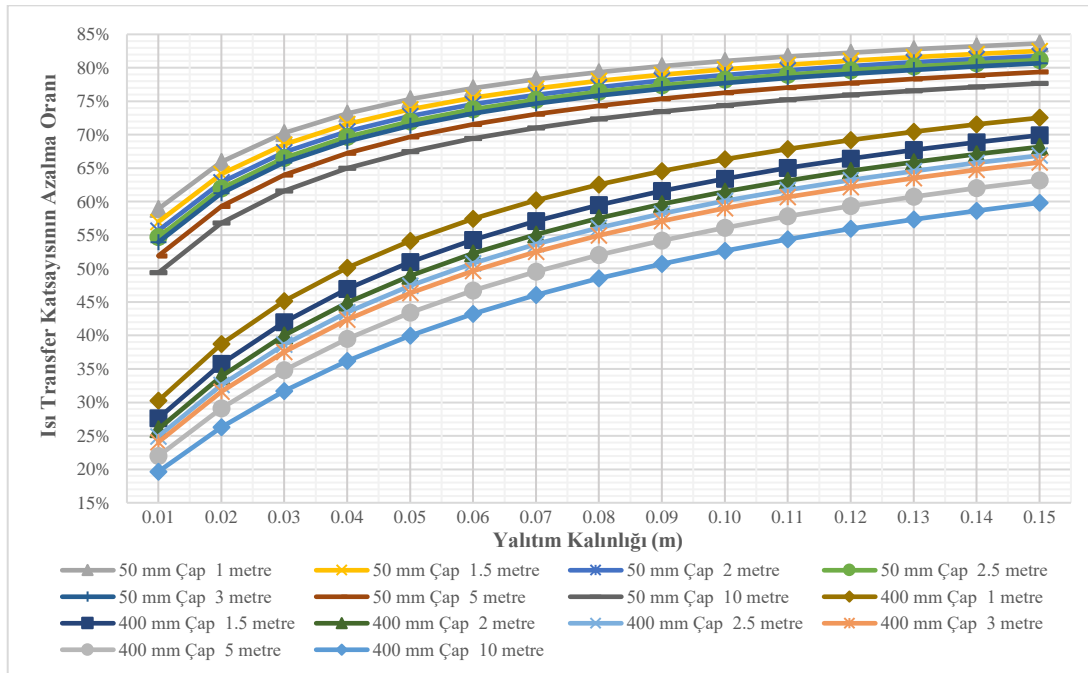
3.3 Yeraltına Gömülü Birim Uzunluktaki Ön Yalıtımlı Borunun Yalıtımsız Boruya Göre ısı Transfer Katsayısı Yüzde Değişimi

TS 825’e göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir şehri alınarak, ortalama 80 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü ve 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanılarak, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısındaki değişim yüzde olarak hesaplanmıştır. Ayrıca beton kaplama içerisinde, ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü ve 4

farklı ön yalıtımlı boru çapı için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır.

3.3.1 Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sisteminde Birim Uzunluktaki Ön Yalıtımlı Borunun Yalıtımsız Boruya Göre Yeraltında Isı Transfer Katsayısının Yüzde Değişimi

Şekil 3.19’da yeraltında kuru toprağa gömülü ortalama 80 °C bölgesel ısıtma sisteminde XPS yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı birim uzunluktaki ön yalıtımlı boruları için gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı; çapa, derinliğe ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir.



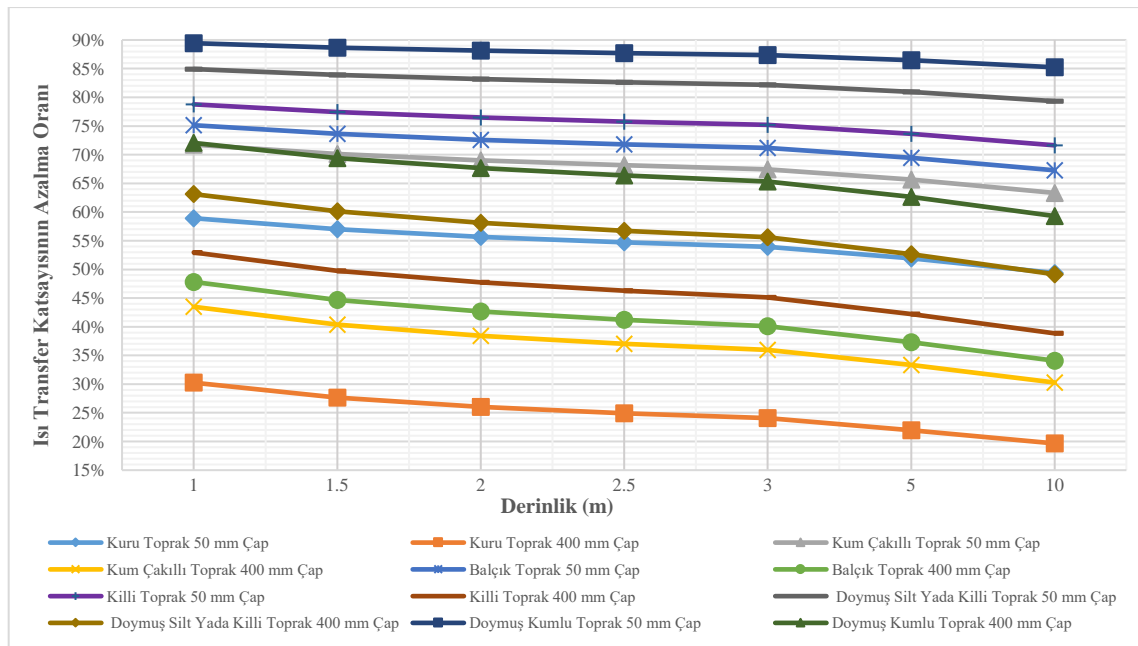
Şekil 3.19: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, kuru toprak, XPS).

50 mm boru çapı için 0.01 m yalıtım yapıldığı zaman yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısında azalma oranı 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 m derinlikte sırasıyla %58.92, %56.98, %55.68, %54.71, %53.94, %51.91 ve %49.38 bulunmuştur. Aynı şartlarda 400 mm boru çapı için sırasıyla %30.25, %27.63, %26.03, %24.91, %24.06, %21.98 ve %19.66 hesaplanmıştır. Derinliğe bağlı olarak ısı transfer katsayısındaki azalma oranının düşmesinin sebebi derinlik arttıkça toprak ısı direncinin etkisinin azalmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Ayrıca boru çapının artırılması ile ısı transfer alanının büyüdüğü buna bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer kat sayısının azalma oranının düştüğü görülmüştür.

Buradan aynı yalıtım kalınlığında büyük çaplı boruların derinliğe bağlı olarak ısı transfer katsayısında değişim oranının daha fazla olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Çapı 50 mm borunun yalıtım kalınlığını 0.01 m'den 0.15 m'ye çıkarıldığında yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısında 1 m derinlikte %83.64, 10 m derinlikte ise %77.67 azalma hesaplanmıştır. Yalıtım kalınlığının 0.01 m'den 0.15 m'ye artırılması ile 1 m derinlikte %41.96, 10 m derinlikte ise %57.29 ısı transfer katsayısının azalma oranında artış görülmüştür. 400 mm boru çapı için ise 1 m derinlikte 0.15 m yalıtım yapıldığında yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısında yüzde azalma oranı %72.53, 10 m derinlikte bu değer yüzde %59.84 bulunmuştur. Yalıtım kalınlığının 0.01 m'den 0.15 m'ye artırılması ile 1 m derinlikte %139.78, 10 m derinlikte ise %204.37 ısı transfer katsayısının azalma oranında artış hesaplanmıştır. Büyük çaplarda yalıtımın kalınlığının ve derinliğin artırılması ısı transfer katsayısındaki azalma oranına etkisi daha fazla olmaktadır.

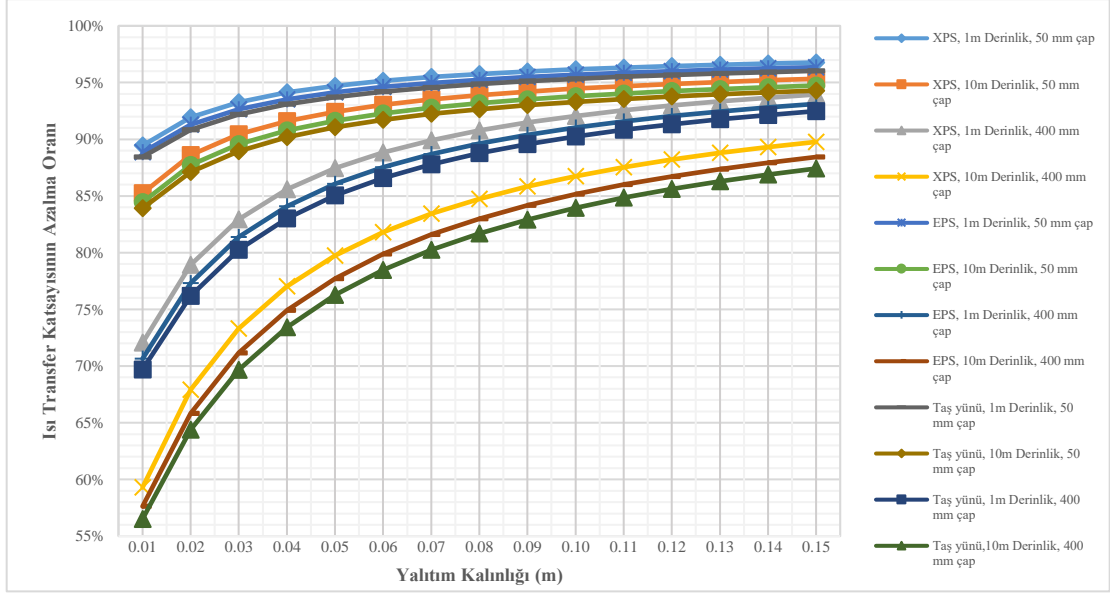
Şekil 3.20'de yeraltına gömülü ortalama 80 °C bölgesel ısıtma sisteminde birim uzunluktaki 0.01 metre kalınlığında XPS yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı ön yalıtımlı boruların yalıtımsız boruya göre toprak tipine ve gömülme derinliğinin artışına bağlı olarak ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı; çapa, derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak üç yönden incelenmiştir.



Şekil 3.20: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, 0.01 m XPS).

Yalıtımsız boruya 0.01 m kalınlığında yalıtım yapıldığında ısı transfer katsayısında yüzde azalma oranı %89.44 ile en fazla 50 mm çaplı, 1 m doymuş kumlu toprağa gömülmüş boruda olurken, en az azalma %19.66 ile 400 mm çaplı, 10 m kuru toprağa gömülmüş boruda hesaplanmıştır. 50 mm çaplı boru 1 metreden 10 metreye gömüldüğünde ısı transfer katsayısı azalma oranı; kuru toprakta %16.19, kum çakıllı toprakta %11.72, balçık toprakta %10.46, killi toprakta %9.06, doymuş silt ya da killi toprakta %6.60 ve doymuş kumlu toprakta %4.70 olmaktadır. 400 mm çaplı boru 1 metreden 10 metreye gömüldüğünde ise kuru toprakta %35.01, kum çakıllı toprakta %30.37, balçık toprakta %28.71, killi toprakta %26.63, doymuş silt ya da killi toprakta %22.13 ve doymuş kumlu toprakta %17.70 azalmaktadır. Derinlik ve çap artışına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısında azalma oranı en yüksekten düşüğe doğru sıralanırsa doymuş kumlu toprak, doymuş silt ya da killi toprak, killi toprak, balçık toprak, kum çakıllı toprakta ve kuru toprakta olmaktadır.

Şekil 3.21'de ortalama 80 °C bölgesel ısıtma sisteminde birim uzunluktaki 0.01 m kalınlığında XPS, EPS ve Taş yünü yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı ön yalıtımlı borunun yeraltına 1 ve 10 metre doymuş kumlu toprağa gömülmesi durumunda, yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. En fazla azalma %96.77 oranla 1 m derinlikteki 0.15 m kalınlığındaki XPS yalıtım malzemeli 50 mm çaplı boruda bulunmuştur. XPS yalıtım malzemesini sırasıyla %96.35 EPS, %96.03 taş yünü izlemiştir. 1 m derinliğe gömülmüş 50 mm çaplı 0.01 m kalınlıkta yalıtım yapılmış ön yalıtımlı boruya 0.15 m yalıtım yapıldığında sırasıyla XPS'te %8.19, EPS'de %8.45, taş yününde %8.58, 10 m derinlikte ise XPS'te %11.84, EPS'de %12.18, taş yününde %12.36 ısı transfer katsayısında azalma oranı hesaplanmıştır. 1 m derinliğe gömülmüş 400 mm çaplı 0.01 m kalınlıkta yalıtım yapılmış ön yalıtımlı boruya 0.15 m yalıtım yapıldığında sırasıyla XPS'te %30.39, EPS'de %31.81, taş yününde %32.68, 10 m derinlikte ise XPS'te %51.39, EPS'de %53.47, taş yününde %54.68 ısı transfer katsayısında azalma oranı hesaplanmıştır. Derinlik ve yalıtım kalınlık artışında ısı transfer katsayısında azalma oranı taş yünü malzemede daha fazla olmaktadır.



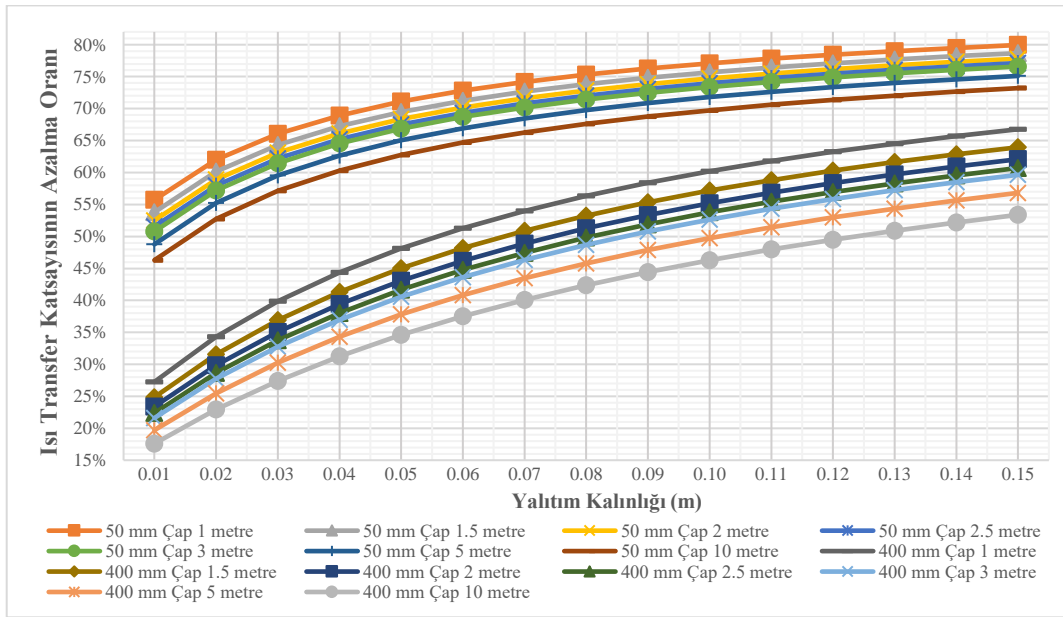
Şekil 3.21: XPS, EPS, Taş yünü yalıtım malzemesine bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak).

3.3.2 Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sisteminde Birim Uzunluktaki Ön Yalıtımlı Borunun Yalıtımsız Boruya Göre Yeraltında Isı Transfer Katsayısı Yüzde Değişimi

Kuru toprağa beton kaplama içerisinde gömülü ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sisteminde taş yünü yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı birim uzunluktaki ön yalıtımlı yeraltı boruları için gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak Şekil 3.22’de verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı; çapa, derinliğe ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir. 50 mm boru çapı için 0.01 m yalıtım yapıldığı zaman yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısında azalma oranı 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 m derinlikte sırasıyla %55.72, %53.79, %52.50, %51.54, %50.79, %48.77 ve %46.29 hesaplanmıştır. Aynı şartlarda 400 mm boru çapı için sırasıyla %27.25, %24.85, %23.39, %22.37, %21.60, %19.70 ve %17.60 bulunmuştur.

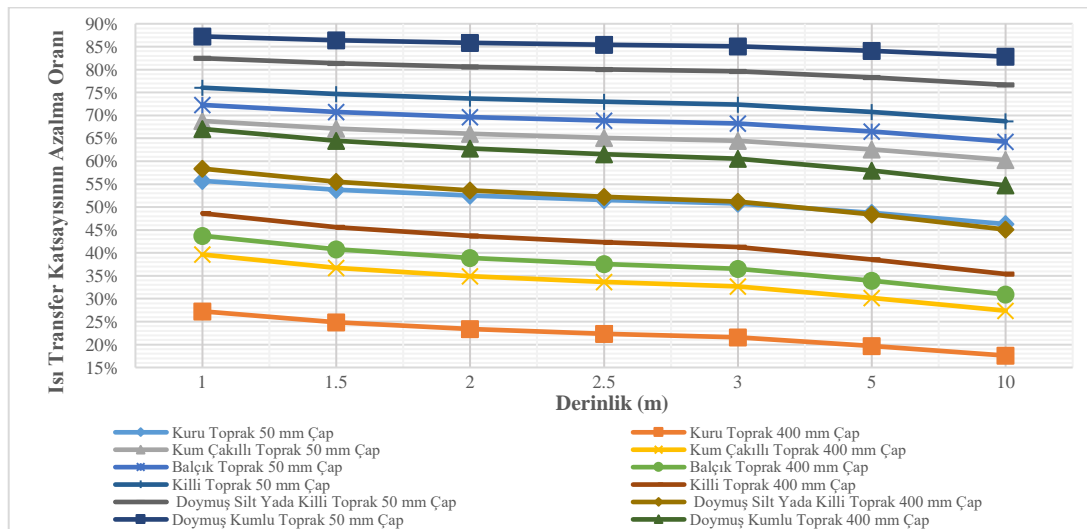
Çapı 50 mm borunun yalıtım kalınlığını 0.01 m’den 0.15 m’ye çıkarıldığında yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısında 1 m derinlikte %79.96, 10 m derinlikte ise %73.20 azalma oranı hesaplanmıştır. Yalıtım kalınlığının 0.01 m’den 0.15 m’ye artırılması ile 1 m derinlikte %43.49, 10 m derinlikte ise %58.15 ısı transfer katsayısının azalma oranında artış görülmüştür. 400 mm boru çapı için ise 1 m derinlikte 0.15 m yalıtım yapıldığında yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısında yüzde azalma oranı %66.77, 10 metre derinlikte bu değer yüzde %53.39 bulunmuştur. Yalıtım kalınlığının 0.01 m’den 0.15 m’ye artırılması ile 1 m derinlikte %145.01, 10 m derinlikte ise %203.42 ısı transfer katsayısının azalma oranında

artış hesaplanmıştır. Büyük çaplarda yalıtımın kalınlığının ve derinliğin artırılması ısı transfer katsayısındaki azalma oranına etkisi daha fazla olmaktadır.



Şekil 3.22: Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, kuru toprak, taş yünü).

Şekil 3.23'te beton kaplama içerisinde yeraltına gömülü ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sisteminde birim uzunluktaki 0.01 m kalınlığında taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı 50 ve 400 mm çaplı boruların yalıtımsız boruya göre toprak tipine ve gömülme derinliğinin artışına bağlı olarak ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı, çapa, derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak üç yönden incelenmiştir.



Şekil 3.23: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruya göre ısı transfer katsayısı yüzde değişimi (50-400 mm boru çapı, 0.01 m taş yünü).

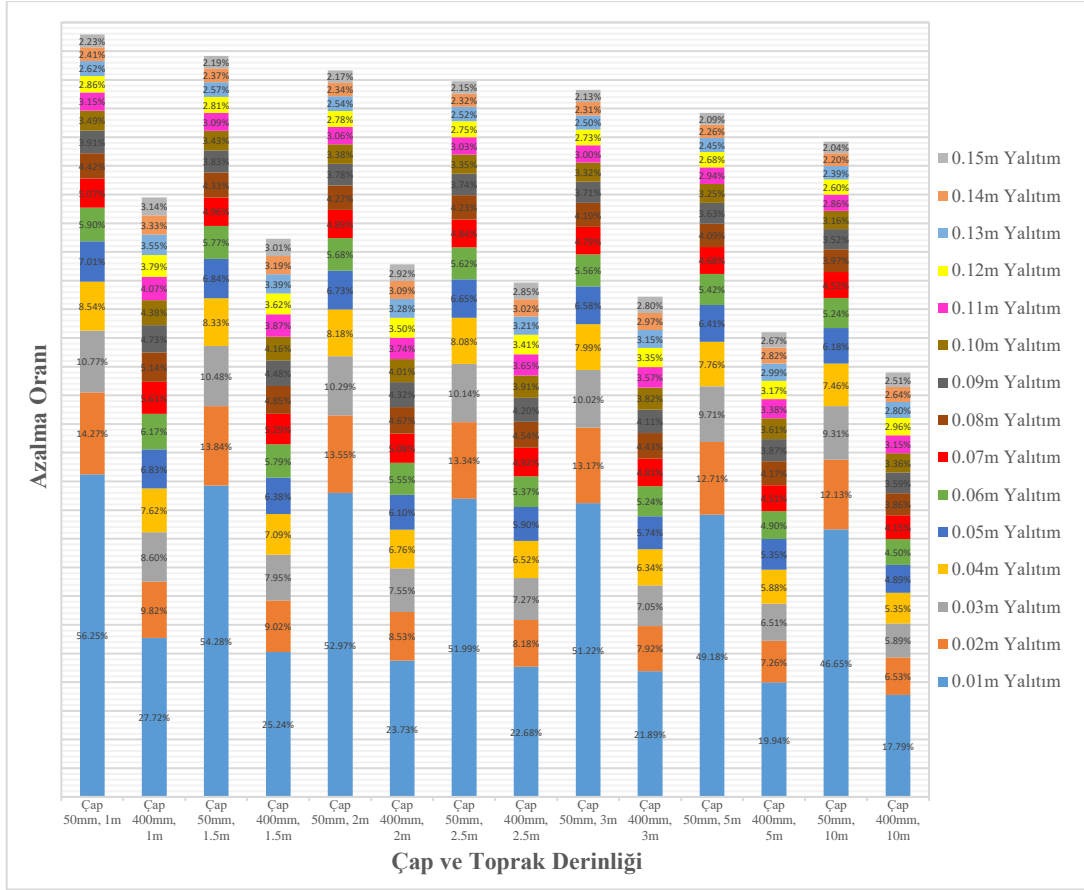
Yalıtımsız boruya 0.01 m kalınlığında yalıtım yapıldığında ısı transfer katsayısında yüzde azalma oranı %89.44 ile en fazla 50 mm çaplı, 1 m doymuş kumlu toprağa gömülmüş boruda olurken, en az azalma %19.66 ile 400 mm çaplı, 10 m kuru toprağa gömülmüş boruda hesaplanmıştır. 0.01 m taş yünü yalıtımlı 50 mm çaplı boru 1 metreden 10 metreye gömüldüğünde ısı transfer katsayısı oranı; kuru toprakta %16.19, kum çakıllı toprakta %11.72, balçık toprakta %10.46, killi toprakta %9.06, doymuş silt ya da killi toprakta %6.60 ve doymuş kumlu toprakta %4.70 azalmaktadır. 400mm çaplı boru 1 metreden 10 metreye gömüldüğünde ise kuru toprakta %35.01, kum çakıllı toprakta %30.37, balçık toprakta %28.71, killi toprakta %26.63, doymuş silt ya da killi toprakta %22.13 ve doymuş kumlu toprakta %17.70 azalmaktadır. Derinlik ve çap artışı, kuru toprak için ısı transfer katsayısındaki azalma oranını daha fazla etkilemektedir.

3.4 Bölgesel Isıtma Sisteminde Yalıtım Kalınlığının Artışına Bağlı Olarak Yeraltına Gömülü Borularda Isı Transfer Katsayısının Yüzde Değişimi

TS 825'e göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir şehri alınarak, ortalama 80 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü ve 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanılarak, gömülme derinliğinin artışına ve yalıtım kalınlığının 1 ila 15 cm arası uygulanması durumunda, bir önceki yalıtım kalınlığına bağlı olarak birim uzunluktaki boru için ısı transfer katsayısındaki azalma oranı hesaplanmış ve yüzde olarak verilmiştir. Bununla birlikte beton kaplama içerisinde, ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü ve 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için taş yünü yalıtım malzemesi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.4.1 Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Yalıtım Kalınlığına Bağlı Olarak Yeraltında Birim Uzunluktaki Boru İçin Isı Transfer Katsayısındaki Yüzde Değişim

Şekil 3.24'te ortalama 80 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sisteminde taş yünü yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı birim uzunluktaki yeraltında kuru toprağa gömülü ön yalıtımlı borular için gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı; çapa, derinliğe ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir.

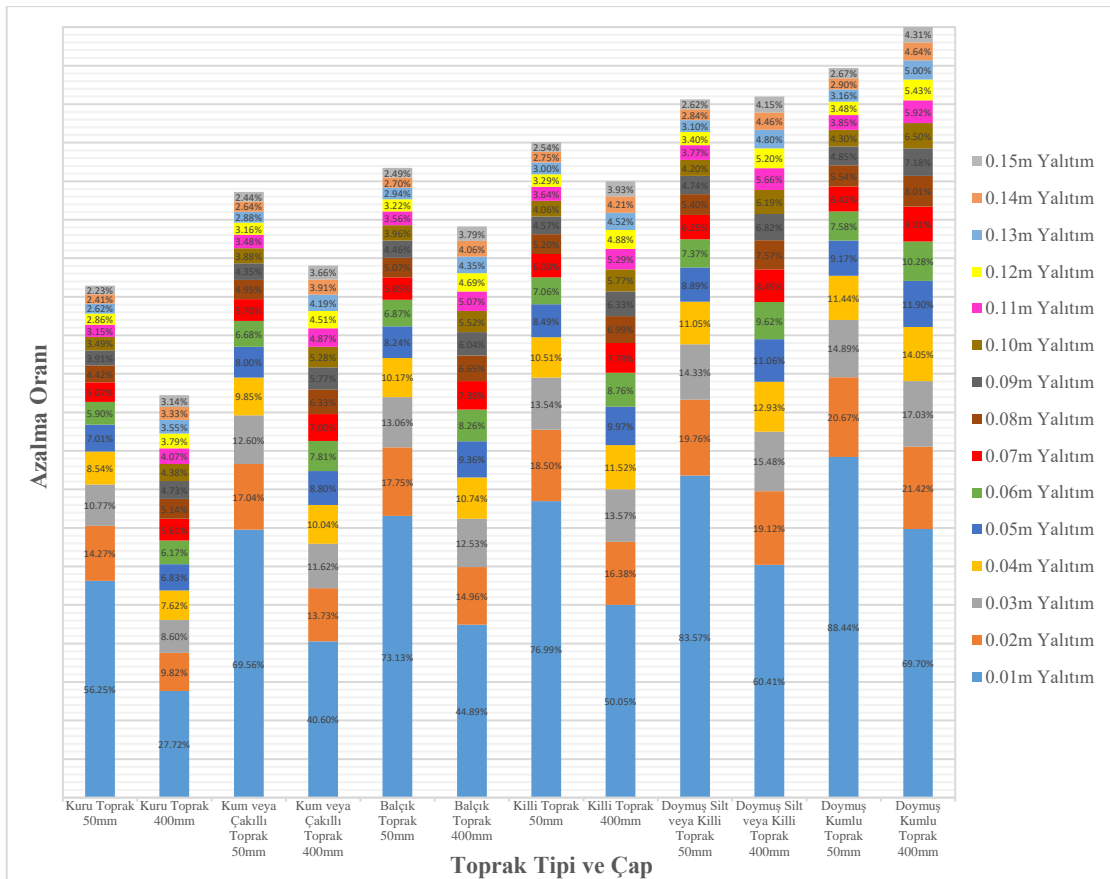


Şekil 3.24: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (Kuru toprak, taş yünü).

Bir önceki yalıtım kalınlığına göre en fazla yüzde azalma 1 metre derinlikte en az yüzde azalma 10 metre derinlikte oluşmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere, yalıtım kalınlığı arttırıldıkça bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısındaki azalma yüzde ivmesi düşmektedir. 50 mm çapta 6-7 cm yalıtımdan sonra 400 mm çapta ise 7-8 cm yalıtımdan sonra azalma oranının iyice düştüğü görülmüştür. Boru çapının arttırılması ile ısı transfer alanı büyümekte, buna bağlı olarak ısı transfer kat sayısı artmaktadır. Bu suretle büyük çaplarda daha kalın yalıtım yapılmak suretiyle küçük çaplara göre ısı transfer katsayısındaki azalma daha fazla olmaktadır. Ayrıca derinlik arttıkça toprak ısıl direnci arttığından bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde azalma oranının düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 3.25'te 1 m derinlikte çeşitli toprak tipine gömülmüş, taş yünü yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı birim uzunluktaki ön yalıtımlı boruların yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre birim uzunluktaki boru için ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının

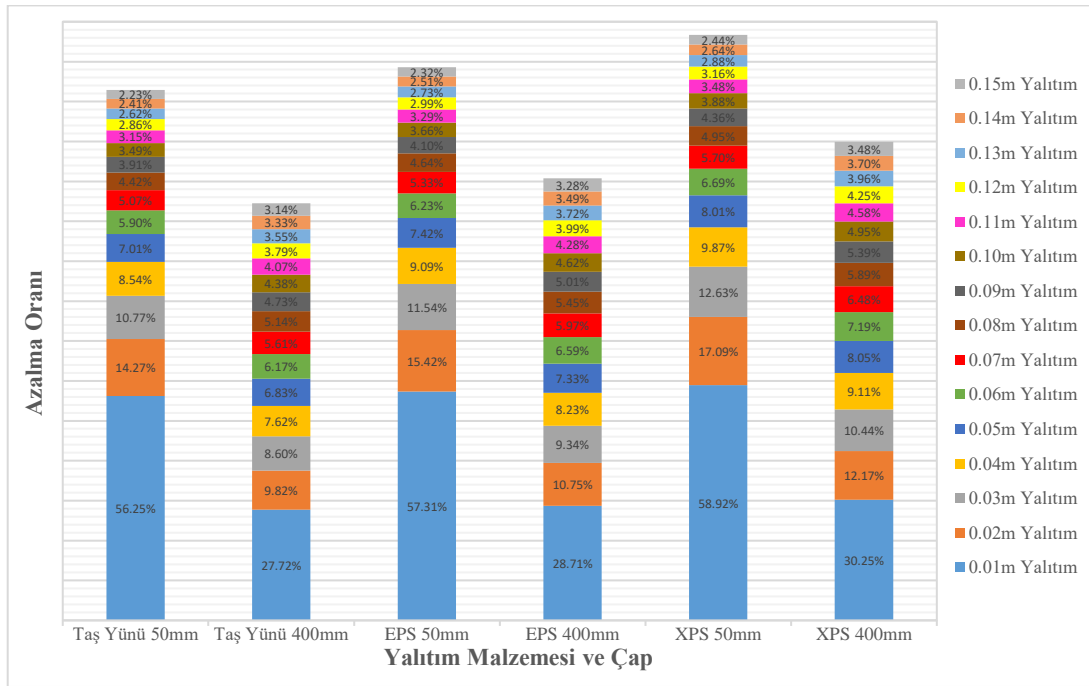
azalma oranı; çapa, toprak tipine ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir. 50 mm çaplı boruda 15 cm taş yünü yalıtım yapıldığında azalma oranı kuru toprakta %2.23, kum veya çakıllı toprakta %2.44, balçık toprakta %2.49, killi toprakta %2.54, doymuş silt veya killi toprakta %2.62 ve doymuş kumlu toprakta %2.67 hesaplanmıştır. 400 mm çaplı boruda ise kuru toprakta %3.14, kum veya çakıllı toprakta %3.66, balçık toprakta %3.79, killi toprakta %3.93, doymuş silt veya killi toprakta %4.15 ve doymuş kumlu toprakta %4.31 hesaplanmıştır. Kuru toprağa gömülü boruda bir önceki yalıtıma göre azalma oranı daha düşük olurken en fazla azalma oranı doymuş kumlu toprakta görülmüştür. Çap büyüdükçe belli bir yalıtım kalınlığından sonra azalma oranı küçük çaplı borulara göre daha fazla olmaktadır.



Şekil 3.25: Yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (1 m derinlik, taş yünü).

Şekil 3.26'da 1 m derinlikte çeşitli toprak tipine gömülmüş XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı birim uzunluktaki ön yalıtımlı boruların yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre birim uzunluktaki boru için ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı; çapa, yalıtım malzemesine ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç

yönden incelenmiştir. En fazla azalma XPS yalıtım malzemesinde en az taş yünü yalıtım malzemesinde gerçekleşmiştir.

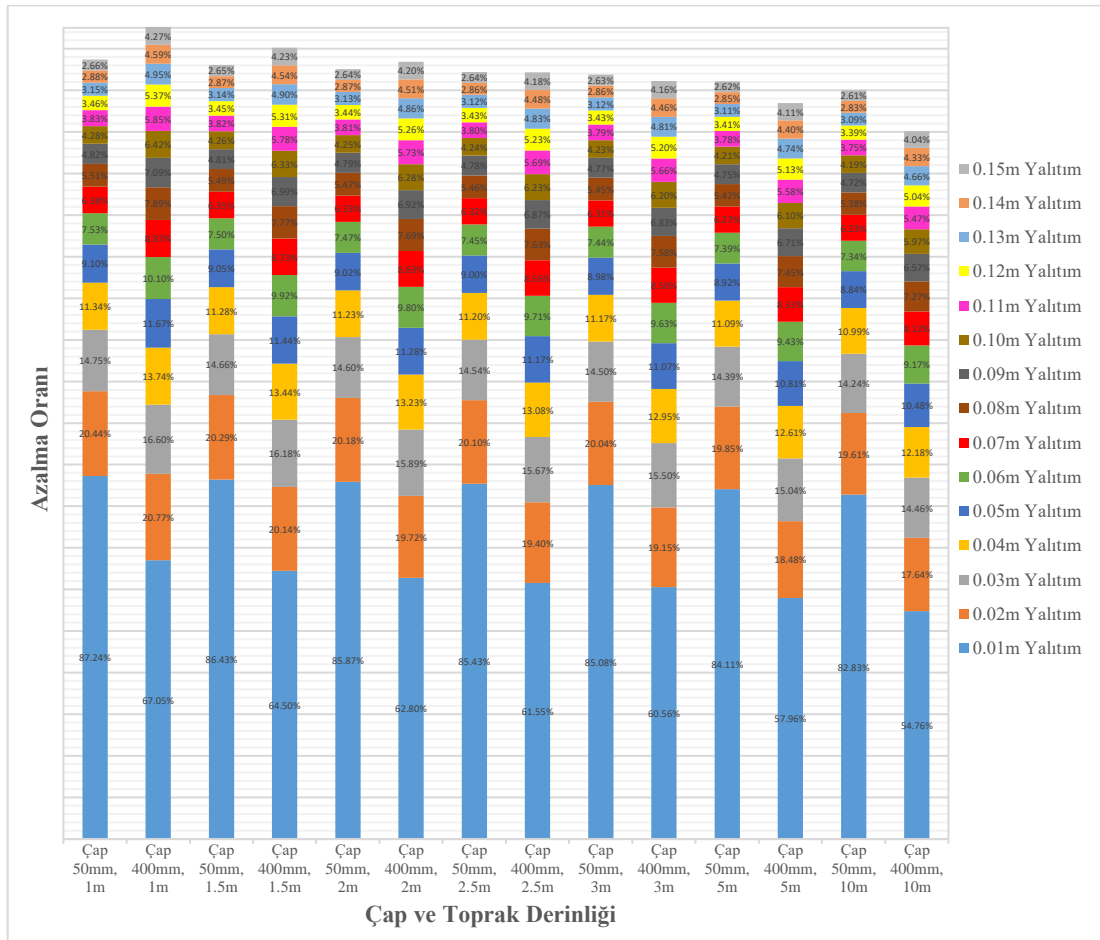


Şekil 3.26: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (1 m derinlik, kuru toprak).

3.4.2 Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Yalıtım Kalınlığına Bağlı Olarak Yeraltında Birim Uzunluktaki Boru İçin Isı Transfer Katsayısındaki Yüzde Değişim

Şekil 3.27’de ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sisteminde taş yünü yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı birim uzunlukta beton kanal içerisinde yeraltında doymuş kumlu toprağa gömülü ön yalıtımlı borular için gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı, çapa, derinliğe ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir. Bir önceki yalıtım kalınlığına göre yüzde oranı en fazla azalma 1 metre derinlikte en az azalma 10 metre derinlikte olmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere, yalıtım kalınlığı arttırıldıkça bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısındaki azalma ivmesi düşmektedir. 50 ve 400 mm çapta 6-8 cm yalıtımdan sonra belirgin bir şekilde görülmektedir. Boru çapının arttırılması ile ısı transfer alanı büyümekte, buna bağlı olarak ısı transfer kat sayısı artmaktadır. Bu suretle büyük çaplarda daha kalın yalıtım yapılmak suretiyle küçük çaplara göre ısı transfer katsayısındaki azalma daha fazla olmuştur. Ayrıca derinlik arttıkça toprak ısıl direnci arttığından bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde azalma oranının

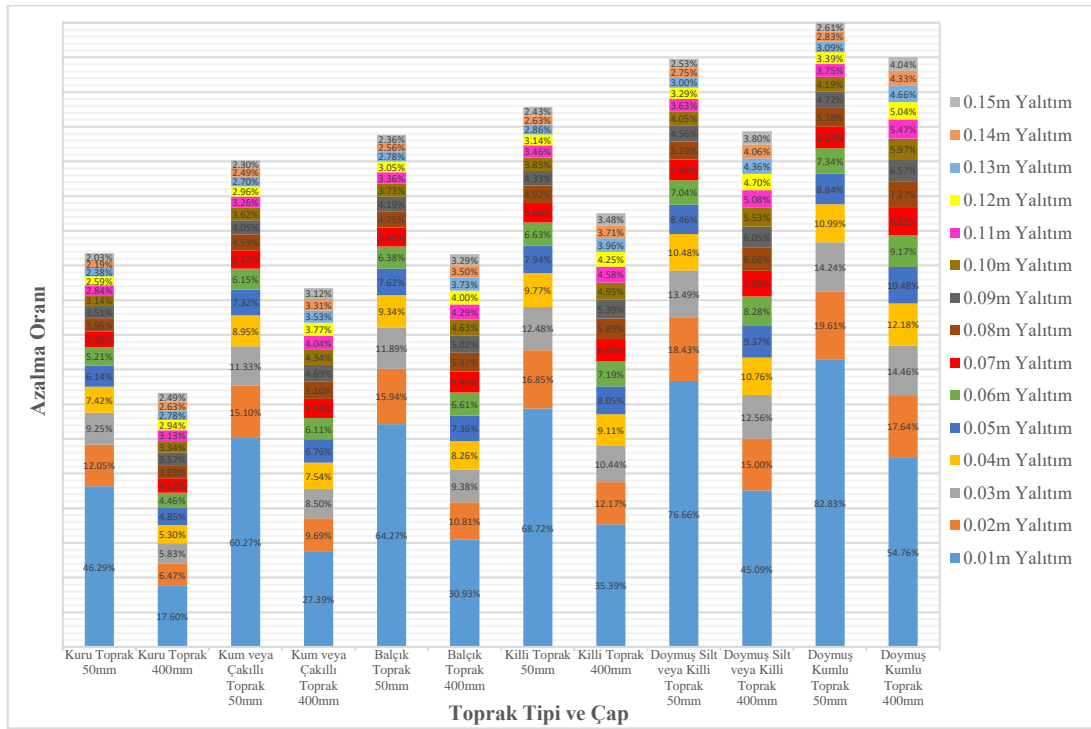
düştüğü görülmüştür. Ancak borular, beton kaplama içerisinde olduğundan, yalıtım kalınlıklarının ısı transfer katsayısındaki yüzde değişimine etkisi yakın seyretmiştir.



Şekil 3.27: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (Doymuş kumlu toprak, taş yünü).

Şekil 3.28'de 1 m derinlikte çeşitli toprak tipine gömülü, taş yünü yalıtım malzemeli 50 ve 400 mm çaplı birim uzunluktaki ön yalıtımlı boruların yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre birim uzunluktaki boru için ısı transfer katsayısındaki azalma oranı yüzde olarak verilmiştir. Grafikte, ısı transfer katsayısının azalma oranı; çapa, toprak tipine ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir. 50 mm çaplı boruda 15 cm yalıtım yapıldığında azalma oranı; kuru toprakta %2.03, kum veya çakıllı toprakta %2.30, balçık toprakta %2.36, killi toprakta %2.43, doymuş silt veya killi toprakta %2.53 ve doymuş kumlu toprakta %2.61 hesaplanmıştır. 400 mm çaplı boruda ise kuru toprakta %2.49, kum veya çakıllı toprakta %3.12, balçık toprakta %3.29, killi toprakta %3.48, doymuş silt veya killi toprakta %3.80 ve doymuş kumlu toprakta %4.04 hesaplanmıştır. Kuru toprağa gömülü boruda bir önceki yalıtıma göre azalma oranı daha düşük olurken en fazla azalma oranı doymuş kumlu toprakta görülmüştür. Çap büyüdükçe

belli bir yalıtım kalınlığından sonra azalma oranının küçük çaplı borulara göre daha fazla olmaktadır.



Şekil 3.28: Yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısının yüzde değişimi (1 m derinlik, taş yünü).

3.5 Yıllık Isı Kayıpları, Yıllık Enerji Gereksinimi, Yıllık Yakıt Tüketimi

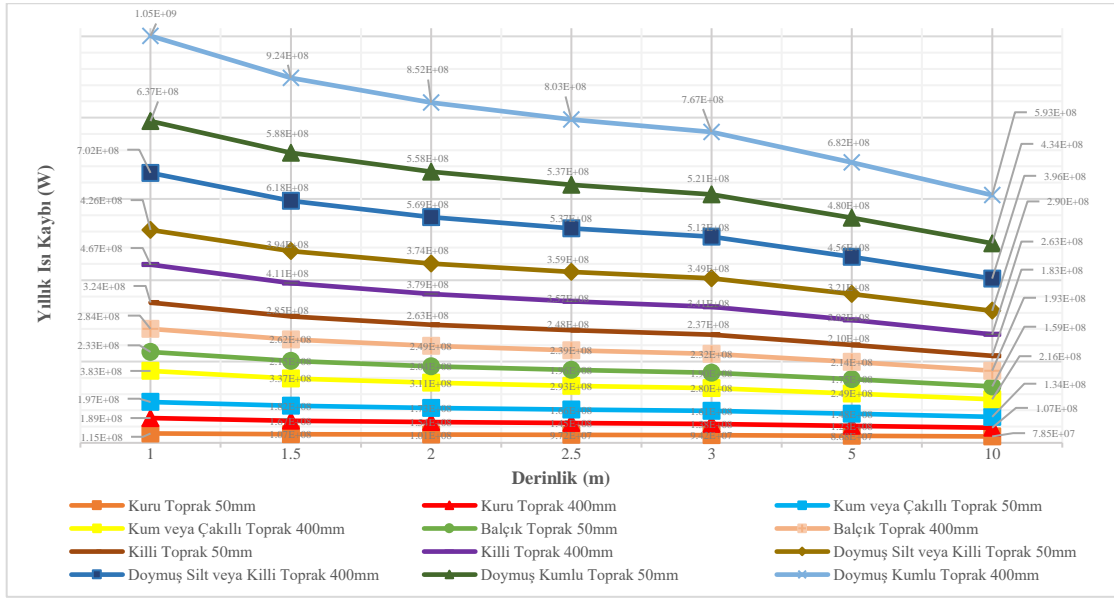
3.5.1 Derece-Gün Hesabına Göre Yıllık Isı Kaybı

TS 825'e göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir şehri alınarak, ortalama 80 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü, 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanılması durumunda, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak derece-gün hesabına göre hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca beton kaplama içerisinde, ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde gömüldüğü ve 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığı varsayılarak hesaplamalar tekrarlanmıştır.

3.5.1.1 Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Derece-Gün Hesabına Göre Yıllık Isı Kaybı

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda çapı 50-400 mm olan yalıtımsız borunun çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü zaman birim uzunluktaki yıllık ısı kaybı Şekil 3.29'da

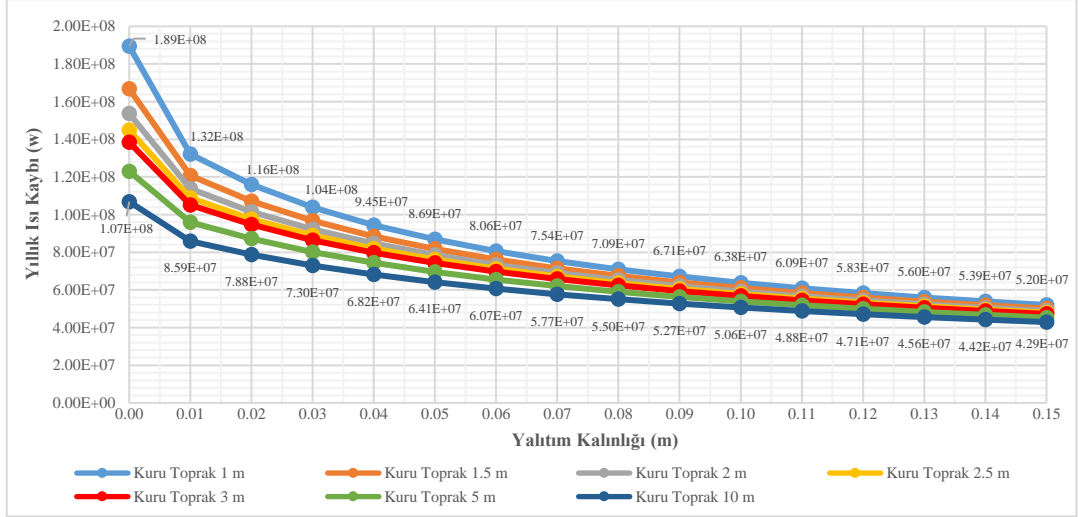
gösterilmiştir. En çok ısı kaybı 1.048.942.061 watt değerle 400 mm çaplı 1 m derinliğe gömülmüş doymuş kumlu toprakta en az 115.380.102 watt değerle 50 mm çaplı 10 m derinliğe gömülmüş kuru toprakta hesaplanmıştır. Çap artışına bağlı olarak ısı kaybı artarken derinliğe bağlı olarak ısı kayıpları azalmıştır. Doymuş kumlu toprakta, doymuş silt veya killi toprakta ve killi toprakta derinliğe bağlı olarak ısı kayıpları daha belirgin şekilde görülmüştür.



Şekil 3.29: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 50-400 mm boru çapı).

Şekil 3.30'da iletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 132.114.669 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 52.028.941 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 85.866.362 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 42.924.177 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığında 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 135.033.701 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 57.741.910 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 87.089.954 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 46.739.313 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 2.919.032 watt, 15 cm yalıtımda 5.712.969 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 1.123.592 watt ve 15 cm yalıtımda ise 3.815.136 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

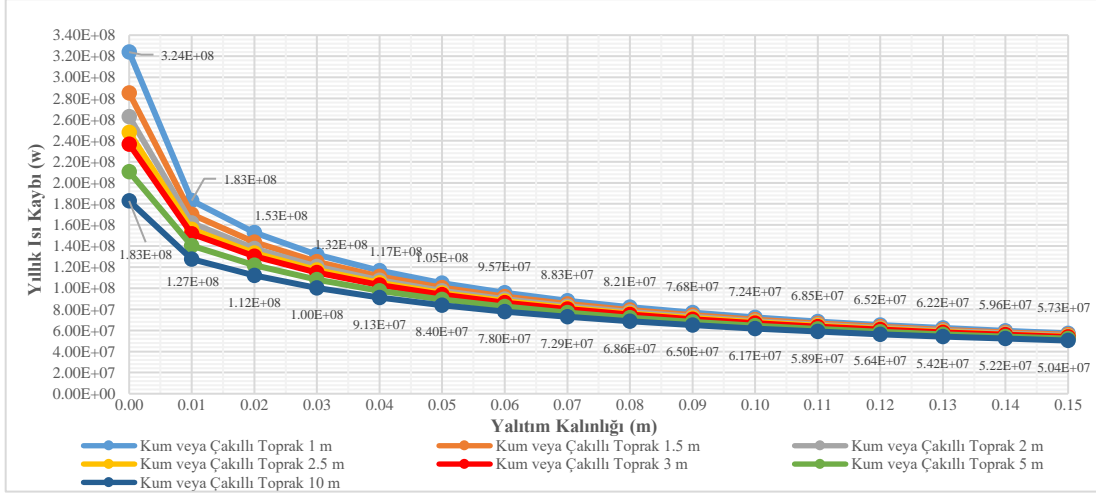


Şekil 3.30: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, kuru toprak).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 136.909.180 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 61.960.044 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 87.866.251 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 49.465.145 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 4.794.511 watt, 15 cm yalıtımda 9.931.103 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 1.999.889 watt ve 15 cm yalıtımda ise 6.540.968 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

Şekil 3.31'de iletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kum veya çakıllı toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 183.084.750 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 57.257.845 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 127.477.694 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 50.384.398 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kum veya çakıllı toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığında 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 188.738.791 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 64.254.028 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 130.193.312 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 55.723.392 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 5.654.041 watt, 15 cm yalıtımda 5.712.969 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 2.715.618 watt ve 15 cm yalıtımda ise 5.338.994 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

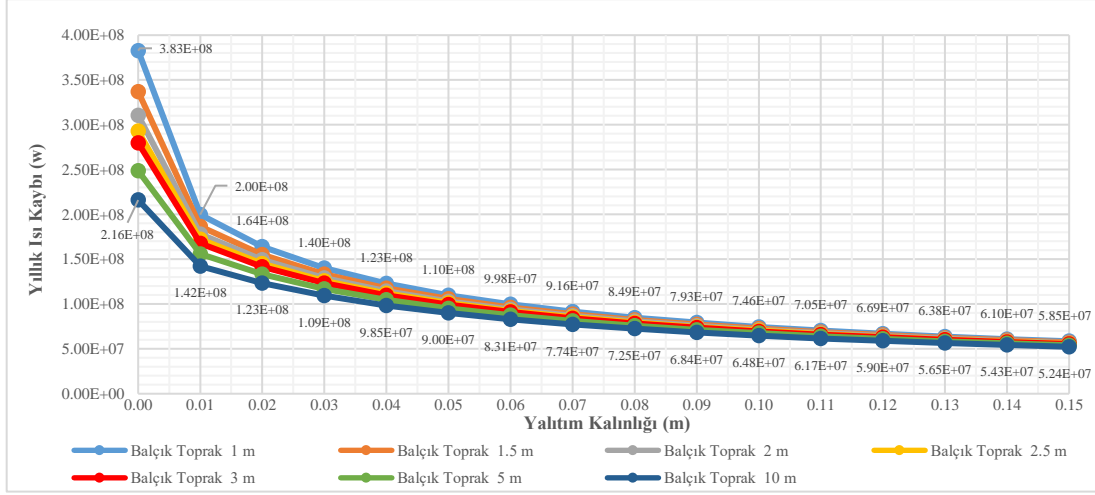


Şekil 3.31: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, kum veya çakıllı toprak).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kum veya çakıllı toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 192.423.097 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 69.520.643 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 131.935.876 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 59.641.762 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 9.338.347 watt, 15 cm yalıtımda 12.262.798 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 4.458.182 watt ve 15 cm yalıtımda ise 9.257.364 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

Şekil 3.32’de iletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya balçık toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 199.757.890 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 58.530.460 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 142.408.132 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 52.352.918 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya balçık toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığında 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 206.507.608 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 65.861.001 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 145.805.594 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 58.141.215 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 6.749.718 watt, 15 cm yalıtımda 7.330.541 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 3.397.462 watt ve 15 cm yalıtımda ise 5.788.296 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

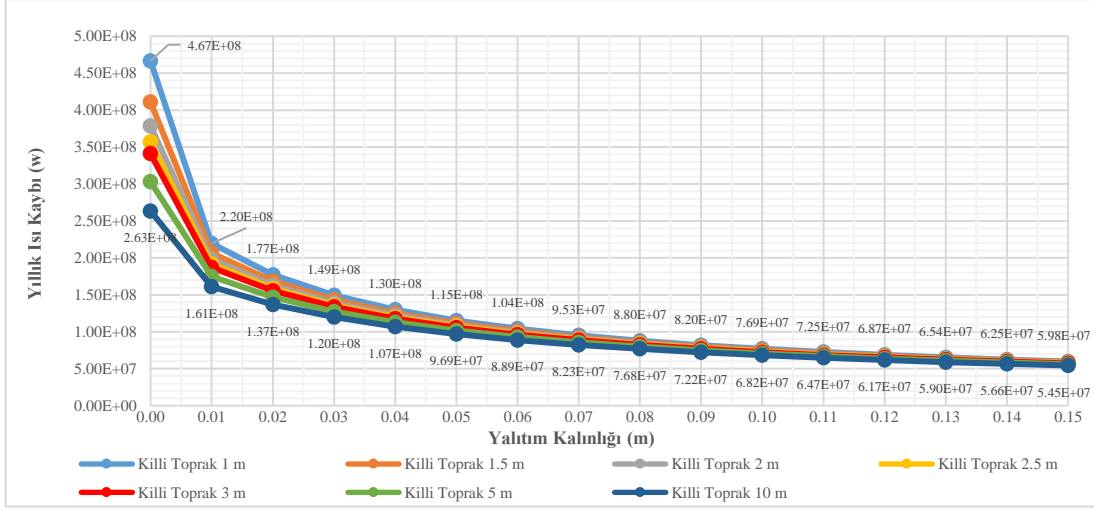


Şekil 3.32: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, balçık toprak).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya balçık toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığında 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 210.926.408 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 71.405.710 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 147.994.654 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 62.420.051 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 11.168.518 watt, 15 cm yalıtımda 12.875.250 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 5.586.521 watt ve 15 cm yalıtımda ise 10.067.133 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

Şekil 3.33'te iletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya killi toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 219.573.872 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 59.848.674 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 161.107.347 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 54.461.563 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya killi toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığında 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 227.756.584 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 67.534.809 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 165.469.274 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 60.753.546 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 8.182.711 watt, 15 cm yalıtımda 7.686.134 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 4.361.926 watt ve 15 cm yalıtımda ise 6.291.982 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

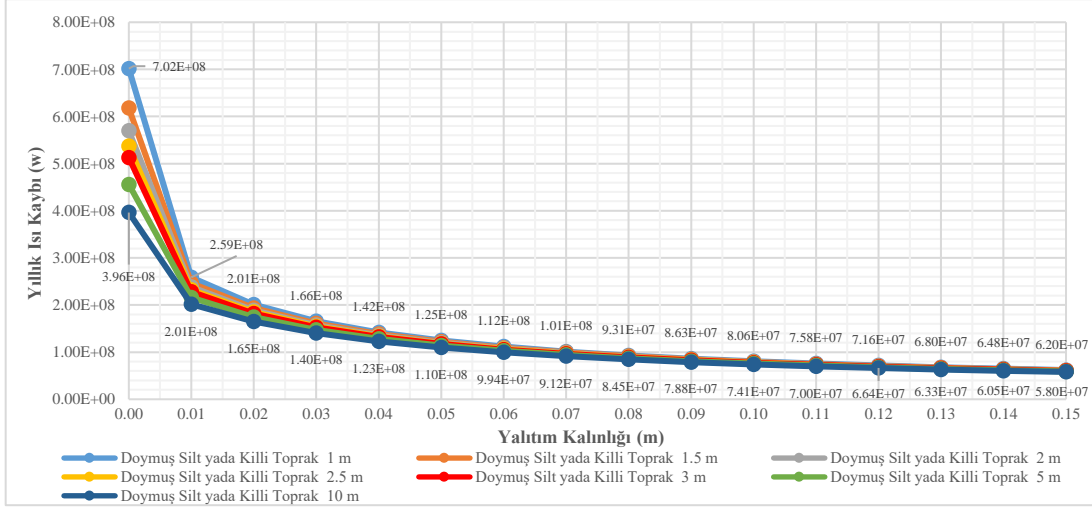


Şekil 3.33: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, killi toprak).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya killi toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 233.143.390 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 73.377.429 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 168.294.311 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 65.441.024 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 13.569.518 watt, 15 cm yalıtımda 13.528.754 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 7.186.963 watt ve 15 cm yalıtımda ise 10.979.460 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

Şekil 3.34'te iletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş silt ya da killi toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 258.734.426 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 61.978.420 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 201.470.259 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 58.027.552 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş silt ya da killi toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığında 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 270.172.173 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 70.259.161 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 208.338.183 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 65.224.917 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 11.437.747 watt, 15 cm yalıtımda 8.280.741 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 6.867.923 watt ve 15 cm yalıtımda ise 7.197.365 watt fazla ısı kaybı oluşmuştur.

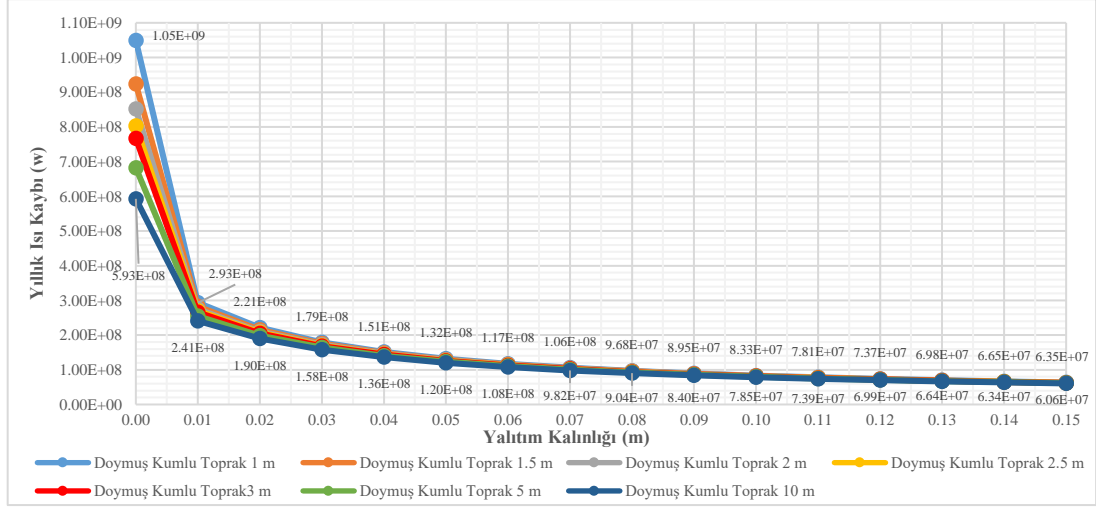


Şekil 3.34: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, doymuş silt ya da killi toprak).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş silt ya da killi toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 277.785.735 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 76.604.817 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 212.836.524 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 70.658.624 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 19.051.309 watt, 15 cm yalıtımda 14.626.397 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 11.366.264 watt ve 15 cm yalıtımda ise 12.631.072 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

Şekil 3.35'te iletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş kumlu toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 293.138.876 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 63.464.622 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 241.244.029 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 60.640.467 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş kumlu toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığında 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 307.907.475 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 72.175.165 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 251.158.038 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 68.544.751 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 14.768.599 watt, 15 cm yalıtımda 8.710.543 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 9.914.009 watt ve 15 cm yalıtımda ise 7.904.283 watt fazla ısı kaybı olmuştur.



Şekil 3.35: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (80 °C sıcak su, 400 mm boru çapı, XPS, doymuş kumlu toprak).

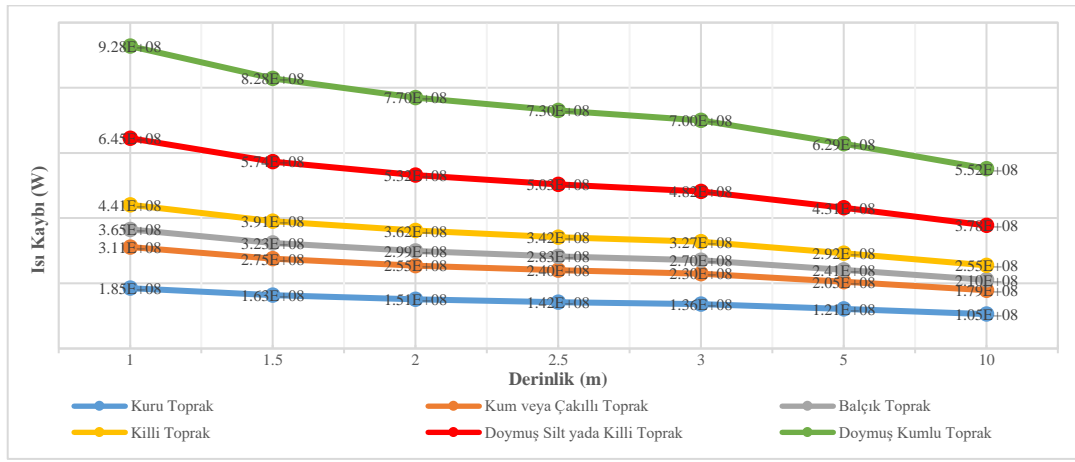
İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş kumlu toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 317.835.432 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 78.888.173 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 257.724.635 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 74.571.220 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. XPS yalıtıma göre; 1 m derinlikte 1 cm yalıtımda 24.696.556 watt, 15 cm yalıtımda 15.423.551 watt, 10 m derinlikte 1 cm yalıtımda 16.480.606 watt ve 15 cm yalıtımda ise 13.930.752 watt fazla ısı kaybı olmuştur.

3.5.1.2 Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Derece-Gün Hesabına Göre Yıllık Isı Kaybı

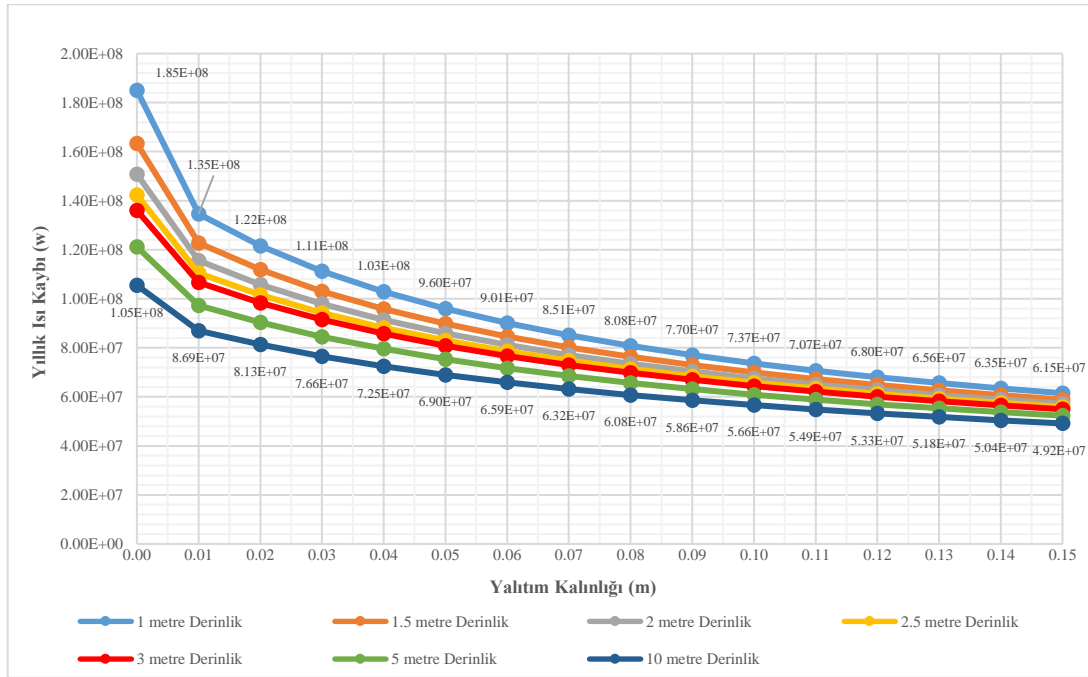
Yapılan hesaplamalar doğrultusunda çapı 400 mm olan yalıtımsız borunun çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü zaman birim uzunluktaki yıllık ısı kayıp Şekil 3.36'da gösterilmiştir. En çok ısı kaybı 927.764.173 watt değerle 1 m derinliğe gömülmüş doymuş kumlu toprakta en az 105.474.421 watt değerle 10 m derinliğe gömülmüş kuru toprakta hesaplanmıştır. Çap artışına bağlı olarak ısı kaybı artarken derinliğe bağlı olarak ısı kayıpları azalmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı Şekil 3.37'de gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 134.614.309 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 61.485.670 watt,

10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 86.915.312 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 49.162.338 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.

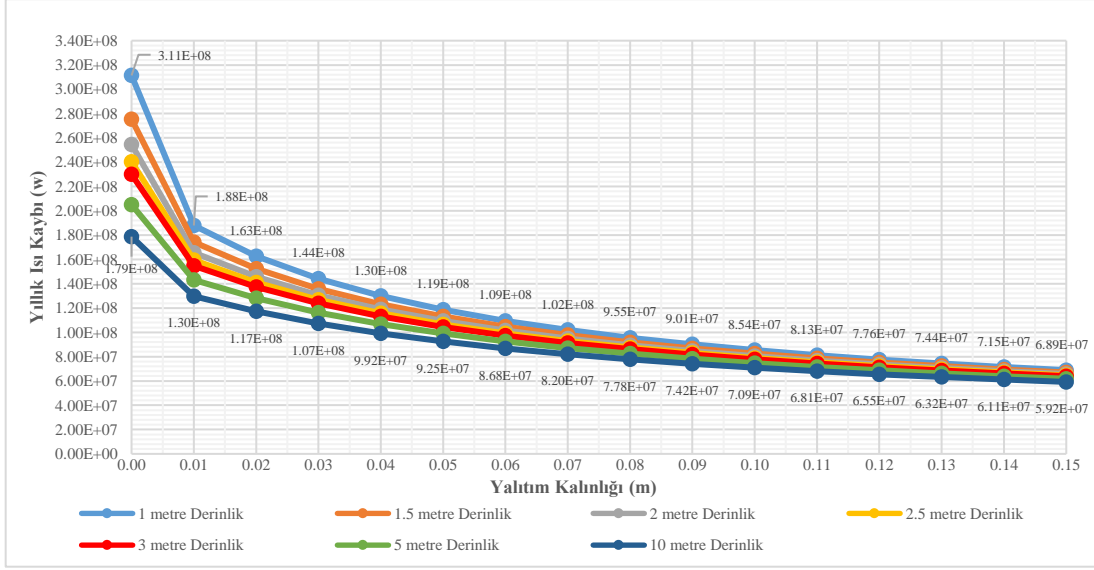


Şekil 3.36: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı).



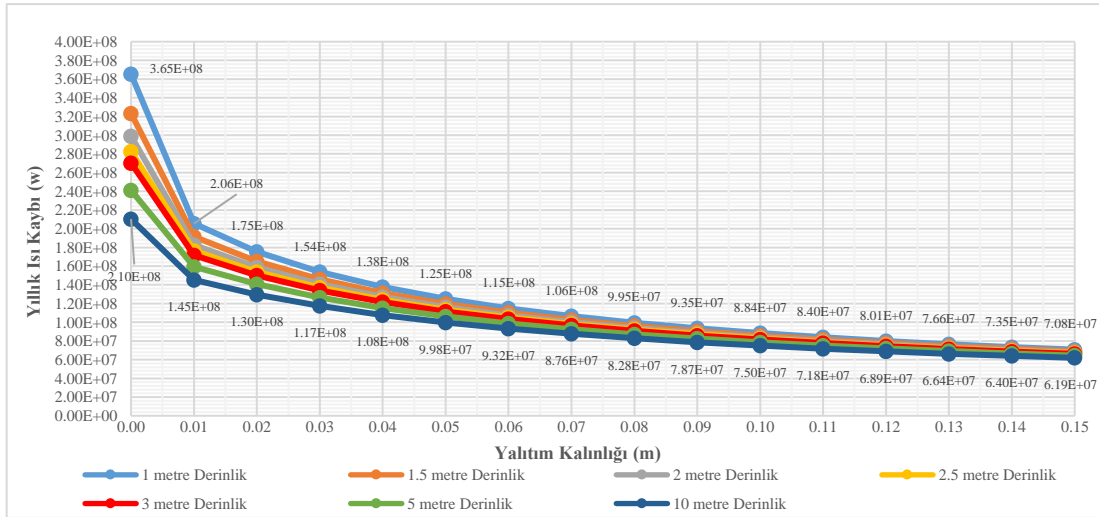
Şekil 3.37: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, kuru toprak).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kum veya çakıllı toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı Şekil 3.38'de gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 187.920.474 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 68.923.995 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 129.803.405 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 59.202.097 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 3.38: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, kum veya çakıllı toprak).

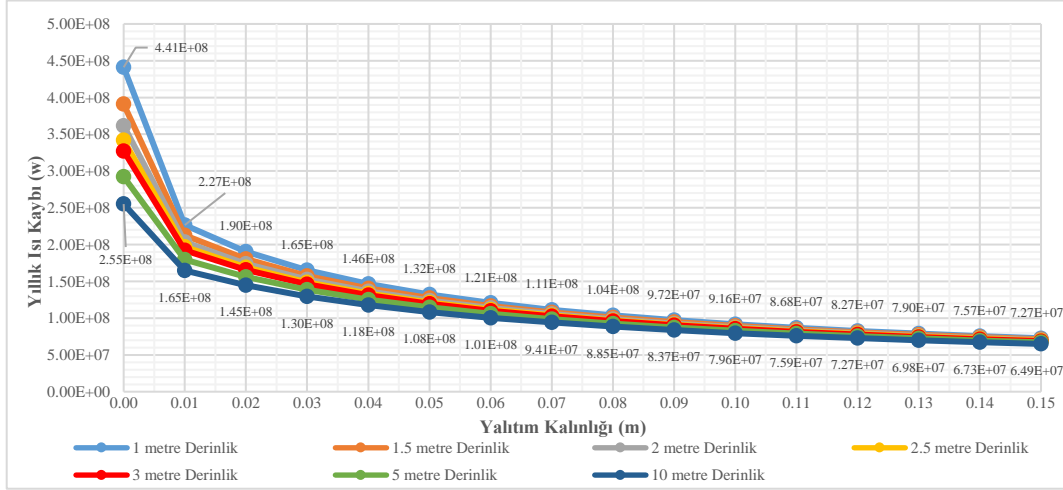
İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya balçık toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığında gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı Şekil 3.39'da gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 205.528.357 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 70.776.413 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 145.316.744 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 61.938.636 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 3.39: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, balçık toprak)

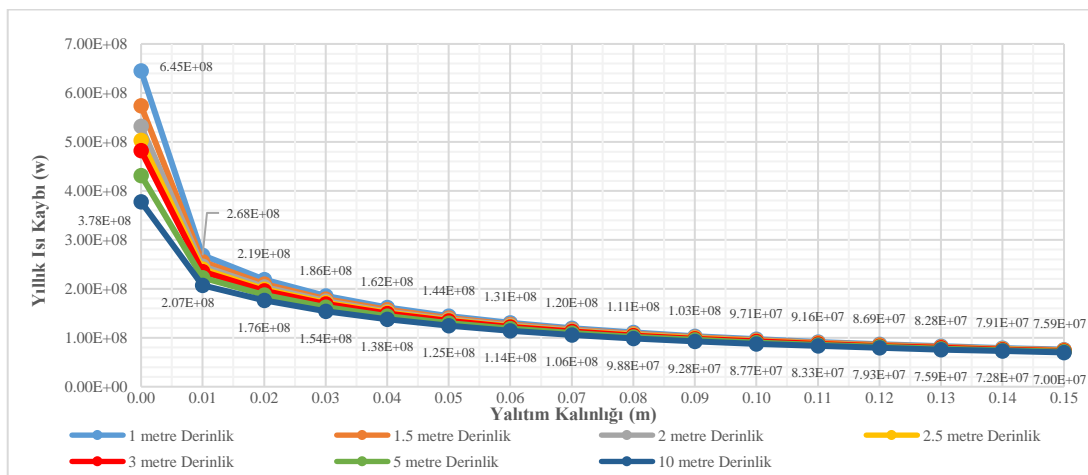
İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya killi toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı Şekil 3.40'da gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm

yalıtım yapıldığı zaman 226.566.022 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 72.713.061 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 164.839.962 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 64.912.080 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 3.40: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın su, 400 mm boru çapı, taş yünü, killi toprak).

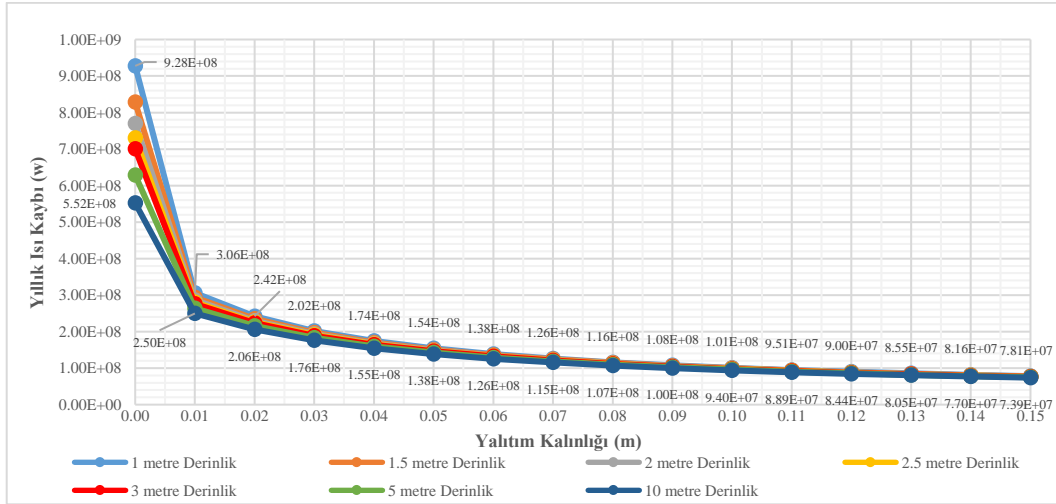
İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş silt ya da killi toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık ısı kaybı Şekil 3.41’de gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 268.498.507 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 75.881.009 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 207.341.536 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 70.042.369 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 3.41: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın sıcak su, 400 mm boru çapı, taş yünü, doymuş silt veya killi toprak).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş kumlu toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım

kalınlığının artışına bağılı olarak yıllık ısı kaybı Şekil 3.42’de gösterilmiştir. 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 305.735.512 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 78.120.789 watt, 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 249.711.030 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 73.885.159 watt yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 3.42: Derinliğe ve toprak tipine bağılı olarak yıllık ısı kaybı (120 °C kızgın sıcak su, 400 mm boru çapı, taş yünü, doymuş kumlu toprak).

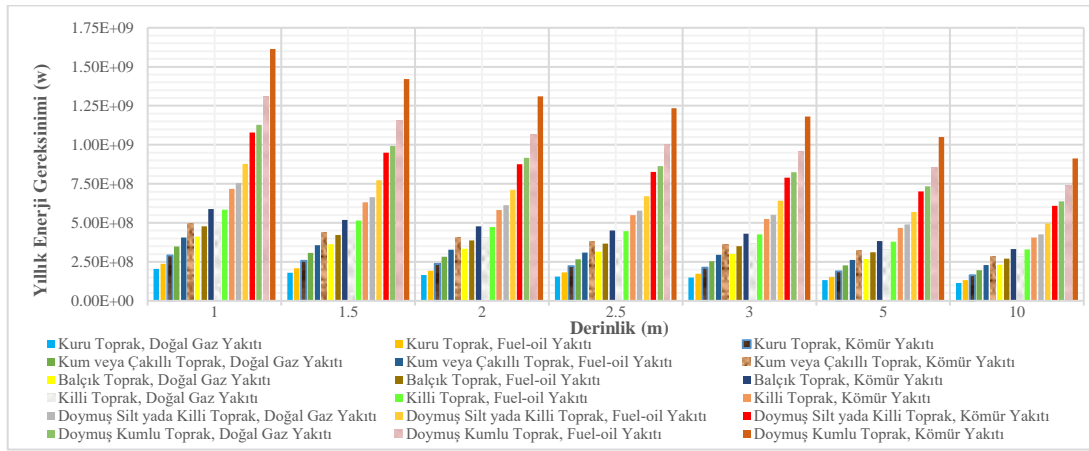
3.5.2 Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Enerji Gereksinimi

TS 825’e göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir şehri alınarak, 80 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü, 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü kullanıldığı düşünülerek, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağılı olarak derece-gün hesabına göre bulunan yıllık ısı kayıplarına göre doğalgaz, fuel-oil ve kömür yakıtları için hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca beton kaplama içerisinde, ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 çeşit toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü ve 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için taş yünü yalıtım malzemesi kullanılarak hesaplamalar tekrarlanmıştır.

3.5.2.1 Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yıllık Enerji Gereksinimi

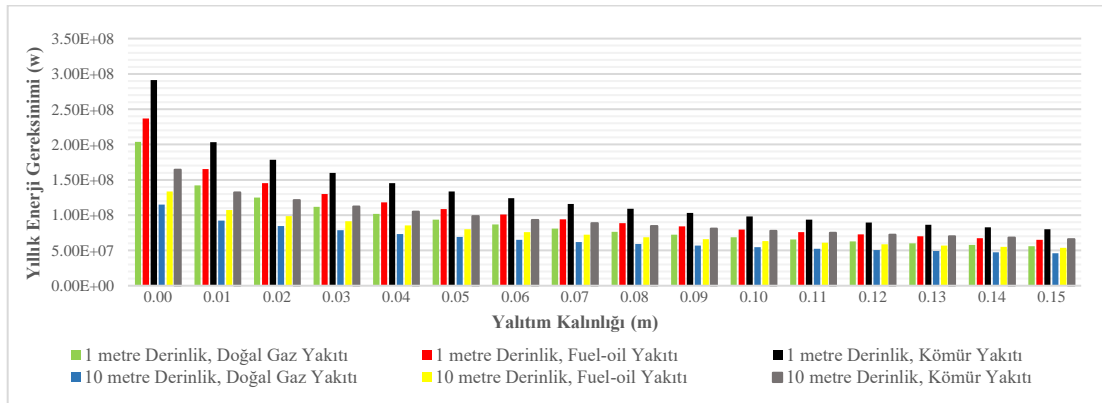
Yapılan hesaplamalar doğrultusunda çapı 400 mm olan yalıtımsız borunun çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü zaman birim uzunluktaki yıllık enerji gereksinimi yakıt türüne bağılı olarak Şekil 3.43’te gösterilmiştir. En çok enerji gereksinimi 1 metre derinliğe doymuş kumlu toprağa gömülmüş boruda, kömür yakıtı kullanıldığı zaman olurken, en az enerji

gereksinimi 10 metre derinliğe kuru toprağa gömülmüş boruda doğalgaz yakıtı kullanıldığı zaman oluşmaktadır.



Şekil 3.43: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (400 mm boru çapı).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.44'te gösterilmiştir. Minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 142.058.784 watt, fuel-oil yakıtı için 165.143.336 watt, kömür yakıtı için 203.253.337 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 55.945.097 watt, fuel-oil yakıtı için 65.036.175 watt, kömür yakıtı için 80.044.524 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 92.329.421 watt, fuel-oil yakıtı için 107.332.952 watt, kömür yakıtı için 132.102.095 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 46.155.028 watt, fuel-oil yakıtı için 53.655.220 watt, kömür yakıtı için 66.037.194 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.44: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Kuru toprak, 400 mm boru çapı, XPS).

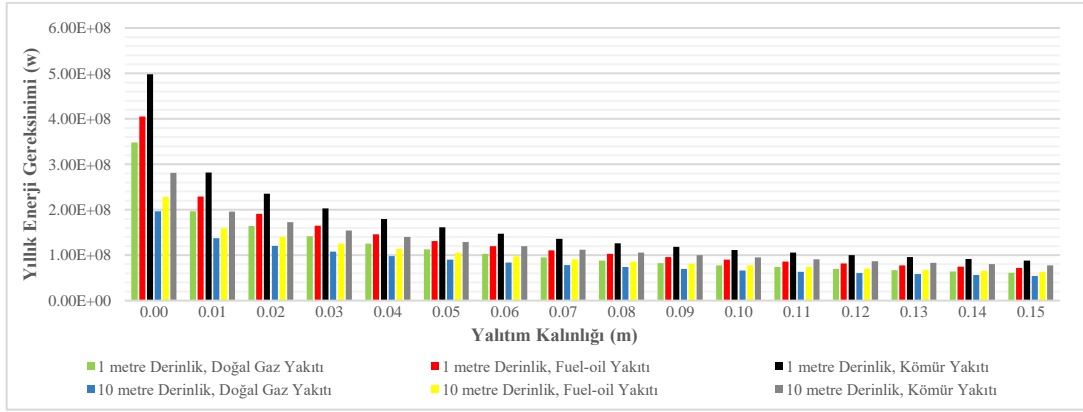
İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 145.197.528 watt, 168.792.126 watt, 207.744.155 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 62.088.075 watt, 72.177.387 watt, 88.833.708 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 93.645.112 watt, 108.862.443 watt, 133.984.545 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 50.257.325 watt, 58.424.141 watt, 71.906.635 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 147.214.172 watt, 171.136.475 watt, 210.629.508 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 66.623.703 watt, 77.450.054 watt, 95.323.144 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 94.479.839 watt, 109.832.813 watt, 135.178.847 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 53.188.328 watt, 61.831.431 watt, 76.100.223 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kum veya çakıllı toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.45'te gösterilmiştir. Minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 196.865.323 watt, fuel-oil yakıtı için 228.855.938 watt, kömür yakıtı için 281.668.846 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 61.567.576 watt, fuel-oil yakıtı için 71.572.307 watt, kömür yakıtı için 88.088.993 watt, maksimum 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 137.072.790 watt, fuel-oil yakıtı için 159.347.119 watt, kömür yakıtı için 196.119.531 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 54.176.773 watt, fuel-oil yakıtı için 62.980.498 watt, kömür yakıtı için 77.514.459 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kum veya çakıllı toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 202.944.937 watt,

235.923.490 watt, 290.367.372 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 69.090.353 watt, 80.317.536 watt, 98.852.351 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 139.992.809 watt, 162.741.640 watt, 200.297.403 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 59.917.626 watt, 69.654.240 watt, 85.728.295 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

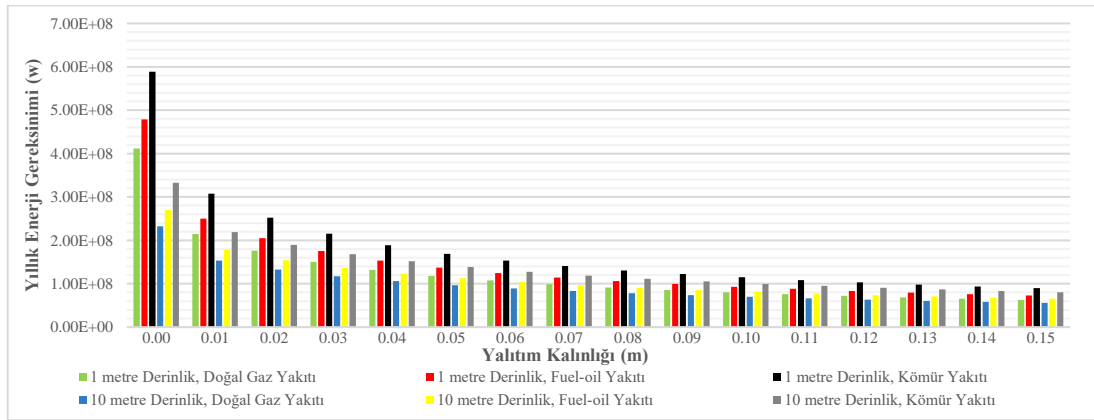


Şekil 3.45: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Kum veya çakıllı toprak, 400 mm boru çapı, XPS).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kum veya çakıllı toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 206.906.557 watt, 240.528.872 watt, 296.035.535 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 74.753.381 watt, 86.900.805 watt, 106.954.837 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 141.866.534 watt, 164.919.846 watt, 202.978.272 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 64.130.927 watt, 74.552.203 watt, 91.756.558 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya balçık toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.46'da gösterilmiştir. Minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 214.793.431 watt, fuel-oil yakıtı için 249.697.363 watt, kömür yakıtı için 307.319.831 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 62.935.979 watt, fuel-oil yakıtı için 73.163.075 watt, kömür yakıtı için 90.046.862 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 153.127.024 watt, fuel-oil yakıtı için 178.010.165 watt, kömür yakıtı için 219.089.434 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için

56.293.461 watt, fuel-oil yakıtı için 65.441.148 watt, kömür yakıtı için 80.542.951 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



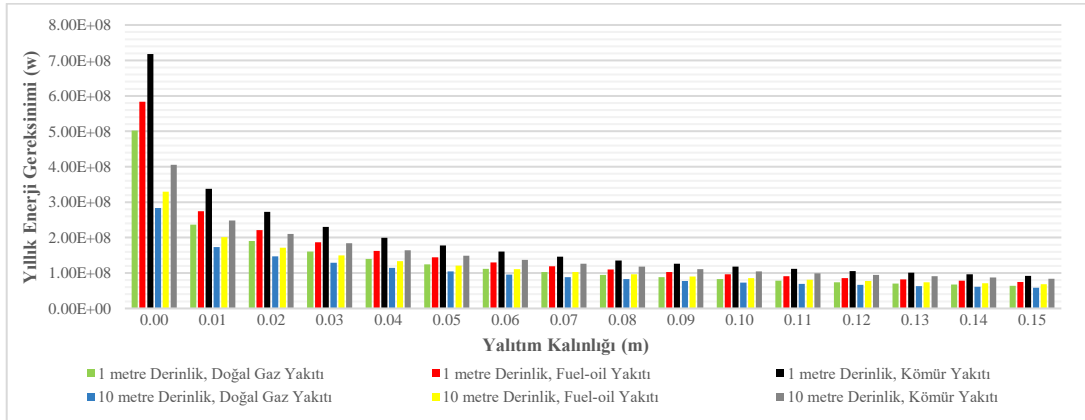
Şekil 3.46: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Balçık toprak, 400 mm boru çapı, XPS).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya balçık toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 222.051.192 watt, 258.134.511 watt, 317.704.014 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 70.818.281 watt, 82.326.252 watt, 101.324.618 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 156.780.209 watt, 182.256.993 watt, 224.316.299 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 62.517.436 watt, 72.676.519 watt, 89.448.023 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya balçık toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 226.802.590 watt, 263.658.011 watt, 324.502.168 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 76.780.334 watt, 89.257.138 watt, 109.854.939 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 159.134.037 watt, 184.993.318 watt, 227.684.083 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 67.118.335 watt, 78.025.065 watt, 96.030.849 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya killi toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.47'de

gösterilmiştir. Minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 236.100.938 watt, fuel-oil yakıtı için 274.467.340 watt, kömür yakıtı için 337.805.957 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 64.353.414 watt, fuel-oil yakıtı için 74.810.844 watt, kömür yakıtı için 92.074.884 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 173.233.707 watt, fuel-oil yakıtı için 201.384.185 watt, kömür yakıtı için 247.857.458 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 58.560.821 watt, fuel-oil yakıtı için 68.076.955 watt, kömür yakıtı için 83.787.022 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



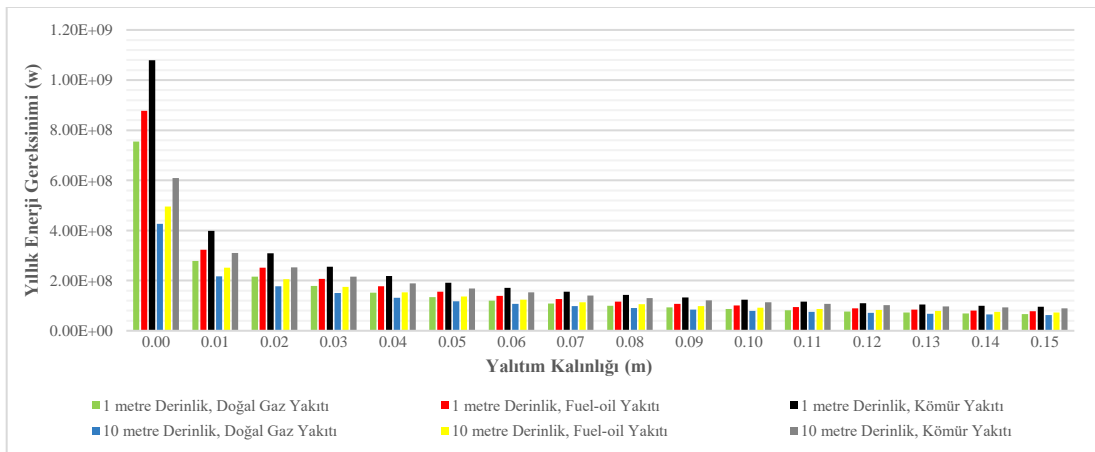
Şekil 3.47: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Killi toprak, 400 mm boru çapı, XPS).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya killi toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 244.899.553 watt, 284.695.730 watt, 350.394.745 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 72.618.075 watt, 84.418.512 watt, 103.899.707 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 177.923.951 watt, 206.836.593 watt, 254.568.115 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 65.326.394 watt, 75.941.933 watt, 93.466.995 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya killi toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 250.691.818 watt, 291.429.239 watt, 358.682.140 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 78.900.462 watt, 91.721.787 watt, 112.888.354 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 180.961.625

watt, 210.367.889 watt, 258.914.325 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 70.366.693 watt, 81.801.280 watt, 100.678.499 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş silt ya da killi toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.48’de gösterilmiştir. Minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 278.209.060 watt, fuel-oil yakıtı için 323.418.033 watt, kömür yakıtı için 398.052.963 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 66.643.462 watt, fuel-oil yakıtı için 77.473.025 watt, kömür yakıtı için 95.351.416 watt, maksimum 10 metre derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 216.634.688 watt, fuel-oil yakıtı için 251.837.825 watt, kömür yakıtı için 309.954.246 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 62.395.217 watt, fuel-oil yakıtı için 72.534.440 watt, kömür yakıtı için 89.273.157 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

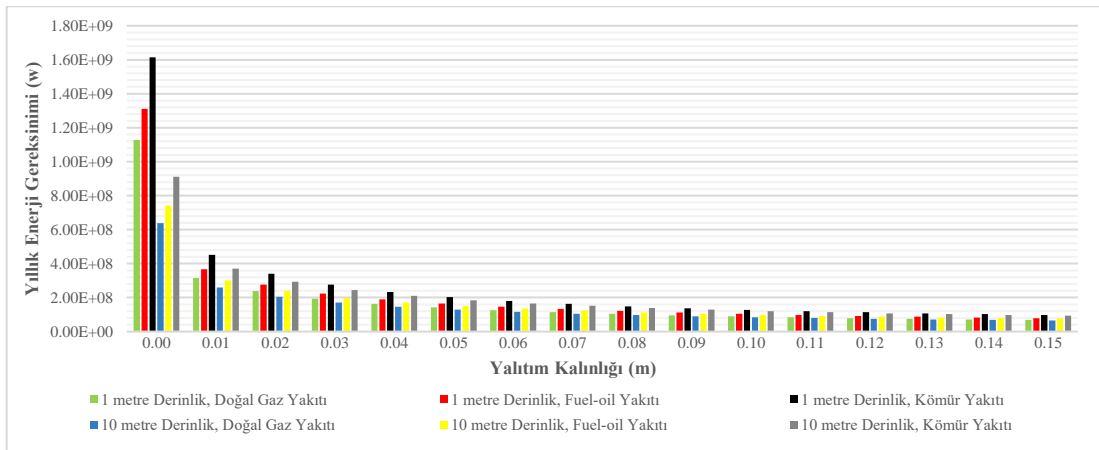


Şekil 3.48: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş silt ya da killi toprak, 400 mm boru çapı, XPS).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş silt ya da killi toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 290.507.713 watt, 337.715.217 watt, 415.649.497 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 75.547.486 watt, 87.823.952 watt, 108.091.018 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 224.019.553 watt, 260.422.730 watt, 320.520.283 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 70.134.320 watt, 81.531.147 watt, 100.346.027 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş silt ya da killi toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 298.694.339 watt, 347.232.169 watt, 427.362.670 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 82.370.772 watt, 95.756.022 watt, 117.853.566 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 228.856.478 watt, 266.045.656 watt, 327.440.808 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 75.977.015 watt, 88.323.280 watt, 108.705.576 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş kumlu toprak içerisinde 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.49’da gösterilmiştir. Minimum 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 315.203.093 watt, fuel-oil yakıtı için 366.423.595 watt, kömür yakıtı için 450.982.886 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 68.241.529 watt, fuel-oil yakıtı için 79.330.778 watt, kömür yakıtı için 97.637.880 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 259.402.182 watt, fuel-oil yakıtı için 301.555.037 watt, kömür yakıtı için 371.144.661 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 65.204.804 watt, fuel-oil yakıtı için 75.800.584 watt, kömür yakıtı için 93.293.027 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.49: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş kumlu toprak, 400 mm boru çapı, XPS).

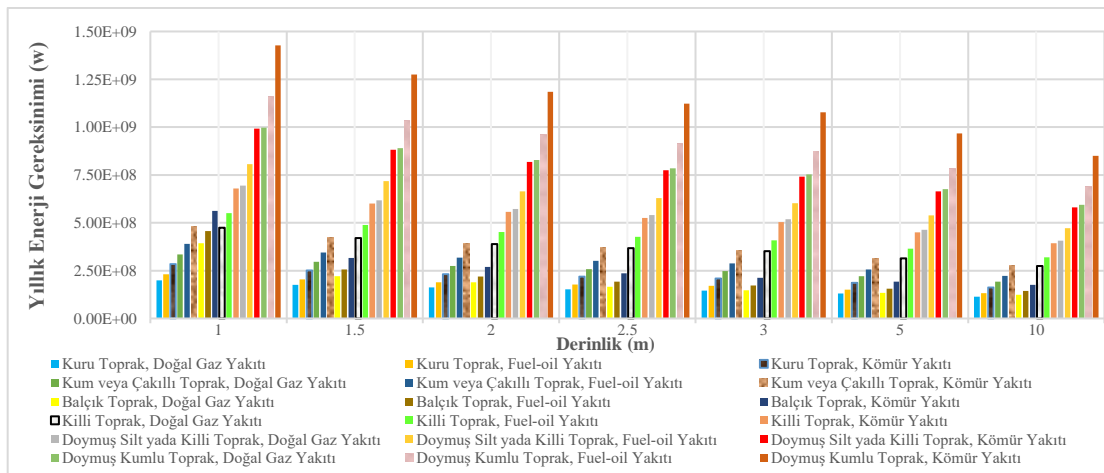
İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş kumlu toprak içerisinde 1-15 cm arası EPS yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji

gereksinimi sırasıyla; minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 331.083.307 watt, 384.884.344 watt, 473.703.808 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 77.607.705 watt, 90.218.957 watt, 111.038.717 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 270.062.407 watt, 313.947.548 watt, 386.396.983 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 73.704.034 watt, 85.680.939 watt, 105.453.463 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya doymuş kumlu toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi sırasıyla; minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında 341.758.529 watt, 397.294.290 watt, 488.977.588 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında 84.825.993 watt, 98.610.217 watt, 121.366.421 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında 277.123.264 watt, 322.155.794 watt, 396.499.439 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında 80.184.108 watt, 93.214.025 watt, 114.724.954 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.

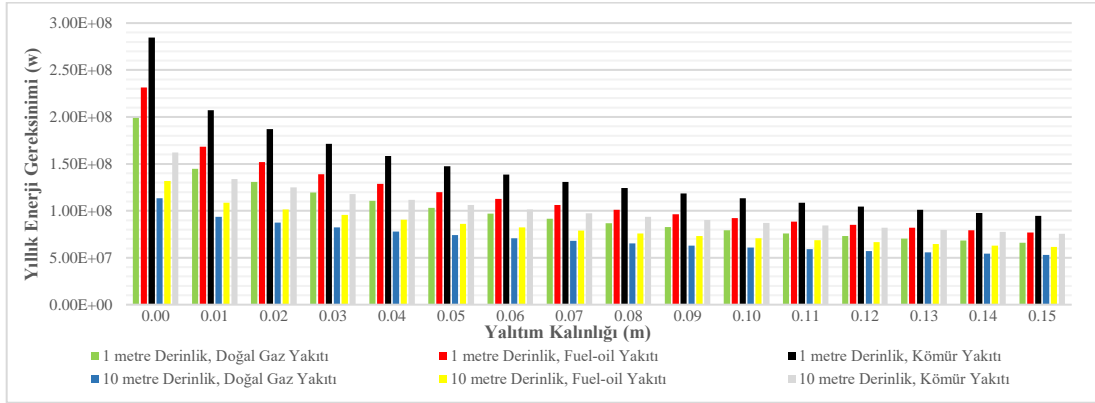
3.5.2.2 Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yıllık Enerji Gereksinimi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda çapı 400 mm olan yalıtımsız borunun çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü zaman birim uzunluktaki yıllık enerji gereksinimi yakıt türüne bağlı olarak Şekil 3.50’de gösterilmiştir. En çok enerji gereksinimi 1 metre derinliğe doymuş kumlu toprağa gömülmüş boruda, kömür yakıtı kullanıldığı zaman olurken, en az enerji gereksinimi 10 metre derinliğe kuru toprağa gömülmüş boruda doğalgaz yakıtı kullanıldığı zaman olmaktadır.



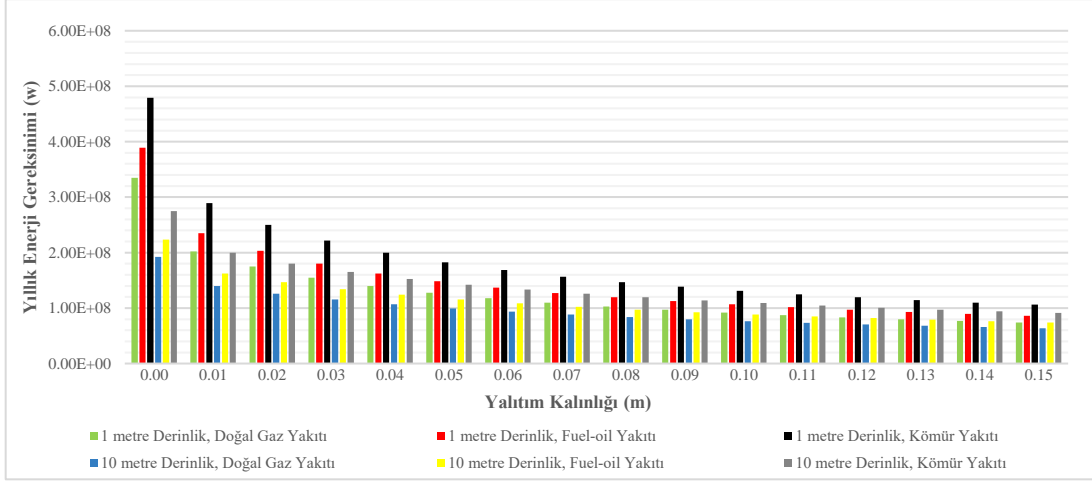
Şekil 3.50: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (400 mm boru çapı).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra beton kaplama içinde yeraltına kuru toprak içerisine gömüldüğü zaman, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.51’de gösterilmiştir. Minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığında doğalgaz yakıtı için 144.746.570 watt, fuel-oil yakıtı için 168.267.887 watt, kömür yakıtı için 207.098.938 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 66.113.625 watt, fuel-oil yakıtı için 76.857.089 watt, kömür yakıtı için 94.593.340 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 93.457.325 watt, fuel-oil yakıtı için 108.644.140 watt, kömür yakıtı için 133.715.864 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 52.862.729 watt, fuel-oil yakıtı için 61.452.923 watt, kömür yakıtı için 75.634.366 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



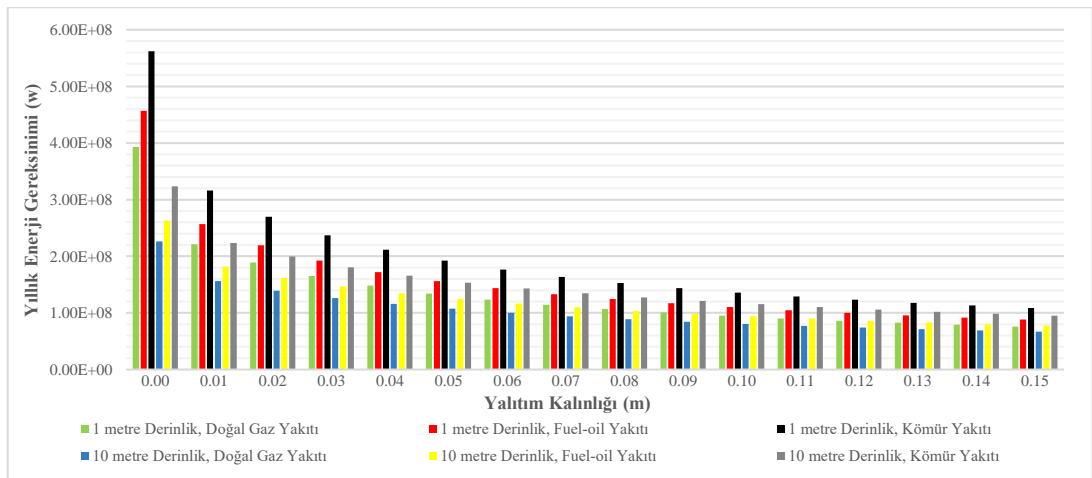
Şekil 3.51: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Kuru toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra beton kaplama içinde yeraltına kum veya çakıllı toprak içerisine gömüldüğü zaman, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.52’de gösterilmiştir. Minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz için 202.065.027 watt, fuel-oil için 234.900.594 watt, kömür için 289.108.423 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 74.111.823 watt, fuel-oil için 86.154.994 watt, kömür için 106.036.916 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 139.573.554 watt, fuel-oil için 162.254.256 watt, kömür için 199.697.546 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 63.658.169 watt, fuel-oil için 74.002.622 watt, kömür için 91.080.150 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



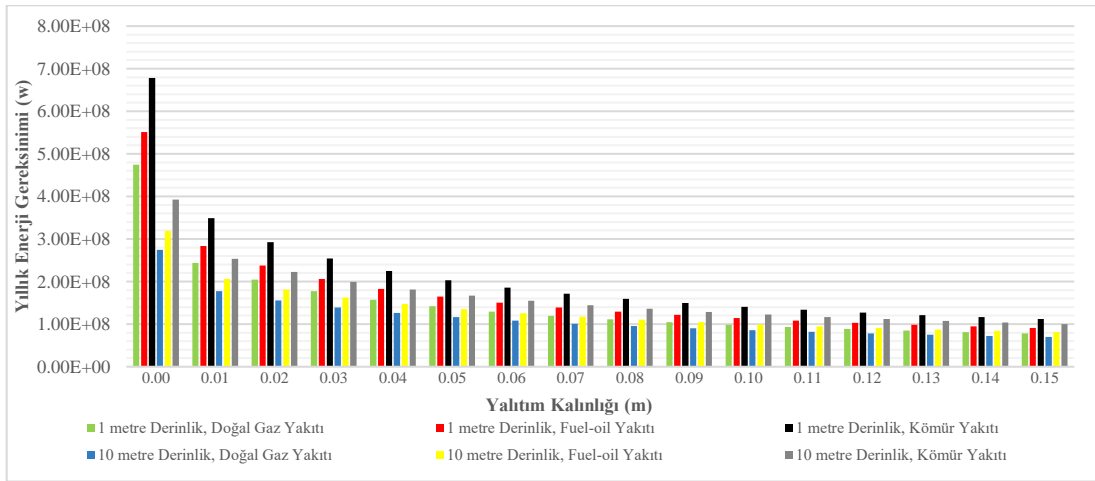
Şekil 3.52: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Kum veya çakıllı toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra beton kaplama içinde yeraltına balçık toprağa gömüldüğü zaman, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.53'te gösterilmiştir. Minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 220.998.234 watt, fuel-oil yakıtı için 256.910.447 watt, kömür yakıtı için 316.197.474 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 76.103.670 watt, fuel-oil yakıtı için 88.470.517 watt, kömür yakıtı için 108.886.790 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 156.254.564 watt, fuel-oil yakıtı için 181.645.930 watt, kömür yakıtı için 223.564.222 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 66.600.684 watt, fuel-oil için 77.423.295 watt, kömür için 95.290.210 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



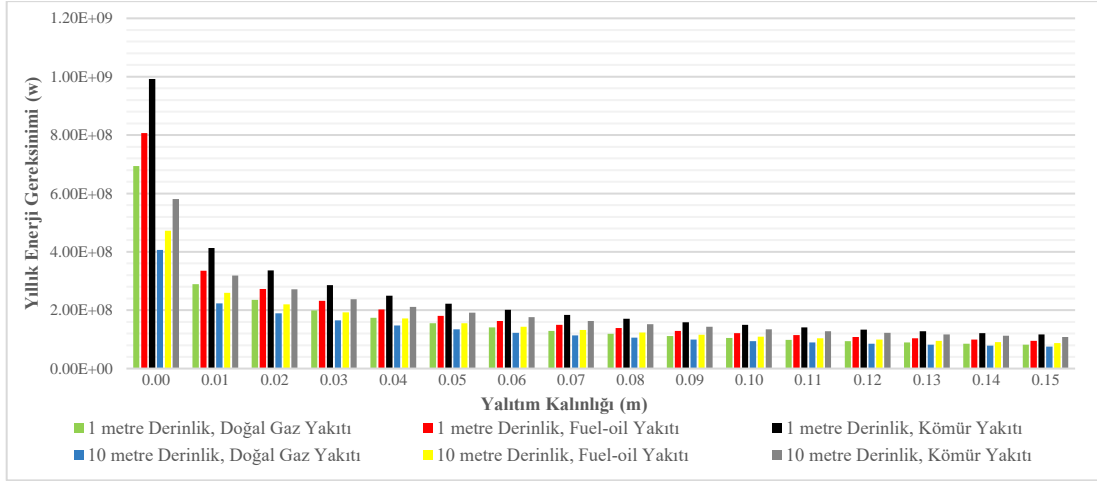
Şekil 3.53: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Balçık toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra beton kaplama içinde yeraltına killi toprağa gömüldüğü zaman, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.54'te gösterilmiştir. Minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 243.619.379 watt, fuel-oil yakıtı için 283.207.528 watt, kömür yakıtı için 348.563.111 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 78.186.087 watt, fuel-oil yakıtı için 90.891.326 watt, kömür yakıtı için 111.866.248 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 177.247.271 watt, fuel-oil yakıtı için 206.049.953 watt, kömür yakıtı için 253.599.942 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 69.797.935 watt, fuel-oil için 81.140.100 watt, kömür için 99.864.738 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



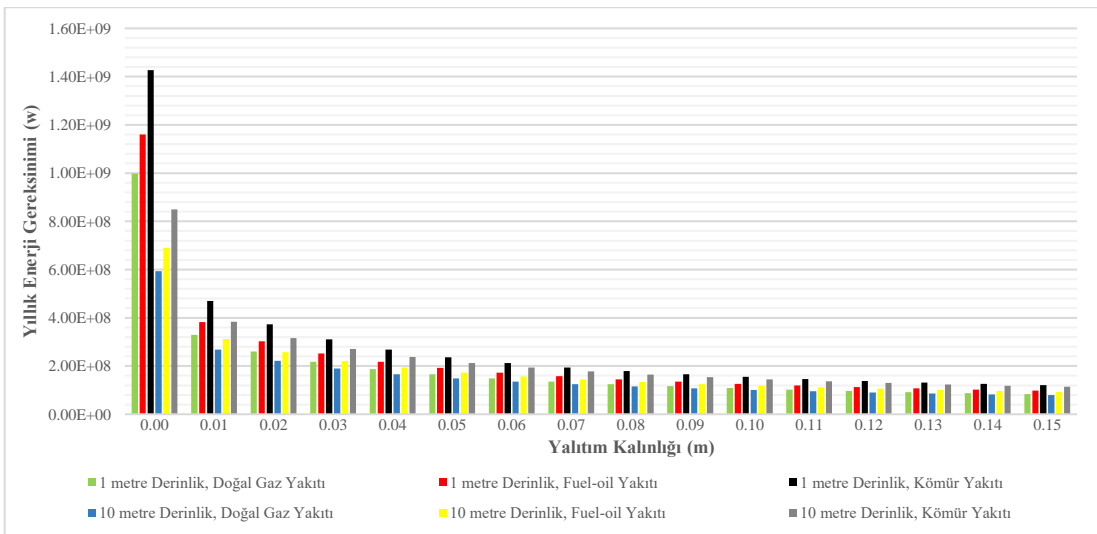
Şekil 3.54: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Killi toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra beton kaplama içinde yeraltına doymuş silt ya da killi toprak içerisine gömüldüğü zaman, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.55'te gösterilmiştir. Minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 288.708.073 watt, fuel-oil yakıtı için 335.623.135 watt, kömür yakıtı için 413.074.628 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 81.592.484 watt, fuel-oil için 94.851.262 watt, kömür için 116.740.015 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 222.947.889 watt, fuel-oil için 259.176.921 watt, kömür için 318.986.980 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 75.314.376 watt, fuel-oil için 87.552.962 watt, kömür için 107.757.492 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



Şekil 3.55: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak ön yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş silt ya da killi toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra beton kaplama içinde doymuş kumlu toprak içerisine gömüldüğü zaman, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak doğalgaz, fuel-oil, kömür yakıtları için yıllık enerji gereksinimi Şekil 3.56’da gösterilmiştir. Minimum 1 metre derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman doğalgaz yakıtı için 328.747.863 watt, fuel-oil yakıtı için 382.169.391 watt, kömür yakıtı için 470.362.328 watt, 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 84.000.849 watt, fuel-oil için 97.650.988 watt, kömür için 120.185.830 watt, maksimum 10 m derinlikte 1 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz yakıtı için 268.506.484 watt, fuel-oil için 312.138.788 watt, kömür için 384.170.816 watt ve 15 cm yalıtım uygulandığında doğalgaz için 79.446.408 watt, fuel-oil için 92.356.449 watt, kömür için 113.669.476 watt yıllık enerji gereksinimi hesaplanmıştır.



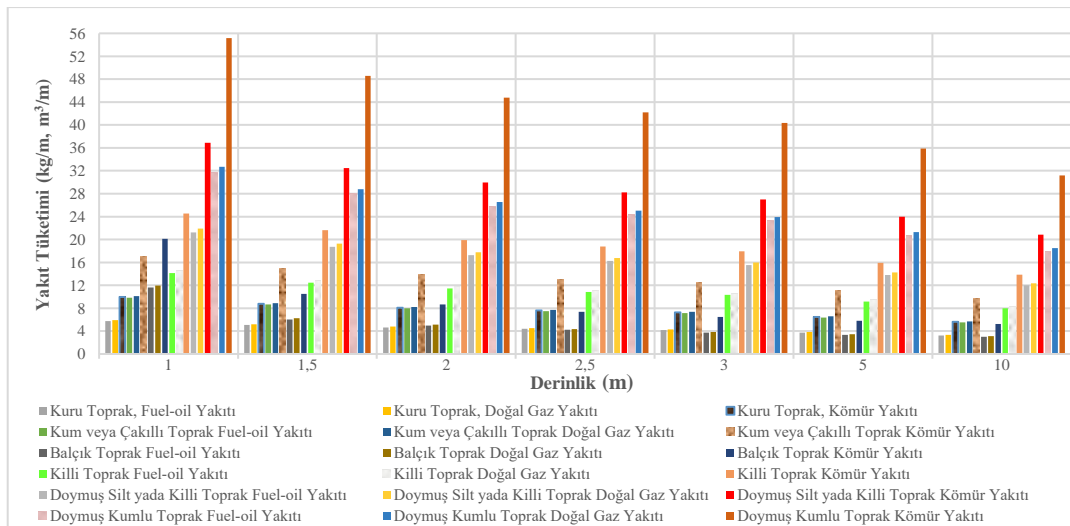
Şekil 3.56: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımlı boruda yakıt türüne göre yıllık enerji gereksinimi (Doymuş kumlu toprak, 400 mm boru çapı, taş yünü).

3.5.3 Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Yakıt Tüketimi

TS 825'e göre 2. derece-gün bölgesindeki Balıkesir şehri alınarak, ortalama 80 °C sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü, 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığı düşünülerek, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boruda oluşan enerji kaybını karşılamak için kullanılan doğalgaz, fuel-oil ve kömür yakıtları için hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca beton kaplama içerisinde, ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının 6 toprak tipinde 7 farklı derinliğe gömüldüğü ve 4 farklı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boru çapı için taş yünü yalıtım malzemesi kullanılarak hesaplamalar tekrarlanmıştır.

3.5.3.1 Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Yakıt Tüketimi

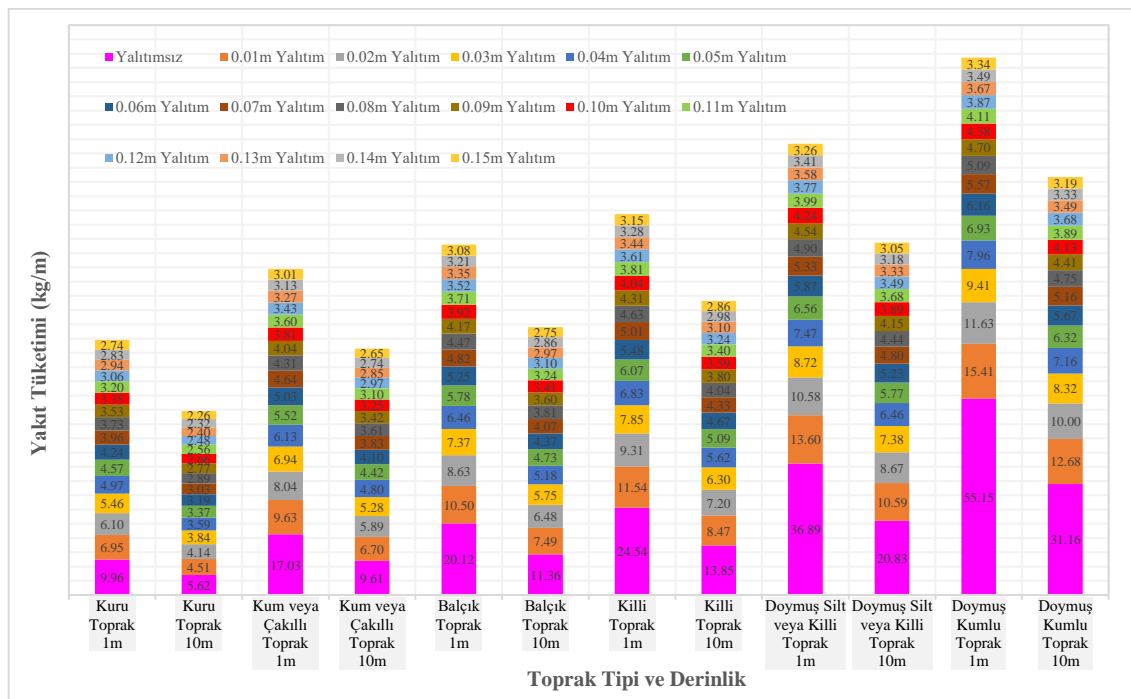
Yapılan hesaplamalar doğrultusunda çapı 400 mm olan birim uzunluktaki yalıtımsız borunun çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü zaman enerji kaybını karşılamak için harcanan yıllık yakıt miktarı Şekil 3.57'de gösterilmiştir. Birim uzunluktaki borunun enerji kaybını karşılamak için; en çok yakıt tüketimi 55.15 kg/m değerle 1 m doymuş kumlu toprağa gömülmüş boruda kömür yakıtı kullanıldığı zaman, en az yakıt tüketimi 3.24 kg/m değerle 10 m kuru toprağa gömülmüş fuel-oil yakıtı kullanıldığı zaman hesaplanmıştır.



Şekil 3.57: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda oluşan enerji kaybı için yakıt tüketimi (400 mm boru çapı).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası XPS yalıtım malzemesi uygulanarak 1 ve 10 metre derinlikte farklı toprak tiplerine gömüldüğünde, gömülme

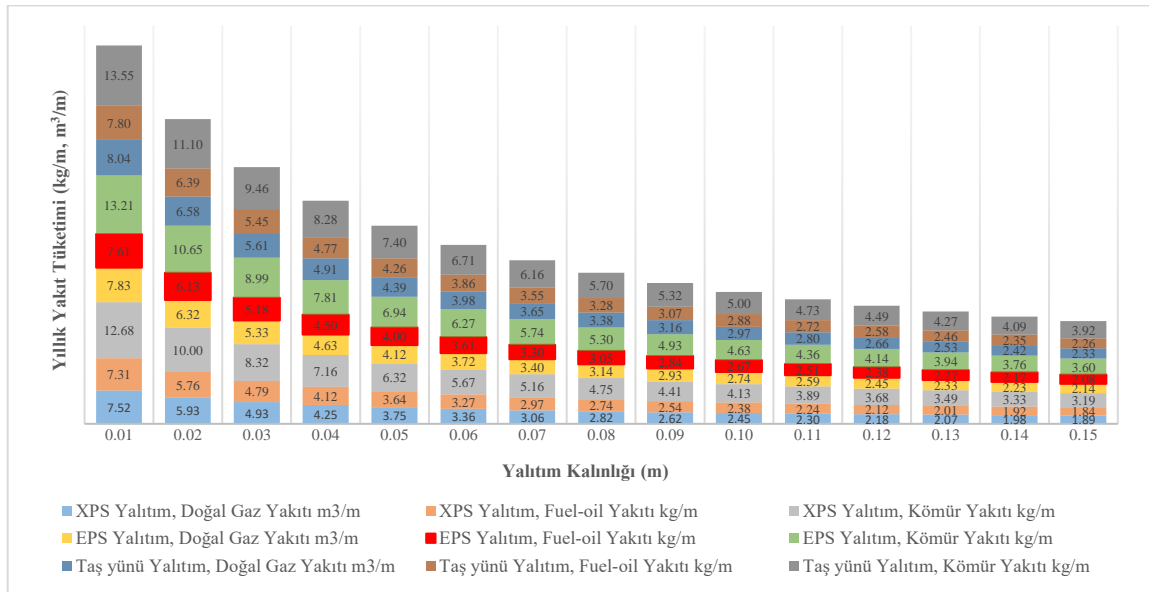
derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak birim uzunluktaki boruda meydana gelen enerji kaybını karşılamak için kullanılan kömür miktarları Şekil 3.58’de gösterilmiştir. Yakıt tüketimi; toprak tipine, derinliğe ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir. 1 metre derinlikte kuru toprak içerisinde yalıtımsız boru yerine, 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında %30.25, 15 cm XPS ön yalıtımlı boru kullanıldığında ise %72.53, 10 m derinlikte ise 1 cm için %19.66, 15 cm için %59.84 oranında azalma hesaplanmıştır. Doymuş kumlu toprakta ise 1 m derinlikte 1 cm XPS için %72.05, 15 cm için %93.95, 10 m derinlikte ise 1 cm için %59.30, 15 cm için %89.77 oranında birim uzunluktaki boru için yıllık yakıt tüketiminde azalma hesaplanmıştır.



Şekil 3.58: Derinliğe, toprak tipine, yalıtım kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, XPS, kömür).

10 metre doymuş kumlu toprağa gömülü iletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak birim uzunluktaki boruda meydana gelen enerji kaybını karşılamak için kullanılan doğalgaz, fuel-oil, kömür miktarları Şekil 3.59’da gösterilmiştir. En fazla yakıt tüketimi 13.55 kg/m ile 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda kömür yakıtında, en az yakıt tüketimi 1.84 kg/m miktarla XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda fuel-oil yakıtında hesaplanmıştır. Birim uzunluktaki boru için enerji kaybını karşılamak için kullanılan yakıt miktarı azdan çoğa doğru sıralanırsa fuel-oil, doğalgaz ve

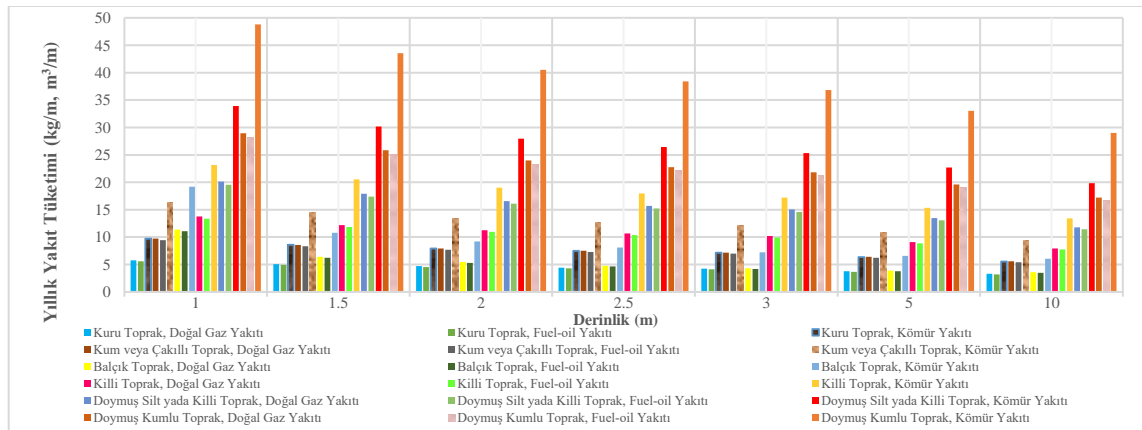
kömür olarak bulunmuştur. Yakıt tüketimi en azdan çoğa doğru yalıtım malzemesi açısından karşılaştırılacak olursa sırasıyla XPS, EPS ve taş yünü olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.59: Yalıtım malzemesine ve kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, doymuş kumlu toprak, 10 m derinlik).

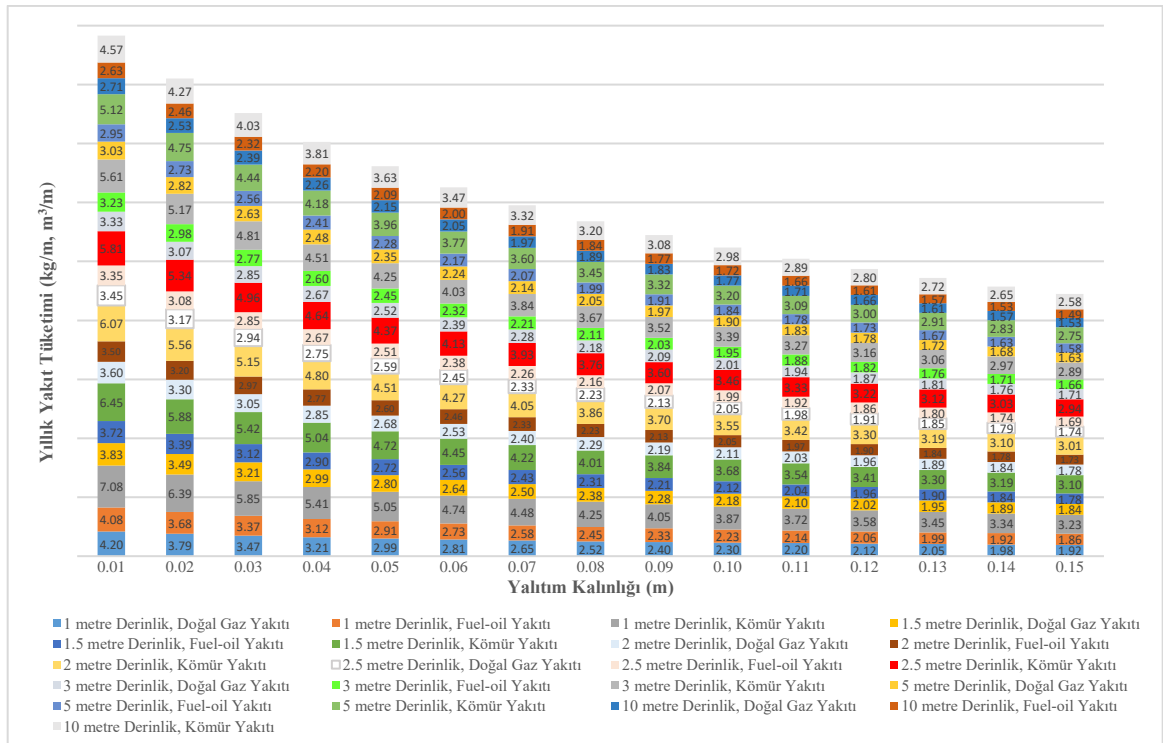
3.5.3.2 Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularının Farklı Parametreler Çerçevesinde Yıllık Yakıt Tüketimi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda çapı 400 mm olan birim uzunluktaki yalıtımsız borunun çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü zaman enerji kaybını karşılamak için harcanan yıllık yakıt miktarı Şekil 3.60'da gösterilmiştir. Birim uzunluktaki borunun enerji kaybını karşılamak için; en çok yakıt tüketimi 48.78 kg/m değerle 1 metre doymuş kumlu toprağa gömülmüş boruda kömür yakıtı kullanıldığı zaman, en az yakıt tüketimi 3.19 kg/m değerle 10 metre kuru toprağa gömülmüş fuel-oil yakıtı kullanıldığı zaman hesaplanmıştır.



Şekil 3.60: Derinliğe ve toprak tipine bağlı olarak yalıtımsız boruda oluşan enerji kaybı için yakıt tüketimi (400 mm boru çapı).

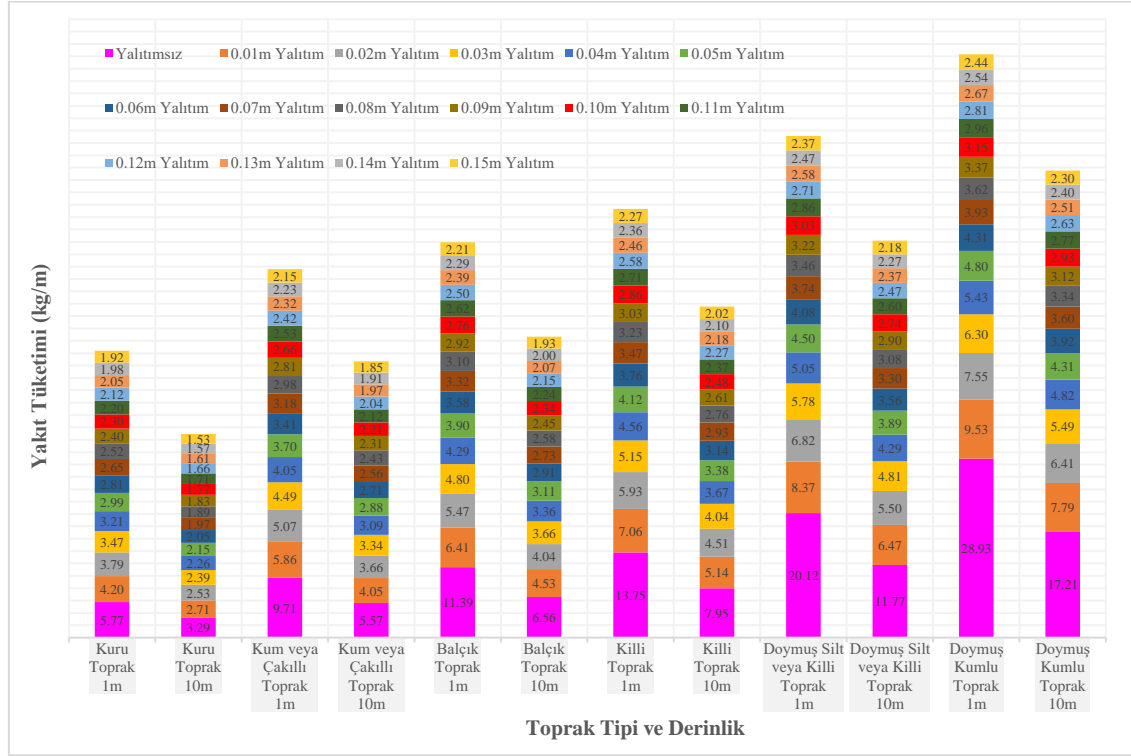
İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya kuru toprak içerisinde 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığı zaman gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boruda meydana gelen enerji kaybını karşılamak için kullanılan doğalgaz, fuel-oil, kömür miktarları Şekil 3.61’de gösterilmiştir. En az yakıt tüketimi 10 metre derinlikte 15 cm kalınlığında yalıtım kullanıldı 1.49 kg/m değerle fuel-oil yakıtında, en fazla yakıt tüketimi 1 m derinlikte 1 cm yalıtım yapıldığı zaman 7.08 kg/m değerle kömür yakıtında hesaplanmıştır. Derinlik ve yalıtım kalınlığı arttıkça yakıt tüketimi azalmıştır. En az yakıt tüketim sonuçları, yakıt bazında sırasıyla fuel-oil, doğalgaz ve kömür olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.61: Derinliğe, yalıtım kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için doğal gaz, fuel-oil ve kömür için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, kuru toprak, taş yünü).

İletim boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruya 1-15 cm arası taş yünü yalıtım malzemesi uygulanarak 1 ve 10 m derinlikte farklı toprak tipleri gömüldüğünde, gömülme derinliğinin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak birim uzunluktaki boruda meydana gelen enerji kaybını karşılamak için kullanılan kömür miktarları Şekil 3.62’de gösterilmiştir. Yakıt tüketimi; toprak tipine, derinliğe ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak üç yönden incelenmiştir. 1 metre derinlikte kuru toprak içerisinde yalıtımsız boru yerine, 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında %27.25, 15 cm taş yünü ön yalıtımlı boru kullanıldığında ise %66.77, 10 metre derinlikte ise 1 cm için %17.60, 15 cm için %53.39

oranında azalma hesaplanmıştır. Doymuş kumlu toprakta ise 1 m derinlikte 1 cm taş yünü için %67.05, 15 cm için %91.58, 10 m derinlikte ise 1 cm için %54.76, 15 cm için %86.61 oranında birim uzunluktaki boru için yıllık yakıt tüketiminde azalma hesaplanmıştır.



Şekil 3.62: Derinliğe, toprak tipine, yalıtım kalınlığına bağlı olarak boruda oluşan enerji kaybı için yıllık yakıt tüketimi (400 mm boru çapı, taş yünü, doğal gaz).

3.6 Farklı Parametreler Çerçevesinde Toprak Altındaki Borularda Isı Kaybı, Aylık ve Yıllık Enerji Kaybı

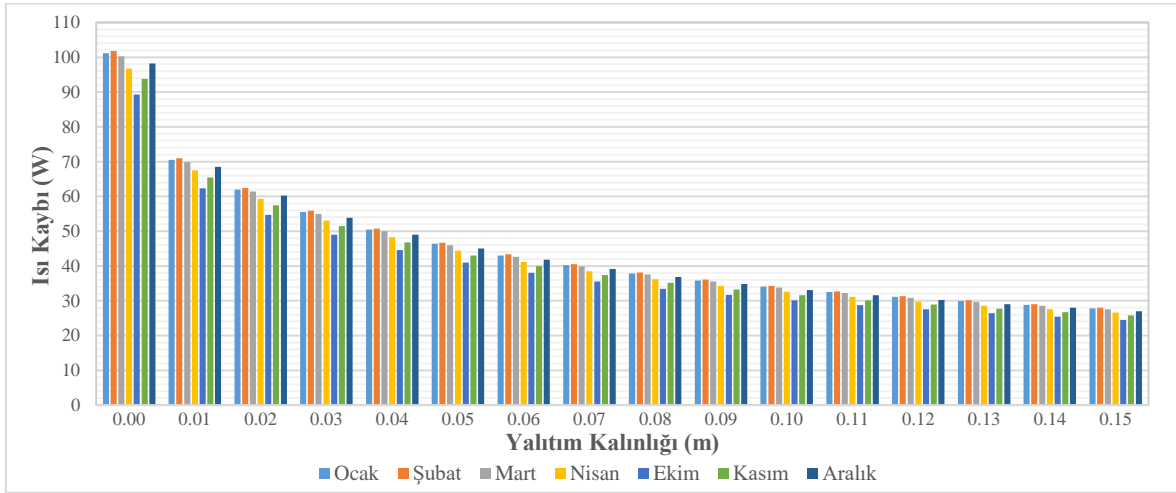
Balıkesir şehri baz alınarak toprak tipine, derinliğine ve meteorolojik verilere dayalı olarak toprak sıcaklıkları hesaplanmış bu hesaplar doğrultusunda artan yalıtım kalınlıklarına göre boru sisteminin birim uzunluktaki ısı kayıpları hesaplanmıştır. Isıtma derece gün hesabına göre ısıtma yapılan Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım, Aralık aylarındaki iş günleri kabul edilmiş ve günde 12 saat ısıtmanın olduğu düşünülerek aylık ve yıllık enerji kaybı hesaplamaları yapılmıştır.

3.6.1 Farklı Parametreler Çerçevesinde Yeraltındaki Borularda Oluşan Isı Kaybı

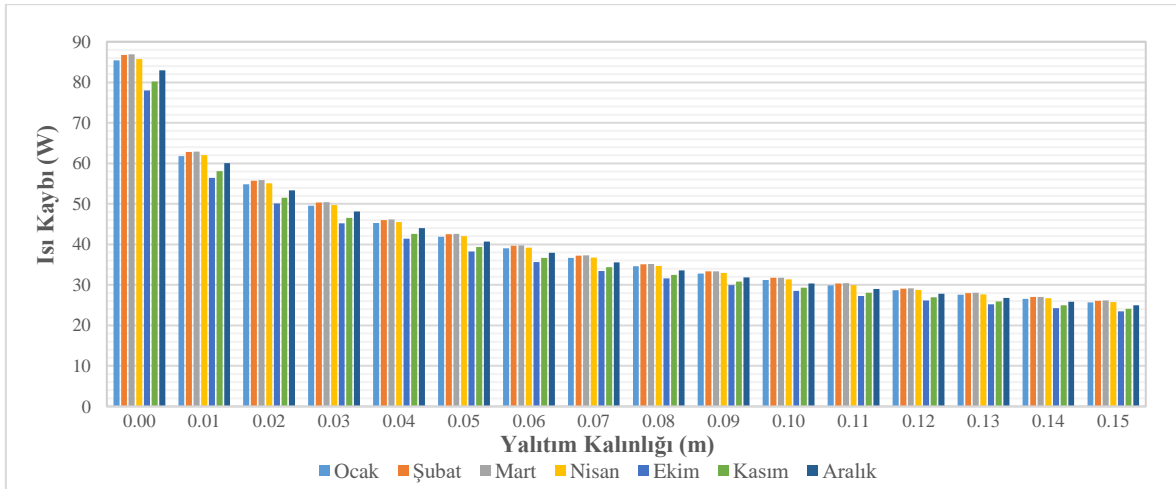
3.6.1.1 Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametreler Çerçevesinde Oluşan Isı Kaybı

Şekil 3.63, 3.64, 3.65, 3.66, 3.67, 3.68 ve 3.69'da, kuru toprak içinde nominal boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruda derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan

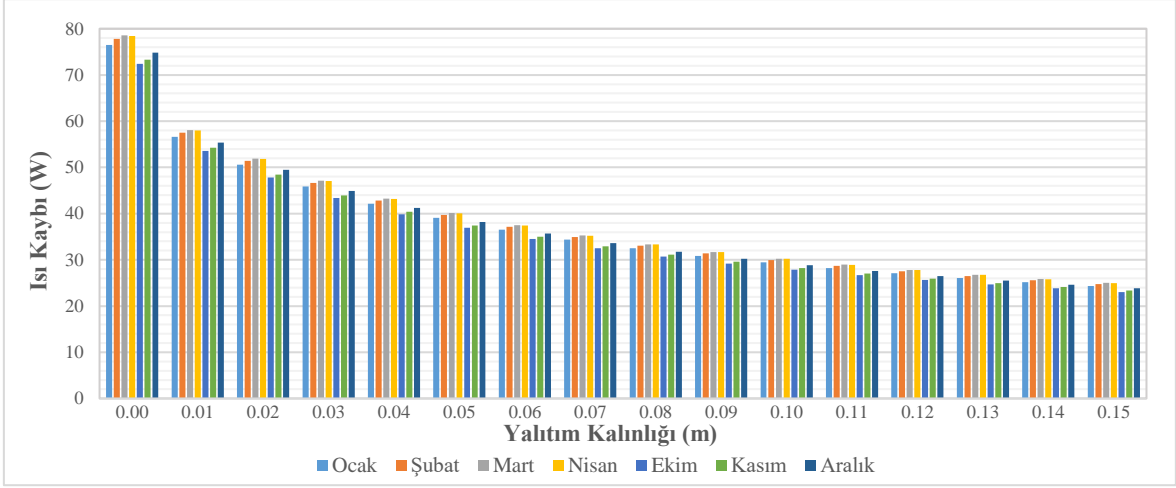
yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. Yalıtımsız boruda 1 metre derinlikte şubat ayında ısı kaybı en fazla olurken, Ekim ayında toprak sıcaklığının etkisi ile minimum seviyede kalmıştır. 1 metre derinlikte, yalıtımsız boru yerine 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa %30.25 oranında, 15 cm yalıtım malzemeli kullanılırsa %72.53 oranında ısı kaybının azaltıldığı görölmüştür. 1.5 ve 2 m derinlikte en çok ısı kaybı mart ayında olurken 2.5 ve 3 m’de nisan ayında, 5 m’de ise ekim ayında gerçekleşmektedir. 10 m’de aylara göre ısı kaybı oluşmadığı gözlemlenmiş bu da 5 m’den sonra derinlik arttıka aylara göre ısı kayıplarının sabitlenmeye başladığı çıkarımını yapmamızı sağlamıştır. En fazla ısı kaybı 1 metre derinlikte oluşurken en az ısı kaybı 10 metrede oluşmaktadır. Yüzey toprak sıcaklığının en soğuk olduğu aylarda, derinliğin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak aylara göre ısı kaybının azaldığı tespit edilmiştir.



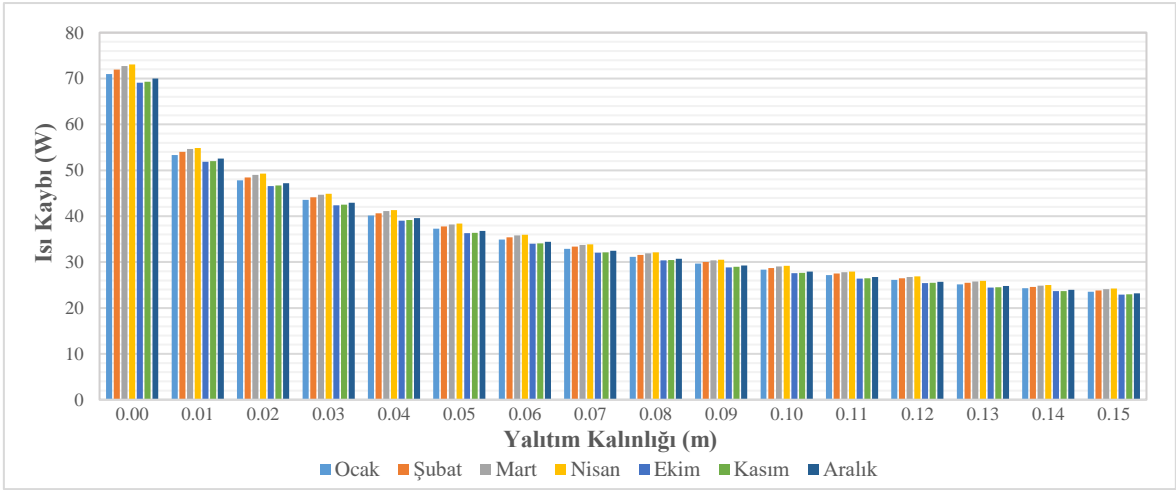
şekil 3.63: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kuru toprak).



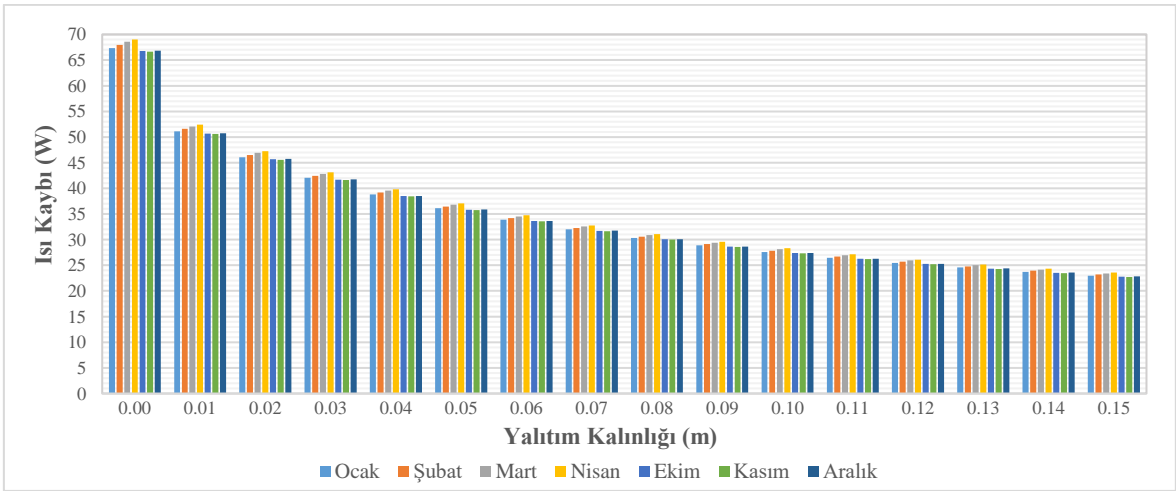
şekil 3.64: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1.5 m derinlik, kuru toprak).



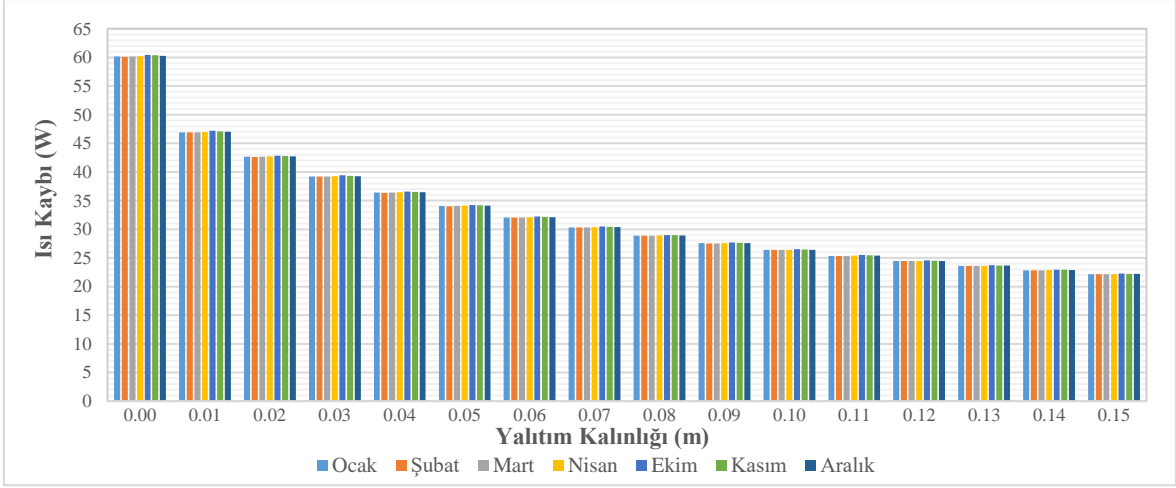
Şekil 3.65: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2 m derinlik, kuru toprak).



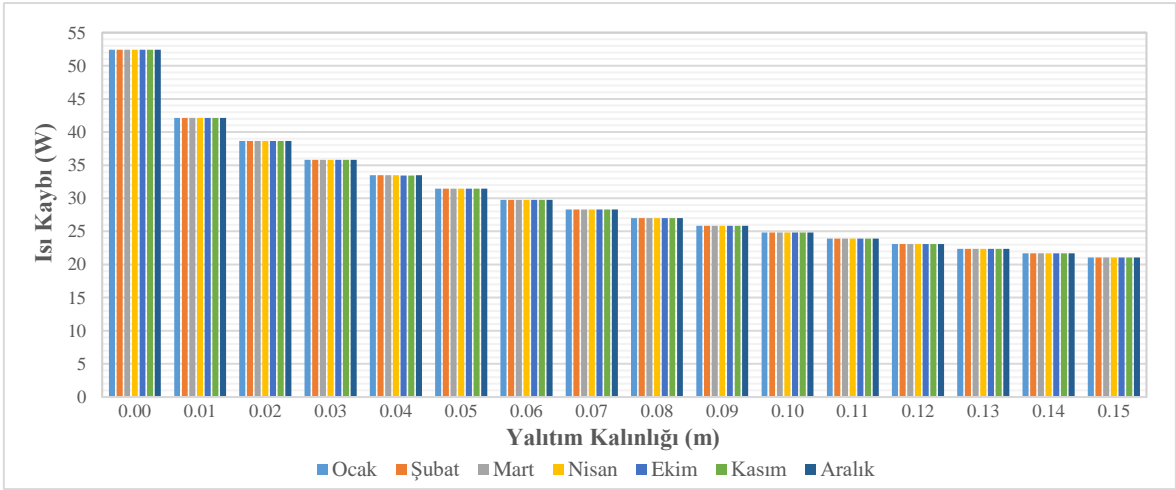
Şekil 3.66: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2.5 m derinlik, kuru toprak).



Şekil 3.67: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 3 m derinlik, kuru toprak).

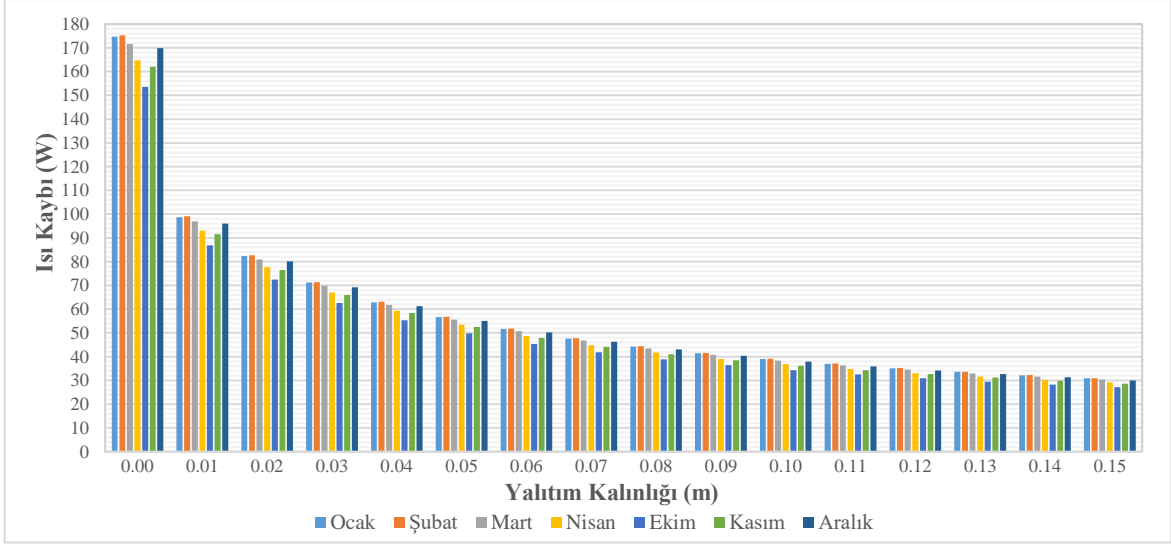


Şekil 3.68: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 5 m derinlik, kuru toprak).



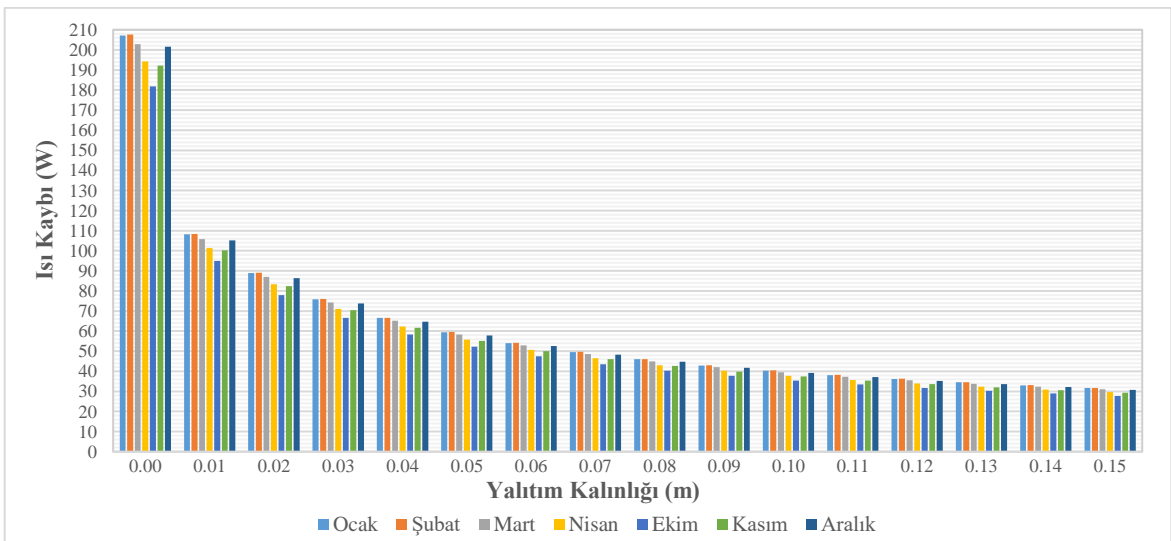
Şekil 3.69: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 10 m derinlik, kuru toprak).

Şekil 3.70’de kum veya çakıllı toprak için nominal boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruda derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. En çok ısı kaybının olduğu aylar 1 ve 1.5 m derinlikte şubat ayında, 2 m derinlikte mart ayında, 2.5 ve 3 m derinlikte nisan ayında, 5 m’de ekim ayında hesaplanmıştır. 10 metrede tüm aylarda ısı kaybı sabit olduğu görülmüştür. 1 metre derinlikte, yalıtımsız boru yerine 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa %43.48, 15 cm yalıtım malzemeli kullanılırsa %82.32 oranında ısı kaybının azaltıldığı görülmüştür. 1 m kuru toprağa gömülmüş 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda şubat ayında oluşan ısı kaybı, aynı şartlarda kum veya çakıl toprakta yaklaşık 3 cm XPS yalıtım malzemesi kullanılarak engellenebilmektedir. Aynı şartlarda kum veya çakıllı toprağın kuru toprağa göre daha fazla ısı kaybının oluştuğu hesaplanmıştır.



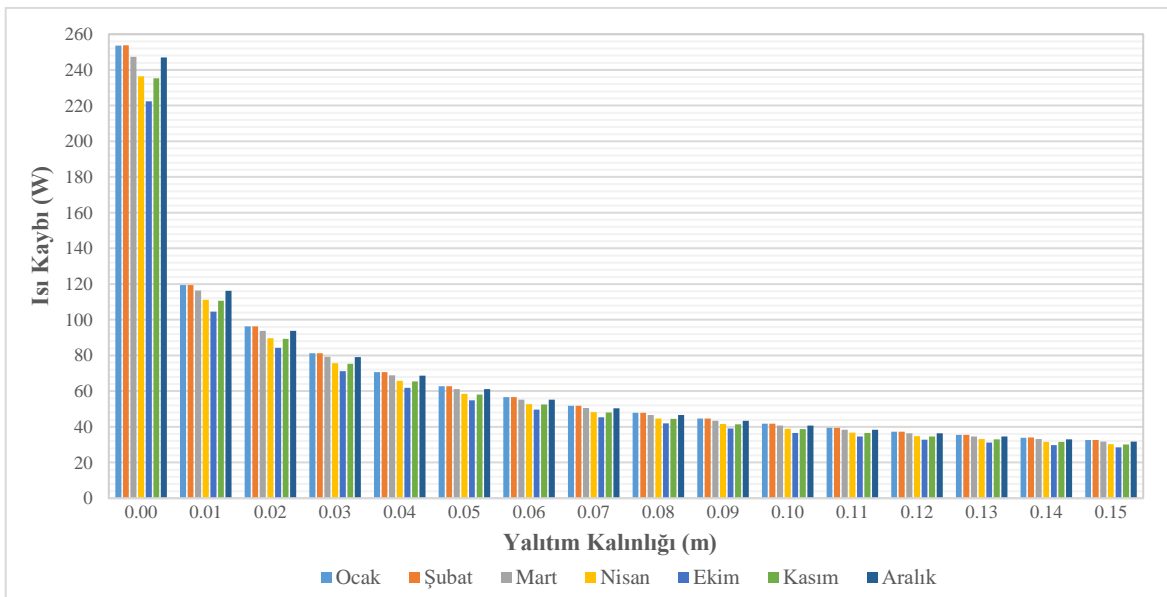
Şekil 3.70: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kum veya çakıllı toprak).

Şekil 3.71’de balçık toprak için nominal boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruda derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. 1 ve 1.5 m derinlikte şubat ayı, 2 m’de mart ayı, 2.5, 3 ve 5 m’de nisan ayı en çok ısı kaybının olduğu ay olmuştur. 10 m’de tüm aylarda ısı kaybı sabit olduğu görülmüştür. 1 m derinlikte, yalıtımsız boru yerine 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa %47.81, 15 cm yalıtımlı kullanılırsa %84.71 oranında ısı kaybının azaltıldığı hesaplanmıştır. 1 m kuru toprağa gömülmüş 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda şubat ayında oluşan ısı kaybı, aynı şartlarda balçık toprakta yaklaşık 4 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılarak engellenebilmektedir.



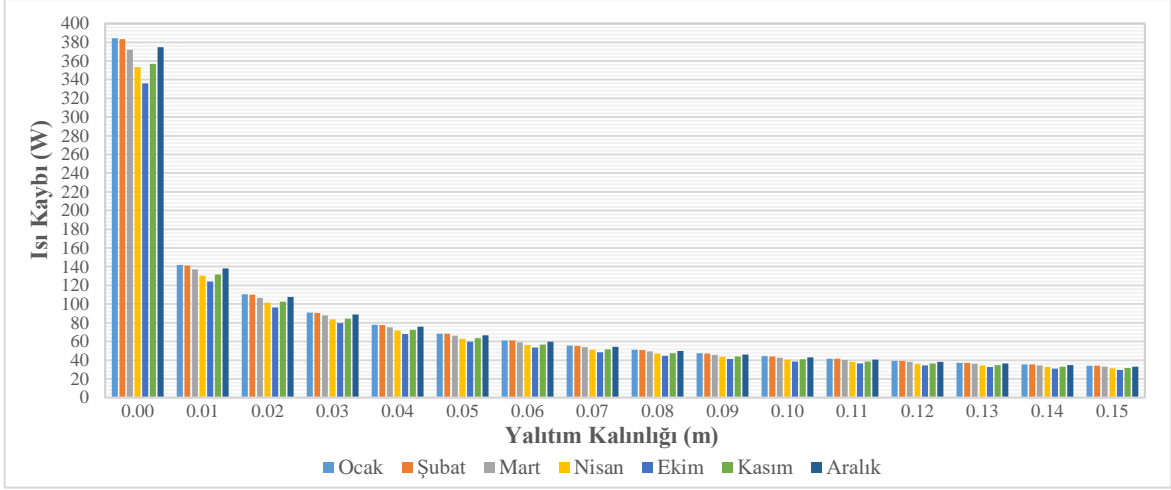
Şekil 3.71: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, balçık toprak).

Şekil 3.72’de killi toprak için nominal boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruda derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. 1 ve 1.5 m derinlikte şubat ayı, 2 ve 2.5 m’de mart ayı, 3 ve 5 m’de nisan ayı en çok ısı kaybının yaşandığı aylar olmuştur. 10 m’de tüm aylarda ısı kaybı sabit hesaplanmıştır. 1 m derinlikte, yalıtımsız boru yerine 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa %52.95, 15 cm yalıtımlı kullanılırsa %87.18 oranında ısı kaybının azaltıldığı hesaplanmıştır. 1 m kuru toprağa gömülmüş 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda şubat ayında oluşan ısı kaybı, aynı şartlarda killi toprakta yaklaşık 4 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılarak engellenebilmektedir.



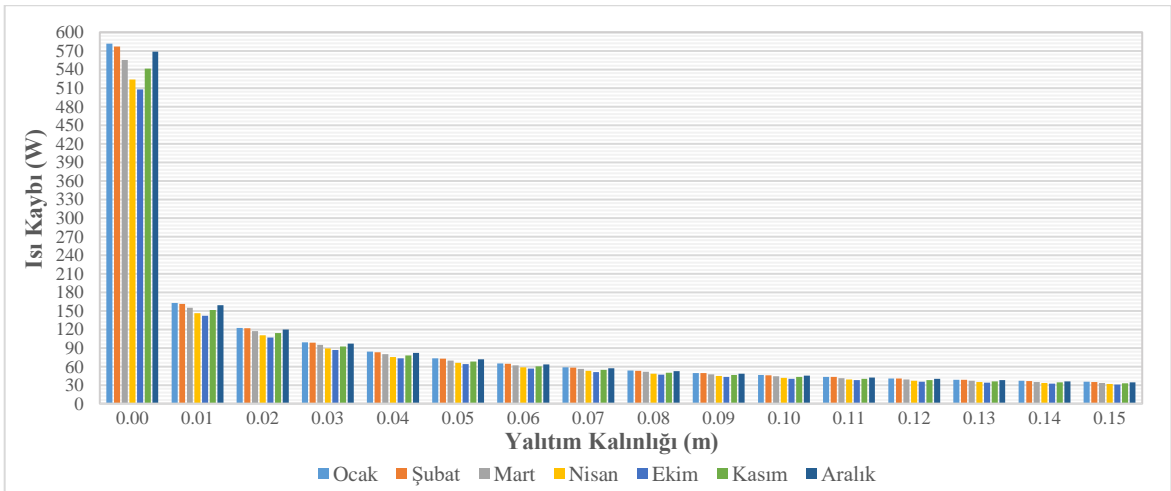
Şekil 3.72: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, killi toprak).

Şekil 3.73’te doymuş silt ya da killi toprak için nominal boru çapı 400 mm olan ön yalıtımlı boruda derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. 1 metre derinlikte ocak ayı, 1.5 m’de şubat ayı, 2 ve 2.5 m’de mart ayı, 3 ve 5 m’de nisan ayı en çok ısı kaybının yaşandığı aylar olmuştur. 10 m’de tüm aylarda ısı kaybı sabit hesaplanmıştır. 1 metre derinlikte, yalıtımsız boru yerine 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa %63.12, 15 cm yalıtımlı kullanılırsa %91.17 oranında ısı kaybının azaltıldığı hesaplanmıştır. 1 m kuru toprağa gömülmüş 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda şubat ayında oluşan ısı kaybı, aynı şartlarda doymuş silt ya da killi toprakta yaklaşık 5 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılarak engellenebilmektedir. Yalıtım kalınlığının ve gömme derinliğinin artırılmasına paralel olarak ısı kaybı azalmıştır.



Şekil 3.73: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, doymuş silt ya da killi toprak).

Şekil 3.74'te doymuş kumlu toprak için nominal boru çapı 400 mm olan borulama sisteminde derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. 1 metre derinlikte ocak ayı, 1.5 ve 2 m'de şubat ayı, 2.5 ve 3 m'de mart ayı 5 m'de nisan ayı en çok ısı kaybının yaşandığı aylar olmuştur. 10 m'de tüm aylarda ısı kaybı sabit olarak hesaplanmıştır. 1 metre derinlikte, yalıtımsız boru yerine 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa %72.05, 15 cm yalıtımlı kullanılırsa %93.95 oranında ısı kaybının azaltıldığı hesaplanmıştır. 1 m kuru toprağa gömülmüş 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda şubat ayında oluşan ısı kaybı, aynı şartlarda doymuş kumlu toprakta yaklaşık 5 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılarak engellenebilmektedir. Yalıtım kalınlığının ve gömme derinliğinin artırılmasına paralel olarak ısı kaybı azalmıştır.

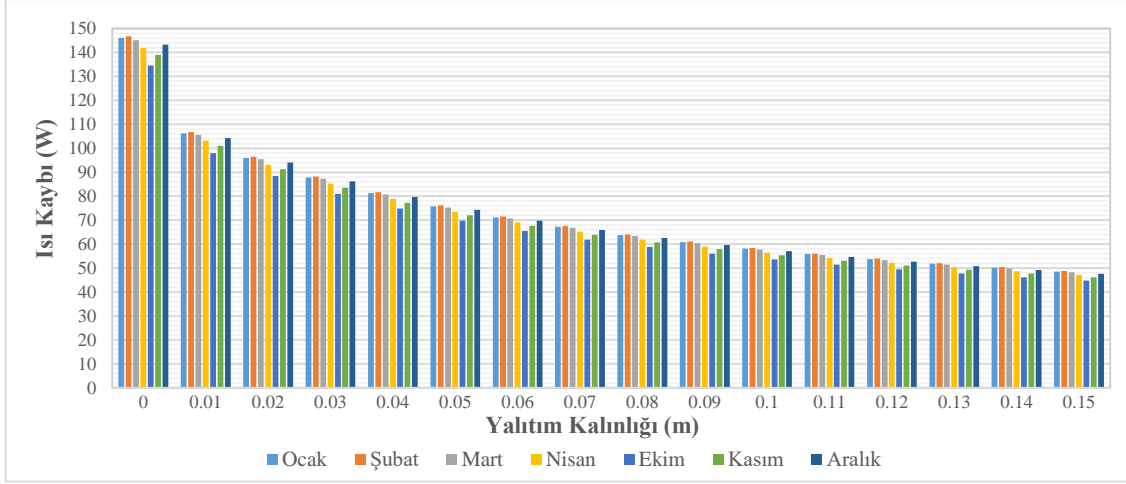


Şekil 3.74: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm boru çap, 1 m derinlik, doymuş kumlu toprak).

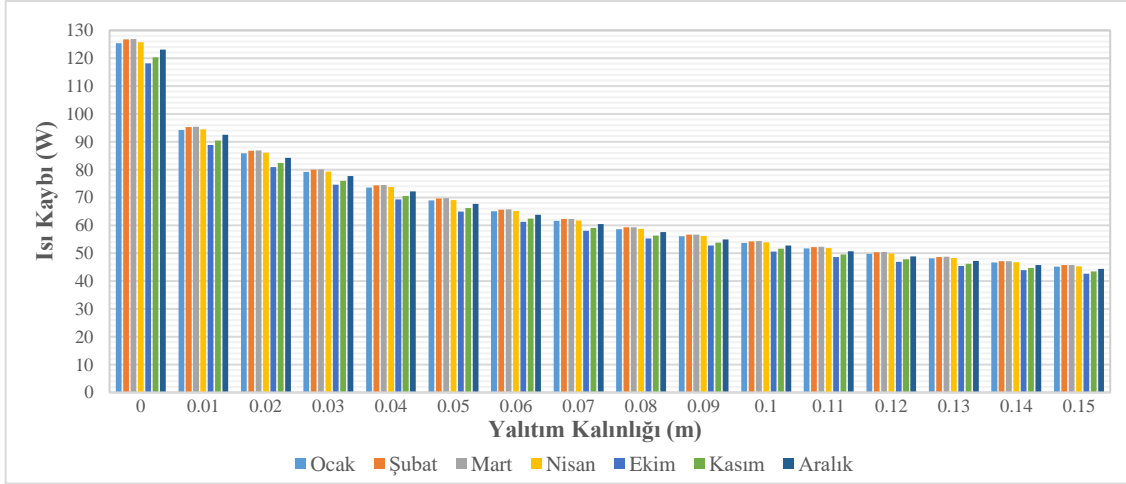
Yalıtımsız birim uzunlukta borunun toprak sıcaklığının en düşük olduğu ayda 1 metre derinlikte doymuş kumlu toprağa gömüldüğü zaman yaklaşık %471, doymuş silt ya da killi toprağa gömüldüğü zaman yaklaşık %278, killi toprağa gömüldüğü zaman yaklaşık %149, balçık toprağa gömüldüğü zaman yaklaşık %104, kum veya çakıllı toprağa gömüldüğü zaman yaklaşık %72 oranında kuru toprağa göre fazla ısı kaybının olduğu hesaplanmıştır. 6 çeşit toprak tipinde de 10 metrede tüm aylarda ısı kaybının sabit olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalarda EPS ve taş yünü yalıtım malzemelerinde XPS yalıtım malzemesine göre daha fazla ısı kaybı olduğu tespit edilmiştir. İletim boru çapının artmasına bağlı olarak aylık ısı kayıplarının arttığı hesaplanmıştır.

3.6.1.2 Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametreler Çerçevesinde Oluşan Isı Kaybı

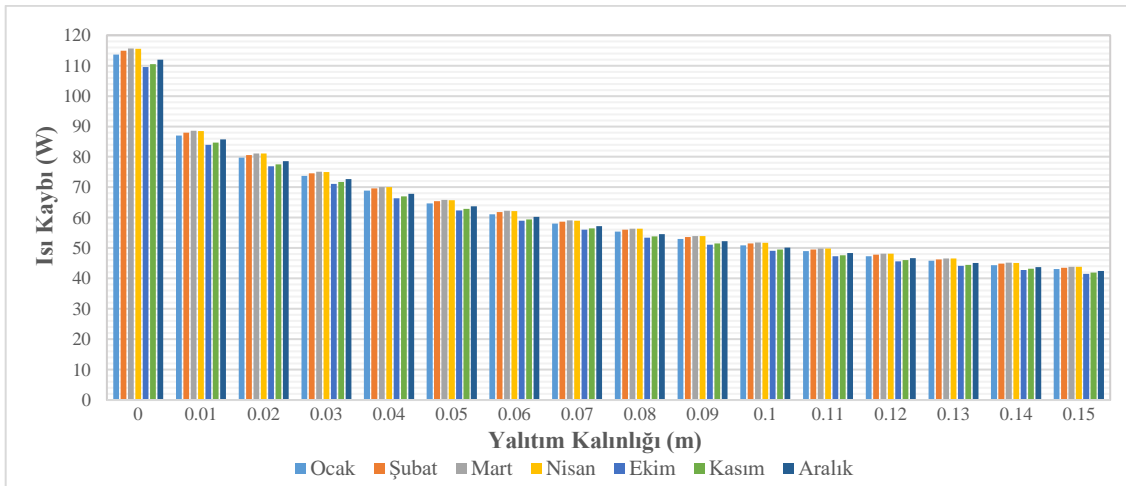
Şekil 3.75, 3.76, 3.77, 3.78, 3.79, 3.80 ve 3.81’de, beton kaplama içerisinde yeraltında kuru toprağa gömülü nominal boru çapı 400 mm olan taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru, derinliğe, toprak tipine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. Yalıtımsız boruda 1 metre derinlikte şubat ayında ısı kaybı en fazla olurken, ekim ayında toprak sıcaklığının etkisi ile minimum seviyede seyretmiştir. 1 m derinlikte, yalıtımsız boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa %27.25, 15 cm yalıtımlı kullanılırsa %66.77 oranında ısı kaybının azaltıldığı hesaplanmıştır. 1.5 ve 2 m derinlikte en çok ısı kaybı mart ayında olurken en az ısı kaybı ekim ayında, 2.5 ve 3 m’de en çok ısı kaybı nisan ayında olurken en az ısı kaybı ekim ve kasım aylarında, 5 m’de en fazla ısı kaybı ekim ayında olsa da aylık değerlerin çok yakın seyrettiği hesaplanmış ve stabil hale gelmeye başladığı görülmüştür. 10 m derinlikte aylar bazında ısı kaybı farkının oluşmadığı gözlemlenmiş bu da 5 m sonra derinlik arttıkça aylara göre ısı kayıplarının sabitlendiği çıkarımını doğrulamıştır. En fazla ısı kaybı 1 m derinlikte oluşurken en az ısı kaybı 10 m’de oluşmaktadır. Yüzey toprak sıcaklığının en düşük olduğu aylarda, derinliğin ve yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak aylara göre ısı kaybının azaldığı görülmüştür.



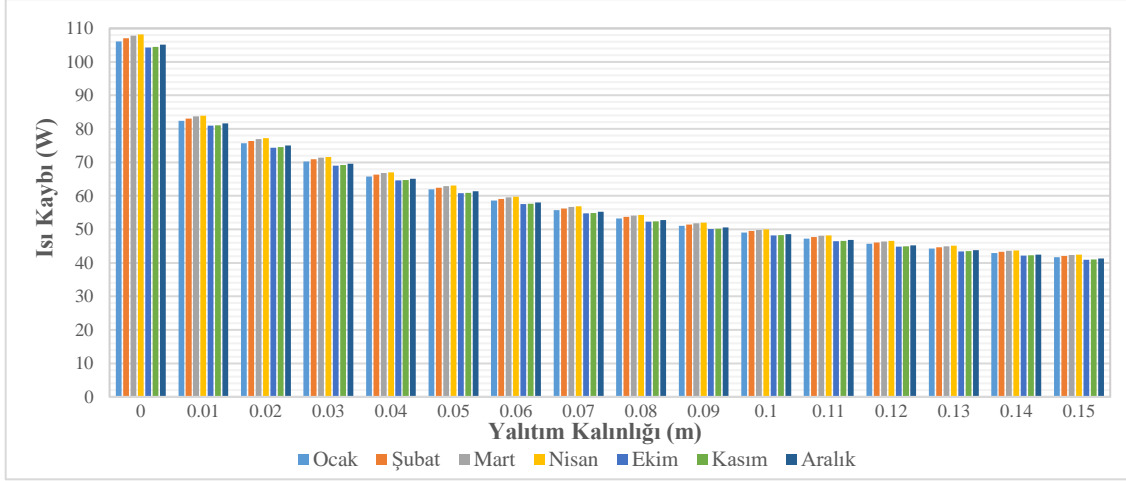
Şekil 3.75: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kuru toprak).



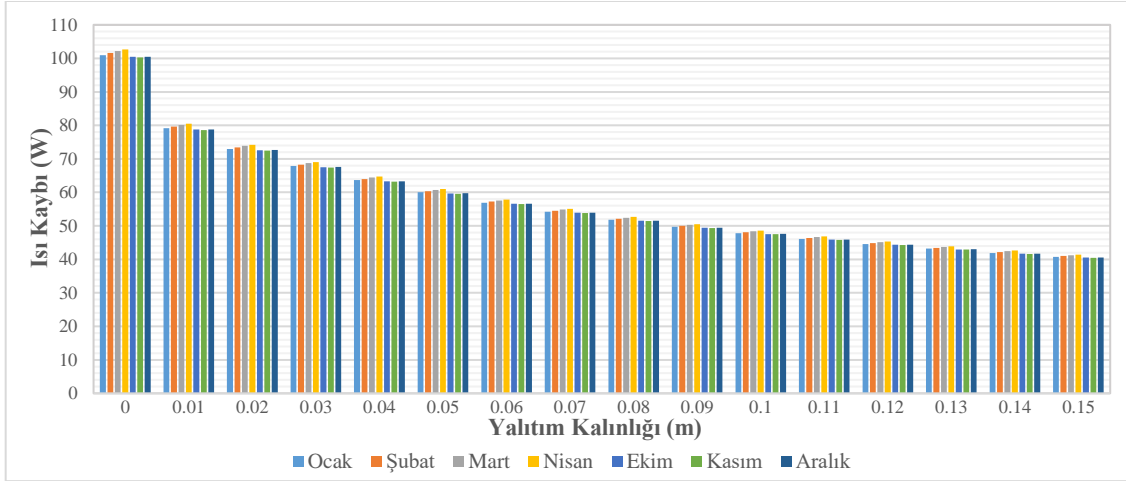
Şekil 3.76: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1.5 m derinlik, kuru toprak).



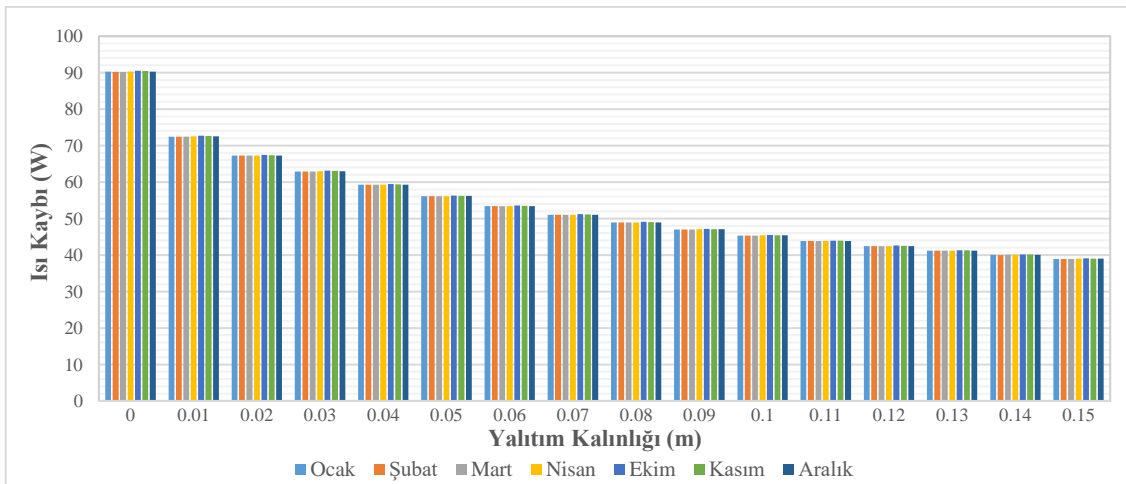
Şekil 3.77: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2 m derinlik, kuru toprak).



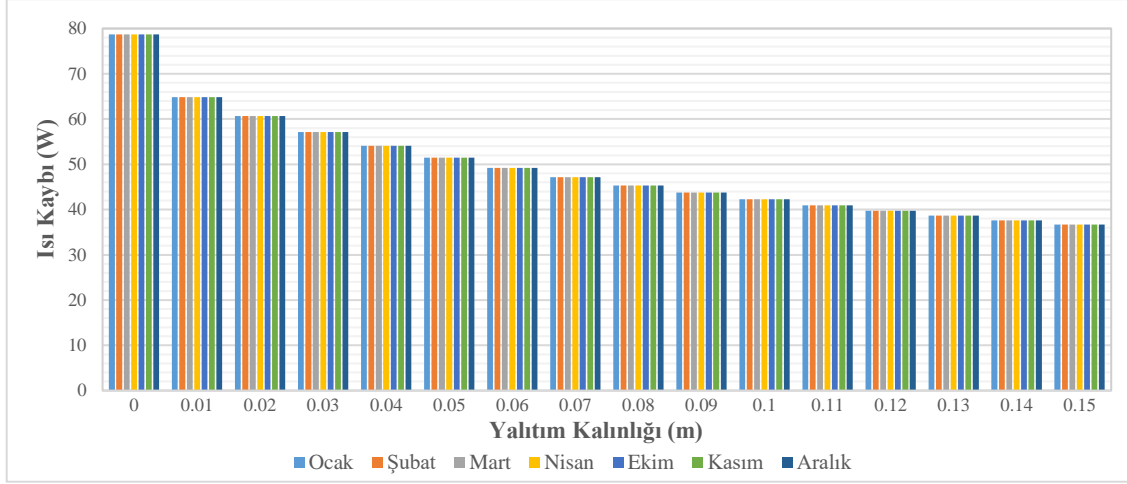
Şekil 3.78: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 2.5 m derinlik, kuru toprak).



Şekil 3.79: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 3 m derinlik, kuru toprak).

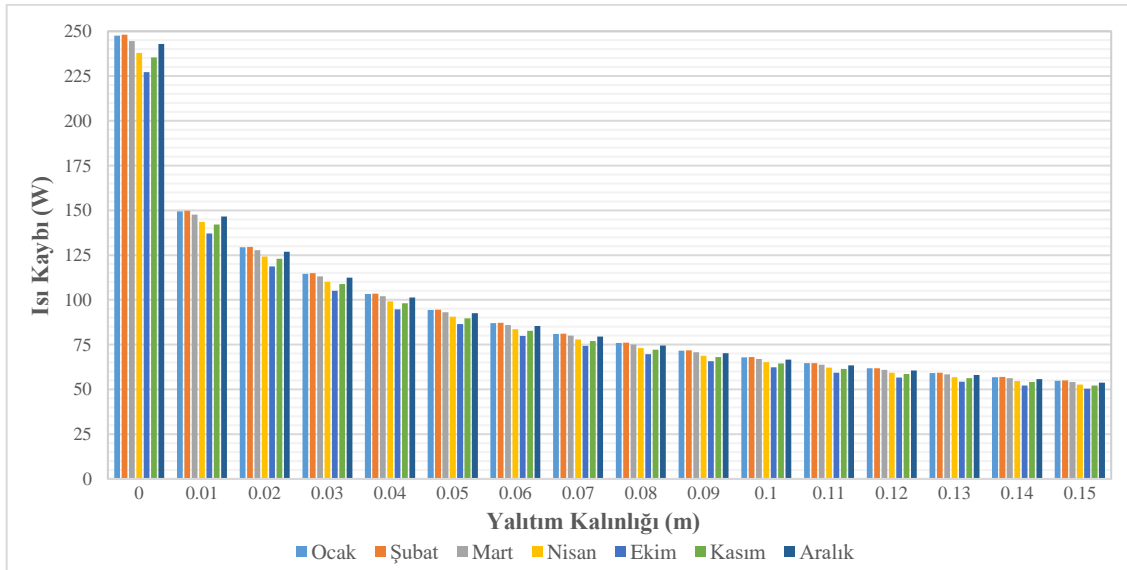


Şekil 3.80: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 5 m derinlik, kuru toprak).



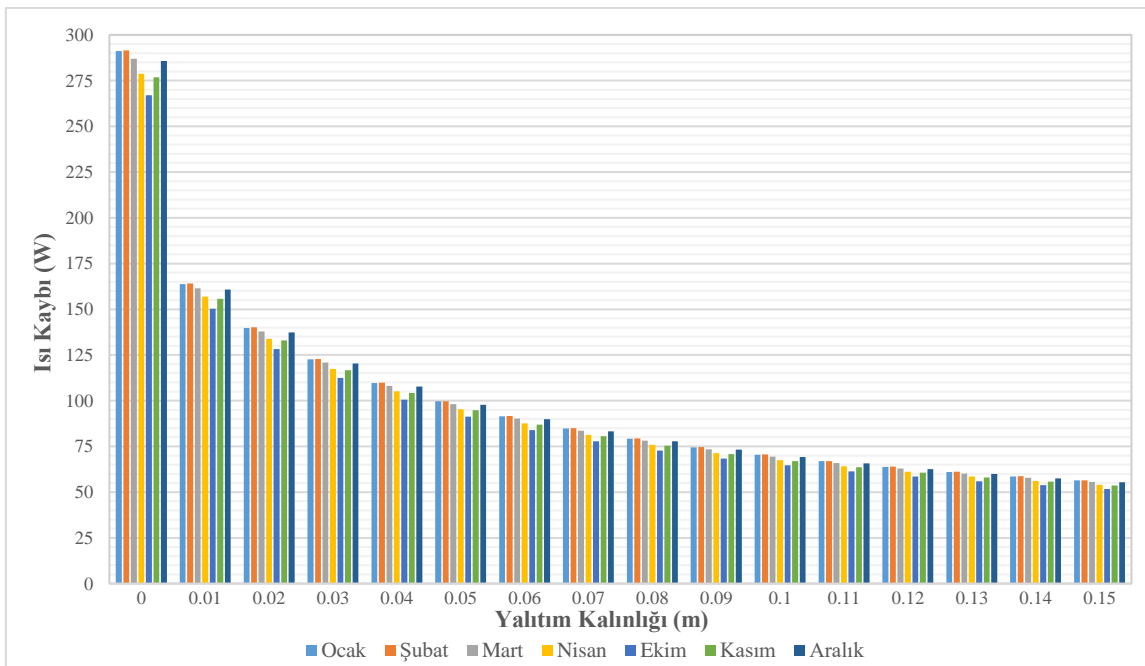
Şekil 3.81: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 10 m derinlik, kuru toprak).

Şekil 3.82’de, kum veya çakıllı toprak içinde nominal boru çapı 400 mm olan taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru; derinliğe, toprak tipine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. Derinliğe ve aylara göre ısı kayıpları, kuru topraktakine benzer davranış sergilendiği gözlemlenmiştir. 1 metre derinlikte yalıtımsız boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda %39’luk bir ısı kaybında düşüş elde edilirken 15 cm yalıtım kalınlığında bu oran %78’lere çıkabilmektedir. Farklı derinliklerde (1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 metre) yalıtımsız bir boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda sırasıyla %37, %35, %34, %33, %30, %27 oranında ısı kaybında azalma hesaplanmıştır.



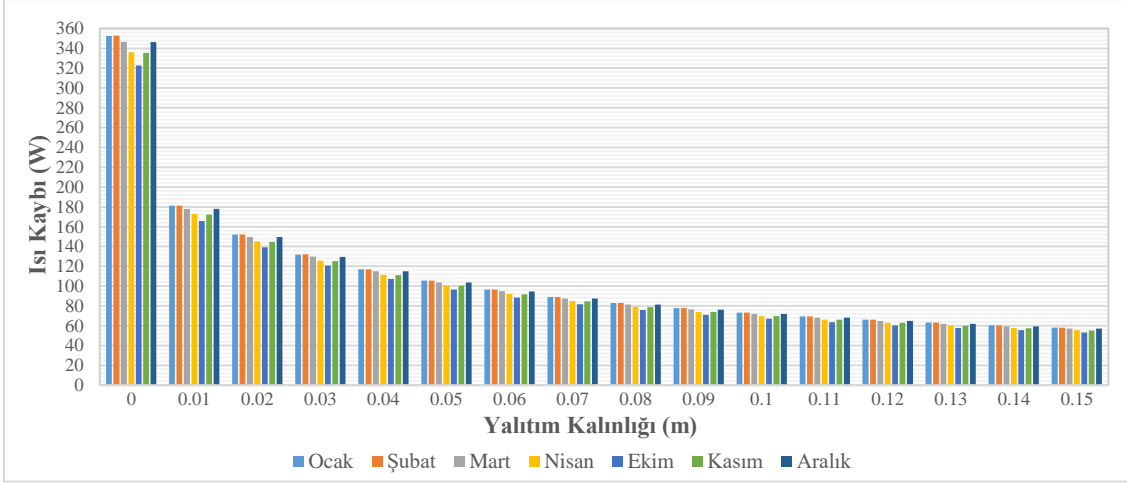
Şekil 3.82: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, kum veya çakıllı toprak).

Şekil 3.83'te balçık toprak içinde nominal boru çapı 400 mm olan taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru; derinliğe, toprak tipine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. Derinliğe ve aylara göre ısı kayıpları, kuru topraktakine benzer davranış sergilendiği gözlemlenmiştir. 1 metre derinlikte yalıtımsız boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda %43'lük bir ısı kaybında düşüş elde edilirken 15 cm yalıtım malzemesi kullanıldığında bu oran %81'lere çıkabilmektedir. Farklı derinliklerde (1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 m) yalıtımsız bir boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda sırasıyla %41, %39, %38, %37, %34, %31 oranında ısı kaybında azalma hesaplanmıştır.



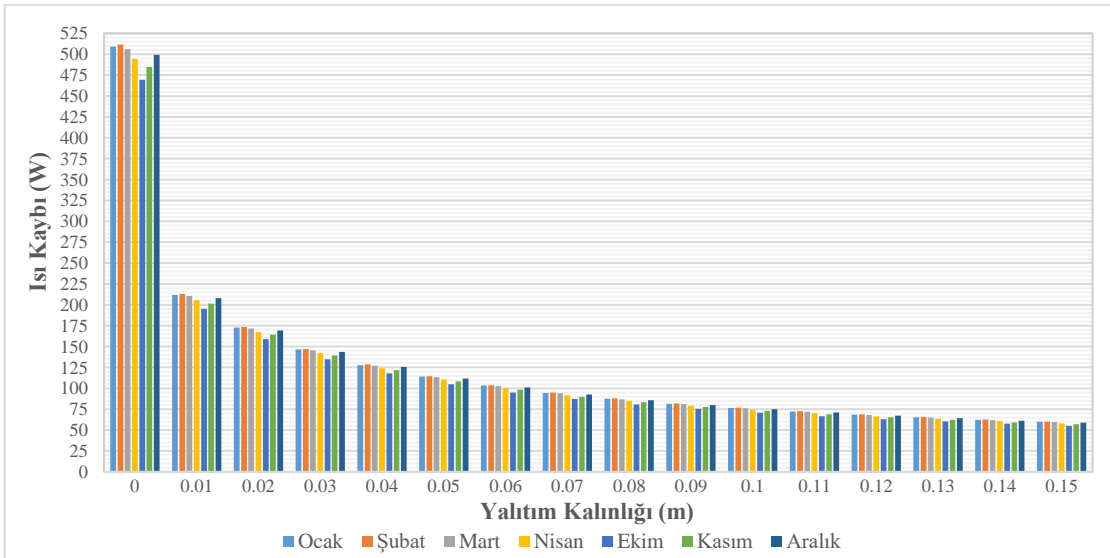
Şekil 3.83: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, balçık toprak).

Şekil 3.84'te killi toprak içinde nominal boru çapı 400 mm olan taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru; derinliğe, toprak tipine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. Derinliğe ve aylara göre ısı kayıpları, kuru topraktakine benzer davranış sergilendiği gözlemlenmiştir. 1 m derinlikte yalıtımsız bir boruya 1 cm yalıtımlı ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda %48'lik bir ısı kaybında düşüş elde edilirken 15 cm yalıtım malzemesi kullanıldığında bu oran %84'lere çıkabilmektedir. Farklı derinliklerde (1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 metre) yalıtımsız bir boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda sırasıyla %46, %44, %42, %41, %39, %35 oranında ısı kaybında azalma hesaplanmıştır.



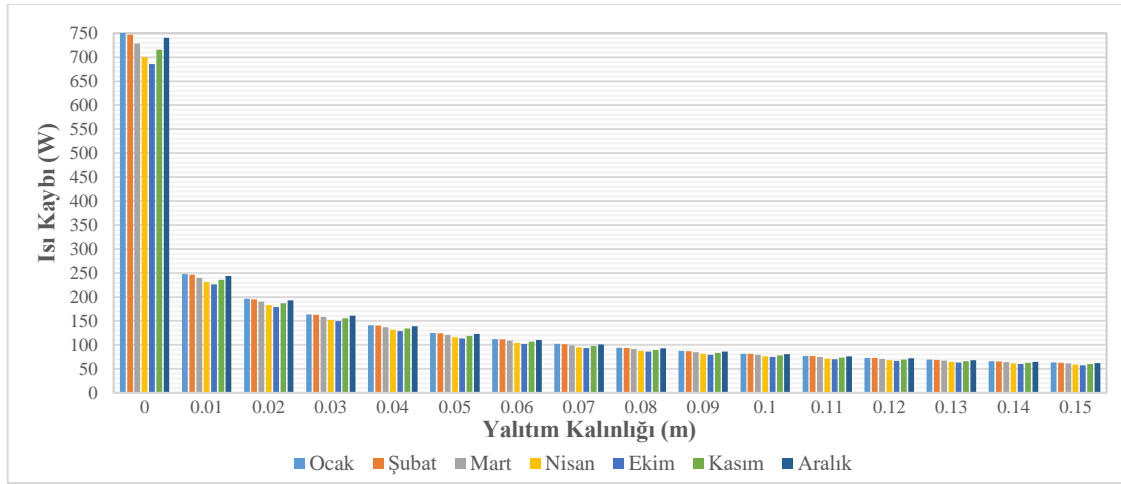
Şekil 3.84: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki ısı boruda kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, killi toprak).

Şekil 3.85'te doymuş silt ya da killi toprak içinde nominal boru çapı 400 mm olan taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru; derinliğe, toprak tipine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre ısı kayıpları gösterilmiştir. Derinliğe ve aylara göre ısı kayıpları, kuru topraktakine benzer davranış sergilendiği gözlemlenmiştir. 1 metre derinlikte yalıtımsız boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda %58'lik bir ısı kaybında düşüş elde edilirken 15 cm yalıtım malzemesi kullanıldığında bu oran %88'lere çıkabilmektedir. Farklı derinliklerde (1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 metre) yalıtımsız bir boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda sırasıyla %56, %54, %52, %51, %48, %45 oranında ısı kaybında azalma hesaplanmıştır.



Şekil 3.85: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, doymuş silt ya da killi toprak).

Şekil 3.86’da doymuş kumlu toprak içinde nominal boru çapı 400 mm olan taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru; derinliğe, toprak tipine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan ısı kayıpları gösterilmiştir. Derinliğe ve aylara göre ısı kayıpları, kuru topraktakine benzer davranış sergilendiği gözlemlenmiştir. 1 metre derinlikte yalıtımsız boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda %67’lik bir ısı kaybında düşüş elde edilirken 15 cm yalıtım malzemesi kullanıldığında bu oran %92’lere çıkabilmektedir. Farklı derinliklerde (1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 metre) yalıtımsız bir boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılması durumunda sırasıyla %64, %63, %62, %61, %58, %55 oranında ısı kaybında azalma hesaplanmıştır. Yalıtım kalınlığının ve gömme derinliğinin artırılmasına paralel olarak ısı kaybı azalmıştır.



Şekil 3.86: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda ısı kaybı (400 mm çap, 1 m derinlik, doymuş kumlu toprak).

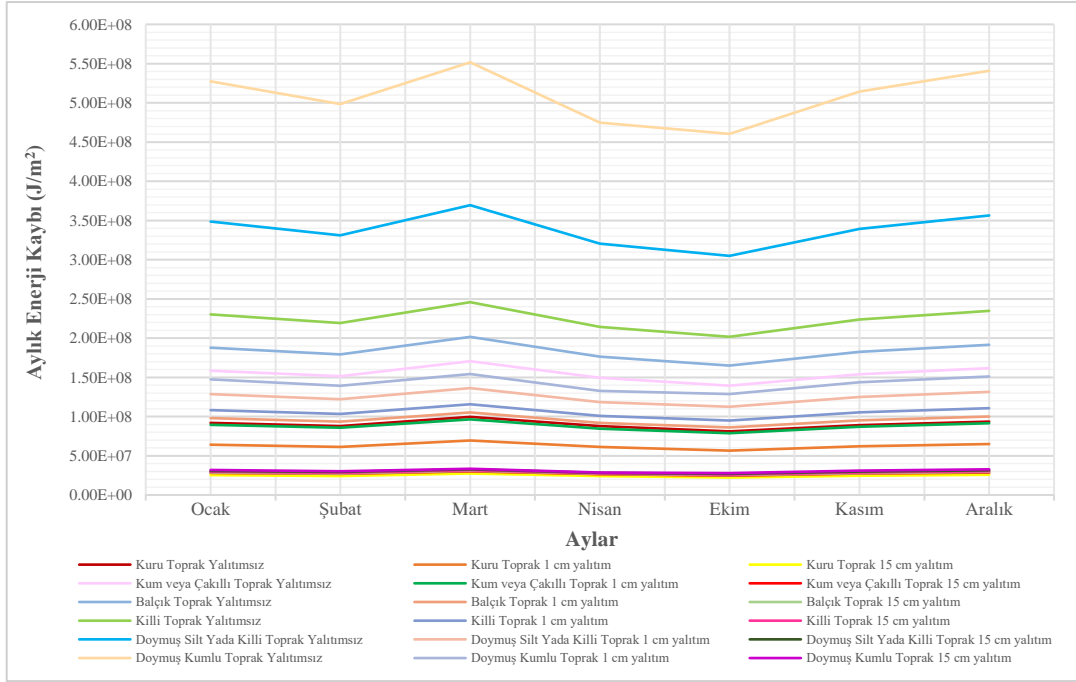
Aynı şartlarda yalıtımsız bir borunun, 1 metre kum veya çakıllı toprağa gömüldüğü zaman %69, balçık toprağa göre %99, killi toprağa göre %140, doymuş silt ya da killi toprağa göre %253 ve doymuş kumlu toprağa gömüldüğü zaman %412, kuru toprağa göre fazla ısı kaybının oluştuğu hesaplanmıştır.

3.6.2 Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltındaki Borularda Oluşan Aylık Enerji Kaybı

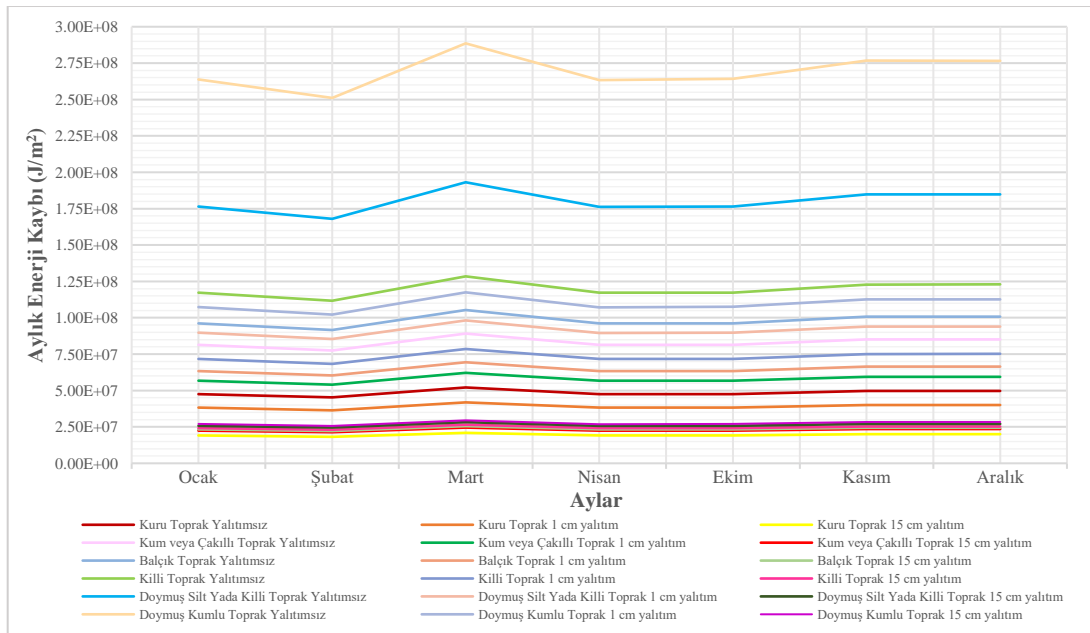
Isıtma derece gün hesabına göre ısınmanın olduğu 2022 yılının Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım, Aralık aylarındaki iş günleri kabul edilmiş ve günde 12 saat ısıtmanın olduğu düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. 2022 yılında Ocak ayında 21 iş günü, Şubat ayında 20 iş günü, Mart ayında 23 iş günü, Nisan ayında 21 iş günü, Ekim ayında 21 iş günü, Kasım ayında 22 iş günü ve Aralık ayında 22 iş günü bulunmaktadır.

3.6.2.1 Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametrelere Çerçevesinde Oluşan Aylık Enerji Kaybı

Şekil 3.87, ve 3.88’de 6 çeşit toprak tipi için nominal boru çapı 400 mm olan borulama sistemi; derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan aylık enerji kayıpları gösterilmiştir.



Şekil 3.87: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 1 m derinlik).



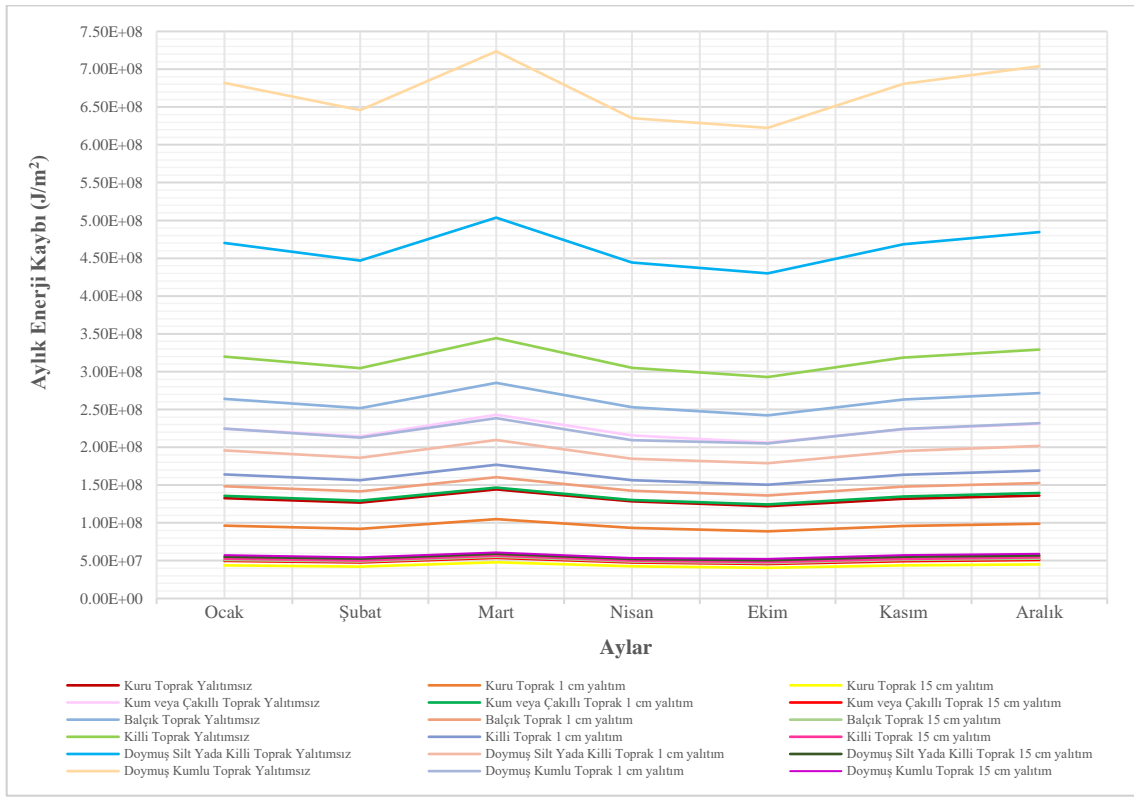
Şekil 3.88: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 10 m derinlik).

En çok enerji kaybı mart ayında olmuştur. Toprak çeşitliliğine göre en çok enerji kaybı doymuş kumlu toprakta, en az enerji kaybı kuru toprakta gözlemlenmiştir. Gömülme derinliği ve yalıtım kalınlığı arttıkça aylık enerji kaybı azalmıştır. 1 metre derinlikte yalıtımsız boru yerine XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında; kuru toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %30, 15 cm yalıtımlıda %73, kum veya çakıllı toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %43, 15 cm yalıtımlıda %82, balçık toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %48, 15 cm yalıtımlıda %85, killi toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %53, 15 cm yalıtımlıda %87, doymuş silt veya kumlu toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %63, 15 cm yalıtımlıda %91, doymuş kumlu toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %72, 15 cm yalıtımlıda %94 oranında aylık enerji kaybında azalma hesaplanmıştır. 1 m derinlikte yalıtımsız borunun yerine 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılıp 10 m derinliğe gömülürse; kuru toprakta %78.98, kum veya çakıllı toprakta %85.58, balçık toprakta %87.32, killi toprakta %89.18, doymuş silt ya da kumlu toprakta %92.33 ve doymuş kumlu toprakta %94.64 oranında aylık enerji kaybında azalma olduğu hesaplanmıştır.

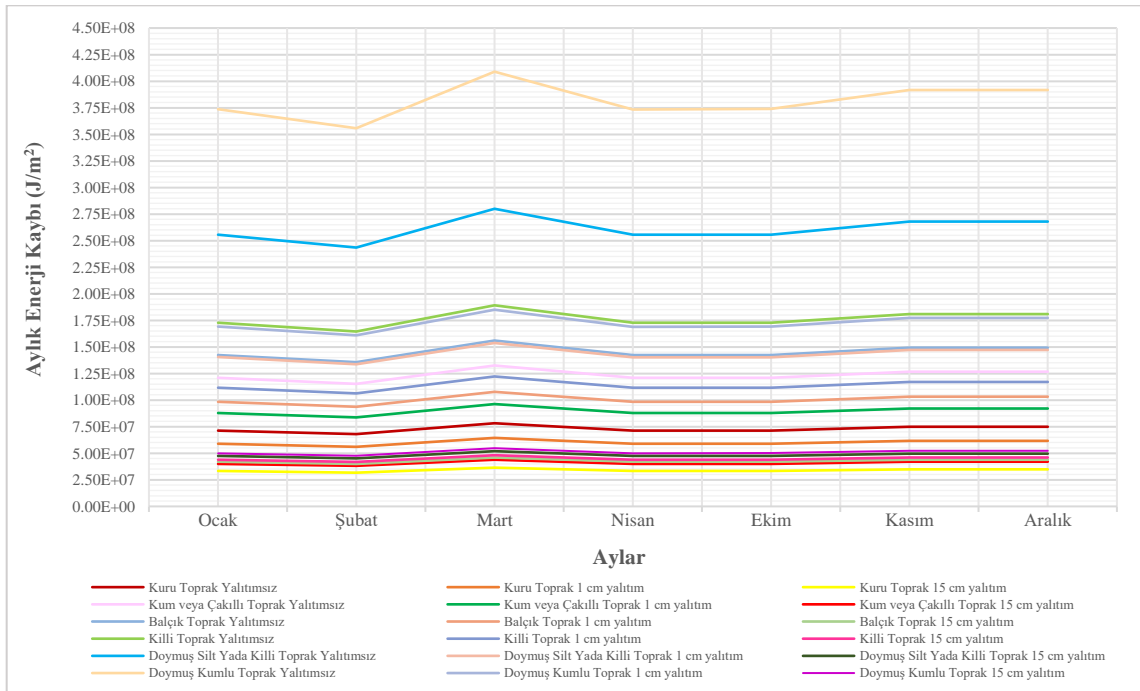
3.6.2.2 Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemi Yeraltı Borularında Farklı Parametrelere Çerçevesinde Oluşan Aylık Enerji Kaybı

Şekil 3.89 ve 3.90'da, 6 çeşit toprak tipi için nominal boru çapı 400 mm olan borulama sistemi; derinliğe, toprak tipine, taş yünü yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre oluşan aylık enerji kayıpları gösterilmiştir. En çok enerji kaybı çalışma gün sayısının fazla olması sebebiyle mart ayında oluşmaktadır. Toprak çeşitliliğine göre en çok enerji kaybı doymuş kumlu toprakta, en az enerji kaybı kuru toprakta gözlemlenmiştir. 1 metre derinlikte yalıtımsız boru yerine taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında; kuru toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %27, 15 cm yalıtımlıda %67, kum veya çakıllı toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %40, 15 cm yalıtımlıda %78, balçık toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %44, 15 cm yalıtımlıda %81, killi toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %49, 15 cm yalıtımlıda %89, doymuş silt veya kumlu toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %58, 15 cm yalıtımlıda %88, doymuş kumlu toprak içerisinde 1 cm yalıtım kalınlığında %67, 15 cm yalıtımlıda %92 oranında aylık enerji kaybında azalma hesaplanmıştır. 1 metre derinlikte yalıtımsız bir borunun yerine 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılıp 10 metre derinliğe gömülürse; kuru toprakta %74.73, kum veya çakıllı toprakta %81.92, balçık toprakta %83.88, killi

toprakta %86, doymuş silt ya da kumlu toprakta %89.68 ve doymuş kumlu toprakta %92.43 oranında aylık enerji kaybında azalma hesaplanmıştır.



Şekil 3.89: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 1 m derinlik).



Şekil 3.90: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda aylık enerji kaybı (400 mm boru çapı, 10 m derinlik).

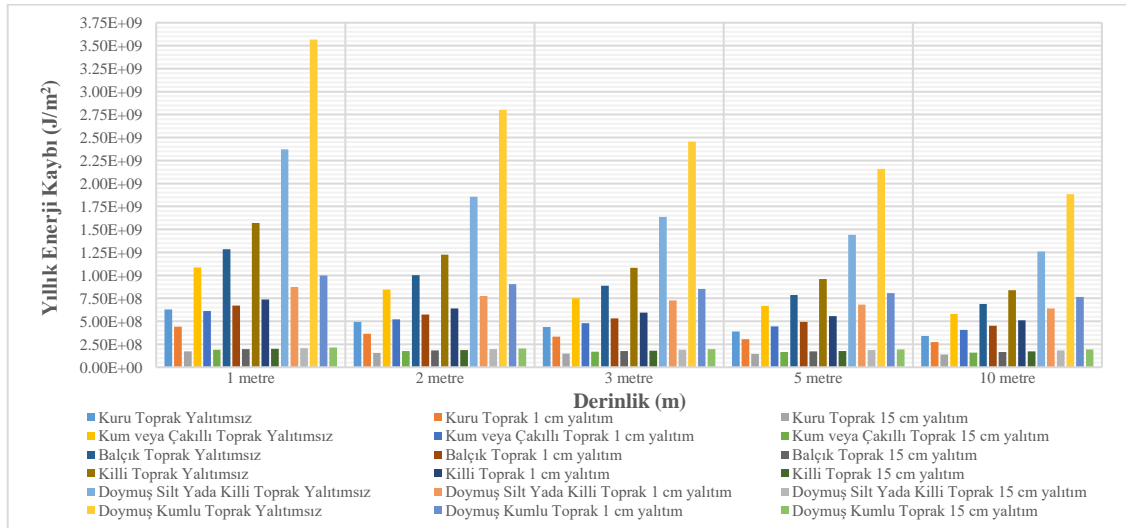
3.6.3 Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltındaki Borularda Oluşan Yıllık Enerji Kaybı

Isıtma derece gün hesabına göre ısınmanın olduğu 2022 yılının Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım, Aralık aylarındaki iş günleri kabul edilmiş ve günde 12 saat ısıtmanın olduğu kabul edilerek tüm yılın enerji kaybı hesaplanmıştır.

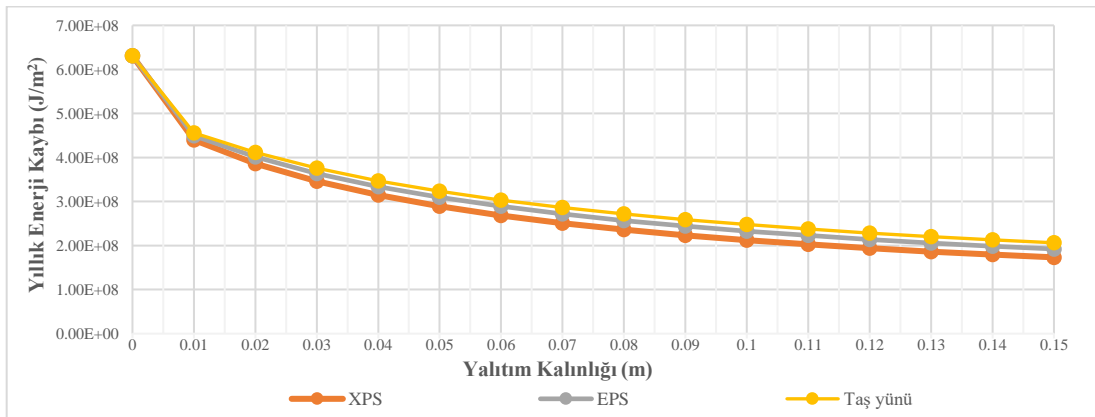
3.6.3.1 Ortalama 80 °C Sıcak Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltı Borularında Oluşan Yıllık Enerji Kaybı

Şekil 3.91'de 6 çeşit toprak tipi için nominal boru çapı 400 mm olan borulama sistemi; derinliğe, toprak tipine, XPS yalıtım malzemesine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre birim uzunluktaki borularda oluşan yıllık enerji kayıpları gösterilmiştir. Grafikten bakıldığı zaman doymuş kumlu toprak içerisine gömülmüş boruda yıllık enerji kaybının en yüksek olduğu, onu sırasıyla doymuş silt ya da kumlu toprak, killi toprak, balçık toprak, kum veya çakıllı toprak ve kuru toprak olarak gözlemlenmiştir. 1 metre derinlikte, 1 ve 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru yerine yalıtımsız boru kullanıldığında; kuru toprak içerisinde 1 cm yalıtımlıya göre %43.37, 15 cm yalıtımlıya göre %264.04, kum veya çakıllı toprak içerisinde 1 cm yalıtımlıya göre %76.93, 15 cm yalıtımlıya göre %465.75, balçık toprak içerisinde 1 cm yalıtımlıya göre % 91.61, 15 cm yalıtımlıya göre %553.94, killi toprak içerisinde 1 cm yalıtımlıya göre %112.56, 15 cm yalıtımlıya göre %679.85, doymuş silt veya kumlu toprak içerisinde 1 cm yalıtımlıya göre %171.16, 15 cm yalıtımlıya göre %1031.99, doymuş kumlu toprak içerisinde 1 cm yalıtımlıya göre %257.83, 15 cm yalıtımlıya göre %1552.80 oranında daha fazla yıllık enerji kaybettiği hesaplanmıştır. 1 m derinlikte yalıtımsız bir boru yerine 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılıp 10 m derinlikte kuru toprağa gömülürse %78.36, kum veya çakıllı toprakta %85.23, balçık toprakta %87.04, killi toprakta %88.97, doymuş silt ya da kumlu toprakta %92.22 ve doymuş kumlu toprakta %94.06 oranında daha az yıllık enerji kaybettiği hesaplanmıştır. Yalıtımsız borunun kullanılması durumunda toprak tipinin enerji kaybında ne denli önemli olduğu bu oranlar kanıtıdır. Ayrıca yalıtım yapılarak enerji kaybının ne denli azaltılabildiği açıkça görülmüştür. Yalıtımsız birim uzunluktaki boru, enerji kaybının en fazla olduğu doymuş kumlu toprağa 2, 3, 5 ve 10 m derinliğe gömüldüğü zaman 1 m'ye göre yaklaşık olarak sırasıyla %21.50, %31.18, %39.54 ve %47.19 oranında yıllık enerji kaybında azalma hesaplanmıştır. Buradan gömme derinliğinin enerji kazancında ne kadar önemli olduğu, uygun şartlar dahilinde gömme derinliği ne kadar artırılırsa o denli enerji kazancı sağlanacağı görülmüştür.

Şekil 3.92’de 1 metre kuru toprak içerisine gömülmüş nominal çapı 400 mm olan ön yalıtımlı borunun yalıtım malzemesinin yıllık enerji kaybına olan etkisi gösterilmiştir. Yalıtımsız boru yerine 1 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında %30.25, EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında %28.71 ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında %27.72 oranında birim uzunluktaki borunun yıllık enerji kaybında azalma hesaplanmıştır. 1 cm yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru yerine 15 cm yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında ise yaklaşık olarak XPS yalıtımda %60.62, EPS yalıtımda %57.24 ve taş yünü yalıtımda %54.74 oranında birim uzunluktaki borunun yıllık enerji kaybında azalma hesaplanmıştır. 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru yerine EPS veya taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında yaklaşık olarak sırasıyla %10.98 ve %19.09 oranında fazla yıllık enerji kaybı oluşmaktadır. Yıllık enerji kaybı en yüksekten düşüğe doğru sıralanır ise sırasıyla taş yünü, EPS ve XPS bulunmuştur.

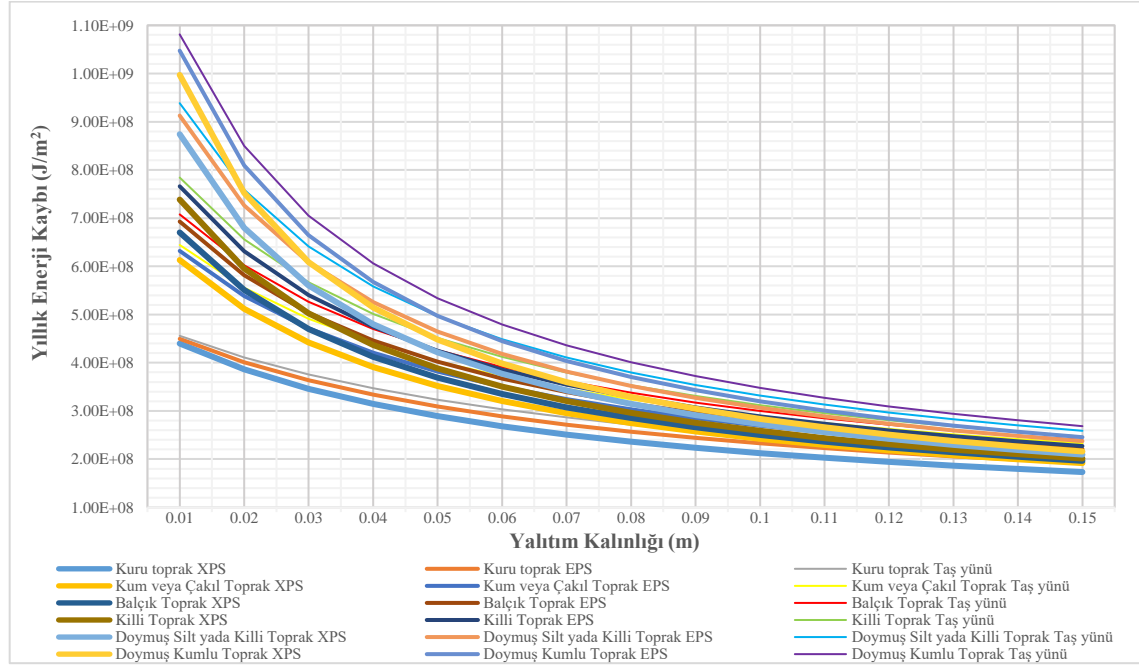


Şekil 3.91: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı birim uzunluktaki boruda yıllık enerji kaybı (400mm boru çapı).



Şekil 3.92: XPS, EPS ve Taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık enerji kaybı (400mm boru çap, 1 m derinlik, kuru toprak).

Şekil 3.93'te nominal çapı 400 mm olan ön yalıtımlı birim uzunluktaki borunun izolasyonunda kullanılan yalıtım malzemesine ve yalıtım kalınlığına bağlı olarak gömüldüğü toprak tipinde oluşan yıllık enerji kaybı gösterilmiştir.



Şekil 3.93: XPS, EPS ve Taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak yıllık enerji kaybı (400mm çap, 1 m derinlik).

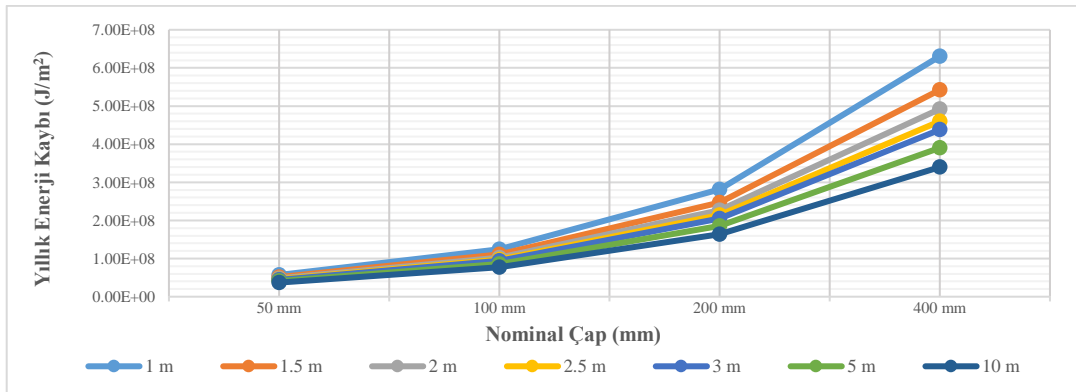
1 metre kuru toprağa gömülmüş 15 cm XPS yalıtım malzemeli birim uzunlukta ön yalıtımlı boruya göre aynı yalıtım malzemesi ve yalıtım kalınlığı kullanılarak kum veya çakıllı toprağa gömüldüğünde %10.68, balçık toprağa gömüldüğünde %13.38, killi toprağa gömüldüğünde %16.20, doymuş silt ya da killi toprağa gömüldüğünde %20.88, doymuş kumlu toprağa gömüldüğünde %24.63 oranında yıllık enerji kaybında artış hesaplanmıştır.

1 metre kuru toprağa gömülmüş 15 cm EPS yalıtım malzemeli birim uzunlukta ön yalıtımlı boruya göre aynı yalıtım malzemesi ve yalıtım kalınlığı kullanılarak kum veya çakıllı toprağa gömüldüğünde %11.92, balçık toprağa gömüldüğünde %14.96, killi toprağa gömüldüğünde %18.15, doymuş silt ya da killi toprağa gömüldüğünde %23.47, doymuş kumlu toprağa gömüldüğünde %27.71 oranında yıllık enerji kaybında artış hesaplanmıştır.

1 metre kuru toprağa gömülmüş 15 cm taş yünü yalıtım malzemeli birim uzunlukta ön yalıtımlı boruya göre aynı yalıtım malzemesi ve kalınlığı kullanılarak kum veya çakıllı toprağa gömüldüğünde %12.85, balçık toprağa gömüldüğünde %16.15, killi toprağa gömüldüğünde %19.63, doymuş silt ya da killi toprağa gömüldüğünde %25.46, doymuş

kumlu toprağa gömüldüğünde %30.09 oranında yıllık enerji kaybında artış hesaplanmıştır. Toprak tipine göre kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı arttırılarak yıllık enerji kayıpları en uygun seviyeye indirilebilir.

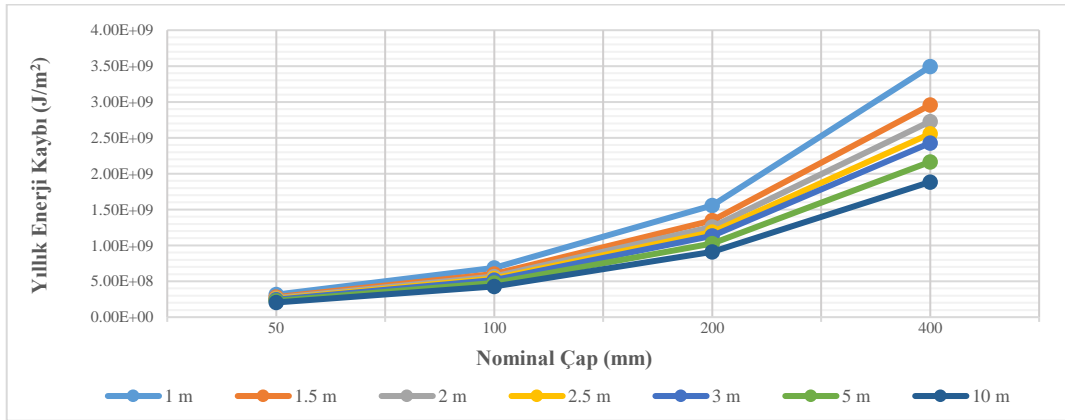
Şekil 3.94 ve 3.95'te birim uzunlukta, yalıtımsız borunun artan çaplar ve derinlikler doğrultusunda gömüldüğü toprak tipine göre oluşan yıllık enerji kaybı ilişkisi gösterilmiştir. Çap arttıkça yüzey alanı arttığından yıllık enerji kaybı artmış fakat derinlikle ters orantı olarak enerji kaybı azalmıştır. 1 metre derinliğe kuru toprağa gömülü, yalıtımsız, nominal çapı 50 mm olan birim uzunluktaki boruya göre; 100, 200 ve 400 mm çaplarındaki borularda yaklaşık olarak %118, %394, %1006 oranında yıllık enerji kaybında artış hesaplanmıştır. Nominal çapı 400 mm olan birim uzunluktaki yalıtımsız boru, kuru toprak içerisinde 1 metre derinlik yerine 1.5 metreye gömüldüğünde yaklaşık olarak %13.98, 2 metreye gömüldüğünde %21.94, 2.5 metreye gömüldüğünde %27.04, 3 metreye gömüldüğünde %30.55, 5 metreye gömüldüğünde %38.09, 10 metreye gömüldüğünde %46.12 yıllık enerji kaybında azalma tespit edilmiştir. Nominal çapı 50 mm olan boruda ise 1.5 metreye gömüldüğünde yaklaşık olarak %9.76, 2 metreye gömüldüğünde %15.73, 2.5 metreye gömüldüğünde %19.66, 3 metreye gömüldüğünde %22.38, 5 metreye gömüldüğünde %28.26, 10 metreye gömüldüğünde %35.06 yıllık enerji kaybında azalma tespit edilmiştir.



Şekil 3.94: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Kuru toprak).

Doymuş kumlu toprağa 1 metre derinliğe gömülü, nominal çapı 50 mm olan birim uzunluktaki yalıtımsız boruya göre; 100, 200 ve 400 mm çaplarındaki borularda yaklaşık olarak %118, %395, %1010 oranında yıllık enerji kaybında artış hesaplanmıştır. Nominal çapı 400 mm olan birim uzunluktaki yalıtımsız boru, doymuş kumlu toprak içerisinde 1 metre derinlik yerine 1.5 metreye gömüldüğünde yaklaşık olarak %13.50, 2 metreye gömüldüğünde %21.50, 2.5 metreye gömüldüğünde %26.94, 3 metreye gömüldüğünde

%31.18, 5 metreye gömüldüğünde %39.54, 10 metreye gömüldüğünde %47.19 yıllık enerji kaybında azalma tespit edilmiştir. Nominal çapı 50 mm olan boruda ise 1.5 metreye gömüldüğünde yaklaşık olarak %9.24, 2 metreye gömüldüğünde %15.24, 2.5 metreye gömüldüğünde %19.53, 3 metreye gömüldüğünde %23.05, 5 metreye gömüldüğünde %29.90, 10 metreye gömüldüğünde %36.30 yıllık enerji kaybında azalma tespit edilmiştir. Buradan nominal çap ne kadar büyükse gömme derinliği artırılarak enerji kaybını azaltılabileceği çıkarımı yapılmıştır.

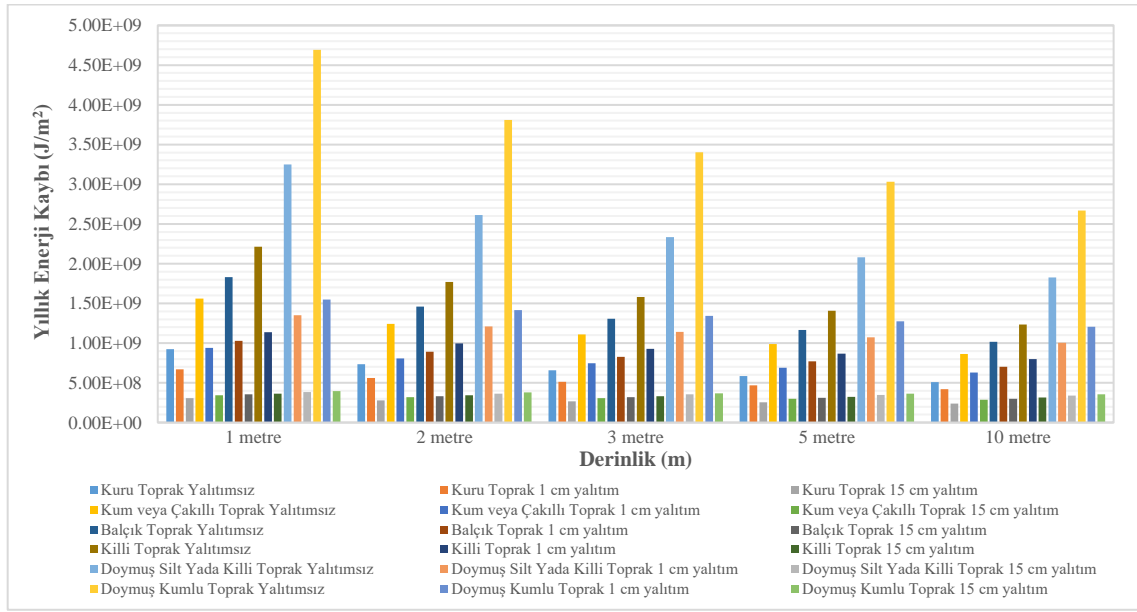


Şekil 3.95: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Doymuş kumlu toprak).

3.6.3.2 Ortalama 120 °C Kızgın Sulu Bölgesel Isıtma Sistemde Farklı Parametrelere Çerçevesinde Yeraltı Borularında Oluşan Yıllık Enerji Kaybı

Şekil 3.96’da, 6 çeşit toprak tipi için nominal boru çapı 400 mm olan borulama sistemi; derinliğe, toprak tipine ve artan yalıtım kalınlıklarına göre yıllık enerji kayıpları gösterilmiştir. Doymuş kumlu toprak içerisine gömülmüş boruda yıllık enerji kaybının en yüksek olduğu, onu sırasıyla doymuş silt ya da kumlu toprak, killi toprak, balçık toprak, kum veya çakıllı toprak ve kuru toprak izlemiştir. 1 metre doymuş kumlu toprak içerisinde gömülü yalıtımsız bir borunun 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruya göre yaklaşık %203, 15 cm yalıtım malzemeli boruya göre ise yaklaşık %1088, 1 metre doymuş silt ya da kumlu toprak içerisinde yalıtımsız bir borunun 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruya göre yaklaşık %140, 15 cm yalıtım malzemeli boruya göre ise yaklaşık %750, 1 metre killi toprak içerisinde yalıtımsız bir borunun 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruya göre yaklaşık %94, 15 cm yalıtım malzemeli boruya göre ise yaklaşık %506, 1 metre balçık toprak içerisinde yalıtımsız bir borunun 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruya göre yaklaşık %77, 15 cm yalıtım malzemeli boruya göre ise yaklaşık %416, 1 metre kum veya çakıllı toprak içerisinde yalıtımsız bir borunun 1 cm taş

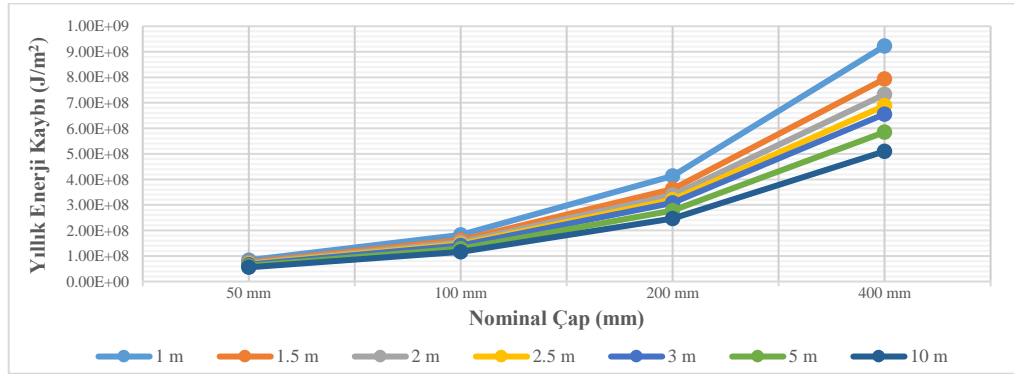
yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruya göre yaklaşık %65, 15 cm yalıtım malzemeli boruya göre ise yaklaşık %351, 1 metre kuru toprak içerisinde yalıtımsız bir borunun 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruya göre yaklaşık %37, 15 cm yalıtım malzemeli boruya göre ise yaklaşık %201'e yakın daha fazla yıllık enerji kaybettiği hesaplanmıştır. Enerji kaybının en fazla olduğu doymuş kumlu toprakta yalıtımsız boru 1 m yerine 2, 3, 5 ve 10 metreye gömüldüğü zaman yaklaşık olarak sırasıyla %18.86, %27.51, %35.44 ve %43.12 enerji kaybında azalma hesaplanmıştır.



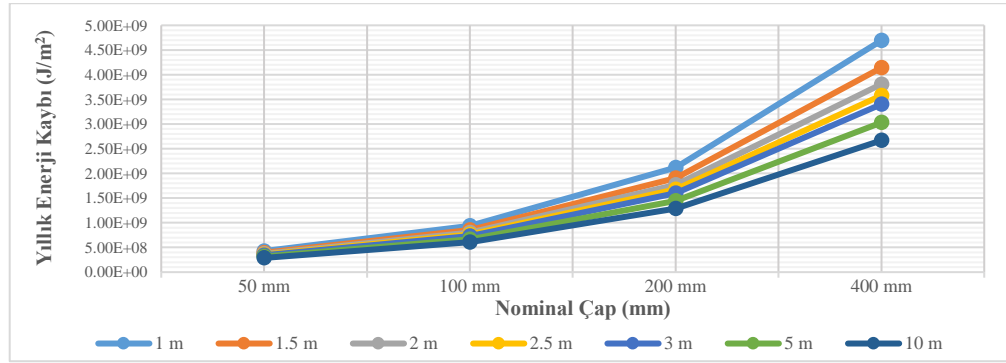
Şekil 3.96: Derinliğe, yalıtım kalınlığına ve toprak tipine bağlı olarak taş yünü yalıtımlı birim uzunluktaki boruda yıllık enerji kaybı (400mm boru çapı).

Şekil 3.97 ve 3.98'de birim uzunlukta, yalıtımsız borunun artan çaplar ve derinlikler doğrultusunda gömüldüğü toprak tipine göre oluşan yıllık enerji kaybı ilişkisi gösterilmiştir. Çap arttıkça yüzey alanı arttığından yıllık enerji kaybı artmış fakat derinlikle ters orantı olarak enerji kaybı azalmıştır. Kuru toprağa 1 metre derinliğe gömülü, yalıtımsız, nominal çapı 50 mm olan birim uzunluktaki boruya göre 100, 200 ve 400 mm çaplarındaki borularda yaklaşık olarak %118, %394, %1004 oranında yıllık enerji kaybında artış hesaplanmıştır. Nominal çapı 400 mm olan birim uzunluktaki yalıtımsız boru, kuru toprak içerisinde 1 m derinlik yerine 1.5 m'ye gömüldüğünde yaklaşık olarak %13.99, 2 m'ye gömüldüğünde %20.57, 2.5 m'ye gömüldüğünde %25.35, 3 m'ye gömüldüğünde %28.90, 5 m'ye gömüldüğünde %36.57, 10 m'ye gömüldüğünde %44.72 oranında yıllık enerji kaybında azalma tespit edilmiştir. Nominal çapı 50 mm olan boruda ise 1.5 m'ye gömüldüğünde yaklaşık olarak %9.87, 2 m'ye gömüldüğünde %14.40, 2.5 m'ye gömüldüğünde %17.97,

3 m'ye gömüldüğünde %20.73, 5 m'ye gömüldüğünde %26.71, 10 m'ye gömüldüğünde %33.59 oranında yıllık enerji kaybında azalma hesaplanmıştır.



Şekil 3.97: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Kuru toprak).



Şekil 3.98: Toprak tipine ve derinliğine bağlı olarak, nominal çapın yıllık enerji kaybına etkisi (Doymuş kumlu toprak).

Doymuş kumlu toprakta, 1 metre derinliğe gömülü, yalıtımsız, nominal çapı 50 mm olan birim uzunluktaki boruya göre 100, 200 ve 400 mm çaplarındaki borularda yaklaşık olarak %120, %396, %999 yıllık enerji kaybında artış hesaplanmıştır. Nominal çapı 400 mm olan birim uzunluktaki yalıtımsız boru, doymuş kumlu toprak içerisinde 1 m derinlik yerine 1.5 metreye gömüldüğünde yaklaşık olarak %11.77, 2 m'ye gömüldüğünde %18.86, 2.5 m'ye gömüldüğünde %23.73, 3 m'ye gömüldüğünde %27.51, 5 m'ye gömüldüğünde %35.44, 10 m'ye gömüldüğünde %43.12 yıllık enerji kaybında azalma göstermiştir. Nominal çapı 50 mm olan boruda ise 1 m yerine 1.5 m'ye gömüldüğünde yaklaşık olarak %7.96, 2 m'ye gömüldüğünde %13.14, 2.5 m'ye gömüldüğünde %16.88, 3 m'ye gömüldüğünde %19.92, 5 m'ye gömüldüğünde %26.24, 10 m'ye gömüldüğünde %32.55 oranında yıllık enerji kaybında azalma tespit edilmiştir. Buradan nominal çapımız ne kadar büyükse gömme derinliğimizi artırarak enerji kaybını azaltabileceğimiz, aynı toprak tipinde çaplar arasındaki enerji kayıp oranının sabite yakın olduğu çıkarımı yapılmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Eğitim, öğretim, bilim açısından vazgeçilemez unsurlarından birisi olan üniversiteler her geçen gün oluşan ihtiyaçlar doğrultusunda araştırma ve geliştirme faaliyetlerini artırmakta, bunun sonucu olarak yeni alt yapı ihtiyaçları oluşmaktadır. Bu doğrultuda kampüs alanları içerisine yeni tesisler inşa edilmektedir. Bu inşa edilen tesislerin ihtiyaçlarından birisi de istenen şartlarda ısınmadır. Isınma için kullanılan fosil yakıtlar açısından Türkiye'nin büyük oranda dışa bağımlılığı ve giderek azalan fosil yakıt miktarları dikkate alındığında enerjinin daha verimli ve daha etkin bir biçimde kullanılması önem arz etmektedir.

Tez çalışmasında, ülkemizin Enerji Verimliliği 2030 Strateji planları kapsamında kullanılan ve kullanılacak enerjinin azaltılması amacıyla üniversite kampüslerinde yapılacak bölgesel ısıtma sistemi yeraltı borularının ısı kayıplarının araştırılması ele alınmıştır. Isı kayıplarının temel faktörlerinden birisi olan çevre koşulları kapsamında, Balıkesir ili meteorolojik verilerine dayanılarak toprak tipine ve derinliğe bağlı olarak toprak sıcaklık hesaplamaları yapılmıştır. Çevre şartlarının etkisi ile oluşan ısı kayıplarının önlenmesinde en büyük araçlardan birisi olan boru yalıtım uygulaması için farklı nominal çaplı (50, 100, 200, 400 mm) ön yalıtımlı boruya, 1'er cm artacak şekilde (maksimum 15 cm) çeşitli yalıtım malzemeleri (XPS, EPS, taş yünü) uygulanmış, sonrasında çeşitli derinlik ve toprak tiplerine gömüldüğü farz edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Balıkesir ili için derece-gün yöntemine göre yıllık ısı kaybı, yıllık enerji gereksinimi, yıllık yakıt (doğalgaz, kömür, fuel-oil) tüketimi bulunmuştur. Ek olarak yeraltı boruları için ısı kaybı, aylık enerji kaybı ve yıllık enerji kaybı hesaplamaları yapılmıştır. Borulama sisteminde ısıtma için kullanılacak akışkanın sıcak su ve kızgın su olması durumuna göre ayrıca incelenmiştir. Bu doğrultuda oluşan sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Meteorolojik verilere dayalı olarak hesaplanan derinliğe bağlı sıcaklıklarda en düşük sıcaklık 1 metrede doymuş kumlu toprakta ocak ayında -6.73 °C ile olurken en az değişim kuru toprakta -3.54 °C hesaplanmıştır. 1 metrede şubat ayında doymuş kumlu toprak ve doymuş silt ya da killi toprak haricinde tüm toprak tiplerinde en düşük sıcaklıklara ulaşırken söz konusu toprak tiplerinde sıcaklıkları artmaya başlamıştır. 1.5 metrede şubat ayında kuru toprak haricinde toprak tiplerinde sıcaklıklarda artmaya başlarken kuru toprak mart ayına kadar soğumaya devam etmiştir. 2 metre derinlikte sadece kuru toprakta eksi sıcaklık değerleri

görülmemiştir. Doymuş kumlu toprakta 3 metrede nisan ayında toprak sıcaklığı eksi değer gözlemlenmiştir. 5 metreden sonra çalışılan hiçbir toprak tipinde negatif değer hesaplanmamış ve hesaplanan sıcaklık değerlerinin birbirine yaklaştığı tespit edilmiş, ayrıca aylar bazında ortalama sıcaklık değerinin en yüksek olduğu toprak tipinin kuru toprak ve doymuş kumlu toprak olduğu hesaplanmıştır. Aylar bazında ortalama sıcaklığın kuru toprakta 3 metrede en yüksek olduğu diğer toprak tiplerinde 5 metre olduğu görülmüştür. 10 metrede tüm toprak tiplerinde ortalama sıcaklık değeri 3.22-3.24 °C arasında hesaplanmıştır.

- Toprak difüzyonu yüksek olan toprak tiplerinde toprak üstü sıcaklıklarını hızlı bir şekilde toprak altına iletiildiğini buna bağlı olarak daha derinlere kadar toprak sıcaklığının düştüğü ve aylar bazında sıcaklık farkının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak toprak altına gömülen boru ile toprak sıcaklık farkı yükseleceğinden ısı kaybının arttığı görülmüştür.
- Yalıtımsız borularda en düşük ısı transfer katsayısı 10 metre derinlikte kuru toprağa gömülü 50 mm boru çapı için 0.392 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Aynı çap ve derinlik şartlarında en yüksek ısı transfer katsayısı doymuş kumlu toprakta tespit edilmiş ve 2.172 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Buradan toprak ısıl iletim katsayısı ne denli düşük ve derinlik ne kadar fazla olursa ısı transfer katsayısı o kadar küçük olacağı buna bağlı olarak ısı kaybının düşeceği sonucuna ulaşılmaktadır.
- Çeşitli derinlik ve toprak tiplerinde gömülü yalıtımsız boru yerine artan kalınlıkta (maksimum 15 cm) farklı yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılınca ısı transfer katsayısında en büyük değişim %96.77'lik oranla nominal çapı 50 mm olan 1 metre derinliğe doymuş kumlu toprağa gömülü 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda olurken 400 mm çap için bu oran %93.95 olarak bulunmuştur. Yalıtım kalınlığının ve toprak derinliğinin artışı ısı transfer katsayısı ile doğru orantılı bir şekilde artmakta çap ile ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir.
- Çeşitli toprak tiplerinde yalıtımsız boru yerine farklı yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanılırsa ısı transfer katsayısında en hızlı değişim oranı; %89.44 oranla 1 metre doymuş kumlu toprakta gömülü nominal çapı 50 mm olan 1cm kalınlığında XPS yalıtım malzemesinde hesaplanmıştır. Onu %88.85 ile EPS en sonda %88.44 ile taş yünü yalıtım malzemesi takip etmiştir. Ayrıca diğer toprak tiplerinde de sonuçlar irdelendiğinde XPS yalıtımın diğer yalıtımlara göre ısı transfer katsayısında en yüksek değişim oranını verdiği görülmüştür. Bunun etkisi ısıl iletkenlik

katsayısından en düşük olmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transferi katsayısındaki değişim oranına tüm toprak tipleri ve derinlikler için bakıldığında, çap 50-400 mm arasında 6 ila 8 cm yalıtımdan sonra daha düşük bir ivmeyle azalmaya devam etmiştir.

- Değişen çaplar için hesaplamalar yapılmış, en düşük ısı transfer katsayısı, 10 metre derinlikte kuru toprakta yalıtımsız 50 mm boru çapı için $0.392 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar doğrultusunda kuru toprakta 10 metre derinlikteki yalıtımsız 400 mm boru için bu değer kontrol edildiğinde, $0.535 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak görülmüştür. Boru çapı arttıkça ısı transfer alanı artığından buna bağlı olarak ısı transfer katsayısı büyüdüğü görülmüş ve bunun sonucu ısı kayıpları artmıştır.
- Beton kaplama içerisinde ortalama $120 \text{ }^\circ\text{C}$ kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemde yeraltı borularında en düşük ısı transfer katsayısı, 15 cm taş yünü yalıtım malzemeli 50 mm nominal çaplı 10 metre derinlikteki kuru toprakta $0.104 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ olarak hesaplanmış, artan çaplarla birlikte 400 mm'de $0.206 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ yükselmiştir. Yalıtımsız boru yerine 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru kullanıldığında ısı transfer katsayısında en hızlı değişim, doymuş kumlu toprakta 1 metre derinlikte %87.24 oranla olurken, ısı transfer katsayısında en yüksek değişim 15 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda %95.58 oran ile 10 metre derinlikte doymuş kumlu toprakta hesaplanmıştır. Ayrıca bir önceki yalıtım kalınlığına göre ısı transfer katsayısında değişim oranı sıcak sulu yeraltı borularında olduğu gibi 6 ila 8 cm'den sonra daha düşük bir ivmeyle azalmaya devam etmiştir.
- Ortalama $80 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcak sulu bölgesel ısıtma sistemde ısıtma derece gün yöntemine göre yeraltında yalıtımsız boru için yapılan yıllık ısı kaybı hesabında; en düşük 10 metre derinliğe kuru toprağa gömülü 50 mm çaplı boruda, en yüksek 1 metre derinliğe doymuş kumlu toprakta gömülü 400 mm çaplı boruda hesaplanmıştır. Nominal çapı 400 mm olan yalıtımsız boru 6 çeşit toprak tipine 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5, 10 metre derinliğe gömülmesi durumuna göre yapılan hesaplamalarda sonucunda 1 metre derinliğe göre sırasıyla 1.5 m'de %11.94-%11.97 arası, 2 m'de %18.81-%18.86 arası, 2.5 m'de %23.45-%23.51 arası, 3 m'de %26.86-%26.92 arası, 5 m'de %34.98-%35.05 arası ve 10 m'de %43.49-%43.57 arası ısı kaybında azalma oranı tespit edilmiştir. Aynı derinlikteki yüzde oranları arasındaki fark toprak ısıl iletim katsayısından kaynaklanmakta büyük oran değişimi ise derinlikten kaynaklanmadır. Isı kaybında derinliğin önemini bu sonuç ile daha net görülmüştür.

- Artan yalıtım kalınlığında çeşitli yalıtım malzemeli (XPS, EPS, Taş yünü) ön yalıtımlı borular için farklı derinlik ve toprak tiplerinde ısıtma derece gün (IDG) yöntemine göre yıllık ısı kaybı hesaplanmış, en düşük 15 cm XPS yalıtım malzemeli 50 mm nominal çaplı 10 metre derinlikteki kuru toprakta, en yüksek ise 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli 400 mm nominal çaplı 1 metre derinlikteki doymuş kumlu toprak içerisinde görülmüştür. Yıllık ısı kaybı; boru çapıyla doğru, derinlik, yalıtım kalınlığı, yalıtım malzemesinin ve toprak tipinin ısı transfer katsayısı ile ters orantılı olarak arttığı hesaplar sonucu net şekilde görülmüştür.
- Beton kaplama içerisinde ortalama 120 °C kızgın sulu bölgesel ısıtma sistemde yeraltına gömülü borularda oluşan yıllık ısı kaybı; toprak tipine, yalıtım kalınlığına, toprak derinliği bakımından ortalama 80 °C sıcak sulu yeraltı bölgesel ısıtma sisteme benzer davranışlar izlemiştir. Fakat kızgın sulu sistem sıcak sulu sisteme göre 50-400 mm çaplarda daha az yıllık ısı kaybı hesaplanmıştır. Bunun sebebi her ne kadar kızgın sulu sistemin, ortalama su sıcaklık değeri yüksek olsa da, boruların bir beton kaplama içerisinde hava boşluğu ile ekstra yalıtım yapılmasından ve beton kaplamanın ısı direncinden kaynaklanmaktadır. Böylelikle ısı direnç değerimiz yükselmiş ve toplam ısı transfer katsayımız daha düşük çıkmış bunlara bağlantılı olarak yıllık toplam ısı kaybı değeri daha az hesaplanmıştır.
- IDG yöntemine göre yıllık enerji gereksinimi doğalgaz, fuel-oil ve kömür yakıtları için yapılan hesaplamalarda en düşük değer 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boru için kuru toprak içerisinde doğalgaz yakıtı kullanıldığında çıkarken en yüksek değer 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı borunun doymuş kumlu toprak içine gömülmesi sonucu gerçekleşmiştir. Bunun sebebi doğalgaz yakıtının veriminin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tüketilen yıllık miktar açısından bakıldığında ise en yüksek kömür en düşük fuel-oil yakıtı için hesaplanmıştır. Bunun sebebi kullanılan yakıtın alt ısı değerinden kaynaklanmıştır.
- Aylık bazda boruların ısı kaybı hesapları yapılmış, en düşük değer kuru toprakta 10 metre derinlikte XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda elde edilirken en yüksek değer 1 metre derinlikte doymuş kumlu toprakta taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda bulunmuştur. Tüm toprak tiplerinde derinlik ve yalıtım kalınlığı artıkça aylık bazda ısı kayıpları birbirine yakınlaşmaya başlamış 5 metrede sonra tüm aylar boyunca ısı kaybı sabit olmaya başlamıştır. Bunun sebebi belli derinlikten sonra toprak sıcaklıklarının sabitlenmesinden kaynaklanmıştır.

- Aylık enerji kaybı en çok mart ayında 1 cm taş yünü yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda 1 metre derinlikteki doymuş kumlu toprakta olurken en az enerji kaybı şubat ayında 15 cm XPS yalıtım malzemeli ön yalıtımlı boruda 10 m derinliğinde hesaplanmıştır.
- Yapılan hesaplamalar doğrultusunda yıllık enerji kaybı en azdan en çoğa doğru sıralanırsa; kuru toprak, kum veya çakıllı toprak, balçık toprak, killi toprak, doymuş silt ya da killi toprak, doymuş kumlu toprak olarak hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi açısından yıllık enerji kaybı ise en az XPS en fazla taş yünü olmuştur. Toprak derinliği ve yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık enerji kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Nominal çapın büyümesine paralel olarak yıllık enerji kaybının arttığı görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- Alsagri, A. S., Arabkoohsar, A., Khosravi, M., and Alrobaian, A. A. (2019). Efficient and cost-effective district heating system with decentralized heat storage units, and triple-pipes. *Energy*, 188, 116035, doi.org/10.1016/j.energy.2019.116035.
- Arabkoohsar, A., Khosravi, M., and Alsagri, A. S. (2019). CFD analysis of triple-pipes for a district heating system with two simultaneous supply temperatures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 141, 432-443, doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.101.
- Arabkoohsar, A., and Alsagri, A. S. (2020). A new generation of district heating system with neighborhood-scale heat pumps and advanced pipes, a solution for future renewable-based energy systems. *Energy*, 193, 116781, doi.org/10.1016/j.energy.2019.116781.
- Arı, F., ve Yılmaz, V. (2023). Türkiye’de ve dünya’da enerji kaynaklarının genel görünümü ve alternatif enerji kaynaklarının önemi. *Dicle üniversitesi sosyal bilimler enstitüsü dergisi*, (34), 496-519, doi/org.10.15182/diclesosbed.1340642.
- Austin III, W. A. (1998). Development of an in situ system for measuring ground thermal properties, Doctoral dissertation, Oklahoma State University, USA.
- Averfalk, H. and Werner, S. (2018). Novel low temperature heat distribution technology. *Energy*, 145, 526-539, doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.157.
- Baldvinsson, I. and Nakata, T. (2015). A feasibility and performance assessment of a low temperature district heating system – A North Japanese case study. *Energy*, 95, 155-174, doi:org/10.1016/j.energy.2015.11.057.
- Başoğul, Y. ve Keçebaş, A. (2011). Economic and environmental impacts of insulation in district heating pipelines: Geothermal Application. 2nd International Exergy, Life Cycle Assessment, and Sustainability Workshop & Symposium (ELCAS2), (pp. 268-275) Nisyros, Greece.
- Başoğul, Y., Demircan, C. and Keçebaş, A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for environmental impact reduction of pipe insulation. *Applied Thermal Engineering*, 101, 121-130, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.010.
- Badescu, V., (2006) Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house. *Renewable Energy*, 32 (5), 845-855, doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.004.

- Ben Jmaa Derbel, H. and Kanoun, O. (2010). Investigation of the ground thermal potential in Tunisia focused towards heating and cooling applications. *Applied Thermal Engineering*, 30(10), 1091-1100, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.01.022.
- Berge, A., Hagentoft, C.E. and Adl-Zarrabi, B. (2016). Field measurements on a district heating pipe with vacuum insulation panels. *Renewable Energy*, 87, 1130-1138, doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.056.
- Borinaga-Treviño, R., Pascual-Muñoz, P., Castro-Fresno, D. and Blanco-Fernandez E., (2013). Borehole thermal response and thermal resistance of four different grouting materials measured with a TRT. *Applied Thermal Engineering*, 53(1), 13-20, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.12.036
- Boutera, Y., Boultif, N., Rouag, A., Beldjani, C., and Moumami, N. (2022). Performance of earth-air heat exchanger in cooling, heating, and reducing carbon emissions of an industrial poultry farm: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(4), 9564-9583, doi.org/10.1080/15567036.2022.2132323.
- Bøhm, B. (2000). On transient heat losses from buried district heating pipes. *International journal of energy research*, 24(15), 1311-1334, doi.org/10.1002/1099-114X(200012)24:15<1311::AID-ER648>3.0.CO;2-Q
- Bøhm, B. (2001). Experimental determination of heat losses from buried district heating pipes in normal operation. *Heat transfer engineering*, 22(3), 41-51, doi.org/10.1080/01457630118274.
- Bøhm, B., and Kristjansson, H. (2005). Single, twin and triple buried heating pipes: on potential savings in heat losses and costs. *International journal of energy research*, 29(14), 1301-1312, doi.org/10.1002/er.1118.
- Chen, X., Ren, L., Zheng, Q., Yang, G., Akkurt, N., Liu, L., et al. (2023). Heat loss optimization and economic evaluation of a new fourth generation district heating triple pipe system. *Applied Thermal Engineering*, 233, 121160. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121160.
- Claesson, J., and Javed, S. (2018). Explicit multipole formulas for calculating thermal resistance of single u-tube ground heat exchangers. *Energies*, 11(1), 214 doi.org/10.3390/en11010214.
- Corcione, M., Cretara, L., Fontana, L and Quintino, A. (2021) New dimensionless correlations for the evaluation of the thermal resistances of a district heating twin pipe system. *Applied Sciences* 2021, 11, 9685, doi.org/10.3390/app11209685.

- Çallı, E., (2016). Boru yalıtımı uygulamalarında ısıtma derece günlere göre optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 430944)
- Çomaklı, K. (2003). Atatürk Üniversitesi ısıtma merkezinin enerji ve ekserji analizi (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 131571)
- Danielewicz, J., Śniechowska, B., Sayegh, M.A., Fidorów, N. and Jouhara, H. (2016). Three-dimensional numerical model of heat losses from district heating network pre-insulated pipes buried in the ground. *Energy*, 108, 172-184, doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.012.
- Demir, H. (2006). Toprak kaynaklı ısı pompası ve toprak ısı değiştiricilerinin optimizasyonu ve geliştirilmesi. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 180517)
- Dolna, O., and Mikielewicz, J. (2020). The ground impact on the ultra-low-and low-temperature district heating operation. *Renewable Energy*, 146, 1232-1241, doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.048.
- Dombaycı, Ö. A. (2009). Degree-days maps of Turkey for various base temperatures. *Energy*, 34(11), 1807-1812.
- Düber S., Fuentes, R. and Narsilio G. A. (2023). Comparison and integration of simulation models for horizontal connection pipes in geothermal bore fields. *Geothermal Energy*, 11(15), doi.org/10.1186/s40517-023-00252-8.
- Ertürk, M. (2016). Optimum insulation thicknesses of pipes with respect to different insulation materials, fuels and climate zones in Turkey. *Energy*, 113, 991-1003, doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.115.
- Enerji ve Tabiatlar Bakanlığı (2022). Türkiye Ulusal Enerji Planı (2022). https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf. Erişim tarihi: 27.02.2024
- Enerji ve Tabiatlar Bakanlığı (t.y). Enerji verimliliği, Ulusal enerji verimliliği eylem planı. <https://enerji.gov.tr/enerji-verimlilik>. Erişim tarihi: 27.02.2024.
- Enerji verimliliği derneği (t.y). Enerji verimliliği. <https://www.enver.org.tr/enerji-verimlilik>. Erişim tarihi: 28.02.2024.
- Fazlikhani, F., Goudarzi, H., and Solgi, E. (2017). Numerical analysis of the efficiency of earth to air heat exchange systems in cold and hot-arid climates. *Energy Conversion and Management*, 148, 78-89, doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.069.

- Fester, J., Østergaard, P.F., Bentsen F and Nielsen, B. K. (2023). A data-driven method for heat loss estimation from district heating service pipes using heat meter- and GIS data. *Energy*, 277, 127713, doi.org/10.1016/j.energy.2023.127713.
- Fu, Z. B., Yang, C. F., Li, Y. F., Zhou, M., Wang, J. F., and Zhang, L. Y. (2019). Optimization study on laying and installation of conjugated directly-buried heating pipes. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 268, No. 1, p. 012097). IOP Publishing. doi.org/10.1088/1755-1315/268/1/012097.
- Ghaith, F. A., and Ur Razzaq, H. (2018). Thermal performance of earth-air heat exchanger systems for cooling applications in residential buildings. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Vol. 52071, p. V06AT08A043). American Society of Mechanical Engineers. doi.org/10.1115/IMECE2018-86974.
- Gürtepe, E., ve Birpınar M. E. (2023). Türkiye yüzyılında sürdürülebilir çevre. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(3), 1-22. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/csid/issue/75639/1241627>
- Güler, O. V., Gürbüz, E. Y., Keçebaş A. ve Ertürk, M. A. E. (2023). A new method to determine heat loads in thermal storage and fluid transport through underground: Degree-hours. 14th International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications (ICTEA 14') May 25-27, 2023 Yalova, Türkiye.
- Howard, D. A., Filonenko, K., Busk, F. S., and Veje, C. (2020). Methodology for Evaluation of District Heating Network Efficiency. *The 3rd International Conference on Electrical Engineering and Green Energy (CEEGE 2020) E3S Web of Conferences* 186, 01006 (2020), doi.org/10.1051/e3sconf/202018601006.
- İlhan, U. (2019). Bölgesel ısıtma sistemlerindeki yerüstü ve yeraltı borularının optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 614383)
- İzocam (t.y.). Ürünler. Erişim adresi: <https://www.izocam.com.tr/tr/urunler-tanitim>. Erişim tarihi: 27.02.2024
- İzoder. (t.y.). Isı yalıtımı. Erişim adresi: <https://www.izoder.org.tr/sayfa/31/genel-bilgialmak-istiyorum> Erişim tarihi: 27.02.2024
- Jakubek, D., Ocloń, P., Nowak-Ocloń, M., Sułowicz, M., Varbanov, P. S. and Klemeš, J.J. (2023). Mathematical modelling and model validation of the heat losses in district heating networks. *Energy*, 267, 126460, doi.org/10.1016/j.energy.2022.126460

- Jie, P., Kong, X., Rong X and Xie, S. (2016). Selecting the optimum pressure drop per unit length of district heating piping network based on operating strategies. *Applied Energy*, 177, 341-353, doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.095.
- Jie, P., Zhou, Z., Wei, F. and Ren, Y. (2023). Optimization of radiator area of CHP-based district heating system based on energy cascade utilization. *Alexandria Engineering Journal*, 68, 619-631, doi.org/10.1016/j.aej.2023.01.031.
- Karakoç, T.H., Turan, O., Binyıldız, E. ve Yıldırım, E. (2011). *IY ısı yalıtımı*. İstanbul: Rota Yayın Yapım Tanıtım.
- Kayfeci, M. (2013). Determination of energy saving and optimum insulation thicknesses of the heating piping systems for different insulation materials. *Energy and Buildings*, 69, 278-284. doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.017.
- Kaynaklı, Ö. (2014). Economic thermal insulation thickness for pipes and ducts: A review study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 184-194, doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.026.
- Keçebaş, A., Alkan, M. A. and Bayhan, M. (2011). Thermo-economic analysis of pipe insulation for district heating piping systems. *Applied Thermal Engineering Volume 31, Issues 17–18, Pages 3929-3937*, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.042.
- Keçebaş, A. (2012a). Determination of insulation thickness by means of exergy analysis in pipe insulation. *Energy Conversion and Management* 58, 76–83, doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.009.
- Keçebaş, A. (2012b). Bölgesel Isıtma Sistemlerinde Boru Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarrufu İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9(1), 1-14.
- Keçebaş, A. (2013). Enerji tasarrufu için yeraltına gömülü çelik borularda yalıtımın ekonomik faydaları. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 29(3), 206-212.
- Khosravi, M., and Arabkoohsar, A. (2019). Thermal-hydraulic performance analysis of twin-pipes for various future district heating schemes. *Energies*, 12(7), 1299, doi.org/10.3390/en12071299.
- Kocaoğlu, M., Alodalı, M.F.B, ve USTA, S., (2020). Türkiye’de enerji politikaları ve bölgesel işbirliğinin önemi. *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 16(2), 189-202, dergipark.org.tr/en/pub/paradoks/issue/57853/786216.

- Kon, O. (2014). Farklı amaçlarla kullanılan binaların ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının teorik ve uygulamalı olarak belirlenmesi (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 373212)
- Kon, O. ve İlhan, U. (2022). Merkezi Isıtma Sistemlerinde Yerüstü ve Yeraltı Ön Yalıtımlı Boruların Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu ve Yakıt Emisyon Hesabı. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 189-203, doi.org/10.2339/politeknik.741280.
- Köfinger, M., Basciotti, D., Schmidt, R.R., Meissner, E., Doczekal, C and Giovannini A. (2016). Low temperature district heating in Austria: Energetic, ecologic and economic comparison of four case studies. *Energy*, 110, 95-104, doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.103.
- Küçüktopcu, E., Cemek, B., 1 and Simsek, H. (2021). The economic and environmental impact of greenhouse heating pipe insulation. *Sustainability* 2022, 14, 549, doi.org/10.3390/su14010549
- Kürekcı, N. (2013). Türkiye'nin Dört Derece Gün Bölgesinde Borular İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı. *Tesisat Mühendisliği*, (136).
- Laferrièrea, A., Cimminoa M., Picardb D and Helsenb, L., (2020). Development and validation of a full-time-scale semi-analytical model for the short- and long-term simulation of vertical geothermal bore fields. *Geothermics*, 86, 101788, doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101788.
- Li, F., Jie, P., Fang, Z. and Wen, Z. (2021). Determining the optimum economic insulation thickness of double pipes buried in the soil for district heating systems. *Frontiers in Energy*, 15, 170-185. doi.org/10.1007/s11708-020-0680-5.
- Li, H., and Svendsen, S. (2012). Energy and exergy analysis of low temperature district heating network. *Energy*, 45(1), 237-246, doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.056.
- Lim, S., Park, S., Chung, H., Kim, M., Baik Y.J., and Shin, S. (2015). Dynamic modeling of building heat network system using Simulink. *Applied Thermal Engineering*, 84, 375-389, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.03.068.
- Liu, X. and Strunz, K. (2022). Lumped and distributed-parameter pipe model framework for thermal transients: State-space and transfer function theory and application to multi-energy systems. *IET Renewable Power Generation*, 2022, 1–17, doi.org/10.1049/rpg2.12501.

- Madan, V. and Weidlich, I., (2021). Investigation on relative heat losses and gains of heating and cooling networks. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 479–490 doi.org/10.2478/rtuect-2021-0035.
- Mazhar, A., Liu, S. and Shukla, A. (2018). A state of art review on the district heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 420-439, doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.005.
- Nowak-Ocłoń, M. and Ocłoń P. (2020). Thermal and economic analysis of preinsulated and twin-pipe heat network operation. *Energy*, 193, 116619, doi.org/10.1016/j.energy.2019.116619.
- Özbektaş, S., Şenel, M. C., ve Sungur, B. (2023). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji durumu ve kurulum maliyetleri. *Mühendis ve Makina*, 64(711), 317-351. Erişim adresi: <https://www.mmo.org.tr/nisan-haziran-2023-sayi-711>.
- Phetteplace, G., (1995). Optimal design of piping systems for district heating. CRREL Report 95-17, hdl.handle.net/11681/9197.
- Poudyal, R. (2014). The thermal-mechanical behavior of a multiple-loop geothermal heat exchanger pile, Doctoral dissertation, Oklahoma State University, USA. Available from ProQuest Dissertations and Theses Database (UMI No. 1601878).
- Pratiwi, A., Ravier, G. and Genter, A. (2018). Life-cycle climate-change impact assessment of enhanced geothermal system plants in the Upper Rhine Valley. *Geothermics* 75, 26-39, doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.03.012.
- Rostia, B., Omidvara, A. and Monghasemia N. (2019). Optimum position and distribution of insulation layers for exterior walls of a building conditioned by earth-air heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 163, 114362, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114362.
- Rosa, M. D., and Bianco, V. (2023). Optimal insulation layer for heated water pipes under technical, economic and carbon emission constraints. *Energy*, 270, 126961, doi.org/10.1016/j.energy.2023.126961.
- Sahin, A. Z and Kalyon M. (2004). The critical radius of insulation in thermal radiation environment. *Heat and Mass Transfer*, 40, 377–382, doi.org/10.1007/s00231-003-0471-7.
- Salomone, L. A., and Marlowe, J. I. (1989). Soil and rock classification according to thermal conductivity: Design of ground-coupled heat pump systems (No. EPRI-CU-6482). Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (USA); STS Consultants Ltd., Chantilly, VA (USA).

- Shojaee, S. M. N., and Malek, K. (2017). Earth-to-air heat exchangers cooling evaluation for different climates of Iran. *Sustainable Energy technologies and Assessments*, 23, 111-120, doi.org/10.1016/j.seta.2017.09.007.
- Şimşek, Z. (2019). Konut yapılarında kullanılan ısı yalıtım malzemelerin incelenmesi. *Technological Applied Sciences*, 14(4), 147-162, doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.4.2A0177.
- Şişman, N. (2005). Derece gün bölgeleri için bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve duvar yapı bileşenleri kullanılması halinde ekonomik analiz yöntemi ile en iyi yalıtım kalınlığının tespiti (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 212130).
- Suresh, S., Sundar, M and Lokavarapu, B. R. (in press). Optimum insulation thickness in process pipelines. *MaterialsToday: Proceedings* doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.200.
- Tanyıldızı V. ve Dağtekin İ. (Eds.) (2021). Isı ve kütle transferi esasları ve uygulamalar. Ankara: Palme yayınevi
- Taşdemir, A. (2019). Boru yalıtımında farklı boru çapları için hava boşluğunun yalıtım kalınlığı ve kullanım ömrü maliyetleri üzerine etkileri (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 567911)
- Terhan, M. (2019). 4.Jenerasyon düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma (LTDH) sistemindeki ısı hatlarının enerji ve ekserji analizi. 22. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK 2019). Kocaeli, Türkiye.
- Terhan, M. (2021). Optimization of insulation thickness for pipes in a low temperature district heating network. 5th International Anatolian Energy Symposium, (24-26 March 2021), Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye.
- Terhan, M. (2022). Optimization insulation thickness and reduction of CO₂ emissions for pipes in all generation district heating networks. *Science Progress*, 105(3), 1-29, doi.org/10.1177/00368504221122287.
- Terhan, M ve Abak, S. S. (2023). Energy, exergy analysis and optimization of insulation thickness on buildings in a low-temperature district heating system. *Journal of Thermal Engineering*, 9(1), 161–178, doi.org/10.18186/thermal.1243502.
- Tesisat org. (t.y.). Buhar Difüzyonu Konusundaki Gerekli Kavramlar. Erişim adresi: <https://www.thesisat.org/buhar-difuzyonu-nedir.html>. Erişim tarihi: 27.02.2024

- Tianhu, Z., Aoqi L., Qiga, H., Xiaopeng, L., Yandi, R., Hongying, T., et al. (2022). Economic thickness and life cycle cost analysis of insulating layer for the urban district steam heating pipe. *Case Studies in Thermal Engineering* 34, 102058, doi.org/10.1016/j.csite.2022.102058.
- TS 825 (2013, Aralık). Binalarda ısı yalıtım kuralları, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022) Hanehalkı Nihai Enerji Tüketim İstatistikleri, 2022, 19 Şubat 2024, 53805, data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hanehalki-Nihai-Enerji-Tuketim-Istatistikleri-2022-53805.
- Ulusoy, E. (2020). Merkezi bir ısıtma sisteminde enerji ve ekserji analizi (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 650417)
- Van der Heijde, B., Aertgeerts, A., and Helsen, L. (2017). Modelling steady-state thermal behaviour of double thermal network pipes. *International Journal of Thermal Sciences*, 117, 316-327, doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.03.026.
- Verma, M. K., Bansal, V. and Rana, K. B. (2020). Development of passive energy source as earth air pipe heat exchangers (EAPHE) system -a review. *Journal of Thermal Engineering*, 6(5), 651-676, doi.org/10.18186/thermal.790173
- Volkova, A., Krupenski, I., Pieper, H., Ledvanov, A., Latôšov, E and Siirde, A. (2019). Small low-temperature district heating network development prospects. *Energy*, Volume 178, 714-722, doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.083.
- Wang, H., Duanmu, L., Li, X. and Lahdelma, R. (2017). Optimizing the district heating primary network from the perspective of economic-specific pressure loss. *Energies*, 10(8), 1095, doi.org/10.3390/en10081095.
- Wang, H., Meng, H. and Zhu, T. (2018). New model for onsite heat loss state estimation of general district heating network with hourly measurements. *Energy Conversion and Management*, 157, 71-85, doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.062.
- Wang, R., Jie, P., Wang, D., Li, F. and Liu, C. (2021). Optimization of insulation thickness of double buried district heating pipes using the eco-indicator method. *Journal of Building Engineering*, 41, 102393, doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102393.
- Xamán, J., Hernández-López, I., Alvarado-Juárez, R., Hernández-Pérez, I., Álvarez, G., and Chávez, Y. (2015). Pseudo transient numerical study of an earth-to-air heat exchanger for different climates of México. *Energy and Buildings*, 99, 273-283, doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.041.

- Xiaochen, Y., Hongwei, L. and Svend, S. (2016). Energy, economy and exergy evaluations of the solutions for supplying domestic hot water from low-temperature district heating in Denmark. *Energy Conversion and Management*, 122, 142-152, doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.057.
- Yalçın Boru (t.y.). Rijit Poliüretan (PUR) İzolasyon. <https://www.yalcinboru.com.tr/on-izolasyonlu-celik-borular>. Erişim tarihi: 27.02.2024
- Yang, X. and Svendsen, S. (2018). Ultra-low temperature district heating system with central heat pump and local boosters for low-heat-density area: Analyses on a real case in Denmark. *Energy*, 159, 243-251, doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.068.
- Yanhu, M., Guoyu, L., Wei, M., Zhengmin, S., Zhiwei, Z. and Wang F. (2020). Rapid permafrost thaw induced by heat loss from a buried warm-oil pipeline and a new mitigation measure combining seasonal air-cooled embankment and pipe insulation. *Energy*, 203, 117919, doi.org/10.1016/j.energy.2020.117919.
- Ying, W. and Yufeng, Z. (2012). Analysis of the dilatancy technology of district heating system with high-temperature heat pump. *Energy and Buildings*, 47, 230-236, doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.038
- Zhang, L., Wang, Z., Yang, X., Jina, L., Zhangb, Q. and Hu, W. (2017). Thermo-economic analysis for directly-buried pipes insulation of district heating piping systems. *Energy Procedia*, 105, 3369-3376, doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.759.
- Zhang, L., Zhang, Q., Yang, X., & Hooman, K. (2023). Thermo-Economic Assessment on Insulation Conditions of the Buried Heating Pipeline for District Heating. *Heat Transfer Engineering*, 44(13), 1140-1156, doi.org/10.1080/01457632.2022.2119923
- Zhou, J., Liang, Z., Zhang, L., Zheng, T. and Zhang, S. (2023). Thermal and mechanical response of frozen soils and buried pipeline armed with thermosyphons and insulation layer. *Heat and Mass Transfer*, 59, 1591–1599, doi.org/10.1007/s00231-023-03352-0.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Erkan BİLGİÇ
Doğum tarihi ve yeri : **25.09.1982/İzmit**
e-posta : erkanbilgic@yahoo.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2024
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2006
Lise	Ankara Atatürk Lisesi	2000