

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNDEKİ YERÜSTÜ VE YERALTI**  
**BORULARININ OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ**  
**HESAPLANMASI**

**UTKU İLHAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi Okan KON (Tez Danışmanı)**  
**Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ**  
**Dr. Öğr. Üyesi Gülşen YAMAN**

**BALIKESİR, ARALIK - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Utku İLHAN tarafından hazırlanan “BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNDEKİ YERÜSTÜ VE YERALTI BORULARININ OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ HESAPLANMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23 Aralık 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği /~~oy~~  
~~çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

**Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Okan KON  
Balıkesir Üniversitesi

**Üye**

Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ  
Uludağ Üniversitesi

**Üye**

Dr. Öğr. Üyesi Gülşen YAMAN  
Balıkesir Üniversitesi

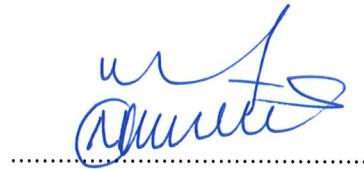
İmza



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR



## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Yerüstü ve Yeraltı Borularının Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması**” 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.

Utku İLHAN

## ÖZET

**BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNDEKİ YERÜSTÜ VE YERALTI  
BORULARININ OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ HESAPLANMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
UTKU İLHAN  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ OKAN KON)  
BALIKESİR, ARALIK - 2019**

Enerji ihtiyacının her geçen gün arttığı dünyamızda enerjiyi verimli kullanmak çok önemli bir hale gelmiştir. Enerji verimliliğinde en etkin yöntemlerden biri de ısı yalıtımı uygulamalarıdır. Bu çalışmada bölgesel ısıtma sisteminde yer altına gömülü ve yer üstü olmak üzere iki farklı borulama sistemi için çeşitli boru çaplarında optimum yalıtım kalınlığına bağlı ekonomik ve çevresel etkiler hesaplanmıştır. Hesaplamalarda derece-gün yöntemi kullanılmış olup beş farklı derece-gün bölgesinde bulunan İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri ve Erzurum şehirleri seçilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü, yakıt türü olarak ise doğalgaz, kömür ve fuel-oil kullanılmıştır. Çalışmada yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi kullanılarak 10 yıllık ömür süresi için hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak yer üstü borulama sistemlerinde tüm parametreler değerlendirildiğinde optimum yalıtım kalınlığı 4,3 cm ile 24,5 cm arasında, yer altı borulama sistemi için ise 4 cm ile 22,2 cm arasında değiştiği hesaplanmıştır. En düşük optimum yalıtım kalınlığı doğalgaz yakıtı ve XPS yalıtım malzemesi kullanımı durumunda oluşmuştur. Enerji tasarrufu yer üstü borulama sistemi için 5,151 \$/m-yıl ile 651,194 \$/m-yıl arasında, yer altı borulama sistemi için 3,634 \$/m-yıl ile 198,009 \$/m-yıl arasında hesaplanmıştır. En fazla enerji tasarrufu fuel-oil yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu için oluşmuştur. Geri dönüş süresi yer üstü borulama sistemi için 0,499 yıl ile 1,741 yıl arasında, yer altı borulama sistemi için ise 0,861 yıl ile 3,975 yıl arasında oluşmuştur. En kısa geri dönüş süresi fuel-oil yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu için oluşmuştur. CO<sub>2</sub> emisyonu yer üstü borulama sistemi için 1,414 kg/m ile 52,687 kg/m arasında, yer altı borulama sistemi için ise 1,364 kg/m ile 51,416 kg/m arasında gerçekleşmiştir. En düşük CO<sub>2</sub> emisyonu doğalgaz yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı için oluşmuştur. SO<sub>2</sub> emisyonu yer üstü borulama sistemi için 0,0073 kg/m ile 0,141 kg/m arasında, yer altı borulama sistemi için 0,0071 kg/m ile 0,138 kg/m arasında değişmektedir. En düşük SO<sub>2</sub> emisyonu kömür yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı için oluşmuştur.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Bölgesel ısıtma, boru yalıtımı, optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, ısıtma derece-gün

## **ABSTRACT**

**CALCULATION OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS OF  
ABOVEGROUND AND UNDERGROUND PIPES IN DISTRICT HEATING  
SYSTEMS  
MSC THESIS  
UTKU ILHAN  
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
MECHANICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. OKAN KON )  
BALIKESİR, DECEMBER - 2019**

In our world where the need for energy increases day by day, it has become very important to use energy efficiently. One of the most effective methods in energy efficiency is thermal insulation applications. In this study, economic and environmental impacts due to optimum insulation thickness in various pipe diameters were calculated for two different piping systems buried underground and above ground in district heating system. In the calculations, the degree-day method was used and the cities of İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri and Erzurum in five different degree-days regions were selected. XPS, EPS and rock wool were used as insulation material and natural gas, coal and fuel-oil were used as fuel type. In this study, life cycle cost (LCC) analysis was used in order to calculate the 10 years lifetime. As a result, when all parameters are evaluated in above ground piping systems, it is calculated that optimum insulation thickness is between 4,3 cm and 24,5 cm and for underground piping system it is calculated between 4 cm and 22,2 cm. The lowest optimum insulation thickness is achieved in the case of the use of natural gas fuel and XPS insulation material. Energy savings are calculated between 5,151 \$/m-year and 651,194 \$/m-year for the above-ground piping system, and between 3,634 \$/m-year and 198,009 \$/m-year for the underground piping system. The highest energy savings have been achieved in the case of fuel oil and EPS insulation. The payback period was between 0,499 and 1,741 years for the above ground piping system and between 0,861 and 3,975 years for the underground piping system. The lowest payback period is for fuel oil and EPS insulation. CO<sub>2</sub> emissions were between 1,414 kg/m and 52,687 kg/m for the above-ground piping system and between 1,364 kg/m and 51,416 kg/m for the underground piping system. The lowest CO<sub>2</sub> emission occurs for the use of natural gas fuel and EPS insulation material. SO<sub>2</sub> emissions vary between 0,0073 kg/m and 0,141 kg/m for the above-ground piping system and between 0,0071 kg/m and 0,138 kg/m for the underground piping system. The lowest SO<sub>2</sub> emission is for coal fuel and EPS insulation material.

**KEYWORDS:** District heating, pipe insulation, optimum insulation thickness, energy saving, heating degree-days

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMA LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>14</b>
1.1 Dünyada ve Türkiye’de Enerjinin Yeri.....	15
1.2 Isı Yalıtımı .....	17
1.3 Isı Yalıtımının Önemi ve Faydaları .....	18
1.4 Isı Yalıtımıyla İlgili Temel Terimler .....	19
1.5 Isı Yalıtım Malzemelerinde Beklenen Performans Özellikleri.....	21
1.6 Isı Yalıtım Malzemeleri .....	23
1.7 Literatür Taraması.....	28
1.8 Tezin Kapsamı, Önemi ve Amacı .....	36
<b>2. MATERYAL VE METOD</b> .....	<b>37</b>
2.1 Kullanılan Boru Sistemi.....	37
2.2 Isı Kaybı ve Enerji Gereksinimi .....	38
2.3 Maliyet, Enerji Tasarrufu, Optimum Yalıtım Kalınlığı .....	41
2.4 Yıllık Emisyon Gazlarının Hesaplanması.....	42
2.5 Hesaplamalarda Kullanılan Değerler .....	43
<b>3. BULGULAR</b> .....	<b>47</b>
3.1 Yalıtım Kalınlığına Bağlı Maliyetler .....	47
3.2 Yalıtım Kalınlığına Bağlı Enerji Tasarrufu .....	64
3.3 Nominal Boru Ebadına Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, Emisyonlar .....	84
3.4 İllerin Isıtma Derece-Gün Değerlerine Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, Emisyon.....	95
3.5 Geri Dönüş Süresi .....	99
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>101</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>106</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>114</b>
EK A: İllere Göre Derece-Gün Bölgeleri .....	114
EK B: İzmir İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler .....	115
EK C: Balıkesir İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler .....	118
EK D: Ankara İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler .....	121
EK E: Kayseri İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler .....	124
EK F: Erzurum İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler .....	127

Ek G: İzmir İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler.....	130
EK H: Balıkesir İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler.....	133
EK I: Ankara İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler.....	136
EK J: Kayseri İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler.....	139
EK K: Erzurum İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler.....	142
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>145</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: 2016 yılı ülkemiz genelinde birincil enerji tüketiminin sektörel olarak dağılımı. ....	16
Şekil 1.2: XPS yalıtım malzemesi.....	23
Şekil 1.3: EPS yalıtım malzemesi. ....	24
Şekil 1.4: Taş yünü yalıtım malzemesi. ....	25
Şekil 1.5: Cam yünü yalıtım malzemesi. ....	25
Şekil 1.6: Polietilen köpüğü yalıtım malzemesi.....	26
Şekil 1.7: Seramik yünü yalıtım malzemesi.....	28
Şekil 2.1: Yer üstü borulama sistemi. ....	37
Şekil 2.2: Yer altı borulama sistemi. ....	38
Şekil 2.3: Birim uzunluktaki boru sistemi.....	38
Şekil 3.1: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	48
Şekil 3.2: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	48
Şekil 3.3: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	49
Şekil 3.4: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	49
Şekil 3.5: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	50
Şekil 3.6: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	50
Şekil 3.7: Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	51
Şekil 3.8: Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	52
Şekil 3.9: Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	52
Şekil 3.10: Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	53
Şekil 3.11: Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	53
Şekil 3.12: Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	54
Şekil 3.13: Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	55
Şekil 3.14: Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	55
Şekil 3.15: Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	56
Şekil 3.16: Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	56
Şekil 3.17: Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	57
Şekil 3.18: Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	57



<b>Şekil 3.19:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	58
<b>Şekil 3.20:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	59
<b>Şekil 3.21:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	59
<b>Şekil 3.22:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	60
<b>Şekil 3.23:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	60
<b>Şekil 3.24:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	61
<b>Şekil 3.25:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	62
<b>Şekil 3.26:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).....	62
<b>Şekil 3.27:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	63
<b>Şekil 3.28:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	63
<b>Şekil 3.29:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	64
<b>Şekil 3.30:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). ....	64
<b>Şekil 3.31:</b> İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	66
<b>Şekil 3.32:</b> İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	66
<b>Şekil 3.33:</b> İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	67
<b>Şekil 3.34:</b> İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	67
<b>Şekil 3.35:</b> İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	68
<b>Şekil 3.36:</b> İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	68
<b>Şekil 3.37:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	70
<b>Şekil 3.38:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	70
<b>Şekil 3.39:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	71
<b>Şekil 3.40:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	71
<b>Şekil 3.41:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	72
<b>Şekil 3.42:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	72
<b>Şekil 3.43:</b> Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	74

<b>Şekil 3.44:</b> Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	74
<b>Şekil 3.45:</b> Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	75
<b>Şekil 3.46:</b> Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	75
<b>Şekil 3.47:</b> Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	76
<b>Şekil 3.48:</b> Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil).....	76
<b>Şekil 3.49:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	78
<b>Şekil 3.50:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	78
<b>Şekil 3.51:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	79
<b>Şekil 3.52:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	79
<b>Şekil 3.53:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	80
<b>Şekil 3.54:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	80
<b>Şekil 3.55:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	82
<b>Şekil 3.56:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).....	82
<b>Şekil 3.57:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	83
<b>Şekil 3.58:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).....	83
<b>Şekil 3.59:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	84
<b>Şekil 3.60:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).....	84
<b>Şekil 3.61:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).....	85
<b>Şekil 3.62:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).....	86
<b>Şekil 3.63:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).....	87
<b>Şekil 3.64:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).....	87
<b>Şekil 3.65:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım malzemelerinin enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).....	88
<b>Şekil 3.66:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım malzemelerinin enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).....	89
<b>Şekil 3.67:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).....	90
<b>Şekil 3.68:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).....	90

<b>Şekil 3.69:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım malzemelerinin CO <sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı). .....	91
<b>Şekil 3.70:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım malzemelerinin CO <sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı). .....	92
<b>Şekil 3.71:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların CO <sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi). .....	93
<b>Şekil 3.72:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların CO <sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi). .....	93
<b>Şekil 3.73:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların SO <sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi). .....	94
<b>Şekil 3.74:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların SO <sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi). .....	94
<b>Şekil 3.75:</b> Yer üstü borulama sistemi nominal boru ebatlarında optimum yalıtım kalınlığı iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). .....	96
<b>Şekil 3.76:</b> Yer altı borulama sistemi nominal boru ebatlarında optimum yalıtım kalınlığı iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). .....	96
<b>Şekil 3.77:</b> Yer üstü borulama sistemi nominal boru ebatlarında enerji tasarrufu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). .....	97
<b>Şekil 3.78:</b> Yer altı borulama sistemi nominal boru ebatlarında enerji tasarrufu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). .....	98
<b>Şekil 3.79:</b> Yer üstü borulama sistemi nominal boru ebatlarında CO <sub>2</sub> emisyonu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). .....	99
<b>Şekil 3.80:</b> Yer altı borulama sistemi nominal boru ebatlarında CO <sub>2</sub> emisyonu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi). .....	99

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 1.1:</b> 2016 yılı dünya ve ülkelerinde enerji göstergeleri. ....	17
<b>Tablo 1.2:</b> Tesisat yalıtımında kullanılan bazı yalıtım malzemelerinin maksimum dayanım sıcaklıkları.....	28
<b>Tablo 2.1:</b> Boru sisteminde kullanılan paslanmaz çelik borunun bazı özellikleri.....	43
<b>Tablo 2.2:</b> Farklı iklim bölgelerindeki şehirlerin ısıtma derece-gün değerleri.....	44
<b>Tablo 2.3:</b> Çalışmada kullanılan yakıtlar ve bazı özellikleri.....	44
<b>Tablo 2.4:</b> Çalışmada kullanılan yalıtım malzemeleri ve bu malzemelerin özellikleri.....	45
<b>Tablo 2.5:</b> Çalışmada kullanılan ekonomik parametreler.....	45
<b>Tablo 2.6:</b> Çalışmada kullanılan akış ile ilgili sabit değerler.....	46
<b>Tablo 3.1:</b> Yer üstü borulama sisteminde 1000 mm boru çapı için yakıt türü, yalıtım malzemesi ve illere göre geri dönüş süresi.....	100
<b>Tablo 3.2:</b> Yer altı borulama sisteminde 1000 mm boru çapı için yakıt türü, yalıtım malzemesi ve illere göre geri dönüş süresi.....	100
<b>Tablo B.1:</b> İzmir ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler....	115
<b>Tablo B.2:</b> İzmir ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.....	116
<b>Tablo B.3:</b> İzmir ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.....	117
<b>Tablo C.1:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.....	117
<b>Tablo C.2:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler...	119
<b>Tablo C.3:</b> Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.	120
<b>Tablo D.1:</b> Ankara ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.	121
<b>Tablo D.2:</b> Ankara ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler. ....	122
<b>Tablo D.3:</b> Ankara ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler...	123
<b>Tablo E.1:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.	124
<b>Tablo E.2:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler....	125
<b>Tablo E.3:</b> Kayseri ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler...	126
<b>Tablo F.1:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.....	127
<b>Tablo F.2:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler....	128
<b>Tablo F.3:</b> Erzurum ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler. .	129
<b>Tablo G.1:</b> İzmir ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.....	130
<b>Tablo G.2:</b> İzmir ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.....	131
<b>Tablo G.3:</b> İzmir ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.....	132
<b>Tablo H.1:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.	133
<b>Tablo H.2:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler...	134
<b>Tablo H.3:</b> Balıkesir ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler...	135
<b>Tablo I.1:</b> Ankara ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler. ...	136
<b>Tablo I.2:</b> Ankara ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.....	137
<b>Tablo I.3:</b> Ankara ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.....	138
<b>Tablo J.1:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler. ..	139
<b>Tablo J.2:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.....	140
<b>Tablo J.3:</b> Kayseri ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.....	141
<b>Tablo K.1:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.	142
<b>Tablo K.2:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler. ...	143
<b>Tablo K.3:</b> Erzurum ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler. ..	144

## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	: Borunun toplam yüzey alanı ( $m^2$ )
<b>A<sub>d</sub></b>	: Borunun dış yüzey alanı ( $m^2$ )
<b>A<sub>i</sub></b>	: Borunun iç yüzey alanı ( $m^2$ )
<b>A<sub>d</sub></b>	: Borunun dış yüzey alanı ( $m^2$ )
<b>A'<sub>d</sub></b>	: Boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanı ( $m^2$ )
<b>C<sub>Y</sub></b>	: Yakıtın birim maliyeti (\$/kg, \$/m <sup>3</sup> )
<b>C<sub>yakıt</sub></b>	: Yıllık toplam enerji maliyeti (\$/m)
<b>C'<sub>yakıt</sub></b>	: Yalıtımlı ve yalıtımsız borulama sistemi maliyet farkı (\$/m)
<b>C<sub>Yal</sub></b>	: Birim hacimde yalıtım malzemesinin maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )
<b>C<sub>yalıtım</sub></b>	: Toplam yalıtım malzemesi maliyeti (\$/m)
<b>C<sub>t</sub></b>	: Toplam maliyet (\$/m)
<b>d</b>	: Enflasyon oranı (%)
<b>E<sub>g</sub></b>	: Boru sistemi için yıllık enerji gereksinimi (W)
<b>H<sub>alt</sub></b>	: Yakıtın alt ısı değeri (J/kg, J/m <sup>3</sup> )
<b>h<sub>d</sub></b>	: Boru sistemi dış yüzeyi ısı taşınım katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
<b>h<sub>i</sub></b>	: Boru sistemi iç yüzeyi ısı taşınım katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
<b>IDG</b>	: Isıtma Derece-gün (°C-gün)
<b>i</b>	: Faiz Oranı (%)
<b>k<sub>i</sub></b>	: Boru içerisindeki sıcak suyun ısı iletim katsayısı (W/mK)
<b>k<sub>b</sub></b>	: Çelik borunun ısı iletim katsayısı (W/mK)
<b>k<sub>kap</sub></b>	: Kılıf borunun ısı iletim katsayısı (W/mK)
<b>k<sub>öny</sub></b>	: Ön yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)
<b>k<sub>t</sub></b>	: Toprağın ısı iletim katsayısı (W/mk)
<b>k<sub>y</sub></b>	: Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)
<b>L</b>	: Boru sisteminin birim uzunluğu (m)
<b>M</b>	: Yakıtın mol ağırlığı (kg/kmol)
<b>m<sub>yakıt</sub></b>	: Yıllık yakıt tüketimi (kg/m)
<b>N</b>	: Ömür süresi (yıl)
<b>N<sub>gd</sub></b>	: Geri dönüş süresi (yıl)
<b>Pr</b>	: Prantl sayısı
<b>P<sub>1</sub></b>	: İlk yıl için yakıt fiyatına ömür yakıt fiyatının oranı
<b>P<sub>2</sub></b>	: Yatırım sonucu ömürlük masrafların oranı
<b>Q<sub>A</sub></b>	: Boru sisteminin yıllık ısı kaybı (W)
<b>Q<sub>b(yü,ya)</sub></b>	: Yer üstü ve yer altı boru sisteminde meydana gelen ısı kaybı (W)
<b>r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>...</b>	: Boru sistemi tabakalarının yarıçapları (m)
<b>R<sub>b(yü,ya)</sub></b>	: Yer üstü ve yer altı boru sisteminin toplam ısı direnci (K/W)
<b>R<sub>b(yü,ya),y</sub></b>	: Yer üstü ve yer altı yalıtımlı boru sistemi katmanlarının toplam ısı direnci(K/W)
<b>R<sub>b(yü,ya),y-sız</sub></b>	: Yer üstü ve yer altı yalıtımsız boru sistemi katmanlarının toplam ısı direnci(K/W)
<b>Re</b>	: Reynould sayısı
<b>S</b>	: Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)
<b>S<sub>d</sub></b>	: Su buharı difüzyonu eş değer hava tabakası kalınlığı (m)
<b>T<sub>d</sub></b>	: Dış ortam sıcaklığı (K)
<b>T<sub>ms</sub></b>	: Boru sisteminin ortalama dış yüzey sıcaklığı (K)
<b>T<sub>ort</sub></b>	: Ortalama günlük sıcaklık (K)
<b>T<sub>t</sub></b>	: Toprak sıcaklığı (K)
<b>T<sub>ts</sub></b>	: Boru içindeki suyun ortalama tasarım sıcaklığı (K)

$\Delta T$	: Boru sisteminde iç ve dış tasarım sıcaklık farkı (K)
$U$	: Boru sistemi toplam ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$\Delta U$	: Yalıtımsız ve yalıtımlı boru sistemlerinin toplam ısı transfer katsayıları farkı (W/m <sup>2</sup> K)
$V$	: Yalıtım malzemesinin hacmi (m <sup>3</sup> )
$V_d$	: Dış hava hızı (m/s)
$Z$	: Boru merkezinden toprak üstü yükseklik (m)
$\delta$	: Optimum yalıtım kalınlığı (m)
$\eta_{is}$	: Isıtma sisteminin verimi (%)
$\lambda$	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
$\Lambda$	: Isıl geçirgenlik (W/m <sup>2</sup> K)
$1/\Lambda$	: Isıl geçirgenlik direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$\alpha$	: Yüzeysel ısı taşınım katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$1/\alpha$	: Yüzeysel ısı taşınım direnci (m <sup>2</sup> K/W)
$\varphi$	: Bağlı nem (%)
$\mu$	: Su buharı difüzyon direnç faktörü

## KISALTMA LİSTESİ

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>CEN</b>	: Avrupa Standardizasyon Komitesi
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>DG</b>	: Derece-gün
<b>EPS</b>	: Ekspande Polistren
<b>IDS</b>	: Isıtma Derece-saat
<b>ISO</b>	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
<b>MTEP</b>	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
<b>PEF</b>	: Polietilen Köpüğü
<b>PF</b>	: Fenol Köpüğü
<b>PUR</b>	: Poliüretan Sert Köpük
<b>SDS</b>	: Soğutma Derece-saat
<b>SO<sub>2</sub></b>	: Kükürt Dioksit
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>VRF</b>	: Değişken Soğutucu Akış
<b>XPS</b>	: Ekstrude Polistren
<b>YDM</b>	: Yaşam Döngüsü Maliyet

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmamın yürütülmesinde bilgi ve tecrübelerini aktaran, beni yönlendiren, bana her türlü desteği veren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Okan KON'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve eğitimimde emeği geçen bütün hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

**Balıkesir, 2019**

**Utku İLHAN**



## 1. GİRİŞ

Günümüzde, enerji kaynakları yaşamsal faaliyetlerimizi devam ettirmenin dışında kaynakların mali açıdan oluşturulması için de en gerekli unsurlardan biri olarak bilinmektedir. Bir toplumun gelişmişlik düzeyi ve refah düzeyi kullanılan enerji kaynakları ve miktarına göre değerlendirilmektedir. Artan nüfus, refah düzeyi ve sanayileşme ile birlikte ülkemizin enerji ihtiyacı Avrupa ülkelerine oranla daha hızlı artmaktadır. Dünyada enerji üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtların yakılmasıyla meydana gelmekte ancak dünyadaki fosil yakıtlar ise enerji talebinin her gün biraz daha artmasıyla doğru orantılı olarak tükenme eğilimi göstermektedir (Oymak, 2007; “Yatırımkredi”, t.y.).

Enerji problemi 1970’li yıllar sonrası ön plana çıkmış olup ülkelerin ana ekonomik sorunları olan fiyat istikrarsızlığı, ödemeler dengesizliği, işsizlik, dengesiz gelir dağılımı gibi problemlerde de ilişkilidir. Enerji, geçmişten bugüne olduğu gibi gelecekte de dünyanın ekonomik, sosyal ve coğrafi yapısının en büyük belirleyici unsurudur. Enerjinin değerinin ve elde edilmesinin; ulusal ve uluslararası piyasalarda oluşan rekabet ortamını etkilemesi, ülkelerin üretim yapılarını düzenlemesi, bütçe dengelerini etkilemesi ve cari açıkların temel belirleyicilerinden biri olması, enerjiyi dünyada çok önemli hale getirmektedir (Bostancı, 2017).

Ülkemizin enerji tüketimi genellikle sanayi, inşaat, ulaştırma ve tarım gibi dört ana sektör altında incelenmektedir. Ülkemizde binalarda kullanılan enerji miktarı toplam enerjinin %30’u kadardır. Ayrıca evlerde tüketilen enerjinin %82’si ısınma amaçlı kullanılmaktadır (Başoğul ve Keçebaş, 2011; Keçebaş, 2013; Genç, 2015; Daşdemir, Ertürk, Keçebaş, ve Demircan, 2017). Yapılmış olan hesaplamalarda ülkemiz, binalarda %30, sanayide %20, ulaşımda %10 enerji tasarruf potansiyeline sahiptir ve eğer %10 oranında tasarruf edildiğinde 25 milyar USD tasarrufun yanında 50 milyon ton CO<sub>2</sub> atmosfere az salınmış olurdu. Enerji ihtiyacının %70’ini ithal enerji ile sağlayan ülkemiz önemli enerji tasarruf potansiyeline sahiptir ve bu durum, enerjinin etkin ve verimli kullanılmasının önemini artırmaktadır. Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının kaliteden ödün vermeden, ekonomik ve sosyal dengeyi bozmadan en az seviyeye indirilmesidir (Iconomy-Vezir Danışmanlık Grubu, 2010). Binaların ısıtılması amacıyla tüketilen enerjinin azaltılması yönündeki çalışmalar öncelikli konular arasında yer almaktadır. Isıtma ve bunun yanı sıra soğutma konusunda enerji verimliliği sağlamanın en etkin yolu ısı yalıtımından geçmektedir (“Enerji İşleri Genel Müdürlüğü”, t.y.). Isı yalıtımı uygulamaları ile daha az miktarda enerji

tüketimi olur ve bunun sonucunda çevreye sera gazı salınımındaki azalma dünyanın büyük problemlerinden biri olan küresel ısınmanın engellenmesine katkıda bulunmaktadır (İzoder, 2019).

### **1.1 Dünyada ve Türkiye’de Enerjinin Yeri**

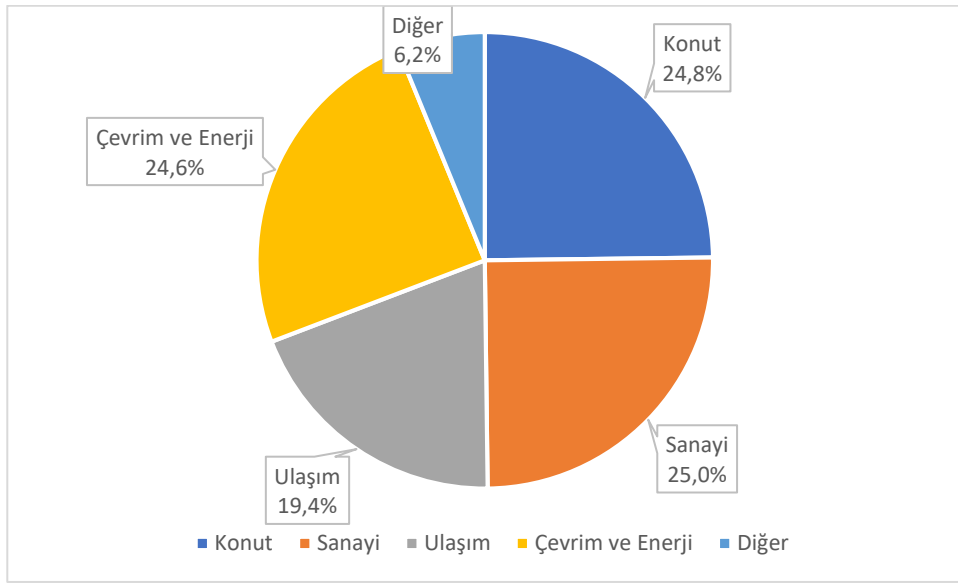
Enerji, ekonomik ve sosyal açıdan ele alındığında dünya yaşam standartlarında ve ülkelerin gelişiminde ilerlemeyi sağlayan önemli bir unsurdur. Dünya nüfusunun artması, sanayi alanındaki önemli gelişmeler ve değişimler ülkelerin enerji ihtiyacını göstermektedir (Koç ve Şenel, 2013).

Ülkelerin kalkınmalarının devamlılığı ve toplumsal refahın oluşması için sürekli artan enerji gereksinimlerini karşılamaları gerekmektedir. Başlıca kaynakları kömür, petrol, doğalgaz, güneş, rüzgâr, hidrolik, nükleer, biyokütle ve dalga olan dışarıdan müdahale edilmemiş, değişime uğramamış birincil enerjide tüketim 2015 yılında 129,7 MTEP olarak gerçekleşmiş ve 2005 yılından 2015 yılına kadar %46 oranında artış göstermiştir. Birincil enerji arzında ithal enerji kaynaklarının oranı 2015 yılında %75,9 olan ülkemiz, enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan ülkelere biridir. Ülkemizde enerji verimliliğinin artırılması amacıyla 2012 yılında yayımlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesinden yararlanarak 2023 yılı enerji verimliliği hedefleri oluşturulmuştur. 2017-2023 yılları arasında uygulanacak Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ile 2023 yılında ülkemizin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması ve 2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 MTEP tasarruf sağlanması hedeflenmektedir (Koç ve Şenel, 2013; Ulusal Enerji Verimliliği, 2018).

Dünya birincil enerji üretimi 2015 yılında toplam 13790 milyon TEP olarak hesaplanmış ve bu birincil enerji üretiminin büyük payını fosil kaynaklı yakıtlardan olan petrol (4416,26 milyon TEP), kömür (3871,53 milyon TEP), doğalgaz (2975,71 milyon TEP) oluşturmaktadır. 2016 yılı sonu itibari ile küresel enerji kullanım miktarı 13147,3 milyon TEP olarak hesaplanmıştır. Ülkemiz 126,9 milyon TEP miktarı ile dünya enerji tüketiminde %1 oranında paya sahiptir. Tüketilen birincil enerji kullanım miktarları payları sırasıyla petrol %33,3, kömür %28,1, doğalgaz %24,1, hidrolik enerji %6,9, nükleer enerji %4,5 ve yenilenebilir enerji kaynakları %3,2 olarak hesaplanmıştır (International Energy Agency, 2017; “International Energy Agency”, t.y.).

Ülkemiz 2016 yılı yerli birincil enerji üretimi 35374 bin TEP olarak hesaplanmıştır. Bu kaynaklar sırasıyla linyit %39, hidrolik %27, rüzgâr %8, jeotermal %7 olarak hesaplanmıştır.

İthal edilen birincil enerji 113117 bin TEP iken oranları %45 petrol, %34 doğal gaz ve %21 ithal kömür şeklindedir. 2016 yılı Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından enerji tüketim miktarı toplamda 137,9 milyon TEP olarak hesaplanmıştır. Petrol 41,2 milyon TEP miktarıyla ilk sırada olup ardından doğal gaz ve taş kömürü gelmektedir. Dünya genelinde birincil enerji tüketimine bakıldığında ise ilk sırada 3,014 milyon TEP ile Çin (%22,9) sonrasında ise 2,280 milyon TEP miktarı ile ABD (%17,3) gelmektedir. Ülkemiz birincil enerji tüketiminin sektörler bakımından dağılımı Şekil 1.1’de verilmiştir. Sanayi %25 ile ilk sırada olup ardından %24,80 ile konut ve %24,60 ile çevrim ve enerji sektörü gelmektedir.



**Şekil 1.1:** 2016 yılı ülkemiz genelinde birincil enerji tüketiminin sektörel olarak dağılımı (Koç, Yağlı, Koç ve Uğurlu, 2018).

Nüfusun artışı, sanayileşmenin artması ve ekonomik büyümeler elektrik enerji üretim ve tüketiminde her geçen zaman artmaktadır. Tablo 1.1 2015 yılı itibariyle dünya ve ülkelerindeki enerji göstergelerini göstermektedir. Bu verilere göre; Dünyada en fazla enerji tüketimi gerçekleştiren ülkeler Çin, ABD ve Hindistan olarak sıralanmış olup doğaya da en fazla CO<sub>2</sub> emisyonu yayılımında yine bu ülkeler başta gelmektedir. Dünyada 2015 yılı toplam nüfus 7334 milyonu aşmakta iken kişi başına düşen enerji tüketimi 1,9 TEP, elektrik enerjisi tüketimi ise 3052 kWh olarak hesaplanmıştır. En fazla elektrik enerjisi tüketimi gerçekleştiren ülkeler ise sırasıyla Çin, ABD, Japonya ve Rusya’dır (“World Bank”, 2016; “International Energy Agency”, t.y.).

Yüzölçümü ve nüfus bakımından ülkemiz dünya ülkeleri ile kıyaslandığında önemli bir konumdadır. Nüfusumuz yaklaşık 79,51 milyonu aşmaktadır. 2016 yılı verilerine göre

Türkiye'nin gayri safi yurt içi hasıla miktarı 857,7 milyar dolar, kişi başına düşen milli gelir tutarı ise 10787 \$ dolaylarındadır. 2016 yılında Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimi 209,22 TWh miktarında gerçekleştirilmiş olup kişi başına gerçekleşen net elektrik tüketimi ise 2761 kWh'dir ("World Bank", 2016; "International Energy Agency", t.y.).

**Tablo 1.1:** 2016 yılı dünya ve ülkelerinde enerji göstergeleri ("World Bank", 2016; "International Energy Agency", t.y.).

Ülke	Nüfus (milyon)	Elektrik Tüketimi (TWh)	CO <sub>2</sub> Emisyonu (milyon ton)	Kişi Başına Enerji Tüketimi (TEP)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh)
Çin	1379,2	5593	908,1	2,21	4057
Hindistan	1311,1	1126,5	2066	0,62	859
ABD	321,7	4128,5	4997,5	6,92	128333,25
Rusya	144,096	983,42	1543,12	5,11	6562
Japonya	127,141	998,7	1141,6	3,57	7865
Kanada	35,9	544,5	549,2	7,2	15188
Türkiye	79,51	209,22	317,2	1,54	2761
Dünya	7334	22386	32294	1,9	3052

## 1.2 Isı Yalıtımı

Isı, iki sistem arasında veya sistemle çevresi arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji geçişidir ve termodinamiğin ikinci yasası ısının azalan sıcaklık yönünde transfer edilmesini gerektirmektedir (Pınarbaşı, 2011; Tanyıldızı, 2012). Yaz ve kış aylarındaki sıcaklık farkları insanların ısı konforlu bir hayat sürdürmeleri için engeldir. Yaz aylarında serinlemek kış aylarında ise ısınmak için harcanan enerjiyi azaltarak konforlu yaşam sağlanabilir. Yapılarda ve tesisatlarda ısının etkin kullanılması amacıyla sıcaklıkları farklı iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere ısı yalıtımı denir. Isı yalıtımı uygulamalarıyla enerjinin etkin kullanılması konforlu bir yaşam dışında binaların yakıt ihtiyacını azaltacağından yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan sera gazlarının azaltılması ile çevresel sorunların önlenmesi açısından önemlidir. Isı yalıtımı uygulamada duvar, çatı, döşeme, cam, doğrama, ısıtma tesisatı, soğutma tesisatı ve havalandırma tesisatlarına uygulanmaktadır ("İzoder", t.y.).

1970 yılında yürürlüğe giren “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı” ile ülkemizde ısı yalıtımı ile ilgili çalışmalar başlamıştır. Bu standart 1998 yılında revize edilmiştir. 1981 yılında “Isı Yalıtım Yönetmeliği” yayımlanmış olup iklim bölgelerine göre ısı iletim katsayılarına sınırlama getirilmiş ve 1985 yılında güncellenmiştir. Binalarda ısı yalıtımı yapılması zorunluluğu 08.05.2000 tarihli “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” ile başlamış olup güncellenerek 09.10.2008 tarihinde 27019 sayılı Resmî Gazete’ de yayınlanmıştır. 02.05.2007 tarih ve 26510 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğü giren “5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu” enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması konularını hedeflemiştir. Enerji Verimliliği Kanunu sonrası Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” 05.12.2008 tarih ve 27075 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanmış ve 1 yıl sonra yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile birlikte “Enerji Kimlik Belgesi” uygulamaya girmiştir (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008; TS 825, 2013).

### **1.3 Isı Yalıtımının Önemi ve Faydaları**

Isı yalıtımı özellikle binalar için önem teşkil etmektedir. Binalarda kullanılan enerjinin %75’inden fazlasının bina ısıtma ve soğutma uygulamalarına kullanıldığı düşünüldüğünde ısı yalıtımı ile birlikte önemli enerji tasarrufları sağlanmaktadır. Binalarda yapılan yalıtım ile kazan kapasiteleri ve tesisatta kullanılan boru çapları düşmektedir. Isı yalıtımı ile yakıt tasarrufu da sağlanmış olur. Ülkemizin enerji konusunda yurt dışına bağımlı olduğu düşünüldüğünde yalıtım uygulaması ülke ekonomisi anlamında da önemlidir (Şişman, 2005). Isı yalıtımının genel olarak faydaları şunlardır.

- Isıtma ve soğutma ihtiyacının giderek arttığı ülkemizde enerjinin etkin kullanımı çok önemlidir. Isı yalıtımı uygulamalarıyla yaklaşık %50 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (“İzoder”, t.y.).
- Günümüzde fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan sera gazlarının etkisi olarak ortaya çıkan küresel ısınma, önemli bir problem teşkil etmektedir. Dünyanın enerji ihtiyacının %60’ından fazlasının fosil yakıtlar kullanılarak elde edildiği düşünüldüğünde ısı yalıtımı uygulamalarıyla yakıt tüketiminin azalması çevre kirliliği ve küresel ısınmanın önlenmesine katkı sağlamaktadır (“İzoder”, t.y.).

- Isı yalıtımı ile binalarda meydana gelebilecek küflenme, rutubet gibi problemler ortadan kaldırılarak ısı konfor sağlanabilir. Ayrıca ısı yalıtımı ile ortamda dengeli bir ısı dağılımının sağlanması oluşabilecek hastalıkların engellenmesini sağlar (“Gnyapı”, t.y. a).
- Isı yalıtımı binalarda korozyonun oluşmasını engeller ve bu sebeple binaların yapısal bileşenlerinin korunmasıyla deprem güvenliğinin ve bina ömrünün artmasını sağlar (“Gnyapı”, t.y. a).
- Isı yalıtımı ile dışarıdan gelebilecek gürültülerden ortamın korunması sağlanabilmektedir (Gençer, 2015).
- Isı yalıtımının uygulanmasıyla eskimiş binalarda estetik bir görünüm sağlanabilir (Bektaş, Çerçevik ve Kandemir, 2017).
- Isı yalıtımı tesisat sistemini korur ve tesisatta kullanılan malzemelerin azalmasını sağlayarak odaların kullanım alanlarını artırır (Şen, 2006).
- Sektörde yatırımların artması işsizliği azaltıcı bir etkidir (Şen, 2006).

#### 1.4 Isı Yalıtımıyla İlgili Temel Terimler

**Isı İletim Katsayısı:** Isı iletim katsayısı malzemeleri kapsayan bir özelliktir ve 1 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip 1 m kalınlığındaki malzemenin karşılıklı yüzeyleri arasında 1°C sıcaklık farkı olmasıyla transfer olan ısı miktarıdır ve sembolü ( $\lambda$ ) ve birimi (W/mK)’ dir (Karakoç, Turhan, Binyıldız ve Yıldırım, 2011).

**Isı Geçirgenlik Direnci:** Isıl geçirgenliğin matematiksel olarak tersidir. Belirli d (m) kalınlığında bir cismin iki yüzü arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğu zaman, birim yüzeyin ısı transferine gösterdiği direnç olup sembolü ( $1/\Lambda$ ), birimi (m<sup>2</sup>K/W) ve formülü (1.1) eşitliğidir (Karakoç ve diğerleri, 2011).

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

**Isı Geçirme Katsayısı:** Belirli bir d (m) kalınlığındaki yapı elemanlarının iki yüzündeki hava sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olduğunda yapı elemanının 1 m<sup>2</sup> yüzeyinden 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Isı geçirme katsayısı, ısı iletim katsayısına ve ısı geçiş yönündeki kalınlığa bağlıdır. Sembolü (U), birimi (W/m<sup>2</sup>K)’dir. Literatürlerin bazılarında “k” olarak gösterilmektedir (Karakoç ve diğerleri, 2011).

Isı Geçirme Direnci: Isı geçirme katsayısının matematiksel olarak tersidir. Sembolü (1/U), birimi (m<sup>2</sup>K/W) ve formülü (1.2) eşitliğidir (Karakoç ve diğerleri, 2011).

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

Isıl Geçirgenlik: Bir yapı bileşeninin karşılıklı iki yüzeyinin arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğunda birim zamanda birim kalınlıkta ve birim alanda yüzeylere dik gelen ısı miktarıdır. Sembolü ( $\Lambda$ ) ve birimi (W/m<sup>2</sup>K)'dir (Karakoç ve diğerleri, 2011).

Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısı: Sıcaklık farkının 1°C olması durumunda 1 m<sup>2</sup> alanında bir malzeme yüzeyinden, temas edilen havaya veya havadan malzemeye geçen ısı miktarıdır. Sembolü ( $\alpha$ ) ve birimi (W/m<sup>2</sup>K)'dir ("Gnyapı", t.y. b).

Yüzeysel Isı Taşınım Direnci: Yüzeysel ısı transfer katsayısının matematik olarak tersidir. (1/ $\alpha$ ) sembolü ile gösterilir ve birimi (m<sup>2</sup>K/W)'dir ("Gnyapı", t.y. b).

Bağıl Nem: Havanın içerdiği su buharı miktarının aynı sıcaklıktaki havanın içinde bulunabilecek en fazla su buharı miktarına oranıdır ve ( $\phi$ ) sembolü ile gösterilir. Bağıl nem 0 ile 1 arasında bir değerdir ve sıcaklığa bağlı olarak değişir (Pınarbaşı, 2011.s.720).

Çiğ Noktası Sıcaklığı: Havanın sabit basınçta soğutulduğunda yoğuşmanın başladığı sıcaklık olarak tanımlanır. Bazı literatürlerde terleme sıcaklığı olarak da bilinmektedir. Doymuş havaya ait çiğ noktası sıcaklığı ile kuru termometre sıcaklığı birbirine eşittir (Pınarbaşı, 2011.s.722).

Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü: Herhangi bir malzemenin durgun havaya kıyasla ne kadar fazla su buharı geçişine direnç sağladığının göstergesidir ve ( $\mu$ ) sembolü ile ifade edilir. Malzemelere ait bir özelliktir ve değeri 1 ile  $\infty$  arasında değişir (TSE 825, 2013).

Su Buharı Difüzyonu Eş Değer Hava Tabakası Kalınlığı: Bir yapı elemanının su buharı geçişine karşı gösterdiği dirence eşdeğer direnci gösteren hareketsiz hava tabakasının kalınlığı olarak ifade edilir. Su buharı difüzyon direnç faktörü ile malzeme kalınlığının çarpılmasıyla elde edilir. Sembolü (Sd), birimi (m) ve formülü ise (1.3) eşitliğidir (TSE 825, 2013).

$$Sd = \mu \times d \quad (1.3)$$

Yoğuşma: Bağlı nemin ve sıcaklığın farklı olması yapı elemanlarının buhar basınçlarının farklı olmasına neden olur. Buhar basınçlarının farklılığı sonucu su buharı ısı akımı ile aynı yönde hareket eder ve yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin arasından geçerken su buharının gaz halinden sıvı hale geçmesine yoğuşma denir (TSE 825, 2013).

### **1.5 Isı Yalıtım Malzemelerinde Beklenen Performans Özellikleri**

Isı yalıtımında kullanılan malzemeler; bina yalıtımı (çatı, duvar, döşeme), tesisat yalıtımı (ısıtma tesisatı, sıhhi tesisat, sanayi tesisat yalıtımı) gibi alanlarda kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri kullanıldığında istenilen performansı sağlamak için çeşitli temel özellikleri bulundurması gereklidir. İyi bir seçim yapabilmek için bu temel özellikleri bilmek önem taşımaktadır. Isı yalıtım malzemelerinden istenen özellikler aşağıda açıklanmıştır (Karakoç ve diğerleri, 2011).

Isı İletim Katsayısının Düşük Olması: Isı yalıtım malzemeleri için önemli özelliklerdendir. Düşük ısı iletkenliğe sahip malzemenin seçimi tasarrufun sağlanması açısından önemlidir. Düşük ısı iletkenlik, yüksek ısı direnç sağlamaktadır (“Gnyapı”, t.y. a).

Malzemenin Yoğunluğu: Maddenin birim hacimdeki kütlesi olan yoğunluğun düşük olması ısı yalıtımı açısından önemlidir (Çağlar, 2011).

Mekanik Dayanım: Isı yalıtım malzemelerinde mekanik dayanım malzemedeki %10 deformasyon oluşturan basma gerilmesi değeridir (“Yapısal Yalıtım”, t.y.). Isı yalıtım malzemeleri genellikle mekanik açıdan zayıf oldukları için yalıtımın üzerine koruyucu tabaka örtülmektedir (“Gnyapı”, t.y. a).

Difüzyona Karşı Direnç: Isı yalıtım malzemesinin kullanılacağı ortama göre buhar difüzyon direncinin hangi seviyede olması gerektiği belirlenmektedir. Buhar difüzyon direncinin yüksek olması malzemedeki geçen su buharı miktarını azalttığı için malzeme seçiminde genellikle buhar difüzyon direncinin yüksek olduğu malzemeler tercih edilmektedir (Ülker, 2009).



Boyutsal Kararlılık: Isı yalıtım malzemeleri farklı dış etkenler karşısında hacim ve şekil değiştirmemelidir. Islandığında şişen ya da üzerine basıldığında ezilen malzemelerin ısı özellikleri olumsuz etkilenmektedir (Karakoç ve diğerleri, 2011).

Kimyasal Etkenlere Dayanımlı: Isı yalıtım malzemeleri çeşitli ortamlarda kimyasal etkilere maruz kalabilmekte ve bu kimyasal etkiler sonucu malzemenin yapısında zarar meydana gelebilmektedir. Isı yalıtım malzemelerinin özelliğini kaybetmemesi ve dayanıklı olması istenmektedir (Ülker, 2009).

Yanmazlık ve Alev Geçirmezlik: Her malzemenin kendine özgü kullanım sıcaklığı vardır. Isı yalıtım malzemelerinin hangi sıcaklıklar arasında kullanılacağı belirtilmeli ve elde edildiği yan ürünlerin de alev ve yanmaya karşı dirençli olması gerekmektedir (Sapan, 2017).

Uzun Ömürlülük ve Ekonomiklik: Isı yalıtım malzemeleri kullanıldığı binaların ömrü ile eş zamanlı dayanıma sahip olmalı ve uzun zaman süresince etkisini göstermelidir (Akıncı, 2007). Isı yalıtımı ile enerji kayıpları engellenmektedir ancak ısı yalıtım malzemelerinden istenilen özelliklerin artması maliyeti artırmaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin uygun fiyatlı olması ve en uygun yalıtım kalınlığında kullanılması maliyetin azaltılması açısından önemlidir (Ülker, 2009).

Parazitlere ve Çürümeye Dayanıklık: Parazit, böcek gibi canlılar ısı yalıtım malzemelerinin iç yapısında zarara neden olabilmektedir. Bu tür ısı yalıtım malzemesinin etkinliğini azaltacak canlılar bulundurulmamalıdır (Akıncı, 2007). Isı yalıtım malzemeleri kimyasal ve fiziksel etkiler karşısında çürümeye ve yıpranmaya karşı dayanımlı olmalıdır. Bu şekilde kullanım sürekliliği sağlanır ve daha az fazladan masrafların çıkması engellenmiş olur (Sapan, 2017).

İnsan Sağlığına ve Çevreye Zararsız Olmalı: Isı yalıtım malzemelerinin yapısı gereği oluşan tozların solunması, solunum ve kanser hastalıklarına neden olabilmektedir. Isı yalıtım malzemeleri ile temas edildiğinde gerekli tedbirler alınmalı ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olmaması sağlanmalıdır. Isı yalıtım malzemeleri kullanılırken çevreye karşı zararlı etkiler barındırmaması gereklidir (“Gnyapı”, t.y. a).

## 1.6 Isı Yalıtım Malzemeleri

Malzemeler, ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletkenlik katsayısı ( $\lambda$ ) 0,065 W/mK' den büyük olması durumunda yapı malzemesi, küçük olması durumunda ise ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanmaktadır (İnşaat Mühendisleri Odası Yapı Malzemeleri Komisyonu, 2015).

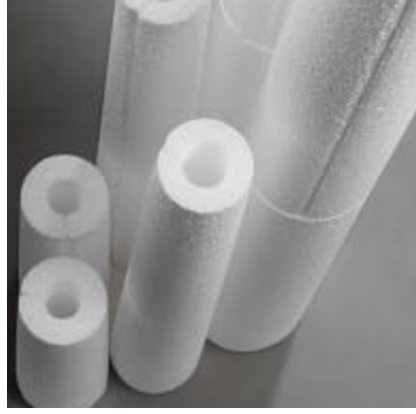
Ekstrude polistren köpük (XPS): XPS, hücre yapısı homojen olan ve ısı yalıtımı yapmak amacıyla üretilen ve kullanılan köpük malzemelerdir. Teknik olarak ele alındığında, XPS malzemesinin yoğunluğu 25-50 kg/m<sup>3</sup>, basınç mukavemet değerleri 100-500 kPa arasında ve ısı iletkenliği 0,030, 0,040, 0,045 W/mK gruplarında üretilir. Su buharı difüzyon direnç değeri 50-250 ve kullanım sıcaklıkları -50 / +75 °C arasındadır. XPS malzemesinin kireç, çimento alçı, bitüm gibi malzemelere karşı dayanıklılığı vardır ancak yakıt, katran ürünleri, cila ve solvent bazlı çözücülere karşı dayanımını iyi değildir. Yangın sınıflandırması açısından ele alındığında TS EN 13501-1'e göre E sınıfındadır ("XPS Türkiye", t.y.). Şekil 1.2'de XPS yalıtım malzemesi örneği verilmiştir.



**Şekil 1.2:** XPS yalıtım malzemesi ("Tesisat Bilgi ve Haber Portalı", 2016).

Ekspanse polistren köpük (EPS): EPS, polistren taneciklerinin şişirilmesi ve birbiriyle kaynaşması sonucu meydana gelen ve köpük halde kapalı gözenekli termoplastik bir malzemedir. Köpük oluşumu ve taneciklerin şişirilmesi için şişirici gaz olarak organik bir bileşen olan pentan kullanılmaktadır. EPS malzemesi üstün mekanik dayanıma sahiptir ve şişirici gazın kısa kürede hava ile yer değiştirmesi sayesinde malzemenin özellikleri kullanıldığı süre boyunca değişmemektedir. Isı yalıtımı amaçlı kullanımda yoğunluk 15-30 kg/m<sup>3</sup>, ısı iletkenlik değeri 0,032-0,040 W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu = 20-100$ , kullanım sıcaklığı -50 / +75 °C, hacimce su emme %1-5, basma dayanımı 50-500 kPa arasında değişmektedir. EPS malzemesinin asit ve baz kimyasallara karşı dayanıklılığı vardır

ancak baca gazları, metan grubu gazları, benzin grubu, eter, ester, amin grubu kimyasallara karşı dayanımını iyi değildir. Yangın sınıflandırması açısından ele alındığında TS EN 13501-1'e göre E sınıfındadır ("EPS Sanayi Derneği", t.y.). Şekil 1.3'te EPS yalıtım malzemesi örneği verilmiştir.



**Şekil 1.3:** EPS yalıtım malzemesi ("Tesisat Bilgi ve Haber Portalı", 2016).

Taş yünü: Hammaddesi inorganik olan bazalt, diabez gibi taşların 1350-1400 °C sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşan ısı, ses ve yangın yalıtımında kullanılan bir malzemesidir. Kullanım durumuna göre şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilmektedir. Yoğunluk değeri 20-200 kg/m<sup>3</sup>, ısı iletim katsayısı 0,035-0,040 W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu = 1$ , kullanım sıcaklığı -50 / +600, -60/+650 °C, hacimce su emme %2,5-10, basma dayanımı 0,5-500 kPa arasında değişmektedir. Sıcaklık ve rutubet gibi etkilere karşı boyutsal değişimi olmamasının yanında çürüme, küf tutma, korozyon ve paslanma da görülmez. Higroskopik ve kapiler özellik göstermemektedir. TS EN 13501-1 standartlarına göre A1 yanmaz malzemeler sınıfındadır ("İzocam", t.y.). Şekil 1.4'te taş yünü yalıtım malzemesi örneği verilmiştir.



**Şekil 1.4:** Taş yünü yalıtım malzemesi (“Tesisat Bilgi ve Haber Portalı”, 2016).

Cam yünü: Silis kumu kireçtaşı, rafine boraks, sodyum karbonat ve sodyum sülfatın yüksek sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesiyle oluşan açık hücreli yalıtım malzemesidir. Kullanım durumuna göre şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilmektedir. Teknik olarak incelendiğinde yoğunluk değeri  $10-120 \text{ kg/m}^3$ , ısı iletim katsayısı  $0,040 \text{ W/mK}$ , kullanım sıcaklığı  $-50/ +250 \text{ }^\circ\text{C}$ , hacimce su emme  $\%3-10$  arasında değişmekte ve su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu = 1'$  dir. Basma, çekme ve kopma dayanımı lifli yapının yüzeye paralel olmasından dolayı düşüktür. Kimyasal olarak hidroflorik asit haricinde asitlerden etkilenmemektedir. Higroskopik ve kapiler özellik göstermemektedir. TS EN 13501-1 standartlarına göre A1 yanmaz malzemeler sınıfındadır (Ülker, 2009). Şekil 1.5'te cam yünü yalıtım malzemesi örneği verilmiştir.



**Şekil 1.5:** Cam yünü yalıtım malzemesi (ODE Yalıtım, 2019).

Poliüretan sert köpük (PUR): Poliüretan, poliöl ve izosiyonat kimyasal maddelerinin reaksiyonu sonucu oluşan homojen ve sert bir malzemedir. Uygulamada sprey enjeksiyon, döküm tekniği ile yerinde ya da ön üretimli olarak kullanılır. Teknik olarak incelendiğinde yoğunluk değeri  $30-200 \text{ kg/m}^3$ , ısı iletim katsayısı  $0,025-0,040 \text{ W/mK}$ , kullanım sıcaklığı -

200 / +140 °C, hacimce su emme en fazla %3 ve su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu = 30-100$  arasındaki değerlerdedir. Poliüretan malzemeler, basınca dayanıklı, su geçirmez, nemden etkilenmez ve ses yalıtımı sağlar. Kimyasal olarak hafif asitlere, benzine, mazota, alkalilere ve deniz suyuna karşı dayanıklıdır (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, 2007).

Polietilen köpüğü (PEF): Ekstrüzyon yöntemi kullanılarak boru ve levha biçiminde üretilen polietilen esaslı malzemelerdir. Alüminyum folyo kaplamalı ve alüminyum folyo kaplamasız olarak üretilmektedir. Teknik olarak bakıldığında kullanım sıcaklığı -80/+95 °C, 10 °C' deki ortalama ısıl iletkenlik değeri 0,035-0,050 W/mK arasındadır. Su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu \geq 1000$  ve yangına tepki sınıfı ise E veya F'dir. Şekil 1.6'da polietilen köpüğü yalıtım malzemesi örneği verilmiştir (ODE Yalıtım, 2019).



**Şekil 1.6:** Polietilen köpüğü yalıtım malzemesi (ODE Yalıtım, 2019).

Fenol köpüğü (PF): Fenol-formaldehit bakalitine anorganik şişirici ve sertleştirici maddelerin eklenmesi aracılığıyla çeşitli yoğunluklarda elde edilebilen malzemedir. Sert, kırılğan, ufak gözenekli bir yapıya sahip olan fenol köpüğü levhaları genellikle açık gözeneklidir (Karakoç, Turhan, Binyıldız ve Yıldırım, 2011). Teknik olarak incelendiğinde düşük yoğunlukta 30-60 kg/m<sup>3</sup>, yüksek yoğunlukta 80-120 kg/m<sup>3</sup> olabilmektedir. Isı iletim katsayısı ise düşük yoğunluk için 0,018-0,031 W/mK, yüksek yoğunluk için 0,024-0,032 W/mK arasındadır. Sıcaklığın 150 °C' yi geçmiş olması durumunda deforme olur ve özelliğini kaybeder. Potasyum ve yoğun asitli kimyasallara karşı dayanımı azdır. Küflenmez ve kapiler özelliktedir. Yangın dayanımı sınıflandırmasına göre B1 zor alevlenici malzemelerdendir (Ülker, 2009).

Cam köpüğü: Dolgu malzemesi ile birleştirilmiş atık cam kırıklarından oluşmaktadır. Bu bileşenler bir kaptan ısıtılır, daha sonra malzemenin ayrışması sonucunda karışım genişleyen kabı doldurur ve çeşitli yoğunluklarda (100-150 kg/m<sup>3</sup>) cam köpüğü elde edilir. Isıl iletkenlik değeri 0,045-0,060 W/mK ve kullanım sıcaklığı -260/+430 °C, basma dayanımı 430-8800 kPa arasında olup su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu = \infty$  dur. Çürüme, küflenme gibi etkiler görülmez ve A sınıfı yanmaz malzemedir (İzoder, 2014).

Genleştirilmiş perlit: İnci taşı anlamına gelen perlitin hammaddesi camsı bir volkanik kayadır. Perlitin kırılarak çeşitli işlemlerden geçirilmesi sonucu tane hacmi 35 katına çıkar ve bu haldeki malzeme genleştirilmiş perlitir. Perlitin gözenekli bir yapıya sahip olması yalıtım malzemesi olmasını sağlamıştır. Yoğunluğu 32-200 kg/m<sup>3</sup>, ısı iletim katsayısı ise yoğunluğa bağlı olarak 0,040-0,052 W/mK arasında değişmektedir. Kimyasal olarak kararlı yapıya sahiptir ve çürüme, bozuşma gibi özellikler göstermez. İçinde katkı maddesi bulunmayan dökme perlit kapiler özellik gösterir. Yanma özelliği açısından değerlendirildiğinde A sınıfı yanmaz malzemedir (Karakoç ve diğerleri, 2011).

Genleştirilmiş mantar levhalar: Ağaçlardan soyulan mantarın granül haline getirilmesi ve granüllerin çeşitli işlemlerden geçtikten sonra soğutulması sonucu elde edilmektedir. İstenilen kalınlıkta kesilerek çeşitli yoğunlukta (80-500 kg/m<sup>3</sup>) mantar levhalar elde edilebilir. Isıl iletkenlik değeri 0,045-0,055 W/mK, su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu = 5-10$ , kullanım sıcaklığı ise -180/+100 °C arasında ve yangına tepki açısından sınıflandırıldığında ise E sınıfındadır (İzoder, 2014).

Ahşap lifli levhalar: Ladin, köknar gibi ağaç yongalarının çeşitli katkı maddeleri ile birlikte işlemlerden geçirilmesi sonucu değişik yoğunluklarda (110-450 kg/m<sup>3</sup>) üretilmektedir. Isıl iletkenlik değeri 0,035-0,070 W/mK, basma dayanımı 5-150 kPa, su buharı difüzyon direnç faktörü  $\mu = 5$  olup yangına tepki sınıfı E olan bir malzemedir (İzoder, 2014).

Seramik yünü: Lifli bir yapıda olup taş yününün kullanılmadığı yüksek sıcaklıklarda kullanılan bir malzemedir. Rulo, levha, dökme gibi çeşitli şekillerde bulunabilen yumuşak bir malzemedir. Yoğunluğu 100-150 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Isıl iletkenlik hesap değeri 0,035-0,040 W/mK'dir. A sınıfı yanmaz malzeme olup kimyasal olarak hidroflorik asit ve fosforik asit haricinde asitlere dayanıklıdır (İzoder, 2014). Şekil 1.7'de seramik yünü yalıtım malzemesi örneği verilmiştir.



**Şekil 1.7:** Seramik yünü yalıtım malzemesi (ODE Yalıtım, 2019).

Çeşitli yalıtım malzemelerine ait maksimum dayanım sıcaklıkları Tablo 1.2’de verildiği gibidir.

**Tablo 1.2:** Tesisat yalıtımında kullanılan bazı yalıtım malzemelerinin maksimum dayanım sıcaklıkları (Buyruk, 2014).

Yalıtım Malzemesi	Maksimum Dayanım Sıcaklığı (°C)
Seramik yünü	1800
Taş yünü	750
Cam köpüğü	430
Cam yünü	250
Poliüretan köpük	110
Kauçuk köpüğü	116
Polietilen köpük	100
Ekspande polistiren	80
Ekstrüde polistiren	80

### 1.7 Literatür Taraması

Literatürde ısı yalıtımı ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Irgat (2009) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, Kütahya’daki binalarda ısıtma için farklı enerji kaynakları (doğalgaz, ithal kömür ve Seyitömer kömürü) kullanmış farklı ısı yalıtım malzemeleri için (XPS, EPS) optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini derece-gün yöntemine göre hesaplamıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesabını, ömür maliyet analizine göre yapmış olup hesaplamalarda 2 adet dıştan yalıtımlı (delikli tuğla

ve ytong kullanılan) ve diğesinde sandviç duvar olmak üzere 3 farklı duvar modeli baz alınmıştır. Enerji kaynağı olarak doğalgaz kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi sırasıyla sandviç duvar için; 0,060 m, %57 ve 1,8 yıl, ytong ile yapılmış dıştan yalıtılmış duvar için 0,054 m, %46 ve 2,2 yıl olarak elde edilmiştir. Enerji kaynağı olarak ithal kömür kullanıldığında ise; sandviç duvar için, 0,072 m, %60 ve 1,6 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için 0,074 m, %62 ve 1,6 yıl, ytong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için 0,068 m, %53 ve 1,9 yıl olarak elde edilmiştir. Enerji kaynağı olarak Seyitömer kömürü kullanıldığında ise; sandviç duvar için, 0,046 m, %47 ve 2,1 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için 0,047 m, %50 ve 2 yıl, ytong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için 0,042 m, %40 ve 2,6 yıl olarak elde edilmiştir. Ayrıca Kütahya'daki doğalgaz kullanan yaklaşık 2600 konutta optimum yalıtım kalınlığı uygulaması yapılması halinde 1 yılda yaklaşık 3.106 TL'lik bir tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.

Öztuna ve Dereli (2009) yaptığı çalışmada ömür maliyet analizi kullanarak Edirne ili için yerli ve ithal kömür, doğalgaz, LPG, elektrik, fuel-oil olmak üzere 6 farklı yakıt kullanmıştır. Bina dış duvarına EPS ve taş yünü ile sandviç duvar da EPS yalıtım malzemesi kullanmış ve optimum yalıtım kalınlıklarını derece-gün sayısı esas alarak hesaplanmıştır. En iyi sonucun yakıt olarak yerli kömür ve yalıtım malzemesi olarak EPS olduğu ve optimum yalıtım kalınlığı 0,028-0,039 m, geri ödeme süreleri 2,1-4,2 yıl, enerji tasarrufu ise %27-%47 olduğu elde edilmiştir.

Daşdemir (2011) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, ısıtma ve soğutma uygulamalarında optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve baca gazı emisyonlarına etkisini incelenmiştir. Çalışmasında I. ve II. Isı bölgesinden seçilen Adana, Adıyaman, Antalya, Aydın, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Hatay, İzmir, Kahramanmaraş, Kilis, Manisa, Mardin, Mersin, Siirt ve Şanlıurfa illeri için, sandviç ve dıştan yalıtımlı iki farklı duvar konstrüksiyonu, yalıtım malzemesi olarak taş yünü, genleştirilmiş polistiren (EPS) ve sıkıştırılmış polistiren (XPS); yakıt olarak doğalgaz, kömür ve elektrik kullanmış hesaplamaları ise derece-saat ve ömür maliyet analizine göre belirlemiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ısıtma ve soğutma uygulamalarında, IDS (ısıtma derece-saat) ve SDS (soğutma derece-saat) değerlerine bağlı olarak, optimum yalıtım kalınlığı, maksimum yıllık kazanç, minimum geri ödeme süresi, minimum baca gazı emisyonu, sandviç duvarda, yalıtım malzemesi olarak XPS, yakıt olarak doğalgaz kullanımı durumunda gerçekleştiğini hesaplamıştır.



Gürel ve Daşdemir (2011) yaptıkları çalışmada Türkiye'nin farklı dört iklim bölgelerinde olan Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas şehirlerinde ısıtma ve soğutma yükleri için oluşan optimum yalıtım kalınlıklarını ve enerji tasarruflarını hesaplamışlardır. Dış duvarda yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS seçilmiş olup yakıt olarak ısıtma için doğal gaz, soğutma için elektrik kullanılmıştır. Çalışmada P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> maliyet analiz yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar yalıtım malzemesi ve seçilen ile bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 0,036 ve 0,1 m arasında, enerji tasarruflarının 12,08 TL/m<sup>2</sup> ve 58,28 TL/m<sup>2</sup> arasında ve geri ödeme sürelerinin 1,5 ve 2,52 yıl arasında değiştiği gösterilmiştir.

Kaynaklı (2013) yaptığı çalışmada Türkiye'deki şehirlerin dış duvarlarında optimum ısı yalıtım kalınlığını, tasarruf miktarlarını ve geri ödeme sürelerini ısıtma derece-gün ve soğutma derece-gün değerlerini kullanılarak hesaplamıştır. Hesaplamalarda ömür maliyet analizi 20 yıllık süre için yapılmış olup sadece ısıtma enerjisi için optimum yalıtım kalınlığı 4,7 ile 16,6 cm arasında, sadece soğutma enerjisi için optimum yalıtım kalınlığı 0 ile 3,8 cm arasında olduğu görülmüştür. Isıtma ve soğutma toplam enerji ihtiyacı göz önüne alındığında optimum yalıtım kalınlığı 5,7 ile 16,6 arasında, yalıtımın geri ödeme süresinin ise 3,85 ile 16,25 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Fırat (2013) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Erzincan ilindeki binalarda ısı yalıtım uygulamalarının enerji tasarrufuna etkisi ve ekonomik analizini incelemiştir. Çalışmada Erzincan ilindeki ısı transfer yüzey alanının %31,36'sının 4 cm XPS ile yalıtımlı olduğu geriye kalan %68,64'ünün yalıtımsız olduğu ve bu şekilde yıllık toplam ısıtma maliyetinin 163 084 334,38 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Bütün binaların 4 cm XPS ile yalıtılması durumunda toplam yıllık ısıtma maliyetinin 85 380 229,75 TL/yıl değerine düşeceği ve %39,13 lük bir tasarruf elde edildiği belirlenmiştir. Yalıtım kalınlığının 5 cm ve 8 cm olması durumunda ise toplam yıllık ısıtma maliyetinde tasarruf sırasıyla %41,30 ve %43,71 olduğu hesaplanmıştır.

Sapan (2017) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Erzurum ili için yalıtım kalınlıklarının enerji, ekonomik ve çevresel analizi hesaplanmıştır. Hesaplamada 2008 yılı TS 825 Standardı kullanılmış olup XPS, EPS ve cam yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 13,8 cm, 14,6 cm ve 15,8 cm asgari yalıtım kalınlıkları elde edilmiştir. Bu değerleri Erzurum'da uygulanan 5 cm yalıtım kalınlığı ile kıyaslayarak yıllık ısıtma enerjisi ve CO<sub>2</sub> salınımı

açısından %35-38 daha düşük değerler elde etmiş ve yaklaşık %7,2 daha fazla tasarruf sağladığı hesaplanmıştır.

Işık ve Tuğan (2017) yaptıkları çalışmada Tunceli, Hakkâri ve Kars illeri için derece-gün (DG) yöntemi kullanarak dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını incelemişlerdir. Çalışmada ömür maliyet analiz metodu kullanılarak 10 yıllık ömür süresi için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Tunceli, Hakkâri ve Kars için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 7,9 cm, 8,2 cm, 10,4 cm olarak bulunmuştur.

Aydın ve Bıyıkoglu (2019) yaptıkları çalışmada Türkiye'deki konut tipi binaların ısıtma etkisi altında optimum yalıtım kalınlıklarını ömür maliyet analiz yöntemi kullanarak belirlemişlerdir. Hesaplamalarda binaların yıllık ısıtma enerji ihtiyacı için TS 825 ısı yalıtım standartları kullanılmış, yalıtım malzemesi olarak; tavanda cam yünü, tabanda XPS ve dış duvarlarda EPS ve yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. 30 yıllık kullanım ömrü için iklim bölgelerine göre; dış duvar için 8,1 cm ile 16,4 cm (0,38-0,20 W/m<sup>2</sup>K), tavan için 14,2 cm ile 26,8 cm (0,29-0,16 W/m<sup>2</sup>K), zemin için 5,0 ile 9,8 cm (0,57-0,32 W/m<sup>2</sup>K) arasında hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları kullanılarak ülke genelinde bölgelere göre %10,08 ile %18,88 arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Altun (2018) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, Çanakkale ilinde bulunan örnek bir bina için farklı yalıtım malzeme türleri kullanmış ve hesaplamalarda TS 825 ısı yalıtım standartları kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda dış duvarlarda 6 cm taş yünü, toprağa temas eden yüzeylerde 6 cm XPS (Haddelenmiş polistren köpüğü) ve çatı arasında 12 cm cam yünü olarak bulunmuştur. Optimum kalınlıktaki yalıtım malzemesi ile yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda geri ödeme süresi yaklaşık 4,34 yıl olarak hesaplanmıştır.

Öztürk, Karabay ve Bilgen (2006) yaptıkları çalışmada, sıcak su boru sistemlerinin tasarımı için dört optimizasyon yöntemi incelemişler ve aynı şartlar altında karşılaştırmışlardır. Çalışmada maliyetin minimize edilmesine dayanan optimizasyon yönteminin en iyi yöntem olmadığı ancak en basit olduğu, ekserji ve maliyet parametrelerinin kullanıldığı dördüncü yöntemin kullanılabilirlik açısından önerildiği belirtilmiştir. Ayrıca ısı transferinden kaynaklanan ekserji tahribatında dikkatlice değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Başıoğul ve Keçebaş (2011) yaptıkları çalışmada Afyonkarahisar ilinin ısıtma yuklerine dayalı bölgesel ısıtma boru sistemlerinin ekonomik ve çevresel etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada yakıt olarak; kömür, doğal gaz, fuel-oil, LPG ve jeotermal enerji ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı, 10 yıllık ömür boyunca enerji tasarrufu, geri ödeme süresi ve CO<sub>2</sub>, CO ve SO<sub>2</sub> emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 0,085-0,259 m, enerji tasarrufunun 10,041-231,200 \$/m ve geri ödeme sürelerinin ise 0,366-0,804 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır. Ayrıca jeotermal enerjinin ekonomik ve çevresel açıdan iyi seçim olduğu ve ısı yalıtımı yapıldığında atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarında %21 azalma olacağı hesaplanmıştır.

Yavuz ve Atik (2011) yaptıkları çalışmada, Visual Basic 6.0 kodlarında bir program kullanarak sıcak sulu ısıtma sistemlerinde çeşitli boru türlerine göre yalıtımlı ve yalıtımsız optimum boru çapı değerlerini incelemişlerdir. Çalışmada siyah boru için en iyi maliyet 0,000195 TL/kW ile 102 mm çapta ve 15 mm yalıtım kalınlığında, galvinezli boru için en iyi maliyet 0,000206 TL/kW ile 109 mm çapta ve 18 mm yalıtım kalınlığında, paslanmaz elik boru için en iyi maliyet 0,000192 TL/kW ile 96 mm çapta ve 15 mm yalıtım kalınlığında hesaplanmış ve boru çaplarının seçiminde ısı ve pompalama kayıplarının en az olduğu ısı yalıtımlı boru çaplarının seçimine dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Keçebaş, Alkan ve Bayhan (2011) yaptıkları çalışmada, P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> maliyet analiz yöntemi ile yaşam döngüsü maliyet analizine bağlı olarak Afyonkarahisar ili için 5 farklı boru boyutu (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm), dört farklı yakıt türü (Kömür, Doğal gaz, Fuel-oil, Jeotermal) ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanıldığında bölgesel ısıtma boru sistemlerinde kullanılan boruların optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresini incelemişlerdir. Sonuç olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 0,085-0,228 m, enerji tasarruflarının 10,041-175,171 \$/m ve geri ödeme sürelerinin 0,442-0,808 yıl arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

Keçebaş (2012a) yaptığı çalışmada, yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi kullanarak bölgesel ısıtma sistemlerindeki optimum boru yalıtımını ve enerji tasarrufunu incelemiştir. alışmasında Afyonkarahisar ili için XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 0,122 ile 0,318 m arasında, enerji tasarrufu 72,88 ile 639,24 TL/m arasında ve geri dönüş süresinin 0,73 ile 1,33 yıl arasında değiştiğini bulmuştur. Ayrıca en fazla yıllık

enerji tasarrufu fuel-oil yakıtı kullanıldığında olurken en az tasarruf ise jeotermal enerji için elde edilmiştir.

Keçebaş (2012b) yaptığı çalışmada, ekserji yöntemi ve yaşam döngüsü maliyet analizi optimizasyonunu kullanarak borular için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Çalışmada yakıt olarak; kömür, doğal gaz, fuel-oil ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Sonuç olarak optimum yalıtım kalınlıkları doğal gaz, kömür ve fuel-oil için sırasıyla 0,065 m, 0,071 m, 0,099 m ve ekserji tasarrufları sırasıyla %68,27, %71,54, %77,85 olarak hesaplanmıştır.

Pang-Ngam ve Saponpongpiat (2012) yaptıkları çalışmada, su pompalama sistemlerinde en düşük toplam maliyet için boru çapını incelemişlerdir. Hesaplamalarda optimum boru çapı 150 L/dk akış için 0,055 m ve 300 L/dk akış için 0,08 m bulunmuştur.

Kayfeci (2014) yaptığı çalışmada, yaşam döngüsü maliyet analiz metodunu kullanarak ısıtma boru sistemleri için enerji tasarrufu, geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Çalışma Isparta ilinde beş farklı yalıtım malzemesi (Köpük levha, XPS, Taş yünü, EPS, Fiberglass) ve beş farklı boru çapları (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm) için yapılmış ve yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığı 0,048-0,134 m arasında, enerji tasarrufu 10,84-49,78 \$/m arasında değişmekte ve geri ödeme süresi 0,74-1,29 yıl olarak bulunmuştur.

Kayfeci, Yabanova ve Keçebaş (2014) yaptıkları çalışmada, boru yalıtımı uygulamalarında optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet, maliyet tasarrufu ve geri ödeme sürelerinin tahmini için yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Çalışma farklı boru çapları (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm) için ısıtma derece günlere dikkat edilerek yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığını bulmak için kullanılan yapay sinir ağları modelinin 0,9891 korelasyon katsayısı, minimum kök ortalama kare hatası 0,0402 ve ortalama mutlak bağıl hata 0,0525 ile iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Keçebaş (2013) yaptığı çalışmada, bölgesel ısıtma boru sistemlerinde yer altına gömülü çelik borularda yalıtımın ekonomik faydalarını incelemiştir ve yer altına gömülen borular ile galeriden geçirilen borular arasında bazı karşılaştırmalar yapmıştır. Yaşam döngüsü maliyet analizi kullanılarak yapılan çalışmada dört farklı yakıt türü (Kömür, Doğalgaz, Fuel-oil,

Jeotermal), dört farklı boru ebadı (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm) ve XPS yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri dönüş süresi değerleri bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda en tasarruflu yakıtın fuel-oil olduğu bulunmuş olup, doğalgaz yakıtı için 100 mm ve 200 mm çaptaki borular kullanıldığında sırasıyla %79 ve %83'e yakın tasarruf sağlandığı belirtilmiştir. Jeotermal enerji için enerji tasarrufu 36,72-88,81 TL/m arasında değişirken fuel-oil yakıtı için enerji tasarrufu 209,07-512,26 TL/m arasında değiştiği bulunmuştur.

Yildiz ve Ersöz (2015) yaptıkları çalışmada, VRF (değişken soğutucu akış) sistemlerinin kurulu bina boru şebekesinin optimum yalıtım kalınlığı 10 yıllık ömür süresince enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri yüksek basınçlı gaz boruları, düşük basınçlı gaz boru hatları ve düşük basınçlı sıvı boru hatları için belirlenmiştir. Net enerji tasarrufları P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> maliyet analiz yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. VRF sisteminin ısıtma modunda, optimum yalıtım kalınlığı, yüksek basınçlı gaz boru hattında 16-20 mm arasında, düşük basınçlı sıvı boru hattı için 11-13 mm arasında bulunmuştur. VRF sisteminin soğutma modunda ise optimum yalıtım kalınlığı, düşük basınçlı gaz boru hattı için 7-8 mm arasında bulunmuştur.

Keçebaş (2015) yaptığı çalışmada, ekserji analizi ve yaşam döngü değerlendirme analizini (YDM) birleştiren bir yöntemle farklı çaplarda borularda (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm) farklı yakıtlar (Kömür, Doğalgaz, Fuel-oil) ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında oluşan optimum yalıtım kalınlığı, çevresel etki, net tasarruf ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Hesaplamalar Afyonkarahisar ili için 30 yıllık bir ömür boyunca ve Matlab yazılım programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Sonuç olarak 100 mm boru için; kömür, doğalgaz ve fuel-oil yakıtları için optimum yalıtım kalınlığı sırasıyla 55,7 cm, 57,2 cm ve 59,3 enerji tasarruflarını ise sırasıyla %76,32, %81,84 ve %84,04 olarak hesaplamıştır.

Kürekci (2013) yaptığı çalışmada, Türkiye'nin dört derece-gün bölgesi için dış ortamdan geçen borularda optimum yalıtım kalınlığı, net enerji tasarrufu ve geri ödeme süresini hesaplamıştır. Çalışmada DN15-DN200 arasındaki çaplar, 40-90 °C arasındaki sıcaklıklar, 1-10 m/s arasındaki hızlar, farklı iki yalıtım malzemesi (Cam yünü, kauçuk) ve yakıt olarak doğalgaz ele alınmıştır. Sonuç olarak yalıtım kalınlığının cam yünü ve kauçuk için 3-9 cm arasında değiştiğini, net tasarruf miktarının cam yünü için 225-9502 TL/m-yıl arasında, kauçuk için 227-9511 TL/m-yıl arasında olduğu hesaplamıştır.

Başıoğul, Demircan ve Keçebaş (2016) yaptıkları çalışmada, yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ve yaşam döngüsü maliyet analiz yöntemlerini karşılaştırarak optimum yalıtım kalınlığını ve çevresel etkilerini incelemişlerdir. Çalışma dört farklı boru çapı (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm), dört farklı yakıt türü (Kömür, Doğalgaz, Fuel-oil, LPG) ve 2 farklı yalıtım malzemesi (Taş yünü, Cam yünü) değerlendirilerek yapılmıştır. Sonuç olarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde yaşam döngüsü maliyet yönteminin kullanılmasının daha avantajlı olduğu görülmüş ve çevresel etkiler için ise yaşam döngüsü maliyet yöntemi yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Ertürk (2016) yaptığı çalışmada, yaşam döngüsü maliyet (YDM) analiz yöntemini kullanarak Afyonkarahisar ili ısıtma yüklerine göre borularda optimum yalıtım kalınlığını, farklı boru çapları (50 mm, 100 mm, 200 mm, 400 mm, 600 mm, 800 mm, 1000 mm), farklı yalıtım malzemesi (Taş yünü, XPS, EPS) ve farklı yakıt türleri (Kömür, Doğalgaz, Fuel-oil) için incelemiştir. Çalışma sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 5,18 cm ile 15,80 cm arasında değiştiği ve büyük çaplı borular için tek bir değer kullanılması önerilmiştir. En tasarruflu yakıt olarak fuel-oil ve en tasarruflu yalıtım malzemesi olarak EPS olduğu bulunmuştur.

Çallı (2016) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, çeşitli ısıtma derece-gün (IDG) değerleri için (1000, 3000, 5000 ve 7000 C-gün) elik ve plastik borularda yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizini kullanarak optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve geri ödeme süresini hesaplamıştır. Çalışmada, elik boru için (50 mm, 100 mm, 200 mm, 400 mm, 600 mm, 800 mm) boru çapları, plastik boru için (50 mm, 75 mm, 110 mm, 160 mm, 200 mm) boru çapları, yalıtım malzemesi olarak (Taş yünü, XPS, EPS) ve yakıt türü olarak ise (Kömür, Doğalgaz, Fuel-oil) için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda optimum yalıtım kalınlığının elik borularda 5 cm ile 16 cm arasında değiştiği, en tasarruflu yakıt olarak kömür ve en tasarruflu yalıtım malzemesinin XPS olduğu bulunmuştur.

Daşdemir, Ertürk, Keçebaş ve Demircan C. (2017) yaptıkları çalışmada, farklı ebattaki (50 mm, 100 mm, 200 mm, 400 mm, 600 mm, 800 mm, 1000 mm) elik borular için hava boşluğunun yalıtım kalınlığına ve yaşam döngüsü maliyet hesaplamalarına etkisini incelemişlerdir. Çalışma Afyonkarahisar ilindeki iklim şartları için kömür, doğalgaz, fuel-oil yakıtları ve taş yünü, XPS, EPS yalıtım malzemeleri için ve 0-5 cm arasında değişen hava

boşluğu için hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda bütün şartlar altında en düşük optimum yalıtım kalınlığı doğalgaz ve XPS yalıtım malzemesi için elde edilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı 0,3-25 cm, enerji maliyet tasarrufu 20-423 \$/m-yıl ve geri ödeme süresi 0,8-2,2 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır.

### **1.8 Tezin Kapsamı, Önemi ve Amacı**

Bu çalışmada bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı aktarımı yapan çelik boru sistemi ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan boru sistemi piyasada yeni kullanılan ön yalıtımlı boru sistemidir. Çelik boru sistemini ön yalıtım, yalıtım ve kılıf boru katmanları oluşturmaktadır. Bu borulama sisteminin yer altında olması durumu ve yer üstünde olması durumunda yalıtım kalınlığı değişimi ve optimum yalıtım kalınlığı durumunda enerji tasarrufu, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonu gibi ekonomik ve çevresel faktörleri nasıl etkilediği ayrı ayrı incelenmiş ve grafiklerle de desteklenerek açıklanmıştır. Bu değerlendirmeler yapılırken 2013 yılında yayımlanan TS 825' e göre beş farklı ısıtma derece-gün bölgesindeki İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri ve Erzurum şehirleri seçilmiştir. Hesaplamalar 50 mm, 100 mm, 200 mm, 400 mm, 600 mm, 800 mm ve 1000 mm olmak üzere yedi farklı boru çapı, ekstrüde polistiren (XPS), ekspande polistiren (EPS), taş yünü olmak üzere üç farklı yalıtım malzemesi ve doğalgaz, kömür ve fuel-oil olmak üzere üç farklı yakıt türü için yapılmıştır.

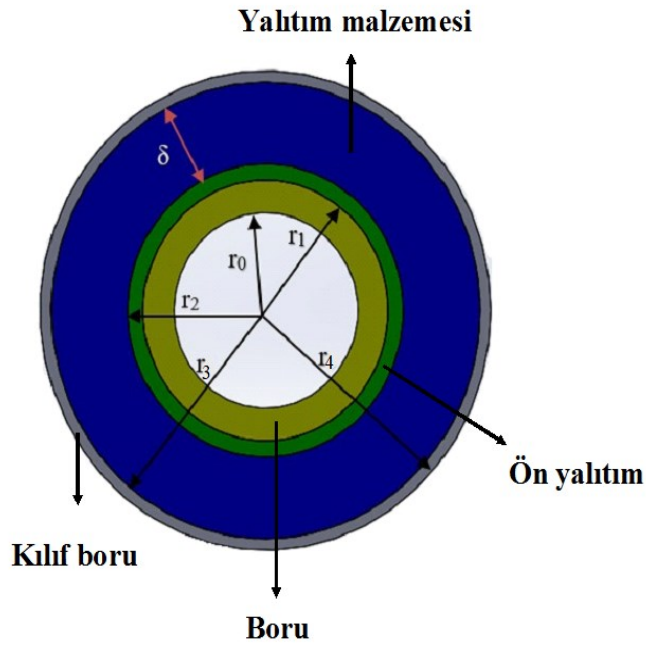
Çalışmada, 21 yıllık maksimum ve minimum dış ortam hava sıcaklıkları ve 19,5 °C temel sıcaklık baz alınarak hesaplanan derece-günler kullanılarak ısı kayıpları, enerji gereksinimi ve yakıtlara bağlı yıllık yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Maliyet hesabı ise yaşam döngüsü maliyet (YDM) analiz yöntemi kullanılarak P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> metodu ile yapılmıştır. Bu yöntem ile toplam maliyet iki ekonomik terimin toplamı şeklinde ifade edilir. İlk terim faiz, enflasyon ve ömür süresine bağlı olarak değişen ve yakıt fiyatını etkileyen maliyettir. Çalışmada 10 yıllık ömür için hesaplamalar yapılmıştır. İkinci terim ise bakım ve işletme maliyetlerine göre değişen ve yalıtım fiyatını etkileyen maliyettir. Çalışmada bakım ve işletme gideri olmadığı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, kullandığımız enerjinin büyük bir bölümünü ithal eden ülkemizde, boruların içinde taşınan akışkanın havanın dış ortam koşul ve sıcaklıklarından etkilenmesi sonucu oluşan ısı kayıplarının yalıtım uygulamasıyla önlenmesi, sağlanan enerji tasarrufu ve atmosfere salınan gaz emisyonları gösterilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

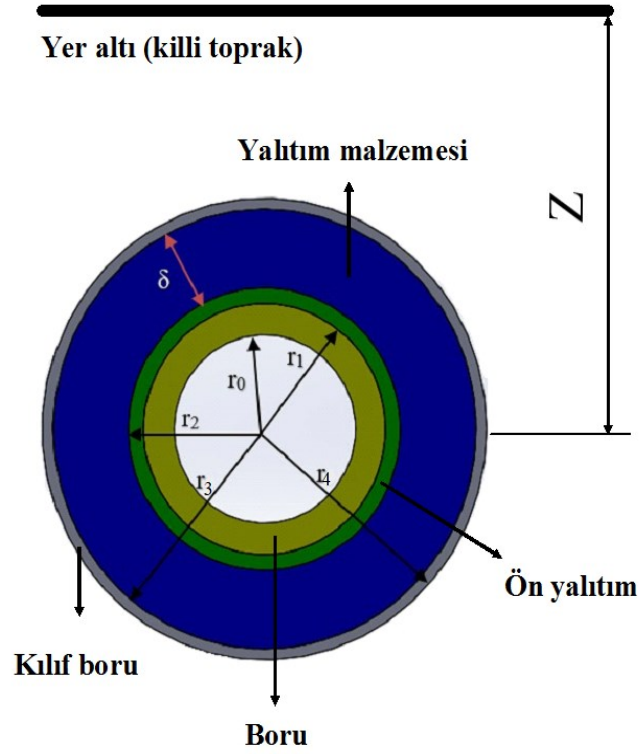
### 2.1 Kullanılan Boru Sistemi

Bölgesel ısıtma sistemleri için ısının üretildiği ve aktarıldığı elemanlar büyük önem taşımaktadır. Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı aktarımı borulama sistemleri ile gerçekleşmektedir. Borulama sisteminde ortamın sıcaklık ve nemine bağlı olarak meydana gelen yoğuşma, terleme, korozyon gibi ısı kayıplarına neden olan etmenlerin önlenmesi yalıtım uygulamasının önemini göstermektedir (Elele ve Çanakçı, 2001; Böke 2015). Çalışmada yer üstü ön yalıtımlı boru sistemini oluşturan katmanlar Şekil 2.1’de yer altı ön yalıtımlı borulama sistemini oluşturan katmanlar Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Yalıtım malzemesi ile çelik boru arasında piyasada yeni kullanılmaya başlanan poliüretan yalıtımlı malzeme ve yalıtım malzemesinin sonunda ise polietilen kılıf boru (kaplama) ile boru sistemi oluşturulmuştur (“ZTF Jeotermal”, t.y.).



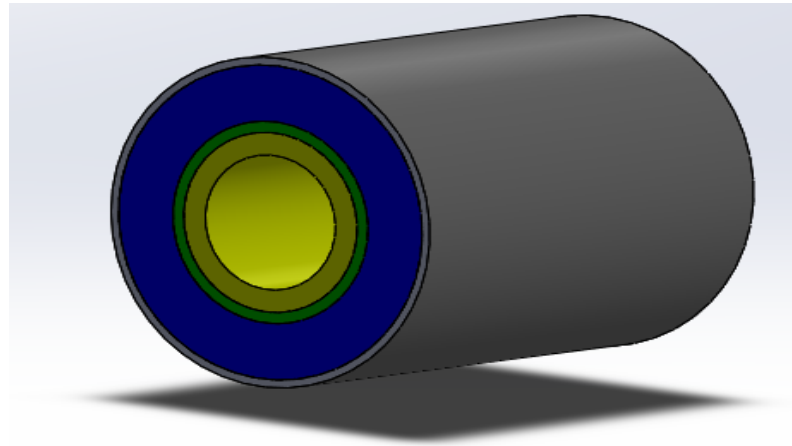
Şekil 2.1: Yer üstü borulama sistemi (Keçebaş, 2013).





Şekil 2.2: Yer altı borulama sistemi (Keçebaş, 2013).

Çalışmada yer üstü ve yer altı borulama sistemi birim uzunlukta boru sistemi Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Yer üstü ve yer altı borulama sistemi için birim uzunlukta boru sistemi.

## 2.2 Isı Kaybı ve Enerji Gereksinimi

Bölgesel ısıtma için kullanılacak boru sisteminde yer üstü borulama sistemi için meydana gelen ısı kaybı denklem (2.1) ve yer altı borulama sistemi için ise denklem (2.2) ile hesaplanmaktadır (Kayfeci, 2014).

$$Q_{byü} = UA(T_{ts} - T_d) = UA\Delta T \quad (2.1)$$

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

Bu eşitliklerde U boru sisteminin toplam ısı transfer katsayısı, A borunun toplam yüzey alanı,  $T_{ts}$  boru içindeki suyun ortalama tasarım sıcaklığı,  $T_d$  ise dış ortam sıcaklığı ve  $T_t$  ise toprak sıcaklığıdır (Kayfeci, 2014).

Boru sistemindeki tüm tabakaları için toplam ısıl direnç  $R_b$  yer üstü borulama sistemi için eşitlik (2.3) ve yer altı borulama sistemi için eşitlik (2.4) gibi hesaplanmaktadır (Kayfeci, 2014; Tanyıldızı, 2012).

$$R_{byü} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{2\pi L k_n} + \frac{1}{h_d A_d} \quad (2.3)$$

$$R_{bya} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{2\pi L k_n} + \frac{\ln\left(\frac{4Z}{r_n}\right)}{2\pi L k_t} \quad (2.4)$$

Bu eşitliklerde  $k_{(1, 2, \dots, n)}$  boru sistemi katmanlarının ısı iletim katsayısını,  $k_t$  toprağın ısı iletkenlik katsayısını,  $r_{(1, 2, \dots, n)}$  boru sistemi katmanlarının yarıçaplarını, Z boru sisteminin merkezinden toprak üst seviyesine olan yüksekliği olup bu çalışmada 1 m seçilmiştir. L ise boru sisteminin boyunu ifade etmektedir. Boru sisteminin iç yüzey alanı  $A_i = 2\pi L r_0$  ve dış yüzey alanı  $A_d = 2\pi L r_n$  ifadesi ile hesaplanmaktadır. Yer üstü yalıtımsız boru sistemi katmanlarının toplam ısıl direnci eşitlik (2.5), toprağa gömülü yalıtımsız boru sistemi için toplam ısıl direnç eşitlik (2.6) ile hesaplanmaktadır (Kayfeci, 2014).

$$R_{byü,y-sız} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{1}{h_d A_d} \quad (2.5)$$

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

Yer üstü yalıtımlı boru sistemi katmanlarının toplam ısıl direnci eşitlik (2.7), toprağa gömülü yalıtımlı boru sistemi için toplam ısıl direnç eşitlik (2.8) ile hesaplanmaktadır.

$$R_{byü,y} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_b} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_{öny}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_y} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi L k_{kap}} + \frac{1}{h_d A'_d} \quad (2.7)$$

$$R_{bya,y} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_b} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_{öny}} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_y} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi L k_{kap}} + \frac{\ln\left(\frac{4Z}{r_4}\right)}{2\pi L k_t} \quad (2.8)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;  $k_b$  çelik borunun ısı iletim katsayısı,  $k_{\text{öny}}$  ön yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı  $k_y$  yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı,  $k_{\text{kap}}$  kılıf borunun ısı iletim katsayısı,  $A'_d$  boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanıdır ve  $A'_d = 2\pi L r_4$  eşitliği ile hesaplanmakta,  $h_i$  boru sisteminin iç yüzeyi için ısı taşınım katsayısı olup eşitlik (2.9) ile hesaplanmakta ve  $h_d$  ise boru sisteminin dış yüzeyinin ısı taşınım katsayısı olup eşitlik (2.10) ile hesaplanabilmektedir (Kaynaklı, 2014).

$$h_i = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} (k_i / 2r_0) \quad (2.9)$$

$$h_d = 11.58 (1/d)^{0.2} [2 / (T_{ms} + T_d)]^{0.181} (T_{ms} - T_d)^{0.266} (1 + 2.86 V_d)^{0.5} \quad (2.10)$$

Yukarıdaki eşitliklerde  $Re$  boru içindeki akışın davranışını belirleyen boyutsuz Reynould sayısı,  $Pr$  hız ve ısı tabakanın birbirine göre kalınlıklarını tanımlayan Prandl sayısıdır (Tanyıldızı, 2012). Ayrıca  $k_i$  boru içindeki suyun ısı transfer katsayısı,  $T_{ms}$  boru sisteminin ortalama dış yüzey sıcaklığı,  $V_d$  dış hava hızı ve  $d=2(r_2+\delta)$  olarak hesaplanabilir. Yer altı ve yer üstü yalıtımlı ve yalıtımsız boru sistemlerinin toplam ısı transfer katsayıları arasındaki fark eşitlik (2.11) gibidir (Keçebaş, 2013).

$$\Delta U = U_{y-sız} - U_y = \frac{1}{R_{b,y-sız}} - \frac{1}{R_{b,y}} \quad (2.11)$$

Bir boru ısıtma sistemi için kullanılan enerji miktarında sınırlama yapabilmek için öncelikle enerji ihtiyacı belirlenmelidir (Kocagül, 2013). Enerji ihtiyacının tahmininde kullanılan en önemli yöntemlerden biri ısıtma derece-gün (IDG) yöntemidir ve eşitlik (2.12) ile hesaplanmaktadır (Keçebaş, 2013).

$$IDG = (1 \text{ yıl}) \sum_1^{365} (T_b - T_{ort})^+ \quad (2.12)$$

Isıtma derece-gün değeri belirli bir denge sıcaklık değeri ( $T_b$ ) referans alınarak hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında denge sıcaklığı değeri  $19,5^\circ\text{C}$  alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Dombaycı, 2009).  $T_{ort}$  ise ortalama günlük sıcaklıktır. Parantezde + olarak gösterilen işaret ise bu formülde sadece pozitif tam sayı değerlerinin kullanılacağını göstermektedir. Boru sistemi için tüketilen yıllık enerji miktarının hesaplanmasında ilk olarak burada meydana gelen ısı kayıplarını bulmamız gerekmektedir. Burada meydana gelen yıllık ısı kaybı aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır (Başoğul ve diğerleri, 2016).

$$Q_A = 86400 IDG U \quad (2.13)$$

Boru sistemi için yıllık enerji gereksinimi yıllık ısı kaybının ısıtma sisteminin verimine ( $\eta_{is}$ ) bölünmesiyle elde edilir (Başoğul ve diğerleri, 2016).

$$E_g = \frac{86400IDG U}{\eta_{is}} \quad (2.14)$$

Boru sistemi için yıllık yakıt tüketimi ise, yıllık enerji gereksiniminin yakıtın alt ısı değerine ( $H_{alt}$ ) bölünmesiyle elde edilir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Başoğul ve diğerleri, 2016).

$$m_{yakıt} = \frac{86400IDG U}{H_{alt}\eta_{is}} \quad (2.15)$$

### 2.3 Maliyet, Enerji Tasarrufu, Optimum Yalıtım Kalınlığı

Maliyet analizi yapılırken toplam maliyeti öngörmek için enflasyon, faiz ve yıllık ömür süresi beraber hesaplanmaktadır. Bu yöntem sistemin kurulumu, temini gibi tüm maliyetleri kapsamaktadır (“İnsapedia”, 2019). Yaşam Döngüsü Maliyet (YDM) metodu iki ekonomik göstergenin toplamı olarak ifade edilir. Bunlardan ilki olan ( $P_1$ ) ilk yıl için yakıt fiyatına ömür fiyatının oranıdır.  $P_1$ 'in en düşük olduğu değer ortalama yakıt fiyatlarının yüksek olduğunu gösterir.  $P_1$  enflasyon oranı ( $d$ ), faiz oranı ( $i$ ) ve ömür süresine ( $N$ ) bağlı olarak hesaplanır (Keçebaş ve diğerleri, 2011).

$$P_1 = \frac{1}{(d-i)} \left[ 1 - \left( \frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] \text{ eğer } i \neq d \quad (2.16)$$

$$P_1 = \frac{N}{1+i} \text{ eğer } i = d \quad (2.17)$$

İkinci ekonomik gösterge olan  $P_2$  ise yalıtımın ilk yatırım maliyeti ( $R_v$ ), işletme ve bakım giderleri ( $M_s$ ) parametrelerine bağlı olarak oluşan ekonomik göstergedir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (Keçebaş ve diğerleri, 2011).

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - \frac{R_v}{(1+d)^N} \quad (2.18)$$

Bu tez çalışmasında bakım ve işletme giderlerini olmadığı düşünülerek hesaplamalar yapılmış ve  $P_2$  değeri 1 olarak alınmıştır.

Boru sisteminde oluşan toplam yakıt maliyeti, eşitlik (2.15) ile hesaplanabilen yıllık yakıt tüketiminin yakıtın birim fiyatı ( $C_Y$ ) ile çarpılmasıyla elde edilir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Çallı ve Keçebaş, 2012).

$$C_{yakıt} = \frac{86400IDG U C_Y}{H_{alt}\eta_{is}} \quad (2.19)$$

Yalıtım malzemesinin toplam maliyeti, yalıtım malzemesinin birim hacmi ( $C_{Yal}$ ) ile yalıtımda kullanılan malzemenin hacmi  $V = \pi(r_3^2 - r_2^2)L$  ifadesi ile çarpılarak hesaplanabilir ve aşağıdaki eşitlikteki gibidir (Çallı ve Keçebaş, 2012).

$$C_{yalıtım} = C_{Yal}V \quad (2.20)$$

Bölgesel ısıtma sistemindeki borulama sistemi için toplam maliyet ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Çallı ve Keçebaş, 2012).

$$C_t = P_1C_{yakıt} + P_2C_{yalıtım} \quad (2.21)$$

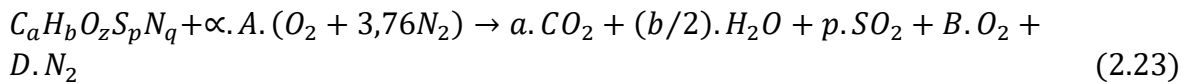
Yalıtımlı boru için toplam enerji tasarrufu (S) ise  $P_1$ - $P_2$  yöntemi ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Daşdemir, 2019).

$$S = P_1C'_{yakıt} - P_2C_{yalıtım} \quad (2.22)$$

Formülde  $C'_{yakıt}$  yalıtımlı ve yalıtımsız borulama sistemi arasındaki maliyet farkıdır. Optimum yalıtım kalınlığı ise toplam maliyet minimize edilerek ya da enerji tasarrufu maksimize edilmesiyle elde edilir. Geri dönüş süresi bulunurken eşitlik (2.16) veya (2.17) durumlarından biri için seçilen  $P_1$ , eşitlik (2.22)'ye yazılır ve sıfıra eşitlenerek hesaplama yapılır (Daşdemir, 2019).

#### 2.4 Yıllık Emisyon Gazlarının Hesaplanması

Bölgesel ısıtma borulama sistemi için yalıtım uygulaması ile ısı kayıplarının azalmasının yanında çevresel etmenleri etkileyen emisyon değerlerinde de azalma sağlamaktadır. Yakıtların yanma denkleminin genel kimyasal formülü aşağıdaki eşitlikteki gibidir. (Başoğul ve Keçebaş, 2011; Çallı ve Keçebaş 2012).



A, B ve D için oksijen denkleştirilirse değerler aşağıdaki eşitliklerdeki gibi ifade edilir.

$$A = \left(a + \frac{b}{4} + p - \frac{z}{2}\right) \quad (2.24)$$

$$B = (\alpha - 1) \left(a + \frac{b}{4} + p - \frac{z}{2}\right) \quad (2.25)$$

$$D = 3,76 \alpha \left(a + \frac{b}{4} + p - \frac{z}{2}\right) + \frac{q}{2} \quad (2.26)$$

CO (karbonmonoksit) ve NO<sub>x</sub> (azotoksit) emisyonları ihmal edilmiş olup 1 kg yakıtın yanmasıyla üretilen yanma emisyonları aşağıdaki eşitliklerdeki gibidir (Başoğul ve Keçebaş, 2011; Çallı ve Keçebaş 2012).

$$M_{CO_2} = \frac{a.CO_2}{\dot{M}} \quad (2.27)$$

$$M_{SO_2} = \frac{p.SO_2}{\dot{M}} \quad (2.28)$$

Yukarıdaki eşitliklerin sağ tarafı yakılan toplam yakıtın miktarı  $m_{yakıt}$  yazılarak türetilirse, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> toplam emisyonları aşağıdaki eşitliklerle bulunur (Başoğul ve Keçebaş, 2011; Çallı ve Keçebaş 2012).

$$M_{CO_2} = \frac{44.a}{\dot{M}} m_{yakıt} \quad (2.29)$$

$$M_{SO_2} = \frac{64.p}{\dot{M}} m_{yakıt} \quad (2.30)$$

$\dot{M}$  yakıtın mol ağırlığıdır ve eşitlik (2.31) ile hesaplanır. Eşitlikteki a, b, z, p, q ise yakıtların kimyasal formülündeki elementlerin bileşimidir (Başoğul ve Keçebaş, 2011; Çallı ve Keçebaş 2012).

$$\dot{M} = 12a + b + 16z + 32p + 14q \quad (2.31)$$

## 2.5 Hesaplamalarda Kullanılan Değerler

Çalışmada 7 farklı boru çapı için değerler hesaplanmıştır. Kullanılan paslanmaz çelik boru (ANSI B 36.10) 7,99 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk, 1371-1399 °C erime noktası, 16,2 W/m K iletkenlik katsayısı değerlerine sahip olup boruya ait özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Boru sisteminde kullanılan çelik borunun bazı özellikleri (Ertürk, 2016).

Nominal Boru Ebadi (mm) (inç)	Dış çap (mm)	Et kalınlığı (mm)	Ağırlık sınıfı	Sch No	Birim ağırlık (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
600	24	610,0	9,53	STD	20	141,12
800	32	813,0	9,53	STD	10	188,82
1000	40	1016,0	9,53	STD	-	236,53

Çalışmada farklı beş iklim bölgelerinde bulunan İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri ve Erzurum şehirleri için değerler bulunurken derece-gün (DG) yöntemi kullanılmıştır. Derece-gün hesabında 21 yıllık dış ortam maksimum ve minimum hava sıcaklıkları kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve 19,5 °C temel sıcaklık değeri için şehirlerin ısıtma derece gün değerleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

**Tablo 2.2:** Farklı iklim bölgelerindeki şehirlerin ısıtma derece-gün değerleri (Dombaycı, 2009).

Şehirler	İklim Bölgesi	Derece-gün
İzmir	1	1480
Balıkesir	2	2312
Ankara	3	2960
Kayseri	4	3336
Erzurum	5	4934

Çalışmada kömür, doğalgaz ve fuel-oil yakıtları için hesaplamalar yapılmıştır ve bu yakıtların özellikleri Tablo 2.3’te verilmiştir.

**Tablo 2.3:** Çalışmada kullanılan yakıtlar ve bazı özellikleri (Ertürk, 2016).

Yakıtlar	Fiyat	Alt Isıl Değer ( $H_u$ )	Verim ( $\eta$ )	Kimyasal Formülü
Kömür	0,3129 (\$/kg)	$29,260 \times 10^6$ (J/kg)	%65	$C_{7,078}H_{5,149}O_{0,517}S_{0,01}N_{0,086}$
Doğalgaz	0,4453 (\$/m <sup>3</sup> )	$34,485 \times 10^6$ (J/m <sup>3</sup> )	%93	$C_{1,05}H_4O_{0,034}N_{0,022}$
Fuel-oil	0,7935 (\$/kg)	$41,278 \times 10^6$ (J/kg)	%80	$C_{7,3125}H_{10,407}O_{0,04}S_{0,026}N_{0,02}$

Bu çalışmada yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü malzemeleri kullanılmıştır. Yalıtım malzemesine ait özellikler Tablo 2.4’te gösterilmiştir.

**Tablo 2.4:** Çalışmada kullanılan yalıtım malzemeleri ve bu malzemelerin özellikleri (Ertürk,2016).

Yalıtım malzemesi	Standart	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Birim Fiyat (\$/m <sup>3</sup> )
Ekstrüde Polistiren (XPS)	TS EN 131 64	28-30	0,031	62
Ekspande Polistiren (EPS)	TS EN 131 63	16	0,036	32
Taş yünü	TS EN 131 62	100	0,040	44

Çalışmada maliyet hesabı yapılırken seçilen bir ömür süresi için paranın bugünkü değeri hesaba katılarak maliyetler hesaplanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ekonomik değerler Tablo 2.5’te verilmiştir.

**Tablo 2.5:** Çalışmada kullanılan ekonomik parametreler (“Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası”, t.y.); “Türkiye İstatistik Kurumu”, t.y.).

Ekonomik parametreler	Değerler
Faiz	%26,5
Enflasyon	%24,52
Ömür	10 yıl
P <sub>1</sub>	8,63
P <sub>2</sub>	1

Çalışmada bölgesel ısıtma borulama sisteminde kullanılan akış ile ilgili sabit değerler Tablo 2.6’da verilmiştir.



**Tablo 2.6:** Çalışmada kullanılan akış ile ilgili sabit değerler (Ertürk, 2016).

Parametreler	Sabit değerler
Boru içi ortalama sıcak su sıcaklığı	$[90+70] / 2 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$
Boru sisteminin ortalama dış yüzey sıcaklığı	93°C
Boru sistemi içindeki sıcak su hızı	0,8 m/s
Boru sistemi dışındaki hava hızı	0,2 m/s

### 3. BULGULAR

Çalışmada 5 farklı derece-gün bölgesinde bulunan İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri ve Erzurum illeri ısıtma derece-gün değerleri kullanılarak bölgesel ısıtma yer üstü ve yer altı çelik boru sistemleri için farklı yalıtım malzemeleri ve boru çaplarında optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, geri ödeme süresi, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyon değerleri hesaplanmıştır.

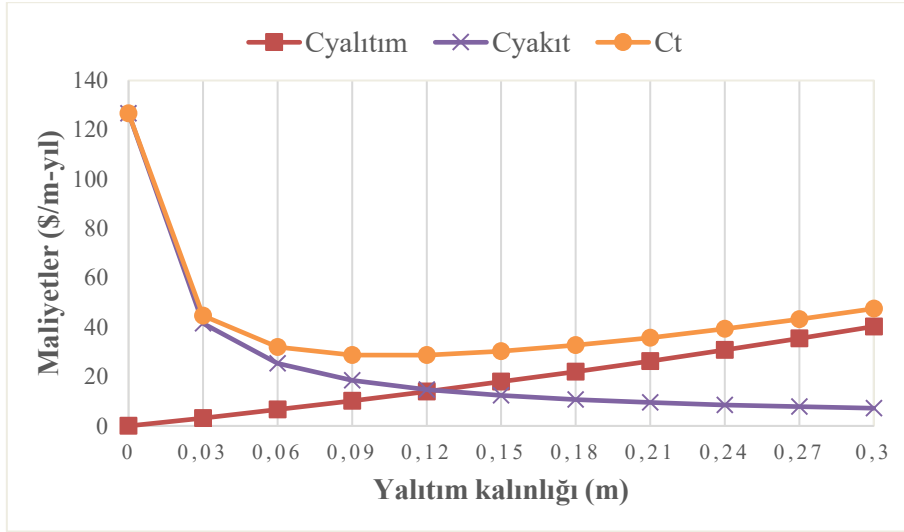
#### 3.1 Yalıtım Kalınlığına Bağlı Maliyetler

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de 1.bölge derece-gün ili olan İzmir için bölgesel ısıtma yer üstü ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında yalıtım kalınlığının maliyet ilişkisi verilmiştir. Borulama sistemlerinde yalıtım kalınlığının artması sonucu ısı kaybının azalması enerji gereksiniminin de azalması anlamına gelmektedir ve bu durum toplam maliyeti düşürmektedir. Yalıtım kalınlığının artışı ise yalıtım maliyetini artırmakta ve toplam maliyeti de artırmaktadır. Toplam maliyetin en az olduğu değer olan optimum yalıtım kalınlığı değeri 1000 mm nominal boru çapı yer üstü ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 10,5 cm ve 8,2 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 28,442 \$/m-yıl ve 25,230 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

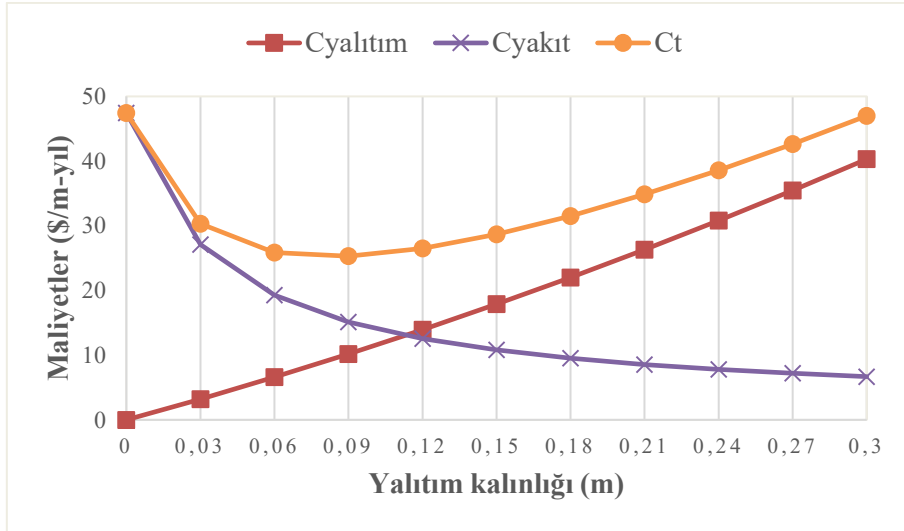
Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te İzmir ili bölgesel ısıtma yer üstü ve yer altı borulama sistemleri 1000 mm boru çapı, kömür yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda oluşan yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi verilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı değeri yer üstü ve yer altı borulama sisteminde sırasıyla 11,4 cm ve 9,1 cm toplam maliyetler ise sırasıyla 31,378 \$/m-yıl ve 28,091 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 ise İzmir ili bölgesel ısıtma yer üstü ve yer altı borulama sistemi 1000 mm nominal boru çapı, fuel-oil yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi verilmiş olup optimum yalıtım kalınlığı yer üstü ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 13,8 cm, 11,5 cm toplam maliyetler ise sırasıyla 39,108 \$/m-yıl ve 35,633 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

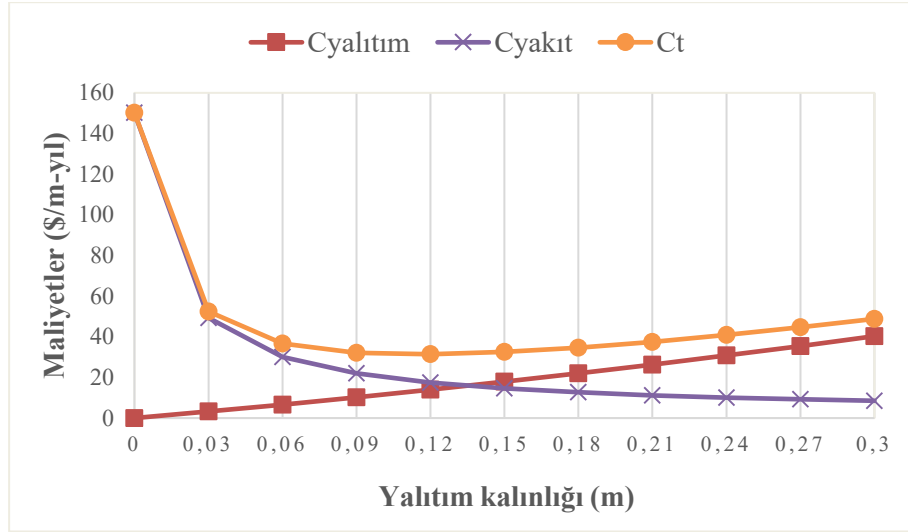
İzmir ili için 1000 mm nominal boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Ayrıca tüm yakıtlar için yer altı borulama sisteminde daha küçük optimum yalıtım kalınlığı gerekmektedir.



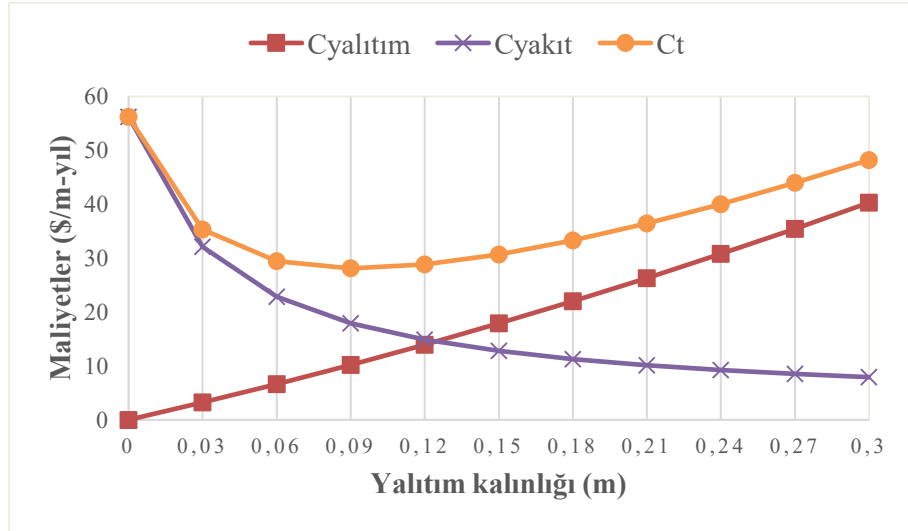
Şekil 3.1: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



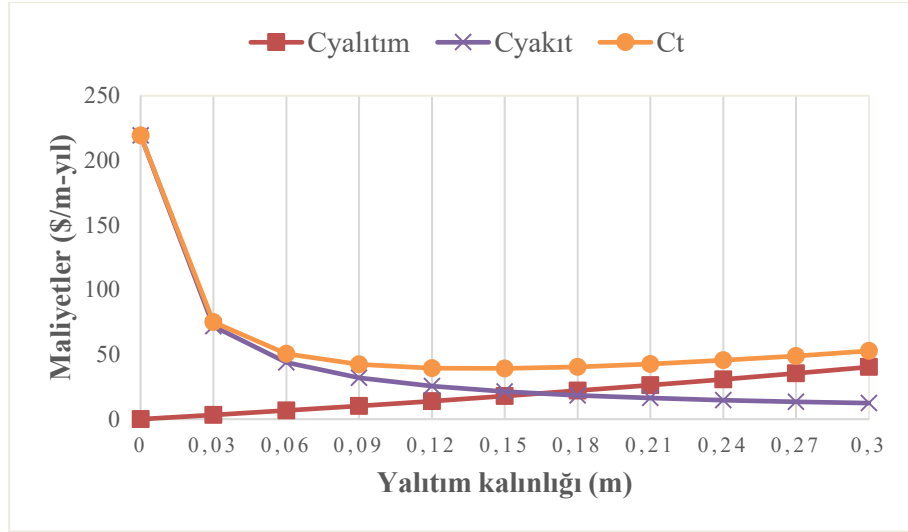
Şekil 3.2: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



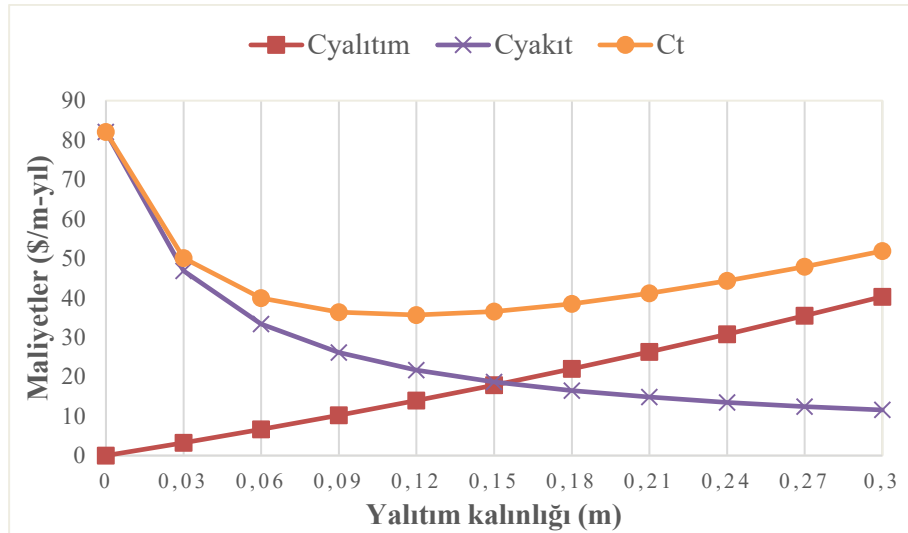
Şekil 3.3: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



Şekil 3.4: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



Şekil 3.5: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



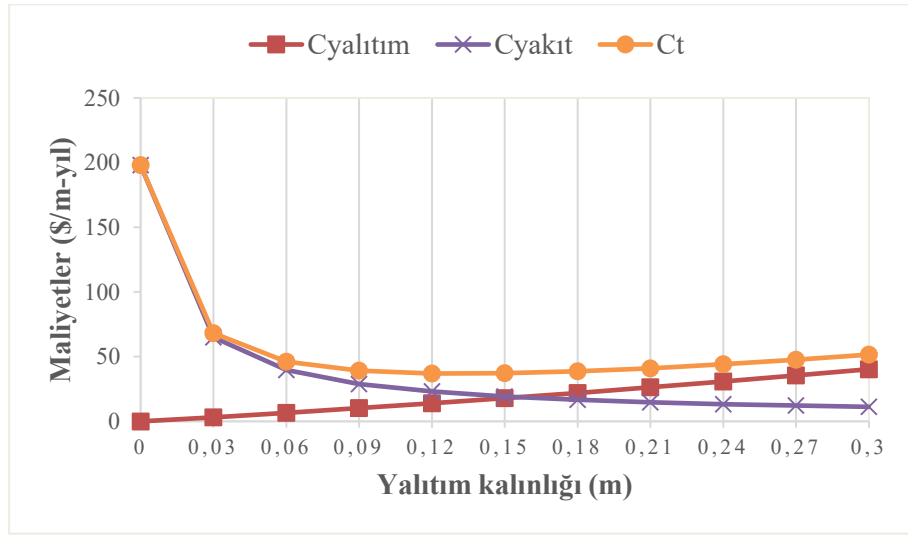
Şekil 3.6: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

2.bölge derece-gün illerinden olan Balıkesir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda oluşan yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.7 ve Şekil 3.8, kömür yakıtı için Şekil 3.9 ve Şekil 3.10, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’ de verilmiştir.

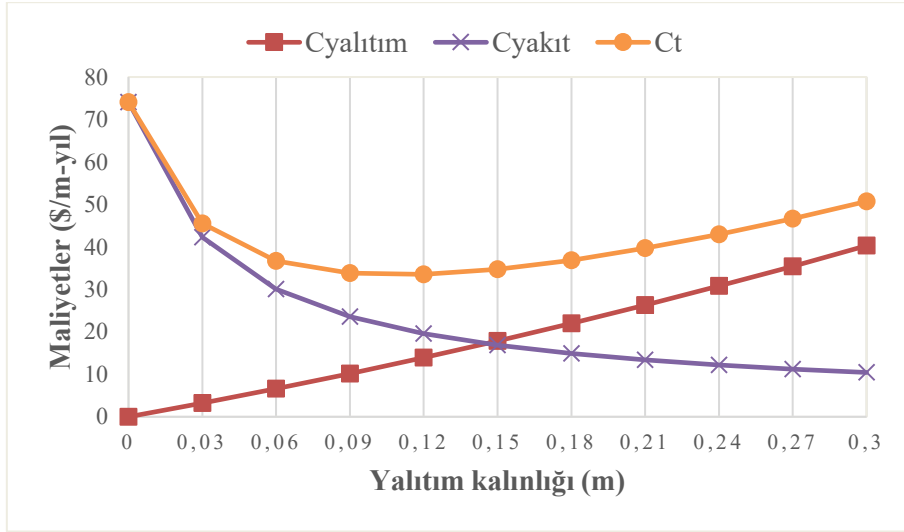
Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 13,1 cm ve 10,9 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 36,843 \$/m-yıl ve 33,421 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Kömür yakıtı kullanılması

durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 14,3 cm ve 12 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 40,674 \$/m-yıl ve 37,161 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Fuel-oil kullanılması durumunda ise optimum yalıtım kalınlıkları yer üstü ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 17,2 cm ve 14,9 cm, toplam maliyetler ise 50,802 \$/m-yıl ve 47,059 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

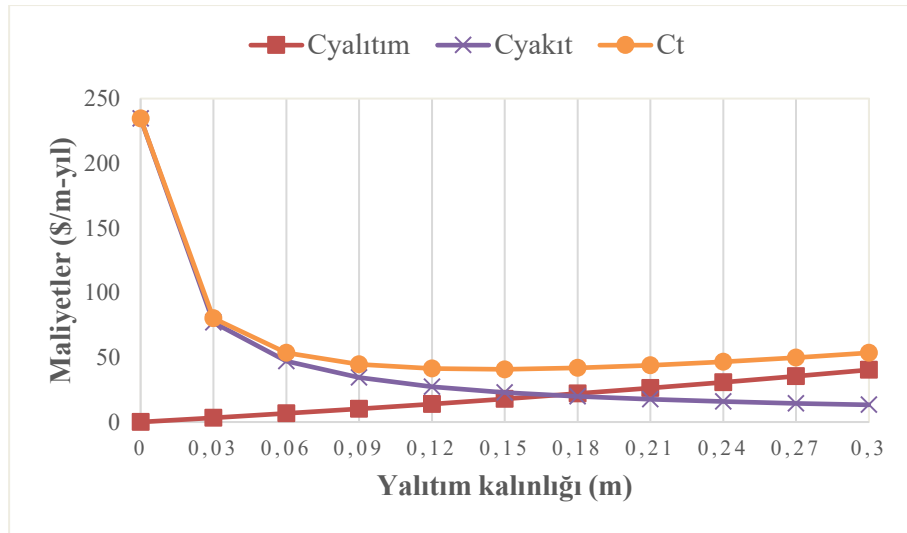
Balıkesir ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Ayrıca tüm yakıtlar için yer altı borulama sisteminde daha küçük optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir.



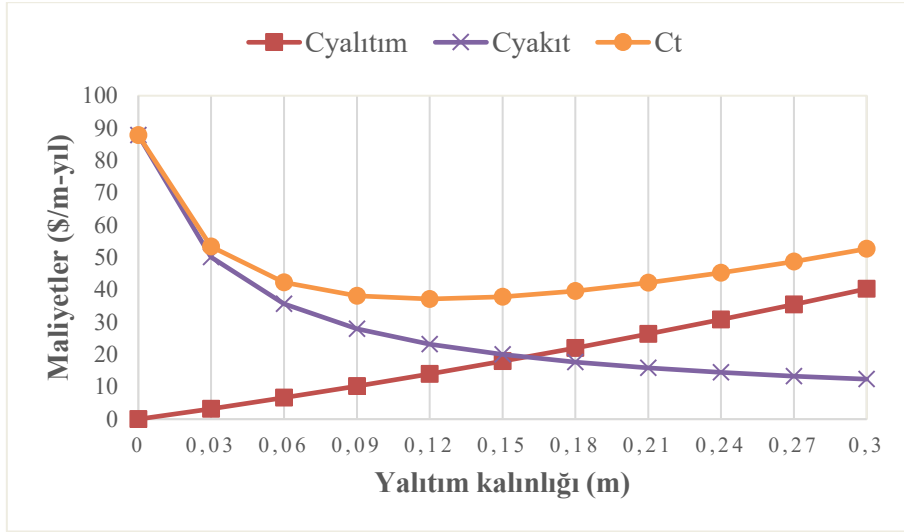
**Şekil 3.7:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



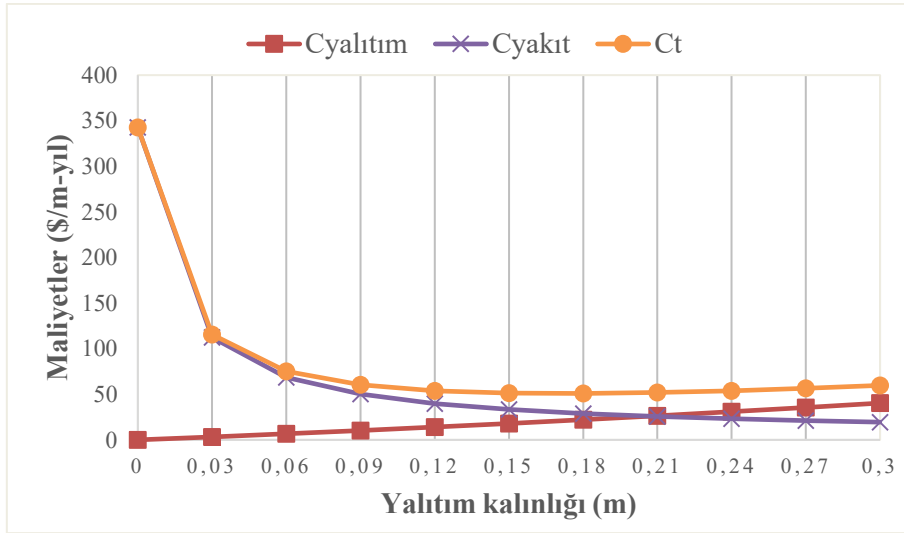
Şekil 3.8: Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



Şekil 3.9: Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

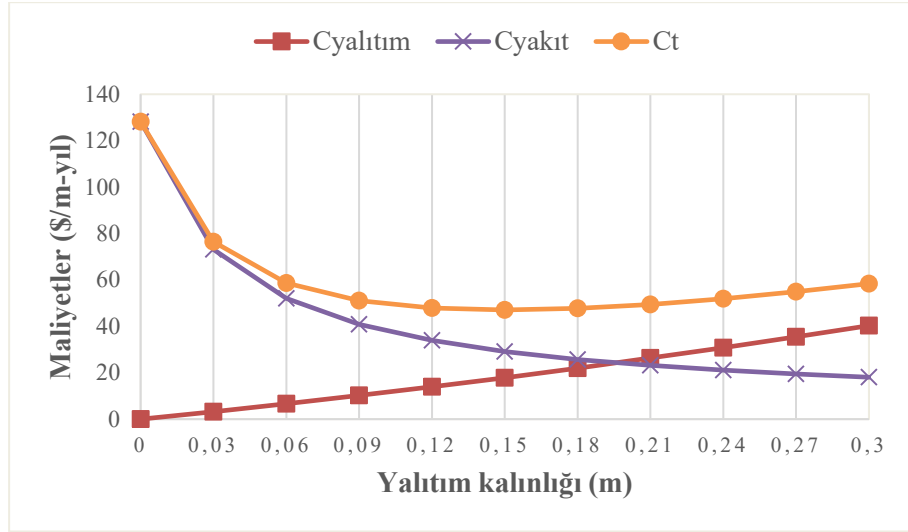


Şekil 3.10: Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



Şekil 3.11: Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



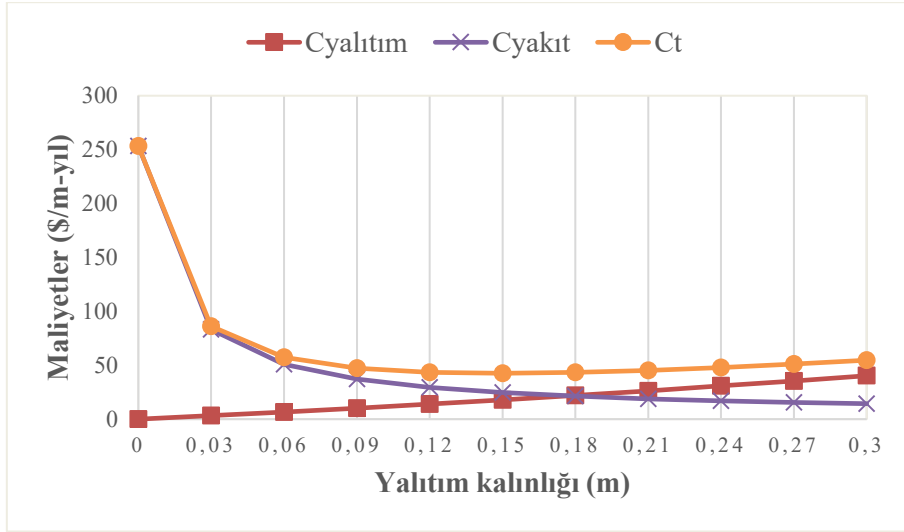


**Şekil 3.12:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

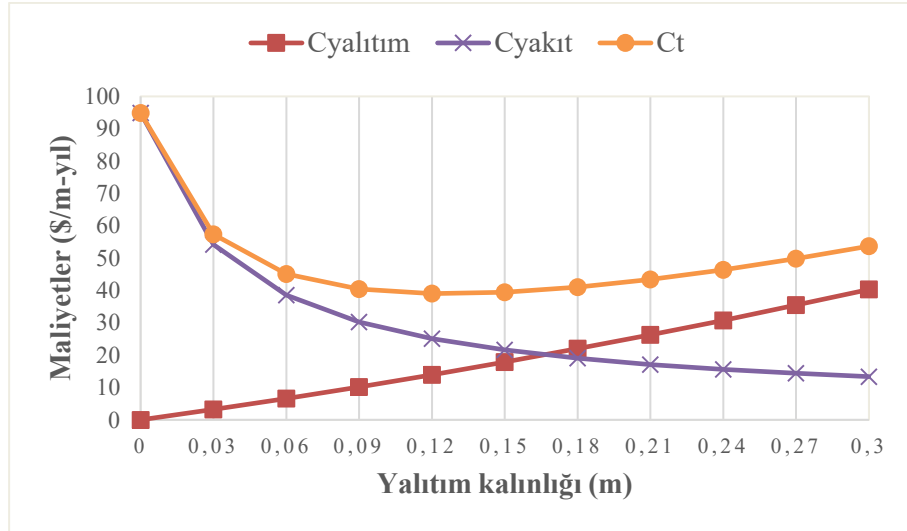
3.bölge derece-gün illerinden olan Ankara için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda oluşan yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.13 ve Şekil 3.14, kömür yakıtı için Şekil 3.15 ve Şekil 3.16, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.17 ve Şekil 3.18' de verilmiştir.

Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 14,8 cm ve 12,6 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 42,558 \$/m-yıl ve 41,366 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Kömür yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 16,1 cm ve 13,8 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 47,010 \$/m-yıl ve 43,352 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Fuel-oil kullanılması durumunda ise optimum yalıtım kalınlıkları yer üstü ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 19,3 cm ve 17 cm, toplam maliyetler ise 58,807 \$/m-yıl ve 54,892 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

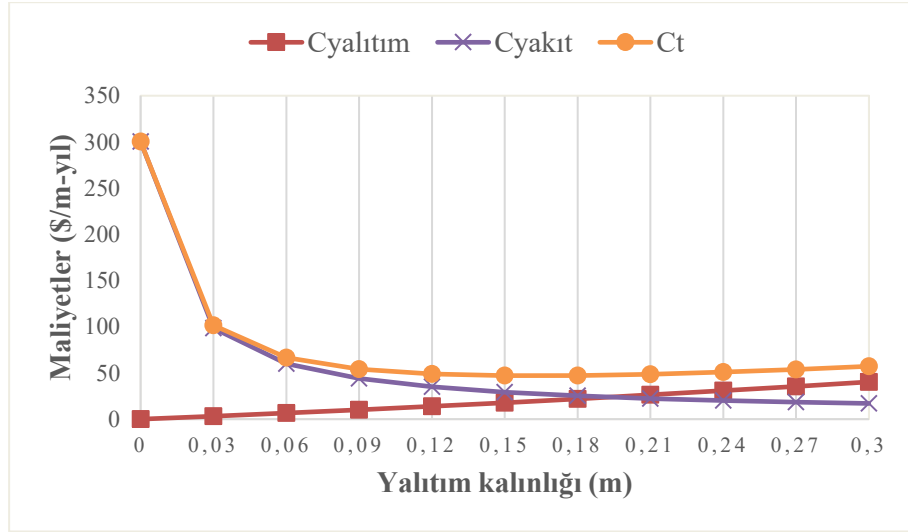
Ankara ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Ayrıca tüm yakıtlar için yer altı borulama sisteminde daha küçük optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir.



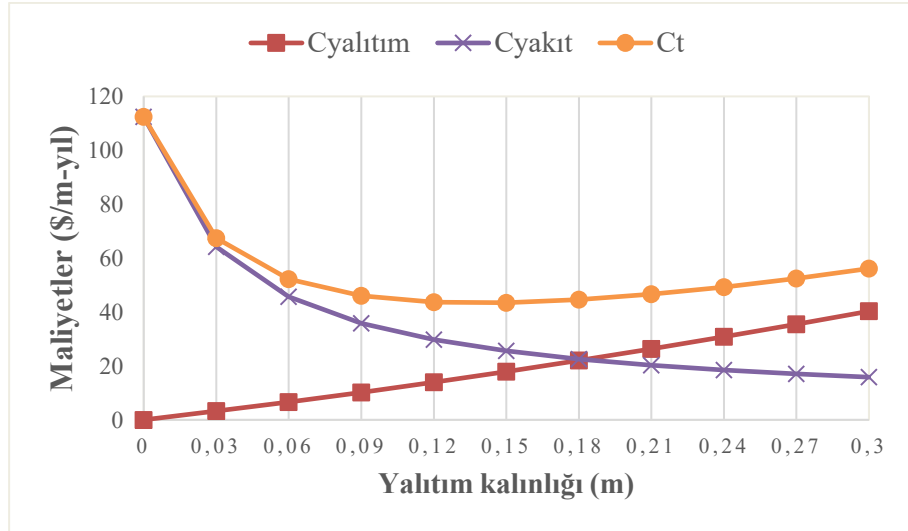
Şekil 3.13: Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



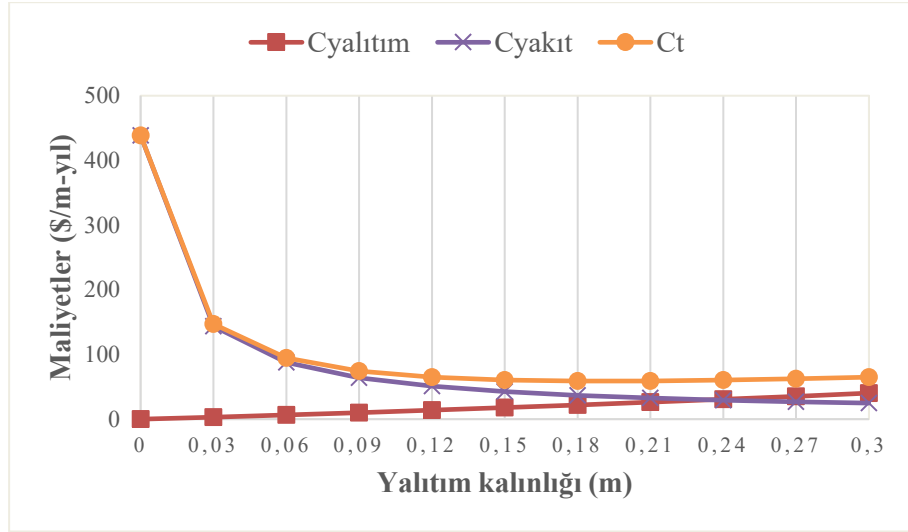
Şekil 3.14: Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



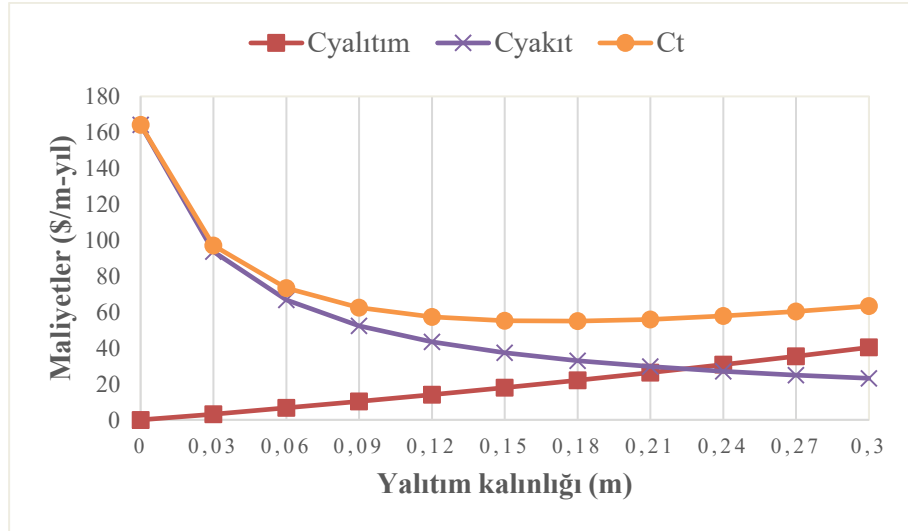
**Şekil 3.15:** Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



**Şekil 3.16:** Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



**Şekil 3.17:** Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



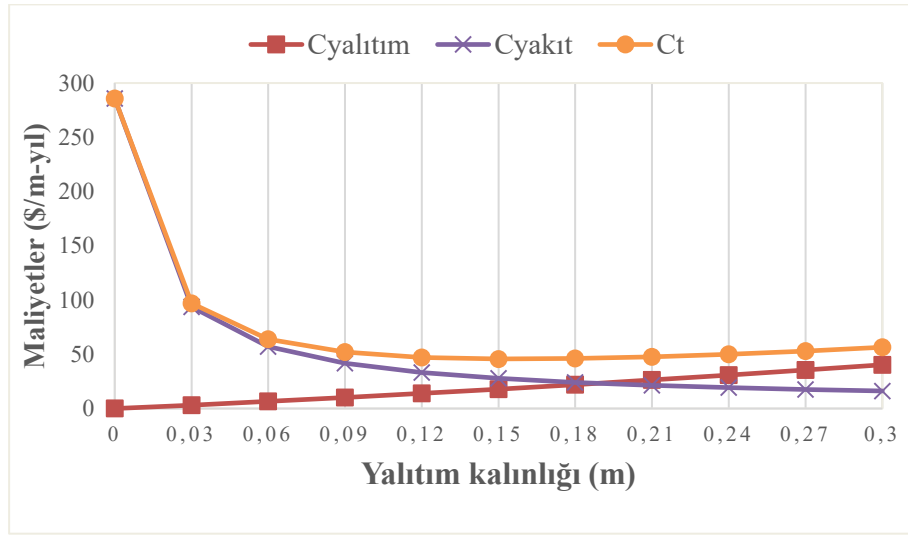
**Şekil 3.18:** Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

4.bölge derece-gün illerinden olan Kayseri için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda oluşan yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.19 ve Şekil 3.20, kömür yakıtı için Şekil 3.21 ve Şekil 3.22, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.23 ve Şekil 3.24' te verilmiştir.

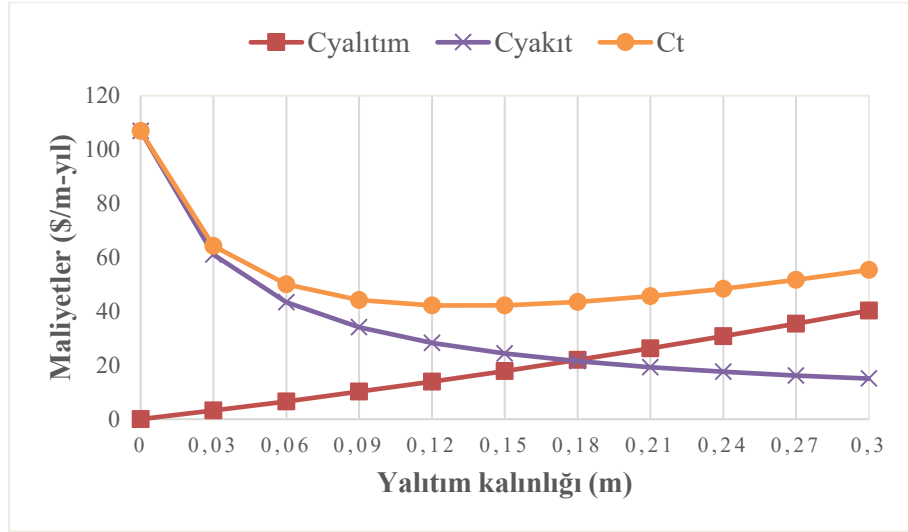
Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 15,7 cm ve 13,5 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 45,648 \$/m-yıl ve 42,020 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Kömür yakıtı kullanılması

durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 17,1 cm ve 14,8 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 50,439 \$/m-yıl ve 46,704 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Fuel-oil kullanılması durumunda ise optimum yalıtım kalınlıkları yer üstü ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 20,4 cm ve 18,2 cm, toplam maliyetler ise 63,149 \$/m-yıl ve 59,144 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

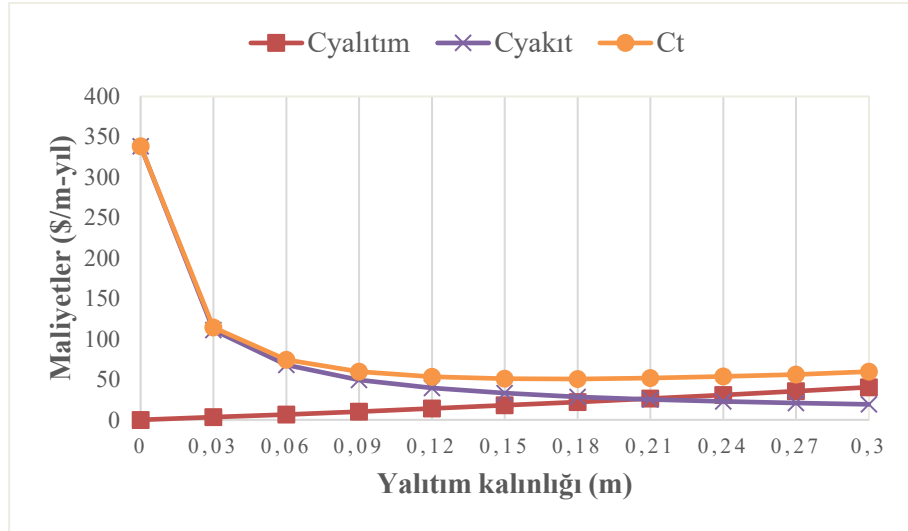
Kayseri ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Ayrıca tüm yakıtlar için yer altı borulama sisteminde daha küçük optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir.



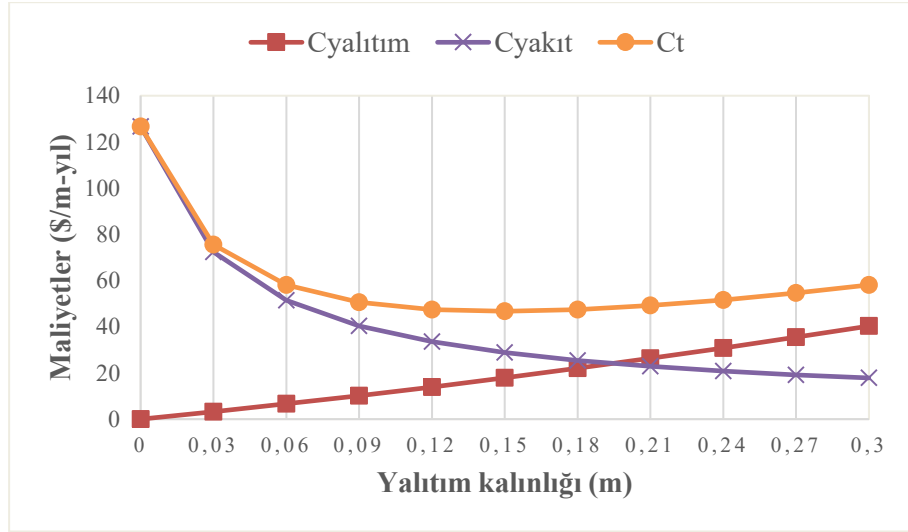
**Şekil 3.19:** Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



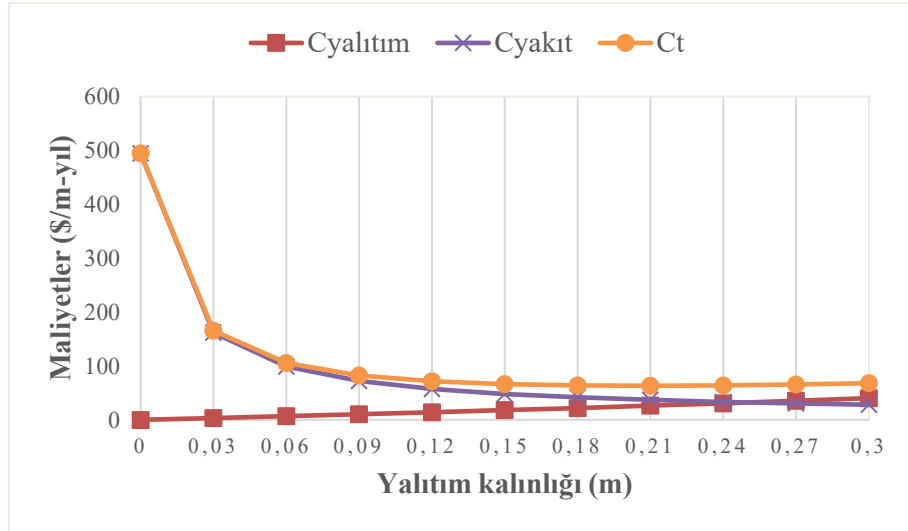
Şekil 3.20: Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



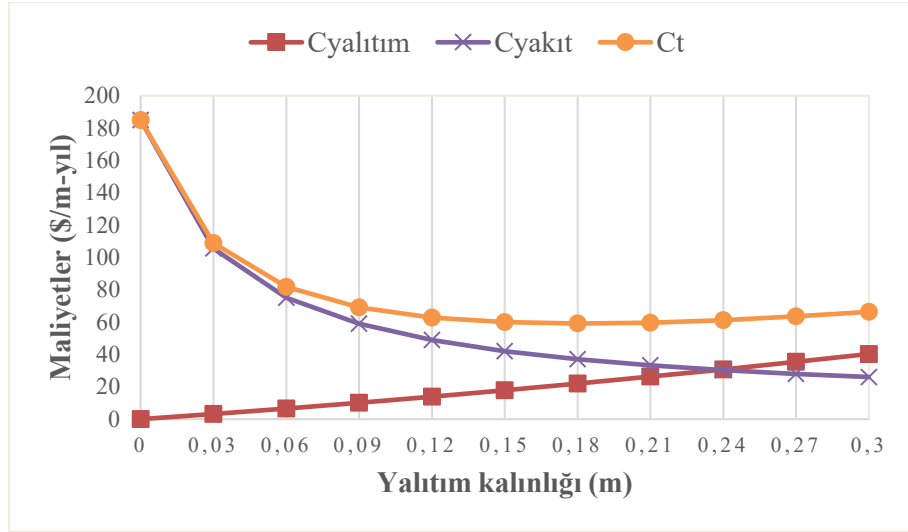
Şekil 3.21: Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



Şekil 3.22: Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



Şekil 3.23: Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



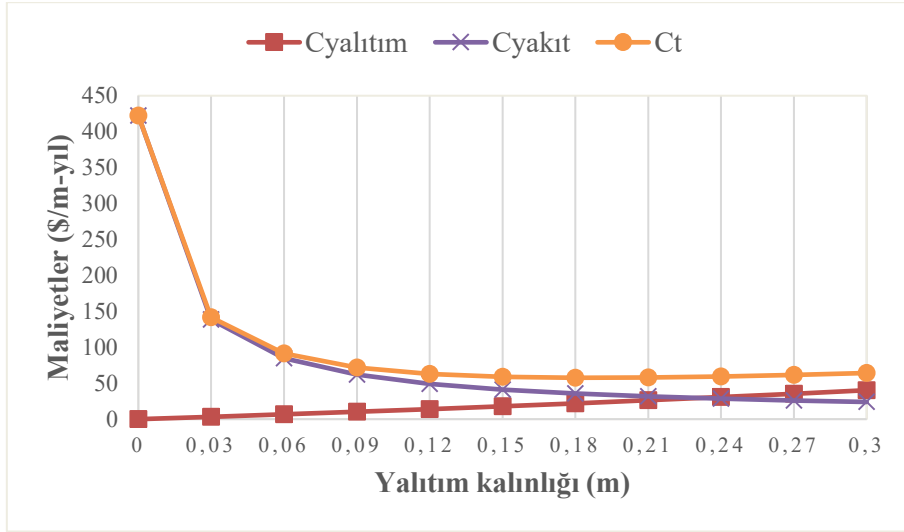
**Şekil 3.24:** Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

5.bölge derece-gün illerinden olan Erzurum için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, EPSyalıtım malzemesi kullanılması durumunda oluşan yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.25 ve Şekil 3.26, kömür yakıtı için Şekil 3.27 ve Şekil 3.28, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.29 ve Şekil 3.30' da verilmiştir.

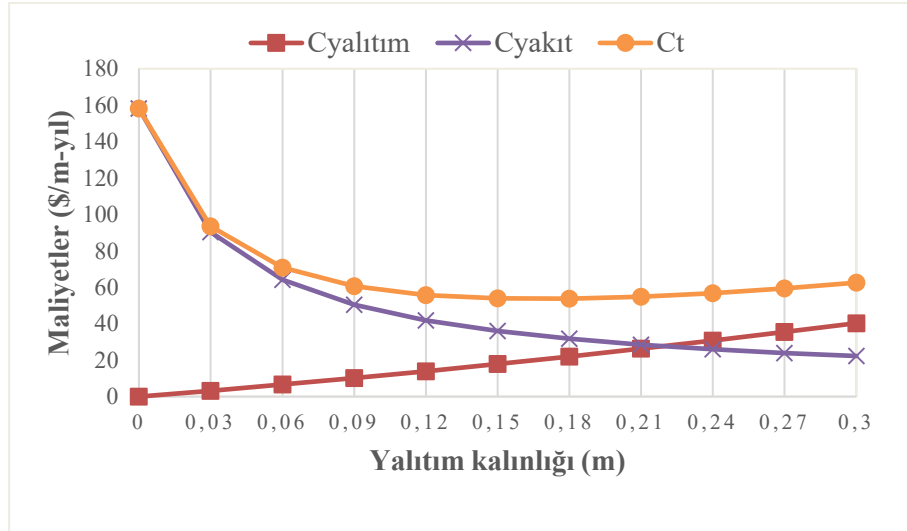
Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 19 cm ve 16,7 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 57,510 \$/m-yıl ve 53,623 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Kömür yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 20,5 cm ve 18,3 cm, toplam maliyetler ise sırasıyla 63,624 \$/m-yıl ve 59,609 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Fuel-oil kullanılması durumunda ise optimum yalıtım kalınlıkları yer üstü ve yer altı borulama sistemi için sırasıyla 24,5 cm ve 22,2 cm, toplam maliyetler ise 79,905 \$/m-yıl ve 75,571 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Erzurum ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Ayrıca tüm yakıtlar için yer altı borulama sisteminde daha küçük optimum yalıtım kalınlığı gerekmektedir.

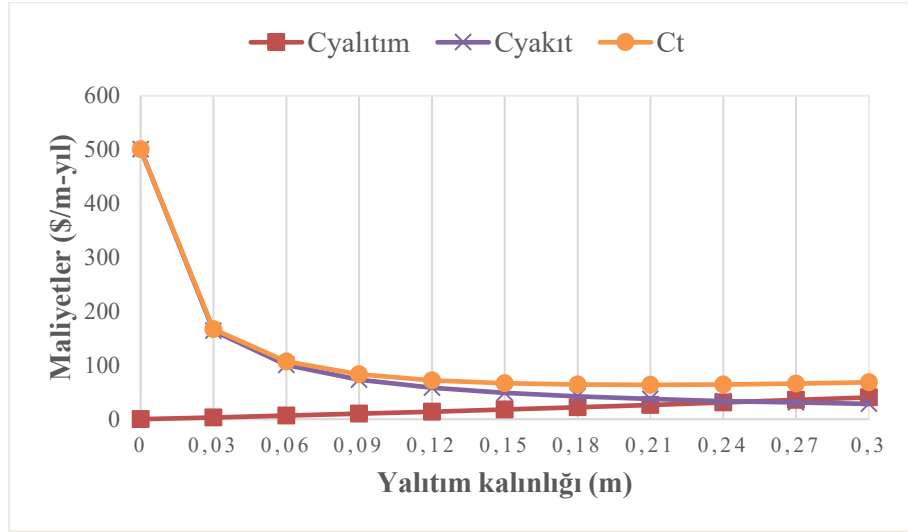




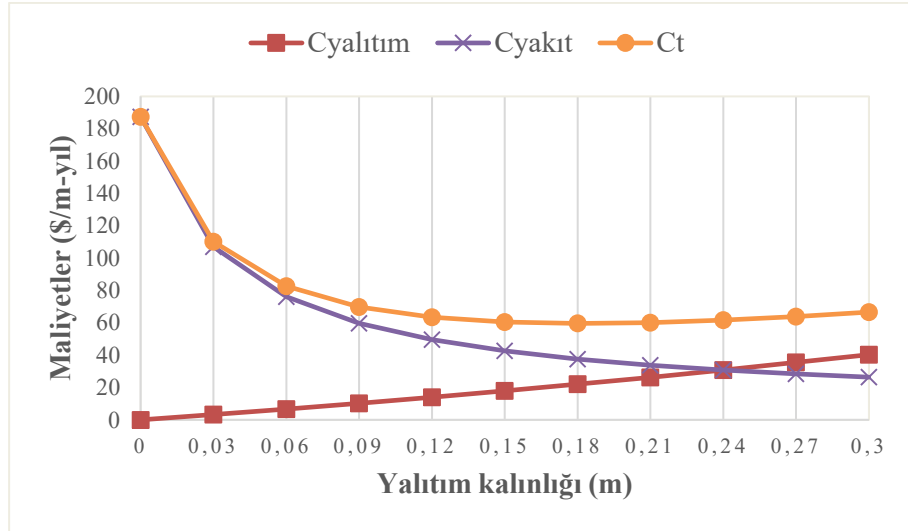
Şekil 3.25: Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



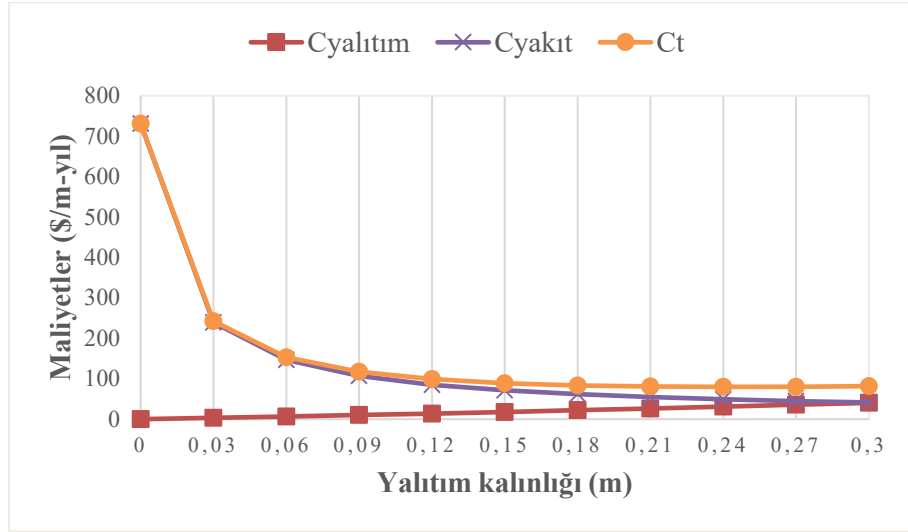
Şekil 3.26: Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



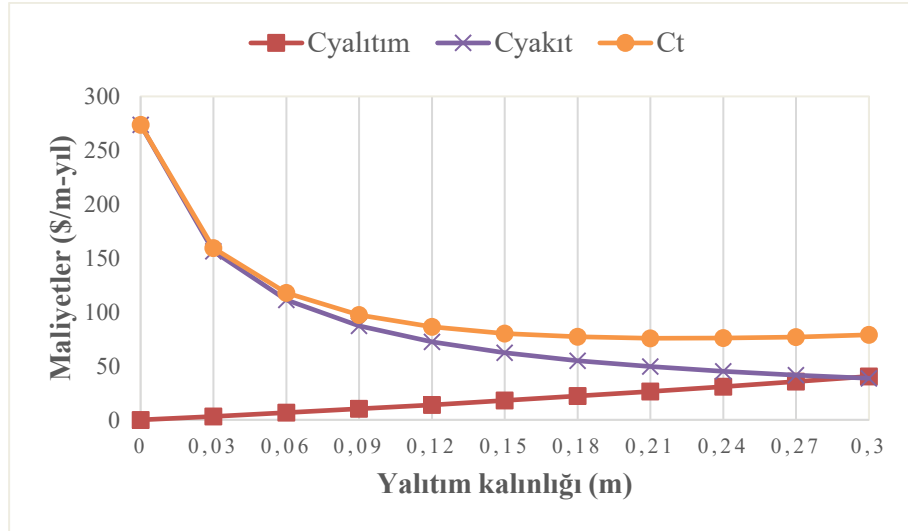
Şekil 3.27: Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



Şekil 3.28: Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



**Şekil 3.29:** Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



**Şekil 3.30:** Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı maliyet ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

### 3.2 Yalıtım Kalınlığına Bağlı Enerji Tasarrufu

Bölgesel ısıtma sistemlerinde boru yalıtımı yapılmasının ana sebeplerinden biri de enerji tasarrufu yapmaktır. Boru yalıtım uygulamalarında yalıtım kalınlığının artmasıyla enerji tasarrufu değeri bir noktaya kadar artar ve daha sonra düşmeye başlamaktadır. Yalıtım kalınlığı arttığında enerji tasarrufunun azalmaya başladığı bu nokta optimum yalıtım kalınlığını vermektedir ve bu noktada enerji tasarrufu en büyük değerini almaktadır.

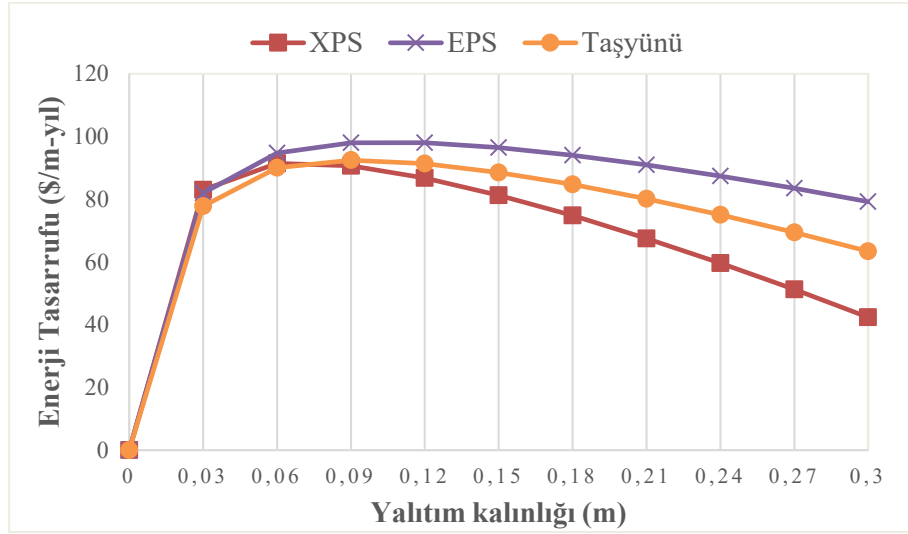
Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de 1.bölge derece-gün ili olan İzmir için bölgesel ısıtma yer üstü ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı doğalgaz yakıtı kullanımı durumunda çeşitli yalıtım malzemelerinin yalıtım kalınlığına bağlı enerji tasarrufu ilişkisi verilmiştir. Yer üstü borulama sistemi için optimum yalıtım kalınlığı XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 6,9 cm, 10,5 cm, 9,2 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 91,738 \$/m-yıl, 98,276 \$/m-yıl ve 92,453 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi için optimum yalıtım kalınlığı XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 5 cm, 8,2 cm, 6,7 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 17,352 \$/m-yıl, 22,189 \$/m-yıl, 17,903 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.33 ve Şekil 3.34’te İzmir ili bölgesel ısıtma yer üstü ve yer altı borulama sistemleri 1000 mm boru çapı, kömür yakıtı kullanımı durumunda çeşitli yalıtım malzemelerinin yalıtım kalınlığına bağlı enerji tasarrufu ilişkisi verilmiştir. Yer üstü borulama sistemi için optimum yalıtım kalınlığı XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 7,6 cm, 11,4 cm, 10,1 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 111,597 \$/m-yıl, 118,769 \$/m-yıl ve 112,327 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi için optimum yalıtım kalınlığı XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 5,6 cm, 9,1 cm, 7,5 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 22,635 \$/m-yıl, 28,094 \$/m-yıl, 23,219 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

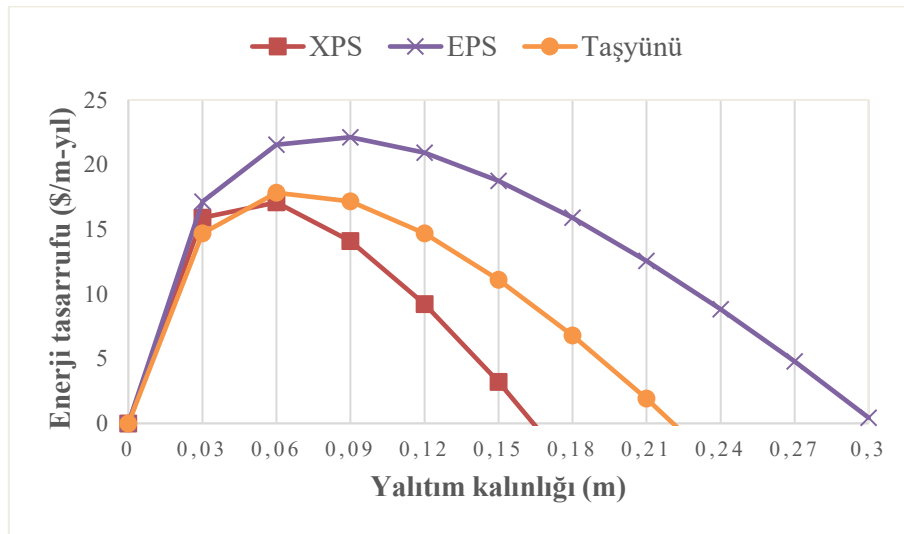
Şekil 3.35 ve Şekil 3.36 ise İzmir ili bölgesel ısıtma yer üstü ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı kullanımı durumunda çeşitli yalıtım malzemelerinin yalıtım kalınlığına bağlı enerji tasarrufu ilişkisi verilmiştir. Yer üstü borulama sistemi için optimum yalıtım kalınlığı XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 9,3 cm, 13,8 cm, 12,3 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 171,410 \$/m-yıl, 180,192 \$/m-yıl ve 172,138 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi için optimum yalıtım kalınlığı XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 7,3 cm, 11,5 cm, 9,7 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 39,391 \$/m-yıl, 46,430 \$/m-yıl, 40,017 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

İzmir ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Her iki borulama sistemi için de en fazla enerji

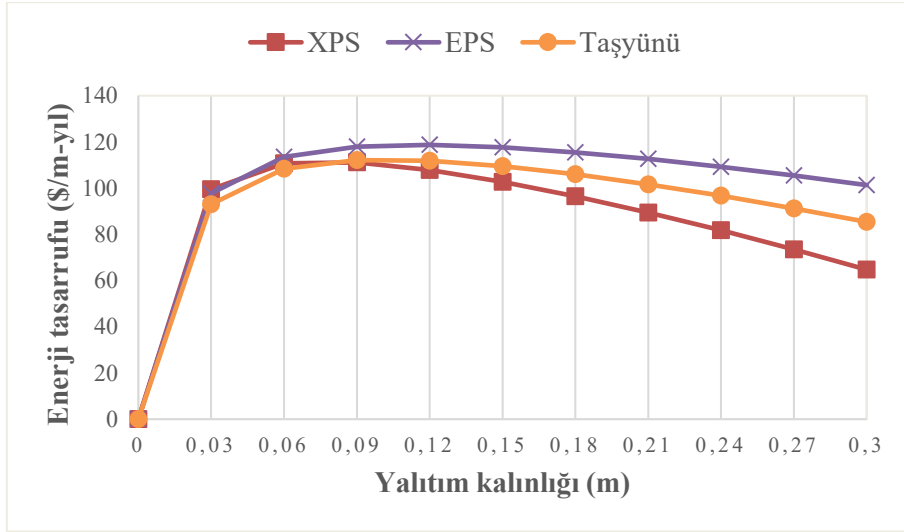
tasarrufu fuel-oil yakıtı kullanıldığında en az ise doğalgaz yakıtı kullanıldığında gerçekleşmektedir. Enerji tasarrufunun kullanılan yakıtın birim maliyeti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında ise kullanılan yakıt türlerinde en fazla optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufu EPS, en düşük optimum yalıtım kalınlığı ise XPS yalıtım malzemesinde görülmüştür. Çalışmada kullanılan yakıtlar için yer altı borulama sisteminde yer üstü borulama sistemine göre daha küçük optimum yalıtım kalınlığı gerekmektedir. Yer üstü borulama sistemlerinde toplam maliyet daha fazla olduğu için enerji tasarrufu miktarı daha fazla olmaktadır.



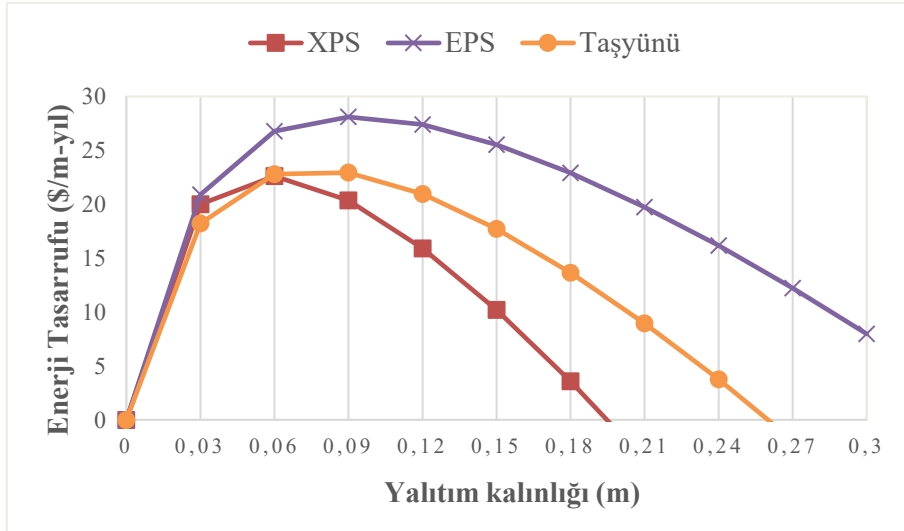
Şekil 3.31: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



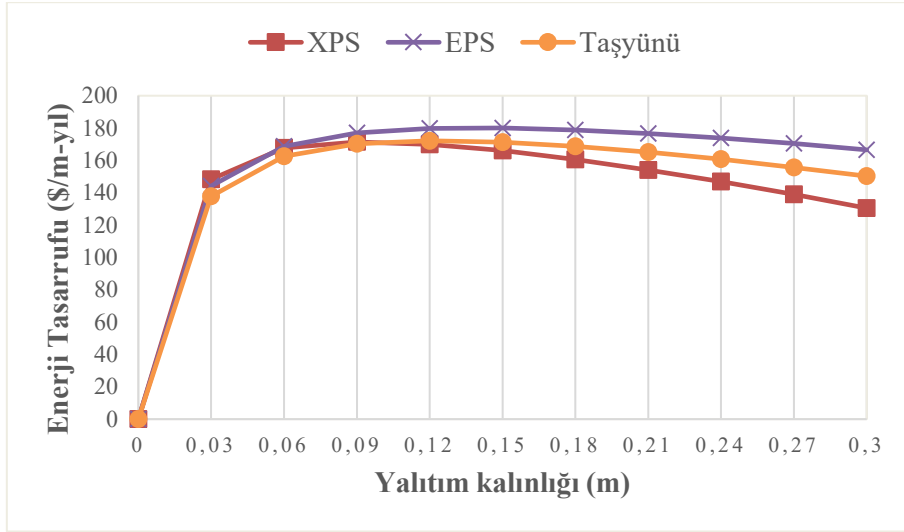
Şekil 3.32: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



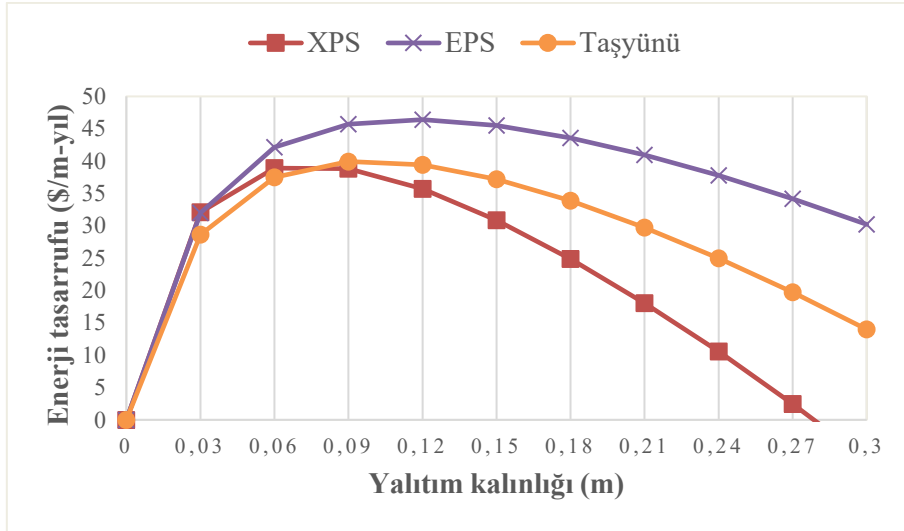
Şekil 3.33: İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



Şekil 3.34: İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



**Şekil 3.35:** İzmir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).



**Şekil 3.36:** İzmir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).

2.bölge derece-gün illerinden olan Balıkesir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına bağlı enerji tasarrufu ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.37 ve Şekil 3.38, kömür yakıtı için Şekil 3.39 ve Şekil 3.40, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.41 ve Şekil 3.42' de verilmiştir.

Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 8,8 cm, 13,1 cm, 11,6 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 149,410 \$/m-yıl, 161,112 \$/m-yıl ve 153,528 \$/m-yıl

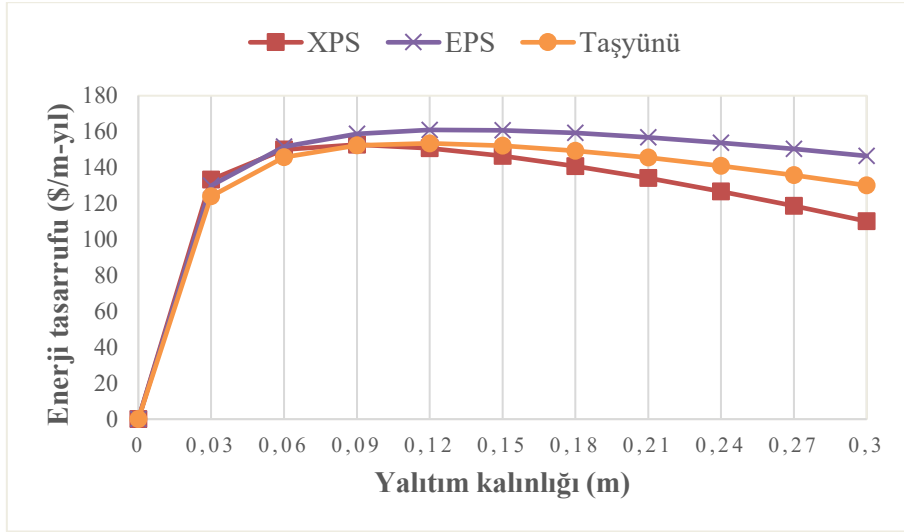
olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 6,9 cm, 10,9 cm, 9,1 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 34,069 \$/m-yıl, 40,654 \$/m-yıl, 34,690 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Kömür yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 9,6 cm, 14,3 cm, 12,7 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 184,782 \$/m-yıl, 193,881 \$/m-yıl ve 185,503 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 7,7 cm, 12 cm, 10,2 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 43,261 \$/m-yıl, 50,610 \$/m-yıl, 43,887 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

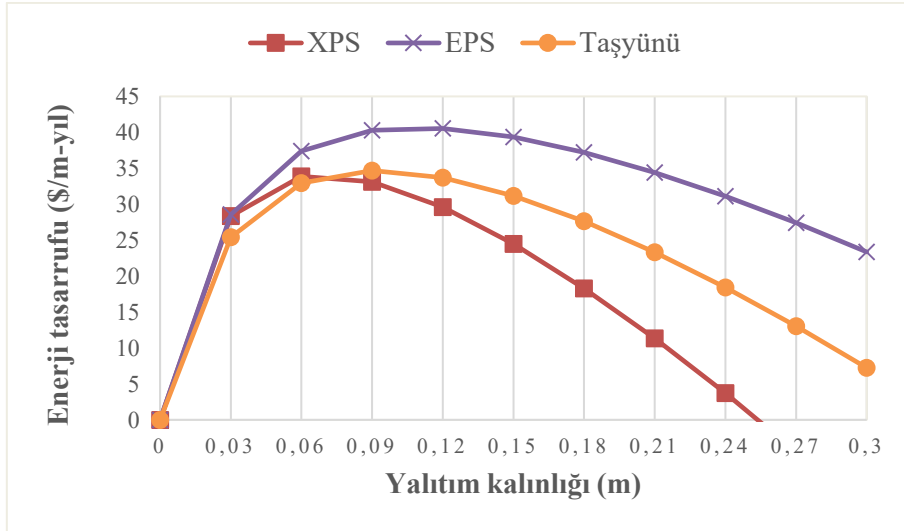
Fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 11,7 cm, 17,2 cm, 15,3 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 280,710 \$/m-yıl, 291,780 \$/m-yıl ve 281,328 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 9,7 cm, 14,9 cm, 12,8 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 71,853 \$/m-yıl, 81,136 \$/m-yıl, 72,429 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Balıkesir ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Her iki borulama sistemi için de en fazla enerji tasarrufu fuel-oil yakıtı kullanıldığında en az ise doğalgaz yakıtı kullanıldığında gerçekleşmektedir. Enerji tasarrufunun kullanılan yakıtın birim maliyeti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında ise kullanılan yakıt türlerinde en fazla optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufu EPS, en düşük optimum yalıtım kalınlığı ise XPS yalıtım malzemesinde görülmüştür. Çalışmada kullanılan yakıtlar için yer altı borulama sisteminde yer üstü borulama sistemine göre daha küçük optimum yalıtım kalınlığı gerekmektedir. Yer üstü borulama sistemlerinde toplam maliyet daha fazla olduğu için enerji tasarrufu miktarı daha fazla olmaktadır.

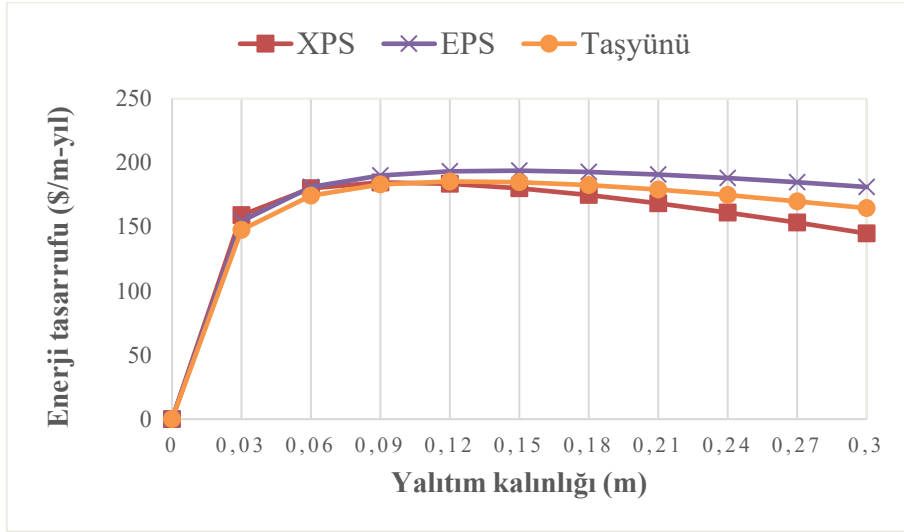




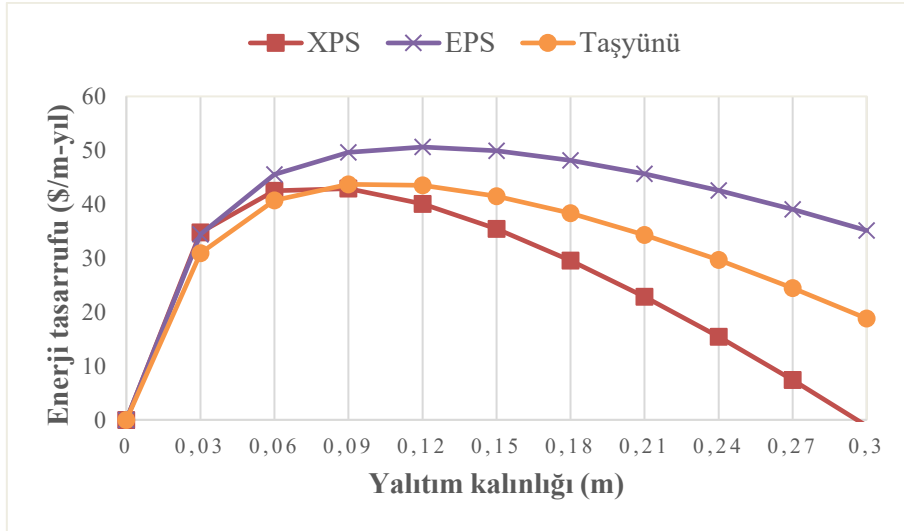
**Şekil 3.37:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



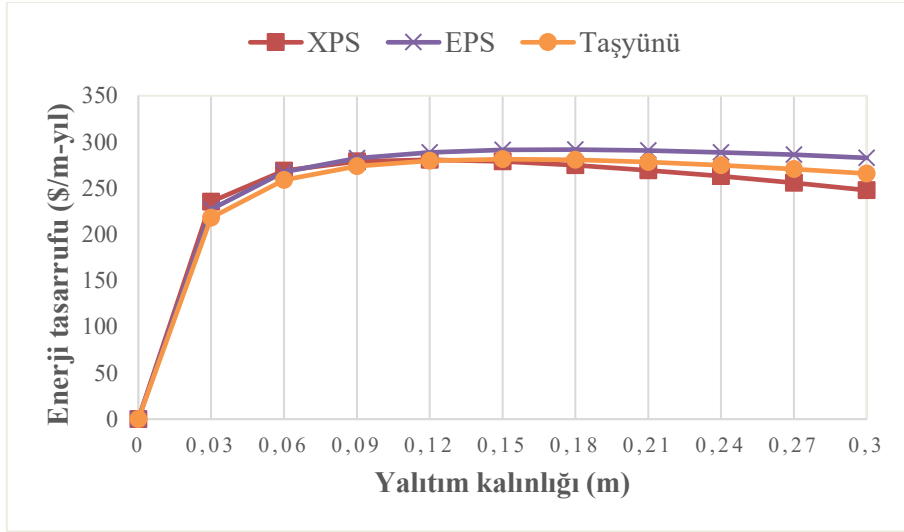
**Şekil 3.38:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



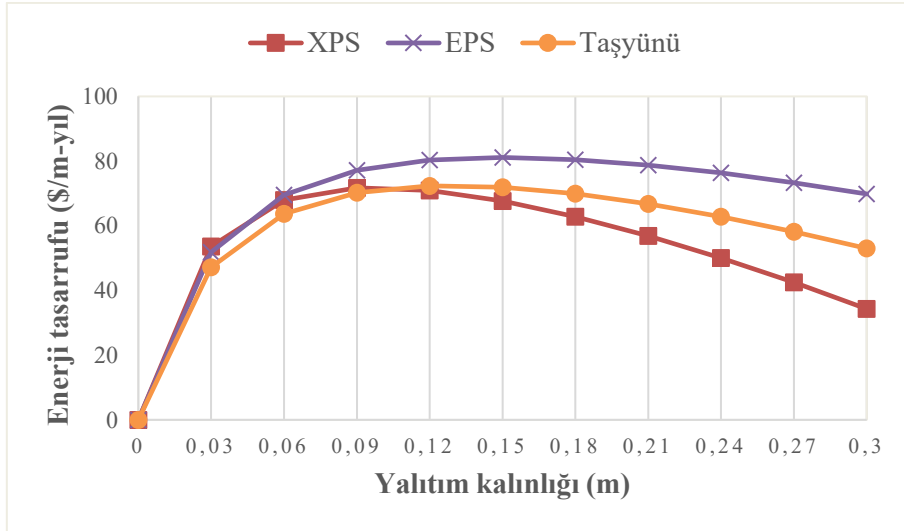
**Şekil 3.39:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



**Şekil 3.40:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



**Şekil 3.41:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).



**Şekil 3.42:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).

3.bölge derece-gün illerinden olan Ankara için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına bağlı enerji tasarrufu ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.43 ve Şekil 3.44, kömür yakıtı için Şekil 3.45 ve Şekil 3.46, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.47 ve Şekil 3.48' de verilmiştir.

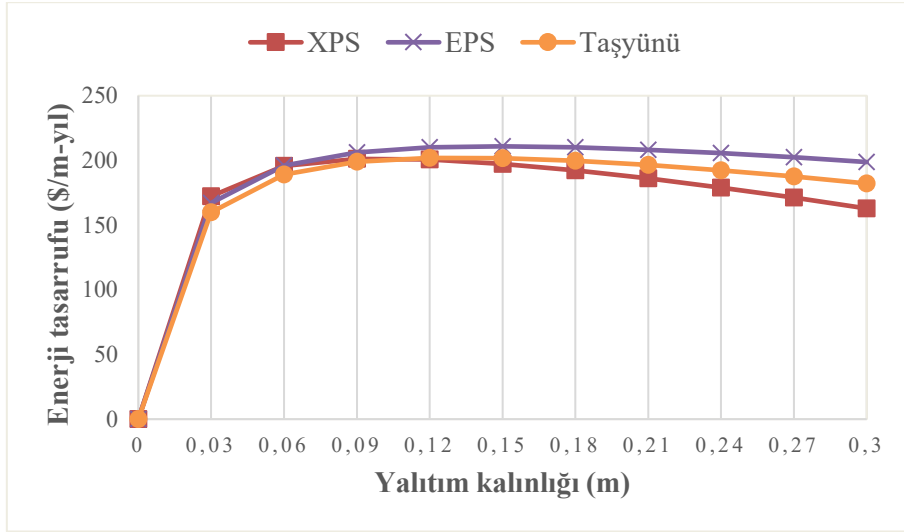
Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 10 cm, 14,8 cm, 13,2 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 201,405 \$/m-yıl, 210,879 \$/m-yıl ve 202,113 \$/m-yıl

olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 8,1 cm, 12,6 cm, 10,7 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 48,118 \$/m-yıl, 55,836 \$/m-yıl, 48,742 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

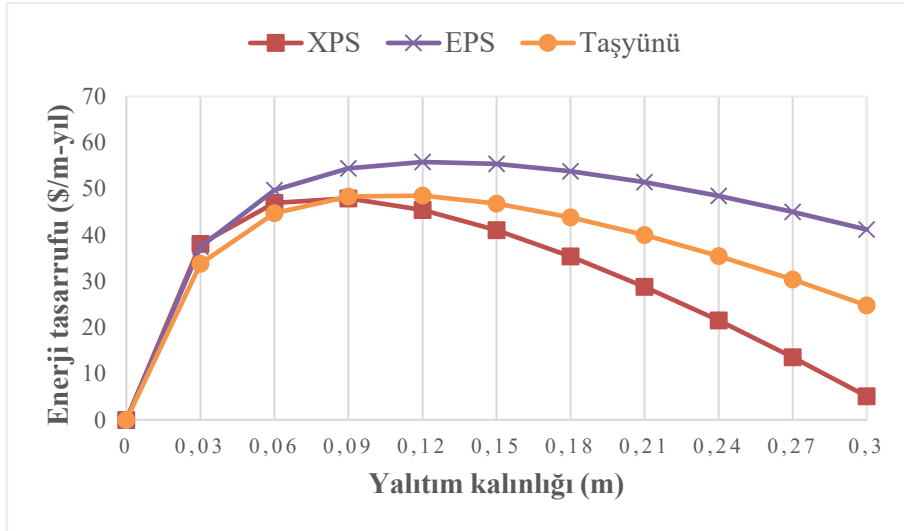
Kömür yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 10,9 cm, 16,1 cm, 14,4 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 242,939 \$/m-yıl, 253,285 \$/m-yıl ve 243,606 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 9 cm, 13,8 cm, 11,8 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 60,447 \$/m-yıl, 69,020 \$/m-yıl, 61,053 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 13,2 cm, 19,3 cm, 17,3 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 367,243 \$/m-yıl, 379,793 \$/m-yıl ve 367,723 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 11,3 cm, 17 cm, 14,8 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 98,499 \$/m-yıl, 109,234 \$/m-yıl, 98,975 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

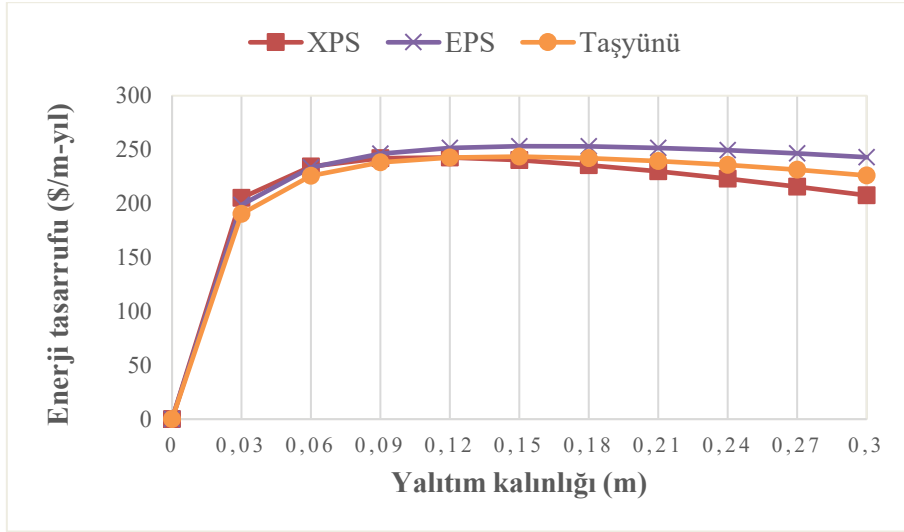
Ankara ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Her iki borulama sistemi için de en fazla enerji tasarrufu fuel-oil yakıtı kullanıldığında en az ise doğalgaz yakıtı kullanıldığında gerçekleşmektedir. Enerji tasarrufunun kullanılan yakıtın birim maliyeti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında ise kullanılan yakıt türlerinde en fazla optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufu EPS, en düşük optimum yalıtım kalınlığı ise XPS yalıtım malzemesinde görülmüştür. Çalışmada kullanılan yakıtlar için yer altı borulama sisteminde yer üstü borulama sistemine göre daha küçük optimum yalıtım kalınlığı gerekmektedir. Yer üstü borulama sistemlerinde toplam maliyet daha fazla olduğu için enerji tasarrufu miktarı daha fazla olmaktadır.



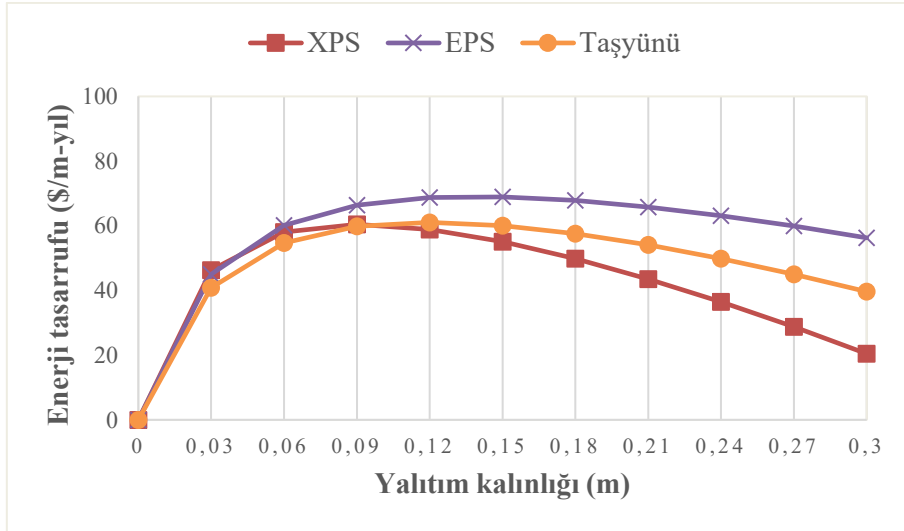
Şekil 3.43: Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



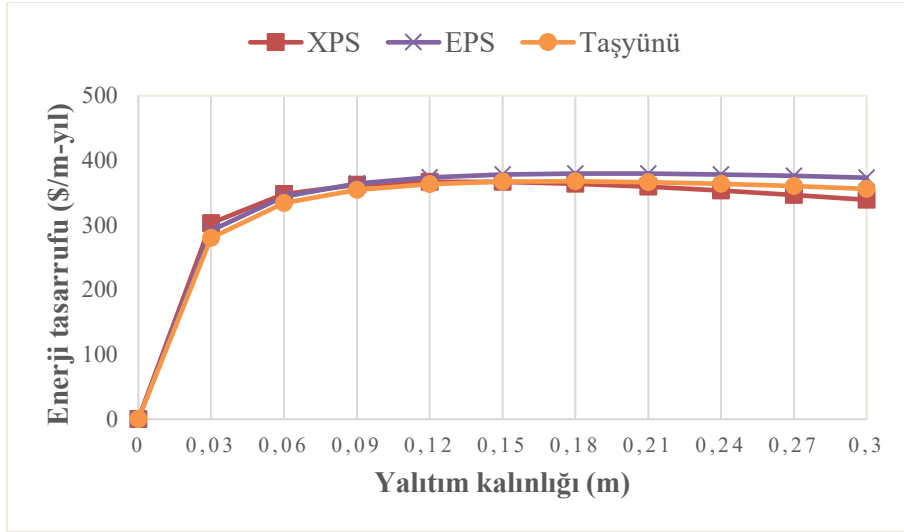
Şekil 3.44: Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



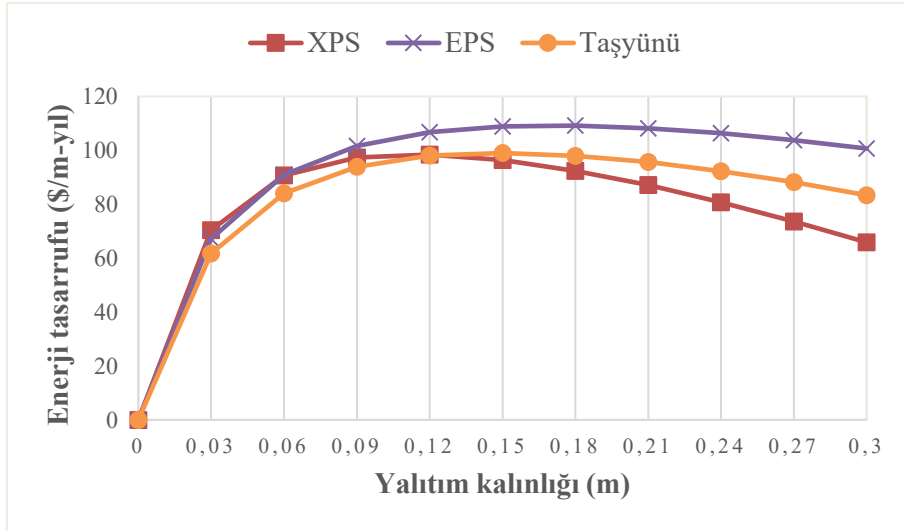
Şekil 3.45: Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



Şekil 3.46: Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



**Şekil 3.47:** Ankara ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).



**Şekil 3.48:** Ankara ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil).

4.bölge derece-gün illerinden olan Kayseri için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına bağlı enerji tasarrufu ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.49 ve Şekil 3.50, kömür yakıtı için Şekil 3.51 ve Şekil 3.52, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.53 ve Şekil 3.54' te verilmiştir.

Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 10,7 cm, 15,7 cm, 14 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 229,901 \$/m-yıl, 239,983 \$/m-yıl ve 230,582 \$/m-yıl

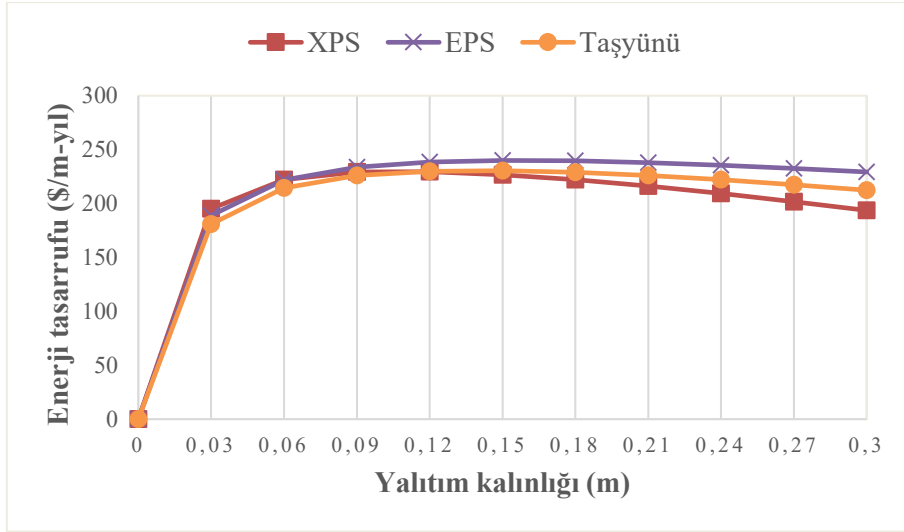
olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 8,7 cm, 13,5 cm, 11,5 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 56,551 \$/m-yıl, 64,864 \$/m-yıl, 57,163 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Kömür yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 11,6 cm, 17,1 cm, 15,2 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 277,000 \$/m-yıl, 288,002 \$/m-yıl ve 277,623 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 9,7 cm, 14,8 cm, 12,7 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 70,726 \$/m-yıl, 79,942 \$/m-yıl, 71,305 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

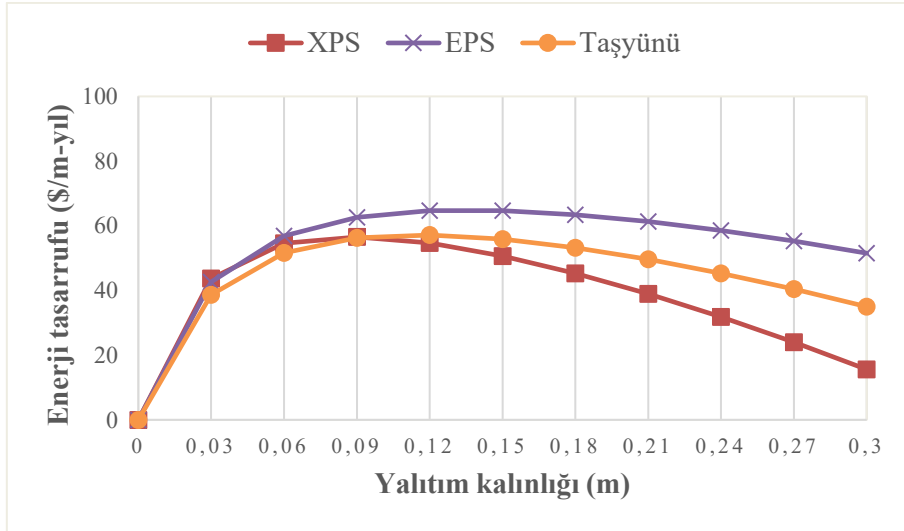
Fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 14 cm, 20,4 cm, 18,3 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 417,838 \$/m-yıl, 431,165 \$/m-yıl ve 418,223 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 12,1 cm, 18,2 cm, 15,8 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 114,334 \$/m-yıl, 125,830 \$/m-yıl, 114,736 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Kayseri ili için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Her iki borulama sistemi için de en fazla enerji tasarrufu fuel-oil yakıtı kullanıldığında en az ise doğalgaz yakıtı kullanıldığında gerçekleşmektedir. Enerji tasarrufunun kullanılan yakıtın birim maliyeti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında ise kullanılan yakıt türlerinde en fazla optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufu EPS, en düşük optimum yalıtım kalınlığı ise XPS yalıtım malzemesinde görülmüştür. Çalışmada kullanılan yakıtlar için yer altı borulama sisteminde yer üstü borulama sistemine göre daha küçük optimum yalıtım kalınlığı gerekmektedir. Yer üstü borulama sistemlerinde toplam maliyet daha fazla olduğu için enerji tasarrufu miktarı daha fazla olmaktadır.

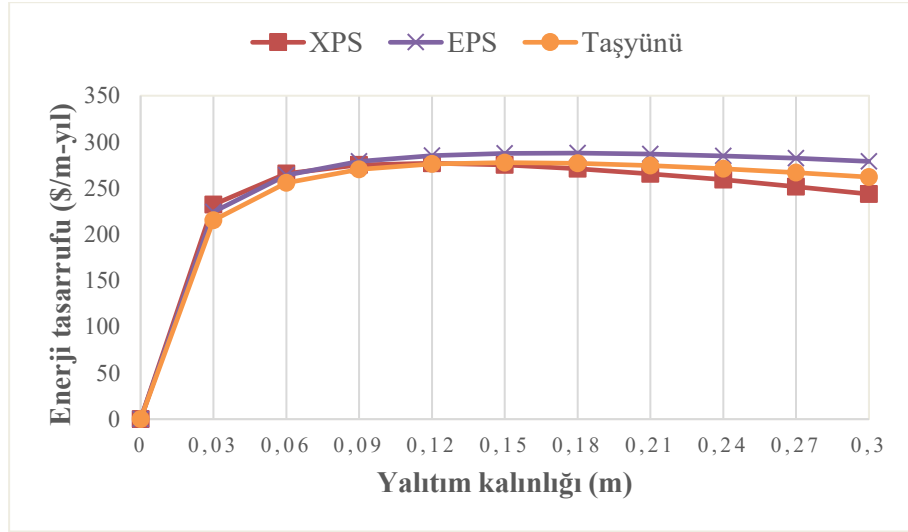




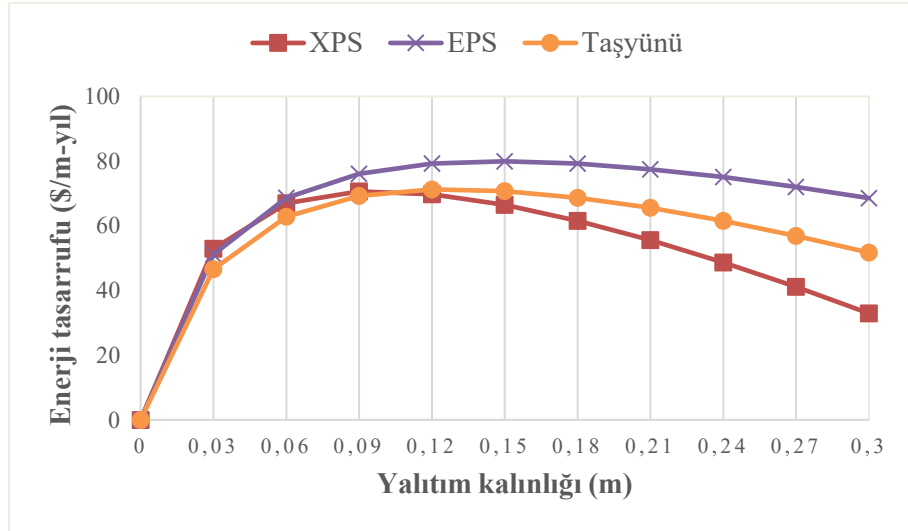
**Şekil 3.49:** Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



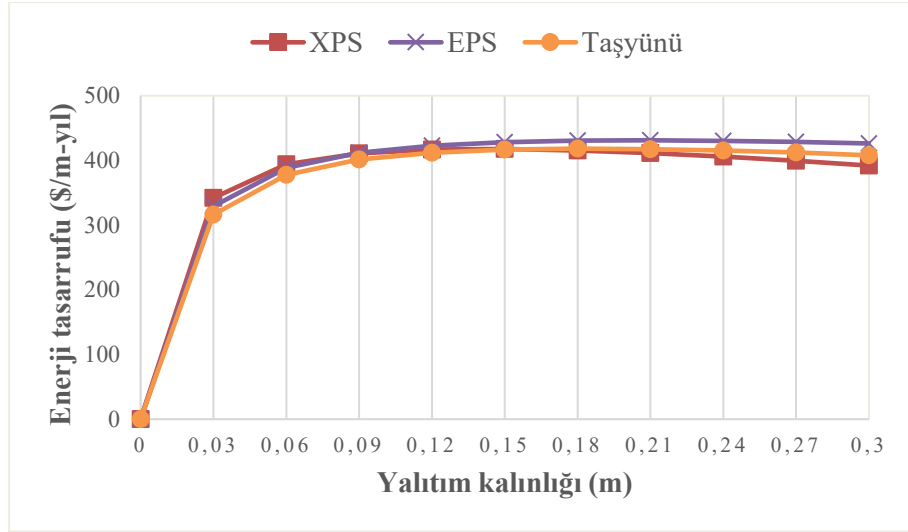
**Şekil 3.50:** Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



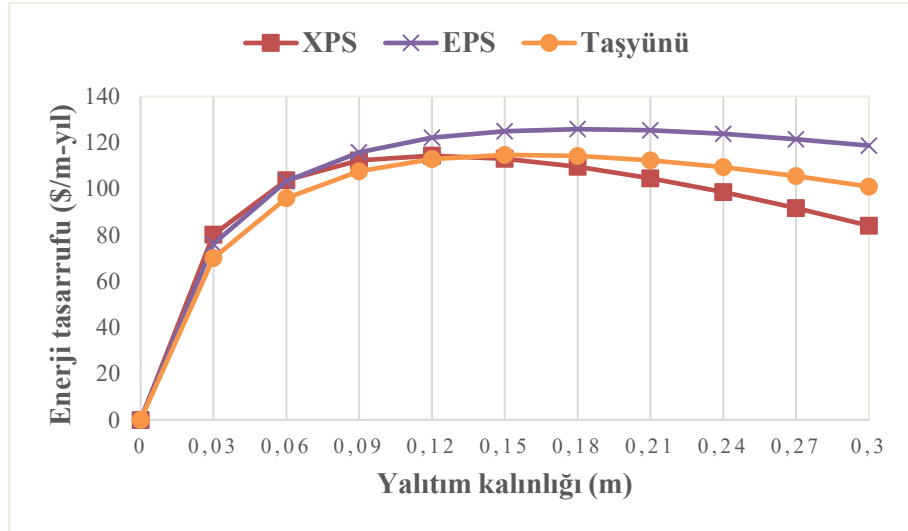
Şekil 3.51: Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



Şekil 3.52: Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



**Şekil 3.53:** Kayseri ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).



**Şekil 3.54:** Kayseri ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).

5.bölge derece-gün illerinden olan Erzurum için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sistemi ve yer altı borulama sistemi 1000 mm boru çapı, çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına bağlı enerji tasarrufu ilişkisi doğalgaz yakıtı için Şekil 3.55 ve Şekil 3.56, kömür yakıtı için Şekil 3.57 ve Şekil 3.58, fuel-oil yakıtı için ise Şekil 3.59 ve Şekil 3.60'ta verilmiştir.

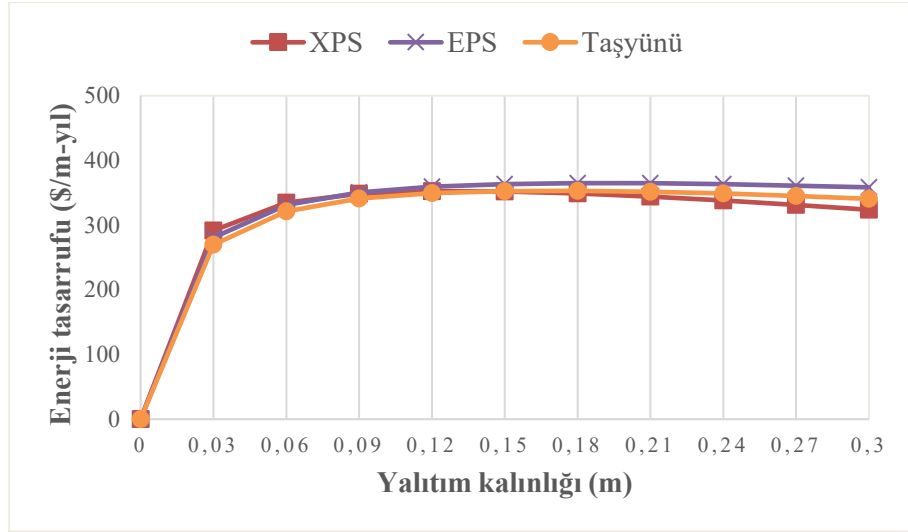
Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 13 cm, 19 cm, 17 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 352,627 \$/m-yıl, 364,941 \$/m-yıl ve 353,132 \$/m-yıl olarak

hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 11 cm, 16,7 cm, 14,5 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 93,957 \$/m-yıl, 104,460 \$/m-yıl, 94,452 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

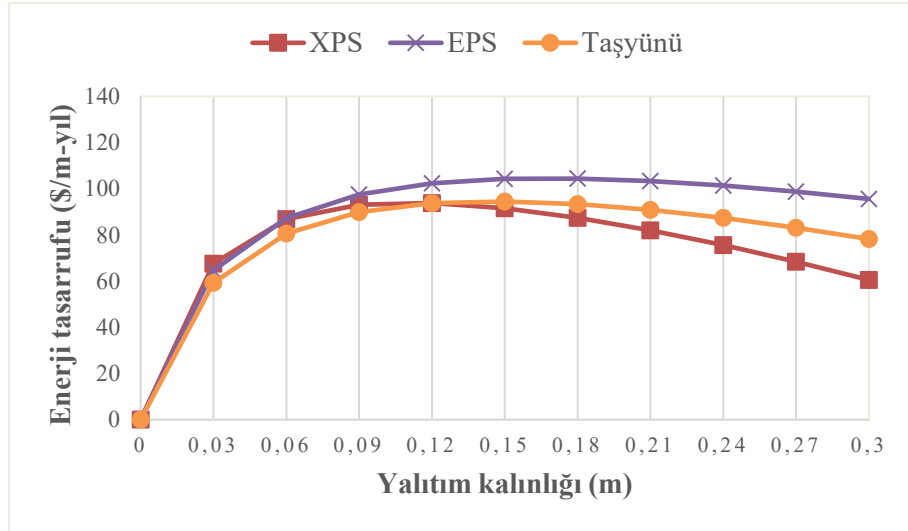
Kömür yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 14,1 cm, 20,5 cm, 18,4 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 423,524 \$/m-yıl, 436,935 \$/m-yıl ve 423,898 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 12,1 cm, 18,3 cm, 15,9 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 116,123 \$/m-yıl, 127,702 \$/m-yıl, 116,516 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı yer üstü borulama sistemi XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 16,9 cm, 24,5 cm, 22 cm, enerji tasarrufu değerleri ise sırasıyla 635,013 \$/m-yıl, 651,194 \$/m-yıl ve 634,928 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır. Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için sırasıyla 15 cm, 22,2 cm, 19,5 cm, enerji tasarrufu değerleri ise 183,717 \$/m-yıl, 198,009 \$/m-yıl, 183,721 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

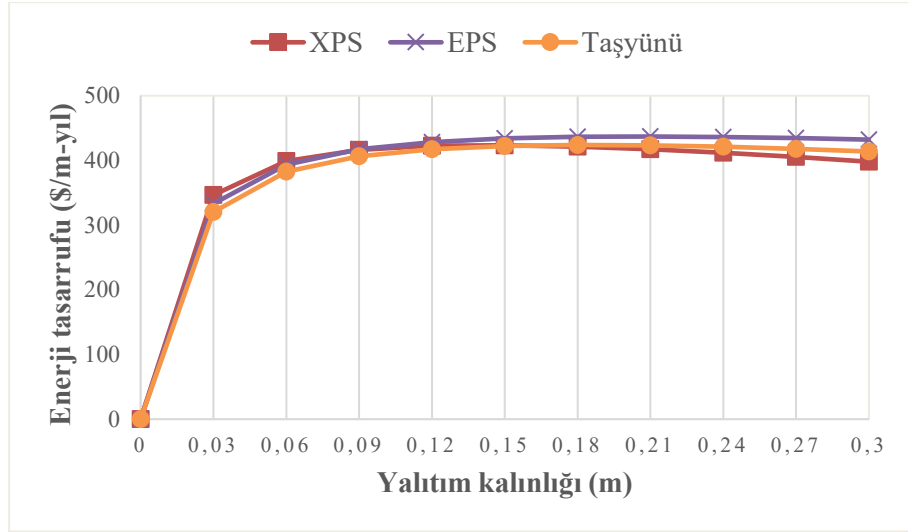
Erzurum ili için 1000 mm boru ebadı kullanılması durumunda yer üstü ve yer altı borulama sisteminin ikisi için de en küçük optimum yalıtım kalınlığı değeri doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda elde edilirken en büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda elde edilir. Her iki borulama sistemi için de en fazla enerji tasarrufu fuel-oil yakıtı kullanıldığında en az ise doğalgaz yakıtı kullanıldığında gerçekleşmektedir. Enerji tasarrufunun kullanılan yakıtın birim maliyeti ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında ise kullanılan yakıt türlerinde en fazla optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufu EPS, en düşük optimum yalıtım kalınlığı ise XPS yalıtım malzemesinde görülmüştür. Çalışmada kullanılan yakıtlar için yer altı borulama sisteminde yer üstü borulama sistemine göre daha küçük optimum yalıtım kalınlığı gerekmektedir. Yer üstü borulama sistemlerinde toplam maliyet daha fazla olduğu için enerji tasarrufu miktarı daha fazla olmaktadır.



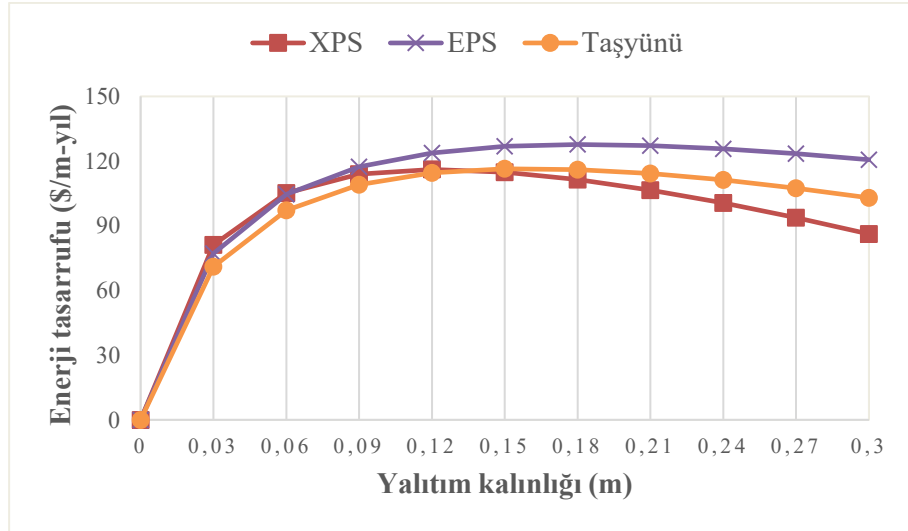
Şekil 3.55: Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



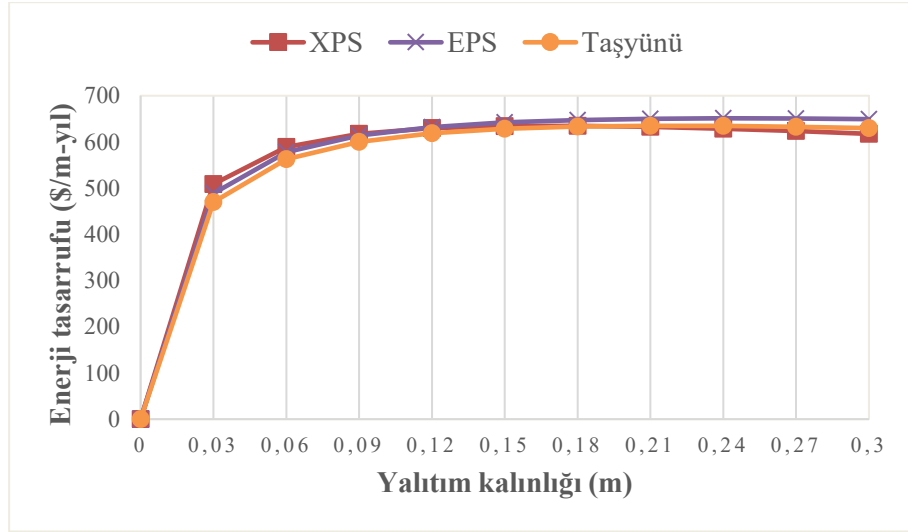
Şekil 3.56: Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, doğalgaz yakıtı).



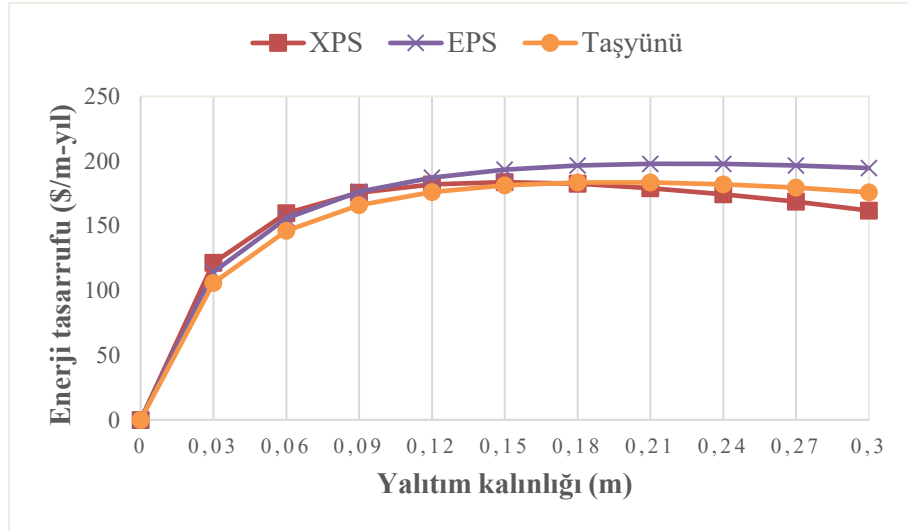
Şekil 3.57: Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



Şekil 3.58: Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, kömür yakıtı).



**Şekil 3.59:** Erzurum ili yer üstü borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).



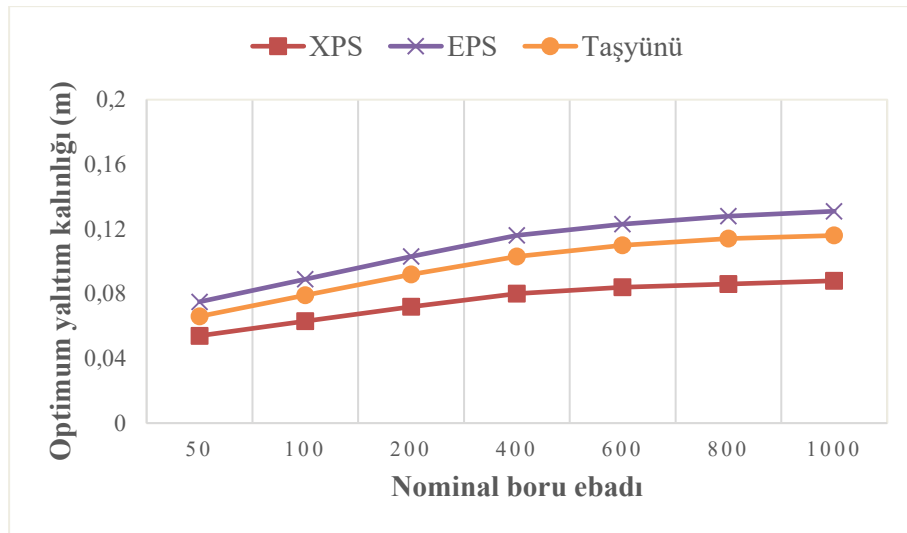
**Şekil 3.60:** Erzurum ili yer altı borulama sistemi yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu ilişkisi (1000 mm boru çapı, fuel-oil yakıtı).

### 3.3 Nominal Boru Ebadına (Boru Çapına) Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, Emisyonlar

Balıkesir ili yer üstü bölgesel ısıtma sisteminde doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin ilişkisi Şekil 3.61’de verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için optimum yalıtım kalınlığı değeri sırasıyla XPS yalıtım malzemesinde 5,4-8,8 cm, EPS yalıtım malzemesinde 7,5-13,1 cm ve taş yünü yalıtım malzemesinde ise 6,6-11,6 cm olarak hesaplanmıştır.

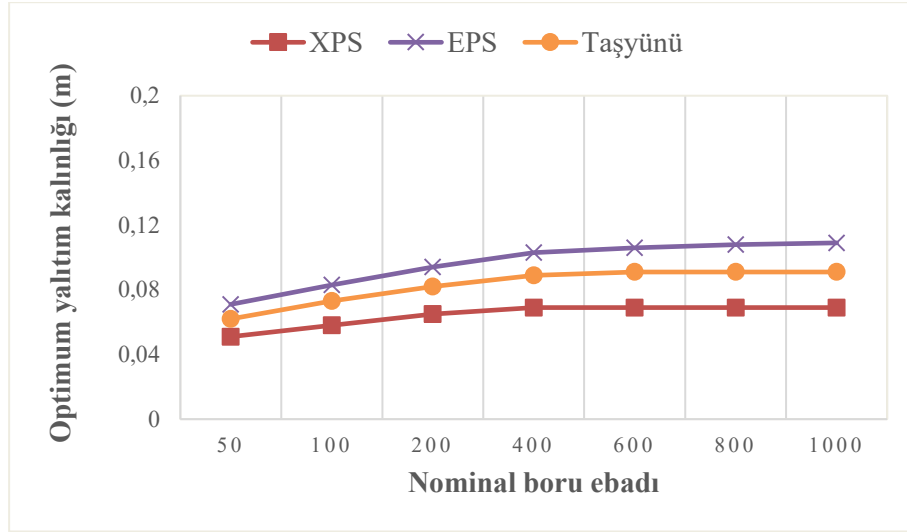
Balıkesir ili yer altı bölgesel ısıtma sisteminde doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli boru çaplarında oluşan optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin ilişkisi Şekil 3.62’de verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için optimum yalıtım kalınlığı değeri sırasıyla XPS yalıtım malzemesinde 5,1-6,9 cm, EPS yalıtım malzemesinde 7,1-10,9 cm ve taş yünü yalıtım malzemesinde ise 6,2-9,1 cm olarak hesaplanmıştır.

Grafikler incelendiğinde yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde bütün yalıtım malzemeleri için boru çapı arttıkça yakıt tüketimi arttığı için optimum yalıtım kalınlığının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni boru çapının büyümesi ile, borunun ısı transfer alanı büyür ve ısı kayıpları artar bu ısı kayıpları ise yalıtım kalınlığını artırarak önlenmektedir. Yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemi için büyük çaplı borularda optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum büyük çaplı borularda aynı optimum yalıtım kalınlığı kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Yer üstü bölgesel ısıtma borulama sistemlerine göre yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde daha düşük optimum yalıtım kalınlığı değerleri gerektiği görülmüştür. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında optimum yalıtım kalınlığı değerinin en fazla EPS kullanılması durumu için en az ise XPS kullanılması durumu için olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi ise EPS yalıtım malzemesinin ısı transfer katsayısı ve birim fiyatı ile ilgili olup EPS yalıtım malzemesinin birim fiyatı düşüktür.



**Şekil 3.61:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).





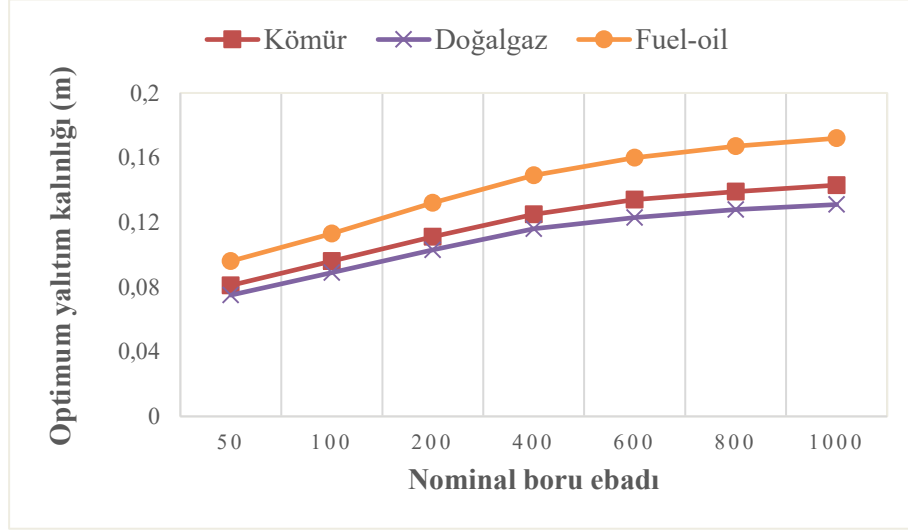
**Şekil 3.62:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).

Balıkesir ili yer üstü bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yakıtların çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin ilişkisi Şekil 3.63'te verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için optimum yalıtım kalınlığı değeri sırasıyla doğalgaz yakıtı için 7,5-13,1 cm, kömür yakıtı için 8,1-14,3 cm ve fuel-oil yakıtı için ise 9,6-17,2 cm olarak hesaplanmıştır.

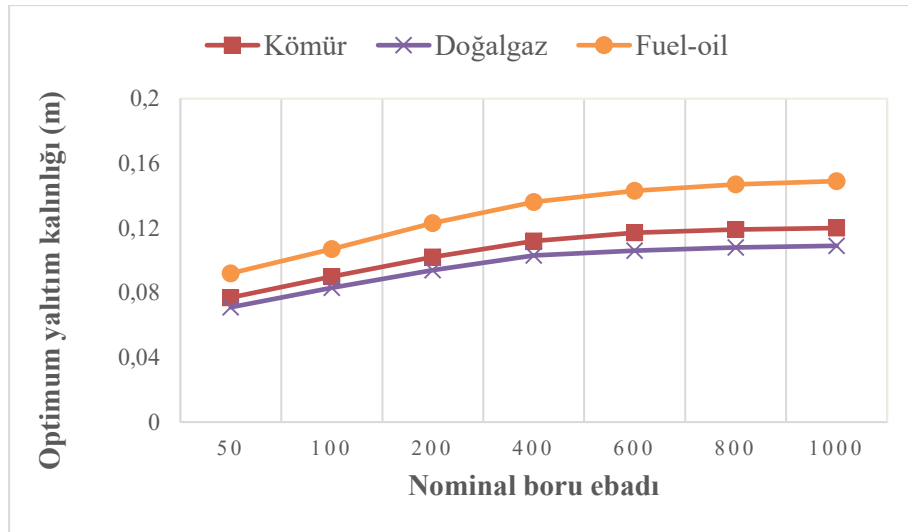
Balıkesir ili yer altı bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yakıtların çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin ilişkisi Şekil 3.64'te verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için optimum yalıtım kalınlığı değeri sırasıyla doğalgaz yakıtı için 7,1-10,9 cm, kömür yakıtı için 7,7-12 cm ve fuel-oil yakıtı için ise 9,2-14,9 cm olarak hesaplanmıştır.

Grafikler incelendiğinde yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde bütün yakıt türleri için boru çapı arttıkça optimum yalıtım kalınlığının arttığı görülmektedir. Yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemi için büyük çaplı borularda optimum yalıtım kalınlığı değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum büyük çaplı borularda aynı optimum yalıtım kalınlığı kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Yer üstü bölgesel ısıtma borulama sistemlerine göre yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde daha düşük optimum yalıtım kalınlığı değerleri gerektiği görülmüştür. Yakıt türleri karşılaştırıldığında optimum yalıtım kalınlığı değerinin en fazla fuel-oil kullanılması durumu için en az ise doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi ise fuel-oil yakıtının birim fiyatının yüksek olması ile ilgilidir. Doğalgaz ve

kömür yakıtlarının birim fiyatlarının yakın olması da grafiklerinin benzemesini açıklamaktadır.



**Şekil 3.63:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).

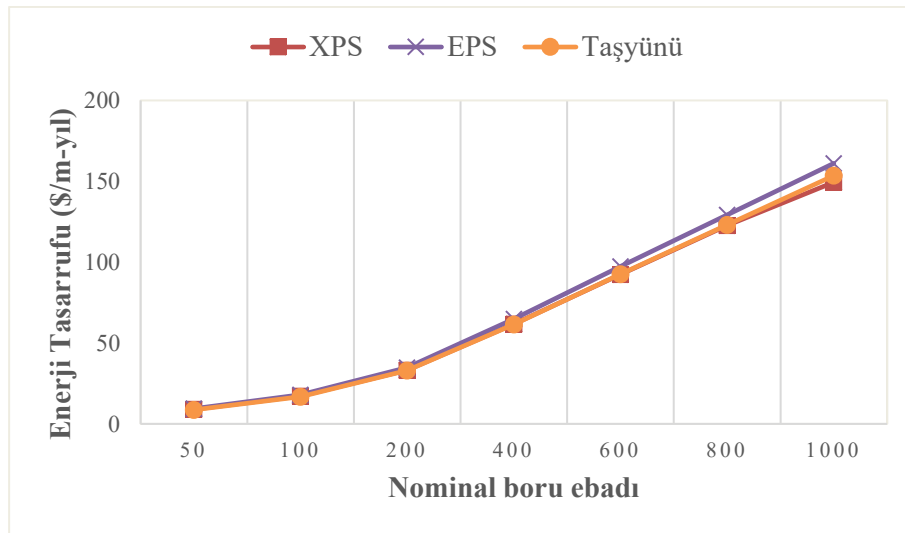


**Şekil 3.64:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların optimum yalıtım kalınlığı nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).

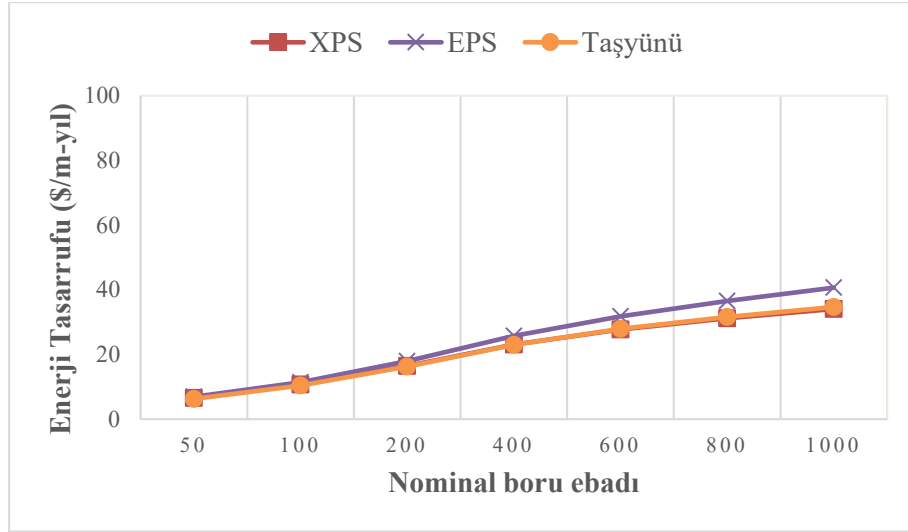
Balıkesir ili yer üstü bölgesel ısıtma sisteminde doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan enerji tasarrufu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.65'te verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için enerji tasarrufu değeri sırasıyla XPS yalıtım malzemesinde 8,992-149,410 \$/m-yıl, EPS yalıtım malzemesinde 9,409-161,112 \$/m-yıl ve taş yünü yalıtım malzemesinde ise 8,693-153,528 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Balıkesir ili yer altı bölgesel ısıtma sisteminde doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan enerji tasarrufu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.66'da verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için optimum yalıtım kalınlığı değeri sırasıyla XPS yalıtım malzemesinde 6,527-34,069 \$/m-yıl, EPS yalıtım malzemesinde 6,914-40,654 \$/m-yıl ve taş yünü yalıtım malzemesinde ise 6,261-34,690 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Grafikler incelendiğinde yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde bütün yalıtım malzemeleri için boru çapı arttıkça enerji tasarrufunun da arttığı görülmektedir. Büyük çaplı borularda ısı transfer alanının büyük olması sonucu yalıtım kalınlığının artışı, hesaplamalarda bakım ve işletme giderlerinin hesaba katılmaması enerji tasarrufunu artıran etkenlerdendir. Yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemleri ayrı ayrı ele alındığında yalıtım malzemelerinin enerji tasarrufu değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir ancak büyük çaplı borularda aradaki fark biraz artmaktadır. Yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerine göre yer üstü bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde daha yüksek enerji tasarrufu değerleri hesaplanmıştır. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında enerji tasarrufu değerinin en fazla EPS kullanılması durumu için olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi ise EPS yalıtım malzemesinin birim fiyatının düşük olmasıdır.



**Şekil 3.65:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım malzemelerinin enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).



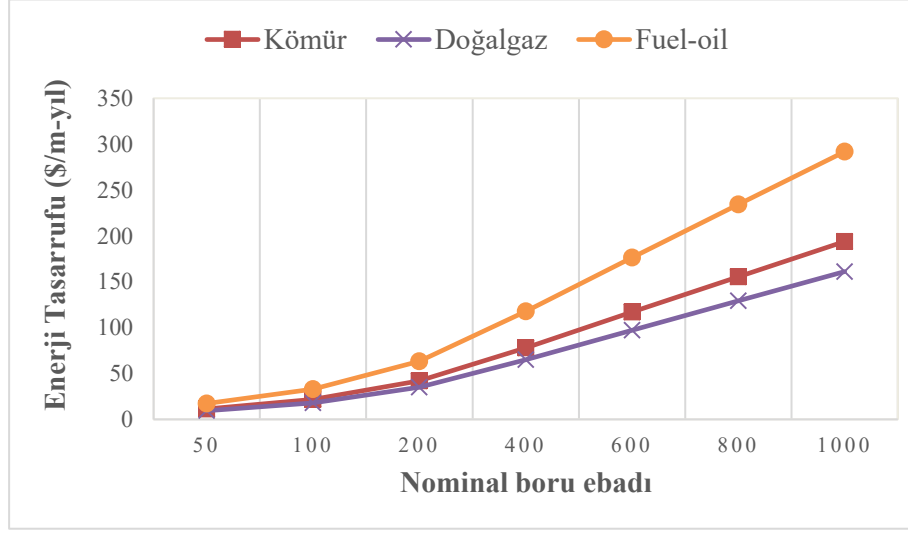
**Şekil 3.66:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım malzemelerinin enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).

Balıkesir ili yer üstü bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yakıtların çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan enerji tasarrufu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.67’de verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için enerji tasarrufu değeri sırasıyla doğalgaz yakıtı için 9,409-161,112 \$/m-yıl, kömür yakıtı için 11,379-193,881 \$/m-yıl ve fuel-oil yakıtı için ise 17,306-291,780 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

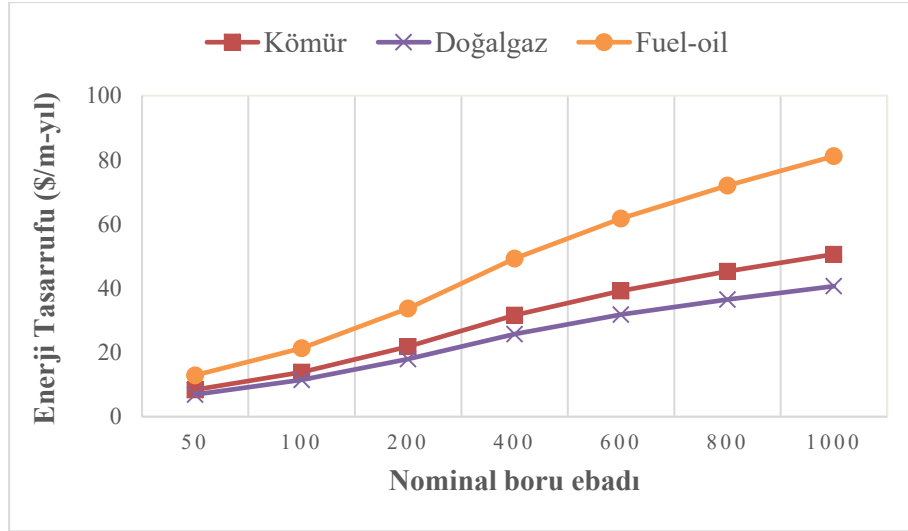
Balıkesir ili yer altı bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yakıtların çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan enerji tasarrufu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.68’de verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için enerji tasarrufu değeri sırasıyla doğalgaz yakıtı için 6,914-40,654 \$/m-yıl, kömür yakıtı için 8,405-50,610 \$/m-yıl ve fuel-oil yakıtı için ise 12,913-81,136 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Grafikler incelendiğinde yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde bütün yalıtım malzemeleri için boru çapı arttıkça enerji tasarrufunun da arttığı görülmektedir. Büyük çaplı borularda ısı transfer alanının büyük olması sonucu yalıtım kalınlığının artışı, hesaplamalarda bakım ve işletme giderlerinin hesaba katılmaması enerji tasarrufunu artıran etkenlerdendir. Yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemleri ayrı ayrı ele alındığında yakıt türlerinin enerji tasarrufu değerlerinde küçük çaplı borularda birbirlerine yakın olduğu görülmekte ancak büyük çaplı borularda aradaki fark artmaktadır. Yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerine göre yer üstü bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde daha yüksek enerji tasarrufu değerleri hesaplanmıştır. Yakıt türleri karşılaştırıldığında kömür ve doğalgaz yakıtlarının enerji tasarrufu değerlerinin yakın olduğu birim fiyatı yüksek

olan fuel-oil yakıtı kullanılması durumunda ise en fazla enerji tasarrufu elde edileceği hesaplanmıştır.



Şekil 3.67: Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).

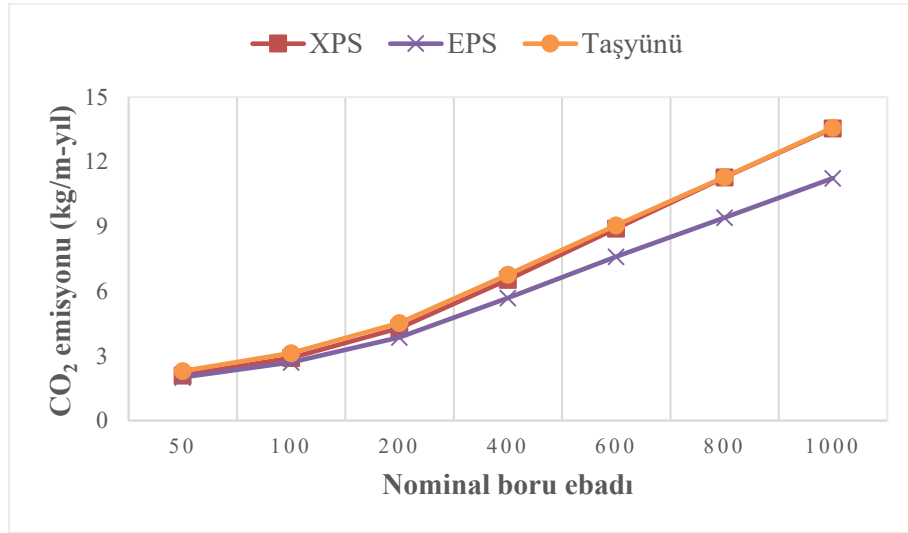


Şekil 3.68: Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların enerji tasarrufu nominal boru ebadı ilişkisi. (EPS yalıtım malzemesi).

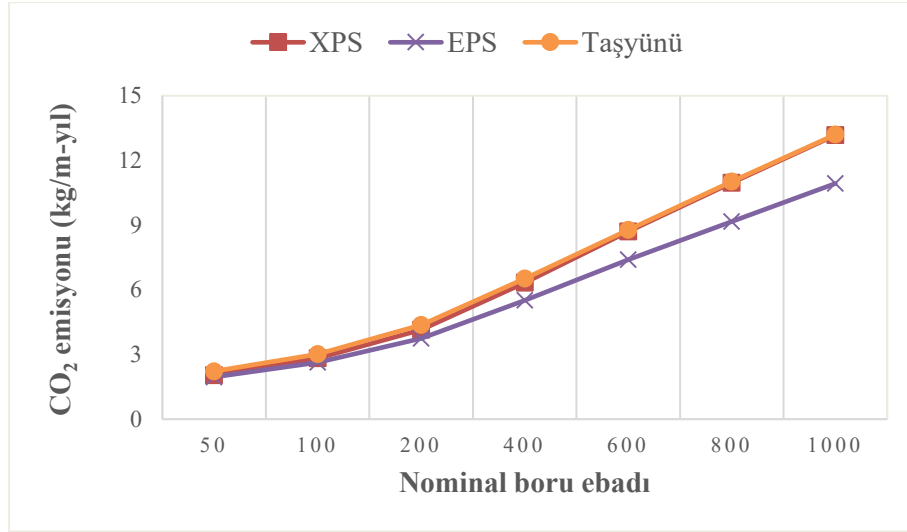
Balıkesir ili yer üstü bölgesel ısıtma sisteminde doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan yakıt tüketimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.69'da verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için CO<sub>2</sub> emisyonu değeri sırasıyla XPS yalıtım malzemesinde 2,100-13,557 kg/m-yıl, EPS yalıtım malzemesinde 2,008-11,242 kg/m-yıl ve taş yünü yalıtım malzemesinde ise 2,297-13,587 kg/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Balıkesir ili yer altı bölgesel ısıtma sisteminde doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan yakıt tüketimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.70’te verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için optimum yalıtım kalınlığı değeri sırasıyla XPS yalıtım malzemesinde 2,039-13,169 kg/m-yıl, EPS yalıtım malzemesinde 1,953-10,928 kg/m-yıl ve taş yünü yalıtım malzemesinde ise 2,222-13,197 kg/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Grafikler incelendiğinde yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde bütün yalıtım malzemeleri için boru çapı arttıkça CO<sub>2</sub> emisyonunun da arttığı görülmektedir. Yer altı ve yer üstü bölgesel ısıtma borulama sistemleri için CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri birbirine çok yakın değerlerdedir. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri EPS için en az değerini alır taş yünü ve XPS birbirine çok yakın emisyon değerlerine sahiptir.



**Şekil 3.69:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yalıtım malzemelerinin CO<sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).

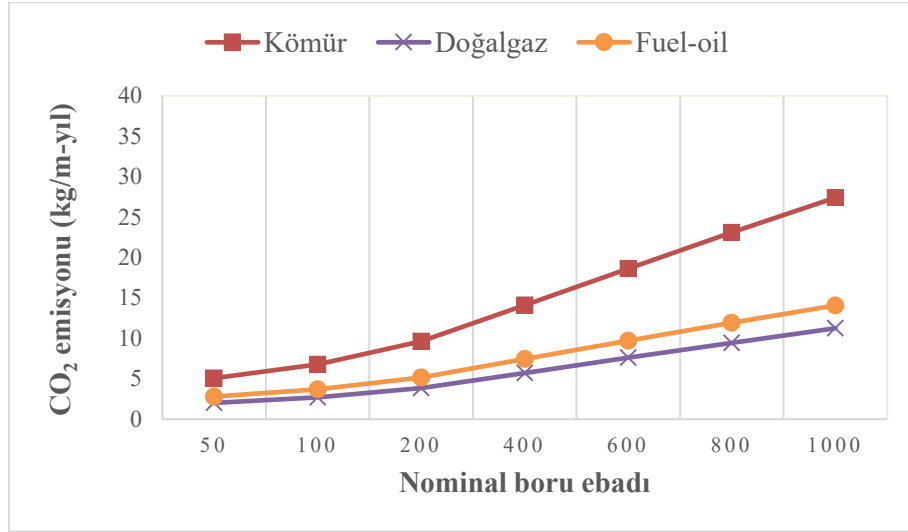


**Şekil 3.70:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yalıtım malzemelerinin CO<sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (Doğalgaz yakıtı).

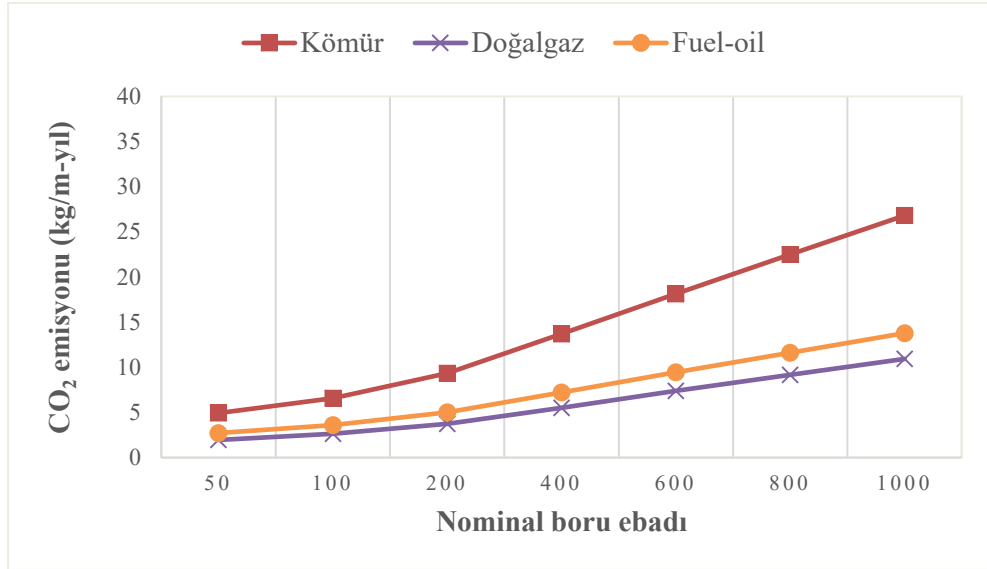
Balıkesir ili yer üstü bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan yakıt tüketimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.71’de verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için CO<sub>2</sub> emisyonu değeri sırasıyla doğalgaz yakıtı için 2,008-11,242 kg/m-yıl, kömür yakıtı için 5,068-27,393 kg/m-yıl ve fuel-oil yakıtı için ise 2,794-14,067 kg/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Balıkesir ili yer altı bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan yakıt tüketimine bağlı CO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.72’de verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için CO<sub>2</sub> değeri sırasıyla doğalgaz yakıtı için 1,953-10,928 kg/m-yıl, kömür yakıtı için 4,930-26,805 kg/m-yıl ve fuel-oil yakıtı için ise 2,721-13,782 kg/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Grafikler incelendiğinde yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde bütün yakıt türleri için boru çapı arttıkça CO<sub>2</sub> emisyonunun da arttığı görülmektedir. Yakıt türleri karşılaştırıldığında yakıt tüketimi en fazla olan kömür yakıtı için CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri en fazla olmuştur. En az ise doğalgaz yakıtı için bulunmuştur.



**Şekil 3.71:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların CO<sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).



**Şekil 3.72:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların CO<sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).

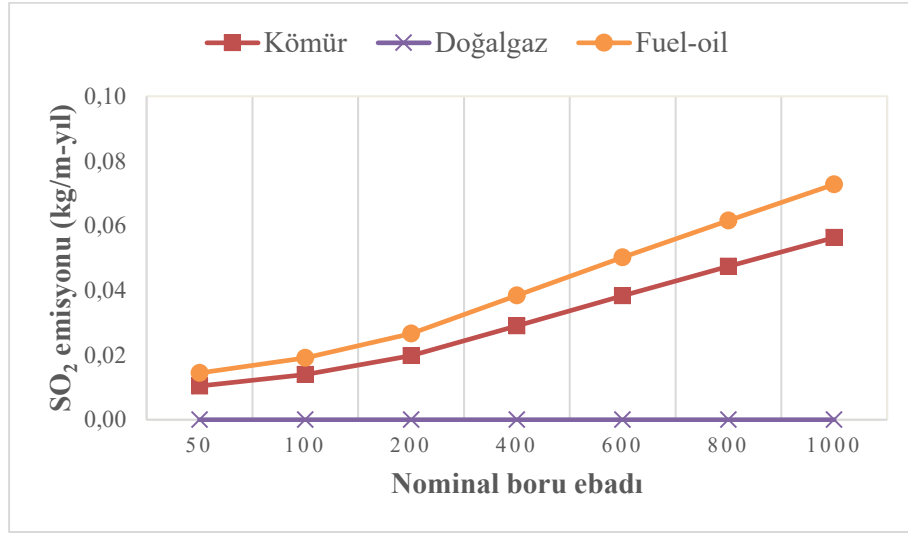
Balıkesir ili yer üstü bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan yakıt tüketimine bağlı SO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.73'te verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için SO<sub>2</sub> emisyonu kömür yakıtı için 0,010-0,056 kg/m-yıl ve fuel-oil yakıtı için ise 0,014-0,073 kg/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Balıkesir ili yer altı bölgesel ısıtma sisteminde EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumu için yalıtım malzemelerinin çeşitli nominal boru ebatlarında oluşan yakıt tüketimine bağlı

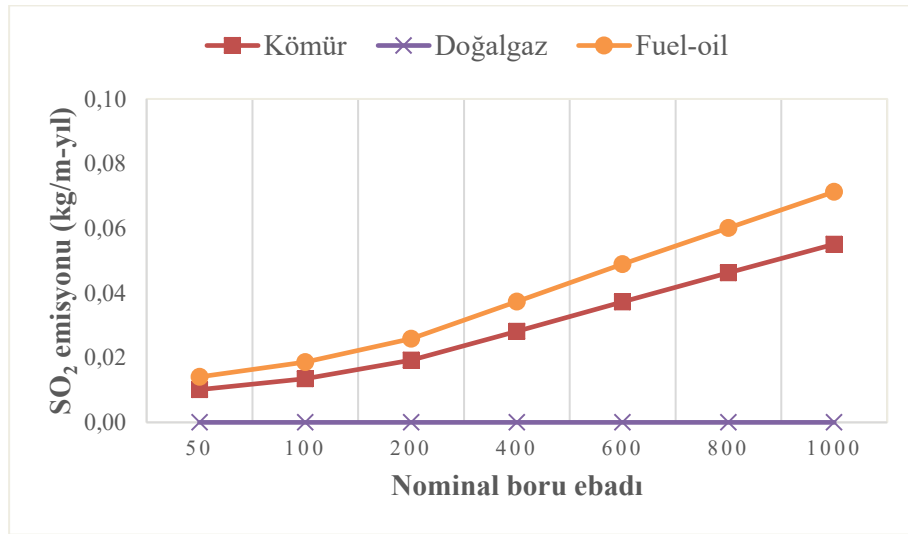


SO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin ilişkisi Şekil 3.74'te verilmiştir. 50 mm ve 1000 mm boru çapları için SO<sub>2</sub> değeri sırasıyla kömür yakıtı için 0,010-0,055 \$/m-yıl ve fuel-oil yakıtı için ise 0,014-0,071 \$/m-yıl olarak hesaplanmıştır.

Grafikler incelendiğinde yer üstü ve yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemlerinde bütün yakıt türleri için boru çapı arttıkça SO<sub>2</sub> emisyonunun da arttığı görülmektedir. Yakıt türleri karşılaştırıldığında SO<sub>2</sub> emisyonu değerleri en fazla olan fuel-oil yakıtıdır. Ayrıca doğalgaz kükürt içermediği için SO<sub>2</sub> emisyonu oluşmamaktadır.



Şekil 3.73: Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi yakıtların SO<sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi).



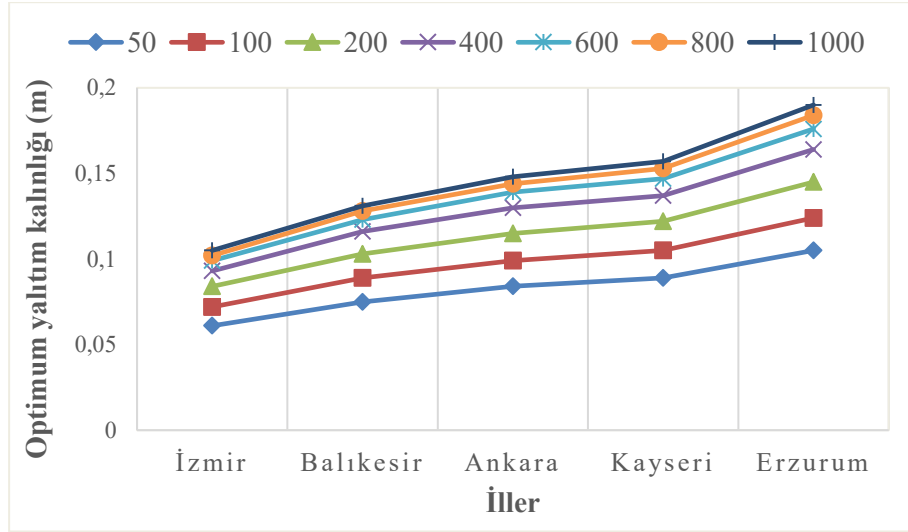
Şekil 3.74: Balıkesir ili yer altı borulama sistemi yakıtların SO<sub>2</sub> emisyonu nominal boru ebadı ilişkisi (EPS yalıtım malzemesi)

### **3.4 İllerin Isıtma Derece-Gün Değerlerine Bağlı Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, Emisyon Değerleri**

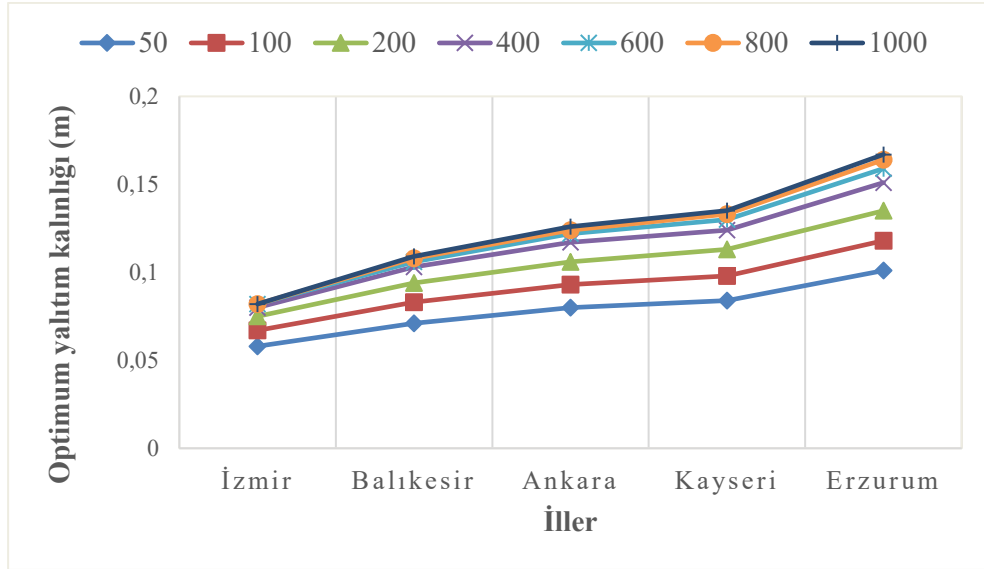
İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri, Erzurum illeri için yapılan çalışmada ısıtma derece gün değerleri sırasıyla 1480, 2312, 2960, 3336, 4934 °C-gün olup her il, derece-gün bölgelerinden birini temsil etmektedir.

Şekil 3.75 yer üstü Şekil 3.76 yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemi için, farklı ısıtma derece-gün değerlerine sahip olan illere göre optimum yalıtım kalınlığının çeşitli nominal boru ebatlarına göre ilişkisi EPS yalıtım malzemesi ve doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için verilmiştir. 1.ısıtma derece-gün bölgesinde olan İzmir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde optimum yalıtım kalınlığı 6,1-10,5 cm, yer altı borulama sistemi için 5,8-8,2 cm arasında değişmektedir. 2.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Balıkesir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde optimum yalıtım kalınlığı 7,5-13,1 cm, yer altı borulama sistemi için 7,1-10,9 cm arasında değişmektedir. 3.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Ankara için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde optimum yalıtım kalınlığı 8,4-14,8 cm, yer altı borulama sistemi için 8-12,6 cm arasında değişmektedir. 4.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Kayseri için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde optimum yalıtım kalınlığı 8,9-15,7 cm, yer altı borulama sistemi için 8,4-13,5 cm arasında değişmektedir. 5.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Erzurum için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde optimum yalıtım kalınlığı 10,5-19 cm, yer altı borulama sistemi için 10,1-16,7 cm arasında değişmektedir.

Grafikleri incelediğimizde ısıtma derece-gün değeri arttığında optimum yalıtım kalınlığı değeri de artmaktadır. Ayrıca büyük çaplı borularda ısıtma derece-gün değeri artmasına rağmen optimum yalıtım kalınlıklarının yakın değerler olduğu görülmüştür.



**Şekil 3.75:** Yer üstü borulama sistemi nominal boru ebatlarında optimum yalıtım kalınlığı iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



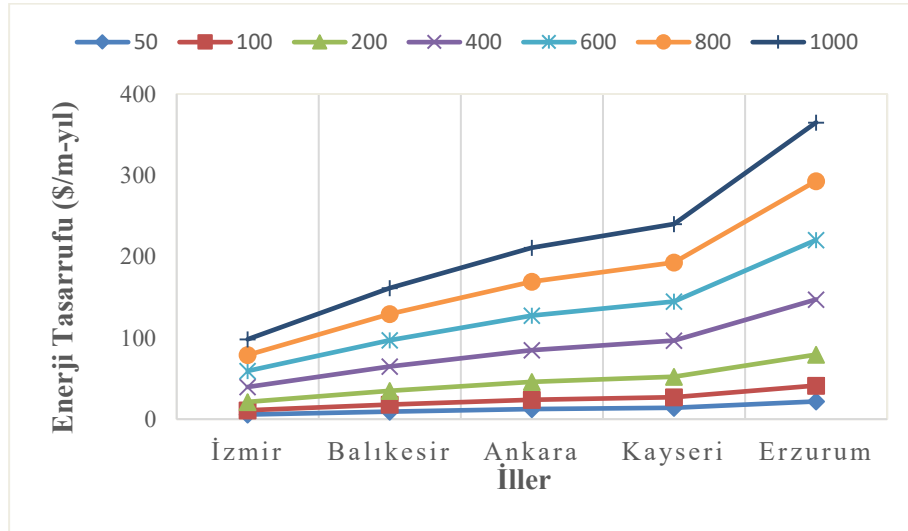
**Şekil 3.76:** Yer altı borulama sistemi nominal boru ebatlarında optimum yalıtım kalınlığı iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

Şekil 3.77 yer üstü Şekil 3.78 yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemi için, farklı ısıtma derece-gün değerlerine sahip olan illere göre enerji tasarrufunun nominal boru ebatlarına göre ilişkisi EPS yalıtım malzemesi ve doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için verilmiştir.

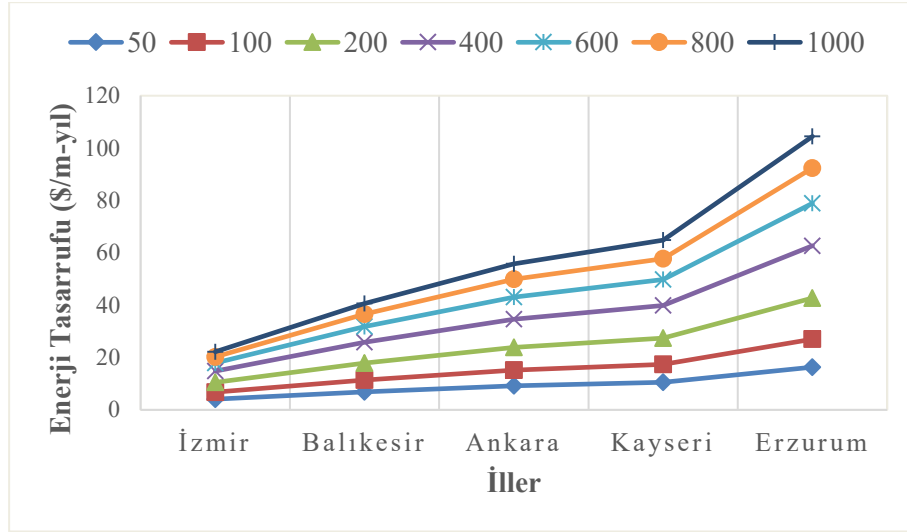
1.ısıtma derece-gün bölgesinde olan İzmir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde enerji tasarrufu 5,661-98,276 \$/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 4,094-22,189 \$/m-yıl arasında değişmektedir. 2.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Balıkesir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde enerji tasarrufu 9,409-161,112 \$/m-yıl, yer altı borulama

sistemi için 6,914-40,654 \$/m-yıl arasında değişmektedir. 3.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Ankara için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde enerji tasarrufu 12,404-210,879 \$/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 9,183-55,836 \$/m-yıl arasında değişmektedir. 4.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Kayseri için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde enerji tasarrufu 14,163-239,983 \$/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 10,519-64,864 \$/m-yıl arasında değişmektedir. 5.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Erzurum için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde enerji tasarrufu 21,766-364,941 \$/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 16,319-104,460 \$/m-yıl arasında değişmektedir.

Grafikleri incelediğimizde ısıtma derece-gün değeri arttığında enerji tasarrufu değeri de artmaktadır. Bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde yer altı borulama sistemine göre enerji tasarrufunun daha fazla olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.77:** Yer üstü borulama sistemi nominal boru ebatlarında enerji tasarrufu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

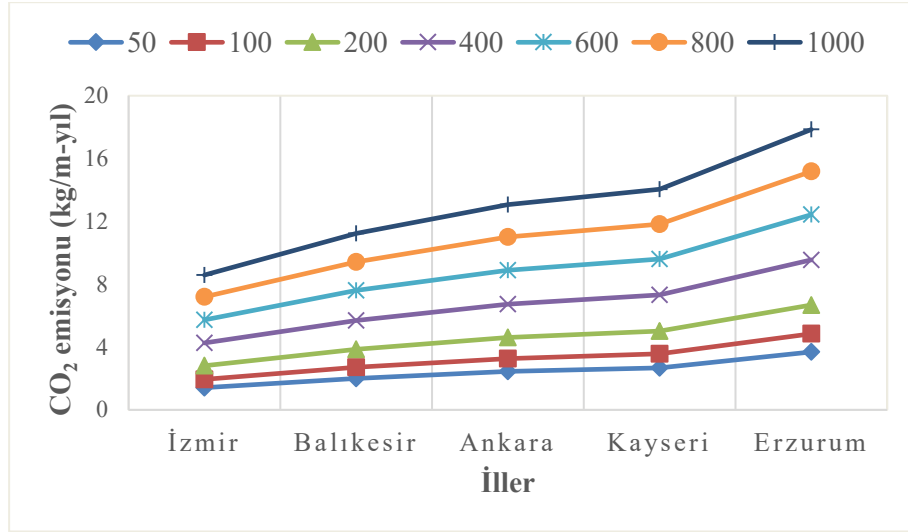


**Şekil 3.78:** Yer altı borulama sistemi nominal boru ebatlarında enerji tasarrufu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

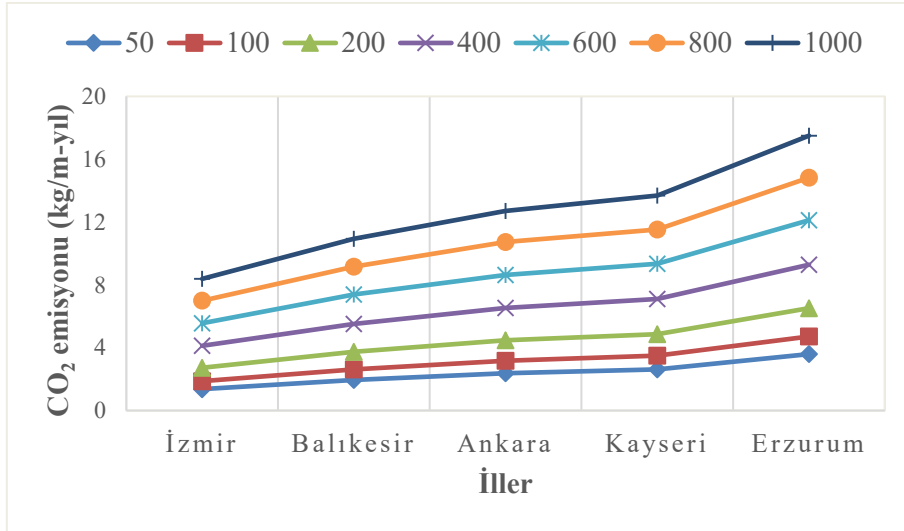
Şekil 3.79 yer üstü Şekil 3.80 yer altı bölgesel ısıtma borulama sistemi için, farklı ısıtma derece-gün değerlerine sahip olan illere göre CO<sub>2</sub> emisyonlarının nominal boru ebatlarına göre ilişkisi EPS yalıtım malzemesi ve doğalgaz yakıtı kullanılması durumu için verilmiştir.

1.ısıtma derece-gün bölgesinde olan İzmir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde CO<sub>2</sub> emisyonu 1,414-8,584 kg/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 1,364-8,383 kg/m-yıl arasında değişmektedir. 2.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Balıkesir için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde CO<sub>2</sub> emisyonu 2,008-11,242 kg/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 1,953-10,928 kg/m-yıl arasında değişmektedir. 3.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Ankara için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde CO<sub>2</sub> emisyonu 2,442-13,057 kg/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 2,377-12,712 kg/m-yıl arasında değişmektedir. 4.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Kayseri için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde CO<sub>2</sub> emisyonu 2,682-14,039 kg/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 2,624-13,678 kg/m-yıl arasında değişmektedir. 5.ısıtma derece-gün bölgesinde olan Erzurum için bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde CO<sub>2</sub> emisyonu 3,687-17,848 kg/m-yıl, yer altı borulama sistemi için 3,592-17,499 kg/m-yıl arasında değişmektedir.

Grafikleri incelediğimizde ısıtma derece-gün değeri arttığında CO<sub>2</sub> emisyonu değeri de artmaktadır. Bölgesel ısıtma yer üstü borulama sisteminde yer altı borulama sistemine göre CO<sub>2</sub> emisyonu değerleri çok yakın değerler almıştır.



**Şekil 3.79:** Yer üstü borulama sistemi nominal boru ebatlarında CO<sub>2</sub> emisyonu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).



**Şekil 3.80:** Yer altı borulama sistemi nominal boru ebatlarında CO<sub>2</sub> emisyonu iller ilişkisi (Doğalgaz yakıtı, EPS yalıtım malzemesi).

### 3.5 Geri Dönüş Süresi

Tablo 3.1’de yer üstü, Tablo 3.2’de yer altı borulama sistemi için 1000 mm boru çapı kullanılması durumunda yakıt türleri, yalıtım malzemesi ve illere bağlı geri dönüş süreleri verilmiştir. 1000 mm boru çapı için yer üstü borulama sistemi geri dönüş süresi 0,499 ile 1,492 yıl arasında değişmekte ve yer altı borulama sistemi geri dönüş süresi 1,331 ile 3,975 yıl arasında değişmektedir. Yer üstü ve yer altı borulama sistemleri için en kısa geri dönüş süresi Erzurum ili, en uzun geri dönüş süresi ise İzmir ili içindir. Isıtma derece-gün (IDG) değeri arttıkça geri dönüş süresi kısalmaktadır. Yakıt türleri karşılaştırıldığında her iki

borulama sistemi için de en kısa geri dönüş süresi fuel-oil yakıtı kullanıldığında en uzun ise doğalgaz yakıtı kullanıldığında gerçekleşmektedir. Geri dönüş süresi, kullanılan yakıtın birim maliyeti ile ilişkilidir ve birim maliyeti yüksek olan yakıtın enerji tasarrufunun fazla olması geri dönüş süresini kısaltmaktadır. Yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında ise kullanılan yakıt türlerinde en kısa geri dönüş süresi EPS, en uzun geri dönüş süresi ise XPS yalıtım malzemesinde görülmüştür. Birim maliyeti düşük olan yalıtım malzemesi yüksek enerji tasarrufu sağlamaktadır ve geri dönüş süresini kısaltmaktadır. Çalışmada kullanılan yakıtlar için yer üstü borulama sisteminde yer altı borulama sistemine göre daha kısa geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Yer üstü borulama sistemlerinde toplam maliyet daha fazla olduğu için enerji tasarrufu miktarı daha fazla olmaktadır ve daha kısa geri dönüş süresi hesaplanmıştır.

**Tablo 3.1:** Yer üstü borulama sisteminde 1000 mm boru çapı için yakıt türü, yalıtım malzemesi ve illere göre geri dönüş süresi.

Yakıt türü	Yalıtım malzemesi	Geri dönüş süresi (yıl)				
		İzmir	Balıkesir	Ankara	Kayseri	Erzurum
Doğalgaz	XPS	1,492	1,201	1,063	1,009	0,763
	EPS	1,172	0,936	0,830	0,783	0,596
	Taş yünü	1,438	1,153	1,025	0,966	0,735
Kömür	XPS	1,377	1,104	0,978	0,924	0,831
	EPS	1,073	0,865	0,765	0,724	0,650
	Taş yünü	1,327	1,065	0,945	0,887	0,800
Fuel-oil	XPS	1,144	0,920	0,814	0,767	0,634
	EPS	0,892	0,720	0,637	0,600	0,499
	Taş yünü	1,103	0,883	0,785	0,739	0,612

**Tablo 3.2:** Yer altı borulama sisteminde 1000 mm boru çapı için yakıt türü, yalıtım malzemesi ve illere göre geri dönüş süresi.

Yakıt türü	Yalıtım malzemesi	Geri dönüş süresi (yıl)				
		İzmir	Balıkesir	Ankara	Kayseri	Erzurum
Doğalgaz	XPS	3,975	3,206	2,839	2,670	2,205
	EPS	3,102	2,504	2,220	2,097	1,731
	Taş yünü	3,818	3,067	2,730	2,573	2,134
Kömür	XPS	3,629	2,946	2,612	2,577	2,027
	EPS	2,843	2,298	2,035	1,926	1,598
	Taş yünü	3,494	2,836	2,503	2,366	1,962
Fuel-oil	XPS	3,023	2,439	2,175	2,052	1,696
	EPS	2,368	1,915	1,697	1,609	1,331
	Taş yünü	2,913	2,354	2,095	1,975	1,636

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkelerin ekonomik ve siyasi ilişkilerinde enerji konusu her zaman önemli olmuştur. Ülkelerin kalkınmalarını devam ettirmek ve toplumsal refahı sağlamada enerji talebini karşılaması gerekmektedir. Ülkemiz enerji ihtiyacını karşılamada dışa bağımlı bir ülke olduğu için enerjiyi verimli kullanmak gerekmektedir. Isıtma sektörü enerji tüketiminde başta gelen sektörlerden biridir. Enerjiyi verimli kullanmak için ısı yalıtımlı sistemler kurarak enerji tasarrufu sağlayabilmekteyiz. Enerji tasarrufu ile sadece tüketilen enerji değil atmosfere salınan sera gazları emisyonları da azaltılmakta ve böylece ülke ekonomisinin yanında çevresel katkı da sağlanmaktadır.

Tez çalışmasında bölgesel ısıtma sistemlerinde akışkanın taşınmasını gerçekleştiren çelik boru sistemi ele alınmıştır. Borulama sistemi toprak altına gömülü olması durumu ve yer üstünde olması durumları için ayrı ayrı incelenmiştir. Boru sistemlerinde meydana gelebilecek ısı kayıp ve istenilmeyen ısı kazançlarının önlenmesinde en önemli nokta yalıtım uygulamasıdır. Yalıtım uygulaması için uygun yalıtım malzemesi seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi çok önemlidir. Optimum yalıtım kalınlığı değeri için enerji tasarrufu, geri dönüş süresi, yakıt tüketimleri, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları çeşitli boru çapları (50 mm, 100 mm, 200 mm, 400 mm, 600 mm, 800 mm, 1000 mm), çeşitli yalıtım malzemesi (XPS, EPS, taş yünü), çeşitli yakıt türleri (Doğalgaz, kömür, fuel-oil) ve TS 825'e göre beş farklı ısıtma derece-gün bölgesi şehirlerinden İzmir, Balıkesir, Ankara, Kayseri ve Erzurum için hesaplanmış ve sonuçlar aşağıdaki gibidir. Hesaplamalarda derece-gün yöntemine göre ısı kayıpları belirlenmiş ve yaşam döngüsü maliyet (YDM) analiz yöntemi P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> metodu kullanılarak 10 yıllık ömür süresi için oluşan sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Yer üstü borulama sistemi için optimum yalıtım kalınlığı değerleri tüm parametreler değerlendirildiğinde 4,3 cm ile 24,5 cm arasında değişmektedir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı değeri 50 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıtı ve XPS yalıtım malzemesi kullanımı durumunda oluşurken en fazla optimum yalıtım kalınlığı 1000 mm boru çapı için; Erzurum ili, fuel-oil yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda hesaplanmıştır.
- Yer altı borulama sistemi optimum yalıtım kalınlığı değerleri 4 cm ile 22,2 cm arasında değişmektedir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı değeri 50 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıtı ve XPS yalıtım malzemesi kullanımı durumunda, en fazla optimum yalıtım kalınlığı değeri ise 1000 mm boru çapı için; Erzurum ili, fuel-oil yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.



- Yer üstü ve yer altı borulama sistemlerinde boru çapı arttıkça optimum yalıtım kalınlığının arttığı tespit edilmiştir. Bu durum boru çapı büyüdükçe ısı geçişi alanının artmasından kaynaklanmakta ve yalıtım kalınlığı ısı kayıplarını önlemek için artırılmaktadır. Büyük çaplı borularda optimum yalıtım kalınlığı değerleri birbirine yaklaşmaktadır. Bu durum büyük çaplı borularda aynı yalıtım kalınlığı değerinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Yakıt türleri için optimum yalıtım kalınlığı değerlendirildiğinde en düşük optimum yalıtım kalınlığının, birim fiyatı kömürden düşük olmasına rağmen ısı değeri ve ısı veriminin yüksek olmasından dolayı doğalgaz yakıtı için oluştuğu hesaplanmıştır. En büyük optimum yalıtım kalınlığı değeri ise birim fiyatı yüksek olan fuel-oil yakıtı için oluşmuştur. Yalıtım malzemesi açısından optimum yalıtım kalınlığını değerlendirdiğimizde ise en düşük optimum yalıtım kalınlığı XPS yalıtım malzemesi için gerçekleştiği hesaplanmıştır. XPS yalıtım malzemesinin birim fiyatının yüksek olması bu durumda etkilidir. Birim fiyatının yüksek olması yalıtım maliyetini artırmakta ve optimum yalıtım kalınlığını azaltmaktadır. En yüksek optimum yalıtım kalınlığı ise EPS yalıtım malzemesinde görülmektedir. EPS yalıtım malzemesinin birim fiyatının düşük olması bu durumda etkilidir. Ayrıca yer altı borulama sistemi için yer üstü borulama sistemine göre daha düşük optimum yalıtım kalınlığı elde edilmiştir.
- Yer üstü borulama sistemi enerji tasarrufu 5,151 \$/m-yıl ile 651,194 \$/m-yıl arasında değişmektedir. En fazla enerji tasarrufu 1000 mm boru çapı; Erzurum ili, fuel-oil yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında hesaplanmıştır. En düşük enerji tasarrufu değeri ise 50 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.
- Yer altı borulama sistemi enerji tasarrufu 3,634 \$/m-yıl ile 198,009 \$/m-yıl arasında değişmektedir. En fazla enerji tasarrufu 1000 mm boru çapı; Erzurum ili, fuel-oil yakıtı ve EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında hesaplanmıştır. En düşük enerji tasarrufu değeri ise 50 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.
- Boru yalıtımı uygulamalarında yalıtım yapılmasının ana nedeni enerji tasarrufu sağlamaktır. Enerji tasarrufunun en yüksek olduğu noktada optimum yalıtım kalınlığı değeri hesaplanmaktadır. Yer üstü ve yer altı borulama sistemlerinde boru çapı arttıkça enerji tasarrufu değerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum boru çapı büyüdükçe geniş bir ısı transfer alanı oluşmasından ve bu ısı geçişinin yalıtım ile engellenmesi büyük enerji tasarrufları ortaya çıkarmaktadır. Ancak borulama

sistemlerinde yakıt türleri için enerji tasarrufu değerlendirildiğinde fuel-oil yakıtı için en fazla enerji tasarrufu değerine ulaşılmıştır. En az enerji tasarrufu ise doğalgaz yakıtı için elde edilmiştir. Birim maliyeti yüksek olan yakıtın enerji tasarrufu da yüksek olmaktadır. Yalıtım malzemesi açısından enerji tasarrufunu değerlendirdiğimizde ise en fazla enerji tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için gerçekleştiği hesaplanmıştır. EPS malzemesinin birim fiyatının düşük olması bu durumda etkilidir. En az enerji tasarrufu ise XPS ve taş yünü yalıtım malzemesinde oluşmakta ve değerler birbirine yakın olmaktadır. Yer üstü borulama sistemi için enerji tasarrufları yer altı borulama sistemine kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür.

- Yer üstü borulama sistemi geri dönüş süresi 0,499 yıl ile 1,741 yıl arasında değişmektedir. Geri dönüş süresinin en kısa olduğu hesaplama 1000 mm boru çapı için; Erzurum ili, fuel-oil yakıt türü ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu içindir. Geri dönüş süresinin en fazla olduğu hesaplama 50 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.
- Yer altı borulama sistemi geri dönüş süresi 0,861 yıl ile 3,975 yıl arasında değişmektedir. Geri dönüş süresinin en kısa olduğu hesaplama 100 mm boru çapı için; Erzurum ili, fuel-oil yakıt türü ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu içindir. Geri dönüş süresinin en fazla olduğu hesaplama 1000 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıtı ve XPS yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır
- Yer üstü ve yer altı geri dönüş süresi yalıtım kalınlığının artmasıyla artmaktadır. Optimum yalıtım kalınlığının üzerindeki yalıtım kalınlıklarında yalıtım yapıldığında geri dönüş süresi artışı çok fazla olmaktadır. Yer üstü borulama sistemi için boru çapı arttıkça geri dönüş süresi 400 mm boru çapına kadar azalmakta daha sonra ise artış göstermektedir. Yer altı borulama sistemi için ise boru çapı arttıkça geri dönüş süresi artmaktadır. Yer üstü borulama sistemi için yer altı borulama sistemine göre geri dönüş süresi daha kısa olmaktadır.
- Yer üstü borulama sistemi CO<sub>2</sub> emisyonu değeri 1,414 kg/m ile 52,687 kg/m arasında değişmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonunun en az olduğu hesaplama 50 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıt türü ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu içindir. CO<sub>2</sub> emisyonunun en fazla olduğu hesaplama 1000 mm boru çapı için; Erzurum ili, kömür yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.
- Yer altı borulama sistemi CO<sub>2</sub> emisyonu değeri 1,364 kg/m ile 51,416 kg/m arasında değişmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonunun en az olduğu hesaplama 50 mm boru çapı için; İzmir ili, doğalgaz yakıt türü ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu içindir.

CO<sub>2</sub> emisyonunun en fazla olduğu hesaplama 1000 mm boru çapı için; Erzurum ili, kömür yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.

- Yer üstü ve yer altı borulama sistemlerinde yalıtım kalınlığı arttıkça yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyon değerleri azalmaktadır. Boru çapı arttıkça ise CO<sub>2</sub> emisyon değerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum boru çapı arttıkça daha fazla yakıtın yakılması sonucu yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Borulama sistemlerinde yakıt türleri için CO<sub>2</sub> emisyonu değerlendirildiğinde kömür yakıtı için en fazla CO<sub>2</sub> emisyon değerine ulaşılmıştır. En az CO<sub>2</sub> emisyonu ise doğalgaz yakıtı içindir. Yalıtım malzemesi açısından CO<sub>2</sub> emisyonunu değerlendirdiğimizde XPS ve taş yünü yalıtım malzemesi yakın değerlerde olup EPS yalıtım malzemesi değerinden yüksektir. Yer altı borulama sistemi yer üstü borulama sistemine kıyasla daha az emisyon değerine sahip olduğu görülmüştür.
- Yer üstü borulama sistemi SO<sub>2</sub> emisyonu değeri 0,0073 kg/m ile 0,141 kg/m arasında değişmektedir. SO<sub>2</sub> emisyonunun en az olduğu hesaplama 50 mm boru çapı için; İzmir ili, kömür yakıt türü ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu içindir. SO<sub>2</sub> emisyonunun en fazla olduğu hesaplama 1000 mm boru çapı için; Erzurum ili, fuel-oil yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.
- Yer altı borulama sistemi SO<sub>2</sub> emisyonu değeri 0,0071 kg/m ile 0,138 kg/m arasında değişmektedir. SO<sub>2</sub> emisyonunun en az olduğu hesaplama 50 mm boru çapı için; İzmir ili, kömür yakıt türü ve EPS yalıtım malzemesi kullanımı durumu içindir. SO<sub>2</sub> emisyonunun en fazla olduğu hesaplama 1000 mm boru çapı için; Erzurum ili, fuel-oil yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanımında hesaplanmıştır.
- Yer üstü ve yer altı borulama sistemlerinde yalıtım kalınlığı arttıkça yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak SO<sub>2</sub> emisyon değerleri azalmaktadır. Boru çapı arttıkça ise SO<sub>2</sub> emisyon değerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum boru çapı arttıkça daha fazla yakıtın yakılması sonucu yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda SO<sub>2</sub> emisyonu bulunmamaktadır. Borulama sistemlerinde yakıt türleri için SO<sub>2</sub> emisyonu değerlendirildiğinde fuel-oil yakıtı için en fazla SO<sub>2</sub> emisyon değerine ulaşılmıştır. Yalıtım malzemesi açısından SO<sub>2</sub> emisyonunu değerlendirdiğimizde EPS yalıtım malzemesi için en düşüktür. XPS ve taş yünü EPS değerinden daha fazla emisyonu sahip olup boru çapına göre değerler değişmektedir. Yer altı borulama sistemi yer üstü borulama sistemine kıyasla daha az emisyon değerine sahiptir.

- Yer üstü ve yer altı borulama sistemi ısıtma derece-günler (IDG) için optimum yalıtım kalınlıkları değerlendirildiğinde IDG değeri arttıkça optimum yalıtım kalınlığı artmaktadır. Enerji tasarrufu için değerlendirildiğinde IDG arttıkça enerji tasarrufu da artmaktadır. Geri dönüş süresi için ele aldığımızda IDG değerleri arttıkça geri dönüş süresi azalmaktadır. CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyon değerleri ise IDG değeri arttığında yakıt tüketimlerinin artmasına bağlı olarak artmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

- Akıncı, H. (2007). *Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 199894).
- Altun, E. (2018). *Konutlarda ısıtma enerji performansının ve iyileştirme potansiyellerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 529700).
- Aydın, N. ve Bıykoğlu, A. (2019). Türkiye’de konut tipi binaların ısıtma yükü altında ömür maliyet analizi yöntemi ile optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 901-911. doi:10.2339/politeknik.435773.
- Başoğlu, Y., Demircan, C. ve Keçebaş A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for environmental impact reduction of pipe insulation. *Applied Thermal Engineering*, 101, 121-130. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.03.010
- Başoğlu, Y. ve Keçebaş, A. (2011). Economic and environmental impacts of insulation in district heating pipelines. *Energy*, 36(10), 6156-6164. doi:10.1016/j.energy.2011.07.049.
- Bayraktar, D. ve Bayraktar, E. A. (2016). Mevcut binalarda ısı yalıtımı uygulamalarının değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 59-66. doi:10.29048/makufebd.206617.
- Bektaş, V., Çerçevik, A. E. ve Kandemir, S. Y. (2017). Binalarda ısı yalıtımının önemi ve ısı yalıtım malzemesi kalınlığının yalıtıma etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1). Erişim adresi: <http://edergi.bilecik.edu.tr/index.php/fbd>
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2008, 5 Aralık). *Resmî Gazete* (Sayı: 27075). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>
- Bostancı, E. (2017). *Yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna olan etkilerinin deneysel ve sayısal incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 465246).
- Böke, B. (2015, Nisan). *Yüzeyde yoğuşma problemi*. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Yalıtım Semineri, İzmir. Erişim adresi: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/teskon-seminerleri/yuzeyde-yogusma-problemi.pdf>
- Buyruk, H. (2014). Tesisat yalıtımı. *İzolasyon Dünyası*, (105), 8-9. Erişim adresi: <https://www.izoder.org.tr/dergiler/izolasyon-dunyasi-56.pdf>

- Çağlar, H. (2011). *Modern binalarda uygulanan ısı yalıtım tekniklerinin incelenmesinde Serdivan Avm örneği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 287268).
- 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).
- Daşdemir, 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).
- Daşdemir, A., Ertürk, M., Keçebaş, A., ve Demircan, C. (2017). Effects of air gap on insulation thickness and life cycle costs for different pipe diameters in pipeline. *Energy*, 122, 492-504. doi:10.1016/j.energy.2017.01.125.
- Daşdemir, A. (2011). *Isıtma ve soğutma uygulamalarında optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve baca gazı emisyonlarına etkisi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 287406).
- Dombaycı, Ö. A. (2009). Degree-days maps of Turkey for various base temperatures. *Energy*, 34, 1807-1812. doi:10.1016/j.energy.2009.07.030
- Elele, S. ve Çanakçı, C. (2001, Ekim). *Bölgesel ısıtma sistemleri ısı merkezleri tasarımı*. 5. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir. Erişim adresi: [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/e5d9bcdb0d52300\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e5d9bcdb0d52300_ek.pdf)
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (t.y.). Isıtma ve yalıtım. Erişim adresi: [http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/b\\_en\\_ver\\_b\\_2.aspx](http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/b_en_ver_b_2.aspx) Erişim tarihi: 03.04.2019.
- EPS Sanayi Derneği. (t.y.). Isı yalıtımında EPS. Erişim adresi: <https://epsder.org.tr/tr/page/9/isi-yalitiminda-eps> Erişim tarihi: 25.04.2019.
- 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:10.1016/j.energy.2016.07.115.
- Fırat, İ. (2013). *Erzincan ilindeki binalarda ısı yalıtım uygulamaları ve ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisinin ekonomik analizi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 346731).

- Gençer, M. (2015). *Yalıtımlı ve yalıtımsız binaların enerji analizinin karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 382481).
- Gnyapı. (t.y. a). Isı yalıtımı nedir. Erişim adresi: <https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitimi-nedir/> Erişim tarihi: 06.04.2019.
- Gnyapı. (t.y. b). Isı transferi hesaplama. Erişim adresi: <https://www.gnyapi.com.tr/isi-transfer-hesaplama/> Erişim tarihi: 08.04.2019.
- Gürel, A. E. ve Daşdemir, A. (2011). Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4), 346-352. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/25568/269715>
- Iconomy-Vezir Danışmanlık Grubu. (2010). *Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu*. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/3414135-Copyrights-enver-enerji-verimliliği-derneği-iconomy-vezir-consultancy-haziran-2010-0216-428-3939.html>
- International Energy Agency. (2017). IEA statistics: Key World energy statistics 2017 Erişim adresi: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>
- International Energy Agency. (t.y). IEA statistics: World energy balances overview 2017. Erişim adresi: <https://www.iea.org/statistics/> Erişim tarihi: 04.04.2019.
- Irgat, F. (2009). *Kütahya için optimum ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve ısıtma maliyeti ilişkisi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 237936).
- Işık, E. ve Tuğan, V. (2017). Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin optimum ısı yalıtım kalınlığının hesaplanması. *Uluslararası Teorik ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3(2), 50-57. doi:10.29132/ijpas.328883.
- İnsapedia. (2018, 29 Mayıs). Yaşam döngüsü maliyet analizi. Erişim adresi: <https://insapedia.com/yasam-dongusu-maliyet-ydm-analizi/>
- İnşaat Mühendisleri Odası Yapı Malzemeleri Komisyonu. (2015). Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri. *Yapı Malzemeleri*, (487), 62-75. Erişim adresi: [http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17182\\_44\\_51.pdf](http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17182_44_51.pdf)
- İzocam. (t.y). Taşyünü. Erişim adresi: <https://www.izocam.com.tr/f2-tasyunu.html> Erişim tarihi: 27.04.2019.

- İzoder Isı Yalıtım Komisyonu. (2014). Bina ve tesisatlarda ısı yalıtımı genel teknik şartnamesi. Erişim adresi: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/isi-yalitimi-giris.pdf>
- İzoder. (2019). Enerji verimliliği ve yalıtım. *Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Dergisi*. (135). Erişim adresi: <https://www.izoder.org.tr/dergiler/izoder-135-e-dergi/>
- İzoder. (t.y.). Isı yalıtımı. Erişim adresi: <https://www.izoder.org.tr/sayfa/31/genel-bilgi-almak-istiyorum> Erişim tarihi: 10.04.2019.
- Karakoç, T.H., Turan, O., Binyıldız, E. ve Yıldırım, E. (2011). *IY ısı yalıtımı*. İstanbul: Rota Yayın Yapım Tanıtım.
- Kayfeci, M. (2014). Determination of energy saving and optimum insulation thicknesses of the heating piping systems for different insulation materials. *Energy and Buildings*, 69, 278-284. doi:10.1016/j.enbuild.2013.11.017.
- Kayfeci, M., Yabanova, İ. ve Keçebaş, A. (2014). The use of artificial neural network to evaluate insulation thickness and life cycle costs: Pipe insulation application. *Applied Thermal Engineering*, 63(1), 370-378. doi:10.1016/j.applthermaleng2013.11.017.
- Kaynaklı, Ö. (2013). Optimum thermal insulation thicknesses and payback periods for building walls in Turkey. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33(2), 45-55. Erişim adresi: <http://tibtd.org.tr/2013-2/45-55.pdf>
- Kaynaklı, Ö. (2014). Economic thermal insulation thickness for pipes and ducts: A review study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 184-194. doi:10.1016/j.rser.2013.09.026.
- Keçebaş, A. (2012a). Bölgesel ısıtma sistemlerinde boru yalıtımı yoluyla enerji tasarrufu için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9(1) 1-14. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/9758748-Bolgesel-isitma-sistemlerinde-boru-yalitimi-yoluyla-enerji-tasarrufu-icin-optimum-yalitim-kalinliginin-belirlenmesi.html>
- Keçebaş, A. (2012b). Determination of insulation thickness by means of exergy analysis in pipe insulation. *Energy Conversion and Management*, 50, 76-83. doi:10.1016/j.enconman.2012.01.009.
- Keçebaş, A. (2013). Enerji tasarrufu için yer altına gömülü çelik borularda yalıtımın ekonomik faydaları. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 29(3) 206-212. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/25560/269630>



- Keçebaş, A. (2015). Determination of optimum insulation thickness in pipe for exergetic life cycle assessment. *Energy Conversion and Management*, 105, 826-835. doi:10.1016/j.enconman.2015.08.017.
- Keçebaş, A., Alkan, M.A. ve Bayhan, M. (2011). Thermo-economic analysis of pipe insulation for district heating piping systems. *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), 3929-3937. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.07.042.
- Kocagül, M. (2013). *Isı yalıtımında ideal yalıtım malzemesi kullanılmasının deneysel araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 343367).
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. Ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye'de enerji görünümünün genel değerlendirmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 86-114. Erişim adresi: [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/6\\_dunyadaveturkiyede.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/6_dunyadaveturkiyede.pdf)
- Koç, E. ve Şenel, M. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu - genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 532-544. Erişim adresi: [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/a8c16d2696b35f9\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/a8c16d2696b35f9_ek.pdf)
- Kürekci, N. A. (2013, Nisan). *Türkiye'nin dört derece-gün bölgesinde borular için optimum yalıtım kalınlığı*. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir. Erişim adresi: [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/affd98a8480fe3e\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/affd98a8480fe3e_ek.pdf)
- Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi. (2007). *İnşaat teknolojisi alanı tesisat yalıtımı modülü*, Ankara. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/8112812-T-c-milli-egitim-bakanligi-megep-mesleki-egitim-ve-ogretim-sisteminin-guclendirilmesi-projesi-insaat-teknolojisi-alani-tesisat-yalitimi.html>
- ODE Yalıtım. (2019). Mekanik tesisat yalıtımında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. *Pusula*, (69), 22-28. Erişim adresi: <http://www.ode.com.tr/yuklemeler/dergiler/ode-69-dijital.pdf>
- Oymak, M. (2007). *Isıl sistem tasarımlarında ekonomik yalıtım kalınlıklarının ekserji ekonomik yöntemle belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 213011).
- Öztuna, S., ve Dereli, E. (2009). Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 139-147. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/trakyafbd/issue/23003/246029>

- Öztürk, İ.T., Karabay, H. and Bilgen, E. (2006). Thermo-economic optimization of hot water piping systems: A comparison study. *Energy*, 31(12), 2094-2107. doi: 10.1016/energy.2005.10.008
- Pang-Ngam, M. ve Soponpongpiat, N. (2012). On the optimum pipe diameter of water pumping system by using engineering economic approach in case of being the installer for Consuming Water. *J. Sci. Technol. MSU*, 31(5). Erişim adresi: <http://www.thaiscience.info/Journals/Article/JSMU/10888148.pdf>
- Pınarbaşı, A. (Ed.). (2011). *Termodinamik*. İzmir: Güven Kitabevi.
- Sapan, M. A. (2017). *Erzurum ilinde ısı yalıtım kalınlıklarının enerji, ekonomik ve çevresel analizi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 459051).
- Şen, A. O. (2006). *Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri dünyada ve Türkiye’de yalıtım* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 181889).
- 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).
- Tanyıldızı, V. (Ed.). (2012). *Isı ve Kütle Transferi*. İzmir: Güven Kitabevi.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (t.y.). Faiz oranları. Erişim adresi: <https://tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR> Erişim tarihi: 10.09.2018.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (t.y.). Enflasyon verileri. Erişim adresi: <https://web.tuik.gov.tr/tr/> Erişim tarihi: 10.09.2018.
- Tesisat Bilgi ve Haber Portalı. (2016, 9 Mart). Tesisat tipine göre kullanılan ısı yalıtım malzemeleri. Erişim adresi: <https://www.tesisat.org/tesisat-tipine-gore-kullanilan-isi-yalitim-malzemeleri.html>
- TS 825 (2013, Aralık). Binalarda ısı yalıtım kuralları, Ankara.
- Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 (2018, 2 Ocak). *Resmî Gazete* (Sayı: 30289 (Mükerrer)). Erişim adresi: <https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180102M1-1-1.pdf>
- Ülker, S. (2009). *Isı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin uygulamaya etkileri* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 251745).

- Yapısal Yalıtım. (t.y.). Isı yalıtım malzemesi nedir özellikleri nelerdir. Erişim adresi: <http://yapiselyalitim.com/teknikbilgiler2.html> Erişim tarihi: 10.04.2019.
- Yatırımkredi. (t.y.). Türkiye'nin enerji politikası ve ekonomik sonuçları. Erişim adresi: [https://www.yatirimkredi.com/turkiyenin-enerji-politikasi-ve-ekonomiksonuclari.html#alternatif\\_enerji\\_kaynaklari\\_ve\\_turkiye](https://www.yatirimkredi.com/turkiyenin-enerji-politikasi-ve-ekonomiksonuclari.html#alternatif_enerji_kaynaklari_ve_turkiye) Erişim tarihi: 01.04.2019.
- Yavuz, C. ve Atik, K. (2011). Sıcak sulu ısıtma sistemlerinde boru çaplarının termoeconomik optimizasyonu. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(4), 53-64. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/2769065-Sicak-sulu-isitma-sistemlerinde-boru-caplarinin-termoeconomik-optimizasyonu.html>
- Yildiz, A. ve Ersöz, M.A. (2015). Determination of the economical optimum insulation thickness for VRF (variable refrigerant flow) systems. *Energy*, 89, 835-844. doi:10.1016/j.energy.2015.06.020.
- ZTF Jeotermal. (t.y.). Ön izolasyonlu boru. Erişim adresi: <http://www.ztfinsaat.com/on-izolasyonlu-boru> Erişim tarihi: 15.01.2019.
- XPS Türkiye. (t.y.). XPS teknik özellikleri. Erişim adresi: <http://www.xpsturkiye.org/default.asp> Erişim tarihi: 25.04.2019.
- World Bank, (t.y.). Gross domestic product per capita by country in (Current US\$). Erişim adresi: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD> Erişim tarihi: 04.04.2019.

# **EKLER**

## EKLER

### EK A: İllere Göre Derece-Gün Bölgeleri

<b>1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>				
ADANA	HATAY	MERSİN		
ANTALYA	İZMİR			
<b>İli 2. Bölgede olupda kendisi 1.Bölgede olan belediyeler</b>				
BODRUM (Muğla)	DALAMAN (Muğla)	FETHİYE (Muğla)	MARMARİS(Muğla))	
GÖKOVA (Muğla)	DATÇA (Muğla)	KÖYCEĞİZ (Muğla)	MİLAS (Muğla)	
<b>2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>				
AYDIN	BURSA	GİRESUN	KARAMAN	SİNOP
AYVALIK (Balıkesir)	ÇANAKKALE	İSTANBUL	MUĞLA	ŞİRNAK
ADİYAMAN	DENİZLİ	KİLİS	OSMANİYE	ŞANLIURFA
AMASYA	DIYARBAKIR	KOCAELİ	ORDU	TEKİRDAĞ
BALIKESİR	DÜZCE	MARAŞ	RİZE	TRABZON
BARTIN	EDİRNE	MANİSA	SAMSUN	YALOVA
BATMAN	GAZİ ANTEP	MARDİN	SAKARYA	ZONGULDAK
			SIİRT	
<b>İli 3. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler</b>				
HOPA (Artvin)	ARHAVİ (Artvin)			
<b>İli 4. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler</b>				
ABANA(Kastamonu)	BOZKURT (Kastamonu)	ÇATALZEYTİN (Kastamonu)		
İNEBOLU (Kastamonu)	CİDE (Kastamonu)	DOĞANYURT (Kastamonu)		
<b>3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>				
AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA	
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR	
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE	
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT	
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KIRŞEHİR	TUNCELİ	
BİNGÖL	İĞDIR	KONYA	UŞAK	
BOLU	ISPARTA	KÜTAHYA		
<b>İli 1. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler</b>				
POZANTI (Adana)	KORKUTELİ (Antalya)			
<b>İli 2. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler</b>				
MERZİFON (Amasya)	DURSUNBEY (Balıkesir)	ULUS (Bartın)		
<b>İli 4. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler</b>				
TOSYA (Kastamonu)				
<b>4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>				
BAYBURT	GÜMÜŞHANE	HAKKÂRİ	VAN	
BİTLİS	KASTAMONU	MUŞ	YOZGAT	
ERZİNCAN	KAYSERİ	SİVAS		
<b>İli 2. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler</b>				
KELES (Bursa)	ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun)	ELBİSTAN (K.Maraş)	MESUDİYE (Ordu)	
ULUDAĞ (Bursa)	AFŞİN (K.Maraş)	GÖKSUN (K.Maraş)		
<b>İli 3. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler</b>				
KIĞI (Bingöl)	PÜLÜMÜR (Tunceli)	SOLHAN (Bingöl)		
<b>5. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b>				
AĞRI	ARDAHAN	ERZURUM	KARS	

Not - Ek'te adı bulunmayan yerleşim birimleri, bağlı buldukları belediyenin bölgesinde sayılır.

**Ek B: İzmir İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo B.1:** İzmir ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,043	3,903	0,747	1,503	-	5,325	1,736
	EPS	0,061	3,567	0,703	1,414	-	5,661	1,422
	Taş yünü	0,054	4,077	0,800	1,610	-	5,151	1,741
100	XPS	0,051	5,856	1,045	2,102	-	10,281	1,624
	EPS	0,072	5,204	0,965	1,942	-	10,932	1,289
	Taş yünü	0,064	6,041	1,115	2,244	-	10,095	1,584
200	XPS	0,058	9,396	1,572	3,162	-	19,929	1,542
	EPS	0,084	8,096	1,397	2,810	-	21,229	1,222
	Taş yünü	0,074	9,533	1,647	3,314	-	19,793	1,491
400	XPS	0,063	15,501	2,471	4,971	-	37,057	1,493
	EPS	0,093	12,995	2,118	4,261	-	39,562	1,173
	Taş yünü	0,082	15,474	2,527	5,084	-	37,083	1,440
600	XPS	0,066	22,039	3,406	6,853	-	55,484	1,487
	EPS	0,099	18,196	2,847	5,727	-	59,327	1,169
	Taş yünü	0,087	17,245	3,428	6,896	-	55,727	1,435
800	XPS	0,068	28,519	4,315	8,682	-	73,684	1,492
	EPS	0,102	23,331	3,576	7,195	-	78,871	1,163
	Taş yünü	0,09	28,044	4,309	8,670	-	74,158	1,436
1000	XPS	0,069	34,981	5,238	10,538	-	91,738	1,492
	EPS	0,105	28,442	4,267	8,584	-	98,276	1,172
	Taş yünü	0,092	34,266	5,183	10,429	-	92,453	1,438

**Tablo B.2:** İzmir ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımını için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,047	4,422	1,206	3,760	0,008	6,513	1,623
	EPS	0,066	4,056	1,143	3,563	0,007	6,878	1,326
	Taş yünü	0,058	4,636	1,306	4,073	0,008	6,298	1,601
100	XPS	0,055	6,583	1,687	5,259	0,011	12,537	1,491
	EPS	0,078	5,873	1,558	4,859	0,010	13,247	1,198
	Taş yünü	0,069	6,818	1,807	5,633	0,012	12,302	1,458
200	XPS	0,063	10,485	2,510	7,826	0,016	24,262	1,420
	EPS	0,091	9,066	2,239	6,980	0,014	25,682	1,130
	Taş yünü	0,08	10,674	2,646	8,250	0,017	24,074	1,370
400	XPS	0,069	17,192	3,901	12,163	0,025	45,083	1,379
	EPS	0,101	14,451	3,368	10,502	0,022	47,824	1,081
	Taş yünü	0,09	17,208	3,993	12,451	0,026	45,066	1,337
600	XPS	0,073	24,364	5,321	16,590	0,034	67,492	1,382
	EPS	0,108	20,155	4,496	14,020	0,029	71,701	1,080
	Taş yünü	0,095	24,147	5,416	16,888	0,035	67,709	1,321
800	XPS	0,075	31,469	6,741	21,019	0,043	89,630	1,381
	EPS	0,111	25,782	5,646	17,605	0,036	95,317	1,069
	Taş yünü	0,098	31,000	6,809	21,232	0,044	90,098	1,316
1000	XPS	0,076	38,551	8,180	25,505	0,052	111,597	1,377
	EPS	0,114	31,378	6,739	21,012	0,043	118,769	1,073
	Taş yünü	0,101	37,820	8,127	25,340	0,052	112,327	1,327

**Tablo B.3:** İzmir ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,056	5,852	0,637	2,053	0,011	10,118	1,373
	EPS	0,079	5,416	0,606	1,952	0,010	10,555	1,149
	Taş yünü	0,07	6,190	0,692	2,227	0,012	9,780	1,387
100	XPS	0,066	8,568	0,875	2,818	0,015	19,357	1,259
	EPS	0,093	7,713	0,816	2,628	0,014	20,212	1,022
	Taş yünü	0,083	8,950	0,943	3,036	0,016	18,976	1,246
200	XPS	0,076	13,418	1,278	4,116	0,021	37,333	1,192
	EPS	0,108	11,698	1,158	3,729	0,019	39,053	0,946
	Taş yünü	0,096	13,766	1,361	4,382	0,023	36,985	1,152
400	XPS	0,084	21,688	1,948	6,272	0,032	69,268	1,155
	EPS	0,122	18,353	1,698	5,468	0,028	72,603	0,912
	Taş yünü	0,108	21,849	2,025	6,523	0,034	69,108	1,111
600	XPS	0,088	30,499	2,656	8,555	0,044	103,662	1,139
	EPS	0,13	25,363	2,253	7,256	0,038	108,799	0,900
	Taş yünü	0,115	30,387	2,708	8,721	0,045	103,774	1,100
800	XPS	0,091	39,212	3,334	10,738	0,056	137,660	1,141
	EPS	0,135	32,259	2,792	8,992	0,047	144,614	0,896
	Taş yünü	0,12	38,800	3,357	10,812	0,056	138,072	1,103
1000	XPS	0,093	47,890	4,007	12,903	0,067	171,410	1,144
	EPS	0,138	39,108	3,332	10,732	0,056	180,192	0,892
	Taş yünü	0,123	47,162	4,009	12,911	0,067	172,138	1,103



**EK C: Balıkesir İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo C.1:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,054	5,423	1,044	2,100	-	8,992	1,454
	EPS	0,075	5,007	0,998	2,008	-	9,409	1,188
	Taş yünü	0,066	5,723	1,142	2,297	-	8,693	1,426
100	XPS	0,063	7,977	1,446	2,908	-	17,231	1,321
	EPS	0,089	7,163	1,344	2,704	-	18,044	1,071
	Taş yünü	0,079	8,312	1,557	3,132	-	16,895	1,299
200	XPS	0,072	12,549	2,130	4,285	-	33,262	1,244
	EPS	0,103	10,915	1,918	3,860	-	34,896	0,990
	Taş yünü	0,092	12,847	2,247	4,521	-	32,964	1,215
400	XPS	0,08	20,365	3,246	6,530	-	61,738	1,216
	EPS	0,116	17,200	2,829	5,693	-	64,903	0,955
	Taş yünü	0,103	20,478	3,367	6,775	-	61,625	1,170
600	XPS	0,084	28,699	4,428	8,909	-	92,404	1,204
	EPS	0,123	23,829	3,778	7,600	-	97,274	0,939
	Taş yünü	0,11	28,552	4,501	9,057	-	92,551	1,163
800	XPS	0,086	36,947	5,608	11,283	-	122,710	1,196
	EPS	0,128	30,357	4,681	9,418	-	129,300	0,939
	Taş yünü	0,114	36,512	5,617	11,302	-	123,145	1,160
1000	XPS	0,088	45,162	6,738	13,557	-	149,410	1,201
	EPS	0,131	36,843	5,588	11,242	-	161,112	0,936
	Taş yünü	0,116	44,426	6,753	13,587	-	153,528	1,153

**Tablo C.2:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,058	6,152	1,700	5,300	0,011	10,929	1,341
	EPS	0,081	5,703	1,625	5,068	0,010	11,379	1,111
	Taş yünü	0,072	6,518	1,852	5,775	0,012	10,563	1,345
100	XPS	0,068	8,981	2,334	7,276	0,015	20,886	1,220
	EPS	0,096	8,099	2,176	6,785	0,014	21,769	0,996
	Taş yünü	0,085	9,396	2,525	7,874	0,016	20,472	1,200
200	XPS	0,078	14,022	3,408	10,627	0,022	40,259	1,147
	EPS	0,111	12,245	3,088	9,627	0,020	42,037	0,914
	Taş yünü	0,099	14,406	3,621	11,292	0,023	39,875	1,116
400	XPS	0,087	22,606	5,149	16,056	0,033	74,677	1,120
	EPS	0,125	19,155	4,527	14,116	0,029	78,128	0,876
	Taş yünü	0,112	22,800	5,356	16,701	0,034	74,483	1,081
600	XPS	0,091	31,744	7,022	21,896	0,045	111,750	1,102
	EPS	0,134	26,426	5,974	18,628	0,038	117,069	0,869
	Taş yünü	0,119	31,659	7,161	22,328	0,046	111,835	1,066
800	XPS	0,094	40,777	8,815	27,485	0,056	148,399	1,102
	EPS	0,139	33,575	7,403	23,084	0,047	155,601	0,864
	Taş yünü	0,124	40,383	8,880	27,687	0,057	148,793	1,067
1000	XPS	0,096	49,772	10,593	33,028	0,068	184,782	1,104
	EPS	0,143	40,674	8,785	27,393	0,056	193,881	0,865
	Taş yünü	0,127	49,051	10,604	33,062	0,068	185,503	1,065

**Tablo C.3:** Balıkesir ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,069	8,172	0,900	2,899	0,015	16,776	1,147
	EPS	0,096	7,642	0,868	2,794	0,014	17,306	0,962
	Taş yünü	0,085	8,732	0,991	3,193	0,017	16,217	1,148
100	XPS	0,081	11,735	1,218	3,921	0,020	31,889	1,034
	EPS	0,113	10,683	1,150	3,702	0,019	32,941	0,846
	Taş yünü	0,101	12,383	1,328	4,278	0,022	31,241	1,022
200	XPS	0,093	18,006	1,751	5,638	0,029	61,275	0,961
	EPS	0,132	15,870	1,598	5,147	0,027	63,411	0,776
	Taş yünü	0,118	18,652	1,873	6,032	0,031	60,630	0,942
400	XPS	0,104	28,591	2,606	8,392	0,043	113,497	0,930
	EPS	0,149	24,420	2,307	7,431	0,038	117,668	0,735
	Taş yünü	0,134	29,041	2,725	8,775	0,045	113,047	0,904
600	XPS	0,11	39,806	3,497	11,263	0,058	169,777	0,918
	EPS	0,16	33,358	3,015	9,711	0,050	176,224	0,724
	Taş yünü	0,143	39,939	3,601	11,596	0,060	169,644	0,889
800	XPS	0,114	50,868	4,357	14,032	0,073	225,435	0,917
	EPS	0,167	42,119	3,699	11,912	0,062	234,185	0,720
	Taş yünü	0,149	50,639	4,441	14,302	0,074	225,665	0,885
1000	XPS	0,117	61,872	5,198	16,739	0,087	280,710	0,920
	EPS	0,172	50,802	4,368	14,067	0,073	291,780	0,720
	Taş yünü	0,153	61,254	5,272	16,980	0,088	281,328	0,883

**EK D: Ankara İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo D.1:** Ankara ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,06	6,518	1,269	2,554	-	11,938	1,295
	EPS	0,084	6,053	1,214	2,442	-	12,404	1,080
	Taş yünü	0,074	6,918	1,389	2,795	-	11,539	1,290
100	XPS	0,071	9,483	1,729	3,478	-	22,789	1,189
	EPS	0,099	8,568	1,625	3,270	-	23,704	0,959
	Taş yünü	0,088	9,938	1,882	3,787	-	22,334	1,159
200	XPS	0,081	14,753	2,525	5,080	-	43,898	1,108
	EPS	0,115	12,907	2,293	4,614	-	45,744	0,884
	Taş yünü	0,103	15,183	2,683	5,398	-	43,468	1,082
400	XPS	0,09	23,713	3,815	7,675	-	81,402	1,075
	EPS	0,13	20,124	3,344	6,728	-	84,991	0,848
	Taş yünü	0,116	23,950	3,969	7,985	-	81,164	1,040
600	XPS	0,095	33,241	5,159	10,379	-	121,804	1,066
	EPS	0,139	27,708	4,413	8,879	-	127,338	0,837
	Taş yünü	0,124	33,192	5,274	10,610	-	121,854	1,030
800	XPS	0,098	42,657	6,475	13,028	-	161,748	1,063
	EPS	0,144	35,160	5,469	11,002	-	169,245	0,830
	Taş yünü	0,129	42,288	6,540	13,158	-	162,117	1,028
1000	XPS	0,1	52,032	7,781	15,655	-	201,405	1,063
	EPS	0,148	42,558	6,490	13,057	-	210,879	0,830
	Taş yünü	0,132	51,324	7,809	15,711	-	202,113	1,025

**Tablo D.2:** Ankara ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı (mm)	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,065	7,401	2,059	6,421	0,013	14,468	1,210
	EPS	0,091	6,900	1,975	6,157	0,013	14,969	1,018
	Taş yünü	0,08	7,885	2,263	7,057	0,015	13,984	1,207
100	XPS	0,076	10,688	2,805	8,747	0,018	27,551	1,090
	EPS	0,107	9,698	2,630	8,200	0,017	28,541	0,897
	Taş yünü	0,096	11,245	3,032	9,455	0,019	26,994	1,092
200	XPS	0,088	16,500	4,034	12,577	0,026	52,995	1,028
	EPS	0,124	14,495	3,691	11,510	0,024	55,000	0,818
	Taş yünü	0,111	17,043	4,322	13,475	0,028	52,453	0,998
400	XPS	0,098	26,341	6,047	18,856	0,039	98,209	0,994
	EPS	0,141	22,433	5,329	16,615	0,034	102,116	0,786
	Taş yünü	0,126	26,688	6,320	19,706	0,040	97,861	0,962
600	XPS	0,103	36,785	8,176	25,493	0,052	146,927	0,978
	EPS	0,15	30,751	7,032	21,925	0,045	152,961	0,769
	Taş yünü	0,134	36,828	8,397	26,183	0,054	146,884	0,945
800	XPS	0,107	47,095	10,185	31,757	0,065	195,102	0,981
	EPS	0,157	38,914	8,624	26,889	0,055	203,283	0,768
	Taş yünü	0,14	46,795	10,356	32,289	0,066	195,364	0,945
1000	XPS	0,109	57,356	12,237	38,156	0,078	242,939	0,978
	EPS	0,161	47,010	10,234	31,909	0,066	253,285	0,765
	Taş yünü	0,144	56,689	12,294	38,334	0,079	243,606	0,945

**Tablo D.3:** Ankara ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,077	9,852	1,094	3,523	0,018	22,089	1,037
	EPS	0,107	9,267	1,059	3,410	0,018	22,674	0,878
	Taş yünü	0,095	10,584	1,209	3,895	0,020	21,357	1,045
100	XPS	0,09	13,998	1,470	4,734	0,024	41,852	0,923
	EPS	0,126	12,824	1,391	4,480	0,023	43,027	0,766
	Taş yünü	0,113	14,854	1,605	5,169	0,027	40,996	0,926
200	XPS	0,104	21,236	2,086	6,718	0,035	80,266	0,857
	EPS	0,147	18,836	1,917	6,174	0,032	82,666	0,696
	Taş yünü	0,132	22,118	2,241	7,217	0,037	82,564	0,846
400	XPS	0,117	33,375	3,065	9,871	0,051	148,537	0,828
	EPS	0,167	28,669	2,732	8,797	0,045	153,243	0,658
	Taş yünü	0,15	34,066	3,229	10,399	0,054	147,847	0,805
600	XPS	0,124	46,192	4,086	13,158	0,068	222,132	0,815
	EPS	0,179	38,900	3,554	11,447	0,059	229,423	0,643
	Taş yünü	0,161	46,542	4,226	13,608	0,070	221,781	0,792
800	XPS	0,129	58,813	5,058	16,290	0,084	294,932	0,815
	EPS	0,187	48,905	4,341	13,980	0,072	304,840	0,638
	Taş yünü	0,168	58,765	5,187	16,703	0,086	294,979	0,786
1000	XPS	0,132	71,357	6,035	19,434	0,101	367,243	0,814
	EPS	0,193	58,807	5,105	16,440	0,085	379,793	0,637
	Taş yünü	0,173	70,877	6,128	19,734	0,102	367,723	0,785

**EK E: Kayseri İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo E.1:** Kayseri ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,064	7,128	1,387	2,790	-	13,672	1,247
	EPS	0,089	6,638	1,333	2,682	-	14,163	1,038
	Taş yünü	0,079	7,585	1,521	3,060	-	13,215	1,248
100	XPS	0,075	10,317	1,889	3,800	-	26,055	1,128
	EPS	0,105	9,349	1,775	3,572	-	27,023	0,919
	Taş yünü	0,093	10,842	2,061	4,146	-	25,530	1,103
200	XPS	0,086	15,963	2,737	5,506	-	50,139	1,052
	EPS	0,122	14,006	2,492	5,014	-	52,096	0,843
	Taş yünü	0,109	16,470	2,921	5,876	-	49,631	1,027
400	XPS	0,095	25,535	4,134	8,317	-	92,932	1,011
	EPS	0,137	21,724	3,634	7,310	-	96,743	0,799
	Taş yünü	0,123	25,847	4,295	8,641	-	92,620	0,985
600	XPS	0,101	35,700	5,547	11,161	-	139,041	1,007
	EPS	0,147	29,818	4,771	9,599	-	144,923	0,790
	Taş yünü	0,131	35,713	5,707	11,482	-	139,027	0,969
800	XPS	0,104	45,738	6,962	14,008	-	184,632	1,002
	EPS	0,153	37,764	5,880	11,830	-	192,606	0,786
	Taş yünü	0,136	45,415	7,077	14,239	-	184,955	0,964
1000	XPS	0,107	55,729	8,302	16,704	-	229,901	1,009
	EPS	0,157	45,648	6,978	14,039	-	239,983	0,783
	Taş yünü	0,14	55,048	8,402	16,904	-	230,582	0,966

**Tablo E.2:** Kayseri ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,069	8,097	2,255	7,033	0,014	16,549	1,161
	EPS	0,096	7,571	2,173	6,777	0,014	17,076	0,974
	Taş yünü	0,085	8,650	2,484	7,744	0,016	15,997	1,162
100	XPS	0,081	11,634	3,050	9,511	0,020	31,462	1,047
	EPS	0,113	10,588	2,880	8,981	0,018	32,509	0,856
	Taş yünü	0,101	12,273	3,328	10,378	0,021	30,823	1,035
200	XPS	0,093	17,861	4,386	13,677	0,028	60,462	0,973
	EPS	0,131	15,738	4,023	12,543	0,026	62,585	0,778
	Taş yünü	0,118	18,497	4,693	14,631	0,030	59,826	0,954
400	XPS	0,104	28,375	6,529	20,357	0,042	111,995	0,941
	EPS	0,149	24,229	5,780	18,024	0,037	116,141	0,744
	Taş yünü	0,133	28,815	6,862	21,396	0,044	111,556	0,908
600	XPS	0,111	39,519	8,701	27,131	0,056	167,530	0,930
	EPS	0,159	33,108	7,590	23,665	0,049	173,941	0,728
	Taş yünü	0,142	39,640	9,068	28,273	0,058	167,408	0,893
800	XPS	0,114	50,508	10,916	34,038	0,070	222,456	0,929
	EPS	0,166	41,812	9,310	29,027	0,060	231,151	0,725
	Taş yünü	0,148	50,270	11,183	34,870	0,072	222,693	0,889
1000	XPS	0,116	61,440	13,113	40,887	0,084	277,000	0,924
	EPS	0,171	50,439	10,994	34,280	0,070	288,002	0,724
	Taş yünü	0,152	60,817	13,278	41,400	0,085	277,623	0,877



**Tablo E.3:** Kayseri ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,081	10,790	1,204	3,877	0,020	25,208	0,986
	EPS	0,113	10,178	1,166	3,754	0,019	25,820	0,843
	Taş yünü	0,1	11,622	1,333	4,293	0,022	24,376	0,997
100	XPS	0,095	15,254	1,608	5,178	0,027	47,691	0,879
	EPS	0,133	14,018	1,525	4,911	0,025	48,927	0,733
	Taş yünü	0,119	16,231	1,762	5,673	0,029	46,714	0,881
200	XPS	0,11	23,014	2,268	7,305	0,038	91,381	0,814
	EPS	0,155	20,477	2,093	6,742	0,035	93,918	0,661
	Taş yünü	0,139	24,035	2,449	7,886	0,041	90,361	0,801
400	XPS	0,124	35,988	3,314	10,672	0,055	169,032	0,785
	EPS	0,176	31,002	2,971	9,567	0,049	174,018	0,622
	Taş yünü	0,158	36,821	3,513	11,313	0,059	168,199	0,759
600	XPS	0,132	49,660	4,391	14,140	0,073	252,747	0,774
	EPS	0,189	41,927	3,850	12,399	0,064	260,480	0,608
	Taş yünü	0,17	50,144	4,577	14,740	0,076	252,264	0,747
800	XPS	0,137	63,113	5,436	17,507	0,091	335,567	0,771
	EPS	0,198	52,596	4,683	15,083	0,078	346,084	0,603
	Taş yünü	0,178	63,181	5,593	18,013	0,093	335,499	0,743
1000	XPS	0,14	76,476	6,484	20,883	0,108	417,838	0,767
	EPS	0,204	63,149	5,508	17,737	0,092	431,165	0,600
	Taş yünü	0,183	76,091	6,608	21,281	0,110	418,223	0,739

**EK F: Erzurum İli Bölgesel Isıtma Yer Üstü Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo F.1:** Erzurum ili yer üstü borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımını için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,076	9,575	1,889	3,801	-	21,190	1,057
	EPS	0,105	8,999	1,833	3,687	-	21,766	0,887
	Taş yünü	0,094	10,278	2,085	4,195	-	20,486	1,069
100	XPS	0,089	13,627	2,538	5,107	-	40,168	0,945
	EPS	0,124	12,472	2,407	4,843	-	41,323	0,778
	Taş yünü	0,111	14,448	2,780	5,593	-	39,346	0,939
200	XPS	0,103	20,708	3,603	7,248	-	77,057	0,880
	EPS	0,145	18,350	3,318	6,675	-	79,415	0,709
	Taş yünü	0,13	21,551	3,882	7,810	-	76,214	0,861
400	XPS	0,115	32,598	5,326	10,716	-	142,617	0,843
	EPS	0,164	27,976	4,747	9,550	-	147,238	0,668
	Taş yünü	0,148	33,247	5,593	11,253	-	141,968	0,823
600	XPS	0,122	45,157	7,100	14,285	-	213,288	0,832
	EPS	0,176	37,999	6,177	12,427	-	220,445	0,655
	Taş yünü	0,158	45,470	7,353	14,794	-	212,975	0,805
800	XPS	0,127	57,529	8,790	17,685	-	283,192	0,833
	EPS	0,184	47,804	7,544	15,177	-	292,917	0,650
	Taş yünü	0,165	57,448	9,025	18,158	-	283,273	0,801
1000	XPS	0,13	69,825	10,486	21,098	-	352,627	0,831
	EPS	0,19	57,510	8,871	17,848	-	364,941	0,650
	Taş yünü	0,17	69,320	10,663	21,453	-	353,132	0,800

**Tablo F.2:** Erzurum ili yer üstü borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,082	10,894	3,074	9,585	0,020	25,559	0,990
	EPS	0,113	10,279	2,993	9,333	0,019	26,174	0,833
	Taş yünü	0,101	11,737	3,409	10,629	0,022	24,716	0,998
100	XPS	0,096	15,393	4,105	12,800	0,026	48,348	0,880
	EPS	0,133	14,150	3,916	12,211	0,025	49,591	0,724
	Taş yünü	0,12	16,383	4,505	14,046	0,029	47,357	0,880
200	XPS	0,111	23,210	5,792	18,059	0,037	92,631	0,813
	EPS	0,156	20,658	5,355	16,698	0,034	95,183	0,659
	Taş yünü	0,14	24,246	6,262	19,524	0,040	91,595	0,798
400	XPS	0,124	36,275	8,510	26,535	0,055	171,335	0,775
	EPS	0,177	31,259	7,599	23,695	0,049	176,352	0,619
	Taş yünü	0,159	37,124	8,983	28,008	0,058	170,486	0,756
600	XPS	0,132	50,040	11,275	35,156	0,072	256,188	0,765
	EPS	0,19	42,259	9,849	30,709	0,063	263,969	0,604
	Taş yünü	0,171	50,539	11,704	36,492	0,075	255,689	0,742
800	XPS	0,137	63,584	13,960	43,529	0,089	340,133	0,761
	EPS	0,199	53,001	11,981	37,357	0,077	350,717	0,599
	Taş yünü	0,179	63,665	14,303	44,596	0,092	340,053	0,739
1000	XPS	0,141	77,036	16,556	51,624	0,106	423,524	0,763
	EPS	0,205	63,624	14,089	43,931	0,090	436,935	0,596
	Taş yünü	0,184	76,661	16,897	52,687	0,108	423,898	0,735

**Tablo F.3:** Erzurum ili yer üstü borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,097	14,568	1,638	5,275	0,027	38,674	0,858
	EPS	0,133	13,866	1,608	5,180	0,027	39,375	0,727
	Taş yünü	0,119	15,822	1,832	5,899	0,031	37,419	0,867
100	XPS	0,113	20,264	2,164	6,969	0,036	72,833	0,749
	EPS	0,157	18,809	2,075	6,683	0,035	74,288	0,628
	Taş yünü	0,141	21,751	2,393	7,705	0,040	71,346	0,753
200	XPS	0,131	30,028	3,006	9,680	0,050	139,165	0,685
	EPS	0,183	26,999	2,809	9,045	0,047	142,194	0,558
	Taş yünü	0,165	31,636	3,274	10,543	0,055	137,557	0,677
400	XPS	0,148	46,171	4,324	13,925	0,072	257,057	0,652
	EPS	0,209	40,168	3,916	12,611	0,065	263,060	0,521
	Taş yünü	0,189	47,626	4,607	14,836	0,077	255,602	0,638
600	XPS	0,158	63,072	5,669	18,256	0,094	384,194	0,640
	EPS	0,226	53,724	5,005	16,118	0,083	393,542	0,508
	Taş yünü	0,203	64,154	5,955	19,176	0,099	383,112	0,620
800	XPS	0,165	79,649	6,947	22,372	0,116	509,978	0,638
	EPS	0,237	66,904	6,047	19,473	0,101	522,751	0,502
	Taş yünü	0,213	80,260	7,223	23,260	0,120	509,395	0,615
1000	XPS	0,169	96,085	8,238	26,531	0,137	635,013	0,634
	EPS	0,245	79,905	7,061	22,738	0,118	651,194	0,499
	Taş yünü	0,22	96,171	8,466	27,263	0,141	634,928	0,612

**Ek G: İzmir İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo G.1:** İzmir ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,04	3,722	0,725	1,458	-	3,784	2,115
	EPS	0,058	3,412	0,678	1,364	-	4,094	1,758
	Taş yünü	0,05	3,872	0,773	1,555	-	3,634	2,116
100	XPS	0,046	5,519	1,016	2,043	-	6,179	2,206
	EPS	0,067	4,931	0,930	1,871	-	6,767	1,783
	Taş yünü	0,058	5,669	1,074	2,161	-	6,028	2,169
200	XPS	0,05	8,705	1,533	3,083	-	9,366	2,455
	EPS	0,075	7,572	1,354	2,724	-	10,500	1,963
	Taş yünü	0,064	8,799	1,592	3,203	-	9,272	2,384
400	XPS	0,052	14,027	2,389	4,806	-	12,725	2,919
	EPS	0,08	11,947	2,049	4,122	-	14,804	2,295
	Taş yünü	0,068	13,971	2,426	4,881	-	12,781	2,825
600	XPS	0,052	19,539	3,287	6,613	-	14,859	3,348
	EPS	0,082	16,489	2,763	5,559	-	17,909	2,619
	Taş yünü	0,069	19,312	3,290	6,620	-	15,086	3,236
800	XPS	0,051	24,861	4,184	8,418	-	16,276	3,687
	EPS	0,082	20,897	3,475	6,991	-	20,240	2,875
	Taş yünü	0,068	24,469	4,163	8,376	-	16,669	3,548
1000	XPS	0,05	30,066	5,071	10,203	-	17,352	3,975
	EPS	0,082	25,230	4,167	8,383	-	22,189	3,102
	Taş yünü	0,067	29,516	5,022	10,104	-	17,903	3,818

**Tablo G.2:** İzmir ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,044	4,225	1,170	3,648	0,007	4,669	1,981
	EPS	0,062	3,887	1,111	3,464	0,007	5,007	1,091
	Taş yünü	0,054	4,412	1,263	3,937	0,008	4,481	1,950
100	XPS	0,05	6,223	1,640	5,113	0,011	7,637	2,028
	EPS	0,073	5,579	1,502	4,685	0,010	8,282	1,659
	Taş yünü	0,063	6,417	1,740	5,426	0,011	7,443	2,000
200	XPS	0,056	9,759	2,422	7,551	0,016	11,654	2,302
	EPS	0,082	8,509	2,171	6,769	0,014	12,904	1,817
	Taş yünü	0,071	9,897	2,538	7,913	0,016	11,516	2,225
400	XPS	0,058	15,665	3,774	11,768	0,024	16,033	2,698
	EPS	0,088	13,356	3,261	10,167	0,021	18,342	2,118
	Taş yünü	0,076	15,641	3,838	11,966	0,025	16,056	2,625
600	XPS	0,058	21,797	5,193	16,193	0,033	18,960	3,074
	EPS	0,091	18,389	4,367	13,617	0,028	22,369	2,420
	Taş yünü	0,077	21,583	5,205	16,231	0,033	19,175	2,982
800	XPS	0,057	27,734	6,611	20,613	0,042	21,010	3,373
	EPS	0,091	23,280	5,490	17,119	0,035	25,464	2,644
	Taş yünü	0,076	27,331	6,584	20,530	0,042	21,413	3,256
1000	XPS	0,056	33,551	8,013	24,985	0,051	22,635	3,629
	EPS	0,091	28,091	6,584	20,530	0,042	28,094	2,843
	Taş yünü	0,075	32,967	7,943	24,765	0,051	23,219	3,494

**Tablo G.3:** İzmir ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımını için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,053	5,615	0,619	1,993	0,010	7,374	1,681
	EPS	0,075	5,208	0,590	1,899	0,010	7,781	1,401
	Taş yünü	0,065	5,916	0,673	2,168	0,011	7,073	1,666
100	XPS	0,061	8,148	0,851	2,740	0,014	12,096	1,720
	EPS	0,087	7,364	0,793	2,553	0,013	12,880	1,400
	Taş yünü	0,076	8,476	0,915	2,947	0,015	11,768	1,689
200	XPS	0,068	12,599	1,246	4,012	0,021	18,675	1,908
	EPS	0,099	11,060	1,124	3,619	0,019	20,215	1,527
	Taş yünü	0,087	12,877	1,308	4,211	0,022	18,397	1,875
400	XPS	0,073	20,026	1,887	6,078	0,031	26,271	2,264
	EPS	0,108	17,139	1,655	5,331	0,028	29,157	1,773
	Taş yünü	0,094	20,118	1,950	6,281	0,032	26,179	2,185
600	XPS	0,074	27,760	2,572	8,283	0,043	31,769	2,569
	EPS	0,113	23,447	2,191	7,057	0,036	36,082	2,021
	Taş yünü	0,097	27,616	2,609	8,402	0,043	31,913	2,485
800	XPS	0,074	35,278	3,242	10,442	0,054	35,915	2,827
	EPS	0,115	29,585	2,720	8,758	0,045	41,609	2,219
	Taş yünü	0,097	34,892	3,274	10,544	0,055	36,302	2,711
1000	XPS	0,073	42,671	3,928	12,651	0,065	39,391	3,023
	EPS	0,115	35,633	3,260	10,499	0,054	46,430	2,368
	Taş yünü	0,097	42,046	3,921	12,628	0,065	40,017	2,913

**EK H: Balıkesir İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo H.1:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımını için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,051	5,198	1,013	2,039	-	6,527	1,779
	EPS	0,071	4,811	0,971	1,953	-	6,914	1,447
	Taş yünü	0,062	5,464	1,104	2,222	-	6,261	1,742
100	XPS	0,058	7,574	1,405	2,828	-	10,699	1,802
	EPS	0,083	6,830	1,305	2,626	-	11,444	1,464
	Taş yünü	0,073	7,860	1,501	3,020	-	10,413	1,787
200	XPS	0,065	11,758	2,058	4,140	-	16,473	2,020
	EPS	0,094	10,301	1,861	3,745	-	17,930	1,597
	Taş yünü	0,082	11,991	2,173	4,372	-	16,240	1,953
400	XPS	0,069	18,741	3,144	6,326	-	23,049	2,382
	EPS	0,103	16,020	2,742	5,517	-	25,770	1,872
	Taş yünü	0,089	18,795	3,241	6,520	-	22,995	2,299
600	XPS	0,069	26,011	4,324	8,699	-	27,725	2,684
	EPS	0,106	21,957	3,672	7,389	-	31,778	2,109
	Taş yünü	0,091	25,840	4,364	8,779	-	27,895	2,603
800	XPS	0,069	33,069	5,450	10,966	-	31,194	2,961
	EPS	0,108	27,732	4,557	9,169	-	36,532	2,324
	Taş yünü	0,091	32,672	5,477	11,019	-	31,592	2,848
1000	XPS	0,069	40,006	6,545	13,169	-	34,069	3,206
	EPS	0,109	33,421	5,432	10,928	-	40,654	2,504
	Taş yünü	0,091	39,386	6,559	13,197	-	34,690	3,067



**Tablo H.2:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,055	5,907	1,651	5,147	0,011	7,986	1,643
	EPS	0,077	5,488	1,581	4,930	0,010	8,405	1,356
	Taş yünü	0,068	6,234	1,792	5,589	0,011	7,659	1,646
100	XPS	0,063	8,549	2,269	7,076	0,015	13,102	1,667
	EPS	0,09	7,739	2,114	6,592	0,014	13,913	1,364
	Taş yünü	0,079	8,907	2,436	7,595	0,016	12,744	1,652
200	XPS	0,071	13,186	3,295	10,273	0,021	20,265	1,864
	EPS	0,102	11,590	2,997	9,344	0,019	21,860	1,477
	Taş yünü	0,09	13,496	3,481	10,855	0,022	19,954	1,818
400	XPS	0,075	20,917	5,033	15,694	0,032	28,600	2,171
	EPS	0,112	17,917	4,390	13,688	0,028	31,600	1,720
	Taş yünü	0,097	21,037	5,191	16,187	0,033	28,479	2,106
600	XPS	0,077	28,971	6,802	21,207	0,044	34,699	2,486
	EPS	0,117	24,481	5,812	18,121	0,037	39,189	1,953
	Taş yünü	0,1	28,847	6,945	21,656	0,045	34,823	2,388
800	XPS	0,077	36,803	8,574	26,735	0,055	39,342	2,730
	EPS	0,119	30,867	7,213	22,489	0,046	45,279	2,140
	Taş yünü	0,101	36,428	8,661	27,004	0,055	39,718	2,622
1000	XPS	0,077	44,510	10,301	32,118	0,066	43,261	2,946
	EPS	0,12	37,161	8,597	26,805	0,055	50,610	2,298
	Taş yünü	0,102	43,884	10,309	32,143	0,066	43,887	2,836

**Tablo H.3:** Balıkesir ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,066	7,875	0,875	2,819	0,015	12,417	1,409
	EPS	0,092	7,379	0,845	2,721	0,014	12,913	1,179
	Taş yünü	0,081	8,383	0,960	3,093	0,016	11,908	1,411
100	XPS	0,076	11,226	1,185	3,815	0,020	20,398	1,418
	EPS	0,107	10,252	1,118	3,601	0,019	21,372	1,162
	Taş yünü	0,095	11,801	1,283	4,133	0,021	19,823	1,413
200	XPS	0,086	17,055	1,695	5,459	0,028	31,801	1,564
	EPS	0,123	15,113	1,553	5,001	0,026	33,743	1,256
	Taş yünü	0,108	17,602	1,814	5,840	0,030	31,255	1,522
400	XPS	0,093	26,734	2,530	8,147	0,042	45,589	1,827
	EPS	0,136	23,036	2,241	7,217	0,037	49,287	1,445
	Taş yünü	0,119	27,076	2,644	8,514	0,044	45,247	1,767
600	XPS	0,096	36,822	3,394	10,932	0,057	56,172	2,074
	EPS	0,143	31,230	2,938	9,460	0,049	61,764	1,631
	Taş yünü	0,124	36,873	3,497	11,262	0,058	56,121	1,996
800	XPS	0,097	46,651	4,246	13,675	0,071	64,564	2,276
	EPS	0,147	39,200	3,609	11,624	0,060	72,015	1,788
	Taş yünü	0,127	46,391	4,313	13,890	0,072	64,824	2,197
1000	XPS	0,097	56,342	5,101	16,429	0,085	71,853	2,439
	EPS	0,149	47,059	4,280	13,782	0,071	81,136	1,915
	Taş yünü	0,128	55,766	5,136	16,539	0,086	72,429	2,354

**EK I: Ankara İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo I.1:** Ankara ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımını için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,057	6,264	1,233	2,481	-	8,748	1,587
	EPS	0,08	5,829	1,181	2,377	-	9,183	1,320
	Taş yünü	0,07	6,622	1,345	2,705	-	8,390	1,580
100	XPS	0,066	9,037	1,681	3,383	-	14,358	1,626
	EPS	0,093	8,194	1,579	3,177	-	15,201	1,315
	Taş yünü	0,082	9,432	1,816	3,654	-	13,963	1,598
200	XPS	0,074	13,896	2,441	4,912	-	22,248	1,801
	EPS	0,106	12,233	2,226	4,479	-	23,910	1,428
	Taş yünü	0,093	14,246	2,596	5,223	-	21,897	1,743
400	XPS	0,079	21,991	3,699	7,441	-	31,512	2,109
	EPS	0,117	18,858	3,244	6,526	-	34,645	1,665
	Taş yünü	0,102	22,149	3,825	7,695	-	31,354	2,046
600	XPS	0,081	30,429	4,999	10,057	-	38,367	2,404
	EPS	0,122	25,728	4,295	8,640	-	43,068	1,882
	Taş yünü	0,105	30,331	5,116	10,294	-	38,465	2,309
800	XPS	0,081	38,638	6,301	12,678	-	43,638	2,635
	EPS	0,124	32,412	5,329	10,722	-	49,863	2,057
	Taş yünü	0,106	38,277	6,380	12,835	-	43,999	2,529
1000	XPS	0,081	46,719	7,571	15,232	-	48,118	2,839
	EPS	0,126	41,366	8,397	12,712	-	55,836	2,220
	Taş yünü	0,107	46,095	7,595	15,281	-	48,742	2,730

**Tablo I.2:** Ankara ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,062	7,123	2,001	6,241	0,013	10,663	1,486
	EPS	0,086	6,655	1,932	6,023	0,012	11,132	1,227
	Taş yünü	0,076	7,560	2,192	6,833	0,014	10,226	1,481
100	XPS	0,071	10,208	2,729	8,509	0,017	17,512	1,493
	EPS	0,101	9,293	2,557	7,972	0,016	18,427	1,231
	Taş yünü	0,089	10,697	2,944	9,179	0,019	17,023	1,488
200	XPS	0,08	15,591	3,932	12,261	0,025	27,234	1,651
	EPS	0,115	13,776	3,585	11,179	0,023	29,050	1,324
	Taş yünü	0,102	16,044	4,160	12,972	0,027	26,782	1,628
400	XPS	0,087	24,545	5,868	18,295	0,038	38,850	1,952
	EPS	0,127	21,103	5,198	16,208	0,033	42,292	1,532
	Taş yünü	0,111	24,797	6,129	19,111	0,039	38,598	1,879
600	XPS	0,089	33,879	7,930	24,725	0,051	47,637	2,208
	EPS	0,133	28,691	6,847	21,348	0,044	52,825	1,730
	Taş yünü	0,116	33,855	8,107	25,279	0,052	47,660	2,137
800	XPS	0,09	42,968	9,920	30,929	0,064	54,519	2,432
	EPS	0,137	36,073	8,411	26,225	0,054	61,414	1,906
	Taş yünü	0,118	42,655	10,051	31,340	0,064	54,832	2,345
1000	XPS	0,09	51,924	11,918	37,161	0,076	60,447	2,612
	EPS	0,138	43,352	10,022	31,249	0,064	69,020	2,035
	Taş yünü	0,118	51,319	12,033	37,520	0,077	61,053	2,503

**Tablo I.3:** Ankara ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,074	9,514	1,064	3,428	0,018	16,465	1,276
	EPS	0,102	8,965	1,036	3,337	0,017	17,014	1,063
	Taş yünü	0,09	10,185	1,178	3,793	0,020	15,794	1,268
100	XPS	0,085	13,431	1,431	4,608	0,024	27,057	1,269
	EPS	0,12	12,339	1,354	4,360	0,023	28,148	1,056
	Taş yünü	0,106	14,199	1,559	5,021	0,026	26,288	1,267
200	XPS	0,097	20,197	2,022	6,512	0,034	42,352	1,397
	EPS	0,138	18,000	1,864	6,004	0,031	44,550	1,128
	Taş yünü	0,122	20,961	2,172	6,993	0,036	41,589	1,369
400	XPS	0,106	31,391	2,979	9,593	0,050	61,202	1,628
	EPS	0,153	27,173	2,667	8,587	0,044	65,420	1,286
	Taş yünü	0,135	31,947	3,135	10,097	0,052	60,646	1,576
600	XPS	0,11	43,049	3,971	12,788	0,066	76,010	1,842
	EPS	0,162	36,634	3,466	11,162	0,058	82,424	1,449
	Taş yünü	0,142	43,286	4,108	13,229	0,068	75,773	1,780
800	XPS	0,112	54,413	4,935	15,893	0,082	87,973	2,024
	EPS	0,167	45,828	4,240	13,656	0,071	96,558	1,584
	Taş yünü	0,146	54,299	5,044	16,243	0,084	88,087	1,954
1000	XPS	0,113	65,626	5,890	18,968	0,098	98,499	2,175
	EPS	0,17	54,892	5,006	16,121	0,083	109,234	1,697
	Taş yünü	0,148	65,150	5,976	19,246	0,100	98,975	2,095

**EK J: Kayseri İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo J.1:** Kayseri ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,06	6,858	1,358	2,732	-	10,061	1,500
	EPS	0,084	6,399	1,304	2,624	-	10,519	1,250
	Taş yünü	0,074	7,270	1,481	2,980	-	9,648	1,505
100	XPS	0,07	9,847	1,837	3,697	-	16,519	1,544
	EPS	0,098	8,954	1,734	3,489	-	17,413	1,246
	Taş yünü	0,087	10,307	1,989	4,002	-	16,060	1,521
200	XPS	0,078	15,070	2,668	5,367	-	25,665	1,689
	EPS	0,113	13,300	2,420	4,869	-	27,434	1,364
	Taş yünü	0,099	15,490	2,827	5,687	-	25,244	1,656
400	XPS	0,084	23,762	4,010	8,068	-	36,538	1,984
	EPS	0,124	20,413	3,526	7,094	-	39,886	1,570
	Taş yünü	0,108	23,984	4,165	8,379	-	36,316	1,922
600	XPS	0,086	32,822	5,420	10,904	-	44,712	2,251
	EPS	0,13	27,782	4,644	9,344	-	49,753	1,777
	Taş yünü	0,112	32,775	5,539	11,144	-	47,893	2,175
800	XPS	0,087	41,643	6,779	13,639	-	51,083	2,484
	EPS	0,133	34,951	5,734	11,535	-	57,775	1,949
	Taş yünü	0,114	41,314	6,867	13,816	-	51,413	2,391
1000	XPS	0,087	50,333	8,145	16,387	-	56,551	2,670
	EPS	0,135	42,020	6,798	13,678	-	64,864	2,097
	Taş yünü	0,115	49,720	8,176	16,450	-	57,163	2,573

**Tablo J.2:** Kayseri ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,065	7,802	2,208	6,885	0,014	12,244	1,399
	EPS	0,091	7,309	2,126	6,629	0,014	12,738	1,176
	Taş yünü	0,08	8,304	2,418	7,541	0,015	11,743	1,405
100	XPS	0,076	11,128	2,968	9,254	0,019	20,113	1,435
	EPS	0,106	10,160	2,814	8,774	0,018	21,082	1,162
	Taş yünü	0,094	11,694	3,232	10,077	0,021	19,548	1,411
200	XPS	0,085	16,914	4,276	13,334	0,027	31,352	1,564
	EPS	0,122	14,984	3,909	12,187	0,025	33,282	1,260
	Taş yünü	0,108	17,452	4,544	14,167	0,029	30,814	1,540
400	XPS	0,092	26,524	6,382	19,899	0,041	44,924	1,829
	EPS	0,135	22,850	5,640	17,585	0,036	48,599	1,451
	Taş yünü	0,118	26,857	6,657	20,756	0,043	44,591	1,774
600	XPS	0,095	36,540	8,563	26,700	0,055	55,330	2,079
	EPS	0,142	30,986	7,393	23,053	0,047	60,884	1,639
	Taş yünü	0,124	36,583	8,761	27,318	0,056	55,287	2,020
800	XPS	0,096	46,299	10,712	33,400	0,069	63,572	2,283
	EPS	0,146	38,900	9,084	28,324	0,058	70,970	1,798
	Taş yünü	0,126	46,033	10,861	33,865	0,070	63,838	2,207
1000	XPS	0,097	55,920	12,780	39,850	0,082	70,726	2,577
	EPS	0,148	46,704	10,771	33,585	0,069	79,942	1,926
	Taş yünü	0,127	55,341	12,932	40,324	0,083	71,305	2,366

**Tablo J.3:** Kayseri ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,078	10,430	1,172	3,774	0,020	18,849	1,214
	EPS	0,108	9,855	1,141	3,673	0,019	19,424	1,023
	Taş yünü	0,096	11,196	1,293	4,165	0,022	18,083	1,229
100	XPS	0,09	14,655	1,566	5,043	0,026	30,975	1,209
	EPS	0,126	13,504	1,490	4,800	0,025	32,127	1,000
	Taş yünü	0,112	15,537	1,712	5,513	0,029	30,094	1,207
200	XPS	0,102	21,930	2,213	7,126	0,037	48,566	1,313
	EPS	0,145	19,600	2,044	6,584	0,034	50,895	1,065
	Taş yünü	0,129	22,821	2,374	7,645	0,040	47,674	1,297
400	XPS	0,112	33,937	3,240	10,436	0,054	70,418	1,530
	EPS	0,162	29,448	2,901	9,341	0,048	74,907	1,217
	Taş yünü	0,144	34,622	3,398	10,942	0,057	69,733	1,499
600	XPS	0,117	46,434	4,295	13,830	0,072	87,749	1,736
	EPS	0,172	39,589	3,756	12,095	0,063	94,594	1,370
	Taş yünü	0,151	46,787	4,452	14,336	0,074	87,395	1,680
800	XPS	0,119	58,617	5,337	17,188	0,089	101,856	1,900
	EPS	0,178	49,437	4,577	14,740	0,076	111,036	1,500
	Taş yünü	0,155	58,600	5,466	17,602	0,091	101,873	1,837
1000	XPS	0,121	70,640	6,333	20,396	0,105	114,334	2,052
	EPS	0,182	59,144	5,382	17,333	0,090	125,830	1,609
	Taş yünü	0,158	70,238	6,448	20,767	0,107	114,736	1,975



**EK K: Erzurum İli Bölgesel Isıtma Yer Altı Borulama Sistemi Optimum Yalıtım Kalınlığına Bağlı Veriler**

**Tablo K.1:** Erzurum ili yer altı borulama sistemi doğalgaz yakıtı kullanımını için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,072	9,244	1,850	3,721	-	15,778	1,278
	EPS	0,101	8,703	1,786	3,592	-	16,319	1,089
	Taş yünü	0,089	9,888	2,031	4,086	-	15,135	1,297
100	XPS	0,084	13,069	2,471	4,972	-	25,928	1,298
	EPS	0,118	11,996	2,343	4,713	-	27,001	1,072
	Taş yünü	0,104	13,805	2,701	5,433	-	25,192	1,284
200	XPS	0,095	19,684	3,513	7,068	-	40,563	1,417
	EPS	0,135	17,527	3,239	6,518	-	42,720	1,140
	Taş yünü	0,12	20,411	3,761	7,567	-	39,836	1,394
400	XPS	0,104	30,634	5,175	10,412	-	58,550	1,658
	EPS	0,151	26,498	4,614	9,283	-	62,686	1,315
	Taş yünü	0,133	31,153	5,430	10,925	-	58,031	1,610
600	XPS	0,108	42,039	6,899	13,881	-	72,636	1,879
	EPS	0,159	35,755	6,022	12,116	-	78,920	1,475
	Taş yünü	0,139	42,243	7,147	14,380	-	72,432	1,809
800	XPS	0,109	53,157	8,628	17,358	-	83,987	2,050
	EPS	0,164	44,753	7,368	14,823	-	92,391	1,615
	Taş yünü	0,143	53,017	8,775	17,655	-	84,127	1,989
1000	XPS	0,11	64,126	10,297	20,716	-	93,957	2,205
	EPS	0,167	53,623	8,697	17,499	-	104,460	1,731
	Taş yünü	0,145	63,631	10,398	20,919	-	94,452	2,134

**Tablo K.2:** Erzurum ili yer altı borulama sistemi kömür yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,078	10,532	3,009	9,383	0,019	19,117	1,199
	EPS	0,108	9,954	2,929	9,132	0,019	19,695	1,011
	Taş yünü	0,096	11,308	3,321	10,355	0,021	18,341	1,214
100	XPS	0,091	14,790	3,998	12,466	0,026	31,417	1,210
	EPS	0,127	13,632	3,813	11,888	0,024	32,575	0,998
	Taş yünü	0,113	15,685	4,378	13,650	0,028	32,504	1,205
200	XPS	0,103	22,120	5,650	17,616	0,036	49,266	1,311
	EPS	0,146	19,776	5,230	16,308	0,034	51,610	1,060
	Taş yünü	0,13	23,026	6,070	18,928	0,039	48,360	1,293
400	XPS	0,113	34,216	8,274	25,799	0,053	71,457	1,525
	EPS	0,163	29,698	7,421	23,138	0,048	75,975	1,210
	Taş yünü	0,144	34,916	8,725	27,205	0,056	70,757	1,480
600	XPS	0,118	46,805	10,966	34,191	0,070	89,073	1,729
	EPS	0,173	39,913	9,608	29,959	0,062	95,965	1,361
	Taş yünü	0,152	47,171	11,383	35,493	0,073	88,706	1,671
800	XPS	0,12	59,076	13,628	42,492	0,087	103,424	1,891
	EPS	0,179	49,833	11,710	36,511	0,075	112,668	1,490
	Taş yünü	0,156	59,071	13,977	43,580	0,090	103,429	1,825
1000	XPS	0,121	71,188	16,264	50,711	0,104	116,123	2,027
	EPS	0,183	59,609	13,769	42,932	0,088	127,702	1,598
	Taş yünü	0,159	70,795	16,490	51,416	0,106	116,516	1,962

**Tablo K.3:** Erzurum ili yer altı borulama sistemi fuel-oil yakıtı kullanımı için veriler.

Boru ebadı	Yalıtım malzemesi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Toplam maliyet (\$/m)	Yıllık yakıt tüketimi (kg/m-yıl)	CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	SO <sub>2</sub> emisyonu (kg/m-yıl)	Enerji tasarrufu (\$/m-yıl)	Geri dönüş süresi (yıl)
50	XPS	0,093	14,124	1,604	5,166	0,027	29,180	1,044
	EPS	0,128	13,464	1,575	5,071	0,026	29,840	0,887
	Taş yünü	0,114	15,291	1,786	5,751	0,030	28,013	1,058
100	XPS	0,108	19,546	2,110	6,794	0,035	47,943	1,032
	EPS	0,15	18,185	2,029	6,535	0,034	49,303	0,861
	Taş yünü	0,134	20,909	2,328	7,496	0,039	46,579	1,036
200	XPS	0,123	28,769	2,934	9,449	0,049	75,494	1,107
	EPS	0,173	25,965	2,745	8,840	0,046	78,298	0,902
	Taş yünü	0,155	30,210	3,178	10,236	0,053	74,053	1,099
400	XPS	0,136	18,255	4,231	13,625	0,070	110,470	1,274
	EPS	0,195	38,396	3,828	12,327	0,064	115,947	1,022
	Taş yünü	0,174	45,127	4,481	14,430	0,075	109,215	1,253
600	XPS	0,143	59,537	5,550	17,873	0,092	138,921	1,437
	EPS	0,208	51,119	4,906	15,798	0,082	147,339	1,141
	Taş yünü	0,184	60,427	5,801	18,680	0,097	138,030	1,397
800	XPS	0,147	74,799	6,825	21,979	0,114	162,544	1,575
	EPS	0,216	63,442	5,938	19,122	0,099	173,901	1,242
	Taş yünü	0,191	75,258	7,041	22,676	0,117	162,085	1,530
1000	XPS	0,15	89,863	8,062	25,963	0,134	183,717	1,696
	EPS	0,222	75,571	6,935	22,335	0,116	198,009	1,331
	Taş yünü	0,195	89,589	8,276	26,653	0,138	183,721	1,636

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Utku İLHAN

Doğum tarihi ve yeri : 29.09.1993/Bodrum

e-posta : utkuilhan48@gmail.com

## Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makina Mühendisliği	
Y.Lisans (Tezsiz)	Balıkesir Üniversitesi/İş Sağlığı ve Güvenliği	2017
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makina Mühendisliği	2016
Lise	Bodrum Anadolu Lisesi	2011

## Yayın Listesi

İlhan, U. (2018). Optimum insulation thickness for pipes in district heating systems-review. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 2(3), 225-232. doi:10.30464/jmee.2018.2.225