

**BORU YALITIMI UYGULAMALARINDA
ISITMA DERECE GÜNLERE GÖRE
OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ
ENERJİ TASARRUFU**

Ercan ÇALLI

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart, 2016

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

BORU YALITIMI UYGULAMALARINDA ISITMA DERECE
GÜNLERE GÖRE OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ
TASARRUFU

Ercan ÇALLI

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Ercan ÇALLI tarafından hazırlanan “Boru yalıtımı uygulamalarında ısıtma derece günlere göre optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11/03/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ

Başkan :Prof. Dr. Muhammet YÜRÜSOY
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmza

Üye :Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmza

Üye :Doç. Dr. Fatih AKSOY
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/03/2016

Ercan ÇALLI

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

BORU YALITIMI UYGULAMALARINDA ISITMA DERECE GÜNLERE GÖRE
OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ TASARRUFU

Ercan ÇALLI
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ

Günümüzde sınırlı enerji kaynakları, hızlı enerji tüketimi ve fosil kaynakların kullanımından doğan çevresel etkiler sebebiyle termal yalıtım birçok ülke ve termal mühendisler için büyük ilgi ve önem konusu olmaktadır. Bilhassa yapılarda, mekanik tesisatta ve endüstride karmaşık ve masraflı boru tesisatı ve yalıtım uygulamaları görülmektedir. Bir taraftan yalıtım, yapılarda, mekanik tesisat ve endüstri sistemlerinde tüketilen enerjiyi azaltmanın en iyi yolu olarak tasarlanmaktadır. Diğer taraftan ise o, yapılarda, mekanik tesisat ve endüstri sistemlerinde ısıtma ve soğutma yükünün iletim kısmı ile ilgili olarak enerji tüketiminin (ısı kaybı) azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bakış açısından bakıldığında yalıtım, modern şehirlerin ve sistemlerin enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirliğine ulaşmak için en önemli yöntemlerden biri olarak görülebilir. Bu çalışma farklı boru malzeme tipleri için borularda yalıtım kalınlığını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Ele alınan borular çelik, plastik ve bakır malzemelerden oluşmaktadır. Durum çalışması olarak Afyonkarahisar iklim şartlarındaki bazı yakıt tipleri (kömür, doğalgaz ve fueloil) ve çeşitli yalıtım malzemeleri (taşyünü, EPS ve XPS) kullanılması durumunda farklı çaplardaki borularda yalıtım uygulaması ile ilişkili yıllık toplam maliyet, enerji tasarrufu ve geri dönüş süresinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Optimizasyon işlemi için derece günlere (1000, 3000, 5000 ve 7000 °C-gün) dayanan yaşam döngüsü maliyet analizi kullanılmıştır. Öncelikle sonuçlar göstermiştir ki en tasarruflu yakıt ve yalıtım malzemesi sırasıyla kömür ve XPS olarak bulunmuştur. Boru malzemelerinin yalıtım önceliği çelik ve plastik olarak sıralanmaktadır. Plastik boruların ısı iletim katsayılarının düşük olması

sebebinden dolayı bu çalışmanın yöntemi optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için uygun bir yöntem değildir. Analizdeki tüm değişken parametreler dikkate alındığında çelik borular için optimum yalıtım kalınlıkları 5 ve 16 cm arasında değişmektedir. Böylece büyük çaplı çelik borularda sabit bir yalıtım kalınlığı kullanılabilir. Sonuçta ısıtma derece günler arttıkça tüm boru çapları için optimum yalıtım kalınlık değerleri artmıştır.

2016, xix + 136 sayfa

Anahtar Kelimeler: Boru tesisatı, Boru, Isıtma derece günler, Termal yalıtım, Optimum yalıtım kalınlığı, Enerji tasarrufu.

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

ENERGY SAVING OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS ACCORDING TO
HEATING DEGREE-DAYS IN PIPE INSULATION APPLICATIONS

Ercan ÇALLI

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Ali KEÇEBAŞ

Nowadays, due to limited energy resources, rapid energy consumption and environmental impacts arising from the use of fossil resources, thermal insulation is the topic of great interest and importance to many countries and thermal engineers. In particular, the complicated and costly piping and insulation applications are considered in buildings, mechanical installations and industry. On the one hand, insulation is designed to be the best way to reduce the energy consumed in the buildings, mechanical installations and industrial systems. On the other hand, it plays an important role in the reduction of energy consumption (heat loss) regarding transmitting portion of heating and cooling loads in the buildings, mechanical installations and industrial systems. When viewed from this perspective, it can be seen as one of the most important ways to achieve, energy efficiency and environmental sustainability of the modern cities and systems. This study aims at optimizing the insulation thickness in the pipes for different material types of pipe. The discussed pipes consist of steel, plastic and copper materials. As case study, when some fuel types (coal, natural gas and fuel oil) and various insulation materials (rock wool, EPS and XPS) under the Afyonkarahisar (Turkey) climatic conditions are used, evaluation of the annual total cost, energy saving and payback period associated with insulation applications in pipes with different diameters were performed. The life-cycle cost analysis based on the degree-days (1000, 3000, 5000 and 7000 °C-days) for the optimization process was used. Firstly, the results showed that the most saving fuel type and insulation material was found as coal and XPS, respectively. The insulation priorities of the pipe material types are listed as steel and plastic materials. For reasons of their low thermal conductivity of plastic pipes, the

method of this study is not a suitable method for determining the optimum thickness. Considering all the variable parameters in the analysis method, the optimum insulation thickness for steel pipe varies between 5 and 16 cm. Thus, a constant thickness of insulation can be used in large diameter steel pipe. As a result, the optimum thickness value for all pipe diameters increases with increase heating degree-days.

2016, xix + 136 pages

Key Words: Piping, Pipe materials, Heating degree-days, Thermal insulation, Optimum insulation thickness, Energy saving.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Muhammet YÜRSOY'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Öğr. Gör. Serdar KAPLAN'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı sevgili eŐime, kayınpederime ve aileme teşekkür ederim.

Ercan ÇALLI
AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
3. GENEL ENERJİ DURUMU	9
3.1 Türkiye'nin Genel Enerji Durumu	9
3.1.1 Türkiye'nin Enerji Üretim ve Tüketimi	11
4. YALITIM VE YALITIM MALZEMELERİ	14
4.1 Yalıtım nedir	14
4.1.1 Yalıtımın Türleri	14
4.2 Yalıtım Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri	15
4.2.1 Gözenekli Özgül Ağırlık	16
4.2.2 Özgül Isı ve Rutubet	17
4.2.3 Isı İletim Katsayısı	18
4.3 Organik Asıllı Isı Yalıtım Malzemeleri	19
4.3.1 Oluklu Mukavvalar	20
4.3.2 Pamuk Keçeleri	20
4.3.3 Tahta Lifli Hafif Yapı Levhaları	20
4.3.4 Anorganik Bağlama Elemanlı Tahta Lifli Yapı Levhaları	21
4.3.5 Turb Yalıtım Levhaları	21
4.3.6 Halat, Hortum Şeklinde Organik Yalıtım Malzemeleri	21
4.3.7 Taneli Yalıtım Malzemeleri	21
4.3.8 Kuru Taneli Doldurma	22
4.3.9 Levha ve Şekillendirilmiş Haldeki Mantar	22

4.4 Anorganik Asıllı Isı Yalıtım Malzemeleri	22
4.4.1 Cam Yünü	23
4.4.2 Taş Yünü	24
4.4.3 Curuf Yünü	25
4.4.4 Asbest	25
4.4.5 Kizelgur.....	25
4.4.6 Magnezyum Karbonat.....	25
4.4.7 Magnezit	26
4.4.8 Perlit.....	26
4.5 Sentetik Esaslı Isı Yalıtım Malzemeleri	26
4.5.1 Poliüretanlar (Pur)	27
4.5.2 Poliüretan Elastomerler	29
4.5.3 Poliüretan Kaplama.....	29
4.5.4 PVC (Polivinil Klorid).....	30
4.5.5 Polietilen (Pe)	30
4.5.6 Polistrol.....	30
4.5.7 Polistren (EPS) Malzemeler.....	31
4.6 Isı Yalıtımı İle İlgili Tanımlar	32
4.6.1 Isı İletkenlik Katsayısı	32
4.6.2 Isı Geçirgenliği	32
4.6.3 Isı Geçirgenlik Direnci.....	32
4.6.4 Isı Geçirme Katsayısı.....	32
4.6.5 Isı Geçirme Direnci	33
4.6.6 Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısı	33
4.6.7 Yüzeysel Isı Taşınım Direnci.....	33
4.6.8 Bağlı Nem	33
4.6.9 Terleme Sıcaklığı	33
4.6.10 Yoğuşma	34
4.7 Isı Yalıtımının Önemi	34
4.7.1 Isı Yalıtımının Faydaları	34
4.7.2 Isı Yalıtımı Kullanım Alanları.....	35
5. MATERYAL VE METOT.....	36

5.1 Boru Sisteminin Yapısı	36
5.2 Boru Sisteminde Isı Kayıplarının Hesaplanması	37
5.3 Optimum Yalıtım Kalınlığı Enerji Tasarrufu ve Geri Dönüş süresinin Hesaplanması	39
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	127
8. KAYNAKLAR.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	134

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$AlCl_3$	Alüminyum klorür
Al_3O_3	Alüminyum oksit
φ	Bağıl nem
Ba	Baryum
M_s	Başlangıçtaki ilk maliyete yıllık bakım ve işletme maliyetlerine oranı
C_6H_6	Benzol
C_{Yal}	Birim hacimdeki yalıtım malzemesinin maliyeti
k_i	Boru içerisindeki sıcak suyun ısı transfer katsayısı
T_{ts}	Boru içerisindeki sıcak suyun ortalama tasarım sıcaklığı
A_i	Borunun iç yüzey alanı
Q_b	Boruda gerçekleşen ısı kaybı
E_g	Boru sistemdeki kayıplar için yıllık enerji gereksinimi
h_d	Boru sisteminin dış yüzeyi için ısı taşınım katsayısı
h_i	Boru sisteminin iç yüzeyi için ısı taşınım katsayısı
A_d	Boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanı
k_1, k_2, \dots	Boru sistemi tabakalarının ısıl iletkenlikleri
R_b	Borusistemi tabakalarının toplam ısıl direnci
r_1, r_2, \dots	Borusistemi tabakalarının yarıçapları
A	Borunun toplam yüzey alanı
T_{ms}	Boru sisteminin ortalama dış yüzey sıcaklığı
Q_A	Bölgesel ısıtma için boru sisteminin yıllık ısı kaybı
C_t	Bölgesel ısıtma için yalıtımlı boru sistemiyle taşınan ısının toplam maliyeti
$C_{yakıt}$	Bölgesel ısıtmadaki boru sisteminden kaynaklanan kayıplar nedeniyle oluşan yıllık toplam enerji maliyeti
$m_{yakıt}$	Bölgesel ısıtmadaki borulardan kaynaklanan kayıplar için yıllık yakıt tüketimi
T_b	Denge sıcaklık
F_2O_3	Demir oksit
T_d	Dışortam sıcaklığı
d	Enflasyon oranı
i	Faiz oranı
N_{gd}	Geri dönüş süresi
T_{sa}	Günlük ortalama güneş hava sıcaklığı
H_2O	Hidrojen tri oksit
\wedge	Isı geçirgenlik, W/m^2K
U	Isı geçirme katsayısı sembolü
λ	Isı iletkenlik katsayısı, W/mK
P_1	İlk yıl için yakıt fiyatına ömür yakıt fiyatının oranı
F	İlk yılki işletim maliyeti ile orantılı ifade
CaO	Kalsiyum oksit
C_2O	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
Cr	Krom

Simgeler (Devamı)

PbO	Kurşun oksit
S	Kükürt
S ₂ O	Kükürtdioksit
MgO	Magnezyum oksit
MnO ₂	Mangan oksit
δ_{ins}	Optimum yalıtım kalınlığı
N	Ömür süresi
K ₂ O	Potasyum oksit
SiO ₂	Silisyum dioksit
E	Sisteminin birinci maliyeti ile orantılı ifade
Na ₂ O	Sodyum oksit
T _ç	Terleme sıcaklığı
TiO ₂	Titanyum oksit
C _{Yalıtım}	Toplam yalıtım malzemesi maliyeti
H _{alt}	Yakıt tipine bağlı olarak yakıtın alt ısıl değeri
C _Y	Yakıt tipine dayanarak yakıtın birim maliyeti
S	Yalıtım malzemesi kullanılmasıyla ömür süresi üzerinden toplam enerji tasarrufu
k _y	Yalıtım malzemesinin ısı transfer katsayısı
V	Yalıtımda kullanılan malzemenin hacmi
R _{b,y}	Yalıtımlı boru sistemi tabakalarının toplam ısıl direnci
R _{b,y-sı}	Yalıtımsız boru sistemi tabakalarının toplam ısıl direnci
P ₂	Yatırım miktarına yatırımın sonucu olarak giren ömürlük masrafların oranı
$\eta_{ıs}$	Yıllık ısı kaybının ısıtma sisteminin verimi
α	Yüzeysel ısı taşınım katsayısı, W/m ² K

Kısaltmalar

VB	Benzeri
BTEP	Bin ton eşdeğer petrol
XPS	Ekstrude polistren malzeme
PCM	Faz değişim malzemesi
ICB	Genleştirilmiş mantar
EPB	Genleştirilmiş perlit
EPS	Genleştirilmiş polistren köpük
IDG	Isıtma derece-gün
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
PUR	Poliüretan köpük
PVC	Polivinli klorür
YDM	Yaşam döngüsü maliyeti

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Türkiye’de Birincil Enerji Üretiminin Kaynaklar Bazındaki Dağılımı	10
Şekil 3.2 Türkiye’de Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklar Bazındaki Dağılımı	11
Şekil 4.1 Dış etkiler	15
Şekil 4.2 Yüzeyle poliüretan malzeme uygulaması	27
Şekil 4.3 Poliüretan malzeme uygulaması	29
Şekil 5.1 Bu çalışmada ele alınan birim uzunluktaki boru sistemi.....	36
Şekil 6.1 Çelik borularda 50 mm’lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür)	44
Şekil 6.2 Çelik borularda 800 mm’lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür)	44
Şekil 6.3 Plastik borularda 50 mm’lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür)	45
Şekil 6.4 Plastik borularda 200 mm’lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür)	45
Şekil 6.5 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, kömür).....	46
Şekil 6.6 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, doğalgaz).....	47
Şekil 6.7 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, fuel-oil).....	47
Şekil 6.8 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, kömür).....	48
Şekil 6.9 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, doğalgaz).....	49
Şekil 6.10 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, fuel-oil).....	49
Şekil 6.11 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, kömür)	50

Şekil 6.12 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, doğalgaz)	51
Şekil 6.13 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, fuel-oil)	51
Şekil 6.14 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, kömür)	52
Şekil 6.15 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, doğalgaz)	52
Şekil 6.16 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, fuel-oil)	53
Şekil 6.17 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, kömür).....	53
Şekil 6.18 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, doğalgaz).....	54
Şekil 6.19 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, fuel-oil).....	54
Şekil 6.20 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, kömür).....	55
Şekil 6.21 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, doğalgaz).....	56
Şekil 6.22 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, fuel-oil).....	56
Şekil 6.23 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 50 mm boru çapı).....	57
Şekil 6.24 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 800 mm boru çapı).....	57
Şekil 6.25 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 50 mm boru çapı).....	58
Şekil 6.26 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 200 mm boru çapı).....	59
Şekil 6.27 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 50 mm boru çapı)	59

Şekil 6.28 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 800 mm boru çapı)	60
Şekil 6.29 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 50 mm boru çapı)	61
Şekil 6.30 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 200 mm boru çapı)	61
Şekil 6.31 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 50 mm boru çapı).....	62
Şekil 6.32 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 800 mm boru çapı).....	62
Şekil 6.33 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 50 mm boru çapı).....	63
Şekil 6.34 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 200 mm boru çapı).....	64
Şekil 6.35 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 50 mm boru çapı)	64
Şekil 6.36 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 800 mm boru çapı)	65
Şekil 6.37 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 50 mm boru çapı)	66
Şekil 6.38 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 200 mm boru çapı)	66
Şekil 6.39 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 50 mm boru çapı)	67
Şekil 6.40 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 800 mm boru çapı)	67
Şekil 6.41 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 50 mm boru çapı)	68
Şekil 6.42 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 200 mm boru çapı)	69
Şekil 6.43 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil, 50 mm boru çapı).....	69

Şekil 6.44 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil, 800 mm boru çapı).....	70
Şekil 6.45 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 50 mm boru çapı)	71
Şekil 6.46 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil, 200 mm boru çapı).....	71
Şekil 6.47 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (tas yünü, kömür).....	72
Şekil 6.48 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, doğalgaz).....	72
Şekil 6.49 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, fuel-oil).	73
Şekil 6.50 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, kömür).....	73
Şekil 6.51 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, doğalgaz).....	74
Şekil 6.52 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, fuel-oil).....	75
Şekil 6.53 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, kömür).	75
Şekil 6.54 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, doğalgaz).....	76
Şekil 6.55 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, fuel-oil)	77
Şekil 6.56 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, 50 mm boru çapı)	77
Şekil 6.57 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, 800 mm boru çapı)..	78
Şekil 6.58 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 50 mm boru çapı).....	79
Şekil 6.59 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 800 mm boru çapı).....	80

Şekil 6.60 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, 50 mm boru çapı)	81
Şekil 6.61 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, 800 mm boru çapı)	81
Şekil 6.62 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (Kömür, 50 mm boru çapı)	82
Şekil 6.63 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (Kömür, 800 mm boru çapı).	83
Şekil 6.64 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (doğalgaz, 50 mm boru çapı)	84
Şekil 6.65 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (doğalgaz, 800 mm boru çapı).	84
Şekil 6.66 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (fuel-oil, 50 mm boru çapı).....	85
Şekil 6.67 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (fuel-oil, 800 mm boru çapı).	86
Şekil 6.68 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (taş yünü).....	88
Şekil 6.69 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS)	89
Şekil 6.70 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (XPS).....	90
Şekil 6.71 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (kömür).....	90
Şekil 6.72 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (doğalgaz)	91
Şekil 6.73 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (fuel-oil).....	92
Şekil 6.74 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (taş yünü).....	93
Şekil 6.75 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (EPS)	94

Şekil 6.76 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (XPS).....	94
Şekil 6.77 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (kömür).....	95
Şekil 6.78 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (doğalgaz).....	96
Şekil 6.79 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (fuel-oil).....	97
Şekil 6.80 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü).....	98
Şekil 6.81 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS).....	98
Şekil 6.82 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS).....	99
Şekil 6.83 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür).....	100
Şekil 6.84 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz).....	101
Şekil 6.85 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil).....	102
Şekil 6.86 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS, kömür).....	112
Şekil 6.87 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetin değişimi (EPS, kömür).....	112
Şekil 6.88 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufun değişimi (EPS, kömür).	113
Şekil 6.89 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (EPS, kömür).....	114
Şekil 6.90 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS, 50).....	115
Şekil 6.91 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS, 800).....	115

Şekil 6.92 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetin değişimi (EPS, 50).....	116
Şekil 6.93 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetin değişimi (EPS, 800).....	117
Şekil 6.94 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 50)	118
Şekil 6.95 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 800)	118
Şekil 6.96 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 50).....	119
Şekil 6.97 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 800).....	120
Şekil 6.98 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (kömür, 50).....	121
Şekil 6.99 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (kömür, 800).....	121
Şekil 6.100 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetinin değişimi (kömür, 50)	122
Şekil 6.101 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetinin değişimi (kömür, 800)	123
Şekil 6.102 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 50)	124
Şekil 6.103 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 800)	124
Şekil 6.104 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (kömür, 50).....	125
Şekil 6.105 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (kömür, 800).....	126

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Türkiye'nin birincil enerji (Bin TEP) üretim hedefleri.....	12
Çizelge 3.2 Türkiye'nin birincil enerji açık tahmin raporu	12
Çizelge 3.3 Türkiye genel enerji tüketimindeki kaynak payları	13
Çizelge 4.1 Organik ve anorganik asıllı yalıtım malzemelerinin muhtelif gözenekli özgül ağırlıklarında, hacimsel olarak ihtiva ettikleri gözenek yüzdeleri....	17
Çizelge 4.2 Bazı yalıtım malzemelerinin özgül ısıları.....	18
Çizelge 4.3 Nemin yalıtım malzemesi özgül ısısına etkisi	19
Çizelge 4.4 Organik yalıtım malzemelerinin muhtelif özgül ağırlıklardaki ısı iletim katsayıları	19
Çizelge 4.5 Tahta lifli yapı levhalarının ısı iletim katsayıları.....	20
Çizelge 6.1 Çelik borularda optimum yalıtım kalınlığı (OYK) hesabı için elde edilen sonuçlar	87
Çizelge 6.2 Plastik borularda optimum yalıtım kalınlığı (OYK) hesabı için elde edilen sonuçlar.	88
Çizelge 6.3 Taş yünü ve kömür için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	103
Çizelge 6.4 Taş yünü ve doğalgaz için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	104
Çizelge 6.5 Taş yünü ve fuel-oil için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	105
Çizelge 6.6 EPS ve kömür için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	106
Çizelge 6.7 EPS ve doğalgaz için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	107
Çizelge 6.8 EPS ve fuel-oil için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	108
Çizelge 6.9 XPS ve kömür için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	109
Çizelge 6.10 XPS ve doğalgaz için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları.....	110

Çizelge 6.11 XPS ve fuel-oil için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerin sonuçları	111
---	-----

1. GİRİŞ

Dünya’da ve ülkemizde nüfus artışı, sanayileşme, yatırımların büyümesi ve yaşam standartlarının yükselmesi enerji alanındaki teknolojik ve bilimsel çalışmaları zorunlu kılmaktadır. Enerji tüketiminin sanayileşmiş ülkelerde yaşam standartlarının düşmesine ve gelişmekte olan ülkelerde bu durumu kurtarmada kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Enerji bugün uluslararası bir sorun haline gelmiştir. Bu sorunu çözenin en önemli yolu, enerjiyi daha verimli kullanmak veya alternatif enerji kaynaklarına yönelmektir. Enerji verimliliğinde en önemli faktör enerji tasarrufudur. Genellikle enerjinin az kullanılması, iki ampulden birinin söndürülmesi şeklinde algılanmakta olan enerji tasarrufu, aslında enerji atıklarının değerlendirilmesi ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının, kalite ve performansı düşürmeden en aza indirilmesidir. Yapılan çalışmalara göre sadece enerjiyi verimli kullanarak yıllık enerji tüketiminin %30’u kadar tasarruf sağlanacağı ifade edilmektedir (İnt.Kyn.1, Etemoğlu *et al.* 2006, Dombaycı *et al.* 2006, Keçebaş 2013).

Dünya üzerindeki birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi üzerine gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler enerji ihtiyaçlarını kontrol altına alma ve enerjiyi etkin kullanma yöntemleri geliştirmişlerdir. Ülkemizde de; başta sanayi ve konut sektörlerinde olmak üzere, enerji tüketimleri her geçen yıl artmaktadır(Aydın vd. 2011). Türkiye’de konut ve ticari binalarda kullanılan enerji miktarı toplam enerjinin %30’u kadardır. Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı olarak tüketilmektedir. Söz konusu bu enerjinin; etkin kullanılması, ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Bir binanın ısıtılması veya soğutulması için harcanan enerjinin azaltılmasında, mekanik tesisat yalıtımının önemi, göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür. Özellikle binaların ısıtma ve soğutma tesisatlarının, ısıtılmasına ve soğutulmasına gerek olmayan mahallerinden geçen bölümleri ve bu bölümlerdeki vana ve armatürler yalıtıldıkları takdirde sağlanacak enerji tasarrufu çok önemli mertebelere sahiptir. Bu yüzden, mekanik tesisatı oluşturan boruların, tankların, depoların, vanaların ve armatürlerin, içinden geçen akışkanın sıcak veya soğuk oluşuna göre uygun özelliklere sahip ve uygun kalınlıktaki yalıtım malzemeleri ile yalıtılmaları gerekmektedir (İnt.Kyn.2, İnt.Kyn.3, Keçebaş 2013).

Özellikle sanayi ve kimyasal işleme tesisleri karmaşık ve pahalı boru yapıları içerir. Boru sistemleri; su temini, yangın koruma ve bölgesel soğutma-ısıtma uygulamaları dahil olmak üzere birçok durumlarda kullanılır. Bu nedenle, boru sistemlerinde uygun yalıtım kullanımı enerji tasarrufu ve fosil yakıtların istenmeyen emisyonların azaltılmasında oldukça önemli hale gelir. Buna ek olarak ısı yalıtımı, yakıt tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlamanın yanında yoğuşma ve küf sorunlarını da azaltarak yapıların ömrünü arttırmaktadır. Yalıtım malzemesinin seçiminde bölgenin ortalama dış ortam sıcaklığı, yalıtım malzemesinin ısıl iletkenliği ve maliyeti en önemli parametrelerdir. Yalıtım malzemesinin kalınlığının artmasıyla ısıtma için enerji tüketimi azalacaktır. Ancak bu durumda yalıtım maliyeti artacak ve bu durum toplam yatırım maliyetini de arttıracaktır. Bu nedenle yalıtım uygulamalarında toplam yatırım maliyetinin minimize edildiği optimum bir yalıtım kalınlığı değeri söz konusudur. Bu optimum değerin tespiti ekonomik analiz (yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi) için kritik önem taşımaktadır (Özkan ve Onan 2011, Keçebaş 2013). YDM analizleri genellikle enerji teknolojileri ve bina projelerinde etkili bir biçimde uygulanmaktadır. YDM analizi, bina veya boru sistemi yalıtımı üzerine daha başlangıçtaki harcamalar ile bina veya boru sisteminin ömrü boyunca net tasarruf üretebileceğini gösterir. Yani YDM yalıtım malzemeleri ve yakıtların maliyetini doğrudan etkileyen enflasyon ve faiz oranlarındaki değişimle optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için kullanılır (Keçebaş vd. 2011).

Bu tez çalışmasında, bölgesel ısıtma boru hatlarında boru yalıtımının ekonomik faydaları, yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi kullanılarak araştırılmıştır. Farklı ısıtma derece gün bölgelerine ait şehirlere göre bölgesel ısıtmadaki çeşitli boru çapları ve yakacak yakıtlar için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada Türkiye illerinden Afyonkarahisar ili için, kömür, doğalgaz, fuel-oil yakıtlarına bakılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak XPS(Eksrudepolistren malzeme), EPS(Genleştirilmiş polistren köpük) ve taş yünü incelenmiştir. Deneylede plastik ve çelik borular kullanılmış olup, plastik borular için Ø50, Ø75, Ø110, Ø160, Ø200 mm çaplar, çelik borular için Ø50, Ø100, Ø200, Ø400 ve Ø800 mm çaplar baz alınmıştır. Sonuç olarak, deneylede kullanılan tüm parametreler birbiri ile kıyaslanarak en iyi performans belirlenmeye çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Isı yalıtımı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar; bina yalıtımı ve boru yalıtımı olarak ele almak mümkündür. İlk olarak bina yalıtımı ile ilgili olan çalışmalar ele alındığında; Literatür incelendiğinde binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesine ilişkin farklı çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Bolattürk (2006)'da Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen on altı farklı şehir için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Hesaplama sonucunda, bu değerleri sırasıyla 0,02–0,17 m, %22-%79 ve 1,3–4,5 yıl aralığında belirlemiştir. Yine başka bir çalışmada, Bolattürk (2008), Türkiye'nin birinci iklim bölgesindeki şehirler için optimum yalıtım kalınlıklarını güneş radyasyonunu da dikkate alarak hesap etmiştir. Buna göre sıcak iklim bölgelerindeki binalarda optimum yalıtım kalınlıkları soğutma yüklerine göre değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır (Bollattürk 2006, Keçebaş vd. 2011).

Gölcü vd. (2006), Denizli'deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını, derece-gün sayısını esas alarak hesaplamışlardır. Enerji kaynağı olarak kömür kullanıldığında; optimum yalıtım kalınlığı, yıllık tasarruf ve geri ödeme süresini sırasıyla 0,048 m, % 42 ve 2,4 yıl olarak elde etmişlerdir.

Öztuna and Dereli (2009), Edirne ilinde altı farklı yakıt türü ve iki farklı duvar konstrüksiyonu için derece gün yöntemini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisini incelemiştir. Yakıt olarak yerli kömür seçildiğinde, EPS yalıtım malzemesi için iki farklı duvar konstrüksiyonu için optimum yalıtım kalınlığını 2,8 ile 3,9 cm, geri ödeme süresini 2,1 ile 4,2 yıl, enerji tasarrufunu ise %24 ile %47 aralığında bulmuştur. Çay (2011) yaptığı bir çalışmada, Düzce ilinde bulunan bir bina dış duvarında farklı yapı malzemeleri kullanımında oluşacak optimum ısı yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplamıştır. Çalışma sonunda, yapı malzemesi olarak yatay delikli tuğla kullanıldığında, en düşük optimum yalıtım kalınlığının 0,06 m olduğu belirlenmiştir. Bu durumda enerji tasarrufu %52 olarak belirlenirken geri ödeme süresi 1,91 yıl olarak bulunmuştur (Keçebaş vd. 2011).

Deniz vd. (2009), Muğla için kömürün yakıt olarak kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığını ve enerji tasarrufuna etkisini araştırmışlar, yakıt türü olarak kömür kullanılması halinde yalıtım kalınlığını 0,04 m olarak tespit etmişlerdir.

Yıldız vd. (2008), yaptıkları bir çalışmada ısı yalıtımının çevresel etkilerini hesaplamış, salınan gazların analizini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde, Ankara'da yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlığı 0.06 m bulunmuştur. Ayrıca, yaptıkları baca gazı emisyonu hesabından kömürün yanması sonucu CO₂ emisyonu da %35 azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Mahlia vd. (2010), Maldivler için, optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için maliyet analizi ile birlikte kullanılan yakıt türüne göre salınan CO₂ ve SO₂ miktarını araştırmışlardır. Çalışma sonunda duvar bileşenleri içerisinde hava boşluğu kullanılması durumunda yalıtım kalınlığının düştüğünü, CO₂ salınımında %25'e, toplam gaz salınımında ise %77'ye varan azalmalar olduğunu göstermişlerdir. Çomaklı ve Yüksel (2003), derece gün sayılarını esas alarak Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Erzurum, Kars ve Erzincan için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 0,1048 m, 0,1073 m ve 0,085 m olarak bulmuşlardır.

Aksoy ve Keleşoğlu (2007), bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma enerjisi üzerindeki etkisini göstermek amacıyla, dar cepheleri kuzey-güney, uzun cepheleri doğu-batı yönünde konumlandırılmış penceresiz bir yapıdaki ısıtma enerjisi miktarı, geri ödeme süresi ve tasarruf oranlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak, yalıtım kalınlığına bağlı %19 ile %77 arasında değişen enerji tasarrufu elde etmişlerdir.

Kaynaklı ve Yamankaradeniz (2008), bir bölgenin derece-gün sayısının hesaplanmasına ve dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının tespitine yönelik bir prosedür sunmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda Türkiye geneli için yalıtım kalınlıklarının 2,8-9,6 cm arasında değiştiğini, enerji verimliliği ve binaların soğutma hesaplamalarında ilin yanı sıra ilçe bazında tek tek iklim koşullarının bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Al-Khawaja (2004), yaptığı bir çalışmada, çeşitli yalıtım malzemeleri ile Katar'daki evler için optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapmıştır. Çalışmasında güneş radyasyonunun etkisini dikkate alarak güneş-hava sıcaklıklarını açık ve koyu renkli yüzeyler, ayrıca farklı yönlere göre ayrı ayrı değerlendirmiştir. Bunların sonucunda en iyi sonucun ısı köprüleri yalıtım levhası (wallmate) adı verilen yalıtım malzemesinin sağladığını belirtmiştir.

Özel ve Pıhtılı (2008), dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını ısıtma ve soğutma derece gün değerleriyle birlikte ele alarak incelemişlerdir. Hesaplamalar Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapılmıştır. Dış duvarlara genleştirilmiş polistren yalıtımı uygulanarak, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak, incelenen illere göre optimum yalıtım kalınlığının 0,04 ile 0,084 m arasında değiştiği, yıllık tasarrufun 21,94 ile 97,12 YTL/m² arasında değiştiği ve geri ödeme süresinin ise 1,45 ile 2,05 yıl arasında değiştiğini belirlemişlerdir (Keçebaş vd. 2011).

Kecebaş ve Kayfeci (2010), soğuk oda tasarımı için optimum yalıtım kalınlığı hesabında kullandıkları optimum yalıtım kalınlığı ile enerji tasarrufu ve maliyet ilişkileri üzerinde durmuşlar, seçilen illerde optimum yalıtım kalınlıklarının 0,071 ile 0,067 m arasında değiştiğini, yıllık kazancında 43272 \$/800 m²'ye kadar çıktığını belirtmişlerdir.

Balo vd. (2011), dört iklim bölgesinden birer şehir için bina dış duvarlarında kullanılan yalıtım malzemesinin optimum kalınlığının belirlenmesinde üç farklı metot kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, optimum yalıtım kalınlığı 0,038 m ve 0,144 m, enerji kazancı 2,122 ve 5,992 \$/m², ve geri ödeme süresi 1,99 ile 3,143 yıl arasında değişmiştir.

Özkan and Onan (2011), ısıtma için seçilen dört bölgede, dış duvarlardaki pencere alanının optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca çalışmada yakıt tüketiminin çevresel etkisi üzerinde de durulmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre,

XPS yalıtım malzemesi ve doğal gaz kullanıldığında dört bölge için enerji tasarrufu sırasıyla 13,996, 31,680, 46,613 ve 63,071 $\$/m^2$ ve geri ödeme süreleri de 2,023, 1,836, 1,498 ve 1,346 yıl olarak tespit edilmiştir. Ayrıca CO₂ ve SO₂ salınımında da %54,67'ye kadar azalma görülmüştür.

Daouas vd. (2010), yaptıkları bir çalışmada, Tunus'taki binalarda iki farklı duvar tipi ve iki farklı yalıtım malzemesi için maliyet analizi yapmışlardır. En iyi sonucu, sandviç tipi duvar yapısında geliştirilmiş polistiren malzeme kullanarak elde etmişlerdir. Sandviç duvar ve geliştirilmiş polistiren kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlığı 0,057 m, enerji tasarrufu %58 oranında ve geri ödeme süresi 3,11 yıl olarak elde edilmiştir.

Daouas (2011) , yaptığı farklı bir çalışmada Tunus'ta hem ısıtma hem de soğutma yükleri için farklı duvar yönlerinin maliyetler üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, en ekonomik sonucun güneğe yönlendirilmiş duvar için elde edildiğini göstermiştir. Bu durumda optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi sırasıyla 10,1 cm, %71,33 ve 3,29 yıl olarak belirlenmiştir.

Yu vd. (2009), yaptıkları çalışmada Çin'deki dört şehir için P₁-P₂ ekonomik metodu ile farklı yönlere ait derece-saat değerleri ve 5 farklı yalıtım malzemesi kullanarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda 20 yıllık ömür üzerinden, optimum yalıtım kalınlığı 0,053–0,236 m, geri ödeme süreleri 1,9–4,7 yıl arasında elde edilmiştir.

Özel ve Pıhtılı (2008), yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Bu amaçla farklı yalıtım kalınlıklarına sahip duvarda cam alanı % 0'dan %100'e kadar %10'luk bir artışla artırılarak pencerenin tek cam ve çift cam olmasına göre ısı kazanç ve kayıplarını hesaplamışlar ve yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisinin kışın daha büyük olduğunu göstermişlerdir.

Aytaç ve Aksoy (2006), mevcut ısı yalıtım standardına göre Elazığ ili için beş farklı yakıt türü ve iki farklı yalıtım malzemesi için dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak

üzere iki farklı duvar için optimum yalıtım kalınlığını ve ısıtma maliyet ilişkisini incelemiştir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda en iyi sonucu yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren kullanıldığında elde etmişlerdir. Dıştan yalıtımlı bir binada, 4,6 yıl geri dönüşüm süresi ve yılda 16,359 \$/m² tasarruf elde edilirken, sandviç duvarda ise bu değerler, 4,2 yıl ve 20,188 \$/m² olarak tespit edilmiştir. Mihlayanlar vd. (2011), yaptıkları çalışmada 2 katlı ve 5 katlı iki farklı binada, TS 825 (2008) “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” Standardına göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını ve yakıt miktarlarını belirlemişlerdir. Yalıtım düzeyinin iyileştirilmesi ile baca gazı emisyonlarındaki azalmanın değişimi ve buna bağlı olarak hava kirliliğindeki iyileşme değerlendirilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, dıştan yalıtımlı duvarda yalıtımsız duvara göre %71,5’e varan tasarruf tespit etmişlerdir. Yalıtımlı halde yakıt tüketimi azalacağından, yakıt maliyetinden de %62 tasarruf sağlandığını elde etmişlerdir (Keçebaş vd. 2011).

Öztutku ve Karakuş (2011), yaptıkları bir çalışmada, Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının TS 825 standardına uygunluğunu irdelemişlerdir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında, yalıtımsız durumdaki ısıtma enerjisi ihtiyacına göre %46,8 azalma olduğu bulunmuş, binanın B tipi enerji verimli bina olduğu tespit edilmiştir. Binanın cam kaplama olması irdelenmiş; bina cam kaplama alanını %50 oranında azaltılarak dış duvar eklemesi yapılmıştır. Bu durumda binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı %17 oranında artış göstermiştir. Bunun yanı sıra, binanın kışın ısıtma sezonu için 1. ve 2. derece gün bölgesi için bir avantaj olduğu, 3. ve 4. bölge için yapılan hesaplamalarda ise TS 825 standardına uygun olmadığını bulmuşlardır.

Şişman vd. (2007), dört farklı derece gün değerlerine sahip olan İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum illeri için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuca göre İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum’da yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla, 0,02, 0,03, 0,04 ve 0,05 m olarak tespit edilmiştir. Yine aynı illerin geri ödeme süreleri sırasıyla 3,19, 2,58, 2,14, 1,74 yıl olarak elde edilmiştir. MohsenandAkash (2001), yalıtım malzemesi olarak polistiren, taş yünü ve hava boşluğu kullanarak yaptıkları çalışmada enerji tasarruflarını

araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, polistiren ile %36, taş yünü ile %34 ve hava boşluğu ile de %5,4'lük enerji tasarrufu elde edilebileceğini göstermişlerdir. Ayrıca polistiren malzemenin duvar ve çatı yalıtımında diğer yalıtım malzemelerine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Boru yalıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar;

Karabay (2007), sıcak su dağıtım borusu için termo-ekonomik optimizasyon yöntemini incelenmiştir. Yapmış olduğu çalışmadaki yöntem termodinamiğin ikinci kanununa dayanmaktadır. Boru ve yalıtım maliyetleri yatırım olarak kabul etmiş ve optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığını işletme maliyeti olarak ekserji yıkımı ve kaybını göz önüne alarak belirlemiştir. Keçebaş vd. (2011) yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizine bağlı olarak beş farklı boru çapı ve dört farklı yakıt türü için bölgesel ısıtma boru hat borularındaki optimum yalıtım kalınlığını incelemiştir. Kwon (1998), basitleştirilmiş bir ısı transferi modelini, yeraltı yalıtımlı boru sistemleri için geliştirilmiştir Akışkan sıcaklıkları için hesaplamaları iteratif gerçekleştirmek için toplam boru uzunluğu boyunca denemeler yapmıştır. Bu, gaz için de geçerlidir. Spread sheet modelinin bilgisayar programları geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında bölgesel ısıtma boru hatlarında boru yalıtımının ekonomik ve çevresel faydaları yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi kullanılarak araştırılacaktır. Farklı ısıtma derece gün bölgelerine ait şehirlere göre bölgesel ısıtmadaki çeşitli boru çapları, yalıtım malzemelerinden taşıyünü, XPS (Eksrudepolistren malzeme) ve EPS (Genleştirilmiş polistren köpük) kullanılacaktır. Yakacak yakıtlardan kömür, doğal gaz ve fueloil ile çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonunda optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, geri dönüş süreleri hesaplanacaktır.

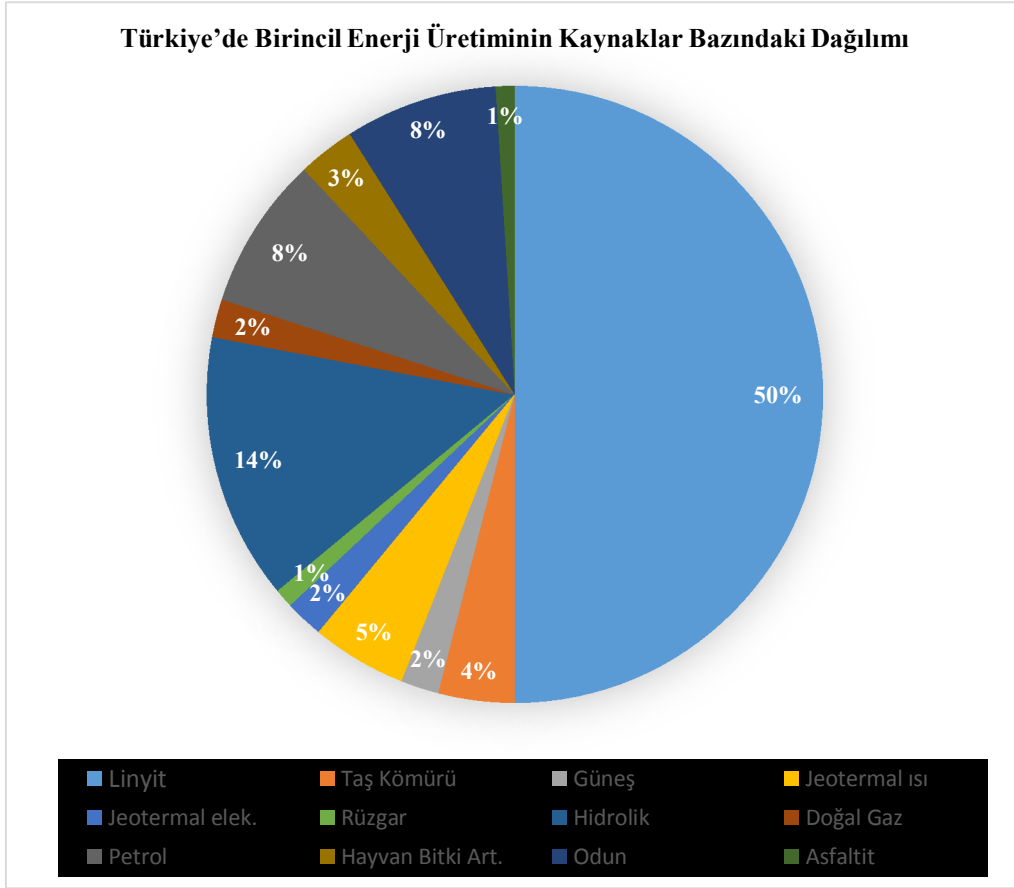
3. GENEL ENERJİ DURUMU

3.1 Türkiye'nin Genel Enerji Durumu

Enerji, insan ve toplum yaşamı için yaşamın başlangıcından itibaren vazgeçilmezdir. Enerji, ekonomik kalkınmanın ve toplumsal gelişmenin kaynağıdır. Giderek artan enerji tüketimi Dünya'da ve Türkiye'de yeni ve alternatif enerji kaynaklarından yararlanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Kendi doğal potansiyelini bilmeyen ve geliştiremeyen ülkeler, enerjide ve ekonomide dışarıya giderek daha artan oranlarda bağımlı kalmaya mahkûmdurlar (Güner Bacanlı 2010).

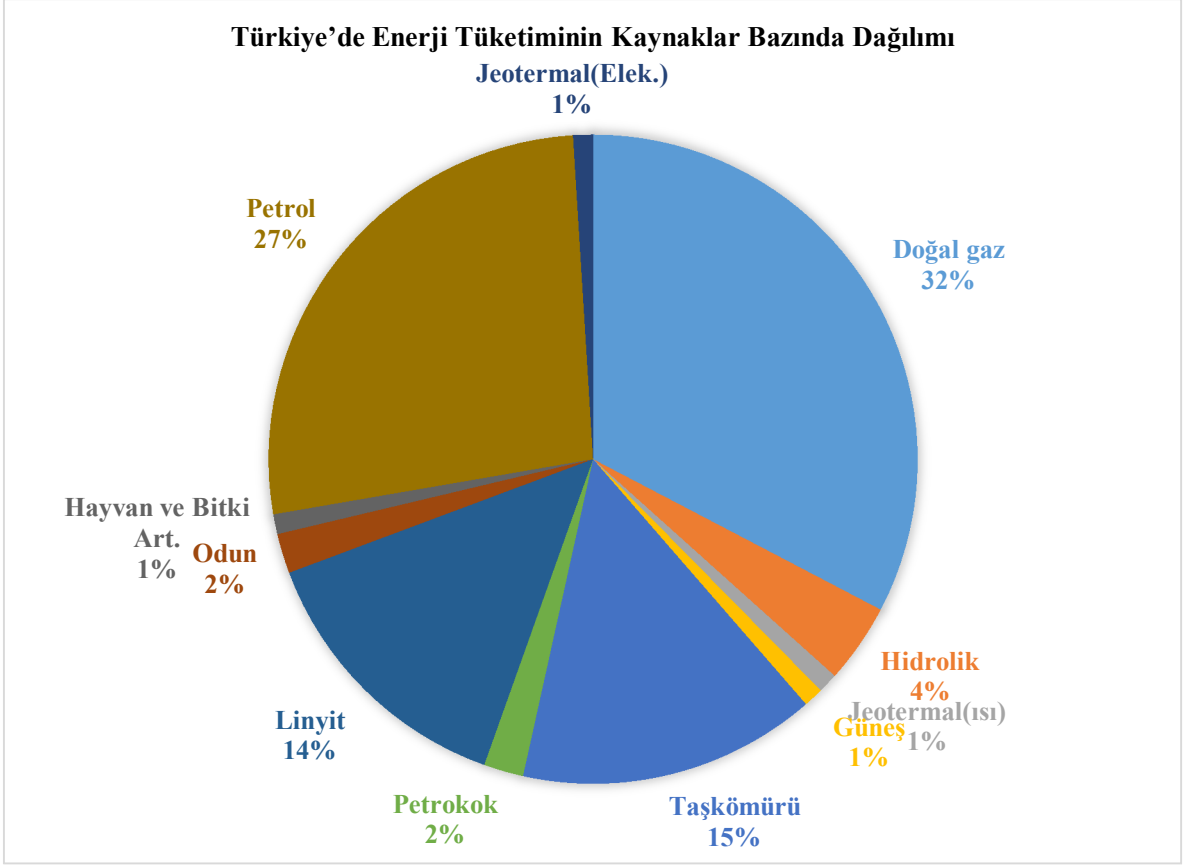
Enerji alanındaki her gelişme kaçınılmaz bir biçimde Türkiye'nin durumunu değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise ülkemizin enerjide % 70'ler düzeyinde dışarıya olan bağımlılığıdır. Ülke nüfusunun artışına ve ekonominin büyümesine paralel olarak enerjiye olan talep de artmaktadır. Ekonomik büyümenin ve nüfus artışının genellikle daha yüksek olduğu gelişmekte olan ülkelerde, gelişmiş ülkelere göre enerjiye olan talepteki artış oranı çok daha yüksek olmaktadır. Enerji talebindeki bu artış, Türkiye için ortalama olarak yaklaşık %5,5–6 dolayındadır. Ancak son yıllarda enerji talebindeki bu artış %8 seviyelerine çıkmıştır. Toplam enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithalatla karşılayan ülkemizde 2008 yılı genel enerji üretimi toplamı yaklaşık 106,4 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Bu rakamlar, Türkiye'nin enerji ithal eden ve enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı olan bir ülke olduğu gerçeğini göstermektedir. Enerji Bakanlığı projeksiyonu 2020 yılı itibariyle Türkiye'nin enerji tüketiminin yıllık 222 milyon TEP'e ulaşmasını öngörmektedir. Şu an yürürlükte olan enerji politikası 2020 yılı itibariyle bu talebin karşılanışında yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının oranını mümkün olduğunca artırmayı ve önümüzdeki 10 yıllık süre içerisinde enerjide ülkenin dışa bağımlılığında %3'lük bir azalmayı öngörmektedir (İnt.Kyn.3, Daşdemir 2011, Yılmaz 2015).

2011 yılı Türkiye birincil enerji üretimi 32228,9 Btep (bin ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl birincil enerji üretiminin kaynaklar bazındaki dağılımı sırasıyla; linyit (%50), hidrolik (%14), odun (%8), petrol (%8), jeotermal-ısı (%5) ve taşkömürü (%4) şeklindedir (Koç ve Şenel 2013).



Şekil 3.1 Türkiye’de birincil enerji üretiminin kaynaklar bazındaki dağılımı(Koç ve Şenel 2013).

Türkiye toplam enerji tüketiminin kaynaklar bazındaki dağılımı ise Şekil 3.1’te özetlenmiştir. Türkiye’nin 2011 yılı toplam enerji tüketimi 114480,2 Btep olup ülkemiz dünyada enerji tüketimi en yüksek 23. ülke konumundadır. Enerji tüketimimizin büyük bir kısmını dışa bağımlı olduğumuz petrol ve doğal gaz oluşturmaktadır. Enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payları sırasıyla; doğal gaz (%33), petrol (%27), taşkömürü (%15), linyit (%14) ve hidrolik (%4) şeklinde gerçekleşmiştir (Koç ve Şenel 2013).



Şekil 3.2 Türkiye’de enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı(Koç ve Şenel 2013).

3.1.1 Türkiye’nin Genel Enerji Üretim ve Tüketimi

Türkiye’de enerji üretim ve tüketim gelişim eğilimlerinin farklı oluşu nedeniyle, 1970 yılında üretimin tüketimi karşılama oranı %76,9 iken, 2003 yılında %28,4’e düşmüştür. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan geleceğe yönelik öngörülerde birincil enerji üretim hedefleri Çizelge 3.1’de verildiği gibidir. Bu verilere göre üretimin tüketimi karşılama oranı her yıl azalmaktadır (Daşdemir 2011).

Çizelge 3.1’de verilen değerler dikkate alındığında, 2025 yılında talebin yerli üretim ile karşılanma oranının %26’ya gerileyeceği, ithal enerjinin %74 gibi büyük bir orana çıkacağı tahmin edilmiştir. Her geçen yıl, enerji ihtiyacı enerji üretiminden daha hızlı artmakta, enerji açığı artarak devam etmektedir (Daşdemir 2011).

Çizelge 3.1 Türkiye'nin birincil enerji (Bin TEP) üretim hedefleri (Daşdemir 2011).

	Yıllar				
	2005	2010	2015	2020	2025
Enerji Türü	Enerji Üretimi (Bin TEP)				
Kömür	19066	28226	28580	36601	40752
Petrol-Doğalgaz	2127	1314	877	628	330
Hidrolik	5422	7344	8526	8919	9301
Nükleer	0	3657	9143	18286	29200
Jeotermal	1380	3760	4860	4860	5400
Güneş	716	1458	2514	3882	5564
Rüzgar	260	629	995	1519	2167
Deniz-Dalga	0	10	25	125	175
Biyomas	7057	7158	7268	7381	7479
Toplam	36028	53556	62788	82201	100368

Çizelge 3.2 Türkiye'nin birincil enerji açık tahmin raporu (Daşdemir 2011).

	Yıllar				
	2005	2010	2015	2020	2025
	Enerji (Bin TEP)				
Enerji Üretimi	36028	53556	62788	82201	100368
Enerji İhtiyacı	124748	175074	233296	317353	407106
Enerji Açığı	88720	121518	170508	235152	306738

Çizelgedeki verilere göre, gelişmiş ülkelerde hassasiyetle uygulanan enerji tasarruf kurallarının, Türkiye'de de eksiksiz olarak uygulanmasının kaçınılmaz duruma geldiği görülmektedir.

Şehirleşme oranının artması, hızla artan nüfus ve gelir seviyesinin yükselmesi, ülkemizde tüketilen enerjiyi de artırmıştır. Tüketilen enerjinin büyük çoğunluğunun konvansiyonel enerji kaynağı olması, yenilenebilir enerji kaynağının payının çok küçük olması, bir süre sonra üretimin tüketimi karşılamayacağı anlamına gelir ve dışa bağımlılığı artırır (Daşdemir 2011).

Türkiye'nin genel enerji tüketimindeki kaynak payları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Türkiye genel enerji tüketimindeki kaynak payları (Daşdemir 2011).

Kaynak	Yıl		
	2000	2010	2020
	Kaynak Payları (%)		
Petrol	40,6	26,6	21,6
Doğal Gaz	16,0	29,3	25,2
Kömür	30,4	37,3	42,5
Hidroelektrik	3,0	3,3	2,8
Diğer	10,0	4,0	7,9

4. YALITIM VE YALITIM MALZEMELERİ

4.1 Yalıtım Nedir?

Yalıtım, Arapça kökenli tecrit ve Fransızca kökenli izolasyon kelimelerinin karşılığı olarak, yakın zamanlarda Türkçeye giren, yeni sayılabilecek bir sözcüktür. Hemen herkeste, bu tanıma yakın çağrışımlar yaratan yalıtım sözcüğü, yapı sektörü söz konusu olduğunda ise teknik bir kavram olarak karşımıza çıkar. Yalıtım, bir yapı fiziği koludur. Bir yapı içerisindeki fiziksel hareketleri denetim altında tutmak ve düzenlemek için alınması gerekli önlemleri inceler. Isı, su, ses yangın gibi zararlı etkenler karşısında yapıda korunum, dayanım ve geçirimsizliği hedefleyen malzemeleri, çözümleri, detayları ve uygulamaları içerir (Şen 2006).

Yalıtım; malzeme üretiminden uygulamasına kadar titizlik, hassaslık, çok yönlü detay çalışmasını gerektiren ve birçok bilim dalını ilgilendiren bir sistem bütünüdür. Bu nedenle, yalıtımda, ulusal ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat, mimarlık v.b. bilim dalları bir eşgüdüm içerisinde bulunmalıdır. Yalıtım sektörü, inşaat, mimarlık, makine vb. meslek gruplarının oluşturduğu yeni ve farklı bir sektör olarak görülebilir. Standartlara uyan, çağdaş teknolojiyi izleyen firmaların ürünlerini, kullanıcıların da bilinçli takip etmeleri, müteahhitlerden, yapıda kullanılan malzemeler hakkında bilgi almaları beklenir. Yapıların mevcut yönetmeliklere uygunluğu ve denetlenmesi gerek ülke, gerekse kullanıcıların menfaatlerine olduğu unutulmamalıdır. Buradan, hareketle, yalıtım kısaca, “Kullandığımız binaların dışsal etkilere karşı korunması” olarak tanımlanabilir. Yalıtım genelde, ısı, su, ses ve yangın yalıtımı olarak çeşitlendirilebilir (Şen 2006).

4.1.1 Yalıtımın Türleri

Yalıtım önlemleri genel olarak iki başlık altında ele alınır. Bunlardan ilki, yapıyı koruyan önlemler ve diğeri de kullanıcıyı koruyan önlemlerdir. Her bina, belirli bir çevrede yer alır ve bu çevreden gelen olumsuz etkilerle karşı karşıyadır. Yalıtım önlemleri de bu dış etkenleri denetlemeye yöneliktir (Dağsöz 1996, Daşdemir 2011).

Binayı dıştan etkileyen ve binaya zarar verebilecek başlıca etkenler şu şekilde sıralanabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Dış etkiler (Şen 2006).

Binaya zarar verebilecek bu etkenlerin yanında, kullanıcıya doğrudan zarar verebilecek ses, gürültü etkileri ya da yangın tehlikesi gibi etkenler de söz konusudur.

Bu etkenlerden hareketle yalıtım dört ana başlık altında ele alınır (Şen 2006);

- ✓ Isı yalıtımı
- ✓ Su yalıtımı
- ✓ Ses yalıtımı
- ✓ Yangın yalıtımı

4.2 Yalıtım Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri

Muhtelif kullanma yerlerine göre, ısı yalıtım malzemelerinin aşağıda yazılı özelliklerinden ilgili olanları göz önüne alınarak seçim yapılır (İnt.Kyn.4).

- Isı iletim katsayısı düşük olmalı
- Yeterli basınç ve çekme dayanımına sahip olmalı
- Dengeli olmalı(zamanla yalıtım özellikleri azalmamalı)
- Düşük birim hacim ağırlığına sahip olmalı

- Hacim ve şekil değişimlerine karşı mukavemeti olmalı(yığılma olmaması gibi)
- Çeşitli kimyasal etmenlere karşı dayanıklı olmalı, niteliğini değiştirmemeli
- Konstrüksiyonlarda işleme kolaylığı olmalı
- Çürüme ve ufalanmalara karşı mukavim olmalı
- Parazitleri barındırmamalı ve parazitlere dayanmalı
- Sürekli, periyodik veya kısa tesirli sıcaklıklarda ısı yalıtımı fonksiyonunu değiştirmemelidir.
- Tatbik edileceği yere uygun olmalı(hafiflik gibi)
- Su ve nemden etkilenmemeli
- Kullanıldığı diğer yapı malzemeleri ile uyumlu olmalı
- Maliyeti düşük ve ekonomik olmalı
- Yanıcı olmamalı
- Kokusuz olmalı
- Kullanılacağı yerin özelliğine uygun buhar difüzyon direncine sahip olmalı (İnt.Kyn.5).

4.2.1 Gözenekli Özgöl Ağırlık

Yalıtım malzemelerinin gözenekli özgöl ağırlıkları $\gamma = 10$ ila 1000 kg/m^3 arasında değişmektedir. Yalıtım malzemeleri karakteristikleri icabı, çok sayıda gözenek ihtiva ettiklerine göre sıkıştırmaya bağlı olarak gözeneklerin hacimlerinde değişmeler olur. Gözenekli yapıda, sıkıştırma-basma kuvvetine bağlı olarak hacim ve dolayısıyla özgöl ağırlığın değişmesi nedeniyle, gözenekli özgöl ağırlık deyiminin kullanılması uygun görülmüştür. Çizelge 4.1'te çeşitli ağırlıktaki yalıtım malzemelerinin hacimsel olarak gözenek yüzdeleri verilmiştir (Daşdemir 2011).

Çizelge 4.1 Organik ve anorganik asıllı yalıtım malzemelerinin muhtelif gözenekli özgül ağırlıklarında, hacimsel olarak ihtiva ettikleri gözenek yüzdeleri (Palin 2000).

Gözenekli hacim(kg/m ³)	özgül	Organik malzeme(γ =1500 kg/m ³)	Anorganik malzeme(γ =2600 kg/m ³)
		Hacimsel gözenek oranı(%)	
10		99,5	99,7
100		93,5	96
300		80	88,5
500		67	81
1000		33	61,5
1500		-	42,5
2000		-	23

Aynı ham maddeden, farklı gözenekli özgül ağırlıkta yalıtım malzemeleri üretilebilmektedir. Yalıtım malzemesinin gözenekli özgül ağırlığı, ısı iletim katsayısı ve özgül ısıya etkiler. Taneli veya toz halindeki yalıtım malzemelerinde, tanelerin birbirlerine göre konumları önemlidir. En sık ve dengeli yerleşme şekli birbirine ikişer noktadan temas eden aynı büyüklükteki üç adet kürenin üzerine yerleştirilen dördüncü küre halinin genleştirilmiş şeklidir. Bu şekilde kürelerin büyüklüğüne bağlı olmadan ara boşluklar %25,94 oranındadır. Kurşun tane halinde %28,3 ile %31,8 arasında değişirken, demir tane halinde ise %35,5 civarındadır. Bu değerlerin değişmesinde yüzey pürüzlülüğünün büyük etkisi olmaktadır. Şayet farklı büyüklükteki küresel taneler dikkate alınır, ara boşluklar daha az olur, dolayısıyla özgül ağırlık artar. Kurutulmuş kum ile beton karışımında ara boşluk %15 değerine düşer. Şayet iyi bir karıştırma yapılır ve tane çapları farklı olursa, bu değer %5 kadar düşürülebilmektedir (Palin 2000; Daşdemir 2011).

4.2.2 Özgül Isı ve Rutubet

Yalıtım malzemeleri, üzerinden geçen ısıyı kendi bünyesinde ne kadarını tutabildiği bakımından özgül ısı önemlidir. Anorganik ısı yalıtımı malzemelerinin özgül ısı 0.21 kcal/kgK civarındadır. Özgül ısı, alında sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir ve sıcaklıkla artar. Ayrıca yalıtım malzemesinin ihtiva ettiği rutubet miktarı da özgül ısının yükselmesine neden olur. Çizelge 4.2’de bazı yalıtım malzemelerinin çeşitli sıcaklıklarda özgül ısıları görülmektedir (Daşdemir 2011).

Çizelge 4.2 Bazı yalıtım malzemelerinin özgül ısıları (Palin 2000).

Yalıtım Malzemesi	Özgül Isı (kcal/kgK)			
	0 - 100°C	0 - 300°C	20 - 600°C	20 - 900°C
Alçı	0,20	0,21	-	-
Asbest	0,20	-	-	-
Asfalt	0,22	-	-	-
Beton	0,304	-	-	-
Bitüm	0,41 – 0,46	-	-	-
Curuf	0,18	-	-	-
Camyünü	0,19 – 0,21	0,22	0,25	0,27
Ham ipek	0,33	-	-	-
Jüt	0,32	-	-	-
Kizelgur	0,21	0,22 – 0,26	-	-
Şekillendirilmiş kizelgur	0,20	-	0,226	0,238
Kuvarz	0,19	-	-	-
Kaolin, kil	0,22	-	-	-
Kum	0,19 – 0,22	-	-	-
Magnezit	0,24	-	-	-
Mantar	0,40	-	-	-
Zifli mantar	0,31 – 0,36	-	-	-
Porselen	0,19	0,21	0,233	-
Tuğla	0,18 – 0,22	-	-	-
Turba	0,45	-	-	-

4.2.3 Isı İletim Katsayısı

Isı iletim katsayısı sıcaklığa, özgül ağırlığa ve neme göre değişen bir özelliktir. Çizelge 4.3'te nem yüzdesine göre yalıtım malzemesi özgül ısısının değişimi verilmiştir. Malzemelerin lift durumlarına, yani liflerin enine veya boyuna olması durumuna göre ısı iletim katsayısı değişmektedir. Yalıtım malzemesinin özgül hacmine göre bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarındaki değişim, Çizelge 4.4'te görülmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, özgül hacim arttıkça, ısı iletim katsayısı da artmaktadır (Daşdemir 2011).

Çizelge 4.3 Nemin yalıtım malzemesi özgül ısısına etkisi (Palin 2000).

Ağırlıkça nem yüzdesi (%)	Özgül ısı (kcal/kgK)	
	Anorganik	Tahta vb.
0	0,21	0,32
1	0,22	0,33
5	0,25	0,36
10	0,28	0,39
20	0,34	0,44
50	-	0,55

Çizelge 4.4 Organik yalıtım malzemelerinin muhtelif özgül ağırlıklardaki ısı iletim katsayıları (Palin 2000).

Özgül ağırlık (kg/m ³)	Mantar levha	Mineralize ağaç	Organikli lif	Organik lifli şilte	Lifsiz
	Isı iletim katsayısı (kcal/mhK)				
20	-	-	-	-	0,030
50	0,029	-	-	0,030	0,032
100	0,032	-	-	0,030	0,033
200	0,040	0,050	0,038	0,038	0,041
400	0,055	0,067	0,044	-	-
500	0,062	0,083	0,050	-	-
600	-	0,106	0,060	-	-

4.3 Organik Asıllı Isı Yalıtım Malzemeleri

Lif şeklindeki organik yalıtım malzemeleri; pamuk, yün, ipek, jüt, saç, saman, tahta, tahta kıymıkları, talaş ve turbdur. Tane şeklinde olanlar, mantar, turb, toz halinde olan ise talaştır. Köpük şeklinde olanlar ise, sertleştirilmiş suni melamin reçinesidir. Bağlayıcı eleman olarak genellikle katran, asfalt, alçı, çimento, suni reçine, reçine, kola kullanılır. Anorganik bağlama elemanları, ısı iletim katsayısını organik bağlama elemanlarına nazaran yükseltir. Asfalt, katran ve reçine gibi bağlayıcı malzemeler aynı zamanda rutubet yönünden muhafaza malzemesi olarak da iş görürler. Fakat yanıcıdırlar ve 150–250 °C arasında bağlayıcı eleman olarak kullanılır. Organik ısı yalıtım malzemelerine kullanma yerinin özelliklerine göre, keçe, kumaş, levha gibi muhtelif şekiller verilebilir (Palin 2000, Daşdemir 2011).

4.3.1 Oluklu Mukavvalar

Mukavva imalatında, tahta kıymıklardan yararlanılır. Bu halde bağlayıcı elemana ihtiyaç yoktur. Asfalt veya lak emdirilerek rutubete karşı mukavemet arttırılır. Oluklu mukavvalar hava kanalları teşkil edecek şekilde monte edilerek ısı iletim katsayısı 0,005 kcal/mhK değerine kadar düşürülebilir. Yoğuşan suların birikme tehlikesi nedeniyle soğutma tesisleri ile ilgili yalıtımlarda tercih edilmezler. Maksimum 80°C sıcaklığa kadar kullanışlıdır (Dağsöz 1996; Daşdemir 2011).

4.3.2 Pamuk Keçeleri

Pamuk artıklarının keçemsi hale getirilmesi neticesinde ısı iletim katsayısı 0.06 kcal/mhK olacak şekilde 0,5 gr/cm³ özgül ağırlığında yalıtım malzemesi elde edilebilmektedir. Kullanımındaki sakıncalar oluklu mukavvaya benzerdir. Levha halindeki keçe düz ve eğik yatışlar ile hava akımına mani olunacak yerlerde tercih edilirler (Daşdemir 2011).

4.3.3 Tahta Lifli Hafif Yapı Levhaları

Tahta lifli yapı levhalarının imalatında, köknar kıymıkları eleklerde ayrılarak buhar ile yumuşatılarak lifli yapı haline getirilir. Lifler ile su ve fenol reçinesi uygun bir oranda karıştırılarak merdaneler arasından geçirilip belirli kalınlıkta levha haline getirilir. Bu yalıtım malzemesi levha kalınlıkları 6 ile 13 mm arasında olup, ısı iletim katsayısı ise sıcaklık ile neme bağlı olarak değişir. Çizelge 4.5'te sıcaklık ve neme göre, ısı iletim katsayılarındaki değişim görülmektedir (Dağsöz 1996 , Daşdemir 2011).

Çizelge 4.5 Tahta lifli yapı levhalarının ısı iletim katsayıları(Palin 2000).

Ortalama sıcaklık (°C)	0	10	20	30
Ağırlıkça % 7,6 nem	0,035	0,039	0,044	0,048
Kuru	0,031	0,035	0,040	0,044

4.3.4 Anorganik Bağlama Elemanlı Tahta Lifli Yapı Levhaları

Tahta kıymıklarının eleklerde ayrılarak portlant çimentosu veya diğer anorganik bağlama elemanı kullanılarak elde edilir. Bu levhaların basma zorlanmalarına mukavemetleri çok yüksek olup, prefabrik evlerde çok kullanılır. Ortalama olarak, özgül hacimleri 326 kg/m^3 , ısı iletim katsayısı kcal/mhK değerindedir (Palin 2000, Daşdemir 2011).

4.3.5 Turb Yalıtım Levhaları

Özel bir bağlayıcı elemana ihtiyaç olmadan turbun preslenmesiyle elde edilirler. Maksimum $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Ortalama $162,5 \text{ kg/m}^3$ özgül ağırlığında ve $0.0335\text{--}0.041 \text{ kcal/mhK}$ ısı iletim katsayısı değerine sahiptirler. Kullanım yerleri, genellikle hareket halindeki soğutma tesislerinde tercih edilirler (Dağsöz 1996, Daşdemir 2011).

4.3.6 Halat, Hortum Şeklindeki Organik Yalıtım Malzemeleri

Pamuk ve jüt artıkları saç örgüsüne benzer formlarda halat şekline getirilir. Hortum şeklinde olanların içleri mantar taneleri, kizelgur gibi yalıtım malzemeleri ile doldurulur. Her iki yapıda da genellikle sıcak su geçen boruların yalıtımında kullanılırlar. Yoğuşma sebebiyle soğuk yalıtımı ve 90°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda yalıtım için uygun değildirler (Palin 2000).

4.3.7 Taneli Yalıtım Malzemeleri

Taneli yalıtım malzemelerinin en önemlisi mantardır. Meşe mantarı bilhassa Portekiz, İspanya ve Cezayir'de çok miktarda bulunup, doğal haliyle hava gözenekli taneler halindedir. Öğütme, ayırma, suya bastırma gibi işlemlerle kalitesi yükseltilir. $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de hava gönderilerek hem gözenekler artırılır hem de küflenmenin önüne geçilir (Palin 2000, Daşdemir 2011).

4.3.8 Kuru Taneli Doldurma

Isı yalıtımı yapılacak kısımda meydana getirilen boşluklara kuru mantar taneleri doldurulur. Ortalama 40-50 kg/m³ özgül ağırlığında ve pratik kullanma sıcaklığı olan 100°C ye kadar ısı iletim katsayısı 0,028–0,038 kcal/mhK aralığında değişir (Palin 2000, Daşdemir 2011).

4.3.9 Levha ve Şekillendirilmiş Haldeki Mantar

Pratikte, özellikle işçilik ve konstrüksiyon bakımından kolaylık sağlamak amacıyla basınçla levha haline veya boru şekline getirilmiş mantar kullanılır. Mantar tanelerine zift emdirilerek istenilen şekilde preslenebilir. Bu şekilde elde edilen levha veya şekillendirilmiş haldeki mantarların özgül ağırlıkları 120-150 kg/m³ arasında değişirken, ısı iletim katsayıları 0.030–0.038 kcal/mhK aralığında değişmektedir. Şayet yalıtılacak kısımda hava geçirgenliği de önlenmek isteniyorsa, özgül ağırlığı 250 kg/m³ olacak şekilde preslenmesi gerekir. Bu haldeki mantar, maksimum 110 °C sıcaklıklarda kullanılabilir. Eğer alt kısmına kizelgur tabakası konulursa, 140 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda da kullanılabilirler. Pratikte, soğuk hava tesislerinde, terleme olan duvar, döşeme ve tavanlarda, havalandırma kanallarında, ısıtma ve sıcak su devrelerinde, alçak basınç kazanlarında preslenmiş mantar tercih edilir. Mantar levhaları döşemeden önce, temasta bulunulacak yüzeylere bitüm ihtiva eden harç veya zift tatbik edilir. Sanayide ise kizelgur ihtiva eden harç kullanılır (Palin 2000).

4.4 Anorganik Asıllı Isı Yalıtım Malzemeleri

Anorganik asıllı ısı yalıtım malzemeleri lif, tane ve toz halindeki anorganik maddelerden meydana gelir. Cam yünü, cüruf yünü, erimiş mineraller, asbest kizelgur, sünger taşı, magnezit, baca kurumu, kömür tozu, kül ise tane şeklinde anorganik maddelerdir. Bağlayıcı eleman olarak portlant çimentosu tercih edilmek üzere çimento, alçıda kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklar için kil ve kuvars gibi seramik cinsi bağlayıcı elemanlardan faydalanılır (Daşdemir 2011).

4.4.1 Cam Yünü

Cam yünü, yalıtım malzemesi olarak çapları mikron boyutunda olan ince lifler haline getirilerek kullanılır. Cam yünü elde edilebilmesi için hammadde olarak ortalama % 54 SiO₂, % 15,7 Al₂(OH)₃, % 0,5 Fe₂O₃, % 16 CaO, % 3,8 MgO, % 8 boroksit alınır. İmal usulüne göre takriben 3 - 40 mikron çapındaki liflerden meydana gelmiş olup, 500 °C gibi yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilir. Özel olarak imal edilip 700 °C sıcaklığa kadar kullanılan cinsleri de mevcuttur. Daha yüksek sıcaklıklar için arada ya hava boşluğu bırakılır veya kizelgur gibi daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı yalıtım malzemeleri araya yerleştirilir. Özgül ağırlıkları 15-200 kg/m³ aralığında değişirken, ısı iletim katsayıları 0 °C sıcaklıkta 0,028 kcal/mhK değerinden 450 °C sıcaklıkta 0.065 kcal/mhK değerine kadar artmaktadır. Diğer yalıtım malzemelerine nazaran pratikte oldukça geniş bir kullanım alanı bulan cam yünü; yanıcı değildir, dış kuvvetler tesiriyle kolayca deformasyona uğrar, higroskopik değildir, kimyasal olarak nötrdür, korozyon tehlikesi yoktur, atmosferik şartlara dayanıklıdır, asitlere karşı (hidroflorik asit hariç) dayanıklıdır, küf tutmaz, haşerelerin yuvalanması olmaz, bıçakla kolayca istenilen şekilde kesilebilir, işçiliği kolaydır, vana gibi çok girintili olan parçaların yalıtımlarına uygundur, deri ile temas edince kaşındırır bu sebeple eldiven kullanılması tavsiye olunur, sarsıntı ve ufalanmaya karşı mukavemetlidir. Pratikte buzdolaplarında, gaz fırınlarında, merkezi ısıtma sistemlerinde, duvar, döşeme ve tavanlarda, sanayide, vana yalıtımlarında, taşıtlarda vb. yerlerde kullanılmaktadır (Yaşar 2001, Daşdemir 2011). Yerli olarak temin edilen inorganik hammadde olan silis kumunun 1200 – 1250 °C’ de ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır. Tesisat yalıtımında önemli bir yere sahiptir; çünkü konut tesisatlarının yalıtımında en çok kullanılan malzemedir.

- Kullanım yeri ve amacına göre, farklı boyut ve yoğunlukta, değişik kaplama malzemeleriyle şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilmektedir; ancak dökme cam yünleri, yalıtım işlerinde çok tercih edilen bir ürün değildir.
- Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve akustik düzenleme malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- Kullanım sıcaklığı -50 / +250 °C’dir. Bağlayıcısız cam yünler, 500 °C’ye kadar kullanılabilir.

- Ayrıca -250/+450 °C aralığında kullanılan cam yünü ürünler de üretilmektedir.
- Sıcağa ve neme maruz kalması durumunda boyut değişikliği olmaz.
- Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz. Böcek ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez.

Cam yünü her türlü yapıda, dış duvarlarda, iç duvarlarda, çatı katı döşemelerinde, çift cidarlı sandviç duvarlarda gerek ses, gerekse ısı yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır (İnt.Kyn. 5).

4.4.2 Taş Yünü

Ergimiş camın çeşitli metotlarla lif haline getirilmiş şeklidir. Çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Hammaddesinin esasını silis kumu teşkil eder. Özgül ağırlığı, 20-200 kg/m³ aralığında değişir. Isı yalıtımı uygulamalarında, genellikle 30-100 kg/m³ özgül ağırlığındaki taş yünü kullanılır. Optimum ısı iletim katsayıları, 100-120 kg/m³ arasındaki özgül ağırlıklarda elde edilir. Taş yününün ısı iletim katsayısı, TS-825'e göre 0,040 W/mK'dır. Taş yünü de cam yünü gibi açık gözeneklidir. Malzemenin %99'u hava boşluğundan oluşur. Bundan dolayı önlem alınmazsa kolay ıslanır. Kullanım sıcaklığı -50/+650 °C arasındadır. TS EN 13501'e göre "yanmaz malzemeler" grubundandır. Kullanım yeri ve amacına uygun olarak, farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilirler(Karakoç vd. 2011). Yerli olarak temin edilen inorganik hammadde olan bazalt taşının 1350 °C – 1400 °C'de ergitilerek elyaf haline getirilmesiyle elde edilir (İnt.Kyn. 6).

- Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve yoğunlukta, değişik kaplama malzemeleriyle, şilte levha, boru ve dökme şeklinde üretilmektedir.
- Isı yalıtımı, ses yalıtımı, akustik düzenleme ve yangın yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- Kullanım sıcaklığı 750 /1000 °C'dir.
- Sıcağa ve neme maruz kalması durumunda boyut değişikliği olmaz.
- Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz.
- Böcek ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez (İnt.Kyn. 6).

4.4.3 Cüruf Yünü

Cüruf yünü metalürji sanayinin bir yan ürünü olup, sıvı haldeki cürufun lif haline getirilmesi ile elde edilir. Cam yününe nazaran yapısı homojen olmayıp çoğu hallerde kimyasal bakımdan nötr değildir. Maksimum 750 °C sıcaklığa kadar dayanıklı olup, özgül ağırlıkları 1500 ila 350 kg/m³ arasında değişir. Isı iletim katsayısı, özgül ağırlığa ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için 100 °C sıcaklık ve 150 kg/m³ özgül ağırlığında ısı iletim katsayısı 0,041 kcal/mhK iken, 500 °C sıcaklık ve 350 kg/m³ özgül ağırlığında ısı iletim katsayısı 0,108 kcal/mhK değerine kadar artmaktadır. Cüruf yünü, mineral yün olarak da adlandırılıp vana, flanş ve boru yalıtımlarında kullanılır. Cam yününe nazaran daha ucuz olup, biraz daha yüksek sıcaklığa dayanıklıdır (Yaşar 2001).

4.4.4 Asbest

Kısa asbest lifleri, anorganik su camı potasyumlu silikat bağlayıcı eleman yardımıyla püskürtme yalıtım yapılır. Tabanca ile ısı yalıtımı yapılacak yüzeye püskürtülen asbest lifleri ile yüzeyde hiçbir delik kalmayacak şekilde istenilen kalınlıkta yalıtım yapılabilir. Bu şekilde yapılan yalıtım, ses yalıtımı için de faydalı olduğu gibi yangın tehlikesine karşı da tercih edilen bir yalıtım şeklidir (Palin 2000).

4.4.5 Kizelgur

Kizelgurun bitkisel bir yapısı olup, kuvarz ihtiva eder. Bitkisel yapı bozulmaya başladığında çok küçük gözenekler oluşmaya başlar. Kirece benzer bir yapıya getirilmekle ihtiva ettiği organik kısımlar kaybolur ve öğütülerek istenilen incelikte elde edilir. Kizelgur, sanayide çeşitli yerlerde yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yanmaz bir malzeme olduğu için yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir (Yaşar 2001).

4.4.6 Magnezyum Karbonat

Tabii magnezit taşının (MgO) kireçlendirilmesi, sonra CO₂ ve su ile karıştırılması ile elde edilir. Yüksek sıcaklıklarda çatlaması sebebiyle ancak 270 °C sıcaklığa kadar uygundur (Palin2000, Daşdemir 2011).

4.4.7 Magnezit

Magnezit aslında çok gevşek ve toz halinde olup, asbest lifleri ile karıştırılarak istenilen şekilde preslenir. Yüksek sıcaklıklarda kizelgur malzemesiyle karışık olarak kullanılır. Genellikle 200 °C sıcaklığa kadar kullanışlı olup, ısı iletim katsayısı 0,047 ila 0,059 kcal/ mhK değerleri arasında değişmektedir (Palin 2000, Daşdemir 2011).

4.4.8 Perlit

Perlit bir silikat türü olup, bünyesinde ortalama % 70–75 arasında SiO₂ silisyum dioksit bulunur. Diğer bileşenleri % 12–16 arasında Al₃O₃, %4-5 arasında K₂O, % 2–4 arasında Na₂O, %0,5–2 arasında F₂O₃, % 0,1–0,5 arasında CaO, % 2-6 arasında H₂O ve % 0,1'den daha az MgO, TiO₂, MnO₂, Cr, Ba, PbO, S bulunur. Perlit, ham olarak gri ve siyah arasında muhtelif renk tonlarında olup özgül ağırlığı 2,2–2,4 gr/cm³ arasındadır. Perlit özel olarak yapılan döner fırınlarda 800–1100 °C civarında ısıl işleme tabi tutularak genişler, patlar ve küçük tanelere dönüşür. Hacimsel genişleme 10–30 misli kadar olabilmektedir. Genleşmiş perlit olarak, ısı iletim katsayısı yoğunluk ve kullanma sıcaklığına bağlı olarak çok küçük değerlere kadar düşebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Genleşmiş perlitin yoğunluğu 30–190 kg/cm³, ısı iletim katsayısı 0,034–0,040 kcal/mhK arasında olup, ses yalıtımı özelliği de 125 Hz'de 18 dB civarındadır. Ayrıca perlit, su emme özelliğine sahip olması nedeniyle suya karşı yalıtım yapılması gerekli ortamlarda da tercih edilen bir yalıtım malzemesidir (Yaşar 2001, Daşdemir 2011).

4.5 Sentetik Esaslı Isı Yalıtım Malzemeleri

Plastik köpükler olarak da adlandırılan sentetik asıllı yalıtım malzemelerini, ham madde ve elde edilişi, boşluk yapısı, köpürme şekli ile sertlik derecesine göre sınıflandırmak da mümkündür. Burada bazı sentetik esaslı yalıtım malzemeleri tanıtılacaktır(Yaşar 2001).

4.5.1 Poliüretanlar (Pur)

Rijit ve elastomer olarak, ayrıca bunların köpük tiplerinde de üretilen poliüretan reçineleri birçok sanayi dallarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İnşaat elemanlarından makine parçalarına, ısı yalıtım malzemeleri ve organ yapımı gibi çok değişik yerlerde kullanılabilen bu plastikler, kullanımı kolay ve ucuz bir malzemedir. Reçinenin büyük bir bölümü hücreli yapıya köpük olarak, kalan kısımlar rijit ve elastomer parça malzeme ve lif imalinde kullanılmaktadır (Yaşar 2001, Bayer 2006).

- Polyol ve Isocyanat adlı, iki kimyasal maddenin reaksiyona girerek oluşturdukları poliüretan, homojen ve sert bir köpüktür.
- Uygulama sprej enjeksiyon veya döküm tekniği ile yerinde veya ön üretilmiş olarak yapılır.
- Reaksiyon sistemine ve yerine göre birkaç saniye ile birkaç dakika arasında ayarlanır.
- Poliüretan uygulamalarında blok bir kaplama elde edilir.
- Diğer yalıtım malzemelerine göre ek yerlerinin olmaması, ısı köprüsünün ortadan kalkmasına neden olur ve tercih nedenlerinde önemli bir faktördür.
- Poliüretan, bütün boru sistemlerinde, -200°C ile $+140^{\circ}\text{C}$ arasında ve mineral yünü olarak da $+315^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar kullanılabilen, üstün bir ısı yalıtım malzemesidir.
- Basınca da dayanıklı olup taşıdığı akışkan ve ceket boru arasında, bir sandviç oluşturur.
- Ses izolasyonu sağlar (Yaşar 2001).

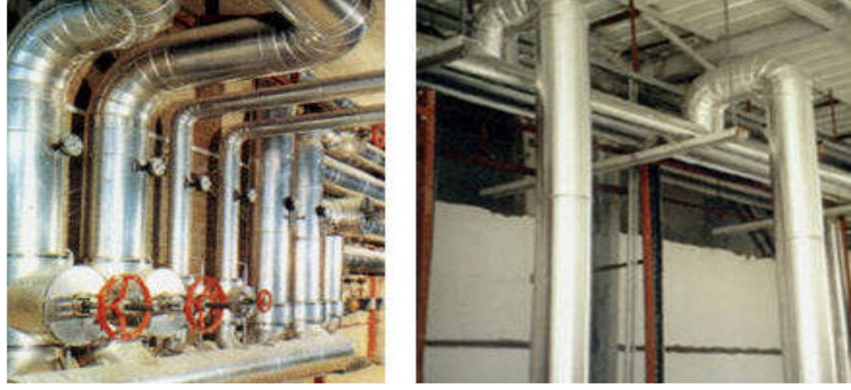


Şekil 4.2 Yüzeze poliüretan malzeme uygulaması (İnt.Kyn.5).

- Kolay uygulanır.
- Yaşam ömrü yaklaşık bir asırdır.
- Diğer yalıtım malzemelerine göre ısı geçirgenliği düşük bir mamuldür.
- Isı iletim katsayısı, 0,017 – 0,019 Kcal/m h °C arasındadır.
- Uygulamanın yapılacağı bölgenin temiz olması gerekmektedir.
- Poliüretan uygulaması yapılacak alanın, ıslak olmaması gerekmektedir.
- Konutlarda ve sanayide duvar ve çatı yalıtımlarında, ısı yalıtım amacıyla 30~40 mm. kalınlığında poliüretan spre y izolasyonu yapılması, uygun kabul edilmektedir.
- İklim şartları ve hava sıcaklıklarına göre bazı bölgelerimizde, izolasyon kalınlıkları 10 ila 20 mm arttırılarak uygulanmaktadır.
- Poliüretan su yalıtımını belli bir zaman, kapalı hücre yapısından dolayı absorbe eder. Su yalıtımı malzemesi olarak değil, ısı yalıtım malzemesi olarak kabul edilir.
- Sıvı olarak püskürtülen poliüretan, çok kısa sürede reaksiyona girer, genişir ve sertleşir. Ek yeri olmayan, ısı köprüsü oluşmayacak komple bir yalıtım sağlanmış olur.
- Üzerinde rahat bir şekilde gezinilebilir.

Poliüretan malzemeler, tesisatlarda iki cidar arasına püskürtülerek uygulanır. Bu uygulama yönteminden dolayı, yalıtım malzemesi dışarıdan görünmeyeceği gibi, mekanik dış etkilere de maruz kalmaz. Poliüretan iki cidar arasına sıvı olarak enjekte edilerek izolasyon sağlanır.

- Ek yersiz, tek parça bir izolasyon elde edilir.
- Hızlı bir uygulama olduğu için, zamandan ve işçilikten tasarruf sağlar.
- Su geçirmez. Nemden etkilenmez.
- Borunun yüzeyini korur, aşınmasını önler (Yaşar 2001, Bayer 2006).



Şekil 4.3 Poliüretan malzeme uygulaması (İnt.Kyn.6).

4.5.2 Poliüretan Elastomerler

Bunlar doğrusal polimerler olup, toluendiizosiyanat veya metilen difenildiizosiyanat ile bifonksiyonelpoliollerden (polieter, poliester.) elde edilirler. Polieterlerelastomere düşük yoğunluk, iyi hidroliz, küf dayanımı ve iyi dielektrik özellikler için katılırlar. Poliesterler ise yüksek yoğunluk, aşınma ve yırtılma dayanımı ile çözen direnci vermek için kullanılırlar. Poliüretan elastomerler döküm, termoplast ve öğütülebilir gom şeklinde üretilirler. Sonucusu birincil plastikler gibi değildir. Diğer elastomere göre daha ucuz olan poliüretan elastomerleri ozon, küf, nem, oksidasyon ve aşınmaya daha dayanıklıdır. Döküm poliüretan elastomerlerin çoğu termoset yapıdadır. Alifatik çözücülere, seyreltik asit ve bazlara karşı dayanıklıdır. Soğukta darbe dayanımları yüksektir. Poliüretan elastomerlerine cam ve karbon elyafı katılarak mekanik özellikleri, özel ve çeşitli dolgularla da UV, hidroliz ve oksidasyon dirençleri artırılır (Yaşar 2001).

4.5.3 Poliüretan Kaplama

Köpük ve elastomer olarak uygulanabilir. Köpük poliüretan kaplama, daha çok yalıtma amacıyla yapılır. İçten veya dıştan karıştırmalı özel tabancalarıyla RIM usulüne göre püskürtülür. Özel koruyucu donanım gerektirir. Tipik kullanım yerleri kapılar, su ısıtıcıları, çatı kaplamaları, soğutucular ve buz kutuları imalidir. Elastomer kaplama iyi yapışma, çabuk kür, cidar esnekliği ve kimyasal direnç gibi özellikler dolayısıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Yaşar 2001).

4.5.4 PVC (PolivinilKlorid)

Sert, yumuşak, opak ve saydam tipler halinde, termoplast bir ürün olarak üretilen PVC özellikle plastikleştirici ile işlenmiş şekilde yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Petvinil adıyla, Petkim tarafından 150000 ton/yıl kurulu kapasite ile üretilen PVC, özellikle kablo yapımında güçlük ve pahalı bir şekilde kullanılan lastiğin egemenliğini ortadan kaldırmıştır. Zira hem üretim kolaylığı, hem ucuzluk ve hem de çevre koşullarına daha dirençli olmasından dolayı PVC bu sanayi dalındaki yerini almıştır (Daşdemir2011). PVC, Türk Standartları Enstitüsünce hem hammadde olarak, hem de biçimlendirilmiş ürünler olarak standart kapsamına alınmıştır (Yaşar 2001).

4.5.5 Polietilen (Pe)

Günümüzde plastikler içinde en fazla üretilen polietilen, toplam plastiklerin %40'ı kadar bir tüketim oranına sahiptir. Alçak, orta, yüksek ve çok yüksek yoğunluk türlerinde üretilen polietilenin yaygın olanları alçak ve yüksek yoğunluklu olanlarıdır. Polietilenler genellikle elektriksel uygulamalar için daha elverişli yalıtım malzemeleri olarak bilinirler (Yaşar 2001).

4.5.6 Polistrol

Benzol (C_6H_6) ve etilen ($CH_2=CH_2$) ile alüminyum klorür ($AlCl_3$) birleşmeleri sonucu etillenzol ($C_6H_5-CH_2-CH_3$) elde edilir. Polimerizasyon ile de polistrol meydana gelir. Polistrol, $70^\circ C$ 'ye kadar dayanıklı olup, ısı iletim katsayısı $0,12 \text{ kcal/mhK}$ civarındadır. Sirofleks, $0,02$ ila $0,15$ mm kalınlığındaki polistrol levhaların yanyana dizilmelerinden meydana gelir. Elastik ve bükülebilir özellikte olan sirofleks sarsıntıyla ufalanmaz, özgül ağırlığı tabaka kalınlığına bağlı olmakla beraber 12 kg/m^3 civarındadır ve $-40^\circ C$ ile $80^\circ C$ sıcaklıklar arasında kullanılabilir. $20^\circ C$ sıcaklıktaki ısı iletim katsayısı $0,029 \text{ kcal/mhK}$ 'dir. Polistrol köpükler, sitropor, eksportit, izokolor, poresta, isopor, lamipor, nobipor gibi isimlerle satılır (Yaşar 2001, Daşdemir 2011).

4.5.7 Polistiren (EPS) Malzemeler

Expanded polistiren sert köpük (eps-genleştirilmiş polistiren sert köpük), petrodenelede edilen, köpük halindeki termoplastik, kapalı gözenekli, tipik olarak beyaz renkli bir ısı yalıtım malzemesidir (Bayer 2006). Ambalajlama ve ısı yalıtımları uygulamalarında polistiren köpük kullanımı oldukça fazla ve yaygındır. Korozyona uğrama, küflenme, çürüme gibi istenmeyen özellikleri taşımaması, ucuz olması yaygın kullanımdaki etkinliğini açıklamaktadır (Yaşar 2001).

Malzemenin % 98'i hareketsiz ve kuru havadır (Bayer 2006). Hareketsiz ve kuru hava, bilinen en ekonomik, çevre dostu ve mükemmel ısı yalıtım malzemesidir. EPS ısı yalıtım levhalarının ekonomik ve üstün ısı yalıtım özellikleri bu şekilde sağlanır. Dünyada mevcut en iyi ısı yalıtımı sağlayan birkaç malzemeden biri olan EPS, aynı performansı, ülkemizde kullanılan diğer ısı yalıtım malzemelerinden daha ekonomik olarak sağlayan tek malzemedir. Üretiminde, enerji yoğun olmaması, üstün teknik özelliklerine rağmen ekonomik olması da kullanılmasında diğer önemli sebeptir. Etkin mekanik dayanımın yanında, şişirici gazın çok kısa sürede hava ile yer değiştirmesi, ürünün performansının, kullanım ömrü boyunca sabit kalmasını sağlar. Kalınlığı incelmez, ısı iletkenliği artmaz, özelliklerinde hiçbir bozulma meydana gelmez.

EPS üretiminde, son aşama olan şekil verme (kalıplama) aşamasında, taneciklerin birbirleri ile sıkıca kaynaşması sağlanır. Bu uygulamanın başarısı, ürünün yüzeyindeki taneciklerin bal peteği şeklindeki görüntüsünden anlaşılır. EPS istenilen yoğunluklarda üretilir. Özellikleri, yoğunlukla istenilen yönde değiştirilebildiğinden, malzeme israfına ve gereksiz maliyet artışlarına sebep olmaz. Yalıtım amacıyla genellikle 15–30 kg/m³ yoğunluklarda kullanılan EPS levhalar, çok hafiftir, diğer malzemelerle kaplanarak bitmiş kompozit elemanlar halinde de üretilebilir. EPS ürünler, levha, boru veya önceden şekil verilmiş elemanlar halinde, yapıların ısı ve ses yalıtımında ve ambalaj sanayiinde yoğun bir şekilde kullanılır. Ayrıca, EPS ürünlerin binalarda, duvar malzemesi olarak kullanımından, soğuk hava depolarının yalıtımına, soğuk bölgelerdeki karayolu yapımına, zeminlerin takviyesine, gemiler için can simidi ve can yeleği yapımına kadar sayılması mümkün olmayan; hafifliğin, dayanımın, kolay şekil

verebilmenin, kolay uygulayabilmenin ve düşük ısı iletkenliğinin önemli olduğu bütün uygulamalarda sınırsız kullanım alanı vardır (Yaşar 2001).

4.6 Isı Yalıtımı İle İlgili Tanımlar

4.6.1 Isı İletkenlik Katsayısı

Isı iletkenlik katsayısı; birbirine paralel iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı $1K = 1^{\circ}C$ olan homojen bir malzemenin, $1 m^2$ 'sinden 1 saatte ve 1 m kalınlıkta dik olarak geçen ısı miktarıdır. Sembolü (λ), birimi (W/mK)'dir. Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde en belirleyici özelliktir (Binyıldız et al. 1997). Isı hesaplarında, laboratuarda ölçülen λ değeri değil, $10^{\circ}C$ ortalama sıcaklık ve pratik nem miktarına göre çevrilen zamlı λ_{hesap} de geri kullanılır (Karakoç et al. 1999).

4.6.2 Isı Geçirgenliği

Isı geçirgenliği; $d(m)$ kalınlığında bir malzemenin paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark $1K=1^{\circ}C$ olduğunda, 1 saatte, $1 m^2$ yüzeyden dik olarak geçen ısı miktarıdır. Sembolü (\wedge), birimi (W/m^2K)'dir (Karakoç et al. 1999).

4.6.3 Isı Geçirgenlik Direnci

Isı geçirgenlik direnci, ısı geçirgenliğinin aritmetik olarak tersidir. Sembolü (l/\wedge), birimi (m^2K/W)'dir. Aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{1}{\wedge} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (m^2K/W) \quad (4.1)$$

4.6.4 Isı Geçirme Katsayısı

Isı geçirme katsayısı; herhangi $d (m)$ kalınlığında bir yapı bileşeninin (duvar, çatı vs.) her iki tarafındaki hava sıcaklıkları arasındaki fark $1K = 1^{\circ}C$ olduğunda bileşenin $1 m^2$ yüzeyinden 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Bazı literatürlerde "k" olarak da gösterilmektedir. Sembolü (U), birimi (W/m^2K)'dir (Binyıldız 1997).

4.6.5 Isı Geçirme Direnci

Isı geçirme direnci, ısı geçirme katsayısının aritmetik olarak tersidir. Sembolü ($1/U$), birimi (m^2K/W)'dir. Aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (m^2K/W) \quad (4.2)$$

4.6.6 Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısı

Yüzeysel ısı taşınım katsayısı; herhangi bir yapı bileşeninin yüzeyi ile yüzeyin değdiği hava arasındaki sıcaklık farkı $1K = 1^\circ C$ iken, yapı bileşeninin $1 m^2$ 'sinden bu alana dik yönde 1 saatte geçen ısı miktarıdır. Sembolü (α), birimi (W/m^2K)'dir (TMMOB, 1997).

4.6.7 Yüzeysel Isı Taşınım Direnci

Yüzeysel ısı taşınım direnci, yüzeysel ısı taşınım katsayısının aritmetik olarak tersidir. Sembolü ($1/\alpha$), birimi (m^2K/W)'dir (Karakoç *et al.* 1999).

4.6.8 Bağlı Nem

Bağlı nem; belirli sıcaklıktaki havanın içerdiği su buharı miktarının, yine o sıcaklıktaki havanın taşıyabileceği en fazla su buharı miktarına oranına denir. Sembolü (ϕ), birimi (%)'dir (Dağsöz, 1976). Genel olarak, bağlı nem miktarları higrometre cihazlarından doğrudan okunmaktadır. İlgili doyma su buharı miktarları ise abaklardan alınmaktadır. Prensip olarak sıcak hava soğuk havadan daha fazla su buharı barındırır (Karakoç 1999).

4.6.9 Terleme Sıcaklığı

Belirli şartlardaki havanın terleme sıcaklığı, aynı şartlarda bulunan ve aynı miktarda su buharı bulunduran doymuş havanın sıcaklığıdır. Aynı zamanda çığ noktası sıcaklığı olarak da adlandırılmaktadır. Sembolü ($T_{\check{c}}$), birimi ($^\circ C$)'dir (Daşdemir 2011).

4.6.10 Yoğuşma

Yoğuşma; havanın içindeki su buharının, ortam sıcaklığı ve bağıl nem miktarına bağlı olan terleme sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki bir yüzeye temas etmesi sonucu gaz halinden sıvı hale geçmesidir (Bayer 2006).

4.7 Isı Yalıtımının Önemi

Ülkemiz, enerji tüketimi konusunda çok fazla bilgi sahibi olmayan ve ısı yalıtımı konusunda bilinçlendirme sıkıntılarını henüz aşamayan toplumlardan. Enerji tüketimimiz her geçen gün artmakta, bu artış enerji verimliliğine yeterince zarar vermekte ve çok büyük israfa yol açmaktadır. Ayrıca enerji ithalatının da artmasına yol açmaktadır. Özellikle küresel ısınma ve iklim değişikliği ile birlikte düşünüldüğünde, binalarda yalıtım konusu daha önemli bir hale gelmiştir. Bu konuda bilinçlenme yaşanmadığı takdirde ekonomi ve çevre sorunlarının yoğunluğundan kurtulmak mümkün değildir (İnt.Kyn.7).

4.7.1 Isı Yalıtımının Faydaları

Yalıtım, başta da belirttiğimiz gibi, yapıların iç ve dış etkenlerden doğru biçimde korunmasıdır. Bu nedenle, yalıtımın ilk yararı bina üzerinedir. Yalıtım, dış etkenlerin bina üzerindeki zararlı etkilerini önleyerek, binanın sağlam(durabil) ve güvenli kalmasını sağlar, binanın ömrünü uzatır. Binanın sağlamlığı, bu binaları kullanan insanların can güvenliği açısından büyük önem taşır. Bunun yanında yalıtım, kullanıcıların konforu ve sağlığı için de gerekli bir uygulamadır. İnsanları dış etkenlerin zararlarından korumak da ancak yalıtımla mümkündür.

Bunların yanı sıra yalıtım, ekonomik avantajlar sunar. Binaya zarar veren etmenlerin etkileri başta da belirttiğimiz gibi uzun dönemde görülür. Ancak, yalıtımın tasarruf etkisini kısa dönemde açıkça görmek mümkündür. Yalıtımın tasarruf sağlayan türü, ısı yalıtımıdır. Bu nedenle de ısı yalıtımı yalıtım türleri arasında öne çıkar. Diğer yalıtım türlerinin de ekonomik avantajlar sunar. Binanın kullanımının ömrünün uzatılması, kaynak israfını önleyecek ve ekonomik avantajlar sağlayacaktır (Şen 2006).

Isı Yalıtımı;

- ✓ Yönetmeliklere uygun yapılacak ısı yalıtımı, ısınma veya serinleme amacıyla yaptığımız harcamalardan ortalama %50 tasarruf ederek yazın serin kalmaya kışın daha iyi ısınmaya imkan sağlar.
- ✓ Dengeli oda sıcaklıkları yaratarak konforlu ve sağlıklı mekânlar oluşturur. Pencereye yakın mekanlar soğuk, iç taraflar daha sıcak olmaz. Böylece doğalgazdan elde ettiğimiz verim artar.
- ✓ Evlerde küflenmeyi siyah leke ve mantar oluşmasına neden olan yoğuşmayı (terlemeyi) önler. Sıva yada boyalar kabarmaz (Şen 2006).

4.7.2 Isı Yalıtımı Kullanım Alanları

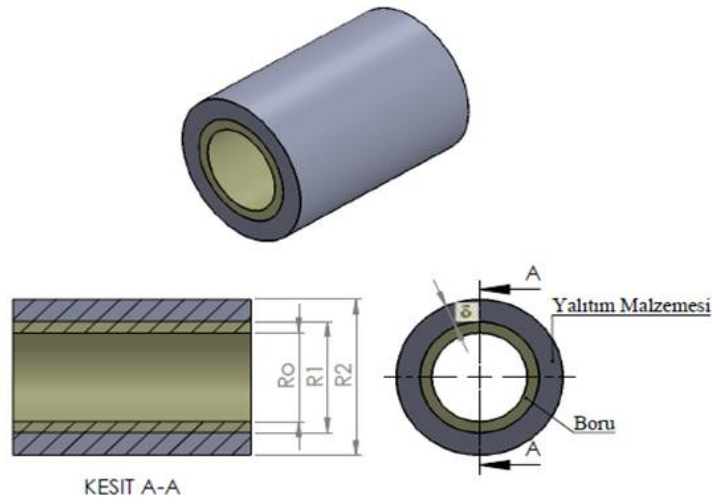
Isı Yalıtımı;

- ✓ Binaların çatı ve duvarlarına
- ✓ Toprak temaslı mahallere
- ✓ Katları ayıran döşemelere
- ✓ Tesisat boruları ve havalandırma kanallarına
- ✓ Garaj, depo gibi ısıtılmayan bölümlere bakan duvarlara yapılır (İnt.Kyn. 4).

5. MATERYAL VE METOT

5.1 Boru sisteminin yapısı

Bir bölgesel ısıtma sistemi, ısı kaynağından ısıtılan binalara kadar bir zincir oluşturan birçok elemandan oluşmaktadır. Bölgesel ısıtma sisteminin tek amacı ısı tüketicilerine yeterli ısıyı temin etmektir. Tüketici dış çevreye olan ısı kayıplarına karşı iç ortam sıcaklığını makul bir sabit seviyede tutmak için ısı kullanır. Birçok bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı kaynağı olarak kömür, doğal gaz, fuel-oil ve jeotermal enerji kullanılır. Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı dağıtımı, sıcak suyun ısıtma sistemi ağındaki her bir tüketiciye gönderildiği kapalı bir döngü ağı vasıtasıyla gerçekleştirilir. Burada sıcak su tüketici tarafından soğutulur. Sonra ısı merkezine geri yollar ve yeniden ısıtılır. Sistem bu şekilde devir daim ettirilir.



Şekil 5.1 Bu çalışmada ele alınan birim uzunluktaki boru sistemi.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı taşıyan boru hatlarındaki ısı kayıpları ve sıcaklık değişimleri bazı nedenlerden dolayı önemli derecede etkilenir. Bunlar;yalıtım, çevre (toprak üstü borular için çevre hava veya toprak altı borular için toprak) boru yapısıdır. Bu çalışmada toprak üstünde ve galeri içerisinde uzanan bir boru sistemi ele alınmış ve birim uzunluk için boru kesiti Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu boru sistemi için uygun ortalama bir sıcaklıkta sabit çevre sıcaklığı ve sabit termodinamik özellikler de hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, bölgesel ısıtma sistemi için sıcak su (90/70 °C) kararlı durum kararlı akış kontrol hacmi koşullarında sabit bir hız ile borudan pompalandığı

düşünülmüştür. Borudaki akış sürtünmesi nedeniyle oluşan basınç düşümleri ve sıcak suya moleküler difüzyon yoluyla farklı türde moleküllerin karışması durumları bu çalışmada ihmal edilmiştir.

5.2 Boru sisteminde ısı kayıplarının hesaplanması

Bölgesel ısıtma sistemlerinde boru sistemi boyunca borudan gerçekleşen ısı kaybı genellikle aşağıdaki denklem ile hesap edilmektedir Eşitlik(5.1).

$$Q_b = UA(T_{ts} - T_d) = UAT \quad (5.1)$$

Burada; A borunun toplam yüzey alanı, T_d dış ortam sıcaklığı, T_{ts} boru içindeki sıcak suyun ortalama tasarım sıcaklığı ve U boru sistemi için toplam ısı transfer katsayısıdır.

Boru sistemi tabakalarının toplam ısıl direnci, R_b , borunun iç ve dış yüzeyleri arasındaki tabakaların ısıl dirençleri ile bu iç ve dış yüzey üzerindeki ısı taşınım katsayıları toplamına eşittir. Böylece boru sisteminin tüm tabakaları için toplam ısıl direnç aşağıdaki gibi verilir.

$$R_b = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{2\pi L k_n} + \frac{1}{h_d A_d} \quad (5.2)$$

Burada k_1 , k_2 , vb. boru sistemi tabakalarının ısıl iletkenliklerini ve r_1 , r_2 , vb. ise onların yarıçaplarını ifade eder. Boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanı $A_d = 2\pi L r_n$ iken borunun iç yüzey alanı $A_i = 2\pi L r_0$ 'dır.

Bu çalışmada, yalıtımsız boru sistemi tabakalarının toplam ısıl direnci

$$R_{b,y-siz} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{1}{h_d A_d} \quad (5.3)$$

iken yalıtımlı boru sistemi tabakalarının toplam ısı direnci

$$R_{b,y} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_y} + \frac{1}{h_d A'_d} \quad (5.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada; k_y yalıtım malzemesinin ısı transfer katsayısı ve $A'_d = 2\pi L r_2$ boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanıdır. Ayrıca, h_i ve h_d sırasıyla boru sisteminin iç ve dış yüzeyleri için ısı taşınım katsayılarıdır ve bu çalışmada şöyle hesaplanabilir (Çallı *et al.*, 2013, Holman, 1992):

$$\frac{h_i D}{k_i} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \quad (5.5)$$

ve

$$h_d = 11.58(1/d)^{0.2} [2/((T_{ms} - T_d) - 546.3)]^{0.181} (T_{ms} - T_d)^{0.266} (1 + 2.86 V_{air})^{0.5} \quad (5.6)$$

Burada; k_i boru içerisindeki sıcak suyun ısı transfer katsayısıdır. Eşitlik (5.6), bilgisayar hesaplamalarında ASTM Standard C680 için genel bir eşitliktir (Çallı *et al.*, 2013, Holman, 1992). $d=D+2\delta$ ve T_{ms} boru sisteminin ortalama dış yüzey sıcaklığıdır. Yalıtımsız ve yalıtımlı boru sistemlerinin toplam ısı transfer katsayıları arasındaki fark aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Delta U = U_{y-sız} - U_y = \frac{1}{R_{b,y-sız}} - \frac{1}{R_{b,y}} \quad (5.7)$$

Isıl iletim verimi üzerine yalıtımlı boru sisteminin dış yarıçapının etkisi, Eşitlik (5.7)'nin r_2 'ye göre türevinin alınmasıyla bulunur ve sonuçta aşağıdaki ifade elde edilmiş olur.

$$\frac{\partial(\Delta U)}{\partial r_2} = - \frac{\frac{1}{2\pi L k_y r_2} - \frac{1}{2\pi L h_d r_2^2}}{\left(\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_y} + \frac{1}{h_d A_d'} \right)^2} \quad (5.8)$$

5.3 Optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri dönüş süresinin hesaplanması

Yıllık enerji tüketimi ve maliyet analizi genellikle tasarım ısı yükü hesaplamaları ile birlikte yapılır ve ısıtma sistemlerinin seçiminde önemli bir rol oynar. Yıllık ısı tüketimini hesaplamak için çeşitli yöntemler kullanılır. Bir binanın yıllık enerji tüketimini tahmin etmenin en basit ve etkili yolu ise saatlik verileri kullanarak yıllık ısıtma derece günlerin (IDG) sayısını belirlemektir. Bunun için eşitlik 5.9 kullanılabilir.

$$IDG = (1 \text{ yıl}) \sum_1^{365} (T_b - T_{sa})^* \quad (5.9)$$

Burada; T_b denge sıcaklık ve T_{sa} günlük ortalama güneş hava sıcaklığıdır. Parantez üzerindeki * işareti sadece pozitif olan değerlerin hesaba katıldığını belirtmekte ve $T_b < T_{sa}$ olduğunda sıcaklık farkları sıfır olarak alınmaktadır. Denge sıcaklık ısıtmanın gerekli olduğu en alt dış sıcaklıktır. Bu çalışmada denge sıcaklık 18 °C için Afyonkarahisar Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan saatlik veriler kullanılmıştır (Meteoroloji Bölge Müdürlüğü 2012). Afyonkarahisar ilinin IDG değeri 2828 °C-gün olarak alınmıştır.

Literatürde genellikle derece günlerin binaların ısı ihtiyaçlarının belirlenmesinde kullanıldığı görülmektedir. Bunun sonucunda binaların dış duvarlarındaki ısı kaybı hesapları yapılarak optimum dış duvar yalıtım kalınlıkları hesaplanabilmektedir. Fakat binaların ihtiyacı olan bu ısı ise bölgesel ısıtma sistemlerinde borular yardımı ile taşınmaktadır. Bu ısı taşıma esnasında boru sisteminden kaynaklanan kayıplar neticesinde borularda optimum yalıtım kalınlığı hesaplanabilmektedir (Keçebaş *et al.* 2011, Başoğlu ve Keçebaş 2011, Keçebaş 2012). Bu durumda, bölgesel ısıtma için boru

sisteminin yıllık ısı kaybı, ısıtma derece günler kullanılarak Eşitlik 5.10 belirlenebilir.

$$Q_A = 86400 \text{ IDG } U \quad (5.10)$$

Boru sistemdeki kayıplar için yıllık enerji gereksinimi, yıllık ısı kaybının ısıtma sisteminin verimine (η_{is}) bölünerek

$$E_g = \frac{86400 \text{ IDG } U}{\eta_{is}} \quad (5.11)$$

ve bölgesel ısıtmadaki borulardan kaynaklanan kayıplar için yıllık yakıt tüketimi ise

$$m_{\text{yakıt}} = \frac{86400 \text{ IDG } U}{H_{\text{alt}} \eta_{is}} \quad (5.12)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada; H_{alt} yakıt tipine bağlı olarak yakıtın alt ısı değeri.

Bölgesel ısıtmadaki boru sisteminden kaynaklanan kayıplar nedeniyle oluşan yıllık toplam enerji maliyeti ($C_{\text{yakıt}}$) aşağıdaki ifade ile bulunabilir.

$$C_{\text{yakıt}} = \frac{86400 \text{ IDG } U C_Y}{H_{\text{alt}} \eta_{is}} \quad (5.13)$$

Burada; C_Y yakıt tipine dayanarak yakıtın birim maliyetidir.

Birim hacimdeki yalıtım malzemesinin maliyeti (C_{Yal}) için toplam yalıtım malzemesi maliyeti aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$C_{\text{yalıtım}} = C_{\text{Yal}} V \quad (5.14)$$

Burada; $V = \frac{\pi}{4} (r_2^2 - r_1^2) L$ yalıtımda kullanılan malzemenin hacmidir.

Birçok termal sistemlerde ekipmanların çalıştırılması için harcanan enerji miktarı yıldan yıla önemli derecede değişmez. Bu durumda yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi, Duffei ve Beckman (2006)'te sunulan metot kullanılarak hesaplanabilir. İlk ifade (F) ilk yılki işletim maliyeti ile orantılı ve ikinci ifade (E) ise sisteminin birinci maliyeti ile orantılıdır.

$$YDM = P_1 F + P_2 E \quad (5.15)$$

Birinci terim (P_1), ilk yıl için yakıt fiyatına ömür yakıt fiyatının oranıdır. P_1 'in en düşük değeri, ortalama yakıt fiyatlarının yüksek olduğunu gösterir. Bu potansiyel ortalama yakıt kazancının belirlenmesi açısından önemlidir. P_1 , aşağıda ifade edildiği gibi enflasyon oranı (d), faiz oranı (i) ve ömür süresi (N) ile ilgili oranlardır

$$\text{Eğer } i \neq d \text{ ise } P_1 = \frac{1}{(d-i)} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] \quad (5.16)$$

$$\text{Eğer } i = d \text{ ise } P_1 = \frac{N}{1+i} \quad (5.17)$$

İkinci terim (P_2) ise yatırım miktarına yatırımın sonucu olarak giren ömürlük masrafların oranıdır. P_2 'nin en yüksek değeri, yatırım en düşük ilk maliyete sahip olduğunda elde edilir. P_2 , Eşitlik 5.18'de olduğu gibi ifade edilir.

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - \frac{R_v}{(1+d)^N} \quad (5.18)$$

Burada; M_s başlangıçtaki ilk maliyete yıllık bakım ve işletme maliyetlerine oranı ve R_v ilk maliyete perakende satış fiyatının oranıdır. Bu çalışmada bakım ve işletme maliyetlerinin olmadığı düşünülerek P_2 değeri 1 olarak alınmıştır.

Bölgesel ısıtma için yalıtımlı boru sistemiyle taşınan ısının toplam maliyeti Eşitlik 5.19 kullanılarak hesaplanabilir.

$$C_t = P_1 C_{\text{yakıt}} + P_2 C_{\text{yalıtım}} \quad (5.19)$$

Yalıtım malzemesi kullanılmasıyla ömür süresi üzerinden toplam enerji tasarrufu, P_1 - P_2 metodu yoluyla 5.20'de olduğu gibi formüle edilebilir.

$$S = \frac{86400 P_1 IDG U C_Y}{H_{\text{alt}} \eta_{\text{is}}} - P_2 C_{\text{Yal}} V \quad (5.20)$$

Yalıtımlı boru sisteminin dış yarıçapı, Eşitlik (5.20)'nin minimize veya Eşitlik (19)'un

maksimize edilmesiyle belirlenebilir. Böylece r_2 'ye göre S veya C_t 'nin türevi alınarak sıfıra eşitlenir. Sonra MatlboptimizationToolbox kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı (δ_{ins}) elde edilir. Burada $\delta_{ins} = r_2 - r_1$ 'dir. Geri dönüş süresini bulma yolunda ise Eşitlik (5.16) veya (5.17)'deki durumlardan biri için P_1 seçilir. Eşitlik (5.20)'de seçilen P_1 yerleştirilerek sıfıra eşitlenir. Buradan geri dönüş süresi (N_{gd}) hesaplanmış olur (Keçebaş *et al.* 2011, Başoğul ve Keçebaş 2011, Keçebaş 2012).

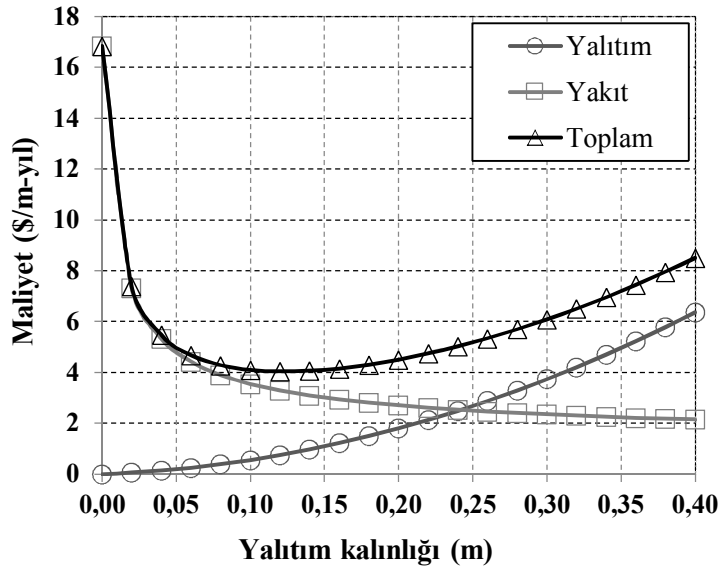
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada bölgesel ısıtma boru hatlarında farklı çaplarda plastik ve çelik borular farklı yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemeleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufları, geri dönüş süreleri hesaplanmıştır.

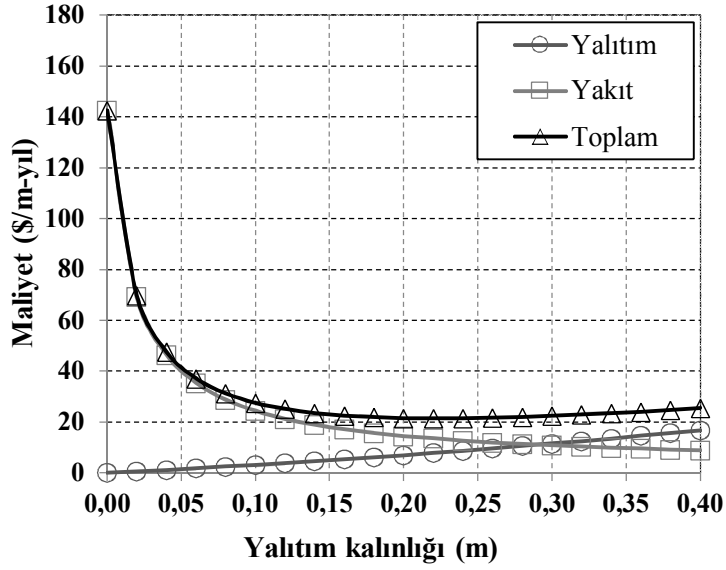
Yapılan çalışmanın sonucunda 50 mm'lik çelik borular için elde edilen veriler Şekil 6.1'de görülmektedir. Şekil 1'de x eksenini yalıtım kalınlığını, y eksenini yıllık maliyeti dolar üzerinden göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere 50 mm'lik çelik boru kullanımında hiç yalıtım yapılmamışsa toplam maliyet çok fazladır. Yalıtım yapılmaya başlandığı andan itibaren yakıt miktarının düştüğü görülmektedir. Grafikte optimum yalıtım kalınlığı 7,379 cm olduğu görülmektedir. Bu değer üstüne çıkıldığında toplam maliyet artış gösterdiği için optimum yalıtım kalınlığının üzerindeki değerler tercih edilmemelidir.

Çelik borularda 800 mm'lik boru çapı kullanıldığında elde edilen yalıtım kalınlığı-maliyet değişimi Şekil 6.2 'de görülmektedir. 800 mm gibi büyük çaplı borularda, maliyet ilk etapta çok yüksek olup, yalıtıma geçildiğinde ani bir düşüş söz konusudur. Optimum yalıtım değeri 11,478 cm olup maliyet bu değer sonrasında sabitlenmektedir.

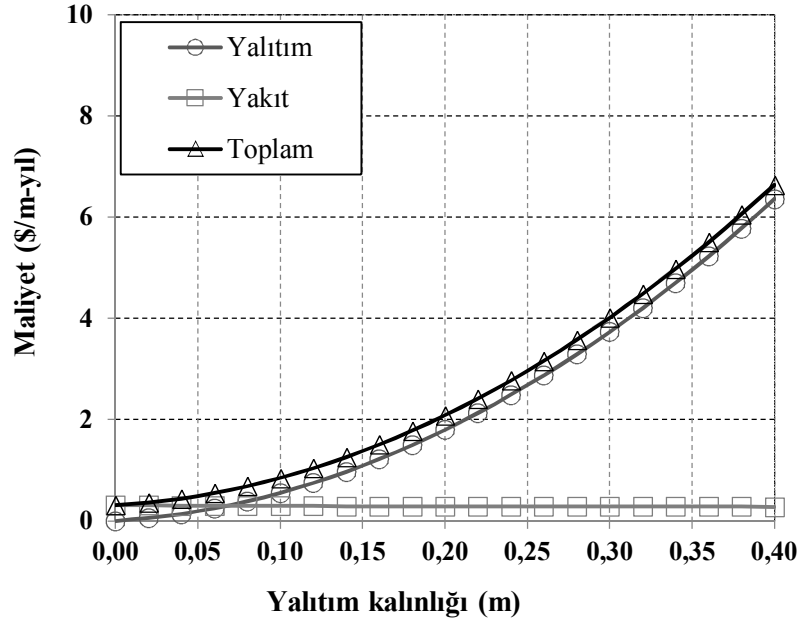
Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te sırasıyla boru çapı 50 mm'lik ve 200 mm'lik olan plastik boruların yalıtım kalınlığı ile maliyet ilişkisi görülmektedir. Her iki grafikte de dikkat çeken nokta yalıtım yapılmaya başlandığı andan itibaren maliyetin hızlı artışıdır. Bunun sebebi plastik boruların ısı iletim katsayısının çok düşük oluşu ve boru üretim özelliğinden kaynaklı borunun yalıtımlı gibi davranmasıdır. Sonuç olarak plastik borularda boru çapına bakılmaksızın yalıtım yapılması maliyeti artıracığı için yalıtım tavsiye edilmez.



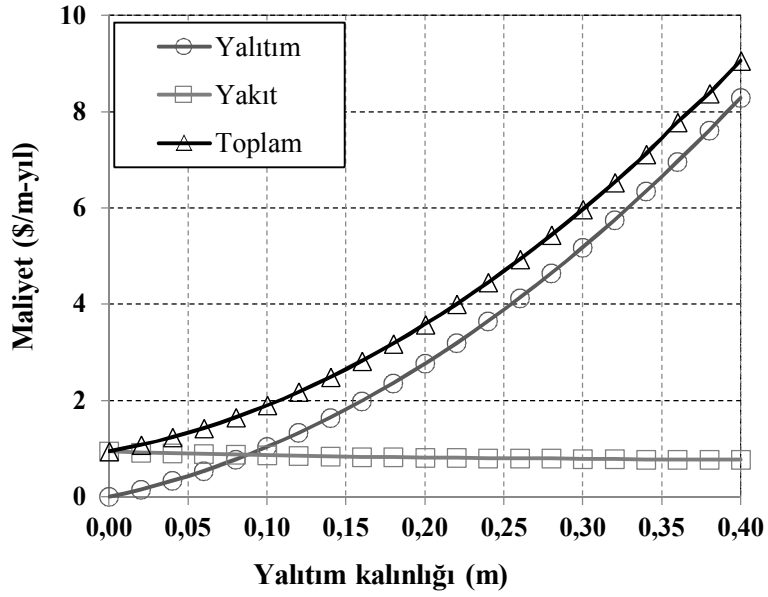
Şekil 6.1 Çelik borularda 50 mm'lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür).



Şekil 6.2 Çelik borularda 800 mm'lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür).



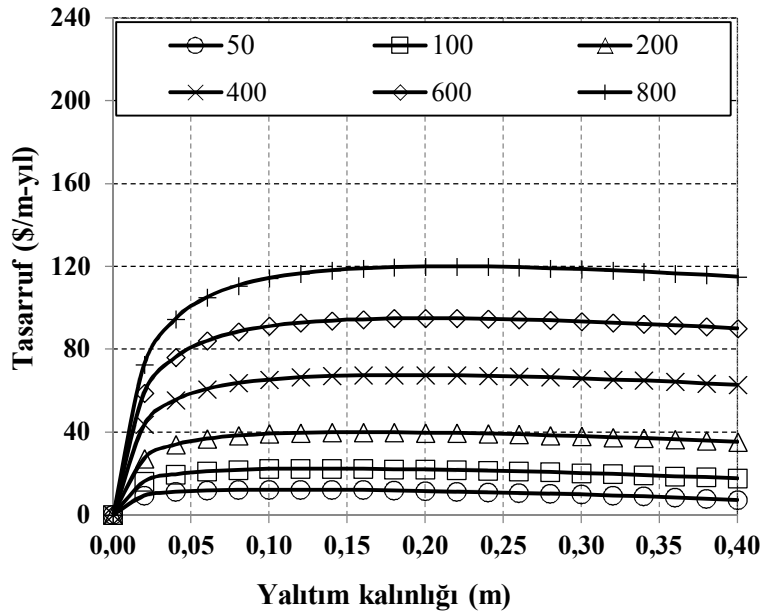
Şekil 6.3 Plastik borularda 50 mm'lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür).



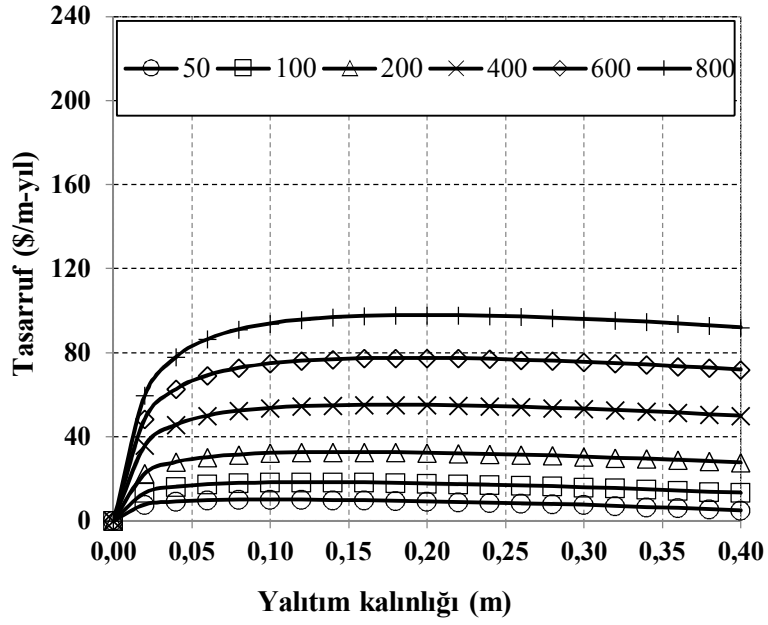
Şekil 6.4 Plastik borularda 200 mm'lik boru çapı için yalıtım kalınlığı ile maliyetin değişimi (taş yünü, kömür).

Çelik borularda yalıtım uygulanan boru çapları ile enerji tasarrufu değişim grafiği Şekil 6.5'te görülmektedir. Uygulanan yalıtım malzemesi taş yünü, yakıt ise kömürdür. Çelik borular için çap arttıkça enerji tasarrufu miktarı da artmakta olup, küçük çaplı borulara göre büyük çaplı borularda yapılan yalıtım daha çok enerji tasarrufu yapılabileceğini göstermektedir. Şekil 5'den görüleceği üzere büyük çaplı borularda aynı miktarda enerji tasarrufu elde edilmektedir. Yani büyük çaplı çelik boruların tümünde aynı yalıtım kalınlığı kullanılabilir.

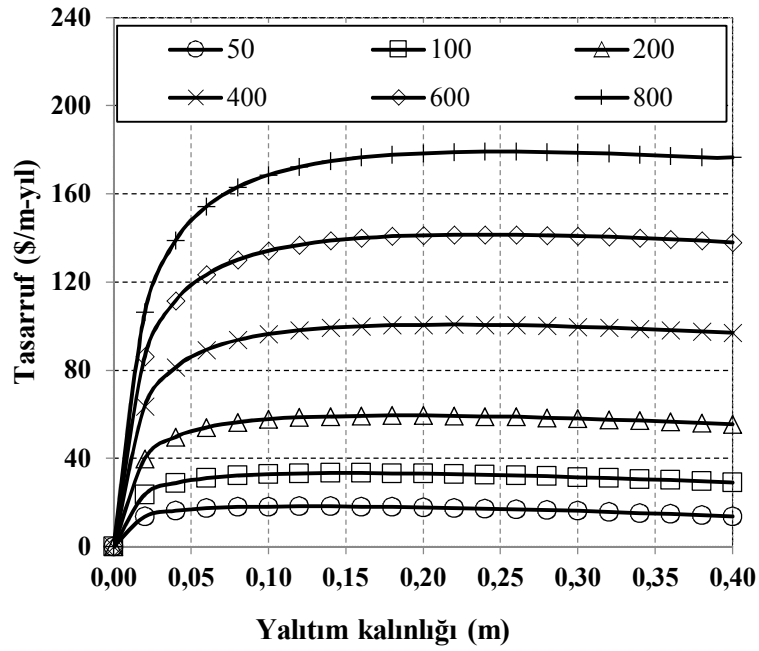
Şekil 6.6'da bir önceki grafikten farklı olarak yakıt doğalgaz olarak ele alınmış ve incelemeler sonucunda kömüre göre doğalgaz yalıtım maliyeti de yıllık tasarruf miktarı da daha düşüktür. Şekil 6.7'de yakıt olarak fuel-oil kullanılmış olup, çelik borularda yalıtım kalınlığı enerji tasarrufu değişimlerinde kömür ve doğalgaza göre en fazla tasarruf bu grafikte görülmektedir. Dolayısıyla yüksek maliyetli yakıt kullanıldığında enerji tasarrufu daha da önemli bir hal almaktadır.



Şekil 6.5 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, kömür).



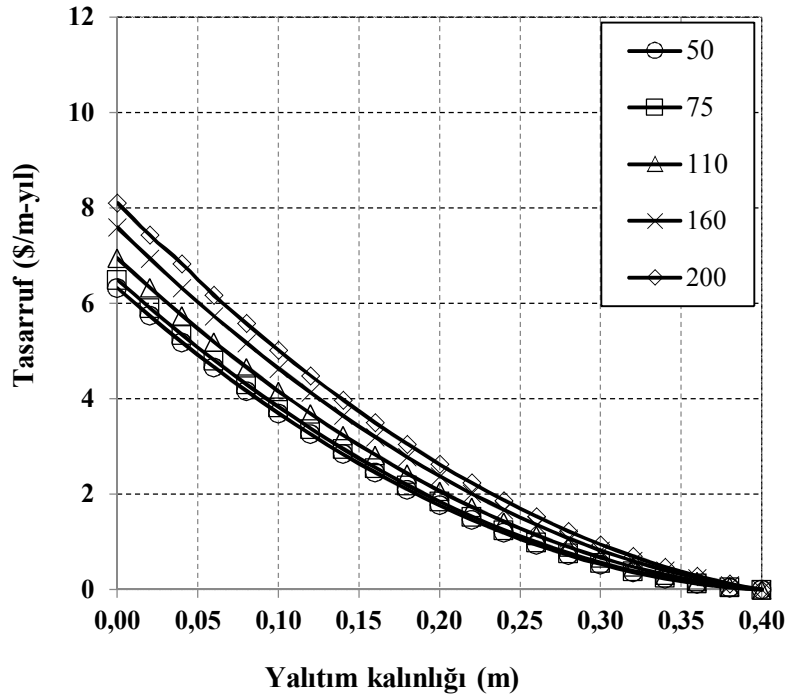
Şekil 6.6 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, doğalgaz).



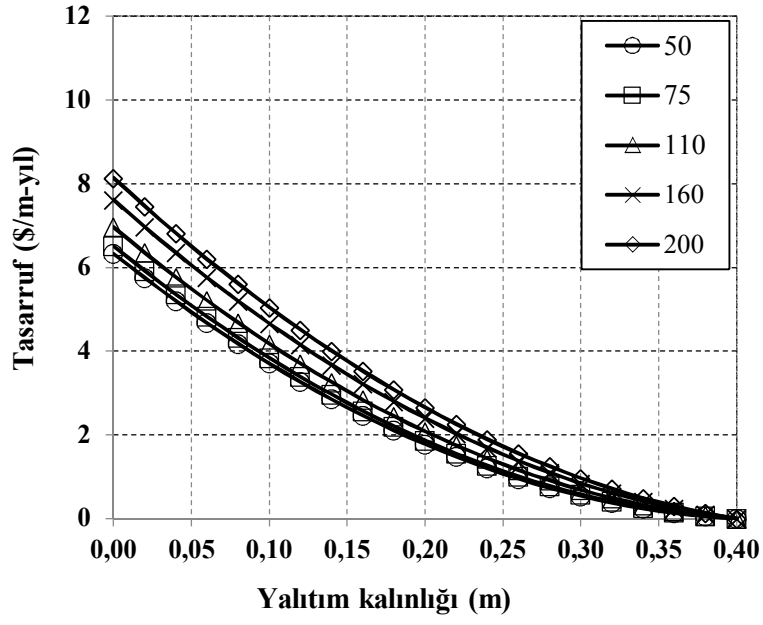
Şekil 6.7 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, fuel-oil).

Plastik borularda çalışılan boru çapları üzerinden yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu grafikleri sırasıyla Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmiştir. Şekil 6.8'de yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Şekil 6.9'da yakıt olarak doğalgaz, Şekil 6.10'da ise fuel-oil kullanılmıştır.

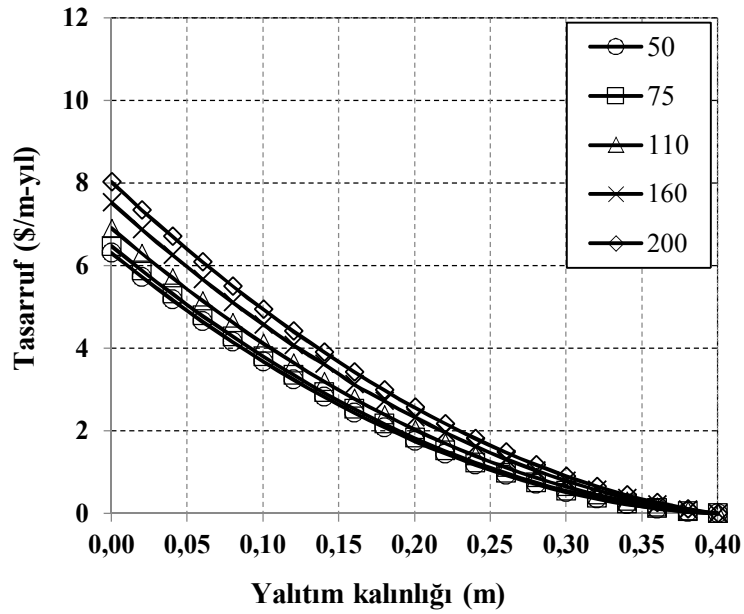
Grafiklerden anlaşılacağı üzere plastik boru yalıtımında hangi yakıt türü kullanılırsa kullanılsın yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu üzerinde bir değişim söz konusu değildir. Diğer bir değişle boruda taşınan su maliyetlerinin, yalıtım kullanılmaması durumunda maliyetlerin üzerine, yalıtım maliyetlerinde enerji tasarrufu oluşturmamaktadır. Plastik borularda boru çapı arttıkça enerji tasarrufu yapmak zorlaşmaktadır.



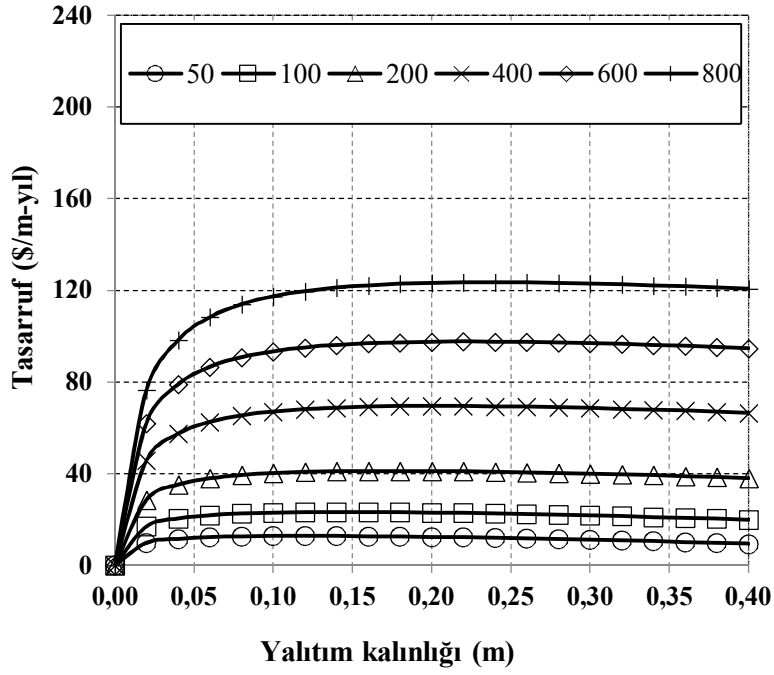
Şekil 6.8 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, kömür).



Şekil 6.9 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, doğalgaz).

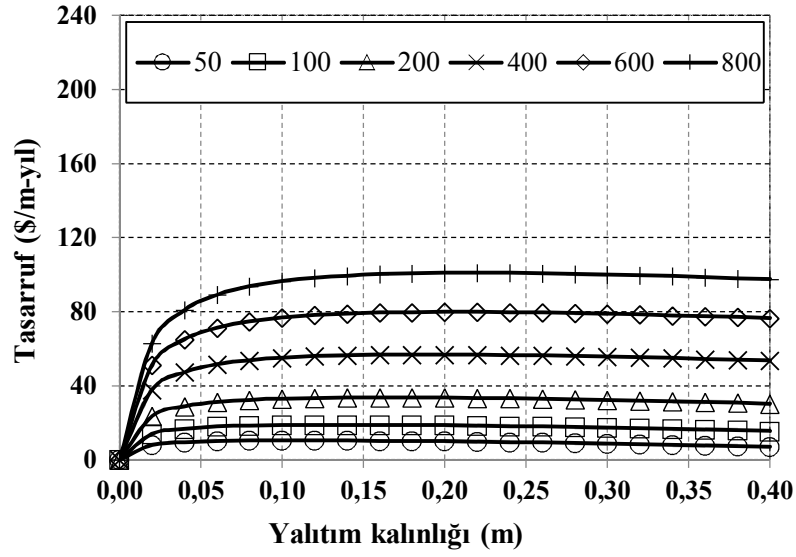


Şekil 6.10 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, fuel-oil).



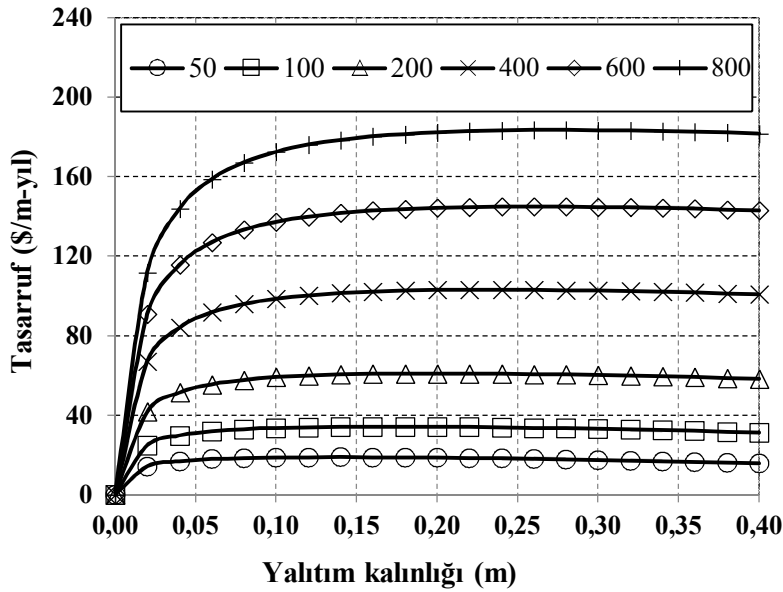
Şekil 6.11 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, kömür).

Yukarıdaki grafikte çelik borularda 50-800 mm'lik boru çapları arasında, yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılarak yapılan yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu incelenmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı; 50 mm'lik boru için 7,649cm, 100 mm'lik boru için 9,116 cm, 200 mm'lik boru için 10,598 cm, 400 mm'lik boru için 11,882 cm, 600 mm'lik boru için 12,610 cm, 800 mm'lik boru için 13,046 cm'dir. Değerlerden görüldüğü üzere boru çapı arttıkça uygulanan yalıtım kalınlığı artmaktadır. Enerji Tasarruf değerleri incelendiğinde önemli miktarda tasarruf edildiği görülmektedir. Bu değerler ayrıntılı olarak Çizelge 6.1'de verilmiştir.



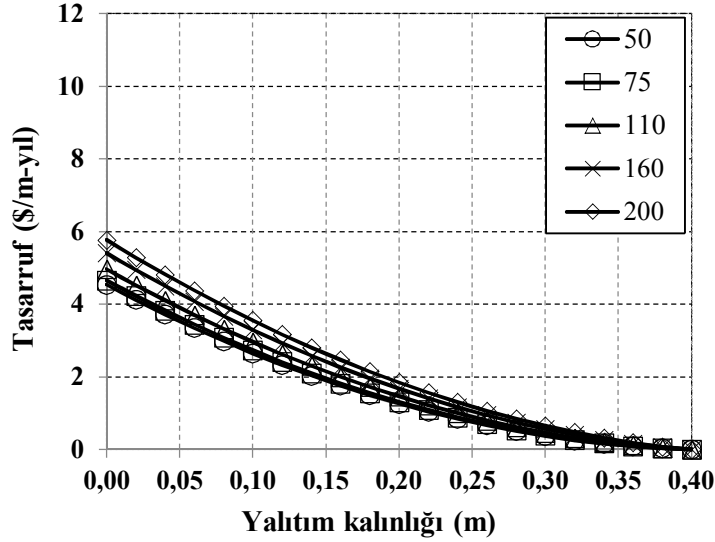
Şekil 6.12 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, doğalgaz).

Şekil 6.12'de Çelik borularda 50-800 mm'lik boru çapları için yalıtım malzemesi EPS, yakıt malzemesi doğalgaz iken yapılan enerji tasarrufu, Şekil 6.11'de yakıt kömür olarak seçildiğinde görülen enerji tasarrufundan daha düşüktür. Fakat kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı doğalgaza göre daha yüksek olduğundan daha fazla yalıtım malzemesi kullanılır.



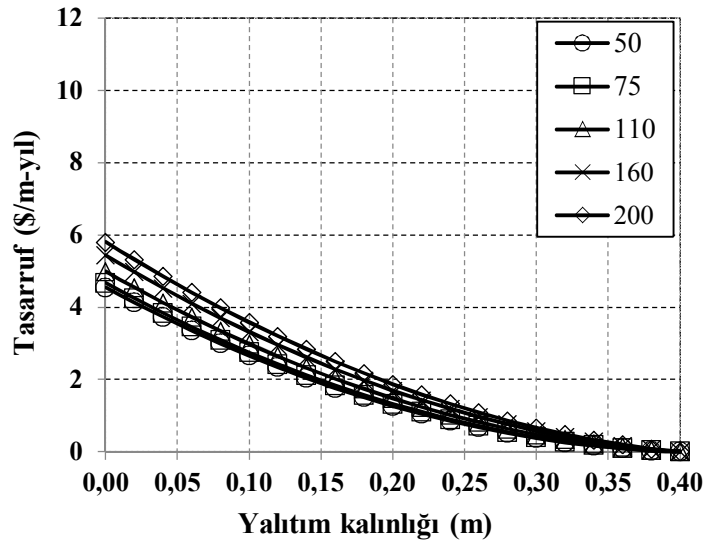
Şekil 6.13 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, fuel-oil).

Şekil 6.13 'te yakıt olarak fue-oil kullanılmıştır. Kömür ve doğalgaz ile elde edilen sonuçlarla bu grafikte görülen veriler kıyaslandığında, tasarruf diğerlerinden daha yüksek, fakat yalıtım malzeme miktarı en çoktur.

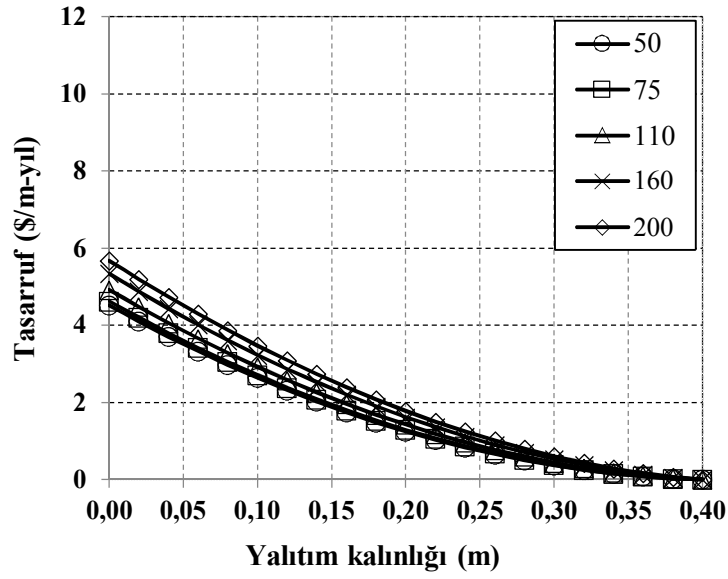


Şekil 6.14 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, kömür).

Şekil 6.14'te plastik borularda 50-200 mm arası boru çaplarında yalıtım malzemesi EPS, yakıt olarak kömür kullanılarak yapılan çalışmada, yalıtım kalınlığı artmasına rağmen enerji tasarrufunun düştüğü gözlenmektedir.

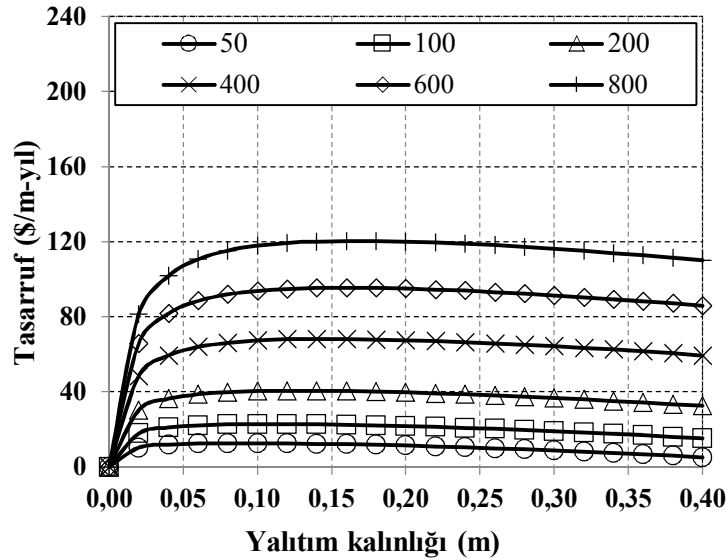


Şekil 6.15 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, doğalgaz).

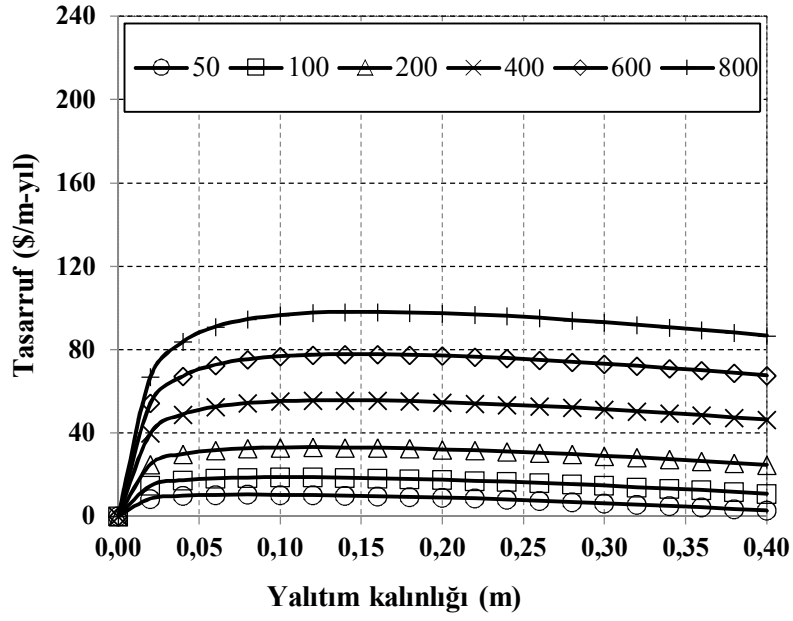


Şekil 6.16 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, fuel-oil).

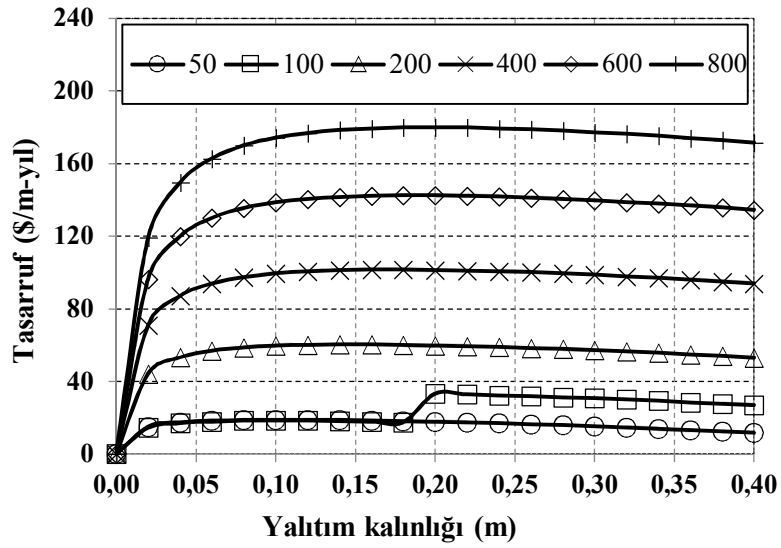
Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da sırasıyla yakıtlar doğalgaz ve fuel-oil alınarak yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu ilişkisine aynı boru çapları aralığında, EPS yalıtım malzemesi kullanılarak bakıldığında yine yalıtım kalınlığı artması ile tasarrufun düşmesidir. Düşüşün genel sebebi ise plastik borularda ısı iletim katsayısının düşüklüğüdür.



Şekil 6.17 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, kömür).



Şekil 6.18 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, doğalgaz).

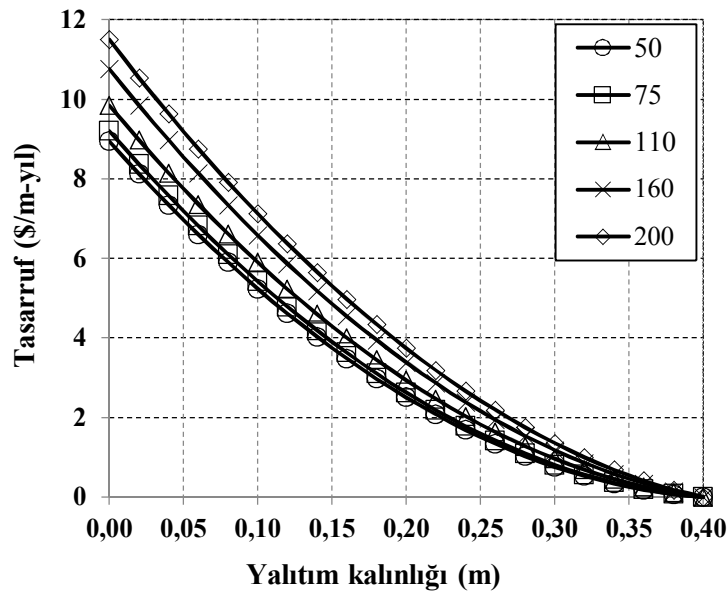


Şekil 6.19 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, fuel-oil).

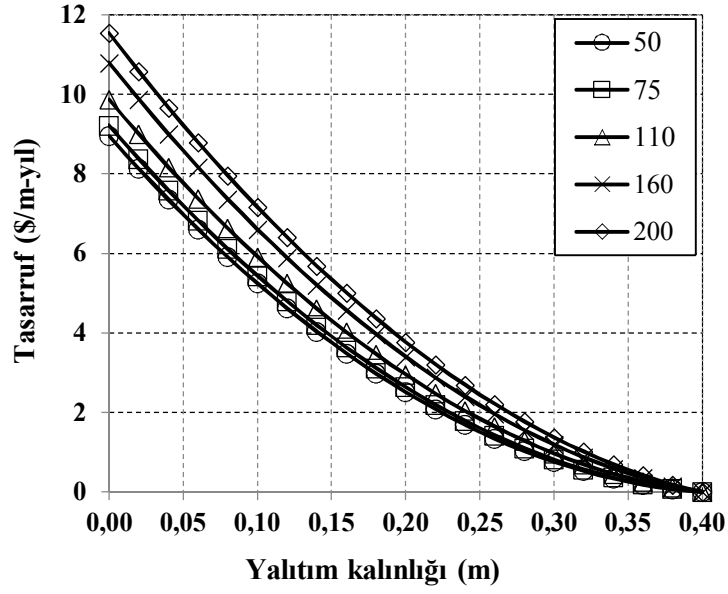
Grafiklerde ilk olarak çelik borular için yakıt kömür, yalıtım malzemesi XPS alınarak 50-800 mm'lik boru çapları için yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu incelenmiştir. Önceki grafiklere bakıldığında XPS malzemesi ile hangi yakıt tipi seçilirse seçilsin optimum yalıtım kalınlığı düşüktür. Yalıtım için harcanan maliyet diğer malzemelere göre daha

düşüktür. Optimum yalıtım farklılıkları, 50 mm'lik boru çapı için 5,643 cm, 100 mm'lik boru çapı için 6,645 mm, 200 mm'lik boru çapı için 7,493 mm, 400 mm'lik boru çapı için 8,135 mm, 600 mm'lik boru çapı için 8,520 mm, 800 mm'lik boru çapı için 8,732 mm'dir. XPS yalıtım malzemesi ve doğalgaz yakıtı için elde edilen değerler grafikte incelendiğinde kömür yakıtına göre daha az yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları; 50 mm'lik boru çapı için 5.175 cm, 100 mm'lik boru çapı için 5.917 cm, 200 mm'lik boru çapı için 6,746 cm, 400 mm'lik boru çapı için 7,388 cm, 600 mm'lik boru çapı için 7.712 cm ve 800 mm'lik boru çapı için 7.885 cm'dir. Grafiğe bakıldığında sabit değerler üzerinden devam eden değerler daha sonra tekrar azalmaktadır. Bunun sebebi ise yalıtım kalınlığının artması belli bir değerden sonra sadece maliyeti artırmaktadır.

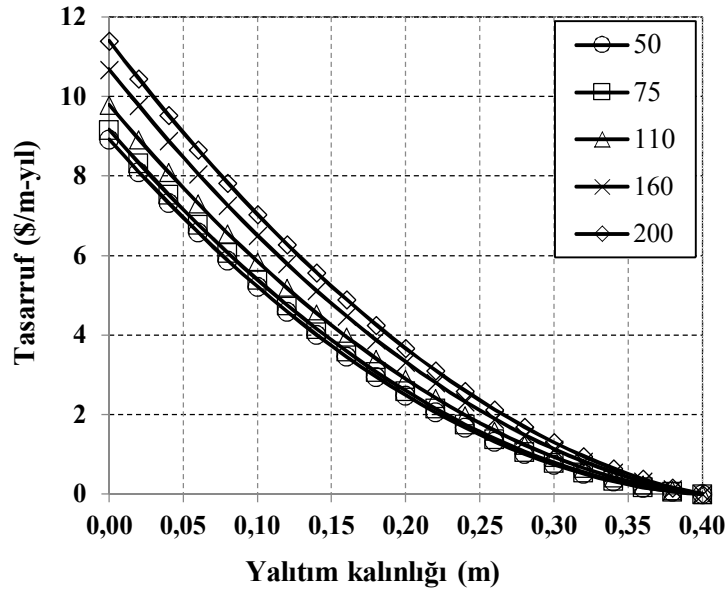
XPS yalıtım malzemesi, fuel-oil yakıt kullanılarak elde edilen değerler Şekil 6.19'da verilmiştir. Fuel-oil yakıt kullanıldığında tasarrufun arttığı görülmektedir. Boru çapları arttığında bu artış daha belirgin hale gelmiştir. 50 mm'lik boru çapı için 6,676 cm, 100 mm'lik boru çapı için 8,112 cm, 200 mm'lik boru çapı için 9,024 cm, 400 mm'lik boru çapı için 9,793 cm, 600 mm'lik boru çapı için 10,320 cm, 800 mm'lik boru çapı için 10,625 cm'dir. Sonuç olarak tasarruf yüksek olduğu halde yalıtım için harcanan maliyet fazladır.



Şekil 6.20 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, kömür).



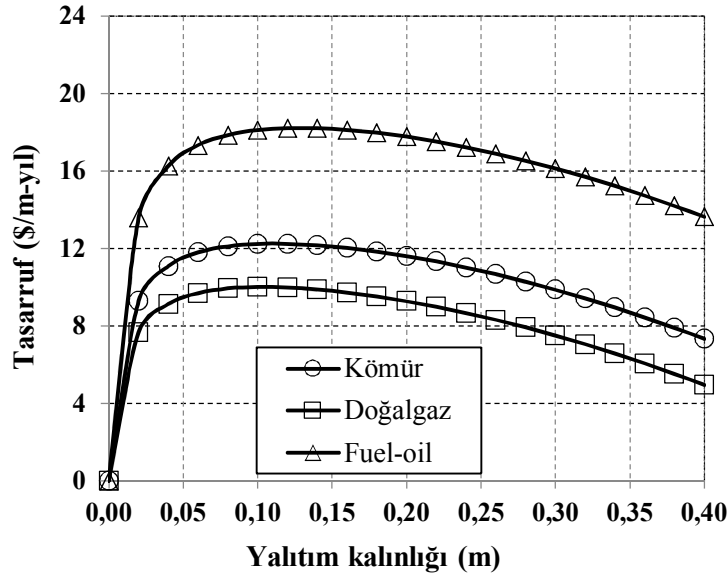
Şekil 6.21 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, doğalgaz).



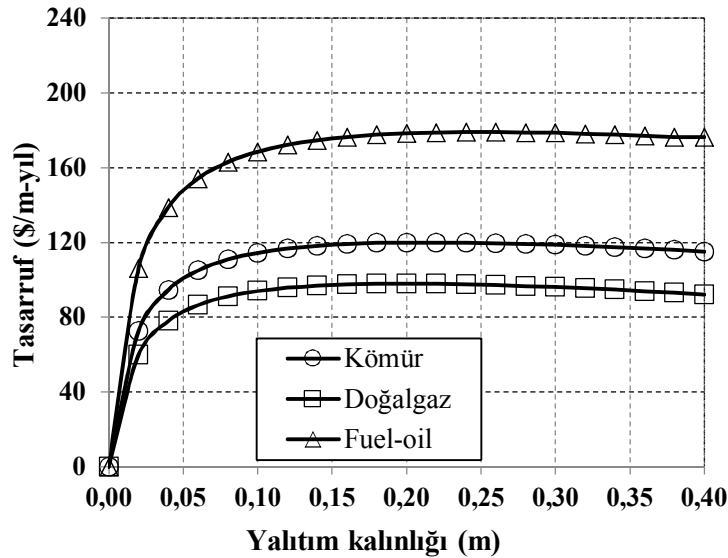
Şekil 6.22 Plastik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, fuel-oil).

Yukarıdaki grafiklerde, plastik boruların 50-200 mm'lik boru çapları için yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu değişimi; Şekil 6.20'de yakıt kömür, Şekil 5.21'de doğalgaz, Şekil 6.22'de fuel-oil, yalıtım malzemesi XPS olarak incelenmiştir. Hangi yakıt tipi seçilirse seçilsin, tasarruf (\$/m-yıl) eksenini malzeme XPS olduğunda 12-8 \$/m-yıl'dır.

Oysaki Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 da aynı inceleme EPS malzemesi üzerinden yapılmış ve tasarruf ekseninin 8-6 \$/m-yıl olduğu görülmüştür. Bunun sebebi XPS malzemesi olup diğer yalıtım malzemelerine göre daha pahalı olması gösterilebilir.



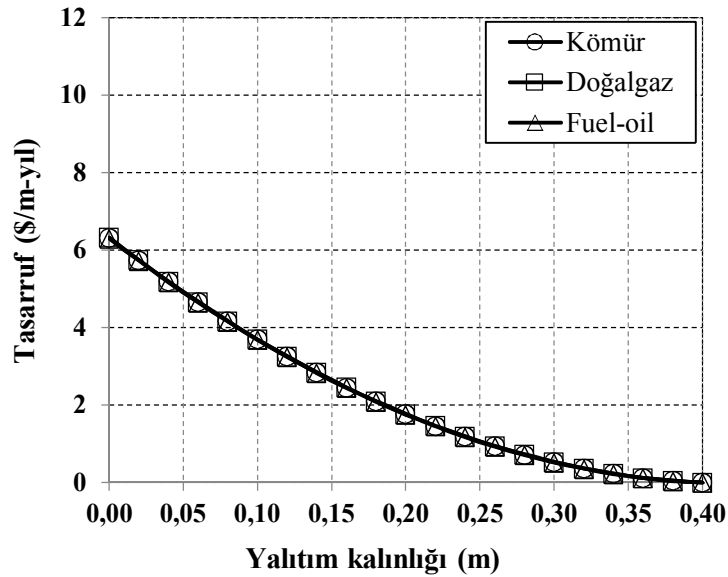
Şekil 6.23 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 50 mm boru çapı).



Şekil 6.24 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 800 mm boru çapı).

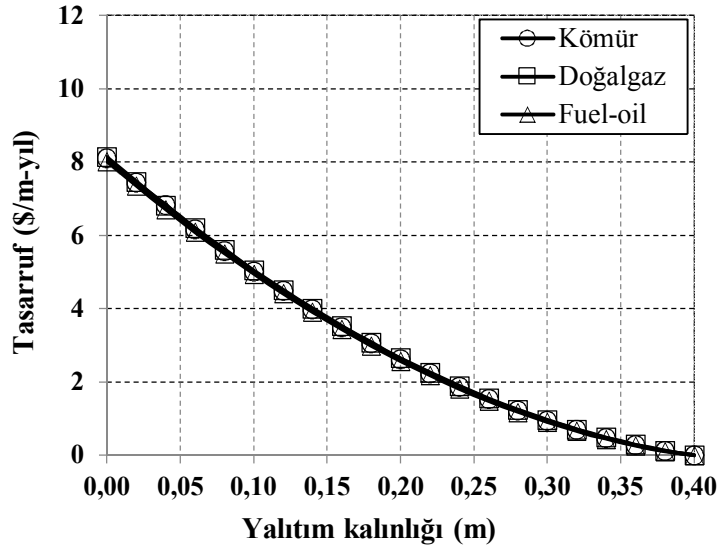
Şekil 6.23'te çelik borularda 50 mm boru çapı için kömür, doğalgaz ve fuel-oil yakıtları için Taş yünü yalıtım malzemesi kullanıldığında enerji tasarrufu değişimi görülmekte olup, enerji tasarrufu en çok fuel-oil, daha sonra kömür en son doğalgazda olduğu görülmektedir. Bunun olma sebebi, birim maliyeti yüksek olan yakıtın enerji tasarrufu da o kadar fazladır.

Yukarıdaki grafiklerde görüldüğü gibi inceleme, çelik borularda çeşitli yakıtlar için 800 mm boru çapı, taş yünü malzemesi ile yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu değişimi üzerinedir. Değerler diğer grafiğe göre daha belirgin bir hal almıştır. Enerji tasarrufu, yalıtım kalınlığı arttıkça artmakta fakat belli bir değer sonra sabitlemektedir. Bunun sebebi yakıt ne olursa olsun optimum yalıtım kalınlığının üzerinde yalıtım yapılmaya devam edilmesi tasarrufu artırmaz.



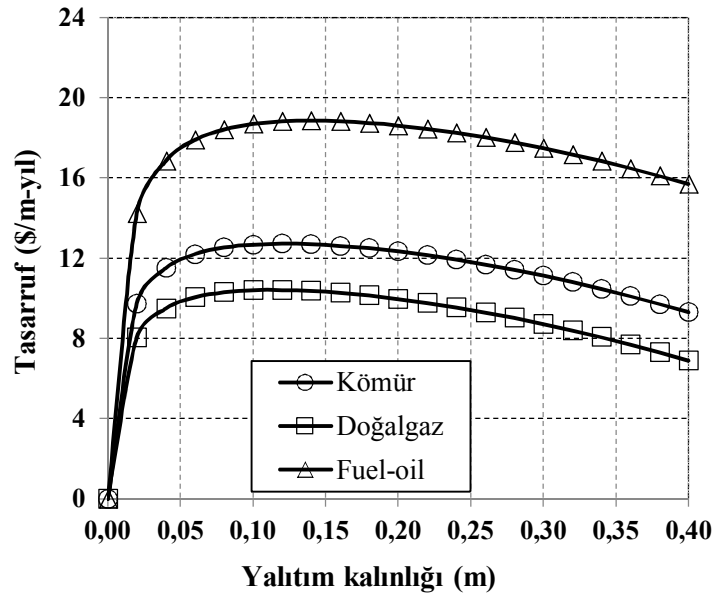
Şekil 6.25 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 50 mm boru çapı).

Plastik borularda 50 mm boru çapında çeşitli yakıtlarda yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu Şekil 6.25'te verilmiştir. Tüm yakıtlar için enerji tasarrufunun aynı değerler verdiği ve yalıtım kalınlığı arttıkça git gide düştüğü izlenmektedir.



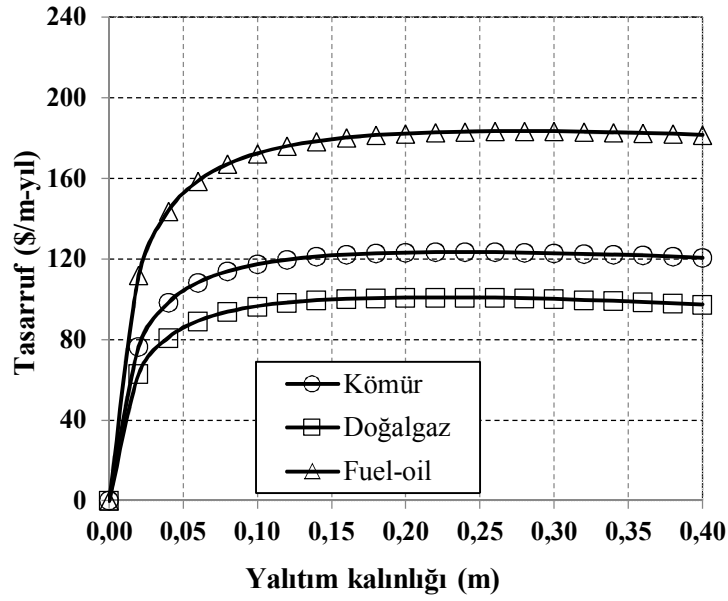
Şekil 6.26 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü, 200 mm boru çapı).

Şekil 6.26’da plastik borularda fuel-oil, doğalgaz ve kömür yakıtlarına göre taş yünü malzemesi ile tasarruf yalıtım kalınlığı değişimi incelenmiştir. Boru çapı 50 mm’den (Şekil 6.25), 200 mm’ye çıkması halinde yalıtım kalınlığı artsa da tasarruf edilememektedir. Boru çapı arttıkça maliyette artacağından tasarruf edilemez.



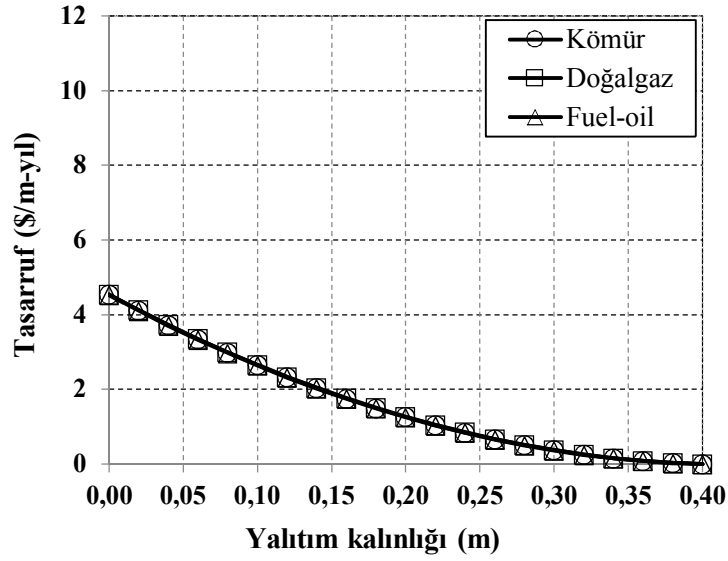
Şekil 6.27 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 50 mm boru çapı).

Şekil 6.27’de 50 mm’lik çelik boru çapı için çeşitli yakıtlar ile EPS malzemesinin yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu değişim grafiği verilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça, enerji tasarrufu yakıtlara göre değişim göstermekte olup, sırasıyla fuel-oil, kömür ve doğalgaz optimum kalınlıktan sonra belli bir değere kadar sabitleyip daha sonra düşüş göstermektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça tasarruf düşüş göstermektedir. Şekil 23’te taş yünü malzemesi kullanılarak en fazla tasarrufun fuel-oil yakıtında yapıldığına değinilmişti. Malzeme EPS olduğunda da aynı durum değişmemektedir.



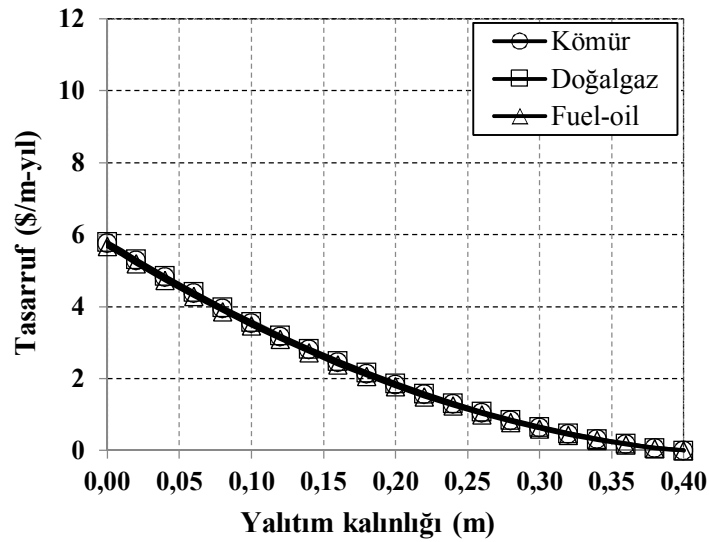
Şekil 6.28 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 800 mm boru çapı).

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi 800 mm’lik çelik borularda EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında boru çapı arttıkça yalıtımdan elde edilen karlılık artmış, önceki grafiklerden de görüldüğü üzere en az tasarruf doğalgaz yakıtında görülmektedir.



Şekil 6.29 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 50 mm boru çapı).

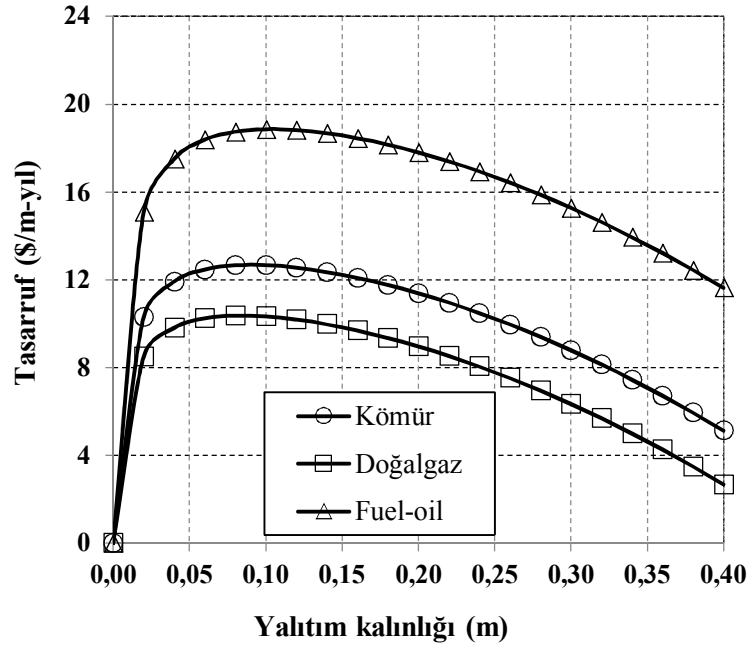
Şekil 6.29’da EPS yalıtım malzemesi ile 50 mm ‘lik plastik boru çapında çeşitli yakıtlar için tasarruf grafiği incelendiğinde yakıtlarda değişiklik yapılsa da, yalıtım kalınlığı artsa da tasarruf olmadığı görülmektedir.



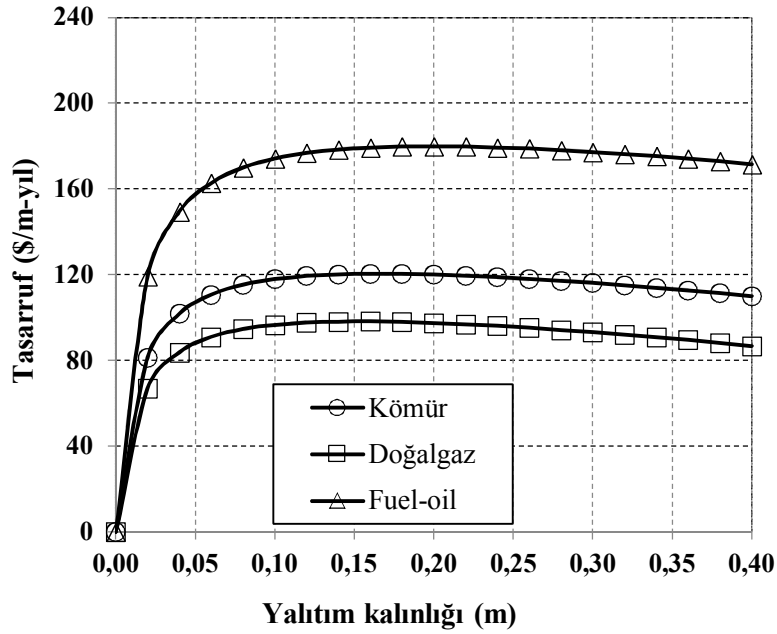
Şekil 6.30 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS, 200 mm boru çapı).

200mm’lik plastik boru çapında EPS malzemesi kullanılarak elde edilen yukarıdaki grafikte tüm yakıtlarda aynı ve daha uzun zamanda düşüş gerçekleşmiştir. Yalıtım

kalınlığı arttıkça enerji tasarrufunun olmadığı daha kısa zamanda daha belirgin bir görünüme kavuşmuştur.



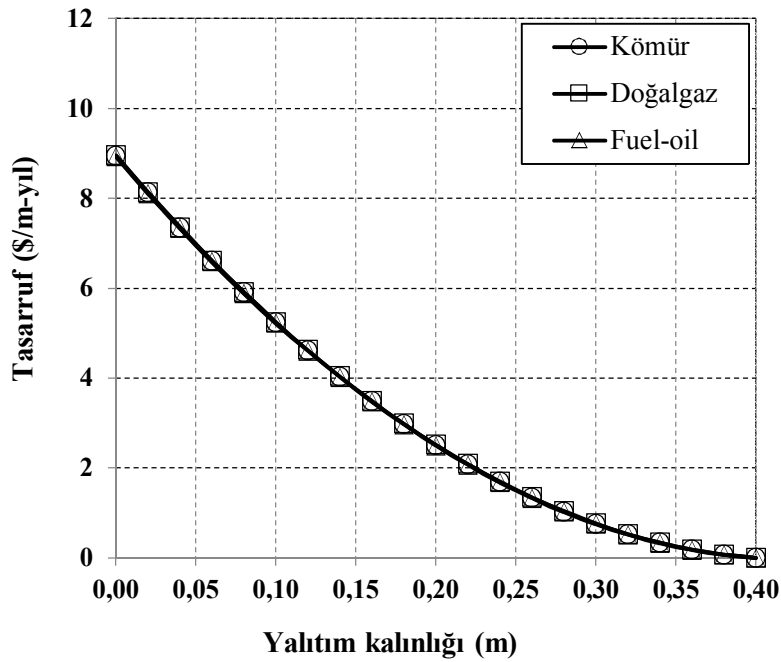
Şekil 6.31 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 50 mm boru çapı).



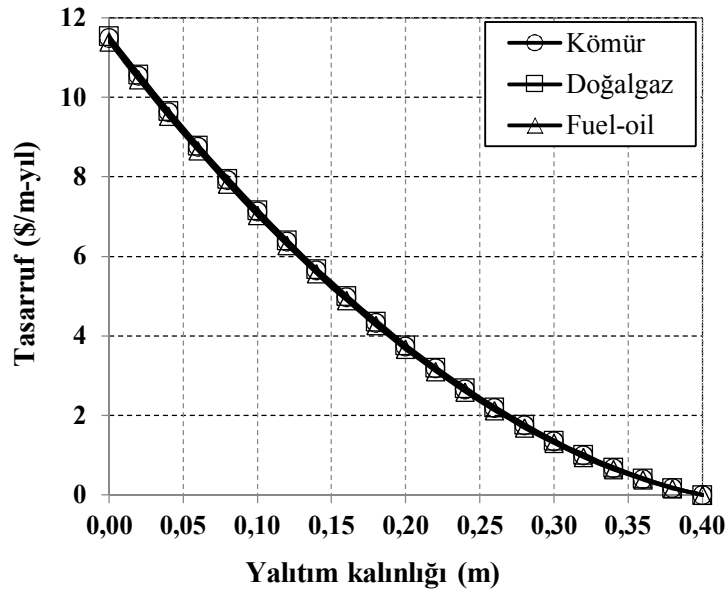
Şekil 6.32 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 800 mm boru çapı).

Çelik borularda çeşitli yakıtlar için 50 mm'lik boru çapı için Şekil 6.31'e bakılacak olursa XPS yalıtım malzemesi için kömür yakıtı 5,643 cm optimum yalıtım kalınlığı gerekliliğini göstermektedir. Bu değerle yalıtım yapıldığında 11,154 \$/m-yıl tasarruf miktarı görülmektedir. Doğalgaz yakıtı için 5,175 cm optimum yalıtım kalınlığı gerekmekte olup, tasarruf 9,043 \$/m-yıl olduğu izlenmektedir. Fuel-oil yakıtı içinse optimum yalıtım kalınlığı 6,676 cm, toplam tasarruf ise 16,847 \$/m-yıl'dır.

Şekil 6.32'de 800 mm boru çapı için enerji tasarrufu incelenmiş, XPS yalıtım malzemesi için kömür yakıt olarak alındığında 8,732 cm yalıtım kalınlığı, 111,759 \$/m-yıl tasarruf yapılmıştır. Doğalgaz yakıtı için optimum yalıtım kalınlığı 7,885 cm, 117,457 \$/m-yıl tasarruf yapılmıştır. Fuel-oil yakıtı için optimum yalıtım kalınlığı 10,625 cm, 195,177 \$/m-yıl tasarruf izlenmiştir.

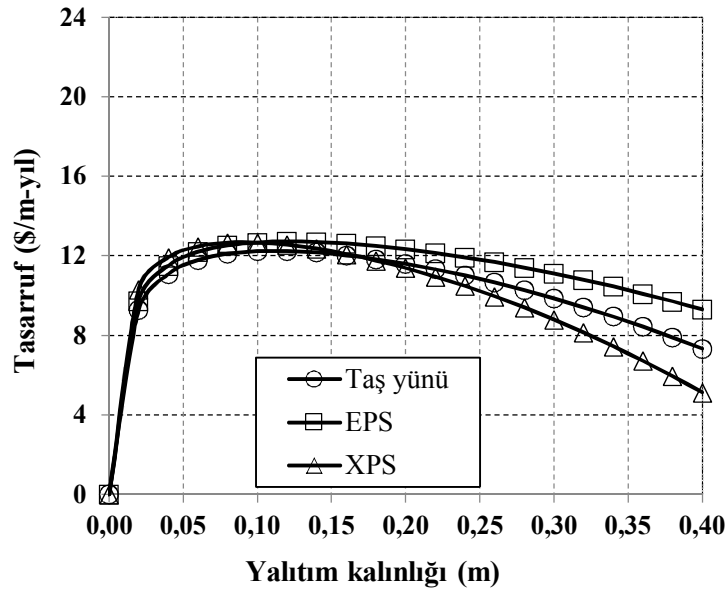


Şekil 6.33 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 50 mm boru çapı).



Şekil 6.34 Plastik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS, 200 mm boru çapı).

Plastik borularda, XPS yalıtım malzemesi, 50 mm ve 200 mm boru çapı için Şekil 6.33 ve Şekil 6.34 incelendiğinde yalıtım kalınlığı arttıkça tasarruf olmadığı grafiklerde belirgin şekilde görülmektedir.

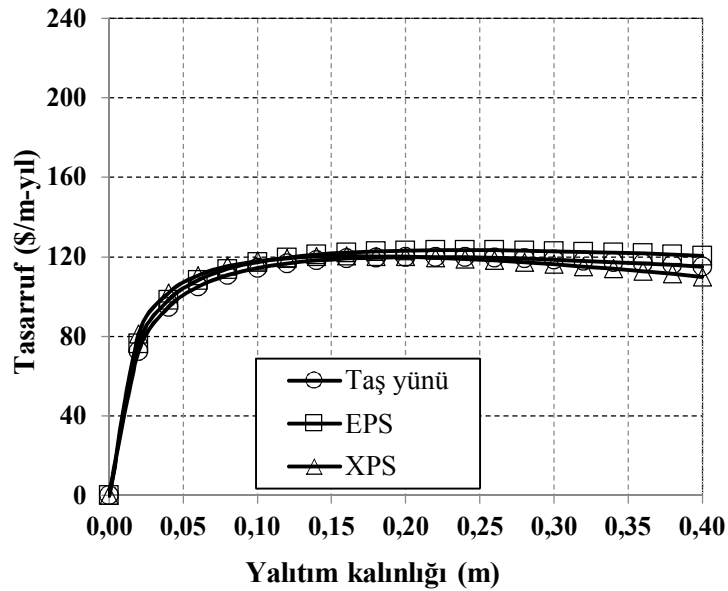


Şekil 6.35 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 50 mm boru çapı).

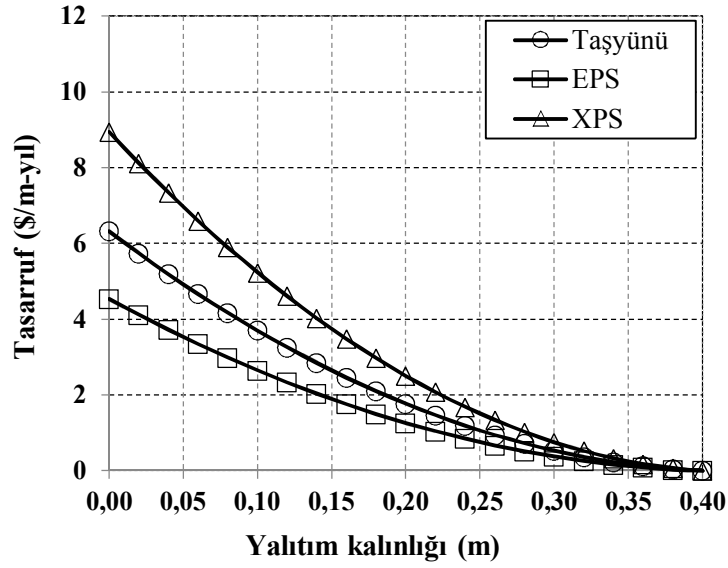
Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri, kömür yakıtı için 50 mm boru çapı incelendiğinde Taş yünü malzemesinin optimum kalınlığı 7,379 cm olduğu tasarrufun ise 10,723 \$/m-yıl olduğu görülmüştür. EPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 7,649 cm, tasarrufun ise 11,394 \$/m-yıl olduğu görülmüştür. XPS malzemesi için ise 5,643 cm optimum yalıtım kalınlığı ve 9,043 \$/m-yıl tasarruf elde edilmiştir. Üç yalıtım malzemesine de bakıldığında en çok tasarrufun EPS malzemesinde olduğu görülmüştür. Fakat EPS malzemesinin optimum yalıtım kalınlığı diğerlerine göre daha yüksektir.

800 mm boru çapı için kömür yakıtı, çelik borularda Taş yünü malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 11,478 cm, tasarruf ise 129,584 \$/m-yıl, EPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 13,046 cm, tasarruf 129,335\$/m-yıl, XPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 8,732 cm, tasarruf 111,759 \$/m-yıl elde edilmiştir.

XPS malzemesi diğer yalıtım malzemelerine göre uygun optimum yalıtım kalınlığına sahiptir. Diğer malzemelerden daha çok tasarruf elde edilen XPS malzemesinin yalıtımında kullanılan malzeme daha azdır. Diğerlerinin toplam maliyeti XPS malzemesine göre daha yüksektir.

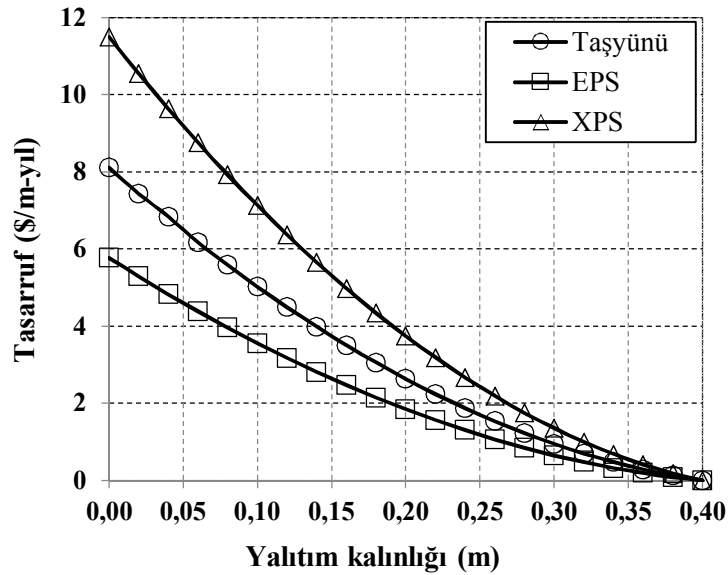


Şekil 6.36 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 800 mm boru çapı).



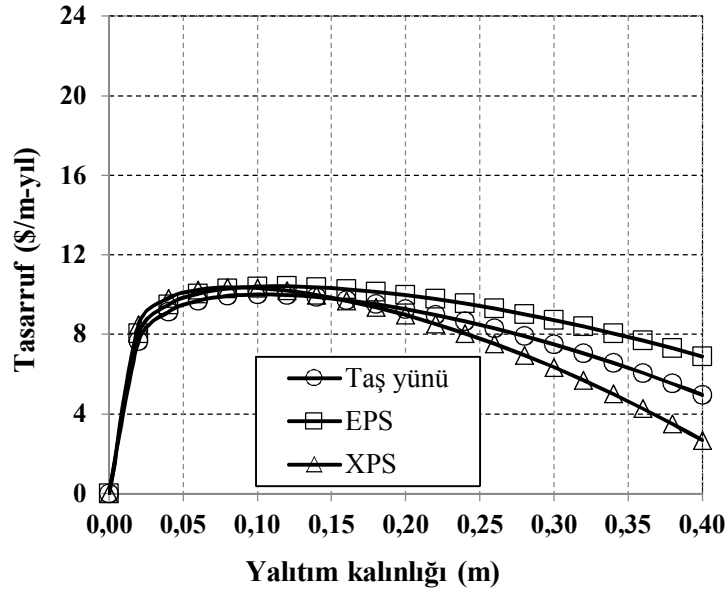
Şekil 6.37 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 50 mm boru çapı).

Şekil 6.37’de 50 mm boru çapı ve kömür yakıtı için yalıtım malzemelerinin tasarruf kıyası yapıldığında plastik boru için tasarruf elde edilmemektedir. Grafikten yalıtım malzemelerinin maliyetleri yorumlanabilir. Tasarruf sütunu incelendiğinde EPS ile XPS yalıtım malzemeleri arasında fark olduğu görülmekte bunun sebebi ise XPS yalıtım malzemesinin diğer malzemelere göre maliyetinin yüksek oluşudur.

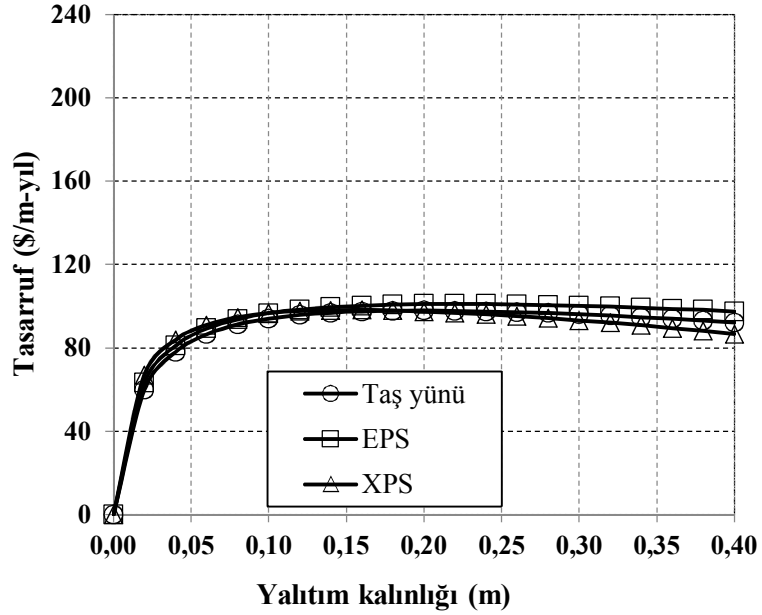


Şekil 6.38 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 200 mm boru çapı).

Şekil 6.38'de 200 mm boru çapı için plastik boruların yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı-enerji tasarrufu incelenmiştir. Şekil 5.37 ile benzer durum söz konusudur.



Şekil 6.39 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 50 mm boru çapı).

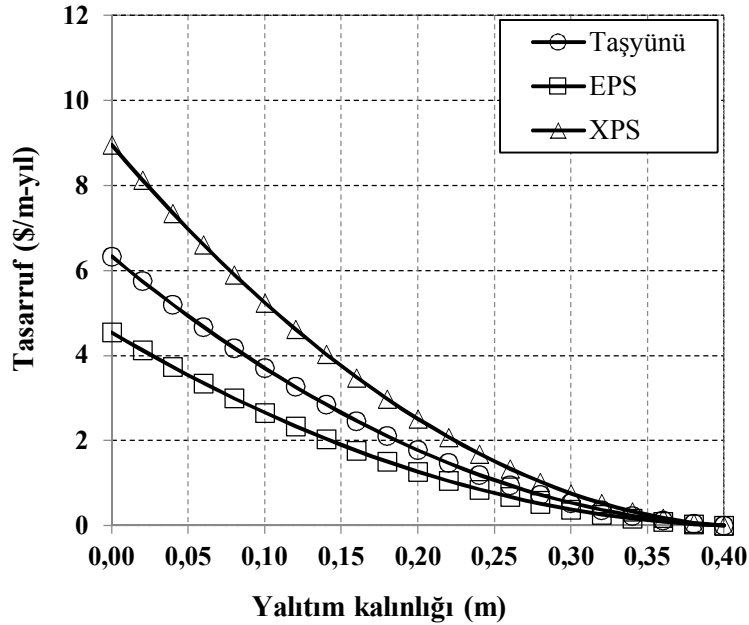


Şekil 6.40 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 800 mm boru çapı).

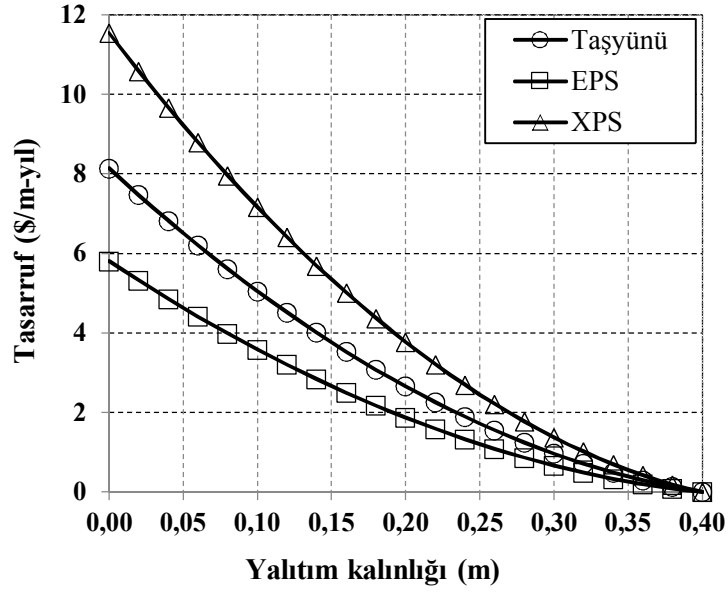
50 mm boru çapı için Şekil 39’da doğalgaz yakıtı kullanıldığında Taş yünü malzemesinin Optimum yalıtım kalınlığı 6,627 cm, tasarruf 8,683 \$/m-yıl’dır. EPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 7,040 cm, tasarruf ise 9,258\$/m-yıl’dır. XPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 5,175cm olup tasarruf 9,043 \$/m-yıl’dır. Elde edilen sonuçlara göre daha düşük boru çaplarında XPS yalıtım malzemesinin daha kullanışlı ve tasarruflu olduğu görülmüştür.

Şekil 6.40’da doğalgaz yakıtı için 800 mm çaplı borularda; Taş yünü malzemesi kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 10,390 cm olup tasarruf 108,644 \$/m-yıl olduğu görülmüştür. EPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 11,852 cm olup tasarruf 107,655 \$/m-yıldır. XPS malzemesi için ise optimum yalıtım kalınlığı 7,885 cm olup tasarruf ise 117,457 \$/m-yıl ‘dır.

Boru çapı arttıkça elde edilen tasarruf artmaktadır. yalıtım için kullanılan malzemeler incelendiğinde XPS malzemesi daha az kullanılarak yalıtım malzemelerinin tasarrufu elde edilir.

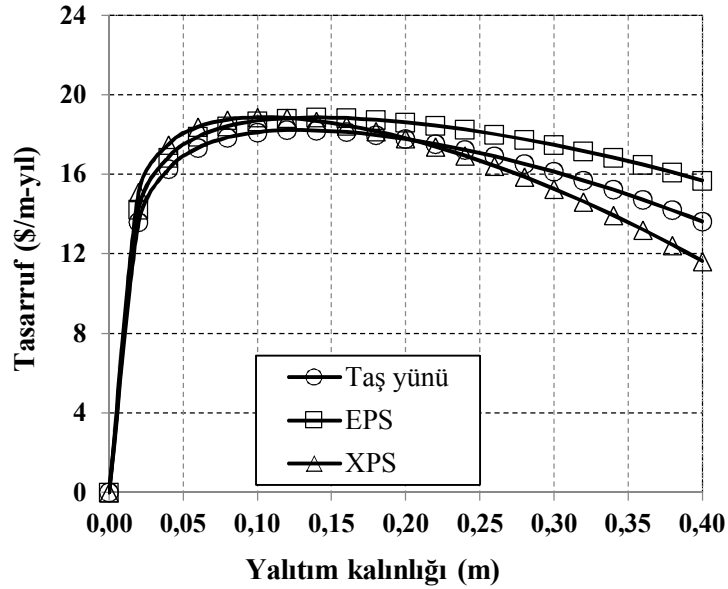


Şekil 6.41 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 50 mm boru çapı).



Şekil 6.42 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz, 200 mm boru çapı).

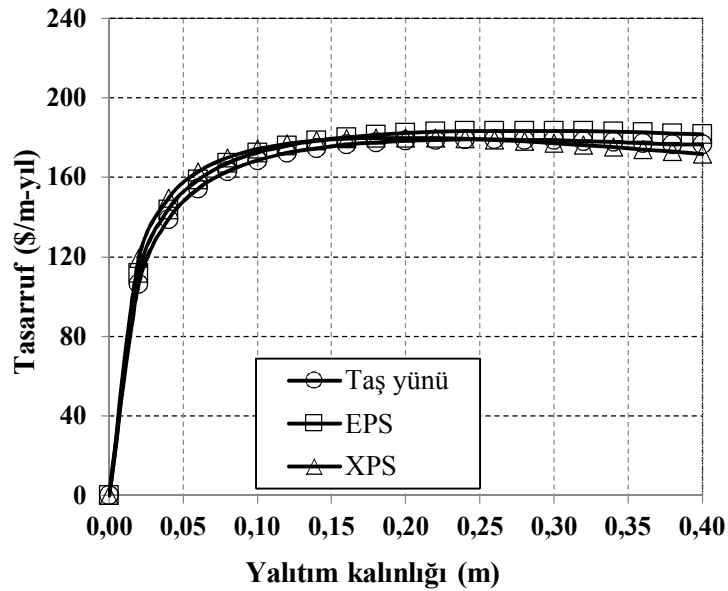
Şekil 6.41 ve Şekil 6.42’de daha önce değinilen Şekil 6.37 ve Şekil 6.38’den farklı olarak yakıt doğalgaz seçilmiştir. Grafiklerden sonuçların değiştiği görülmektedir. Bu sonuç 200 mm plastik boru çapı kullanıldığında (Şekil 42) daha net görülmektedir.



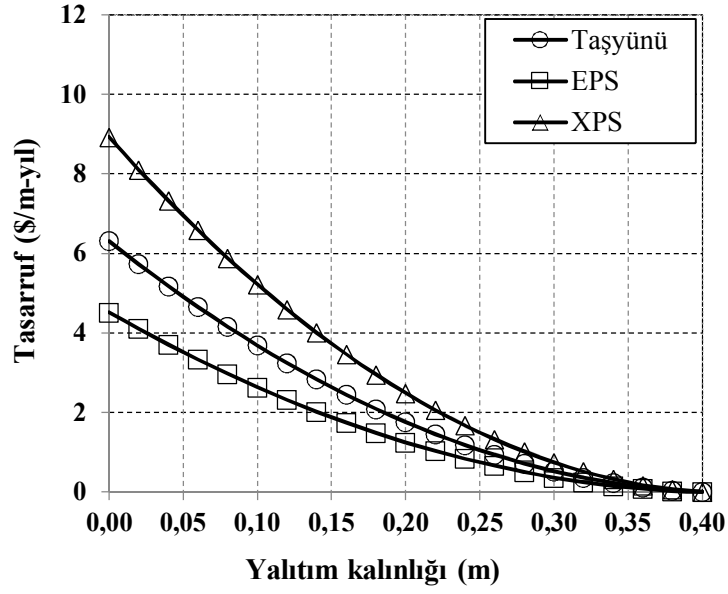
Şekil 6.43 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil, 50 mm boru çapı).

Şekil 6.43'te Fuel-oil yakıtının yalıtım malzemeleri için tasarruf-yalıtım kalınlığı ilişkisi incelenmiştir. 50 mm çelik boru çapı için Taş yünü malzemesi kullanıldığında 8,659 cm optimum yalıtım kalınlığı bulunmuş olup tasarruf 16,231 \$/m-yıl'dır. EPS yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 8,977 cm, tasarruf ise 17,139 \$/m-yıl'dır. XPS yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 6,676 cm, tasarruf ise 16,847 \$/m-yıl'dır. Fuel-oil yakıtı kullanıldığında da XPS yalıtım malzemesi daha az kullanılarak daha iyi tasarruf elde edilmiştir.

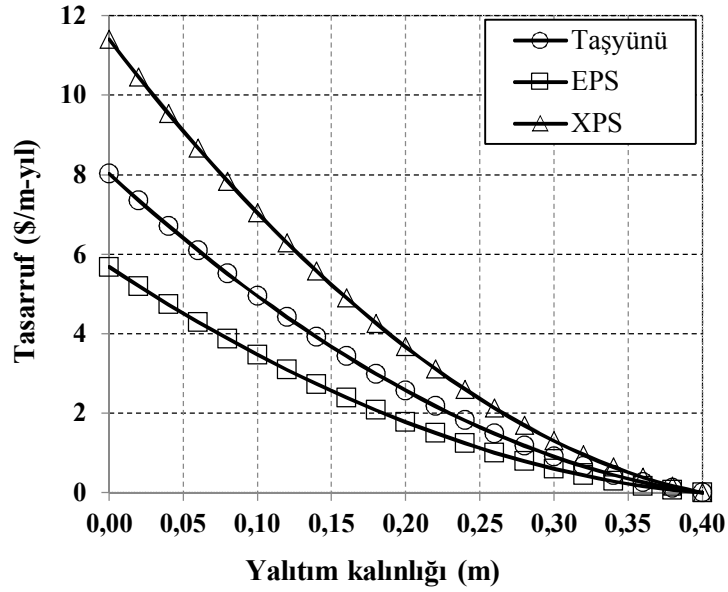
Şekil 6.44'de 800 mm çaplı borular için Fuel-oil yakıtı kullanıldığında Taş yünü malzemesi optimum yalıtım kalınlığı 14,178 cm olup tasarruf 186,137\$/m-yıl'dır. EPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 15,309 cm ve tasarruf ise 187,512\$/m-yıl'dır. XPS malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 10,625 cm ve tasarruf ise 195,177 \$/m-yıl'dır. Boru çapı arttıkça tasarruf miktarı artmıştır. Önceki grafiklerden de görüldüğü gibi XPS malzemesi daha iyi bir yalıtım malzemesi ve tasarruf edilme oranı yüksektir. Diğer bir husus ise fuel-oil yakıtından elde edilen tasarruf daha belirgin ve çoktur. Bundan şu sonuç çıkarılabilir; fuel-oil yakıtı diğer yakıtlardan daha yüksek maliyetlidir.



Şekil 6.44 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil, 800 mm boru çapı).

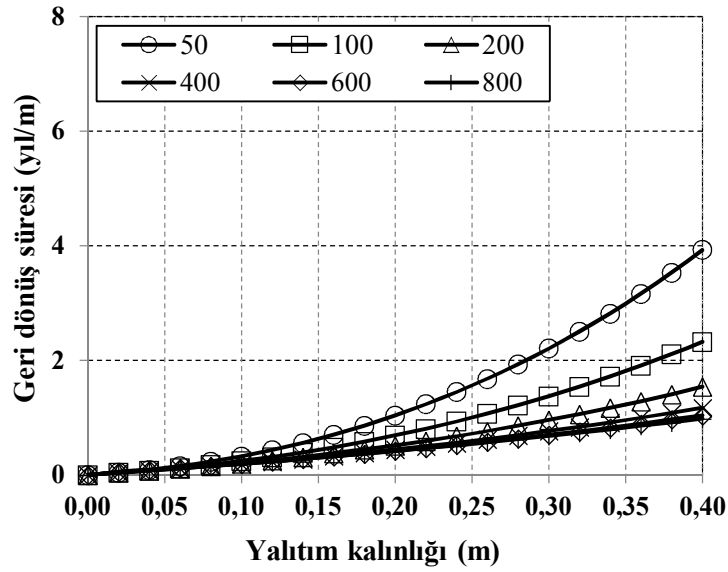


Şekil 6.45 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil, 50 mm boru çapı).



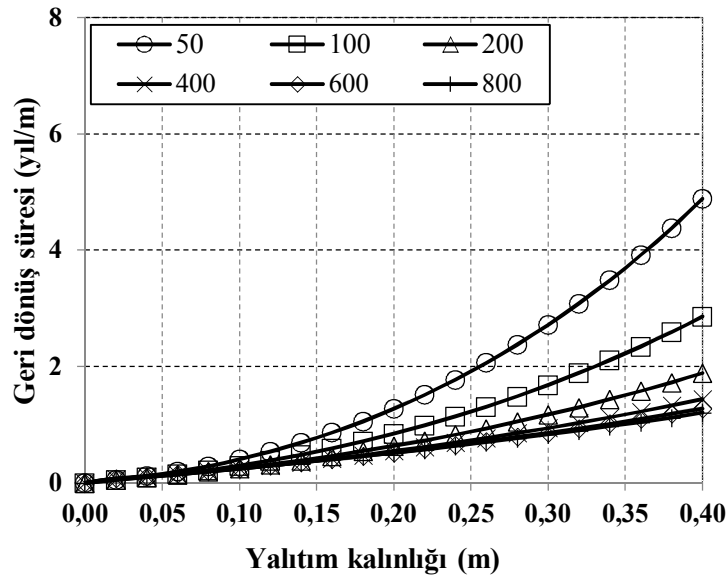
Şekil 6.46 Plastik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil, 200 mm boru çapı).

Şekil 6.45 ve Şekil 6.46 incelendiğinde yakıt fuel-oil seçilmiş 50 mm ve 200 mm plastik boru çapları inceleme yapılmıştır. Yakıt türü değişmiş olsa da plastik borular için çıkan sonucun değişmediği görülmektedir.



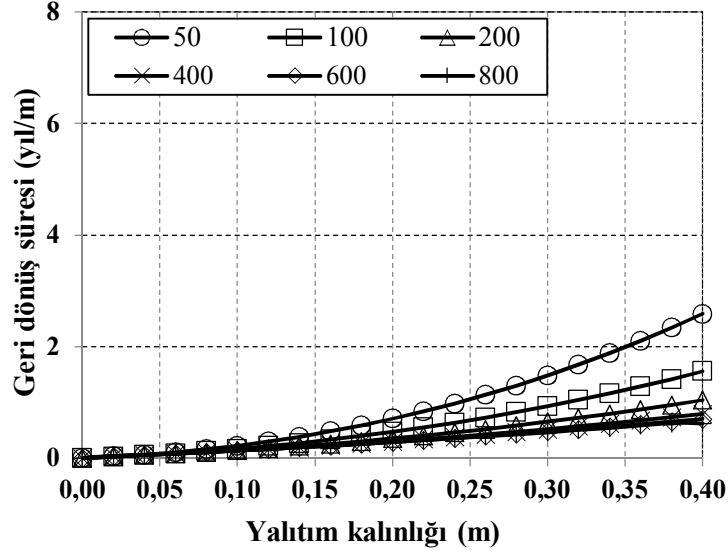
Şekil 6.47 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (tas yünü, kömür).

Şekil 6.47'deki grafik incelendiğinde çeşitli boru çapları için (50, 100, 200, 400, 600, 800 mm) yapılan yalıtım miktarı arttıkça geri dönüş süreleri incelenmiştir. Yalıtım malzemesi Taş yünü ve yakıt kömür seçilmiştir. Düşük çaplı borularda daha uzun geri dönüş süresi olduğu görülmektedir. Boru çapı arttıkça geri dönüş süreleri daha az zaman almaktadır.

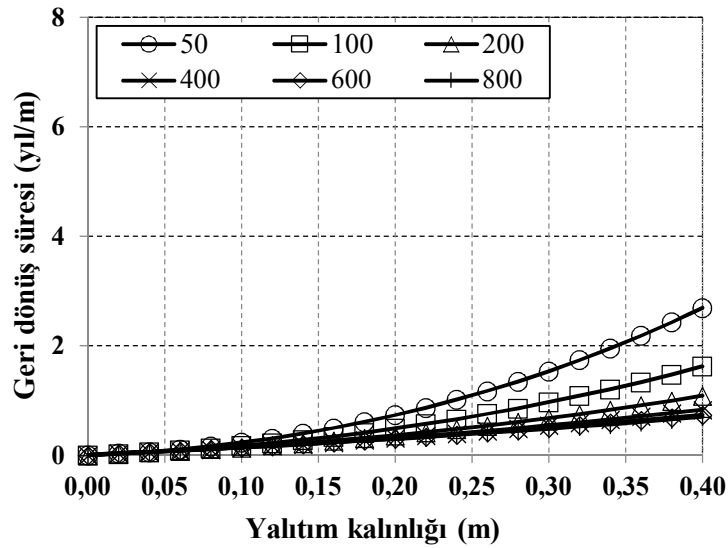


Şekil 6.48 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, doğalgaz).

Şekil 6.48’de çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı-geri dönüş süresi incelenmiştir. Taş yünü yalıtım malzemesi için doğalgaz yakıtı tercih edildiğinde yalıtım kalınlığının 0,15 m değerinden sonra eğimlerin farklılaştığı görülmektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süreleri de artmaktadır. Küçük çaplı borularda geri dönüş daha uzun iken büyük çaplı borularda bu durum tam tersidir. Elde edilen sonuç büyük çaplı borularda daha fazla ve daha kısa zamanda tasarruf edildiğidir.



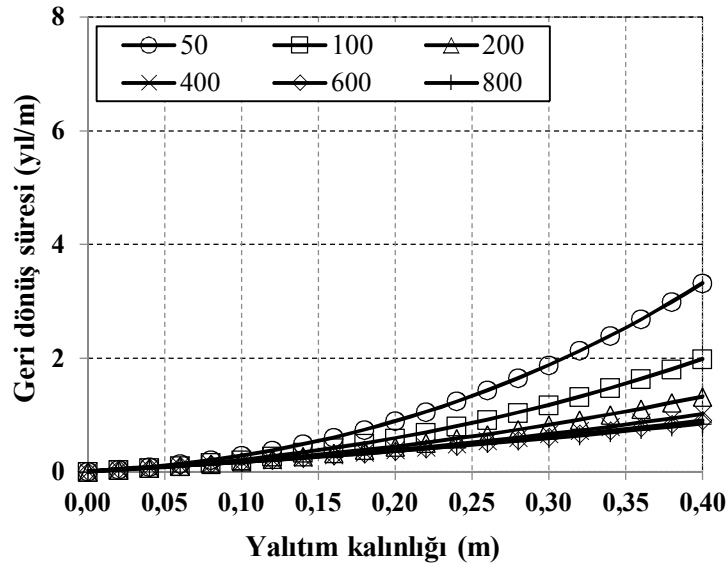
Şekil 6.49 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, fuel-oil).



Şekil 6.50 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, kömür).

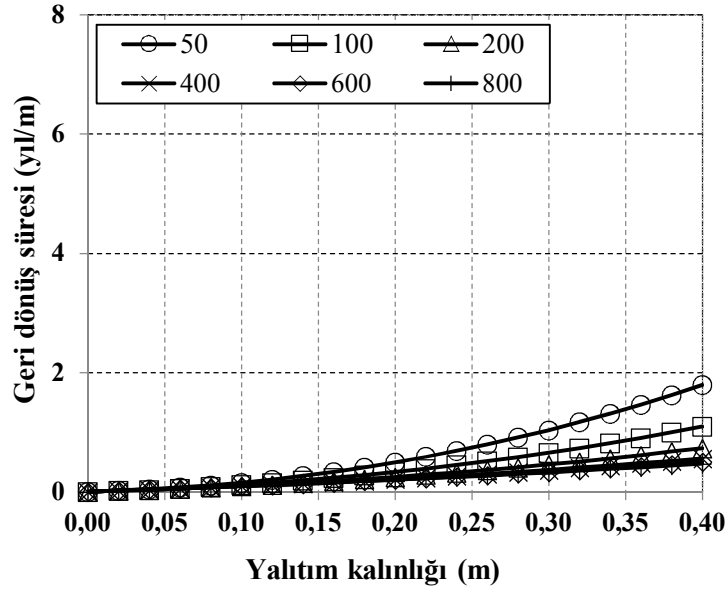
Şekil 6.49’da çelik borularda farklı boru çapları için yalıtım kalınlığı, geri dönüş süreleri fuel-oil yakıtı ve Taş yünü yalıtım malzemesi için incelenmiştir. Boru çapları arttıkça geri dönüş süreleri azalmaktadır. Yalıtım kalınlığı artırılmaya devam edildiğinde geri dönüş süreleri uzamaya başlamaktadır. Bunun anlamı; boruya optimum yalıtım kalınlığından fazla yalıtım yapılmasının maliyeti artırdığıdır.

Şekil 6.50’de çelik borularda, çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süreleri kıyaslanmıştır. Yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde çıkan sonuç, optimum yalıtım kalınlığının önemidir. Yalıtım kalınlığı ne kadar artarsa artsın, optimum yalıtım kalınlığının üstündeki değerler maliyeti artırmaktadır.

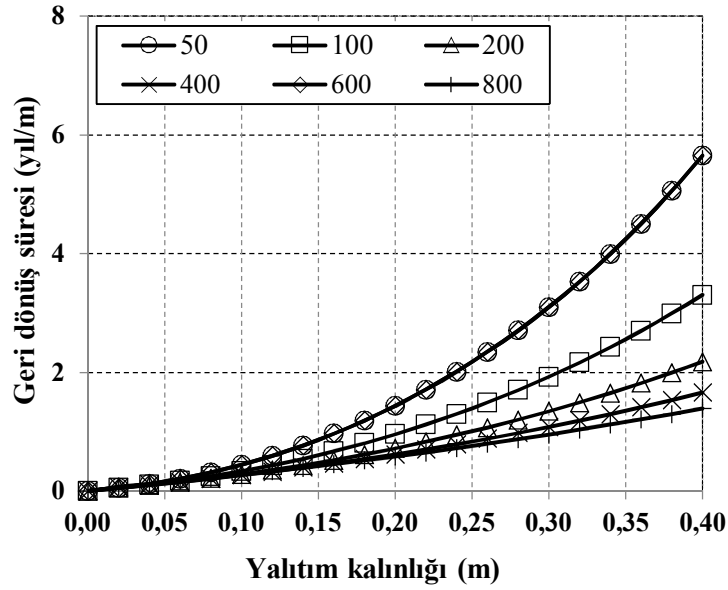


Şekil 6.51 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, doğalgaz).

Şekil 6.51’de yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı ve EPS ile yalıtımın yapıldığı çelik borularda yalıtım kalınlığının artması ve boru çapının büyümesiyle geri dönüş süresinin nasıl değiştiği görülmektedir. Tüm boru çaplarında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresi artmaktadır. Büyük çaplı borularda geri dönüş süresi daha kısarken küçük çaplı borularda geri dönüş süresi büyük çaplı borulara göre daha uzundur. Dolayısıyla büyük çaplı borulara yapılan yalıtım daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 5.52 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, fuel-oil).

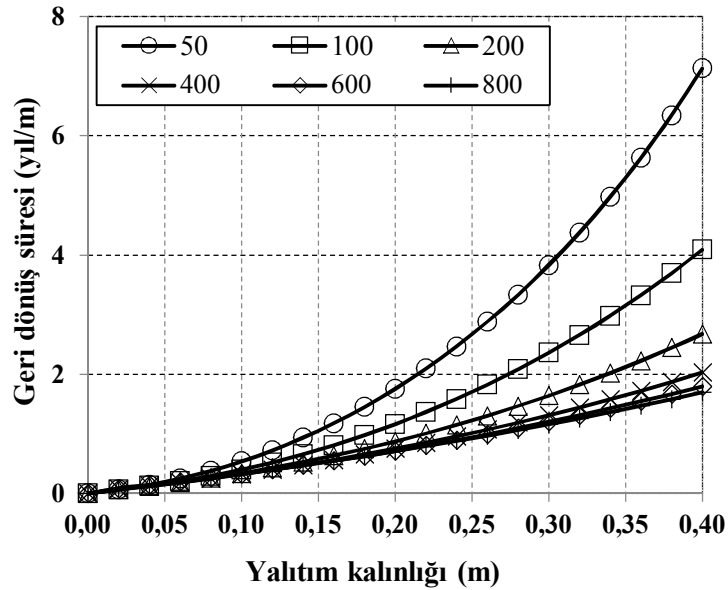


Şekil 5.53 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, kömür).

Şekil 6.52’de yakıt olarak fuel- oil in kullanıldığı ve EPS ile yalıtımın yapıldığı çelik borularda farklı boru çaplarında yalıtım kalınlığının artmasıyla geri dönüş süresinin nasıl değişim gösterdiği görülmektedir. Yalıtım kalınlığı geri dönüş süresi ile doğru

orantı göstermektedir. 50 mm'lik boruda geri dönüş süresinin daha uzun, 800 mm'lik boruda ise daha kısa olduğu görülmektedir. Buda büyük çaplı borularda yalıtım yapmak küçük çaplı borularda yalıtım yapılmaya göre daha avantajlı olduğumuzu gösterir. Ayrıca grafik eğrilerinin eğimlerinin düşük olması kullanılan yakıtta yalıtımın öneminin büyük olduğunu gösterir.

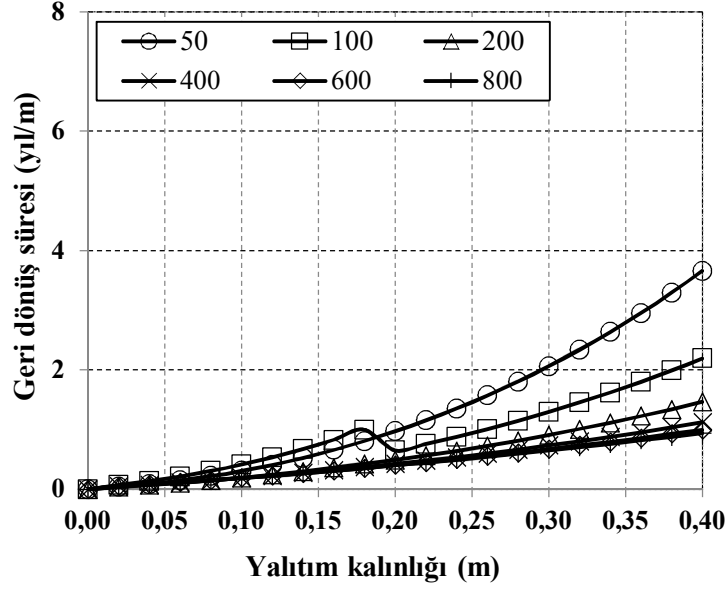
Şekil 6.53'te yakıt olarak kömürün kullanıldığı ve XPS ile yalıtımın yapıldığı çelik borularda farklı boru çaplarında yalıtım kalınlığının geri dönüş süresini nasıl etkilediği görülmektedir. 800 lük boruda eğrinin açısı daha küçükken 50 mm'lik boruda çok daha diktir. Bu durum küçük çaplı boruda yalıtım kalınlığının artmasının geri dönüş süresini çok daha fazla uzatmaktadır. 800, 600, 400 ve 200 mm'lik borularda geri dönüş süreleri birbirine yakınken 100 mm'lik borudan sonra geri dönüş süresi daha da uzamaktadır.



Şekil 6.54 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, doğalgaz).

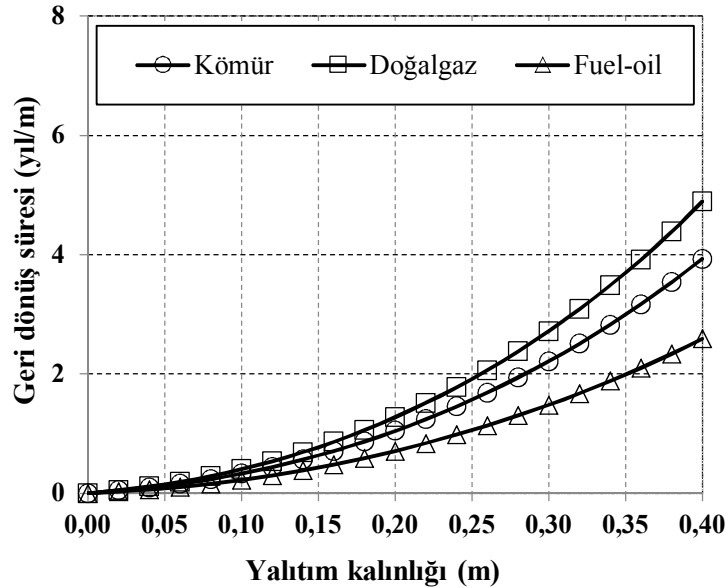
Şekil 6.54'te yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı ve XPS ile yalıtımın yapıldığı çelik borularda farklı boru çaplarında yalıtım kalınlığının geri dönüş süresini nasıl değiştirdiği görülmektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtım maliyeti de artacağından geri dönüş süreside artmaktadır. Yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı borularda geri dönüş süresi 400 mm, 600 mm ve 800 mm'lik borularda birbirine çok yakınken boru

çapı daha da küçüldüğünde geri dönüş süresi daha da artmaktadır.



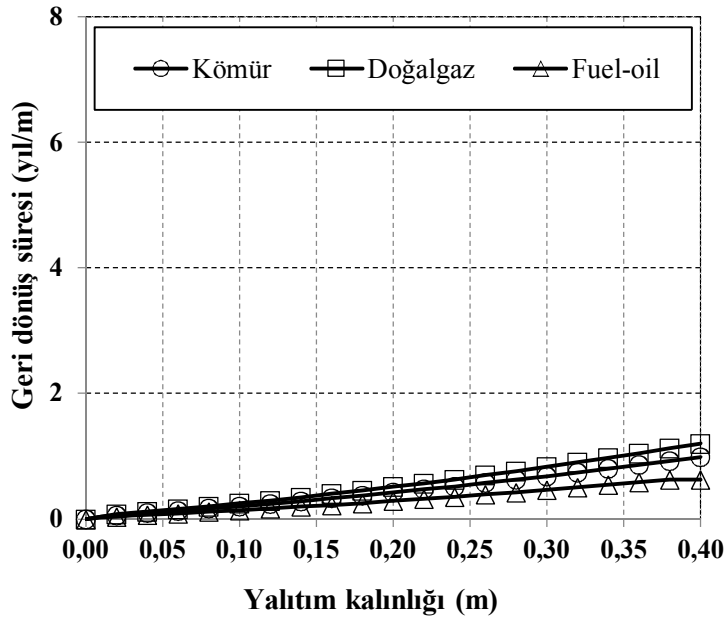
Şekil 6.55 Çelik borularda çeşitli boru çapları için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, fuel-oil).

Şekil 6.55'te daha önceki grafiklerimizde olduğu gibi yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 6.56 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, 50 mm boru çapı).

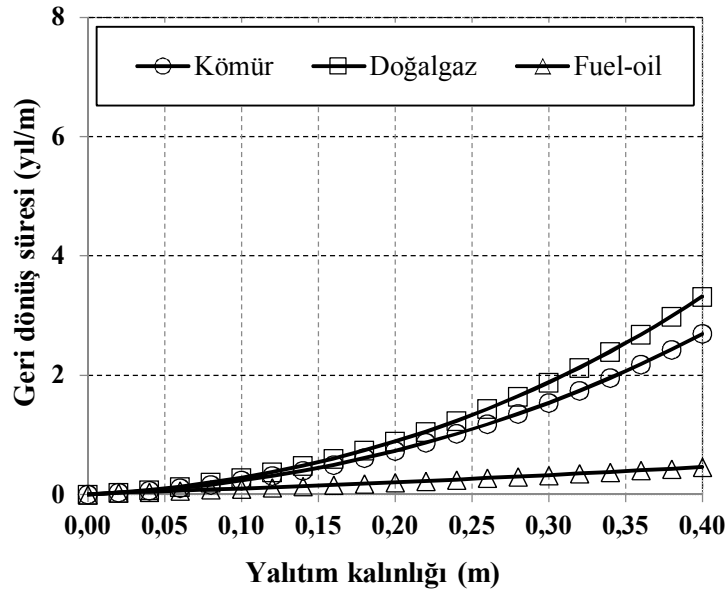
Şekil 6.56’da 50 mm çapındaki çelik borulara taş yünü ile yalıtım yapıldığında farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının geri dönüş süresini nasıl etkilediği görülmektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süreleri tüm yakıt çeşitlerinde uzamaktadır. 0,1 m kalınlığa kadar taş yünü ile yaptığımız yalıtımda geri dönüş süreleri üç yakıt çeşidinde de birbirine yakın iken 0,1 m kalınlığından sonra fark iyice artmaktadır. Tüm yakıt çeşitlerine aynı kalınlıkta taş yünü ile yalıtım yapıldığında geri dönüş süresi en uzun olan doğalgaz iken en kısa olanda fueloil’dir. Bu da birim maliyeti yüksek olan yakıtın enerji tasarrufunun daha çok olması dolayısıyla geri dönüş süresinin daha kısa olmasıyla alakalıdır. Ayrıca yalıtım malzemesi olarak taş yünün kullanılması da geri dönüş sürelerini etkilemektedir. Taş yünü yüksek maliyette fakat diğer malzemelere göre yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğundan geri dönüş süresini arttırmaktadır.



Şekil 6.57 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (taş yünü, 800 mm boru çapı).

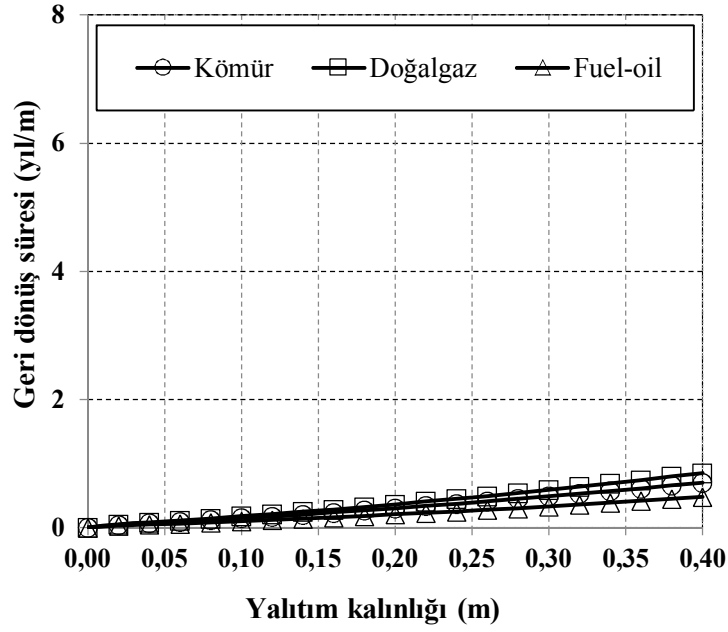
Şekil 6.57’de 800 mm kalınlığındaki çelik borularda taş yünü ile yapılan yalıtımda yalıtım kalınlığının artmasıyla geri dönüş sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekle göre tüm yakıt türlerinde yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresi artmakta ve birbirine yakın oranlarda artış göstermektedir. Ama yine de birim tüketim maliyetlerinden dolayı en kısa dönüş fueloil de en uzun dönüş ise doğalgazdır. Boru

çapının büyük olması dolayısıyla yüzey olanın da büyük olmasına, yüzey alının büyük olması ise de ısı kaybının büyük olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla büyük çaplı borularda yalıtım kalınlığını arttırmak enerji tasarrufunu daha çok arttırmaktadır. Grafikte doğruların eğimlerinin düşük olması bu sebebe bağlanabilir. Isı yalıtımında kullanılan malzemenin taş yünü olması, taş yünün de ısı iletkenliğinin yüksek olması, doğruların eğimini arttırmaktadır.



Şekil 6.58 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 50 mm boru çapı).

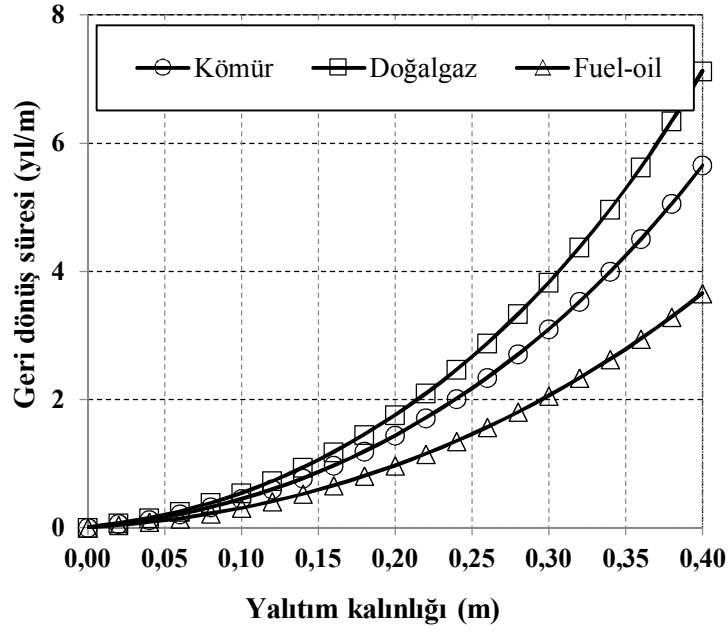
Şekil 6.58’de 50 mm kalınlığındaki çelik borularda EPS ile yapılan yalıtımın, yalıtımın kalınlığının artmasıyla farklı yakıt türlerinde geri dönüş sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilde yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş sürelerinin arttığı gözlenirken. Fuel-oil de bu artışın daha az olduğu görülmektedir. Bu durum boru çapı küçük olmasına karşın fuel-oilin birim tüketim maliyetinin yüksek olması ve kullanılan yalıtım malzemesinin EPS olmasıyla ilgilidir. EPS düşük maliyetine karşılık düşük yalıtım katsayısına sahiptir. Kömür ile doğalgaz aynı yalıtım kalınlığında fuel-oile göre çok daha uzun geri dönüş süresine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum kömür ve doğalgazın birim tüketim maliyetlerinin düşük olmasındandır. Kömür ve doğalgaz için 0,07 m yalıtım kalınlığından sonra eğimin iyice arttığı görülmektedir. Yani birim yalıtım kalınlığı artışına karşılık geri dönüş süresinin daha çok arttığı görülmektedir.



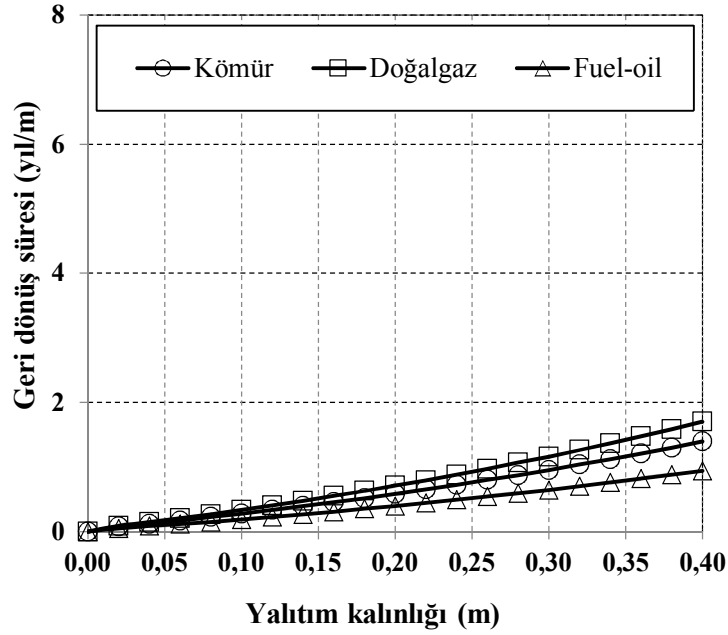
Şekil 6.59 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 800 mm boru çapı).

Şekil 6.59’da 800 mm çapındaki çelik borularda EPS ile yalıtım yapıldığında farklı yakıt türlerinde yalıtım kalınlığının artmasıyla geri dönüş süresinin nasıl değiştiği görülmektedir. Grafik büyük çaplı boruya ait olmasından ve yalıtım malzemesi olarak EPS’nin kullanılmasından dolayı tüm yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı artmasına karşılık geri dönüş süresi çok artmamaktadır.

0,15 m kalınlığa kadar tüm yakıt türleri için geri dönüş süreleri birbirine yakın iken 0,15 m kalınlıktan sonra en kısa geri dönüş süresi fuel oil sonrasında kömür en uzun geri dönüş süresi ise doğalgazdır. Bu durum yakıtların birim tüketim maliyetleriyle açıklanabilir. EPS düşük iletim katsayısına ve buna ilave düşük maliyete sahip olduğundan tüm yakıt türlerinde yüksek enerji tasarrufu sağlamaktadır. Düşük maliyet yüksek enerji tasarrufu da geri dönüş süresini kısaltmaktadır.



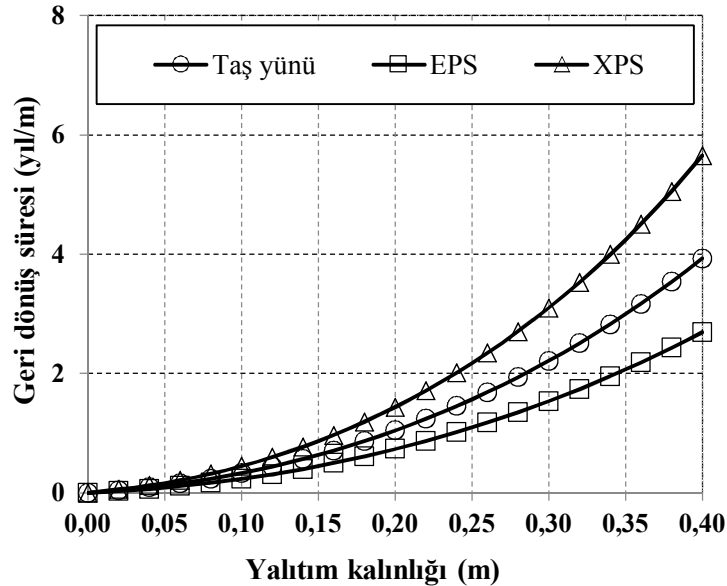
Şekil 6.60 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, 50 mm boru çapı).



Şekil 6.61 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (XPS, 800 mm boru çapı).

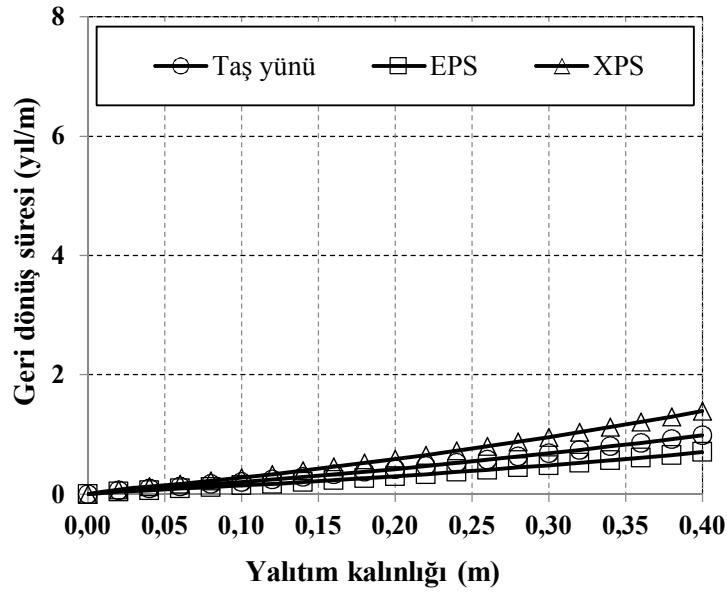
Şekil 6.60'da 50mm boru çapında XPS ile yalıtım yapıldığında farklı yakıt türlerinde yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilde kömür, doğalgaz ve fuel oile ait doğruların eğimlerinin dik olduğu görülmektedir. Yani birim yalıtım kalınlığı artışına karşılık geri dönüş süresinin artışının daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum kullanılan yalıtım malzemesinin ısı yalıtım katsayısına göre yüksek maliyete sahip olmasından ve ayrıca boru çapının küçük olması dolayısıyla ısı kaybının gerçekleştiği yüzey alanının küçük olmasıyla ilgilidir. 0,05 m kalınlığa kadar tüm yakıt türlerinde geri dönüş süresi çok uzun değilken 0,05 m kalınlıktan sonra geri dönüş süresi çok artmaktadır.

Şekil 6.61'de 800 mm çapındaki çelik borularda XPS ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresinin nasıl değiştiği görülmektedir. Boru çapının büyük olması doğruların eğiminin değişimini azaltırken yalıtım malzemesi olarak XPS in kullanılması geri dönüş süresinin uzamasına neden olmuştur. Yüzey alanının büyümesiyle yalıtım ihtiyacı artmaktadır. Böylece yalıtım kalınlığının artmasıyla artacak maliyet, enerji tasarrufunun artmasıyla karşılanacak ve geri dönüş süresi kısılacaktır.



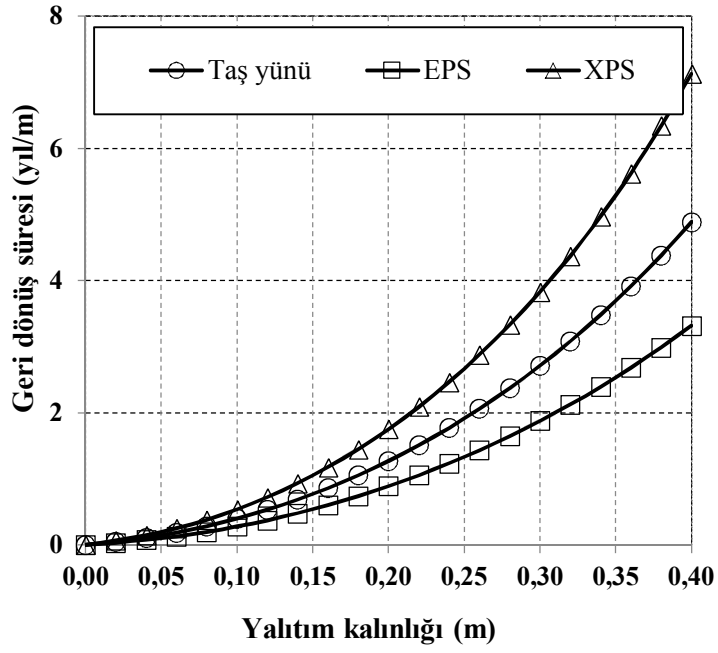
Şekil 6.62 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (Kömür, 50 mm boru çapı).

Şekil 6.62’de yakıt olarak kömürün kullanıldığı, 50 mm çapındaki borularda EPS, XPS ve taş tünü ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüşüm sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Kömür birim tüketimde doğalgaza göre daha fiyatlı fueloile göre ise daha uygundur. Bu sebeple yalıtım kalınlığı arttıkça tüm malzemelerde geri dönüş süresi yüksek değerleri görmektedir. Aynı yalıtım kalınlığında en kısa geri dönüş süresi EPS de en uzun geri dönüş süresi ise XPS’dedir. Bunun sebebi ise ısı iletim katsayıları birbirine yakın iken birim maliyetleri EPS’nin daha uygundur. Ayrıca boru çapının küçük olması dolayısıyla ısı kaybının gerçekleştiği yüzeyin küçük olması eğrilerin eğimini arttırmıştır.

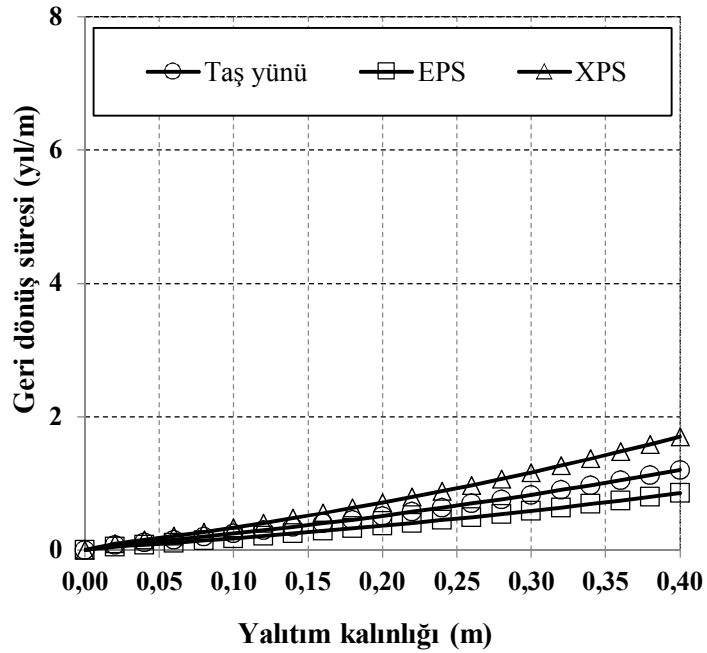


Şekil 6.63 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (Kömür, 800 mm boru çapı).

Şekil 6.63’de yakıt olarak kömürün kullanıldığı, 800 mm çapındaki borularda EPS, XPS ve taş yünü ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüşüm sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilde büyük çaplı borularda yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresinin daha hızlı olduğu görülmektedir. Bu durum ısı kaybının meydana geldiği yüzeylerin büyük olmasıyla açıklanabilir. Malzemelerin birim maliyetlerine karşılık ısı yalıtım katsayılarının farklı olmasından EPS, XPS ve taş yünün farklı geri dönüş hızlarına sahiptir.

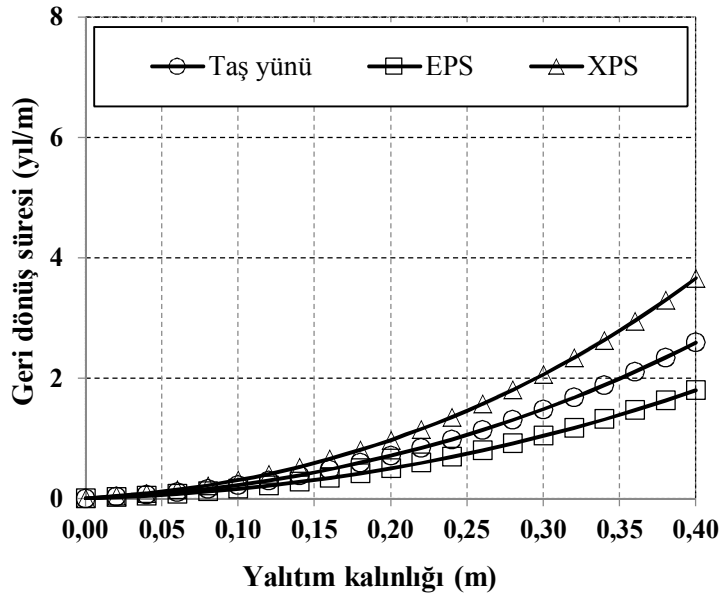


Şekil 6.64 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (doğalgaz, 50 mm boru çapı).



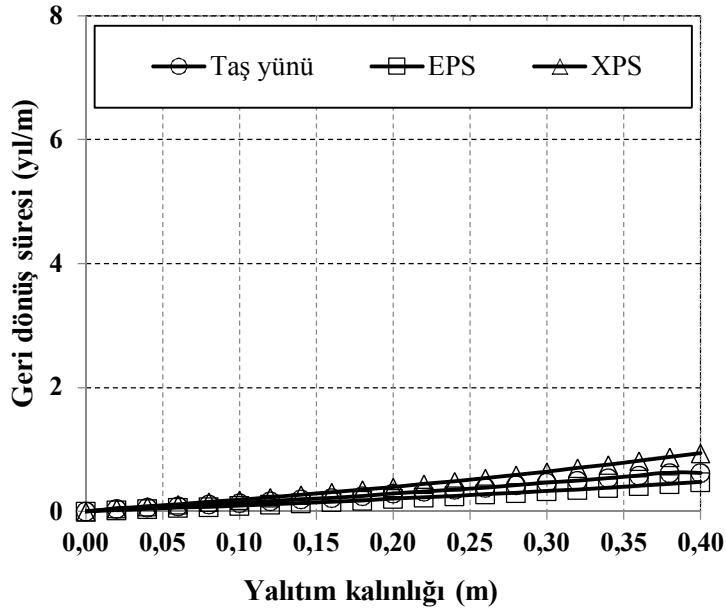
Şekil 6.65 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (doğalgaz, 800 mm boru çapı).

Şekil 6.64’de yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı,50 mm çapındaki borularda EPS, XPS ve taş tünü ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüşüm sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekle göre aynı yalıtım kalınlığında geri dönüş süresi en kısa olan EPS en uzun olan ise XPS’dir. EPS düşük ısı iletim katsayısına karşılık diğer yalıtım malzemelerine göre daha uygun maliyete sahiptir. Bu sebeple de EPS’nin geri dönüş süresi diğerlerine göre daha kısadır. Boru çapının küçük olması ve yakıt olarak da doğalgazın kullanılması geri dönüş süresini olumsuz etkilemektedir çünkü doğalgaz birim maliyet açısından diğer yakıt türlerine göre daha uygundur. Ama çevre kirliliği açısından doğalgazın tercih edilmesi gerekmektedir Şekil 5.65’de yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı,800 mm çapındaki borularda EPS, XPS ve taş yünü ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüşüm sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresi tüm yalıtım malzemelerinde artmaktadır. Yakıt olarak doğalgazın kullanılması, geri dönüş süresini diğer yakıt türlerine kıyasla daha uzun olmasına sebep olmaktadır. Boru çapının büyük olması ise daha fazla alana yalıtım yapılacağından da fazla enerji tasarrufu sağlar buda küçük çaplı borulara göre geri dönüş süresini kısaltmaktadır. 0,1 m kalınlığa kadar tüm yalıtım malzemelerinde geri dönüş süreleri birbirine yakınken 0,1 m’den sonra geri dönüş süreleri değişiklik göstermektedir.



Şekil 6.66 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (fuel-oil, 50 mm boru çapı).

Şekil 6.66'da yakıt olarak fuel-oil kullanıldığı, 50 mm çapındaki borularda EPS, XPS ve taş tünü ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüşüm sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. fuel-oil birim tüketim maliyeti olarak en yüksek maliyetli yakıt olduğundan yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresi en kısa olan yakıttır. aynı yalıtım kalınlığında en kısa geri dönüş süresinin EPS'de en uzun geri dönüş süresinin ise XPS'de olduğu görülmektedir. Bu durum birim maliyetlerin en düşük EPS'de en yüksek ise XPS'de olmasıyla açıklanabilir.



Şekil 6.67 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş süresinin değişimi (fuel-oil, 800 mm boru çapı).

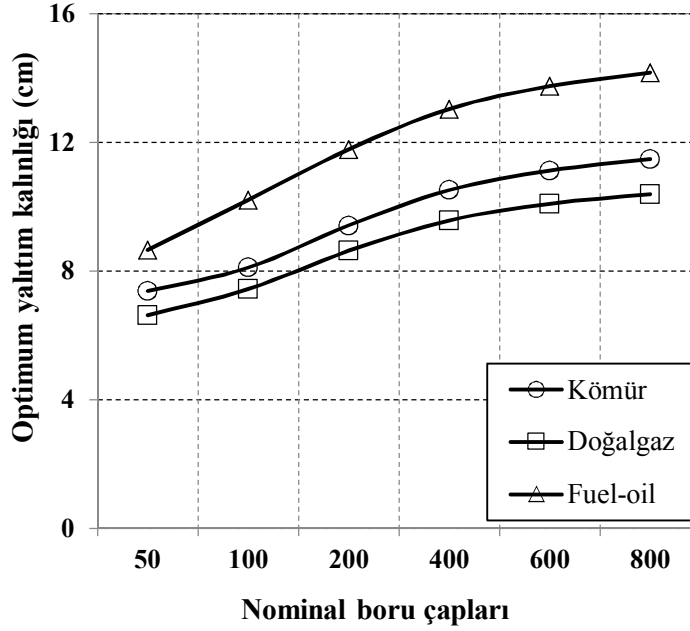
Şekil 6.67'de yakıt olarak fuel-oil in kullanıldığı, 800 mm çapındaki borularda EPS, XPS ve taş tünü ile yalıtım yapıldığında yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüşüm sürelerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Tüm yalıtım malzemelerinde yalıtım kalınlığı arttıkça geri dönüş süresi uzamaktadır. Fakat bu artış fuel-oil in birim maliyetinin en yüksek yakıt olmasından dolayı geri dönüş süresi en kısa olan yakıttır. Aynı zamanda büyük çaplı borularda ısı kaybı yüzeyinin büyük olması tüm yalıtım malzemelerinde geri dönüş süreleri birbirine yakın ve kısa olmasına sebeptir. Dolayısıyla en yüksek tasarruf fuel-oil'de ve yüksek çaplarda görülmektedir.

Çizelge 6.1 Çelik borularda optimum yalıtım kalınlığı (OYK) hesabı için elde edilen sonuçlar.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Hesaplanan parametreler	Nominal boru çapları (mm)						
			50	100	200	400	600	800	
Taş yünü	Kömür	OYK (cm)	7,379	8,112	9,419	10,520	11,126	11,478	
		Toplam maliyet (\$/m-yıl)	5,399	8,101	12,784	20,618	28,884	37,005	
		Tasarruf (\$/m-yıl)	10,723	20,159	37,174	65,919	97,422	129,584	
	Doğalgaz	GDS (yıl/m)	0,791	0,776	0,801	0,857	0,905	0,948	
		OYK (cm)	6,627	7,438	8,631	9,576	10,095	10,390	
		Toplam maliyet (\$/m-yıl)	4,657	7,052	11,233	18,261	25,694	33,002	
	Fuel-oil	Tasarruf (\$/m-yıl)	8,683	16,372	30,328	54,232	80,913	108,644	
		GDS (yıl/m)	0,855	0,845	0,876	0,941	0,996	1,045	
		OYK (cm)	8,659	10,213	11,788	13,045	13,749	14,178	
	EPS	Kömür	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	7,256	10,693	16,563	26,280	36,478	46,474
			Tasarruf (\$/m-yıl)	16,231	30,368	55,622	97,433	141,971	186,137
			GDS (yıl/m)	0,682	0,660	0,672	0,713	0,750	0,784
Doğalgaz		OYK (cm)	7,649	9,116	10,598	11,882	12,610	13,046	
		Toplam maliyet (\$/m-yıl)	4,691	6,930	10,779	17,179	23,913	30,521	
		Tasarruf (\$/m-yıl)	11,394	21,196	38,688	67,668	98,585	129,303	
Fuel-oil		GDS (yıl/m)	0,648	0,630	0,644	0,685	0,722	0,755	
		OYK (cm)	7,040	8,380	9,716	10,851	11,482	11,852	
		Toplam maliyet (\$/m-yıl)	4,045	6,029	9,466	15,211	21,271	27,226	
XPS		Kömür	Tasarruf (\$/m-yıl)	9,258	17,261	31,604	55,591	81,527	107,655
			GDS (yıl/m)	0,699	0,684	0,703	0,751	0,793	0,831
			OYK (cm)	8,997	10,741	12,545	13,763	14,664	15,309
	Doğalgaz	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	6,310	9,159	13,984	21,918	30,214	38,334	
		Tasarruf (\$/m-yıl)	17,139	31,768	57,709	100,104	144,427	187,512	
		GDS (yıl/m)	0,561	0,537	0,542	0,571	0,599	0,625	
	Fuel-oil	OYK (cm)	5,643	6,645	7,493	8,135	8,520	8,732	
		Toplam maliyet (\$/m-yıl)	5,018	7,045	11,536	19,234	27,927	36,440	
		Tasarruf (\$/m-yıl)	11,154	10,650	20,318	39,672	73,750	111,759	
	XPS	Kömür	GDS (yıl/m)	0,780	1,270	1,345	1,417	1,280	1,222
			OYK (cm)	5,175	5,917	6,746	7,388	7,712	7,885
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	4,347	6,707	10,917	18,095	25,738	33,274
Doğalgaz		Tasarruf (\$/m-yıl)	9,043	16,897	31,304	56,668	85,984	117,457	
		GDS (yıl/m)	0,845	0,849	0,894	0,969	1,030	1,082	
		OYK (cm)	6,676	8,112	9,024	9,793	10,320	10,625	
Fuel-oil		Toplam maliyet (\$/m-yıl)	6,689	10,040	15,903	25,776	36,230	46,519	
		Tasarruf (\$/m-yıl)	16,847	31,201	56,942	100,207	147,334	195,177	
		GDS (yıl/m)	0,667	0,658	0,681	0,731	0,773	0,810	

Çizelge 6.2 Plastik borularda optimum yalıtım kalınlığı (OYK) hesabı için elde edilen sonuçlar.

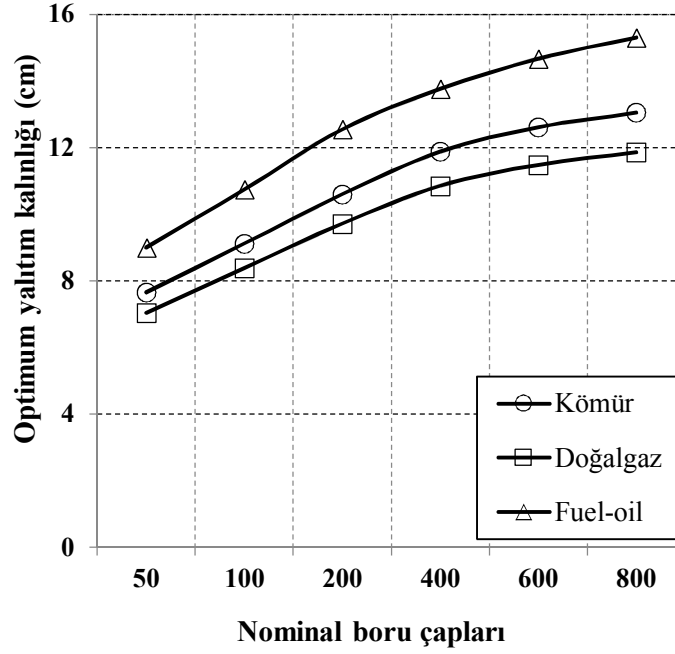
Isı İletim Katsayısı Sonuçların Değerlendirmesi
Boru malzemesinin plastik olması; dolayısıyla plastik malzemenin ısı iletim katsayısı 0,41 W/m-K değeri oldukça düşüktür. Yalıtım malzemelerini ısı iletim katsayısına yakın bir değerdedir. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığı hesabında yalıtım malzemesi kullanmadan daha başlangıçta yakıt maliyetlerini azaltmaktadır. Bundan dolayı optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılamamaktadır.



Şekil 6.68 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (taş yünü).

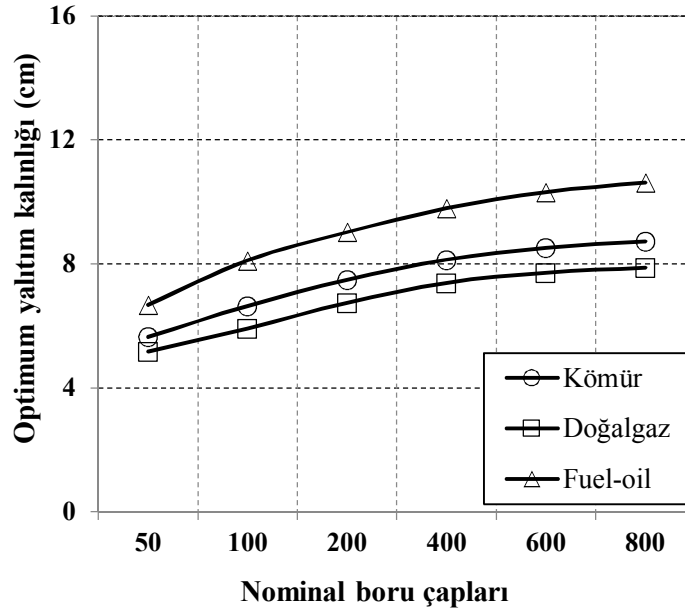
Şekil 6.68’de taş yünü ile yalıtım yapılan çelik borularda nominal boru çapına karşı yalıtım kalınlığının nasıl değiştiği görülmektedir. Şekle göre tüm boru çaplarında optimum yalıtım kalınlığı en büyük olan fuel-oil, en küçük olan ise kömürdür. Bu durumu şu şekilde özetleyebiliriz: fuel-oil birim maliyeti açısından yüksek değerlere sahip olduğundan yapılan yalıtım, akışkanı istenilen değerlere getirmek için gerekli yakıt tüketimini düşürecektir. Ve bu şekilde yalıtımın maliyetini daha kısa sürede karşılayacaktır. Geri dönüş daha kısa olduğundan diğer malzemelere göre daha kalın yapılabileceği görülmüştür. Kömürün ise birim maliyeti fuel-oil ve doğalgaza oranla daha düşük olduğundan daha kalın yalıtım yapılması geri dönüş sürelerini uzatacağından fuel-oil’e göre daha az kalınlıkta yapılmalıdır. Ayrıca grafikte tüm yakıt türlerinde çap büyüdükçe optimum yalıtım kalınlığının arttığı görülmüştür. Boru

çapının büyümesi ısı transferinin meydana geldiği yüzey alını arttıracığından ısı kaybı da artmaktadır. Artan bu ısı kaybını azaltmak içinde yalıtım kalınlığının artırılması gerektiği grafikte görülmüştür.

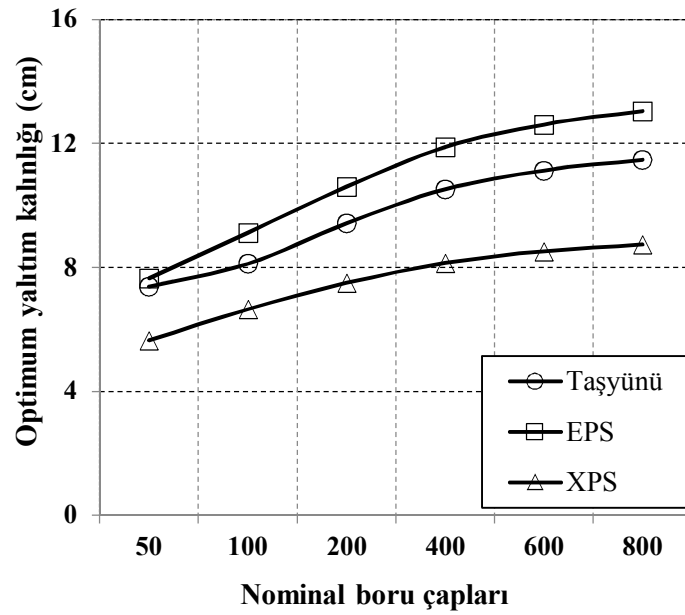


Şekil 6.69 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS).

Şekil 6.69’de EPS ile yalıtım yapılan çelik borularda nominal boru çapına karşı yalıtım kalınlığının nasıl değiştiği görülmektedir. Şekle göre tüm yalıtım malzemelerinde boru çapı arttıkça optimum yalıtım kalınlığının da arttığı görülmüştür. Kullanılan yalıtım malzemesinin EPS olması optimum yalıtım kalınlığını arttırmıştır. Bu EPS’nin birim maliyetinin düşük olmasıyla alakalıdır. Çünkü EPS ısı iletim katsayısı düşük olmasına rağmen maliyeti de düşük olan bir yalıtım malzemesidir. Ayrıca grafikte doğalgazın ve kömürün eğrilerinin birbirine paralellik gösterdiği görülmüştür. Ama yine de birim maliyetlerinden dolayı doğalgaz daha düşük optimum yalıtım kalınlığına sahiptir. Fuel-oil ise ikisinden de fazla optimum yalıtım kalınlığına sahiptir.



Şekil 6.70 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (XPS).

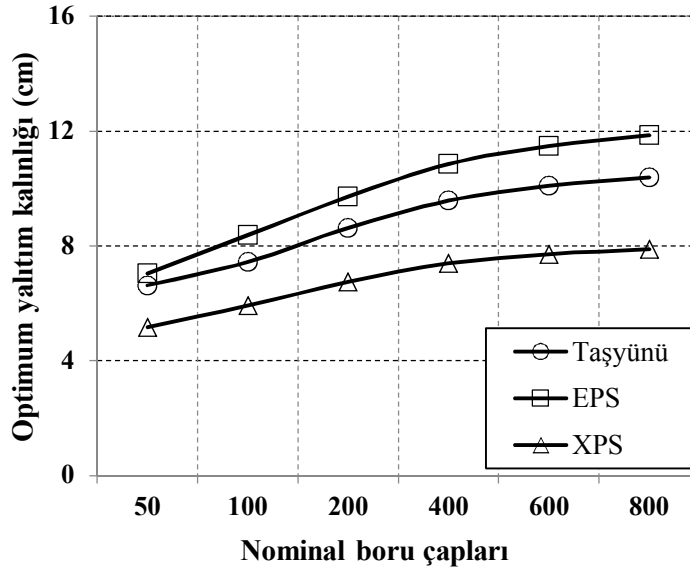


Şekil 6.71 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (kömür).

Şekil 6.70'da XPS ile yalıtım yapılan çelik borularda nominal boru çapına karşı yalıtım kalınlığının nasıl değiştiği görülmektedir. Tüm yakıt türlerinde boru çapı arttıkça

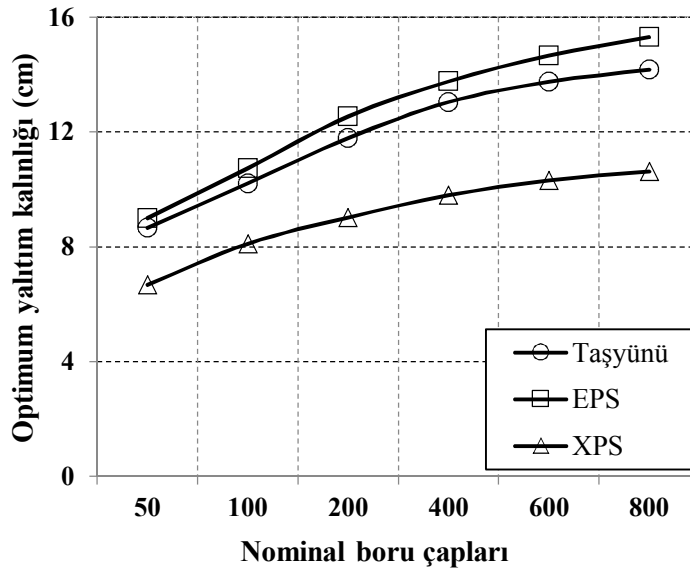
yalıtım kalınlığında artmaktadır. Boru apı büyüdüğünde ısı transferi de artacağından bunu engellemek için yalıtım kalınlığını da arttırmak gerekmektedir.XPS yalıtım malzemesi olarak yüksek maliyetli bir yalıtım malzemesi olduğundan yalıtım kalınlığını arttırmak geri dönüş süresini arttıracaktır. Dolayısıyla XPS için optimum yalıtım kalınlığı düşük değerlerdedir. Ayrıca grafikte aynı boru çaplarında optimum yalıtım kalınlığı en fazla olan fuel-oil. En az olan ise doğalgazdır. Bu kullanılan yakıtların birim tüketim maliyetleri ile alakalıdır.

şekil 6.71’de yakıt olarak kömürün kullanıldığı elik borularda nominal boru çapına karşı optimum yalıtım kalınlığının nasıl değiştiği görülmektedir. Tüm yalıtım malzemelerinde boru çapı büyüdükçe optimum yalıtım kalınlığı artmaktadır. Bu durum ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanın büyümesiyle açıklanabilir Aynı boru çapında optimum yalıtım kalınlığı en büyük olan EPS iken en düşük kalınlık XPS te görülmektedir. Örneğin 200 mm kalınlığındaki borularda EPS için optimum yalıtım kalınlığı 10.59 cm iken. Taş ynnde 9,4 cm, XPS te ise 7.49 cm’dir. EPS düşük ısı yalıtım katsayısına rağmen düşük maliyete sahipkenXPS, EPS ye göre daha yüksek ısı yalıtım katsayısına ve daha yüksek maliyete sahiptir.



şekil 6.72 elik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (doğalgaz).

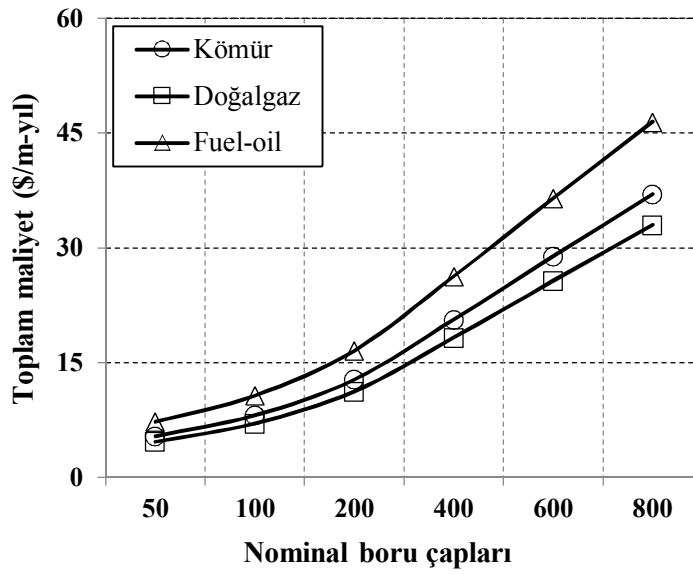
Şekil 6.72’de yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı çelik borularda nominal boru çapına karşı optimum yalıtım kalınlığının nasıl değiştiği görülmektedir. grafikte boru çapı ile optimum yalıtım kalınlığının doğru orantılı olduğu görülmektedir. örneğin taş yünü için 100 mm boru çapında optimum yalıtım kalınlığı 7,44 iken 200 mm kalınlıkta optimum kalınlığın 8.63 mm dir. Bu durum tüm yalıtım malzemeleri için geçerlidir. Çünkü boru çapının büyümesi boru yüzeyini arttıracığından buda ısı transferini arttıracaktır. Dolayısıyla ısı kaybı artacaktır. Artan bu ısı kaybını azaltmak içinde yalıtım kalınlığını arttırmak gerekmektedir. Doğalgaz birim tüketim maliyeti açısından en uygun yakıt olduğundan yalıtım kalınlığı diğer yakıtlara göre daha azdır. Yalıtım kalınlığını arttırmak geri dönüş süresini uzatacağından çok mantıklı görülmemektedir. Aynı boru çapında taş yünü, EPS, XPS karşılaştırıldığında en kalın yalıtımın EPS’de en ince yalıtımın ise XPS’de olduğu görülmektedir.



Şekil 6.73 Çelik borularda çeşitli yalıtım malzemeleri için nominal boru çaplarına karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (fuel-oil).

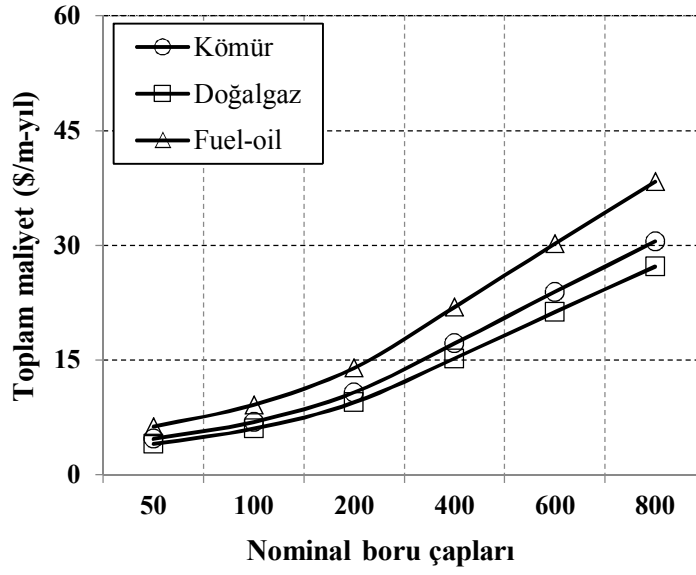
Şekil 6.73’de yakıt olarak fuel-oilin kullanıldığı çelik borularda nominal boru çapına karşı optimum yalıtım kalınlığının nasıl değiştiği görülmektedir. tüm yakıt türlerinde boru çapı büyüdükçe optimum yalıtım kalınlığı da artmıştır. Bu durum boru çapıyla büyüyen borunun yüzey alanıyla alakalıdır. Aynı boru çapında en düşük optimum yalıtım kalınlığı XPS, sonrasında taş yünü, en yüksekte EPS’de görülmektedir. Şekle

göre yakıt olarak fuel-oil kullanılan 100 mm çapındaki bir borunun EPS ile yalıtım yapıldığında uygun olan yalıtım kalınlığı 10.74 cm iken, bu kalınlık taş yününde 10,21 cm, XPS’de ise 8.1 cm değerlerindedir. Ve aralarındaki bu fark boru çapı arttıkça da artmaktadır. Bu durum kullanılan yalıtım malzemelerinin birim maliyetlerine karşılık sağladıkları ısı yalıtımı ile açıklanabilir. Ayrıca kullanılan yakıtın fuel-oil olması tüm yalıtım malzemelerinde optimum kalınlığı arttırmıştır. Çünkü fuel -oil kullanılan yakıt türlerinde birim maliyeti en fazla olan yakıt türüdür.

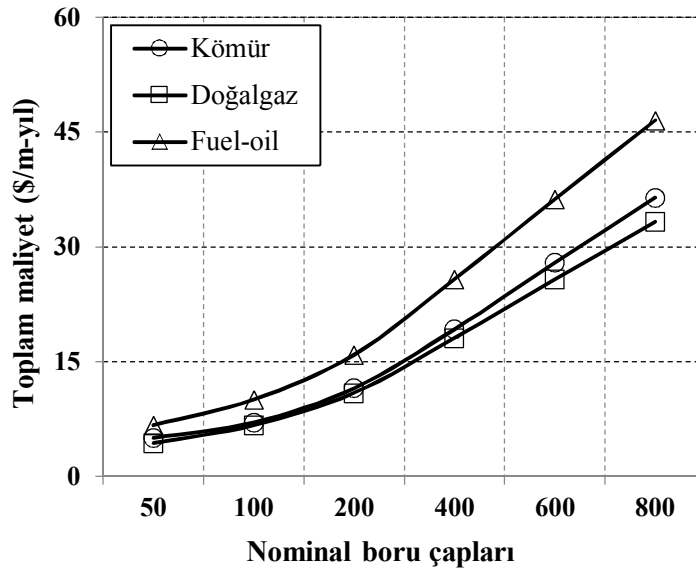


Şekil 6.74 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (taş yünü).

Şekil 6.74’te taş yünü ile yalıtım yapılmış çelik borularda farklı yakıt türleri için boru çapları büyüdükçe toplam maliyetin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekle göre boru çapları arttıkça kullanılan malzemede artacağından toplam maliyet artmaktadır. grafikte taş yünü ile yalıtım yapılmış aynı boru çapındaki borularda en yüksek maliyet fuel-oilde, en düşük maliyet ise doğalgazda görülmektedir. Bu farklar; Fuel-oil in birim tüketime karşılık maliyeti en yüksek doğalgazın ise birim tüketime karşılık maliyeti en düşük yakıt olmasından kaynaklanmaktadır. 400 mm çapındaki çelik boruya taş yünü ile yalıtım yapıldığında kullanılan yakıtımız kömür ise maliyetimiz 20,61 \$/m-yıl, yakıtımız doğalgaz ise 18,26\$/m-yıl, yakıtımız fuel-oil ise 26,28 \$/m-yıl olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 6.75 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (EPS).

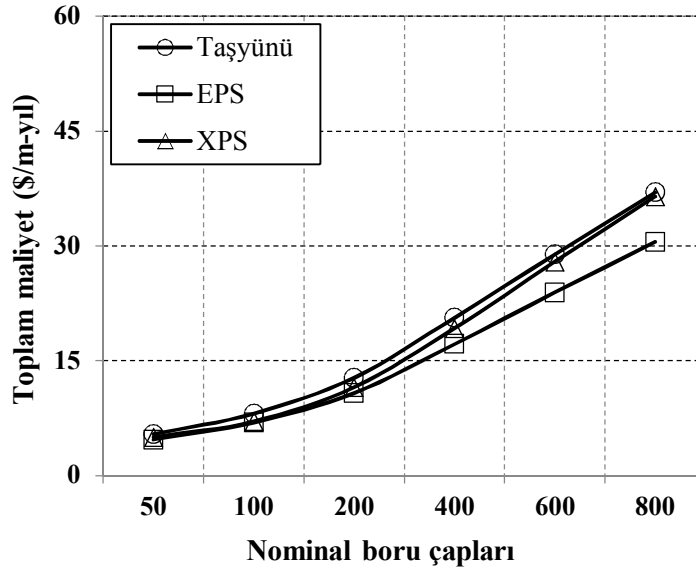


Şekil 6.76 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (XPS).

Şekil 6.75'te EPS ile yalıtım yapılmış çelik borularda farklı yakıt türleri için boru çapları büyüdükçe toplam maliyetin nasıl değiştiği görülmektedir. Grafikte yakıt olarak kömür kullanılan 100 mm boru çapındaki çelik boruda EPS ile yalıtım yapıldığında

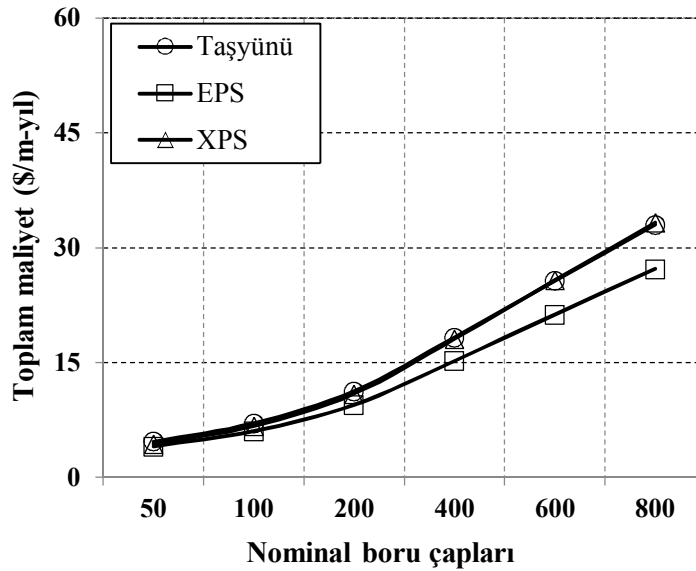
toplam maliyet 5,93 \$/m-yıl iken 200 mm boru çapında bu değer 10,77 \$/m-yıl 400 mm çapındaki çelik boruda ise 17,17 \$/m-yıl olmaktadır. Bu değerler gösteriyor ki boru çapımız büyüdükçe toplam maliyetimiz de artmaktadır. Çünkü yalıtım yapacağımız yüzey alanı artmaktadır. Grafikte tüm boru çapları için en yüksek maliyet fuel-oil de sonrasında kömürde en düşükte maliyet ise doğalgazda görülmektedir. Bu durumu yakıtların birim maliyetleriyle açıklayabiliriz.

Şekil 6.76'te XPS ile yalıtım yapılmış çelik borularda farklı yakıt türleri için boru çapları büyüdükçe toplam maliyetin nasıl değiştiği görülmektedir. Grafikte kömür ile doğalgazın toplam maliyetlerinin birbirine yakın olduğu, çap büyüdükçe kömürün maliyetinin biraz daha fazla arttığı görülmektedir. fuel-oil ise toplam maliyet olarak her zaman kömür ve doğalgazın üstünde yer almaktadır. Örneğin XPS ile yalıtım yapılmış 200 mm çapındaki borularda eğer yakıtımız fuel-oil ise toplam maliyetimiz 15,9 \$/m-yıl, kömür ise toplam maliyet 11,53 \$/m-yıl, doğalgaz ise toplam maliyet 10,91 \$/m-yıl olduğu şekilde gözükmemektedir. Bu durum yakıtların birim tüketim maliyetleri ile açıklanabilir. Ayrıca yalıtım malzemesi olarak XPS nin kullanılması tüm yakıt türlerinde toplam maliyeti arttırmıştır.



Şekil 6.77 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (kömür).

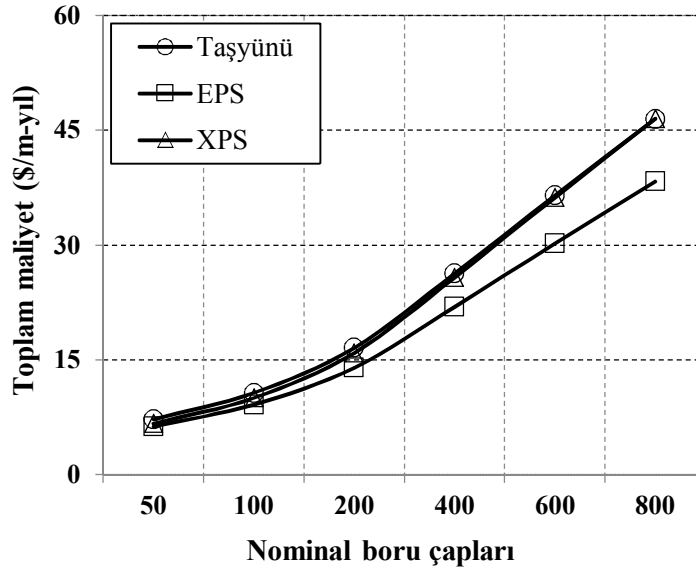
Şekil 6.77’de Yakıt olarak kömürün kullanıldığı çelik borularda farklı yalıtım malzemeleri için nominal boru çapı değişikçe toplam maliyetin nasıl değişikçe görülmektedir. Başlangıçta üç yalıtım malzemesi için de toplam maliyet değerleri birbirine yakınken boru çapı büyüdükçe toplam maliyetler artmakta ve farklılaşmaktadır. Bu farklılaşma yalıtım malzemelerinin birim ısı iletim katsayılarına karşı oluşan birim maliyetleriyle ilgilidir. Taş yünü ve XPS yalıtım katsayısı olarak birbirine yakın değerlere sahip olmasına karşın maliyet olarak taş yünü daha maliyetlidir. Grafikte de görüldüğü üzere taş yünü maliyet olarak tüm boru çaplarında XPS’den maliyetlidir. EPS ise taş yünü ve XPS göre daha büyük ısı iletim katsayısına sahip olmasına rağmen çok daha küçük maliyetlerde olduğundan toplam maliyet tüm boru çaplarında en düşük onda görülmektedir.



Şekil 6.78 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişikçe (doğalgaz).

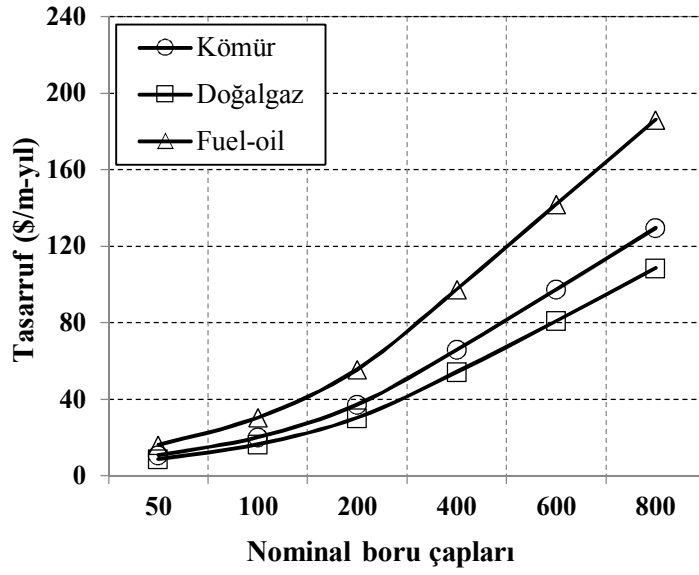
Şekil 6.78’de Yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı çelik borularda farklı yalıtım malzemeleri için nominal boru çapı değişikçe toplam maliyetin nasıl değişikçe görülmektedir. Yakıt olarak doğalgazın kullanılması tüm yalıtım malzemelerinde diğer yakıt türlerine oranla daha düşük maliyetlere sahip olduğu görülmektedir. 200 mm çapındaki çelik borulara EPS ile yalıtım yapıldığında toplam maliyet 9.46 (\$/m-yıl), XPS ile yalıtım yapıldığında toplam maliyet 10.91(\$/m-yıl),taş yünü ile yapıldığında ise

toplam maliyet 11.23(\$/m-yıl) olduğu grafikte görülmektedir. . Değerlerden de anlaşıldığı üzere taş yünü en yüksek maliyette, onu az bir farkla XPS takip etmekte, EPS ise en düşük maliyette yer almaktadır. Boru çapları arttıkça da yalıtım yapılması gereken yüzey alanı artacağından toplam maliyetler daha da artmaktadır.

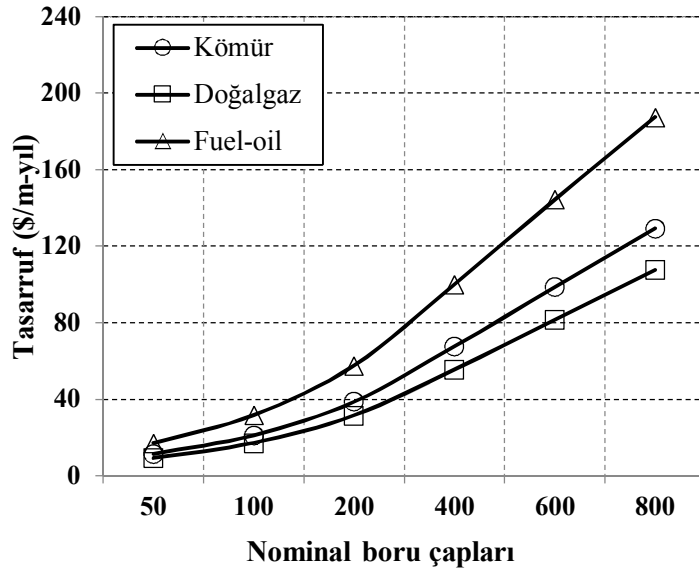


Şekil 6.79 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı toplam maliyetin değişimi (fuel-oil).

Şekil 6.79’de Yakıt olarak fuel-oil in kullanıldığı çelik borularda farklı yalıtım malzemeleri için nominal boru çapı değişikçe toplam maliyetin nasıl değiştiği görülmektedir. Yakıt olarak fueloil in kullanılması, yakıtın kendisinin maliyetli olmasıyla alakalı olarak tüm yalıtım malzemelerinde ve tüm boru çaplarında diğer yakıt türlerine oranla daha yüksek toplam maliyete sahiptir. Tüm yakıt türleri için boru çapı büyüdükçe ısı kaybının gerçekleştiği yüzey alanı büyüdüğünden yalıtım yapılan alan arttığından toplam maliyette artmaktadır. Yakıt olarak da fuel-oil in kullanıldığı 50 mm çapındaki çelik boruya taş yünü ile yalıtım yapıldığında toplam maliyet 7,2 \$/m-yıl XPS ile yalıtım yapıldığında toplam maliyet 6,68 \$/m-yıl, EPS ile yalıtım yapıldığında ise toplam maliyet 6,3 \$/m-yıl olarak şekilde gözükmektedir. 50 mm boru çapında dahi yalıtım malzemelerinde toplam maliyette fark gözükürken bu fark boru çapı büyüdükçe daha da artmaktadır.



Şekil 6.80 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (taş yünü).

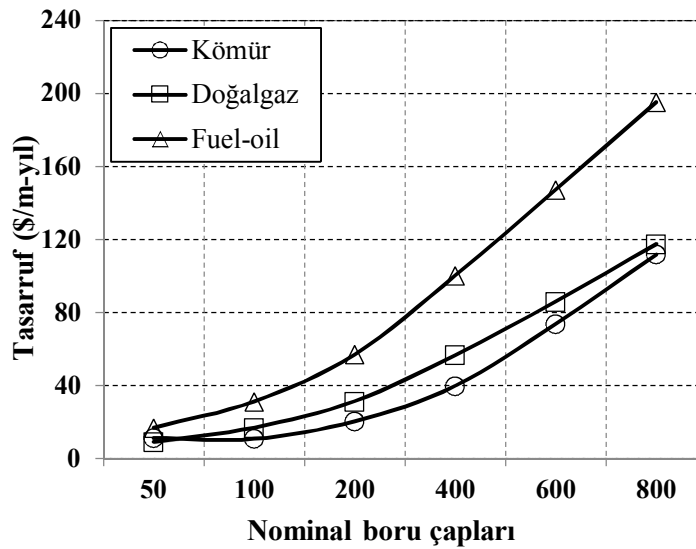


Şekil 6.81 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (EPS).

Şekil 6.80'da taş yünü ile yalıtım yapılmış çelik borularda farklı yakıt türleri için boru çapları büyüdükçe tasarrufun nasıl değiştiği görülmektedir. Üç yakıt türünde de boru çapı arttıkça tasarruf miktarı artmaktadır. Çünkü boru çapı arttıkça ısı kaybının gerçekleştiği yüzey alanı artmaktadır. Bu da kullanılan yakıtın bir kısmının boşa gitmesi

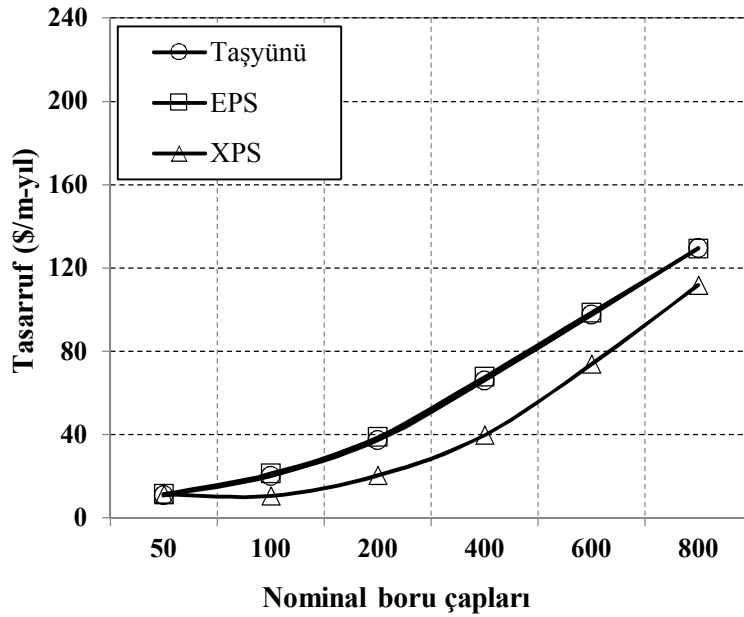
anlamına gelmektedir. Bizde bunun önüne geçerek tasarruf sağlamış olmaktadır. Kullanılan yakıtın birim maliyeti de tasarruf miktarını etkilemektedir. Kullanılan yakıtın birim maliyeti ne kadar yüksek olursa tasarrufumuz da o kadar yüksek olacaktır. Örneğin taş yünü ile yalıtım yapılmış 400 mm çapındaki çelik boruda yakıtımız fuel-oil olduğunda tasarrufumuz: 55,62 \$/m-yıl, kömür olduğunda 37,17 \$/m-yıl, doğalgaz olduğunda ise 30,32 \$/m-yıl olduğu grafikte görülmektedir. Verilerden de anlaşıldığı üzere en büyük tasarruf fuel-oil de sonrasında kömür de en düşük tasarruf ise doğalgazdır.

Şekil 6.81’de EPS ile yalıtım yapılmış çelik borularda farklı yakıt türleri için boru çapları büyüdükçe enerji tasarrufunun nasıl değiştiği görülmektedir. Kullanılan yakıt türleri arasında en yüksek enerji tasarrufu tüm boru çaplarında fuel-oile aittir. Boru çapı büyüdükçe enerji tasarrufu daha da artmaktadır. Bu fuel-oilin birim tüketim maliyetinin yüksek olmasıyla ilgilidir. Yakıtın yanması ile elde edilen ısının tamamı akışkana geçmemekte bir kısmı boru yüzeyinden kaybolmaktadır. Biz yaptığımız yalıtımla bunu engelleyerek, ısı kaybımızı minimuma düşürerek enerji tasarrufu sağlamayı amaçlamaktayız. Kullanılan yalıtım malzemesininEPS olması diğer yalıtım malzemelerine oranla daha yüksek enerji tasarrufu sağladığı grafikte görülmektedir. Bunu EPS’nin birim maliyeti en düşük olan yalıtım malzemesi olmasıyla açıklayabiliriz



Şekil 6.82 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (XPS).

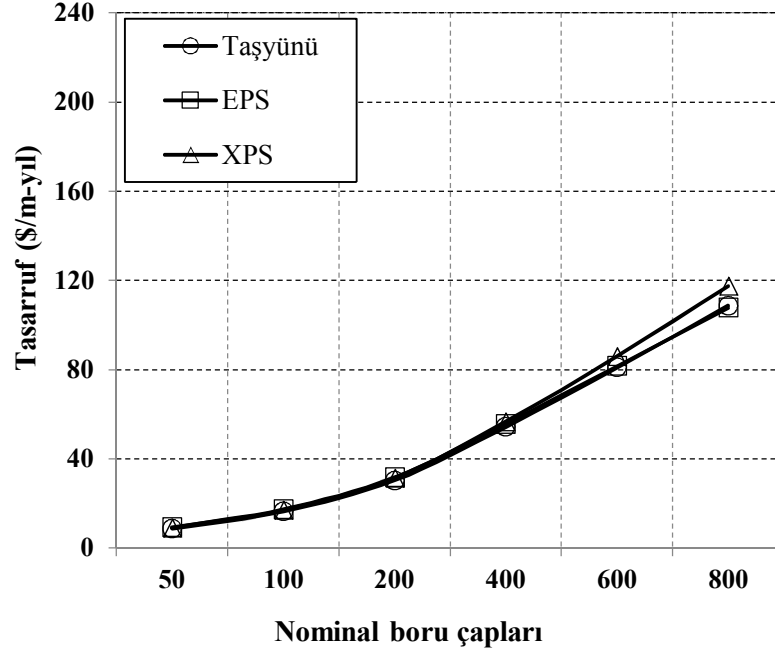
Şekil 6.82’de XPS ile yalıtım yapılmış çelik borularda farklı yakıt türleri için boru çapları büyüdükçe tasarrufun nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere küçük boru çaplarında yalıtım ile sağlanan enerji tasarrufu düşük ve birbirine yakın iken boru çapı büyüdükçe yapılan yalıtımla enerji tasarrufunun arttığı ve kullanılan yakıtın birim maliyetiyle bağlantılı olarak nasıl değiştiği grafiklerde görülmektedir. Çünkü küçük boru çaplarında ısı kaybının gerçekleştiği alanda küçüktür. Yani kaybımızda küçüktür fakat büyük boru çaplarında kaybımızda büyük olacağından yapılan yalıtımla daha çok tasarruf etmiş olmaktayız. Örneğin grafikte görüldüğü üzere yakıt olarak kömürün kullanıldığı XPS ile yalıtım yapılmış 50 mm çapındaki çelik boru da enerji tasarrufu 11,154 \$/m-yıl iken 800 mm boru çapında bu tasarruf 111,759 \$/m-yıl’ları görmektedir. Ayrıca tüm boru çaplarında en büyük tasarruf fuel-oil de sonrasında kömür de en düşük tasarruf ise doğalgazdır.



Şekil 6.83 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür).

Şekil 6.83’de Yakıt olarak kömürün kullanıldığı çelik borularda farklı yalıtım malzemeleri için nominal boru çapı değiştikçe enerji tasarrufunun nasıl değiştiği görülmektedir. Grafikte tüm boru çaplarında taş yünü ve EPS’nin tasarrufu yüksek ve birbirine yakın gözükürken XPS in daha düşük enerji tasarrufu sağladığı görülmektedir.

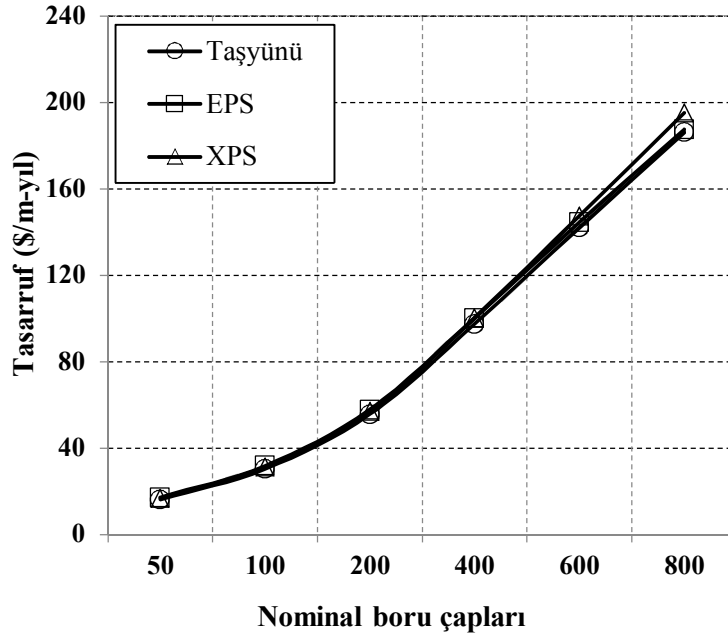
Örneğin yakıt olarak kömürün kullanıldığı 600 mm boru çapındaki çelik boruda taş yünü ile yalıtım yapıldığında enerji tasarrufu 97,42 \$/m-yıl, EPS ile yalıtım yapıldığında enerji tasarrufu 98,58 \$/m-yıl XPS ile yalıtım yapıldığında ise enerji tasarrufu 73,75 \$/m-yıl'dır. Ayrıca XPS ile yapılan yalıtımda 50 mm ile 100 mm arasında çap büyüdükçe tasarruf miktarının çok değişmediği görülmektedir.



Şekil 6.84 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (doğalgaz).

Şekil6.84'te Yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı çelik borularda farklı yalıtım malzemeleri için nominal boru çapı değiştikçe enerji tasarrufunun nasıl değiştiği görülmektedir. Şekilde tüm boru çaplarında üç yalıtım malzemesi için enerji tasarrufu miktarları birbirine yakın gözükmemektedir. Bu durum EPS'nin düşük maliyetli olup yüksek ısı yalıtımına sahip olmasıyla açıklanabilir. Yine de büyük boru çaplarında yalıtım malzemeleri arasındaki enerji tasarrufu farkı daha belirgin olarak gözükmemektedir. 600 mm boru çapındaki çelik borularda yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılırsa enerji tasarrufu 81,52 (\$/m-yıl),taş yünü kullanılırsa 80,91(\$/m-yıl), XPS kullanılırsa da enerji tasarrufu 85,98 (\$/m-yıl) olduğu grafikte görülmektedir. Bu durumda en yüksek enerji tasarrufu XPS te sonrasında EPS de, en düşük enerji

tasarrufunun ise taş yününde olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.85 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için nominal boru çaplarına karşı enerji tasarrufunun değişimi (fuel-oil).

Şekil 6.85 te Yakıt olarak fueloilin kullanıldığı çelik borularda farklı yalıtım malzemeleri için nominal boru çapı değişikçe enerji tasarrufunun nasıl değiştiği görülmektedir. Kullanılan yakıtın fueloil olması diğer yakıt türlerine oranla tüm boru çaplarında daha büyük enerji tasarrufu sağlamaktadır. Fueloil birim tüketim maliyeti yüksek olan bir yakıt olduğundan fueloil le ısıtılan yakıtlarda ısı yalıtımını ne kadar iyi sağlayabilirsek o kadar büyük enerji tasarrufu sağlamış oluruz Ayrıca grafikte tüm yalıtım malzemelerinde boru çapı arttıkça enerji tasarrufu artmakta ve birbirine yakın değerler almaktadır. Örneğin 200 mm çapındaki çelik boruda yakıt olarak fueloil kullanılıp EPS ile yalıtım yapılırsa enerji tasarrufu 57,7 (\$/m-yıl) taş yünü ile yalıtım yapılırsa enerji tasarrufu 55,62 (\$/m-yıl) XPS ile yalıtım yapıldığında ise enerji tasarrufunun 56,94 (\$/m-yıl) olduğu grafikte görülmektedir.

Çizelge 6.3 Taş yünü ve kömür için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
Taşyünü	Kömür	50	OYK (cm)	4,578	7,540	9,400	10,840
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	2,824	6,578	9,835	12,858
			Tasarruf (\$/m-yıl)	4,174	14,159	24,642	35,358
		100	GDS (yıl/m)	1,124	0,716	0,589	0,520
			OYK (cm)	5,424	9,019	11,267	13,002
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	4,415	9,751	14,239	18,341
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	7,985	26,531	45,925	65,706
			GDS (yıl/m)	1,136	0,696	0,561	0,490
			OYK (cm)	6,198	10,509	13,209	15,292
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	7,255	15,198	21,643	27,428
			Tasarruf (\$/m-yıl)	15,164	48,689	83,712	119,396
			GDS (yıl/m)	1,200	0,712	0,564	0,486
		600	OYK (cm)	6,776	11,795	14,967	17,420
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	12,095	24,246	33,755	42,126
			Tasarruf (\$/m-yıl)	28,380	85,588	145,438	206,426
		800	GDS (yıl/m)	1,305	0,757	0,593	0,506
			OYK (cm)	7,056	12,522	16,009	18,717
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	17,245	33,760	46,382	57,349
			Tasarruf (\$/m-yıl)	44,455	125,222	209,884	296,200
			GDS (yıl/m)	1,389	0,798	0,621	0,528
			OYK (cm)	7,196	12,955	16,659	19,546
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	22,315	43,094	58,724	72,181
			Tasarruf (\$/m-yıl)	62,469	164,869	272,417	382,139
			GDS (yıl/m)	1,460	0,835	0,647	0,549

Çizelge 6.4 Taş yünü ve doğalgaz için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
Taşyünü	Doğalgaz	50	OYK (cm)	4,177	6,933	8,662	10,000
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	2,444	5,668	8,456	11,040
			Tasarruf (\$/m-yıl)	3,360	11,487	20,050	28,818
		100	GDS (yıl/m)	1,222	0,772	0,633	0,558
			OYK (cm)	4,936	8,284	10,376	11,991
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	3,857	8,479	12,350	15,881
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	6,467	21,576	37,437	53,637
			GDS (yıl/m)	1,243	0,756	0,608	0,529
			OYK (cm)	5,615	9,626	12,139	14,078
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	6,394	13,340	18,948	23,969
			Tasarruf (\$/m-yıl)	12,421	39,736	68,388	97,629
			GDS (yıl/m)	1,319	0,777	0,615	0,529
		600	OYK (cm)	6,106	10,761	13,708	15,989
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	10,731	21,457	29,807	37,136
			Tasarruf (\$/m-yıl)	23,717	70,294	119,248	169,223
		800	GDS (yıl/m)	1,438	0,831	0,649	0,553
			OYK (cm)	6,333	11,390	14,623	17,137
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	15,350	30,016	41,166	50,825
			Tasarruf (\$/m-yıl)	37,895	103,604	172,828	243,544
			GDS (yıl/m)	1,533	0,878	0,682	0,579
			OYK (cm)	6,440	11,757	15,185	17,861
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	19,898	38,421	52,285	64,188
			Tasarruf (\$/m-yıl)	54,181	137,428	225,333	315,199
			GDS (yıl/m)	1,612	0,919	0,712	0,603

Çizelge 6.5 Taş yünü ve fuel-oil için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
Taşyünü	Fuel-oil	50	OYK (cm)	5,464	8,884	11,035	12,702
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	3,769	8,859	13,302	17,439
			Tasarruf (\$/m-yıl)	6,393	21,370	36,995	52,925
		100	GDS (yıl/m)	0,957	0,619	0,513	0,455
			OYK (cm)	6,501	10,644	13,237	15,239
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	5,784	12,903	18,939	24,477
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	12,115	39,878	68,724	98,067
			GDS (yıl/m)	0,955	0,593	0,482	0,422
			OYK (cm)	7,486	12,461	15,574	17,974
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	9,337	19,740	28,264	35,953
			Tasarruf (\$/m-yıl)	22,631	72,795	124,838	177,716
			GDS (yıl/m)	0,999	0,599	0,477	0,413
		600	OYK (cm)	8,268	14,087	17,751	20,583
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	15,346	30,970	43,326	54,265
			Tasarruf (\$/m-yıl)	41,101	126,780	215,727	306,091
		800	GDS (yıl/m)	1,079	0,631	0,496	0,425
			OYK (cm)	8,671	15,040	19,084	22,219
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	21,721	42,707	58,913	73,075
			Tasarruf (\$/m-yıl)	62,382	183,484	309,366	437,292
			GDS (yıl/m)	1,145	0,662	0,517	0,441
			OYK (cm)	8,890	15,628	19,937	23,289
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	27,993	54,190	74,092	91,325
			Tasarruf (\$/m-yıl)	85,157	238,870	398,878	561,554
			GDS (yıl/m)	1,202	0,691	0,538	0,457

Çizelge 6.6 EPS ve kömür için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
EPS	Kömür	50	OYK (cm)	5,259	8,529	10,585	12,177
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	2,450	5,719	8,562	11,204
			Tasarruf (\$/m-yıl)	4,510	14,981	25,878	36,975
		100	GDS (yıl/m)	0,913	0,588	0,486	0,431
			OYK (cm)	6,226	10,178	12,650	14,559
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	3,770	8,349	12,216	15,758
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	8,496	27,799	47,814	68,155
			GDS (yıl/m)	0,914	0,566	0,459	0,401
			OYK (cm)	7,137	11,870	14,833	17,118
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	6,109	12,825	18,305	23,237
			Tasarruf (\$/m-yıl)	15,818	50,570	86,558	123,095
			GDS (yıl/m)	0,959	0,573	0,457	0,395
		600	OYK (cm)	7,852	13,372	16,853	19,544
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	10,080	20,214	28,194	35,243
			Tasarruf (\$/m-yıl)	28,705	87,929	149,308	211,619
		800	GDS (yıl/m)	1,038	0,606	0,476	0,407
			OYK (cm)	8,217	14,245	18,079	21,054
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	14,300	27,957	38,459	47,616
			Tasarruf (\$/m-yıl)	43,591	127,217	213,998	302,124
			GDS (yıl/m)	1,102	0,637	0,497	0,423
			OYK (cm)	8,414	14,780	18,860	22,036
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	18,456	35,542	48,473	59,644
			Tasarruf (\$/m-yıl)	59,564	165,655	275,903	387,910
			GDS (yıl/m)	1,157	0,665	0,517	0,439

Çizelge 6.7 EPS ve doğalgaz için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
EPS	Doğalgaz	50	OYK (cm)	4,816	7,859	9,769	11,248
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	2,121	4,926	7,358	9,615
			Tasarruf (\$/m-yıl)	3,646	12,192	21,112	30,206
		100	GDS (yıl/m)	0,990	0,633	0,521	0,461
			OYK (cm)	5,690	9,369	11,670	13,446
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	3,293	7,255	10,587	13,633
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	6,897	22,667	39,066	55,751
			GDS (yıl/m)	0,998	0,613	0,495	0,433
			OYK (cm)	6,497	10,901	13,659	15,786
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	5,385	11,250	16,012	20,287
			Tasarruf (\$/m-yıl)	12,939	41,335	70,833	100,819
			GDS (yıl/m)	1,052	0,626	0,497	0,428
		600	OYK (cm)	7,113	12,236	15,472	17,975
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	8,949	17,881	24,877	31,039
			Tasarruf (\$/m-yıl)	23,808	72,180	122,488	173,630
		800	GDS (yıl/m)	1,142	0,664	0,521	0,445
			OYK (cm)	7,418	12,998	16,556	19,319
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	12,742	24,850	34,113	42,166
			Tasarruf (\$/m-yıl)	36,695	104,961	176,072	248,394
			GDS (yıl/m)	1,215	0,700	0,545	0,464
			OYK (cm)	7,576	13,457	17,237	20,182
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	16,479	31,688	43,140	53,005
			Tasarruf (\$/m-yıl)	50,836	137,396	227,713	319,617
			GDS (yıl/m)	1,276	0,731	0,568	0,482

Çizelge 6.8 EPS ve fuel-oil için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
EPS	Fuel-oil	50	OYK (cm)	6,236	10,014	12,392	14,236
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	3,272	7,709	11,592	15,213
			Tasarruf (\$/m-yıl)	6,852	22,482	38,667	55,114
		100	GDS (yıl/m)	0,781	0,510	0,425	0,378
			OYK (cm)	7,409	11,965	14,816	17,020
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	4,942	11,064	16,275	21,066
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	12,823	41,583	71,254	101,344
			GDS (yıl/m)	0,771	0,484	0,395	0,347
			OYK (cm)	8,553	14,012	17,427	20,060
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	7,864	16,685	23,952	30,523
			Tasarruf (\$/m-yıl)	23,613	75,358	128,659	182,654
			GDS (yıl/m)	0,800	0,484	0,387	0,336
		600	OYK (cm)	9,495	15,888	19,908	23,012
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	12,782	25,854	36,255	45,493
			Tasarruf (\$/m-yıl)	41,975	130,206	221,108	313,172
		800	GDS (yıl/m)	0,860	0,507	0,400	0,343
			OYK (cm)	10,002	17,014	21,456	24,896
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	17,989	35,396	48,924	60,787
			Tasarruf (\$/m-yıl)	62,305	186,986	315,546	445,771
			GDS (yıl/m)	0,910	0,530	0,415	0,354
			OYK (cm)	10,290	17,725	22,466	26,149
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	23,110	44,716	61,233	75,586
			Tasarruf (\$/m-yıl)	83,275	241,579	404,972	570,528
			GDS (yıl/m)	0,954	0,552	0,430	0,366

Çizelge 6.9 XPS ve kömür için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

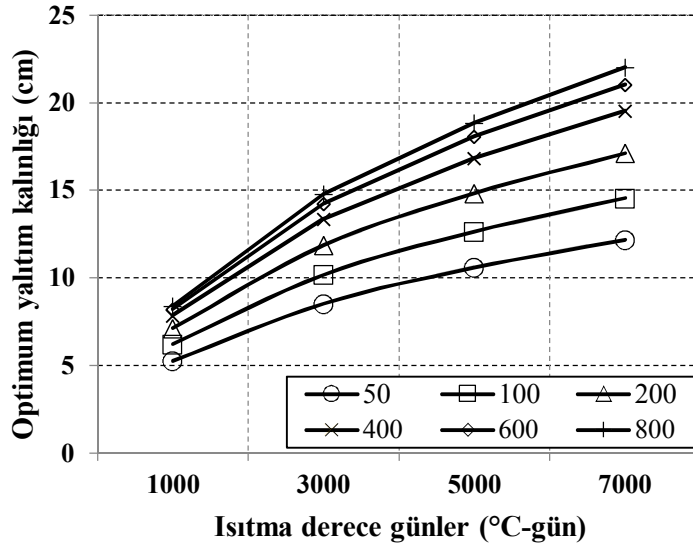
Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
XPS	Kömür	50	OYK (cm)	3,711	6,132	7,648	8,820
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	2,674	6,081	8,995	11,683
			Tasarruf (\$/m-yıl)	4,373	14,706	25,531	36,583
		100	GDS (yıl/m)	1,124	0,702	0,572	0,503
			OYK (cm)	4,326	7,245	9,070	10,478
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	4,260	9,181	13,256	16,951
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	8,319	27,280	47,088	67,275
			GDS (yıl/m)	1,153	0,695	0,556	0,483
			OYK (cm)	4,859	8,328	10,508	12,191
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	7,143	14,632	20,606	25,920
			Tasarruf (\$/m-yıl)	15,936	49,915	85,409	121,564
			GDS (yıl/m)	1,232	0,722	0,569	0,488
		600	OYK (cm)	5,228	9,217	11,754	13,722
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	12,107	23,837	32,860	40,728
			Tasarruf (\$/m-yıl)	30,638	88,267	148,603	210,094
		800	GDS (yıl/m)	1,349	0,777	0,606	0,515
			OYK (cm)	5,391	9,694	12,461	14,618
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	17,413	33,598	45,768	56,244
			Tasarruf (\$/m-yıl)	49,401	130,499	215,612	302,420
			GDS (yıl/m)	1,440	0,823	0,639	0,541
			OYK (cm)	5,464	9,965	12,885	15,171
	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	22,646	43,210	58,447	71,449		
	Tasarruf (\$/m-yıl)	71,224	173,838	281,779	391,955		
	GDS (yıl/m)	1,516	0,863	0,668	0,565		

Çizelge 6.10 XPS ve doğalgaz için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
XPS	Doğalgaz	50	OYK (cm)	3,383	5,636	7,047	8,137
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	2,324	5,261	7,765	10,069
			Tasarruf (\$/m-yıl)	3,529	11,944	20,792	29,839
		100	GDS (yıl/m)	1,225	0,760	0,617	0,541
			OYK (cm)	3,930	6,648	8,347	9,657
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	3,737	8,018	11,546	14,738
		200	Tasarruf (\$/m-yıl)	6,767	22,217	38,420	54,960
			GDS (yıl/m)	1,264	0,757	0,604	0,523
			OYK (cm)	4,392	7,616	9,643	11,210
		400	Toplam maliyet (\$/m-yıl)	6,317	12,896	18,116	22,747
			Tasarruf (\$/m-yıl)	13,158	40,840	69,880	99,510
			GDS (yıl/m)	1,356	0,791	0,622	0,532
		600	OYK (cm)	4,698	8,392	10,746	12,574
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	10,769	21,169	29,126	36,045
			Tasarruf (\$/m-yıl)	25,948	72,853	122,199	172,584
		800	GDS (yıl/m)	1,488	0,854	0,664	0,565
			OYK (cm)	4,826	8,798	11,359	13,359
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	15,530	29,958	40,755	50,022
			Tasarruf (\$/m-yıl)	42,830	108,776	178,354	249,462
			GDS (yıl/m)	1,590	0,906	0,702	0,594
			OYK (cm)	4,878	9,024	11,721	13,836
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	20,224	38,619	52,189	63,738
			Tasarruf (\$/m-yıl)	62,941	146,314	234,513	324,734
			GDS (yıl/m)	1,674	0,951	0,735	0,621

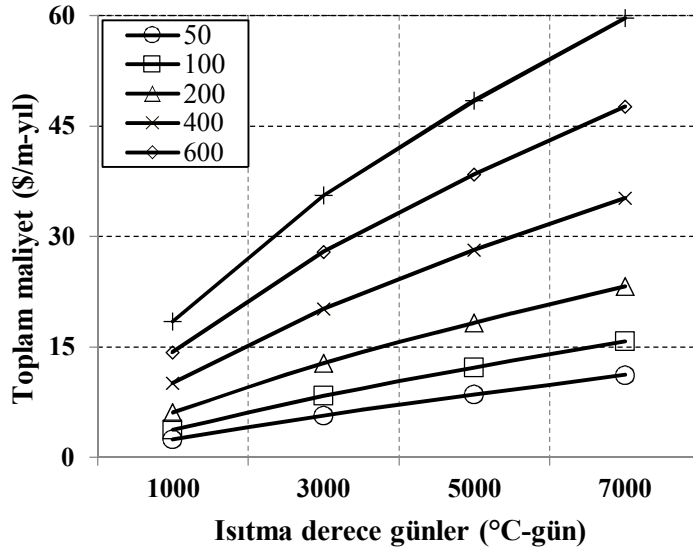
Çizelge 6.11 XPS ve fuel-oil için farklı derece gün değerleri için hesaplama parametrelerinin sonuçları.

Yalıtım malzemesi	Yakıt çeşidi	Nominal boru çapları	Hesaplanan parametreler	Derece gün değerleri (°C-gün)			
				1000	3000	5000	7000
XPS	Fuel-oil	50	OYK (cm)	4,436	7,228	8,978	10,333
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	3,539	8,125	12,076	15,732
			Tasarruf (\$/m-yıl)	6,672	22,154	38,271	54,682
		GDS (yıl/m)	0,951	0,603	0,495	0,437	
		100	OYK (cm)	5,200	8,565	10,668	12,291
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	5,535	12,047	17,487	22,442
			Tasarruf (\$/m-yıl)	12,544	40,913	70,355	100,281
		GDS (yıl/m)	0,965	0,589	0,474	0,413	
		200	OYK (cm)	5,893	9,904	12,418	14,359
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	9,125	18,849	26,685	33,692
			Tasarruf (\$/m-yıl)	23,503	74,346	127,077	180,636
		GDS (yıl/m)	1,022	0,605	0,479	0,412	
		400	OYK (cm)	6,409	11,049	13,989	16,265
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	15,275	30,228	41,852	52,046
			Tasarruf (\$/m-yıl)	43,442	129,792	219,472	310,580
		GDS (yıl/m)	1,113	0,646	0,505	0,431	
		600	OYK (cm)	6,657	11,690	14,911	17,416
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	21,836	42,237	57,731	71,145
			Tasarruf (\$/m-yıl)	67,380	189,067	315,661	444,336
		GDS (yıl/m)	1,185	0,682	0,530	0,450	
		800	OYK (cm)	6,782	12,071	15,482	18,146
			Toplam maliyet (\$/m-yıl)	28,308	54,043	73,289	89,803
			Tasarruf (\$/m-yıl)	93,927	248,102	408,766	572,162
		GDS (yıl/m)	1,246	0,713	0,553	0,469	



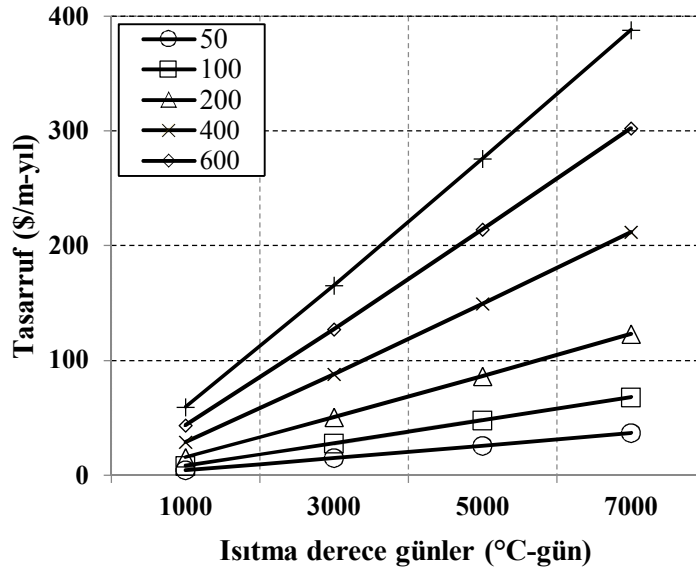
Şekil 6.86 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS, kömür).

Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı toplam optimum yalıtım kalınlığı değişimi EPS yalıtım malzemesi olarak ile kömür yakıtı kullanılarak incelenmiştir. IDG değerleri arttıkça optimum yalıtım kalınlığının da arttığı görülmektedir. bu durum hem kullanılan yalıtım malzemesini artırır. Hem de toplam maliyeti artırmaktadır



Şekil 6.87 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetin değişimi (EPS, kömür).

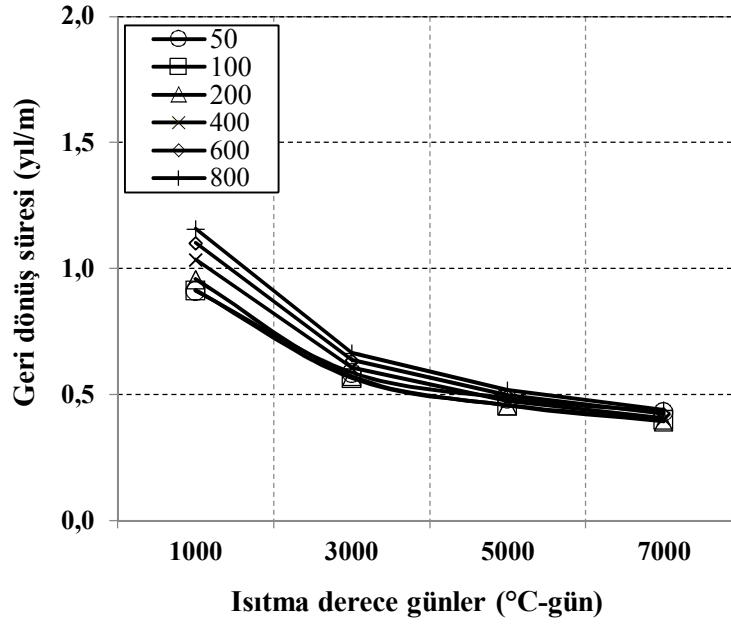
Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı toplam değişimi EPS malzemesi ve Kömür yakıtı için Şekil 87’de incelenmiştir. 50 mm boru çapı için 1000 IDG baz alındığında toplam maliyet 2,450 \$/m-yıl iken IDG değerleri arttıkça toplam maliyetin de arttığı görülmektedir. 7000 IDG değerlerine bakıldığında toplam maliyetin 11,204 \$/m-yıl olduğu görülmektedir. 800 mm çelik boru çapı için 1000 IDG değerine bakıldığında toplam maliyet 18,456 \$/m-yıl’dır. IDG 7000 olduğunda toplam maliyet 59,644 \$/m-yıl olduğu görülmektedir.



Şekil 6.88 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufun değişimi (EPS, kömür).

Şekil 6.88 incelendiğinde IDG değerlerine karşı tasarruflar incelenmiştir. Yakıt olarak kömür yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. 50 mm çelik boru çapı, 1000 IDG değeri için 4,510 \$/m-yıl tasarruf edildiği görülmektedir. 7000 IDG değeri için tasarruf 36,975 \$/m-yıl’dır. 200 mm çelik boru çapı, 3000 IDG değeri incelendiğinde yapılan tasarruf 50,570 \$/m-yıl’dır.

800 mm çelik boru çapı için 1000 IDG değerine bakıldığında tasarrufun 59,564 \$/m-yıl, 3000 IDG değerine bakıldığında tasarruf 165,655 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için tasarruf 275,903 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için tasarruf 387,910 \$/m-yıl’dır.



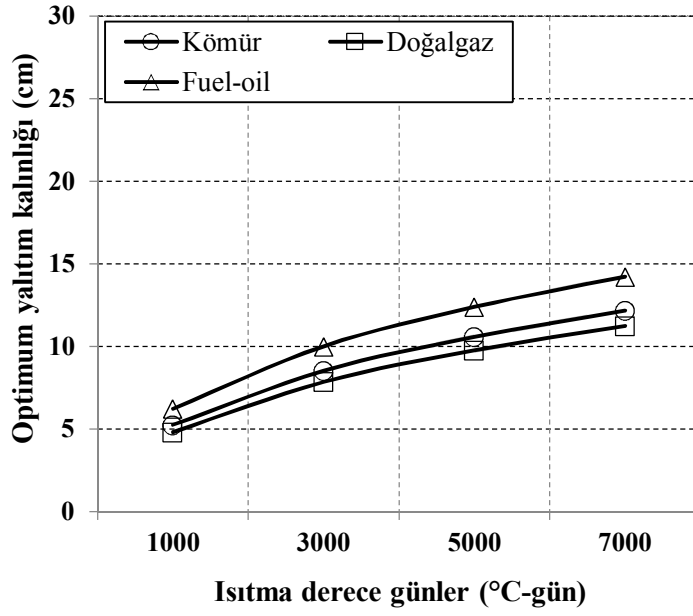
Şekil 6.89 Çelik borularda çeşitli nominal boru çapları için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (EPS, kömür).

EPS yalıtım malzemesi ve kömür yakıtı için Şekil 89 incelendiğinde IDG değerlerinin geri dönüş süreleri; 50 mm boru çapı 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,913 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,588 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,486 m/yıl, 7000 IDG değeri için 0,431 yıl/m olduğu görülmektedir.

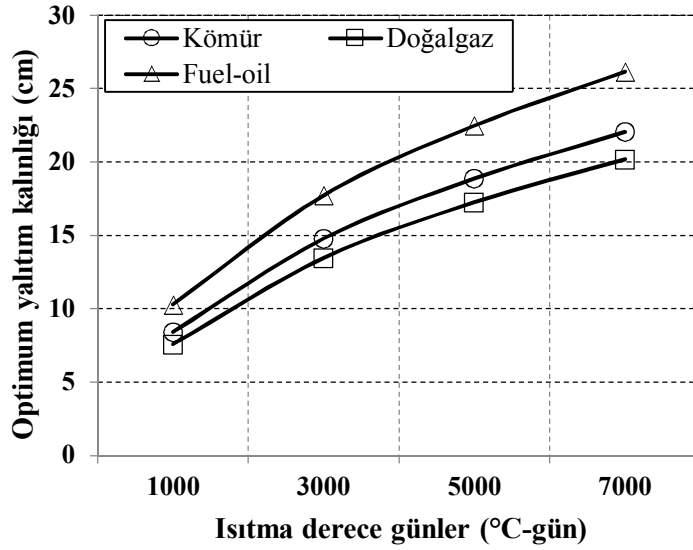
400 mm çelik boru çapı, 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 1,038 yıl/m, 3000IDG değeri için geri dönüş süresi 0,606 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,476 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,407 yıl/m'dir.

800 mm çelik boru çapı, 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 1,157 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,655 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,517 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,439 yıl/m'dir.

Bu değerler incelendiğinde 3000 IDG değerinden sonra geri dönüş süresinin yavaşladığı görülmektedir. 3000 IDG değerine kadar geri dönüş süresi daha belirgindir.



Şekil 6.90 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS, 50).

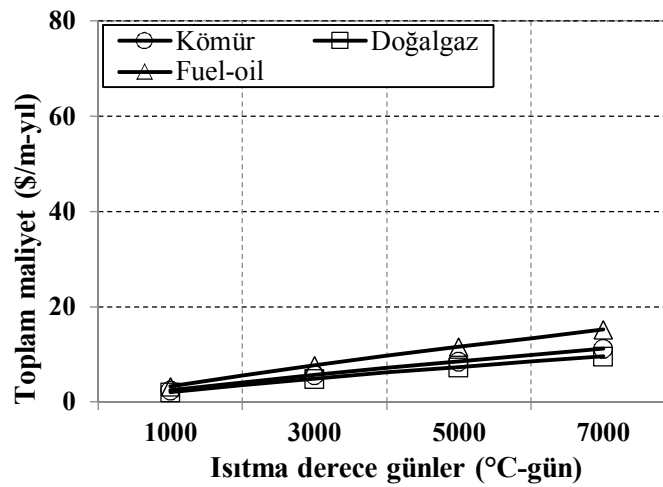


Şekil 6.91 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (EPS, 800).

Şekil 6.90'da çeşitli yakıtlar için IDG'ye karşı optimum yalıtım kalınlık değişimi incelenmiştir. 50 mm boru çapı ve EPS yalıtım malzemesi, Kömür yakıtı, 1000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 5,259 cm, 3000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 8,529 cm, 5000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 10,585 cm, 7000 IDG optimum yalıtım kalınlığı

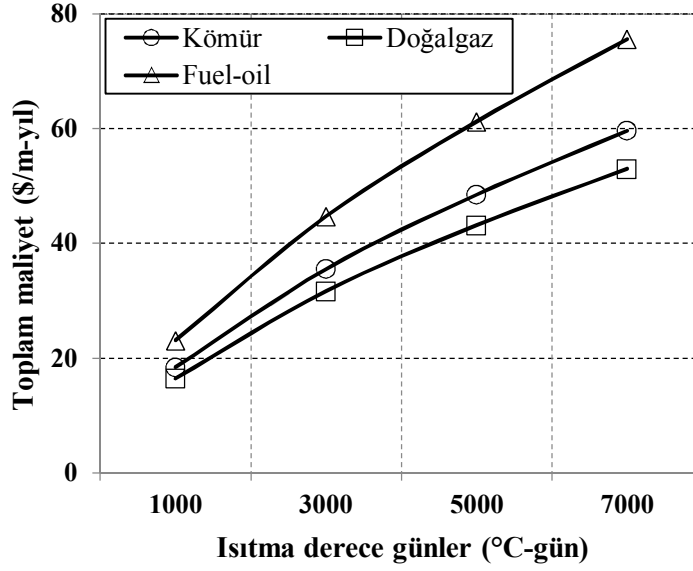
12,177 cm'dir. Fuel-oil yakıtı, 1000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 6,236 cm, 3000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 10,014 cm, 5000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 12,392 cm, 7000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 14,236 cm'dir. Doğalgaz yakıtı, 1000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 4,816 cm, 3000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 7,859 cm, 5000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 9,769 cm, 7000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 11,248 cm'dir. Değerler incelendiğinde, doğalgaz yakıtı kullanıldığı zaman diğer yakıtlardan daha az yalıtım malzemesi kullanıldığı görülmektedir. En çok yalıtım malzemesi de fuel-oil yakıtında kullanılmıştır.

Şekil 6.91'da 800 mm çelik boru çapı, EPS malzemesi için IDG değerlerine karşı optimum yalıtım kalınlığı değişimi incelendiğinde, Kömür yakıtı, 1000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 8,414 cm, 3000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 14,780 cm, 5000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 18,860 cm, 7000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 22,036 cm'dir. Fuel-oil yakıtı, 1000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 10,290 cm, 3000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 17,725 cm, 5000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 22,466 cm, 7000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 16,149 cm'dir. Doğalgaz yakıtı, 1000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 7,576 cm, 3000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 13,457 cm, 5000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 17,237 cm, 7000 IDG optimum yalıtım kalınlığı 20,182 cm'dir. IDG değerleri arttıkça optimum yalıtım kalınlığının arttığı görülmektedir. Bununla beraber boru çapı arttığı için kullanılan malzeme miktarı daha fazla olur.



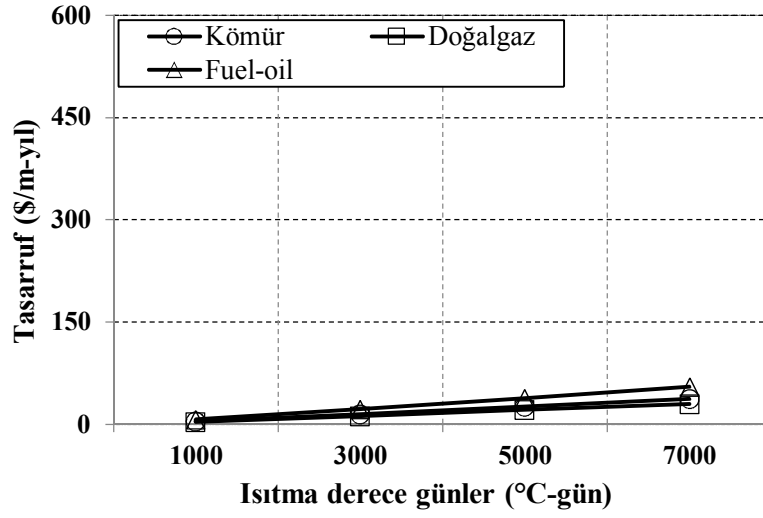
Şekil 6.92 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetin değişimi (EPS, 50).

Şekil 6.92’de IDG değerlerine karşı kullanılan yakıtlara karşı toplam maliyetler incelendiğinde, toplam maliyeti en fazla olan yakıt fuel-oil’dir. Toplam maliyeti en düşük yakıt doğalgazdır.

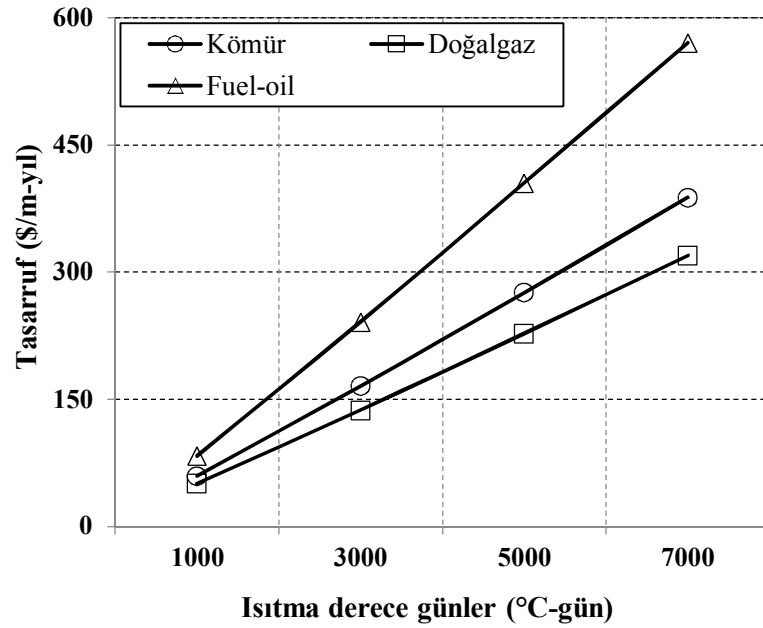


Şekil 6.93 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetin değişimi (EPS, 800).

800 mm çelik boru çapı EPS yalıtım malzemesi için, kömür yakıtı, 1000 IDG için toplam maliyet 18,456 \$/m-yıl, 3000 IDG için toplam maliyet 35,542 \$/m-yıl, 5000 IDG için toplam maliyet 48,473 \$/m-yıl, 7000 IDG için toplam maliyet 59,644 \$/m-yıl’dır. Fuel-oil yakıtı, 1000 IDG için toplam maliyet 23,110 \$/m-yıl, 3000 IDG için toplam maliyet 44,716 \$/m-yıl, 5000 IDG için toplam maliyet 61,133 \$/m-yıl, 7000 IDG için toplam maliyet 75,586 \$/m-yıl’dır. Doğalgaz yakıtı, 1000 IDG için toplam maliyet 16,479 \$/m-yıl, 3000 IDG için toplam maliyet 31,688 \$/m-yıl, 5000 IDG için toplam maliyet 43,140 \$/m-yıl, 7000 IDG için toplam maliyet 53,005 \$/m-yıl’dır. IDG değerleri arttıkça toplam maliyetin arttığı görülmektedir. en fazla artış fuel-oil yakıtındadır.



Şekil 6.94 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufun değişimi (EPS, 50).

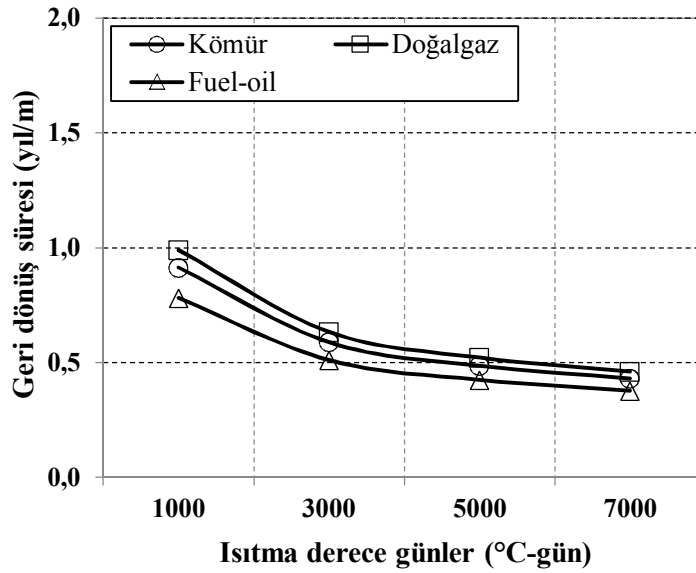


Şekil 6.95 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufun değişimi (EPS, 800).

Şekil 6.94'te 50 mm çelik boru çapı, EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında IDG değerlerine karşı tasarrufları incelenmiştir. Kömür yakıtı, 1000 IDG değeri için tasarruf 4,510 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için tasarruf 14,981 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için tasarruf 25,878 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için tasarruf 36,975 \$/m-yıl'dır. Fuel-oil

yakıtı, 1000 IDG değeri için tasarruf 6,852 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için tasarruf 22,482 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için tasarruf 38,667 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için tasarruf 55,114 \$/m-yıl'dır. Doğalgaz yakıtı, 1000 IDG değeri için tasarruf 3,646 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için tasarruf 12,192 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için tasarruf 21,112 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için tasarruf 30,206 \$/m-yıl'dır. Sonuçlara bakıldığında IDG değerleri arttıkça tasarruf değerleri de artar.

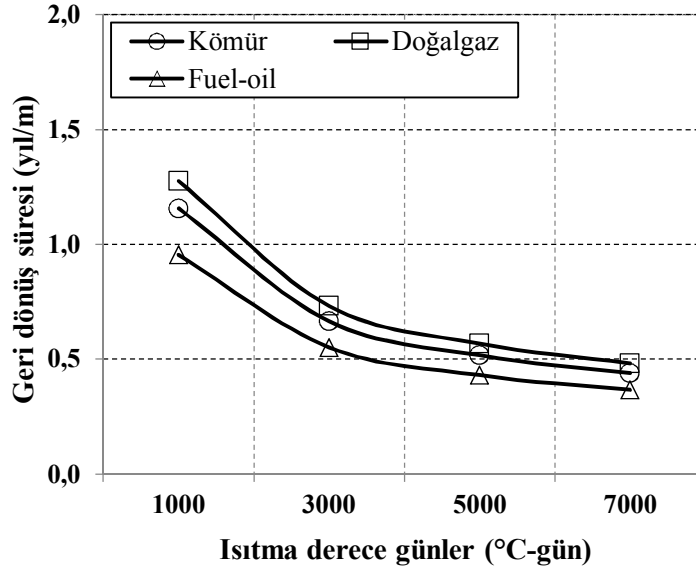
Şekil 6.95'te 800 mm çelik boru çapı, EPS yalıtım malzemesi, IDG-tasarruf değişimi incelendiğinde fuel-oil yakıtında IDG değerleri arttıkça ciddi tasarruflar elde edildiği görülmektedir. Bu tasarruflar elde edilirken şu sonuca dikkat edilmesi gerekir; fuel-oil yakıtı birim maliyeti en fazla olan yakıttır. Bu sebepten dolayı tasarruf daha fazla olmaktadır.



Şekil 6.96 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 50).

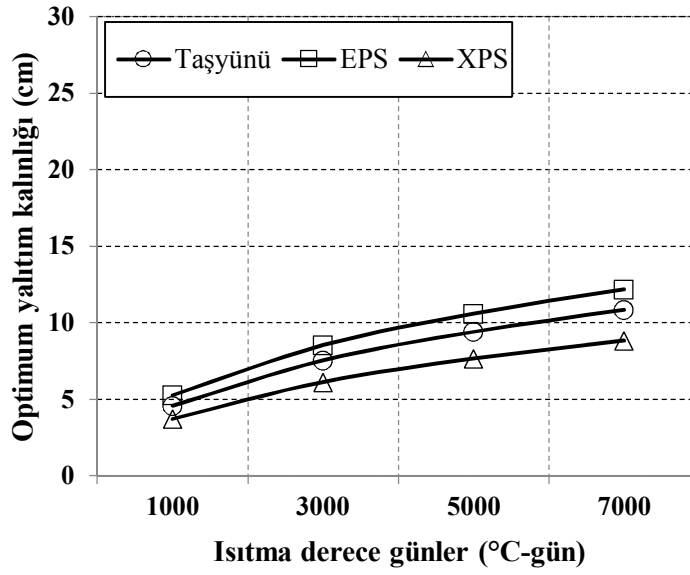
Şekil 6.96'te 50 mm çelik boru çapı için EPS yalıtım malzemesinin IDG değerlerine karşı geri dönüş sürelerinin değişimi incelenmiştir. Kömür yakıtı, 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,913 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,588 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,486 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,431 yıl/m'dir. Doğalgaz yakıtı, 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,990 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,633 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş

süresi 0,521 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,461 yıl/m'dir. Fuel-oil yakıtı, 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,781 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,510 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,425 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,378 yıl/m'dir. Grafikten görüldüğü üzere 3000 IDG değerinden sonra geri dönüş süresi hem yavaşlar hem de azalır.

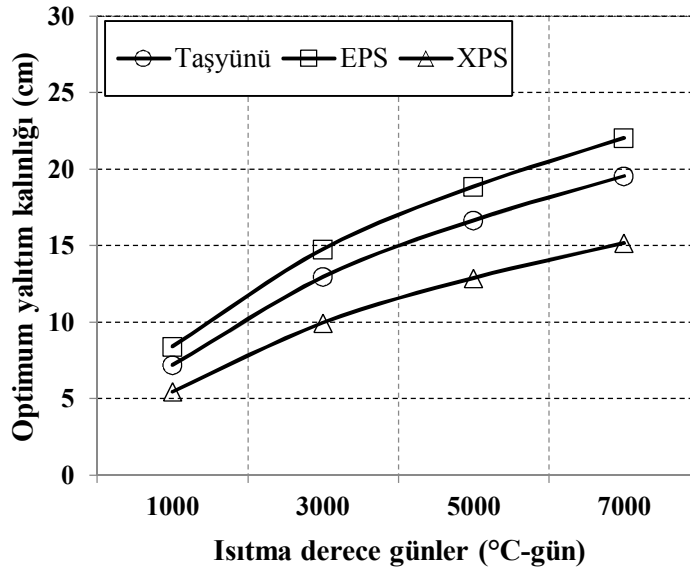


Şekil 6.97 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (EPS, 800).

800 mm çelik boru çapı, EPS yalıtım malzemesi için IDG- geri dönüş süresi Şekil 97 incelenmiştir. Şekil 95 te olduğu gibi 3000 IDG değerinden sonra geri dönüş süresinin yavaşladığı görülmüştür. En hızlı geri dönüş süresi fuel-oil yakıtı, en yavaş geri dönüş süresi doğalgaz yakıtı için görülmüştür.



Şekil 6.98 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (kömür, 50).

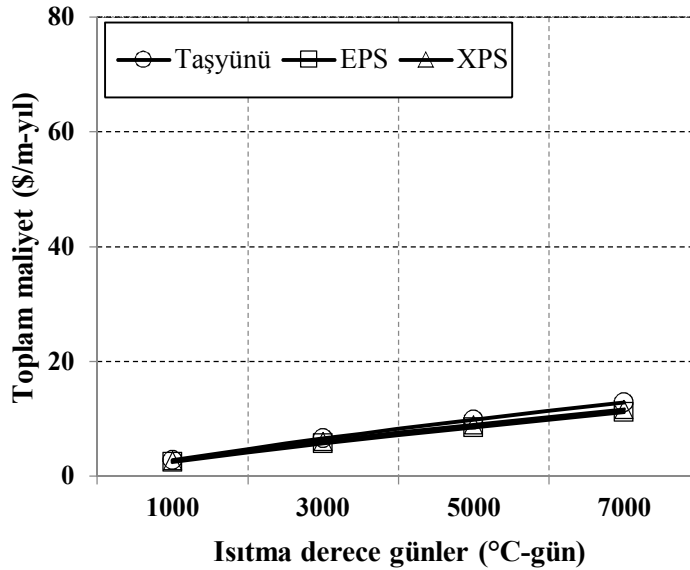


Şekil 6.99 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı optimum yalıtım kalınlığının değişimi (kömür, 800).

Şekil 6.98 de 50 mm çelik boru çapı için, kömür yakıtı kullanılarak IDG-optimum yalıtım kalınlığı incelenmiştir. Taş yünü yalıtım malzemesi için 1000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 4,578 cm, 3000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 7,540 cm, 5000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 9,400 cm, 7000 IDG değeri

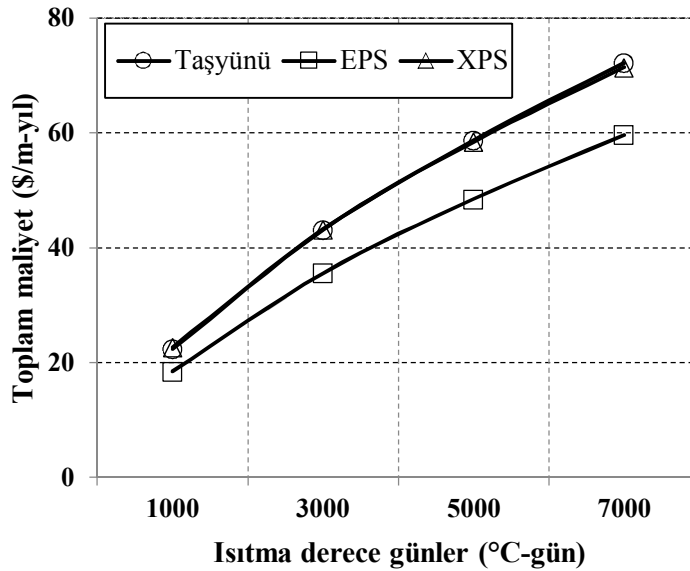
için optimum yalıtım kalınlığı 10,840 cm'dir. EPS yalıtım malzemesi için 1000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 5,259 cm, 3000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 8,529 cm, 5000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 10,585 cm, 7000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 12,177 cm'dir. XPS yalıtım malzemesi için 1000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 3,711 cm, 3000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 6,132 cm, 5000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 7,648 cm, 7000 IDG değeri için optimum yalıtım kalınlığı 8,120 cm'dir. Yalıtım malzemelerinde yalıtım sarfiyatı en az kullanılan malzeme XPS yalıtım malzemesidir. En çok kullanılan yalıtım malzemesi ise EPS yalıtım malzemesidir. IDG değerleri arttıkça yalıtım değerleri de artar.

Şekil 6.99'de 800 mm çelik boru çapı için kömür yakıtı kullanılarak IDG-optimum yalıtım kalınlığı incelenmiştir. Boru çapı arttıkça Şekil 97 dekine benzer olarak EPS yalıtım malzemesinin optimum yalıtım kalınlığı en yüksektir. Bu değerler IDG değerleri arttıkça artmaya devam etmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı az olan malzeme ise XPS yalıtım malzemesidir.



Şekil 6.100 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetinin değişimi (kömür, 50).

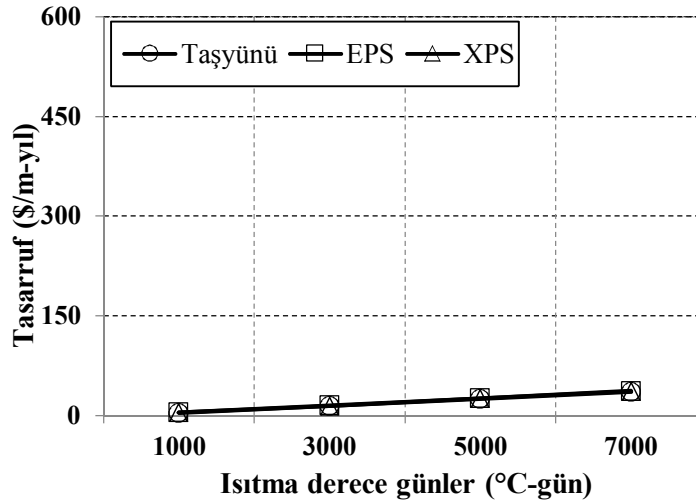
50 mm çelik boru çapı için kömür yakıtı kullanılarak IDG-toplam maliyet Şekil 6.99’da incelenmiştir. EPS yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için toplam maliyet 2,450 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için toplam maliyet 5,719 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için toplam maliyet 8,562 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için toplam maliyet 11,204 \$/m-yıl’dır. XPS yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için toplam maliyet 2,674 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için toplam maliyet 6,081 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için toplam maliyet 8,995 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için toplam maliyet 11,683 \$/m-yıl’dır. Taş yünü yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için toplam maliyet 2,824 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için toplam maliyet 6,578 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için toplam maliyet 9,835 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için toplam maliyet 12, 858 \$/m-yıl’dır. Sonuçlar incelendiğinde değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



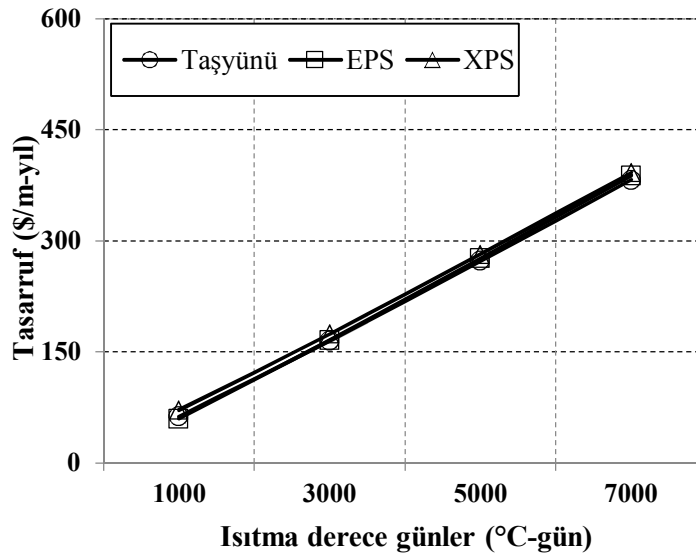
Şekil 6.101 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı toplam maliyetinin değişimi (kömür, 800).

Şekil 6.101’de 800 mm çelik boru çapı için, kömür yakıtı kullanılarak IDG- toplam maliyet incelenmiştir. Taş yünü yalıtım malzemesi 1000IDG değeri için toplam maliyet 22,315 \$/m-yıl, 3000IDG değeri için toplam maliyet 43,094 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için toplam maliyet 58,724 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için toplam maliyet 72,181 \$/m-yıl’dır. EPS yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için toplam maliyet 18,456 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için toplam maliyet 35,542 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için toplam

maliyet 48,473 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için toplam maliyet 59,644 \$/m-yıl'dır. XPS yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için toplam maliyet 22,646 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için toplam maliyet 43,210 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için toplam maliyet 58,447 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için toplam maliyet 71,449 \$/m-yıl'dır. Sonuçlar incelendiğinde Taş yünü ve XPS yalıtım malzemeleri kullanıldığında değerlerin birbirine yakınlığı dikkat çekmektedir.



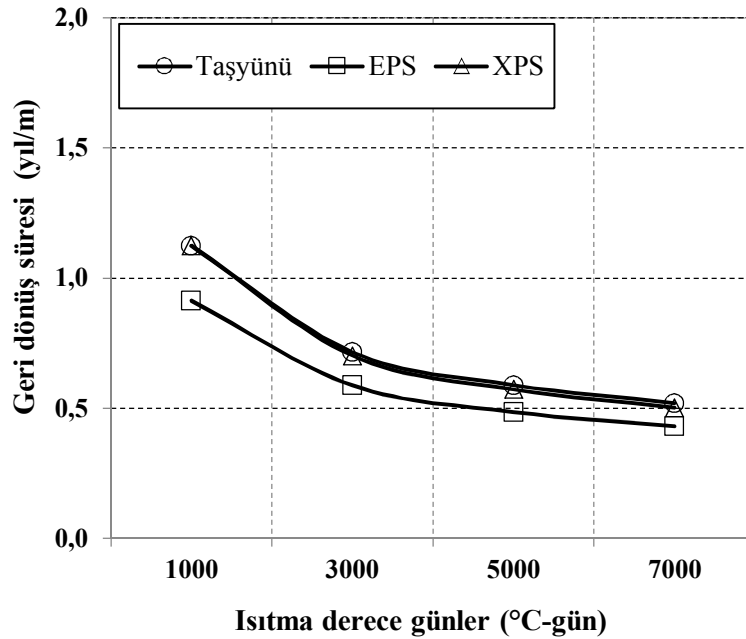
Şekil 6.102 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 50).



Şekil 6.103 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı enerji tasarrufunun değişimi (kömür, 800).

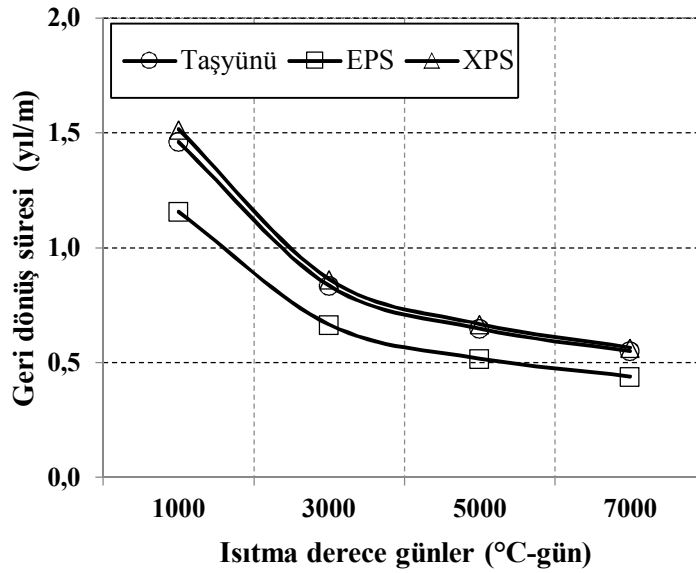
Şekil 6.102'e bakıldığında 50 mm çelik boru çapı için kömür yakıtı kullanılarak IDG- tasarruf değerleri incelenmiştir. Çıkan sonuçlara bakıldığında sonuçların birbirine yakınlığı dikkat çekmektedir. Bunda etkin olan, boru çapının da küçük olmasıdır.

800 mm çelik boru çapı için kömür yakıtı kullanılarak IDG- tasarruf değerleri Şekil 102'de incelenmiştir. Taş yünü yalıtım malzemesi, 1000 IDG değeri için tasarruf 62,469 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için tasarruf 164,869 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için tasarruf 272,417 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için tasarruf 382,139 \$/m-yıl'dır. EPS yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için tasarruf 59,564 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için tasarruf 165,655 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için tasarruf 275,903 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için tasarruf 387,910 \$/m-yıl'dır. XPS yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için tasarruf 71,224 \$/m-yıl, 3000 IDG değeri için tasarruf 173,838 \$/m-yıl, 5000 IDG değeri için tasarruf 281,779 \$/m-yıl, 7000 IDG değeri için tasarruf 391,955 \$/m-yıl'dır. Sonuçlardan görüleceği gibi değerler birbirine çok yakındır.



Şekil 6.104 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (kömür, 50).

Şekil 6.104'te 50 mm çelik boru çapı için kömür yakıtı kullanılarak IDG-geri dönüş süresi incelenmiştir. Taş yünü yalıtım malzemesi, 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 1,124 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,716 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,589 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,520 yıl/m'dir. EPS yalıtım malzemesi, 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,913 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,588 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,486 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,431 yıl/m'dir. XPS yalıtım malzemesi 1000 IDG değeri için geri dönüş süresi 1,124 yıl/m, 3000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,702 yıl/m, 5000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,572 yıl/m, 7000 IDG değeri için geri dönüş süresi 0,503 yıl/m'dir. XPS ve Taş yünü yalıtım malzemesi geri dönüş süreleri birbirine yakın iken EPS yalıtım malzemesi değeri daha düşüktür.



Şekil 6.105 Çelik borularda çeşitli yakıtlar için ısıtma derece günlere karşı geri dönüş süresinin değişimi (kömür, 800).

800 mm çelik boru çapı ve kömür yakıtı için geri dönüş süresi- IDG değer değişimi Şekil 6.105'te incelenmiştir. Önceki grafiğe benzer olarak EPS yalıtım malzemesinin geri dönüş süresi XPS ve Taş yünü yalıtım malzemelerine göre daha kısadır. 800 mm boru çapı kullanıldığında EPS yalıtım malzemesinin geri dönüş zamanındaki fark daha belirgindir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bölgesel ısıtma boru hatlarında farklı çaplarda plastik ve çelik borular farklı yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemeleriyle optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufları, geri dönüş süreleri hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi kullanılarak yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- I. Çelik borularda, yakıt türü olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak taşıyünü tercih edildiğinde farklı boru çaplarında optimum yalıtım kalınlığı incelendiğinde, boru çapları arttıkça optimum yalıtım kalınlığının arttığı tespit edilmiştir(50mm 7,379 cm, 100mm 8,112 cm, 200mm 9,419 cm, 400mm 10,520cm, 600mm için 11,126cm, 800mm 11,478cm). Bu durum yakıt türü olarak doğalgaz ve fueloil tercih edildiğinde de aynı şekilde gerçekleşmiştir. Yakıt türlerine göre optimum yalıtım kalınlıklarına bakıldığında (Çizelge 6.1'e bakınız) yalıtım malzemesinin en az kullanımı doğalgaz yakıtında, en fazla yalıtım malzemesi kullanımı ise fueloil yakıtında olduğu görülmüştür. Yalıtım türlerine göre optimum yalıtım kalınlığı incelendiğinde ise,(Çizelge 6.1'e bakınız) yalıtım malzemesinin en az kullanımı doğalgaz yakıtında, en fazla yalıtım malzemesi kullanımı fueloil yakıtında olduğu görülmüştür. Çelik borular için yapılan tüm deneyler incelendiğinde her bir yakıt türü için en az kullanılan yalıtım malzemesi XPS olduğu tespit edilmiştir.
- II. Plastik borularda, farklı yakıt türü ve farklı yalıtım malzemesi kullanılarak optimum yalıtım kalınlıkları incelendiğinde 50mm ile 200mm lik boru çapları arasında yapılan deneylerde boru çapı arttıkça optimum yalıtım kalınlığının arttığı görülmüştür. Boru malzemesi olarak plastik boru seçildiğinde plastik malzemenin ısı iletim katsayısı (0,41 W/m-K) değerinin oldukça düşük olması nedeniyle yalıtım yapıldığı zaman yakıt tasarrufunun olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni plastik malzemenin ısı iletim katsayısının, yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısına yakın bir değerde olmasıdır. Bu nedenle plastik boru için optimum yalıtım kalınlığı hesabında yalıtım malzemesi kullanmadan daha başlangıçta yakıt maliyetleri azalmaktadır. Sonuç olarak plastik borularda çap ne

olursa olsun yalıtım yapılması maliyeti arttıracığından, yakıttan bir tasarruf sağlamayacağı için yalıtım yapılması tavsiye edilmemektedir.

III. Çelik borularda yalıtım malzemesi olarak taşıyıcı yakıt türü olarak fueloil tercih edildiğinde, 50mm ile 200mm' lik boru çapları arasında yapılan deneylerde yakıt tasarrufları incelendiğinde, nominal çap değeri arttıkça yakıt tasarruflarının arttığı tespit edilmiştir(50mm 16,231 \$/m-yıl, 100mm 30,368 \$/m-yıl, 200mm 55,622 \$/m-yıl, 400mm 97,433\$/m-yıl, 600mm 141,971 \$/m-yıl, 800mm 186,133 \$/m-yıl). Tüm verilerin yakıt türüne göre tasarruf durumları incelendiğinde (Çizelge 6.1'e bakınız) en fazla tasarruf yapılan yakıt türü fueloil olmuştur. Dolayısıyla yüksek maliyetli yakıt kullanıldığında enerji tasarrufu daha çok olduğu görülmektedir. Yalıtım malzemelerine göre tasarruf durumları kıyaslandığında ise, XPS yalıtım malzemesinin, EPS ve taşıyıcı yalıtım malzemesine göre daha fazla yakıt tasarruf sağladığı görülmektedir(Çizelge 6.1'e bakınız).

IV. Yapılan yalıtım çalışmalarında elde edilen geri dönüş zamanlarına bakıldığında; yalıtım kalınlıkları arttıkça geri dönüş sürelerinin arttığı tespit edilmiştir. Burada değinilmesi gereken en önemli nokta ise optimum yalıtım kalınlığının üzerine çıkıldığı zaman geri dönüş sürelerinin oldukça arttığıdır. Aynı zamanda yapılan çalışmalarda(Şekil 6.48 şekil 6.55 arasına bakınız) küçük çaplı borularda geri dönüş süresi daha fazladır. Bu değerlendirme ışığında, boru çapları arttıkça geri dönüş sürelerinin azaldığı söylememiz mümkündür. Yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş sürelerinin değişimi incelendiğinde, EPS yalıtım malzemesi kullanıldığında geri dönüş süresinin en az olduğu, XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında geri dönüş süresinin en çok olduğu tespit edilmiştir. Yakıtlar türü için yalıtım kalınlığı ile geri dönüş sürelerinin değişim incelendiğinde ise, yakıt türü olarak doğalgaz kullanıldığında geri dönüş süresi en çok olduğu, yakıt türü olarak fueloil kullanıldığında ise, geri dönüş süresinin en az olduğu görülmüştür. Yakıt türü olarak yapılan karşılaştırmadan şu değerlendirmeyi yapmamız mümkündür. Birim maliyeti en yüksek olan yakıt

türünün enerji tasarrufunun daha çok olması, geri dönüş süresinin daha kısa olmasıyla açıklanabilir.

- V. Çelik borularda çeşitli yakıt türleri için farklı nominal boru çaplarına göre, toplam maliyetlerin değişimi incelediğinde, yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt türü olarak kömür tercih edildiğinde 400 mm boru çapında 20,618 \$/m-yıl, yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt türü olarak doğalgaz tercih edildiğinde 18,261\$/m-yıl, yakıt türü olarak fueloil tercih edildiğinde ise 26,280\$/m-yıl toplam maliyet elde edilmiştir. Farklı yalıtım malzemeleri ve yakıt türleri kullanılarak, farklı çaptaki borularla elde edilen toplam maliyet miktarlarına ait değerler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Tüm veriler incelendiğinde, toplam maliyet değişimleri yalıtım malzemesi açısından ele alındığında en yüksek toplam maliyet, yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanıldığında, en düşük toplam maliyet ise yalıtım malzemesi olarak EPS malzemesi kullanıldığında elde edilmiştir.
- VI. Farklı derece gün değerleri için boru çaplarına göre değerlendirme yapıldığında farklı yalıtım malzemesi ve farklı yakıt türlerinde, optimum yalıtım kalınlığı (oyk) açısından, IDG değerlerindeki yerler için IDG değerleri artıkça optimum yalıtım kalınlığı (OYK) değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir(Örneğin; 200mm boru çapında, yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt türü olarak kömür tercih edildiğinde 1000 IDG değerlerindeki yerler için 6,198cm, 3000 IDG’de 10,509 cm, 5000 IDG’de 13,209cm, 7000 IDG’de ise 15,292cm optimum yalıtım kalınlığının elde edildiği görülmektedir). Çizelge 6.3 ile 6.11 arasındaki tüm çizelgelere bakıldığında tüm çaplar, yalıtım malzemeleri ve tüm yakıt türleri için farklı IDG değerlerinde elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarını görmek mümkündür. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, 1000IDG ile 7000 IDG arasında yaklaşık olarak 2,3 katlık bir artış olduğu tespit edilmiştir. Isıtma derece gün değerleri, toplam maliyet açısından incelendiğinde çok farklı bir durum olmadığı görülmektedir. OYK arttığı için toplam maliyette aynı oranda artmaktadır. Isıtma derece gün değerlerine tasarruflar açısından bakıldığında ise, ısıtma derece gün değerlerine doğru orantıda tasarruf miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir(Çizelge 6.3 6.4,6.5’e bakınız).

8. KAYNAKLAR

- Afyonkarahisar Meteoroloji Bölge Müdürlüğü. (2012). Sözlü görüşme, Afyonkarahisar.
- Aksoy, U.T. ve Keleşoğlu, Ö. (2007) . Bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma maliyeti üzerinde etkileri. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **22** (1): 103-109.
- Al-Khawaja, M.J. (2004). Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation. *Applied Thermal Engineering*, **24** (17-18): 2601-2610.
- Aydın, F., Akgül, T., Aydın, E. ve Vural, İ. (2011). Konutlarda kullanılan farklı duvar çeşitlerinin ısı yalıtım performanslarının incelenmesi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, **6**(4): 150-1258.
- Aytaç, A. ve Aksoy U.T. (2006). Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **21** (4): 753-758.
- Balo, F. ve Uçar, A. (2011). Yapıların Dış Duvarlarında Optimum Yalıtım Kalınlığının Üç Farklı Metotla Tespiti. 10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 24-25 Ocak, 271-285.
- Başoğlu, Y. and Keçebaş, A. (2011). Economic and environmental impacts of insulation in district heating pipelines, *Energy*, **36**(10): 6156-6164.
- Bayer G. (2006). Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi. Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Binyıldız, E., Turan, O. ve Türker A. (1997). Kalorifer tesisatı proje hazırlama teknik esasları. *Isı-Ses-Su-Yangın Yalıtımı Eğitimi*.
- Bolattürk, A. (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climatezones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, **26** (11-12): 1301–1309.
- Çallı, E., Keçebaş, A. ve Alkan A. (2013). Yer Altına Gömülü Plastik ve Çelik Borular İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. ULIBTK'13 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Samsun, 9-12 Eylül, 1470-1477.

- Çay Y. (2011). Farklı yapı malzemeleri kullanımında ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkileri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8** (1): 47-56.
- Çomaklı, K. and Yüksel, B. (2003). Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied Thermal Engineering*, **23** (4): 473-479.
- Dağsöz, A.K. (1976). Isı İzolasyonu. İTÜ yayınları, İstanbul, 125-128.
- Dağsöz, A. K. (1996). Yapılarda ısı yalıtım ve buhar geçişi. İTÜ yayınları, İstanbul, 125-310.
- Daşdemir, A. (2011). Isıtma ve Soğutma Uygulamalarında Optimum Yalıtım Alınlığının Enerji Tasarrufu ve Baca Gazı Emisyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Daouas, N., Hassen, H. and Aıssia, H. (2010). Analytical periodic solution for the study of Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia. *Applied Thermal Engineering*, **30** (4): 319-326.
- Daouas, N. (2011). A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. *Applied Energy*, **88** (1): 156-164.
- Deniz, E., Gürel, A.E., Daşdemir, A. and Çamur, D. (2009). Fuel consumption and influences of external wall optimum insulation thickness to owning cost of energy. *Karabuk Univ, Technology*, **12** (4): 283-290.
- Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (2006). Solar Engineering of Thermal Processes. Third Edition, Wiley Interscience, New York.
- Gölcü, M. (2006). Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **21** (4): 639-644.
- Güner Bacanlı, Ü. (2010). Türkiye' de Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Enerjinin Önemi. Türkiye 10. Enerji Kongresi, Ankara, 14-16 Kasım, 91-99.
- Karakoç, H., Binyıldız, E. ve Turan O. (1999). Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı. *Ode Teknik Yayınları*, İstanbul, 124-128.
- Karakoç, H., Turan, O., Binyıldız, E. ve Yıldırım, E. (2011). Isı yalıtımı. *Rota Yayınları*, İstanbul, 94-98.
- Kaynaklı, Ö. ve Yamankaradeniz, R. (2008). Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **104** (3): 19-25.
- Keçebas, A. and Kayfeci, M. (2010). Effect on optimum insulation thickness cost and

- saving of storage desing temperature in cold storage in Turkey. *Energy Education Science and Technology*, **25** (2): 117-127.
- Keçebaş, A., Alkan, M.A. and Bayhan, M. (2011). Thermo-economic analysis of pipe insulation for district heating piping systems. *Applied Thermal Engineering*, **31**:3929-3937.
- Keçebaş, A. (2012). Determination of insulation thickness by means of exergy analysis in pipe insulation. *Energy Conversion and Management*, **58**: 76-83.
- Keçebaş, A. (2013). Enerji tasarrufu için yer altına gömülü çelik borularda yalıtımın ekonomik faydaları. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **29**(3): 206-212.
- Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makine*, **54** (639): 32-44.
- Mahlia, T.M.I. and Iqbal, A. (2010). Cost benefits analysisan demissionre ductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives. *Energy*, **35** (5): 2242-2250.
- Mıhlayanlar, E., Umaroğulları, F. ve Kartal, S. (2011). Binalarda enerji verimliliği açısından ısı yalıtımının hava kirliliğine etkisi - Edirne örneği. *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 13-16 Nisan, 2109-2119.
- Mohsen, M.S. and Akash, B.A. (2001). Some prospects of energy saving in buildings. *Energy Conversion and Management*, **42** (1): 1307-1315.
- Özel, M. and Pıhtılı, K. (2008). Determination of optimum insulation thickness by using heating and cooling degree-day values. *Sigma*, **26** (3): 191-197.
- Özel M. ve Pıhtılı, K. (2008). Duvar yalıtım kalınlığının pencere alanlarına etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, **23** (3): 655-662.
- Özkan, B.D. and Onan, C. (2011). Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buldings for various climatic regions in Turkey. *Applied -Energy*, **88** (4): 1331-1342.
- Öztuna, S. ve Dereli E. (2009). Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi. *Trakya Univ J Sci*, **10** (2): 139-147.
- Öztutku, O. ve Karakuş, C. (2011). Binalarda ısı yalıtımı yoluyla enerji tasarrufu ve örnek bir uygulama: mkü mühendislik fakültesi binasının enerji performans değerleri ve maliyetleri. *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 13-16

Nisan, 2121-2133.

- Palin, G. R. (2000). Teknolojide plastikler. *Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, 5-220.
- Şen, O. A. (2006). Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiye’de Yalıtım. Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sisman, N., Kahya, E., Aras, N. and Aras, H. (2007). Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey’s different degree-day regions. *EnergyPolicy*, **35** (10): 5151-5155.
- TS 825. (1999). Binalarda ısı yalıtım kuralları, Ankara, 212-124.
- Yaşar, H. (2001). Plastikler dünyası. *Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, 3-315.
- Yılmaz O. (2015). Yenilenebilir Enerjiye yönelik teşvikler ve Türkiye. Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla.
- Yildiz, A., Gürlek, G., Erkek, M. and Özbalta, N. (2008). Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **28** (2): 25-34.
- Yu, J., Yang, C., Tian, L., and Liao, D. (2009). A study on optimum insulation thickness of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, **86** (4): 2520-2529.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.ibb.gov.tr/sites/aydinlatmaenerji/Pages/EnerjiVerimliliği.aspx>
02.03.2016
- 2- http://www.izoder.org.tr/dosyalar/tesisat_yalitimi.pdf, 02.03.2016
- 3- http://www.avrasyayapimantolama.com/MAKALE_OKU.asp?id=68,02.03.206
- 4- <http://www.izomeb.com/mantolama-ve-isi-yalitimi-nedir.php>, 12.11.2015
- 5- <http://www.izocam.com.tr/fl-camyunu.html>, 07.07.2015
- 6- <http://www.gen-izyapi.com.tr/index.html>, 09.08.2015
- 7- <http://www.gnyapi.com.tr/binalarda-isi-yalitiminin-onemi>, 07.07.2015

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ercan ÇALLI
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar / 16.05.1983
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0506 632 72 91 / ercnsdu03@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gazi Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi (1997-2000)
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Tesisat Öğretmenliği (2002-2006)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği (2011-2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Aksa Afyon Doğal gaz Dağıtım A.Ş. (2007- ...)

Yayınları :

- Çallı, E. ve Keçebaş, A. (2012). Bölgesel ısıtma sistemlerinde boru yalıtımı uygulamasının ekonomik ve çevresel faydaları. *Tesisat Mühendisliği*, **129**:5-17.
- Çallı, E., Keçebaş, A. ve Alkan, M.A. (2013). Yer altına gömülü plastik ve çelik borular için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. 19.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Samsun, 9-12 Eylül, 647-655.