

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**BİNA DIŞ DUVAR YALITIMININ
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ YÖNTEMİYLE
OPTİMİZE EDİLMESİ**

Erdem YILDIRIM

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.01

Sunuş Tarihi : 08.12.2015

Bornova-İZMİR

2015

Erdem YILDIRIM tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “**Bina Dış Duvar Yalıtımının Enerji ve Ekserji Analizi Yöntemiyle Optimize Edilmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve .../.../..... tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	:	
Raportör Üye	:	
Üye	:	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bina Dış Duvar Yalıtımının Enerji ve Ekserji Analizi Yöntemiyle Optimize Edilmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

.... / / 2015

İmzası

Adı-Soyadı

ÖZET**BİNA DIŞ DUVAR YALITIMININ
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ YÖNTEMİYLE
OPTİMİZE EDİLMESİ**

YILDIRIM, Erdem

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN

Aralık 2015, 73 sayfa

Bu tez çalışmasında dört farklı ildeki mevcut binaların dış kabukları için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplamada kış ayları düşünülerek ısıtma yüklerinden yararlanılmış ve 2008-2014 yılları arası ortalama derece-gün değerleri kullanılmıştır. Isıtma türü olarak doğalgaz, kömür, kalorifer yakıtı ve elektrik, ısı yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taşıyünü karşılaştırılmıştır.

Yakıt ve yalıtım maliyetleri, ısı yalıtım kalınlığına bağlı bir grafik üzerinde toplanmış ve optimum ısı yalıtım kalınlığını belirten, tek minimum noktası olan bir polinom ortaya çıkarılmıştır. Enerji analizi, yakıt maliyeti parametreleri içerisindeki yakıtların yanma enerjilerinden yararlanarak, ekserji analizi ise optimum yalıtımlı ve yalıtımsız duvarın ısı kayıpları ve duvar katmanının yüzey sıcaklıkları kullanılarak yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, yalıtım malzemesine, kullanılan yakıt cinsine ve iklim bölgelerine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları İzmir’de 5-15 cm, İstanbul’da 7-19 cm, Ankara’da 8-22 cm ve Erzurum’da 12-31 cm aralıklarında belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Enerji verimliliği, ekserji yıkımı, entropi geçişi, bina kabuğu.

ABSTRACT

**OPTIMIZING OF EXTERIOR WALL INSULATION
THICKNESS OF BUILDINGS WITH
ENERGY AND EXERGY ANALYSIS METHOD**

YILDIRIM, Erdem

MSc in Department of Solar Energy
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Koray ÜLGEN
December 2015, 73 pages

In this thesis the optimum insulation thickness for the coat of the existing buildings in four different cities was calculated. In this calculation with considering the winter months the heating load and the average degree-day valuation between the years 2008-2014 were used. Natural gas, coal, fuel-oil and electricity were compared as types of heating, and XPS, EPS and rockwool were compared as heat insulation materials.

Costs of insulation and fuel were accumulated on a graphic depending on heat insulation thickness, and emerged a polynomial, that shows the optimum heat insulation thickness, which has an only minimum point. The energy analysis was made with the help of combustion of fuels in the parameters of fuel cost, and the exergy analysis was made with the help of the heat loss of the optimum insulated and non-insulated wall and the surface of the wall layer.

As a result of these calculations, it is determined according to the insulation materials, fuel type and climatic region that, the optimum insulation thicknesses is 5-15 cm in İzmir, 7-19 in İstanbul, 8-22 cm in Ankara and 12-31 cm in Erzurum.

Keywords: Energy efficiency, exergy loss, entropy transition, building envelope.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi birikimi ve fikirleriyle verdiği desteğinden ötürü tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Koray ÜLGEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince yanımda olan, destek veren canım arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mesleki tecrübelerinden yararlandığım babama, moral ve desteğini esirgemeyen anneme, görüş ve düşüncelerini içtenlikle paylaşan kardeşime hayatımın her aşamasında yanımda olmalarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
2.1 Enerji Analizinin Değerlendirildiği Çalışmalar	7
2.2 Ekserji Analizinin Değerlendirildiği Çalışmalar	11
2.3 Karbon Salınımının Değerlendirildiği Çalışmalar.....	11
3. TEMEL KAVRAMLAR	15
3.1 Enerji ve Termodinamik Yasalarına Genel Bakış	15
3.2 Günlük Yaşamda Termodinamik Yasaları	15
3.2.1 Termodinamik Yasaları ve Bina Kabuğundaki Etkileri	16
3.3 Tersinir ve Tersinmez Sistemler	16
3.4 Isı Enerjisi Kaybı ve Entropi	17

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5 Ekserji Kavramı	18
4. BİNALARDA ENERJİ KULLANIMI VE VERİMLİLİK	21
4.1 Enerji Verimliliği ve Binaların Payı	21
4.1.1 Dünyada enerji tüketimi ve küresel ısınma	21
4.1.2 Türkiye’de binalarda enerji tüketimi	21
4.2 Binalarda Enerji Verimliliği	22
4.2.1 Binalarda ısı yalıtım uygulamaları	22
4.2.2 Isı yalıtım malzemeleri	23
4.3 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları “TS 825”	25
5. GEREÇ VE YÖNTEM	27
5.1 Isı ve Sıcaklık Geçişleri	27
5.2 Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi	29
5.2.1 Yalıtımsız dış duvar örneği	29
5.3 Yakıt Maliyetinin Belirlenmesi	30
5.3.1 Yakıt türlerinin seçimi	30
5.3.2 Yakıt maliyetinin hesaplanması	31
5.4 Yalıtım Maliyetinin Belirlenmesi	33

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.5 Toplam Maliyet ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesabı	34
5.6 Bina Dış Duvarlarındaki Ekserji Kayıplarının Hesaplanması	36
5.7 Yalıtım Kalınlığının Karbon Salınımına Etkisi	36
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
6.1 Dış Hava Sıcaklığının İç Yüzey Sıcaklığına Etkisi	39
6.2 Dış Duvardaki Enerji Kayıpları	41
6.3 Optimum Kalınlık Hesapları ve Ekserjetik Kazançlar	42
6.3.1 İzmir’de optimum yalıtım kalınlıklarının değerlendirilmesi	42
6.3.2 İstanbul’da optimum yalıtım kalınlıklarının değerlendirilmesi	46
6.3.3 Ankara’da optimum yalıtım kalınlıklarının değerlendirilmesi	51
6.3.4 Erzurum’da optimum yalıtım kalınlıklarının değerlendirilmesi	55
6.4 Optimum Yalıtımlı Dış Duvarların Karbon Salınımına Etkisi	61
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	73
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 2013 Yılı Binalarda Tüketilen Enerji Türleri	1
1.2 2013 Yılı Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı	3
1.3 1980-2011 yılları arası Türkiye'nin enerji tüketimi kaynaklı karbon salınımı	4
3.1 Bir dış duvardaki ısı, sıcaklık, entropi ve ekserji geçişi	19
4.1 EPS ısı yalıtım malzemesi	23
4.2 XPS ısı yalıtım malzemesi	24
4.3 Taşyünü ısı yalıtım malzemesi	24
4.4 Camyünü ısı yalıtım malzemesi	25
5.1 Bina dış duvarlarındaki sıcaklık geçişi	28
5.2 Toplam yalıtım maliyetlerinin yalıtım kalınlığına oranla değişimi	34
5.3 Yalıtım maliyeti, yakıt maliyeti ve toplam maliyetin gösterimi	35
6.1 Yalıtımsız duvardaki sıcaklık geçişinin gösterimi	40
6.2 Isı yalıtımlı duvardaki sıcaklık geçişinin gösterimi	40
6.3 İzmir'de farklı yakıt türleri için optimum "XPS" kalınlıkları	42
6.4 İzmir'de farklı yakıt türleri için optimum "EPS" kalınlıkları.....	44
6.5 İzmir'de farklı yakıt türleri için optimum "Taşyünü" kalınlıkları.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.6 İstanbul’da farklı yakıt türleri için optimum “XPS” kalınlıkları	47
6.7 İstanbul’da farklı yakıt türleri için optimum “EPS” kalınlıkları	48
6.8 İstanbul’da farklı yakıt türleri için optimum “Taşyünü” kalınlıkları	50
6.9 Ankara’da farklı yakıt türleri için optimum “XPS” kalınlıkları	51
6.10 Ankara’da farklı yakıt türleri için optimum “EPS” kalınlıkları	53
6.11 Ankara’da farklı yakıt türleri için optimum “Taşyünü” kalınlıkları.....	54
6.12 Erzurum’da farklı yakıt türleri için optimum “XPS” kalınlıkları.....	56
6.13 Erzurum’da farklı yakıt türleri için optimum “EPS” kalınlıkları	57
6.14 Erzurum’da farklı yakıt türleri için optimum “Taşyünü” kalınlıkları ...	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları.....	2
5.1 Farklı derece-gün bölgelerindeki şehirler için dış hesap sıcaklıkları	29
5.2 Yalıtım uygulanmamış örnek duvarın katmanları.....	30
5.3 Isıtmada kullanılan yakıt sistemlerinin bazı özellikleri	37
6.1 İç duvar sıcaklığının fiziksel yeterliliği için gerekli minimum kalınlıklar	39
6.2 Farklı yalıtım malzemeleri ve yakıt türlerine göre, optimum kalınlıkta yalıtılmış 1 m ² dış duvardan kaybolan enerji miktarları.	41
6.3 İzmir’de “XPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.....	43
6.4 İzmir’de “XPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.....	43
6.5 İzmir’de “EPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	44
6.6 İzmir’de “EPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	45
6.7 İzmir’de “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	46
6.8 İzmir’de “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	46
6.9 İstanbul’da “XPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.....	47
6.10 İstanbul’da “XPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	48
6.11 İstanbul’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	49
6.12 İstanbul’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	49

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.13 İstanbul’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	50
6.14 İstanbul’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	51
6.15 Ankara’da “XPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	52
6.16 Ankara’da “XPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	52
6.17 Ankara’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	53
6.18 Ankara’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	54
6.19 Ankara’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.....	55
6.20 Ankara’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	55
6.21 Erzurum’da “XPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.....	56
6.22 Erzurum’da “XPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.....	57
6.23 Erzurum’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	58
6.24 Erzurum’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	58
6.25 Erzurum’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı	59
6.26 Erzurum’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı	60
6.27 Yalıtımlı ve yalıtımsız 1 m ² dış duvarın, ısı kaybı ve karbon salınımlarının karşılaştırılması.	61
7.1 Dört farklı derece-gün bölgesindeki iller için optimum yalıtım kalınlığı tablosu.	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Yüzey alanı, [m ²]
C_{sal}	Karbon salınım katsayısı, [g/kWh]
d	Kalınlık, [m, cm]
DG	Derece-gün parametresi, [°Cgün]
E_x	Ekserji, [kWh]
H	Birim yakıttan elde edilen enerji, [J/kg, J/m ³ , J/kWh]
m	Maliyet, [TL]
n	Ömür süresi, [yıl]
Q	Isı yükü, [W]
R	Isı taşınım direnci, [m ² K/W]
S	Entropi, [J/K]
T	Sıcaklık, [K, °C]
t	Zaman, [h, s]
U, K	Toplam ısı geçiş katsayısı, [W/m ² K]
λ, k	Isı iletim katsayısı, [W/mK]
α, h	Yüzey ısı taşınım katsayısı, [W/m ² K]
η	Verim [-]

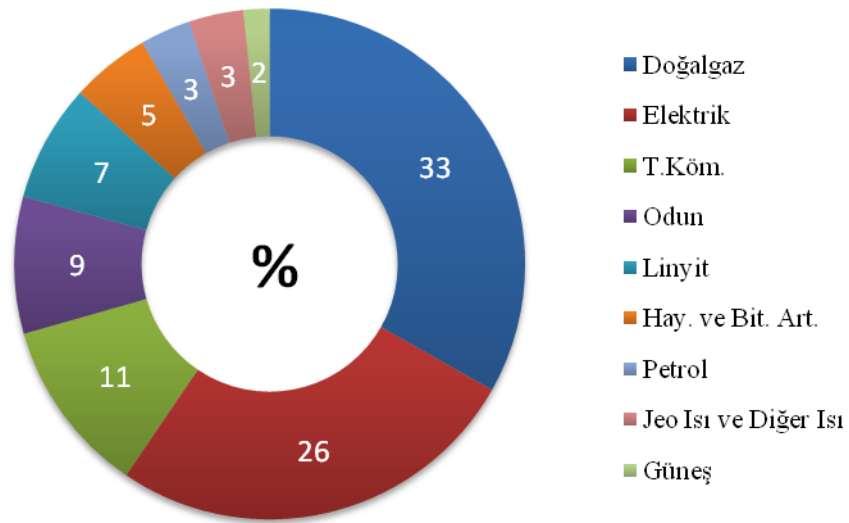
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
CDD	Cooling Degree Days
EIA	Energy Information Administration
EPS	Ekspande Polistiren Köpük
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
HDD	Heating Degree Days
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
SDF	Şimdiki Durum Faktörü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
XPS	Ekstrüde Polistiren Köpük
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
<u>Alt İndisler</u>	<u>Açıklama</u>
BİR	Birim
ORT	Ortalama
SAL	Salınım
TOP	Toplam
YAK	Yakıt
YAL	Yalıtım

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının her geçen gün daha önemli bir hale gelmesi, tüketimin büyük bir hızla artış göstermesinden kaynaklanmaktadır. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte yaşam standartlarının yükselmesi, mevcut enerji kaynaklarının daha çok kullanılmasını ve bilhassa yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi gündeme getirmektedir.

Ülkemizde toplam tüketilen enerjinin büyük bir kısmı elektrik ve ısı enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. 2013 yılı verilerine göre ülkemizdeki toplam enerji tüketimi yaklaşık 89,4 Mtep iken, elektrik üretimi için harcanan enerji 21,0 Mtep ve konut-hizmetler için harcanan enerji 31,4 Mtep'tir. Bunların karşılanabilmesi için henüz yenilenebilir enerjiler yeteri kapasiteye sahip olamadıklarından dolayı fosil yakıtlar tüm hızıyla kullanılmaya devam edilmektedir. Bununla birlikte gün geçtikçe tükenmekte olan bu yakıtların değerleri artmakta ve dolayısıyla bu değişim son kullanıcıya etkili olarak yansımaktadır. (ETKB, 2013).



Şekil 1.1: 2013 Yılı Binalarda Tüketilen Enerji Türleri (ETKB, 2013).

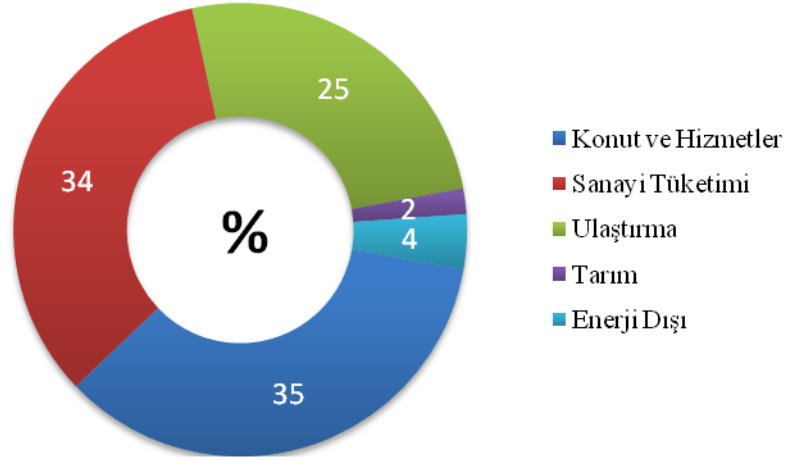
Şekil 1.1 göz önüne alındığında, binalarda tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü elektrik ve doğalgaz oluşturmaktadır. Isıtma-soğutma ve elektrik üretimi açısından değerlendirildiğinde doğalgaz, günümüzde ülkemiz için en büyük role sahip olan fosil yakıttır. 1985 yılında kullanılmaya başlanan yakıt, 1999 yılında toplam elektrik enerjisi üretiminde kömürü yakalamış, 2000'li yıllarda büyük bir hızla yükseliş göstermiş ve 2011 yılı verilerine göre %45,4'lük bir üretim payına sahip olmuştur (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1: Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları (TEİAŞ, 2014).

Yıl	Toplam	Kömür	Sıvı yakıtlar	Doğal gaz	Hidrolik	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar (*)
	(GWh)	(%)				
1970	8 623	32,8	30,2	-	35,2	1,9
1971	9 781	30,5	41,2	-	26,7	1,7
1972	11 242	26	44	-	28,5	1,6
1973	12 425	26,1	51,4	-	21	1,6
1974	13 477	28,7	44,8	-	24,9	1,5
1975	15 623	26,3	34,5	-	37,8	1,4
1976	18 283	23,7	29,6	-	45,8	0,9
1977	20 565	23,8	33,5	-	41,7	1,1
1978	21 726	25,6	30,8	-	43	0,6
1979	22 522	28,6	25,1	-	45,7	0,6
1980	23 275	25,6	25,1	-	48,8	0,6
1981	24 673	24,9	23,5	-	51,1	0,4
1982	26 552	24,3	22,4	-	53,4	0
1983	27 347	31,4	27,2	-	41,5	0
1984	30 614	33,1	23	-	43,9	0,1
1985	34 219	43,9	20,7	0,2	35,2	0
1986	39 695	49	17,6	3,4	29,9	0,1
1987	44 353	39,8	12,4	5,7	42	0,1
1988	48 049	26	6,9	6,7	60,3	0,1
1989	52 043	38,9	8,2	18,3	34,5	0,1
1990	57 543	35,1	6,9	17,7	40,2	0,1
1991	60 246	35,8	5,5	20,9	37,7	0,2
1992	67 342	36,5	7,8	16,1	39,5	0,2
1993	73 808	32,2	7	14,6	46	0,2
1994	78 322	36	7,1	17,6	39,1	0,2
1995	86 247	32,5	6,7	19,2	41,2	0,4
1996	94 862	32,1	6,9	18,1	42,7	0,3
1997	103 296	32,8	6,9	21,4	38,5	0,4
1998	111 022	32,1	7,1	22,4	38	0,3
1999	116 440	31,8	6,9	31,2	29,8	0,3
2000	124 922	30,6	7,5	37	24,7	0,3
2001	122 725	31,3	8,4	40,4	19,6	0,3
2002	129 400	24,8	8,3	40,6	26	0,3
2003	140 581	22,9	6,5	45,2	25,1	0,2
2004	150 698	22,9	5,1	41,3	30,6	0,2
2005	161 956	26,7	3,4	45,3	24,4	0,2
2006	176 300	26,5	2,5	45,8	25,1	0,2
2007	191 558	27,9	3,4	49,6	18,7	0,4
2008	198 418	29,1	3,8	49,7	16,8	0,6
2009	194 813	28,6	2,5	49,3	18,5	1,2
2010	211 208	26,1	1	46,5	24,5	1,9
2011	229 395	28,9	0,4	45,4	22,8	2,6
2012	239 497	28,4	0,7	43,6	24,2	3,1
2013	240 154	26,6	0,7	43,8	24,7	4,2

(*) Jeotermal, rüzgar, katı biyokütle, biogaz ve atık kaynaklarını içerir.

Ülkemizde nihai enerji tüketiminin %35'inin konut ve hizmetlere ait olduğu düşünüldüğünde, enerji verimliliğini arttırmanın önemli bir kısmının, binalarda alınacak tedbirler ve yapılacak yeniliklerle doğrudan ilişkili olduğu ortadadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: 2013 Yılı Nihai Enerji Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (ETKB, 2013).

Binalardaki enerji tüketiminin %82'sinin ısıtma için kullanılıyor ve bu enerjinin, ülkemizde tüketilen toplam enerjinin %26'sını oluşturuyor olması, yapılacak doğru yatırımlar ile sağlanabilecek tasarrufun ölçütünü göstermektedir (YEGM, 2014). Bunun doğrultusunda binalarda enerji verimliliğinin artırılması üzerine yapılan mimari tasarım, ısıtma/soğutma sistemlerinin iyileştirilmesi vb. uygulamaların yanı sıra dış duvar yalıtımının önemi de son derece büyüktür.

Artan enerji tüketimi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yeni arayışlar doğurmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanması yalnızca mevcut kaynaklardan daha çok yararlanılması ve yeni enerji kaynakları keşfedilmesiyle değil; üretilmiş, dönüştürülmüş, kullanıma hazır olan enerjinin korunması ve bundan maksimum seviyede fayda sağlanmasıyla mümkün olacaktır ki bu kavram enerji verimliliği olarak anılır.

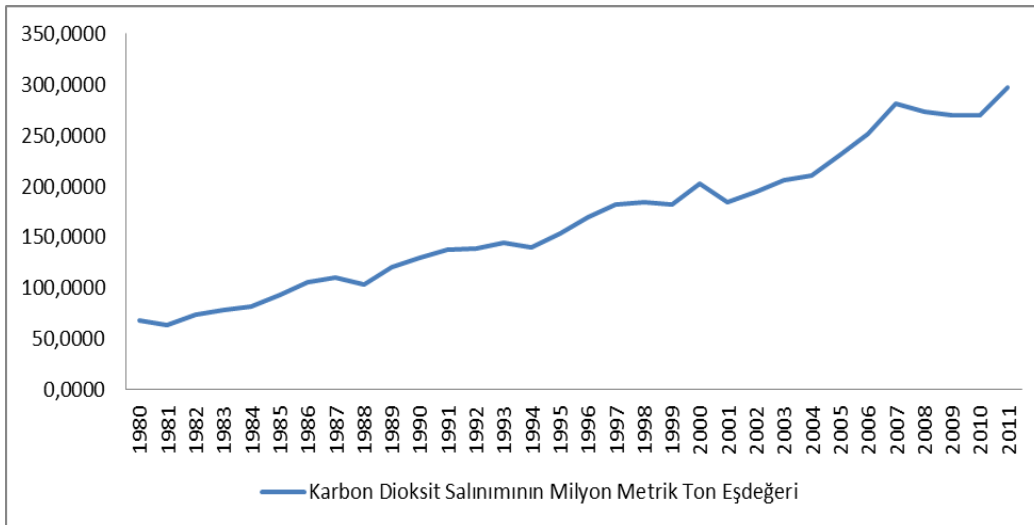
Enerji verimliliğinin en önemli göstergelerinden biri enerji yoğunluğudur. Bu kavram enerji tüketiminin, gayri safi yurt içi hasılaya oranı olarak tanımlanır. O halde enerji yoğunluğunu düşük tutmak için gayri safi yurt içi hasılanın enerji tüketimine göre yükselmesi veya enerji tüketiminin doğrudan azalması da azalan bir ivmeyle artış göstermesi sağlanmalıdır. Sektörler arasında ortalama olarak bakıldığında, ülkemizdeki enerji tasarrufu potansiyeli oranı yaklaşık %25'tir. Bu da boşa enerji harcamanın önüne geçilerek enerji yoğunluğunun düşürülebileceğini açıklamaktadır. (TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2008).

Isı yalıtımı, enerji verimliliğini arttırmak için yapılacak yenilikler içerisinde ilk sıralarda yer alır. Bu yöntem gelişmiş ülkelerde bir alışkanlık seviyesinde olmakla birlikte, ülkemizde yeni yeni önem kazanmaya başlamıştır. Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardına göre amaç, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan

enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu arttırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir. Bununla birlikte yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standartta açıklanan hesap metodu ve değerleri uygulanarak, ideal enerji performansını sağlayacak tasarım öngörülecek ve mevcut binaların ısıtma enerjisi tüketimleri belirlenecektir. Aynı zamanda mevcut bir binaya yenileme projesi uygulanmadan önce, olası enerji tasarruf tedbirleriyle sağlanacak tasarruf miktarı ve bina sektörünü temsil edecek muhtelif binaların enerji ihtiyacı hesaplanarak, bu sektörde gelecekteki enerji ihtiyacı milli seviyede tahmin edilebilecektir (TSE, 2008).

Günümüzde enerji kullanımının yalnızca maddi açıdan değerlendirilmesi yanlıştır. Çünkü gün geçtikçe daha önemli bir konu haline gelen karbon salınımı, dünyanın kendi sonunu hazırladığı bu çağda, yoğun bir şekilde tartışılmaktadır. Gündelik ihtiyaçlarımızın karşılanmasında, bilhassa enerjinin kullanıldığı durumlarda karbon salınımı kaçınılmazdır. İş gücü arttıkça salınım miktarı artacağından, enerji kullanım dağılımını ısıtma-soğutma ihtiyaçları için değerlendirildiğinde, toplam karbon salınımının büyükçe bir bölümünün meskenlerden salınan gazlardan kaynaklandığı açıktır.

Elektrik üretiminde salınan sera gazı emisyonları içerisinde en yüksek oranı CO₂ oluşturur. 2013 yılında bu değerler akaryakıt ürünleriyle karşılaştırıldığında benzinin %3, motorinin %21, elektrik üretiminin ise %76'lık bir paya sahip olduğu belirlenmiştir (ETKB, 2013). Şekil 1.3'te Türkiye'nin 1980-2011 yılları arasında enerji tüketimiyle atmosfere saldırdığı karbon dioksit miktarları gösterilmiştir.



Şekil 1.3: 1980-2011 yılları arası Türkiye'nin enerji tüketimi kaynaklı karbon salınımı (U.S. Energy Information Administration, 2014).

Bu tez çalışmasında, binalarda tüketilen enerjinin daha faydalı kullanılabilmesi için, bina dış duvarlarına yapılması gereken optimum yalıtım kalınlığı, enerji verimliliğinin yanında ekserjetik verimlilik ve entropi geçişi gibi başlıklar altında tartışılacaktır.

Dünyada ve ülkemizde, belirli miktarda enerjiden daha çok fayda sağlanabilmesi adına pek çok araştırma yapılmakta ve çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar sistem performanslarının artırılması, işleme süreçlerinin iyileştirilmesi, malzeme maliyetlerinin düşürülmesi, yakıt tasarrufunun sağlanması ve karbon salınımlarının minimize edilmesi gibi birçok sektörde önem arz eden geliştirmelerdir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dış duvar bina yalıtımının optimum kalınlığının belirlenmesi üzerine dünyada ve ülkemizde çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar enerji analizine, ekserji analizine ve karbon salınımı analizine göre sınıflandırılabilir.

2.1 Enerji Analizinin Değerlendirildiği Çalışmalar

Çomaklı ve Yüksel, Türkiye'nin soğuk şehirlerinden 3 tanesini incelemişlerdir (Erzurum, Kars, Erzincan). Kömür, kalorifer yakıtı, LPG ve elektrik yakıt olarak kullanıldığında, 10 yıl ve üzeri uygulamalar için binaya yapılması en uygun yalıtım kalınlığını sırası ile 10,49 cm, 10,74 cm ve 8,51 cm olarak belirlemiş, geri ödeme sürelerinin de ortalama 1,5 yıl olduğunu hesaplamışlardır (Çomaklı ve Yüksel, 2003).

Al-Khawaja, Katar'da, ortalama bir bina ömrünü 25 yıl varsaymış ve güneş ışınlamı kazancını hesaplamalarına dahil etmiştir. Çeşitli yalıtım malzemeleri kullanarak optimum kalınlığı yaklaşık 3 cm olarak hesaplamış ve bunun yüzey renklerinin açık ya da koyu tonda olmasıyla nasıl bir değişim göstereceğini belirlemiştir (Al-Khawaja, 2004).

Al-Sanea ve arkadaşları, Suudi Arabistan'da, kalıp polistiren kullanarak, bölgenin aylık ısıtma ve soğutma yüklerinin de hesaba katılması ile tüketime bağlı beş farklı elektrik tarifi üzerinden optimum dış duvar yalıtım kalınlıklarının 4,8 - 16,0 cm aralığında değişebileceğini göstermişlerdir (Al-Sanea et al., 2005).

Bolattürk, Türkiye'de 16 ilde, kömür, doğal gaz, LPG, kalorifer yakıtı ve elektrik olmak üzere 5 farklı yakıt sistemiyle polistiren köpük malzemesi kullanarak 10 yıllık bir hesaplama için enerji kazançlarını ve geri ödeme sürelerini belirlemiştir. Optimum kalınlığın illere ve yakıt türlerine göre 2 - 17 cm aralığında olduğunu, enerji kazançlarının %22 - %79 arasında ve geri ödeme sürelerinin de 1,5 - 4,5 yıl arasında değiştiğini belirlemiştir. Derece-saat parametrelerinin değerlendirildiği diğer bir çalışmada, Türkiye'nin Ege ve Akdeniz bölgelerindeki çeşitli illerinde optimum yalıtım kalınlığı değerlerini soğutma için 3,2 - 3,8 cm; ısıtma içinse 1,6 - 2,7 cm aralığında değiştiği sonucuna varmıştır (Bolattürk, 2006, 2008).

Dombaycı ve arkadaşları, Denizli ilinde, ısıtma sistemi olarak kömür, doğalgaz, LPG, kalorifer yakıtı ve elektrik kullanarak, EPS ve taşıyıcı malzemeleriyle yapılacak optimum yalıtım kalınlığı değerlerini hesaplamış,

bunlardan yararlanarak da geri ödeme sürelerini ve yıllık kazançları göstermişlerdir. Yakıt türünün kömür, yalıtım malzemesinin ise EPS seçildiği bir yapının uygun görüldüğü çalışmada optimum kalınlıkta yalıtım uygulandığında geri ödeme süresinin 1,43 yıl ve kazancının da 14 \$/m² olduğuna ulaşılmıştır (Dombaycı vd., 2006).

Gölcü ve arkadaşları, Denizli'de ithal kömür ve yakıtıyla yaptıkları çalışmada taşıyıcı kullanılmış ve optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 4,8 cm ve 8,2 cm olarak elde edilmiştir. Yıllık tasarruflar ise 12 TL/m² ve 39 TL/m² olarak hesaplanmıştır (Gölcü vd., 2006).

Mahlia ve arkadaşları, Malezya'da, ısıtma için elektriğin kullanıldığı bir uygulamada, 20 yıllık yalıtım öngörüsü için, içlerinde XPS ve camyünün bulunduğu 6 değişik malzeme kullanmışlardır. Optimum yalıtım kalınlığı ile termal iletkenlik katsayısı arasında ikinci dereceden bir fonksiyon ortaya çıkarıp, denklemin katsayılarını belirlemişlerdir (Mahlia et al., 2007).

Şişman ve arkadaşları, İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum illerinde, dış duvar yalıtımının yanında çatı yalıtımının da optimum kalınlık değerini hesaplamışlardır. İllerin sırasıyla dış duvar ve çatı yalıtımları İzmir için 3,3 - 2,0 cm, Bursa için 4,7 - 3,3 cm, Eskişehir için 6,1 - 4,7 cm ve Erzurum için 8,0 - 6,5 cm olarak belirlenmiştir (Şişman vd., 2007).

Kaynaklı, Bursa ilinde, derece-saat konseptini değerlendirmiş ve yakıt olarak LPG, elektrik, kalorifer yakıtı, kömür ve doğalgaz kullanmıştır. Pencere cam tiplerinin de önemsendiği bu çalışmada optimum değerler, yakıt tiplerine göre 5,3 - 12,4 cm arasında değişkenlik göstermiştir (Kaynaklı, 2008).

Özel ve Pıhtılı, Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illerinde, yalıtım malzemesi olarak XPS seçmiş ve ısıtma-soğutma yüklerini göz önünde bulundurmuşlardır. Isıtma için ithal kömürün, soğutma için ise elektriğin kullanıldığı bu çalışmada, optimum yalıtım kalınlıkları 4,0 - 8,4 cm aralığında bulunmuş, yıllık tasarruf 21,94 - 97,12 TL/m² arasında belirlenmiş ve geri ödeme süresi de 1,45 - 2,05 yıl olarak hesaplanmıştır (Özel ve Pıhtılı, 2008).

Öztuna ve Dereli, Edirne ilinde 6 farklı yakıt türü kullanarak, EPS veya taşıyıcı kullanılmış bir dış duvarda ya da EPS kullanılarak oluşturulmuş sandviç duvarda yapılması gereken en uygun yalıtım kalınlığını derece-gün sayılarından yararlanarak hesaplamışlardır. Yakıtın yerli kömür, yalıtım malzemesinin de EPS olduğu eşleşmede optimum yalıtım kalınlığının 2,8 - 3,9 cm arasında olduğu belirtilmiş, bu sayede %24 - %47'e kadar bir tasarruf edileceği ve geri ödeme süresinin 2,1 - 4,2 yıl arasında olacağı gösterilmiştir (Öztuna ve Dereli, 2009).

Uçar ve Balo, Türkiye'nin 4 farklı derece-gün bölgesinden birer il seçmiş ve en sık kullanılan 5 yakıt tipini ele almışlardır. Polistiren ve camyünü gibi çeşitli malzemeler kullanarak, yapılması gereken yalıtımın 1,06 - 7,64 cm arasında olması gerektiğini vurgulamış ve bu sayede enerji kazancının 19 $\$/m^2$ - 49 $\$/m^2$ arasında olacağını, geri ödeme sürelerinin de 1,8 - 3,7 yıl arasında değişkenlik göstereceğini belirtmişlerdir. Soğutma yükünün de hesaba katıldığı, EPS, XPS ve taşıyünüyle yaptıkları diğer bir çalışmalarında ise 4,2 $\$/m^2$ - 9,5 $\$/m^2$ arasında tasarruf edileceğini hesaplamışlardır (Uçar ve Balo, 2009; Uçar ve Balo, 2010).

Yu ve arkadaşları, Çin'de yaptıkları çalışmada 4 farklı ısıtma ve soğutma derece-gün bölgesinden seçtikleri şehirlerde, 5 farklı yalıtım malzemesi kullanmış, optimum yalıtım kalınlığının 5,3 - 23,6 cm arasında olacağını hesaplamışlardır. 20 yıllık sistem öngörüsünde maksimum 54,4 $\$/m^2$ enerji kazancı yapılabileceğini, geri ödeme sürelerinin 1,9 - 4,7 yıl arasında değişebileceğini göstermişlerdir. Mevsimsel hava sıcaklığı, güneş radyasyonu ve derece-saat parametrelerinin değerlendirildiği diğer bir çalışmalarında, çatı yalıtımı için optimum kalınlık değerini 6,5 - 18,7 cm arasında, geri ödeme süresini de 0,9 - 2,3 yıl olarak hesaplamışlardır (Yu et al., 2009; Yu et al., 2011).

Daouas ve arkadaşları, Tunus'ta 2 farklı sandviç tipte duvarı ele almış, yalıtım malzemesi olarak EPS ve taşıyünü, yakıt olarak da elektrik kullanmışlardır. Kullanım ömrünün 30 sene olduğu varsayılan bu çalışmada karlı olan sistemin 5,7 cm'lik EPS ile oluşturulmuş sandviç duvar olduğu belirlenmiş, bu sayede %58'e kadar bir enerji tasarrufu yapılabileceği ve bunun geri ödemesinin 3,11 yıl olacağı hesaplanmıştır (Daouas et al., 2010).

Daouas, çalışmasında en ekonomik yalıtımın 10,1 cm olduğunu, bu sayede %71,33 oranında enerji kazancı sağlanabileceğini ve geri ödemesinin 3,29 yılda yapılabileceğini belirtmiştir (Daouas, 2011).

Gürel ve Cingiz, Türkiye'de, ısı yalıtım malzemesinin taşıyünü seçildiği 3 farklı duvar tipini ele alarak, 5 farklı yakıt cinsine göre karşılaştırma yapmışlardır. En uygun değerler 3,3 - 11,4 cm aralığında değişen sandviç panel ile sağlanmıştır. Yıllık kazançları 6,41 - 189,7 TL/ m^2 arasında ve geri ödeme sürelerini de 1,3 - 4,5 yıl aralığında olacağını belirlemişlerdir (Gürel ve Cengiz, 2011).

Kaynaklı, Türkiye'de ve dünyada, geçmişten günümüze yapılmış olan optimum yalıtım kalınlığı analiz çalışmalarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir (Kaynaklı, 2011, 2012).

Özel, Elazığ'da, ısıtmada kömür, soğutmada elektrik kullanılacak şekilde XPS ve poliüretan yalıtım malzemeleriyle hesaplama yapmış ve optimum yalıtım

kalınlığını güney cephesinde 5,5 cm, diğer cephelerde ise 6 cm olarak belirlemiştir. Aynı yıl başka bir çalışmasında farklı duvar yapı malzemeleri ile EPS ve XPS yalıtlarını birlikte değerlendirmiş, ısıtmada doğalgaz, soğutmada elektrik kullanmıştır. Bu şekilde optimum yalıtl kalınlığının 2,0 - 8,0 cm arasında değiştiğini, enerji kazancının 2,78 - 102,16 \$/m² arasında olduğunu ve geri ödeme süresinin 1,32 - 10,33 yıl arasında farklılık göstereceğini belirlemiştir. Bir diğer çalışmasında ısıtma ve soğutma yüklerini, güneş ışınımını da hesaba katarak enerji kazançlarıyla birlikte değerlendirmiştir. Antalya ili için yaptığı çalışmasında ise yaz periyodunda soğutma yükleri üzerinden derece-gün ve derece-saat metotlarını karşılaştırarak 3,1 cm optimum yalıtl kalınlığı olması gerektiğini hesaplamıştır (zel, 2011a, 2011b, 2012, 2013).

Zhu ve arkadaşları, in'de 5 farklı bölgede, ısıtmada kömür, gaz, elektrik, soğutmada da yalnızca elektrik kullanarak, EPS türü yalıtl için 11,6 - 21,6 cm aralığında, XPS için ise 6 - 12 cm aralığında optimum kalınlık değerlerine ulaşmışlardır (Zhu et al., 2011).

Ekici ve arkadaşları, TS 825 standartlarını göz önünde bulundurarak, 4 farklı derece-gün bölgesinde, 5 farklı yakıt türü kullanmış, yalıtl malzemesi olarak camyünü, EPS, XPS ve köpük poliüretanı seçmiş ve optimum kalınlığın 0,2 cm ile 18,6 cm arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Bunun yanında kazancın 0,038 - 250.415 \$/m² arasında ve geri ödeme sürelerinin de 0,714 - 9,104 yıl arasında olduğunu hesaplamışlardır (Ekici vd., 2012).

Kürekçi ve arkadaşları, ömür-maliyet analizi yöntemini kullanarak, doğalgaz ve ithal kömür yakıtlarıyla, taşyünü, camyünü, XPS, EPS ve poliüretan yalıtl malzemeleri için en uygun yalıtl kalınlığını hesaplamış, geri ödeme sürelerini ve tasarruf miktarlarını belirlemişlerdir (Kürekçi vd., 2012).

Mishra ve arkadaşları, Hindistan'ın 4 ilinde dış duvar ve çatı yalıtlımını ömür boyu analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yalıtl malzemesi olarak camyünü ve EPS, yakıt olarak da LPG'yi seçmiş ve optimum dış duvar yalıtl kalınlığını 14,46 - 20,66 cm aralığında belirlemişlerdir. Aynı yıl başka bir çalışmada Hindistan'ın Dehradun ilini seçmiş, doğalgaz ısıtma sistemiyle EPS ve XPS kullanarak optimum yalıtl kalınlığının 5,2 - 7,4 cm arasında olduğunu hesaplamışlardır (Mishra et al., 2012).

Kayfeci ve arkadaşları, Mersin'de yıllık soğutma yükü saatleri ile derece-saat parametrelerini 3 farklı yalıtl türü için karşılaştırarak en uygun yalıtl kalınlığını 3,0 - 4,7 cm aralığında belirlemişlerdir (Kayfeci vd., 2013).

Sundaram ve Bhaskaran, 3 farklı yalıtım malzemesini 5 il için elektrik ile ısıtma yapılacak şekilde değerlendirmiş ve optimum yalıtım kalınlığını 9,4 - 24,4 cm aralığında hesaplamışlardır (Sundaram and Bhaskaran, 2013).

2.2 Ekserji Analizinin Değerlendirildiği Çalışmalar

Binalarda optimum dış duvar kalınlığının belirlenmesinde enerji verimliliğinin yanı sıra ekserjetik verimliliğin de önemi büyüktür.

Akyol, yaptığı tez çalışmasında, Erzurum ilinde örnek aldığı lojman binalarının toplam ısı tüketim değerlerini, dış duvarlardaki ısı, enerji ve ekserji kayıplarını incelemiş ve dış duvar yalıtımının önemini vurgulamıştır (Akyol, 2006).

Arslan ve Köse, Kütahya'da linyit ile ısı gereksinimini karşılayan bir binanın, XPS yalıtımı kullanıldığı durumdaki ısı kazancını ve ekserji verimliliğini sorgulamışlardır. Çalışmada 18, 20, 22 °C iç sıcaklıklar için sırasıyla 6.0, 6.5, 7.5 cm optimum yalıtım kalınlıkları elde edilmiş ve bu doğrultuda %74.9, %76.3, %78.8 oranlarında enerji kazanımı yapılabileceği hesaplanmıştır (Arslan ve Köse, 2006).

Oymak, tez çalışmasında TS-825 standardında belirtilen hususlardan yararlanmıştır. Ankara'da ısıtmanın doğalgaz ile sağlandığı bir yapı için, yalıtım malzemesi olarak sıkıştırılmış polistiren levha kullanmıştır. Çalışmada, uygulanabilecek belirli yalıtım kalınlıkları için ekserji kaybı maliyetleri değerlendirilmiştir (Oymak, 2007).

Uçar, Türkiye'nin farklı derece-gün bölgelerinden seçtiği, kömür ile ısıtmanın sağlanacağı 4 ildeki binalar için optimum yalıtım kalınlığı analizi yapmıştır. Yalıtım malzemesi olarak polistiren kullandığı çalışmasında ekserjetik verimliliği de göz önünde bulundurmıştır. Antalya, İstanbul, Elazığ ve Erzurum illerinde 20 °C iç sıcaklık için sırasıyla 3.8, 4.6, 5.7 ve 7.4 cm optimum yalıtım kalınlığı belirlemiştir (Uçar, 2010).

2.3 Karbon Salınımının Değerlendirildiği Çalışmalar

Enerji verimliliğinin bir başka boyutu ise karbon salınımıdır. Isıtma ya da soğutma için kullanılan sistemlerin yaptığı salınımlar bina yalıtımını son derece önemli kılmaktadır.

Çomaklı ve Yüksel, Erzurum’da kalorifer yakıtı ile ısıtılan bir binada, optimum kalınlıkta (10 cm) strafor köpük kullanımı ile CO₂ emisyon değerini %27’ye kadar düşürmenin mümkün olduğunu belirlemişlerdir (Çomaklı ve Yüksel, 2004).

Dombaycı, Denizli’de kömür ile ısıtılan bir binanın, EPS malzeme ile uygulanacak 2.25 cm ve 9.50 cm’lik yalıtım kalınlıkları arasında %63,7’ye kadar yakıt tasarrufu ve emisyon düşüşü olması gerektiğini hesaplamalarıyla göstermiştir (Dombaycı, 2007).

Yıldız ve arkadaşları, İzmir ve Ankara’da 5 farklı yakıt sistemiyle ısıtılan ve 2 farklı malzemeye yalıtımı tasarlanan binaların optimum yalıtım kalınlıklarını incelemişlerdir. Çalışmada, Ankara’daki kömür ile ısıtılan örnek binaya 6 cm camyünü yalıtımı uygulandığı takdirde, %35’e kadar CO₂ salınımında düşüş sağlanacağı hesaplanmıştır (Yıldız vd., 2008).

Mahlia ve Iqbal, Maldivler’de, ısıtma ve soğutmanın elektrik ile yapıldığı bir binada, 6 tip yalıtım malzemesi kullanarak, optimum yalıtım kalınlıkları hesaplamış ve %77’lere kadar zararlı gazların emisyonlarına engel olunabileceğini belirtmişlerdir (Mahlia and Iqbal, 2012).

Ağra ve arkadaşları, Türkiye’de 4 farklı derece-gün bölgesinde, kömür ve doğalgaz yakıtlarıyla ısıtılan binaların XPS ile yalıtılması durumunda uygulanması gereken optimum yalıtım kalınlığını belirlemiş ve karbon salınımının etkilerini incelemişlerdir (Ağra vd., 2011).

Gürel ve Daşdemir, Türkiye’nin 4 farklı ilinde, 5 farklı yakıt türü ile ısıtılan binalarda taşıyünü ve XPS yalıtımını incelemişlerdir. Optimum yalıtım kalınlığının 1,6 - 14,5 cm arasında değiştiği hesaplanan çalışmada karbon emisyonunun %67 - %75 aralığında düşürülebileceği belirtilmiştir (Gürel ve Daşdemir, 2011).

Özkan ve Onan, Türkiye’nin 4 farklı derece-gün bölgesinde, yakıt olarak kalorifer yakıtı ve doğalgazı seçmişlerdir. Yalıtım malzemesi olarak XPS ve taşıyünü kullanmış ve sonuçlarını benzer çalışmalarda elde edilen veriler ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, karbon emisyon değerlerinde doğalgaz ve XPS ikilisi için %50.91, kalorifer yakıtı ve XPS ikilisi içinse %54.67 oranında düşüş meydana geleceği belirtilmiştir (Özkan ve Onan, 2011).

Gürel ve arkadaşları, Karabük ilinde, kömür veya doğalgaz ile ısıtılacak bir binanın EPS yalıtımı için optimum kalınlığını ve karbon salınımını hesaplamışlardır. Çalışmada, yalıtımsız binaya oranla karbon salınımında %85.4’e kadar bir düşüş hesaplanmıştır (Gürel vd., 2012).

Kaçan ve arkadaşları, Türkiye'nin 4 farklı derece-gün bölgesi için model bir bina oluşturarak, bu binanın ısıtma-soğutma yüklerini belirlemişlerdir. Isıtma için doğalgaz, kalorifer yakıtı ve kömürün, soğutma içinse elektriğin kullanıldığı çalışmada CO₂ için %28 - %80, SO₂ içinse %58 - %80 aralığında emisyon kazancı öngörülmüştür (Kaçan vd., 2012).

Özel, Elazığ ilinde, ısıtmada kömür, soğutmada elektrik kullanılacak şekilde 4 farklı yalıtım malzemesi ile optimum yalıtım kalınlığını 5.4 - 19.2 cm aralığında bulmuş, karbon emisyonunun ise %68.0 - %89.5 arasında değişebileceğini ifade etmiştir (Özel, 2012).

Bu tez çalışmasında, kış aylarında, dört farklı ısıtma türünün karşılaştırıldığı bir binanın 1 m² 'lik dış duvar kesitinden kaybolan ısı enerjisi kullanılarak, dört farklı derece-gün bölgesindeki illerde yapılması gereken yalıtım kalınlıkları üç farklı türdeki ısı yalıtım malzemesi için belirlenmiş, belirlenen optimum kalınlıkların yalıtımsız duvara göre ekserji kayıpları hesaplanmış ve yine bu kalınlıklarda ısı yalıtımı yapılması halinde, karbon salınımında ne kadar düşüşün gözlenebileceği tartışılmıştır.

3. TEMEL KAVRAMLAR

Bina kabuğu olarak kullanılan dış duvarın, optimum yalıtım kalınlığını incelemek için duvarlardaki ısı geçişlerinin ne şekilde gerçekleştiğini tarif etmek ve bunu termodinamik yasalarıyla ilişkilendirmek gerekmektedir. Bu sebeple, ısı kayıplarını hesaplamadan önce, süreçleri doğru bir şekilde irdelemeyi sağlayacak olan önemli kavramlar aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

3.1 Enerji ve Termodinamik Yasalarına Genel Bakış

Termodinamik, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlayabildiğimiz enerjinin, bu yeteneğinin ısıya dönüştürülmesi olarak adlandırılabilir.

Toplam üç farklı yasadandır oluşan termodinamik, "sıfırıncı yasa" olarak bilinen ilk ilkesinde enerjinin korunumunu inceler. Enerjinin korunumu, bir etkileşim sırasında enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini, ancak toplam miktarının sabit kalacağını belirtir. Bu, enerjinin yoktan var, vardan yok edilemeyeceğinin bir göstergesidir. Birinci ve ikinci yasaların ortaya konulmasından sonra belirlenen sıfırıncı yasa, diğer yasaların da temelini oluşturan, sıcaklıkları eşit durumda olan cisimlerin ısı dengede olduklarını ifade eden temel bir fizik yasasıdır.

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumunu temsil eder. Çevresiyle etkileşimde bulunan bir sistemde, sistemin kazandığı enerji, çevresi sebebiyle kaybettiği enerjiye eşit olmalıdır. Başka bir deyişle bu yasa, enerjinin var ya da yok edilemeyeceğini, ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgular.

Termodinamiğin ikinci yasası ise hal değişimlerinin gerçekleşme yönlerini belirler ve enerjinin niceliğinin yanında niteliğinin de olduğunu açıklar. Yani bir sistemdeki enerji değişimlerinin birinci yasa gereği birbirlerine eşit olduğunu bildiğimiz halde, bu değişimlerin bir yönünün olduğunu, bunun da nitelik ve nicelik gibi kavramlarla aydınlatılabileceğini söylemek yerinde olur (Çengel and Boles, 2013).

3.2 Günlük Yaşamda Termodinamik Yasaları

Termodinamik gibi hayatın tamamen içinde olan, gündelik yaşamda her an örneklerini görebileceğimiz bir kavramın özü, doğanın, fizik yasaları ile

çözümenebilir olmasıyla ilişkilidir. Bu çözümler önce teorik ya da deneysel olgularla ortaya çıkabilir. Sıralamadan ziyade bunların birbirlerini destekler yönde olması gerekir. Ancak teorik olgulardan günlük hayatın deneyselliğine doğru yöneldiğimizde bir takım hesaplayamadığımız parametrelerin olması genellikle karşılaşılan bir durumdur. Bunların sebebi, düşünce gücümüzün limitlerini sürekli zorluyor ve her geçen gün yeni fikirlerin ortaya atılıyor olmasının yanında teknolojinin henüz yetersiz kalması da olabilir.

Enerjinin yoktan var, vardan yok edilemeyeceği ve toplam enerjinin korunacağı, termodinamiğin sıfıncı ve birinci yasalarıyla kabul görmüştür. Ancak bu yasalar teorik yaklaşımların "ürünü" ya da başka bir açıdan bakıldığında "temeli" olarak ince ayrıntılarla göz önüne alındığında gündelik hayatı temsil etmekte güçlük çekerler. İşte tam bu noktada devreye giren termodinamiğin ikinci yasası, anlaşılması ve irdelemesi her ne kadar kolay olmasa da birçok meseleye çözüm niteliğindedir.

3.2.1 Termodinamik Yasaları ve Bina Kabuğundaki Etkileri

Kış aylarında dışarının soğukluğu ve bu sebeple binalarda kullanılan ısıtma sistemleri ile üretilen ısı enerjisi, bina dış duvarının etrafında sıcaklık farkları yaratır. Üretilen ısı enerjisi, ısının çok olduğu yerden az olduğu yere doğru yönelecek ve termodinamiğin sıfıncı yasası gereği denge halini bulana kadar bu akış sürecektir. Bina kabuğuna ısı yalıtımı uygulamak ise bu akışı geciktirecektir.

Doğalgaz, kömür, kalorifer yakıtı gibi kimyasal enerjiler, termodinamiğin birinci yasası çerçevesinde, ısıtma sistemleri aracılığı ile ısı enerjisine dönüştürülür. Bu üretilen ısının ortamda saklanması ve değerlendirilmesi ise termodinamiğin ikinci yasasını ilgilendirir.

3.3 Tersinir ve Tersinmez Sistemler

Termodinamik yasalarını basitçe özetleyebilmek için içten yanmalı bir otomobil motoru düşünelim; Motor içerisinde yanma olayı gerçekleşir. Patlama olarak nitelendirilen bu olay, motorun yanma odalarında kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüşmesi olarak açıklanır. Devamında da yürütme aksamlarıyla motor gücü yere taşınır. Bu olayı termodinamiğin sıfıncı ve birinci yasaları açısından incelediğimizde enerjinin yok olmayıp biçim değiştireceğinden yola çıkarak, kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüşürken yanma ve

sürtünmeden ötürü ısıya dönüşen enerjinin de varlığı hesaba katıldığında toplam enerjinin değişmeyeceği gerçeği görülür. Ancak örneğe teorik hesaplamalardan ziyade deneysel olarak yaklaşıldığında, dönüşen mekanik enerjinin, ters yöndeki bir proseste tekrar kimyasal potansiyele, yani yakıt enerjisine dönüşmesi imkansıza yakındır. İşte bu kavram, termodinamiğin ikinci yasasının önemini vurgular ve böylelikle enerji dönüşümünün, gerçekleşecek olan hal değişiminin yönüne bağlı olduğu ifade edilir.

Motor ve yakıt örneğinde olduğu gibi hal değiştirme yönünün önemli olduğu bir durumda iki başlık söz konusu olur; tersinir ve tersinmez sistemler. Başlangıç halinden hedef hale geçiş yapan ve son halden tekrar geri yöndeki bir sürece tabi tutularak başlangıç hale geri dönen sistemlere tersinir sistemler denir. Teorik açıdan bakıldığında tersinirlik üst limitleri belirler niteliktedir. Yalnız, doğada bu duruma rastlamak olanaksızdır. Çünkü sürtünme, ısı geçişi, gazların karışması, elektriksel direnç, katıların elastik olmayan şekil değişimleri ve kimyasal tepkimeler gibi etmenler yoluyla tersinmezlik kaçınılmaz hale gelir. Bu sebeple doğa olaylarının tersinmez olarak gerçekleştiğini söylemek doğru olur.

3.4 Isı Enerjisi Kaybı ve Entropi

Entropi tarif edilmesi zor, termodinamik açıdan birçok probleme çözüm getiren, önemli bir fizik kavramıdır. Basit bir tabirle anlatmak gerekirse entropi, sadece ısı geçişi ile gerçekleşebilen, madde içi düzensizliğin tanımıdır:

$$\oint \frac{\partial Q}{T} \leq 0 \quad \text{Clausius Eşitsizliği} \quad (3.1)$$

Mutlak sıcaklıkta, kapalı bir sistemde diferansiyel ölçekteki ısı geçişleri toplamının sıfıra eşit veya sıfırdan küçük olacağını ifade eden bu eşitsizlik, sistemin ilk ve son entropileri göz önüne alındığında,

$$\partial S \geq \frac{\partial Q}{T} \quad (3.2)$$

halini alır. Tersinir sistemlerde eşitlik durumu geçerlidir. Ancak, tersinmezlik söz konusu olduğunda eşitsizlik ifadesi kullanılır. Bu ifade, T mutlak sıcaklığında, sistemle çevre arasında dQ kadar ısı alışverişi olması halinde entropi artışının, dQ/T oranından daha az olamayacağını açıklar.

Entropi, ısı enerjisinin kontrol edilebilmesi ile bağlantılıdır. Çünkü ısı, katı

sıvı gaz gibi maddenin farklı hallerinde farklı düzeylerde düzensizlik gösterir. Sıvıların katılardan, gazların da sıvılardan daha düzensiz bir yapıda olduğu düşünülünce, gaz faza doğru gidildiğinde düzensizliğin artacağı, katı faza doğru gidildiğinde ise azalacağı bir gerçektir. Fakat bu entropinin de azalacağı anlamına gelmez. Peki entropinin ısıyla birlikte sonsuza kadar artabileceğini söyleyecek olursak, entropinin en düşük olduğu durumu nasıl tanımlayabiliriz? İşte burada sıcaklığın sıfır olduğu durum, yani mutlak sıfır noktası (0 K) bize yardımcı olur. Teorik olarak kabul edilen ve sürekli daha çok yaklaştırmaya çalışılan bu sıcaklığa ulaşıldığında entropinin mutlak değerine varılmış olur. Bu sıcaklıkta saf kristal maddenin entropisi sıfırdır ve birçok hesaplama için yol gösterici niteliğinde olan bu kabul termodinamiğin üçüncü yasası olarak bilinir.

Tersinmezlik ve entropi kavramları birlikte değerlendirildiğinde entropinin daima artacağı olgusu daha iyi tanımlanır. Örneğin bir katı madde önce sıvı sonra da gaz haline getirildiğinde maddenin düzensizliği artacaktır. Hal değişiminin yönü değiştirildiğinde ise entropinin artış hızı değişecek, ancak sistem tersinir olmadığı sürece entropi hiçbir zaman sabit kalmayacak, hatta azalması asla söz konusu olmayacaktır. Başka bir örnek olarak da mekanik iş yapan bir sistem düşünelim. Eğer sistemde sürtünme kuvveti söz konusu değilse yapılan iş tersinirdir ve ters proses uygulandığında başlangıç haline geri dönlür. Ancak, sürtünme kuvveti olduğunda süreç tersinmez hale gelir. Çünkü sürtünmeyle kaybedilen ısı enerjisi, tekrar geri döndürülemeyecek bir entropi artışına sebep olacaktır.

3.5 Ekserji Kavramı

Enerji verimliliğinin popüler olduğu şu günlerde, yararlanmak için dönüştürdüğümüz enerjinin faydalanılan kısmı olarak tanımlayabileceğimiz ekserji, önemli bir başlık haline gelmiştir. 1940'lı yıllarda Z. Rant tarafından ortaya atılan ekserji kavramı, bilimsel çalışmalara dahil edilmiş ve enerji verimliliği hesaplarına büyük katkı sağlamıştır. Z. Rant'a göre ekserji; enerjinin diğer enerji türlerine dönüştürülebilen kısmıdır (Akyol, 2006).

Tersinirlik ve tersinmezlik kavramlarından yola çıkılarak, enerjinin toplamından ekserjetik kısım çıkarıldığında geriye anergi adı verilen diğer türlere dönüştürülemeyen enerji bulunur. Başka bir deyişle:

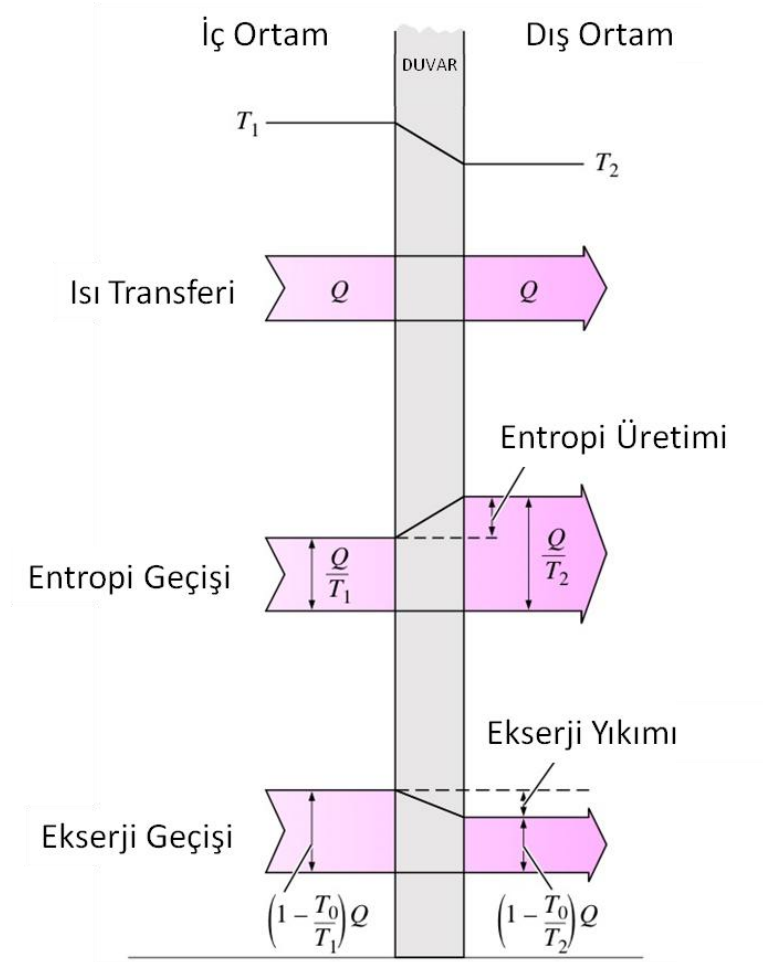
$$\text{ENERJİ} = \text{EKSERJİ} + \text{ANERJİ} \quad (3.3)$$

olduğu söylenebilir.

Bina dış duvarlarındaki ekserji analizini yapabilmek için ısı geçişlerinden kaynaklanan ekserji miktarını incelemek gerekir. Sıcaklık dağılımının tekdüze olduğu durumda ekserji:

$$E_x = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (3.4)$$

eşitliğinden hesaplanır. T_0 'ın ortam, T 'nin de sistem sıcaklığını gösterdiği bu eşitlik, Q miktarda bir ısı enerjisinin, diğer enerji türlerine dönüştürülebilen kısmını (ekserjisini) ortaya koyar.



Şekil 3.1: Bir dış duvardaki ısı, sıcaklık, entropi ve ekserji geçişi (Çengel and Boles, 2013).

Günümüzde enerji kullanımının yoğun olduğu sektörlerde, enerji üretimi yapan, başka bir deyişle var olan enerjiyi diğer enerji türlerine çeviren tesislerde ekserji kavramı büyük önem taşımaktadır. Artık tükenen doğal kaynaklar

sebebiyle enerjinin her zerresi kıymetli ve pahalıdır. Üretilmesi, taşınması, kullanılması ve hatta depolanması sırasında entropi üretiminden kaynaklanan tersinmezliklerden ötürü ekserji yıkımı gerçekleşmekte ve faydalanılabilir enerji miktarı azalmaktadır.

Dış ortamdan iç ortama ya da tam tersi bir yönde, sabit miktarda aktarımı gerçekleşen ısı enerjisi, bir binanın dış duvarının özelliklerine göre sıcaklık, entropi ve ekserji değerlerini belirlemek için kullanılır. Isı geçişinin gerçekleştiği yönde sıcaklık değeri korunamaz ve azalır. Ancak entropi üretiminin artacak olmasından dolayı ekserji yıkımı gerçekleşecektir. Şekil 3.1’de iç ortamdan dış ortama doğru gerçekleşen sıcaklık, ısı, entropi ve ekserji geçişleri gösterilmiştir.

4. BİNALARDA ENERJİ KULLANIMI VE VERİMLİLİK

4.1 Enerji Verimliliği ve Binaların Payı

Yaşadığımız çağda teknolojinin gelişmesi, enerji tüketiminin fazlaşması ve konfor düzeylerinin yükselmesinden ötürü, enerji verimliliği modern çağ için kritik bir yere sahiptir. Tükenmekte olan fosil kaynaklardan bir anda vazgeçmek mümkün olmayacağı gibi, tüm enerji planlarını da bu yakıtlar üzerine yapmak dünyanın sonunun gelmesini hızlandıracaktır. Çare olarak yenilenebilir enerjiler doğru bir yönelimdir ancak enerji verimliliği politikalarından yararlanılmadan enerji yoğunluğunu düşürmeye çalışmak boşa kürek çekmek olacaktır.

4.1.1 Dünyada Enerji Tüketimi ve Küresel Isınma

Enerji verimliliği tüm dünyada dikkat edilen ve geliştirilen bir konu haline gelmiştir. Yapılan çalışmalara göre eğer gerekli önlemler alınmazsa 2020 yılında fosil yakıt rezervlerinin yarısı tükenecektir. Bu da fosil yakıtların daha da değerlendirilmesi ve maliyetlerinin günden güne artması anlamına gelir. Fosil yakıtlardan sağlanan enerjinin yenilenebilir enerjilerle desteklenmemesi ve enerji verimliliği politikalarının önemsenmemesi, maliyet artışının yanında başka bir tehlike durumunun da habercisidir; küresel ısınma.

Araştırmalara göre son 100 yılda dünya genelinde ortalama sıcaklık 0,6 °C artmıştır ve bu sıcaklığın önümüzdeki 40 yıl içerisinde her 10 yılda 0,1 °C artması beklenmektedir (YEGM, 2014). Bu değerler ilk bakıldığında az gözükse de, dünya genelinde ortalama sıcaklık için çok kritik değerlerdir ve iklim, bitki örtüsü gibi doğanın hassas noktaları için büyük tehlikelere yol açarlar.

4.1.2 Türkiye'de Binalarda Enerji Tüketimi

Gelecek yıllarda daha da büyük bir mesele haline gelecek olan enerji üretimi ve küresel ısınmanın en önemli sorumlularından biri binalarda tüketilen enerji miktarlarıdır. 2013 yılının verilerine göre toplam enerjinin %35'i konut ve hizmet sektöründe tüketilmiştir. Bu oran %34'e sahip olan sanayi tüketimini bile geride bırakmaktadır. (ETKB, 2013).

Konutlarda tüketilen enerjinin %85'i ısıtma ve sıcak su eldesi için, %15'i ise elektrik enerjisi tüketiminde kullanılmıştır (YEGM, 2014). Bu enerjinin %82'sini

kapsayan binalardaki ısıtma enerjisinin ülkemizde harcanan enerjinin %26'sını oluşturmaları ise toplam enerji tüketiminin %62'lik payını petrol ve doğalgaz ile sağlayan ve bu bağlamda %90'ın üzerinde dışa bağımlı bir ülkenin binalarda yapılacak enerji verimliliği projelerine ne denli önem vermesi gerektiğini göstermektedir.

4.2 Binalarda Enerji Verimliliği

Toplam enerjisinin %35'nin konut ve hizmet sektöründe kullanıldığı bir ülkede, binalarda enerji verimliliği önemli bir başlık olmak zorundadır. Binalarda yapılacak enerji verimliliğine yönelik uygulamalar bir yandan tüketiciye kar ettirirken, aynı zamanda ülke ekonomisine de katkı sağlayacaklardır. Bunlardan bazıları ısıtma-soğutma sistemlerinin doğru seçilmesi, yerine göre güneş ışınlarından faydalanılması ya da korunulması, elektrikli ev aletlerinden en uygun biçimde yararlanılması şeklinde örneklendirilebilir.

Binalarda enerji verimliliği uygulamaları arasında en etkili yöntemlerden biri ısı yalıtımıdır. Isı yalıtım malzemeleri ile kaplanan bina, ısı geçişine direnç göstererek, iç ve dış ortamı ısısal anlamda birbirinden ayırmaya yardımcı olur. Bu da bina içerisinde sağlanmak istenen konfor sıcaklığının yakalanmasını kolaylaştırır. Duvar yüzeylerinde, çatı ve zeminlerde ısı yalıtımı uygulandığı gibi, günümüzde artık ısı yalıtımlı camlar kullanılarak, pencerelerdeki ısı geçişlerini düşürmek mümkündür. Ülkemizde yalıtımlı çatıların %10, çift camların %8, yalıtımlı camların ise %4 oranında tercih edildiği göz önüne alındığında, yatırım maliyetinin birkaç sene içerisinde geri kazanılacağı bu uygulamalara önem verilmesi gerektiği açıktır (YEGM, 2014).

4.2.1 Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları

Bir binada ısı yalıtımı uygulaması, bina maliyetinin %3 - %5'i arasında bir ek maliyet oluşturur. Ancak ısıtma ve soğutma giderlerinde yaklaşık %50 oranında tasarruf sağlanması ile yatırım maliyetini birkaç sene içerisinde karşılar (İzoder, 2010).

Binalarda dış duvar ısı yalıtımı duvarın dış yüzüne, iç yüzüne ve iki duvar arasına olacak şekilde üç farklı biçimde uygulanabilir. Dış yüzeyden yapılan yalıtım kolon, kiriş, lento gibi yapı elemanlarının daha kolay sarılması açısından avantajlıdır. Dış yüzeyden yalıtım yapılamadığı durumlarda iç yüzey yalıtımı

yapılır. Ancak burada ısı köprülerini kontrol etmek güçleşir ve iç ortamdaki buharın yüzeyde yapacağı yoğuşma problem yaratır. Yalıtım malzemesinin duvarın içinde olduğu bir diğer teknik ise sandviç paneldir. Bu uygulama, dış yüzeyden yapılacak mantolama gibi ayrıntı ve maliyet gerektirmediği için ülkemizde sıkça tercih edilmektedir. Ancak mantolama olarak tanımlanan dış yüzeyden tüm bina kabuğunun kaplanması en sağlıklı ve faydalı yöntemdir.

Yalıtım uygulamalarında en önemli hususlardan biri de işçiliktir. Maliyeti düşürmek için gereğinden az malzeme kullanmak ya da zaman kazanmak yolunda yapılan uygulama hataları, yalıtımın etkisini doğrudan olumsuz anlamda değiştireceği gibi sağlık şartları ve bina estetiği konularında da kayıplar getirecektir.

4.2.2 Isı Yalıtım Malzemeleri

Yalıtım uygulamalarında yaygın olarak EPS (ekspande polistiren), XPS (ekstrüde polistiren), taşıyıcı ve camyünü kullanılır. Teknolojinin gelişmesiyle aerogel gibi çok hafif ve yalıtım direnci yüksek yeni malzemeler de bu kulvarda yerlerini almaktadırlar.

4.2.2.1 EPS (Ekspande Polistiren)

Isı iletkenlik katsayısı 0,030 - 0,039 W/mK (10 °C'de) arasında, su buharı difüzyon direnç faktörü $m=20-100$ arasında değişen, 16 kg/m³ yoğunluğunda, basma dayanımı yüksek, kimyasallara ve güneşin UV ışınlarına karşı hassas ısı yalıtım malzemesidir. Karbon takviyesiyle daha yüksek ısı yalıtım direnci kazandırılan modelleri de bulunmaktadır (İzocam, 2012).



Şekil 4.1: Karbon takviyeli EPS yalıtım malzemesi.

4.2.2.2 XPS (Ekstrüde Polistiren)

Isı iletkenlik katsayısı 0,035 W/mK'den (10 °C'de) daha düşük, $m=90-100$ arasında değişen su buharı difüzyon direnç faktörü ve %100 kapalı yapıdaki gözenekli homojen hücreleri sayesinde bünyesine su almayan, 25 - 28 kg/m³ arasında değişen yoğunluğa sahip, basma dayanımı EPS'ye göre daha yüksek ancak kimyasal ve güneşten gelen UV ışınlarına karşı zayıf olan ısı yalıtım malzemesidir. Suya karşı dayanımı sayesinde genelde daha çok tercih edilmektedir (İzocam, 2012).



Şekil 4.2: Suya karşı dayanımı daha yüksek olan XPS.

4.2.2.3 Taşyünü

Isı iletkenlik katsayısı 0,035 - 0,040 W/mK (10 °C) arasında değişen, su buharı difüzyon direnç faktörü $m=1$ olan, 150 kg/m³ yoğunluğa sahip, zamanla bozulmayan, mikroorganizmalar tarafından tahribi güç, yüksek sıcaklık dayanımından ötürü yangın güvenliği için tercih edilen ve aynı zamanda ses yalıtımı da sağlayan ısı yalıtım malzemesidir. İnorganik hammadde olan bazalt taşının ergitilerek elyaf hale getirilmesi ile üretilir. Yerli olarak temin edilebilmektedir (İzocam, 2012).



Şekil 4.3: Yangın güvenliği ve ses yalıtımı için uygun taşyünü malzemesi.

4.2.2.4 Camyünü

Isı iletkenlik katsayısı 0,031 - 0,043 W/mK (10 °C) arasında değişen, su buharı difüzyon direnç faktörü $m=1$ olan, 10 – 110 kg/m³ arasında yoğunluğa sahip, taşıyünü gibi yüksek sıcaklık dayanımından ötürü yangın güvenliği için tercih edilen ve aynı zamanda ses yalıtımı da sağlayan, çürüme, küf tutma ve bozulma gibi etmenlere karşı dayanıklı bir yalıtım malzemesidir. İnorganik hammadde olan silis kumunun ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile üretilir. Yerli olarak temin edilebilmektedir (İzocam, 2012).



Şekil 4.4: Yangın güvenliği ve ses yalıtımı için uygun camyünü malzemesi.

4.3 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları "TS 825"

Enerji verimliliğinin ön planda olduğu günümüzde, beyaz eşyaların verimlilik sınıflandırmasına benzer şekilde binaların da değerlendirilebilmesi adına belirlenmiş TS 825 standardı yeni yapılacak ya da mevcut binalarda geçerli olmak üzere hazırlanmıştır. Yeni inşa edilecek binalarda, binaların ısıtma enerjisi ihtiyacını ve izin verilebilecek maksimum ısı kayıp değerlerinin belirlenmesinde, mevcut binalarda ise yapılması gereken tamir-tadilat işlerinin teşhisinde ya da işlem sonrasında, standartta verilen ısıl geçirgenlik katsayılarına uygunluğun kontrolünde kullanılır.

TS 825 ısı yalıtım standardının temel amacı, ülkemizdeki konutların, yönetim binalarının, iş ve hizmet binalarının, otel ve lokantaların, öğretim binalarının, tiyatro ve konser salonları gibi hemen hemen her bina türünün ısıtılmasında kullanılan enerji miktarının sınırlandırılmasına yönelik bir hesap metodu belirlemek ve böylelikle enerji tasarrufunu arttırmaktır (TSE, 2008).

Birincil etmen olarak "tasarruf" görülse de, sıcaklık etkilerinden korunma, insan sağlığı ve konfor düzeyleri açısından bakıldığında bu standart oldukça önemli noktalara değinmektedir. Örneğin bir iç ortamda insan sağlığının korunması için belirli sıcaklık aralıkları bulunmaktadır. Hatta daha hassas bir

yaklaşım ile ısı konforu sağlanması, bir insanın yalnızca doğru sağlık koşulları çerçevesinde yaşamını sürdürmesinden çok, günlük yaşamını daha verimli hale getirmesi anlamına gelir.

Ortamın belirli sıcaklık aralıkları içinde olması için ısıtma veya soğutma sistemleri kullanılmadan önce, ısı geçişine engel olmak daha basit ve kullanışlı bir yöntemdir. Çünkü ısıtma-soğutma sistemleri her ne kadar sağlıklı ve verimli de çalışsa, elektrik tüketim maliyetleri ve karbon salınımı gibi etmenlerden dolayı istenilen faydanın tersine dezavantaj yaratabilirler.

Sıcaklık etkilerinden yeterince korunma, binanın yapı bileşenlerinin yüzeylerinde su buharı yoğunlaşmasını önler. Bileşenlerde sıcaklık değişimlerinin oluşturduğu hareketleri küçültür ve böylelikle yapıda bu olaydan ileri gelebilecek zararları önleyerek, yakıt giderlerini azaltmakla birlikte, binanın bakım ve onarım giderlerini de azaltır (TSE, 2008).

TS 825 standardı, yalnızca bina duvarlarındaki yalıtım değerlendirmesinden ibaret olmayıp, binanın yapısı, tesisatı, pencereleri, konumu, rüzgar direnci ve gün ışığından yararlanma oranı gibi birçok kompleks bileşeni bir arada inceler.

5. GEREÇ VE YÖNTEM

Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları “TS 825” standardında, bir binanın tüm yapı bileşenlerinin özellikleri, konumu, çevresiyle etkileşimi ve güneşten faydalanma gibi birçok etmen değerlendirilerek binanın toplam enerji kullanımı ve buna dayanarak da enerji sınıflandırılması yapılır. Bu tez çalışmasında mevcut bir bina kabuğunun 1 m²'lik kesidi için yapılması gereken optimum ısı yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır.

Optimum yalıtım kalınlığı hesabında binanın bulunduğu iklim koşulları, yalıtım malzemesi seçimi ve ısıtma için kullanılan yakıt türü oldukça önemlidir. Yapılan bu teorik tez çalışmasında, çeşitliliğin sağlanması ve değişkenlerin belirgin olması açısından 4 farklı derece-gün bölgesindeki şehirler (İzmir, İstanbul, Ankara, Erzurum) seçilmiş, en çok kullanılan 4 tip ısıtma sistemi (doğalgaz, kömür, kalorifer yakıtı, elektrik) değerlendirilmiş ve en çok tercih edilen, farklı özelliklerdeki yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, Taşyünü) karşılaştırılmıştır.

5.1 Isı ve Sıcaklık Geçişleri

Isı geçişi hesaplamasındaki temel parametreler yapı bileşenindeki ısıl geçirgenlik katsayısı "U", duvar yüzey alanı "A" ve transferin gerçekleştiği sıcaklıkların farkı " ΔT " dir:

$$Q = U * A * \Delta T \quad (5.1)$$

Isı yalıtımı uygulamaları hem sıcak hem de soğuk havalarda kullanıldığı için sıcaklık geçişleri içten dışa ya da dıştan içe olacak şekilde gösterilebilir. Bu çalışmadaki hesaplamalar, kış aylarındaki ısıtma yükü düşünülerek, içerideki ısının korunması mantığı ile yapılmıştır.

İç ortamdan dış ortama doğru gerçekleşen sabit ısı akışı, dış duvar katmanlarından geçip ortamla buluşana kadar, kademe kademe değişen sıcaklık değerleri ile gösterilebilir. Dış hava sıcaklığı $T_{dış}$, iç hava sıcaklığı $T_{iç}$ ve duvardaki her katman için T_d sıcaklıkları olacak şekilde aşağıdaki bağıntılar ile açıklanır:

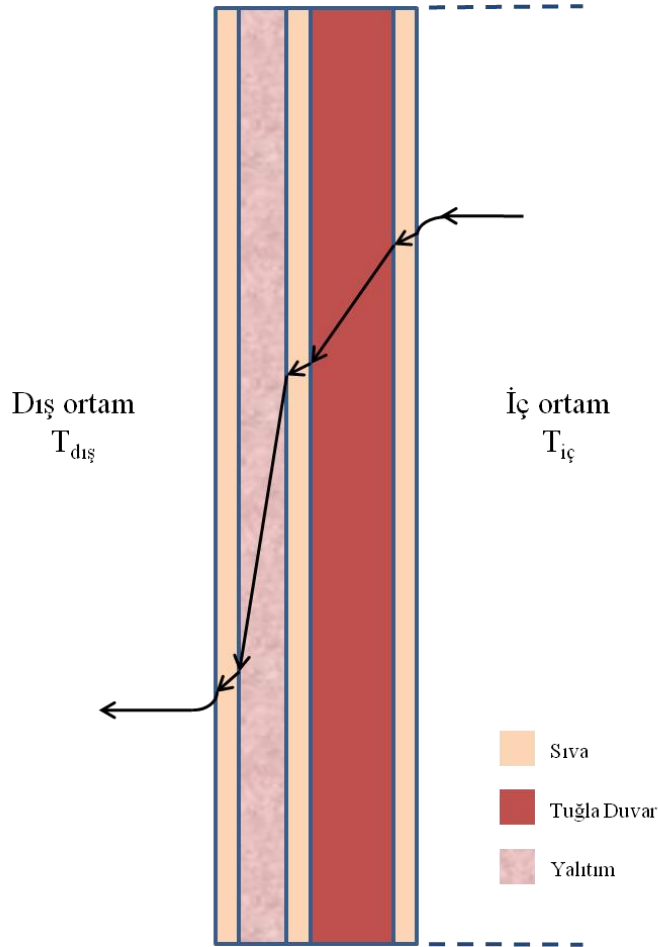
$$Q = \alpha_{dış} * (T_{d(1)} - T_{dış}) \quad (5.2)$$

$$Q = \frac{\lambda}{d} * (T_{d(2)} - T_{d(1)})$$

$$Q = \frac{\lambda}{d} * (T_{d(3)} - T_{d(2)})$$



$$Q = \frac{\lambda}{d} * (T_{d(n)} - T_{d(n-1)}) \quad (5.3)$$



Şekil 5.1: Bina dış duvarlarındaki sıcaklık geçişi.

Eşitlik 5.3'teki gibi, Şekil 5.1'de sembolik (ölçeksiz) olarak gösterilen duvarda bulunan her katman için ayrı hesaplama yapılarak, sıcaklık geçişleri sırayla hesaplanır. Son olarak da Eşitlik 5.4 yardımı ile iç ortamdaki sıcaklık değerine ulaşılır:

$$Q = \alpha_{iç} * (T_{iç} - T_{d(n)}) \quad (5.4)$$

TS 825 uygunluk şartına göre, binanın iç hava sıcaklığı ile duvarın iç yüzeyinin sıcaklığı arasındaki fark 3 °C'den az olmalıdır. Bu fark sıcaklığı, konfor düzeyleri çerçevesinde ortam ve iç duvarın yeterli bir sıcaklık dengesi içerisinde olmasını gerektirir. Eğer bu koşul sağlanmıyorsa dış duvar için gereken enerji sınıflandırması bir anlam ifade etmeyecektir.

Şehirler için duvarlardaki sıcaklık geçişinin hesaplanmasında Çizelge 5.1'de yer verilen "Kalorifer Tesisatı Tasarımında Dış Hesap Sıcaklıkları (TS2164)" kullanılır.

Çizelge 5.1: Farklı derece-gün bölgelerindeki şehirler için dış hesap sıcaklıkları (TSE, 2000).

Şehirler	Derece-Gün	Sıcaklık (°C)
İzmir	1119	0
İstanbul	1758	-3
Ankara	2421	-12
Erzurum	4650	-21

5.2 Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

Bir duvarın ısı iletkenlik katsayısı olarak nitelendirilen U değeri:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iç}} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{dış}}} \quad (5.5)$$

olarak belirlenir. Burada $\alpha_{iç}$ duvarın iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayısını, $\alpha_{dış}$ ise dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısını göstermektedir. Teorik olarak $\alpha=1/R$ şeklinde ifade edilir. Burada R, yüzeysel ısı iletim direncidir.

Duvarın her katmanı için d/λ oranı ayrı toplanır ve Eşitlik 5.5'te yerine yazılır. Isı taşınım katsayıları ise TS 825 standardında bulunan hesaplanmış yüzeysel ısı iletim direnç değerleri çizelgesine göre dış duvar için $\alpha_{iç}=7,69$ ve $\alpha_{dış}=13,00$ olarak belirtilmiştir (TSE, 2008).

5.2.1 Yalıtımsız Dış Duvar Örneği

Bina dış duvarı için optimum yalıtım kalınlığı hesabında kullanılacak duvarın öncelikle yalıtımsız halinin iletim direnci belirlenmelidir. Bu kabulün ardından uygulanacak yalıtım kalınlıkları hesaba ilave edilir.

Bu çalışmada kabul edilen duvar örneği Çizelge 5.2'deki gibidir:

Çizelge 5.2: Yalıtım uygulanmamış örnek duvarın katmanları.

DIŞ DUVAR	d (cm)	λ (W/mK)
İç sıva	2	1
Tuğla	19	0,5
Dış sıva	3	1

Duvara uygulanacak yalıtımın etkisi toplam iletim direncine eklenirken, son katman olarak 0,8 cm kalınlığında ve 0,35 W/mK ısı iletim katsayısına sahip dış sıva da hesaplamalara eklenecektir.

Yapılan bu çalışmada mevcut binalar incelenmiştir. Yeni binalarda ise Çizelge 5.2'deki dış sıvaya gerek kalmadan yalıtım uygulanabilmektedir.

5.3 Yakıt Maliyetinin Belirlenmesi

Bir binanın dış duvarında yapılacak optimum yalıtım kalınlığı hesabı doğrudan olarak yakıt maliyeti ile ilişkilidir. Bu sebeple, bu tür çalışmalarda ülke genelinde en çok kullanılan ve farklı özelliklere sahip olan yakıt cinsleri seçilmelidir.

5.3.1 Yakıt Türlerinin Seçimi

Türkiye'de 80'li yılların ortalarına kadar en çok kullanılan yakıt olan kömür, bu yıllardan sonra gerek ısıtma, gerekse de elektrik üretimi için yerini doğalgaza bırakmaya başlamıştır.

Günümüzde halen kömür kullanımı yaygındır ve bunun ülke ekonomisi açısından ne kadar fayda sağladığı tartışılmaktadır. Çünkü doğalgaz her ne kadar daha temiz olarak nitelendirilebilecek bir yakıt da olsa, dışa olan bağımlılık düşünüldüğünde ülke ekonomisi açısından kullanımı dengede tutulması gereken bir yakıt türüdür. Kömürün de çıkarılması ve kullanılması açısından büyük risk ve sorumluluklar taşınması, enerji üretimindeki payının ne kadar olması konusunda doğru kararlar verilmesini gerektirir.

Ülkemizde halen kullanılan başka bir yakıt kalorifer yakıtıdır. Her ne kadar doğalgazın yaygınlaşmasından sonra kullanımı azalsa da, halen tercih edilen bir yakıt türüdür.

Isıtmada kullanılan bir başka yöntem ise elektriktir. Doğrudan elektrik ile ısınmanın ilk bakışta daha kolay ve zararsız olduğu görülse de, ülke çapında elektrik üretimi için kullanılan yakıt türü doğalgazın en yüksek orana sahip olması, elektrik ile ısınmanın çok avantajlı bir yöntem olmadığının göstergesidir (ETKB 2013).

Ülke çapında ısıtmada kullanılacak yakıtların hangisinin hangi oranda kullanılması gerektiği, bölgelerdeki enerji kaynakları, enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı gibi birçok parametreye bağlıdır. En doğru sonuç, tüm etkenlerin hesaba katıldığı optimum düzeyde fayda sağlayacak hesaplamalar ile belirlenir.

Bu tez çalışmasında ülke çapında bina ısıtmasında en çok kullanılan doğalgaz, kömür, kalorifer yakıtı ve elektriğe yer verilmiştir.

5.3.2 Yakıt Maliyetinin Hesaplanması

Yakıt maliyetinin hesaplanmasında Eşitlik 5.6 kullanılır:

$$M_{yak} = \frac{86400 * DG * m_{yak} * SDF}{\left(R + \frac{d}{\lambda}\right) * H * \eta} \quad (5.6)$$

$$\left(\frac{TL}{m^2}\right) = \frac{\left(\frac{s}{gün}\right) * (Kg\ ün) * \left(\frac{TL}{m^3}\right) * (-)}{\left(\frac{m^2K}{W}\right) * \left(\frac{J}{m^3}\right) * (-)}$$

Eşitlik 5.6'daki "86400" bir tam günün saniye cinsinden karşılığıdır. " m_{yak} " kullanılan yakıtın birim maliyetini ifade eder. "R", bina duvarının yalıtım olmadığı durumdaki iletim direncidir ve " d/λ " oranıyla birlikte duvarın toplam iletim direncini temsil eder. "H" birim yakıttan elde edilen enerji (alt ısı değeri) ve " η " ise yakıtın kimyasal enerjisinin ısıtma sistemine dönüşümündeki verimidir. "DG" Derece-gün parametresi ve şimdiki değer faktörü ayrı başlıklar halinde incelenmiştir.

Birimlerde denkliği sağlamak adına "Joule" enerji birimi " $J = Ws$ " şekilde kullanılabilir. Yakıt maliyetlerini yakıt türlerine göre de (TL/m^3) , (TL/kg) veya (TL/kWh) olarak düzenlemek mümkündür.

5.3.2.1 Derece-Gün Parametresi

Derece-gün sayıları, belirli zaman aralıkları için (gün, ay, yıl) iç ve dış ortamların sıcaklıklarını hesaba katarak, sıcak veya soğğun şiddetini rakamsal olarak ifade etmeye yarar. Birçok ülke bu hesap için farklı tanımlar kullanır. Ancak karşılaştırma yapabilmek ve ortak bir kullanım oluşturabilmek adına Avrupa Topluluğu İstatistik Ofisi (Eurostat), ısıtma derece-gün hesabı için aşağıdaki metodu önermektedir:

$$\begin{aligned} \text{HDD} &= (18 \text{ }^{\circ}\text{C} - T_{\text{ort}}) * G & T_{\text{ort}} \leq 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (ısıtma eşiği)} \\ \text{HDD} &= 0 & T_{\text{ort}} > 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (5.7)$$

"HDD" ısıtma gün dereceleri (Heating Degree Days), " T_{ort} " Günlük ortalama sıcaklık, "G" gün sayısıdır. Hesaplama günlük bazda yapılır. Aylık ve yıllık gün dereceleri bunların toplanması ile bulunur.

Soğutma derece-gün değerleri ise ısıtma yükündeki hesaba benzer şekilde iç-dış ortam sıcaklıklarının günlük, aylık ya da yıllık olarak ortalaması ile belirlenir. Resmi olarak belirlenmiş bir eşik sıcaklık olmamakla birlikte, inşaat sektörü enerji yönetim pratiklerinde eşik sıcaklık $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınır:

$$\begin{aligned} \text{CDD} &= (T_{\text{ort}} - 22 \text{ }^{\circ}\text{C}) * G & T_{\text{ort}} \geq 22 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (soğutma eşiği)} \\ \text{CDD} &= 0 & T_{\text{ort}} < 22 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Derece-gün değerleri, binaların ısıtılması veya soğutulması için gereken enerji miktarının hesaplanması için önem arz eder. Aynı zamanda bu çalışmada yapıldığı gibi optimum yalıtım kalınlığı hesabı için de kullanılır. Çünkü bu hesaplamanın bir parçası olan yakıt maliyeti için derece-gün bölgeleri oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, 2008-2014 yılları arasındaki derece-gün değerlerinin ortalaması kullanılmıştır (MGM, 2014).

5.3.2.2 Şimdiki Değer Faktörü

Yakıt maliyetinin doğrudan çarpanlarından biri olan "SDF" (Şimdiki Durum Faktörü), hesaplamanın yapıldığı döneme ait faiz oranı (i), enflasyon oranı (g) ve

ömür süresi (n) olarak adlandırılan, yapılacak değerlendirmenin kaç yılı kapsadığını gösteren parametreleri içerir.

$$SDF = \frac{(1+r)^n - 1}{r * (1+r)^n} \quad (5.9)$$

Eşitlikteki "r" ifadesi gerçek faiz oranını vermektedir:

$$\text{Eğer } i > g \text{ ise; } r = \frac{i - g}{1 + g}$$

$$\text{Eğer } g > i \text{ ise; } r = \frac{g - i}{1 + i}$$

$$\text{Eğer } g = i \text{ ise; } r = \frac{1}{1 + i}$$

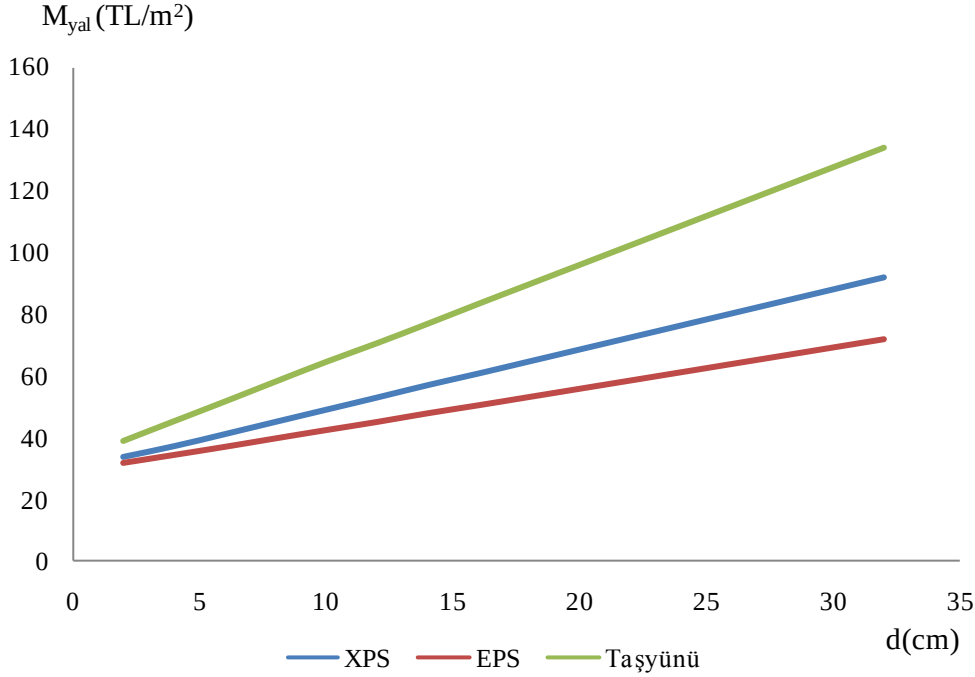
şeklinde "r" değeri belirlendikten sonra Eşitlik 5.9'da yerine yazılır (Ekici, 2012).

5.4 Yalıtım Maliyetinin Belirlenmesi

Yalıtım maliyetinin belirlenmesinde yalıtımın uygulandığı tüm aşamalar için toplam fiyatlandırma yapılır. Bu kalemler kaplama, astar, sıva, yapıştırma harcı, dübel, donatı filesi, köşe profili ve yalıtım malzemesinin maliyetleridir.

Yalıtım malzemesinin birim maliyeti m^3 olarak belirlense de, bu çalışmada 2'den 46 cm'e kadar fiyatlandırma yapılması gerektiğinden, diğer tüm kalemlerin maliyeti ile birlikte toplanarak lineere yakın bir grafik ile hesaplamalar yapılır ve Eşitlik 5.10'daki gibi ifade edilir. Burada, " m_{yal} " yalıtım malzemesinin birim maliyetini göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan yalıtım malzemelerinin fiyat değişim doğruları Şekil 5.2 ile gösterilmiştir.

$$M_{yal} = m_{yal} * d \quad (5.10)$$



Şekil 5.2: Toplam yalıtım maliyetlerinin yalıtım kalınlığına oranla değişimi.

5.5 Toplam Maliyet ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesabı

Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasına etki eden unsurlar, yakıt maliyeti ile yalıtım maliyetidir. Hesaplamalarda her iki maliyetin toplamı dikkate alınarak çözümlene, toplam maliyet üzerinden gerçekleştirilir. Eşitlik 5.11 ve Eşitlik 5.12 ile yakıt ve yalıtım malzemesi maliyetlerinin toplamı verilmiştir.

$$M_{top} = M_{yak} + M_{yal} \quad (5.11)$$

$$M_{top} = \frac{86400 * DG * m_{yak} * SDF}{\left(R + \frac{d}{\lambda}\right) * H * \eta} + m_{yal} * d \quad (5.12)$$

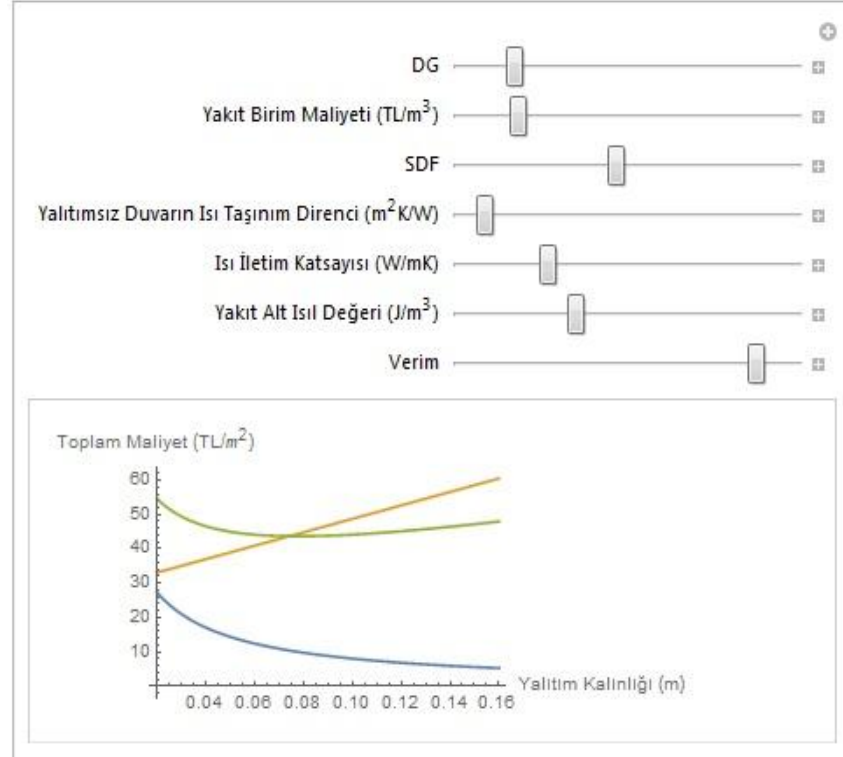
Yakıt maliyeti, yalıtım kalınlığının doğrusal artışına göre eksponansiyel olarak azalan bir eğilime sahiptir. Yalıtım maliyetinin ise yapılacak yalıtım kalınlığı ile doğrusal bir orantıya sahip olduğu söylenebilir.

Isı taşınım denklemlerine bakıldığında, ısı transferinin gerçekleştiği katmanların toplam iletim direnci ne kadar fazla olursa, kaybedilen sıcaklık değeri o kadar düşük olur. O halde yalıtım uygulanacak bir binada yapılması gereken en iyi kalınlık değeri maksimum düzeyde olmalı ya da ısı iletim katsayısı minimum seviyede olan bir yalıtım malzemesi seçilmelidir. Oysa fayda/maliyet analizi

düşünüldüğünde, yalıtımın maksimum kalınlıkta ya da kullanılan malzemenin en düşük iletim katsayısında olmasının, kurgulanan tasarımı en doğru tercih yapmayacağı görülür. Bu sebeptendir ki doğrusal olan yalıtım maliyeti ve eksponansiyel olan yakıt maliyetleri toplandığında, bir noktadan minimum değer veren bir eğri denklemi (parabol) ortaya çıkar. Bu eğrinin minimum noktası, yapılacak yalıtımın optimum kalınlığının matematiksel olarak ifadesidir.

Buna göre, optimum yalıtım kalınlığı, Eşitlik 5.12 ile verilen toplam maliyetin yalıtım malzemesi kalınlığına göre türevi alınıp sıfıra eşitlenerek elde edilecek Eşitlik 5.13 denklemindeki gibi hesaplanır.

$$d_{opt} = \left(\sqrt{\frac{86400 * DG * SDF * \lambda}{H * \eta} \frac{m_{yak}}{m_{yal}}} - R * \lambda \right) \quad (5.13)$$



Şekil 5.3: Yalıtım maliyeti, yakıt maliyeti ve toplam maliyetin gösterimi.

Şekil 5.3'te yalıtım, yakıt ve toplam maliyetlerin eğrileri bir matematiksel analiz programı ile tek bir grafik üzerinde toplanmış ve toplam maliyet eğrilerinin minimum noktaları belirlenerek optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır.

5.6 Bina Dış Duvarlarındaki Ekserji Kayıplarının Hesaplanması

Isı enerjisi, tabiatın dengesinden ötürü diğer enerji türleri gibi yüksek enerjili bölgeden düşük enerjili bölgeye doğru bir akış yaratır. Bu akış ise ortamın ya da karşılaşılan nesnenin sıcaklığını değiştirir. Eşitlik 5.1'e bakıldığında, taşınan toplam ısı enerjisi sabit bir akışta olduğundan, duvarın iletkenlik katsayısı ve iç-dış hava taşınım katsayılarına göre sıcaklık farkları oluşacaktır.

Ekserjetik olarak bakıldığında, duvarlardaki sıcaklık değişimleri entropi üretimini beraberinde getirir ve bu olay ekserji yıkımına sebep olur. Entropi üretimi, termodinamik yasalarına göre daima artacağından, bir duvar içerisinde gerçekleşen ekserji geçişi de daima azalacaktır.

Ekserji geçişleri “sistem” ve “sistem + yakın çevre” olmak üzere iki farklı şekilde incelenir. Yalnızca sistemin ekserji yıkımı değerlendirildiğinde kullanılacak denklem Eşitlik 5.14'teki gibi; sistem, yakın çevresiyle birlikte değerlendirildiğinde ise Eşitlik 5.15'teki gibi olacaktır. Burada T_0 , sistemin ölü hal sıcaklığıdır.

$$E_x = Q \left[\left(1 - \frac{T_0}{T_{iç yüzey}} \right) - \left(1 - \frac{T_0}{T_{dış yüzey}} \right) \right] \quad (5.14)$$

$$E_x = Q \left[\left(1 - \frac{T_0}{T_{iç hava}} \right) - \left(1 - \frac{T_0}{T_0} \right) \right] \quad (5.15)$$

5.7 Yalıtım Kalınlığının Karbon Salınımına Etkisi

Binalarda yapılan duvar yalıtımları sadece ekonomik anlamda değer teşkil etmez. Çünkü duvarlara yapılan yalıtım sayesinde kullanılan ısıtma sistemi daha az çalışacak ve doğaya daha az karbon salınmış olacaktır.

Binalarda birçok farklı prensipte çalışan ısıtma sistemleri kullanılır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan sistemler içerisinde, yanma tepkimelerinin başrol oynadığı doğalgaz, kömür, kalorifer yakıtı gibi, yanma tepkimesi sonucu CO_2 salınımına sebep olan ısıtma sistemleri yer alır. Diğer bir çok kullanılan enerji türü ise elektriktir. Elektrikte herhangi bir yanma olayı yaşanmadığı için karbon salınımı gerçekleşmez. Ancak daha geniş düşünüldüğünde, kullanılan elektriğin de üretim aşamasında büyük oranda fosil yakıtların kullanıldığı

ortadadır. Hatta elektriğin üretim, iletim ve dağıtım gibi aşamaları hesaba katıldığında, oluşacak kayıplardan ötürü verimlilikler düşer ve faydalandığımız kısım, elektriğin de karbon salınımı açısından masum olmadığını gösterir.

Duvarlarda yapılan yalıtım kalınlığı ne kadar fazla ise korunan ısı ve salınımına engel olunan karbon miktarı da o kadar fazla olur. Ancak maliyet işin içine girdiğinde bu kalınlığı optimum değerde tutmak en yararlısı olacaktır.

Bir bina dış duvarının 1 m²'sinden taşınan ısı enerjisi miktarı Eşitlik 5.1'de bulunan ısıl güç ifadesi yardımıyla Eşitlik 5.16'daki gibi hesaplanır. Ayrıca bu eşitlik yardımıyla, kullanılan yakıt cinsine göre atmosfere salınacak CO₂ miktarı Eşitlik 5.17 ifadesiyle hesaplanabilir.

$$E = Q * t \quad (\text{kWh}) = (\text{kW}) * (\text{h}) \quad (5.16)$$

$$m_{\text{CO}_2} = E * C_{\text{sal}} \quad (\text{g}) = (\text{kWh}) * (\text{g/kWh}) \quad (5.17)$$

Isıl gücün zaman ile çarpılması sonucu elde edilen enerji, yakıtların kendilerinden enerji üretilirken açığa çıkan yaklaşık karbon emisyon değerleri ile çarpıldığında, 1 m² duvar başına 1 saatte salınan CO₂ miktarı elde edilir. Kömür, doğalgaz, kalorifer yakıtı ve elektrik gibi kaynakların yanma enerjileri, verimlilikleri, birim maliyetleri ve ortalama emisyon faktörleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Isıtmada kullanılan yakıt sistemlerinin bazı özellikleri (Zottl et al., 2011; İzmirgaz, 2015; İğdaş, 2015; Başkentgaz, 2015; Palen, 2015).

Yakıt	η (%)	Enerji* (J/m ³)	Birim Maliyet (TL/m ³)	Emisyon (g/kWh)
Doğalgaz	90	34541084	1,112 ¹ 1,188 ² 1,204 ³ 1,109 ⁴	277
Kömür	65	21352670 ¹ 21126583 ² 21164264 ³ 21352670 ⁴	0,490 ¹ 0,587 ² 0,570 ³ 0,600 ⁴	394
Kalorifer Yakıtı	80	41344630	2,304 ¹ 2,320 ² 2,351 ³ 2,408 ⁴	330
Elektrik	99	3600646	0,405	617

¹ İzmir, ² İstanbul, ³ Ankara, ⁴ Erzurum.

* Alt ısı değerleri.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde kullanılan yalıtım ve yakıt maliyetlerinin parametreleri birçok etmene göre değişkenlik gösteren belirleyicilerdir. Bunlar, denklemdeki rollerine göre optimum yalıtım kalınlığını etkileyen faktörlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında, diğer dış etkenlerden bağımsız, yalnızca 1 m²'lik duvar yüzeyi için optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır. Bu sebeple kabul edilen faktörler yalnızca yakıt ve yalıtım maliyeti parametrelerine bağlıdır. Karbon salınım değerleri ise kullanılan yakıt cinslerinin yanma tepkimeleri sonucu açığa çıkardıkları emisyon miktarlarının ortalama değerleridir.

Yakıt ve yalıtım maliyetleri piyasa durumu ve lojistik gibi bir takım etmenlerden dolayı şehirden şehre değişkenlik gösterebilir. Yakıt maliyetleri her şehir için ayrı değerlendirilmiş, yalıtım maliyetleri ise ortalama değerlerle hesaplanmıştır.

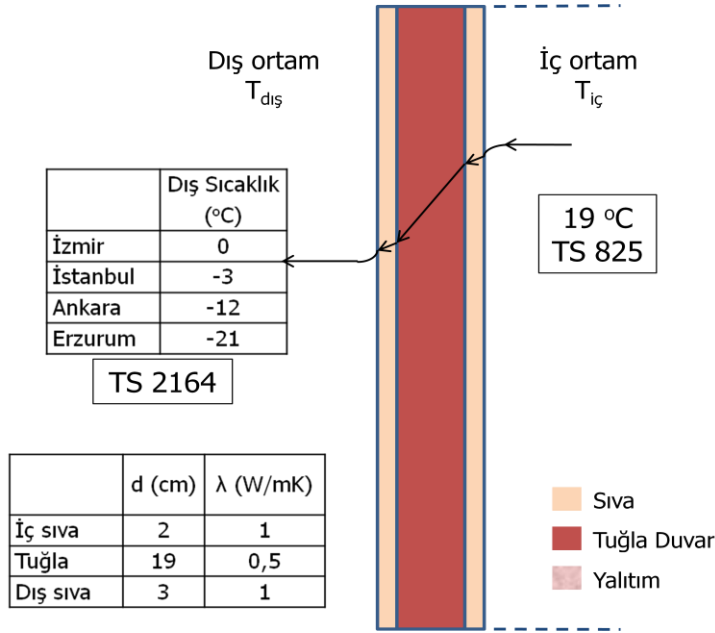
6.1 Dış Hava Sıcaklığının İç Yüzey Sıcaklığına Etkisi

Dört farklı derece-gün bölgesinde yer alan şehirlerdeki dış duvar yalıtım kalınlıklarına göre minimum iç duvar yüzey sıcaklığının uygunluğu $T_{iç} - T_d \leq 3$ °C kuralına uygun olmalıdır (TSE, 2008). Buna göre, iç ortamda konfor sıcaklığını 19 °C kabul ettiğimizde, iç duvar yüzey sıcaklığının 16 °C'nin altında olmaması gerekir.

Şehirler için kabul edilen dış hesap sıcaklıklarından yola çıkılarak, yalıtımsız ve 0,035 W/mK'lik ısı iletim katsayısına sahip bir yalıtım malzemesi ile kaplanmış bir duvarın, $T_{iç} - T_d \leq 3$ °C koşuluna uygunluğu Çizelge 6.1'de incelenmiştir. Burada kırmızı renkle gösterilen değerler fiziksel yeterlilik koşulunu sağlamamaktadır ve 16 °C'yi sağlayan ilk değerler minimum yalıtım kalınlıkları olarak nitelendirilebilir.

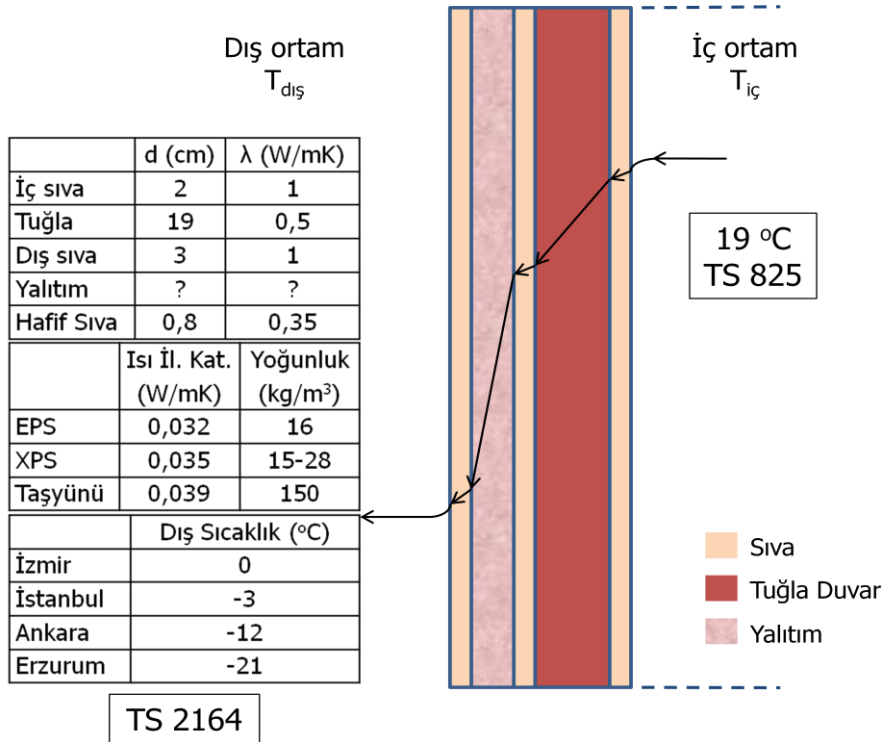
Çizelge 6.1: $\lambda=0,035$ W/mK 'lik yalıtım malzemesinin iç duvar yüzey sıcaklıklarına etkisi.

Yalıtım d (cm)	İç Yüzey Sıcaklıkları (°C)			
	İzmir	İstanbul	Ankara	Erzurum
0	13,1	12,2	9,4	6,6
2	16,6	16,2	15,0	13,9
3	17,1	16,8	15,9	15,0
4	17,4	17,2	16,5	15,7
5	17,7	17,5	16,9	16,2
6	17,9	17,7	17,1	16,6



Şekil 6.1: Yalıtımsız duvardaki sıcaklık geçişinin gösterimi.

Şekil 6.1’de yalıtım uygulanmamış üç katmanlı bir duvardaki sıcaklık geçişleri ölçeksiz olarak gösterilmiştir. Şekil 6.2’de ise yalıtımsız bir dış duvar örneğine ilaveten bir ısı yalıtım tabakası ve anorganik tabanlı ince sıva ile birlikte beş katmanlı bir dış duvar örneği ve sıcaklık geçişleri ölçeksiz biçimde gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Isı yalıtımlı duvardaki sıcaklık geçişinin gösterimi.

6.2 Dış Duvardaki Enerji Kayıpları

Çizelge 6.2: Farklı yalıtım malzemeleri ve yakıt türlerine göre optimum kalınlıkta yalıtımlı 1 m² dış duvardan kaybolan enerji miktarları.

Şehirler	Yakıt Türü	Yalıtım Malzemesi	ΔT (K)	Toplam Isı Geçiş Kat. (W/m²K)	Isı Kaybı (W/m²)
İzmir	Doğalgaz	XPS	19	0,3812	7,24
	Kömür			0,3812	7,24
	Kal. Yak.			0,2873	5,46
	Elektrik			0,2306	4,38
	Doğalgaz	EPS		0,3202	6,08
	Kömür			0,3202	6,08
	Kal. Yak.			0,2463	4,68
	Elektrik			0,1883	3,58
	Doğalgaz	Taşyünü		0,5249	9,97
	Kömür			0,5249	9,97
	Kal. Yak.			0,3739	7,10
	Elektrik			0,3138	5,96
İstanbul	Doğalgaz	XPS	22	0,3130	6,89
	Kömür			0,3130	6,89
	Kal. Yak.			0,2468	5,43
	Elektrik			0,1925	4,24
	Doğalgaz	EPS		0,2463	5,42
	Kömür			0,2463	5,42
	Kal. Yak.			0,1883	4,14
	Elektrik			0,1524	3,35
	Doğalgaz	Taşyünü		0,4136	9,10
	Kömür			0,4136	9,10
	Kal. Yak.			0,3138	6,90
	Elektrik			0,2528	5,56
Ankara	Doğalgaz	XPS	31	0,2655	8,23
	Kömür			0,2655	8,23
	Kal. Yak.			0,2037	6,32
	Elektrik			0,1652	5,12
	Doğalgaz	EPS		0,2134	6,62
	Kömür			0,2134	6,62
	Kal. Yak.			0,1685	5,22
	Elektrik			0,1334	4,13
	Doğalgaz	Taşyünü		0,3739	11,59
	Kömür			0,3412	10,58
	Kal. Yak.			0,2703	8,38
	Elektrik			0,2238	6,94
Erzurum	Doğalgaz	XPS	40	0,2163	8,65
	Kömür			0,1925	7,70
	Kal. Yak.			0,1510	6,04
	Elektrik			0,1199	4,80
	Doğalgaz	EPS		0,1685	6,74
	Kömür			0,1524	6,10
	Kal. Yak.			0,1185	4,74
	Elektrik			0,0965	3,86
	Doğalgaz	Taşyünü		0,2703	10,81
	Kömür			0,2528	10,11
	Kal. Yak.			0,2007	8,03
	Elektrik			0,1596	6,39

6.3 Optimum Kalınlık Hesapları ve Ekserjetik Kazançlar

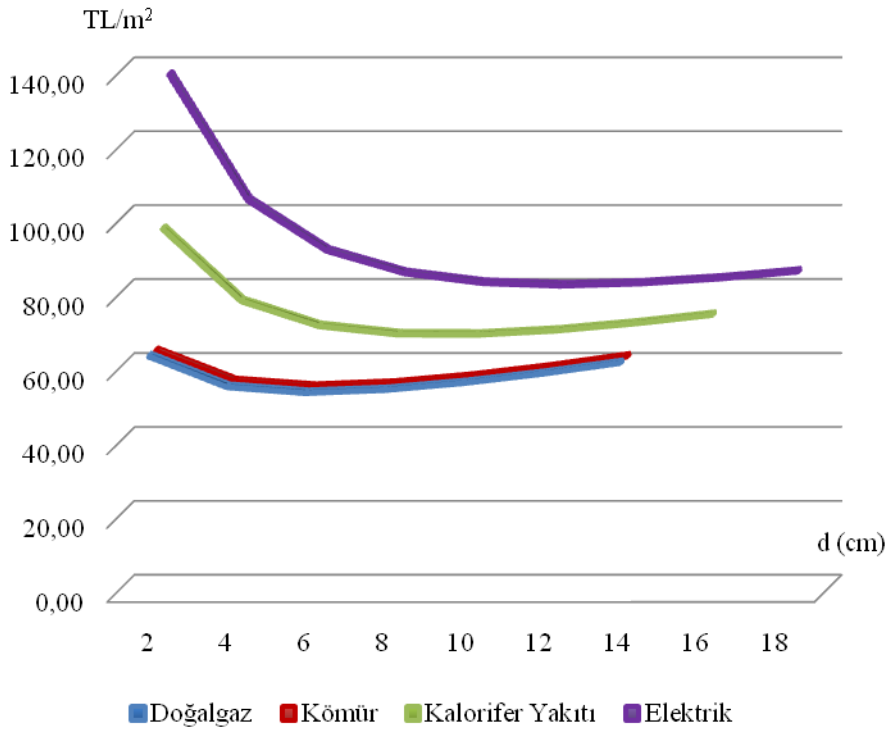
Bina dış duvarlarının iç ve dış yüzey sıcaklıkları dört farklı derece-gün bölgesindeki şehirler için farklılıklar gösterir. Bunun yanında farklı özelliklere sahip yalıtım malzemelerinin farklı kalınlıkları dış duvar yüzey sıcaklıklarını etkileyecek ve duvardaki enerji - ekserji geçişlerinde farklılıklara sebep olacaktır.

Hesaplamalar sonucu bulunan ısı yalıtım kalınlıkları, teorik hesaplama sebebiyle ondalık değerlerde bulunabilir. Bu gibi durumlarda enerji tasarrufu ön planda olduğu için değerler, ondalık kısmın atılması yerine bir sonraki tam sayı değeri kabul edilecek şekilde yuvarlanmıştır.

6.3.1 İzmir için optimum yalıtım kalınlıkları

İzmir birinci derece-gün bölgesinde yer aldığından en düşük optimum yalıtım kalınlıklarının burada olması beklenir.

6.3.1.1 İzmir’de “XPS” yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.3: İzmir’de farklı yakıt türleri için optimum “XPS” kalınlıkları.

"XPS" kullanılarak hesaplanmış optimum kalınlık değerleri ile bu değerlerden faydalanarak yalıtım uygulanmamış mevcut bina dış duvarının ve optimum kalınlıkta yalıtılmış halinin yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları Çizelge 6.3'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.3: İzmir’de “XPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	288,03	274,42	273,15	1,49
Doğalgaz	7	291,21	273,44		0,44
Kömür	7	291,21	273,44		0,44
Kal. Yak.	10	291,44	273,37		0,34
Elektrik	13	291,58	273,33		0,27
* Yalıtımsız duvar için.					

İç hava akımı ve atmosferik koşulların da kaybı arttırdığı düşünülerek toplam ekserji kayıpları (sistem + yakın çevre) belirlenir. Yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip bir dış duvar için toplam ekserji yıkımları Çizelge 6.4'te belirtilmiştir.

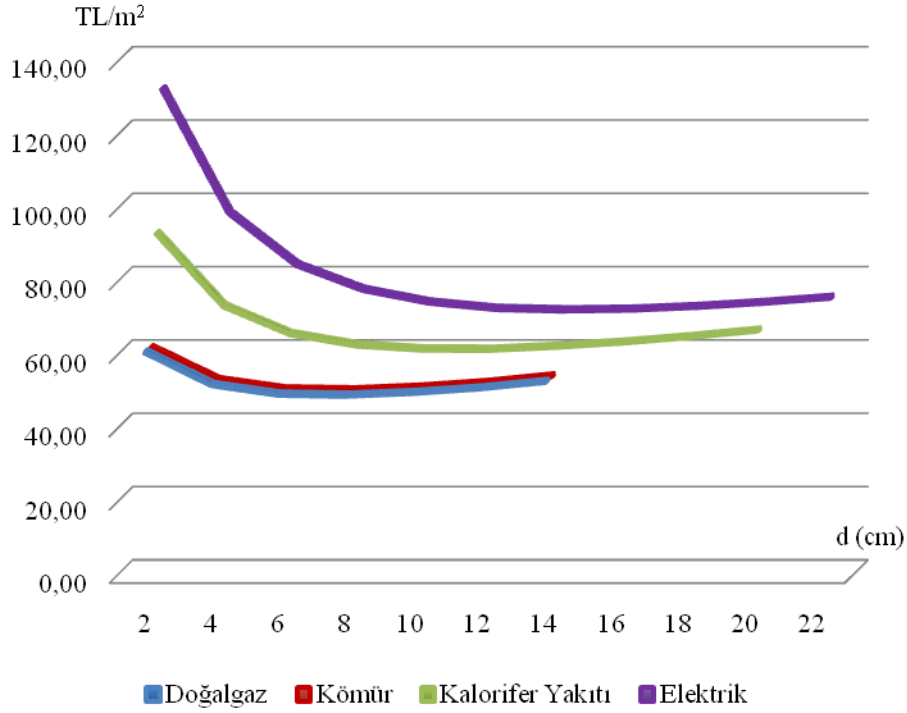
Çizelge 6.4: İzmir’de “XPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	273,15	2,06
Doğalgaz	7			0,47
Kömür	7			0,47
Kal. Yak.	10			0,36
Elektrik	13			0,28
* Yalıtımsız duvar için.				

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında büyük oranda kazançların olduğu görülür. Yakıt türü olarak doğalgaz ve kömür kullanıldığında %70, kalorifer yakıtında %77 ve elektrikte ise %82 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %77, kalorifer yakıtında %83 ve elektrikte ise %86 mertebelerindedir.

6.3.1.2 İzmir’de “EPS” yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.4: İzmir’de farklı yakıt türleri için optimum “EPS” kalınlıkları.

Optimum EPS kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.5’te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.5: İzmir’de “EPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	288,03	274,42	273,15	1,49
Doğalgaz	8	291,36	273,39		0,37
Kömür	8	291,36	273,39		0,37
Kal. Yak.	11	291,54	273,34		0,29
Elektrik	15	291,68	273,29		0,23
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.6’te karşılaştırılmıştır.

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz ve kömür

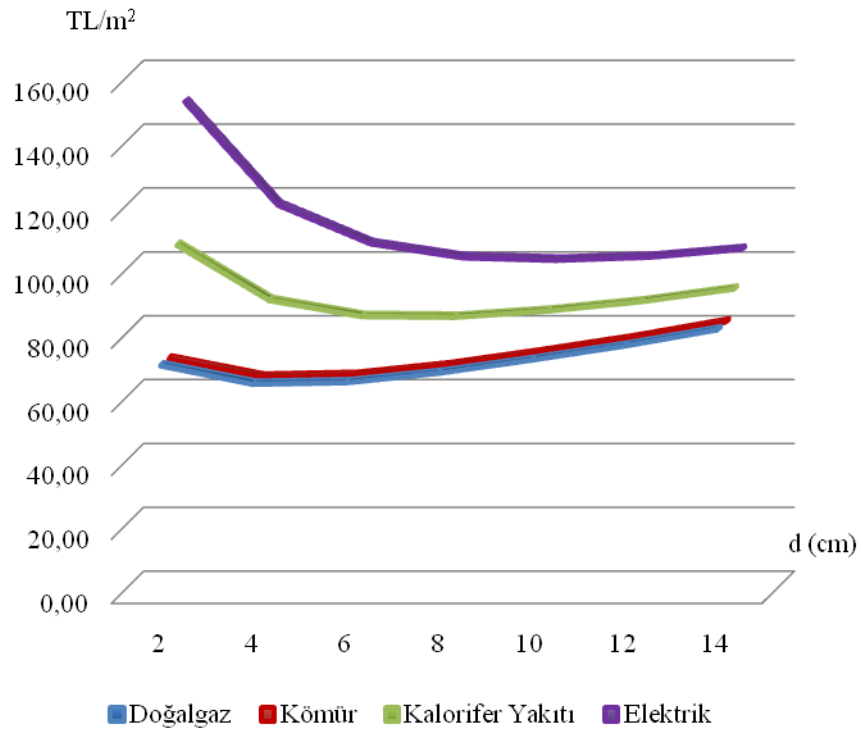
kullanımında %75, kalorifer yakıtında %80 ve elektrikte %85 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Çizelge 6.6: İzmir’de “EPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	273,15	2,06
Doğalgaz	8			0,40
Kömür	8			0,40
Kal. Yak.	11			0,30
Elektrik	15			0,23
* Yalıtımsız duvar için.				

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %81, kalorifer yakıtında %85 ve elektrikte %89 mertebelerindedir.

6.3.1.3 İzmir’de "Taşyünü" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.5: İzmir’de farklı yakıt türleri için optimum "Taşyünü" kalınlıkları.

Optimum "Taşyünü" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.7'te karşılaştırılmıştır.

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.8'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.7: İzmir’de “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m²)
*	-	288,03	274,42	273,15	1,49
Doğalgaz	5	290,85	273,55		0,59
Kömür	5	290,85	273,55		0,59
Kal. Yak.	8	291,23	273,43		0,43
Elektrik	10	291,37	273,39		0,37
* Yalıtımsız duvar için.					

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz ve kömür kullanımında %60, kalorifer yakıtında %71 ve elektrikte %75 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Çizelge 6.8: İzmir’de “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

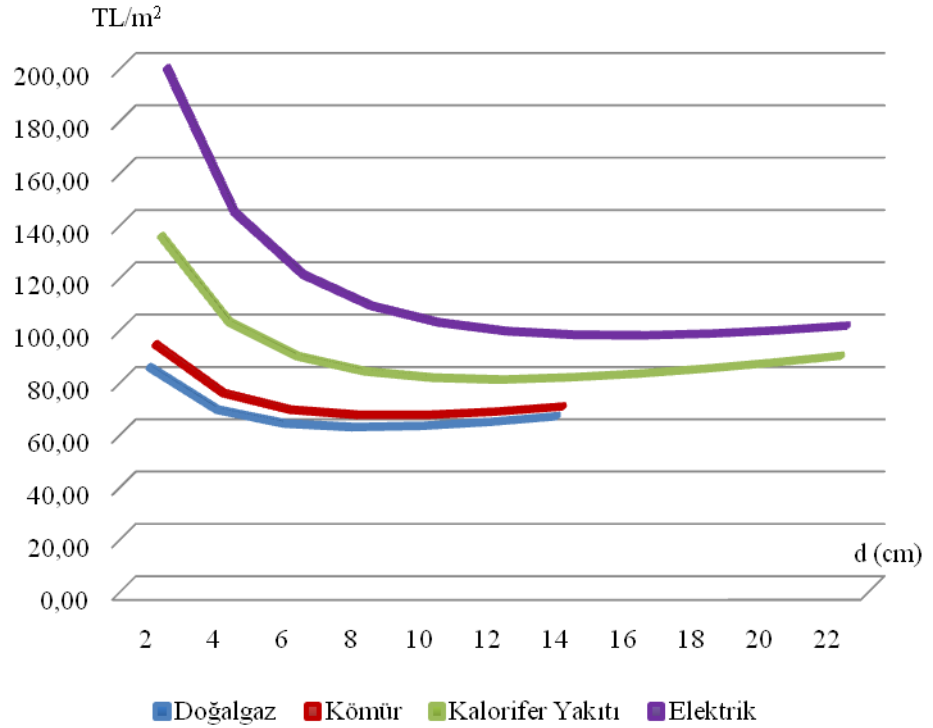
Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	273,15	2,06
Doğalgaz	5			0,65
Kömür	5			0,65
Kal. Yak.	7			0,46
Elektrik	10			0,39
* Yalıtımsız duvar için.				

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %69 kalorifer yakıtında %78 ve elektrikte %81 mertebelerindedir.

6.3.2 İstanbul için optimum yalıtım kalınlıkları

İstanbul ikinci derece-gün bölgesinde yer aldığından optimum kalınlıkların birinci derece-gün bölgesi şehirlerine göre biraz daha fazla olması beklenir.

6.3.2.1 İstanbul'da "XPS" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.6: İstanbul'da farklı yakıt türleri için optimum "XPS" kalınlıkları.

Optimum "XPS" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.9'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.9: İstanbul'da "XPS" ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	287,38	271,62	270,15	2,00
Doğalgaz	9	291,25	270,43		0,49
Kömür	9	291,25	270,43		0,49
Kal. Yak.	12	291,44	270,37		0,39
Elektrik	16	291,60	270,32		0,31
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.10'da karşılaştırılmıştır.

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluştundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz ve kömür

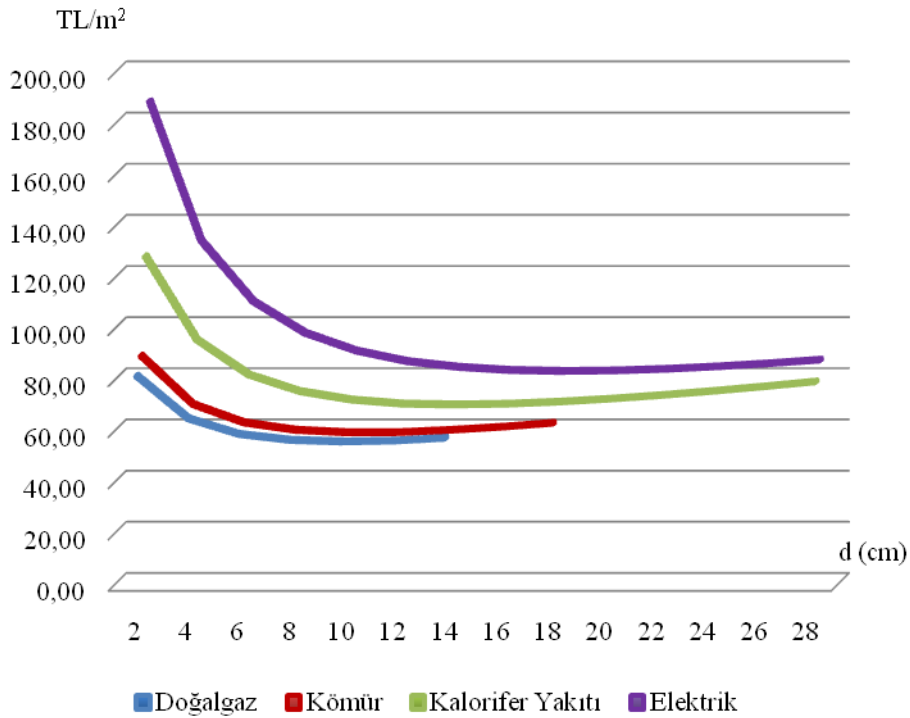
kullanımında %75, kalorifer yakıtında %80 ve elektrikte ise %85 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Çizelge 6.10: İstanbul'da "XPS" ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	270,15	2,76
Doğalgaz	9			0,52
Kömür	9			0,52
Kal. Yak.	12			0,41
Elektrik	16			0,32
* Yalıtımsız duvar için.				

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %81, kalorifer yakıtında %85 ve elektrikte ise %88 mertebelerindedir.

6.3.2.2 İstanbul'da "EPS" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.7: İstanbul'da farklı yakıt türleri için optimum "EPS" kalınlıkları.

Optimum "EPS" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.11'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.11: İstanbul'da "EPS" ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	287,38	271,62	270,15	2,00
Doğalgaz	11	291,45	270,37		0,39
Kömür	11	291,45	270,37		0,39
Kal. Yak.	15	291,61	270,32		0,30
Elektrik	19	291,71	270,28		0,25
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.12'de karşılaştırılmıştır.

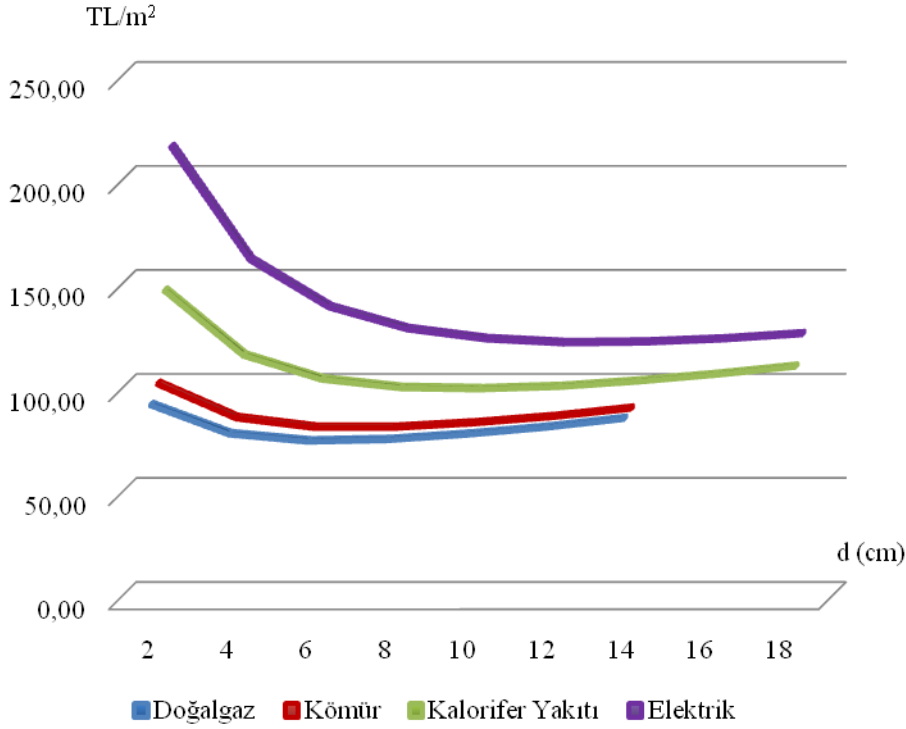
Çizelge 6.12: İstanbul'da "EPS" ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	270,15	2,76
Doğalgaz	11			0,41
Kömür	11			0,41
Kal. Yak.	15			0,31
Elektrik	19			0,25
* Yalıtımsız duvar için.				

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz ve kömür kullanımında %80, kalorifer yakıtında %85 ve elektrikte %88 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %85 kalorifer yakıtında %89 ve elektrikte %91 mertebelerindedir.

6.3.2.3 İstanbul'da "Taşyünü" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.8: İstanbul'da farklı yakıt türleri için optimum "Taşyünü" kalınlıkları.

Optimum "Taşyünü" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.13'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.13: İstanbul'da "Taşyünü" ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	287,38	271,62	270,15	2,00
Doğalgaz	7	290,97	270,51		0,64
Kömür	7	290,97	270,51		0,64
Kal. Yak.	10	291,25	270,43		0,49
Elektrik	13	291,43	270,37		0,40
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.14'te karşılaştırılmıştır.

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz ve kömür

kullanımında %68, kalorifer yakıtında %75 ve elektrikte %80 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Çizelge 6.14: İstanbul'da "Taşyünü" ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

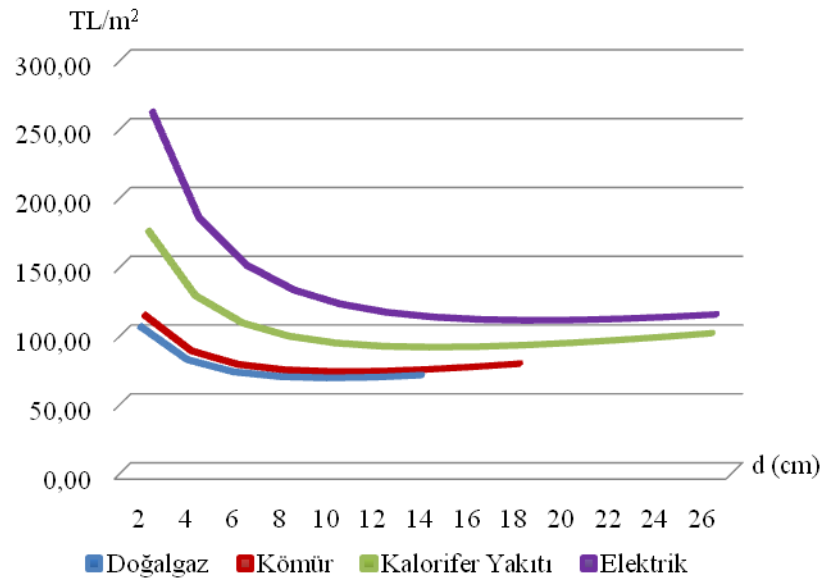
Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	270,15	2,76
Doğalgaz	7			0,69
Kömür	7			0,69
Kal. Yak.	10			0,52
Elektrik	13			0,42
* Yalıtımsız duvar için.				

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %75 kalorifer yakıtında %81 ve elektrikte %85 mertebelerindedir.

6.3.3 Ankara için optimum yalıtım kalınlıkları

Ankara üçüncü derece-gün bölgesinde yer aldığından, optimum kalınlığın sağlanması için kıyı şeridi illerine göre daha kalın yalıtım uygulanması beklenir.

6.3.3.1 Ankara'da "XPS" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.9: Ankara'da farklı yakıt türleri için optimum "XPS" kalınlıkları.

Optimum "XPS" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.15'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.15: Ankara'da "XPS" ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	285,43	263,22	261,15	3,99
Doğalgaz	11	291,08	261,48		0,84
Kömür	11	291,08	261,48		0,84
Kal. Yak.	15	291,33	261,40		0,65
Elektrik	19	291,48	261,35		0,53
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.16'da karşılaştırılmıştır.

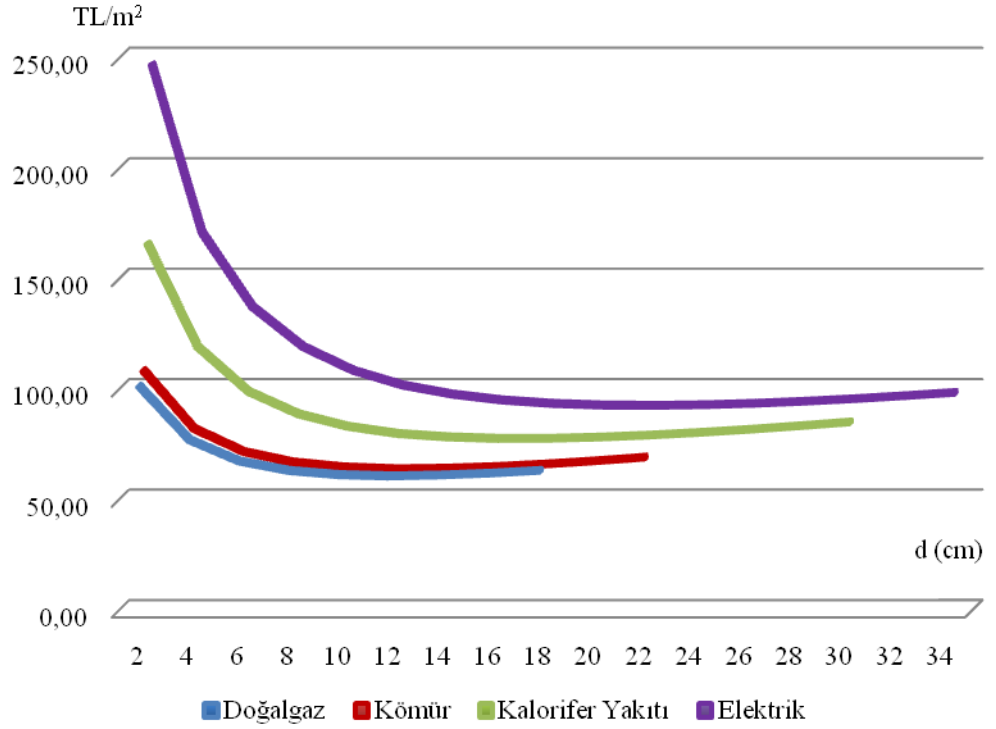
Çizelge 6.16: Ankara'da "XPS" ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	261,15	5,48
Doğalgaz	11			0,87
Kömür	11			0,87
Kal. Yak.	15			0,67
Elektrik	19			0,54
* Yalıtımsız duvar için.				

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz ve kullanımında %79, kalorifer yakıtında %84, elektrikte ise %87 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %84 kalorifer yakıtında %88 ve elektrikte %90 mertebelerindedir.

6.3.3.2 Ankara'da "EPS" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.10: Ankara'da farklı yakıt türleri için optimum "EPS" kalınlıkları.

Optimum "EPS" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.17'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.17: Ankara'da "EPS" ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	285,43	263,22	261,15	3,99
Doğalgaz	13	291,29	261,41		0,68
Kömür	13	291,29	261,41		0,68
Kal. Yak.	17	291,47	261,36		0,54
Elektrik	22	291,61	261,32		0,43
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.18'de karşılaştırılmıştır.

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz ve kömür

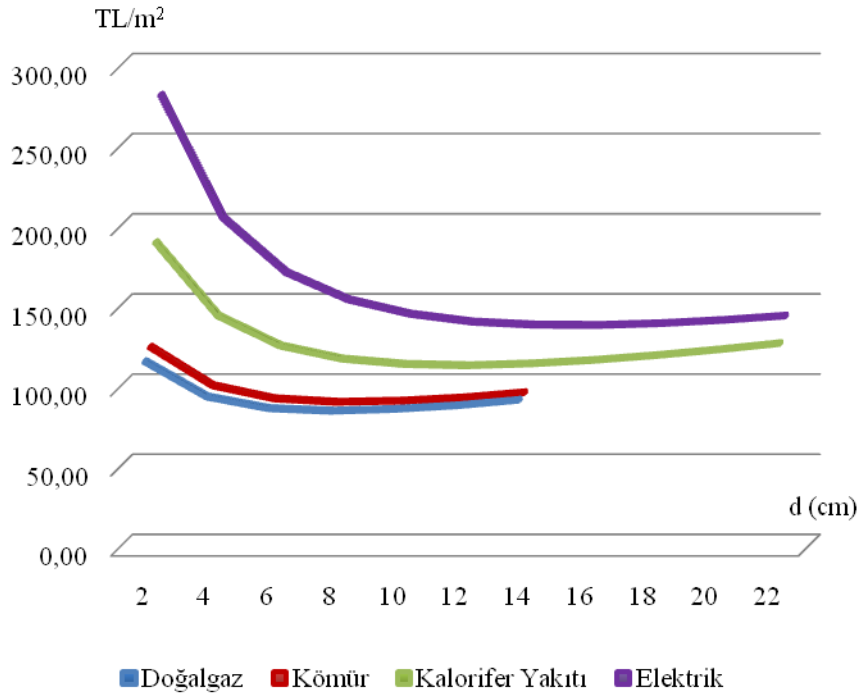
kullanımında %83, kalorifer yakıtında %86, elektrikte ise %89 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Çizelge 6.18: Ankara'da "EPS" ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	261,15	5,48
Doğalgaz	13			0,70
Kömür	13			0,70
Kal. Yak.	17			0,55
Elektrik	22			0,44
* Yalıtımsız duvar için.				

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz ve kömür kullanıldığında %87 kalorifer yakıtında %90 ve elektrikte %92 mertebelerindedir.

6.3.3.3 Ankara'da "Taşyünü" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.11: Ankara'da farklı yakıt türleri için optimum "Taşyünü" kalınlıkları.

Optimum "Taşyünü" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.19'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.19: Ankara’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	285,43	263,22	261,15	3,99
Doğalgaz	8	290,64	261,61		1,16
Kömür	9	290,77	261,57		1,06
Kal. Yak.	12	291,06	261,49		0,85
Elektrik	15	291,25	261,43		0,71
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.20’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.20: Ankara’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	261,15	5,48
Doğalgaz	8			1,23
Kömür	9			1,12
Kal. Yak.	12			0,89
Elektrik	15			0,74
* Yalıtımsız duvar için.				

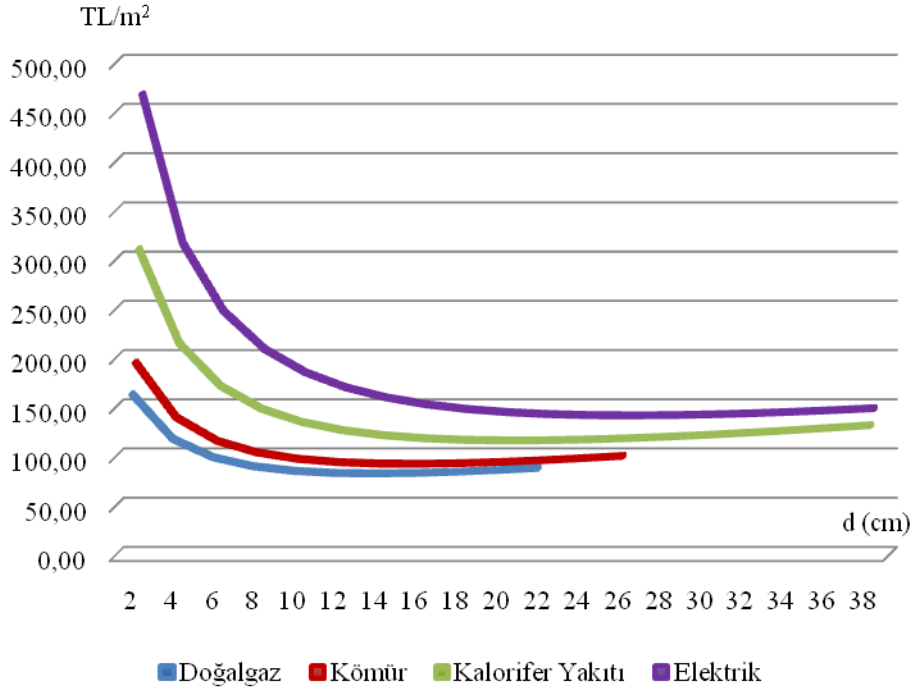
Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz kullanımında %71, kömürde %73, kalorifer yakıtında %79 ve elektrikte %82 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz kullanıldığında %78, kömürde %80, kalorifer yakıtında %84 ve elektrikte %87 mertebelerindedir.

6.3.4 Erzurum’da optimum yalıtım kalınlıklarının değerlendirilmesi

Erzurum dördüncü derece-gün bölgesinde yer aldığından en yüksek optimum yalıtım kalınlıklarının burada olması beklenir.

6.3.4.1 Erzurum'da "XPS" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.12: Erzurum'da farklı yakıt türleri için optimum "XPS" kalınlıkları.

Optimum "XPS" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.21'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.21: Erzurum'da "XPS" ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	283,48	254,82	252,15	6,67
Doğalgaz	14	291,02	252,50		1,14
Kömür	16	291,15	252,46		1,02
Kal. Yak.	21	291,36	252,39		0,81
Elektrik	27	291,53	252,34		0,64
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.22'de karşılaştırılmıştır.

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz kullanımında %83,

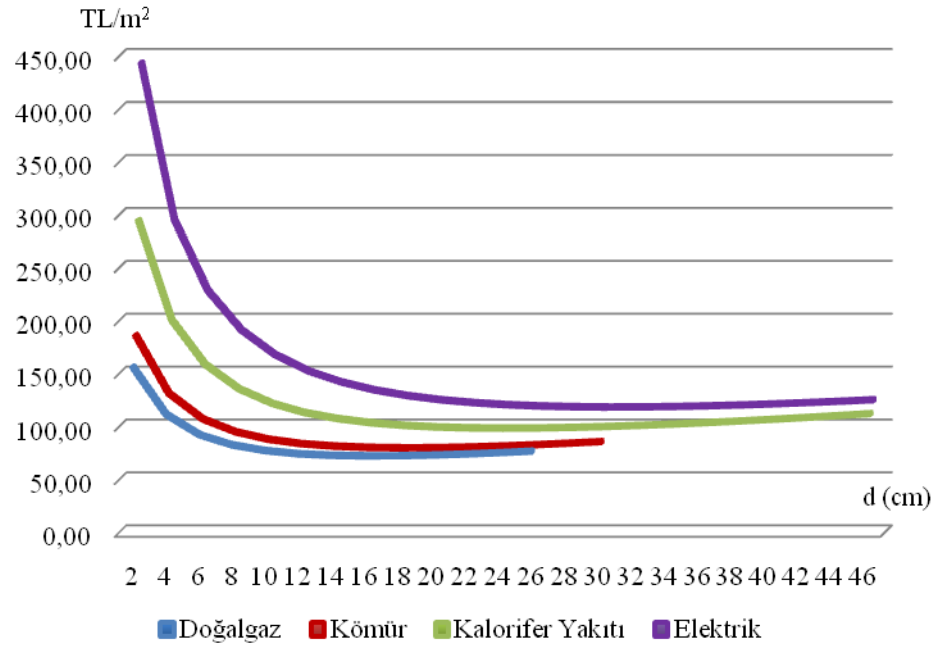
kömürde %85, kalorifer yakıtında %88 ve elektrikte %90 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Çizelge 6.22: Erzurum'da "XPS" ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	252,15	9,13
Doğalgaz	14			1,18
Kömür	16			1,05
Kal. Yak.	21			0,83
Elektrik	27			0,66
* Yalıtımsız duvar için.				

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgazda %87, kömürde %88, kalorifer yakıtında %91, elektrikte ise %93 mertebelerindedir.

6.3.4.2 Erzurum'da "EPS" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.13: Erzurum'da farklı yakıt türleri için optimum "EPS" kalınlıkları.

Optimum "EPS" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.23'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.23: Erzurum’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	283,48	254,82	252,15	6,67
Doğalgaz	17	291,27	252,42		0,90
Kömür	19	291,36	252,39		0,81
Kal. Yak.	25	291,53	252,34		0,64
Elektrik	31	291,65	252,30		0,52
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.24’te karşılaştırılmıştır.

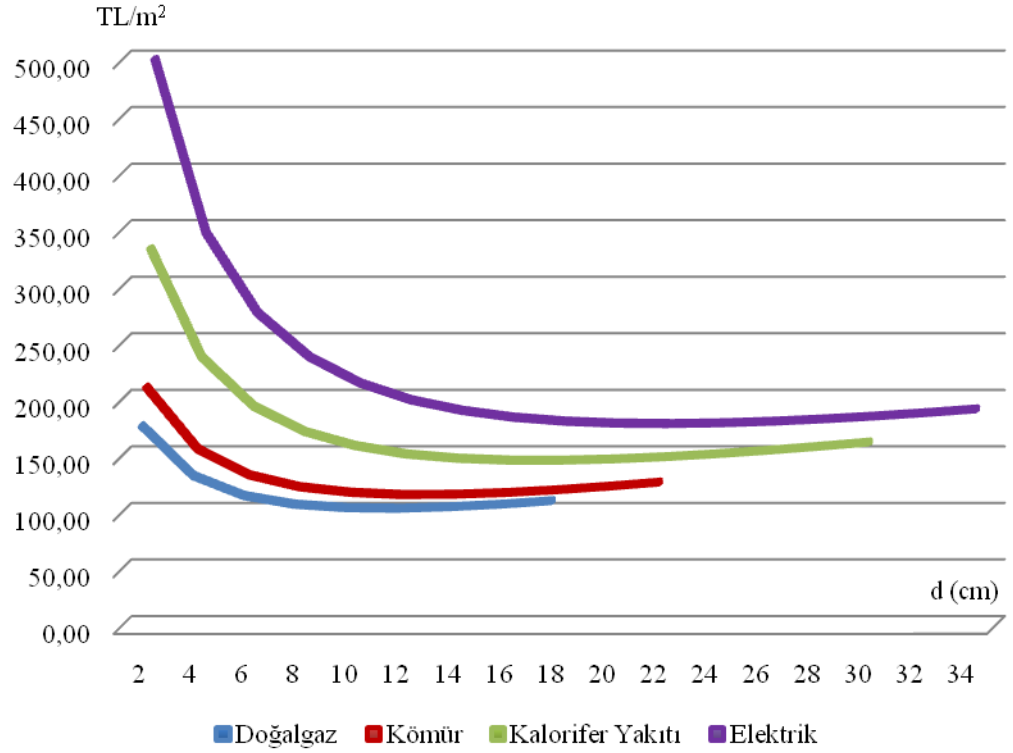
Çizelge 6.24: Erzurum’da “EPS” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	252,15	9,13
Doğalgaz	17			0,92
Kömür	19			0,83
Kal. Yak.	25			0,65
Elektrik	31			0,53
* Yalıtımsız duvar için.				

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz kullanımında %87, kömürde %88, kalorifer yakıtında %90 ve elektrikte %92 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz kullanıldığında %90, kömürde %91, kalorifer yakıtında %93, elektrikte ise %94 mertebelerindedir.

6.3.4.3 Erzurum'da "Taşyünü" yalıtım uygulamasının incelenmesi



Şekil 6.14: Erzurum'da farklı yakıt türleri için optimum "Taşyünü" kalınlıkları.

Optimum "Taşyünü" kalınlığına sahip bina dış duvarının yalnızca duvar (sistem) kaynaklı ekserji kayıpları, yalıtımsız duvara göre Çizelge 6.25'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.25: Erzurum'da "Taşyünü" ile yalıtılmış duvarın ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Yüzey Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem" (W/m ²)
*	-	283,48	254,82	252,15	6,67
Doğalgaz	12	290,74	252,58		1,42
Kömür	13	290,84	252,55		1,33
Kal. Yak.	17	291,11	252,47		1,06
Elektrik	22	291,32	252,41		0,85
* Yalıtımsız duvar için.					

Bina dış duvarının yalıtımsız ve optimum yalıtım kalınlığına sahip durumlarının, duvar sistemi ve yakın çevresiyle birlikte toplam ekserji kayıpları Çizelge 6.26'da karşılaştırılmıştır.

Yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı duvar sistemi, ekserji yok oluşundaki değişim bakımından karşılaştırıldığında doğalgaz kullanımında %79, kömürde %80, kalorifer yakıtında %84 ve elektrikte %87 oranında yakıtın kullanılabilirliğinden tasarruf etmek mümkündür.

Çizelge 6.26: Erzurum’da “Taşyünü” ile yalıtılmış duvarın toplam ekserji yıkımı.

Yakıt Türü	Optimum Kalınlık (cm)	İç Hava Sıcaklığı (K)	Dış Hava Sıcaklığı (K)	Ekserji Yıkımı "Sistem+Yakın Çevre" (W/m ²)
*	-	292,15	252,15	9,13
Doğalgaz	12			1,48
Kömür	13			1,38
Kal. Yak.	17			1,10
Elektrik	22			0,87
* Yalıtımsız duvar için.				

Duvar sistemi, yakın çevresi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam ekserji yok oluşundaki kazançlar doğalgaz kullanıldığında %84, kömürde %85, kalorifer yakıtında %88, elektrikte ise %90 mertebelerindedir.

6.4 Optimum Yalıtımlı Dış Duvarların Karbon Salınımına Etkisi

Çizelge 6.27: Farklı yalıtım malzemeleri ve yakıt türlerine göre, yalıtımsız ve optimum kalınlıkta yalıtımlı 1m² dış duvardan kaybolan enerji miktarları.

Şehir	Yakıt Türü	YALITIMSIZ		OPT. YALITIMLI		Yalıtım Türü
		Isı Kaybı (W/m ²)	Karbon Sal. (g/m ²)	Karbon Sal. (g/m ²)	Isı Kaybı (W/m ²)	
İzmir	Doğalgaz	31,67	8,77	2,01	7,24	XPS
	Kömür		12,48	2,85	7,24	
	Kal. Yak.		10,45	1,80	5,46	
	Elektrik		19,54	2,70	4,38	
	Doğalgaz		8,77	1,69	6,08	EPS
	Kömür		12,48	2,40	6,08	
	Kal. Yak.		10,45	1,54	4,68	
	Elektrik		19,54	2,21	3,58	
	Doğalgaz		8,77	2,76	9,97	Taşyünü
	Kömür		12,48	3,93	9,97	
	Kal. Yak.		10,45	2,34	7,10	
	Elektrik		19,54	3,68	5,96	
İstanbul	Doğalgaz	36,67	10,16	1,91	6,89	XPS
	Kömür		14,45	2,71	6,89	
	Kal. Yak.		12,10	1,79	5,43	
	Elektrik		22,62	2,61	4,24	
	Doğalgaz		10,16	1,50	5,42	EPS
	Kömür		14,45	2,13	5,42	
	Kal. Yak.		12,10	1,37	4,14	
	Elektrik		22,62	2,07	3,35	
	Doğalgaz		10,16	2,52	9,10	Taşyünü
	Kömür		14,45	3,58	9,10	
	Kal. Yak.		12,10	2,28	6,90	
	Elektrik		22,62	3,43	5,56	
Ankara	Doğalgaz	51,66	14,31	2,28	8,23	XPS
	Kömür		20,36	3,24	8,23	
	Kal. Yak.		17,05	2,08	6,32	
	Elektrik		31,88	3,16	5,12	
	Doğalgaz		14,31	1,83	6,62	EPS
	Kömür		20,36	2,61	6,62	
	Kal. Yak.		17,05	1,72	5,22	
	Elektrik		31,88	2,55	4,13	
	Doğalgaz		14,31	3,21	11,59	Taşyünü
	Kömür		20,36	4,17	10,58	
	Kal. Yak.		17,05	2,76	8,38	
	Elektrik		31,88	4,28	6,94	
Erzurum	Doğalgaz	66,66	18,47	2,40	8,65	XPS
	Kömür		26,27	3,03	7,70	
	Kal. Yak.		22,00	1,99	6,04	
	Elektrik		41,13	2,96	4,80	
	Doğalgaz		18,47	1,87	6,74	EPS
	Kömür		26,27	2,40	6,10	
	Kal. Yak.		22,00	1,56	4,74	
	Elektrik		41,13	2,38	3,86	
	Doğalgaz		18,47	2,99	10,81	Taşyünü
	Kömür		26,27	3,98	10,11	
	Kal. Yak.		22,00	2,65	8,03	
	Elektrik		41,13	3,94	6,39	

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yalıtılmış bir binanın toplam maliyetini etkileyen iki parametre vardır. Bunlar yalıtım ve yakıt maliyetleridir. Binalarda yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı kaybı azalır. Bu yüzden birim alanı ısıtmak için gerekli enerji ihtiyacı azalır ve toplam maliyet düşer. Ancak yalıtım kalınlığının gereğinden fazla arttırılması yalıtım maliyetini arttırır. Bu durumda yüksek yalıtım maliyeti nedeniyle belli bir noktadan sonra toplam maliyet artmaya başlar. Toplam maliyet ve yakıt maliyeti yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte azalmaya başlamaktadır. Ancak bir noktadan sonra yalıtım kalınlığının fazla arttırılması, toplam maliyeti arttırmaya başlamaktadır. Toplam maliyet, optimum yalıtım kalınlığı noktasında minimumdur.

Ülkemizdeki farklı iklim bölgelerinde mevcut olan binaların enerji tüketim düzeylerini azaltmak amacıyla binalara uygulanacak olan ısı yalıtım çözümlerinde optimum yalıtım kalınlığı, farklı yalıtım malzemeleri ve farklı yakıt türleri için değişkenlik gösterecektir. Çizelge 7.1’de dört farklı iklim bölgesini temsil eden illerde mevcut olan binaların farklı yakıt türlerine ve farklı yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları verilmektedir.

Çizelge 7.1: Dört farklı derece-gün bölgesindeki iller için optimum yalıtım kalınlığı tablosu.

	İZMİR (1.DG)	İSTANBUL (2.DG)	ANKARA (3.DG)	ERZURUM (4.DG)	(cm)
Doğalgaz	7	9	11	14	XPS
	8	11	13	17	EPS
	5	7	8	12	Taşyünü
Kömür	7	9	11	16	XPS
	8	11	13	19	EPS
	5	7	9	13	Taşyünü
Kalorifer Yakıtı	10	12	15	21	XPS
	11	15	17	25	EPS
	8	10	12	17	Taşyünü
Elektrik	13	16	19	27	XPS
	15	19	22	31	EPS
	10	13	15	22	Taşyünü

Bu değerleri göre, ısıtma talebinin en az olduğu 1.Derece-Gün bölgesinde (İzmir ili) seçilen yakıt türleri içerisinde ısı performansını en yüksek olan doğalgaz kullanan bir binada yalıtım uygulaması yapılacak olursa, EPS için 8cm, XPS için 7cm ve taşyünü içinse 5cm kalınlığında yalıtım malzemesi yeterli olacaktır. Eğer ısıtma ihtiyacı düşük ısı performansına sahip elektrikli bir ısıtma cihazı ile karşılanıyorsa, bu değerler EPS için 15cm, XPS için 12cm ve taşyünü içinse 10cm olacaktır.

Benzer şekilde ısıtma talebinin en yüksek olduğu 4.Derece-Gün bölgesinde ise durum doğalgaz için, EPS’de 17cm, XPS’de 14cm ve taşıyünü için 12cm olacakken, elektrik kullanımına göre, EPS’de 30cm, XPS’de 26cm ve taşıyününde ise 22cm olacaktır.

Yukarıdaki bilgilerin ışığı altında, mevcut binanın iyileştirilmesinde yakıt türü seçimiyle beraber, yalıtım malzemesinin cinsi de büyük önem kazanmaktadır. Seçilen ısı yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ne kadar düşükse, malzeme ısı geçişine o kadar engel olur. Ancak bu seçimde tek etken ısı iletim katsayısı değildir. Örneğin, XPS nem ve yoğuşmaya daha çok dayanabilirken, taşıyünü yüksek sıcaklıkta üretilmiş lifli yapısından ötürü yangın tehlikesi için güvenilirdir.

Bununla birlikte ısı yalıtım malzemesi seçiminde, tüm iklim bölgelerindeki yıllık bazda sıcaklık değişimi miktarı ile nem değişiminin de göz önüne alınması gerekmektedir. Bilindiği gibi, lifli ısı yalıtım malzemeleri ıslandıklarında tersine bir etki oluşturacaklardır.

Çizelge 7.1’de verilen sonuçlara göre yüksek kalınlık uygulamalarında çözümlenmesi gereken birçok detay mevcuttur. Bunun önüne geçmek amacıyla, ısı iletim katsayısı çok daha düşük olan malzemelerin (aerogeller gibi) kullanılması birçok avantajı beraberinde getirecektir.

Ayrıca, ısıtma amaçlı enerji tasarrufu sağlayacak olan çözümlemede duvarın toplam ısı tutma kapasitesi (ki bu değer malzemenin ısı iletim katsayısına, yoğunluğuna ve özgül ısıya bağlıdır) önem kazanacaktır. Özellikle işyeri olarak kullanılan binalarda ısıtma sürecinin gündüz saatleri içerisinde olduğu varsayımıyla, bina kütlelerinde depolamanın da aynı zaman diliminde gerçekleştirilecek olmasından ötürü, bina, gece boyunca depoladığı enerjiyi kullanarak ısı dengede kalmaya çalışacaktır. Yani ısı açıdan oluşacak faz farkının istenen değerde olması büyük önem kazanmaktadır.

Yakıt ve malzeme seçiminde dışa bağımlılığı azaltacak çözümlerin dikkate alınması enerji verimliliği ve tasarrufuna ayrı bir olgu katmaktadır. Üretimden kullanıma kadar tüm süreçlerde yerli ve verimli çözümlerin benimsenmesi, hem Enerji Verimliliği Kanunu’nun hem de Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği’nin gereklerini yerine getirmesi açısından çok önemlidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ağra, Ö., Atayılmaz, Ş.Ö., Demir, H. ve Teke, İ.**, 2011, Environmental impact of optimum insulation thickness in buildings, *Low-Energy Architecture, World Renewable Energy Congress 2011 - Sweden*, 8-13 May 2011, 1813-1820 pp.
- Akyol, T.**, 2006, Binaların Isı Yalıtımında Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniv. Fen Bil. Ens., Balıkesir, 104s.
- Al-Khawaja, M.J.**, 2004, Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation, Elsevier, *Applied Thermal Engineering* 24 (2004), 2601–2610 pp.
- Al-Sanea, S.A., Zedan, M.F. and Al-Ajlan, S.A.**, 2005, Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model, Elsevier, *Applied Energy* 82 (2005), 313–330 pp.
- Arslan, O. ve Köse, R.**, 2006, Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings, Elsevier, *Energy and Buildings* 38 (2006), 1400–1408 pp.
- Başkent Doğalgaz Dağıtım A.Ş. (BAŞKENTGAZ)**, 2015, “Güncel Doğalgaz Satış Fiyatları”, https://www.baskentdogalgaz.com.tr/Dogalgaz_Fiyat.aspx (Erişim tarihi: 19 Haziran 2015).
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 1999, “14 Haziran 1999 Tarih ve 23725 Sayılı Resmi Gazete, Mecburi Standart Tebliği, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Ankara.
- Bolattürk, A.**, 2006, Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, Elsevier, *Applied Thermal Engineering* 26 (2006), 1301–1309 pp.
- Bolattürk, A.**, 2008, Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, Elsevier, *Building and Environment* 43 (2008), 1055–1064 pp.
- Çengel, Y.A. and Boles, M.A.**, 2013, Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla, McGraw-Hill Companies, New York, 978p.
- Çomaklı, K. ve Yüksel, B.**, 2003, Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, Pergamon, *Applied Thermal Engineering* 23 (2003), 473–479 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çomaklı, K. ve Yüksel, B.**, 2004, Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings, Elsevier, *Applied Thermal Engineering* 24 (2004), 933–940 pp.
- Daouas, N., Hassen, Z. and Aissia, H.B.**, 2010, Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia, Elsevier, *Applied Thermal Engineering* 30 (2010), 319–326 pp.
- 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, Elsevier, *Applied Energy* 88 (2011), 156–164 pp.
- Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., ve Pancar, Y.**, 2006, Optimization of insulation thickness forexternal walls using different energy-sources, Elsevier, *Applied Energy* 83 (2006), 921–928 pp.
- Dombaycı, Ö.A.**, 2007, The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings, Elsevier, *Building and Environment* 42 (2007), 3855–3859 pp.
- Ekici, B.B., Gülten, A.A. ve Aksoy, U.T.**, 2012, A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey, Elsevier, *Applied Energy* 92 (2012), 211–217 pp.
- Gölcü, M., Dombaycı, Ö.A., ve Abalı, S.**, 2006, Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No 4, 639-644 s.
- Gürel, A.E. ve Cingiz, Z.**, 2011, Farklı Dış Duvar Yapıları için Optimum Isı Yalıtım Kalınlığı Tespitinin Ekonomik Analizi, *Sakarya Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 15. Cilt, 1. Sayı, 75-81 s.
- Gürel, A.E., Çay, Y., Daşdemir, A. ve Küçükkülahlı, E.**, 2012, Karabük İçin Dış Duvar Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufu ve Hava Kirliliğine Etkileri, *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, Vol. 1, No. 4, 402-414 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gürel, A.E. ve Daşdemir, A.**, 2011, Economical and environmental effects of thermal insulation thickness in four different climatic regions of Turkey, *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.1, No.1, 1-10 pp.
- International Energy Agency (IEA)**, 2012, “CO₂ Emissions From Fuel Combustion”, France, 125p.
- Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği (İZODER)**, 2010, “2010-2023 Isı Yalıtımı Planlama Raporu”, İstanbul, 24s.
- İstanbul Gaz Dağıtım San. ve Tic. A.Ş. (İGDAŞ)**, 2015, “Serbest Tüketici Grubu Satış Tarifesi”, <http://www.igdas.com.tr/SatisTarifesiSerbest?id=257&lang=tr&sc=2> (Erişim tarihi: 19 Haziran 2015).
- İzmir Doğalgaz Dağıtım A.Ş. (İZMİRGAZ)**, 2015, “Konut Tüketici Birim Fiyatları”, <http://www.izmirgaz.com.tr/trf-konutbedelarsiv.asp?list=all> (Erişim tarihi: 19 Haziran 2015).
- İzocam Tic. ve San. A.Ş.**, “Isı Yalıtım Malzemeleri Broşürleri”, <http://www.izocam.com.tr> (Erişim tarihi: 12 Kasım 2012).
- Kaçan, E., Kaçan, E. ve Ülgen, K.**, 2012, Türkiye’deki Bina Stokunda Optimum Yalıtım Uygulamasının Enerji ve Çevre Etkileri, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 27, No 3, 669-677 pp.
- Kayfeci, M., Keçebaş, A. ve Gedik, E.**, 2013, Determination of optimum insulation thickness of external walls with two different methods in cooling applications, *Applied Thermal Engineering* 50 (2013), 217–224 pp.
- Kaynaklı, O.**, 2008, A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, Elsevier, *Renewable Energy* 33 (2008), 1164–1172 pp.
- Kaynaklı, Ö.**, 2011, A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications, Elsevier, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012), 415–425 pp.
- Kaynaklı, Ö.**, 2011, Parametric investigation of optimum thermal insulation thickness for external walls, *Energies* 2011, 4, 913-927 pp.
- Kürekçi, A., Bardakçı, A.T., Çubuk, H. ve Emanet, Ö.**, 2012, Türkiye’nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 131 – Eylül/Ekim 2012, 5s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mahlia, T.M.I., Taufiq, B.N., Ismail, Masjuki, H.H.**, 2007, Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall, Elsevier, *Energy and Buildings* 39 (2007), 182–187 pp.
- Mahlia, T.M.I. and Iqbal, A.**, 2010, Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives, Elsevier, *Energy* 35 (2010), 2242–2250 pp.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)**, “Isıtma ve Soğutma Gün Dereceleri”, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx> (Erişim tarihi: 23 Ağustos 2014).
- Mishra, S., Usmani, J.A. and Varshney, S.**, 2012, Energy Saving Analysis In Building Walls Through Thermal Insulation System, *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 2, Issue 5, September-October 2012, 128–135 pp.
- Mishra, S., Usmani, J.A. and Varshney, S.**, 2012, Optimum Insulation Thickness Of The External Walls And Roof For Different Degree-Days Region, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 1 Issue 7, September – 2012.
- Oymak, M.**, 2007, Isıl Sistem Tasarımlarında Ekonomik Yalıtım Kalınlıklarının Ekserji Ekonomik Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniv. Fen Bil. Ens., Edirne, 109s.
- Özel, M. ve Pıhtılı, K.**, 2008, Determination of optimum insulation thickness by using heating and cooling degree-day values, Sigma, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 26, Issue 3, 191-197 pp.
- Özel, M.**, 2011a, Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials, Elsevier, *Applied Thermal Engineering* 31 (2011), 3854–3863 pp.
- Özel, M.**, 2011b, Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method, Elsevier, *Applied Energy* 88 (2011), 2429–2435 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özel, M.**, 2012, Cost analysis for optimum thicknesses and environmental impacts of different insulation materials, Elsevier, *Energy and Buildings* 49 (2012), 552–559 pp.
- Özel, M.**, 2012, The influence of exterior surface solar absorptivity on thermal characteristics and optimum insulation thickness, Elsevier, *Renewable Energy* 39 (2012), 347–355 pp.
- Özel, M.**, 2013, Determination of optimum insulation thickness based on cooling transmission load for building walls in a hot climate, Elsevier, *Energy Conversion and Management* 66 (2013), 106–114 pp.
- Özkan, D.B. ve Onan, C.**, 2011, Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey, Elsevier, *Applied Energy* 88 (2011), 1331–1342 pp.
- Öztuna, S. ve Dereli, E.**, 2009, Edirne İlinde Optimum Duvar Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi, *Trakya Univ J Sci*, 10(2), 139-147 pp.
- Palen Enerji Doğalgaz Dağıtım End. ve Tic. A.Ş. (PALEN)**, 2015, “Doğalgaz Satış Tarifesi”, <http://www.palen.com.tr/tr/main/icerik/p/107-dogalgaz-satis-tarifesi> (Erişim tarihi: 19 Haziran 2015).
- Sundaram, A.S. and Bhaskaran, A.**, 2013, Optimum insulation thickness of walls for energy-saving in hot regions of India, *International Journal of Sustainable Energy*, Taylor & Francis Group, Informa Ltd., England, DOI:10.1080/14786451.2012.759573.
- Şişman, N., Kahya, E., Aras, N. ve Aras, H.**, 2007, Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey’s different degree-day regions, Elsevier, *Energy Policy* 35 (2007), 5151–5155 pp.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)**, 2013, “2013 Yılı Genel Enerji Denge Tablosu”, http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT/1/Documents/EİGM%20Periyodik%20Rapor/Bin_tep.xlsx (Erişim tarihi: 10 Eylül 2015).
- TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, 2008, “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu”, Nisan 2008.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)**, 2000, “Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları – TS2164:1983/T3”, Ankara, 103s.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)**, 2008, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları - TS825”, Ankara, 76s.
- Türkiye Elektrik İletim A. Ş. (TEİAŞ)**, 2014, “Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri, Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretimi ve Payları”, http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1578 (Erişim tarihi: 10 Eylül 2015).
- Uçar, A. ve Balo, F.**, 2009, Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey, Elsevier, *Applied Energy* 86 (2009), 730–736 pp.
- Uçar, A. ve Balo, F.**, 2010, Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls, Elsevier, *Renewable Energy* 35 (2010), 88–94 pp.
- Uçar, A.**, 2010, Thermoeconomic analysis method for optimization of insulation thickness for the four different climatic regions of Turkey, Elsevier, *Energy* 35 (2010), 1854–1864 pp.
- U.S. Energy Information Administration (EIA)**, “Turkey Analysis Brief”, <http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=TU> (Erişim tarihi: 06 Mayıs 2014).
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM)**, “Binalarda Enerji Verimliliği Hane Halkı Rehberi”, http://www.eie.gov.tr/verimlilik/document/hane_halki_rehberi.pdf (Erişim tarihi: 6 Mayıs 2014).
- Yu, J., Yang, C., Tian, L. and Liao, D.**, 2009, A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, Elsevier, *Applied Energy* 86 (2009), 2520–2529 pp.
- Yu, J., Tian, L., Yang, C., Xu, X. and Wang, J.**, 2011, Optimum insulation thickness of residential roof with respect to solar-air degree-hours in hot summer and cold winter zone of china, Elsevier, *Energy and Buildings* 43 (2011), 2304–2313 pp.
- Zhu, P., Huckemann, V. and Fisch, M.N.**, 2011, The optimum thickness and energy saving potential of external wall insulation in different climate zones of China, Elsevier, *Procedia Engineering* 21 (2011), 608–616 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zottl, A., Lindahl, M., Nordman, R., Rivière, P. and Miara, M., 2011, Evaluation method for comparison of heat pump systems with conventional heating systems, SEasonal PERFORMANCE factor and MONitoring for heat pump systems in the building sector SEPEMO-Build (SEPEMO), European Commision, 21p.

ÖZGEÇMİŞ

Erdem Yıldırım, 1988 yılında İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra 2007 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. LED teknolojisi ve enerji verimliliği konusu üzerine yaptığı diploma çalışmasının ardından 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü’nde Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Tez çalışmasına başladıktan sonra ısı ve su yalıtımı uygulamaları yapan bir firmada staj yaptı. Devam eden yıllarda, endüstriyel ölçüm (hassas ölçüde sıcaklık, nem, aydınlanma şiddeti gibi fiziksel parametreler) çözümleri sunan bir firmada ölçüm/satış mühendisliği yaptı.

EKLER

- Ek 1** İzmir’de doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 2** İzmir’de kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 3** İzmir’de kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 4** İzmir’de elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 5** İzmir’de doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 6** İzmir’de kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 7** İzmir’de kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 8** İzmir’de elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 9** İzmir’de doğalgazla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 10** İzmir’de kömürle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 11** İzmir’de kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 12** İzmir’de elektrikle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 13** İstanbul’da doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 14** İstanbul’da kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 15** İstanbul’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 16** İstanbul’da elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 17** İstanbul’da doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı
- Ek 18** İstanbul’da kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

EKLER (devam)

Ek 19 İstanbul’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 20 İstanbul’da elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 21 İstanbul’da doğalgazla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 22 İstanbul’da kömürle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 23 İstanbul’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 24 İstanbul’da elektrikle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 25 Ankara’da doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 26 Ankara’da kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 27 Ankara’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 28 Ankara’da elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 29 Ankara’da doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 30 Ankara’da kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 31 Ankara’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 32 Ankara’da elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 33 Ankara’da doğalgazla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 34 Ankara’da kömürle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 35 Ankara’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

EKLER (devam)

Ek 36 Ankara’da elektrikle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 37 Erzurum’da doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 38 Erzurum’da kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 39 Erzurum’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 40 Erzurum’da elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 41 Erzurum’da doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 42 Erzurum’da kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 43 Erzurum’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

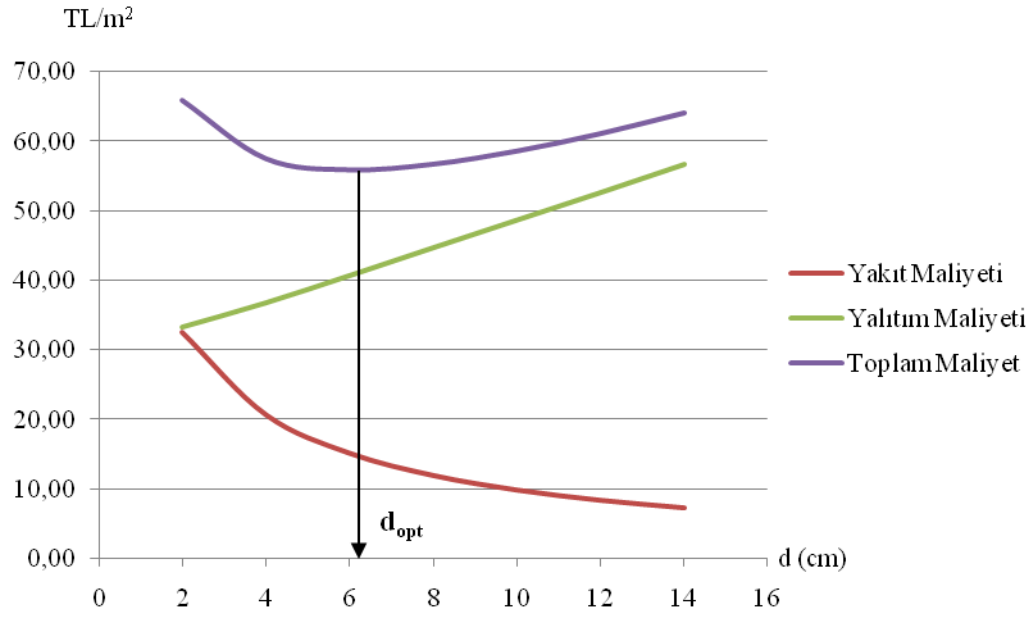
Ek 44 Erzurum’da elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı

Ek 45 Erzurum’da doğalgazla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

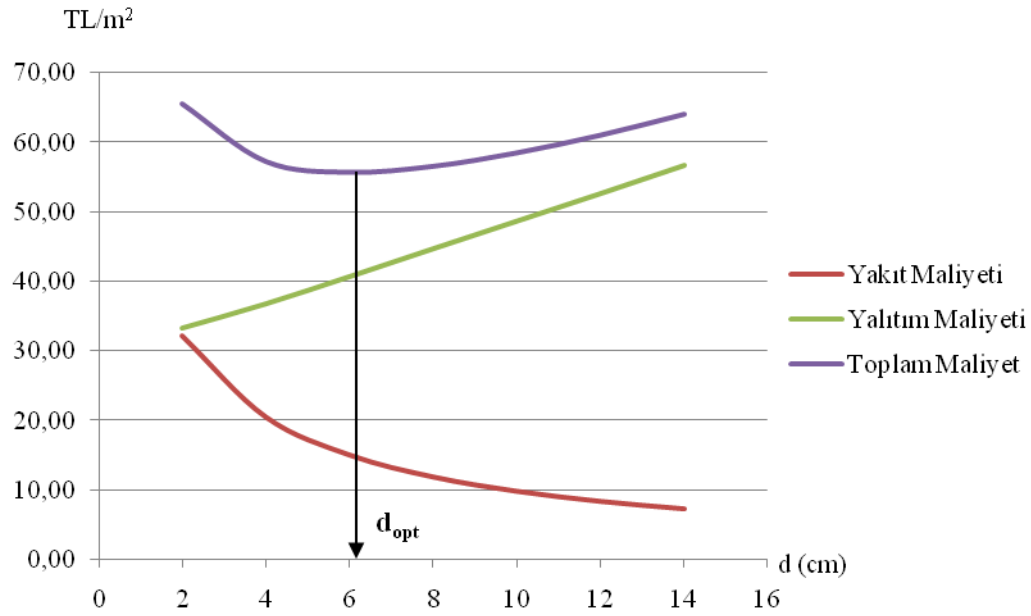
Ek 46 Erzurum’da kömürle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

Ek 47 Erzurum’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı

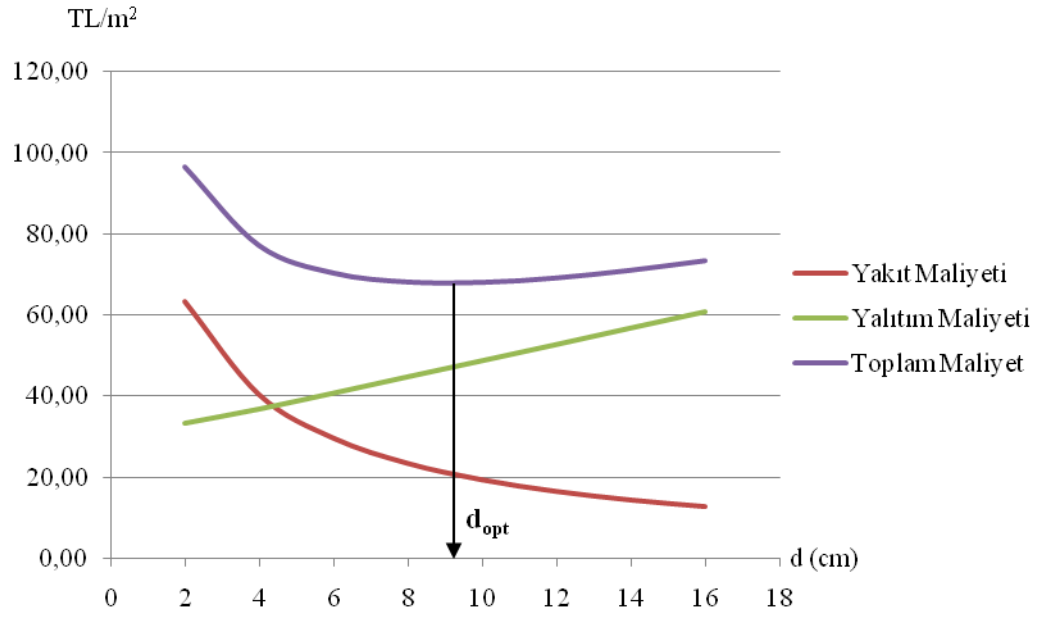
Ek 48 Erzurum’da elektrikle ısıtmada optimum taşıyünü ısı yalıtım kalınlığı



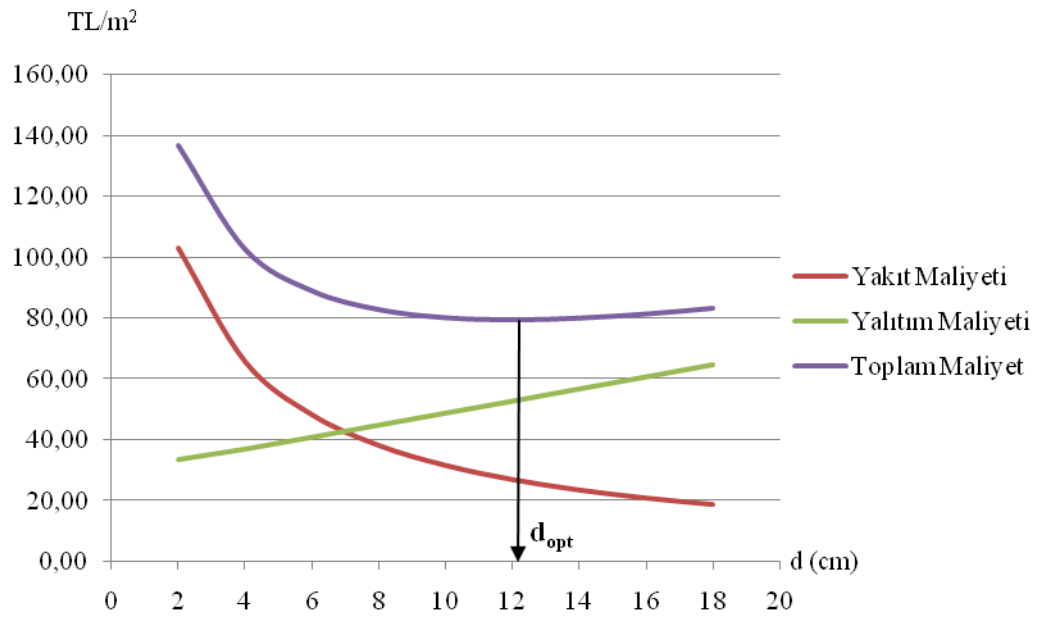
Ek 1 İzmir’de doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



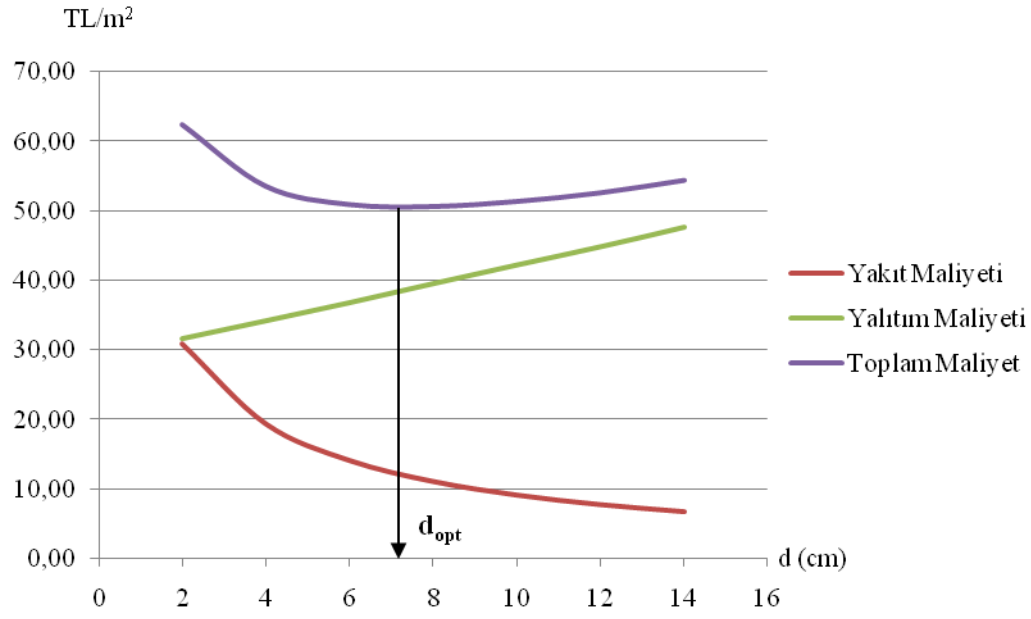
Ek 2 İzmir’de kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



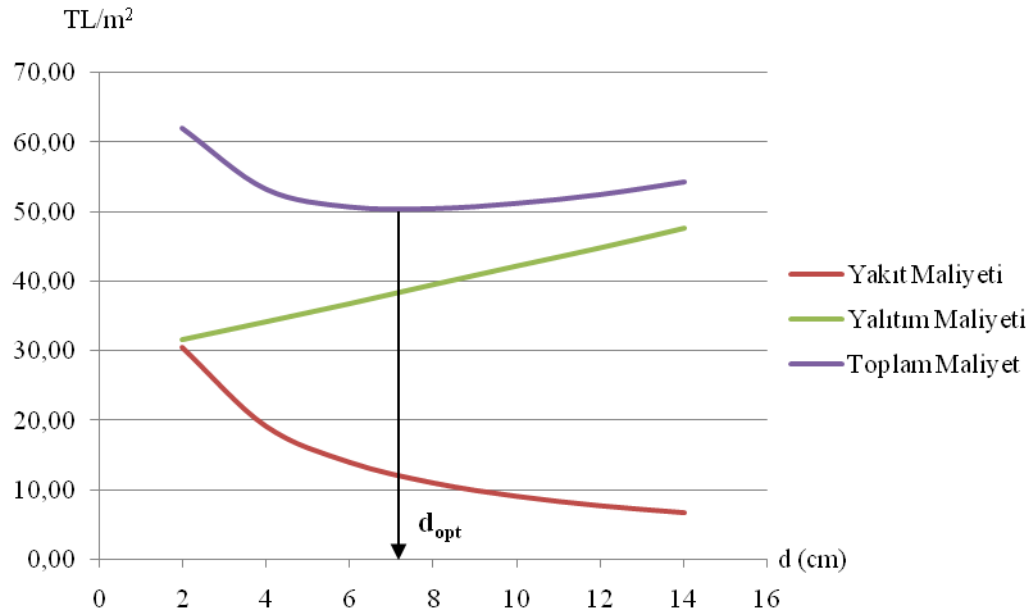
Ek 3 İzmir’de kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



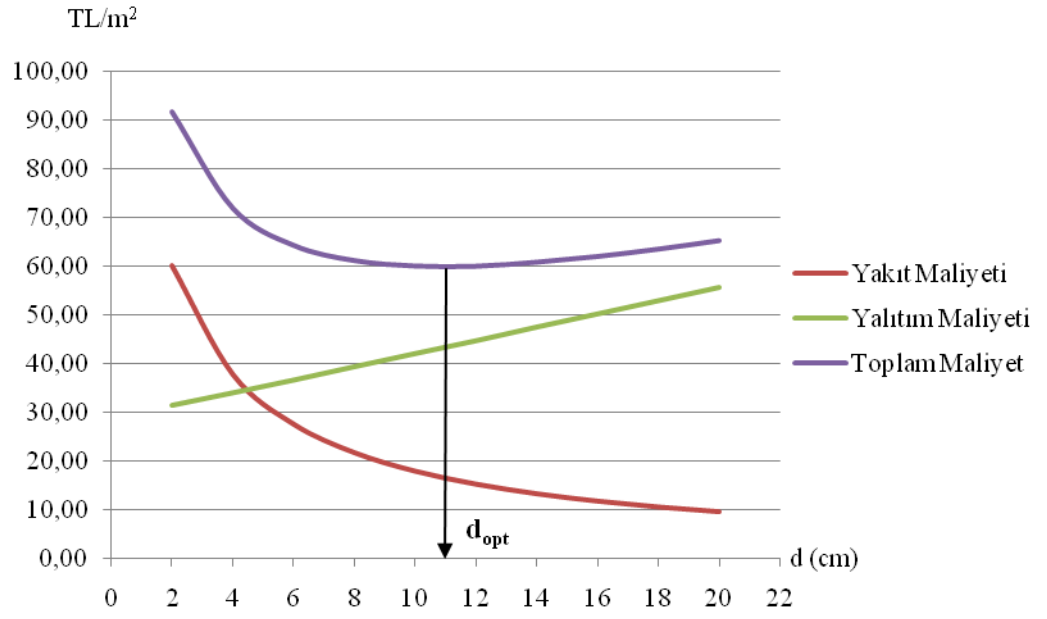
Ek 4 İzmir’de elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



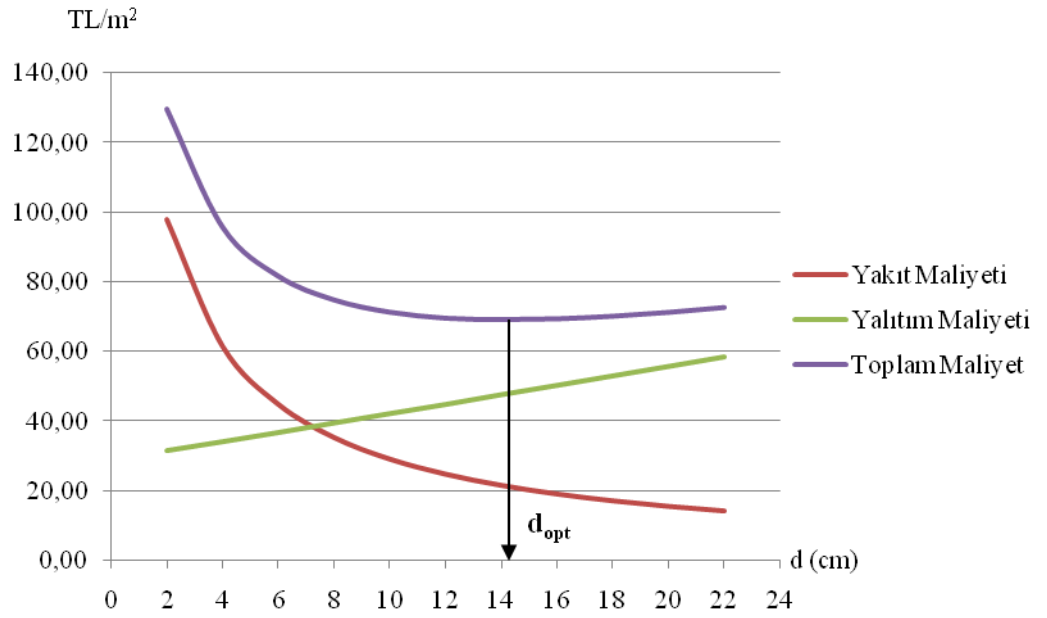
Ek 5 İzmir’de doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



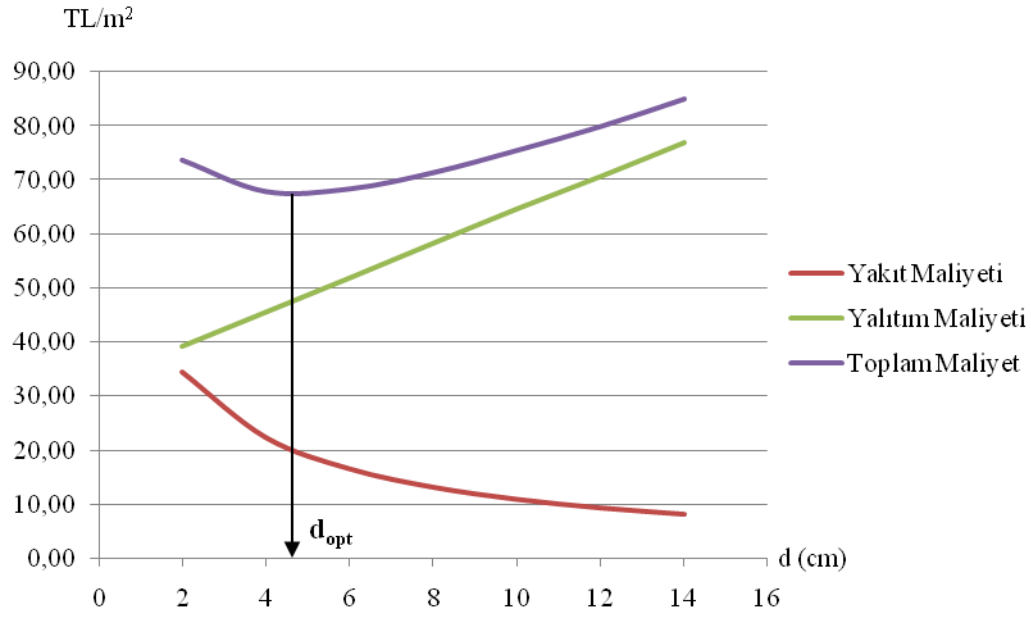
Ek 6 İzmir’de kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



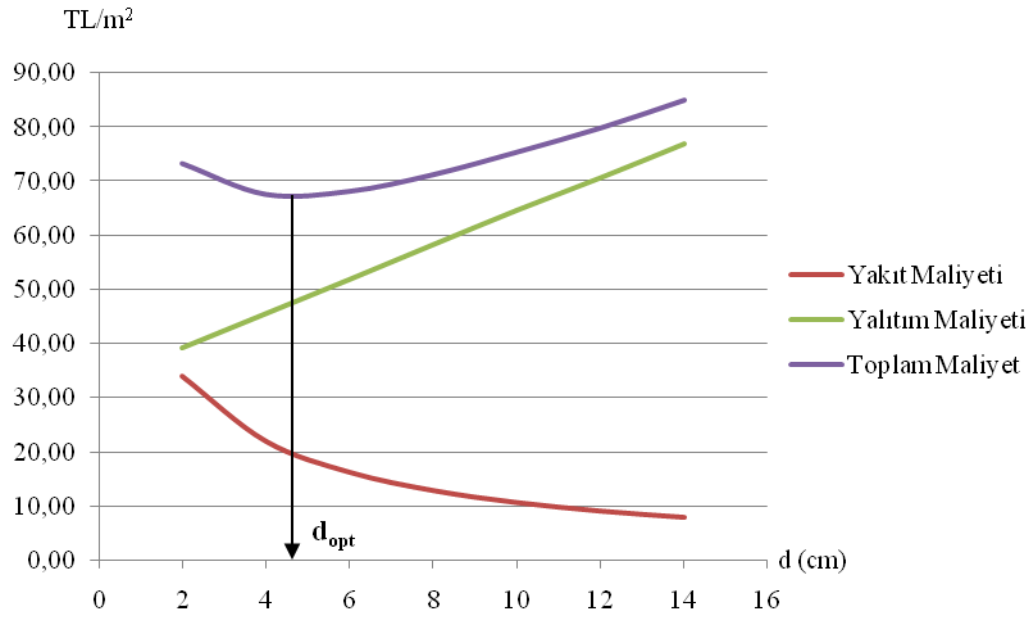
Ek 7 İzmir’de kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



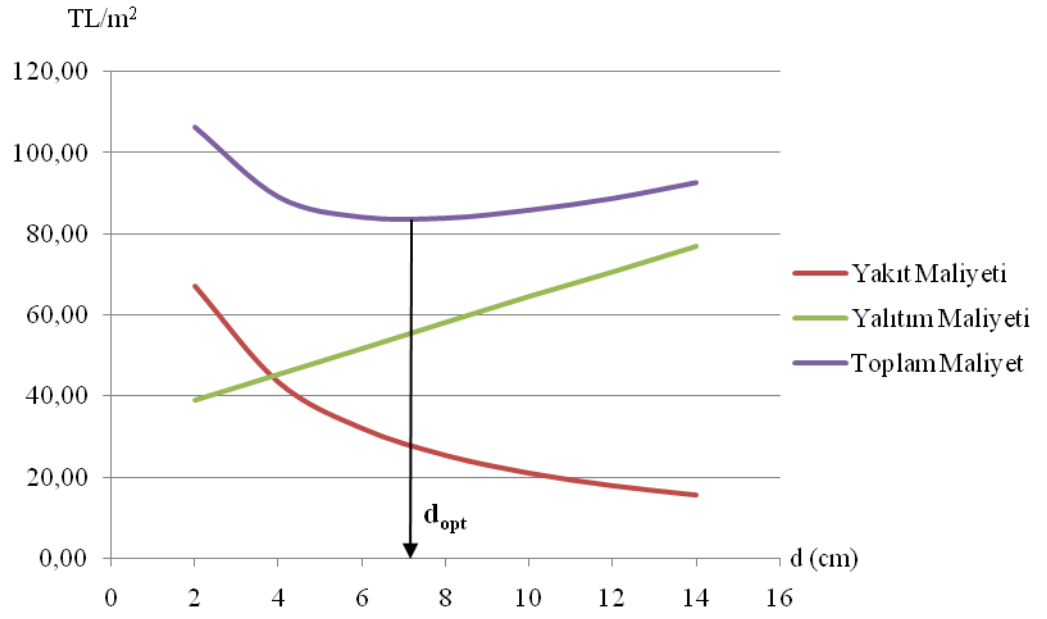
Ek 8 İzmir’de elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



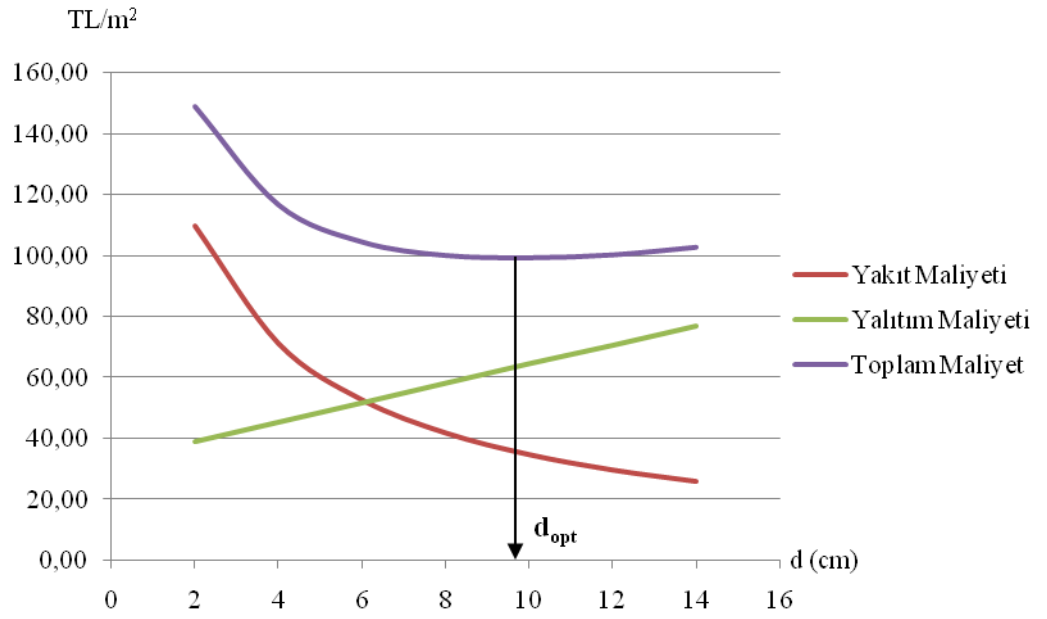
Ek 9 İzmir’de doğalgazla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



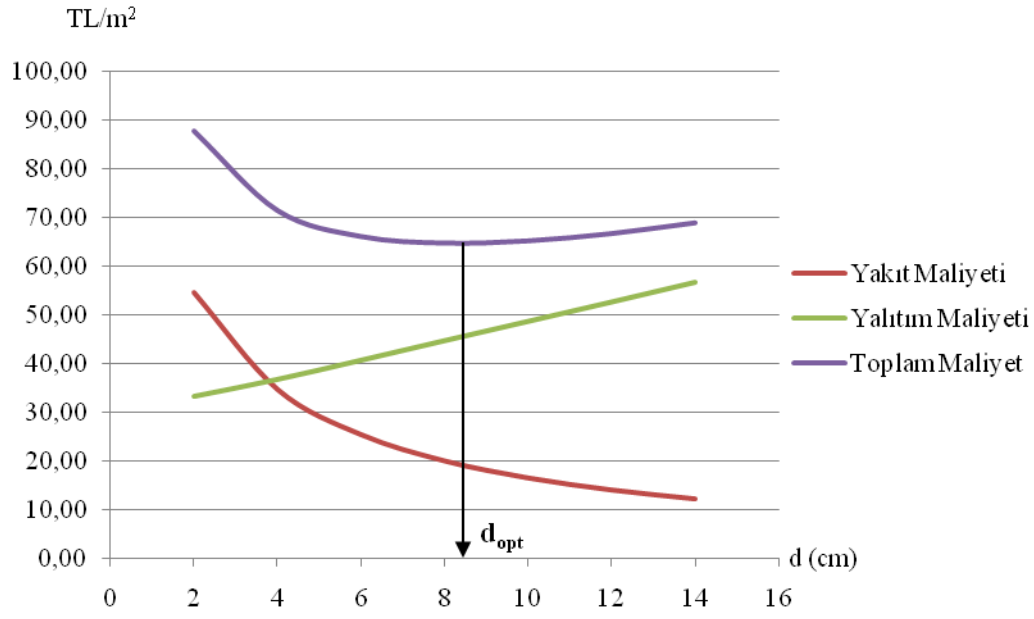
Ek 10 İzmir’de kömürle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



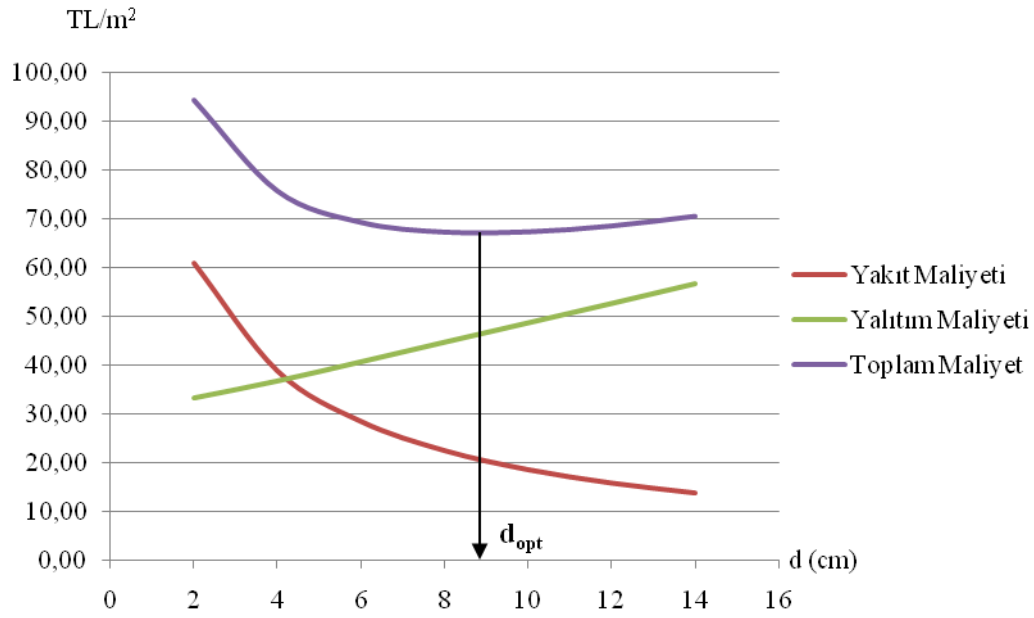
Ek 11 İzmir’de kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



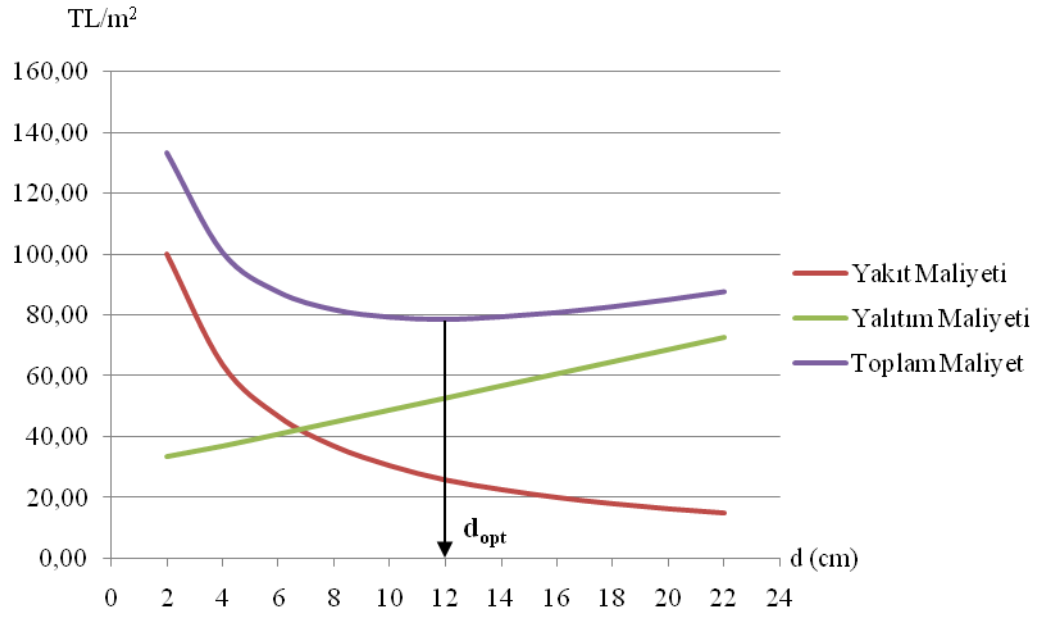
Ek 12 İzmir’de elektrikle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



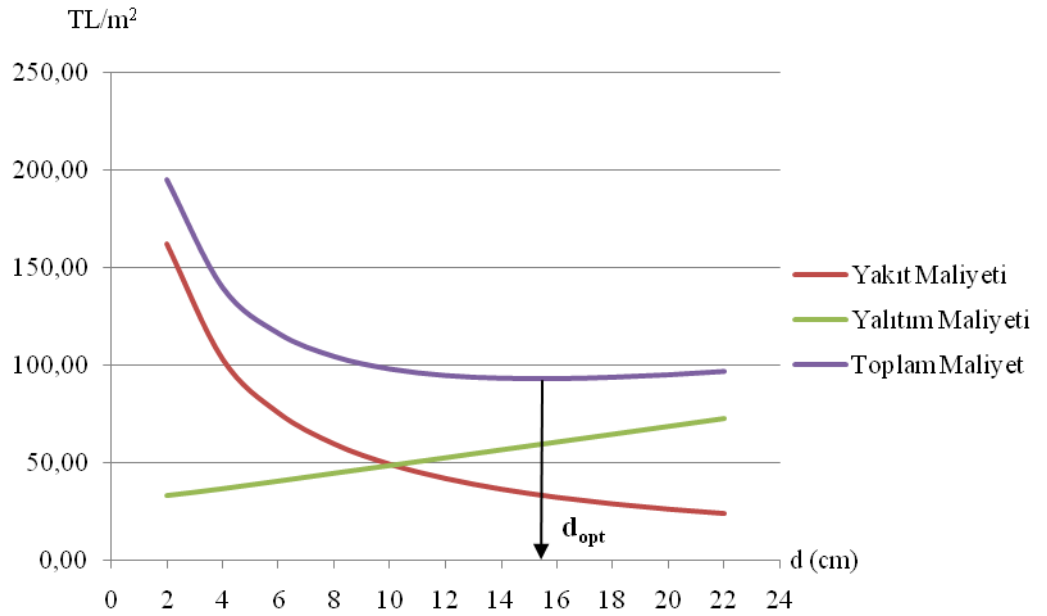
Ek 13 İstanbul'da doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



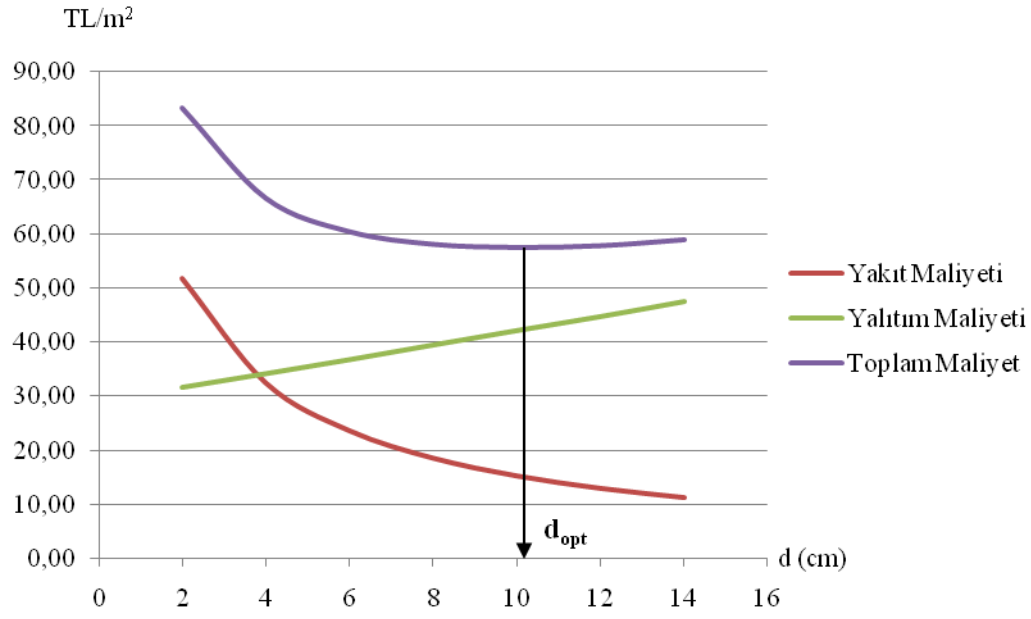
Ek 14 İstanbul'da kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



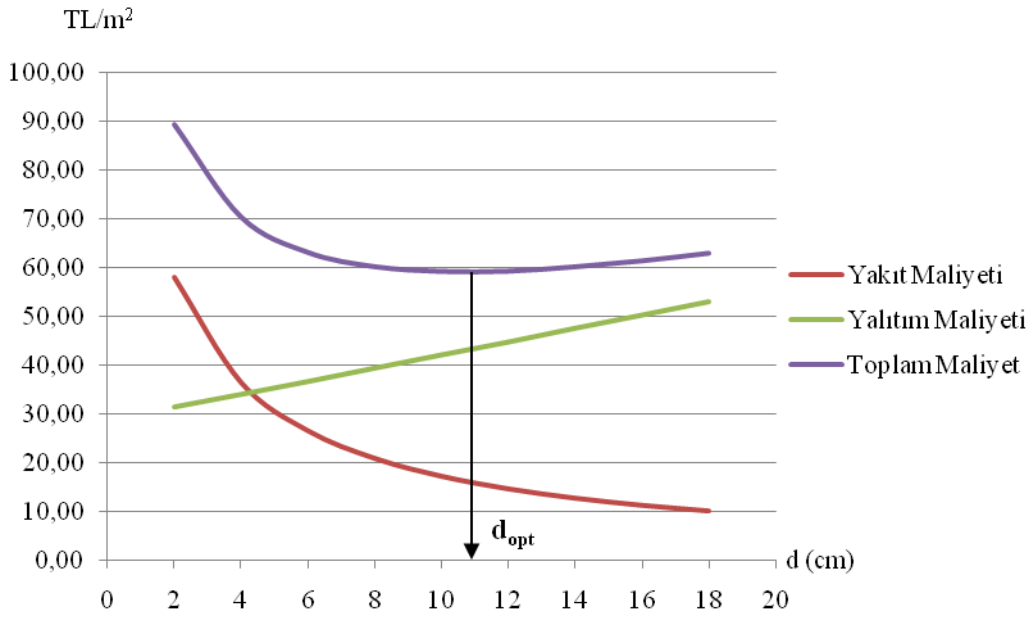
Ek 15 İstanbul'da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



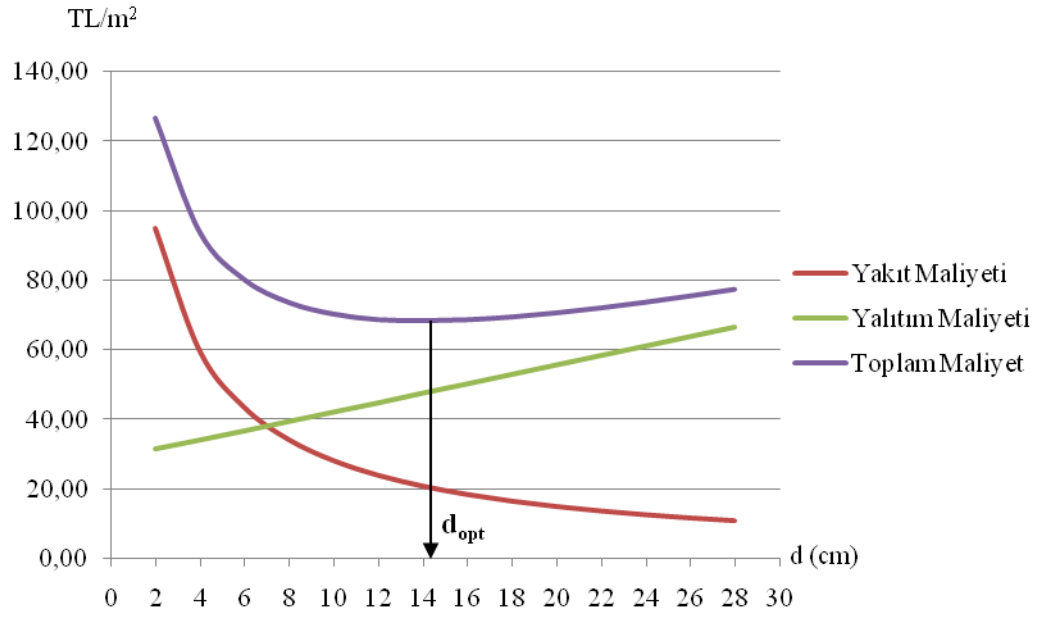
Ek 16 İstanbul'da elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



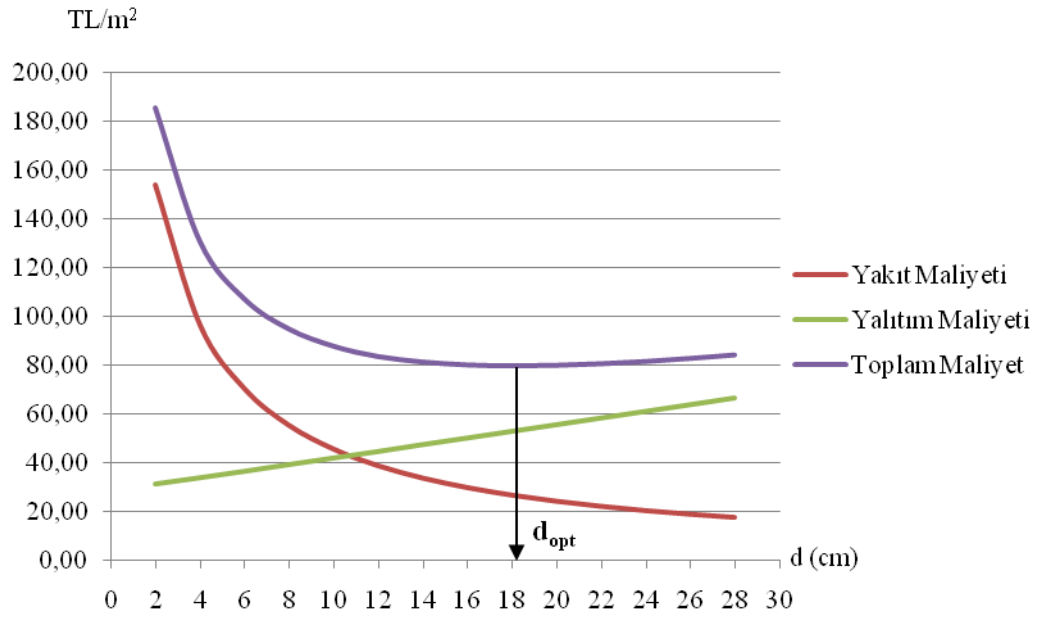
Ek 17 İstanbul'da doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



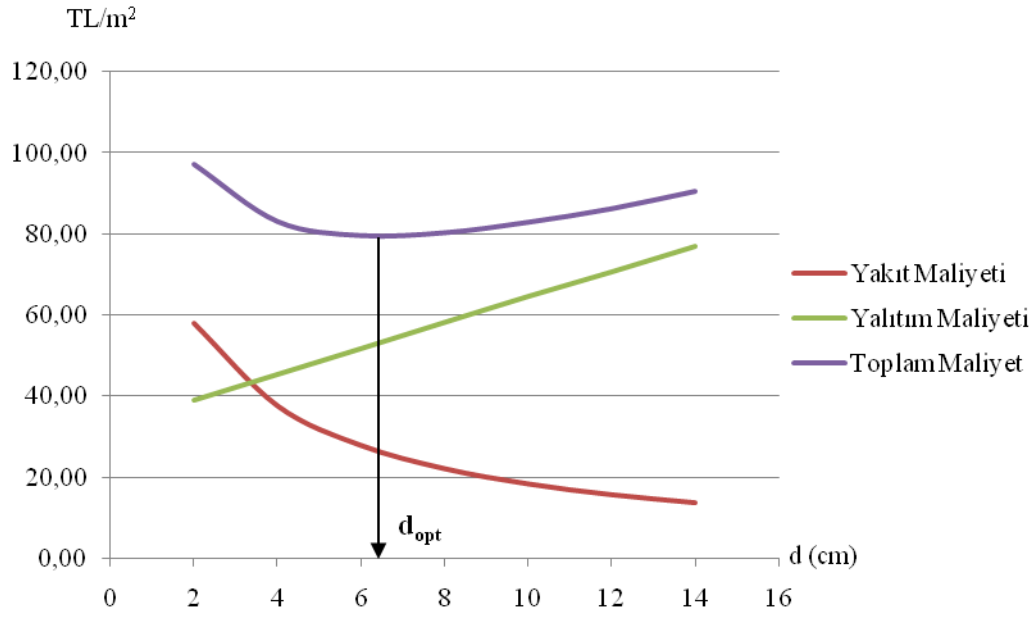
Ek 18 İstanbul'da kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



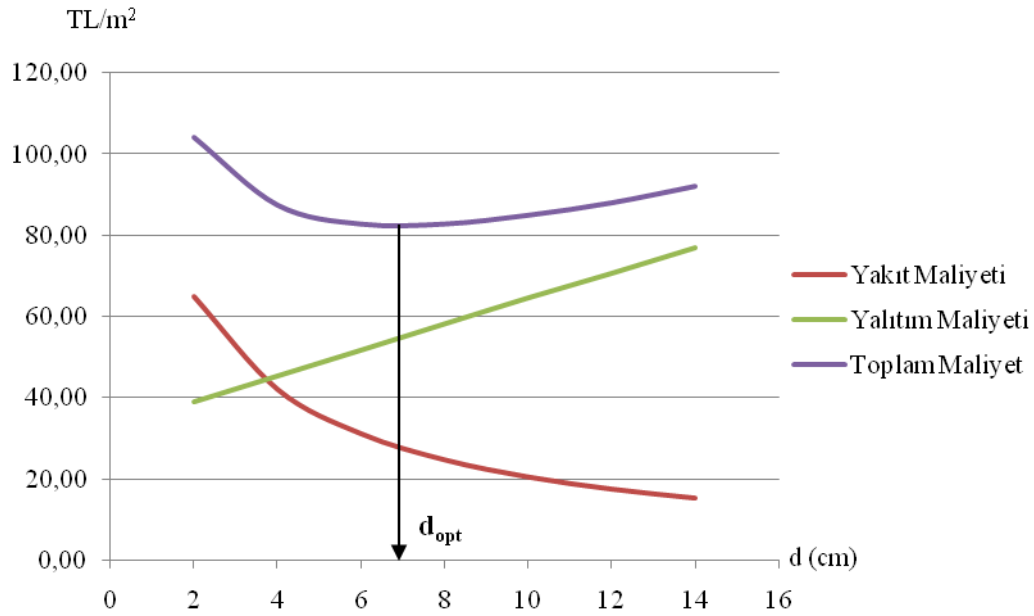
Ek 19 İstanbul'da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



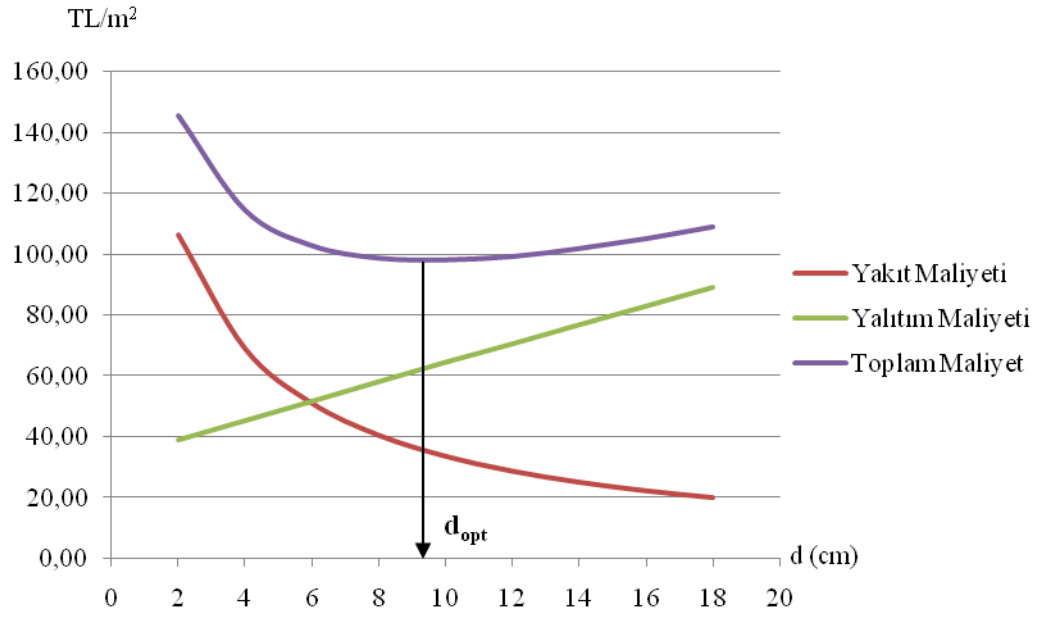
Ek 20 İstanbul'da elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



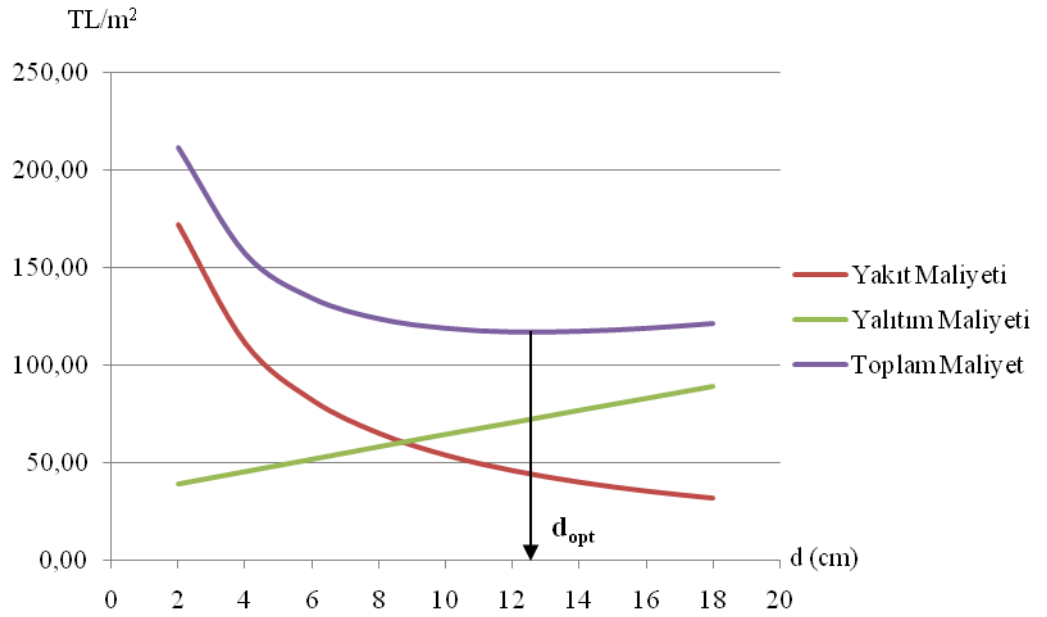
Ek 21 İstanbul'da doğalgazla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



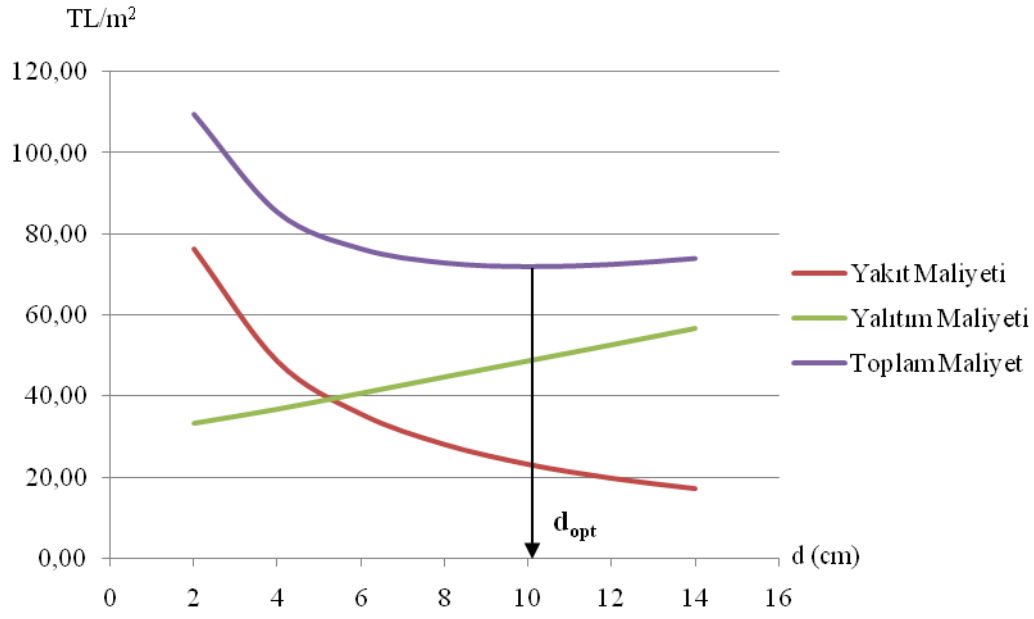
Ek 22 İstanbul'da kömürle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



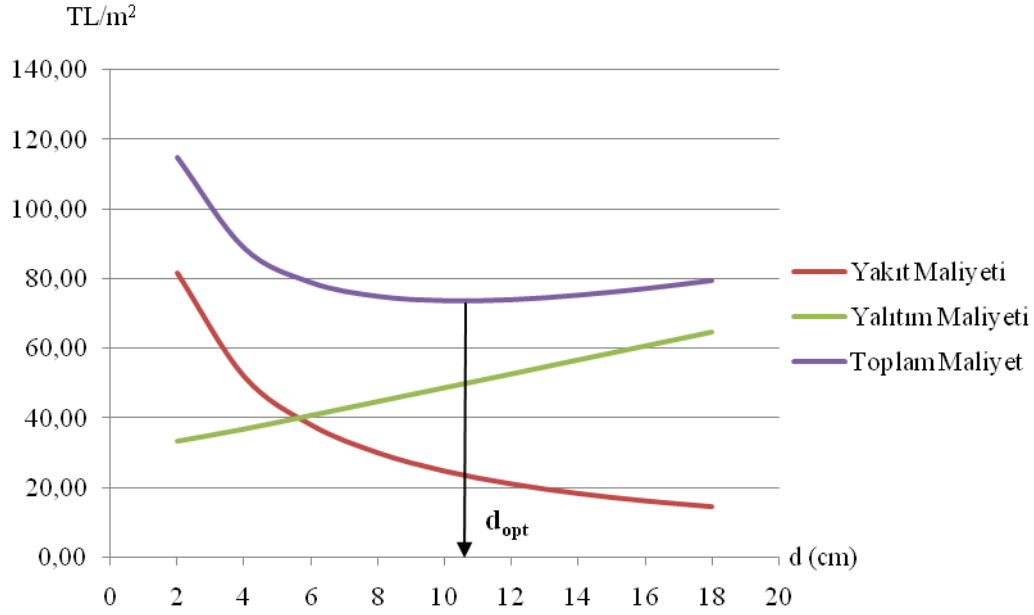
Ek 23 İstanbul'da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



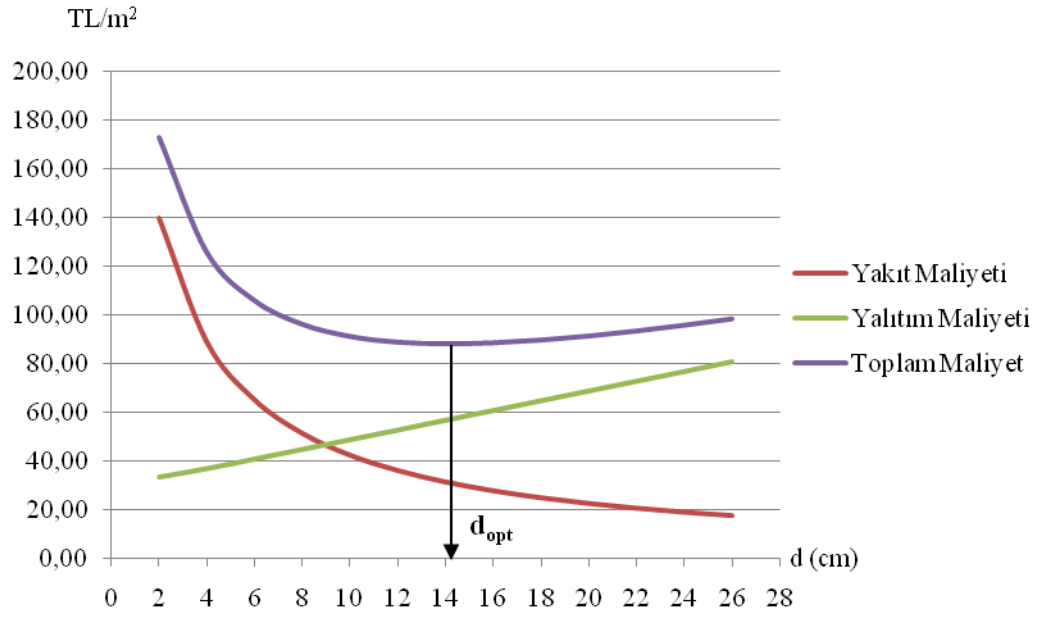
Ek 24 İstanbul'da elektrikle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



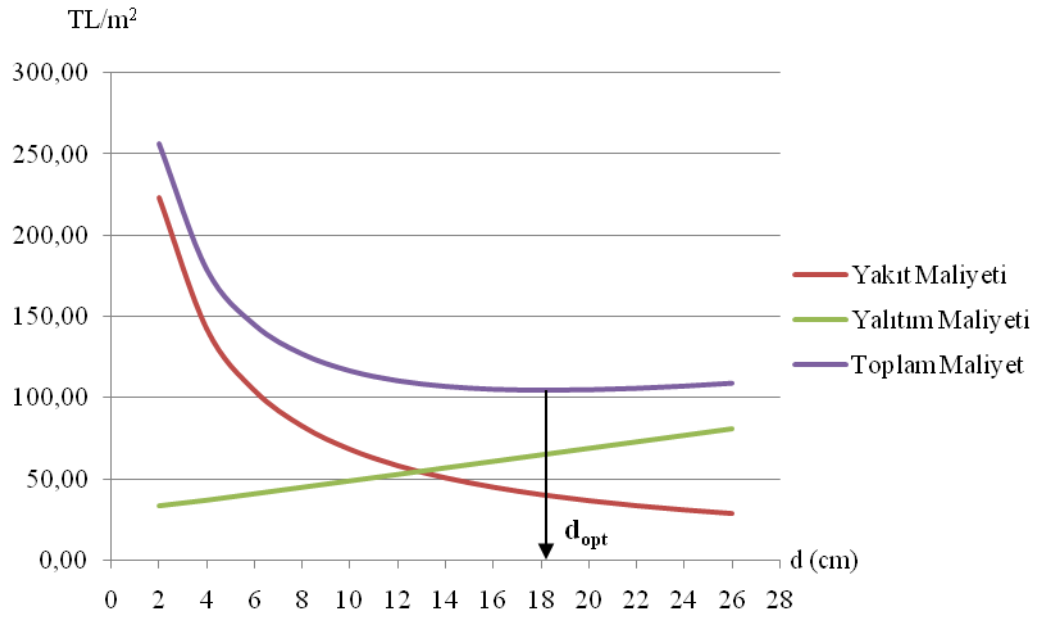
Ek 25 Ankara’da doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



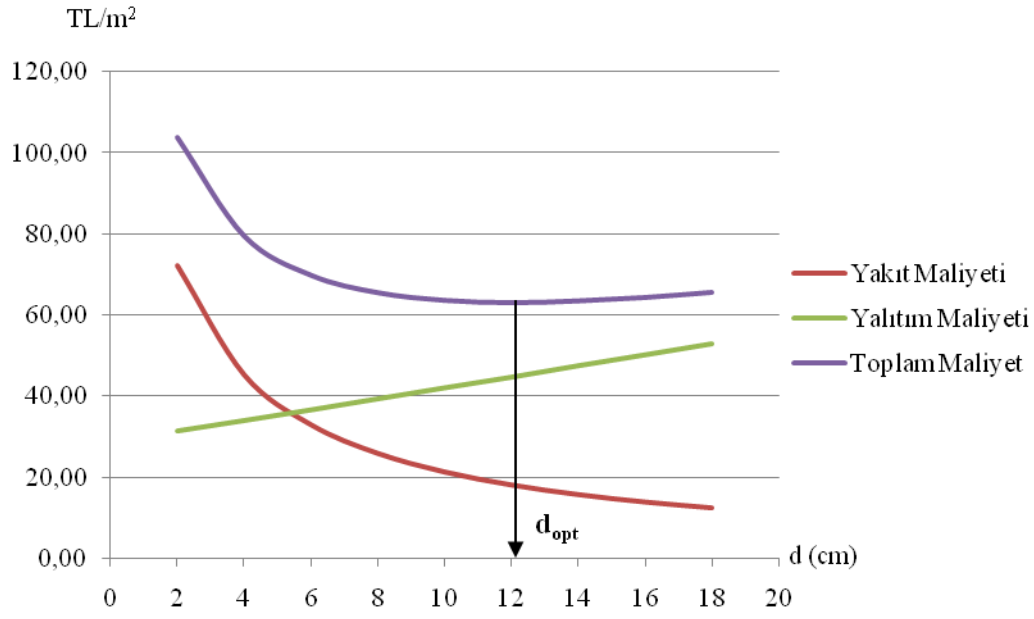
Ek 26 Ankara’da kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



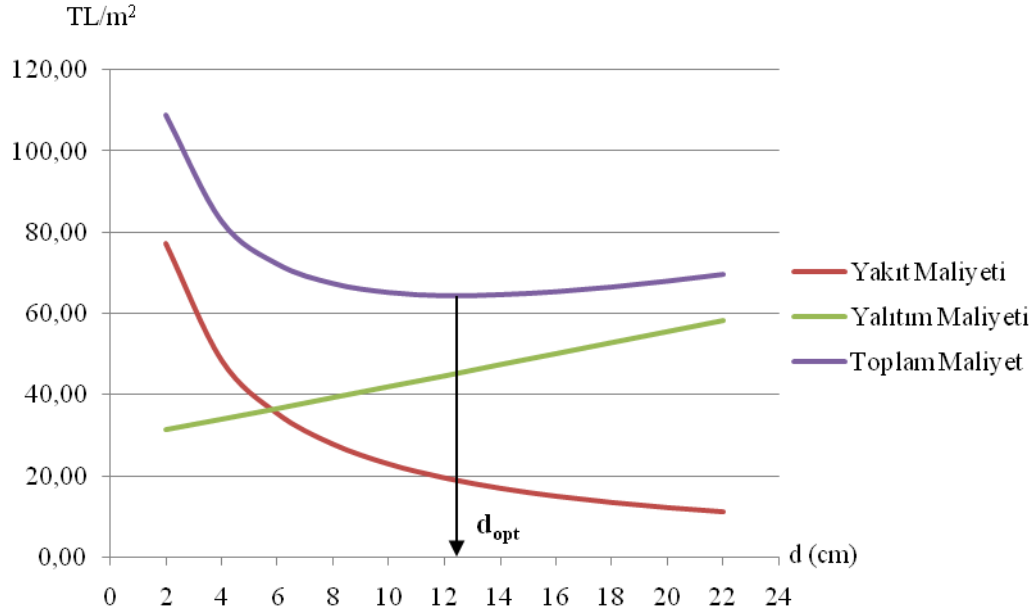
Ek 27 Ankara’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



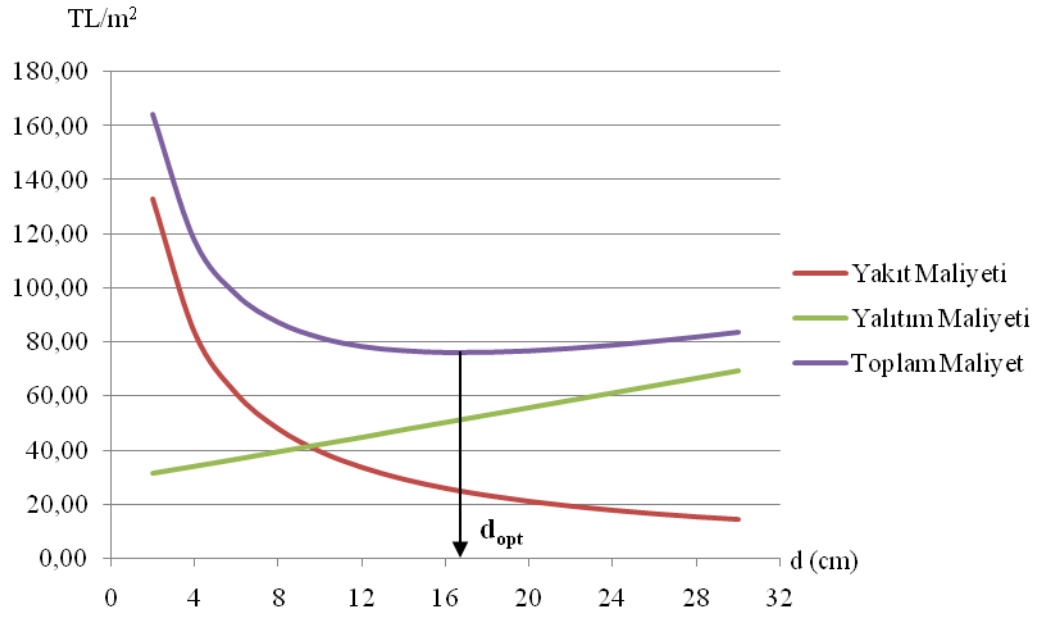
Ek 28 Ankara’da elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



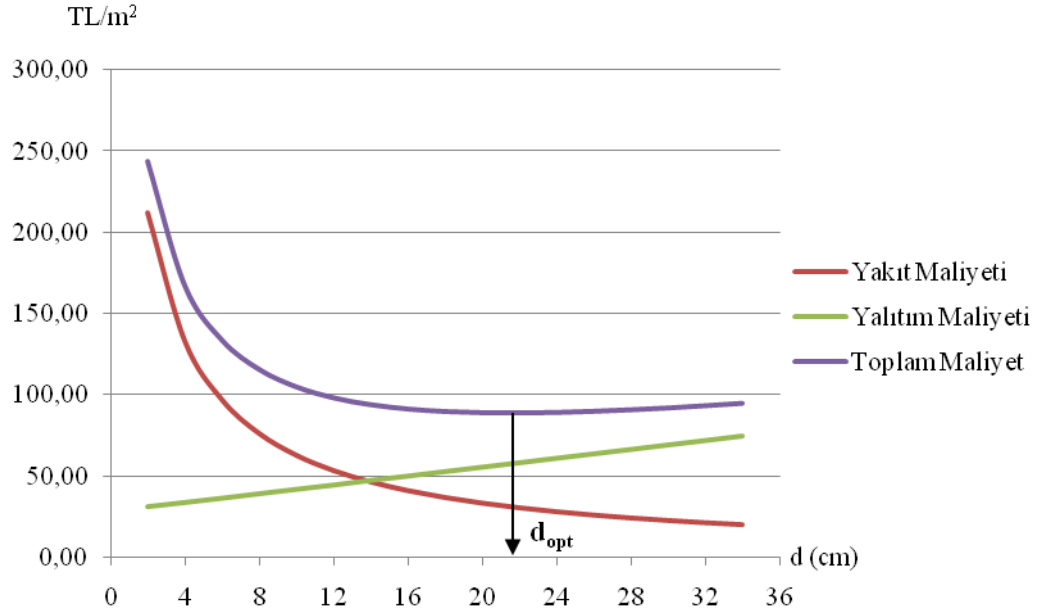
Ek 29 Ankara'da doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



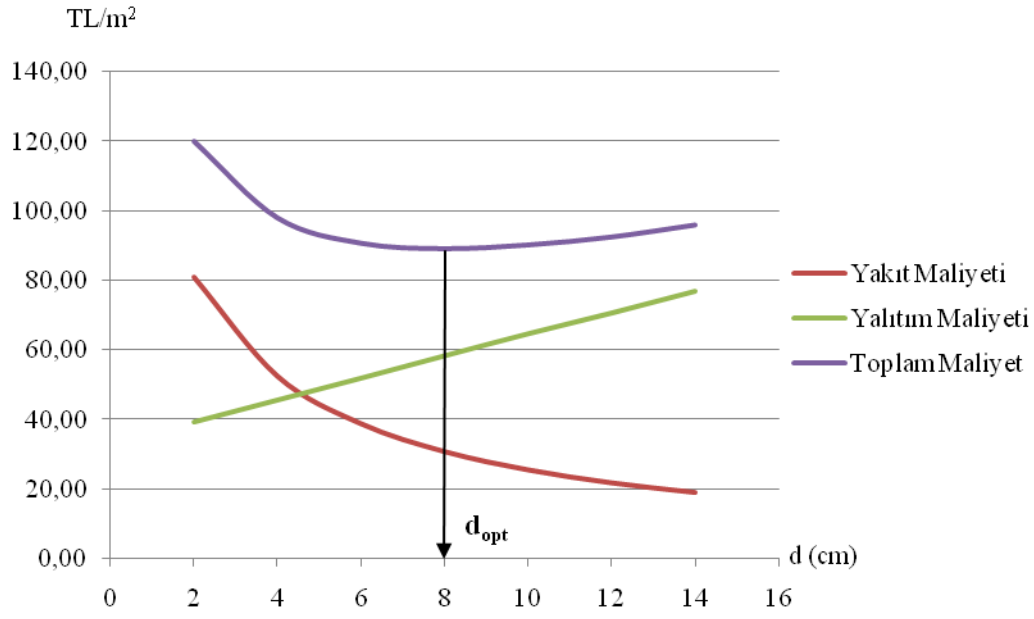
Ek 30 Ankara'da kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



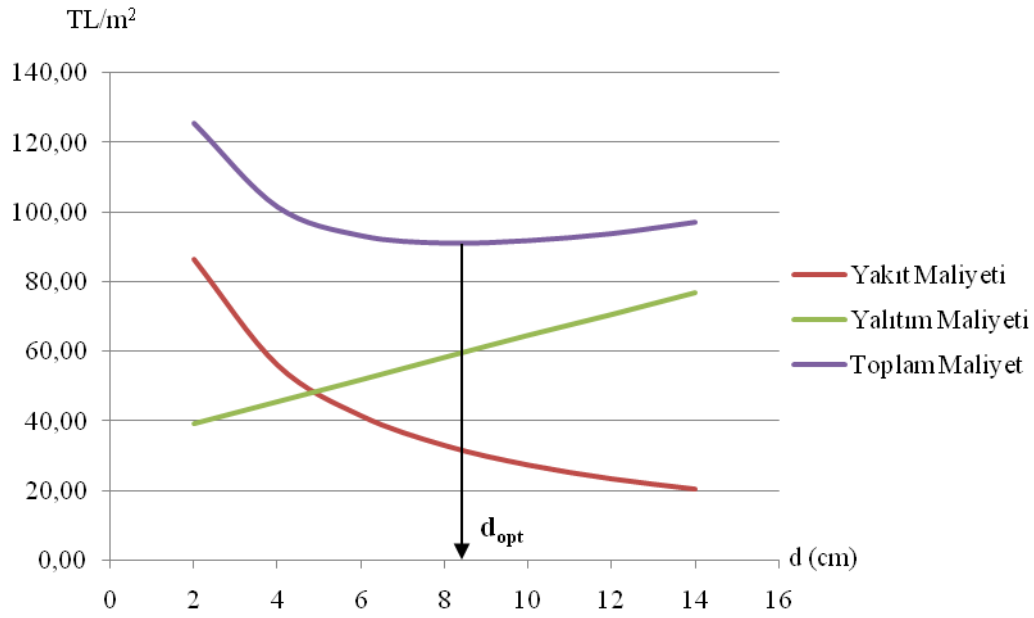
Ek 31 Ankara’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



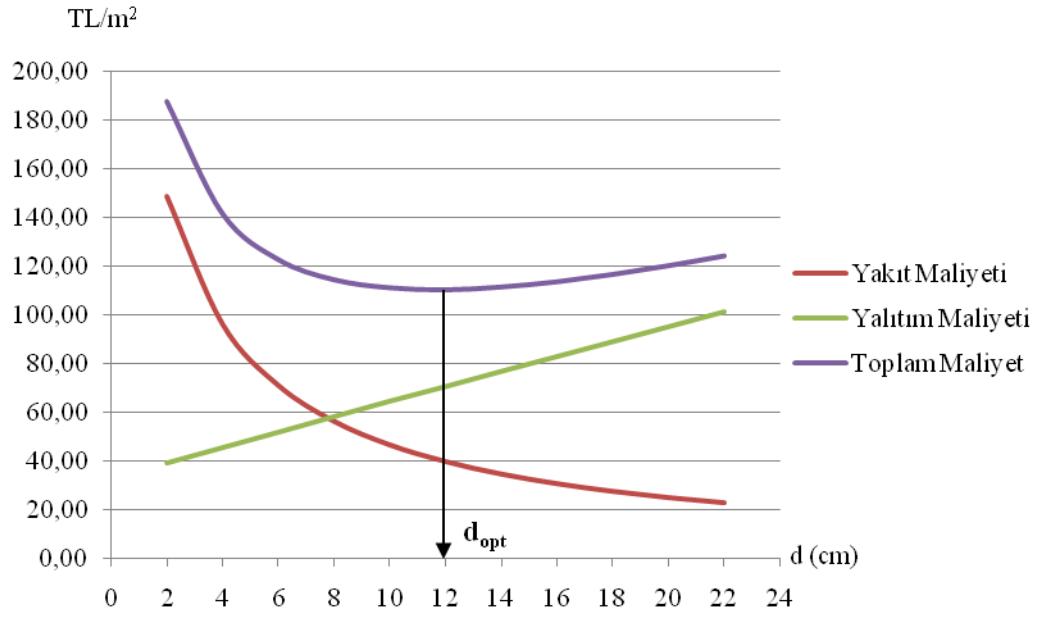
Ek 32 Ankara’da elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



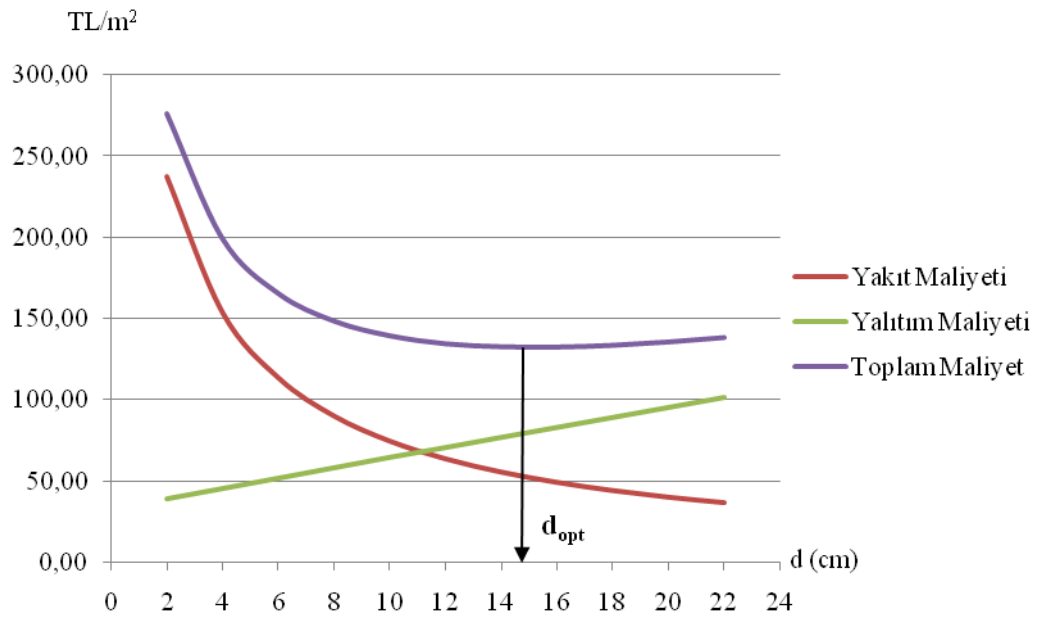
Ek 33 Ankara’da doğalgazla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



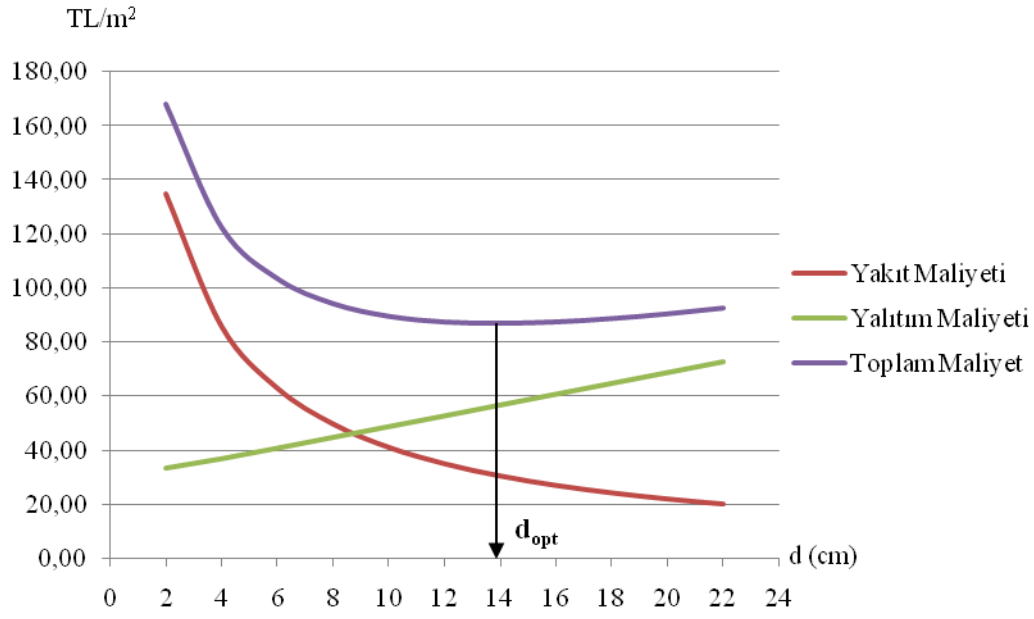
Ek 34 Ankara’da kömürle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



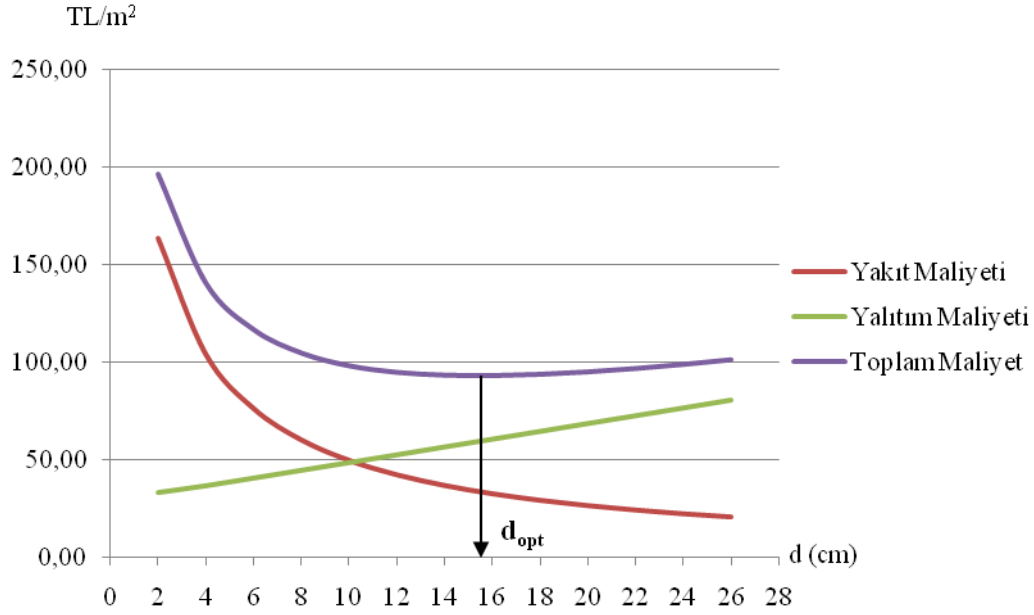
Ek 35 Ankara'da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



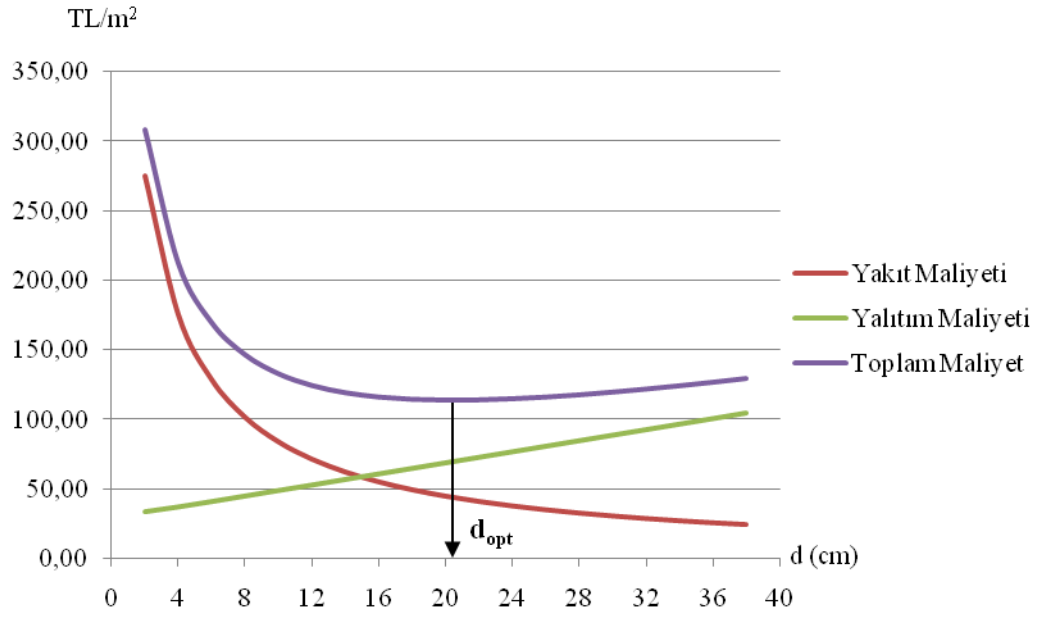
Ek 36 Ankara'da elektrikle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



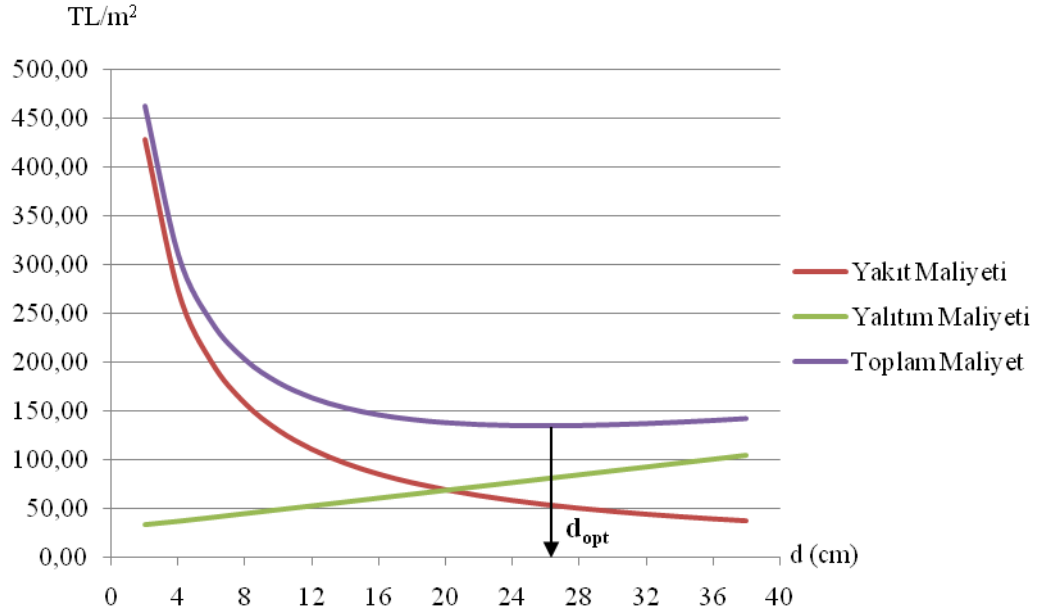
Ek 37 Erzurum’da doğalgazla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



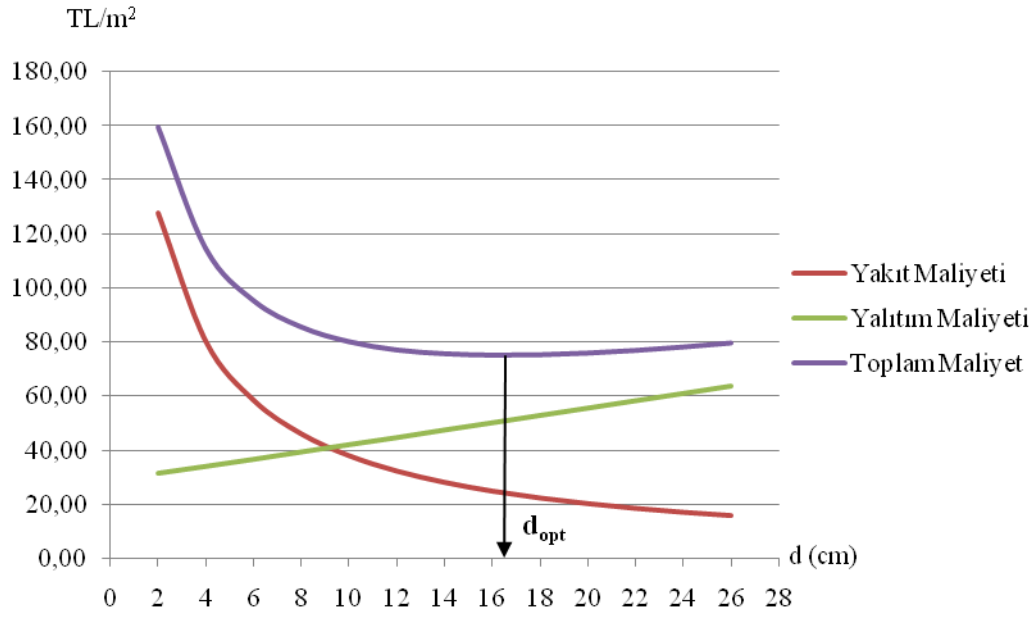
Ek 38 Erzurum’da kömürle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



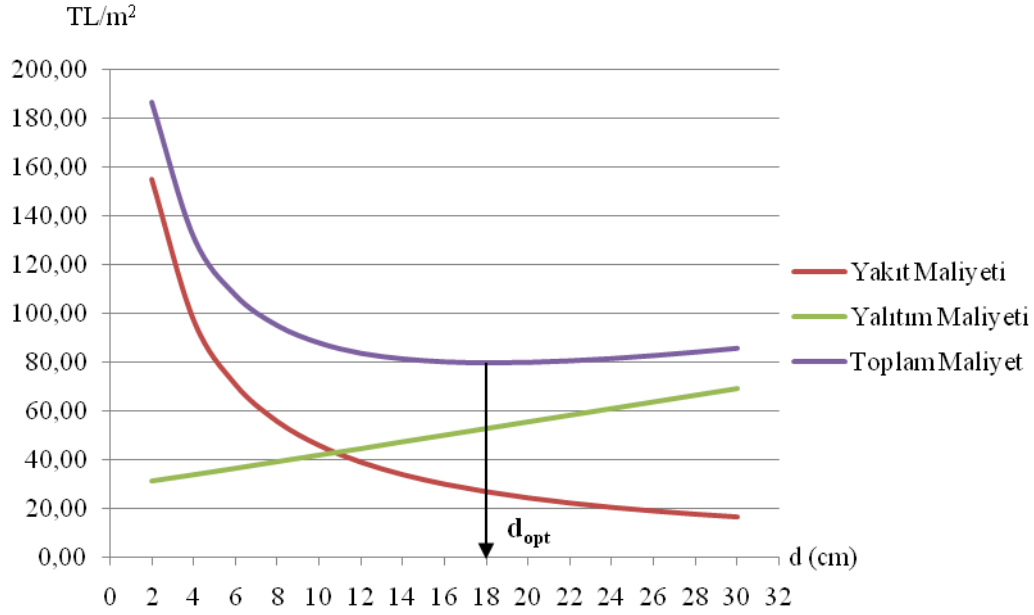
Ek 39 Erzurum’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



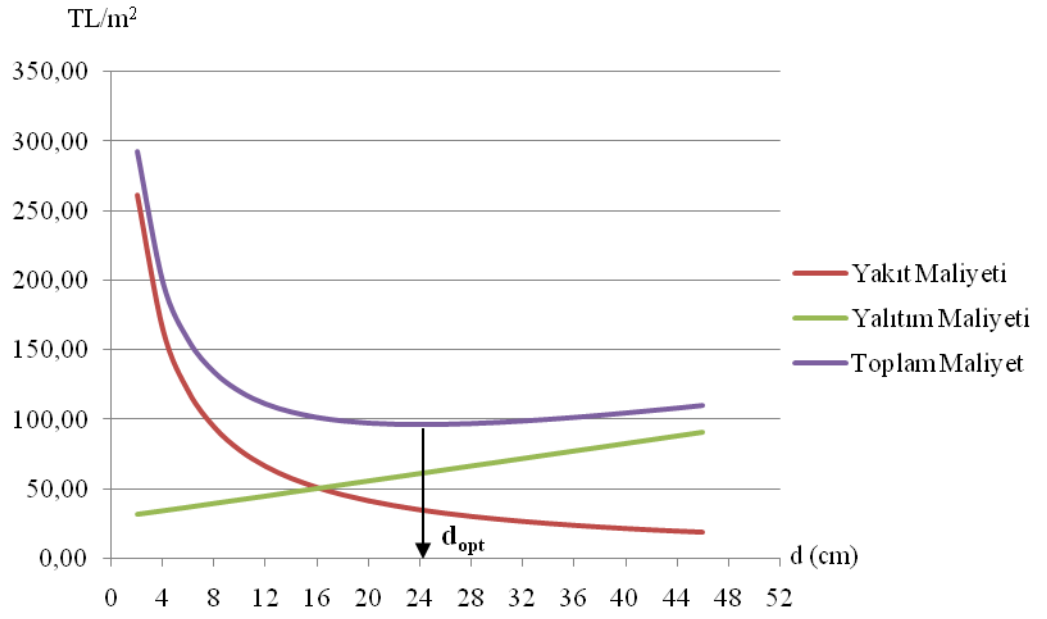
Ek 40 Erzurum’da elektrikle ısıtmada optimum XPS ısı yalıtım kalınlığı



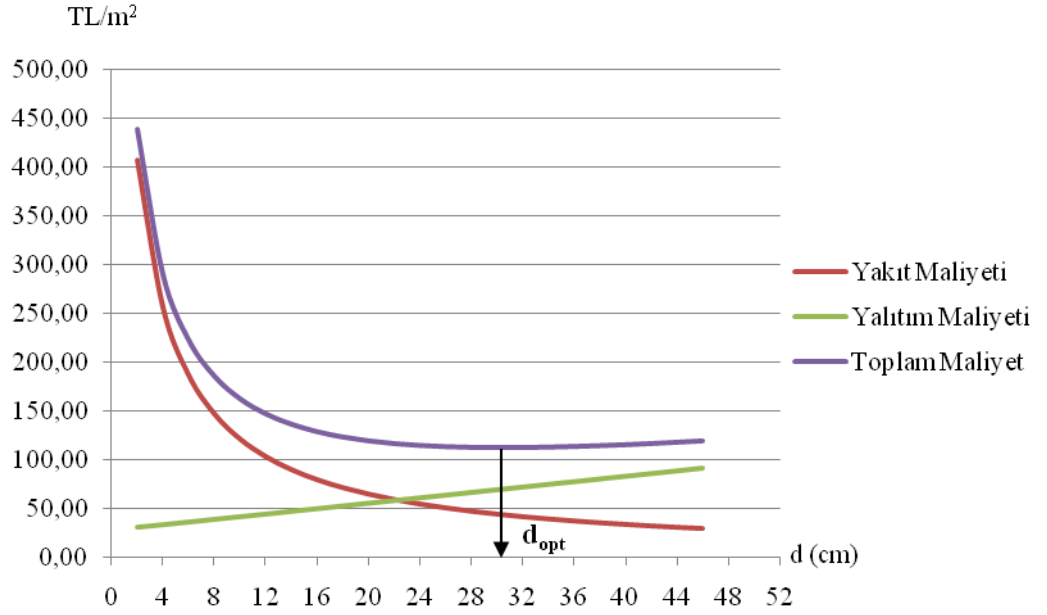
Ek 41 Erzurum’da doğalgazla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



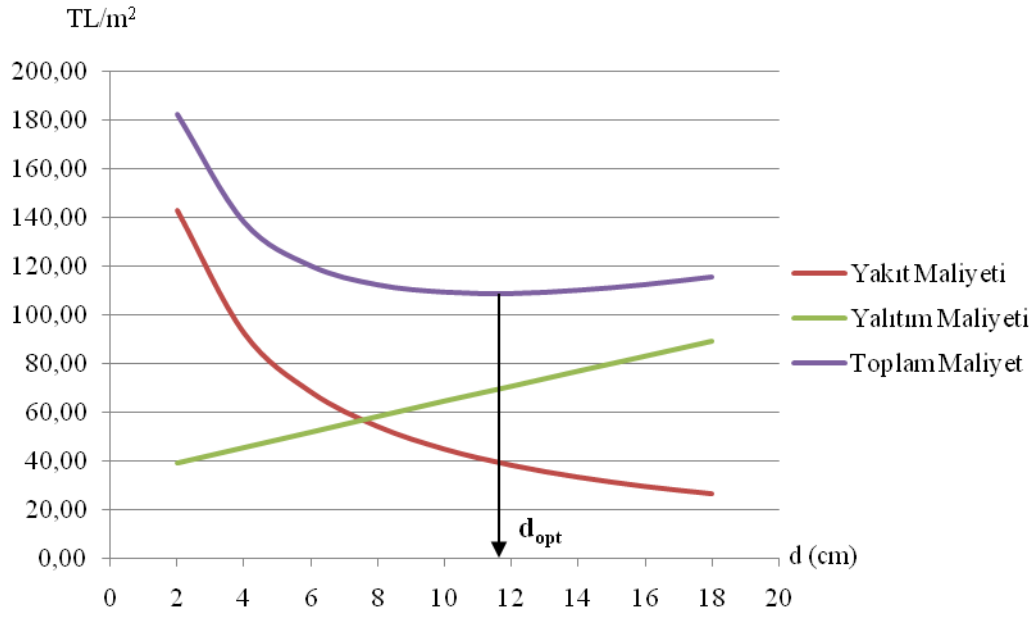
Ek 42 Erzurum’da kömürle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



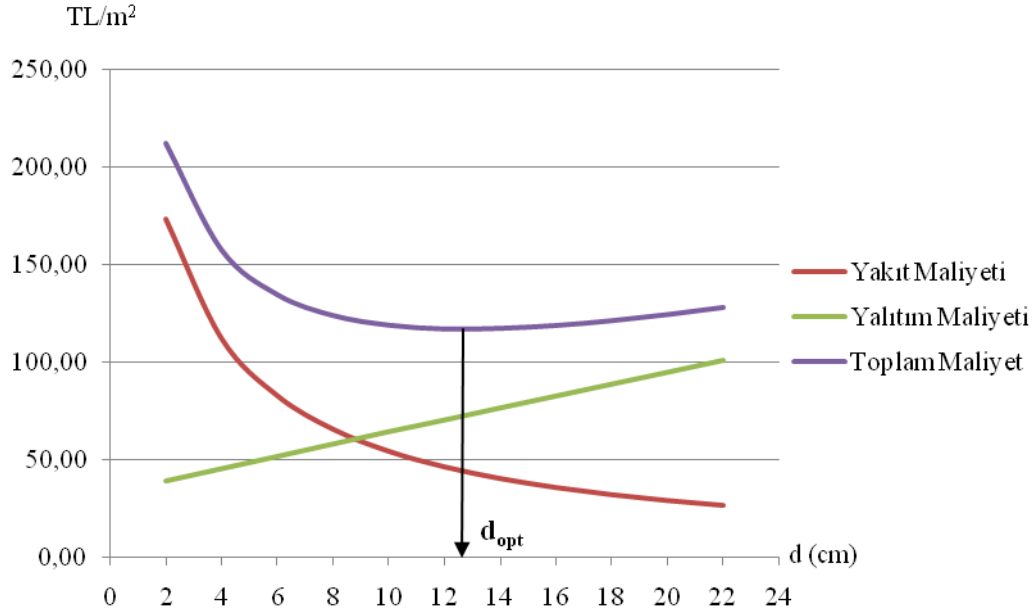
Ek 43 Erzurum’da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



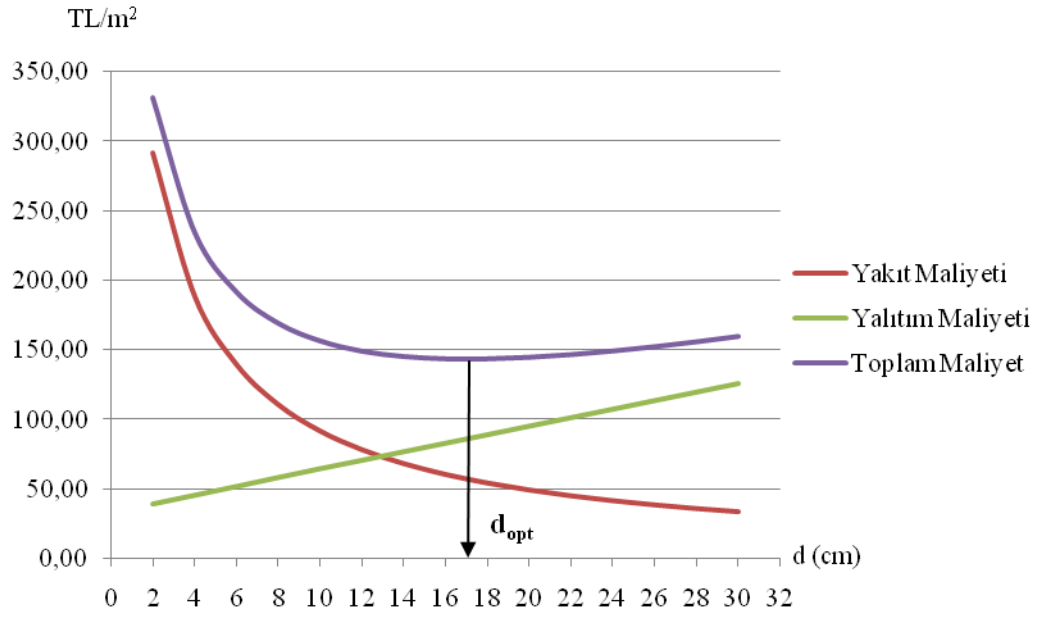
Ek 44 Erzurum’da elektrikle ısıtmada optimum EPS ısı yalıtım kalınlığı



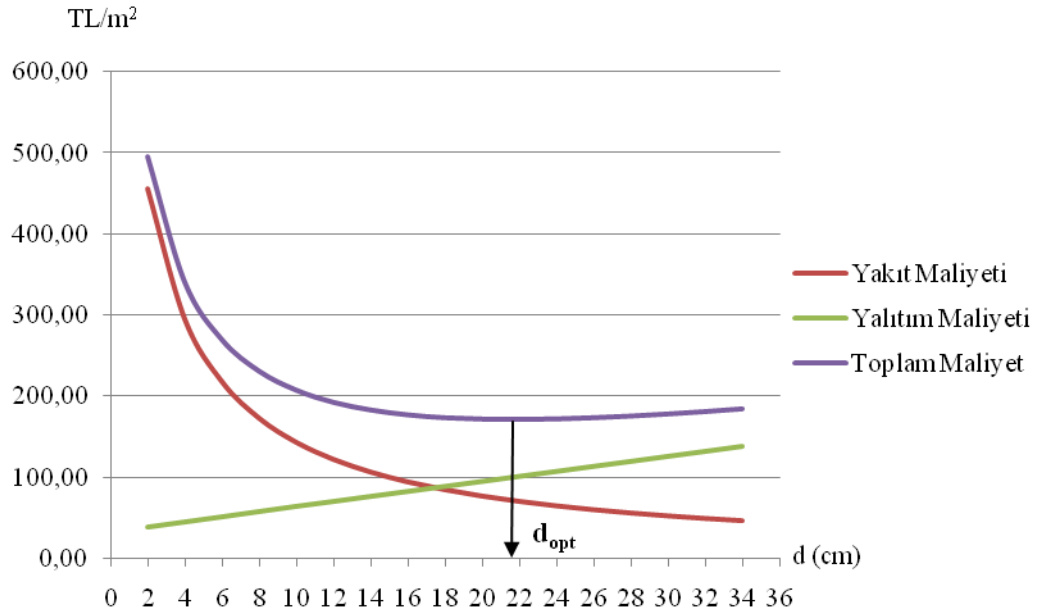
Ek 45 Erzurum'da doğalgazla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



Ek 46 Erzurum'da kömürle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



Ek 47 Erzurum'da kalorifer yakıtıyla ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı



Ek 48 Erzurum'da elektrikle ısıtmada optimum taşıyıcı ısı yalıtım kalınlığı