

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI DERECE-GÜN BÖLGELERİ İÇİN YALITIM PROBLEMİNİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metin TOLUN**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

MAYIS 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI DERECE-GÜN BÖLGELERİ İÇİN YALITIM PROBLEMİNİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metin TOLUN
(301991070)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Nisan 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Mayıs 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Filiz BAYTAŞ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şermin ONAYGİL (İTÜ)
Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU(İTÜ)**

MAYIS 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Türkiye'deki dört derece-gün bölgesinden farklı iller seçilmiş, dıştan yalıtımlı duvar tipi için ömür maliyet analizi yöntemi ile geri ödeme süreleri ve yıllık tasarruf miktarları analiz edilmiştir.

Bu konuda çalışmayı bana öneren, çalışmalar boyunca yardımlarını ve bilgisini esirgemeyen, yönlendiren, teşvik eden değerli hocam Sayın Prof. Dr. Filiz BAYTAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bütün hayatım boyunca gösterdikleri sabır, hoşgörü ve her konudaki destekleri için aileme özellikle anne ve babam'a en içten sevgilerimi sunarım.

Nisan 2010

Metin TOLUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ISI YALITIMI	7
2.1 Isı Yalıtımının Önemi.....	7
2.2 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı.....	7
2.3 Isı Yalıtım Malzemelerinin Temel Özellikleri.....	10
2.3.1 Isı iletkenlik.....	10
2.3.2 Isıl direnç.....	11
2.3.3 Toplam ısı transfer katsayısı	12
2.3.4 Diğer özellikler	12
2.4 Dış Duvar Yalıtımının İncelenmesi.....	12
2.4.1 Dış duvarlarda iç taraftan ısı yalıtımı yapılmasının faydaları.....	13
2.4.2 Dış duvarlarda dış taraftan ısı yalıtımı yapılmasının faydaları	13
2.4.3 Dış duvarlarda ara ısı yalıtımı(sandviç) yapılmasının faydaları	13
2.5 Derece-Gün Yöntemi.....	14
2.6 Maliyet Analizi ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması.....	17
2.6.1 Ömür maliyet analizi	17
2.6.2 Geri ödeme süresi	19
3. YALITIM PROBLEMİNİN İNCELENMESİ.....	21
3.1 Yalıtımsız Duvarın Toplam Isıl Direncin Hesaplanması.....	21
3.2 Farklı Derece-Gün Bölgelerinde Bulunan İllerin Yalıtım Analizi.....	22
3.3 Şimdiki Değer Faktörünün Hesaplanması	22
3.4 Birinci Bölge: Antalya.....	23
3.4.1 Yalıtım maliyeti.....	23
3.4.2 Yakıt maliyeti.....	24
3.4.3 Toplam maliyet.....	25
3.4.4 Yıllık tasarruf miktarının hesaplanması.....	27
3.5 İkinci Bölge: İstanbul	29
3.6 Üçüncü Bölge: Ankara	34
3.7 Dördüncü Bölge: Erzurum.....	38
3.8 Genel Değerlendirme.....	42
3.8.1 Optimum yalıtım kalınlığı açısından dört ilin karşılaştırılması	42
3.8.2 Derece-gün sayısı ile optimum yalıtım kalınlığı ilişkisi.....	43

3.8.3 Geri ödeme süresi açısından dört ilin karşılaştırılması	43
3.8.4 Derece-gün sayısı ile geri ödeme süresi ilişkisi	44
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	45
KAYNAKLAR.....	47
EKLER	49

KISALTMALAR

DG	: Derece-gün
PP	: Geri ödeme süresi
SDF	: Şimdiki değer faktörü
SPF	: Soğutma performans faktörü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.2.1 : Türkiye’de illere göre derece-gün bölgeleri.	8
Çizelge 2.2.2 : Farklı derece-gün bölgeleri için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri.	9
Çizelge 2.3.1 : Yalıtım malzemelerinin ürün standardı ve k değerleri.....	10
Çizelge 2.5.1 : Bazı yakıtlarının alt ısıl değerleri, verim ve fiyatları.....	16
Çizelge 3.1.1 : Yalıtımsız duvarda kullanılan yapı malzemeleri ve özellikleri.....	21
Çizelge 3.2.1 : Seçilen iller için derece-gün sayıları.....	22
Çizelge 3.2.2 : Yalıtım malzemelerine ait büyüklükler.....	22
Çizelge 3.8.1 : Dört il ve üç farklı yalıtım malzemesi için elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları.....	42
Çizelge 3.8.2 : Dört il ve üç yalıtım malzemesi için elde edilen geri ödeme süreleri	44
Çizelge A.1 : Birimler	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.3.1 : İletim ve taşınım ile ısı transferinde ısı dirençlerin gösterimi.....	11
Şekil 2.4.1 : Yalıtım tipleri: (a) içten yalıtım, (b) sandviç tipi yalıtım, (c) dıştan yalıtım	13
Şekil 3.4.1 : G.Polistiren için yalıtım maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	23
Şekil 3.4.2 : Yalıtım maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	24
Şekil 3.4.3 : Antalya ili için yakıt maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	24
Şekil 3.4.4 : Antalya için toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	25
Şekil 3.4.5 : Antalya ilinde g. polistiren, taş yünü ve cam yünü için toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	26
Şekil 3.4.6 : Genleştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	26
Şekil 3.4.7 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	27
Şekil 3.4.8 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.	27
Şekil 3.4.9 : Yıllık tasarruf miktarı ile yalıtım kalınlığı ilişkisi.....	28
Şekil 3.4.10 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi	28
Şekil 3.4.11 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı- yalıtım kalınlığı ilişkisi	29
Şekil 3.4.12 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı- yalıtım kalınlığı ilişkisi	30
Şekil 3.5.1 : İstanbul için toplam maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	30
Şekil 3.5.2 : Genleştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	31
Şekil 3.5.3 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	31
Şekil 3.5.4 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	32
Şekil 3.5.5 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi	32
Şekil 3.5.6 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı- yalıtım kalınlığı ilişkisi	33
Şekil 3.5.7 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı- yalıtım kalınlığı ilişkisi	33
Şekil 3.6.1 : Ankara için toplam maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	34
Şekil 3.6.2 : Genleştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	34
Şekil 3.6.3 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi	35

Şekil 3.6.4 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.....	36
Şekil 3.6.5 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.	36
Şekil 3.6.6 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.....	37
Şekil 3.6.7 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.....	37
Şekil 3.7.1 : Erzurum için toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.....	38
Şekil 3.7.2 : Genleştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.....	39
Şekil 3.7.3 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.....	39
Şekil 3.7.4 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.	40
Şekil 3.7.5 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.	40
Şekil 3.7.6 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.	41
Şekil 3.7.7 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.	41
Şekil 3.8.1 : Farklı yalıtım malzemeleri için derece-gün sayısına bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının değişimi	43
Şekil 3.8.2 : Farklı yalıtım malzemeleri için derece-gün sayısına bağlı olarak geri ödeme süresi değişimi	44

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yüzey alan(m^2)
C_A	: Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti($TL/m^2yıl$)
C_{toplam}	: Yalıtımlı binanın toplam ısıtma maliyeti($TL/m^2yıl$)
$C_{ısıtma}$: Toplam ısıtma maliyeti($TL/m^2yıl$)
C_y	: Yalıtım malzemesinin birim fiyatı(TL/m^3)
$C_{yakıt}$: Yakıtın birim fiyatı(TL/m^3 veya TL/kg)
$C_{yalıtım}$: Yalıtım malzemesinin maliyeti(TL/m^2)
DG	: Derece-gün sayısı($^{\circ}C gün$)
g	: Enflasyon oranı
h	: Isı taşınım katsayısı(W/m^2K)
h_i	: İç ortamın ısı taşınım katsayısı(W/m^2K)
h_d	: Dış ortamın ısı taşınım katsayısı(W/m^2K)
H_u	: Yakıtın alt ısıl değeri(J/kg)
i	: Faiz oranı
k	: Isı iletim katsayısı(W/mK)
k_y	: Yalıtım malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı(W/mK)
L	: Duvar genişliği(m)
$m_{yakıt}$: Yıllık tüketilen yakıt miktarı(kg)
N	: Isıtma yapılan toplam gün sayısı
PP	: Geri ödeme süresi($yıl$)
q	: Yıllık ısı kaybı(W/m^2)
r	: Gerçek faiz oranı
R	: Isıl Direnç(K/W)
R_d	: Dış yüzey ısıl iletim direnci(m^2K/W)
R_{duvar}	: Yalıtımsız duvarın ısıl iletim direnci(m^2K/W)
R_i	: İç yüzey ısıl iletim direnci(m^2K/W)
R_y	: Yalıtım malzemesinin ısıl iletim direnci(m^2K/W)
S	: Ömür süresi($yıl$)
T_i	: İç ortam sıcaklığı($^{\circ}C$)

T_d	: Dış ortam sıcaklığı(°C)
T_b	: Denge sıcaklık değeri(°C)
T_o	: Ortalama sıcaklık değeri(°C)
T_{min}	: Minimum sıcaklık(°C)
T_{mak}	: Maksimum sıcaklık(°C)
U	: Toplam ısı transfer katsayısı(W/m^2K)
x	: Yalıtım kalınlığı(m)

Yunan Alfabeti

η	: Yakma sistemi verimi
--------	------------------------

Alt İndisler

∞	: sonsuz
b	: temel
<i>d</i>	: dış
<i>i</i>	: iç
<i>o</i>	: ortalama
<i>y</i>	: yalıtım

FARKLI DERECE-GÜN BÖLGELERİ İÇİN YALITIM PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Gelişen teknoloji ve sanayi ile enerjiye olan ihtiyaç sürekli olarak artmaktadır. Enerji ihtiyacı tüm ülkelerin en önemli sorunlarının başında gelmektedir. Artan enerji ihtiyacı çevre sorunlarının artmasına da neden olmaktadır. Enerjinin daha verimli kullanılması tüm ülkelerin enerji politikalarının başında gelmektedir.

Enerjinin büyük kısmını iyi yalıtılmayan binaları ısıtmaya çalışırken kaybederiz. Bu ısı kayıplarını önlemek için en iyi çözüm planlı bir yalıtım yapmaktır. Binalara doğru şekilde bir yalıtım yapılmadığı için, binaların dış duvarlarından ısıtma ve soğutma için kullanılan enerjinin büyük bir kısmı kaybedilir. Yalıtımın kullanılacak yakıt, bina duvarı ve iklim tipine uygun olarak seçilmesi ve uygulanması önemlidir.

Binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan enerji ihtiyacının azaltılması ve ısı kayıplarını en aza indirmek için yalıtım kalınlığı artırılmalıdır. Yalıtım kalınlığını arttırmak yalıtım maliyetini artırır, ancak diğer taraftan enerji kaybını azaltacağı için ısınma ve soğutma için gerekli olan enerji maliyetini düşürmektedir.

Bu çalışmada, yalıtım problemi Türkiye'deki dört derece-gün bölgesinden seçilen birer şehir dikkate alınarak incelenmiştir. Bina dış duvarlarına dıştan yalıtım yapıldığı ve üç farklı yalıtım malzemesi kullanıldığı düşünülmüştür. Toplam maliyet, yıllık tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri farklı yalıtım malzemeleri için hesaplanarak seçilen dört il için elde edilen grafikler ile yalıtım analizi yapılmıştır. Binanın dış duvarlarında kullanılan yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı hesaplanırken, yıllık enerji miktarı Derece-Gün yöntemi ile, yıllık enerji maliyeti ise Ömür Maliyet Analizi ile yapılmıştır.

Çalışma sonunda, bina dış duvarlarına yapılan optimum yalıtım kalınlığının derece-gün sayısı, duvar tipi, kullanılan yalıtım malzemesine göre değiştiği hesaplanmıştır. Binanın bulunduğu derece-gün bölgesi, yakıt tipi ve yalıtım malzemesine en uygun optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasının, enerjinin korunması ve geri ödeme sürelerinin düşürülmesi için önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

INVESTIGATION OF INSULATION PROBLEM FOR ZONES OF DIFFERENT DEGREE-DAYS

SUMMARY

The need for energy is increasing constantly with improving technology and industry. The need for energy is at the beginning of the most important issues of countries. Increasing energy demand also causes environmental problems. More efficient use of energy for all countries comes at the head of energy policy.

While we are trying to heat buildings that is not well insulated, we lose most of energy. This is the best solution to prevent heat loss is to make a planned isolation. Since the right insulation is not done, a large part of the energy required for building is lost from the outer walls. Selection of insulation material must be done correctly according to the building wall, climate and fuel types.

To minimize heat lost, from heating and cooling of buildings, insulation thickness must be increased to reduce energy demand. If the insulation thickness increases, the cost of insulation increases, too, on the other hand to reduce energy loss is necessary for a lower cost of heating and cooling.

In this study, the isolation problem is investigated by choosing one of the four degree-days regions in Turkey. It is considered that they are insulated on external side by using three different insulation materials. Total cost, the amount of annual savings and payback periods calculated for different wall and insulation materials obtained for the selected four provinces graphic analysis. Outer wall of the building insulation materials used in calculating the optimum thickness of the annual amount of energy with degree-day method, the annual energy costs of was done by the life cost analysis.

At the conclusion of this study, the building to the outside walls of the optimum insulation thickness the number of degree-day, wall type, depending on the insulation material was calculated. It is concluded that the zones of degree-days, fuel type and the most suitable insulation material are important for energy conservation and lowering of the payback period.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji ve sanayinin gelişmesi ile enerjiye olan ihtiyaç sürekli olarak artmaktadır. Enerjinin büyük bölümünü dışarıdan ihraç eden ülkelerin en önemli sorunlarının başında enerji ihtiyacı gelmektedir. Ayrıca, enerji tüketimi artışı çevre sorunlarının artışına neden olmaktadır. Bundan dolayı, enerjinin daha verimli kullanılması önem kazanmaktadır ve enerjinin daha verimli kullanılması ancak enerjinin korunması ile mümkün olmaktadır.

Yalıtım ısı kayıplarını önlemek için önemli bir çözümdür. Binaların dış duvarlarından ısıtma ve soğutma için kullanılan enerjinin büyük bir kısmı iyi yalıtım yapılmadığı için kaybolur, böylece enerji verimsiz bir şekilde kullanılmış olur. İklim tipine uygun olarak seçilen yakıt ve yalıtım malzemesi, dolayısıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı, maliyetin düşürülmesi ve yalıtım maliyetinin geri ödeme süreleri için önemlidir.

Binaların ısıtılması için gerekli olan enerji ihtiyacının azaltılması, ısı kayıplarını en aza indirerek sağlanabilir. Bunun için de, yalıtım kalınlığını olabildiğince arttırmak gerekmektedir. Yalıtım kalınlığını arttırmak, yalıtım maliyetini arttırmakla birlikte, bina içerisindeki enerji kaybını azaltarak ısınma için gerekli olan enerji maliyetini düşürmektedir. Bundan dolayı, binanın bulunduğu çevre, yakıt tipi ve yalıtım malzemesine uygun optimum yalıtım kalınlığını saptamak önemlidir ve açık literatürde enerjinin verimli kullanılması ile ilgili çalışmalar genellikle optimum yalıtım kalınlığının saptanmasına yöneliktir.

Filistin için ömür maliyet analizi ile derece-gün yöntemi kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri Hasan (1999) tarafından hesaplanmıştır. Çalışmada duvar yapısına bağlı olarak geri ödeme sürelerinin değiştiği gösterilmiştir. Polistiren için geri ödeme süresi 1 ile 1.7 yıl arasında, taş yünü için 1,3 ile 2,3 yıl arasında değişmektedir. Filistin'de, bina dış duvarlarında polistiren ve taş yünü kullanılarak 21 \$/m² ye kadar tasarruf elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Moshen ve Akash (2001) çalışmalarında Ürdün’de kentsel ve kırsal alanda kullanılan enerji kaynağı ve yalıtım malzemelerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, binaların çatı ve duvarlarının yalıtımı polistiren ile yapılarak 76.8 % oranında enerji tasarrufunun sağlanabileceği ve yalıtım malzemesi olarak polistiren kullanmanın, taş yünü ve hava boşluğu şeklindeki bir yalıtımdan daha faydalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Türkiye için ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri son ölçümlere dayandırılarak uzun vadeli verilerle Büyükalaca ve diğerleri (2001) tarafından belirlenmiştir. Isıtma derece-gün hesaplanmasında 14’den 22 °C’ye kadar beş farklı temel sıcaklık seçilmiştir. Derece-gün soğutma hesaplamalarında ise 18’den 28 °C’ye kadar sıcaklıklar temel olarak alınmıştır. Türkiye’nin her ili için yıllık ısıtma ve soğutma derece-gün çizelgesi oluşturulmuştur.

Al-Khawaja (2004) çalışmasında sıcak ülkelerde binaların ısı kayıplarını azaltmak için kullanılan yalıtım malzemeleri olan Wallmate, cam elyafı ve polietilen köpük ile optimum yalıtım kalınlıkları tespiti için hesaplamalar yapmıştır. Sıcak bir alan olarak Katar’da bulunan tipik bir eve ait koyu ve açık renkli duvarlar için sonuçlar elde edilmiştir ve enerji kaynağı olarak elektrik kullanılmıştır. Çalışmada, Wallmate yalıtımının Katar’daki evler için yalıtımda en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir.

Li ve Chow (2005) çalışmalarında soğuk bölgelerdeki su borularının yalıtım malzemesi kullanılmasını ve ısıtma kabloları ile donmaya karşı korunmasını incelemişlerdir. Farklı boyutlardaki boruların optimum yalıtım kalınlığını tahmin etmek için türetilmiş basit bir matematiksel formül ile optimizasyon analizi yapılmış ve optimum yalıtım kalınlığına tasarım parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Çalışmada optimum yalıtım kalınlığının ısı iletkenlik ve yalıtım malzemesinin fiyatı ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Gölcü ve diğerleri (2006) Denizli ili için binaların ısıtılmasında ithal kömür ve akaryakıt kullanarak binaların optimum dış duvar yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini ömür maliyet analizi yöntemi ile hesaplamışlardır. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. İthal kömür için optimum yalıtım kalınlığı 0.048 m, yıllık tasarruf 12 TL/m² ve geri ödeme süresi 2.4 yıl olarak hesaplanmıştır. Akaryakıt için ise optimum yalıtım kalınlığı 0.082 m, yıllık tasarruf 38.91 TL/m² ve geri ödeme süresi 1.6 yıl olarak bulunmuştur.

Aytaç ve Aksoy (2006) çalışmalarında Elazığ ili için binaların ısıtılmasında kömür, doğal gaz , akaryakıt, LPG ve elektrik olmak üzere beş farklı yakıt ile taş yünü ve genişletilmiş polistiren olmak üzere iki farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken dıştan yalıtımlı ve katmanlı duvar modelleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda Elazığ ili için en iyi enerji tasarrufunun, yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak genişletilmiş polistiren kullanarak elde edileceği sonucuna varılmıştır.

Dombaycı ve diğerlerinin (2006) çalışmalarında Denizli ili için kömür, doğal gaz, LPG, akaryakıt ve elektrik olmak üzere beş farklı enerji kaynağı ile polistiren ve taş yünü olmak üzere iki farklı yalıtım malzemesi kullanılarak bina dış duvarının optimum yalıtım kalınlığı ömür maliyet analizi ile hesaplanmıştır. Çalışma sonunda, en uygun enerji kaynağının kömür ve yalıtım malzemesinin genişletilmiş polistiren olduğu saptanmıştır. Çalışmada, binalarda optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında enerji tasarrufu $14.09 \$/m^2$ ve geri ödeme süresi 1,43 yıl olarak hesaplanmıştır.

Bolattürk'ün (2006) çalışmasında Türkiye'nin dört iklim bölgesinden 16 farklı şehir seçilerek optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri ömür maliyet analizi yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışmada enerji kaynağı olarak kömür, doğal gaz, akaryakıt, LPG ve elektrik, yalıtım malzemesi olarak da polistiren kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, şehir ve yakıt türüne bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının 2 ile 17 cm arasında, enerji tasarrufunun % 22 ile 79 arasında ve geri ödeme sürelerinin 1.3 ile 4.5 yıl arasında değiştiği bulunmuştur.

Mahlia ve diğerleri (2007) çalışmalarında bina için kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları ile kalınlıkları arasında bir korelasyon oluşturmuşlardır. Çalışmada, çeşitli yalıtım malzemeleri için hesaplanan optimum kalınlık bilgileri ve yalıtım malzemelerine ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri kullanılarak, ısı iletkenlik ile optimum yalıtım kalınlığı arasındaki ilişki doğrusal olmayan bir polinom fonksiyonu şeklinde temsil edilmiştir.

Çevresel problemlerin bir kaynağı da enerjinin verimsiz kullanımudur ve bu açıdan duvar yalıtımının çevreye olumlu bir etkisi bulunmaktadır. Bu konudaki çalışmalardan birisi Çomaklı ve Yüksel (2004) tarafından Türkiye'nin hem en soğuk havası en kirli illerinden birisi olan Erzurum için yapılmıştır. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak strafor, yakıt olarak da akaryakıt göz önüne alınmıştır. Sonuçta

binalarda optimum yalıtım kalınlığı kullanılarak CO₂ yayınının % 27 azaldığı saptanmıştır.

Bu konudaki bir diğer çalışmada, Türkiye'de 3. iklim bölgesinde bulunan Denizli ili için bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığının çevresel etkisi Dombaycı (2007) tarafından incelenmiştir. Hesaplamalarda yakıt kaynağı kömür ve yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında enerji tüketiminin % 46.6 oranında azaldığı ve aynı zamanda CO₂, SO₂ emisyonlarının % 41,53 azalmış olduğu gösterilmiştir.

Özel ve Pıhtılı (2008) çalışmalarında, optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir şehirleri için hesaplamışlardır. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren kullanılmıştır. Söz konusu iller için optimum yalıtım kalınlığı 0.04 ile 0.084 m arasında, yıllık tasarruf miktarının 21.94 ile 97.12 TL/m² ve geri ödeme sürelerinin 1.45 ile 2.05 yıl arasında değiştiği saptanmıştır. Ayrıca çalışmada, soğutma derece-gün sayıları düşük olan Erzurum ilinde soğutma ve ısıtma derece-gün sayıları birlikte alınarak yapılan hesaplamalar sadece ısıtma derece-gün sayısı alınarak yapılan hesaplamalara yakın değerler bulunmuştur. Fakat soğutma derece-gün sayıları fazla olan Adana gibi illerde hem ısıtma hem de soğutma gün sayıları birlikte alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Özel (2008) çalışmasında Elazığ ili için bina dış duvarlarına uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını sonlu farklar metodunu kullanarak hesaplamıştır. Yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren ve yakıt olarak ithal kömür, akaryakıt ve doğal gaz kullanılarak, dıştan yalıtımlı güneşe bakan bir duvar için maliyet analizi yapılmış ve her bir yakıt türü için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada, Elazığ ili için doğal gaz yakıtı kullanıldığı zaman optimum yalıtım kalınlığı 0.040 m olarak elde edilmiştir.

Ağra ve diğerleri (2009) çalışmalarında, ömür maliyet analizi yöntemi ile İstanbul ili için soma kömür, doğal gaz, ithal kömür, LPG, akaryakıt ve motorin olmak üzere altı farklı yakıt türü ve yalıtım malzemesi olarak da geliştirilmiş polistiren ve taş yünü kullanarak dıştan yalıtımlı bir bina için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Çalışmalarının sonucunda geliştirilmiş polistiren için optimum

yalıtım kalınlığı 0.04 ile 0.1 *m* arasında değişirken, taş yünü için optimum kalınlığının 0.05 ile 0.13 *m* arasında değiştiiğini göstermişlerdir. Doğal gaz yakıt olarak kullanıldığında geri ödeme süresi genişleştirilmiş polistiren için 1.62 *yıl*, taş yünü için 1.60 *yıl* ve optimum yalıtım kalınlığı genişleştirilmiş polistiren için 6 *cm*, taş yünü için 8 *cm* olarak hesaplanmıştır.

Jinghua ve diğerleri (2009) çalışmalarında Çin'de yazın sıcak, kışın soğuk olan bölgelerden Şangay, Changsha, Shaoguan ve Chengdu şehirlerini seçerek yalıtım problemini incelemişlerdir. Çalışmalarında genişleştirilmiş polistiren, genişleştirilmiş polistiren, poliüretan köpük, perlit ve köpüklü polivinil klorür için optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri, ömür maliyet analizi yöntemi ile hesaplanmıştır. Yalıtım malzemelerinin optimum kalınlıkları 0,053 ile 0,236 *m* ve geri ödeme süreleri 1,9 ile 4,7 *yıl* arasında hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, ekonomik ve verimlilik olarak en iyi yalıtım malzemesinin genişleştirilmiş polistiren olduğu görülmüştür.

Uçar ve Balo (2009) çalışmalarında yalıtım problemini Türkiye'de dört farklı iklim bölgesinden Aydın, Kocaeli, Elazığ ve Ağrı için incelemişlerdir. Bu şehirlerde Foamboard 3500, Foamboard 1500, genişleştirilmiş polistiren, fiberglas olmak üzere dört farklı yalıtım malzemesi ve LPG, elektrik, doğal gaz , akaryakıt, kömür olmak üzere beş farklı enerji kaynağı için dış duvarların optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda şehir ve yakıt türüne bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı 1,06 ile 7,64 *cm* arasında, enerji tasarrufu 19 ile 47 $\$/m^2$ arasında ve geri ödeme süreleri 1,8 ile 3,7 *yıl* arasında değiştiiği hesaplanmıştır. En yüksek enerji tasarrufu Ağrı'da LPG yakıt türü için, en düşük enerji tasarrufu Aydın'da doğal gaz için elde edilmiştir.

Bahadori ve Vuthaluru (2009) çalışmalarında düz yüzeyler, oluk ve borularda istenilen ısı akımına veya yüzey sıcaklığına ulaşmak için basit bir yöntemle optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Çalışmada önerilen yöntem, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkını 250 °C'ye kadar ve yalıtımdan dolayı 1000 °C' lik sıcaklık düşüşü kapsayacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışmanın sonucunda önerilen yöntemin doğruluğu, literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırılarak ortalama % 3,25 mutlak sapma ile kanıtlanmıştır.

Bir bölgenin derece-gün sayısının hesaplanması ve bina duvarlarına uygulanacak yalıtım kalınlığı tespitine yönelik bir prosedür Kaynaklı ve Yamankaradeniz (2009) tarafından verilmiştir. Çalışmanın sonucunda, ülkemizde çeşitli bölgeler için binalara uygulanması gereken optimum yalıtım kalınlıkları 2.8 ile 9.6 *cm* geniş bir aralıkta değiştiği hesaplanmıştır. Bundan dolayı, bir bina için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken bölge ve ilin yanında ilçe bazında da iklim koşulları belirlenerek yerel çözümler oluşturulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye'deki her derece-gün bölgesinden bir şehir seçilmiş, dıştan yalıtımlı duvar için üç farklı yalıtım malzemesi kullanılarak toplam maliyet, yıllık tasarruf miktarları, optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Dört il için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı incelendikten sonra, optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi için illerin karşılaştırılması da yapılmıştır. Enerjinin korunması, optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme sürelerinin düşürülmesi için binanın bulunduğu derece-gün bölgesi yani iklimsel bölge, yalıtım malzemesi önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

2. ISI YALITIMI

2.1 Isı Yalıtımının Önemi

Binalarda ısı kayıp ve kazançlarının sınırlandırılması için yapılan işleme “ısı yalıtımı” denir. Teknik olarak, ısı yalıtımı farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini azaltmak için uygulanır. Isı yalıtımın avantajları aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Dışarıyla ısı alış-verişini önlediği için kışın soğuktan, yazın sıcaktan koruyarak daha sağlıklı ve konforlu bir yaşam sağlar.
- Uygulaması pratiktir, ağır işçilik gerektirmez. Çevreye zarar vermez ve sık sık değiştirilmesi ya da yenilenmesi gerekmez.
- Enerji kaybını önleyerek tasarruf sağlar. Dolayısıyla yatırım maliyetini bir kaç sene içinde karşılar ve ülkenin ekonomik kalkınmasına katkı sağlar.
- Binalarda yoğuşma ve rutubeti önleyerek yapı ömrünü uzatır. Korozyonu önler, betonarme demirlerinin çürümesine mani olur.
- Dolaylı olarak çevreye ve doğaya faydası vardır. Isı yalıtımı ile binalar daha az enerji ısıtılır. Böylece atmosfere yayılan karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve diğer zararlı gaz miktarları azalır. Bu yönüyle atmosferdeki sera etkisi, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunulur, (Url-3).

2.2 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı

Türkiye’de TS-825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı" 29 Nisan 1998 tarihinde yayımlanarak yürürlüğe girmiş ve 22 Mayıs 2008 yılında güncellenmiştir. Ayrıca 05 Aralık 2008 tarihinde yayımlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” 05 Aralık 2009 tarihinde yürürlüğe girmiştir, (Url-3).

TS-825 yönetmeliğine göre, Türkiye’de iller Çizelge 2.2.1’de görüldüğü gibi dört farklı derece-gün bölgesine ayrılmaktadır. Bu bölgelerin dış sıcaklık değerleri ise Çizelge 2.2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2.1: Türkiye’de illere göre derece-gün bölgeleri, (TS-825).

1.BÖLGE DERECE-GÜN İLLERİ			
ADANA	AYDIN	MERSİN	OSMANİYE
ANTALYA	HATAY	İZMİR	
İli 2. Bölgede olup da kendisi 1.Bölgede olan Belediyeler			
AYVALIK (Balıkesir)		Dalaman (Muğla)	
FETHİYE(Muğla)		MARMARİS (Muğla)	
BODRUM (Muğla)		DATÇA (Muğla)	
KÖYCEĞİZ (Muğla)		MİLAS (Muğla)	
GÖKOVA (Muğla)			
2. BÖLGE DERECE-GÜN İLLERİ			
SAKARYA	ÇANAKKALE	RİZE	TRABZON
ADIYAMAN	DENİZLİ	KİLİS	SAMSUN
YALOVA	AMASYA	DİYARBAKIR	KOCAELİ
SİİRT	ZONGULDAK	BALIKESİR	EDİRNE
MANİSA	SİNOP	DÜZCE	BARTIN
GAZİANTEP	MARDİN	ŞANLIURFA	BATMAN
GİRESUN	MUĞLA	ŞIRNAK	BURSA
İSTANBUL	TEKİRDAĞ	ORDU	K.MARAŞ
İli 3. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan Belediyeler			
HOPA (Artvin)		ARHAVİ (Artvin)	
İli 4. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan Belediyeler			
ABANA (Kastamonu)		BOZKURT (Kastamonu)	
ÇATALZEYTİN(Kastamonu)		İNEBOLU (Kastamonu)	
CİDE (Kastamonu)		DOĞANYURT (Kastamonu)	
3. BÖLGE DERECE-GÜN İLLERİ			
AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KİRŞEHİR	TUNCELİ
BİNGÖL	İĞDIR	KONYA	UŞAK
BOLU	ISPARTA	KÜTAHYA	
İli 1. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan Belediyeler			
POZANTI (Adana)		KORKUTELİ (Antalya)	
İli 2. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan Belediyeler			
MERZİFON (Amasya)		DURSUNBEY (Balıkesir)	
ULUS (Bartın)			
İli 4. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan Belediyeler			
TOSYA (Kastamonu)			

Çizelge 2.2.1: Türkiye’de illere göre derece-gün bölgeleri, (TS-825). (devam)

4. BÖLGE DERECE-GÜN İLLERİ			
AĞRI	ERZURUM	KAYSERİ	ARDAHAN
GÜMÜŞHANE	MUŞ	BAYBURT	HAKKARİ
SİVAS	BİTLİS	KARS	VAN
ERZİNCAN	KASTAMONU	YOZGAT	
İli 2. Bölgede olup da kendisi 4. Bölgede olan Belediyeler			
KELES (Bursa)		ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun)	
ELBİSTAN (K.Maraş)		MESUDİYE (Ordu)	
ULUDAĞ (Bursa)		AFŞİN (K.Maraş)	
GÖKSUN (K.Maraş)			
İli 3. Bölgede olup da kendisi 4. Bölgede olan Belediyeler			
KIĞI (Bingöl)		PÜLÜMÜR (Tunceli)	
SOLHAN (Bingöl)			

Çizelge 2.2.2 : Farklı derece-gün bölgeleri için aylık ortalama dış sıcaklık değerleri, (TS-825).

Aylar	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
OCAK	8,4	2,9	-0,3	-5,4
ŞUBAT	9,0	4,4	0,1	-4,7
MART	11,6	7,3	4,1	0,3
NİSAN	15,8	12,8	10,1	7,9
MAYIS	21,2	18,0	14,4	12,8
HAZİRAN	26,3	22,5	18,5	17,3
TEMMUZ	28,7	24,9	21,7	21,4
AĞUSTOS	27,6	24,3	21,2	21,1
EYLÜL	23,5	19,9	17,2	16,5
EKİM	18,5	14,1	11,6	10,3
KASIM	13,0	8,5	5,6	3,1
ARALIK	9,3	3,8	1,3	-2,8

2.3 Isı Yalıtım Malzemelerinin Temel Özellikleri

Isı yalıtımı binanın iç ortam ile dış ortamını birbirinden ayıran bütün kesitlerinde sürekli olarak, standartlara uygun doğru malzemeler ile yapılmalıdır. Isı yalıtım malzemelerine yönelik olarak hazırlanan Avrupa standartları 01.03.2002 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yalıtım hesaplamaları yapılırken bazı önemli ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri aşağıdaki gibidir.

2.3.1 Isıl iletkenlik, $k[W/mK]$

Isıl iletkenlik(ısı iletim katsayısı) bir malzemenin ısı iletme kabiliyetinin ölçüsüdür, yani aktarım özelliğidir. Isıl iletkenlik, maddenin hali ile ilgili atomik, moleküler ve fiziksel yapısına bağlıdır. Bir katının ısı iletim katsayısı, sıvıya veya gaza oranla daha büyüktür. Zira katı hale oranla akışkan veya gaz halinde moleküler arası mesafe daha büyük ve moleküllerin hareketleri daha rastgele olduğundan ısıl enerji geçişi daha azdır, (Incropera ve Dewitt, 2001). Maddenin her hali için ısı iletim katsayısı sıcaklığa bağlı olarak değişir.

Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği olan ısı iletim katsayısının düşük olmasıdır. ISO ve CEN Standartlarına göre ısı iletkenlik katsayısı $0,065 W/mK$ 'den daha düşük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Çizelge 2.3.1'de yaygın olarak kullanılan bazı ısı yalıtım malzemeleri ve bu malzemelerin ürün standartları verilmiştir.

Çizelge 2.3.1 : Yalıtım malzemelerinin ürün standardı ve k değerleri,(Url-1).

Yalıtım Malzemesi	Ürün Standardı	Isı İletim Kat. (W/mK)
Camyünü (MW)	TS 901 EN 13162	0,035 - 0,050
Taşyünü (MW)	TS 901 EN 13162	0,035 - 0,050
Ekspande Polistiren Köpük (EPS)	TS 7316 EN 13163	0,035 - 0,040
Ekstrüde Polistiren (XPS)	TS 11989 EN 13164	0,030 - 0,040
Poliüretan Sert Köpük (PUR/PIR)	TS EN 13165	0,025 - 0,040
Fenol Köpüğü (PF)	TS EN 13166	0,030 - 0,045
Cam Köpüğü (CG)	TS EN 13167	0,045 - 0,060
Mantar levhalar	TS 304 EN 13170	0,045 - 0,055

2.3.2 Isıl direnç, $R[K/W]$

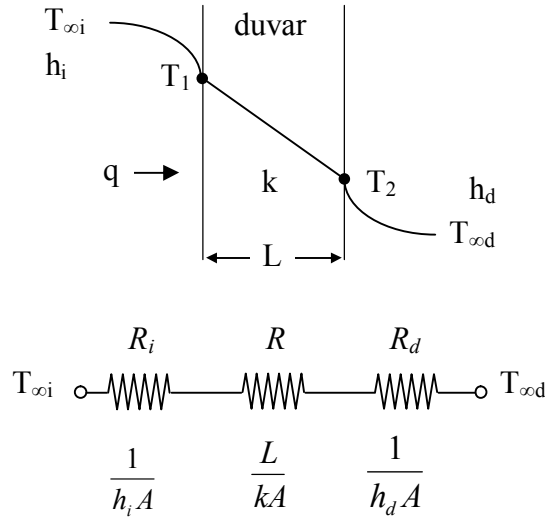
Isıl direnç malzemenin ısı iletimine gösterdiği direnci ifade eder. Bir elektrik direnci ile iletilen elektrik arasındaki ilişki, bir ısı direnç ile iletilen ısı arasındaki ilişkiye benzerdir. Direnç bir potansiyel farkının akıma oranı olarak tanımlanırsa, ısı dirençte aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$R_{iletim} = \frac{T_1 - T_2}{q} = \frac{L}{kA} \quad (2.3.1)$$

Burada L duvar kalınlığı, A ısı transferi yüzey alanını vermektedir. Bir ısı direnç yüzeyde taşınım ile ısı geçişi ile de ilgili olabilir.

$$R_{taşınım} = \frac{T_y - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (2.3.2)$$

Burada T_y yüzey sıcaklığı, T_∞ akışkan sıcaklığı, h taşınım ile ısı transferi katsayısıdır. Şekil 2.3.1'de taşınım ve iletimle ısı transferi için ısı dirençler görülmektedir.



Şekilde 2.3.1 : İletim ve taşınım ile ısı transferinde ısı dirençlerin gösterimi.

Bir yapı bileşeninin toplam ısı direnci ($1/U$), yapı bileşeninin ısı direnci (R) ile iç ve dış yüzey ısı iletim direnç değerleri (R_i ve R_d) toplanarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_d = R_{toplama} \quad (2.3.3)$$

2.3.3 Toplam ısı transfer katsayısı, $U[W/m^2K]$

Birden fazla katmanı bulunan karma duvarlar için ısı transferi her bir katmanla ilgili sıcaklık farkı ve dirençler hesaba katılmaktadır. Bu nedenle karma sistemlerde Newton'un soğuma yasasına göre benzer biçimde tanımlanan toplam ısı transfer katsayısı kullanılır, (Incropera ve Dewitt, 2001).

$$q = UA\Delta T \quad (2.3.4)$$

Burada ΔT toplam sıcaklık farkı, U toplam ısı transfer katsayısıdır ve toplam ısı direnç ile aşağıdaki gibi ilişkilidir.

$$U = \frac{1}{R_{toplam} A} \quad (2.3.5)$$

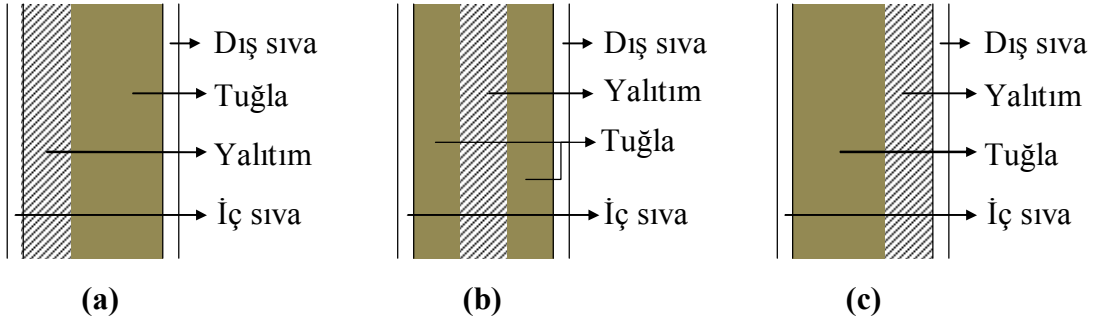
2.3.4 Diğer özellikler: Yalıtım malzemelerinde diğer aranması gereken özellikler aşağıdaki gibidir, (Onaylı, 2002):

- yoğunluk
- yangın sınıfı
- sıcaklık dayanımı
- mekanik dayanım
- buhar difüzyon direnci
- su emme özelliği
- boyutsal kararlılık

2.4 Dış Duvar Yalıtımının İncelenmesi

Binalarda genellikle dış duvarlardan, pencerelerden, tavan ya da tabandan veya hava filtrelerinden ısı kaybı olmaktadır. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılırken genellikle dış duvarlardan ısı kaybı dikkate alınmaktadır. Zira binalarda en fazla ısı kaybı delikli tuğla, beton ve ahşap gibi klasik yapı malzemeleri ile inşa edilen dış duvarlardan olmaktadır.

Dış duvarlarda ısı yalıtımı, halen oturmakta olan binalarda iç ve dış taraftan, yeni yapılmakta olan binalarda ise dış taraftan ve duvarın ortasında olmak üzere üç şekilde uygulanır. Şekil 2.4.1'de içten yalıtımlı, sandviç tipi yalıtımlı ve dıştan yalıtımlı duvarlar görülmektedir.



Şekil 2.4.1 : Yalıtım tipleri: (a) içten yalıtım, (b) sandviç tipi yalıtım, (c) dıştan yalıtım

2.4.1 Dış duvarlarda iç taraftan ısı yalıtımı yapılmasının faydaları

- Ekonomik, teknik veya dış görünüm gibi sebeplerle dış taraftan yalıtım uygun olmayan hallerde ısı yalıtımı iç taraftan uygulanır.
- Ucuzdur ve uygulanması kolaydır.
- Isıtma süresinde iç ortam kısa sürede ısınır.
- Dış hava şartlarından yalıtım malzemesi etkilenmez.

2.4.2 Dış duvarlarda dış taraftan ısı yalıtımı yapılmasının faydaları

- Kiriş ve kolon gibi ısı köprüsü özelliğindeki yapı bileşenleri dış taraftan ısı yalıtım malzemesi ile örtüldükleri için ısı kaybı engellenir. (Yapılardaki kiriş ve kolon gibi elemanları ısı iletim katsayıları tuğla, gaz betonu gibi örme elemanlarına oranla çok yüksektir ve bu sebeple ısı burarlardan daha çok kaçar.)
- Yapı, ısı yalıtım malzemesinden bir kılıf içinde bulunduğu için dış iklim şartlarından korunur.
- Yoğuşma tehlikesi azdır.
- Yapının dayanıklılığı ve ömrü artar.
- Binanın ısınması daha geç olmasına karşın soğuması da daha geç olur.

2.4.3 Dış duvarlarda ara ısı yalıtımı(sandviç) yapılmasının faydaları

- Sandviç duvar ancak yeni inşaatlarda uygulanırsa ekonomik olur, (Dağsöz, 1999).

Bir binanın dış duvarlarından olan ısı kaybını en düşük değere indirmek için kullanılacak yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı hesaplanırken, sistem için gerekli yıllık enerji miktarı Derece-Gün Yöntemi ile, yıllık enerji maliyeti ise Ömür Maliyet Analizi ile yapılır.

2.5 Derece-Gün Yöntemi

Enerji ihtiyacının tahmini için kullanılan Derece-Gün Yönteminde, Derece-Gün sayısı belli bir denge sıcaklık değerini (T_b) temel alarak hesaplanır. Denge sıcaklığı, bir binadaki ısı kaynakları ile binadan olan ısı kayıplarının dengede olduğu sıcaklık olarak tarif edilir, (Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009). Derece-gün sayısı aşağıdaki gibi bulunur.

$$DG = \sum_1^N (T_i - T_o) \quad (T_o \leq T_b) \quad (2.5.1)$$

$$DG = 0 \quad (T_o > T_b) \quad (2.5.2)$$

Burada N ısıtma yapılan toplam gün sayısı, T_i iç ortam sıcaklığı, T_o dış ortamın günlük ortalama sıcaklığıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_o = \frac{T_{min} + T_{mak}}{2} \quad (2.5.3)$$

T_{min} ve T_{mak} gün içerisinde kaydedilen en düşük ve en yüksek hava sıcaklığı değerleridir.

Bina duvarlarında ısı geçişi iletim, taşınım ve radyasyonla olmaktadır. Güneşten gelen radyasyon duvarın dış yüzeyi tarafından yutulur ve oluşan ısı duvarın içerisine doğru iletim ile geçer. Öte yandan, dışarıdaki ve içerdeki havadan duvarlara doğru taşınım ile ısı geçişi meydana gelir. Dış duvarın birim yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı,

$$q = U\Delta T \quad (2.5.4)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada, U duvarın toplam ısı transfer katsayısı, ΔT ise iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkıdır. Yalıtım yapılmamış bir duvar için toplam ısıl direnç, duvarın iç ve dış yüzeyindeki taşınım ile ısı geçişi ile ilgili yüzey direnci ve duvarın iç katmanları arasındaki ısıl dirençlerin toplamıdır.

$$R_{duvar} = \frac{1}{h_i} + \frac{d}{k_{duvar}} + \frac{1}{h_d} \quad (2.5.5)$$

Burada R_{duvar} yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci, h_i ve h_d iç ve dış duvardaki ısı taşınım katsayıları, d duvar malzemesinin kalınlığı ve k_{duvar} ısı iletkenlik katsayısıdır. Bu durumda yalıtılmış bir duvar için toplam ısı iletim katsayısı,

$$U = \frac{1}{R_y + R_{duvar}} \quad (2.5.6)$$

şeklinde bulunur. Burada, R_y yalıtım malzemesinin ısı direncidir ve

$$R_y = \frac{x}{k_y} \quad (2.5.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada, x yalıtım malzemesinin kalınlığı, k_y ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısıdır. Sonuç olarak toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U = \frac{1}{R_{duvar} + \frac{x}{k_y}} \quad (2.5.8)$$

Bina duvarının birim yüzeyinde meydana gelen yıllık ısı kaybı Derece-Gün(DG) sayısı da dikkate alınarak aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir, (Ağra ve diğerleri, 2009).

$$q = 86400DGU \quad (2.5.9)$$

Bağıntı (2.5.8), bağıntı (2.5.9)'da yerine konursa yıllık ısı kaybı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$q = \frac{86400DG}{(R_{duvar} + \frac{x}{k_y})} \quad (2.5.10)$$

Dış duvarın birim yüzeyinden olan ısı kaybı nedeni ile ısıtma için gerekli olan yıllık enerji miktarı, yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine(η) bölünmesi ile elde edilir, (Aytaç ve Aksoy, 2006).

$$E = \frac{q}{\eta} \quad (2.5.11)$$

Bağıntı (2.5.10), bağıntı (2.5.11)'de yerine konursa ısıtma için gerekli olan yıllık enerji miktarı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E = \frac{86400DG}{(R_{duvar} + \frac{x}{k_y})\eta} \quad (2.5.12)$$

Bağıntı (2.5.12)'den hareketle, H_u ısıtma için kullanılan yakıtın alt ısıl değeri olmak üzere tüketilen yıllık yakıt miktarı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$m_{yakıt} = \frac{E}{H_u} \quad (2.5.13)$$

veya

$$m_{yakıt} = \frac{86400DG}{(R_{duvar} + \frac{x}{k_y})H_u\eta} \quad (2.5.14)$$

Çeşitli yakıtların alt sınır değerleri, verim ve fiyatları Çizelge 2.5.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.5.1 : Bazı yakıtlarının alt ısıl değerleri, verim ve fiyatları, (Ağra, 2009).

Yakıt	Isıl Değeri(H_u)	Verim(η)	Birim Fiyatı
Kömür(İthal)	25.080 kJ/kg	0,65	0,69 TL/kg
Doğal gaz	34.526 kJ/m ³	0,93	1,08 TL/m ³
LPG	45.980 kJ/kg	0,90	2,047 TL/kg
Fuel-oil	40.546 kJ/kg	0,80	1,63 TL/kg
Motorin	42.636 kJ/kg	0,84	3,154 TL/kg

2.6 Maliyet Analizi ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Saptanması

Yıllık yakıt maliyeti, bir yılda kullanılacak yakıt miktarının yakıtın birim fiyatı ile çarpılmasından elde edilir. $C_{yakıt}$ yakıtın birim fiyatı olmak üzere birim yüzey alan için yakıtın yıllık maliyeti,

$$C_A = m_{yakıt} \cdot C_{yakıt} \quad (2.6.1)$$

şeklinde hesaplanır. Bağıntı (2.5.14) kullanılarak, Bağıntı (2.6.1) yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_{yakıt}}{(R_{du\text{ var}} + \frac{x}{k_y}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (2.6.2)$$

2.6.1 Ömür maliyet analizi

Bir sistemin veya sistemin bir bileşeninin kullanım ömrü boyunca enerji maliyet analizi, Ömür Maliyet Analizi ile yapılır. Yalıtımlı veya yalıtımsız bir binanın toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{ısıtma} = C_A \cdot SDF \quad (2.6.3)$$

veya

$$C_{ısıtma} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_{yakıt} \cdot SDF}{(R_{du\text{ var}} + \frac{x}{k_y}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (2.6.4)$$

bağıntısı ile hesaplanır, (Özel, 2008). Burada, SDF şimdiki değer faktörüdür. Şimdiki değer faktörü, enflasyon ve faiz oranlarına bağlıdır. r gerçek faiz oranı olmak üzere,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (i > g) \quad (2.6.5)$$

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (i < g) \quad (2.6.6)$$

bağıntısı ile hesaplanır, (Özel, 2008). Burada, i faiz oranı ve g enflasyondur. Şimdiki değer faktörü,

$$SDF = \frac{(1+r)^S - 1}{r(1+r)^S} \quad (2.6.7)$$

şeklinde hesaplanır (Özel, 2008). Burada, S sistemin ömür süresini gösterir.

Yalıtım maliyeti, yalıtım malzemesinin birim kalınlığı ile doğru orantılı olarak artacağı için,

$$C_{yalıtım} = C_y \cdot x \quad (2.6.8)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Yalıtımlı bir binanın toplam ısıtma maliyeti (C_{toplam}), ısıtma ve yalıtım maliyetleri toplamından oluşur. Buna göre,

$$C_{toplam} = C_{ısıtma} + C_{yalıtım} \quad (2.6.9)$$

veya

$$C_{toplam} = C_A \cdot SDF + C_y \cdot x \quad (2.6.10)$$

şeklinde hesaplanır. Bağıntı (2.6.2) son denklemde yerine konursa toplam ısıtma maliyeti aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$C_{toplam} = \frac{86400 (DG) C_{yakıt} (SDF)}{(R_{duvar} + \frac{x}{k_y}) H_u \eta} + C_y \cdot x \quad (2.6.11)$$

Bir binayı ısıtmak için harcanacak enerji maliyetini minimum yapan yalıtım kalınlığı optimum yalıtım kalınlığıdır. Optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet bağıntısının yani Bağıntı (2.6.11)'in yalıtım kalınlığı x 'e göre türevi alınıp sıfıra eşitlenmesi ile aşağıdaki gibi elde edilir.

$$x_{op} = 293,94 \left(\frac{(DG) C_{yakıt} (SDF) k_y}{H_u C_y \eta} \right)^{1/2} - k_y R_{duvar} \quad (2.6.12)$$

Denklem (2.6.12)'den görüleceği gibi optimum yalıtım kalınlığı duvar ve yalıtım malzemesinin özelliklerine, yalıtım malzemesi ve yakıt fiyatlarına, SDF vasıtası ile enflasyon oranına, yakıtın cinsine, derece-gün sayısı vasıtası ile de iklime bağlı olarak değişmektedir.

Optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken genellikle ısıtma derece-gün (DG) sayısı göz önüne alınmaktadır. Eğer soğutma derece-gün sayısı da göz önüne alınarak yalıtım kalınlığı hesaplanmak istenirse, yıllık enerji maliyeti ısıtma ve soğutma yıllık enerji maliyetlerinin toplamına eşit olacaktır. Bu durumda optimum yalıtım kalınlığı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır, (Özel ve Pıhtılı, 2008).

$$x_{op} = 293,94 \left(\frac{(DG)_{isit} C_{yakit} (SDF) k_y}{H_u C_y \eta} + \frac{(DG)_{soğ} C_e (SDF) k_y}{C_y (SPF)} \right)^{1/2} - k_y R_{du \text{ var}} \quad (2.6.13)$$

Bağıntı (2.6.13)'de C_e elektrik fiyatını, $(DG)_{isit}$ ve $(DG)_{soğ}$ sırasıyla ısıtma ve soğutma derece-gün sayılarını, soğutma performans faktörünü(SPF) göstermektedir.

2.6.2 Geri ödeme süresi

Geri ödeme süresi yapılan yatırımın yıllık maliyet kazancına bölünmesi ile hesaplanır. Bağıntı (2.6.14)'de bina dış duvarına yapılan yalıtım, yatırımı oluşturur. Yıllık maliyet kazancı ise yalıtımsız binanın toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı binanın toplam ısıtma maliyetinin çıkartılarak Bağıntı (2.6.15)'deki gibi hesaplanır.

Bu durumda geri ödeme süresi,

$$Geri \text{ ödeme süresi} = \frac{Yatırım}{Yıllık \text{ maliyet kazancı}} \quad (2.6.14)$$

veya

$$Geri \text{ ödeme süresi} = \frac{Yalıtım \text{ maliyeti}}{Yalıtımsız \text{ binanın ısıtma maliyeti} - Yalıtımlı \text{ binanın ısıtma maliyeti}} \quad (2.6.15)$$

şeklinde hesaplanır, (McAfee, 2006).

3.YALITIM PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Türkiye'deki dört derece-gün bölgesinden dört şehir seçilerek yalıtım problemi incelenmiştir. Çizelge 2.2.1'de görülen derece-gün bölgelerinden seçilen iller; 1.bölgeden Antalya, 2.bölgeden İstanbul, 3.bölgeden Ankara, 4.bölgeden ise Erzurum şeklindedir. Önce yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci hesaplandı, daha sonra bina dış duvarlarına dıştan yalıtım yapıldığı düşünülerek, üç farklı yalıtım malzemesi kullanarak seçilen bu dört il için yalıtım problemi incelendi.

3.1 Yalıtımsız Duvarın Toplam Isıl Direncinin Hesaplanması

Bina dış duvarının yapısına, kullanılan malzemeye, iç ve dış ortama bağlı olarak toplam ısı direnci değişmektedir. Şekil 2.4.1(c)'deki gibi verilen dıştan yalıtımlı duvarlarda kullanılan yapı malzemelerinin ısı iletkenlik değerleri ve ısı dirençleri Çizelge 3.1.1'de verilmiştir. Taşınım ile ısı transferinde, iç ve dış yüzey ısı iletim direnci değerleri Şekil 2.3.1'de görülen (R_i ve R_d) basitleştirmek amacı ile 0,13 m^2K/W ve 0,04 m^2K/W değerleri alınarak hesaplamalar yapılmıştır, (TS-825).

Çizelge 3.1.1 : Yalıtımsız duvarda kullanılan yapı malzemeleri ve özellikleri, (TS-825).

Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl iletkenlik Değeri (W/mK)	Isıl Direnç (m^2K/W)
İç yüzey			0,13
İç sıva	0,02	1	0,02
Tuğla	0,19	0,36	0,52
Dış sıva	0,008	0,35	0,023
Dış yüzey			0,04
R_{duvar}			0,733

Yalıtımsız duvarın ısı direnci $R_{duvar}=0,733 m^2K/W$ olarak hesaplanmıştır.

3.2 Farklı Derece-Gün Bölgelerinde Bulunan İllerin Yalıtım Analizi

Çalışmada, Türkiye'nin dört derece-gün bölgesinden belirlenen Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum illerinin DG değerleri kullanılarak dıştan yalıtımlı duvar tipi için yalıtım analizi yapılmıştır. Seçilen illere ait DG sayıları Çizelge 3.2.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.2.1 : Seçilen iller için derece-gün sayıları, (Büyükalaca, 2001).

Bölge	İl	Derece-gün sayısı ($^{\circ}C.gün$)
1. bölge	Antalya	1083
2. bölge	İstanbul	1865
3. bölge	Ankara	2677
4. bölge	Erzurum	4827

Denge sıcaklığı: $18^{\circ}C$

Seçilen bu dört il için hesaplamalar yapılırken, Çizelge 2.5.1'de bulunan yakıtlardan en yaygın olarak kullanılan doğalgaz, fuel-oil ve kömür dikkate alınmıştır. Yalıtım malzemesi olarak, en yaygın kullanımı olan taş yünü, geliştirilmiş polistiren ve cam yünü kullanılmıştır. Yalıtım malzemeleri için hesaplamalarda kullanılan büyüklükler Çizelge 3.2.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2.2 : Yalıtım malzemelerine ait büyüklükler, (Ağra, 2009).

Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Birim fiyat (TL/m^3)
Genleştirilmiş polistiren	0,032	238
Taş yünü	0,04	180
Cam yünü	0,050	63

3.3 Şimdiki Değer Faktörünün Hesaplanması

Şimdiki değer faktörü, enflasyon ve faiz oranlarına bağlıdır.

- Yıllık enflasyon oranı yüzde 9,56'dır, (URL-2).
- Yıllık faiz oranı 7,5'dir, (URL-4).

Şimdiki değer faktörünü hesaplamadan önce, Bağntı (2.6.5) ve (2.6.6) yardımı ile gerçek faiz bulunur. Enflasyon oranı faiz oranından daha büyük olduğu için Bağntı

(2.6.5) yardımı ile enflasyon ve faiz değerleri kullanılarak gerçek faiz oranı 0,242 olarak hesaplandı.

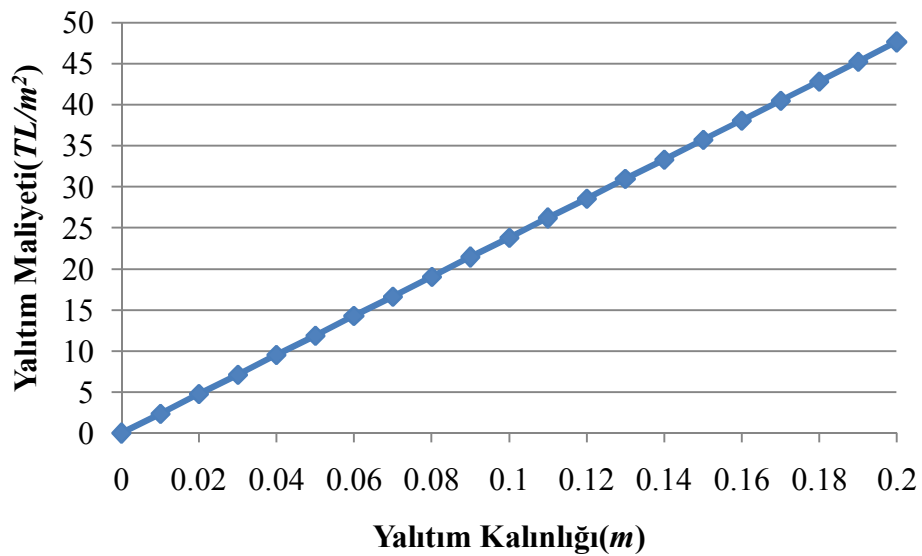
Şimdiki değer faktörü Bağntı (2.6.7) ile hesaplanır. Burada sistemin ömür süresi genellikle 10 yıl kabul edilir. Bulunan gerçek faiz oranı ve sistemin ömür süresi kullanılarak Bağntı (2.6.7) kullanılarak şimdiki değer faktörü(SDF) 3,655 olarak hesaplanmıştır.

3.4 Birinci Bölge: Antalya

Çalışmada, birinci bölgedeki Antalya ili için verilen sonuçlarda, tezde problemin incelenmesine örnek olması açısından grafikleri oluşturan denklemlere atıfta bulunulmuş ve grafikler ayrıntıların yeterince verilebilmesi için zaman zaman tek yalıtım malzemesi için de çizdirilmiştir. Diğer iller için genellikle yakıt ve yalıtım malzemesi tipleri için toplu sonuçlar gösterilmiştir.

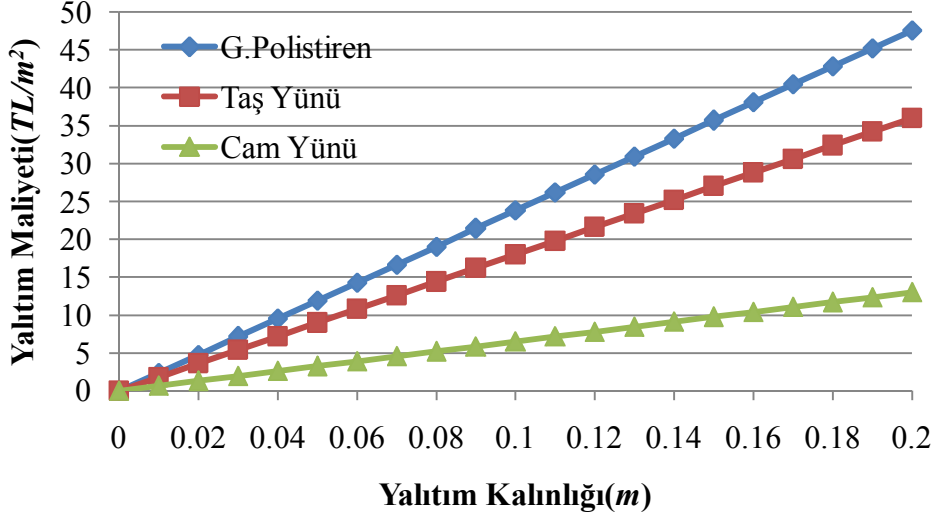
3.4.1 Yalıtım maliyeti

Yalıtım maliyeti Bağntı (2.6.8)'de görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı ve yalıtım malzemesinin birim fiyatının çarpımı ile bulunmaktadır. Şekil 3.4.1'de yatırım maliyeti yalıtım kalınlığına bağlı olarak gösterilmiştir. Bu grafikte yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren seçilmiştir. Beklendiği gibi yalıtım maliyeti, yalıtım malzemesinin birim fiyatı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 3.4.1 : G.Polistiren için yalıtım maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

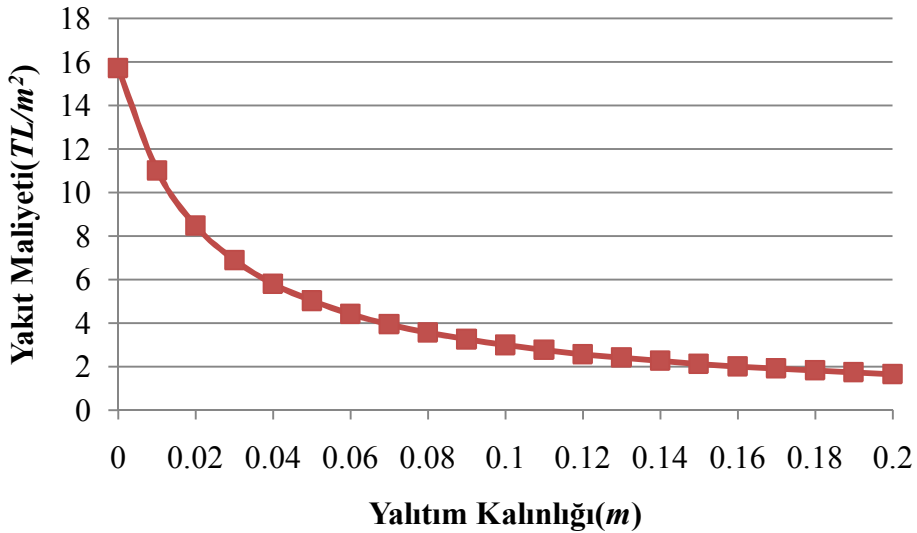
Şekil 3.4.2’de farklı yalıtım malzemeleri için yalıtım maliyeti aynı grafikte gösterilmiştir, şekilden görüleceği gibi birim fiyatı yüksek olan yalıtım malzemesinin eğimi daha fazla olmaktadır.



Şekil 3.4.2 : Yalıtım maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

3.4.2 Yakıt maliyeti

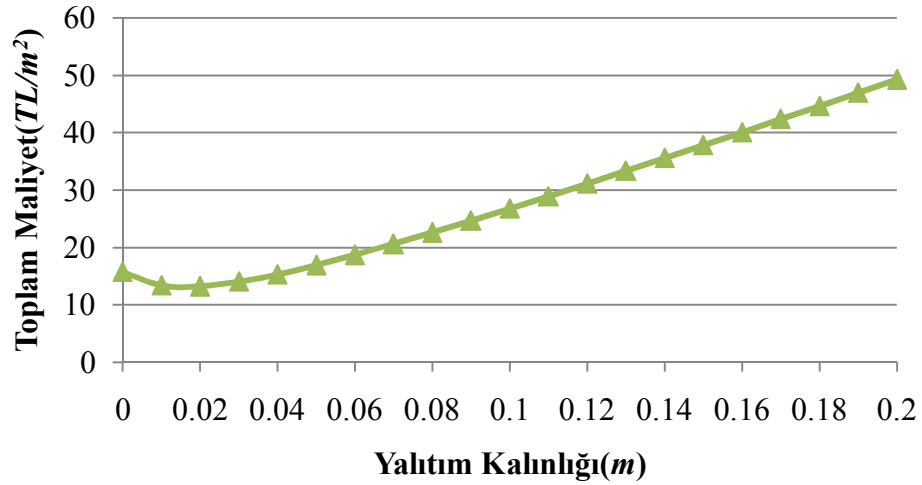
Yakıt maliyeti ise Bağntı (2.6.4)’de verilen formül ile hesaplanmaktadır. Yakıt olarak doğalgaz, yalıtım malzemesi olarak genişletilmiş polistiren kullanıldığında yakıt maliyeti grafiği Şekil 3.4.3’deki gibi olmaktadır.



Şekil 3.4.3 : Antalya ili için yakıt maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi (yalıtım malzemesi genişletilmiş polistiren).

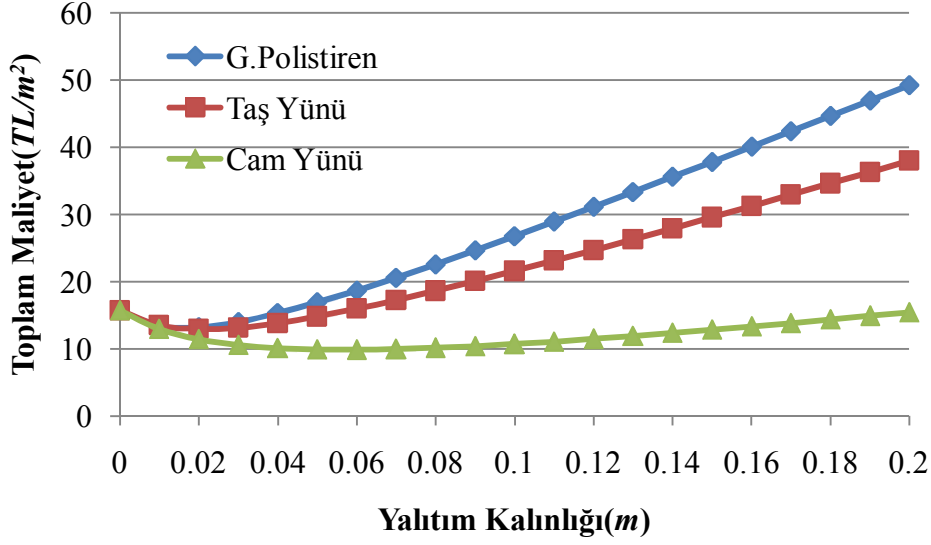
3.4.3 Toplam maliyet

Yalıtımlı bir binanın toplam ısıtma maliyeti, yalıtım ve yakıt maliyetlerinin toplamından oluşur. Toplam maliyet, bağıntı (2.6.11) kullanılarak hesaplandı. Yakıt olarak doğalgaz, yalıtım malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren kullanıldığında toplam maliyet Şekil 3.4.4'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.4.4 : Antalya için toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi (yalıtım malzemesi geliştirilmiş polistiren).

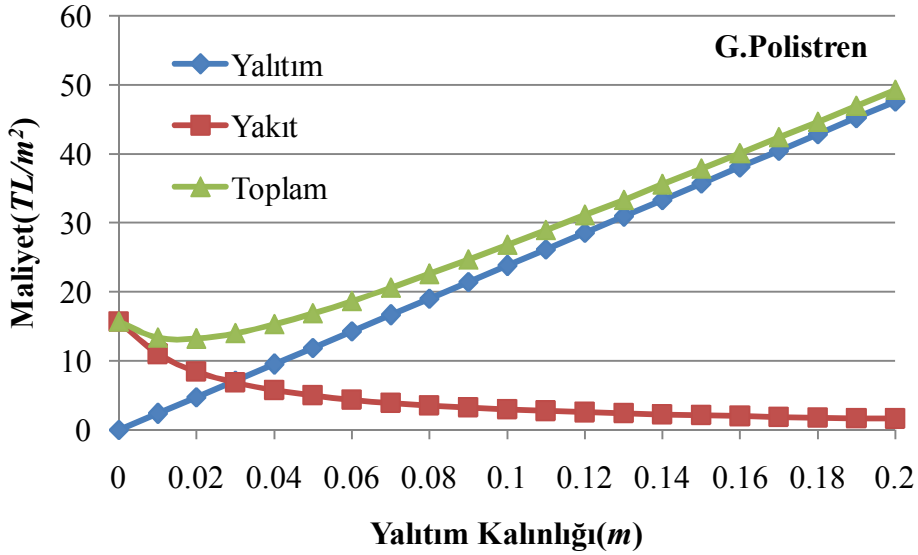
Şekil 3.4.4'de görüldüğü gibi toplam maliyet grafiği önce bir minimumdan geçtikten sonra, yalıtım kalınlığının artmasından dolayı artış göstermektedir. Antalya için, yakıt olarak doğalgaz ve üç farklı yalıtım malzemesi kullanılarak elde edilen toplam maliyet grafiği Şekil 3.4.5'de verilmiştir.



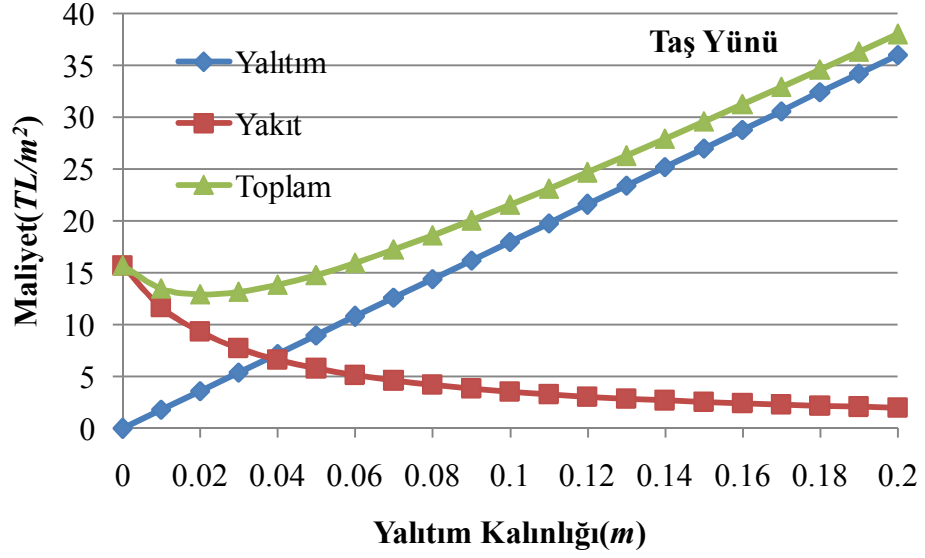
Şekil 3.4.5 : Antalya ilinde g. polistiren, taş yünü ve cam yünü için toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 3.4.5’den görüleceği gibi toplam maliyet, her üç yalıtım malzemesi içinde benzer eğilim göstermektedir.

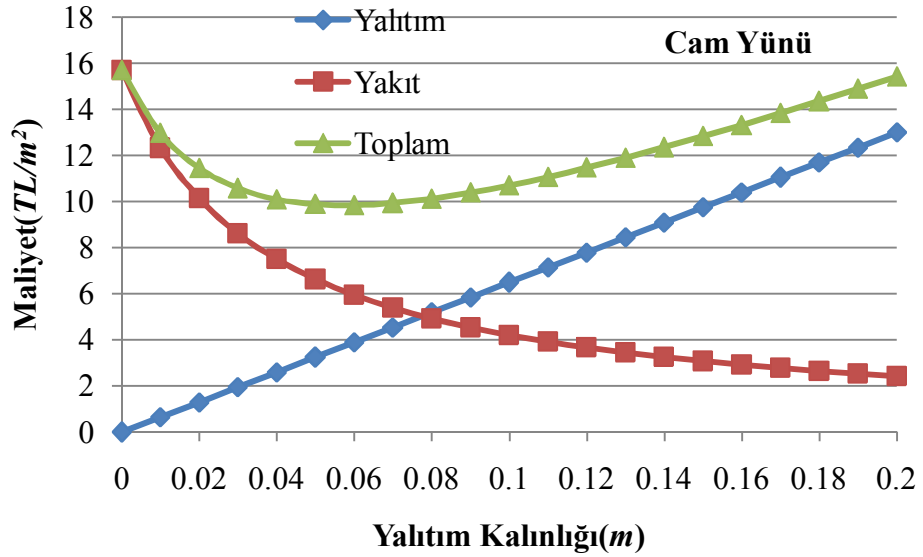
Sonuçta olarak, Antalya ili için doğalgaz ile ısıtma yapıldığında yalıtım, yakıt, toplam maliyet grafikleri genişletilmiş polistiren için Şekil 3.4.6’de, taş yünü için Şekil 3.4.7’de ve cam yünü için Şekil 3.4.8’de verilmiştir.



Şekil 3.4.6 : Genleştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 3.4.7 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

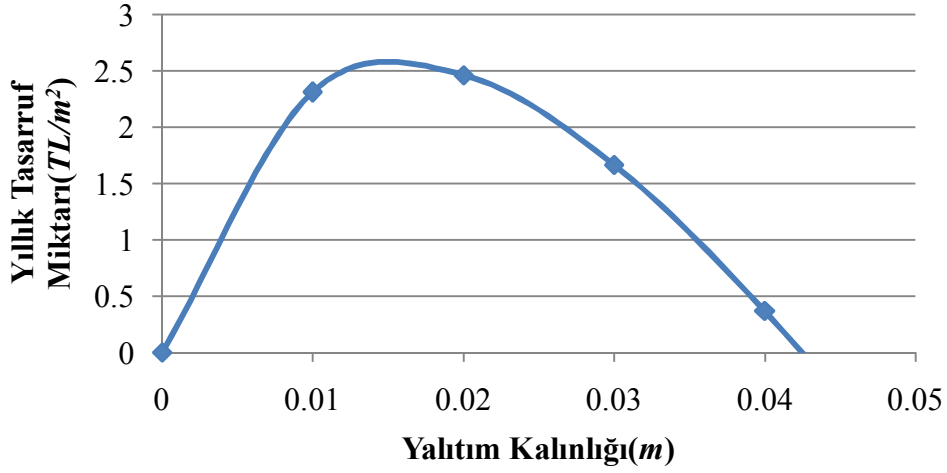


Şekil 3.4.8 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

3.4.4 Yıllık tasarruf miktarının hesaplanması

Bağıntı (2.6.11)'de verilen denklemde önce $x=0$ alınarak yalıtımsız duvar için yıllık ısıtma maliyeti hesaplanmış, daha sonra aynı denklemde, yalıtım kalınlığı x 'e değer verilerek yalıtımlı duvar için toplam ısıtma maliyeti bulunmuştur. Binanın yalıtımsız duvar için elde edilen ısıtma maliyeti, yalıtım yapılmış bina için elde edilen ısıtma maliyetinden çıkartılarak yıllık tasarruf miktarı hesaplanmıştır.

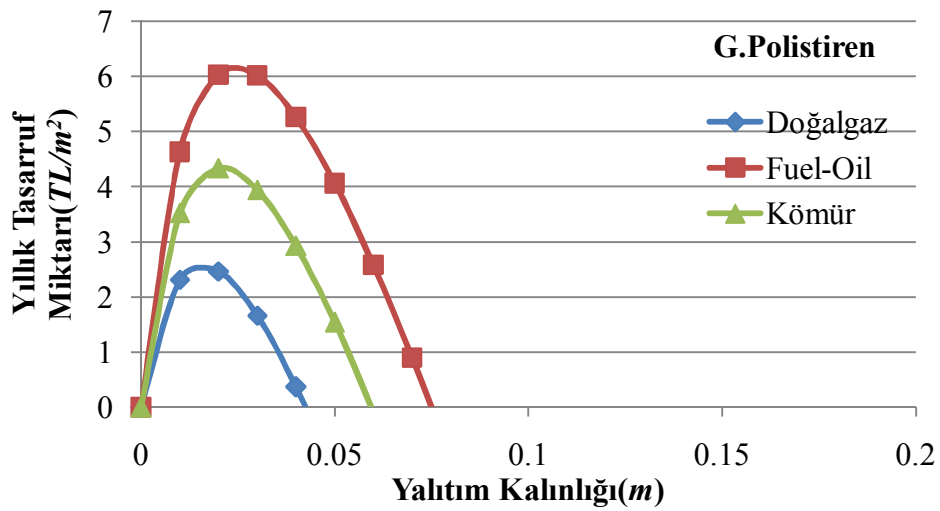
Antalya ili için, yalıtım malzemesi geliştirilmiş polistiren ve yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında yıllık tasarruf-yalıtım kalınlığı ilişkisi Şekil 3.4.9'daki gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.4.9 : Yıllık tasarruf miktarı ile yalıtım kalınlığı ilişkisi.

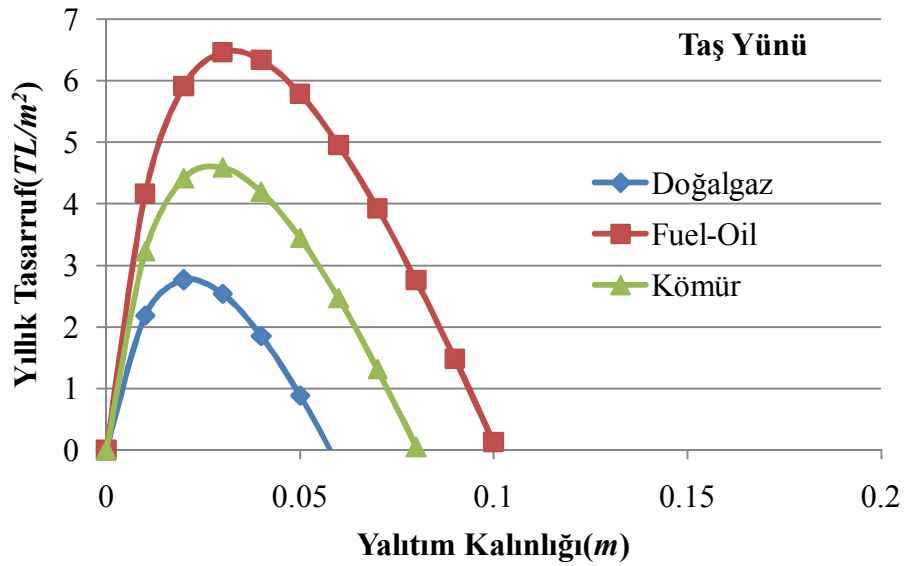
Şekil 3.4.9 incelendiğinde, önce yalıtım kalınlığının artması ile yıllık tasarruf miktarı maksimum bir değere kadar ulaştığı ve sonra azalmaya başladığı görülmektedir.

Anlalya ilinde farklı yakıt türlerinin yıllık tasarruf miktarı üzerindeki etkisi Şekil 3.4.10'da geliştirilmiş polistiren için, Şekil 3.4.11'de taş yünü için, Şekil 3.4.12'de cam yünü için incelenmiştir.

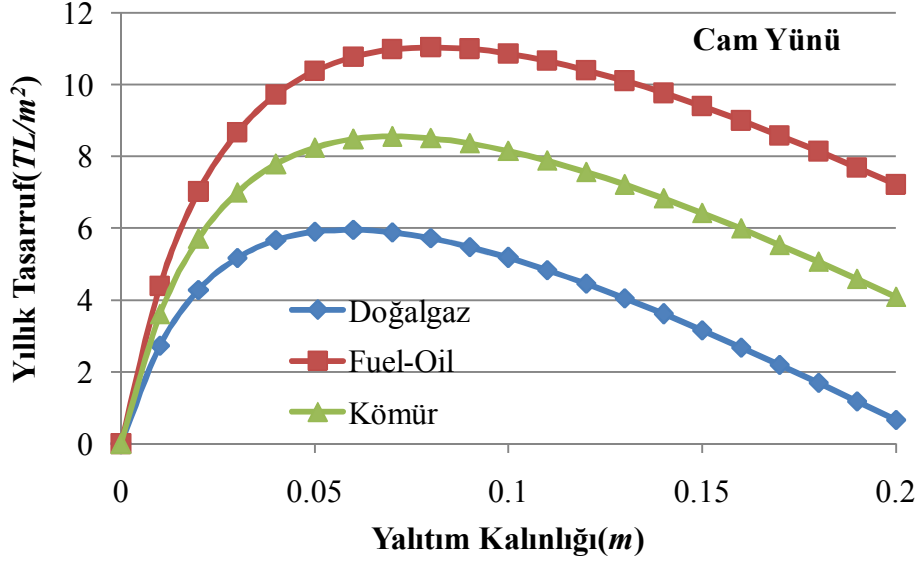


Şekil 3.4.10 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.

Şekil 3.4.10'dan görüleceği gibi, yıllık tasarruf eğrileri her yakıt tipi için aynı eğilimi göstermekle birlikte, her yakıt için yıllık tasarrufun en fazla olduğu yalıtım kalınlıkları farklıdır. Yıllık tasarrufun en fazla olduğu yalıtım kalınlığı en küçük değere doğalgazda (yaklaşık 0,010 m) en büyük değere fuel-oilde (0.025 m) sahip olmaktadır. Şekil 3.4.11 ve Şekil 3.4.12 incelendiğinde yıllık tasarruf eğrilerinin en yüksek değerleri daha geniş bir yalıtım kalınlığı aralığına yayılmaktadır. Her yakıt tipi için yıllık tasarrufun en büyük olduğu değerlerde, yalıtım kalınlıkları en az genişleştirilmiş polistirende en fazla cam yününde olmaktadır. Sonuç olarak her yakıt tipi için yalıtım malzemeleri içerisinde ısı iletim katsayısı en düşük olan genişleştirilmiş polistiren ile düşük kalınlıklarda en yüksek yıllık tasarrufa ulaşılmaktadır. Öte yandan Şekil 3.4.10, 3.4.11 ve 3.4.12'den görüleceği gibi en büyük yıllık tasarruf fuel-oil tipi yakıtta gerçekleşmektedir. Zira toplam maliyet yakıt fiyatı ile doğru orantılıdır, bu nedenle birim fiyatı yüksek olan yakıt kullanıldığında yalıtımın enerji tasarrufuna katkısı büyük olmaktadır.



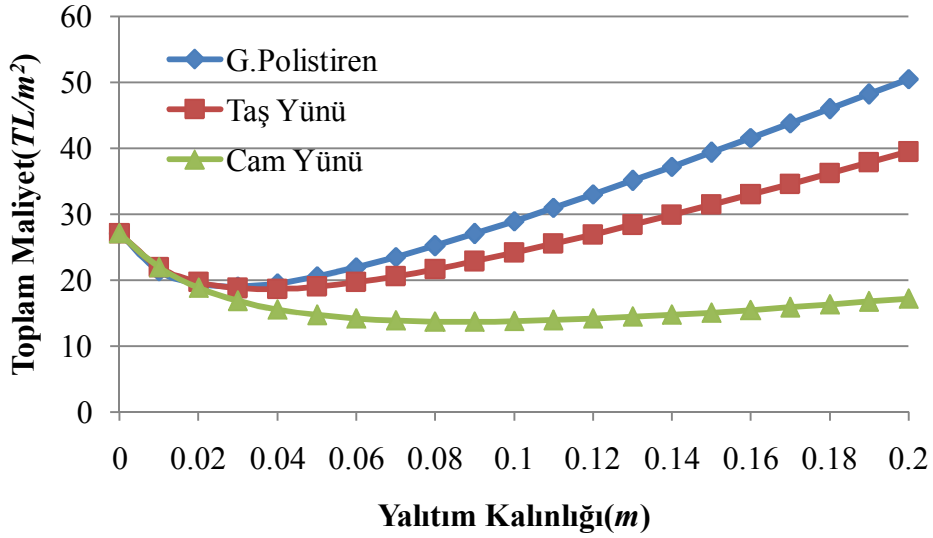
Şekil 3.4.11 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



Şekil 3.4.12 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.

3.5 İkinci Bölge: İstanbul

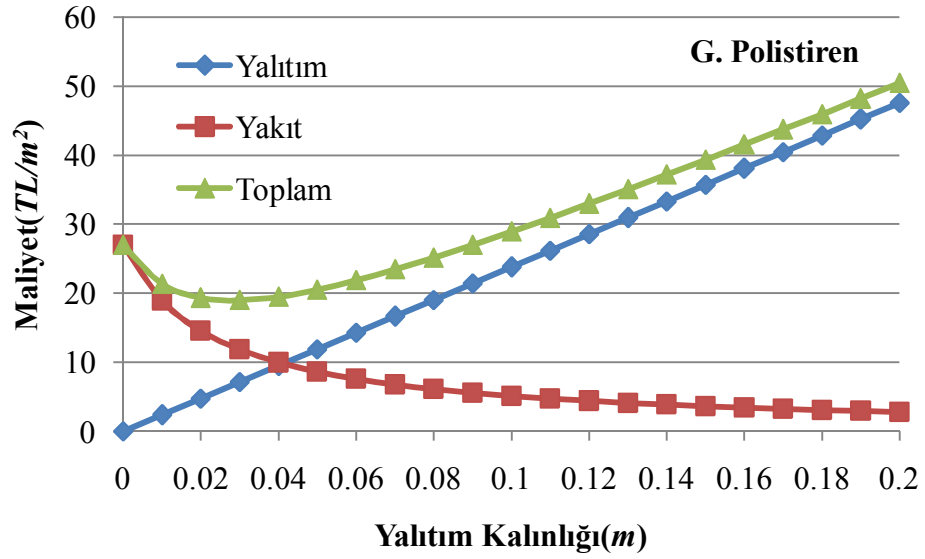
İkinci bölgede yer alan İstanbul ili için, yakıt olarak doğalgaz ve üç yalıtım malzemesi kullanılarak toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına göre değişimi Şekil 3.5.1’de incelenmiştir.



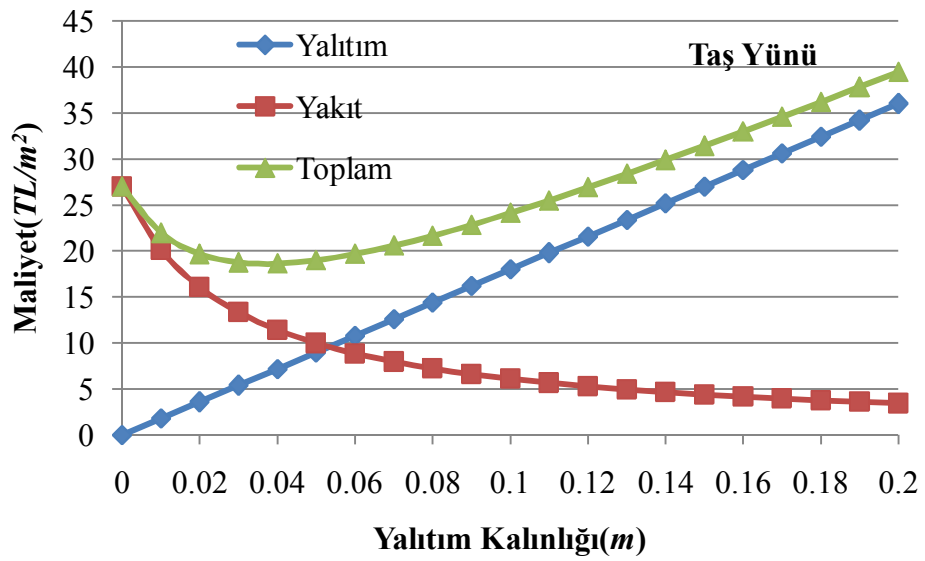
Şekil 3.5.1 : İstanbul için toplam maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

Antalya için çizilen Şekil 3.4.5 ile İstanbul için çizilen Şekil 3.5.1 karşılaştırıldığında, toplam maliyetin yalıtım kalınlığına bağlı olarak değişiminin aynı eğilimi gösterdiği, ancak İstanbul ili için toplam maliyetin üç farklı yalıtım malzemesi içinde Antalya iline göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

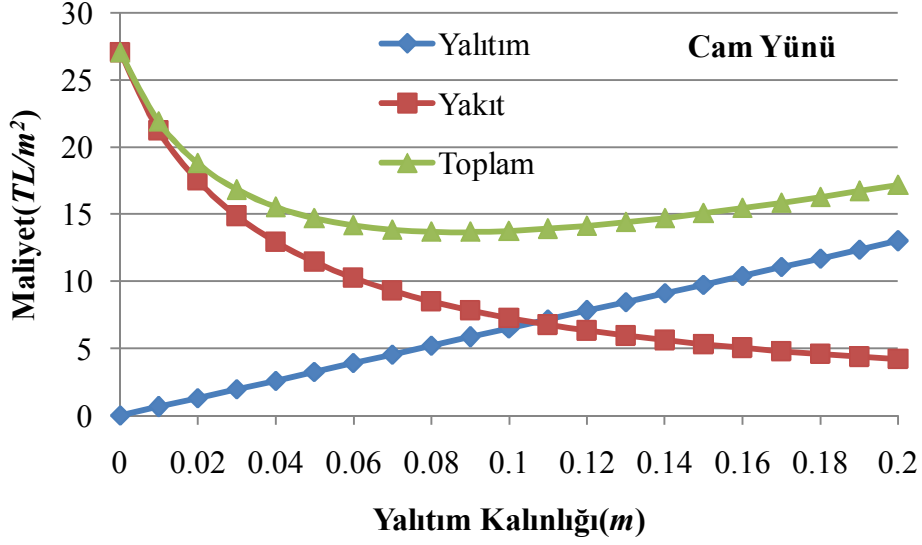
Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında yalıtım, yakıt, toplam maliyet grafikleri geliştirilmiş polistiren için Şekil 3.5.2’de, taş yünü için Şekil 3.5.3’te ve cam yünü için Şekil 3.5.4’te çizilmiştir.



Şekil 3.5.2 : Geliştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

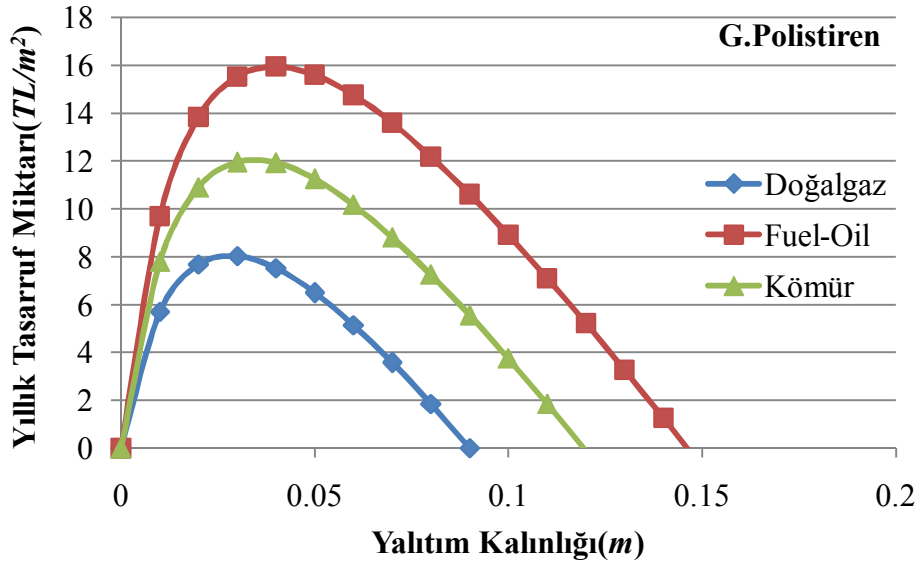


Şekil 3.5.3 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

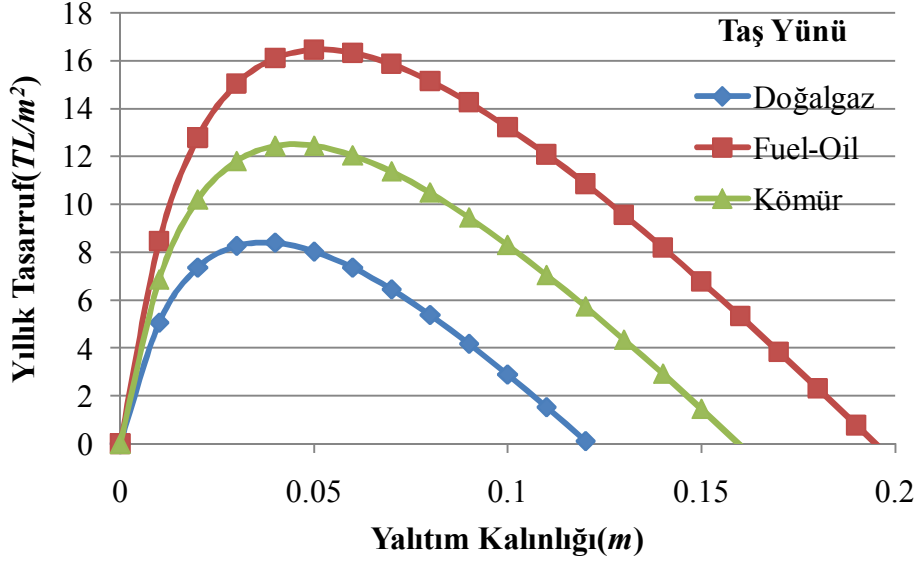


Şekil 3.5.4 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

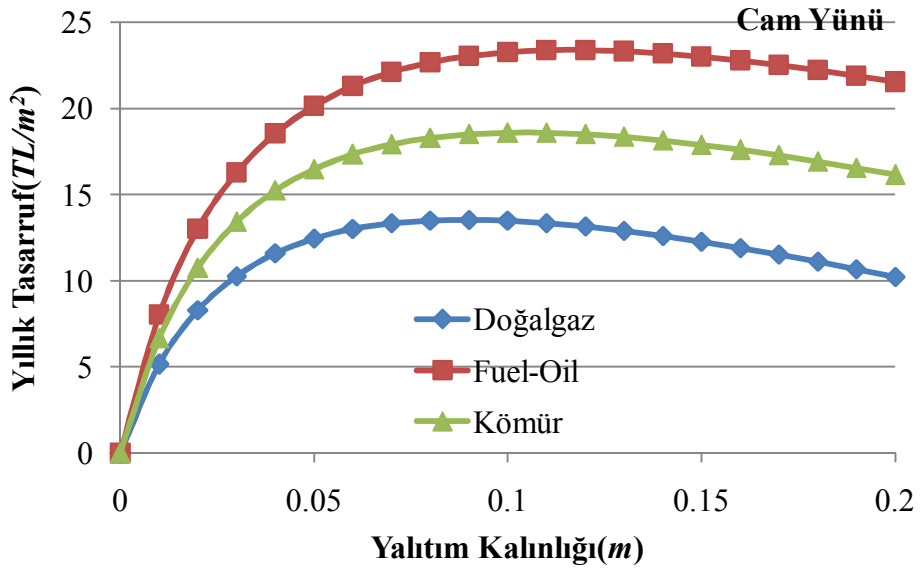
İstanbul ili için farklı yakıt türlerinin yıllık tasarruf miktarı Şekil 3.5.5’de geliştirilmiş polistiren için, Şekil 3.5.6’te taş yünü için ve Şekil 3.5.7’te cam yünü için çizilmiştir.



Şekil 3.5.5 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



Şekil 3.5.6 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.

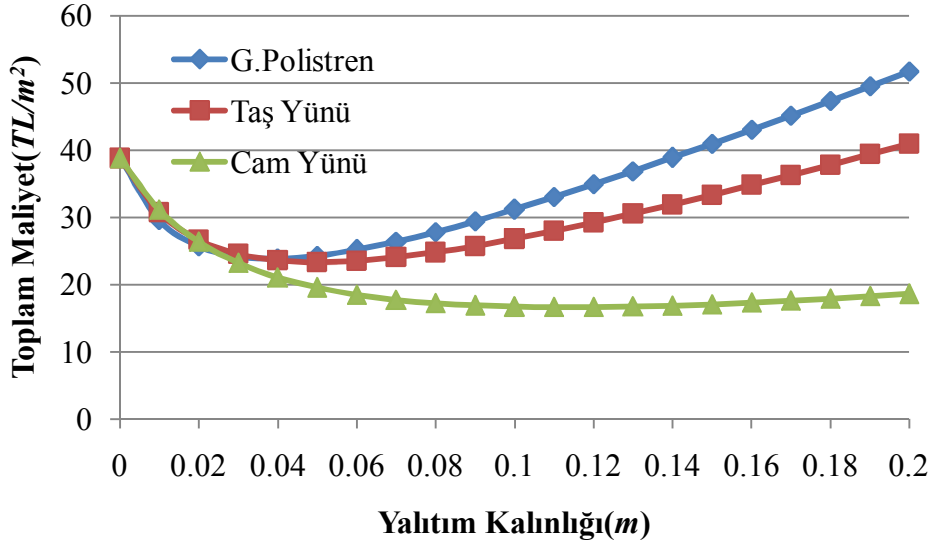


Şekil 3.5.7 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.

Birinci bölge için çizilen benzer grafikler (Şekil 3.4.10-12) ile Şekil 3.5.5-7 karşılaştırılırsa aynı yakıt ve yalıtım malzemeleri için yıllık tasarruf İstanbul için daha yüksektir.

3.6 Üçüncü Bölge: Ankara

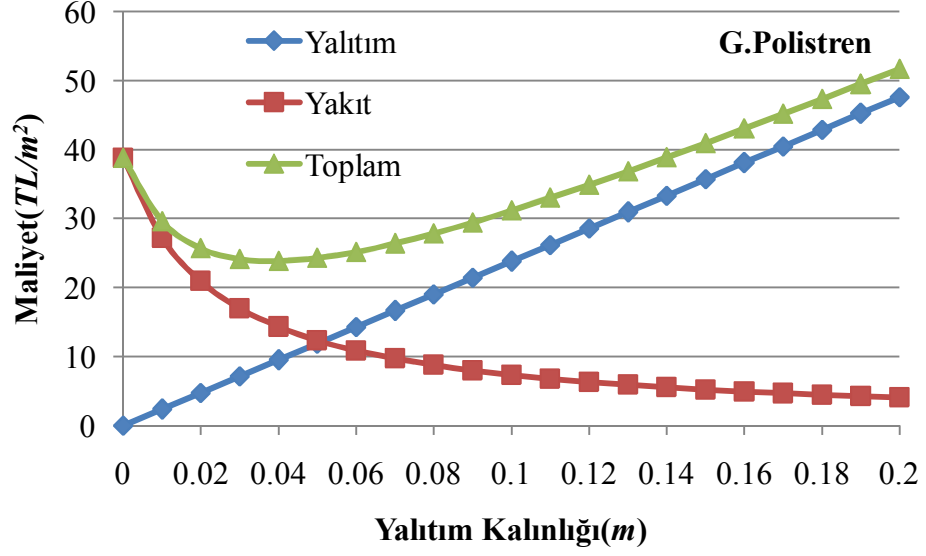
Üçüncü bölgede yer alan Ankara ili için, doğalgaz yakıt olarak kullanılarak üç yalıtım malzemesi için toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına göre değişimi Şekil 3.6.1’de incelenmiştir.



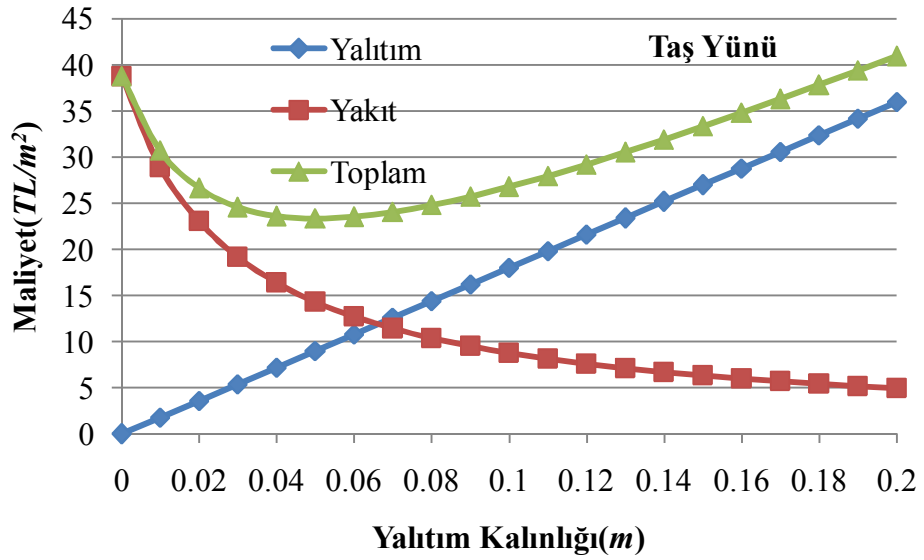
Şekil 3.6.1 : Ankara için toplam maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

Antalya için çizilen Şekil 3.4.5, İstanbul için çizilen Şekil 3.5.1 ve Ankara için çizilen Şekil 3.6.1 karşılaştırıldığında, Ankara ili için toplam maliyetin her yalıtım malzemesi için de Antalya ve İstanbul iline göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

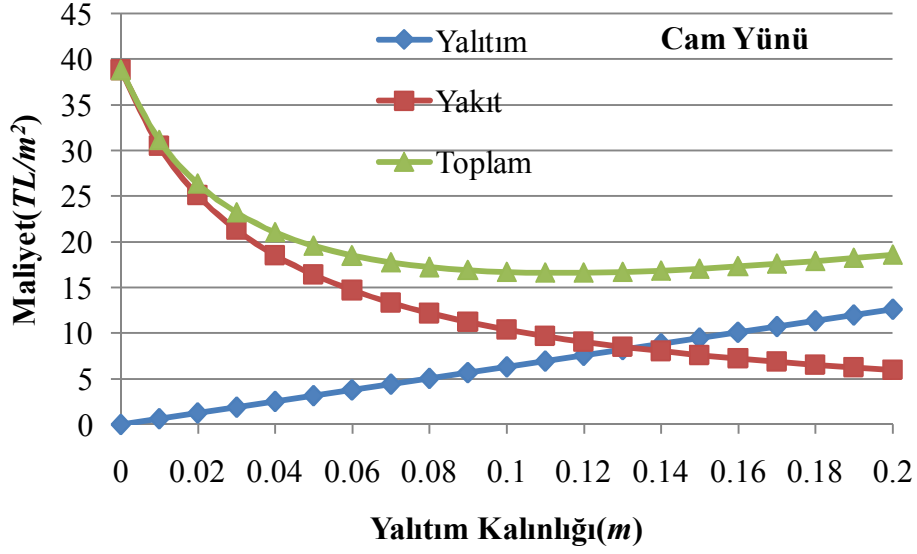
Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında yalıtım, yakıt, toplam maliyet grafikleri genişletilmiş polistiren için Şekil 3.6.2’de, taş yünü için Şekil 3.6.3’te ve cam yünü için Şekil 3.6.4’te çizilmiştir.



Şekil 3.6.2 : Genleştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

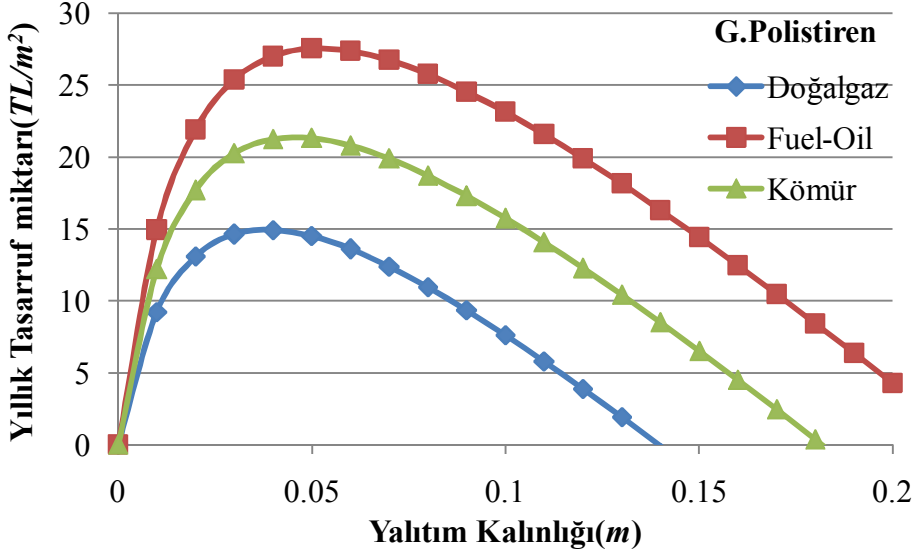


Şekil 3.6.3 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

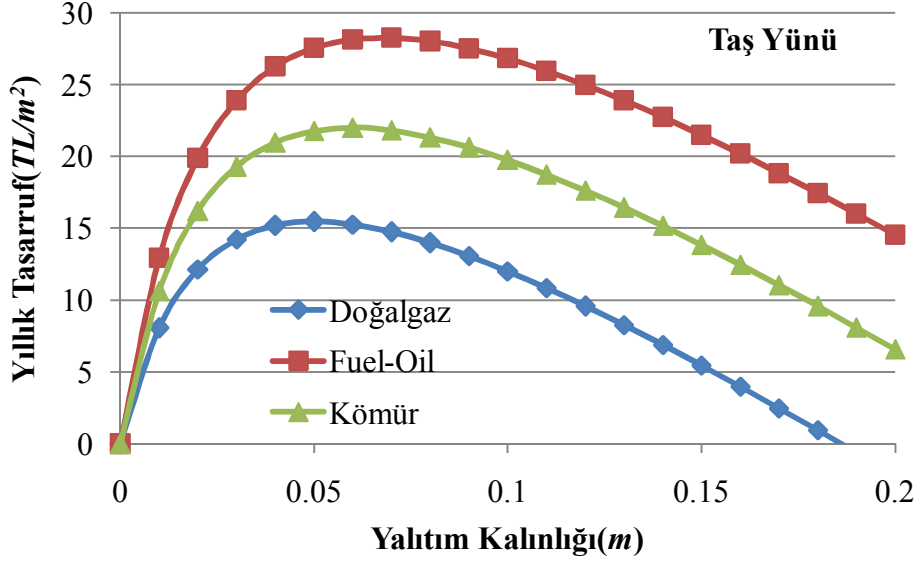


Şekil 3.6.4 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

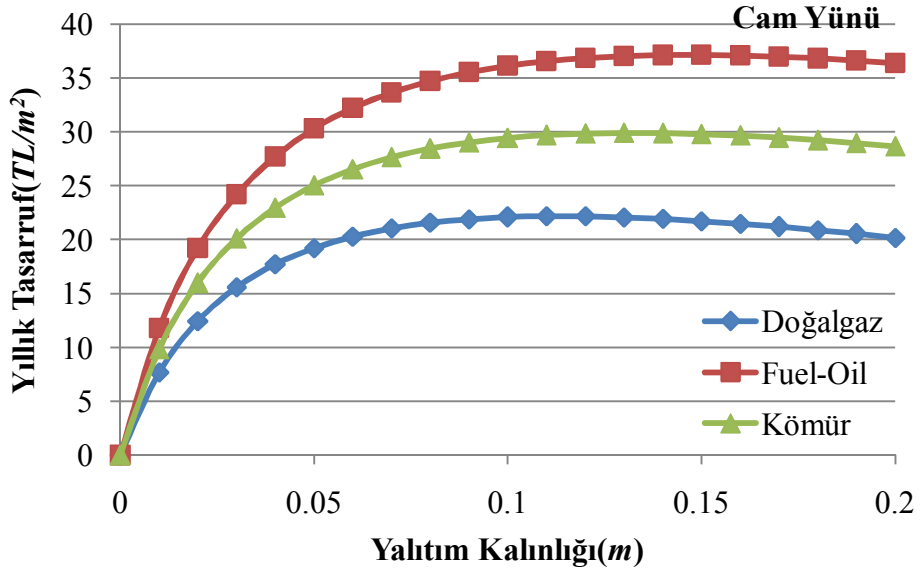
Ankara ili ve dıştan yalıtımlı duvar tipi için farklı yakıt türlerinin yıllık tasarruf miktarı Şekil 3.6.5’de genişletilmiş polistiren için, Şekil 3.6.6’da taş yünü için ve Şekil 3.6.7’de cam yünü için çizilmiştir.



Şekil 3.6.5 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



Şekil 3.6.6 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.

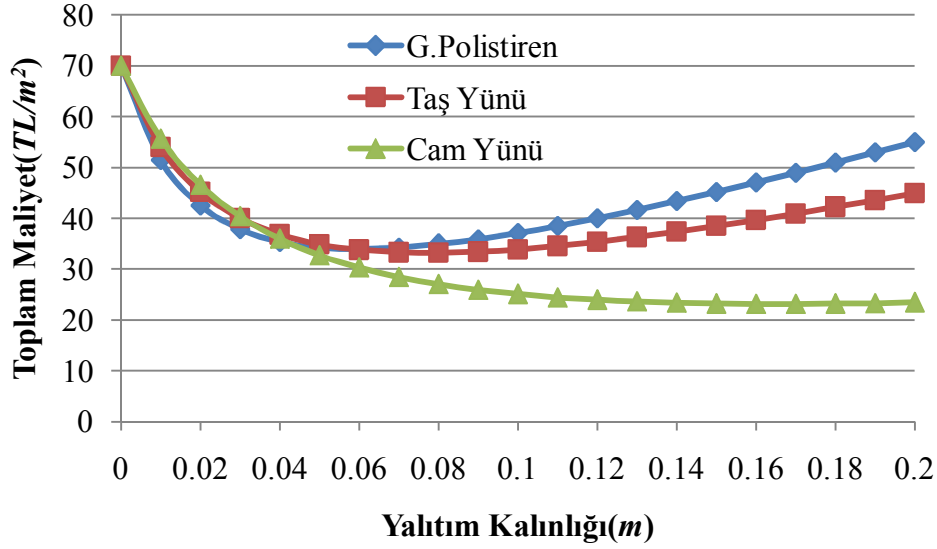


Şekil 3.6.7 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.

Antalya ve İstanbul'a göre daha soğuk bir iklim bölgesinde bulunan Ankara ili için çizilen yıllık tasarruf eğrilerinde, Şekil 3.6.5-7'de görüldüğü gibi yıllık tasarrufun yüksek olduğu bölge geniş bir yalıtım kalınlığı aralığını içermektedir. Hatta Şekil 3.6.7'de cam yünü için eğriler en yüksek değerden geçtikten sonra neredeyse sabit değerlerde kalmaktadır.

3.7 Dördüncü Bölge: Erzurum

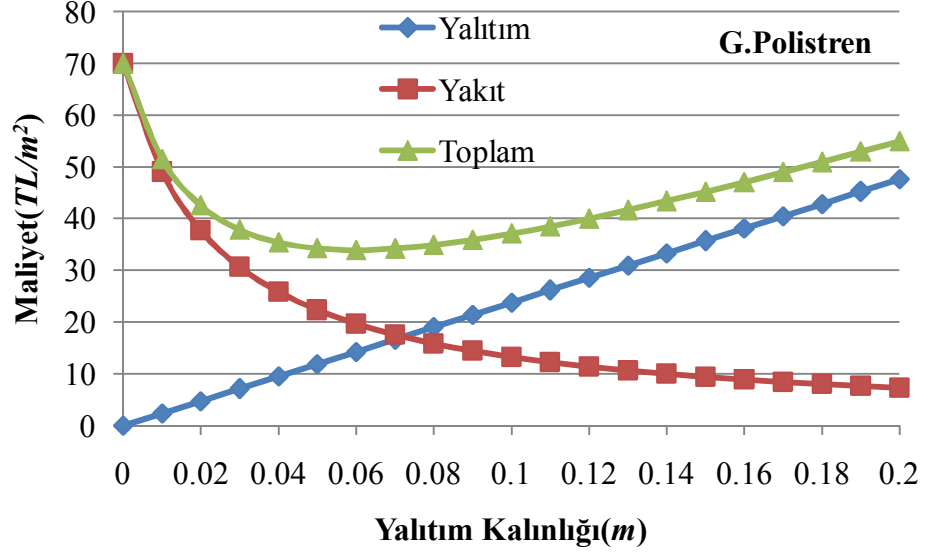
Dördüncü bölgede yer alan Erzurum ili için, doğalgaz yakıt olarak kullanılarak üç yalıtım malzemesi için toplam maliyetin, yalıtım kalınlığına göre değişimi Şekil 3.7.1’de incelenmiştir.



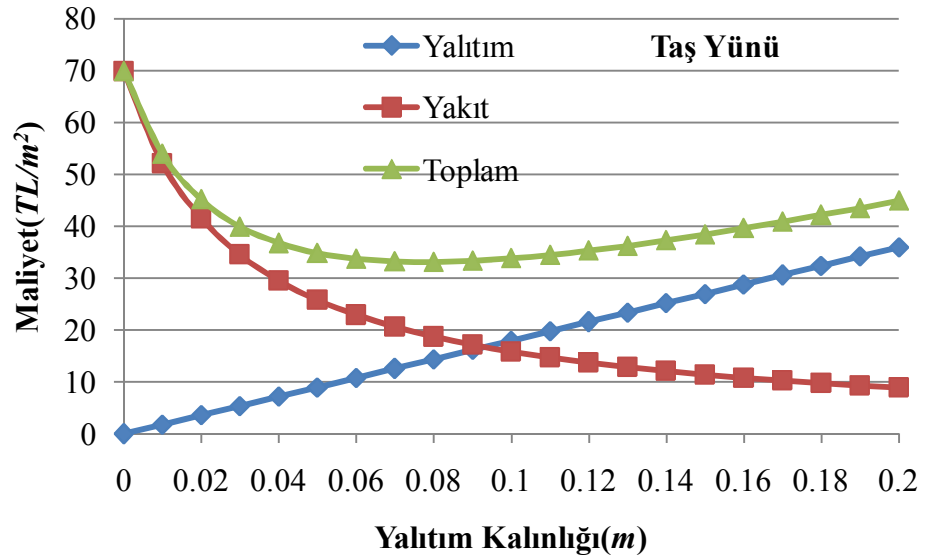
Şekil 3.7.1 : Erzurum için toplam maliyetinin, yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

Antalya için çizilen Şekil 3.4.5, İstanbul için çizilen Şekil 3.5.1, Ankara için çizilen Şekil 3.6.1 ve Erzurum için çizilen Şekil 3.7.1 karşılaştırıldığında, toplam maliyetin yalıtım kalınlığına bağlı olarak değişiminin benzer eğilim gösterdiği, ancak Erzurum ili için toplam maliyetin her üç farklı yalıtım malzemesi için de diğer şehirlerden çok daha yüksek olduğunu göstermektedir.

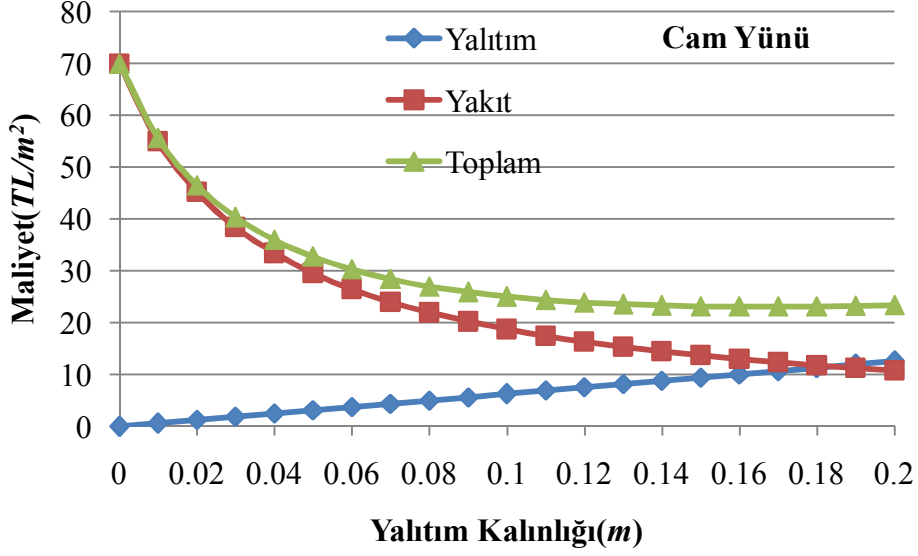
Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında yalıtım, yakıt, toplam maliyet grafikleri genişletilmiş polistiren için Şekil 3.7.2’de, taş yünü için Şekil 3.7.3’te ve cam yünü için Şekil 3.7.4’te çizilmiştir.



Şekil 3.7.2 : Genleştirilmiş polistiren için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

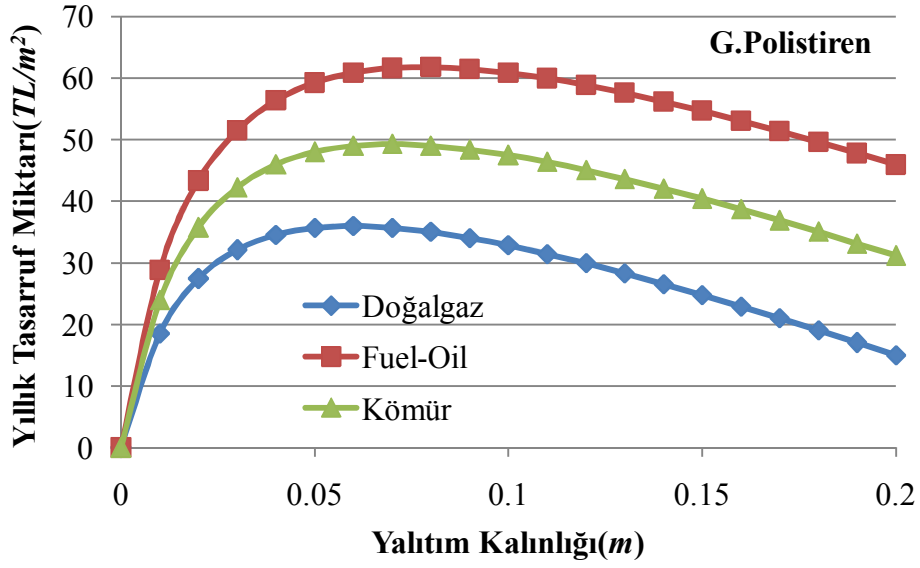


Şekil 3.7.3 : Taş yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

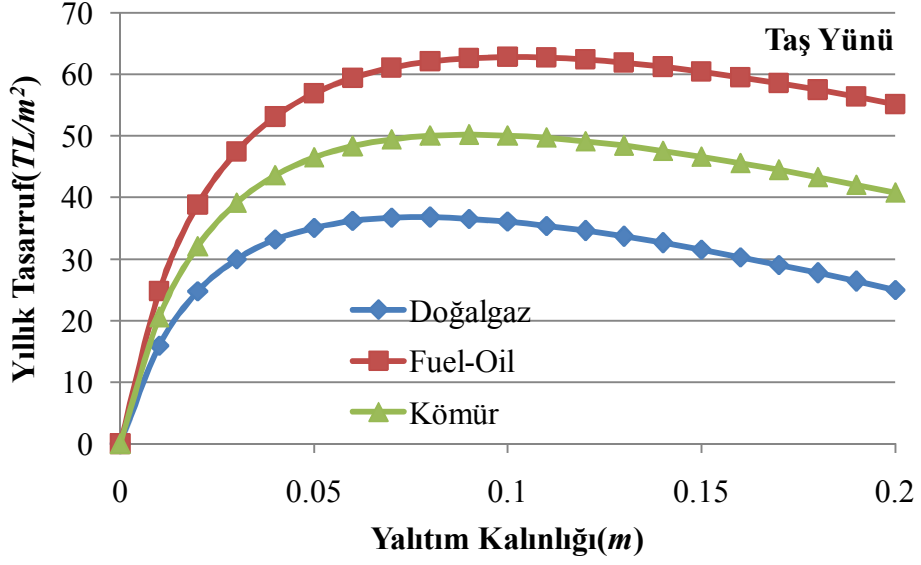


Şekil 3.7.4 : Cam yünü için, yalıtım, yakıt ve toplam maliyetinin yalıtım kalınlığına bağlı değişimi.

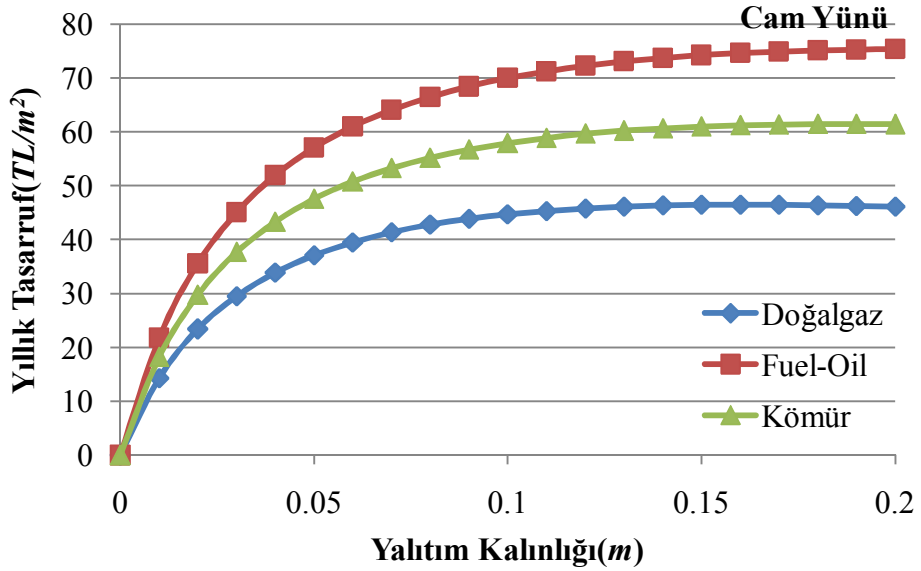
Erzurum ili ve dıştan yalıtımlı duvar tipi için farklı yakıt türlerinin yıllık tasarruf miktarı Şekil 3.7.5’de genişletilmiş polistiren için, Şekil 3.7.6’te taş yünü için ve Şekil 3.7.7’te cam yünü için çizilmiştir.



Şekil 3.7.5 : Genleştirilmiş polistiren için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



Şekil 3.7.6 : Taş yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



Şekil 3.7.7 : Cam yünü için farklı yakıtlar kullanıldığında yıllık tasarruf miktarı-yalıtım kalınlığı ilişkisi.

Şekil 3.7.5-7'den görüleceği gibi yıllık tasarruf eğrileri en yüksek değerden geçtikten düşme eğilimi azalmakta ve cam yünü için yıllık tasarruf belirli bir yalıtım kalınlığından sonra (yaklaşık 0,15 m) aynı kalmaktadır.

3.8 Genel Değerlendirme

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Türkiye'deki derece-gün bölgelerinden seçilen dört il dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu bölümde, genel bir bilgi vermesi açısından derece-gün sayısı ile optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi ilişkisi incelenmiştir.

3.8.1 Optimum yalıtım kalınlığı açısından dört ilin karşılaştırılması

Optimum yalıtım kalınlığı toplam maliyeti minimum yapan değerdir. Bağntı (2.6.12)'da verilen denklemde, dört ilin DG sayıları kullanılarak optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yakıt olarak Türkiye'de yaygın kullanımı olan doğalgaz seçilmiştir. Dört derece-gün bölgesinden seçilen Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları kullanılan yalıtım malzemesine göre Çizelge 3.8.1'de verilmiştir.

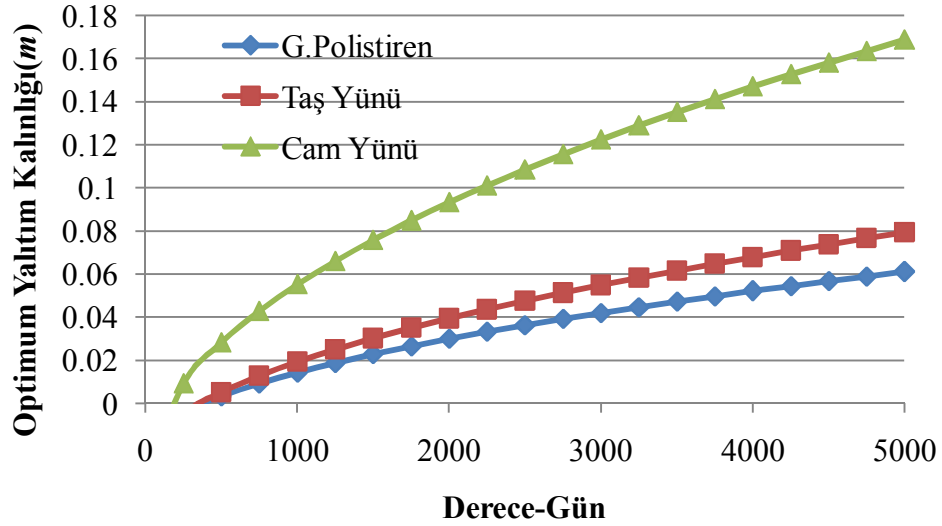
Çizelge 3.8.1 : Dört il ve üç farklı yalıtım malzemesi için elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları.

Bölge	İl	DG	G. Polistiren	Taş Yünü	Cam Yünü
1. bölge	Antalya	1083	0,016 m	0,021 m	0,058 m
2. bölge	İstanbul	1865	0,028 m	0,037 m	0,088 m
3. bölge	Ankara	2677	0,038 m	0,050 m	0,113 m
4. bölge	Erzurum	4827	0,059 m	0,077 m	0,165 m

Çizelge 3.8.1 incelendiğinde, ısıtma derece-gün değeri büyük olan yani daha soğuk iklimlerde bulunan illerde optimum yalıtım kalınlığının daha büyük olduğu görülmektedir. Öte yandan genleştirilmiş polistiren kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı taş yününe ve cam yününe göre azalmaktadır. Cam yünü'nün ısı iletkenlik katsayısı değeri büyük olduğundan optimum yalıtım kalınlığı diğer iki yalıtım malzemesine göre büyük olmaktadır.

3.8.2 Derece-gün sayısı ile optimum yalıtım kalınlığı ilişkisi

Şekil 3.8.2’de yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak genişletilmiş polistiren, taş yünü ve cam yünü kullanılarak bulunan optimum yalıtım kalınlıklarının derece-gün sayısına bağlı olarak değişimi toplu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8.1 : Farklı yalıtım malzemeleri için derece-gün sayısına bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının değişimi.

Şekil 3.8.1’de derece-gün sayısı arttıkça optimum yalıtım kalınlığının arttığı ve bu artışın ısı iletim katsayısı büyük olan cam yününde belirgin olarak daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3.8.1, Bağntı (2.6.12) kullanılarak ve Derece-gün sayısı 5000’e kadar alınarak çizdirilmiştir. Aslında bu grafik denge sıcaklığı 18°C için Derece-gün sayısı olarak tüm Türkiye’yi temsil etmektedir, zira söz konusu denge sıcaklığında en yüksek Derece-gün sayısı Erzurum iline aittir(DG=4827).

3.8.3 Geri ödeme süresi açısından dört ilin karşılaştırılması

Geri ödeme süresi Bağntı (2.6.15) yardımı ile hesaplanmıştır. Bu bağntıda yer alan yatırım maliyeti Bağntı (2.6.8) kullanılarak bulunmuş ve yalıtımsız binanın ısıtma maliyeti Bağntı (2.6.4)’te $x=0$ alınarak hesaplanmıştır. Yalıtım yapılmış binanın ısıtma maliyeti ise Bağntı (2.6.4)’de yalıtım kalınlığı $x=0.04$ m alınarak bulunmuştur. Isıtma maliyetleri hesaplanırken, seçilen illerin DG sayıları ve yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır.

Türkiye’deki dört derece-gün bölgesinden seçilen Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum için hesaplanan geri ödeme süreleri olarak Çizelge 3.8.2’de verilmiştir.

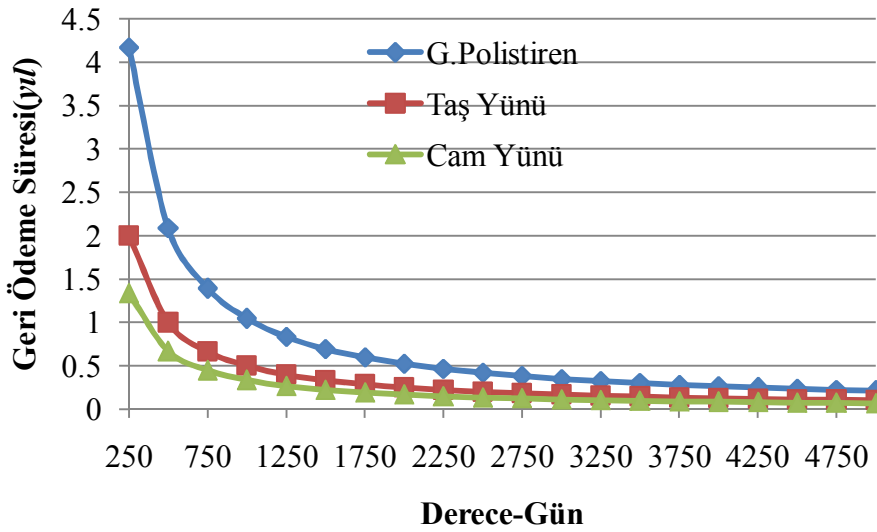
Çizelge 3.8.2 : Dört il ve üç yalıtım malzemesi için geri ödeme süreleri.

Bölge	İl	DG	G. Polistiren	Taş Yünü	Cam Yünü
1. bölge	Antalya	1083	0,96 yıl	0,46 yıl	0,30 yıl
2. bölge	İstanbul	1865	0,55 yıl	0,26 yıl	0,17 yıl
3. bölge	Ankara	2677	0,38 yıl	0,18 yıl	0,12 yıl
4. bölge	Erzurum	4827	0,21 yıl	0,10 yıl	0,07 yıl

Çizelge 3.8.2 incelendiğinde, ısıtma derece-gün değeri büyük olan illerde geri ödeme sürelerinin daha küçük olduğu görülmektedir. Öte yandan illerin hepsinde cam yünü kullanıldığında bulunan geri ödeme süresi geliştirilmiş polistiren ve taş yünü kullanıldığında hesaplanan geri ödeme sürelerinden daha küçük olmaktadır.

3.8.4 Derece-gün sayısı ile geri ödeme süresi ilişkisi

Derece-Gün sayısının geri ödeme süresi üzerindeki etkisi, yakıt olarak doğalgaz, yalıtım malzemesi olarak 0,04 m kalınlığında geliştirilmiş polistiren, taş yünü ve cam yünü seçilerek geniş bir derece-gün aralığında Şekil 3.8.2’de verilmiştir.



Şekil 3.8.2 : Farklı yalıtım malzemeleri için derece-gün sayısına bağlı olarak geri ödeme süresi değişimi.

Şekil 3.8.2 incelendiğinde geri ödeme süresinin üç yalıtım malzemesi için de benzer eğilim gösterdiği ve derece-gün sayısı arttıkça azaldığı ve belirli derece-gün değerlerinden sonra değişmediği görülmektedir. Sonuç olarak, her yalıtım malzemesi için DG sayısı 2500 den sonra geri ödeme süresi hemen hemen aynı kalmaktadır.

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Enerji ihtiyacının sürekli arttığı günümüzde, binaların ısıtılması veya soğutulması için gerekli olan enerji ihtiyacının azaltılması ve ısı kayıplarının en aza indirilmesi önem kazanmaktadır. Binalarda en fazla ısı kaybı delikli tuğla, beton ve ahşap gibi klasik yapı malzemeleri ile inşa edilen dış duvarlardan olmaktadır. Bu nedenle, binalarda yalıtım problemi incelenirken, örneğin optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılırken genellikle dış duvarlardan ısı kaybı dikkate alınmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, yalıtım problemi Türkiye'deki dört derece-gün bölgesinden seçilen birer şehir için incelenmiştir. TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nda yer alan dört derece-gün bölgesinden, aslında iklimsel olarak ayrılmış dört bölgeden, Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri seçilmiştir. Çalışmada, bina dış duvarlarında, yalıtım malzemesinin dış sıvanın altına yerleştirildiği dıştan yalıtımlı duvar tipinin kullanıldığı kabul edilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak ülkemizde yaygın olarak kullanılan genişletilmiş polistiren, taş yünü ve cam yünü kullanılmıştır.

Binanın dış duvarlarında kullanılan yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı hesaplanırken, yıllık enerji miktarı Derece-Gün Yöntemi ile, yıllık enerji maliyeti ise Ömür Maliyet Analizi ile yapılmıştır. Yakıt olarak genellikle Türkiye'de yaygın olarak kullanılan doğalgaz, kömür ve fuel-oil seçilmiştir. Bina dış duvarlarına yapılan yalıtımın optimum kalınlığı derece-gün sayısı ve kullanılan yalıtım malzemesine göre değişmektedir.

Sonuçlar, yalıtım malzemesi ne olursa olsun, ısıtma derece-gün değerinin büyük olduğu yani daha soğuk bölgelerdeki illerde optimum yalıtım kalınlığının ve yıllık tasarruf miktarının daha büyük, geri ödeme süresinin ise daha küçük olduğunu göstermiştir.

Yapılan inceleme, tüm iller için, genişletilmiş polistiren kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı azaldığını göstermiştir. Ayrıca, cam yününün ısı iletkenlik değeri

büyük olduğundan optimum yalıtım kalınlığı diğer iki yalıtım malzemesine göre fazla çıkmıştır.

Çalışmada genel olarak derece-gün sayısı ile optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi arasındaki ilişki de incelenmiştir. Optimum kalınlık-derece-gün sayısı ilişkisi ele alınırken üç yalıtım malzemesi (genleştirilmiş polistiren, taş yünü, cam yünü) ve yakıt olarak doğalgaz hesaplamalarda kullanılmıştır.

Geri ödeme süresi ile derece-gün sayısı arasındaki ilişki incelenirken yalıtım malzemesi kalınlığı 0.04 m seçilmiştir. Çalışmada, derece-gün değeri büyük olan illerde geri ödeme sürelerinin daha küçük olduğu görülmüştür. Geri ödeme süresinin derece-gün sayısı arttıkça azaldığı ve belirli derece-gün değerlerinden sonra hemen hemen değişmediğini göstermiştir. Dört derece-gün bölgesindeki illerin hepsinde cam yünü kullanıldığında geri ödeme süreleri daha kısa olmuştur. Genellikle cam yünü kullanımında daha düşük bir derece-gün değerinden sonra geri ödeme süresi değişmemektedir.

Sonuç olarak, tüm bölgeler için geri ödeme süresi en kısa olan yalıtım malzemesi cam yünü, optimum kalınlığı en küçük olan yalıtım malzemesinin de genleştirilmiş polistiren olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, sonuçlarda Antalya ve İstanbul illerinde cam yünü kullanımı tasarruf sağlarken, genleştirilmiş polistiren ve taş yünü kullanıldığı zaman belli bir kalınlıktan sonra yıllık tasarrufun sağlanamadığı görülmüştür. Ankara ilinde, genleştirilmiş polistiren ve taş yününün Antalya ve İstanbul'dan daha geniş yalıtım kalınlığı aralığında yıllık tasarruf sağladığı anlaşılmıştır. Erzurum ilinde Antalya, İstanbul ve Ankara'dan farklı olarak 0 - 0,2 m yalıtım kalınlığı aralığında her yakıt tipi içinde tasarruf sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Ağra, Ö., Emanet, Ö., Kürekcı, N.A.,** 2009: İstanbul'daki Konutlar İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi, *T.M.M.O. Tesisat Mühendisliği Dergisi*, sayı 109, s.21–27.
- Al-Khawaja, M.J.,** 2004: Determination and Selecting The Optimum Thickness of Insulation for Buildings in Hot Countries by Accounting for Solar Radiation, *Applied Thermal Engineering*, 24, 2601-2610.
- Aytaç, A., Aksoy U.T.,** 2006: Enerji Tasarrufu için Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak.Dergisi*, Cilt 21, No 4, 753-758
- Bahadori A., Vuthaluru H.B.,** 2010: A Simple Method for The Estimation of Thermal Insulation Thickness, *Applied Energy*, 87, 613-619.
- Bolattürk, A.,** 2006: Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 26, 1301-1309.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T.,** 2001: Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey, *Applied Energy*, 69, 269-283.
- Çomaklı, K., Yüksel, B.,** 2004: Environmental Impact of Thermal Insulation Thickness in Buildings, *Applied Thermal Engineering*, 24, 933-940.
- Dağsöz A. K.,** 1999: Konutlarda Ekonomik Isınma El Kitabı, *İTÜ Makine Fakültesi, Isı Geçisi ve Ekonomisi Birimi*.
- Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., Pancar Y,** 2006: Optimization of Insulation Thicknesses for External Walls Different Energy-Sources, *Applied Energy*, 83, 921-928.
- Dombaycı, Ö.A.,** 2007: The Environmental Impact of Optimum Insulation Thickness for External Walls of Buildings, *Building and Environment*, 42, 3855-3859.
- Gölcü, M., Dombaycı, A., Abalı, S.,** 2006: Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak.Dergisi*, Cilt 21, No 4, 639-644
- Hasan, A.,** 1999: Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost, *Applied Energy*, 63, 115-124.
- Incropera F.P., Dewitt D.P.,** 2001: Isı ve kütle geçişinin temelleri, 4.Basımdan çeviri, çevirenler: Derbentli T., Genceli O., Güngör A., Hepbaşlı A., İlken Z, Özbalta N., Özgüo F., Parmaksızoğlu C., Uralcan Y., *Literatür Yayıncılık*.

- Jinghua Y., Changzhi Y., Liwei T., Dan L.,** 2009: A Study on Optimum Thicknesses of External Walls in Hot Summer and Cold Winter Zone in China, *Applied Energy*, 86, 2520-2529.
- Kaynaklı, Ö. Yamankaradeniz, R.,** 2009: Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı, *T.M.M.O. Tesisat Mühendisliği Dergisi*, sayı 110, s.19–25.
- Li, Y.F., Chow W.K.,** 2005: Optimum Insulation-Thickness for Thermal and Freezing Protection, *Applied Energy*, 80, 23-33.
- 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, *Energy and Buildings*, 39, 182-187.
- McAfee R. P.,** 2006: Introduction to Economic Analysis, *California Institute of Technology*.
- Moshen, M.S., Akash B.A,** 2001: Some Prospect for Enerji Saving in Buildings, *Energy Conversion and Management*, 42, 1307-1315.
- Onaylı S.,** 2002: Binalarda Isı Yalıtımı ve Son Teknolojik Gelişmeler, *Yüksek Lisans Tezi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Özel, M., Pıhtılı, K.,** 2008: Determination of Optimum Insulation Thickness by Using Heating and Cooling Degree-Day Values, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 26, 191-197.
- Özel M.,** 2008: Bina Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları için Dinamik Yaklaşım ve Maliyeti Analizi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak.Dergisi*, Cilt 23, No 4, 879-884.
- TS-825,** 2008: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Url-1** < <http://www.tse.org.tr> >, alındığı tarih 30.10.2009.
- Url-2** < <http://www.tuik.gov.tr> >, alındığı tarih 06.04.2010.
- Url-3** < <http://izoder.org.tr> >, alındığı tarih 30.10.2009.
- Url-4** < <http://www.akbank.com> >, alındığı tarih 06.04.2010.
- Uçar, A., Balo F.,** 2009: Effect of Fuel Type on The Optimum Thickness of Selected Insulation Materials for The Four Different Climatic Regions of Turkey, *Applied Energy*, 86, 730-736.

EKLER

EK A.1 : Birimler

Bu çalışmada kullanılan birimler arasındaki dönüşüm katsayıları Çizelge A.1’de verilmiştir.

Çizelge A.1 : Birimler arasındaki dönüşüm katsayıları, (TS-825).

1 kCal	$4,187 \text{ kJ}$
1 kCal	$1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$
1 kWh	860 kcal
$1 \text{ kCal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$	$1,163 \text{ W/m}^2\text{K}$
$1 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kCal}$	$0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$
1 kJ	$0,278 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Metin TOLUN
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 01.01.1977
Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi