

**ISITMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARINDA
OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ
TASARRUFU VE BACA GAZI
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Ali DAŞDEMİR

**ISITMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARINDA OPTİMUM YALITIM
KALINLIĞININ ENERJİ TASARRUFU VE BACA GAZI
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Ali DAĞDEMİR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2011**

Ali DAŞDEMİR tarafından hazırlanan "ISITMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARINDA OPTİMUM YALNIM KALINLIĞININ ENERJİ TASARRUFU VE BACA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylım.

Doç. Dr. Hüseyin KURT

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21.06.2011


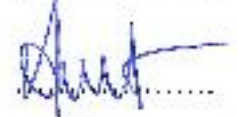
Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Hüseyin KURT (KBÜ)

Üye : Yrd.Doç. Dr. Yusuf ÇAY (KBÜ)

Üye : Yrd.Doç. Dr. Yaşar YETİŞKEN (KBÜ)

İmzası



.../.../2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHİRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ali DAŞDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISITMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARINDA OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ TASARRUFU VE BACA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ

Ali DAŞDEMİR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hüseyin KURT

Haziran 2011, 103 Sayfa

Bu çalışmada, I. ve II. ısı bölgesinden seçilen 16 farklı ilde, sandviç ve dıştan yalıtımlı iki farklı duvar konstrüksiyonu, yalıtım malzemesi olarak taş yünü, genişletilmiş polistiren (EPS) ve sıkıltırılmış polistiren (XPS); yakıt olarak doğal gaz, kömür ve elektrik kullanılarak, ısıtma ve soğutma uygulamalarında dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç, geri ödeme süresi ve yalıtımın baca gazı emisyonlarına etkisi derece-saat ve ömür maliyet analizi yöntemine göre belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ısıtma ve soğutma uygulamalarında, IDS ve SDS değerlerine bağlı olarak, en küçük optimum yalıtım kalınlığı, maksimum yıllık kazanç, minimum geri ödeme süresi, minimum baca gazı emisyonu, sandviç duvarda, yalıtım malzemesi olarak XPS, yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda gerçekleşmiştir.

Anahtar Sözcükler : Isıtma ve soğutma yükü, optimum yalıtım kalınlığı, yıllık enerji kazancı, baca gazı emisyonu

Bilim Kodu : 708. 3.015

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

HEATING AND COOLING APPLICATIONS FOR BUILDING INSULATION THICKNESS DETERMINATION OF OPTIMUM EXTERIOR WALLS AND ENERGY CONSERVATION EFFECT

Ali DASDEMİR

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Huseyin KURT

June 2011, 103 pages

In this study, the optimum insulation thickness, annual saving, payback period and flue gas emissions are determined for two different wall types as sandwich and insulated on external side wall; three different insulation materials as rock wool, expanded and extruded polystyrene; three fuel types as natural gas, coal, electricity in 16 cities of the two degree-days regions by using degree hours and life cycle cost analysis method. According to obtained results, minimum optimum insulation thickness, maximum annual saving, minimum payback period and minimum flue gas emissions as depending on IDS and SDS values were obtained when natural gas are used as energy source and extruded polystyrene (XPS) for heating and cooling applications.

Key Word : Heating and cooling load, optimum insulation thickness, annual energy saving, flue gas emissions.

Science Code : 708. 3.015

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans alıőmalarım boyunca, bilgi ve tecrübelerini benden eksik etmeyen doğruya yönlendiren bütün alıőmalarımda elinden gelen yardımları esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Hüseyin KURT'a, yaptığım çalışmada katkı ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ'ye ve Arő. Gör. Engin GEDİK'e ve hayatım boyunca maddi, manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	8
GENEL ENERJİ DURUMU.....	8
2.1. TÜRKİYE’NİN GENEL ENERJİ DURUMU.....	8
2.1.1. Türkiye’nin Enerji Üretim ve Tüketimi	8
2.1.2. Türkiye’de Genel Enerji Tüketimi	10
2.1.3. Konutlarda Enerji Tüketimi.....	10
2.2. KONUT SEKTÖRÜNDEKİ ENERJİ TÜKETİMİNİN ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİLERİ.....	11
2.3. KONUTLARDA ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMALARI	12
2.3.1. Konutlarda Enerji Tüketimini Etkileyen Etmenler	13
2.3.1.1. Binanın Yeri	13
2.3.1.2. Binanın Diğer Binalara Göre Konumu	13
2.3.1.3. Binanın Yönü	13
2.3.1.4. Binanın Formu.....	14
2.3.1.5. Bina Kabuğu.....	14
2.3.1.6. Güneş Kontrol ve Doğal Havalandırma Sistemleri	15

	<u>Sayfa</u>
2.3.1.7. İklim.....	16
2.3.2. Enerji Verimliliği Uygulamaları.....	16
2.3.3. Binalarda Isı Yalıtımının Önemi.....	16
2.3.3.1. Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisi.....	17
2.3.3.2. Isı Yalıtımının Çevresel Etkisi	19
2.3.3.3. Isı Yalıtımının Isıl Konfora Etkisi	20
2.3.3.4. Isı Yalıtımının Sağlığa Etkisi	21
2.3.3.5. Isı Yalıtımının İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerine Etkisi.....	22
2.3.4. Dünya ve AB’de Isı Yalıtımı.....	22
2.3.5. Türkiye’de Isı Yalıtımı.....	26
BÖLÜM 3	28
ISI YALITIM MALZEMELERİ.....	28
3.1. ISI YALITIM MALZEMELERİNDEN İSTENİLEN ÖZELLİKLER.....	28
3.2. YALITIM MALZEMELERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	29
3.2.1. Gözenekli Özgül Ağırlık	29
3.2.2. Özgül Isı ve Rutubet.....	30
3.2.3. Isı İletim Katsayısı	31
3.3. ORGANİK ASILLI ISI YALITIM MALZEMELERİ.....	32
3.3.1. Oluklu Mukavvalar	33
3.3.2. Pamuk Keçeleri.....	33
3.3.3. Tahta Lifli Hafif Yapı Levhaları.....	33
3.3.4. Anorganik Bağlama Elemanlı Tahta Lifli Yapı Levhaları	34
3.3.5. Turb Yalıtım Levhaları.....	34
3.3.6. Halat, Hortum Şeklindeki Organik Yalıtım Malzemeleri	34
3.3.7. Taneli Yalıtım Malzemeleri.....	34
3.3.7.1. Kuru Taneli Doldurma.....	35
3.3.7.2. Levha ve Şekillendirilmiş Haldeki Mantar	35
3.4. ANORGANİK ASILLI ISI YALITIM MALZEMELERİ	35
3.4.1. Cam Yünü.....	36
3.4.1. Taş Yünü	36
3.4.2. Cüruf Yünü	37

	<u>Sayfa</u>
3.4.3. Asbest	37
3.4.4. Kizelgur	37
3.4.5. Magnezyum Karbonat	38
3.4.6. Magnezit	38
3.4.7. Perlit	38
3.5. SENTETİK ASILLI ISI YALITIM MALZEMELERİ	39
3.5.1. Poliüretanlar	39
3.5.2. Poliüretan Elastomerler	39
3.5.3. Poliüretan Kaplama	40
3.5.4. Pvc, (Polivinil Klorid)	40
3.2.5. Polietilen	40
3.5.6. Polistrol.....	40
3.5.7. Polistiren Plastik Köpük.....	41
3.6. HAVA TABAKALARI İLE ISI YALITIMI	41
BÖLÜM 4	43
ISITMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARI İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ	43
4.1. ISITMA İÇİN YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ	44
4.1.1. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı	44
4.1.2. Isıtma Maliyet Analizi.....	47
4.1.3. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması	48
4.1.4. Geri Ödeme Süresi	49
4.2. SOĞUTMA İÇİN YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ.....	49
4.2.1. Yıllık Soğutma Enerji İhtiyacı	49
4.2.2. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması	50
4.5.3. Geri Ödeme Süresi.....	51
4.3. BACA GAZI EMİSYONLARININ HESABI	52
BÖLÜM 5	55
ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR.....	55
5.1. ISITMA UYGULAMALARI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLARI DEĞERLENDİRİLMESİ	55

	<u>Sayfa</u>
5.2. SOĞUTMA UYGULAMALARI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	62
5.3. YALITIM KALINLIĞININ BACA GAZI EMİSYONLARINA	68
BÖLÜM 6	75
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	82
EK AÇIKLAMALAR A. SEÇİLEN İLLER İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI, GERİ ÖDEME SÜRELERİ, YILLIK KAZANÇLAR.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Dünya enerji tüketim miktarları.	23
Şekil 2.2. Dünya genelinde kullanılan enerji kaynaklarının dağılımı	24
Şekil 2.3. AB’de sektörel enerji dağılımı	25
Şekil 2.4. Isı yalıtımının Kyoto hedeflerine katkısı	26
Şekil 4.1. Türkiye’nin derece gün bölgeleri	43
Şekil 4.2. Soğutma derece gün bölgeleri.	44
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan duvar tipleri.....	45
Şekil 5.1. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda seçilen iller için optimum yalıtım kalınlıkları.	56
Şekil 5.2. Diyarbakır ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	59
Şekil 5.3. Mersin ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	59
Şekil 5.4. Diyarbakır ili için I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi	60
Şekil 5.5. Mersin ili için I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi	60
Şekil 5.6. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda seçilen illerin geri ödeme süresi.	61
Şekil 5.7. Soğutma uygulamasında II. tip duvar için seçilen illerin optimum yalıtım kalınlıkları	62
Şekil 5.8. Şanlıurfa ili için soğutma uygulamasında II. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	65
Şekil 5.9. Mersin ili için soğutma uygulamasında II. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	65
Şekil 5.10. Şanlıurfa için soğutma uygulamalarında II. tip duvarda farklı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı- kazanç ilişkisi	66

Şekil 5.11. Mersin için soğutma uygulamalarında II. tip duvarda üç farklı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-kazanç ilişkisi	66
Şekil 5.12. Soğutma uygulamasında II. tip duvar için seçilen illerin geri ödeme süresi.	67
Şekil 5.13. Optimum yalıtım kalınlığının derece saat değeri ile değişimi	68
Şekil 5.14. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda seçilen illere göre yalıtımsız ve optimum yalıtımlı halde CO ₂ emisyonları	72
Şekil 5.15. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda seçilen illere göre yalıtımsız ve optimum yalıtımlı halde SO ₂ emisyonları	73
Şekil 5.16. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda seçilen illere göre yalıtımsız ve optimum yalıtımlı halde CO ₂ emisyonları	73
Şekil Ek A.1. Yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde. II. Tip duvar için 16 ilin optimum yalıtım kalınlıkları.	87
Şekil Ek A.2. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	88
Şekil Ek A.3. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	88
Şekil Ek A.4. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda taş yünü yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	89
Şekil Ek A.5. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	89
Şekil Ek A.6. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	90
Şekil Ek A.7. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	90
Şekil Ek A.8. Diyarbakır ili için I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi ...	91
Şekil Ek A.9. Mersin ili için I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi	91

Şekil Ek A.10. Diyarbakır ili için ısıtma uygulamasında II. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	92
Şekil Ek A.11. Diyarbakır ili için ısıtma uygulamasında II. tip duvarda taş yünü yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi	92
Şekil Ek A.12. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için I.tip duvar ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde, 3 yalıtım malzemesinin toplam maliyet-yalıtım kalınlığı ilişkisi.....	93
Şekil Ek A.13. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için I.tip duvar ve yakıt olarak elektrik kullanılması halinde, 3 yalıtım malzemesinin toplam maliyet-yalıtım kalınlığı ilişkisi.	93
Şekil Ek A.14. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için I. tip duvar ve yakıt olarak kömür kullanılması halinde, 3 yalıtım malzemesinin toplam maliyet-yalıtım kalınlığı ilişkisi.	94
Şekil Ek A.15. Isıtma uygulamalarında yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde II. Tip duvar için. 16 ilin optimum yalıtım kalınlığında yıllık kazançları.	94
Şekil Ek A.16. Isıtma uygulamalarında yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde I. Tip duvar için. 16 ilin optimum yalıtım kalınlığında yıllık kazançları.	95
Şekil Ek A.17. Isıtma uygulamalarında Şanlıurfa için I. Tip duvarda yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde 3 farklı yalıtım malzemesi için, yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.	95
Şekil Ek A.18. Isıtma uygulamalarında Şanlıurfa için I. Tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde 3 farklı yalıtım malzemesi için, yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.	96
Şekil Ek A.19. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde 2 farklı tip duvarın yalıtım malzemesi-yıllık kazanç ilişkileri.....	96
Şekil Ek A.20. Isıtma uygulamalarında yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde II. Tip duvar için 16 ilin geri ödeme süreleri	97
Şekil Ek A.21. Isıtma uygulamalarında Antalya için I.tip duvarda yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde, 3 yalıtım malzemesinin geri ödeme sürelerinin yalıtıma bağlı değişimi.	97
Şekil Ek A.22. Isıtma uygulamalarında Antalya için I.tip duvarda yakıt olarak elektrik kullanılması halinde, 3 yalıtım malzemesinin geri ödeme sürelerinin yalıtıma bağlı değişimi.....	98
Şekil Ek A.23. Isıtma uygulamalarında Antalya için I.tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde, 3 yalıtım malzemesinin geri ödeme sürelerinin yalıtıma bağlı değişimi.....	98
Şekil Ek A.24. Soğutma uygulamasında I. tip duvar kullanılması halinde 16 il için geri ödeme süresi	99

Sayfa

Şekil Ek A.25. Soğutma uygulamasında I. tip duvar kullanılması halinde 16 il için yıllık kazanç değerleri	99
Şekil Ek A.26. Soğutma uygulamasında II. tip duvar kullanılması halinde 16 il için yıllık kazanç değerleri	100
Şekil Ek A.27. Gaziantep için II. tip duvar kullanılması halin soğutma uygulamalarında yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.....	100
Şekil Ek A.28. Gaziantep ili için I. tip duvardaEPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda ısıtma ve soğutma uygulamalarında maliyet yalıtım kalınlığı karşılaştırması	101
Şekil Ek A.29. Adana ili için I. tip duvarda taş yünü yalıtım malzemesi kullanılması durumunda ısıtma ve soğutma uygulamalarında maliyet yalıtım kalınlığı karşılaştırması	101
Şekil Ek A.30. Adana için II. tip duvarda XPS kullanılması durumunda, ısıtma ve soğutma uygulamalarında yalıtım kalınlığı-yıllık maliyet ilişkisi.....	102
Şekil Ek A.31. Antalya için I. tip duvarda ısıtma ve soğutma uygulamaları için, yalıtım malzemeleri ve geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması Antalya.....	102
Şekil Ek A.32. Seçilen iller için I. tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde yalıtım kalınlığı SO ₂ emisyon ilişkisi	103
Şekil Ek A.33. Seçilen iller için II. tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde yalıtım kalınlığı CO ₂ emisyon ilişkisi.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Türkiye'nin birincil enerji (Bin TEP) üretim hedefleri.....	9
Çizelge 2.2. Türkiye'nin birincil enerji açık tahmin raporu.	9
Çizelge 2.3. Türkiye genel enerji tüketimindeki kaynak payları.	10
Çizelge 3.1. Organik ve anorganik asıllı yalıtım malzemelerinin muhtelif gözenekli özgül ağırlıklarında, hacimsel olarak ihtiva ettikleri gözenek yüzdeler	30
Çizelge 3.2. Bazı yalıtım malzemelerinin özgül ısıları.	31
Çizelge 3.3. Nemin yalıtım malzemesi özgül ısısına etkisi.	32
Çizelge 3.4. Organik yalıtım malzemelerinin muhtelif özgül ağırlıklardaki ısı iletim katsayıları.....	32
Çizelge 3.5. Tahta lifli yapı levhalarının ısı iletim katsayıları.....	33
Çizelge 3.6. Hava tabakası kalınlığına ve hava tabakasının durumuna göre ısı iletim katsayıları	41
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan yakıtlara ait özellikler	51
Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan yalıtım malzemelerine ait özellikler	51
Çizelge 4.3. Çalışmada kullanılan parametreler	52
Çizelge 4.4. Isıtma ve soğutma derece saat değerleri.....	52
Çizelge 5.1. Isıtma uygulamalarında EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.....	57
Çizelge 5.2. Isıtma uygulamalarında taş yünü yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.....	57
Çizelge 5.3. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak XPS, yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.....	58
Çizelge 5.4. Soğutma uygulamalarında EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması	63
Çizelge 5.5. Soğutma uygulamalarında taş yünü yalıtım malzemesi kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması	63
Çizelge 5.6. Soğutma uygulamalarında XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması	64
Çizelge 5.7. Isıtma uygulamalarında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması halinde kömür için CO ₂ emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.....	70

Çizelge 5.8. Isıtma uygulamalarında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması halinde doğal gaz için CO ₂ emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.....	71
Çizelge 5.9. Isıtma uygulamalarında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması halinde kömür için SO ₂ emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.....	72
Çizelge Ek A.1. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda 2 tip duvarın karşılaştırılması	84
Çizelge Ek A.2. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda 2 tip duvarın karşılaştırılması.....	85
Çizelge Ek A.3. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak XPS ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda 2 tip duvarın karşılaştırılması	85
Çizelge Ek A.4. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda 2 tip duvarın karşılaştırılması.....	86
Çizelge Ek A.5. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda 2 tip duvarın karşılaştırılması.....	86
Çizelge Ek A.6. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak XPS ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda 2 tip duvarın karşılaştırılması	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Maliyet [TL/kg, TL/m ³ , TL/kWh]
COP	: Soğutma tesir katsayısı
d	: Enflasyon oranı [%]
E _{AI}	: Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı [Jm ⁻² yıl ⁻¹]
E _{AS}	: Soğutma için gerekli yıllık enerji miktarı [Jm ⁻² yıl ⁻¹]
i	: Faiz oranı [%]
k _y	: Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı [W/mK]
LHV	: Yakıtın alt ısı değeri [J/kg, J/m ³ , J/kWh]
m _f	: Yıllık yakıt tüketimi [kgm ⁻² yıl ⁻¹ , m ³ m ⁻² yıl ⁻¹ , kWhm ⁻² yıl ⁻¹]
M _s	: Yıllık bakım maliyeti [TL m ⁻²]
P ₁	: Şimdiki değer faktörü
P ₂	: İlk yatırım maliyeti [TL m ⁻²]
q	: Yıllık ısı kaybı [Wm ⁻²]
r	: Gerçek faiz oranı
R	: Isıl direnç [m ² KW ⁻¹]
S	: Yıllık Kazanç [TLm ⁻²]
T _b	: Mahal sıcaklığı [°C]
T _o	: Ortalama dış sıcaklık [°C]
T _{odes}	: Dış hava tasarım sıcaklığı [°C]
U	: Toplam ısı transfer katsayısı [W/m ² K ⁻¹]
yal	: Yalıtım
yak	: Yakıt
η	: Yakma sisteminin verimi
x	: Yalıtım kalınlığı [m]

KISALTMALAR

- EPS : Genleştirilmiş Polistiren
TEP : Ton Petrol Eşdeğer
TKI : Türkiye Kömür İşletmeleri
TTK : Türkiye Taş Kömürü Kurumu
OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği rgt
XPS : Sıkıştırılmış Polistiren
GS : Geri deme süresi [Yıl]
IDS : Isıtma derece Saat [C-saat]
SDS : Soğutma derece saat [C-saat]
LCCA : Ömür maliyet analizi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya’da yaşanan enerji krizleri, enerji üretimi, tüketimi ve enerji politikalarında önemli gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Önceki senelerde bilinçsizce kolaylıkla tüketilip israf edilen enerji için son yıllarda geliştirilen enerji politikaları sayesinde enerjinin bilinçli kullanılıp, tasarruf edilme yolları belirlenmeye başlanmıştır. Petrole ve petrol türevi enerji kaynaklarına olan bağımlılık azaltılmaya çalışılmış, güneş, rüzgar ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma imkanları araştırılmaya başlanmıştır.

Her geçen gün kömür, petrol gibi fosil enerji kaynaklarının daha ne kadar süre kullanılabileceği tartışıla dururken, dünya bu kez canlı hayatını tehlikeli boyutlarda etkisi altına alan bir çevre sorunu ile karşı karşıya kalmıştır. Sera etkisi ve ozon tabakasında oluşan deliğin her geçen gün büyümesi sonucunda ortaya çıkan küresel ısınma sorununa çözüm arayışları başlamıştır. Küresel ısınmaya karşı alınacak tedbirlerin başında, atmosfere salınan baca gazı emisyonlarını azaltmanın önemi ortaya konulmuştur. Buda, yakıt yakılarak elde edilen ısı enerjisini daha az yakıt kullanarak elde edebilmekle mümkündür.

Ülkemizdeki enerji üretimi, enerji tüketimini karşılayacak durumda olmadığından, enerji açığı ithal enerji yoluyla karşılanmaktadır. Gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte, nüfus artışı, şehirleşme, yaşam standartlarının gelişmesi, enerji tüketimini hızlı bir şekilde arttırmaktadır. Enerji tüketiminin büyük bir kısmı, binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, enerji tasarruf tedbirleri öncelikli olarak binalarda ısıtma ve soğutma uygulamalarında başlamalıdır. Binaların ısıtma ve soğutma uygulamalarında enerji tasarrufu sağlamanın yöntemi, bina dış duvarlarına yapılan ısı yalıtımıdır. Isı yalıtımı yapılan binaların kışın ısı kaybı, yazın da ısı kazancı azalacaktır. Bilindiği gibi bina duvarına yapılan yalıtımın kalınlığı

arttıkça, ısı kazanç ve kayıpları önemli ölçüde azalırken yalıtım maliyeti de önemli ölçüde artacaktır. Bu durumda, ısı kayıp ve kazançlarının yalıtım ve ısıtma maliyeti açısından minimum olduğu yalıtım kalınlığına karşılık gelen optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi gerekmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı, binanın ısıtma ve yalıtım maliyeti analizi sonucunda belirlenir. Bina duvar konstrüksiyonu, binanın bulunduğu yerin iklim verileri, yalıtım ve yakıt maliyeti, soğutma ve ısıtma yükleri, ısıtma sisteminin verimi, soğutma cihazının performansı, yalıtım malzemesinin ömrü ve faiz, enflasyon gibi ekonomik veriler optimum yalıtım kalınlığını etkileyen parametrelerdir [1]. Farklı metotlar kullanılarak bina dış duvarlarına uygulanan yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemek için bir çok çalışma yapılmıştır.

Bolattürk, yaptığı çalışmada Türkiye'nin birinci iklim bölgesindeki şehirler için optimum yalıtım kalınlıklarını güneş radyasyonunu da dikkate alarak hesap etmiştir. Buna göre sıcak iklim bölgelerindeki binalarda optimum yalıtım kalınlıkları soğutma yüklerine göre değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır [1]. Bolattürk, başka bir çalışmada Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen on altı farklı şehir için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Hesaplama sonucunda, bu değerleri sırasıyla 0.02–0.17 m, %22-%79 ve 1.3–4.5 yıl aralığında belirlemiştir [2].

Gölcü vd. Denizli'deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını, derece-gün sayısını esas alarak hesaplamışlar, enerji kaynağı olarak kömür kullanıldığında; optimum yalıtım kalınlığı, yıllık tasarruf ve geri ödeme süresini sırasıyla 0.048 m, % 42 ve 2.4 yıl olarak elde etmişlerdir [3].

Öztuna, Edirne ilinde altı farklı yakıt türü ve iki farklı duvar konstrüksiyonu için derece gün yöntemini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisini incelemiştir. Yakıt olarak yerli kömür seçildiğinde, EPS yalıtım malzemesi için iki farklı duvar konstrüksiyonu için optimum yalıtım kalınlığını 2.8 ile 3.9 cm, geri ödeme süresini 2.1 ile 4.2 yıl, enerji tasarrufunu ise % 24 ile % 47 aralığında bulmuştur [4].

Çay, yaptığı çalışmada Düzce ilinde bulunan bir bina dış duvarında farklı yapı malzemeleri kullanımında oluşacak optimum ısı yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplamıştır. Çalışma sonunda, yapı malzemesi olarak yatay delikli tuğla kullanıldığında, en düşük optimum yalıtım kalınlığının 0.06 m olduğu belirlenmiştir. Bu durumda enerji tasarrufu % 52 olarak belirlenirken geri ödeme süresi 1.91 yıl olarak bulunmuştur [5].

Deniz vd, Muğla için kömürün yakıt olarak kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığını ve enerji tasarrufuna etkisini araştırmışlar, yakıt türü olarak kömür kullanılması halinde yalıtım kalınlığını 0.04 m olarak tespit etmişlerdir [6].

Yıldız vd. yaptıkları çalışmada ısı yalıtımının çevresel etkilerini hesaplamış, salınan gazların analizini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde, Ankara’da yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlığı 0.06 m bulunmuştur. Ayrıca, yaptıkları baca gazı emisyonu hesabından kömürün yanması sonucu CO₂ emisyonu da % 35 azalma olduğunu tespit etmişlerdir [7].

Mahlia vd. Maldivler için, optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için maliyet analizi ile birlikte kullanılan yakıt türüne göre salınan CO₂ ve SO₂ miktarını araştırmışlardır. Çalışma sonunda duvar bileşenleri içerisinde hava boşluğu kullanılması durumunda yalıtım kalınlığının düştüğünü, CO₂ salınımında % 25’e, toplam gaz salınımında ise % 77’ye varan azalmalar olduğunu göstermişlerdir [8].

Çomaklı ve Yüksel, derece gün sayılarını esas alarak Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye’nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Erzurum, Kars ve Erzincan için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 0.1048 m, 0.1073 m ve 0.085 m olarak bulmuşlardır [9].

Aksoy ve Keleşoğlu, bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma enerjisi üzerindeki etkisini göstermek amacıyla, dar cepheleri kuzey-güney, uzun cepheleri doğu-batı yönünde konumlandırılmış penceresiz bir yapıdaki ısıtma enerjisi miktarı, geri ödeme süresi ve tasarruf oranlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak, yalıtım

kalınlığına bağlı % 19 ile % 77 arasında değişen enerji tasarrufu elde etmişlerdir [10].

Kaynaklı ve Yamankaradeniz, bir bölgenin derece-gün sayısının hesaplanmasına ve dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının tespitine yönelik bir prosedür sunmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda Türkiye geneli için yalıtım kalınlıklarının 2.8-9.6 cm arasında değiştiğini, enerji verimliliği ve binaların soğutma hesaplamalarında ilin yanı sıra ilçe bazında tek tek iklim koşullarının bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir [11].

Al-Khawaja, çeşitli yalıtım malzemeleri ile Katar'daki evler için optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapmıştır. Çalışmasında güneş radyasyonunun etkisini dikkate alarak güneş-hava sıcaklıklarını açık ve koyu renkli yüzeyler, ayrıca farklı yönlere göre ayrı ayrı değerlendirmiştir. Bunların sonucunda en iyi sonucun ısı köprüleri yalıtım levhası (wallmate) adı verilen yalıtım malzemesinin sağladığını belirtmiştir [12].

Özel ve Pıhtılı, dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını ısıtma ve soğutma derece gün değerleriyle birlikte ele alarak incelemişlerdir. Hesaplamalar Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapılmıştır. Dış duvarlara geliştirilmiş polistren yalıtımı uygulanarak, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığını, enerji tasarrufunu ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak, incelenen illere göre optimum yalıtım kalınlığının 0.04 ile 0.084 m arasında değiştiği, yıllık tasarrufun 21.94 ile 97.12 YTL/m² arasında değiştiği ve geri ödeme süresinin ise 1.45 ile 2.05 yıl arasında değiştiğini belirlemişlerdir [13].

Çay, yaptığı çalışmasında optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu üzerindeki etkisini farklı yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemelerine göre araştırmıştır. Optimum yalıtım kalınlığında yıllık enerji tasarrufunun % 21 ile % 80, geri ödeme sürelerinin de 1.24 ile 4.6 yıl arasında değiştiğini beyan etmiştir [14].

Kecebaş ve Kayfeci, soğuk oda tasarımı için optimum yalıtım kalınlığı hesabında kullandıkları optimum yalıtım kalınlığı ile enerji tasarrufu ve maliyet ilişkileri

üzerinde durmuşlar, seçilen illerde optimum yalıtım kalınlıklarının 0.071 ile 0.067 m arasında değiştiğini, yıllık kazancında 43272 \$/800 m²'ye kadar çıktığını belirtmişlerdir [15].

Balo vd. dört iklim bölgesinden birer şehir için bina dış duvarlarında kullanılan yalıtım malzemesinin optimum kalınlığının belirlenmesinde üç farklı metot kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, optimum yalıtım kalınlığı 0.038 m ve 0.144 m, enerji kazancı 2.122 ve 5.992 \$/m², ve geri ödeme süresi 1.99 ile 3.143 yıl arasında değişmiştir [16].

Özkan ve Onan, ısıtma için seçilen dört bölgede, dış duvarlardaki pencere alanının optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca çalışmada yakıt tüketiminin çevresel etkisi üzerinde de durulmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre, XPS yalıtım malzemesi ve doğal gaz kullanıldığında dört bölge için enerji tasarrufu sırasıyla 13.996, 31.680, 46.613 ve 63.071 \$/m² ve geri ödeme süreleri de 2.023, 1.836 1.498 ve 1.346 yıl olarak tespit edilmiştir. Ayrıca CO₂ ve SO₂ salınımında da % 54.67'ye kadar azalma görülmüştür [17].

Daouas, yaptığı çalışmada Tunus'ta hem ısıtma hem de soğutma yükleri için farklı duvar yönlerinin maliyetler üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, en ekonomik sonucun güneğe yönlendirilmiş duvar için elde edildiğini göstermiştir. Bu durumda optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi sırasıyla 10.1 cm, % 71.33 ve 3.29 yıl olarak belirlenmiştir [18].

Daouas vd, yaptıkları farklı bir çalışmada Tunus'daki binalarda iki farklı duvar tipi ve iki farklı yalıtım malzemesi için maliyet analizi yapmışlardır. En iyi sonucu, sandviç tipi duvar yapısında geliştirilmiş polistiren malzeme kullanarak elde etmişlerdir. Sandviç duvar ve geliştirilmiş polistiren kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlığı 0.057 m, enerji tasarrufu % 58 oranında ve geri ödeme süresi 3.11 yıl olarak elde edilmiştir [19].

Yu vd. yaptıkları çalışmada Çin'deki dört şehir için P₁-P₂ ekonomik metodu ile farklı yönlere ait derece-saat değerleri ve 5 farklı yalıtım malzemesi kullanarak optimum

yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda 20 yıllık ömür üzerinden, optimum yalıtım kalınlığı 0.053–0.236 m, geri ödeme süreleri 1.9–4.7 yıl arasında elde edilmiştir [20].

Özel ve Pıhtılı yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Bu amaçla farklı yalıtım kalınlıklarına sahip duvarda cam alanı % 0'dan % 100'e kadar % 10'luk bir artışla artırılarak pencerenin tek cam ve çift cam olmasına göre ısı kazanç ve kayıplarını hesaplamışlar ve yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisinin kışın daha büyük olduğunu göstermişlerdir [21].

Aytaç ve Aksoy, mevcut ısı yalıtım standardına göre Elazığ ili için beş farklı yakıt türü ve iki farklı yalıtım malzemesi için dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar için optimum yalıtım kalınlığını ve ısıtma maliyet ilişkisini incelemiştir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda en iyi sonucu yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak genleştirilmiş polistiren kullanıldığında elde etmişlerdir. Dıştan yalıtımlı bir binada, 4.6 yıl geri dönüşüm süresi ve yılda 16.359 \$/m² tasarruf elde edilirken, sandviç duvarda ise bu değerler, 4.2 yıl ve 20.188 \$/m² olarak tespit edilmiştir. [22].

Mıhlayanlar vd. yaptıkları çalışmada 2 katlı ve 5 katlı iki farklı binada, TS 825 (2008) "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" Standardı'na göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını ve yakıt miktarlarını belirlemişlerdir. Yalıtım düzeyinin iyileştirilmesi ile baca gazı emisyonlarındaki azalmanın değerini ve buna bağlı olarak hava kirliliğindeki iyileşme değerlendirilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, dıştan yalıtımlı duvarda yalıtımsız duvara göre % 71.5'e varan tasarruf tespit etmişlerdir. Yalıtımlı halde yakıt tüketimi azalacağından, yakıt maliyetinden de % 62 tasarruf sağlandığını elde etmişlerdir [23].

ztutku ve Karakuş yaptıkları çalışmada, Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının TS 825 standardına uygunluğunu irdelemişlerdir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında, yalıtımsız durumdaki ısıtma enerjisi ihtiyacına göre % 46.8 azalma olduğu bulunmuş, binanın B tipi enerji verimli bina olduğu tespit edilmiştir. Binanın cam kaplama olması

irdelenmiş; bina cam kaplama alanını % 50 oranında azaltılarak dış duvar eklemesi yapılmıştır. Bu durumda binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı % 17 oranında artış göstermiştir. Bunun yanı sıra, binanın kışın ısıtma sezonu için 1. ve 2. derece gün bölgesi için bir avantaj olduğu, 3. ve 4. bölge için yapılan hesaplamalarda ise TS 825 standardına uygun olmadığını bulmuşlardır [24].

Şişman vd. dört farklı derece gün değerlerine sahip olan İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum illeri için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. Elde ettikleri sonuca göre İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum'da yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması halinde optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla, 0.02, 0.03, 0.04 ve 0.05 m olarak tespit edilmiştir. Yine aynı illerin geri ödeme süreleri sırasıyla, 3.19, 2.58, 2.14, 1.74, olarak elde edilmiştir. [25].

Hasan, yaptığı çalışmada dış duvarlarda optimum kalınlığını tespit etmek için ömür maliyet analizi ve derece gün yöntemini kullanarak geri ödeme süresinin polistiren yalıtım malzemesi için 1-1.7 yıl, taş yünü yalıtım malzemesi için ise 1.3-2.3 yıl arasında değiştiğini göstermiştir [26].

Mohsen and Akash, yalıtım malzemesi olarak polistiren, taş yünü ve hava boşluğu kullanarak yaptıkları çalışmada enerji tasarruflarını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, polistiren ile % 36, taş yünü ile % 34 ve hava boşluğu ile de % 5.4'lük enerji tasarrufu elde edilebileceğini göstermişlerdir. Ayrıca polistiren malzemenin duvar ve çatı yalıtımında diğer yalıtım malzemelerine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [27].

Bu çalışmada ise, I. ve II. ısı bölgesinden seçilen 16 farklı ilde, sandviç ve dıştan yalıtımlı iki farklı duvar konstrüksiyonu için yalıtım malzemesi olarak taş yünü, genişletilmiş polistiren (EPS) ve sıkıştırılmış polistiren (XPS); yakıt olarak doğal gaz, kömür ve elektrik kullanılarak, ısıtma ve soğutma uygulamalarında dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç, geri ödeme süresi ve yalıtımın baca gazı emisyonlarına etkisi derece-saat ve ömür maliyet analizi yöntemine göre belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL ENERJİ DURUMU

2.1. TÜRKİYE’İN GENEL ENERJİ DURUMU

Enerji alanındaki her gelişme kaçınılmaz bir biçimde Türkiye’nin durumunu değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise ülkemizin enerjide % 70’ler düzeyinde dışarıya olan bağımlılığıdır. Ülke nüfusunun artışına ve ekonominin büyümesine paralel olarak enerjiye olan talep de artmaktadır. Ekonomik büyümenin ve nüfus artışının genellikle daha yüksek olduğu gelişmekte olan ülkelerde, gelişmiş ülkelere göre enerjiye olan talepteki artış oranı çok daha yüksek olmaktadır. Enerji talebindeki bu artış, Türkiye için ortalama olarak yaklaşık % 5.5–6 dolayındadır. Ancak son yıllarda enerji talebindeki bu artış % 8 seviyelerine çıkmıştır. Toplam enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithalatla karşılayan ülkemizde 2008 yılı genel enerji üretimi toplamı yaklaşık 106.4 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Bu rakamlar, Türkiye’nin enerji ithal eden ve enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı olan bir ülke olduğu gerçeğini göstermektedir. Enerji Bakanlığı projeksiyonu 2020 yılı itibariyle Türkiye’nin enerji tüketiminin yıllık 222 milyon TEP’e ulaşmasını öngörmektedir. Şu an yürürlükte olan enerji politikası 2020 yılı itibariyle bu talebin karşılanışında yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının oranını mümkün olduğunca artırmayı ve önümüzdeki 10 yıllık süre içerisinde enerjide ülkenin dışa bağımlılığında % 3’lük bir azalmayı öngörmektedir.

2.1.1. Türkiye’nin Enerji Üretim ve Tüketimi

Türkiye’de enerji üretim ve tüketim gelişim eğilimlerinin farklı oluşu nedeniyle, 1970 yılında üretimin tüketimi karşılama oranı % 76.9 iken, 2003 yılında % 28.4’e düşmüştür. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan geleceğe yönelik öngörülerde birincil enerji üretim hedefleri Çizelge 2.1’de verildiği gibidir. Bu

verilere göre üretimin tüketimi karşılama oranı her yıl azalmaktadır [30]. Çizelge 2.1’de verilen değerler dikkate alındığında, 2025 yılında talebin yerli üretim ile karşılama oranının % 26’ya gerileyeceği, ithal enerjinin % 74 gibi büyük bir orana çıkacağı tahmin edilmiştir. Her geçen yıl, enerji ihtiyacı enerji üretiminden daha hızlı artmakta, enerji açığı artarak devam etmektedir.

Çizelge 2.1. Türkiye’nin birincil enerji (Bin TEP) üretim hedefleri [30].

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

Çizelge 2.2. Türkiye’nin birincil enerji açık tahmin raporu [30].

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

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

2.1.2. Türkiye’de Genel Enerji Tüketimi

Şehirleşme oranının artması, hızla artan nüfus ve gelir seviyesinin yükselmesi, ülkemizde tüketilen enerjiyi de artırmıştır. Tüketilen enerjinin büyük çoğunluğunun konvansiyonel enerji kaynağı olması, yenilenebilir enerji kaynağının payının çok küçük olması, bir süre sonra üretimin tüketimi karşılamayacağı anlamına gelir ve dışa bağımlılığı arttırır. Türkiye’nin genel enerji tüketimindeki kaynak payları Çizelge 2.3.’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye genel enerji tüketimindeki kaynak payları [31].

Kaynak	Yıl		
	2000	2010	2020
	Kaynak Payları (%)		
Petrol	40.6	26.6	21.6
Doğal Gaz	16.0	29.3	25.2
Kömür	30.4	37.3	42.5
Hidroelektrik	3.0	3.3	2.8
Diğer	10.0	4.0	7.9

2.1.3. Konutlarda Enerji Tüketimi

Enerji istatistikleri incelendiğinde, konut sektöründeki ısınma amaçlı enerji tüketiminin ülkemizin toplam enerji tüketimi içinde büyük bir paya (~%30) sahip olduğu görülür. Okul, hastane, sosyal ve kültürel tesis ve ticari binalardaki ısınma amaçlı enerji tüketimi de dikkate alındığında, yukarıda belirtilen oranın daha da büyüyeceği ir gerçektir. Isınma amaçlı kullanılan yakıtların kalitesizliği de eklendiğinde, bu sektörün hava kirliliğine katkı payı çok büyük olmaktadır. Enerji istatistiklerine göre konutlarda ısınma amaçlı enerji tüketimi 175 kWh/m² (döşeme alanı) olarak hesaplanmıştır. Gebze’de yapılan anket sonuçlarına göre ise bu tüketimin 100-200 kWh/m² arasında değiştiği gözlenmiştir. Gelişmiş ülkelerde binaların ısıtma-soğutma-havalandırma amaçlı enerji talebinin yeni binalarda 100 kWh/m²’nin altında olması şart koşulmaktadır. Mevcut çalışmalar ise, binaların yıllık ısıtma-soğutma-havalandırma-aydınlatma amaçlı enerji tüketiminin 50 kWh/m²’nin altına çekilmesi ile ilgili olup, bu alanda önemli başarılar elde edilmiştir. Enerji etkin

tasarımın esas alındığı bu binalara düşük enerjili binalar (low energy buildings) ve bu binaları uygulanan mimariye düşük enerjili mimari (low energy architecture) ismi verilmektedir. Düşük enerjili mimarinin amacı daha az fosil yakıt ile daha az para harcayarak ve daha az çevreye zararlı etki ile daha fazla hizmet sunmaktır [31].

2.2. KONUT SEKTÖRÜNDEKİ ENERJİ TÜKETİMİNİN ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİLERİ

Türkiye'de konutlardaki toplam enerji tüketiminin % 20'si kömürden, % 20'si petrolden, % 31'i odundan, % 14'ü hayvan ve bitki artıklarından, % 3'ü doğal gazdan ve % 11'i elektrikten sağlanmaktadır. Kömür tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturan Türk linyitlerinin ısı değeri düşük, buna karşılık rutubet ve kükürt içeriği yüksektir. Yakıt olarak kullanılan fuel-oil'deki kükürt içeriği de bazı önlemler alınmasına rağmen hala yüksek seviyelerdedir. Hayvan ve bitki artıkları ile odunun kontrolsüz bir şekilde yakılması CO₂ emisyonunu önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca odunun kaynağı olan ormanlar, atmosferin bileşiminin dengede tutulması için çok önemlidirler ve Türkiye'de mevcut orman alanları zaten gerekli olan miktarın altındadır. Bu sebeple, Türkiye odun tüketimini de azaltmak zorundadır. Diğer yandan, kömür ve petrolün yerine kullanıma sokulmaya çalışılan doğalgaz, SO_x ve NO_x'ler açısından olumlu olmasına rağmen önemli ölçüde CO₂ emisyonuna sebep olmaktadır. Bu sebeple doğalgaz kullanımı, hava kalitesine olumlu katkıda bulunmakla birlikte, kesin çözüm değildir. Ayrıca, diğer sektörlerde enerji tüketiminin sonucunda bir ürün elde edilir ve böylece ülke büyüme hızına ve hayat seviyesine katkıda bulunulur. Buna mukabil sadece binalarda, ısınma amaçlı enerji tüketimi sonucunda hiçbir ürün elde edilmez. Tüketilen tüm enerji, kullanılmış enerji olarak atmosfere kaybedilir. Bunun sonucunda son yıllarda pek çok şehrimizde ve özellikle kış aylarında hava kirliliği değerleri sürekli sınır değerlerin üstüne çıkmıştır. Kalorifer kazanlarının ve sobaların belli saatlerde yakılması zorunluluğu, diğer bir ifadeyle enerji kısıtlaması da kalıcı bir çözüm değildir. Konfor düzeyi düşürülmeden hava kirliliğinin kontrolü için öncelikle binaların, dolayısıyla konutların, enerji gereksinimleri düşük olacak şekilde tasarlanmaları ve inşa edilmeleri gerekmektedir. Binaların enerji etkin (enerji verimliliği yüksek) tasarımı ve inşası sonucunda ABD ve Avrupa'da binaların ısıtma enerjisi şiddetleri 1975 öncesindeki binalara nazaran %

30-50 oranında azaltılmıştır. ABD'de 1973-1985 yılları arasında 20 milyon yeni konut yapıldığı ve ticari amaçlı alanlar % 40 arttığı halde, bu sektördeki enerji tüketiminde günde 1.2 milyon varil petrol, yıllık enerji faturasında 45 milyar ABD doları tasarruf edilmiş ve yıllık CO₂ emisyonunda %20 azalma gerçekleşmiştir [31].

Türkiye'nin binalarda ısınma amaçlı enerji tüketiminde % 70 oranında tasarruf potansiyelinin olduğu görülmektedir. Konut sektöründeki mevcut tüketim sonucunda ise yaklaşık olarak yılda 60 milyon ton CO₂, 1 milyon ton SO₂, 170 bin ton NO_x, 550 bin ton CO ve 500 bin ton parçacığın atmosfere bırakıldığı belirtilmektedir. Bu durumda, % 70 tasarruf potansiyelinin gerçekleşmesi halinde yıllık toplam CO₂ emisyonunda 40 milyon ton (~% 15), yıllık SO₂ emisyonunda ise 700 bin ton azalma beklenmelidir. Türkiye, 60 milyon tonun üzerinde olan enerji tüketiminin yaklaşık 36 milyon tonunu ithal kaynaklardan sağlamaktadır. Ayrıca hükümetler, hava kirliliğinin azaltılması endişesiyle yerli linyitlerin kullanımı yerine ithal yakıtların kullanımını teşvik etmektedir ki, bu durum ithalat oranının her yıl daha da artmasına sebep olmaktadır. Konut sektöründeki enerji tüketiminin % 70 oranında azaltılması 12 milyon TEP enerji tasarruf edilmesi demektir, bu durumda enerji istatistiklerinde verilen fiyatlara göre yıllık enerji faturasında 6 milyar ABD doları tasarruf sağlanmış olmaktadır. Sonuç olarak düşük enerjili mimarinin Türk bina sektörüne girmesi ve düşük enerjili binaların tasarım ve inşası, ülke ekonomisinin ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için vazgeçilmez bir gerekliliktir [31].

2.3. KONUTLARDA ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMALARI

Türkiye'de genel enerji tüketimi içerisinde yer alan bina kaynaklı enerji tüketimine bakıldığında Avrupa Birliği göstergeleriyle benzerlik göze çarpmaktadır. Bu bağlamda Türkiye ulusal enerji tasarruf potansiyelini değerlendirmek ve uluslararası çevre anlaşmalarından kaynaklanan yükümlülüklerini yerine getirmek amacı doğrultusunda enerji verimliliği hususuna büyük önem vermektedir. Bu önem nedeniyle enerji verimliliği Ulusal Programda da yerini almış ve konutlarda enerji tüketimini etkileyen etmenler incelenmiştir. Ayrıca 8. beş yıllık kalkınma planında ulaştırma, enerji, sanayi ve konut sektörlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını

kontrol etmek ve azaltmak amacıyla enerji verimliliğinin artırılması ve tasarruf sağlanması doğrultusunda düzenlemelerin yapılacağı da ifade edilmiştir [32].

2.3.1. Konutlarda Enerji Tüketimini Etkileyen Etmenler

Binaların pasif sistem olarak enerji performansını etkileyen başlıca tasarım parametreleri olarak; binanın yeri, binanın diğer binalara olan mesafesi ve konumlandırılış durumu, binanın yönü, binanın formu, binayı çevreleyen kabuk elemanlarının ısı geçişini etkileyen fiziksel özellikleri, güneş kontrolü, doğal havalandırma sistemleri ve iklim sayılabilir [32].

2.3.1.1. Binanın Yeri

Binanın bulunduğu yer; enerji harcamalarını etkileyen güneş ışınımı, hava sıcaklığı, hava hareketi ve nem gibi iklim parametre değerlerinin bilinmesi için önemli olduğu kadar, binanın enerji etkinliğinde çok önemli rol oynayan mikro-klima koşullarının da belirleyicisidir [32].

2.3.1.2. Binanın Diğer Binalara Göre Konumu

Binanın konumlandırılış durumu, diğer binalar ve engeller ile arasındaki mesafe, binayı etkileyen güneş ışınım miktarı ve bina etrafındaki hava akış hızını ve tipini belirleyen en önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Bu nedenle, binanın arazideki konumu güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak veya korunmak amacıyla uygun olarak belirlenmelidir [32].

2.3.1.3. Binanın Yönü

Bina yönü, cephelerin doğrudan güneş ışınımından yararlanma oranını, dolayısıyla toplam güneş enerjisinden olan ısı kazancını etkileyen en önemli tasarım parametrelerinden birisidir. Bunun yanı sıra, binaların yönü rüzgâr alma durumunu, dolayısıyla doğal havalandırma olanağını ve binanın taşınım ve hava sızıntısı ile ısı kaybı miktarını da etkiler. Bu nedenle, binanın bulunduğu ilkim bölgesinin

ihtiyaçlarına göre binalar güneş ve rüzgardan gerektiğinde yararlanacak, gerektiğinde ise korunacak şekilde yönlendirilmeli ve bina organizasyonu yönlendirme kriterine göre yapılmalıdır [32].

2.3.1.4. Binanın Formu

Binanın formu da diğerk tasarıml parametreleri gibi binanın çevresel etkenlerden yararlanma veya korunma düzeyini, dolayısıyla enerji performansını belirleyen önemli bir parametredir. Bu nedenle, farklı iklimsel karakterlere sahip yörelerde enerji etkin tasarımda, bina formunun önem kazandığı, geleneksel mimari tasarıml örneklerinde belirgin olarak görülebilir. Soğuk iklim bölgelerinde enerji kaybeden yüzeylerin alanını minimize etmek üzere kompakt formlar, sıcak kuru iklim bölgelerinde ısı kazançlarını minimize etmek, gölgeli ve serin yaşama alanları elde etmek açısından kompakt ve avlulu formlar, sıcak nemli iklim bölgesinde karşılıklı havalandırmaya maksimum düzeyde olanak sağlayan hakim rüzgar doğrultusuna uzun cephesi yönlendirilmiş ince uzun formlar ve ılımlı iklim bölgelerinde mümkün olduğunca kompakt ama soğuk iklim bölgesine göre daha esnek bina formları enerji etkin tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır [32].

2.3.1.5. Bina Kabuğu

Binanın ve ısıtma sisteminin ısısal performansını etkileyen en önemli tasarıml parametresi olan bina kabuğu opak ve saydam olmak üzere, fiziksel özellikleri ve ısı geçişine karşı davranışları birbirinden farklı iki bileşenden oluşmaktadır. Bina kabuğunun ısısal performansını etkileyen en önemli fiziksel zellikleri;

- Opak ve saydam bileşenlerin ısı geçirme katsayısı ($U, W/m^2.K$)
- Opak bileşenin genlik kltme faktörü (j)
- Opak bileşenin zaman geciktirmesi (f, h)
- Opak ve saydam bileşenlerin güneş ışınımına karşı geçirgenlik (opak bileşen için geçersiz), yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları olarak sıralanabilir.

Bir veya birden fazla katmandan oluşmuş herhangi bir kabuk bileşeninin ısı geçirme katsayısı; bileşenin her iki tarafındaki hava sıcaklığı farkı 1 K iken, bileşenin birim alanından bu alana dik doğrultuda birim zamanda geçen ısı miktarı olarak tanımlanır. Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü, içerisinde ısı depolayabilen malzemeler için geçerli olup, saydam bileşenlerin ısı depolama kapasiteleri ihmal edilecek düzeyde olduğundan bu bileşenler için geçerli değildir. Zaman geciktirmesi, bileşenin dış yüzeyindeki maksimum sıcaklığın olduğu saat ile iç yüzeyinde maksimum sıcaklığın olduğu saat arasındaki zaman farkı olarak tanımlanabilir. Genlik küçültme faktörü ise, bileşenin iç yüzeyindeki sıcaklık değişimi genliğinin, dış yüzeyindeki sıcaklık değişimi genliğine oranı olarak belirlenebilir. Yukarıda da ifade edildiği gibi opak bileşenler için geçerli olan zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü bileşenin ısı depolama kapasitesinin, diğer bir deyişle ısı kütlesinin fonksiyonudur. Sıydam bileşenler için ise ısı kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü yok varsayılabılır. Opak ve saydam bileşenlerin güneş ışınımına karşı optik özellikleri olarak bilinen geçirgenlik, yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları, saydam bileşenler için doğrudan ve yaygın güneş ışınımına karşı farklı değerler alırlar. Doğrudan ışınımına karşı saydam bileşenlerin optik özellikleri güneş ışınımının geliş açısına bağlı olarak değişir. Opak bileşenler için ise geçirgenlik söz konusu olmayıp, yutuculuk ve yansıtıcılığın doğrudan ve yaygın ışınım için farklı olmaksızın yüzeyin rengine bağlı olarak değiştiği varsayılır. Bina kabuğu yukarıda sıralanan özelliklerine bağlı olarak dış çevre koşullarını değiştirerek iç çevreye aktaran ve bu şekilde iç çevre koşullarının oluşumunda rol oynayan en önemli tasarım parametresidir [32].

2.3.1.6. Güneş Kontrollü ve Doğal Havalandırma Sistemleri

Binanın güneş ışınımı ve rüzgar gibi çevresel etkenlerden gerektiğinde yararlanabilmesi, gerektiğinde korunabilmesi için yukarıda sıralanan tasarım değişkenlerinin yanı sıra bina kabuğu üzerinde güneş kontrolü ve doğal havalandırma sistemlerine gereksinim duyulabilir. Binanın enerji giderlerini en az düzeyde tutabilmek için bu sistemlerin uygun yönlerde uygun biçim ve boyutlarda tasarlanmış olması gerekir [32].

2.3.1.7. İklim

Belirli bir bölgedeki iklim karakteristikleri, binalarda tüketilen enerji miktarını etkileyen en önemli belirleyici faktörlerden birisidir. İklimsel etki; hava sıcaklığı, rüzgar hızı, güneş radyasyonu, bağıl nem, havanın bulutlu veya açık olması ve yağmur gibi meteorolojik olaylar ile binanın enerji ihtiyacının artmasına veya azalmasına tesir eder. Bu nedenle, binalarda ısı analizlerinin yapılabilmesi için binanın yer aldığı bölgedeki meteorolojik verilere ihtiyaç vardır. Isı hesaplama yöntemlerinde mutlaka dış sıcaklığın bilinmesi gerekmektedir. Böylece iç ve dış sıcaklık farkından dolayı, bina dış yüzeyinden kaybedilen ısı miktarı hesaplanabilir. Ayrıca, dış sıcaklık, durgun ve düşük rüzgar hızlarında, havalandırma oranının hesaplanmasında geçerli bir parametredir. Normal olarak, özel önem alınmamış infiltrasyon kayıpları üzerinde, en önemli etkiyi yapar. Belli bir yerdeki ortalama rüzgar hızı, estiği süredeki şiddeti ve esme yönüne bağlı olarak binanın dış yüzeylerindeki ısı taşınım katsayısını etkileyecektir. Güneş radyasyonu, ısıtma sezonundaki ısı kazancı ve soğutma sezonunda getireceği ilave yük nedeni ile bilinmesi gerekli olan diğer bir veridir [30].

2.3.2. Enerji Verimliliği Uygulamaları

Binalarda enerjinin verimli kullanımında, ilk akla gelen uygulama ısı yalıtımıdır. Isı yalıtımı; ısı kaybı olan tesis ve binalarda, çok fazla yatırım maliyeti gerektirmeden uygulanan ve önemli miktarlarda enerji tasarrufu sağlayarak yatırım maliyetini kısa sürede geri ödeyebilen, enerji tasarrufu yöntemlerinden birisidir. Yalıtım uygulamalarının ekonomik avantajı sadece yakıt yada enerji tasarrufu ile sınırlı değildir. Aynı zamanda enerji üretiminde kullanılan ekipmanların kapasitelerindeki azalmaya paralel olarak, ilk yatırım sırasında ekonomik kazanç sağlanmış olunur. Bu durum binalarda ısı yalıtımı uygulamalarının önemini artırmıştır [32].

2.3.3. Binalarda Isı Yalıtımının Önemi

Binalarda ısı yalıtımı önlemleriyle, binanın durumuna bağlı olarak %20-70 ısı tasarrufu sağlanabilmektedir. Isı tasarrufu, yakıt ve para tasarrufu demektir.

Binalarda yapılan yalıtım, ısıtma veya soğutma tesisatının ilk yatırım giderlerini de azaltmaktadır. Kazan kapasiteleri düşmekte, odalara yerleştirilecek radyatör miktarları azalmakta, boru çapları düşmektedir. Yalıtıma yapılan yatırım, kısa zamanda kendini geri ödemekte, daha sonra yıllar boyu tasarruf sağlanmaktadır. Yakıtı ödenen paranın büyük bir kısmının da ithalat yoluyla yurt dışına gittiği düşünülürse, yalıtım yoluyla sağlanan ısı tasarrufu, döviz tasarrufu anlamına da gelmektedir. Binalarda yalıtım yaparken, en çok ısı kaybı olan yerlere özel önem vererek, her noktada duruma göre yalıtım önlemleri alınmalıdır. Isının en çok kaybedildiği yerler olan çatı, pencere ve dış duvarların öncelikli olarak yalıtılması önerilmelidir. Isı yalıtımında, bilgilendirme ve eğitim ön planda gelmeli ve kullanıcıların özendirilerek yalıtım malzemesi kullanılması sağlanmalıdır. Ancak bunun yanında, yönetmeliklerle de zorlayıcı önlemlerin alınması zorunludur. Binalarda ısı yalıtımının parasal boyutunun yanı sıra, iki önemli boyutu daha bulunmaktadır. Daha az yakıt kullanımı nedeniyle; daha az baca gazı ve daha az çevre kirliliği sonucu ortaya çıkmaktadır. Yalıtımla ilgili diğer bir boyut ise, ısı konfor boyutudur [32].

2.3.3.1. Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisi

İnsanoğlu doğal koşullarda yaşamını sürdürebilecek kürk vb. bir donanıma sahip olmadığından, tarih boyunca kendisi için uygun koşullara sahip doğal sığınaklarda veya kendi yaptığı yapay ortamlarda barınmak zorunda kalmıştır. Bu küçük ortamlarda enerji harcayarak, kendisi için gerekli olan iklim koşullarını oluşturarak en zorlu iklim koşullarında dahi türünün yok olmasını önlemiştir. Başlangıçta duvarları çok kalın olan mağaralara sığınarak dış iklim koşullarından korunuyordu. Yakılan küçük bir ateş insanlar için gerekli olan sıcaklık koşullarının oluşmasına yetiyordu. Mağaralar terk edilerek zamanla; su kaynaklarına yakın bölgelerde yerleşik hayat düzenine geçildi. Bu dönemde inşa edilen yapılarda günümüzdeki örneklerine göre daha kalın olan duvarlar kullanılıyordu. Nüfusun yoğunlaşmasıyla bina sayısı artarak, şehirleşme yolunda ilk adımlar atıldı. Bir süre sonra su kaynaklarına olan yakınlık bir sosyal statü göstergesi haline geldi. Su kaynaklarından uzaklaşıldıkça konutların değeri düşüyordu ve merkezi bölgelerde daha zengin olan kimseler ikamet ediyordu [33].

Tarih boyunca meydana gelen depremler, arsaların ekonomik bir değer haline gelmesi ve malzeme teknolojisindeki gelişmelerle, inşaat işlerinde hafif ve ince yapı elemanları tercih edilmeye başlandı. Kalın duvarlar, ticari değere sahip yapılarda kullanma alanını azaltıyor ve ilk yatırım maliyetini artırıyor. Depremlerde meydana gelen sismik titreşimler neticesinde oluşan moment etkisiyle hantal yapılar yıkılıyordu [33].

Yapı elemanlarının incelenmesi neticesinde sağlanması gereken konfor koşulları için daha fazla enerjinin tüketilmesine ihtiyaç duyuldu. Birinci ve İkinci Dünya savaşları ve ardından 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi nedeniyle enerjinin önemi giderek arttı. Enerji verimliliği ve enerji tasarrufu ile ilgili bilimsel çalışmalara önem verildi. Arsa maliyetleri ve kullanım alanları göz önüne alındığında yaşadığımız ekonomik koşullar yapı elemanları için; hem mümkün olduğu kadar az yer kaplayan, hem de ısı kayıp ve kazançlarının az olduğu tasarımları zorunlu kılmaktadır. Yapı elemanlarının kalınlığını fazla artırmadan, binalarda ısıtma amaçlı enerji tüketiminin azaltılmasının hedeflendiği o dönemlerde ısı yalıtım malzemeleri bu ihtiyaca cevap veren bir çözüm olarak geliştirildi. Yeni ısı yalıtım malzemeleri; hem hafif olmaları hem de ısı geçişine karşı gösterdikleri yüksek direnç nedeniyle günümüz yapılarının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Dört mevsimin yaşandığı ülkemizde, ısıtmanın yanı sıra soğutma ihtiyacı da gün geçtikçe artıyor. Konutlarda; kaybedilen veya kazanılan enerjinin büyüklüğü, ısıtma veya soğutma amacı ile tüketilen enerji miktarını belirlediğinden, enerji tasarrufu sağlamak için yaşadığımız alanın ısı kaybı/kazancını azaltmak gerekir. Yapı bileşenleri üzerinden geçen ısı enerji miktarını sınırlandırmak; bina kabuğunda ısı yalıtımı yapılması, yalıtımlı doğrama ve camların kullanımı ile mümkündür. İnsanların yaşam kalitesinden ve konforundan ödün vermeden, enerji tasarrufu sağlamak için alınabilecek üç önlem vardır. Bunlar, yüksek verimli cihazların kullanılması, otomasyon sistemleri ve ısı yalıtımıdır. Bu üç önlem arasında ilk sırayı ise ısı yalıtımı alır. Etkin bir ısı yalıtımının yapılmadığı binalarda, enerji tüketimi çok fazladır. Hesaplamalar, etkin bir ısı yalıtımı ile yapılarda ortalama % 50 enerji tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymaktadır. Enerjinin verimli kullanılmaması, çevre kirliliğine neden olurken doğal yaşamı da olumsuz etkilemektedir [33].

Bütün bu verilere dayanılarak varılabilecek sonuç, binalarda en uygun yalıtım kalınlığını belirleyerek ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiyi en az seviyeye indirip, enerji tasarrufunu büyük oranda arttırmak olacaktır. Yapılacak olan yalıtım kalınlığı belirlenirken bölgenin ortalama yaz ve kış sıcaklıkları yağış ve nem oranları, kullanılacak olan yalıtım malzemesinin fiyatı ve ısı iletim katsayısı göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3.3.2. Isı Yalıtımının Çevresel Etkisi

Literatürde ısı yalıtımının çevresel etkileri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Enerji ihtiyaçlarının artması ve verimli enerji kullanılmaması nedeniyle; hava kirliliği artmaktadır. Hava kirliliğindeki bu artış, kendisini küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle göstermektedir. Küresel ısınma tehdidi ve hava kirliliğini azaltmak; günümüzün en önemli konularının başında gelmektedir.

Küresel ısınmanın, Çernobil'deki gibi trajik sonuçlarının henüz görünmüyor oluşu, çevreciler ve bilim adamlarının sürekli uyarılarına karşın, kamuoyunda beklenen tepkinin ortaya çıkmasını engellemektedir. Kış mevsiminde ısı kayıplarının, yaz mevsiminde ise ısı kazançlarının azaltılması ile elde edilecek yakıt tasarrufu, beraberinde atmosfere atılan sera gazlarında da bir düşüş sağlayacaktır. Kömür, petrol gibi yakıtlar bir yandan gözle görülür biçimde hava kirliliğine yol açarken, diğer yandan küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak iklim değişikliklerine yol açar. Fosil yakıtlar yandığında, renksiz ve yanmayan bir gaz olan karbondioksit açığa çıkmaktadır. Genellikle atmosferin alt tabakası troposferde bulunan karbondioksitin çevre dengesi açısından önemi büyüktür. Enerji tüketimindeki artış sonucu, atmosferdeki karbondioksit miktarı yıldan yıla artmaktadır. Bunun sonucunda, güneş ışınlarının yeryüzüne gidişi ve yansıma ile dönmesi sırasında, çok fazla miktarda enerji soğurulur ve atmosferin sıcaklığı giderek yükselir. Küresel ısınma, sera gazları olarak adlandırılan gazların etkisiyle atmosfer sıcaklığındaki bu yükselmenin bir sonucudur [33].

Enerjinin etkin kullanımını sağlayacak ısı yalıtım önlemleri, fosil yakıt tüketimini azaltarak, küresel ısınmaya yol açan sera gazı emisyonlarının azalmasında önemli bir

rol oynayacaktır. Isı yalıtımı, yaz aylarında soğutma için kullanılan ve ozon tabakasına zarar veren soğutucu gazlara duyulan ihtiyacı da azaltacaktır. Azalan enerji gereksinimi; elektrik ihtiyacını, dolayısıyla elektrik üretimini ve üretimde kullanılan fosil yakıt miktarını; böylelikle de baca gazı emisyonunu azaltmış olacaktır. Kütleli bazda 1 kg kömür yandığı zaman ortaya çıkacak olan 3.0095 kg CO₂ ve 0.01 kg SO₂ düşünülürken, ısı yalıtımının önemi daha iyi anlaşılmaktadır [33].

2.3.3.3. Isı Yalıtımının Isıl Konfora Etkisi

Kapalı ortamlardaki ısı koşulları, o ortamda yaşayan insanların konforunu ve sağlığını doğrudan ilgilendirir. İnsanların çalışma verimlerini büyük ölçüde buldukları ortamın sıcaklığı belirler. Çalışma ortamının ısı koşulları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını doğrudan etkiler. Çok soğuk yada çok sıcak ortamların çalışma verimini düşürdüğü bilinen bir gerçektir. Yine çok soğuk ortamların yol açtığı sağlık sorunları da iş gücü kaybına ve buna bağlı sağlık harcamalarına neden olmaktadır. Yapılan araştırma sonuçları, ortam sıcaklığının iş yerlerinde iş kazalarına yol açtığını göstermektedir. Ortaya konulan bu durumu düzeltebilmek için yapılarda ısı konforu sağlamak gerekir. Isıl konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı düşürülmelidir. Bu fark ne kadar yüksek olursa, konfor da o kadar düşük olacaktır. Konforlu bir mekân için bu farkın en fazla 3 °C olması gerekmektedir. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması durumunda, ısının ortam içinde soğuk yüzeylere doğru hareketi, istenmeyen hava akımları oluşturur. Bu hava akımları da konforu azaltarak hastalıklara neden olur. İç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkı azaltmak için ısı yalıtımı gerekir. Isı yalıtımı ile mekânın her noktasında homojen bir sıcaklık sağlanır ve hava akımları engellenmiş olur. Böylece, hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam sağlanır. İç ortamda üretilen su buharı, yapılara zarar veren bir potansiyele sahiptir. Su buharı; basınç farkı nedeniyle ısı akımı ile aynı yönde hareket ederek yapı elemanının gözeneklerinden geçer ve dış ortama ulaşmaya çalışır. Su buharının yapı elemanı içerisindeki bu geçişi sırasında, doyma veya daha düşük sıcaklıkta bir yüzeyle temas etmesi durumunda buharın bir kısmı yoğunlaşarak su haline geçer. Yapı elemanları içerisinde birikerek yapıya ve konforumuza zarar verir.

Yoğuşma iç yüzeyde veya yapı elemanları içinde meydana gelebilir. Bu nedenle, yapı elemanları tasarlanırken mutlaka yoğuşma kontrolü yapılmalıdır. Bina kabuğu tasarımında; bağıl nem değerinin, kısa süreler için bile % 80'den yüksek olması durumunda iç yüzeylerde küf oluşumu riski vardır. Yüzeyde meydana gelen yoğuşma, neme karşı hassas olan korunmamış yapı malzemelerinde hasarlar oluşmasına neden olabilir. Yüzeydeki nem miktarının fazla olması; telafisi olmayan, fiziksel değişikliklere (dökülme, kabarma vb.), kimyasal reaksiyonlara (paslanma vb.) ve biyolojik gelişmelere (ahşabın çürümesi vb.) neden olarak konforumuzu bozar. Yapı elemanlarının ara yüzeylerinde meydana gelen yoğuşma, yapının yük taşıyıcı kısımlarında bulunan demirlerin paslanmasına neden olduğu için, yapı ömrünü tehdit eden unsurlardan biridir. Yoğuşmanın hiç olmaması için, yapı bileşeni içindeki tüm sıcaklıkların, su buharının doyma sıcaklığından daha yüksek olması gerekir. Bu da yapı bileşeninin dış iklim koşullarından korunmasıyla, yani dış cephe ısı yalıtım sistemleri ile sağlanır. Dıştan yalıtımlı yapılarda, yapı bileşenleri, ısı yalıtımının sıcak tarafında kalmış ve yoğuşma sıcaklığının üstünde tutulmuş olur. Böylece, yapı bileşenleri yoğuşmanın zararlı etkilerinden korunur.

Yoğuşmanın zararlı etkilerinden korunmak için yapılabilecek uygulamalardan biri de içten ısı yalıtımı uygulamalarıdır. Bu uygulamalarda, yapı bileşeninin içerisinden geçen su buharının azaltılması için buhar difüzyon katsayıları, yüksek buhar dengeleyicileri kullanılabilir. İçten ısı yalıtımı uygulamaları ile iç yüzeyin sıcaklığı su buharının doyma sıcaklığının üzerinde tutularak küf, mantar vb. oluşumu engellenir. Ayrıca yapı bileşeni içerisinden geçen su buharı miktarı sınırlandırılarak meydana gelebilecek yoğuşma miktarının yapı malzemelerine zarar vermesi önlenir [33].

2.3.3.4. Isı Yalıtımının Sağlığa Etkisi

Isı yalıtımsız ortamlarda oluşan nemin, değişik hastalıkların başlamasına veya var olan hastalığın ilerlemesine sebep olduğu bilinmektedir. Nemli ortamlar, mikroorganizmaların üremesi için uygun koşulları oluşturan ortamlardır. Bu da ortamdaki havanın solunması halinde solunum yolları için zararlı hale gelmesine yol açar. Nemli ortamlar ve bu ortamlardaki küf oluşumu, özellikle küçük çocukların

astım hastalığına yakalanma riskini büyük ölçüde artırır. Standartlara uygun olarak yapılmış ısı yalıtımı, tüm bu sorunların oluşmasını önler. Araştırmalar, hava kirliliğinin yoğun yaşandığı bölgelerde göğüs hastalıklarına sahip kişi sayısında belirgin oranda artış yaşandığını gösteriyor. Hava kirliliği nedeniyle nefes darlığı, astım, bronşit, üst solunum yolu enfeksiyonları ve zatürree gibi göğüs hastalıklarına yakalanma oranı doğrudan artmaktadır. Hava kirliliğinin sağlık açısından oluşturduğu etkisi, uzun zaman zarfında görülen bir durumdur. Uzmanlar, akciğer kanserinin hazırlayıcı etkenleri arasında ilk sırayı hava kirliliğini söylemektedirler. Ayrıca, hava kirliliğinin kalp ve damar hastalıkları, mide ve bağırsak rahatsızlıklarına yol açtığı, böbrek ve beyni olumsuz etkilediği de uzmanlar tarafından sıkça vurgulanan bir durumdur.

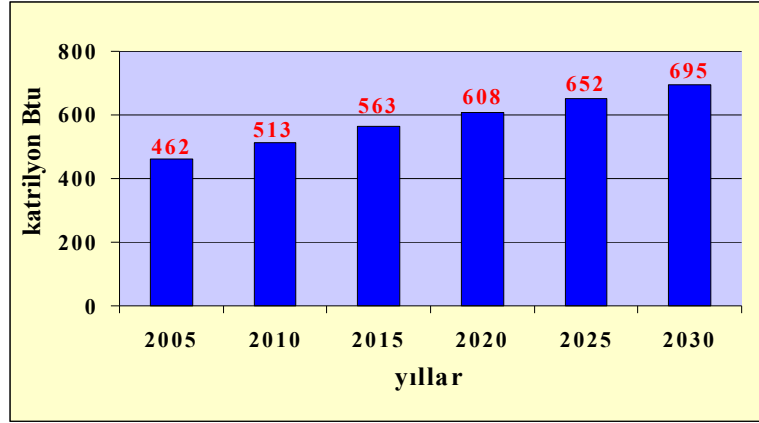
Ayrıca hava kirliliği insanların psikolojik olarak olumsuz etkilenmesine de yol açmaktadır. Hava kirliliğinin iç sıkıntısı olarak kendini gösteren etkilerinin yanı sıra diğer psikolojik rahatsızlıkları tetiklediği de biliniyor. Isı yalıtımı uygulamaları ile ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan enerji miktarı daha az olacağından, hava kirliliği de azalacaktır [33].

2.3.3.5. Isı Yalıtımının İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerine Etkisi

Isı yalıtımı yapılan yeni binalarda, ısınma için daha az enerji gerekeceğinden, kazan büyüklüğü, radyatör sayısı ve kalorifer tesisatının diğer ekipmanları daha az kullanılır. Radyatör sayısının ve dilimlerinin azalması, odaların kullanım alanını da artıracaktır. Isı yalıtımının yaygınlaşması bu alanda yatırımları artıracak ve bu da işsizliği azaltıcı bir gelişme olacaktır. Aynı zamanda tesisatlarda yapılan ısı yalıtımı, tesisatları korozyondan koruyarak ömrünü uzatır [33].

2.3.4. Dünya ve AB'de Isı Yalıtımı

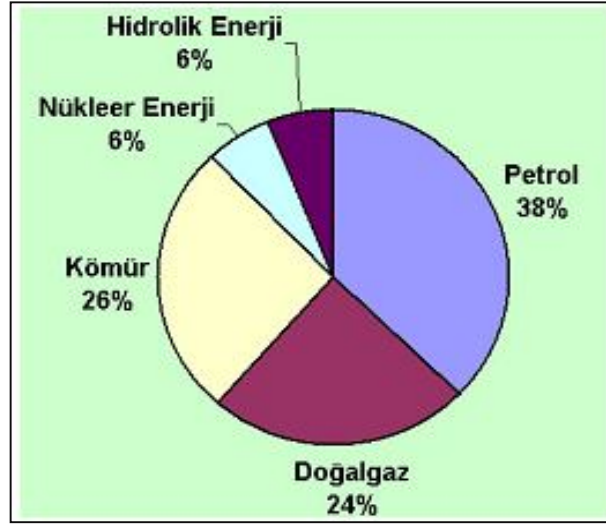
Dünya enerji tüketimi; nüfus artışı ve sanayileşmede yaşanan gelişmelerle orantılı olarak hızla artmaktadır. 2005 yılında 462 katrilyon Btu olan dünya enerji tüketiminin % 50'lik bir artışla 2030 yılında 695 katrilyon Btu'ya ulaşacağı öngörülmektedir



Şekil 2.1. Dünya enerji tüketim miktarları [32].

Dünyada tüketilen enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlar kullanılarak sağlanmaktadır. 2005 yılı dünya enerji tüketimine yönelik kullanılan kaynaklar arasında petrolün payı % 38 oranla ilk sırada yer almaktadır. Petrolü % 26'lık pay ile kömür, % 23'lük pay ile doğal gaz izlemektedir. 2030 yılına yönelik yapılan tahminlerde enerji tüketiminin büyük bölümünün fosil yakıtlar tarafından sağlanmaya devam edeceği öngörülmektedir

Dünyada kullanılan enerjinin büyük kısmı yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilir. Dünya enerji tüketiminde, 2003 yılı verilerine göre, nükleer enerjinin payı % 6, petrol, doğalgaz ve kömürün toplam payı ise % 82 civarındadır. Buna karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik enerjinin payı ciddi oranda yüksektir. Hidrolik enerjinin, dünya enerji üretimindeki payı yaklaşık % 6'dır. Diğer yenilenebilir enerjilerin payı ise yaklaşık % 1'dir [33].

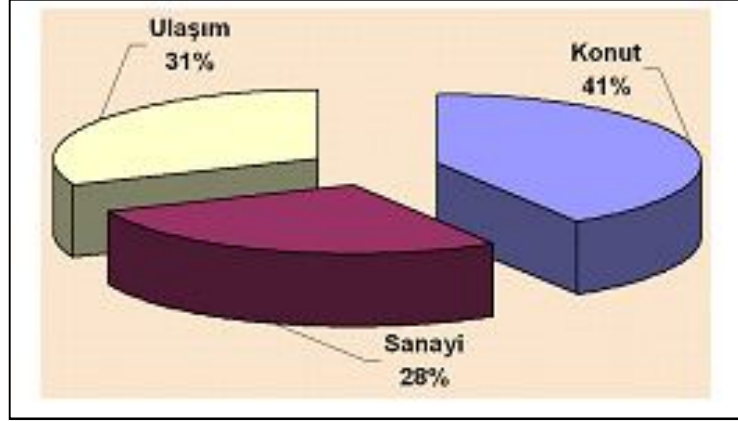


Şekil 2.2. Dünya genelinde kullanılan enerji kaynaklarının dağılımı [33].

Şekil 2.2’de görülen oranlar, enerji için gelecek olan büyük tehlikeyi göz önüne koymaktadır. Şekilde verilen enerji kaynaklarından da anlaşıldığı üzere kullanılan enerji türlerinin büyük çoğunluğu tükenebilir fosil kaynaklardan oluşmaktadır. Bu değerler, fosil yakıtların tüketilmesi ile birlikte enerji rekabetinin ortaya çıkacağını gösteriyor. Bundan dolayı yenilenebilir enerjiler üzerinde daha fazla durulması, rüzgardan, güneşten daha fazla yararlanılması ve elde edilen enerji kayıplarının da en aza indirilmesi gerekmektedir. Fosil yakıtların kullanımı, sadece kaynak tüketimi ile kalmayıp daha önce de bahsedildiği gibi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Özellikle küresel ısınma krizleri, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların hızlanmasına neden olmuştur [34].

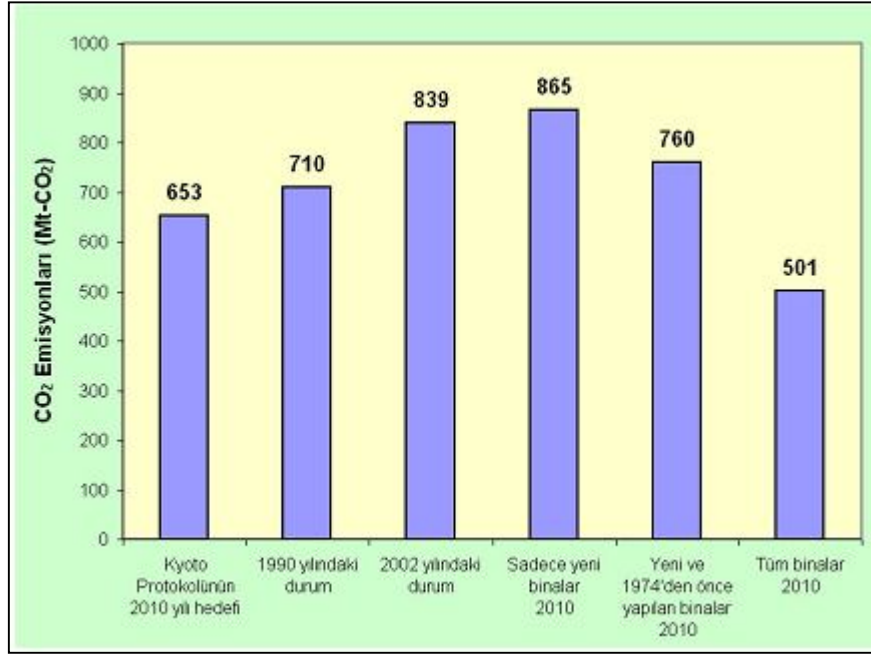
Isı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmaktadır. AB’de konut ve yapı sektörünün toplam enerjinin yaklaşık % 40’ını tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır (Şekil 4.3). Bu nedenle, enerji verimliliği ile ilgili çalışmalarda, inşaat sektörüne yönelik düzenlemeler önemli yer tutmaktadır. Birçok ülke 1970’li yıllardan başlayarak, yeni bina kodları ve standartları geliştirmiştir. Bu standartlar, gelişen yalıtım teknolojilerine bağlı olarak sürekli yenilenmektedir. Özellikle, Avrupa’nın soğuk iklim bölgesindeki Finlandiya, İsveç ve Norveç gibi ülkeler, 1970’li yıllardan itibaren, inşaatla ilgili yönetmeliklerinde, binalarda enerji verimliliği ve buna bağlı olarak ısı yalıtımı ile

ilgili ayrıntılı düzenlemelere yer vermişlerdir. İsveç'in bu konuda hazırladığı yönetmelik, bugün birçok Avrupa ülkesi için model oluşturmaktadır. İsveç'te, 2050 yılına kadar, binalarda % 50 daha az enerji tüketimi sağlanacak şekilde ısı yalıtım standartlarında değişiklik yapılması öngörülmektedir [34].



Şekil 2.3. AB’de sektörel enerji dağılımı [33].

Yapılan araştırmalar, mevcut bina stokunun ısı yalıtımıyla yenilenmesi durumunda, Avrupa'nın çok büyük miktarda enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Avrupa Mineral Yün Yalıtım Malzemeleri Üreticileri Birliği'nin (EURIMA) Aralık 2002 tarihinde yaptırdığı bir araştırmada, yalnızca 1974'ten önce yapılan konutların, ısı yalıtımı ile yenilenmesi durumunda, tüm konut sektörünün ısıtma giderlerinden yaklaşık % 42 tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, kuzey ve merkezi iklim bölgesinde mevcut binaların % 20'si, son 10 yılda ısı yalıtımı ile yenilenmiş ve donatılmıştır. Aynı bölgede, 1974 yılı öncesinde inşa edilen binaların % 70'inin gelecek 30 yıl içerisinde ısı yalıtımı ile yenileneceği öngörülmektedir. Avrupa'da mevcut bina stokuna yapılacak ek yalıtım uygulamalarının çevrenin korunması açısından da büyük yarar sağlayacağı ifade edilmektedir. Avrupa'da yıllık emisyonu, 1990 yılında 710 milyon ton iken, 2002 yılında 839 milyon tona çıkmıştır. Ek önlemler alınmadığı takdirde, CO₂ emisyonunun 2010 yılında 865 milyon tona çıkacağı tahmin edilmektedir. Isı yalıtımı ile enerji tüketiminde sağlanacak % 42'lik tasarruf (Şekil 4.5.) aynı zamanda atmosfere 1 yılda salınan CO₂ miktarının 352 milyon ton geriye çekilmesi anlamına gelmektedir [34].



Şekil 2.4. Isı yalıtımının Kyoto hedeflerine katkısı [33].

2.3.5. Türkiye’de Isı Yalıtımı

Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de nüfusundaki artış ve son yıllarda özellikle ekonomi ve sanayisindeki büyüme ile yapmış olduğu atılımlar, enerji ihtiyacını arttırmakta ve haliyle enerji açığına neden olmaktadır. Türkiye’de enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjiye yöneliş son yıllarda hızla artmaya başlamıştır. 18 Nisan 2007 tarihli resmi gazetede yayınlanan enerji verimliliği kanunu da bunu destekler niteliktedir. Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Yine aynı kanunun 6. maddesi de enerji bilincini arttırmayı hedefleyerek, bakanlıklar tarafından bilinçlendirme eğitimleri verilmesini öngörmektedir. Bu kanun maddelerine de dayanarak devlet önemli teşviklerle enerjinin verimli kullanılmasını özendirilmektedir. Bu teşviklerle birlikte enerjinin verimli kullanılması için ısı yalıtımının önemi biraz daha güncelleşmeye başlamıştır. Son yıllarda bu konuda yapılan bir çok akademik çalışma, optimum yalıtım kalınlığı hesaplama, yalıtım kalınlığı-enerji tasarruf ilişkileri, yalıtım kalınlığı-çevresel etkileri üzerinedir. Yalıtım ile sağlanan enerji tasarrufu, geniş çaplı düşünüldüğü zaman, kişi

başına düşen gelire birlikte enerji için dışarıya çıkan döviz de engellemiş olacaktır. Bu durum, aynı zamanda ülkelerin enerji kaynaklarına bağımlılığını azaltacak ve ülkelere stratejik avantajlar getirecektir. Türkiye'nin konutlardaki enerji bilançosu ekonomik yönüyle incelendiğinde, verimsiz kullanılan enerji miktarının oldukça yüksek olduğu söylenebilir. 2000 yılında konutların ısıtılması için 20.4 milyon TEP enerji tüketilmiştir. Konutların ısıtılması için 3.5 milyar \$ değerinde finansal kaynak kullanılmıştır. Günümüzde konutların ısıtılması için gerekli olan enerjinin maliyetinin 9 milyar \$'dan fazla olduğu tahmin edilmektedir. Enerji ithalatı için ödenen döviz, Türkiye'nin ödemeler dengesi üzerinde baskı oluşturmaktadır. Isı yalıtımı ile yapılacak tasarruf bu baskıyı hafifletmek için, kısa dönemde yapılabilecek en iyi yol olarak gözükmektedir. Yapılan hesaplamalar, tüm bina stokunun mevcut standartlara göre yalıtılması durumunda enerji tasarrufunun parasal olarak yılda yaklaşık 5 milyar \$ olacağını göstermektedir. Isı yalıtımına yapılan harcamaların 2 ile 5 yıl arasında kendini geri ödeyeceği de göz önüne alındığında, çevresel ve iktisadi açıdan yalıtımın önemli bir yatırım olduğu gözükmektedir [34].

BÖLÜM 3

ISI YALITIM MALZEMELERİ

İnsanoğlu enerji kaynakları ile ısınmayı kullanmaya başladığından bu yana, teknolojik alandaki gelişmeler, nüfus artış hızı, son yıllarda özellikle ekonomi ve sanayisindeki büyüme ile yapılmış olan atılımlar, insanoğlunu yeni arayışlara ve yeni kaynaklara yönlendirmiştir. Artan küresel ısınma, şu an kullanılan enerji kaynaklarının hızla tüketiliyor olması, ülkelerin geliştirmiş oldukları enerji politikaları ile birlikte enerji ihtiyaçlarını ve hazırda olan enerjiyi etkin kullanma zorunlulukları sonucunda ısı yalıtımı gündeme gelmiştir. 9 Ekim 2008 yılında ve 27019 sayılı resmi gazetede yayınlanan TS 825 revizyonuna göre yeni yapılacak tüm binalarda ısı yalıtım projeleri TSE 825 standardına göre yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu bölümde, ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri, ısı iletim katsayılarına göre yalıtım uygulamalarında kullanılması uygun malzemeler karşılaştırılmıştır.

Isı yalıtım malzemeleri;

- Organik asıllı
- Anorganik asıllı
- Sentetik asıllı,

olmak üzere başlıca üç grupta toplanabilir. Bazı durumda, organik yapıda, anorganik bağlayıcı elemanlar bulunabileceği gibi, anorganik yapıda da organik bağlayıcı elemanların bulunması mümkündür [35].

3.1. ISI YALITIM MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ

Isı yalıtımı için kullanılan malzemelerin seçimlerinde, kullanılma yerlerine göre bazı özellikleri yerine getirip getirmediğine dikkat edilir. Mesela yalıtım malzemelerinin

hafif olmaları, sarsıntılara karşı ufalanmamaları, rutubetli ortamlardaki çalışmalarda da rutubete karşı mukavemetli olmaları, buhar difüzyonuna müsaade etmemeleri istenir. Muhtelif kullanma yerlerine göre, ısı yalıtım malzemesi seçiminde aşağıdaki malzeme özellikleri göz önüne alınır.

- Özgül hacmi
- Hacim ve şekil değişimlerine karşı mukavemeti
- Basma zorlanmalarına karşı şekil değiştirme mukavemeti
- Konstrüksiyonlarda işleme kolaylığı
- Kimyasal etkisinin olmaması
- Çürüme ve ufalanmaya mukavemetli olması
- Buhar difüzyonuna mukavemetli olması
- Tatbik edilecek konstrüksiyona uygun olması
- Ucuz olması, yanıcı olmaması, kokusuz olması
- Isı iletim katsayısının mümkün olduğunca küçük olması
- Böcek barınacak yapıda olmaması

Isı yalıtım malzemeleri, elektrik yalıtım malzemelerinin aksine gözeneklidirler. Gözenekli yapı, liflerin, tanelerin yığın şeklinde bulunmaları, köpüklü malzeme veya herhangi bir bileşiğin meydana getirdiği bazı kısmi elemanlarının çıkartılması yahut yakılması ile elde edilir. Mesela yanmış olan kil, sünger taşı (bims), tuf (tuff), cüruf, alçı gibi malzemelerden muhtelif yalıtım malzemeleri yapılmaktadır [35].

3.2. YALITIM MALZEMELERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

3.2.1 Gözenekli Özgül Ağırlık

Yalıtım malzemelerinin gözenekli özgül ağırlıkları $\gamma = 10$ ila 1000 kg/m^3 arasında değişmektedir. Yalıtım malzemeleri karakteristikleri icabı, çok sayıda gözenek ihtiva ettiklerine göre sıkıştırmaya bağlı olarak gözeneklerin hacimlerinde değişimler olur. Gözenekli yapıda, sıkıştırma-basma kuvvetine bağlı olarak hacim ve dolayısıyla özgül ağırlığın değişmesi nedeniyle, gözenekli özgül ağırlık deyiminin kullanılması

uygun görülmüştür. Çizelge 3.1’de çeşitli ağırlıktaki yalıtım malzemelerinin hacimsel olarak gözenek yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Organik ve anorganik asıllı yalıtım malzemelerinin muhtelif gözenekli özgül ağırlıklarında, hacimsel olarak ihtiva ettikleri gözenek yüzdeleri.

Gözenekli özgül hacim (kg/m ³)	Organik malzeme ($\gamma = 1500 \text{ kg/m}^3$)	Anorganik malzeme ($\gamma = 2600 \text{ kg/m}^3$)
	Hacimsel gözenek oranı (%)	
10	99.5	99.7
100	93.5	96
300	80	88.5
500	67	81
1000	33	61.5
1500	-	42.5
2000	-	23

Aynı ham maddeden, farklı gözenekli özgül ağırlıkta yalıtım malzemeleri üretilebilmektedir. Yalıtım malzemesinin gözenekli özgül ağırlığı, ısı iletim katsayısı ve özgül ısıya etkiler. Taneli veya toz halindeki yalıtım malzemelerinde, tanelerin birbirlerine göre konumları önemlidir. En sık ve dengeli yerleşme şekli birbirine ikişer noktadan temas eden aynı büyüklükteki üç adet kürenin üzerine yerleştirilen dördüncü küre halinin genişletilmiş şeklidir. Bu şekilde kürelerin büyüklüğüne bağlı olmadan ara boşluklar % 25.94 oranındadır. Kurşun tane halinde % 28.3 ile % 31.8 arasında değişirken, demir tane halinde ise % 35.5 civarındadır. Bu değerlerin değişmesinde yüzey pürüzlülüğünün büyük etkisi olmaktadır. Şayet farklı büyüklükteki küresel taneler dikkate alınır, ara boşluklar daha az olur, dolayısıyla özgül ağırlık artar. Kurutulmuş kum ile beton karışımında ara boşluk % 15 değerine düşer. Şayet iyi bir karıştırma yapılır ve tane çapları farklı olursa, bu değer % 5 kadar düşürülebilmektedir [36].

3.2.2 Özgül Isı ve Rutubet

Yalıtım malzemeleri, üzerinden geçen ısıyı kendi bünyesinde ne kadarını tutabildiği bakımından özgül ısı önemlidir. Anorganik ısı yalıtım malzemelerinin özgül ısı 0.21 kcal/kgK civarındadır. Özgül ısı, alında sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir ve sıcaklıkla artar. Ayrıca yalıtım malzemesinin ihtiva ettiği rutubet miktarı da özgül

ısının yükselmesine neden olur. Çizelge 3.2’de bazı yalıtım malzemelerinin çeşitli sıcaklıklarda özgül ısıları görülmektedir.

Çizelge 3.2. Bazı yalıtım malzemelerinin özgül ısıları.

Yalıtım Malzemesi	Özgül Isı (kcal/kgK)			
	0 - 100°C	0 - 300°C	20 - 600°C	20 - 900°C
Alçı	0.20	0.21	-	-
Asbest	0.20	-	-	-
Asfalt	0.22	-	-	-
Beton	0.304	-	-	-
Bitüm	0.41 - 0.46	-	-	-
Curuf	0.18	-	-	-
Camyünü	0.19 - 0.21	0.22	0.25	0.27
Ham ipek	0.33	-	-	-
Jüt	0.32	-	-	-
Kizelgur	0.21	0.22 - 0.26	-	-
Şekillendirilmiş kizelgur	0.20	-	0.226	0.238
Kuvarz	0.19	-	-	-
Kaolin, kil	0.22	-	-	-
Kum	0.19 - 0.22	-	-	-
Magnezit	0.24	-	-	-
Mantar	0.40	-	-	-
Zifli mantar	0.31 - 0.36	-	-	-
Porselen	0.19	0.21	0.233	-
Tuğla	0.18 - 0.22	-	-	-
Turba	0.45	-	-	-

3.2.2. Isı İletim Katsayısı

Isı iletim katsayısı sıcaklığa, özgül ağırlığa ve neme göre değişen bir özelliktir. Çizelge 3.3’de nem yüzdesine göre yalıtım malzemesi özgül ısısının değişimi verilmiştir. Malzemelerin lift durumlarına, yani liflerin enine veya boyuna olması durumuna göre ısı iletim katsayısı değişmektedir. Yalıtım malzemesinin özgül hacmine göre bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarındaki değişim, Çizelge 3.4’te görülmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, özgül hacim arttıkça, ısı iletim katsayısı da artmaktadır.

Çizelge 3.3. Nemin yalıtım malzemesi özgül ısısına etkisi.

Ağırlıkça nem yüzdesi (%)	Özgül ısı (kcal/kgK)	
	Anorganik	Tahta vb.
0	0.21	0.32
1	0.22	0.33
5	0.25	0.36
10	0.28	0.39
20	0.34	0.44
50	-	0.55

Çizelge 3.4. Organik yalıtım malzemelerinin muhtelif özgül ağırlıklardaki ısı iletim katsayıları.

	Mantar levha	Mineralize ağaç	Organikli lif	Organik lifli şilte	Lifsiz
Özgül ağırlık (kg/m ³)	Isı iletim katsayısı (kcal/mhK)				
20	-	-	-	-	0.030
50	0.029	-	-	0.030	0.032
100	0.032	-	-	0.030	0.033
200	0.040	0.050	0.038	0.038	0.041
400	0.055	0.067	0.044	-	-
500	0.062	0.083	0.050	-	-
600	-	0.106	0.060	-	-

3.3. ORGANİK ASILLI ISI YALITIM MALZEMELERİ

Lif şeklindeki organik yalıtım malzemeleri; pamuk, yün, ipek, jüt, saç, saman, tahta, tahta kıymıkları, talaş ve turbdur. Tane şeklinde olanlar, mantar, turb, toz halinde olan ise talaştır. Köpük şeklinde olanlar ise, sertleştirilmiş suni melamin reçinesidir. Bağlayıcı eleman olarak genellikle katran, asfalt, alçı, çimento, suni reçine, reçine, kola kullanılır. Anorganik bağlama elemanları, ısı iletim katsayısını organik bağlama elemanlarına nazaran yükseltir. Asfalt, katran ve reçine gibi bağlayıcı malzemeler aynı zamanda rutubet yönünden muhafaza malzemesi olarak da iş görürler. Fakat yanıcıdır ve 150–250 °C arasında bağlayıcı eleman olarak kullanılır. Organik ısı yalıtım malzemelerine kullanma yerinin özelliklerine göre, keçe, kumaş, levha gibi muhtelif şekiller verilebilir [36].

3.3.1. Oluklu Mukavvalar

Mukavva imalatında, tahta kıymıklardan yararlanılır. Bu halde bağlayıcı elemana ihtiyaç yoktur. Asfalt veya lak emdirilerek rutubete karşı mukavemet artırılır. Oluklu mukavvalar hava kanalları teşkil edecek şekilde monte edilerek ısı iletim katsayısı 0.005 kcal/mhK değerine kadar düşürülebilir. Yoğuşan suların birikme tehlikesi nedeniyle soğutma tesisleri ile ilgili yalıtımlarda tercih edilmezler. Maksimum 80°C sıcaklığa kadar kullanışlıdır [36].

3.3.2. Pamuk Keçeleri

Pamuk artıklarının keçemsi hale getirilmesi neticesinde ısı iletim katsayısı 0.06 kcal/mhK olacak şekilde 0.5 gr/cm³ özgül ağırlığında yalıtım malzemesi elde edilebilmektedir. Kullanımındaki sakıncalar oluklu mukavvaya benzerdir. Levha halindeki keçe düz ve eğik satırlar ile hava akımına mani olunacak yerlerde tercih edilirler [36].

3.3.3. Tahta Lifli Hafif Yapı Levhaları

Tahta lifli yapı levhalarının imalatında, köknar kıymıkları eleklerde ayrılarak buhar ile yumuşatılarak lifli yapı haline getirilir. Lifler ile su ve fenol reçinesi uygun bir oranda karıştırılarak merdaneler arasından geçirilip belirli kalınlıkta levha haline getirilir. Bu yalıtım malzemesi levha kalınlıkları 6 ile 13 mm arasında olup, ısı iletim katsayısı ise sıcaklık ile neme bağlı olarak değişir. Çizelge 3.5’de sıcaklık ve neme göre, ısı iletim katsayılarındaki değişim görülmektedir [36].

Çizelge 3.5. Tahta lifli yapı levhalarının ısı iletim katsayıları

Ortalama sıcaklık (°C)	0	10	20	30
Ağırlıkça % 7.6 nem	0.035	0.039	0.044	0.048
Kuru	0.031	0.035	0.040	0.044

3.3.4. Anorganik Bağlama Elemanlı Tahta Lifli Yapı Levhaları

Tahta kıymıklarının eleklerde ayrılarak portlant çimentosu veya diğer anorganik bağlama elemanı kullanılarak elde edilir. Bu levhaların basma zorlanmalarına mukavemetleri çok yüksek olup, prefabrik evlerde çok kullanılır. Ortalama olarak, özgül hacimleri 326 kg/m^3 , ısı iletim katsayısı kcal/mhK değerindedir [36].

3.3.5. Turb Yalıtım Levhaları

Özel bir bağlayıcı elemana ihtiyaç olmadan turbun preslenmesiyle elde edilirler. Maksimum $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Ortalama 162.5 kg/m^3 özgül ağırlığında ve $0.0335\text{--}0.041 \text{ kcal/mhK}$ ısı iletim katsayısı değerine sahiptirler. Kullanım yerleri, genellikle hareket halindeki soğutma tesislerinde tercih edilirler [35].

3.3.6. Halat, Hortum Şeklindeki Organik Yalıtım Malzemeleri

Pamuk ve jüt artıkları saç örgüsüne benzer formlarda halat şekline getirilir. Hortum şeklinde olanların içleri mantar taneleri, kizelgur gibi yalıtım malzemeleri ile doldurulur. Her iki yapıda da genellikle sıcak su geçen boruların yalıtımında kullanılırlar. Yoğuşma sebebiyle soğuk yalıtımı ve 90°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda yalıtım için uygun değildirler [36].

3.3.7. Taneli Yalıtım Malzemeleri

Taneli yalıtım malzemelerinin en önemlisi mantardır. Meşe mantarı bilhassa Portekiz, İspanya ve Cezayir'de çok miktarda bulunup, doğal haliyle hava gözenekli taneler halindedir. Öğütme, ayırma, suya bastırma gibi işlemlerle kalitesi yükseltilir. $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de hava gönderilerek hem gözenekler arttırılır hem de küflenmenin önüne geçilir [36].

3.3.7.1. Kuru Taneli Doldurma

Isı yalıtımı yapılacak kısımda meydana getirilen boşluklara kuru mantar taneleri doldurulur. Ortalama 40-50 kg/m³ özgül ağırlığında ve pratik kullanma sıcaklığı olan 100°C ye kadar ısı iletim katsayısı 0.028–0.038 kcal/mhK aralığında değişir. Maksimum 150 °C'ye kadar kullanılabilirler[36].

3.3.7.2. Levha ve Şekillendirilmiş Haldeki Mantar

Pratikte, özellikle işçilik ve konstrüksiyon bakımından kolaylık sağlamak amacıyla basınçla levha haline veya boru şekline getirilmiş mantar kullanılır. Mantar tanelerine zift emdirilerek istenilen şekilde preslenebilir. Bu şekilde elde edilen levha veya şekillendirilmiş haldeki mantarların özgül ağırlıkları 120-150 kg/m³ arasında değişirken, ısı iletim katsayıları 0.030–0.038 kcal/mhK aralığında değişmektedir. Şayet yalıtılacak kısımda hava geçirgenliği de önlenmek isteniyorsa, özgül ağırlığı 250 kg/m³ olacak şekilde preslenmesi gerekir. Bu haldeki mantar, maksimum 110 °C sıcaklıklarda kullanılabilir. Eğer alt kısmına kizelgur tabakası konulursa, 140 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda da kullanılabilirler. Pratikte, soğuk hava tesislerinde, terleme olan duvar, döşeme ve tavanlarda, havalandırma kanallarında, ısıtma ve sıcak su devrelerinde, alçak basınç kazanlarında preslenmiş mantar tercih edilir. Mantar levhaları döşemeden önce, temasta bulunulacak yüzeylere bitüm ihtiva eden harç veya zift tatbik edilir. Sanayide ise kizelgur ihtiva eden harç kullanılır [36].

3.4. ANORGANİK ASILLI ISI YALITIM MALZEMELERİ

Anorganik asıllı ısı yalıtım malzemeleri lif, tane ve toz halindeki anorganik maddelerden meydana gelir. Cam yünü, cüruf yünü, erimiş mineraller, asbest kizelgur, sünger taşı, magnezit, baca kurumu, kömür tozu, kül ise tane şeklinde anorganik maddelerdir. Bağlayıcı eleman olarak portlant çimentosu tercih edilmek üzere çimento, alçıda kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklar için kil ve kuvars gibi seramik cinsi bağlayıcı elemanlardan faydalanılır [36].

3.4.1. Cam Yünü

Cam, yalıtım malzemesi olarak çapları mikron boyutunda olan ince lifler haline getirilerek kullanılır. Cam yünü elde edilebilmesi için hammadde olarak ortalama % 54 SiO₂, % 15.7 Al₂(OH)₃, % 0.5 Fe₂O₃, % 16 CaO, % 3.8 MgO, % 8 boroksit alınır. İmal usulüne göre takriben 3 - 40 mikron çapındaki liflerden meydana gelmiş olup, 500 °C gibi yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilir. Özel olarak imal edilip 700 °C sıcaklığa kadar kullanılan cinsleri de mevcuttur. Daha yüksek sıcaklıklar için arada ya hava boşluğu bırakılır veya kizelgur gibi daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı yalıtım malzemeleri araya yerleştirilir. Özgül ağırlıkları 15-200 kg/m³ aralığında değişirken, ısı iletim katsayıları 0 °C sıcaklıkta 0.028 kcal/mhK değerinden 450 °C sıcaklıkta 0.065 kcal/mhK değerine kadar artmaktadır. Özgül ısı 0.18 kcal/kg °C gibi çok küçük değerdedir olduğundan dolayı aralıklı çalışmalar için uygundur. Diğer yalıtım malzemelerine nazaran pratikte oldukça geniş bir kullanım alanı bulan cam yünü; yanıcı değildir, dış kuvvetler tesiriyle kolayca deformasyona uğrar, higroskopik değildir, kimyasal olarak nötrdür, korozyon tehlikesi yoktur, atmosferik şartlara dayanıklıdır, asitlere karşı (hidroflorik asit hariç) dayanıklıdır, küf tutmaz, haşerelerin yuvalanması olmaz, bıçakla kolayca istenilen şekilde kesilebilir, işçiliği kolaydır, vana gibi çok girintili olan parçaların yalıtımlarına uygundur, deri ile temas edince kaşındırır bu sebeple eldiven kullanılması tavsiye olunur, sarsıntı ve ufanmaya karşı mukavemetlidir. Pratikte buzdolaplarında, gaz fırınlarında, merkezi ısıtma sistemlerinde, duvar, döşeme ve tavanlarda, sanayide, vana yalıtımlarında, taşıtlarda vb. yerlerde kullanılmaktadır [37].

3.4.2. Taş Yünü

Ergimiş camın çeşitli metotlarla lif haline getirilmiş şeklidir. Çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Hammaddesinin esasını silis kumu teşkil eder. Özgül ağırlığı, 20-200 kg/m³ aralığında değişir. Isı yalıtımı uygulamalarında, genellikle 30-100 kg/m³ özgül ağırlığındaki taş yünü kullanılır. Optimum ısı iletim katsayıları, 100-120 kg/m³ arasındaki özgül ağırlıklarda elde edilir. Taş yünüün ısı iletim katsayısı, TS-825'e göre 0.040 W/mK'dır. Taş yünü de cam yünü gibi açık gözeneklidir. Malzemenin % 99'u hava boşluğundan oluşur. Bundan dolayı önlem alınmazsa kolay ıslanır.

Kullanım sıcaklığı -50/+650 °C arasındadır. TS EN 13501'e göre "yanmaz malzemeler" grubundandır. Kullanım yeri ve amacına uygun olarak, farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilirler [28,29].

3.4.3. Cüruf Yünü

Cüruf yünü metalürji sanayinin bir yan ürünü olup, sıvı haldeki cürufun lif haline getirilmesi ile elde edilir. Cam yününe nazaran yapısı homojen olmayıp çoğu hallerde kimyasal bakımdan nötr değildir. Maksimum 750 °C sıcaklığa kadar dayanıklı olup, özgül ağırlıkları 1500 ila 350 kg/m³ arasında değişir. Isı iletim katsayısı, özgül ağırlığa ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için 100 °C sıcaklık ve 150 kg/m³ özgül ağırlığında ısı iletim katsayısı 0.041 kcal/mhK iken, 500 °C sıcaklık ve 350 kg/m³ özgül ağırlığında ısı iletim katsayısı 0.108 kcal/mhK değerine kadar artmaktadır. Cüruf yünü, mineral yün olarak da adlandırılıp vana, flanş ve boru yalıtımlarında kullanılır. Cam yününe nazaran daha ucuz olup, biraz daha yüksek sıcaklığa dayanıklıdır [37].

3.4.4. Asbest

Kısa asbest lifleri, anorganik su camı potasyumlu silikat bağlayıcı eleman yardımıyla püskürtme yalıtım yapılıır. Tabanca ile ısı yalıtımı yapılacak yüzeye püskürtülen asbest lifleri ile yüzeyde hiçbir delik kalmayacak şekilde istenilen kalınlıkta yalıtım yapılabilir. Bu şekilde yapılan yalıtım, ses yalıtımı için de faydalı olduğu gibi yangın tehlikesine karşı da tercih edilen bir yalıtım şeklidir [36].

3.4.5. Kizelgur

Kizelgurun bitkisel bir yapısı olup, kuvarz ihtiva eder. Bitkisel yapı bozulmaya başladığında çok küçük gözenekler oluşmaya başlar. Kirece benzer bir yapıya getirilmekle ihtiva ettiği organik kısımlar kaybolur ve öğütülerek istenilen incelikte elde edilir. Kizelgur, sanayide çeşitli yerlerde yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yanmaz bir malzeme olduğu için yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir [37].

3.4.6. Magnezyum Karbonat

Tabii magnezit taşının (MgO) kireçlendirilmesi, sonra CO₂ ve su ile karıştırılması ile elde edilir. Yüksek sıcaklıklarda çatlaması sebebiyle ancak 270 °C sıcaklığa kadar uygundur [36].

3.4.7. Magnezit

Magnezit aslında çok gevşek ve toz halinde olup, asbest lifleri ile karıştırılarak istenilen şekilde preslenir. Yüksek sıcaklıklarda kizelgur malzemesiyle karışık olarak kullanılır. Genellikle 200 °C sıcaklığa kadar kullanışlı olup, ısı iletim katsayısı 0.047 ila 0.059 kcal/ m²K değerleri arasında değişmektedir [36].

3.4.8. Perlit

Perlit bir silikat türü olup, bünyesinde ortalama % 70–75 arasında SiO₂ silisyum dioksit bulunur. Diğer bileşenleri % 12–16 arasında Al₂O₃, % 4-5 arasında K₂O, % 2–4 arasında Na₂O, % 0.5–2 arasında F₂O₃, % 0.1–0.5 arasında CaO, % 2-6 arasında H₂O ve % 0.1'den daha az MgO, TiO₂, MnO₂, Cr, Ba, PbO, S bulunur. Perlit, ham olarak gri ve siyah arasında muhtelif renk tonlarında olup özgül ağırlığı 2.2–2.4 gr/cm³ arasındadır. Perlit özel olarak yapılan döner fırınlarda 800–1100 °C civarında ısı işleme tabi tutularak genişler, patlar ve küçük tanelere dönüşür. Hacimsel genişleme 10–30 misli kadar olabilmektedir. Genleşmiş perlit olarak, ısı iletim katsayısı yoğunluk ve kullanma sıcaklığına bağlı olarak çok küçük değerlere kadar düşebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Genleşmiş perlitin yoğunluğu 30–190 kg/cm³, ısı iletim katsayısı 0.034–0.040 kcal/m²K arasında olup, ses yalıtımı özelliği de 125 Hz'de 18 dB civarındadır. Ayrıca perlit, su emme özelliğine sahip olması nedeniyle suya karşı yalıtım yapılması gerekli ortamlarda da tercih edilen bir yalıtım malzemesidir [37].

3.5 SENTETİK ESASLI ISI YALITIM MALZEMELERİ

Plastik köpükler olarak da adlandırılan sentetik asıllı yalıtım malzemelerini, ham madde ve elde ediliş, boşluk yapısı, köpürme şekli ile sertlik derecesine göre sınıflandırmak da mümkündür. Burada bazı sentetik esaslı yalıtım malzemeleri tanıtılacaktır [37].

3.5.1. Poliüretanlar (Pur)

Rijit ve elastomer olarak, ayrıca bunların köpük tiplerinde de üretilen poliüretan reçineleri birçok sanayi dallarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İnşaat elemanlarından makine parçalarına, ısı yalıtım malzemeleri ve organ yapımı gibi çok değişik yerlerde kullanılabilen bu plastikler, kullanımı kolay ve ucuz bir malzemedir. Reçinenin büyük bir bölümü hücreli yapıya köpük olarak, kalan kısımlar rijit ve elastomer parça malzeme ve lif imalinde kullanılmaktadır [37].

3.5.2. Poliüretan Elastomerler

Bunlar doğrusal polimerler olup, toluen diizosiyanat veya metilen difenil diizosiyanat ile bifonksiyonel poliollerden (polieter, poliester.) elde edilirler. Polieterler elastomere düşük yoğunluk, iyi hidroliz, küf dayanımı ve iyi dielektrik özellikler için katılırlar. Poliesterler ise yüksek yoğunluk, aşınma ve yırtılma dayanımı ile çözgen direnci vermek için kullanılırlar. Poliüretan elastomerler döküm, termoplast ve öğütülebilir gom şeklinde üretilirler. Sonuncusu birincil plastikler gibi değildir. Diğer elastomerlere göre daha ucuz olan poliüretan elastomerleri ozon, küf, nem, oksidasyon ve aşınmaya daha dayanıklıdır. Döküm poliüretan elastomerlerin çoğu termoset yapıdadır. Alifatik çözücülere, seyreltik asit ve bazlara karşı dayanıklıdır. Soğukta darbe dayanımları yüksektir. Poliüretan elastomerlerine cam ve karbon elyafı katılarak mekanik özellikleri, özel ve çeşitli dolgularla da UV, hidroliz ve oksidasyon dirençleri artırılır [37].

3.5.3. Poliüretan Kaplama

Köpük ve elastomer olarak uygulanabilir. Köpük poliüretan kaplama, daha çok yalıtma amacıyla yapılır. İçten veya dıştan karıştırmalı özel tabancalarıyla RIM usulüne göre püskürtülür. Özel koruyucu donanım gerektirir. Tipik kullanım yerleri kapılar, su ısıtıcıları, çatı kaplamaları, soğutucular ve buz kutuları imalidir. Elastomer kaplama iyi yapışma, çabuk kür, cidar esnekliği ve kimyasal direnç gibi özellikler dolayısıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [37].

3.5.4. PVC (Polivinil Klorid)

Sert, yumuşak, opak ve saydam tipler halinde, termoplast bir ürün olarak üretilen PVC özellikle plastikleştirici ile işlenmiş şekilde yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Petvinil adıyla, Petkim tarafından 150000 ton/yıl kurulu kapasite ile üretilen PVC, özellikle kablo yapımında güçlük ve pahalı bir şekilde kullanılan lastiğin egemenliğini ortadan kaldırmıştır. Zira hem üretim kolaylığı, hem ucuzluk ve hem de çevre koşullarına daha dirençli olmasından dolayı PVC bu sanayi dalındaki yerini almıştır [35]. PVC, Türk Standartları Enstitüsüne hem hammadde olarak, hem de biçimlendirilmiş ürünler olarak standart kapsamına alınmıştır [37].

3.5.5. Polietilen (Pe)

Günümüzde plastikler içinde en fazla üretilen polietilen, toplam plastiklerin % 40'ı kadar bir tüketim oranına sahiptir. Alçak, orta, yüksek ve çok yüksek yoğunluk türlerinde üretilen polietilenin yaygın olanları alçak ve yüksek yoğunluklu olanlarıdır. Polietilenler genellikle elektriksel uygulamalar için daha elverişli yalıtım malzemeleri olarak bilinirler [37].

3.5.6. Polistrol

Benzol (C_6H_6) ve etilen ($CH_2=CH_2$) ile alüminyum klorür ($AlCl_3$) birleşmeleri sonucu etillenzol ($C_6H_5-CH_2-CH_3$) elde edilir. Polimerizasyon ile de polistrol meydana gelir. Polistrol, $70^\circ C$ 'ye kadar dayanıklı olup, ısı iletim katsayısı 0.12

kcal/mhK civarındadır. Sitirofleks, 0.02 ila 0.15 mm kalınlığındaki polistrol levhaların yanyana dizilmelerinden meydana gelir. Elastik ve bükülebilir özellikte olan sitirofleks sarsıntıyla ufalanmaz, özgül ağırlığı tabaka kalınlığına bağlı olmakla beraber 12 kg/m^3 civarındadır ve $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $80 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklar arasında kullanılabilir. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki ısı iletim katsayısı 0.029 kcal/mhK 'dir. Polistrol köpükler, sitropor, eksporit, izokolor, poresta, isopor, lamipor, nobipor gibi isimlerle satılır. [37].

3.5.7. Polistiren Plastik Köpük

Ambalajlama ve ısı yalıtımları uygulamalarında polistiren köpük kullanımı oldukça fazla ve yaygındır. Korozyona uğrama, küflenme, çürüme gibi istenmeyen özellikleri taşımaması, ucuz olması yaygın kullanımındaki etkinliğini açıklamaktadır [37].

3.5. HAVA TABAKALARI İLE ISI YALITIMI

Hareketsiz haldeki hava tabakası ısı geçişine karşı önemli bir direnç göstermektedir. Bundan dolayı birçok yerde hava tabakası, yalıtım malzemesinin yerine kullanılır. Hava tabakasının yatay ve düşey olmasına ve hatta yatay tabakalarda ısının aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya geçmesine göre göstermiş olduğu direnç değişir. Çizelge 3.6'da hava boşluğunun konumuna bağlı olarak farklı kalınlıklardaki hava tabakalarının ısı iletim katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.6. Hava tabakası kalınlığına ve hava tabakasının durumuna göre ısı iletim katsayıları

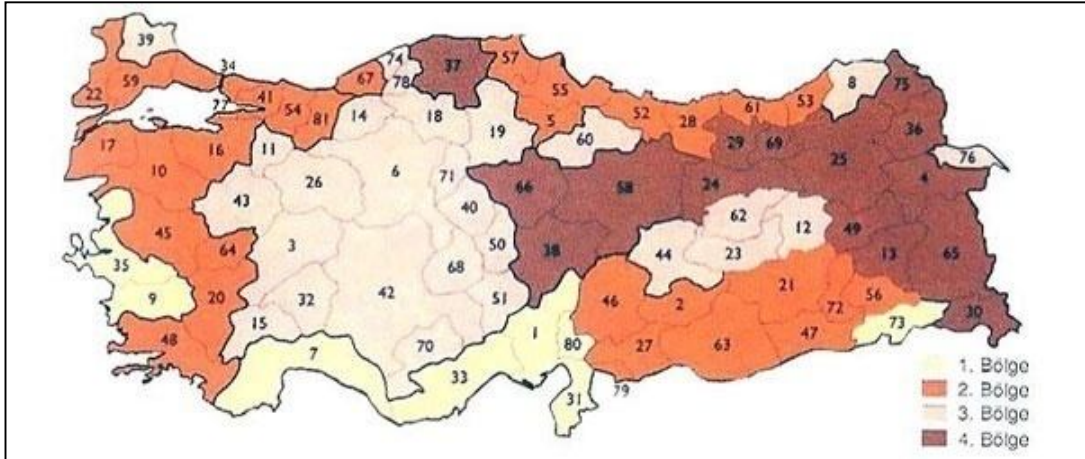
Kalınlık (cm)	0.5	1	2	4	6	8	10	15	20
Konum	Isı iletim katsayısı (kcal/mhK)								
Düşey	0.037	0.056	0.099	0.190	0.286	0.385	0.485	0.740	1.00
Yatay (Isı yukarıya)	0.038	0.061	0.113	0.217	0.319	0.423	0.526	0.785	1.04
Yatay (Isı aşağıya)	0.037	0.055	0.091	0.161	0.231	0.301	0.370	0.543	0.72

Çizelgede de görüldüğü gibi hava tabakası kalınlığı arttıkça, ısı iletim katsayıları da artmaktadır. Dolayısıyla ısı iletim katsayısının artması, ısı kaybını da arttıracaktır. Bu nedenle, ısı yalıtımı amacıyla kullanılan hava tabakalarını ince levhalar şeklinde daha küçük kalınlıkta tabakalara ayırmak daha uygun olacaktır [36].

BÖLÜM 4

ISITMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARI İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

Ülkemizde kullanılan enerjinin büyük bir bölümünü dışarıdan temin ettiğimiz düşünülürse; bu enerji kaynaklarının da kısa zaman içerisinde tükeneceği göz önünde bulundurulduğunda enerji tasarrufu ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji tüketiminin minimum değerlere düşürülmesinde ulusal düzenlemeler getirilmesi bir zorunluluktur. Bu amaçla Türkiye'nin bu yöndeki ihtiyaçları düşünülerek 1999 yılında "Binalarda ısı yalıtım kuralları" (TS 825) belirlenmiştir. TS 825'e göre Türkiye dört farklı derece-gün (DG) bölgesine ayrılmış ve bu bölgelerde asgari yalıtım kuralları belirlenmiştir. Türkiye derece gün bölgeleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Türkiye'nin derece gün bölgeleri

4.1. ISITMA İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

4.1.1. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

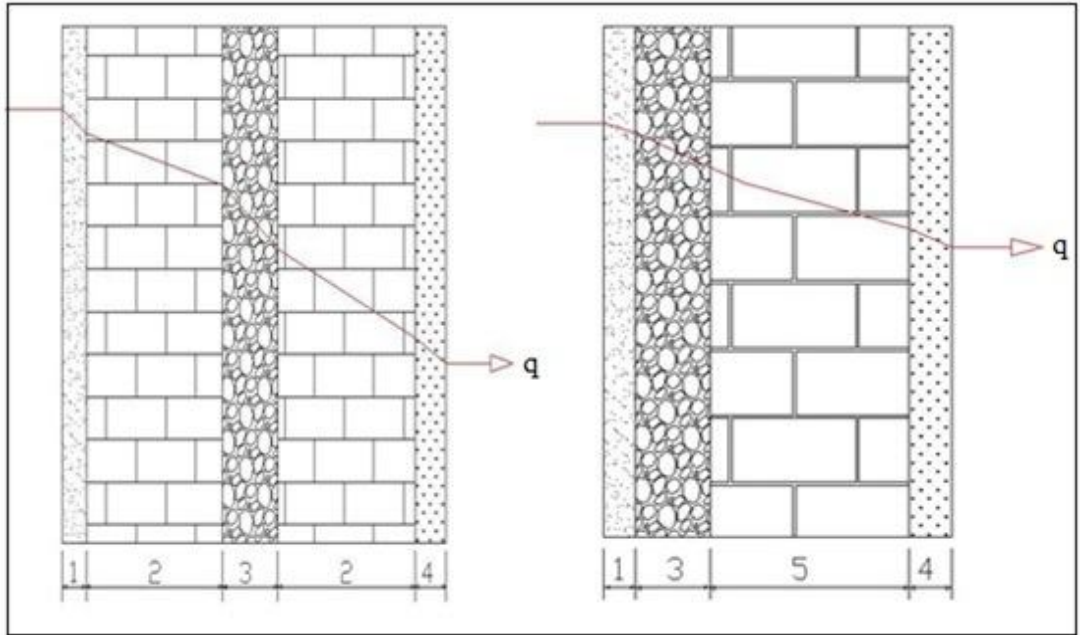
Isıtma ve soğutma uygulamaları konusunda yapılan akademik çalışmalarda, TS 825 belirlenen ısı bölgelerinden farklı ısı bölgeleri belirlenmiştir. Belirlenen bu ısı bölgeleri bölgesel olabildiği gibi ülke genelini de kapsayacak şekilde olabilmektedir. Akdeniz bölgesi için yapılan bir çalışmada; en az 15 yıllık saatlik kuru termometre sıcaklık değerleri kullanılarak, farklı sıcaklıklar için ısıtma derece saat ve soğutma derece saat değerleri belirlenmiştir [38]. Bir başka çalışmada ise, 77 il için derece gün değerlerinin hesaplanmasında en az 14 yıl süresince ölçülen uzun dönem sıcaklık değerleri kullanılarak, derece gün değerleri farklı denge sıcaklıklarına göre belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalarda ısı bölgeleri soğutma yüküne göre 3 bölgeye ayrılmış olup; 1. bölgede 54, 2. bölgede 7 ve 3. bölgede 16 il bulunmaktadır. Bölgeler, soğutma ihtiyacı gereksiniminin az olması durumundan çok olması durumuna göre sıralanmıştır. Birinci bölgede soğutma ihtiyacı çok az, üçüncü bölgede soğutma ihtiyacı daha fazla, ikinci bölgede ise orta seviyede bir soğutma gereksinimi olduğu söylenebilir. Şekil 2’de yapılan bu çalışmada önerilen soğutma derece-gün değerleri harita üzerinde gösterilmiştir [39].



Şekil 4.2 Soğutma derece gün bölgeleri [38].

Konutlardaki en büyük ısı kayıpları, duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi yapı elemanlarından gerçekleşmektedir. Bu bölgelerden oluşan ısı kayıpları oranları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir [40]. Bilindiği gibi yapı bileşenleri iklim bölgelerine veya yapı malzemelerinin bulunup bulunmamasına göre farklılıklar gösterir. Örneğin Karadeniz bölgesinde mimaride ağırlıklı olarak ahşap kullanılırken, Ege ve Akdeniz gibi bölgelerde ince bir katman ile tuğla kullanımı daha yaygındır.

Yapılan bu çalışmada, dış duvarlardan meydana gelecek kayıpları en aza indirmek için Şekil 4.3’de gösterilen sandviç duvar tipi ve dıştan yalıtımlı gaz beton duvar tipi kullanılmıştır. Duvar bileşenleri, (1) iç sıva, (2) Tuğla, (3) yalıtım malzemesi, (4) dış sıva ve (5) gaz betondan oluşmaktadır.



Şekil 4.3 Çalışmada kullanılan duvar tipleri

Dış duvarların birim alanından meydana gelen ısı kaybı aşağıdaki denklem ile elde hesap edilir [40].

$$q=U.(T_b - T_o) \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'de verilen U toplam ısı transfer katsayısı olup, yalıtımsız haldeki tipik bir duvar için aşağıda verilen denklemden elde edilir.

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_d} \quad (4.2)$$

Burada, R_i ve R_d , sırası ile iç ve dış yüzeyin ısı dirençlerini, R_w ise yalıtımsız duvar bileşenlerinin ısı direncini ifade etmektedir. Yalıtım tabakasının ısı direnci ayrı bir şekilde ifade edilirse, aşağıda verilen denklem (3) ile hesaplanabilir.

$$R_y = \frac{x}{k_y} \quad (4.3)$$

Denklemde x yalıtım tabakasının kalınlığını, k_y ise yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını ifade eder.

Yalıtımsız bir duvar tabakasının toplam ısı direnci, R_d , R_w ve R_i 'nin toplamı R_{wt} kabul edilirse denklem (4.2), denklem (4.4)'deki ifadeye dönüşür.

$$U_y = \frac{1}{R_{wt} + R_y} \quad (4.4)$$

Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarın toplam ısı transfer katsayıları farkı aşağıda verilen denklem (4.5) 'den elde edilir.

$$\Delta U = U - U_y = \frac{1}{R_{wt}} - \frac{1}{R_{wt} + \frac{x}{k_y}} \quad (4.5)$$

Yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki bir binanın dış duvarlarında meydana gelen ısı kayıplarını karşılamak için ısıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı denklem (4.6)'da verilen eşitlikten hesaplanır.

$$E_{Al} = \frac{C_{yak} \cdot IDS \cdot U}{LHV \cdot \eta} \quad (4.6)$$

Denklem (4.6) da, C_{yak} ısıtma için kullanılan yakıt maliyetini(TL/m³), IDS ısıtma derece-saat sayısını, LHV yakıtın alt ısıl değeri (J/m³), η ısıtma sisteminin verimini ifade etmektedir. Yıllık yakıt tüketimi ise, Denklem (4.7)'den hesaplanabilir.

$$m_f = \frac{IDS \cdot U}{LHV \cdot \eta} \quad (\text{kg/m}^2\text{yıl}) \quad (4.7)$$

4.1.2. Isıtma Maliyet Analizi

Optimum yalıtım kalınlığını belirlenirken ömür maliyet analizinin yapılması gerekmektedir. Toplam ısıtma maliyeti hesaplanırken yıllık ömür süresi (N) ile şimdiki değer faktörü (P_1) birlikte değerlendirilir. Şimdiki değer faktörü, faiz oranı (i) , enflasyon oranı (d) ve yalıtımın ömrüne (N) bağlı olarak değişir. Yalıtım ile olan net enerji tasarrufu miktarı P_1 - P_2 metodu kullanılarak elde edilir. Şimdiki değer faktörü, faiz ve enflasyon oranlarının eşit olup olmaması durumuna göre Aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır [40].

$$P_1 = \frac{1}{(d-i)} \cdot \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right] \quad \text{eğer } i \neq d \quad (4.8)$$

Eğer Faiz oranı ve enflasyon oranı bir birine eşit ise aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$P_1 = \frac{N}{1+i} \quad \text{eğer } i=d \text{ ise} \quad (4.9)$$

P_2 ise yalıtımın ilk yatırım maliyeti, işletme giderleri ve bakım giderleri olarak alınmıştır. P_2 aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir [40].

$$P_2 = 1 + P_1 \cdot M_s - \frac{R_v}{(1+d)^N} \quad (4.10)$$

Eşitlikte M_s yıllık bakım ve işçilik maliyetinin ilk alınan maliyet değerine oranı, R_v perakende satış değerinin ilk satış değerine oranıdır. Buna göre bakım ve işçilik maliyetleri sıfır kabul edilirse, P_2 değeri 1 alınabilir.

Yalıtım maliyeti (C_{yal}) ise; yalıtım malzemesi birim hacim fiyatı (C_y) ve yalıtım malzemesi kalınlığının çarpımı ile aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$C_{yal} = C_y \cdot x \quad (4.11)$$

Yalıtılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti (C_{TI}) ise, Denklem (4.12)'den hesaplanabilir.

$$C_{TI} = P_1 \cdot E_{AI} + P_2 \cdot C_{yal} \quad (4.12)$$

P_1 - P_2 metoduna göre ısıtma için elde edilecek enerji tasarrufu Denklem (4.13)'den elde edilir.

$$S = C_{TI} - P_2 \cdot C_{yal} \quad (4.13)$$

veya

$$S = \frac{P_1 \cdot C_{yak} \cdot \Delta U}{LVH \cdot \eta} \cdot IDS - P_2 \cdot C_y \cdot x \quad (4.14)$$

4.1.3. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Binaların dış duvarlarına yalıtım uygulaması yapılması sonucunda, ısı kaybı ve kazancı değerlerinde önemli ölçüde azalma meydana gelir. Enerji tasarrufu ve maliyet açısından yalıtım kalınlığının en uygun değerinde olması gerekmektedir. Yalıtım kalınlığını da dış ortam sıcaklığı, bina duvar bileşenleri, yalıtım malzemesinin özellikleri gibi unsurlar etkilemektedir.

Optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyeti en aza indirmekle veya yıllık kazancı en üst seviyeye getirmekle elde edilir ve aşağıda verilen denklemden hesaplanır.

$$x_{opt} = \left(\frac{P_1 \cdot C_{yak} \cdot IDS \cdot k_y}{P_2 \cdot LHV \cdot C_y \cdot \eta} \right)^{1/2} - k_y \cdot R_{wt} \quad (4.15)$$

4.1.4. Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi, yalıtım kalınlığı maliyetinin enerji tasarrufu üzerindeki etkisinin kendini karşılama süreci olarak değerlendirilebilir. Yapılan yalıtımın geri ödeme süresi, duvar bileşenlerinin özelliklerine, yalıtım malzemesinin özelliklerine, yakıtın türüne, derece saat değerine ve yıllık faiz oranına bağlı olarak değişir. Yalıtım kalınlığı arttıkça, geri ödeme süresi artacaktır. Geri ödeme süresi, Denklem (4.16) kullanılarak hesaplanır.

$$GÖS = \frac{P_2 \cdot C_y \cdot LHV \cdot \eta \cdot (R_{wt} x + R_{wt}^2 \cdot k) \cdot (1 + i)}{C_{yak} \cdot IDS} \quad (4.16)$$

4.2. SOĞUTMA İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

4.2.1. Yıllık Soğutma Enerjisi İhtiyacı

Soğutma amaçlı optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken farklı yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan yöntem, ısıtma yükündeki hesaba benzer olan derece saat yöntemidir. Isı transferi, iletim, taşınım ve ışınm olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşir. Bir mahalın soğutulması sırasında gerçekleşen ısı transferi aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_{o,des} - T_s) = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (4.17)$$

Eşitlikte, $T_{o,des}$ dış hava tasarım sıcaklığını, T_s ise soğutulmak istenen mahal sıcaklığını ifade etmektedir.

Yaz aylarında, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde soğutma amaçlı klima kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ortalama güçte bir klima için yıllık harcanan toplam enerji miktarı aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$E_{AS} = \frac{C_E \cdot U \cdot SDS}{COP} \quad (4.18)$$

Eşitlikte, C_E elektrik maliyetini, SDS yıllık soğutma derece saat sayısını, COP ise soğutma sisteminin performans katsayısını ifade etmektedir. Yalıtılmış bir binanın toplam soğutma maliyeti (C_{TS}) ise, Denklem (4.19)'dan hesaplanabilir.

$$C_{ts} = P_1 \cdot E_{AS} + P_2 \cdot C_{yal} \quad (4.19)$$

Binanın yalıtımlı ve yalıtımsız haldeki enerji maliyetleri farkı, soğutma için yıllık enerji tasarruf miktarını verecektir. P1-P2 metoduna göre soğutma için elde edilecek enerji tasarrufu Denklem (4.20)'den elde edilir.

$$S = C_{ts} - P_2 \cdot C_{yal} \quad (4.20)$$

veya

$$S = \frac{P_1 \cdot C_E \cdot \Delta U}{COP} \cdot SDS - P_2 \cdot C_y \cdot x \quad (4.21)$$

4.2.2. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Isıtmada da belirtildiği gibi toplam maliyetin minimum, yıllık kazancın maksimum olduğu nokta optimum yalıtım kalınlığına karşılık gelmektedir. Isıtma uygulamasına benzer olarak soğutma uygulaması için en uygun yalıtım kalınlığı aşağıda verilen Denklem (4.22)'den hesaplanır.

$$x_{opt} = \left(\frac{P_1 \cdot k_y \cdot C_E \cdot SDS}{P_2 \cdot C_y \cdot COP} \right)^{1/2} - R_{wt} \cdot k_y \quad (4.22)$$

4.2.3. Geri Ödeme Süresi

Soğutma uygulaması için geri ödeme süresi, ısıtma uygulamasına benzer olarak Denklem (4.23)'den elde edilir.

$$GÖS = \frac{P_2 \cdot C_y \cdot COP \cdot (R_{wt} \cdot x + R_{wt}^2 \cdot k_y) \cdot (1+i)}{C_E \cdot SDH} \quad (4.23)$$

Isıtma ve soğutma uygulamalarına ait hesaplamalarda kullanılan yakıtın, yalıtım malzemelerinin özellikleri Çizelge 4.1 ve 4.2'de, ekonomik analizde kullanılan parametreler Çizelge 4.3'de, derece saat değerleri ise Çizelge 4.4'de verilmiştir. Derece saat değerleri, bu konuda daha önce yapılmış olan kaynak [39]'dan alınarak düzenlenmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan yakıtlara ait özellikler

Yakıt	Fiyat	Alt Isıl Değer (kJ/m ³)	Verim (%)
Kömür (İthal)	0.50 TL/kg	29.302x10 ⁶	65
Doğal Gaz	0.64 TL/m ³	34.541x10 ⁶	93
Elektrik	0.22 TL/kWh	3.600x10 ⁶	99

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan yalıtım malzemelerine ait özellikler

Yalıtım Malzemesi	İletkenlik	Maliyet (TL/m ³)
XPS	0.036	167
EPS	0.04	85
Taş Yünü	0.04	120

Çizelge 4.3. Kullanılan Parametreler

Parametre	Değer
Isıtma için denge sıcaklığı	18 °C
Soğutma için denge sıcaklığı	22 °C
1.Duvar Tipi Rwt	0.814 m ² K/W
2.Duvar Tipi Rwt	0.860 m ² K/W
Faiz Oranı (i)	0.05
Enflasyon Oranı (d)	0.05
COP	2.4
Ömür (N)	10 Yıl

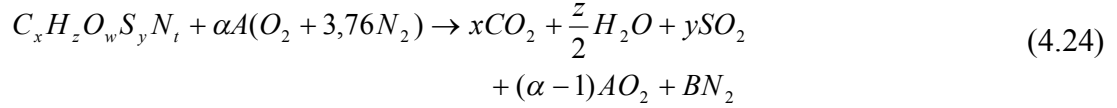
Çizelge 4.4. Isıtma ve soğutma derece saat değerleri

İller	Isıtma Derece Saat			Soğutma Derece Saat		
	14°C	16 °C	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C
Adana	8184	13896	20976	23064	17640	12696
Adıyaman	23880	31872	40680	25608	20472	15792
Antalya	10536	17544	25992	20928	15864	11400
Aydın	13920	20808	29112	21312	16656	12456
Batman	26808	34800	43752	25080	20280	15936
D.Bakır	33000	41736	51408	22968	18312	14136
G.Antep	29808	38520	48216	20160	15480	11400
Hatay	12672	19128	26856	20448	14952	9912
İzmir	13488	20280	28512	19968	14808	10296
K.Maraş	22896	30816	39672	21984	16968	12576
Kilis	21048	28704	37296	21984	17136	12816
Manisa	20232	27984	36840	20664	15864	11688
Mardin	30480	38904	48096	23592	18336	13560
Mersin	7464	13248	20448	20136	14544	9384
Siirt	29520	37848	46992	24168	19032	14400
Ş.Urfa	20448	27768	36072	28656	23280	18264

4.3. BACA GAZI EMİSYONLARININ HESABI

Temel ihtiyaçların karşılanması, ekonomik ve sosyal kalkınmanın sağlanması ve sürdürülebilmesi için vazgeçilmez olan enerjinin kullanımı aynı zamanda önemli çevre sorunları oluşmasına neden olmaktadır. Doğal yaşam ortamını ve doğal kaynaklarımızı tehdit eden yerel ve küresel kaynaklı çevre sorunlarının

giderilmesiyle mümkündür. Isıtma sistemlerinde kullanılan yakıtların sebep olduğu baca gazı emisyonlarının en önemli bileşenleri CO₂ ve SO₂'dir. Binalarda uygulanan yalıtım, yakıt tüketimini azalttığından dolayı baca gazı emisyonları da azalacaktır. Bir ısıtma sisteminde kullanılan yakıtın hava ile yanma denklemi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [2].



Yakıtın bileşimindeki yanıcı maddelerin yanabilmesi için gerekli olan oksijen miktarı aşağıda verilen denklemlerden elde edilir.

$$A = \left(x + \frac{z}{4} + y - \frac{w}{2} \right) \quad (4.25)$$

$$B = 3,76\alpha \left(x + \frac{z}{4} + y + \frac{w}{2} \right) + \frac{t}{2} \quad (4.26)$$

Denklem (4.24)'de verilen NO_x ve CO emisyonları ihmal edilirse, 1 kg yakıtın yanması sonucu ortaya çıkacak CO₂ ve SO₂ emisyon oranları Denklem (4.27) ve (4.28)'den hesaplanır.

$$M_{CO_2} = \frac{x \cdot CO_2}{M_{yak}} \quad \text{kg SO}_2/\text{m}^2\text{yıl} \quad (4.27)$$

$$M_{SO_2} = \frac{y \cdot SO_2}{M_{yak}} \quad \text{kg SO}_2/\text{m}^2\text{yıl} \quad (4.28)$$

Toplam baca gazı emisyonu ise, yukarıdaki değerlerin Denklem (4.7)'de verilen yıllık yakıt tüketimi (m_f) ile çarpımından bulunur ve aşağıdaki eşitliklerde ki gibi ifade edilir.

$$M_{CO_2} = \frac{44x}{M} m_f \quad (\text{kg CO}_2/\text{m}^2\text{-yıl}) \quad (4.29)$$

$$M_{SO_2} = \frac{64y}{M} m_f \quad (\text{kg CO}_2/\text{m}^2\text{-yıl}) \quad (4.30)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, M yakıtın mol ağırlığı göstermekte olup, aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

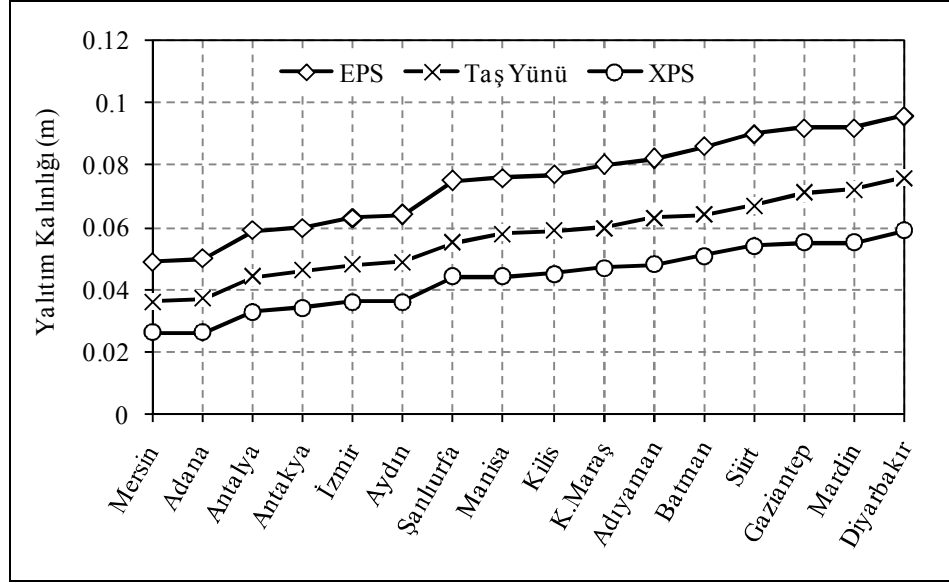
$$M = 12x + z + 16w + 32y + 14t \quad (4.31)$$

BÖLÜM 5

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. ISITMA UYGULAMASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı ısı bölgelerinde bulunan 16 ilin bina dış duvarlarına yapılan yalıtımın ısıtma ve soğutma uygulamaları için iki farklı duvar tipi, üç farklı yakıt ve üç farklı yalıtım malzemesi dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç, geri ödeme süresi ve baca gazı emisyonları belirlenmiştir. Hesaplamalarda, derece saat ve ömür maliyet analizi metotları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Şekil 5.1'de de görüldüğü gibi, optimum yalıtım kalınlığının en düşük değeri; yalıtım malzemesi XPS, yakıt türü olarak doğal gaz kullanıldığında her iki duvar tipinde de Mersin ili için elde edilmiştir. Yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisi ise, en iyi yalıtım malzemesi XPS, taş yünü ve EPS olmuştur. Yalıtım kalınlıkları derece saat değerleri arttıkça artmaktadır. Buna göre en büyük optimum yalıtım kalınlığı Diyarbakır ilinde olmaktadır. Bu duruma, seçilen iller içerisinde en büyük ısıtma derece saat değerinin Diyarbakır'a, en küçük derece saat değerinin ise Mersin'e ait olması neden olmuştur. Yalıtım tipine göre dıştan yalıtımlı duvar tipinde optimum yalıtım kalınlığı daha küçük olarak elde edilmiştir. Bunun sebebi ise dıştan yalıtımlı duvarın ısı direncinin daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Seçilen iller arasında optimum yalıtım kalınlığı en büyük olan Diyarbakır ile optimum yalıtım kalınlığı en küçük olan Mersin ili değerlendirilmiştir. Diğer illere ait grafikler ekte sunulmuştur.



Şekil 5.1. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda seçilen iller için optimum yalıtım kalınlıkları.

Yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde 16 il için iki tip duvarın optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve yıllık kazançlarının karşılaştırması Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği gibi, en büyük optimum yalıtım kalınlığına sahip Diyarbakır'da, I. tip duvarda yıllık kazanç 24.06 TL/m^2 iken, en düşük optimum yalıtım kalınlığına sahip Mersin'de ise bu değer 6.14 TL/m^2 olarak bulunmuştur. Yalıtım yapılan yapıda eğer II. tip duvar kullanılırsa bu kez Diyarbakır için yıllık kazanç 21.96 TL/m^2 olmakta ve yalıtım kalınlığı da 0.096 m 'den 0.094 m 'ye düşmektedir. Aynı şekilde Mersin için yıllık kazanç 5.38 TL/m^2 olurken yalıtım kalınlığı da 0.049 m 'den 0.047 m 'ye düşmüştür.

Çizelge 5.1. Isıtma uygulamalarında EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.

İller	I.Tip Duvar			II.Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Diyarbakır	0.096	2.53	24.06	0.094	2.67	21.96
Gaziantep	0.092	2.61	22.08	0.090	2.76	20.06
Mardin	0.092	2.62	2.00	0.090	2.76	20.00
Siirt	0.090	2.64	21.32	0.089	2.80	16.36
Batman	0.086	2.74	19.33	0.084	2.89	17.52
Adıyaman	0.082	2.85	17.47	0.080	3.00	15.80
Kahramanmaraş	0.080	2.87	16.87	0.079	3.05	15.24
Kilis	0.077	2.97	15.46	0.075	3.13	13.94
Manisa	0.076	2.98	15.19	0.074	3.14	13.69
Şanlıurfa	0.075	3.01	14.74	0.073	3.18	13.27
Aydın	0.064	3.35	10.75	0.062	3.54	9.60
İzmir	0.063	3.39	10.42	0.061	3.57	9.30
Antakya	0.060	3.48	9.51	0.059	3.72	8.46
Antalya	0.059	3.56	9.04	0.057	3.76	8.03
Adana	0.050	3.98	6.41	0.048	4.20	5.63
Mersin	0.049	4.03	6.14	0.047	4.25	5.38

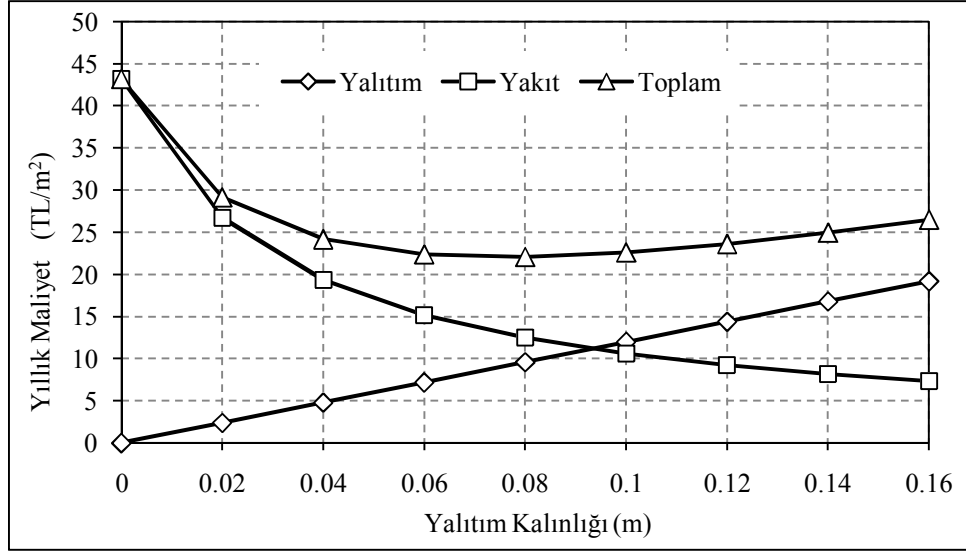
Çizelge 5.2. Isıtma uygulamalarında taş yünü yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.

İller	I.Tip Duvar			II.Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Diyarbakır	0.076	3.01	21.09	0.074	3.18	19.00
Gaziantep	0.072	3.10	19.23	0.070	3.27	17.28
Siirt	0.071	3.15	18.52	0.069	3.23	16.63
Batman	0.067	3.25	16.67	0.065	3.43	14.93
Adıyaman	0.064	3.39	14.95	0.062	3.57	13.35
Kahramanmaraş	0.063	3.44	14.39	0.061	3.63	12.83
Kilis	0.060	3.54	13.09	0.058	3.74	11.64
Manisa	0.059	3.55	12.85	0.057	3.74	11.41
Şanlıurfa	0.058	3.58	12.48	0.056	3.78	11.03
Mardin	0.055	3.48	17.15	0.053	3.66	15.27
Aydın	0.049	4.00	8.80	0.047	4.22	7.71
İzmir	0.048	4.03	8.50	0.046	4.25	7.44
Antakya	0.046	4.18	7.68	0.044	4.40	6.96
Antalya	0.044	4.21	7.26	0.043	4.49	6.31
Adana	0.037	4.74	4.92	0.035	4.99	4.20
Mersin	0.036	4.79	4.69	0.034	5.05	3.99

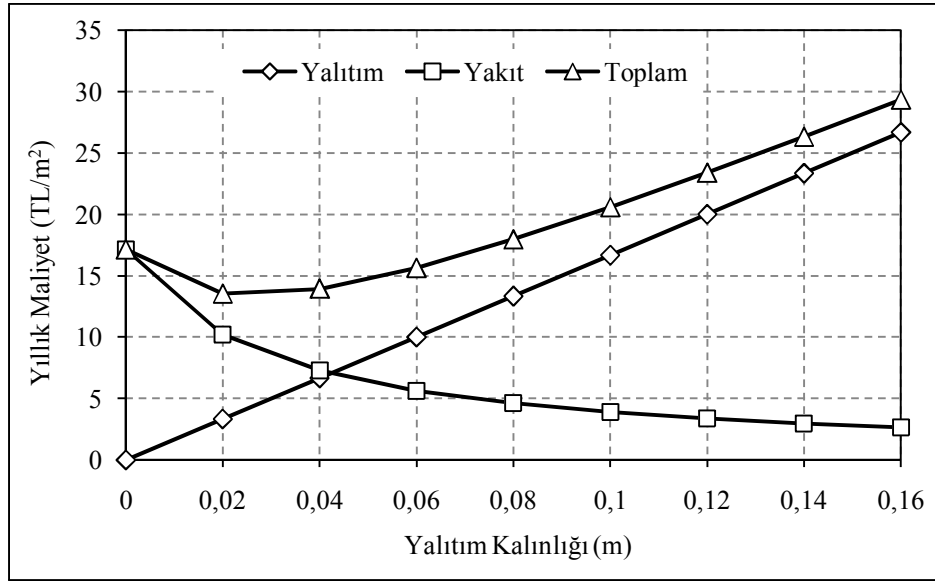
Çizelge 5.3. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak XPS, yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.

İller	I. Tip Duvar			II. Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Diyarbakır	0.059	3.54	17.95	0.057	3.73	15.95
Gaziantep	0.055	3.47	17.22	0.053	3.66	15.33
Mardin	0.055	3.48	17.15	0.053	3.66	15.27
Siirt	0.054	3.52	16.55	0.052	3.71	14.72
Batman	0.051	3.65	14.81	0.045	3.84	13.12
Adıyaman	0.048	3.82	13.18	0.046	4.02	11.63
Kahramanmaraş	0.047	3.82	12.66	0.045	4.02	11.16
Kilis	0.045	3.96	11.44	0.043	4.16	10.05
Manisa	0.044	3.95	11.21	0.043	4.21	9.83
Şanlıurfa	0.044	4.04	10.83	0.042	4.25	9.48
Aydın	0.036	4.46	7.46	0.035	7.76	6.43
İzmir	0.036	4.55	7.18	0.034	4.78	6.18
Antakya	0.034	4.68	6.43	0.032	4.92	5.50
Antalya	0.033	4.76	6.04	0.031	5.01	5.15
Adana	0.026	5.24	3.93	0.025	5.60	3.27
Mersin	0.026	5.38	3.32	0.024	5.64	3.08

Isıtma için yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve XPS kullanılması halinde, 16 il için optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve yıllık kazançlar 2 farklı duvar tipi için Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te verilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen verilere göre, duvar bileşenlerinin ısı dirençlerinin artması sonucu optimum yalıtım kalınlığının düştüğü gözlemlenmiştir. Diyarbakır'da I. tip duvar için yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve XPS kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı 0.076 m ve 0.059 m iken, daha yüksek ısı dirence sahip II. tip duvarda optimum yalıtım kalınlığı 0.074 m ve 0.057 m olmaktadır. Benzer durumun Mersin içinde geçerli olduğu görülmektedir.



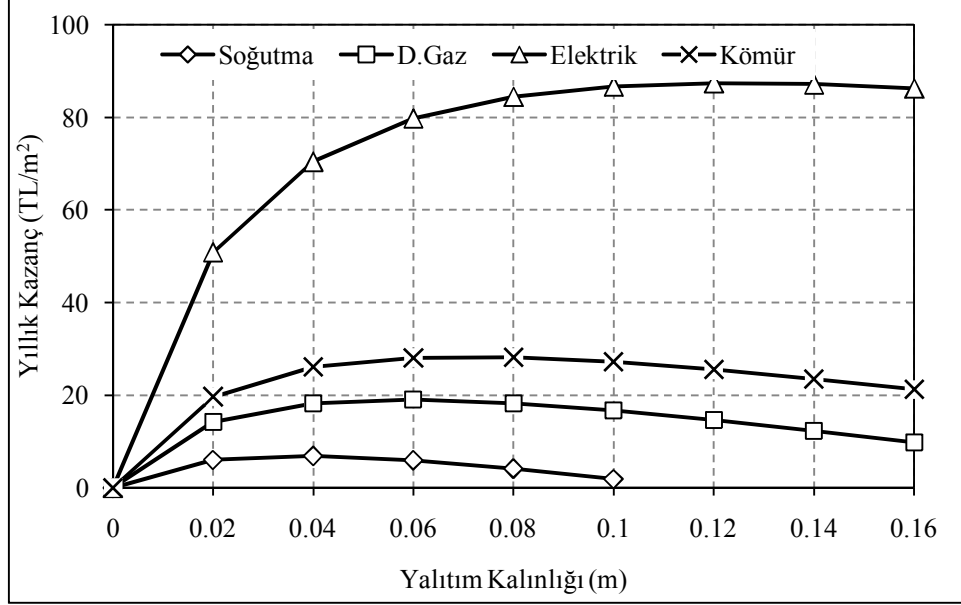
Şekil 5.2. Diyarbakır ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



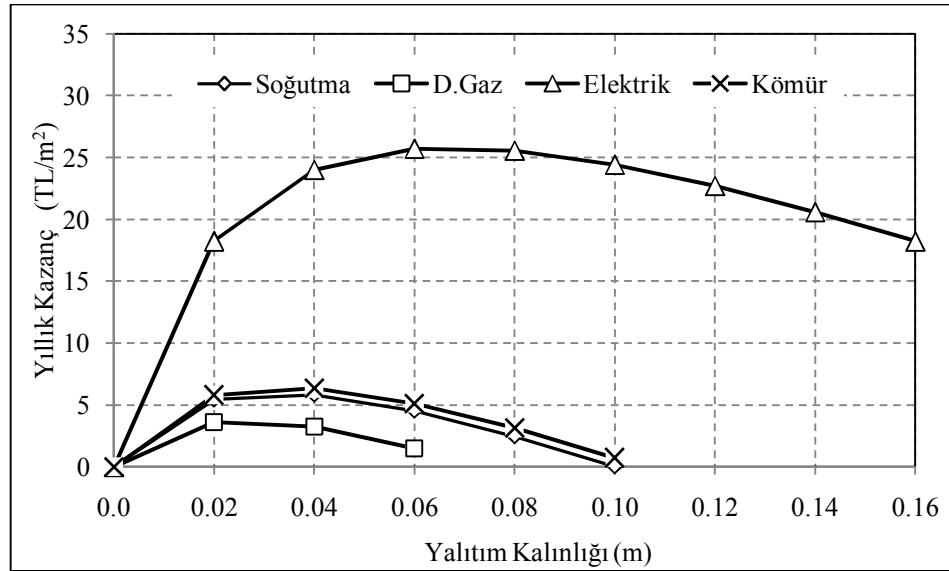
Şekil 5.3. Mersin ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.

En yüksek derece saat değerine sahip Diyarbakır ve en düşük derece saat değerine sahip Mersin için yalıtım kalınlığı ile maliyet ilişkisi Şekil 5.2 ve 5.3'de görülmektedir. Diyarbakır'ın IDS değeri büyük olduğundan dolayı ısıtma enerji ihtiyacı diğer illere oranla daha fazla olmuştur. Mersin için ise tam tersi durum söz

konusudur. Yıllık ısıtma maliyeti Diyarbakır’da en büyük değeri alırken, Mersin’de ise küçük değere sahiptir.



Şekil 5.4. Diyarbakır ili için I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.

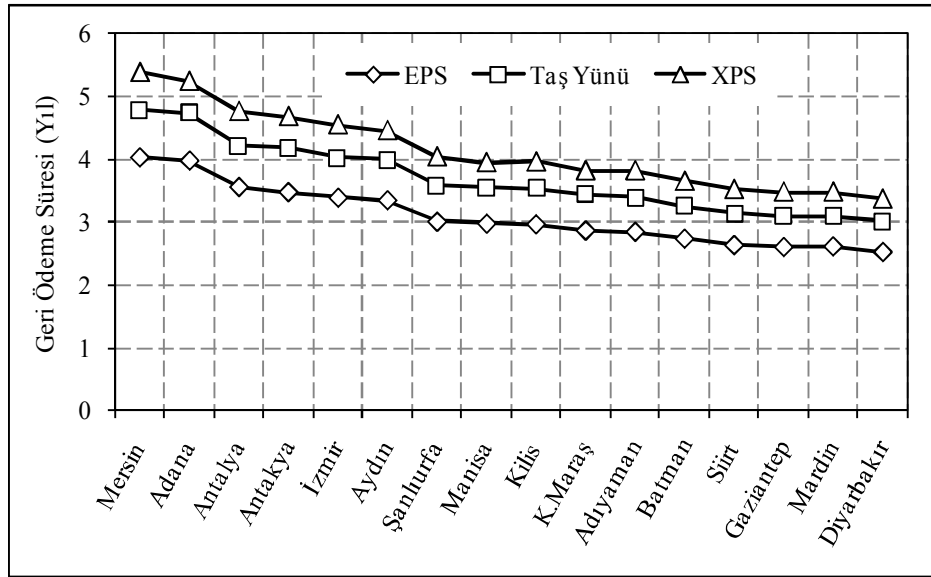


Şekil 5.5. Mersin ili için I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi

En yüksek derece saat değerine sahip Diyarbakır ve en düşük derece saat değerine sahip Mersin için I. tip duvarda XPS kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı ve

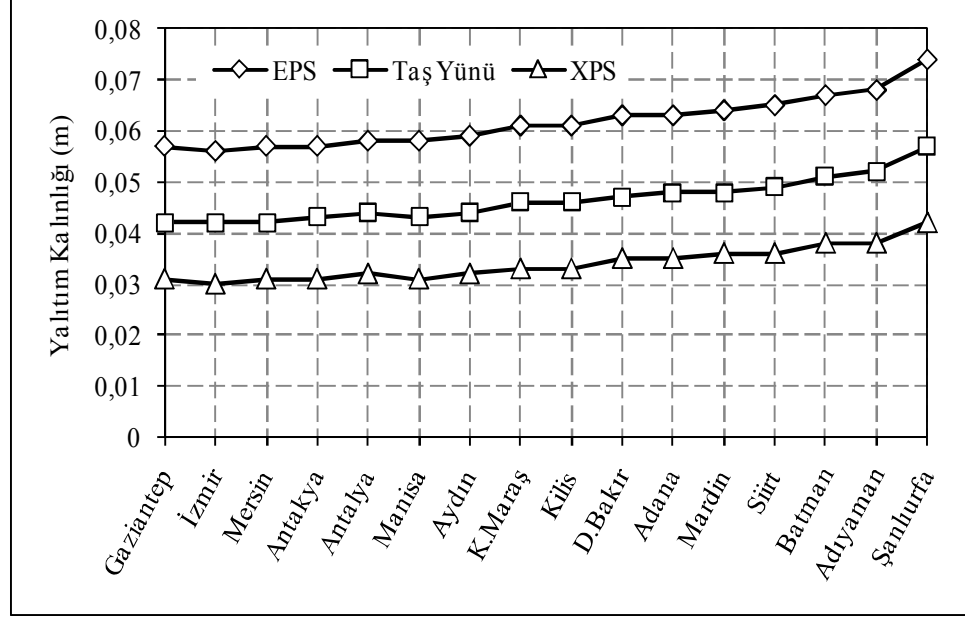
yıllık kazanç ilişkileri Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, Diyarbakır için ısıtma uygulamasından soğutma uygulamasına göre daha fazla kazanç sağlanmaktadır. Isıtma uygulamasında elde edilen kazanç yakıt türüne bağlı olarak sırasıyla, elektrik, kömür, doğal gaz şeklinde olmaktadır. Mersin için ise Soğutma uygulamasından sağlanan yıllık kazanç, ısıtma uygulamasında yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda sağlanan kazançtan daha fazla, diğer yakıtlardan ise daha az olmuştur. Bu durum, Mersin'in ısıtma enerji ihtiyacının düşük olması ve doğal gazın maliyetinin de diğer yakıtlara göre yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda seçilen iller için geri ödeme süreleri Şekil 5.6'da verilmiştir. Geri ödeme süresi, yalıtım malzemesinin birim fiyatına, IDS değerine, şimdiki değer faktörüne gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Yalıtım malzemesinin birim fiyatı geri ödeme süresini doğru orantılı, IDS değeri ise ters orantılı olarak etkilemektedir. Buna göre en küçük geri ödeme süresi IDS değeri en büyük il olan Diyarbakır'da birim fiyatı en düşük olan yalıtım malzemesi EPS kullanıldığında elde edilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, IDS değeri küçüldükçe geri ödeme süresi artmış, yalıtım malzemesinin birim fiyatı düştükçe geri ödeme süresi azalmaktadır.



Şekil 5.6. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda seçilen illerin geri ödeme süresi.

5.2. SOĞUTMA UYGULAMASI İÇİN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 5.7. Soğutma uygulamasında II. tip duvar için seçilen illerin optimum yalıtım kalınlıkları.

Hesaplamalarda soğutma uygulamasında birinci tip duvar için seçilen illerin optimum yalıtım kalınlıkları Şekil 5.7’de verilmiştir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı; II. tip duvarda XPS kullanıldığında Gaziantep, İzmir ve Mersin illeri için elde edilmiştir. En büyük optimum yalıtım kalınlığı ise, EPS kullanıldığında Şanlıurfa ilinde gerçekleşmiştir. Bu durum, Şanlıurfa’nın diğer illere göre SDS değerinin daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre, soğutma uygulamalarında en iyi yalıtım malzemesi XPS, taş yünü ve EPS olarak sıralanabilir.

Çizelge 5.4. Soğutma uygulamalarında EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.

İller	I. Tip Duvar			II. Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Şanlıurfa	0.076	2.86	15.04	0.074	3.01	13.56
Adıyaman	0.070	3.02	12.78	0.068	3.18	11.48
Batman	0.069	3.05	12.39	0.067	3.27	11.12
Siirt	0.067	3.11	11.73	0.065	3.28	10.51
Mardin	0.066	3.15	11.32	0.064	3.32	10.13
Adana	0.065	3.19	10.94	0.063	3.36	9.78
Diyarbakır	0.065	3.20	10.87	0.063	3.38	9.72
Kahramanmaraş	0.062	3.24	10.17	0.061	3.46	9.08
Kilis	0.062	3.24	10.17	0.061	3.46	9.08
Aydın	0.061	3.31	9.70	0.059	3.49	8.65
Antalya	0.060	3.30	9.43	0.058	3.10	8.27
Manisa	0.060	3.38	9.25	0.058	3.56	8.23
Antakya	0.059	3.38	9.10	0.057	3.56	8.10
Gaziantep	0.058	3.39	8.89	0.057	3.62	7.90
İzmir	0.058	3.42	8.77	0.056	3.61	7.97
Mersin	0.058	3.39	8.90	0.057	3.61	7.91

Çizelge 5.5. Soğutma uygulamalarında taş yünü yalıtım malzemesi kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.

İller	I. Tip Duvar			II. Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Şanlıurfa	0.059	3.40	12.71	0.057	3.59	11.30
Adıyaman	0.054	3.60	10.64	0.052	3.79	9.40
Batman	0.053	3.63	10.29	0.051	3.83	9.08
Siirt	0.051	3.68	9.68	0.049	3.88	8.53
Mardin	0.050	3.73	9.31	0.048	3.93	8.19
Adana	0.049	3.77	8.97	0.048	4.02	7.87
Diyarbakır	0.049	3.78	8.90	0.047	3.99	7.82
Kahramanmaraş	0.047	3.85	8.27	0.046	4.11	7.24
Kilis	0.047	3.85	8.27	0.046	4.11	7.24
Aydın	0.046	3.93	7.85	0.044	4.14	6.86
Antalya	0.045	3.95	7.61	0.044	4.16	6.64
Antakya	0.045	4.04	7.31	0.043	4.26	6.37
Manisa	0.045	4.00	7.44	0.043	4.21	6.49
Gaziantep	0.044	4.05	7.12	0.042	4.27	6.19
İzmir	0.044	4.08	7.01	0.042	4.30	6.10
Mersin	0.044	4.05	7.13	0.042	4.26	6.21

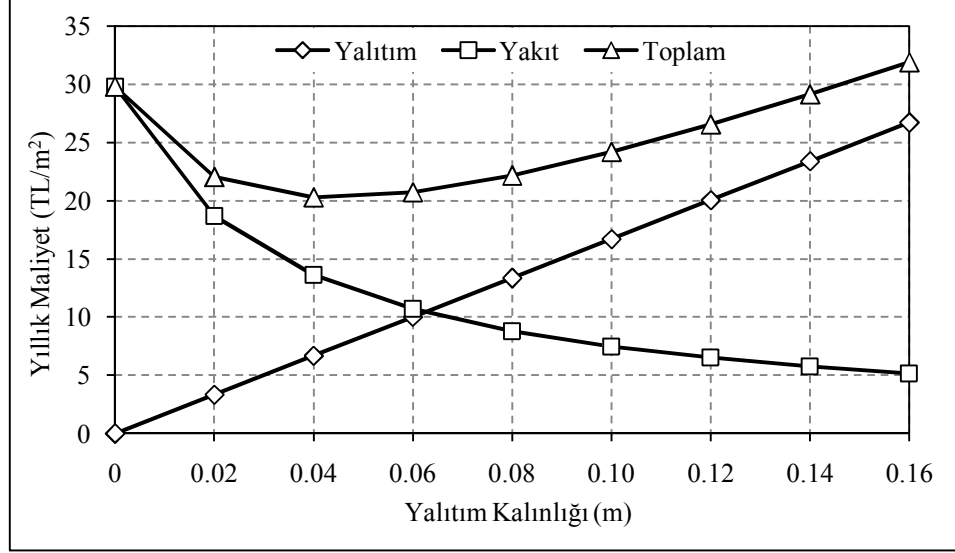
Çizelge 5.6. Soğutma uygulamalarında XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda iki farklı duvar tipinin karşılaştırılması.

İller	I. Tip Duvar			II. Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (\$/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (\$/m ²)
Şanlıurfa	0.044	3.79	11.08	0.042	3.98	9.73
Adıyaman	0.040	4.01	9.16	0.038	4.21	7.97
Batman	0.039	4.04	8.83	0.038	4.30	7.68
Siirt	0.038	4.13	8.27	0.036	4.34	7.17
Adana	0.037	4.26	7.61	0.035	4.48	6.57
Mardin	0.037	4.17	7.93	0.036	4.44	6.86
Diyarbakır	0.036	4.22	7.55	0.035	4.49	6.52
Kahramanmaraş	0.035	4.34	6.97	0.033	4.55	6.00
Kilis	0.035	4.34	6.97	0.033	4.55	6.00
Aydın	0.034	4.40	6.58	0.032	4.62	5.65
Antalya	0.033	4.41	6.36	0.032	4.71	5.45
Antakya	0.033	4.52	6.09	0.031	4.74	5.7
Manisa	0.033	4.47	6.21	0.031	4.69	5.31
Gaziantep	0.032	4.51	5.92	0.031	4.82	5.05
İzmir	0.032	4.55	5.82	0.030	4.78	4.96
Mersin	0.032	4.51	5.93	0.031	4.81	5.06

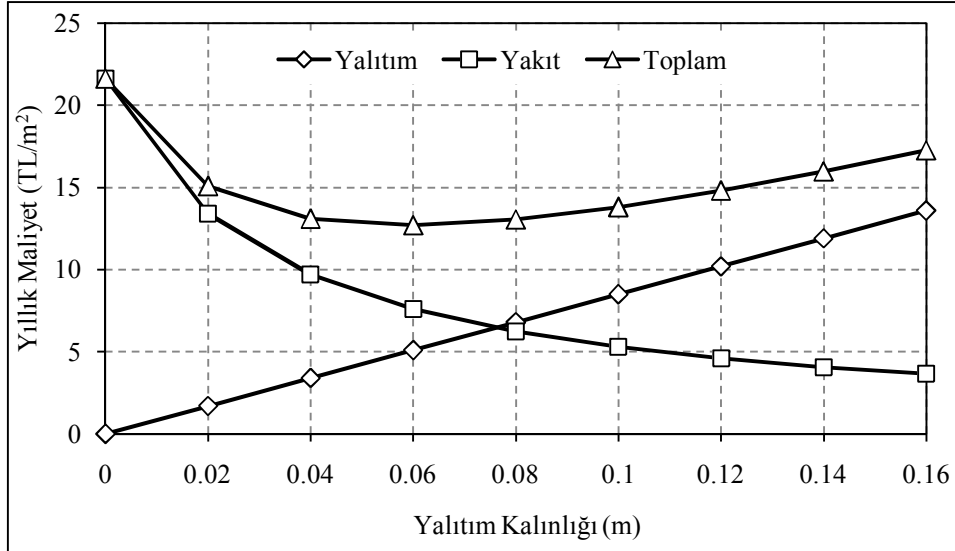
Yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda 16 il için iki tip duvarın optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve yıllık kazançlarının karşılaştırılması Çizelge 5.4.'de verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği gibi, en büyük optimum yalıtım kalınlığına sahip Şanlıurfa'da, I. tip duvar için yıllık kazanç 15.04 TL/m² iken, en düşük optimum yalıtım kalınlığına sahip Mersin'de ise bu değer 8.9 TL/m² olarak bulunmuştur. Yalıtım yapılan yapıda eğer II. tip duvar kullanılırsa bu kez Şanlıurfa için yıllık kazanç 13.56 TL/m² olmakta ve yalıtım kalınlığı da 0.076 m'den 0.074 m'ye düşmektedir. Aynı şekilde Mersin için yıllık kazanç 7.91 TL/m² olurken, yalıtım kalınlığı da 0.058 m'den 0.057 m'ye düşmüştür.

Soğutma uygulaması için yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve XPS kullanılması halinde, 16 il için optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve yıllık kazançlar iki farklı duvar tipi için Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmiştir. Hesaplamalardan elde edilen verilere göre, duvar bileşenlerinin ısı dirençlerinin artması sonucu optimum yalıtım kalınlığının düştüğü gözlemlenmiştir. Şanlıurfa'da I. tip duvar için yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve XPS kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı 0.059 m ve 0.044 m iken, daha yüksek ısı dirence sahip II.

tip duvarda optimum yalıtım kalınlığı 0.057 m ve 0.042 m olmaktadır. Benzer durumun Mersin, Gaziantep ve İzmir illeri içinde geçerli olduğu görülmektedir.



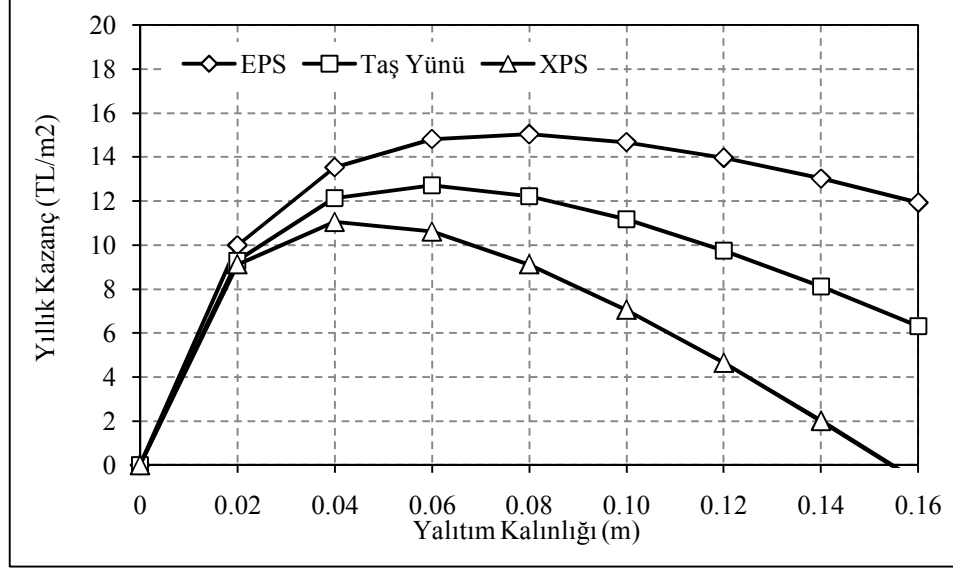
Şekil 5.8. Şanlıurfa ili için soğutma uygulamasında II. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



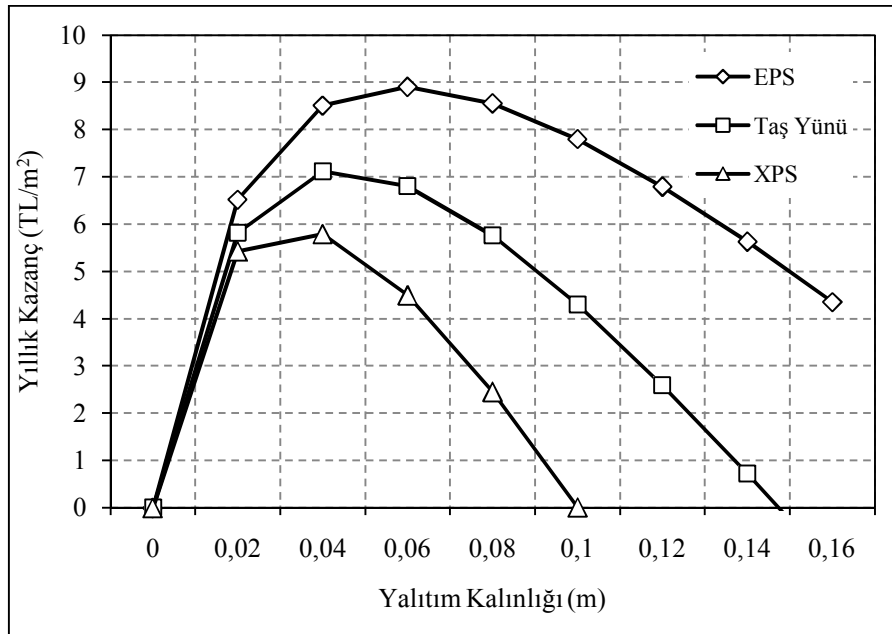
Şekil 5.9. Mersin ili için soğutma uygulamasında II. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.

En yüksek SDS değerine sahip Şanlıurfa ve en düşük SDS değerine sahip Mersin için soğutma uygulamasında yalıtım kalınlığı ile maliyet ilişkisi Şekil 5.8 ve 5.9'da görülmektedir. Şanlıurfa'nın SDS değeri büyük olduğundan dolayı soğutma enerji

ihtiyacı diğer illere oranla daha fazla olmuştur. Mersin, Gaziantep ve İzmir için ise tam tersi durum söz konusudur. Yıllık soğutma maliyeti Şanlıurfa'da en büyük değeri alırken, en küçük soğutma maliyeti ise Mersin, Gaziantep ve İzmir'de gerçekleşmektedir.

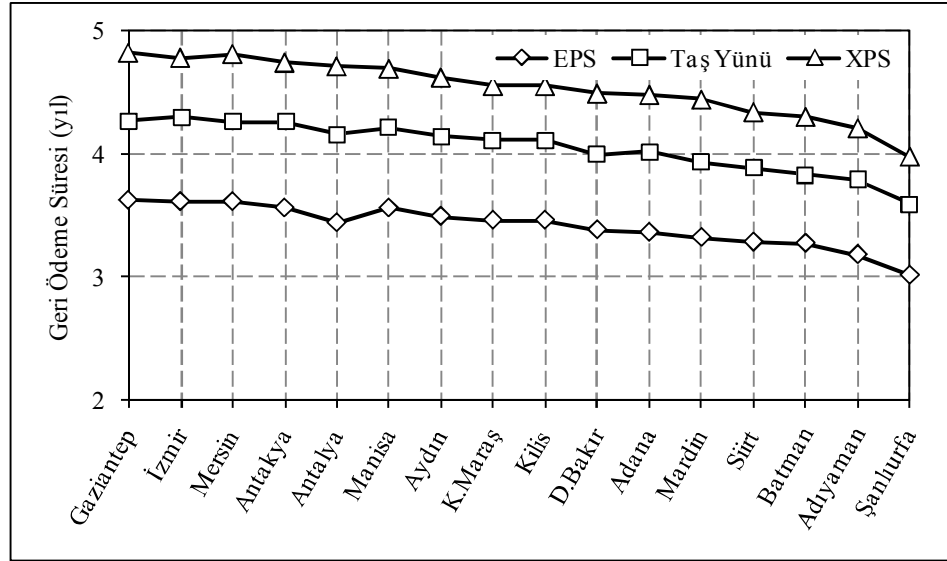


Şekil 5.10. Şanlıurfa ili için soğutma uygulamalarında II. tip duvarda üç farklı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.



Şekil 5.11. Mersin ili için soğutma uygulamalarında II. tip duvarda üç farklı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi

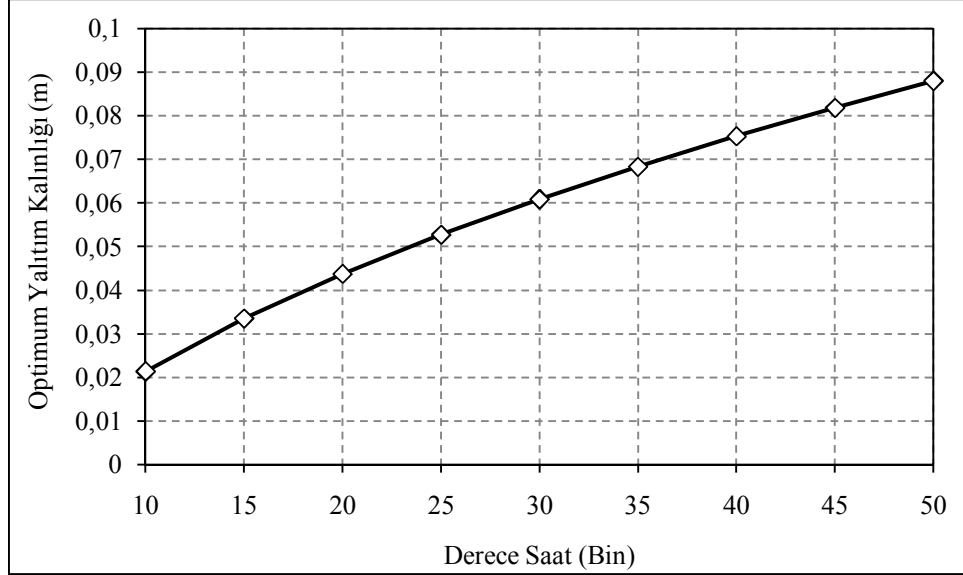
En yüksek SDS değerine sahip Şanlıurfa ve en düşük derece saat değerine sahip Mersin için, soğutma uygulamalarında II. tip duvarda üç farklı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç ilişkileri Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, Şanlıurfa için soğutma uygulamasında, yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması halinde taş yünü ve XPS'e göre daha fazla yıllık kazanç sağlanmaktadır. Soğutma uygulamasında elde edilen kazanç yalıtım malzemesine bağlı olarak sırasıyla; EPS, taş yünü ve XPS şeklinde olmaktadır. Aynı durum Mersin, Gaziantep ve İzmir için de geçerlidir. Yalıtım yapılmasıyla elde edilecek yıllık kazanç, yalıtım malzemesi fiyatına bağlıdır. Yalıtım malzemesi fiyatı ile yıllık kazanç ters orantılı olarak değişir. Yalıtım malzemesinin birim fiyatı düştükçe elde edilen kazanç artacaktır. Bu çalışmada kullanılan yalıtım malzemelerinin birim fiyatları, EPS en düşük, XPS en yüksek, taş yünü ise ikisinin ortasında yer almaktadır. Bundan dolayı soğutma uygulamasında en yüksek kazanç EPS'den, en düşük kazanç ise XPS malzemedен elde edilmiştir.



Şekil 5.12. Soğutma uygulamasında II. tip duvar için seçilen illerin geri ödeme süresi.

Soğutma uygulamasında II. tip duvar için seçilen illerin geri ödeme süreleri Şekil 5.12'de verilmiştir. Isıtma uygulamasında olduğu gibi, geri ödeme süresi, yalıtım malzemesinin birim fiyatına, SDS değerine, şimdiki değer faktörüne gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Yalıtım malzemesinin birim fiyatı geri ödeme süresini doğru orantılı, SDS değeri ise ters orantılı olarak etkilemektedir.

Buna göre en küçük geri ödeme süresi SDS değeri en büyük il olan Şanlıurfa'da birim fiyatı en düşük olan yalıtım malzemesi EPS kullanıldığında elde edilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, SDS değeri küçüldükçe geri ödeme süresi artmakta, yalıtım malzemesinin birim fiyatı düştükçe geri ödeme süresi azalmaktadır.



Şekil 5.13. Optimum yalıtım kalınlığının derece saat değeri ile değişimi.

Derece saat değerleri iklim koşullarına göre oldukça değişkenlik göstermektedir. Derece saat değeri yüksek olan illerde, derece saat değeri düşük olan illere göre daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji ihtiyacındaki bu ciddi farklılık optimum yalıtım kalınlığını da önemli ölçüde etkilemektedir. Derece saat değerinin 10000-50000 arasındaki değişiminin optimum yalıtım kalınlığına etkisi Şekil 5.13'de görülmektedir. 10000 derece saat değerine sahip bir bölgede optimum yalıtım kalınlığı 0.02 m olarak elde edilirken, 50000 derece saat değerine sahip bir bölgede bu değer yaklaşık 0.09 m olmaktadır. Dolayısıyla ülkemizde bina uygulamalarında, iklim koşullarına dikkat edilmeli, her il için meteorolojik koşullar göz önünde bulundurularak yalıtım kalınlıkları hesaplanmalıdır.

5.3. YALITIM KALINLIĞININ BACA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ

Yalıtım, iyi bir enerji tasarruf yöntemi olmasının yanında yakıt kaynaklı çevresel kirlilik için de ciddi bir önlemdir. Kömür ve doğal gaz yandıkları zaman çevreye

CO₂ ve SO₂ gibi zararlı gazlar salınmaktadır. İnsan sağlığı için zararlı olan bu gazlar, yakıt tüketiminin artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Bina duvarlarına uygulanacak olan yalıtım, yakıt tüketimini azaltacağı için baca gazı emisyonlarını da önemli ölçüde düşürecektir. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6, 5.7 ve 5.8'de, yalıtım kalınlığına ve yakıt cinsine bağlı olarak baca gazı emisyon miktarları verilmiştir. Çizelge 5.6'dan da görülebileceği gibi, I. tip duvarda XPS kullanılması durumunda yakıt olarak kömür için en yüksek IDS değerine sahip olan Diyarbakır'da yalıtımsız halde CO₂ emisyonu 133.341 kg/m²yıl iken, bu değer optimum yalıtım kalınlığında 39.348 kg/m²yıl'a düşmektedir. Aynı şekilde, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8 incelendiğinde yalıtım kalınlığının çevre üzerindeki olumlu etkisi açıkça görülmektedir. Yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda, Diyarbakır'da yalıtımsız halde CO₂ emisyonu 65.851 kg/m²yıl olurken, optimum yalıtım kalınlığında 22.78 kg/m²yıl'a kadar düşmektedir. Çizelge 5.16'dan da görüleceği gibi, SO₂ emisyonu incelendiğinde de benzer durumdan söz etmek mümkündür. Seçilen iller içinde en büyük IDS değerine sahip Diyarbakır'da I. tip duvarda XPS kullanılması durumunda yakıt olarak kömür kullanıldığında, yalıtımsız halde 0.27 kg/m²yıl olurken, optimum yalıtım kalınlığında bu değer 0.08 kg/m²yıl'a düşmüştür. IDS değeri en küçük il olan Mersin'de yalıtımsız halde SO₂ emisyonu 0.10 kg/m²yıl iken, bu değer optimum yalıtım kalınlığında 0.05 kg/m²yıl'a kadar düşmüştür. Diyarbakır için kömür ve doğal gaz kullanılması sonucunda oluşan CO₂ ve SO₂ emisyonu karşılaştırıldığında, yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde CO₂ ve SO₂ emisyonu yarı yarıya düşmektedir. Bu durum ısıtma sistemlerinde doğal gaz kullanılmasınının çevre açısından önemini göstermektedir.

Çizelge 5.7. Isıtma uygulamalarında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması halinde kömür için CO₂ emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.

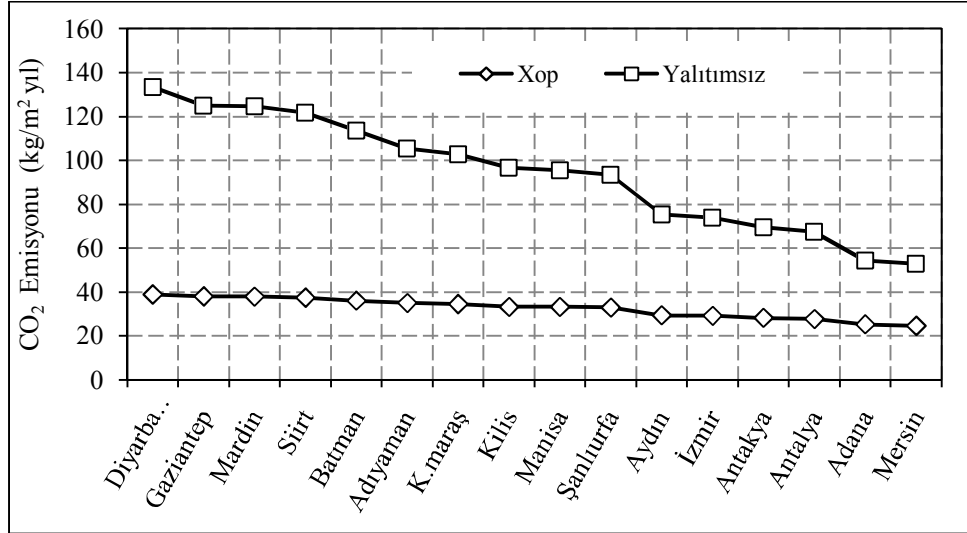
	Yalıtım Kalınlığı (m)								
	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16
İller	CO ₂ Emisyonu (kg/m ² yıl)								
Mersin	53.038	31.523	22.426	17.404	14.219	12.020	10.410	9.180	8.210
Adana	54.407	32.337	23.005	17.853	14.586	12.330	10.679	9.417	8.422
Antalya	67.418	40.070	28.506	22.122	18.074	15.279	13.232	11.669	10.436
Hatay	69.659	41.402	29.454	22.858	18.675	15.787	13.672	12.057	10.783
İzmir	73.954	43.955	31.270	24.267	19.827	16.760	14.515	12.800	11.448
Aydın	75.510	44.880	31.928	24.778	20.244	17.113	14.820	13.070	11.689
Şanlıurfa	93.563	55.609	39.561	30.702	25.084	21.204	18.364	16.194	14.483
Manisa	95.555	56.793	40.404	31.355	25.618	21.655	18.755	16.539	14.792
Kilis	96.738	57.496	40.904	31.743	25.935	21.924	18.987	16.744	14.975
K.Maraş	102.901	61.159	43.510	33.766	27.587	23.320	20.196	17.811	15.929
Adıyaman	105.515	62.713	44.615	34.623	28.288	23.913	20.710	18.263	16.334
Batman	113.483	67.449	47.984	37.238	30.424	25.719	22.273	19.642	17.567
Siirt	121.887	72.444	51.538	39.996	32.677	27.623	23.923	21.097	18.868
Mardin	124.751	74.146	52.749	40.935	33.445	28.272	24.485	21.592	19.311
Gaziantep	125.062	74.331	52.880	41.037	33.529	28.343	24.546	21.646	19.359
Diyarbakır	133.341	79.252	56.381	43.754	35.748	30.219	26.171	23.079	20.641

Çizelge 5.8. Isıtma uygulamalarında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması halinde doğal gaz için CO₂ emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.

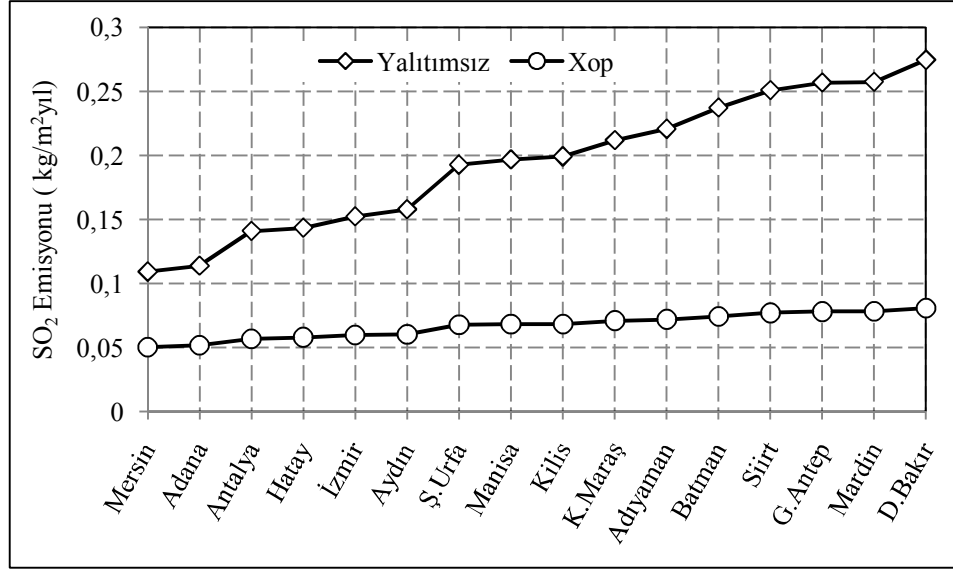
	Yalıtım Kalınlığı (m)								
	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16
İller	CO ₂ Emisyonu (kg/m ² yıl)								
Mersin	26.193	17.611	12.529	9.723	7.944	6.715	5.816	5.129	4.587
Adana	26.869	18.066	12.853	9.974	8.149	6.889	5.966	5.261	4.705
Aydın	33.294	22.386	15.926	12.359	10.098	8.536	7.393	6.519	5.831
Hatay	34.401	23.131	16.455	12.770	10.434	8.820	7.638	6.736	6.024
İzmir	36.522	24.557	17.470	13.558	11.077	9.364	8.109	7.151	6.396
Şanlıurfa	46.206	31.068	22.102	17.152	14.014	11.846	10.259	9.048	8.092
Manisa	47.190	31.730	22.573	17.518	14.312	12.099	10.478	9.240	8.264
Kilis	47.774	32.122	22.852	17.734	14.489	12.248	10.608	9.355	8.366
K. Maraş	50.818	34.169	24.308	18.864	15.413	13.029	11.283	9.950	8.899
Adıyaman	52.109	35.037	24.926	19.344	15.804	13.360	11.570	10.203	9.125
Antalya	52.109	35.037	24.926	19.344	15.804	13.360	11.570	10.203	9.125
Batman	56.044	37.683	26.808	20.804	16.998	14.369	12.444	10.974	9.814
Siirt	60.194	40.473	28.793	22.345	18.256	15.433	13.365	11.786	10.541
Mardin	61.609	41.424	29.470	22.870	18.685	15.795	13.679	12.063	10.789
Gaziantep	61.762	41.527	29.543	22.927	18.732	15.835	13.713	12.093	10.816
Diyarbakır	65.851	44.277	31.499	24.445	19.972	16.883	14.621	12.894	11.532

Çizelge 5.9. Isıtma uygulamalarında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi kullanılması halinde kömür için SO₂ emisyonunun yalıtım kalınlığı ile değişimi.

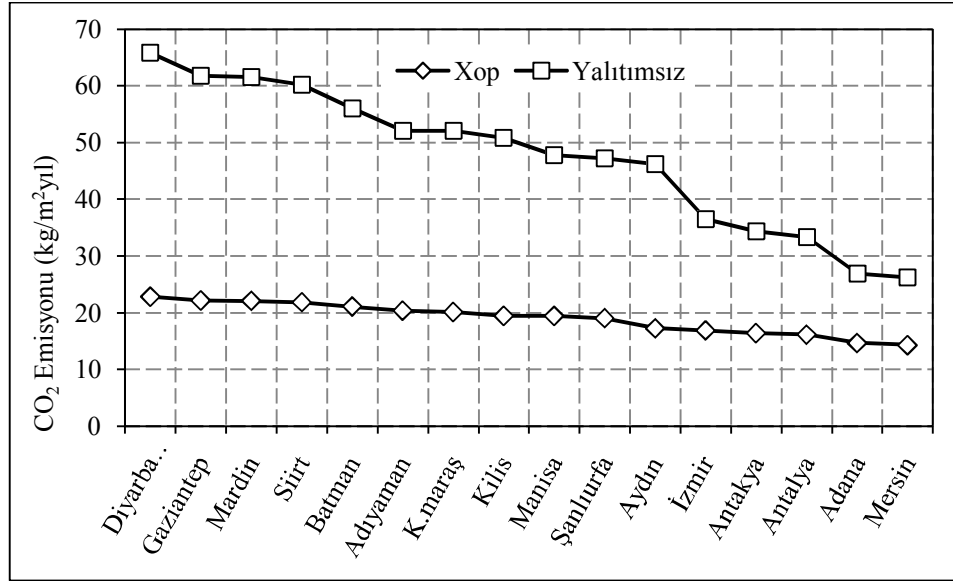
	Yalıtım Kalınlığı (m)								
	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16
İller	SO ₂ Emisyonu (kg/m ² yıl)								
Mersin	0.109	0.065	0.046	0.036	0.029	0.025	0.021	0.019	0.017
Adana	0.114	0.068	0.048	0.037	0.030	0.026	0.022	0.020	0.018
Antalya	0.141	0.084	0.060	0.046	0.038	0.032	0.028	0.024	0.022
Hatay	0.143	0.085	0.061	0.047	0.038	0.032	0.028	0.025	0.022
İzmir	0.152	0.090	0.064	0.050	0.041	0.034	0.030	0.026	0.024
Aydın	0.158	0.094	0.067	0.052	0.042	0.036	0.031	0.027	0.024
Şanlıurfa	0.192	0.114	0.081	0.063	0.052	0.044	0.038	0.033	0.030
Manisa	0.197	0.117	0.083	0.065	0.053	0.045	0.039	0.034	0.030
Kilis	0.199	0.118	0.084	0.065	0.053	0.045	0.039	0.034	0.031
Kahramanmaraş	0.212	0.126	0.090	0.069	0.057	0.048	0.042	0.037	0.033
Adıyaman	0.220	0.131	0.093	0.072	0.059	0.050	0.043	0.038	0.034
Batman	0.237	0.141	0.100	0.078	0.064	0.054	0.047	0.041	0.037
Siirt	0.251	0.149	0.106	0.082	0.067	0.057	0.049	0.043	0.039
Gaziantep	0.257	0.153	0.109	0.084	0.069	0.058	0.051	0.045	0.040
Mardin	0.257	0.153	0.109	0.084	0.069	0.058	0.050	0.044	0.040
Diyarbakır	0.274	0.163	0.116	0.090	0.074	0.062	0.054	0.047	0.042



Şekil 5.14. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda seçilen illere göre yalıtımsız ve optimum yalıtımlı halde CO₂ emisyonları.



Şekil 5.15. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda seçilen illere göre yalıtımsız ve optimum yalıtımlı halde SO₂ emisyonları.



Şekil 5.16. Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yakıt olarak doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda seçilen illere göre yalıtımsız ve optimum yalıtımlı halde CO₂ emisyonları.

Isıtma uygulamasında I. tip duvar için yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda seçilen illerin yalıtımsız halde ve optimum yalıtım kalınlığına göre baca gazı emisyonları Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'da verilmiştir. Şekil 5.14'de yakıt olarak kömür kullanılması halinde CO₂ emisyonu, Şekil 5.15'de ise SO₂ emisyonu

verilmiştir. IDS değeri fazla olan illerin enerji ihtiyacı fazla olacağından, yakıt tüketimi de artacaktır. Yakıt tüketimi ile doğru orantılı bir şekilde artan baca gazı emisyonu en fazla Diyarbakır ilinde olurken, en düşük baca gazı emisyonu, IDS değeri küçük olmasından dolayı yakıt tüketiminin az olduğu Mersin ilinde gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji verimliliğini arttırmak ve enerji tasarrufunu en üst düzeye çıkartmak için ısı yalıtımı en iyi yöntemlerin başında gelmektedir. Bina dış duvarlarına uygulanacak olan ısı yalıtımı ile kış aylarında meydana gelen ısı kaybı, yaz aylarında ise oluşan ısı kazancı, büyük ölçüde önlenmiş olur. Aynı zamanda binalarda uygulanacak ısı yalıtımı, tüketilen yakıt miktarını azaltacağı için çevreye salınan zararlı gazları da önemli ölçüde azaltacaktır. Bina ısı yalıtımı, bina duvarlarının gerek kışın, gerekse yazın karşılaştacağı iç ve dış ortam şartlarını optimum seviyede karşılayabilecek şekilde yapılmalıdır.

Bu çalışmada, seçilen 16 ilde, iki tip duvar konstrüksiyonu için yalıtım malzemesi olarak taş yünü, genleştirilmiş polistiren (EPS) ve sıkılaştırılmış polistiren (XPS); yakıt olarak doğal gaz, kömür ve elektrik kullanılarak ısıtma ve soğutma uygulamaları için optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç, geri ödeme süresi belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, ısıtma uygulamalarında en küçük optimum yalıtım kalınlığı I. tip duvarda, yalıtım malzemesi olarak XPS, yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda IDS değeri en küçük il olan Mersin’de elde edilmiştir. Yine aynı şartlarda en büyük optimum yalıtım kalınlığı, IDS değeri en yüksek olan Diyarbakır ilinde gerçekleşmiştir. Yalıtım malzemesi türüne göre, en küçük optimum yalıtım kalınlığı sırasıyla XPS, taş yünü ve EPS kullanılması durumunda elde edilmiştir. Yakıt türüne göre sıralama yapıldığında, en küçük optimum yalıtım kalınlığı doğal gaz, kömür ve elektrik olacak şekilde elde edilmiştir. Yalıtım kalınlığına bağlı olarak yalıtımlı yıllık toplam maliyet, IDS değeri en küçük il olan Mersin’de minimum, IDS değeri en büyük il olan Diyarbakır’da maksimum olmaktadır. Yıllık kazanç dikkate alındığında, maksimum yıllık kazanç Diyarbakır ilinde I. tip duvarda (sandviç duvar), minimum yıllık kazanç ise Mersin ilinde elde edilmektedir. Geri ödeme süresi ise optimum yalıtım kalınlığına bağlı olarak

Diyarbakır ilinde minimum olmakta diğer illerde artarak Mersin ilinde maksimum olmaktadır.

Benzer şekilde soğutma uygulaması için, en küçük optimum yalıtım kalınlığı I. tip duvarda, yalıtım malzemesi olarak XPS, kullanılması durumunda SDS değeri en küçük il olan Mersin, İzmir ve Gaziantep’de elde edilmiştir. Aynı şartlar için en büyük optimum yalıtım kalınlığı, SDS değeri en yüksek olan Şanlıurfa ilinde gerçekleşmiştir. Soğutma uygulamaları için yalıtım malzemesi durumuna göre karşılaştırılma yapıldığında, ısıtma uygulamalarındaki duruma benzer olarak en küçük optimum yalıtım kalınlığı sırasıyla XPS, taş yünü ve EPS kullanılması durumunda elde edilmiştir. Soğutma uygulamalarında yalıtım kalınlığına bağlı olarak yalıtımlı yıllık toplam maliyet SDS değeri en küçük il olan Mersin’de minimum, SDS değeri en büyük il olan Şanlıurfa’da maksimum olmaktadır. Yıllık kazançlar dikkate alındığında, maksimum yıllık kazanç Şanlıurfa ilinde I. tip duvarda (sandviç duvar), minimum yıllık kazanç ise Mersin ilinde elde edilmektedir. Isıtma uygulamalarına benzer olarak geri ödeme süresi optimum yalıtım kalınlığına bağlı olarak Şanlıurfa ilinde minimum olmakta diğer illerde artarak Mersin, Gaziantep ve İzmir illerinde maksimum olmaktadır.

Yakıt tüketimi ile doğru orantılı bir şekilde artan baca gazı emisyonu en fazla Diyarbakır ilinde olurken, en düşük baca gazı emisyonu, IDS değeri küçük olmasından dolayı yakıt tüketiminin az olduğu Mersin ilinde gözlemlenmiştir. Ayrıca en fazla baca gazı emisyonu, yakıt olarak kömür kullanılmasında elde edilirken en az baca gazı emisyonu doğal gaz kullanılması halinde elde edilmektedir. optimum yalıtım kalınlığında yalıtım malzemelerinin durumuna göre baca gazı emisyonları karşılaştırılması yapıldığında en baca gazı emisyonu sırasıyla XPS, taş yünü ve EPS şeklinde olmaktadır.

Konutların ısıtma ve soğutma uygulamalarında enerji giderleri yüksek olan ülkemizde optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesiyle yapılacak yalıtım uygulamaları sonucunda sağlanan yakıt tasarrufu dolayısıyla enerjiyi verimli kullanmak daha da önem kazanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, uygun duvar konstrüksiyonu ve yalıtım malzemesinin belirlenmesiyle, binalarda enerjinin etkin

kullanılması ve yerel kaynakların korunması, ithal enerji talebinin düşürülmesi ve buna bağlı olarak daha az yakıt tüketilmesi ile zararlı emisyonların çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması mümkün görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bolattürk, A., “Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey”, *Building and Environment*, 43 (6): 1055–1064 (2008).
2. Bolattürk, A., “Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey”, *Applied Thermal Engineering*, 26 (11-12): 1301–1309 (2006).
3. Gölcü, M., Dombaycı, A. ve Abalı, S., “Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (4): 639-644 (2006).
4. Öztuna, S. ve Dereli E., “Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi”, *Trakya Univ J Sci*, 10 (2): 139-147 (2009).
5. Çay Y., “Farklı yapı malzemeleri kullanımında ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkileri”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (1): 47-56 (2011).
6. Deniz, E., Gürel, A.E., Daşdemir, A. and Çamur, D., “Fuel consumption and influences of external wall optimum insulation thickness to owning cost of energy”, *Karabuk Univ, Technology*, 12 (4): 283-290 (2009).
7. Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M. and Özbalta, N., “Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28 (2): 25-34 (2008).
8. Mahlia, T.M.I. and Iqbal, A., “Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives”, *Energy*, 35 (5): 2242-2250 (2010).
9. Çomaklı, K., and Yüksel, B., “Optimum insulation thickness of external walls for energy saving”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (4): 473-479 (2003).
10. Aksoy, U.T. and Keleşoğlu, Ö., “Bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma maliyeti üzerinde etkileri”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22 (1): 103-109 (2007).
11. Kaynaklı, Ö. ve Yamankaradeniz, R., “Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 104 (3): 19-25 (2008).

12. Al-Khawaja, M.J., “Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation”, *Applied Thermal Engineering*, 24 (17-18): 2601-2610 (2004).
13. Özel, M. and Pıhtılı, K., “Determination of optimum insulation thickness by using heating and cooling degree-day values”, *Sigma*, 26 (3): 191-197 (2008).
14. Keçebas, A. and Kayfeci, M., “Effect on optimum insulation thickness, cost and saving of storage desing temperature in cold storage in Turkey”, *Energy Education Science and Technology*, 25 (2): 117-127 (2010).
15. Çay, Y., “The impact of determination of optimum insulation thickness on energy saving for different climatic regions of Turkey”, *Energy Education Science and Technology*, 28 (10): 83-94 (2011)
16. Balo, F. ve Uçar, A., “Yapıların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığının üç farklı metotla tespiti”, *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 1: 271-285 (2011).
17. Özkan , B.D. and Onan, C. “Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buldings for various climatic regions in Turkey”, *Applied Energy*, 88 (4): 1331-1342 (2011).
18. Daouas, N., “A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads”, *Applied Energy*, 88 (1): 156-164 (2011).
19. Daouas, N., Hassen, H. and Aıssia, H., “Analytical periodic solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia”, *Applied Thermal Engineering*, 30 (4): 319-326 (2010).
20. Yu, J., Yang, C., Tian, L., and Liao, D., “A study on optimum insulation thickness of external walls in hot summer and cold winter zone of China”, *Applied Energy*, 86 (4): 2520-2529 (2009).
21. Özel M., ve Pıhtılı, K., “Duvar yalıtım kalınlığının pencere alanlarına etkisinin araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (3): 655-662 (2008).
22. Aytaç A. ve Aksoy U.T., “Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 21 (4): 753-758 (2006).
23. Mihlayanlar, E., Umaroğulları, F. ve Kartal, S., “Binalarda enerji verimliliği açısından ısı yalıtımının hava kirliliğine etkisi - Edirne örneği” *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 2: 2109-2119 (2011).

24. Öztutku, O. ve Karakuş, C., “Binalarda ısı yalıtımı yoluyla enerji tasarrufu ve örnek bir uygulama: mku mühendislik fakültesi binasının enerji performans değerleri ve maliyetleri”, *10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 2: 2121-2133 (2011).
25. Sisman, N., Kahya, E., Aras, N. and Aras, H., “Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey’s different degree-day regions”, *Energy Policy*, 35 (10): 5151-5155 (2007).
26. Hasan, A., “ Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost”, *Applied Energy*, 63 (2): 115-124 (1999).
27. Mohsen, M.S. and Akash, B.A., “Some prospects of energy saving in buildings”, *Energy Conversion & Management*, 42 (1): 1307-1315 (2001).
28. Karakoç, H., Turan. O., Binyıldız. E. ve Yıldırım. E., “Isı yalıtımı”, *Rota Yayınları*, İstanbul, 94-98 (2011)
29. İnternet: İzocam, “İzocam ısı yalıtım ürünleri”
<http://www.izocam.com.tr/izocam/Urunler/Tasyunu.aspx> (2010)
30. İnternet: “Türkiye’nin genel enerji durumu”
[http://www.scribd.com/doc/51155050/10/Turkiye%E2%80%99nin-Genel Enerji Durumu](http://www.scribd.com/doc/51155050/10/Turkiye%E2%80%99nin-Genel-Enerji-Durumu) (2006)
31. Dilmaç, S. ve Tırıs, M., “Türkiye’de konut sektöründe enerji tasarrufu”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 22 (3): 10-13 (1995).
32. Yılmaz, T. “Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91(1): 10-13 (2006).
33. İnternet : İzoder yayınları “Isı yalıtımı”,
http://www.izoder.org.tr/isiyalitimi/ISIYALITIMI_GIRIS.pdf (2011)
34. İnternet : İzoder yayınları “Isı yalıtımı”,
http://www.izoder.org.tr/isiyalitimi/ISIYALITIMI_6.pdf (2011)
35. Dağsöz, A. K. , “Yapılarda ısı yalıtım ve buhar geçişi”, *İTÜ yayınları*, İstanbul, 125-310 (1996).
36. Palin, G. R.,“Teknolojide plastikler”, *Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, 5-220 (2000).
37. Yaşar, H. , “Plastikler dünyası”, *Makine Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara, 3-315 (2001).
38. Bulut, H. ve Büyükalaca, O., “Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün bölgeleri”, *ULIBTK’07 16.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, 2: 867-872 (2007).

39. Bulut, H. O. Büyükcalaca ve T. Yılmaz, “Akdeniz bölgesi için ısıtma ve soğutma derece-saat değerlerinin analizi”, **2. Ulusal İklimlendirme Kongresi Bildiriler Kitabı**, Antalya, 111-122 (2007).
40. Dağdır, C. ve Bolattürk, A. “Sıcak iklim bölgelerindeki binalarda ısıtma ve soğutma yüküne göre tespit edilen optimum yalıtım kalınlıklarının karşılaştırılması”, **10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir, 1: 251-273 (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Ali DAŞDEMİR, 1982 yılında Muğla'nın Köyceğiz ilçesinde doğdu. İlk ve ortaokulu aynı ilçede tamamladıktan sonra devlet parasız yatılı olarak Ankara'da başladığı lise öğrenimini Çine Teknik Lisesi Elektrik bölümünde tamamladı. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği Bölümünde üniversite eğitimine başlayıp 2008 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2011 yılında Köyceğiz Anadolu Tek.Lisesi, Anadolu Meslek Lisesi, Teknik Lise, Meslekî ve Teknik Eğitim Merkezi ve Denizcilik ML. - Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Öğretmeni olarak atandı. Halen, 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi bölümünde başlamış olduğu yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (544) 861 8766

E-posta : dasdemirali@gmail.com

EK AÇIKLAMALAR A.

SEÇİLEN İLLER İÇİN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI, GERİ

ÖDEME SÜRELERİ, YILLIK KAZANÇLAR

Çizelge Ek A.1. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda iki farklı tip duvarın karşılaştırılması.

İller	I.Tip Duvar			II.Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Mersin	0.110	2.27	31.68	0.108	2.40	28.99
Adana	0.120	2.25	32.74	0.110	2.37	29.98
Antalya	0.128	2.01	43.01	0.127	2.14	39.55
Antakya	0.131	1.99	44.80	0.129	2.10	41.22
İzmir	0.136	1.93	48.26	0.134	2.03	44.45
Aydın	0.138	1.91	49.52	0.136	2.02	45.63
Şanlıurfa	0.157	1.71	64.35	0.155	1.81	59.49
Manisa	0.159	1.69	66.01	0.157	1.79	61.04
Kilis	0.160	1.68	16.99	0.158	1.78	61.96
Kahramanmaraş	0.166	1.63	72.14	0.164	1.72	66.78
Adıyaman	0.167	1.61	74.34	0.167	1.71	68.84
Batman	0.176	1.55	81.06	0.174	1.64	75.13
Siirt	0.184	1.50	88.19	0.182	1.59	81.81
Mardin	0.186	1.48	90.64	0.184	1.56	84.10
Gaziantep	0.187	1.48	90.90	0.185	1.57	84.35
Diyarbakır	0.194	1.44	97.99	0.192	1.52	90.99

Çizelge Ek A.2. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda iki farklı tip duvarın karşılaştırılması.

İller	I.Tip Duvar			II.Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Mersin	0.088	2.72	28.25	0.086	2.87	25.63
Adana	0.089	2.67	29.26	0.087	2.82	26.56
Antalya	0.103	2.40	39.00	0.101	2.53	35.60
Antakya	0.105	2.36	40.71	0.103	2.49	37.19
İzmir	0.109	2.29	44.01	0.107	2.41	40.27
Aydın	0.111	2.27	45.22	0.109	2.40	4.39
Şanlıurfa	0.127	2.04	59.43	0.125	2.15	54.63
Manisa	0.129	2.02	61.02	0.127	2.13	56.18
Kilis	0.130	2.01	61.96	0.128	2.12	57.00
Adıyaman	0.134	1.92	68.04	0.135	2.03	63.60
Kahramanmaraş	0.135	1.94	66.92	0.133	2.05	61.78
Batman	0.143	1.85	81.06	0.141	1.95	69.65
Siirt	0.150	1.79	82.41	0.148	1.89	76.10
Gaziantep	0.152	1.76	85.03	0.150	1.86	78.54
Mardin	0.152	1.77	84.77	0.150	1.86	78.30
Diyarbakır	0.158	1.71	91.89	0.156	1.52	90.99

Çizelge Ek A.3. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak XPS ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda iki farklı tip duvarın karşılaştırılması.

İller	I.Tip Duvar			II. Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Mersin	0.067	3.02	25.80	0.066	3.21	23.24
Adana	0.069	3.00	26.76	0.067	3.16	24.12
Antalya	0.080	2.70	36.11	0.078	2.84	32.77
Antakya	0.081	2.63	37.76	0.079	2.80	34.30
İzmir	0.085	2.57	40.94	0.083	2.71	37.25
Aydın	0.086	2.54	42.10	0.084	2.67	38.33
Şanlıurfa	0.099	1.81	59.49	0.097	2.40	51.11
Manisa	0.100	2.25	57.39	0.099	2.39	52.54
Kilis	0.101	2.24	58.31	0.100	2.38	53.40
Kahramanmaraş	0.105	2.17	63.12	0.103	2.30	57.88
Adıyaman	0.107	2.15	65.18	0.105	2.26	59.80
Batman	0.112	2.07	71.48	0.110	2.18	65.67
Siirt	0.117	1.99	78.19	0.115	2.10	71.93
Gaziantep	0.119	1.97	80.74	0.117	2.08	74.31
Mardin	0.119	1.98	80.49	0.117	2.08	74.08
Diyarbakır	0.124	1.91	87.43	0.122	2.01	87.55

Çizelge Ek A.4. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda iki farklı tip duvarın karşılaştırılması.

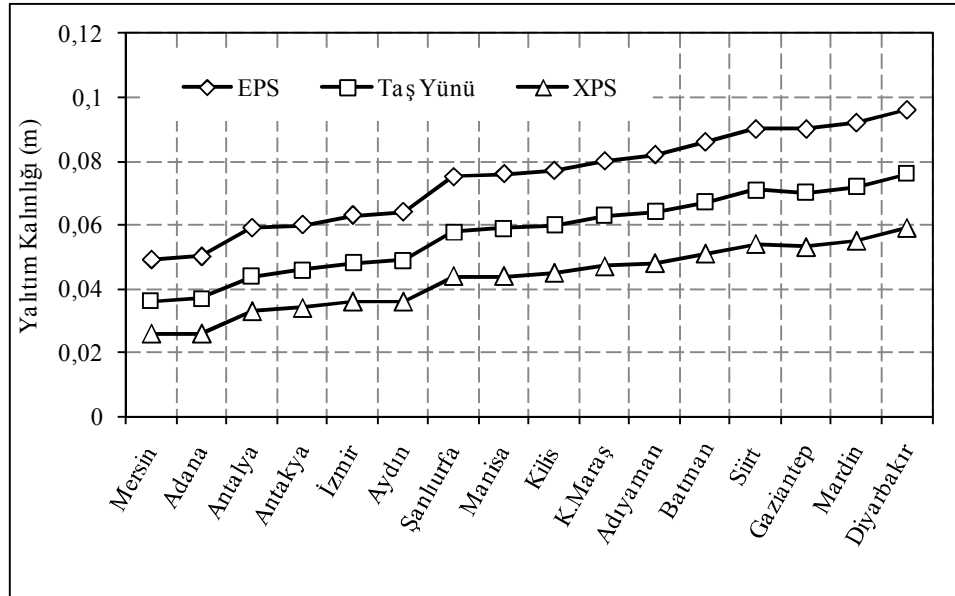
İller	I.Tip Duvar			II.Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Mersin	0.060	3.48	9.51	0.059	3.71	8.46
Adana	0.062	3.47	9.89	0.060	3.66	8.81
Antalya	0.072	3.10	13.61	0.070	3.27	12.24
Antakya	0.074	3.05	14.27	0.072	3.22	12.85
İzmir	0.077	2.96	15.54	0.075	3.12	14.02
Aydın	0.078	2.92	16.02	0.076	3.08	14.46
Şanlıurfa	0.091	2.64	21.56	0.089	2.78	19.59
Manisa	0.092	2.60	22.18	0.090	2.75	20.17
Kilis	0.093	2.59	22.56	0.091	2.73	20.51
Kahramanmaraş	0.097	2.51	24.51	0.095	2.65	22.32
Adıyaman	0.099	2.49	25.34	0.097	2.63	23.10
Batman	0.103	2.38	27.90	0.102	2.53	25.48
Siirt	0.108	2.30	30.64	0.106	2.43	28.02
Gaziantep	0.110	2.27	31.68	0.108	2.40	28.99
Mardin	0.110	2.28	31.57	0.108	2.41	28.89
Diyarbakır	0.115	2.12	34.41	0.113	2.33	31.53

Çizelge Ek A.5. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda iki farklı tip duvarın karşılaştırılması.

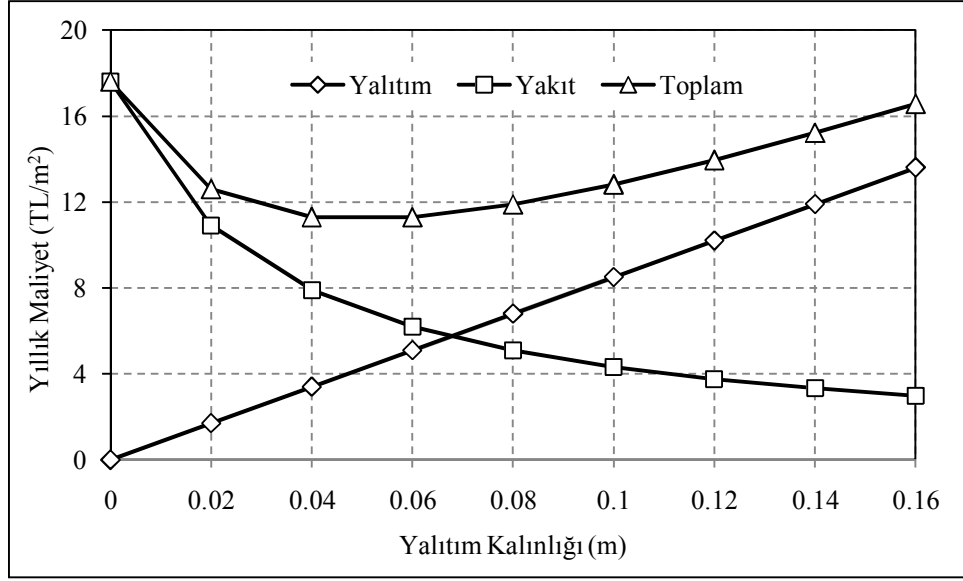
İller	I.Tip Duvar			II.Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Mersin	0.046	4.18	7.68	0.044	4.40	6.69
Adana	0.047	4.12	8.02	0.045	4.35	7.00
Antalya	0.056	3.70	11.40	0.054	3.91	10.09
Antakya	0.057	3.62	12.01	0.055	3.82	10.64
İzmir	0.060	3.53	13.18	0.058	3.72	11.72
Aydın	0.061	3.49	13.61	0.059	3.68	12.11
Şanlıurfa	0.071	3.12	18.75	0.069	3.29	16.84
Manisa	0.072	3.08	19.33	0.071	3.28	17.38
Kilis	0.073	3.08	19.68	0.071	3.24	17.70
Kahramanmaraş	0.076	2.97	21.50	0.075	3.17	19.39
Adıyaman	0.078	2.95	22.29	0.076	3.12	20.11
Batman	0.082	2.84	24.69	0.080	3.00	22.33
Siirt	0.086	2.74	27.24	0.084	2.89	24.72
Mardin	0.087	2.70	28.15	0.086	2.87	25.54
Gaziantep	0.088	2.72	28.25	0.086	2.40	28.99
Diyarbakır	0.091	2.61	30.83	0.090	2.78	28.02

Çizelge Ek A.6. Isıtma uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak XPS ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda iki farklı tip duvarın karşılaştırılması.

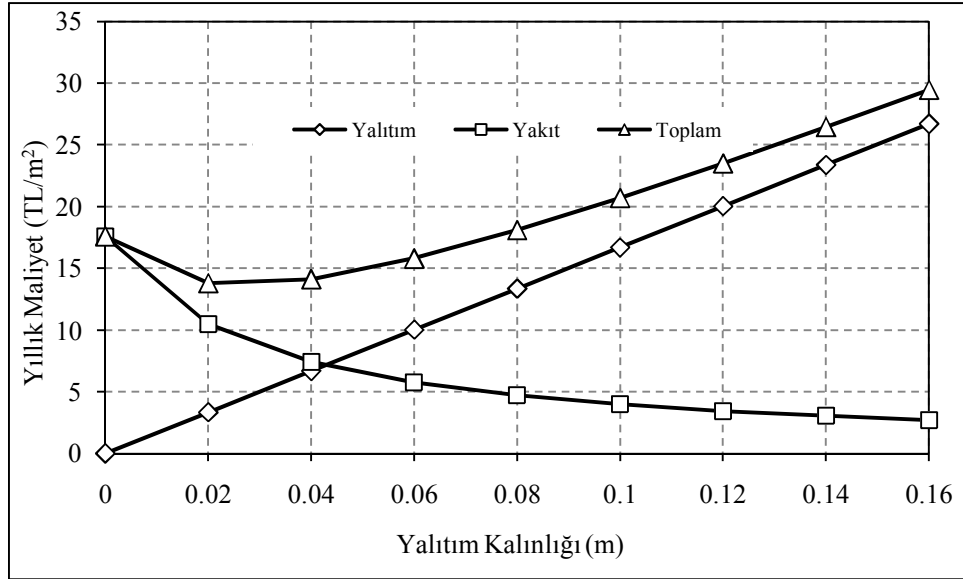
İller	I.Tip Duvar			II.Tip Duvar		
	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)	x_{op} (m)	GÖS (Yıl)	S (TL/m ²)
Mersin	0.034	4.68	6.34	0.032	4.92	5.50
Adana	0.034	4.57	6.74	0.033	4.87	5.78
Antalya	0.042	4.15	9.87	0.040	4.36	8.64
Antakya	0.043	4.07	10.43	0.041	4.28	9.12
İzmir	0.045	3.94	11.52	0.043	4.15	10.12
Aydın	0.046	3.91	11.93	0.044	4.11	10.48
Şanlıurfa	0.054	3.49	16.72	0.053	3.72	14.91
Manisa	0.055	3.46	17.32	0.053	3.64	15.42
Kilis	0.056	3.46	17.65	0.054	3.64	15.72
Kahramanmaraş	0.058	3.33	19.38	0.057	3.54	17.31
Adıyaman	0.059	3.28	20.12	0.058	3.49	17.99
Batman	0.063	3.19	22.41	0.061	3.36	20.10
Siirt	0.066	3.07	24.86	0.064	3.23	22.37
Gaziantep	0.067	3.02	25.80	0.066	3.21	23.27
Mardin	0.069	3.19	24.51	0.067	3.37	21.98
Diyarbakır	0.073	3.10	27.01	0.071	3.28	24.29



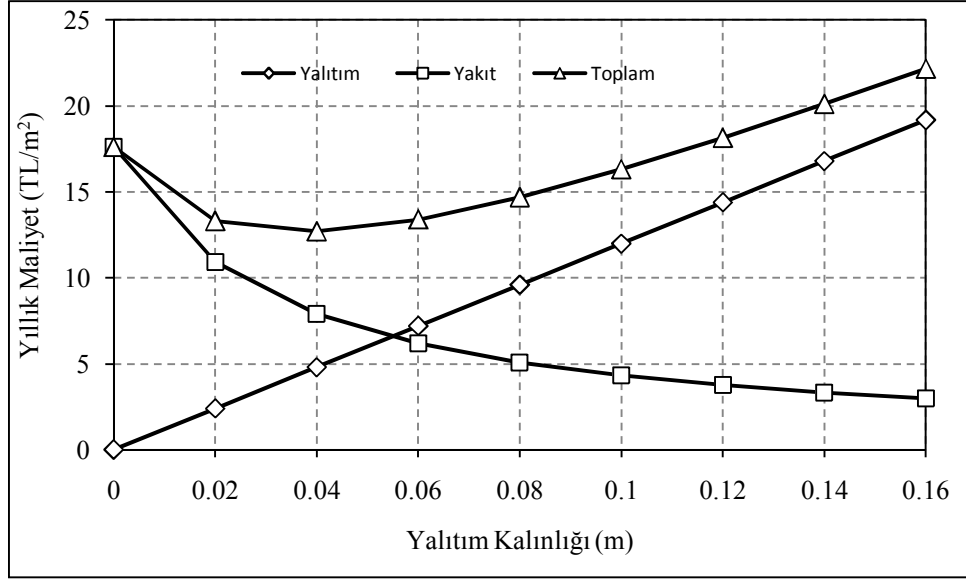
Şekil Ek A.1. Yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde II. tip duvar için 16 ilin optimum yalıtım kalınlıkları.



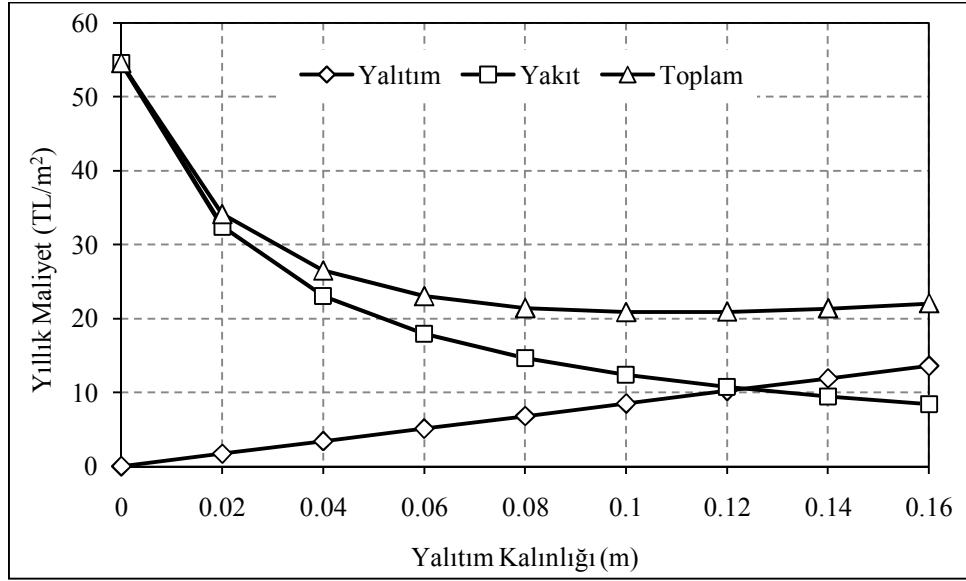
Şekil Ek A.2. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



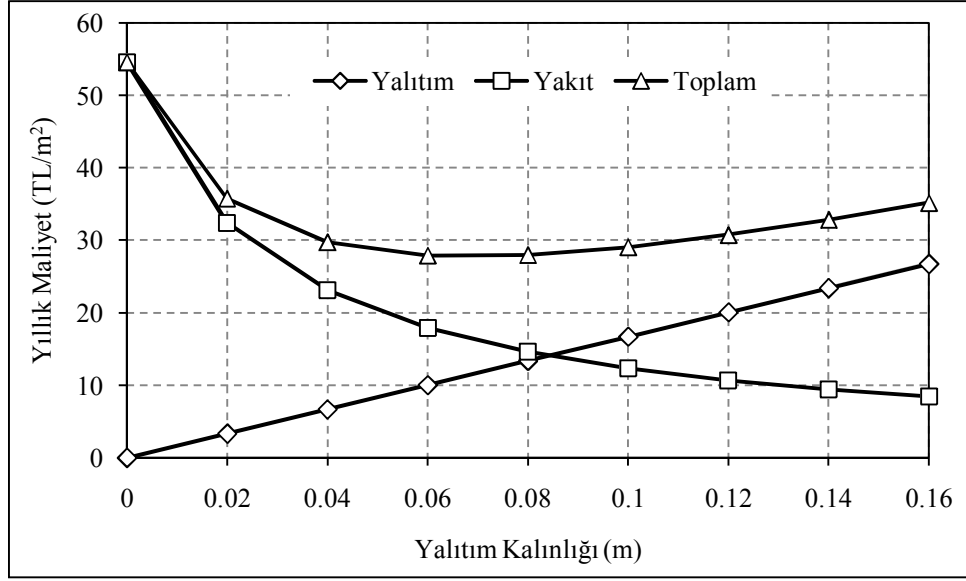
Şekil Ek A.3. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda XPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



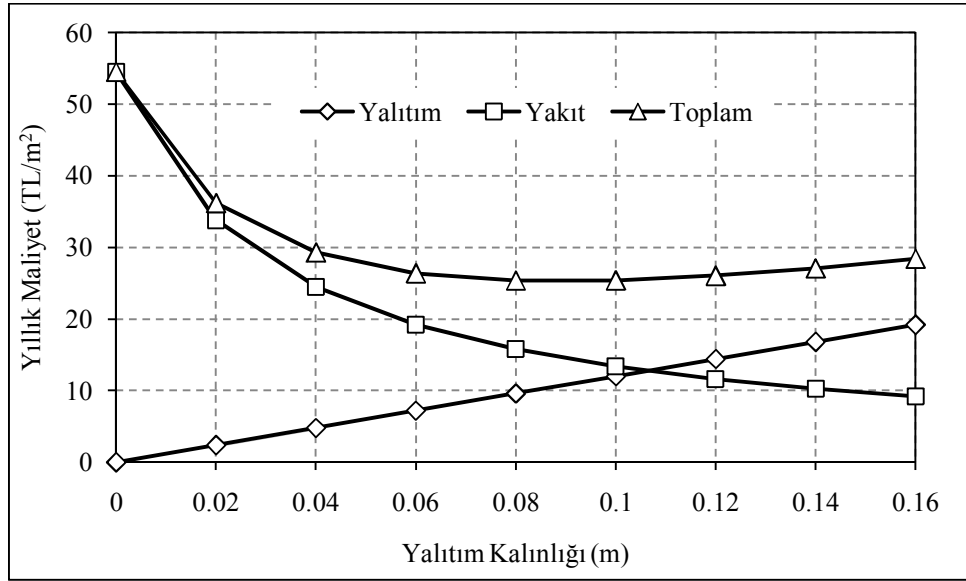
Şekil Ek A.4. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda taş yünü yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



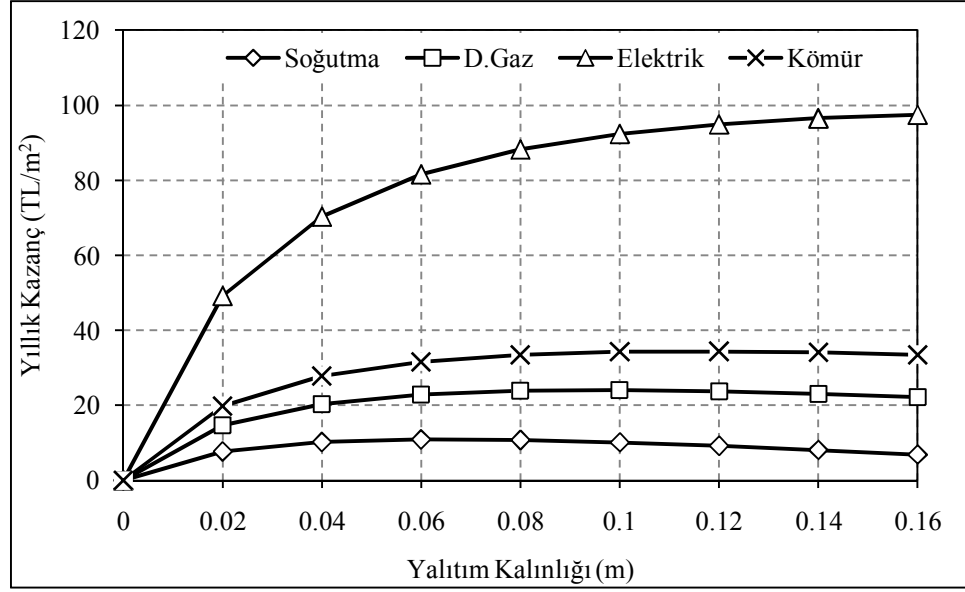
Şekil Ek A.5. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak elektrik kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



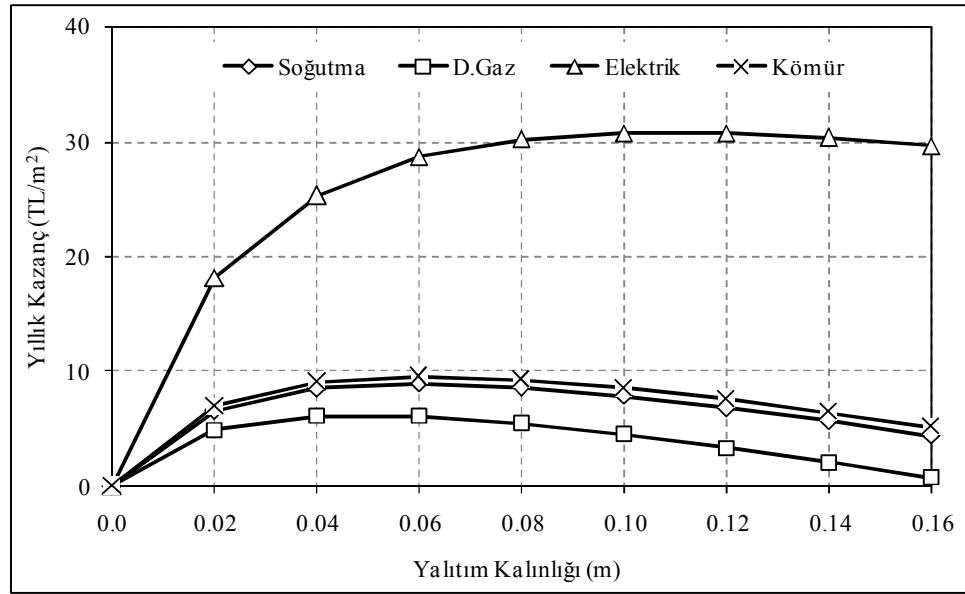
Şekil Ek A.6. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



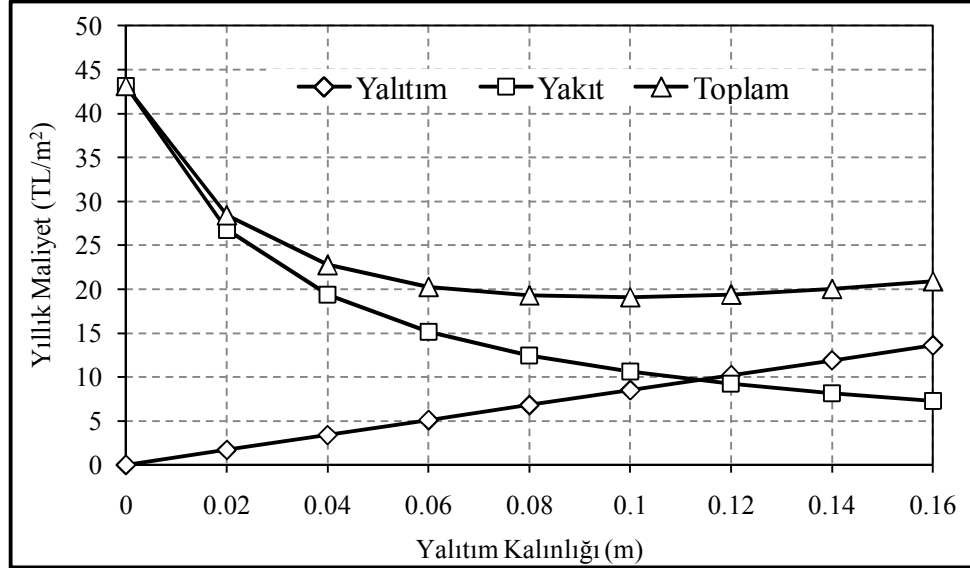
Şekil Ek A.7. Adana ili için ısıtma uygulamasında I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



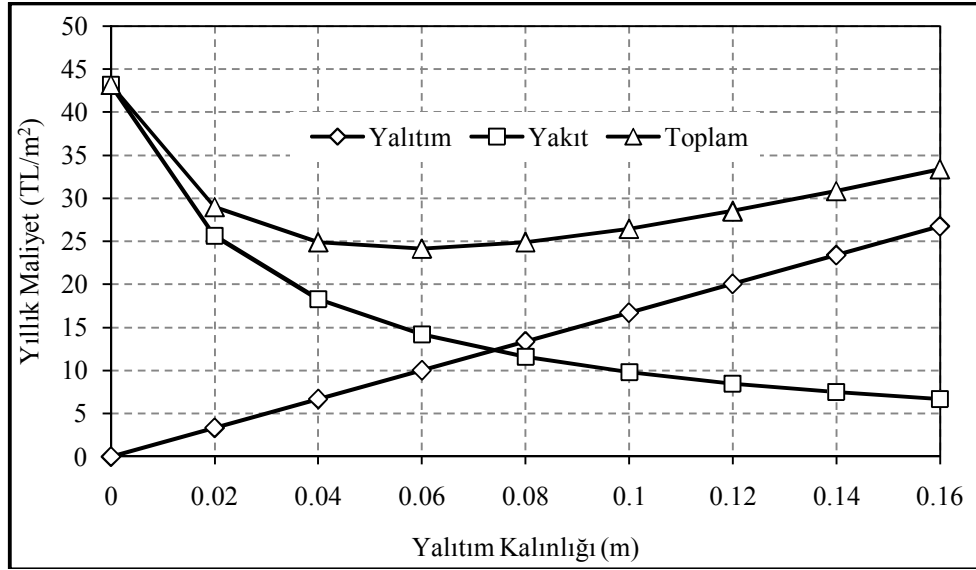
Şekil Ek A.8. Diyarbakır ili için I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.



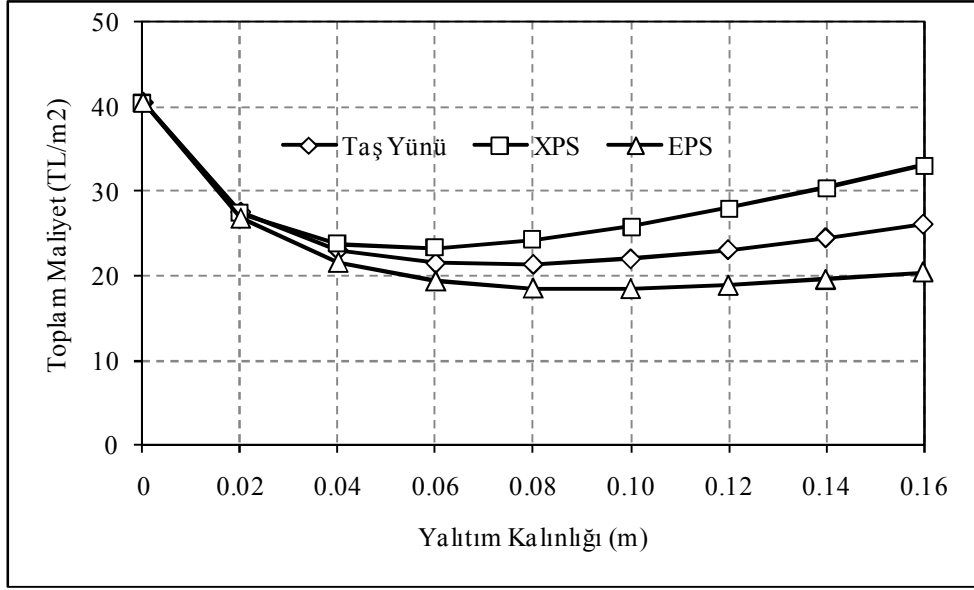
Şekil Ek A.9. Mersin ili için I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda farklı yakıtlar için yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.



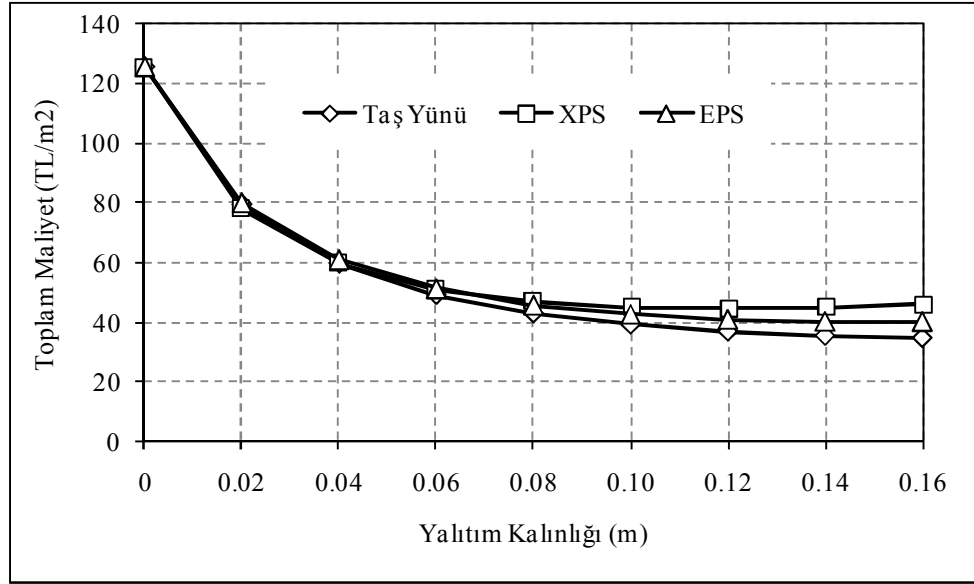
Şekil Ek A.10. Diyarbakır ili için ısıtma uygulamasında II. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



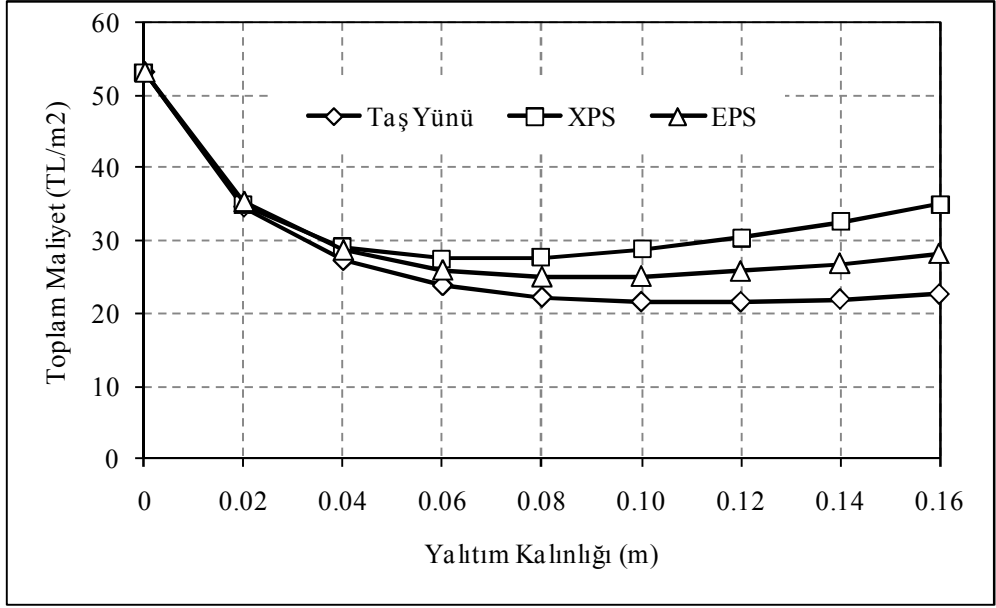
Şekil Ek A.11. Diyarbakır ili için ısıtma uygulamasında II. tip duvarda taş yünü yalıtım malzemesi ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



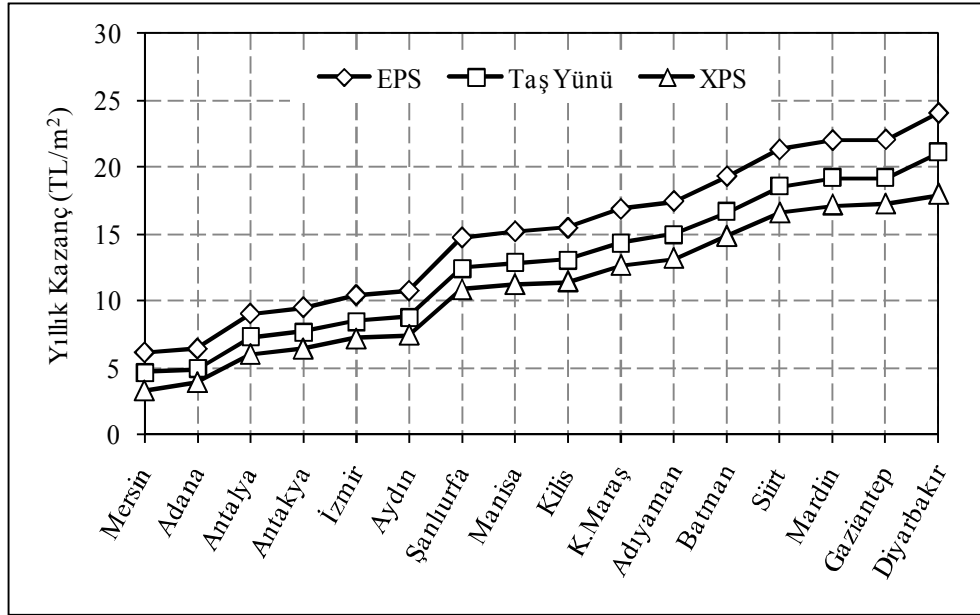
Şekil A 12. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için I.tip duvar ve yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde, üç farklı yalıtım malzemesinin toplam maliyet-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



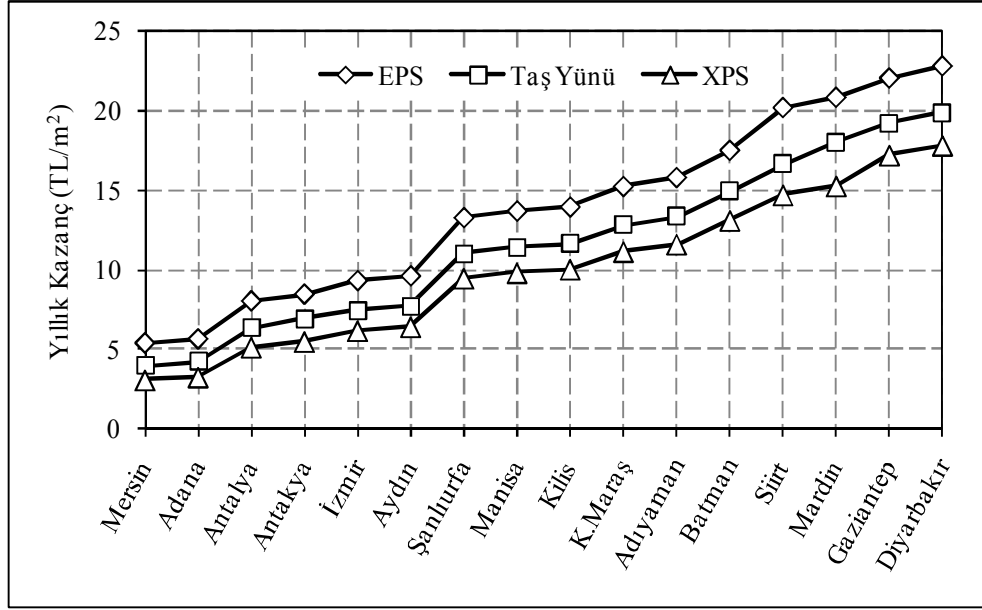
Şekil Ek A.13. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için I.tip duvar ve yakıt olarak elektrik kullanılması halinde, üç farklı yalıtım malzemesinin toplam maliyet-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



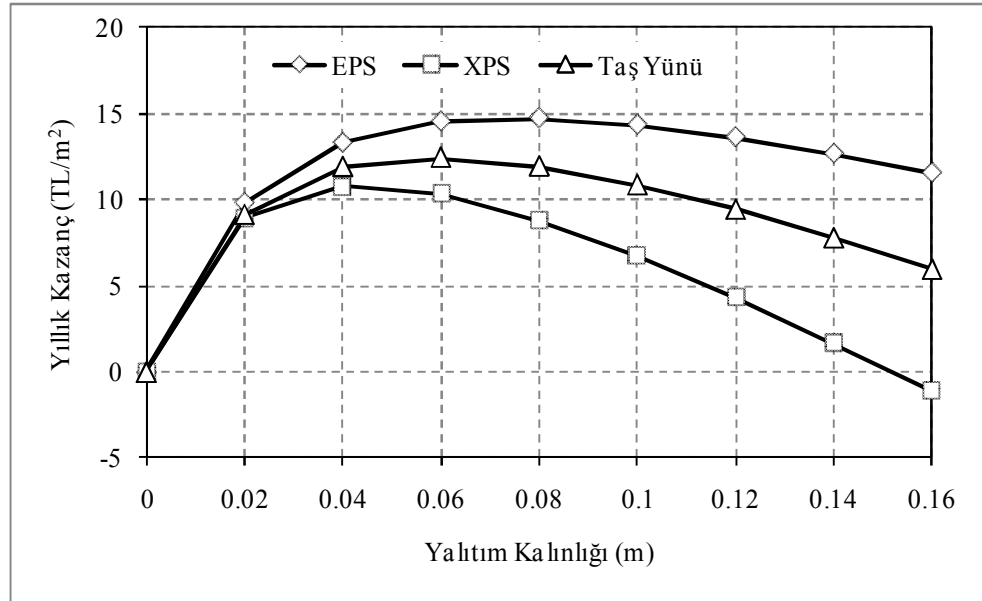
Şekil Ek A.14. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için I. tip duvar ve yakıt olarak kömür kullanılması halinde, üç farklı yalıtım malzemesinin toplam maliyet-yalıtım kalınlığı ilişkisi.



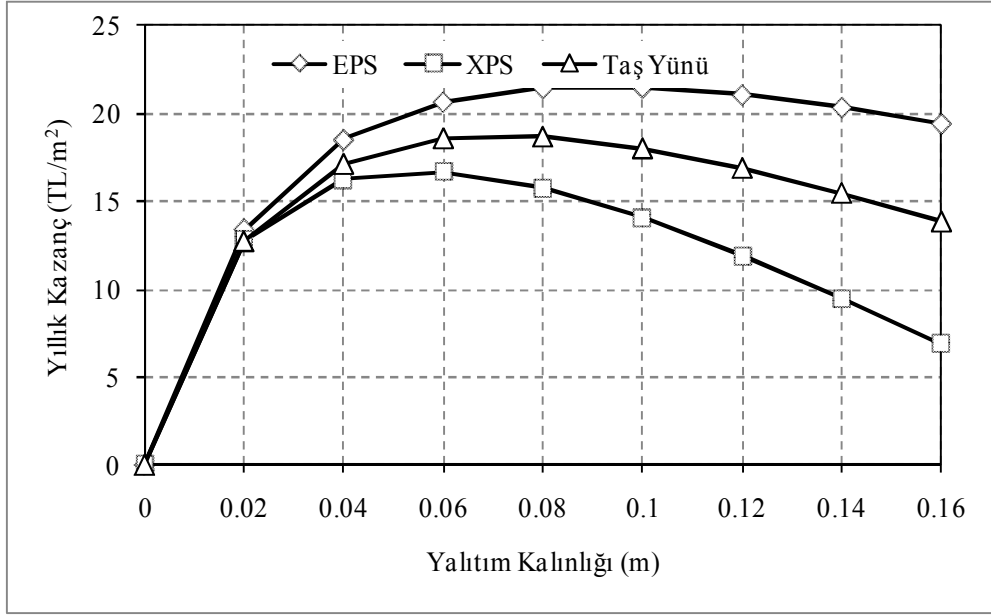
Şekil Ek A.15. Isıtma uygulamalarında yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde II. tip duvar için 16 ilin optimum yalıtım kalınlığında yıllık kazançları.



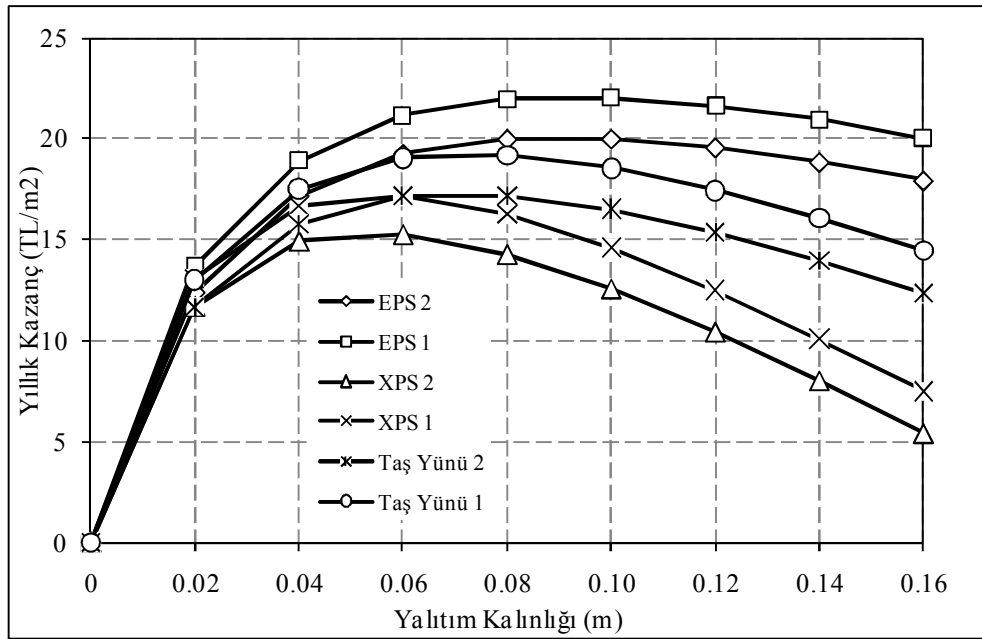
Şekil Ek A.16. Isıtma uygulamalarında yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde I. tip duvar için 16 ilin optimum yalıtım kalınlığında yıllık kazançları.



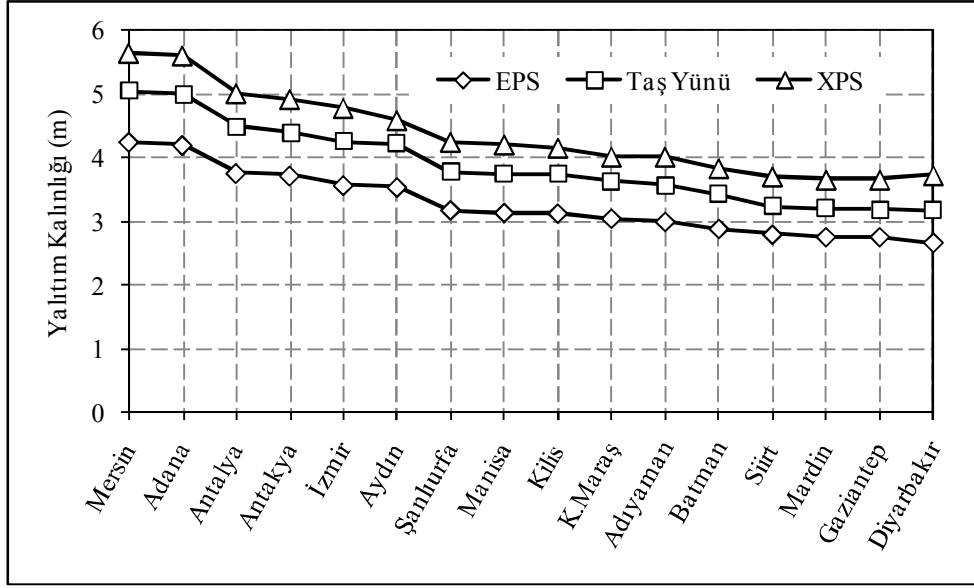
Şekil Ek A.17. Isıtma uygulamalarında Şanlıurfa için I. Tip duvarda yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde üç farklı yalıtım malzemesi için, yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.



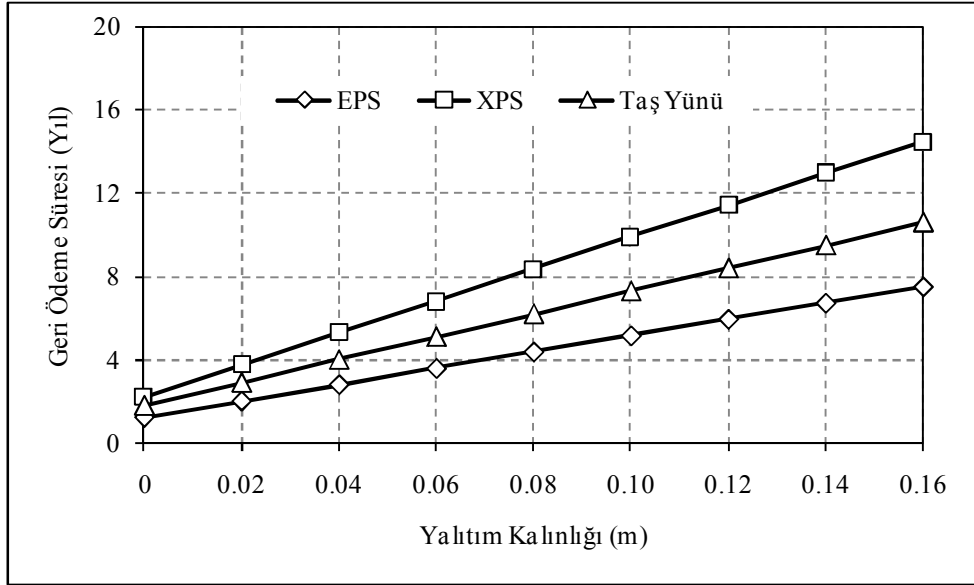
Şekil Ek A.18. Isıtma uygulamalarında Şanlıurfa için I. Tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde üç farklı yalıtım malzemesi için, yalıtım kalınlığı-yıllık kazanç ilişkisi.



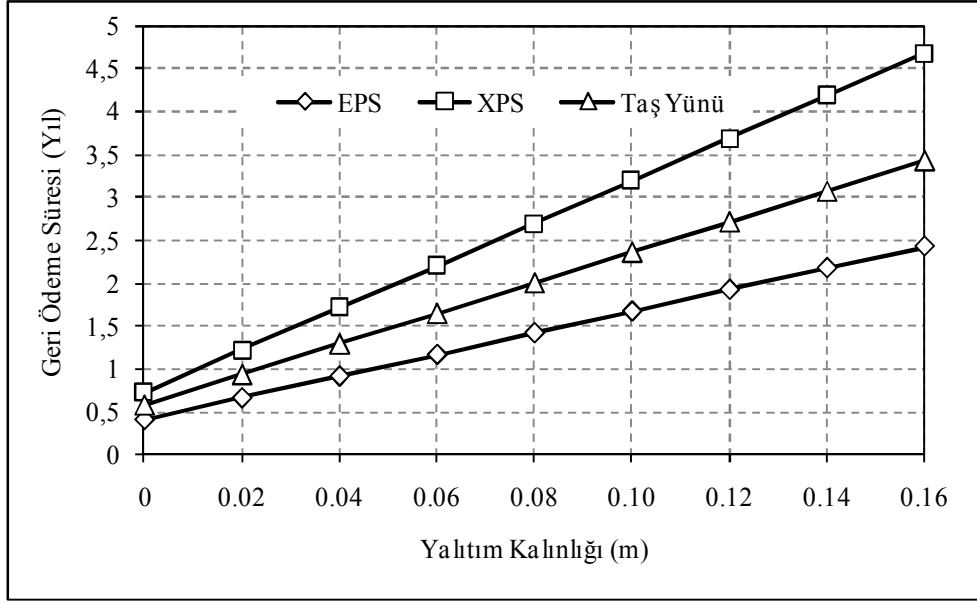
Şekil Ek A.19. Isıtma uygulamalarında Gaziantep için yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde iki farklı tip duvarın yalıtım malzemesi-yıllık kazanç ilişkileri.



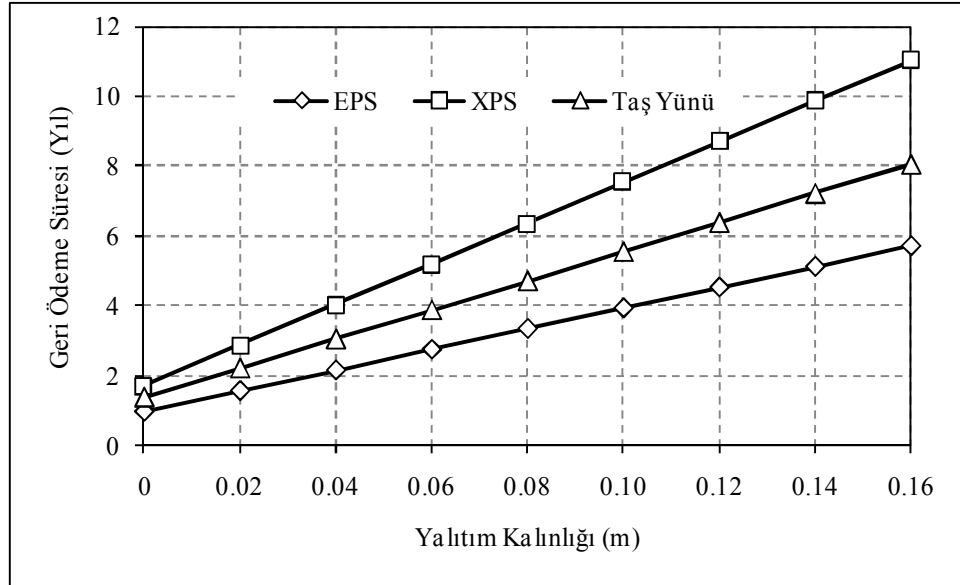
Şekil Ek A.20. Isıtma uygulamalarında yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde II. tip duvar için 16 ilin geri ödeme süreleri.



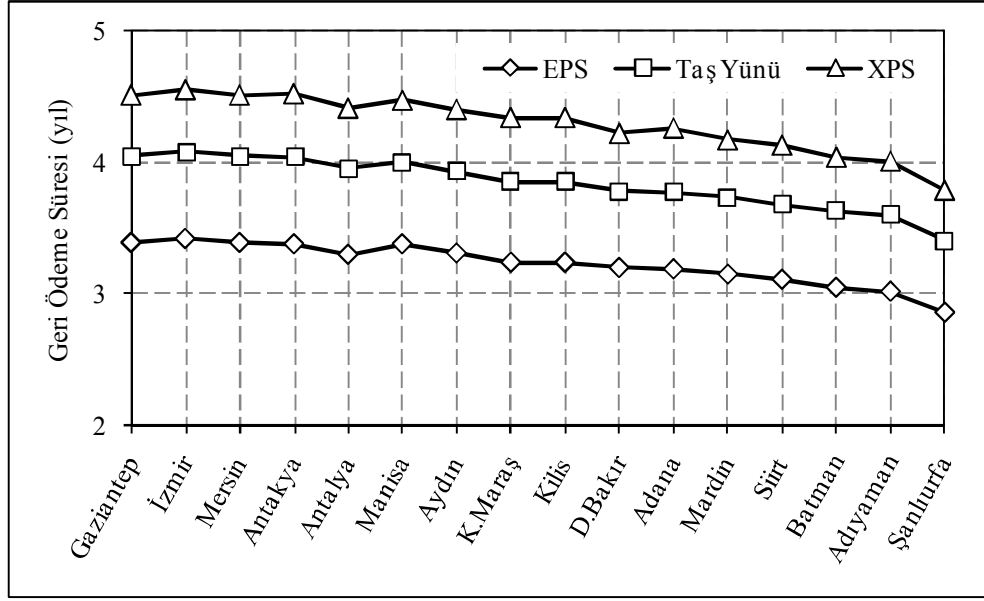
Şekil Ek. A.21. Isıtma uygulamalarında Antalya için I.tip duvarda yakıt olarak doğal gaz kullanılması halinde, üç farklı yalıtım malzemesinin geri ödeme sürelerinin yalıtıma bağlı değişimi.



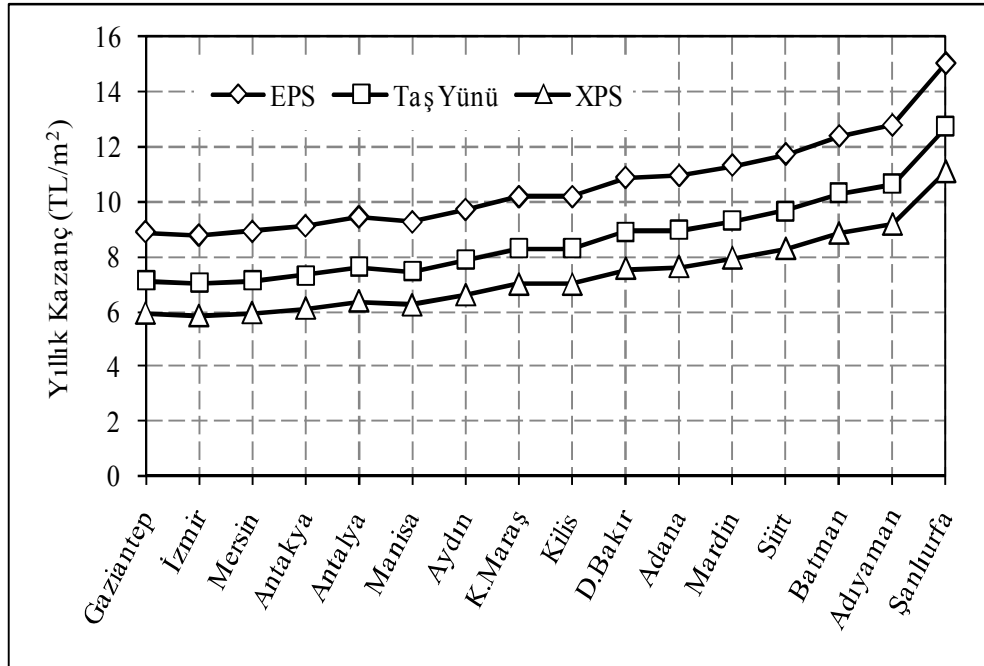
Şekil Ek A.22. Isıtma uygulamalarında Antalya için I.tip duvarda yakıt olarak elektrik kullanılması halinde, üç farklı yalıtım malzemesinin geri ödeme sürelerinin yalıtıma bağlı değişimi.



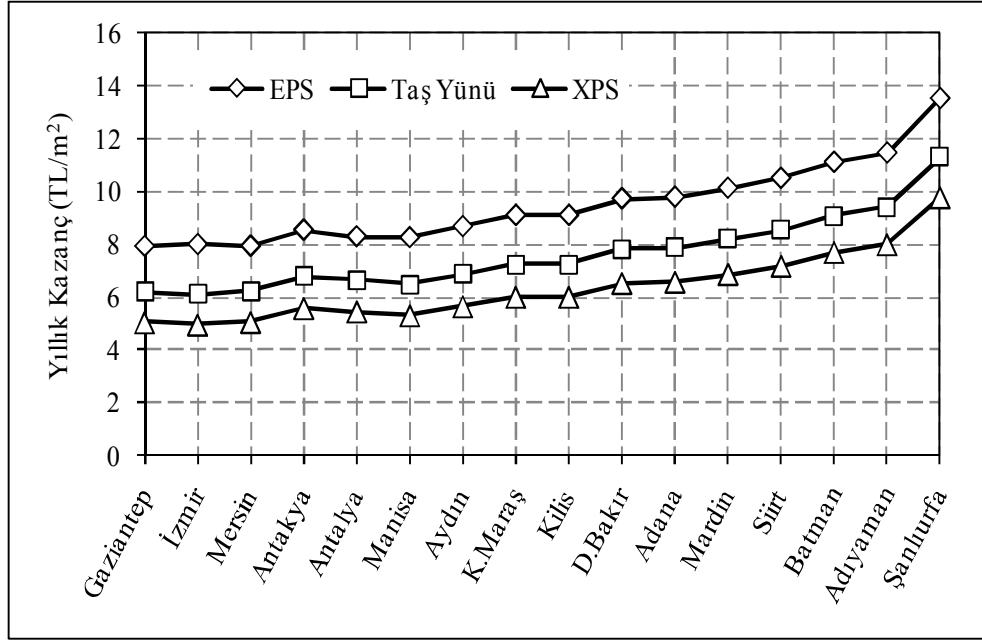
Şekil Ek A.23. Isıtma uygulamalarında Antalya için I.tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde, üç farklı yalıtım malzemesinin geri ödeme sürelerinin yalıtıma bağlı değişimi.



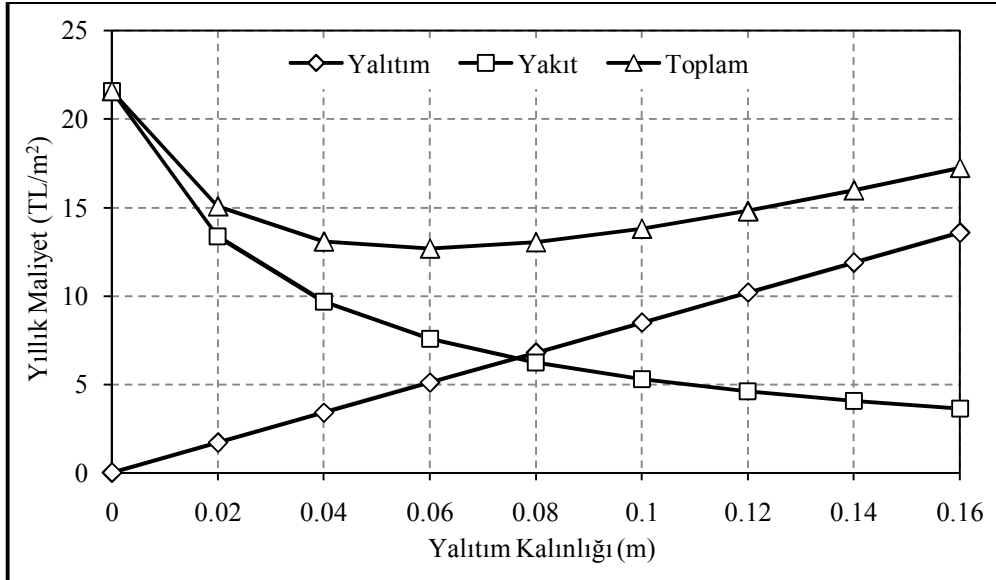
Şekil Ek A.24. Soğutma uygulamasında I. tip duvar kullanılması halinde 16 il için geri ödeme süresi.



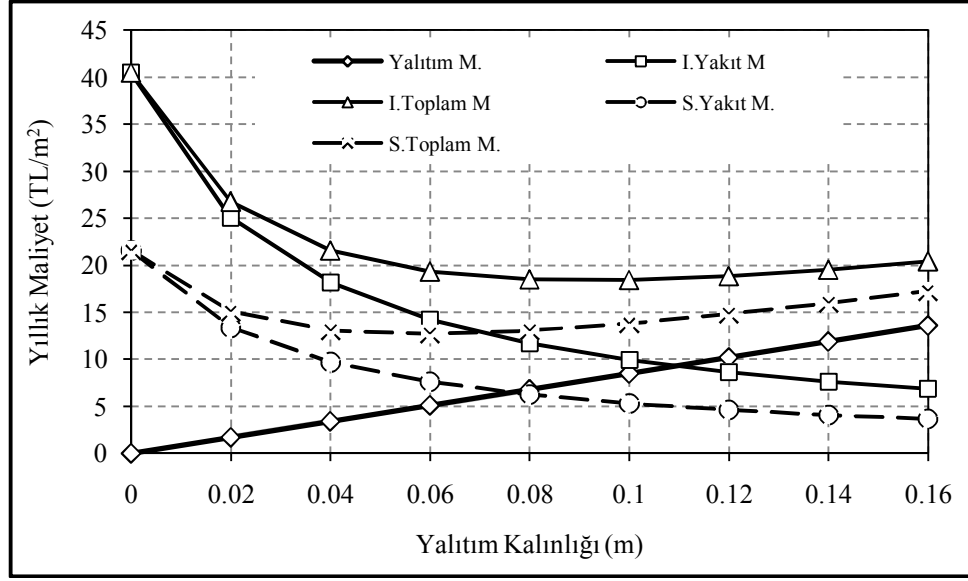
Şekil Ek A.25. Soğutma uygulamasında I. tip duvar kullanılması halinde 16 il için yıllık kazanç değerleri.



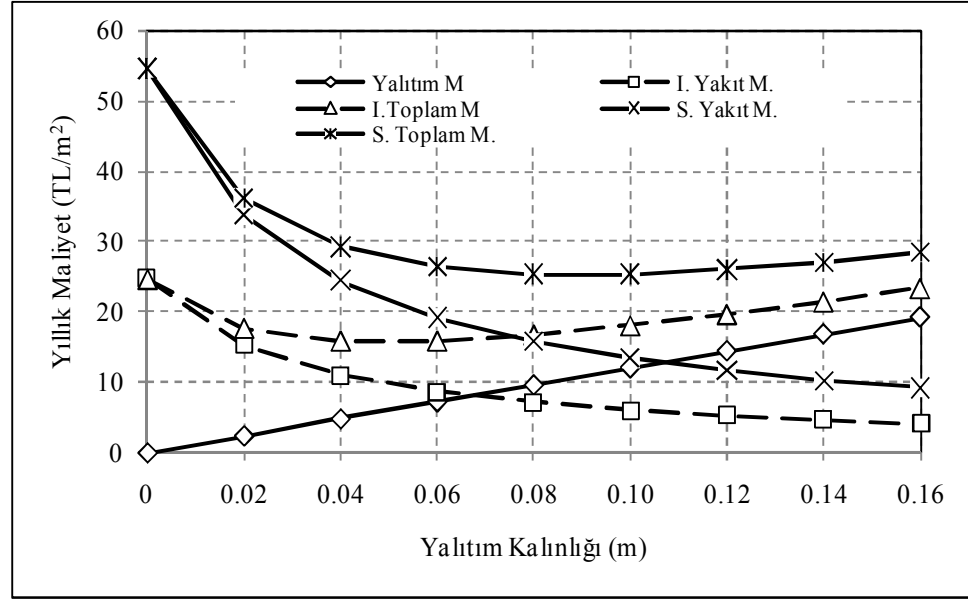
Şekil Ek A.26. Soğutma uygulamasında II. tip duvar kullanılması halinde 16 il için yıllık kazanç değerleri.



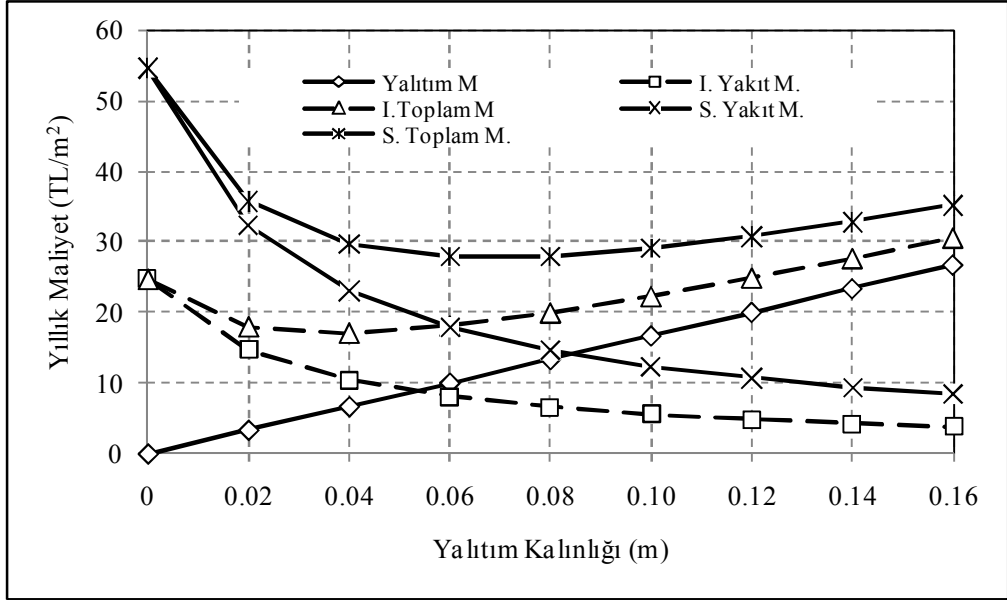
Şekil Ek A.27. Gaziantep için II. tip duvar kullanılması halin soğutma uygulamalarında yalıtım kalınlığı-maliyet ilişkisi.



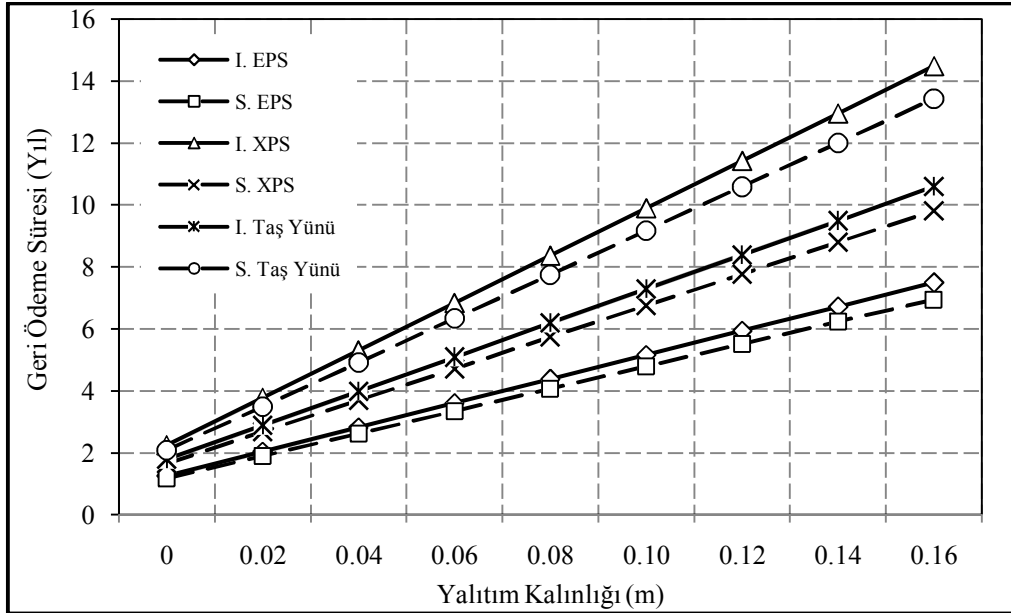
Şekil Ek A.28. Gaziantep ili için I. tip duvarda EPS yalıtım malzemesi kullanılması durumunda ısıtma ve soğutma uygulamalarında maliyet yalıtım kalınlığı karşılaştırması.



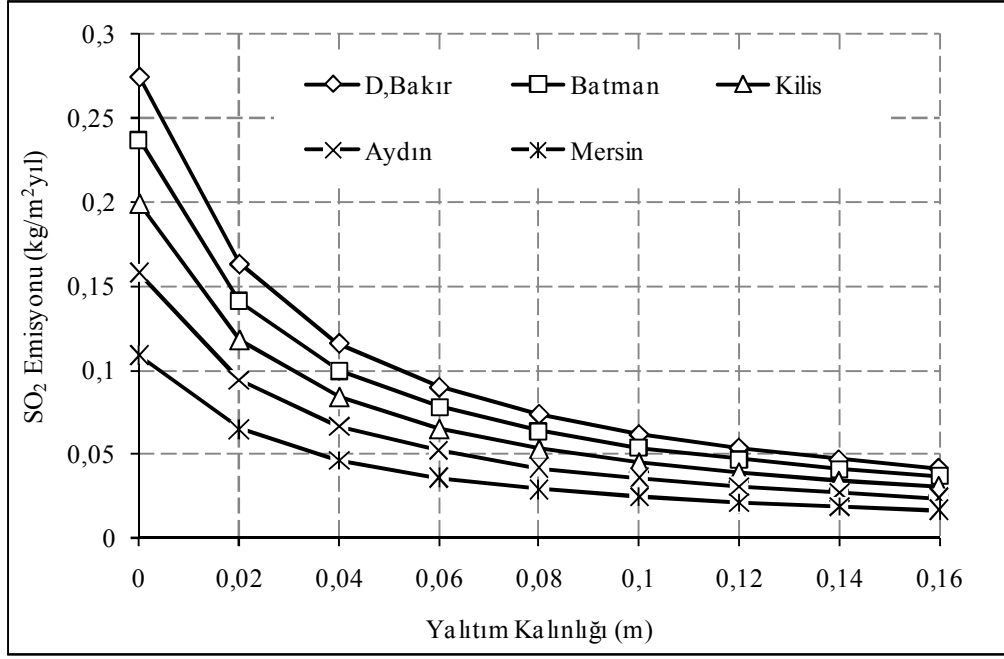
Şekil Ek A.29. Adana ili için I. tip duvarda taş yünü yalıtım malzemesi kullanılması durumunda ısıtma ve soğutma uygulamalarında maliyet yalıtım kalınlığı karşılaştırması.



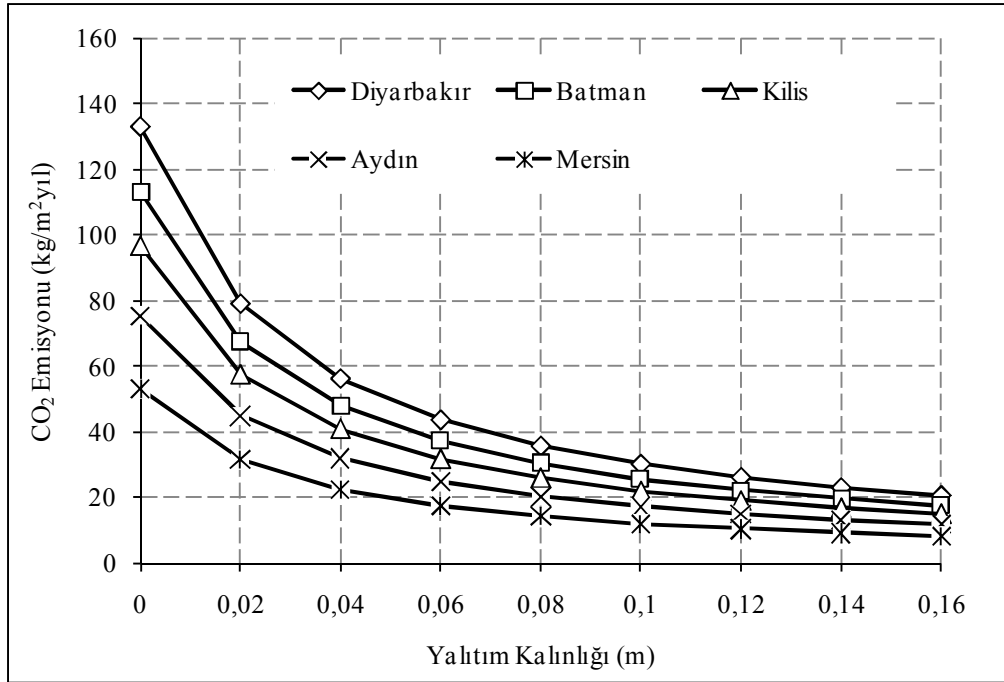
Şekil Ek A.30. Adana için II. tip duvarda XPS kullanılması durumunda, ısıtma ve soğutma uygulamalarında yalıtım kalınlığı-yıllık maliyet ilişkisi.



Şekil Ek A.31. Antalya için I. tip duvarda ısıtma ve soğutma uygulamaları için, yalıtım malzemeleri ve geri ödeme sürelerinin karşılaştırılması.



Şekil Ek A.32. Seçilen iller için I. tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde yalıtım kalınlığı SO₂ emisyon ilişkisi.



Şekil Ek A.33. Seçilen iller için II. tip duvarda yakıt olarak kömür kullanılması halinde yalıtım kalınlığı CO₂ emisyon ilişkisi.