

**BİNALARDA TS 825 HESAP YÖNTEMİNE GÖRE ISI KAYBI, YAKIT
TÜKETİMİ, KARBONDİOKSİT EMİSYONU HESABI VE MALİYET
ANALİZİ**

Ahmet ULAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2010
ANKARA**

Ahmet ULAŞ tarafından hazırlanan BİNALARDA TS 825 HESAP YÖNTEMİNE GÖRE ISI KAYBI, YAKIT TÜKETİMİ, KARBONDİOKSİT EMİSYONU HESABI VE MALİYET ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

.....

Makina Mühendisliği AD/ G.Ü.

Prof. Dr. Nevzat ONUR

.....

Makina Mühendisliği AD/ G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ

.....

Makina Mühendisliği AD/ TOBB E.T.Ü.

Tarih: 18/01/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet ULAŞ

**BİNALARDA TS 825 HESAP YÖNTEMİNE GÖRE ISI KAYBI, YAKIT
TÜKETİMİ, KARBONDİOKSİT EMİSYONU HESABI VE MALİYET
ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ahmet ULAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2010

ÖZET

Isıtma maliyetleri ve ısıtma kaynaklı çevre kirliliğinin azaltılmasına daha az enerji tüketen yalıtımlı binaların önemli katkısı olabilir. Bu çalışmada ülkemizin en yaygın kurumu olan okulların yalıtımlı ve yalıtımsız olması durumunda; ısı kaybı, yakıt tüketimi ve tüketilen yakıtın yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit miktarları dört farklı ısı yalıtım bölgesi ve üç farklı yakıt türü için incelenmiştir. Yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemine göre ekonomik analiz yapılarak, farklı yalıtımlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Daha sonra ısı yalıtım bölgelerinde optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış, TS 825 hesap yöntemine göre belirlenen yalıtım kalınlıkları ile karşılaştırılmıştır.

Yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemine göre yapılan ekonomik analiz, tüm ısı yalıtım bölgelerinde yalıtımlı bir binanın yalıtımsız duruma göre daha ekonomik olduğunu, yakıt tüketimi ve ısıtma kaynaklı çevre kirliliğinin azaltılabileceğini göstermiştir.

TS 825 hesap yöntemine göre hesaplanan ısı yalıtım kalınlıklarının, ısı yalıtım bölgeleri için hesaplanan optimum ısı yalıtım kalınlıklarından daha yüksek

olduğu belirlenmiştir. En yüksek yalıtım kalınlığı dördüncü ısı yalıtım bölgesinde mineral yn (cam yünü) kullanıldığında, en düşük yalıtım kalınlığı ise birinci ısı yalıtım bölgesinde ekspande polistiren köpük ve ekstrüde polistiren köpük yalıtım malzemeleri kullanıldığında elde edilmiştir.

Maliyet açısından en avantajlı ısı yalıtım malzemesi ekspande polistiren köpük, ikinci en avantajlı ısı yalıtım malzemesi ise ekstrüde polistiren köpük olarak belirlenmiştir. Tüm bölgelerde en ucuz yakıt linyit kömürü, ikinci en ucuz yakıt ise doğalgazdır. evre kirliliği açısından en az karbondioksit emisyonu doğalgaz kullanıldığında ortaya çıkmıştır. Çevreyi en fazla kirleten yakıtın ise linyit kömürü olduğu belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.065

Anahtar Kelimeler: Isı kaybı, ısı yalıtımı, maliyet analizi, yakıt tüketimi

Sayfa Adedi : 134

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Haşmet TÜRKÖĞLU

**BASEN ON TS 825 DIRECTIVCE, ANALYSIS OF HEAT LOSS, FUEL
CONSUMPTION, CARBONDIOKSIT EMISSION AND COST FOR
BULDINGS
(M.Sc. Thesis)**

Ahmet ULAŞ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2010**

ABSTRACT

The reduction of heating cost of buildings and environmental pollution is possible by insulation. In this study, for a typical school building, the heat loss fuel consumption and CO₂ emission were calculated for four different insulation regions in Turkey. The calculations were carried out based on the heating energy requirement of TS 825 directive. The calculations were repeated for three different fuels: natural gas, fuel oil and lignite. Two different operating cases, the continuous and discontinuous, operations were considered in the calculations of the fuel consumptions. Economic analysis were also performed with the different insulation and operation cases. For four different insulation regions, the optimum insulation thicknes were calculated considering different insulation materials. The calculated optimum insulation thicknesses were calculated with the insulation thickness value calculated besed on TS 825 directive.

It was observed that depending on the operation rejime of the heating system, the fuel consumption and CO₂ emission varies considerable. The fuel consumption differs considerable with the insulation. This difference increases

in cold climate regions. It was observed that in all insulation regions, insulated buildings are more economic.

The analysis was also performed for three different insulation materials: mineral wool (glass wool), expanded polistre and extrude polistre. It was observed that the most economical insulation material is expanded polistren. For all insulation (climate) regions, the cheapest fuel is lignite, then the natural gas. CO₂ emission is lowest when natural gas is used. The lignite causes more environmental pollution than the other fuels.

Science Code: 914.1.065

Key Words : Heat loss, insulation, cost analysis, fuel consumption

Page Number: 134

Advisor : Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU'na ve çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen sevgili eşim ve çocuklarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. BİNALARDA ISI YALITIMI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	4
3. BİNALARDA ISITMA SİSTEMLERİ, SIK KULLANILAN YAPI VE ISI YALITIM MALZEMELERİ	8
3.1. Binalarda Kullanılan Isıtma Sistemleri	8
3.2. Binalarda Sık Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri	9
3.2.1. Ekspande polistiren köpük (EPS)	10
3.2.2. Ekstrüde polistiren köpük (XPS)	11
3.2.3. Mineral yün yalıtım malzemeleri	12
3.3. Binalarda Sık Kullanılan Yapı malzemeleri	14
3.3.1. Gaz beton	14
3.3.2. Yatay delikli tuğla	14
4. BİNALARDA ISI KAYBI, YAKIT TÜKETİMİ VE CO2 EMİSYONU HESAP METODLARI	16
4.1. Isı Kaybı Hesap Metotları	16
4.2. Derece-Gün Yöntemi	17
4.2.1. Isı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	19

	Sayfa
4.3. TS 825 Hesap Yöntemi	20
4.3.1. Binanın özgül ısı kaybı hesabı	22
4.3.2. Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı.....	31
4.3.3. Binanın yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi hesabı	35
4.4. Yakıt Tüketimi ve CO ₂ Emisyonu Hesabı	39
4.4.1. Yıllık yakıt tüketimi hesabı.....	39
4.4.2. Sera gazı (CO ₂) emisyonu hesabı.....	42
5. BİR ÖRNEK BİNA İÇİN FARKLI YALITIM DURUMLARINDA ISI KAYBI, YAKIT TÜKETİMİ VE CO ₂ EMİSYONU HESABI.....	44
5.1. Binanın Özellikleri.....	45
5.2. Bina Dış Kabuğunda Kullanılan Yapı Elemanları ve Yalıtım Uygulamaları	47
5.3. Dış Kabuğun Tuğla Duvar ve XPS Yalıtım Olması Durumunda 1. Isı Yalıtım Bölgesinde Isı Kaybı, Yakıt Tüketimi ve CO ₂ Emisyonu Hesabı	50
5.3.1. Isı kaybı hesabı.....	50
5.3.2. Yakıt tüketimi ve sera gazı (CO ₂) emisyonu hesabı	65
5.4. Diğer Isı Yalıtım Bölgeleri ve Yalıtım Durumları İçin Analizler	66
6. EKONOMİK ANALİZ	88
6.1. İlk Yatırım Maliyetlerinin Hesaplanması	88
6.1.1. Dış kabuğun ilk yatırım maliyeti	88
6.1.2. Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti	92
6.2. Kullanım Süresi İçinde Oluşan Yakıt Maliyeti	96
6.2.1. Bugünkü değer katsayısının (PV) hesaplanması	97
6.2.2. Yakıt maliyetinin hesaplanması	98

	Sayfa
6.3. Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC – Life Cycle Cost).....	102
6.3.1. Yaşam döngüsü maliyetlerinin hesaplanması	102
7. ISI YALITIM BÖLGELERİNDE OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ HESABI	112
7.1. Isı Yalıtım Bölgelerinin DG Değerinin Hesabı.....	112
7.2. Isı Kaybı ve Yakıt Tüketimi Hesabı.....	114
7.3. Yalıtım Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesabı	116
7.4. Isı Yalıtım Bölgelerinde Farklı Yalıtım Durumları için Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması.....	117
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	121
KAYNAKLAR	123
EKLER	126
EK-1 Farklı amaçlarla kullanılan binaların ortalama iç sıcaklık değerleri ve maliyet hesaplamalarında kullanılan duvar yapı tabakaları birim fiyatları ...	127
EK-2 Yalıtım malzemesi olan yapı elemanlarının birim fiyatları	128
EK-3 TS 825 ısı yalıtım standardının binalarda öngördüğü yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri ve birim dönüşüm tablosu	131
EK-4 Türkiye'nin illere göre derece gün bölgeleri ve illeri	132
EK-5 TS EN 14683 standardında tanımlanan ısı köprüsü türlerine göre lineer ısı geçiş katsayıları	133
ÖZGEÇMİŞ	134

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Isı yalıtım bölgeleri için aylık ortalama dış sıcaklıklar.....	21
Çizelge 4.2. TS EN 14683’de şematik binada bulunan ısı köprüleri için dış ölçüler kullanılarak yapılan örnek ısı kaybı hesabı	29
Çizelge 4.3. TS EN 14683’de şematik binada bulunan ısı köprüleri için iç ölçüler kullanılarak yapılan, örnek ısı kaybı hesabı	30
Çizelge 4.4. Bazı yakıt türlerinin alt ısı değerleri ve literatürdeki kalorifer kazanı verimleri	41
Çizelge 4.5. TS EN 303-2, TS EN 303-3, TS EN 303-5 standartlarına göre minimum kazan verimi ve piyasada üretilen kalorifer kazanı verimleri	41
Çizelge 4.6. Hesaplamalarda kullanılan yakıt türlerinin alt ısı değerleri, ısıtma sistemi (kalorifer kazanı) verimleri ve FSEG (CO ₂) dönüşüm katsayıları	42
Çizelge 5.1. Bina dış kabuğunda kullanılan yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları ve yüzeylerin ısı taşınım dirençleri.....	50
Çizelge 5.2. Tüm bölgeleri için aylık ortalama güneş ışınım şiddeti ve binada bulunan pencerelerin yönlere göre alanları.....	60
Çizelge 5.3. Tüm bölgeler için binanın aylık ortalama güneş enerjisi kazançları.....	62
Çizelge 5.4. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı yapılan binanın 1. bölgede aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	63
Çizelge 5.5. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı yapılan binanın 1. bölgede aylık ve yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisi miktarları	64
Çizelge 5.6. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı yapılan binanın 1. bölgede yıllık yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu	66
Çizelge 5.7. Isı yalıtım bölgelerinde yalıtım ve yapı elemanları kalınlıkları.....	67
Çizelge 5.8. Isı yalıtım bölgelerinde yalıtım durumuna göre binanın özgül ısı kaybı ve yapı elemanlarının ısı transfer katsayıları	68

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.9. Isı yalıtım bölgelerinde çeşitli yalıtım durumları için binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi	73
Çizelge 5.10. Yıllık yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (1. bölge)	78
Çizelge 5.11. Yıllık yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (2. bölge)	78
Çizelge 5.12. Yıllık yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (3. bölge)	83
Çizelge 5.13. Yıllık yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (4. bölge)	83
Çizelge 6.1. Yapı elemanlarının birim maliyetleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)	91
Çizelge 6.2. Bina dış kabuğu ilk yatırım maliyetleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)	91
Çizelge 6.3. Kazan ve radyatör birim maliyetleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)	94
Çizelge 6.4. Isıtma tesisatı ilk yatırım maliyetleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)	95
Çizelge 6.5. Toplam yakıt maliyetleri (kullanım ömrü 10 yıl)	99
Çizelge 6.6. Toplam yakıt maliyetleri (kullanım ömrü 20 yıl)	99
Çizelge 6.7. Toplam yakıt maliyetleri (kullanım ömrü 30 yıl)	100
Çizelge 6.8. Yaşam döngüsü maliyetleri (kullanım ömrü 10 yıl)	103
Çizelge 6.9. Yaşam döngüsü maliyetleri (kullanım ömrü 20 yıl)	106
Çizelge 6.10. Yaşam döngüsü maliyetleri (kullanım ömrü 30 yıl)	109
Çizelge 7.1. Taşıyıcı olmayan tuğla duvarlar için ısı yalıtım bölgelerinde kullanışlı ömür süresi 30 yıla göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve TS 825 göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları	118
Çizelge 7.2. Taşıyıcı betonarme (kolon-kiriş) duvarlar için ısı yalıtım bölgelerinde kullanışlı ömür süresi 30 yıla göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve TS 825 göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları	119

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Binalarda meydana gelen ısı köprüsü türleri	29
Şekil 5.1. Isıl analizleri yapılan örnek okul binası ön görünüşü	45
Şekil 5.2. Bina dış kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının yapı kabuğundaki oranları	47
Şekil 5.3. Binaya uygulanan beş farklı yalıtım durumu	49
Şekil 5.4. XPS yalıtımlı tuğla duvar detayı şematik kesiti	51
Şekil 5.5. XPS yalıtımlı betonarme duvar detayı şematik kesiti.....	52
Şekil 5.6. Toprağa temas eden XPS yalıtımlı betonarme duvar detayı şematik kesiti.....	53
Şekil 5.7. XPS yalıtımlı tavan (üzeri ısıtılmayan çatı) detayı şematik kesiti.....	54
Şekil 5.8. XPS yalıtımlı taban (toprağa oturan döşeme) detayı şematik kesiti.....	55
Şekil 5.9. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı binanın 1. bölgede yapı elemanları alan ve özgül ısı kaybı yüzdeleri.....	58
Şekil 5.10. Isı yalıtım bölgelerinde bina dış kabuğunun yalıtımsız tuğla duvar ve gaz beton duvar olması durumunda yapı elemanlarının bina dış kabuğundan olan özgül ısı kaybındaki (yapı kabuğu özgül ısı kaybı) yüzdeleri	69
Şekil 5.11. Çeşitli yalıtım uygulamaları için dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının 1. ve 2. bölgede yapı kabuğu özgül ısı kaybındaki yüzdeleri.....	71
Şekil 5.12. Çeşitli yalıtım uygulamaları için dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının 3. ve 4. bölgede yapı kabuğu özgül ısı kaybındaki yüzdeleri.....	72
Şekil 5.13. Bina dış kabuğunun beş farklı yalıtım durumu için ısı yalıtım bölgelerinde yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı.....	75
Şekil 5.14. Bina dış kabuğunun beş farklı yalıtım durumu için ısı yalıtım bölgelerinde yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi	76

Şekil	Sayfa
Şekil 5.15. Çeşitli yalıtım durumları için yıllık yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (1. bölge).....	81
Şekil 5.16. Çeşitli yalıtım durumları için yıllık yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (2. bölge).....	82
Şekil 5.17. Çeşitli yalıtım durumları için yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (3. bölge).....	86
Şekil 5.18. Çeşitli yalıtım durumları için yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu (4. bölge).....	87
Şekil 6.1. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 1. bölgede yakıt maliyetleri	100
Şekil 6.2. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 2. bölgede yakıt maliyetleri	101
Şekil 6.3. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 3. bölgede yakıt maliyetleri	101
Şekil 6.4. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 4. bölgede yakıt maliyetleri	101
Şekil 6.5. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 1. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	103
Şekil 6.6. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 2. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	104
Şekil 6.7. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 3. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	104
Şekil 6.8. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 4. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	104
Şekil 6.9. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 1. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	106
Şekil 6.10. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 2. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	107
Şekil 6.11. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 3. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	107
Şekil 6.12. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 4. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	107

Şekil	Sayfa
Şekil 6.13. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 1. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	109
Şekil 6.14. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 2. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	110
Şekil 6.15. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 3. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	110
Şekil 6.16. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 4. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri	110

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
T_b	Denge sıcaklığı - °C
T_i	İç ortam dizayn sıcaklığı - °C
T_o	Günlük ortalama dış hava sıcaklığı - °C
N	Yıl içinde ısıtma yapılan toplam gün sayısı
$Q_{yıl}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı - Joule
Q_{ay}	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı - Joule
H	Binanın özgül ısı kaybı - W/K
θ_i	Aylık ortalama iç sıcaklık - °C
θ_e	Aylık ortalama dış sıcaklık - °C
KKO	Aylık kazanç kullanım oranı
η_{ay}	Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü
$\Phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç kazançlar - W
$\Phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı - W
t	Zaman, (saniye olarak bir ay = 86400 x 30) - s
U_{D1}	Taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) duvarın ısı transfer katsayısı - W/m ² K
U_{D2}	Taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş) duvarın ısı transfer katsayısı - W/m ² K
U_{D3}	Toprağa temas eden, betonarme duvarın ısı transfer katsayısı - W/m ² K
U_p	Pencerelerin ısı transfer katsayısı - W/m ² K
U_k	Dış kapıların ısı transfer katsayısı - W/m ² K
U_T	Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatılı) ısı transfer katsayısı - W/m ² K
U_t	Tabanın (toprağa oturan) ısı transfer katsayısı - W/m ² K
A_{D1}	Taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) duvarların alanı - m ²

Simge	Açıklama
A_{D2}	Taşıyıcı betonarme (kolon, giriş) duvarların alanı - m^2
A_{D3}	Toprağa temas eden betonarme duvarların alanı - m^2
A_p	Pencerelerin alanı - m^2
A_k	Dış kapıların alanı - m^2
A_T	Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatılı) alanı - m^2
A_t	Tabanın (toprağa oturan) alanı - m^2
R_i	İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci - m^2K/W
R_D	Duvarın ısıl iletim direnci - m^2K/W
R_e	Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci - m^2K/W
d	Yapı bileşenini oluşturan tabakanın kalınlığı - m
λ_h	Yapı bileşenini oluşturan malzemenin ısıl iletkenlik hesap değeri - W/mK
U_{TB}	Isı köprüsü oluşturan elemanın ısı geçirgenliği - W/mK
b	Isı köprüsü oluşturan elemanın genişliği - m
ζ	Isı köprüsünden gerçekleşen yanal ısı kayıpları - W/K
Q_{ik}	Isı köprülerinden olan ısı kayıpları - W/K
Ψ	Isı köprüsü lineer ısı geçiş katsayısı - W/mK
L	Isı köprüsü kesişme uzunluğu - m
y	Zam katsayısı - W/m^2K
A_e	Isı köprüsü oluşturan elemanın dış ortama maruz toplam yüzey alanı - m^2
ρ	Havanın yoğunluğu - kg/m^3
c	Havanın özgül ısısı - J/kgK
V^I	Hacimsel hava değişim debisi - m^3/h
n_h	Hava değişim sayısı - h^{-1}
V_h	Havalandırılan hacim - m^3
$V_{brüt}$	Binanın ısıtılan brüt hacmi - m^3
A_n	Bina kullanım alanı - m^2
$r_{i,ay}$	“i” yönünde saydam yüzeylerin gölgelenme faktörü
$g_{i,ay}$	“i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü

Simge	Açıklama
$I_{i,ay}$	“i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıınımı şiddeti - W/m^2
A_i	“i” yönündeki toplam pencere alanı - m^2
F_w	Camlar için düzeltme faktörü
$g_{\perp}$	Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışıın için güneş enerjisi geçirme faktörü
B_y	Yıllık yakıt miktarı - kg veya m^3
H_u	Kullanılan yakıtın alt ısı değeri - kJ/kg veya kJ/m^3
η_k	Isıtma sisteminin (kazanın verimi)
Q_{aykap}	Isıtmanın olmadığı günlerde aylık kullanılmayan ısı enerjisi - Joule
t_{kap}	Isıtma tesisatının ay içinde kapalı olduğu zaman - s
$Q_{aygün}$	Ay içinde gündüz normal çalıştığı zamanlardaki ısı ihtiyacı - Joule
$t_{gün}$	Isıtma tesisatının ay içinde gündüz normal çalışma zamanı - s
Q_{aydk}	Düşük kapasite (iç ortam $16\text{ }^{\circ}C$) ısıtma yapıldığı zamanlardaki ısı ihtiyacı - Joule
θ_{idk}	Düşük kapasite kullanıldığı zamanlardaki bina iç ortam sıcaklığı - $^{\circ}C$
t_{dk}	Ay içinde düşük kapasite kullanım zamanı - s
Q_{aykulm}	Aylık kullanılmayan ısı enerjisi - kJ
Q_K	Yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisi - kJ
Q_G	Yıllık kullanılan(gerçek) ısıtma enerjisi ihtiyacı - kJ
B_{gy}	Yıllık kullanılan (gerçek) yakıt sarfıyatı - kg veya m^3
SEGM	Yıllık CO_2 emisyon miktarı - kg eşd. CO_2
FSEG	Yakıt cinsine göre CO_2 emisyonu dönüşüm katsayısı - kg eşd. CO_2 / kWh
$C_{inş}$	Isı kaybeden yapı kabuğunun ilk yatırım maliyeti- TL
C_{tes}	Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti - TL
C_{yak}	Binanın kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisine göre yıllık yakıt maliyeti - TL
A_{ye}	Yapı elemanının ısı kaybeden yüzey alanı - m^2
C_{ye}	Yapı elemanının yalıtıma bağlı olarak değişen kısmının birim maliyeti - TL/m^2

Simge	Açıklama
C_{fd1}	Taşıyıcı olmayan (tuğla veya gaz beton) duvarların ısı yalıtımına bağlı değişen kısmının birim maliyeti - TL/m ²
C_{fd2}	Betonarme (kolon-kiriş, toprağa temas eden perde) duvarların ısı yalıtımına bağlı değişen kısmının birim maliyeti - TL/m ²
C_{ft}	Tavanın ısı yalıtımına bağlı değişen kısmının birim maliyeti - TL/m ²
C_{fb}	Tabanının ısı yalıtımına bağlı olarak değişen kısmının birim maliyetidir - TL/m ²
θ_d	Binanın bulunduğu bölgenin en düşük dış ortam sıcaklığı - °C
C_{frad}	Radyatör birim maliyeti - TL/kW
C_{fkaz}	Yakma sistemi (kalorifer kazanı) birim maliyeti - TL/kW
q_{max}	En düşük dış ortam sıcaklığı θ_d 'ye göre hesaplanan ısı kaybı - kW
C_{fyak}	Yakıt birim fiyatı – TL
PV	Güncel değer (bugünkü değer) katsayısı
N	Binanın kullanım ömrü - Yıl
r	Gerçek faiz oranı
g	Enflasyon oranı
i	Güncel faiz oranı
C_{Nyak}	N yıl boyunca oluşan yakıt maliyetinin bugünkü değeri - TL
$C_{bina}(LCC)$	Binanın N yıllık kullanım ömrü boyunca olan toplam maliyeti (yaşam döngüsü maliyeti) – TL

Kısaltmalar	Açıklamalar
BBBF	Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Birim Fiyatları
BEPY	Binalarda enerji performansı yönetmeliği
EPS	Expanded polistiren köpük
DG	Derece- gün
DGD	Doğalgaz Dergisi
İZODER	İzolasyoncular Derneği
KEP-SDM	Konutlarda enerji performansı standart değerlendirme metodu

Kısaltmalar	Açıklamalar
MMO	Makine Mühendisleri Odası
XPS	Ekstrüde polistiren köpük
TGÜB	Türkiye Gaz Beton Üreticileri Birliği

1.GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve yaşam kalitesinin enerjiye bağlı olarak yükselmesi enerji tüketimini artırmıştır. Enerji tüketimindeki bu hızlı artış maliyet ve çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir. Ülkemizde enerjinin % 35-40'ı binalarda tüketilmekte ve bu miktarın % 85'i ise ısıtma amacıyla kullanılmaktadır [Özel, 2008]. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını dışarıdan ithal ederek karşılayan ülkemizin kalkınmasını sürdürebilmesi ve halkımızın yaşam kalitesinin iyileştirilmesi için, enerji verimliliğini ön plana alan politikalar geliştirilmesi gerekmektedir.

1990'lı yılların başına kadar enerji politikaları belirlenirken arz talep dengesi ve maliyet kriterleri ön planda tutulmuştur. Yüksek enerji kullanımının çevreye olan olumsuz etkileri göz ardı edilmiştir. Ancak son yıllarda fosil yakıt tüketimindeki hızlı artış atmosfere salınan fosil yakıt kaynaklı atık gazlarında hızlı artmasına neden olmuştur. Bu ise şehirlerde çevre kirliliği, küresel ölçekte ise iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Çevre kirliliği ve küresel iklim değişikliğinin önemli bir parametresi olan sera gazlarının sınırlandırılması amacı ile dünyada çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda çevre sorunlarının çözümüne yönelik alınması gereken tedbirleri içeren Kyoto protokolü ülkeler arasında imzalanmıştır. Sera gazı (CO₂) salınımını sınırlandıran bu protokol enerji verimliliğini artırmaya yönelik hükümler içermektedir. Önümüzdeki yıllarda ülkeler arasında CO₂ ticareti yapılacağı belirtilmektedir.

Ülkemizin sahip olduğu en önemli birincil enerji kaynağı potansiyeli, fosil yakıt olarak linyit kömürüdür. Linyit kömürü ağırlıklı olarak termik santrallerde elektrik üretimin de ve binalarda ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kalorisi düşük olan yerli kaynağımız linyit kömürünün çevre kirliliği oluşturmadan kullanılabilmesi, binalarda ısıtma amaçlı kullandığımız birim yakıt miktarının düşürülmesi ile olanaklı hale gelecektir.

Ülkemizde yaygın olarak uygulanan bina mimarisi ve yapım tekniğinde, ısıtma ve soğutma parametreleri öncelikli olarak ele alınmamaktadır. Bu uygulama binaların enerji ihtiyacını dolayısı ile yakıt tüketimini, çevre kirliliğini, ısıtma ve soğutma amaçlı ilk yatırım ve işletme maliyetlerini artırmaktadır.

Enerji maliyetleri ve çevre kirliliğinin artması, ısı yalıtımı ile ilgili yapılan çalışmaları da hızlandırmıştır. Bu amaçla 1998 yılında, binalarda birim enerji tüketimini azaltılması ve verimli kullanılması için Türk Standartları Enstitüsü tarafından *TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları* standardı yayınlanmıştır. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından ise 2000 yılında *Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği* çıkarılmış, binalarda ısı yalıtımı zorunlu hale getirilmiştir.

Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması çok önemlidir. Türkiye’de kullanılan enerjinin %40 gibi büyük bir kısmı ısıtmada, ısıtmadan daha fazlası ise bazı bölgelerimizde soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Çünkü binalara uygulanan ısı yalıtımı yok denecek kadar azdır [Aytaç ve Aksoy, 2006].

1998 ve 2000 yıllarında yürürlüğe giren ısı yalıtım kurallarına göre yapılan binaların enerji performansı, benzer iklim koşullarına sahip Avrupa ülkelerine göre daha düşüktür [Aytaç ve Aksoy, 2006]. Bu durum dikkate alınarak 2008 yılında *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları* standardında değişiklikler yapılmış, 2000 yılında yürürlüğe giren ve değişik tarihlerde revize edilen *Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği* yürürlükten kaldırılmış yerine *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEPY)* çıkartılmıştır. Ülkemizde enerji verimliliğinin artırılması için yasal mevzuat sıkılaştırılmıştır.

Ekonomik gelişmeler ve yasal düzenlemelerin binalarda ısı yalıtımını zorunlu kılması bu alanda yapılan bilimsel çalışmaları da artırmıştır. Yapılan çalışmalarda yalıtım malzemesi ve kalınlığının belirlenmesinde tasarım parametresi olarak yakıt türleri öne çıkmaktadır. Bina tasarım parametresi ve yapı dış kabuğunun kalıcı bir

elemanı olan yalıtım malzemesi ve kalınlığının belirlenmesi için yakma sisteminin parametresi olan yakıt türünün baz alınması pratikte uygulanabilir bir yaklaşım değildir. Çünkü Dünya ve Türkiye'deki enerji arz-talep dengesine bağlı olarak yakıt kullanımının konjoktürel durumdan etkilenmesi, binalarda uzun vadeli ısıtmada kullanılacak yakıt seçimine imkân vermez. Yalıtım malzemesi ve kalınlığının tespitinde yıllık enerji ihtiyacının baz alınması daha doğru ve uygulanabilir bir yaklaşımdır. Seçilen yalıtım malzemesi ve kalınlığına bağlı olarak yakma sisteminin belirlenmesi, yakıt türünün seçilmesi gerekir.

Çalışmamızda ülkemizin en yaygın kurumu olan okullarımızın yürürlükteki ısı yalıtım kurallarına göre yapılması durumunda; elde edilecek enerji tasarrufu, maliyeti ve çevreye etkisi incelenmiştir. *Nüfusumuzun üçte birinin ilköğretim ve orta öğretim gördüğü düşünülürse, kabaca orta büyüklükte 30000'nin üzerinde okul binasının olduğunu görebiliriz.* Bu binalarda yapılacak enerji tasarrufunun milli ekonomimize ve eğitim bütçesine çok önemli katkılar sağlayacağı açıktır.

Bu çalışmada analizler için, 16 derslikli bir ilköğretim okulu binası ele alınmıştır. Bu okul binası Konya'da bulunmaktadır ve hale hazırda kullanılmaktadır. Seçilen bina Türkiye genelindeki okul binalarını temsil edebilecek tipik bir yapıdır.

Çalışmamızda önce binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre (ısıtma sisteminin ısıtma sezonu boyunca kapatılmadığı, bina iç ortam sıcaklığının 20 °C tutulduğunu varsayarak); ısı kaybı, yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu hesaplanmıştır. Daha sonra ısıtma sisteminin uygulamada varsayılan yakma rejimine göre ısı kaybı, yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu hesaplanmış; yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi kullanılarak ekonomik analiz yapılmıştır. Maliyet analizlerinde yıllık kullanılan (gerçek) yakıt miktarı dikkate alınmıştır.

2. BİNALARDA ISI YALITIMI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Morgül (2004) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, binalarda sık kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve ısı yalıtım uygulamalarını teknik ve ekonomik açıdan incelenmiştir. Çalışmada örnek bir bina seçilmiş ve bu binaya dört farklı ısı yalıtım uygulaması yapılmıştır. Binaya uygulanan dört farklı ısı yalıtım uygulamasının ısı kaybı hesapları yapılmış ve yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Yalıtım kalınlıkları ve yalıtım uygulamalarına göre yakıt tüketimleri baz alınarak ekonomik analizler yapılmıştır [Morgül, 2004].

Şişman (2005) yaptığı yüksek lisans çalışmasında; binalarda en iyi yalıtım kalınlığının hesaplaması için ekonomik analiz yöntemlerinden biri olan *bu günkü değer yöntemi*ni kullanarak farklı ısı yalıtım bölgeleri için, maliyetlere dayalı yalıtım kalınlıkları tespit etmiş ve yatırımın geri ödeme süresini hesaplayarak değerlendirmiştir. Çalışmada üç farklı yalıtım malzemesi ile Türkiye'nin tüm illeri için optimum izolasyon kalınlığı, tasarrufun mali karşılığı, yalıtım yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [Şişman, 2005].

Onaylı (2002) yüksek lisans çalışmasında dünyada ısı yalıtımı ile ilgili yapılan çalışmaları, ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerini ve yapılarda yalıtım uygulamasının bina üzerine etkilerini incelemiştir [Onaylı, 2002].

Soysal (2008) tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında bina tasarımı ile enerji tüketim ilişkisi, bina yönelmesi, dış kabuğun U değeri ve toplam opak yüzey alanının saydam yüzey alanına oranı gibi birçok parametre incelenmiştir. Soysal çalışmasında soğuk iklim bölgelerinde bina uzun aksının kuzey - güney doğrultusunda yönlendirilmesinden kaçınılması gerektiğini belirtmiştir [Soysal, 2008].

Güneş ışınları açısından bir yapının yönlendirilişindeki ana ilke, kışın güneş ışınlarından olabildiğince yararlanmak, yazın ise aşırı etkisinden korunmaktır. 32° ile 56° kuzey enlemleri arasında yer alan yapıların güney yüzleri, kışın doğu ve batı

yüzlerine göre üç kat daha fazla güneş ışıını alabileceği söylenebilir. Bu durumda doğu ve batı yüzeyleri, güney yüzeyine göre kışın daha soğuk, yazın daha sıcaktır. Güneydoğu ve güneybatı yüzleri kış aylarında, yaz aylarına göre daha fazla güneş ışıını alır. Yatay yüzler ise en fazla güneş ışıını yaz aylarında alır. Kış aylarında ise bu yüzler güney, güneydoğu ve güneybatı yüzeylerinden daha az ışıını alır [Tuncer, 2007].

Pencere yönü ve alanı kış aylarında bile % 12'ye varan enerji artırımı sağlar. Ekim ve mart aylarında ölçölmüş enerji korunum miktarı pencerenin yönü, büyüklüğü, çerçeve değeri, temizliğı, camın yansıma faktörü, havanın açık kapalı olması gibi faktörlere bağılı olarak % 15-20 arasında değışim gösterir [Anon, 1979].

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde; malzemenin bulunma ve uygulanma kolaylığının yanı sıra maliyeti de önemli bir seçim parametresidir. Çünkü yalıtım, binanın ilk yatırım maliyetini arttırır. Ancak enerji tasarrufuna bağılı olarak düşen enerji miktarı ve işletme maliyeti sayesinde, yerel ve ulusal ekonomiye ilave katkı sağlanır. Enerji tüketimindeki azalmanın doğıal sonucu olarak çevre kirliliğı de azalır [Tuncer, 2007].

Kaynaklı ve Yamankaradeniz (2009) dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının değeri için bir prosedür tanıtmışlar ve farklı şartlarda çözümler yapmışlardır. Çalışmada enerji ve yalıtım maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimizasyonu için ömür maliyet analizi (life cycle cost) kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarına geçmeden önce, ele alınan bölgenin yıllık dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak derece-gün (DG) sayısı tespit edilmiş, ısıtma sezonunun başlama ve bitiş tarihleri belirlenmiştir. Daha sonra optimum yalıtım kalınlıkları farklı DG sayıları, duvar tipleri ve yalıtım malzemeleri için tespit edilerek bulgular genelleştirilmiştir [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

Özel ve Pıhtılı (2008) yaptıkları çalışmada, dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığı, ısıtma ve soğutma derece gün değeri birlikte ele alarak

belirlemişlerdir. Hesaplamalar Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapılmıştır. Dış duvarlara Ekstrüde polistren yalıtımı uygulanarak, artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. İncelenen 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 değiştiği belirlenmiştir [Özel ve Pıhtılı, 2008].

Özel ve Pıhtılı (2008) yaptıkları çalışmada, duvar yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. 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 kayıpları hesaplanmıştır. Hesaplamalar tüm duvar yönleri için tekrarlanarak sonuçlar yaz ve kış şartları için grafikler halinde verilmiştir. Yalıtım kalınlığının cam alanı üzerine etkisinin kışın daha büyük olduğunu belirlemişlerdir [Özel ve Pıhtılı, 2008].

Bayer (2006) yüksek lisans çalışmasında, yapılarda sık kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve bu malzemelerde istenilen özellikler detaylı olarak anlatılmış, duvar yalıtımında kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri karşılaştırılmıştır. Yapıların duvar, çatı ve döşeme kısımlarına uygulanan ısı yalıtım teknikleri ve yalıtım uygulamasında kullanılan malzemeler incelenmiştir. TS 825 ısı yalıtım kuralları esas alınarak örnek bir bina için öncelikle yalıtımsız olarak, daha sonra ise alternatif ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak oluşturulan ısı yalıtım uygulamaları ile örnek binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve özgül ısı kaybı hesapları ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bayer çalışmasında ısı yalıtımı için yapılan yatırım maliyetinin bina maliyetine yaklaşık oranının % 3,8 ve geri ödeme süresinin 4-5 yıl arasında olduğunu belirlemiştir [Bayer, 2006].

Tuncer (2007) yüksek lisans çalışmasında, farklı bölgelerde bulunan dört farklı ilde (Antalya, İstanbul, Konya, Sivas), dört farklı enerji türü (kömür, doğal gaz, fuel oil, elektrik) için iki çeşit yalıtım malzemesi taş yünü ve expanded polistiren köpük

(EPS) kullanılarak, iki farklı duvar modeli (dıştan ve ortadan yalıtımlı) üzerinde her bir parametre için ayrı ayrı optimum yalıtım kalınlığı, yalıtımlı ve yalıtımsız yıllık toplam maliyet, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmıştır. En az yalıtım kalınlığının, yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt türü olarak kömür kullanıldığında Antalya’da olduğunu belirlemiştir. En fazla yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufunun ise yalıtım malzemesi olarak EPS ve enerji türü olarak elektrik kullanıldığında Sivas’ da olduğunu belirlemiştir. En az yatırım maliyeti, yalıtım malzemesi olarak EPS ve enerji türü olarak kömür kullanıldığında Antalya’da ve en kısa geri ödeme süresi ise yalıtım malzemesi olarak EPS ve enerji türü olarak elektrik kullanıldığında ortadan yalıtımlı duvar modeli için Sivas’ da olduğu tespit edilmiştir [Tuncer, 2007].

Dilmaç ve Akgün (2005) binalarda ısı köprülerinden kaynaklanan ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan Türk Standartlarının tarif ettiği hesap metotlarını incelemişlerdir. Binalarda ara kat döşemelerinden kaynaklanan ısı köprülerinin hesaplanmasında kanatçık modelinin kullanılması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Elde edilen sonuçları standartların önerdiği hesap metotları ile karşılaştırmışlar, kanatçık modelinin kullanılabileceğini göstermişlerdir [Dilmaç ve Akgün, 2005].

3. BİNALARDA ISITMA SİSTEMLERİ, SIK KULLANILAN YAPI VE ISI YALITIM MALZEMELERİ

3.1. Binalarda Kullanılan Isıtma Sistemleri

Kapalı ortamlar kullanım amacına bağlı olarak, ihtiyaca göre ısıtılır, soğutulur veya havalandırılırlar. Binalarda iç ortam konfor şartları yapay ve/veya doğal yollarla sağlanır. İç ortamın fazladan kaybettiği (konfor şartlarının altında) ısıyı telafi etmek için ısıtma, fazladan kazandığı ısıyı (konfor şartlarının üstünde) bertaraf etmek için soğutma sistemleri kullanılır. Isıtma ve soğutma sistemleri bir arada olabileceği gibi ayrı ayrıda olabilir. Binanın kullanım amacı, mimari özellikleri ve bulunduğu bölgenin iklim önceliği ısıtma ve soğutma sistemlerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametrelerdir.

Isıtma sistemleri kullanım şekline göre, iki gruba ayrılır:

1-Bireysel ısıtma sistemleri

2-Merkezi ısıtma sistemleri

Bireysel ısıtma sistemleri binanın herhangi bir bağımsız bölümünün ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış ısı üretimi ve dağıtımını yapan kalorifer tesisatlarıdır. Merkezi ısıtma sistemleri ise bir veya birden fazla bina veya bağımsız bölümün ısıtma ihtiyacını karşılayan kalorifer tesisatlarıdır.

Isıtma (kalorifer) sistemleri üç ana bölümden oluşur. Isı üretiminin yapıldığı yakma sistemi, üretilen ısının ihtiyaç bölgelerine taşınmasını sağlayan iletim tesisatları ve üretilen ısıyı iç ortama transfer eden radyatör tesisatlarından oluşur. Isıtma sisteminin kapasitesi ve verimi belirlenirken bu üç bölümün kayıpları ilave olarak değerlendirilir.

Yakma sistemi, ısıtma ihtiyacının karşılanacağı enerji kaynağından (katı, sıvı, gaz, elektrik, ışınlı, jeotermal, vs) ısı enerjisinin elde edildiği bölümdür. Kapasitesi ve verimi belirlenirken kullanılan enerji kaynağı ilave olarak değerlendirilir. İletim tesisatları ise üretilen ısıtmanın tüketim bölgelerine taşınması amacı ile yapılmış, transfer akışkanının içerisinde hareket ettiği boru-kanal, kesici-yönlendirici ve pompa donanımlarından oluşur. İhtiyaç bölgesine transfer akışkanı vasıtası ile taşınan ısıtmanın iç ortama transfer edilmesi için kullanılan ısı değiştirgeçleri ise radyatör tesisatlarını oluşturur.

3.2. Binalarda Sık Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri

Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı transferini azaltmak için yapılan işleme ısı yalıtımı denir. Bunu sağlayan malzemelere ısı yalıtım malzemesi adı verilir. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği ısı iletim katsayısıdır. ISO ve CEN standardına göre ısı iletim katsayısı 0,065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Diğer malzemeler yapı malzemesi olarak kabul edilir [Onaylı, 2002].

Isı yalıtım malzemeleri lifli, taneli, film-tabaka, blok veya tek parçadan yapılmış, açık veya kapalı hücreli, kimyasal veya mekanik olarak birbirine bağlanmış veya desteklenmiş karma malzemeler olabilir. Isı yalıtım malzemelerinin kullanım alanlarına göre dikkate alınması gereken özellikleri [Onaylı, 2002],

- 1-Isı İletim katsayısı (W/mK)
- 2-Yoğunluk (kg/m³)
- 3-Yangın sınıfı (DIN 4102,BS 476)
- 4-Sıcaklık dayanımı (°C)
- 5-Mekanik dayanım (kPa)
- 6-Buhar difüzyon direnci
- 7-Su emme kabiliyeti
- 8-Boyutsal karalılık
- 9-İnsan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde, malzemenin bulunma ve uygulanma kolaylığı ile birlikte maliyeti de önemli bir faktördür. Çünkü yalıtım, binanın ilk yatırım giderlerini arttıran bir uygulamadır. Yalıtım ile temin edilecek tasarruf miktarının belirlenmesi için mevcut durum ile yalıtım sonrası durumda meydana gelecek olan ısı kayıplarının hesaplanması gerekir. Isı iletim katsayısı düşük olan ancak ısı yalıtım malzemesi olmayan yapı malzemeleri gaz beton, izotuğla, bims bloklar, perlit, ponza taşı olarak sıralanabilir [Onaylı, 2002].

3.2.1. Ekspande polistiren köpük (EPS)

Polistiren sert köpük, yapay organik bir ısı yalıtım malzemesi olup, ilk kez 1952 yılında Alman BASF firması tarafından üretilmiş ve styropor adı altında dünyaya yayılmıştır. Styopor termo-plastik bir malzemedir. Ülkemizde ilk olarak 1960'lı yılların başında soğuk hava depoları ile ticari buzdolabı üreticilerinin ihtiyacını karşılamak üzere üretilmeye başlanmış ve çok uzun yıllar (1986'ya kadar) sadece bu sektörde kullanılmıştır. Diğer ülkelerde başlangıçtan itibaren inşaatlarda da kullanılan bu malzeme, Türkiye'de ancak 1986 yılından sonra inşaatlara girebilmiştir. Bugün diğer ülkelerde olsun, Türkiye'de olsun inşaatlarda en çok kullanılan yalıtım malzemelerinin öncülerindendir. Bunun nedeni, ısı yalıtım malzemelerinin en ucuzu oluşu ve sahip olduğu teknik özelliklerdir. TS 7316 Türk Standardına göre üretilmektedir [Onaylı, 2002].

Üretiminde polistirenden başka hammadde yoktur. Birim m³ styropor bloğunda milyonlarca adet küçük, kapalı gözenekli hava boşlukları vardır. Isı yalıtımını da bu hava boşlukları sağlar. Polistirenin şişirme tekniği ile üretilenine ekspande polistiren (EPS) denir. Ekspande polistiren önce blok olarak şişirilir, sonra bloktan levha kesilir. Ekspanded polistirende yoğunluklar genel olarak 10-40 kg/m³ arasındadır. Yoğunluğun artmasıyla basınç dayanımı, buhar geçirmezliği ve fiyatları artar. En çok üretilen (%80) yoğunluk 10 kg/m³ olanıdır. Styropor yanıcı bir malzemedir. Yanma geciktirici özel maddeler karıştırılarak üretilen, zor alev alıcı veya kendi kendine

sönen tipleri de mevcuttur. Göreceli olarak basınç ve yüksek sıcaklığa maruz yerlerde yüksek yoğunlukta (20-40 kg/m³) styropor kullanılır [Onaylı, 2002].

Ekspande polistren üretimine Alman Normu DIN 4102 'ye göre B1 sınıfı zor alev alan ve B2 sınıfı normal alev alan malzemeler sınıfında üretilmektedirler [Bayer, 2006]. Ekspande polistrenin ısı iletkenliği yoğunluğuna bağlıdır. Yoğunluk arttıkça ısı iletkenliği azalır. 15-45 kg/m³ aralığındaki yoğunluklar için ısı iletkenlik hesap değerleri 0,033-0.040 W/mK arasında değişir. Ekspande polistrenin $30 \geq \text{kg/m}^3$ yoğunluk için TS 825'de belirtilen ısı iletkenlik hesap değeri 0,035 W/mK'dir.

Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu = 20-250$, kullanım sıcaklıkları -180°C ile $+75^\circ\text{C}$ arasındadır. Mekanik dayanımları 5-15 ton/m², su emmeleri hacimce % 1,1-0,5'dir [Ertaş, 2002].

3.2.2. Ekstrüde polistiren köpük (XPS)

Polistiren sert köpüğün banttan çekilerek üretilen tipidir. Çeşitli firmalar çeşitli yöntem ve renkte bu malzemeyi üretmektedir. Bu malzemelerin hücre yapıları ve dağılımı homojendir. Isı iletkenlik katsayıları EPS'ye oranla biraz daha düşüktür. Levhaların yüzeylerin düz olup su alma durumları EPS'ye göre daha azdır. Yoğunlukları 25-50 Kg/m³ arasında değişmektedir. En önemli özelliği basınca olan mukavemetinin fazlalığıdır. Ayrıca buhar geçirmezlik özelliği de yüksektir. Malzeme higroskopik veya kapiler değildir. Plastik esaslı olduğundan birçok kimyasal maddelere karşı duyarlıdır. Extruded polistiren içinde alevlenmeyi önleyici katkıları bulunduğu için zor yanıcıdır DIN 4102 yangın standardına göre B1 sınıfına girerler. $75-80^\circ\text{C}$ 'a kadar rahatlıkla kullanılabilir [Onaylı, 2002].

Buhar geçirimsizlik faktörü (μ) yoğunluğa göre değişir. En düşük yoğunluk (25 kg/m³) için $\mu=80-150$, en yüksek yoğunluk (45 kg/m³) için $\mu=150-220$ 'dir. Yoğunluğun artmasıyla ısı iletkenlik hesap değeri de değişir. Yoğunluğu 33 kg /m³ olan XPS için $\lambda_{\text{lab}} = 0.028 \text{ W/mK}$ 'dir. TS 825 standardının belirlediği ısı iletkenlik

hesap değeri ise $\lambda_{\text{hesap}} = 0.035 \text{ W/mK}$ 'dir. Malzeme çok sıkı kapalı gözenekli bir yapıya sahip olduğundan su alma durumu fevkalade düşüktür. Mekanik dayanımları $10\text{-}50 \text{ ton/m}^2$, su emmeleri hacimce maksimum % $0\text{-}0,5$, kullanım sıcaklıkları $-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır [Bayer, 2006]. Ters teras çatı sisteminde su yalıtımı ısı yalıtımının altında olduğundan, ters teras çatı sistemleri için iyi bir yalıtım malzemesidir [Onaylı, 2002].

3.2.3. Mineral yün yalıtım malzemeleri

Cam yünü: Ergimiş camın çeşitli metotlarla lif haline getirilmiş şeklidir. Çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Ana hammaddesi silis kumudur. Lif çapları $3\text{-}5$ mikron arasındadır. Bakalitli (sarı) ve bakalitsiz (beyaz) türleri vardır. Bakalit, lifleri birbirine yapıştırarak malzemeye form vermeye (rulo, levha) yarar. Bakalitli olanlar en çok $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar kullanılır. Bakalitsiz (beyaz) olanlara form verebilmek için kümes teline veya oluklu mukavva gibi malzemelere dikmek gerekir (şilte vs.) ve maksimum $550 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ya kadar, genellikle sanayi yalıtımlarında (kazan, tank, boru vs..) kullanılırken sarı olanlar özellikle yapı sektöründe, ayrıca şofben fırın gibi ev cihazlarının yalıtımında kullanılır [Onaylı, 2002].

Yapıda kullanılan sarı mamuller $10\text{-}120 \text{ kg/m}^3$ yoğunlukta üretilebilirler ve şekilleri yoğunluğa göre rulo veya levha şeklinde olur. Malzeme çıplak olabildiği gibi, kâğıt, bitümlü karton, alüminyum folyo gibi yardımcı malzemelere yapıştırılmış olarak da bulundurulabilir. Camyününde malzemeye şekil vermek, lifleri birbirine yapıştırmak için Fenol-Formaldehit bakaliti kullanılır. TS 825'e göre inşaatlarda kullanılacak cam yünü $\lambda = 0.040 \text{ W/mK}$ değeri verilmiştir. Sanayide kullanılacaksa o zaman bu değer alınmaz, söz konusu ekipman sıcaklığı dikkate alınarak hesaplanan ortalama sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik katsayısı alınır. Cam yününün basınç, çekme kopma vs. dayanımı ürünün yoğunluğuna göre değişkenlik gösterir. Genellikle rulo halindeki yoğunluğu az camyününün, basınç mukavemeti hiç yok iken, yoğunluk arttıkça muayyen bir basınç mukavemeti oluşur. Keza malzemenin kopma mukavemeti de rulo veya levha olması durumuna göre değişmektedir [Onaylı, 2002].

Cam yününün lifleri arasında % 99 oranında hava boşlukları vardır. Direkt olarak suya maruz kalması veya endirekt olarak (buhar difüzyonu, higroskopiklik veya kapilarite) suya maruz kalması halinde lifler arasındaki hava boşluklarına su dolar yalıtım kabiliyetini yitirir [Onaylı, 2002]. Mineral yünlerinin su buharı dirençleri çok küçüktür, havaya eşdeğerdir ($\mu=1$) [Bayer, 2006]. Bunun haricinde camyünü higroskopiklik ve kapilarite özelliklerine sahip değildir. Cam yünü kimyasal etkilere çok duyarlı değildir.

Sıcaklık dayanımı malzemenin bakalitli (sarı) veya bakalitsiz (beyaz) oluşuna göre değişir. Bakalitli mamuller en çok 250 ° C ye kadar kullanılır. Bu sıcaklıktan sonra bakalit yanmaya başlar ve koku çıkararak uçar, liflerin bağlayıcılığı yok olur. Yani malzeme şekilsiz (amorf) olur. Sıcaklığın daha artması halinde malzemenin sarı rengi önce koyulaşıp kahverengiye dönüşür, sıcaklığın 500-550 °C olması halinde bakalit tamamen yok olur ve renkte beyaz olur. Beyaz ve sarı mamuller 550 °C'den fazla olan sıcaklıklarda eriyerek cam topakçığı haline gelir. Camyünü, ekonomik yapısıyla ve yüksek ısı yalıtımı özelliğiyle genel olarak ekonomik olan ısı yalıtım malzemeleri içinde yer almaktadır. Malzemenin fiyatı yoğunlukla direkt ilgili olduğundan az yoğunluklu rulo malzemeler oldukça ekonomik sayılabilirken, yoğunluk yükseldikçe fiyat da artar. Bu nedenle yoğunluğu yüksek levha tipi camyünlerinde ekonomiklik ayrıca araştırılmalıdır [Onaylı, 2002].

Taş yünü: Bazalt, kireçtaşı, dolomit gibi minerallerden elde edilen lifli yalıtım malzemeleridir. ilk olarak 1897 de Amerika'da yapılmış, yalıtım amacıyla 1927 de kullanılmaya başlanmıştır. Birbirinden farklı değişik metotlarla üretilmekle birlikte, üretim esası camyününe benzer. Koyu gri rengi olan tas yünü bugün Avrupa'nın hemen her ülkesinde ve ülkemizde de üretilmektedir. Lif çapları 5 mikron civarında olup, yoğunlukları 20-200 Kg/m³ arasındadır. Ancak genellikle 30-100 Kg/m³ yoğunlukları kullanılır. Cam yününde olduğu gibi düşük yoğunluklar rulo şeklinde, yüksek yoğunluklar levha seklindedir. Tas yününde lifler her doğrultuda yer aldığı için basınç mukavemeti camyününden daha fazladır. Tüm lifli malzemelerde olduğu gibi tas yününde de malzemenin buhar difüzyon direnci çok düşüktür. Genel olarak

sıcaklığa dayanımı 1000 °C' ye kadar ulaşabilir. Bileşiminde bakalit varsa en fazla kullanım sıcaklığı 200-250 °C, yoksa 1000 °C'dir. Ancak malzemede kâğıt, mukavva, bitümlü karbon kaplı ise kaplama yüzeyindeki sıcaklığın kaplama malzemesinin dayanabileceği sıcaklığı (80-100 °C) aşmamasına dikkat edilmelidir [Onaylı, 2002].

3.3. Binalarda Sık Kullanılan Yapı Malzemeleri

3.3.1. Gaz beton

İnce öğütülmüş silisli agrega dolgu malzemesinin (kum, kum taşı, baca külü) inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve çimento) ve su ile harmanlanarak, gözenek oluşturuucu bir madde ile hafifletilmesinden sonra buhar kürü ile sertleştirilmesi sonucu elde edilen gözenekli bir yapı malzemesidir. Yapısının % 84'ü durgun hava içeren gözeneklerden oluşur. TS 453 standardına göre üretilmektedir. Yüksek ısı yalıtım özelliği olan hafif bir yapı malzemesidir. Yanıcılık sınıfı A1 olup hiç yanmaz malzemeler sınıfındadır. Rutubete, su emmeye ve dona karşı dayanıklıdır. Kuru birim hacim ağırlığı 400-800 kg/m³ aralığındadır. Basınç dayanımı ise 2,5-5,0 N/mm² aralığında değişir. Uzun ömürlü bir malzeme olan gaz beton toksik madde içermez. Isı iletkenlik hesap değeri 400 kg/m³ için 0,13 W/mK, 500 kg/m³ için 0,16 W/mK, 600 kg/m³ için 0,19 W/mK'dir [TGÜB, 2009].

3.3.2. Yatay delikli tuğla

Tuğla, doğal kilin su ile hamur yapılarak kalıplanması ve pişirilmesi sonucu elde edilen bir yapı malzemesidir. Yatay delikli tuğlalar binaların taşıyıcı betonarme elemanları arasına dolgu ve bina içinde bölüm oluşturmak amacı ile kullanılırlar. Hafiflikleri ile ön planda olan yatay delikli tuğlalar, binaya ek yük getirmezler. Tuğlanın en vazgeçilmez özelliklerinden birisi yüksek ısı depolama özelliği ile bina içi ısı regülasyonunu sağlamasıdır. Bünyesine depoladığı ısıyı ısıtma sistemi kapatıldıktan sonra 8 saat süreyle geri verir [Morgül, 2004].

Yatay delikli tuğlalar çeşitli ebatlarda üretilmektedir. Ağırlıkları 2 kg ile 6 kg arasında değişir [Morgül, 2004]. TS EN 771-1 standardına tarif edilen özelliklere göre uygun üretilirler. Yoğunlukları 600 kg/m^3 ile 1000 kg/m^3 arasında değişir. Isı transfer katsayısı $0,33 \text{ W/mK}$ - $0,45 \text{ W/mK}$ aralığındadır. Isı yalıtım hesaplarında ısı transfer katsayısı genel olarak $0,45 \text{ W/mK}$ alınır [TS 825, 2008].

4. BİNALARDA ISI KAYBI, YAKIT TÜKETİMİ VE CO₂ EMİSYONU HESAP METOTLARI

Bu bölümde binaların ısı kaybı, yakıt tüketimi ve bu yakıt tüketiminin sonucu olarak atmosfere atılan CO₂ miktarının hesaplanmasında kullanılan metotlar açıklanmış ve formüle edilmiştir. Daha sonraki bölümlerde, bu metotlar kullanılarak, seçilen tipik bir okul binasının ısı kaybı, yıllık yakıt tüketimi ve tüketilen yakıtın yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ miktarları farklı yalıtım uygulamaları için hesaplanmıştır.

4.1. Isı Kaybı Hesap Metotları

Bina kütlesi, iç ve dış ortam şartları; bina iç ortamı ile dış ortam arasındaki ısı transferini etkiler. Binalarda ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı iç ve dış ortam şartlarının anlık değişimine paralel olarak değişir. Enerji ihtiyacının ortam şartlarına bağlı olarak değişmesi, bina tasarımında pratik uygulanabilir bir hesap yöntemi kullanılmasını gerektirir. Binalarda ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı önceden kabul edilen tasarım parametrelerine göre belirlenir. Isıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacını karşılayacak cihazlarda belirlenen optimum kapasiteye göre tasarlanır.

Bir binada ısıtma enerjisi ihtiyacı; ısıtma sisteminin bir yıl içinde, iç ortamı belirlenen konfor sıcaklığında tutabilmesi için gereken minimum enerjidir. Isıtma enerjisi ihtiyacının (ısı kaybının) hesaplanmasında iki farklı yaklaşım vardır. Bunlar iç ve dış ortam şartlarının anlık değişiminin dikkate alındığı Dinamik metotlar ve değişken ortam şartlarının deneysel verilerle belirlenip standart veriler haline dönüştürülüp kullanıldığı statik metotlar olarak adlandırılabilir.

Dinamik Metotlar: Bu metotlarda bina kütlesine depo edilen ve bu kütleden salınan ısı göz önüne alınır. Anlık veya saatlik baz da iç ve dış ortam sıcaklıklarının, güneş enerjisi değerlerinin, havalandırma durumunun, iç kaynakların değişim durumunun, iç ve dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak ısıtma ve soğutma sisteminin çalışma durumunun belirlenmesine ihtiyaç vardır. Dinamik metotlar, binalardaki enerji

transferinin anlık değişimini dikkate alan, kompleks metotlardır. Pratik anlamda kullanılması zordur [Toksoy ve ark., 2008]. İki grupta sınıflandırılabilir:

1. Basit saatlik metot
2. Detaylı saatlik metot

Statik Metotlar: Bu metotlar, deneysel olarak belirlenmiş olan dinamik etkilerin standartlaştırılmış ortalama değerlerinden faydalanılarak belirlendiği ısı kazançlarının, kayıplarının ve kazanç/kayıp kullanım faktörlerinin (güneş enerjisi kazanımı vb.) hesaba katıldığı metotlardır. Kullanılabilir ve pratiktir [Toksoy ve ark., 2008]. İki grupta sınıflandırılabilir:

1. Aylık metot
2. Sezonluk metot

Binaların ısıtma enerjisi ihtiyacının tahmininde, hesaplamaları pratik anlamda yapılabilir kılmak amacıyla statik yaklaşım metodu yaygın kullanılmaktadır. Statik yaklaşım metodunda iki farklı yöntem öne çıkmaktadır. Bunlar derece-gün yöntemi ve ortalama dış ortam sıcaklığı kullanılarak ısı kayıp ve kazançlarının hesaplandığı yöntemlerdir. Bu yöntemler ısı kaybı hesaplamalarında aylık ve sezonluk olarak ele alınır.

4.2. Derece-Gün (DG) Yöntemi

Dünyada derece-günler ile ilgili ilk ciddi çalışma 18. yüzyıl Fransız bilimcisi Reaumur tarafından 1735 yılında yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda Close (1944), Landsberg (1948), Emerick (1951), Thom (1954), Lutgens ve Tarbuck (1974), Quayle ve Diaz (1980), Lehman ve Warren (1994) gibi birçok araştırmacı tarafından derece günlerle ilgili çeşitli çalışmalar yapılarak, derece-gün kavramı geliştirilmiştir. Türkiye'de ise Yener ve Gürdil (1987), Kadioğlu (1994) tarafından DG'ler ile ilgili küçük çaplı çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca derece-günlere benzer bir çalışma da Gülferi (1966) tarafından yapılmıştır. Prof. Dr. Alpin Kemal Dağısöz'ün de, Türkiye

genelinde her ilden bir meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık verilerini kullanarak derece-gün haritalarını hazırlamış olduğu bilinmektedir [Gültekin ve Kadioğlu,1996].

Türkiye derece-gün (DG) değerlerine göre dört ısı yalıtım bölgesine ayrılmıştır. En düşük DG değerine sahip iller birinci bölgede, en yüksek DG değerine sahip iller dördüncü bölgede bulunmaktadır. Türkiye'nin illere göre DG bölgeleri EK-4 Şekil 4.1'de verilen haritada gösterilmiştir.

Binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışıınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DG değerinin belirlenmesini etkilemektedir [Büyükalaca, vd., 2001]. Yapılan araştırmalar 18.3 °C'nin altındaki sıcaklıklarda insanların ısınma ihtiyacı duyduklarını ortaya koymuştur [Gültekin ve Kadioğlu, 1996]. Literatürde kapalı ortamlar ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının 3 °C olduğu kabul edilmekte ve ısıtma için denge sıcaklığının genel olarak dış ortam için 15 °C alınabileceği belirtilmektedir [Gültekin ve Kadioğlu, 1996].

Bu yöntem de denge sıcaklığına göre belirlenen DG değerleri kullanılarak binanın ısı kaybı hesaplanır. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kazançları ile (insan, aydınlatma, güneş ışıınımı vs.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Dış ortam sıcaklığının denge sıcaklığından düşük olduğu günlerde ısıtmanın olduğu kabul edilir. Bu günler için hesaplanan DG değerlerinin toplamı ısıtma sezonu DG değerini verir. Ortalama dış ortam sıcaklığı ise ısıtma yapılan gün içindeki en düşük ve en yüksek sıcaklığın ortalamasıdır [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

Isıtma sezonunda toplam derece-gün değeri Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 ile hesaplanır.

$$\text{Eğer } (T_o \leq T_b) \text{ ise, } DG = \sum_{i=1}^N (T_i - T_o) \quad (4.1)$$

$$\text{Eğer } (T_o > T_b) \text{ ise, } DG = 0 \quad (4.2)$$

Bu eşitliklerde,

T_i : İç ortam tasarım sıcaklığı (°C)

T_o : Günlük ortalama dış hava sıcaklığı (°C)

N : Isıtma yapılan toplam gün sayısıdır.

Günlük ortalama sıcaklık T_o , gün içindeki ölçülen maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalaması alınarak belirlenir [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

$$T_o = (T_{o,min} + T_{o,max})/2 \quad (4.3)$$

Burada,

$T_{o,min}$: Gün içinde ölçülen en düşük sıcaklık (°C)

$T_{o,max}$: Gün içinde ölçülen en yüksek sıcaklık (°C)

4.2.1. Isı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Dış duvarının birim yüzey alanından gerçekleşen ısı kaybı,

$$q = U(T_i - T_o) \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada,

q : Birim yüzey alandan gerçekleşen ısı kaybı (W/m²)

U : Toplam ısı transfer katsayısı (W/m²K).

Eş. 4.4'deki $(T_i - T_o)$ terimi günlük, aylık veya yıllık olarak tanımlanırsa Eş. 4.1'de verilen DG kavramını tanımlamış oluruz. Eş. 4.4 DG kavramından faydalanılarak ısıtma sezonu için düzenlenirse, duvarın birim yüzey alanından gerçekleşen yıllık ısı kaybı Eş. 4.5 ile hesaplanabilir [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

$$q_{yıl} = 86400 \times DG \times U \quad (4.5)$$

Burada,

$q_{yıl}$: Duvarın birim yüzey alanından gerçekleşen yıllık ısı kaybı (W/m^2)

DG : T_b referans sıcaklığına göre belirlenen yıllık ısıtma yapılan günlerdeki iç ve dış ortam sıcaklıkları arasındaki farkların toplamı

1gün: 86400 s

Dış duvarın birim yüzeyinden olan ısı kaybı sebebiyle, ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı $E_{yıl}$ yıllık ısı kaybının ısıtma sisteminin verimine bölünmesiyle hesaplanır [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

$$E_{yıl} = 86400 \times DG \times U / \eta \quad (4.6)$$

Burada,

$E_{yıl}$: Birim yüzey alanı için gereken yıllık enerji miktarı (Joule)

η : Isıtma sisteminin verimi (Birimsiz)

4.3. TS 825 Hesap Yöntemi

Hesaplamaları pratikleştirmek için, yukarıdaki eşitliklerdeki DG değerleri her gün için farklı değerlerde alınmak yerine, bölgelere göre aylık veya sezonluk ortalama değerler belirlenir ve hesaplamalarda bu ortalama değerler kullanılır.

TS 825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardında, Türkiye DG değerlerine göre dört farklı ısı yalıtım bölgesine ayrılmış ve bu bölgelerin aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları belirlenmiştir. Isı yalıtım bölgelerinin aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Isı yalıtım bölgeleri için aylık ortalama dış sıcaklıklar [TS 825, 2008]

AYLAR	Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı (°C)			
	1. bölge	2. bölge	3. bölge	4. bölge
Ocak	8,4	2,9	-0,3	-5,4
Şubat	9,0	4,4	0,1	-4,7
Mart	11,6	7,3	4,1	0,3
Nisan	15,8	12,8	10,1	7,9
Mayıs	21,2	18,0	14,4	12,8
Haziran	26,3	22,5	18,5	17,3
Temmuz	28,7	24,9	21,7	21,4
Ağustos	27,6	24,3	21,2	21,1
Eylül	23,5	19,9	17,2	16,5
Ekim	18,5	14,1	11,6	10,3
Kasım	13,0	8,5	5,6	3,1
Aralık	9,3	3,8	1,3	-2,8

TS 825’de tanımlanan hesap metoduna göre, bir yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı; aylık net ısı ihtiyaçlarının toplanmasıyla bulunur. Aylık net ısı ihtiyacı, iç ortamında belli bir konfor sıcaklığını sağlamak için gereken ısı enerjisi olup, aylık iç ve güneş enerjisi kazançları toplamı, ortamın aylık toplam ısı kayıplarından çıkarılarak hesaplanır. Aylık ve yıllık net ısı ihtiyaçları aşağıdaki gibi hesaplanır [TS 825, 2008]:

$$Q_{ay} = \text{Isı Kayıpları} - \text{Isı Kazançları}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (4.7)$$

Isıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdan ve varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereleri içine alan ısı kaybeden yapı yüzeylerinden oluşur. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılır. Binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtılıyorsa veya ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 4 K’den fazla değil ise, binanın tamamı için ortalama bir sıcaklık hesaplanır ve bina tek hacimli olarak ele alınır. Isıtılan ortamlar arasında 4 K’den fazla sıcaklık olması durumunda sıcaklığı farklı ortamların sınırları belirlenir ve farklı ortamlar için ayrı ayrı hesap yapılır. Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı Q_{ay} , aşağıdaki şekilde hesaplanır [TS 825, 2008].

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})]t \quad (4.8)$$

Bu eşitliklerde,

$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)

Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)

H : Binanın özgül ısı kaybı (W/K)

θ_i : Aylık ortalama iç sıcaklık (°C)

θ_e : Aylık ortalama dış sıcaklık (°C)

η_{ay} : Kazançların aylık ortalama kullanım faktörü (Birimsiz)

$\Phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar (W)

$\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)

t : Isıtma süresi, (saniye olarak bir ay = 86400 x 30) (s)

Eş. 4.8'deki, aylık ısıtma enerjisi ihtiyacının negatif (–) olduğu aylar sıfır olarak kabul edilir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında dikkate alınmaz.

4.3.1. Binanın özgül ısı kaybı hesabı

Binanın özgül ısı kaybı, binanın 1 °C sıcaklık farkında birim zamanda kaybedeceği toplam ısı olup; iletim yoluyla ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının toplamından oluşur. Binanın özgül ısı kaybı H aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir [TS 825, 2008].

$$H = H_T + H_V \quad (4.9)$$

Burada,

H_T : Binanın iletim ve taşınım yoluyla olan toplam ısı kaybı (W/K)

H_V : Binanın havalandırma yoluyla olan toplam ısı kaybı (W/K)

İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabı

İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, binanın dış kabuğunu oluşturan dış havaya açık veya toprağa temas eden taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan dış duvarları, tavanı, tabanı,

pencereleri, kapıları, düşük sıcaklıktaki iç ortamlara temas eden yapı elemanlarından ve ısı köprülerinden meydana gelen ısı kayıplarının toplamından oluşur. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [TS 825, 2008].

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (4.10)$$

Burada $\sum AU$ terimi yapı bileşenlerinden olan ısı kaybını, IU_I ise yapıdaki ısı köprülerinden meydana gelen ısı kaybını ifade eder. Eş. 4.10'daki yapı bileşenlerinin toplam ısı kaybı $\sum AU$ terimini açarsak Eş. 4.11'i elde ederiz [TS 825, 2008].

$$\sum AU = U_D A_D + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + \cancel{U_d A_d} + \cancel{0.5 U_{ds} A_{ds}} \quad (4.11)$$

Bu eşitlikte, $U_D A_D$ duvarlardan, $U_p A_p$ pencerelerden, $U_k A_k$ kapılardan, $0.8 U_T A_T$ üzeri havalandırılmayan çatı ile örtülü tavandan, $0.5 U_t A_t$ toprağa temas eden tabandan olan ısı kaybını ifade eder. $U_d A_d$ dış hava ile temas eden taban alanının ısı kaybıdır. $0.5 U_{ds} A_{ds}$ ise düşük sıcaklıklardaki iç ortamlara temas eden yapı bileşenlerinin ısı kaybıdır. Bu iki yapı bileşeni analizleri yapılan okul binasında mevcut değildir. Bu durumda Eş. 4.11 aşağıdaki hali alır.

$$\sum AU = U_D A_D + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t \quad (4.12)$$

TS 825 hesap yönteminde, yapı elemanlarından olan ısı kaybı hesaplanırken dış havaya açık olmayan, durağan ortamlara temas eden yapı bileşenlerinin toplam ısı kaybı belirli oranda azaltılarak (toprağa temas eden düşey duvarlar hariç) binanın toplam özgül ısı kaybına dahil edilir. Üzeri havalandırılan çatı veya dış havaya açık olan tavanın ısı kaybı azaltmadan alınırken, üzeri havalandırılmayan çatı olan tavanın ısı kaybı 0,8 katsayısı ile çarpılarak binanın özgül ısı kaybına katkısı azaltılır. Yukarıdan aşağıya ısı transferi olan tabanın ve düşük sıcaklık ortamına bakan yapı elemanlarının ısı kaybı ise 0,5 katsayısı ile çarpılarak binanın toplam özgül ısı kaybına etkisi azaltılarak dahil edilir.

Yapı elemanlarının toplam ısı kaybına etkisinin azaltılmasında kullanılan katsayıların belirlenmesinde, dış havaya kapalı durağan ortam, ısıtılan bir iç ortamdaki sıcaklığın tabanda minimum tavanda ise maksimum olacak şekilde dağılım göstermesi, ısı transferinin dış ortama doğru yukarı ve yatay doğrultuda baskın karakterde olması belirleyici faktörler olarak öne çıkar.

Bina dış yapı kabuğunu oluşturan dış duvarlar ise dış havaya açık taşıyıcı olmayan duvarlar, taşıyıcı betonarme duvarlar ve topağa temas eden taşıyıcı betonarme duvarlardan oluşmaktadır. Binanın ısı kaybeden dış yapı kabuğunda bulunan farklı duvarlardan kaynaklanan toplam ısı kaybı,

$$U_D A_D = U_{D1} A_{D1} + U_{D2} A_{D2} + U_{D3} A_{D3}$$

şeklinde hesaplanır. Eş. 4.12 yapı kabuğunda bulunan farklı duvar elemanlarını ifade edecek şekilde yeniden düzenlenirse aşağıdaki şekli alır.

$$\sum AU = U_{D1} A_{D1} + U_{D2} A_{D2} + U_{D3} A_{D3} + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t \quad (4.13)$$

Bu eşitlikte,

U_{D1} : Dış havaya açık, taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) duvarın ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

U_{D2} : Dış havaya açık, taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş) duvarın ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

U_{D3} : Toprağa temas eden, taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş, perde) duvarın ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

U_p : Pencerelerin ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

U_k : Dış kapıların ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

U_T : Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatı) ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

U_t : Tabanın (toprağa oturan döşeme) ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

A_{D1} : Dış havaya açık, taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) duvarın alanı (m^2)

A_{D2} : Dış havaya açık, taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş) duvarın alanı (m^2)

A_{D3} : Toprağa temas eden, taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş, perde) duvarın alanı (m^2)

A_p : Pencerelerin alanı (m^2)

A_k : Dış kapıların alanı (m^2)

A_T : Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatı) alanı (m^2)

A_t : Tabanın (toprağa oturan döşeme) alanı (m^2)

Dış duvarlar için ısı transfer katsayısının (U) hesaplanması

Duvarın ısı geçirgenlik katsayısı U_D aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [TS 825, 2008].

$$U_D = 1/(R_i + R_D + R_e) \quad (4.14)$$

Burada,

R_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m^2K/W)

R_D : Duvarın ısı iletim direnci (m^2K/W)

R_e : Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m^2K/W)

Hesaplamalarda kullanılan iç ve dış yüzeylerin ısı taşınım dirençleri ile yapı elemanları ısı transfer katsayıları Çizelge 5.1’de verilmiştir (Bkz. Bölüm 5). Yapı bileşeninin ısı geçirgenlik direnci R_D hesaplanırken; yapı bileşeni tek tabakalı ise Eş. 4.15, çok tabakalı ise Eş. 4.16 kullanılır.

$$R = d/\lambda \quad (4.15)$$

d : Yapı bileşenini oluşturan tabakanın kalınlığı (m)

λ : Yapı bileşenini oluşturan malzemenin ısı transfer katsayısı (W/mK)

$$R_D = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots \quad (4.16)$$

Burada, d_1 , d_2 ve d_3 duvarı oluşturan farklı malzeme tabakalarının kalınlığı, λ_{h1} , λ_{h2} , λ_{h3} ise her bir tabakanın ısı transfer katsayılarıdır ve Çizelge 5.1’de verilmiştir (Bkz. Bölüm 5).

Isı köprülerinin hesaplanması

Isı köprüsü, ısı kaybeden yapı bileşeninin ortalama ısı geçirgenliğinden daha büyük ısı geçirgenliğine sahip bir bölgesidir. Ülkemizdeki uygulamalarda duvarlar yalıtımlıda olsa, kolon-kiriş-döşemeler arasına örülmektedir. Duvarın U değeri 0,50 W/m²K değerine kadar düşebilir. Kolonların U değeri ise 2,5-3,00 W/m²K değerleri arasındadır. Arada oldukça büyük bir fark vardır ve bu iki eleman yan yana geldiklerinde yalıtımsız haldeki betonarme elemanlardan, yalıtımlı duvara nazaran çok daha fazla ısı kaybı meydana gelecek ve ısı köprüsü oluşturacaktır. Bu durum dikkate alındığında ülkemiz şartlarında tüm cephenin U değeri % 100’e varan artışlar gösterebilmektedir. Yurt dışındaki uygulamalarda kolon ve kirişlerin yalıtımsız bırakılması zaten söz konusu değildir. Ancak ülkemizde çok geniş uygulaması bulunan bu durumun ısı hesaplarında dikkate alınması son derece önemlidir [Dilmaç, 1999].

08 Mayıs 2000 tarih ve 24043 sayılı resmi gazete yayımlanan *Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği* ve onun yerine geçen *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEPY)* yapı elemanlarında meydana gelebilecek ısı köprülerinin önlenmesine yönelik detaylar içermektedir. Çeşitli nedenlerle önlem alınamayan balkon vb. yapı kesitlerinde oluşan ısı köprülerinin dikkate alınıp özgül ısı kaybı hesabına yansıtılması gerekir.

Isı köprülerinden gerçekleşen ısı kaybı standartlarda tarif edilen basitleştirilmiş metotlar kullanılarak veya analitik hesap yöntemleri geliştirerek hesaplanabilir. TS 825 standardında tarif edilen hesap yöntemi ise ısı köprülerinden gerçekleşen ısı kayıplarının TS EN ISO 10211-1, TS EN ISO 10211-2 ve TS EN ISO 14683 veya

TS EN ISO 6946 (TS 8441 yerine geçen) standartlarında tarif edilen hesap metotlarına göre yapılmasını öngörmektedir.

TS 8441 standardının tarif ettiği hesap yöntemi: TS 8441 ısı köprülerinden kaynaklanan ısı kaybı hesabı için önerilen temel prensip Eş. 4.17'dir [Dilmaç,1999].

$$U_I = b \times U_{TB} + \zeta \quad (4.17)$$

U_{TB} , ısı köprüsünü oluşturan elemanın ısı geçirgenliğini, b , genişliğini ifade etmektedir. $b \times U_{TB}$ ısı köprüsünün birim uzunluğundan gerçekleşen doğrusal ısı iletimidir. ζ ise ısı köprüsünden gerçekleşen yanal ısı kayıplarını ifade etmektedir.

Isı köprüsünden kaynaklanan ısı kaybı ise Eş. 4.18 ile ifade edilir.

$$Q_{ik} = IU_I \quad (4.18)$$

Burada,

Q_{ik} : Isı köprüsünden kaynaklanan ısı kaybı (W/K)

U_I : Isı köprüsünün birim uzunluğundan olan ısı kaybı (W/mK)

I : Isı köprüsü uzunluğu (m)

TS EN 14683 standardının tarif ettiği hesap yöntemi: Bu hesap metodunda iç ve dış ölçülere göre, ısı köprüsü türlerini gösteren detaylarda belirlenen değerler ve hazırlanan çizelgeler kullanılır. TS EN 14683 standardında, ısı köprüsü türlerinin tarifi için; Şekil 4.1'de gösterilen teras çatılı, bir bölme duvarı ve dış duvarda iki pencere ve bir kapısı olan tek katlı bir binanın şematik şekli verilmiştir. Binanın iç ölçüleri metre olarak verilmiş ve ısı köprülerinin tipleri şekil üzerinde işaretlenmiştir. Standartta iç ve dış ölçüler kullanılarak ısı köprülerinden kaynaklanan toplam ısı kayıplarının belirlenmesi için örnek bir hesapta yapılmıştır [İZODER, 2009].

Bu hesap yönteminde yapı elemanlarının dış ortama maruz kesişimleri için hazırlanmış lineer ısı geçiş değerleri belirlenmiştir. Isı köprüsü oluşturan elemanın kesişim uzunluğu ısı geçiş değerleri ile çarpılarak ısı köprüsünden kaynaklanan ısı kaybı bulunur ve toplam iletimsel ısı kaybına (yapı kabuğu özgül ısı kaybı) eklenir.

$$Q_{ik} = \sum IU_i = \sum \Psi L \quad (4.19)$$

Burada,

Ψ : Lineer ısı geçiş katsayısı (W/mK)

L : Isı köprüsü kesişme uzunluğu (m)

Lineer ısı geçiş katsayılarının olamadığı hallerde ısı köprülerinden kaynaklanan ısı kayıpları, ısı köprüsü oluşturan yapı elemanının dış ortama maruz kalan toplam yüzey alanı bir zam katsayısı ile çarpılarak hesaplanır [Toksoy ve ark., 2008].

$$Q_{ik} = y \sum A_e \quad (4.20)$$

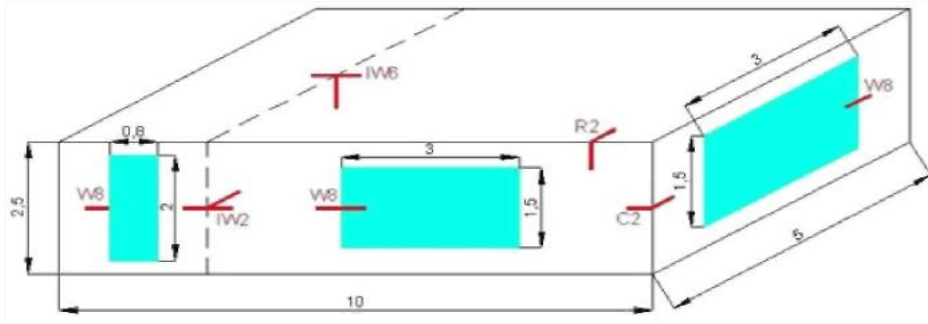
Burada,

y : Zam katsayısı (W/m²K)

A_e : Dış ortama maruz toplam yüzey alanı (m²)

$y = 0,15$ W/m²K (tüm konutlar için), $y = 0,07$ W/m²K (dıştan izolasyonlu konutlar için) [Toksoy ve ark., 2008].

Bu hesap yöntemi dış ölçüler kullanıldığında Çizelge 4.2'nin, iç ölçüler kullanıldığında Çizelge 4.3'ün oluşturulmasını, çizelgede kullanılacak parametrelerin ise ısı köprüsünün meydana geldiği yapı elemanı ve ısı köprüsü türüne göre EK-5'den seçilerek hesaplanmasını öngörmektedir [İZODER, 2009].



Şekil 4.1. Binalarda meydana gelen ısı köprüsü türleri [IZODER, 2009]

a-Toplam (Dıştan-dışa) dış ölçüler kullanılarak yapılan örnek hesap: Duvar kalınlığının 0,3m, çatı döşemesinin kalınlığının 0,2m olduğu kabul edilerek verilen toplam iç ölçülere eklendiğinde binanın ölçüleri 10,6m x 5,6m x 2,7m olarak bulunur. Dış ölçüler kullanarak, hesaplanan iki boyutlu ısı köprülerinin doğrusal geçirgenlik katsayıları aşağıda Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Her bir ısı köprüsü için Ψ_e değerleri, ısı köprüsünün olduğu uzunluk l_e ile çarpılır ve çarpım sonuçlarının toplamı iletimle gerçekleşen ısı kaybına ilave edilir. Hesaplamalarda 0,1 W/mK den küçük olan Ψ_e değerleri ihmal edilir.

Çizelge 4.2. TS EN 14683’de şematik binada bulunan ısı köprüleri için dış ölçüler kullanılarak yapılan örnek ısı kaybı hesabı

Isı Köprüsü	Isı köprüsü Tipi (1)	Ψ_e (W/mK)	l_e (m)	$\Psi_e \times l_e$ (W/mK)
Duvar/Çatı	R2	0,50	32,4	16,20
Duvar/Duvar	C2	0,10	10,8	0
Bölme/duvar	IW2	0,50	5,4	2,70
Bölme/çatı	IW6	0,00	5,6	0,00
Hatıl, eşik, pervaz	W8	0,60	23,6	14,16
¹⁾ EN ISO 14683:1999 - tablo 2’den			Toplam	31,98

b-Toplam (içten-içe) iç ölçüler kullanılarak yapılan örnek hesap: İç ölçüler kullanıldığında Çizelge 4.3 oluşturulur. Her bir ısı köprüsü için; ısı köprüsünün olduğu uzunluk l_{oi} ile tiplerine göre belirlenen iki boyutlu ısı köprülerinin ısıl geçirgenlik katsayısı Ψ_{oi} değerleri çizelgeye girilir ve birbirleri ile çarpılarak toplanır. Bulunan çarpım değeri iletimle gerçekleşen ısı kaybına ilave edilir.

Çizelge 4.3. TS EN 14683’de şematik binada bulunan ısı köprüleri için iç ölçüler kullanılarak yapılan, örnek ısı kaybı hesabı

Isı Köprüsü	Isı köprüsü tipi (1)	Ψ_{oi} (W/m.K)	l_{oi} (m)	$\Psi_{oi} \times l_{oi}$ (W/K)
Duvar / çatı	R2	0,65	30,0	19,50
Duvar / duvar	C2	0,10	10,0	1,00
Bölme / duvar	IW2	0,50	5,0	2,50
Bölme / çatı	IW6	0,00	5,0	0,00
Hatıl, eşik, pervaz	W8	0,60	23,6	14,16
¹⁾ EN ISO 14683:1999 - tablo 2’den			Toplam	36,16

Bu çalışmada toplam iletimsel ısı kaybını hesaplarken; binanın yalıtımsız durumları için, farklı ısı geçirgenlik katsayısına sahip yapı bileşenlerinin bir birine temas ettiği ara kesitlerde oluşan ısı köprüleri ihmal edilmiştir. Yalıtımlı durumlarda ise binadaki ısı köprüleri tespit edilmiş, ısı köprülerinden gerçekleşen ısı kayıpları TS EN 14683 standardının önerdiği yöntemle göre hesaplanmış ve yapı kabuğu özgül ısı kaybına (iletimsel ısı kaybına) ilave edilmiştir.

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

Binalarda konforlu ve sağlıklı bir ortam oluşturmak amacıyla doğal veya mekanik havalandırma yapılır. Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanırken; doğal veya mekanik havalandırma şekline göre iki ayrı hesap yöntemi kullanılır. Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı aşağıda verilen Eş. 4.21’e göre hesaplanır[TS 825, 2008].

$$H_V = \rho \times c \times V^I \quad (4.21)$$

Bu eşitlikte,

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

c : Havanın özgül ısısı (J/kgK)

V^I : Hacimsel hava değişim debisi (m³/h)

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının hesaplanmasında hava değişim sayısının belirlenmesi gerekir. Doğal havalandırma ve mekanik havalandırma durumları için bina içindeki hava debisi ile hava değişim sayısı farklıdır. Hava değişim sayısı binanın yapı elemanlarına, sızdırmazlık durumuna ve korunumuna bağlıdır. Eş. 4.21'i doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı şeklinde düzenirse aşağıdaki hali alır [TS 825, 2008].

$$H_V = \rho \times c \times n_h \times V_h \quad (4.22)$$

Burada,

n_h : Hava değişim sayısı (h^{-1})

V_h : Havalandırılan hacimdir ve $V_h = 0,8 \times V_{brüt}$ olarak alınır [TS 825, 2008].

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)

Doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanırken ρ ve c için alınan değerler $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 100 kPa içindir. Oysa bu parametreler sıcaklık ve basınca bağlı olarak azda olsa değişir. Ayrıca sisteme giren ve çıkan hava arasındaki entalpi artışı da ihmal edilir. Hava değişim sayısı $n_h = 0,8\text{ h}^{-1}$ olarak alınır [TS 825, 2008].

Yukarıdaki açıklamalara göre $\rho = 1,184\text{ kg/m}^3$, $c = 1006\text{ J/kgK}$ değerlerini [TS 825, 2008] Eş. 4.22'de yerine koyarsak doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı Eş. 4.23 ile hesaplanabilir:

$$(\rho \times c / 3600) = (1,184)(1006 / 3600) = 0,33\text{ Wh/m}^3\text{K}$$

$$H_V = 0,33 \times n_h \times (0,8 \times V_{brüt}) \quad (4.23)$$

4.3.2. Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma sezonu boyunca her ay için hesaplanan ısı kayıplarından ısı kazançlarının çıkarılması ile elde edilir. Yapılarda ısı kayıpları

meydana gelirken aynı zamanda güneş enerjisinden ve iç ısı kaynaklarından ısı kazançları da olur. Isı kazançları; aylık ortalama iç kazançlar $\Phi_{i,ay}$ ve aylık ortalama güneş enerjisi kazançları $\Phi_{g,ay}$ 'dan oluşur.

Bir binanın aylık ısı enerjisi ihtiyacı,

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})]t \quad (4.8)$$

şeklinde ifade edildiğini belirtmiştik. Yukarıdaki eşitlikte aylık ısı kazançları bir kazanç kullanım faktörü ile azaltılarak, aylık ısı kayıplarından çıkarılır ve aylık net ısı ihtiyacı hesaplanır.

Aylık ortalama ısı kayıpları

Eş. 4.8'deki $H(\theta_i - \theta_e)$ terimi binanın aylık ısı kayıplarını temsil eder. Aylık ısı kayıplarını hesaplarırken her aya ait Çizelge 4.1'de verilen ısı yalıtım bölgelerine ait ortalama dış sıcaklıklar çizelgesinden θ_e ve EK 1'de verilen bina iç ortam sıcaklığı çizelgesinden θ_i seçilir. Isıtma sezonunda bulunan her ay için ayrı ısı kaybı hesabı yapılır. Bu çalışmada seçilen bina okul olduğu için; iç ortam sıcaklığı $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ [TS 825, 2008] belirlenmiştir.

Aylık ortalama iç kazançlar

Aylık ortalama iç kazançlar $\Phi_{i,ay}$ aşağıda belirtilen ısı kazançlarından oluşur.

- 1- İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları
- 2- Sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları
- 3- Yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı kazançları
- 4- Aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları
- 5- Binalarda kullanılan elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları

Bu çalışmada iç kazançlar sabit kabul edilmiştir. Binalarda kullanım alanına göre alınacak ortalama iç kazançlar aşağıda verilmiştir [TS 825, 2008].

Konutlarda, okullarda, normal donanımlı binalarda $\Phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$ W

Yüksek enerji kazançlı binalarda $\Phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n$ W olarak alınır.

A_n binanın m^2 olarak kullanım alanıdır ve pratik olarak aşağıda verilen Eş. 4.24'e göre hesaplanır [TS 825, 2008].

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} \quad (4.24)$$

$\Phi_{i,ay}$ değeri bina yapı bileşenlerinden ve binanın bulunduğu bölgeden bağımsız bir büyüklüktür. Çeşitli yalıtım detaylarının ısı yalıtım bölgelerine göre ısı kaybı hesapları yapılırken; incelediğimiz bina için değişmeyecektir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları

Güneş enerjisi kazançları olarak pencerelerden sağlanan güneş ışıınımı yoluyla elde edilen ısı kazançları dikkate alınır. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanan kazançlar ihmal edilir. Takip ettiğimiz hesap metodunda aylık güneş enerjisi kazançları $\Phi_{s,ay}$, TS EN 832'de verilen hesap metoduyla bulunabileceği gibi, binanın durumuna bağlı olarak Çizelge 5.2'de (Bkz. Bölüm 5) verilen güneş ışıınım şiddetleri (Türkiye için belirlenmiş sabit ortalama değerler) $I_{i,ay}$ ve gölgelenme faktörü $r_{i,ay}$ değerleri doğrudan alınıp Eş. 4.25 kullanılarak hesaplanabilir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı $\Phi_{s,ay}$, saydam yüzeylerin gölgelenme faktörü $r_{i,ay}$ değerleri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır [TS 825, 2008].

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (4.25)$$

Burada,

$r_{i,ay}$: i yönünde saydam yüzeylerin gölgelenme faktörü

$g_{i,ay}$: i yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü

$I_{i,ay}$: i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıınımı şiddeti (W/m^2)

A_i : i yönündeki toplam pencere alanı (m^2)

$I_{i,ay}$ değerleri tüm bölgeler için sabit kabul edilerek Çizelge 5.2'den alınır. Isıtma dönemi boyunca $r_{i,ay}$ 'ın sabit kaldığı kabul edilir ve binanın bulunduğu yerleşim bölgesinin durumuna göre belirlenir.

Ayrık (müstakil) ve az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için $r_{i,ay} = 0,8$ alınır. Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmeye maruz kalınıyorsa $r_{i,ay} = 0,6$ alınır. Bitişik nizam ve/veya çok katlı binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için ise $r_{i,ay} = 0,5$ olarak alınır [TS 825, 2008].

Pencerelerin güneş enerjisi geçirme faktörü $g_{i,ay}$ aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır.

$$g_{i,ay} = F_w \times g_{\perp} \quad (4.26)$$

Burada F_w camlar için düzeltme faktörüdür ve 0,80 olarak alınır. $g_{\perp}$ ise laboratuvar şartlarında ölçülen ve cam yüzeyine dik olarak gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Ölçülen değerlerin olmaması durumunda aşağıdaki değerler alınır [TS 825, 2008].

Tek cam için $g_{\perp} = 0,85$

Çok katlı cam için $g_{\perp} = 0,75$

Isıl geçirgenlik değeri $\leq 2,0 W/m^2K$ olan ısı yalıtımlı üniteler için $g_{\perp} = 0,50$ 'dir.

Kazanç kullanım faktörü

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun değildir. Isı

kazançlarının yüksek olduğu zamanlarda, ısı kazançları ısı kayıplarından fazla olabilir. Isı kazançları ısıtma ihtiyacı olmayan zamanlarda oluşabilir. İç ortamın sıcaklık kontrolü ideal değildir ve yapı elemanlarında bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır. Bu faktörün büyüklüğü; kazançların ve kayıpların bağlı büyüklüğüne, binanın ısıl kütesine bağlıdır. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, Eş. 4.27 ile hesaplanır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (4.27)$$

Burada, KKO_{ay} kazanç kullanım oranıdır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır. KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğu durumlarda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir [TS 825, 2008].

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})/H(\theta_i - \theta_e) \quad (4.28)$$

4.3.3. Binanın yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi hesabı

Binalarda iklimlendirme sistemine sahip ve sürekli kullanılmayan bölümler kullanılmadığı zamanlarda, ana ısıtma sistemi ile 15°C ye ısıtılır [BEPY, 2008]. Çalışmada analiz edilen bina okul binasıdır. Isıtma tesisatı okulun açık olduğu hafta içi gündüz pik durumda çalışırken, binanın kullanımda olmadığı hafta içi akşam saatlerinde düşük kapasitede çalıştırılır, tatil günlerinde ise kapatılır. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı içinde olan ancak düşük kapasite kullanım zamanları ve ısıtma tesisatının kapalı olduğu günler dolayısı ile harcanmayan enerji miktarlarının, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacından düşülerek gerçek yakıt sarfiyatının bulunması gerekir. Binanın gerçek enerji ihtiyacını bulmak için hesaplamalarda kullanılan enerji eşitliklerinin ısıtma sisteminin düşük kapasite çalıştığı ve çalışmadığı zamanları ifade edecek şekilde yeniden düzenlenmesi gerekir.

Bu çalışmada düşük kapasite kullanılan zaman dilimi hafta içi akşam 20:00 – 06:00 saatleri arasında (10 saat) ayda 22 gün, iç ortam sıcaklığı ise 16 °C olarak

belirlenmiştir. Isıtma tesisatının kapatıldığı günler ise ısıtma sezonunda bulunan her ay için 8 gün olarak kabul edilmiştir. Isıtma sezonu içinde düşük kapasite kullanılan zaman diliminde; güneş enerjisi kazancı ve iç kazancın olduğu varsayılmıştır. Tesisatın kapatıldığı günlerde binanın ısı ihtiyacının olmadığı kabul edilmiştir.

Binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacının aşağıda verilen Eş. 4.8 ile hesaplandığı daha önce belirtilmişti.

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})]t \quad (4.8)$$

Eşitlikteki köşeli parantez içindeki ifadeyi q_{ay} olarak tanımlayabiliriz.

$$q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] \quad (4.29)$$

Burada q_{ay} binanın aylık ortalama birim zamanda ısı kaybı olarak tanımlanmıştır. Birimi W'tır. Binanın q_{ay} 'a bağlı olarak aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Q_{ay} = q_{ay} \times t \quad (4.30)$$

Burada t saniye olarak bir aylık (30 gün) zaman dilimini ifade eder ve aşağıda hesaplanmıştır.

$$t = 30 \times 24 \times 60 \times 60$$

$$t = 30 \times 86400 \text{ s}$$

Isıtma tesisatının kapatıldığı günlerde (hafta sonu tatili, ayda 8 gün) aylık toplam kullanılmayan ısı enerjisi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$Q_{aykap} = q_{ay} \times t_{kap} \quad (4.31)$$

Burada,

Q_{aykap} : Isıtmanın olmadığı günlerde aylık kullanılmayan ısı enerjisi (Joule)

t_{kap} : Isıtma tesisatının ay içinde kapalı olduğu zaman (s)

$$t_{kap} = 8 \times 86400 \text{ s}$$

Isıtma tesisatı okulun açık olduğu günlerde (hafta içi, ayda 22 gün) sabah 06:00 – akşam 20:00 saatleri arasında normal kapasitede (iç ortam sıcaklığı 20 °C) çalıştığında, aylık ısı enerjisi ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Q_{aygün} = q_{ay} \times t_{gün} \quad (4.32)$$

Burada,

$Q_{aygün}$: Isıtma tesisatının normal kapasite çalıştığı zamanlardaki ısı ihtiyacı (Joule)

$t_{gün}$: Isıtma tesisatının ay içinde gündüz normal çalışma zamanı (s)

Isıtma tesisatı okulun açık olduğu günlerde (hafta içi) gün içinde sabah 06:00 – akşam 20:00 saatleri arasında 14 saat normal kapasitede ayda 22 gün (iç ortam sıcaklığı 20 °C) çalıştığından $t_{gün}$ aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$t_{gün} = 22 \times 14 \times 3600 \text{ s}$$

Isıtma tesisatının düşük kapasite de çalıştığı günlerde (hafta içi, akşam 20:00 – sabah 06:00 saatleri arasında, iç ortam sıcaklığı 16 °C) aylık ısı enerjisi ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Q_{aydk} = [H(\theta_{idk} - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})]t_{dk} \quad (4.33)$$

Q_{aydk} : Düşük kapasite ısıtma yapıldığı zamanlardaki ısı ihtiyacı (Joule)

θ_{idk} : Düşük kapasite kullanıldığı zamanlardaki bina iç ortam sıcaklığı (°C)

t_{dk} : Ay içinde düşük kapasite kullanım zamanı (s)

Isıtma tesisatı ısıtma yapılan günlerde (ayda 22 gün) gün içinde akşam 20:00 – sabah 06:00 saatleri arasında 10 saat düşük kapasite (16 °C iç ortam sıcaklığında) çalıştığından t_{dk} aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$t_{dk} = 22 \times 10 \times 3600 \text{ s}$$

Bina yıllık ısı enerjisi ihtiyacı içinde yer aldığı halde, ısıtma tesisatının düşük kapasite çalıştığı zamanlarda ve kapatıldığı günlerde, aylık kullanılmayan ısı enerjisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Q_{aykulm} = Q_{ay} - Q_{aygün} - Q_{aydk} \quad (4.34)$$

Eş. 4.30, Eş. 4.32 ve Eş. 4.33'ü kullanarak Eş. 4.34 düzenlenirse Eş. 4.35 elde edilir.

$$Q_{aykulm} = q_{ay} \times t - q_{ay} \times t_{gün} - [H(\theta_{idk} - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] t_{dk} \quad (4.35)$$

Yukarıda hesapladığımız zaman değerleri t , $t_{gün}$, t_{dk} Eş. 4.35'de yerine konursa Eş. 4.36 elde edilir.

$$Q_{aykulm} = 1483,2 \times q_{ay} - 792 [H(\theta_{idk} - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] \quad (4.36)$$

Burada Q_{aykulm} aylık kullanılmayan ısıtma enerjisi miktarıdır ve birimi kJ'dür. Yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisi ihtiyacı ise Eş. 4.37 ile hesaplanabilir.

$$Q_K = \sum Q_{aykulm} \quad (4.37)$$

Burada, Q_K yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisidir ve birimi kJ'dür.

Binanın yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi ihtiyacı; yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacından, yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisinin çıkarılması ile bulunur.

$$Q_G = Q_{yıl} - Q_K \quad (4.38)$$

Burada,

Q_G : Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi ihtiyacı (kJ)

4.4. Yakıt Tüketimi ve CO₂ Emisyonu Hesabı

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları ısıtma sisteminin binaya vermesi gereken ısı enerjisi olup kayıpları içermemektedir. Kayıplar ise ısıtma sisteminin verimine ve yakıt türüne bağlıdır. Kalorifer tesisatı boyutlandırma hesapları yapılırken; kazan kapasitesi tayininde binanın ısıtma ihtiyacına ilave olarak, ısıtma sisteminin iletimsel kayıpları ve yakma sisteminin (kalorifer kazanının) verimi de dikkate alınır. İletimsel kayıplar; ısıtma tesisatının transfer kayıplarıdır. Isıtma tesisatının tümü bina içinde yer aldığı için, ısıtma tesisatının iletimsel kayıpları da yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplarken iç kazanlar içinde yer almaktadır. Bu nedenle yıllık yakıt tüketimini hesaplarken sadece yakma sisteminin (kalorifer kazanının) verimi dikkate alınmıştır.

4.4.1. Yıllık yakıt tüketimi hesabı

Yıllık yakıt tüketimini etkileyen en önemli kriterlerden biride yakma rejimidir. Eş. 4.8 ile hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, ısıtma sezonu boyunca binanın sürekli rejimde (20 °C iç ortam sıcaklığında) olduğu haldeki enerji ihtiyacıdır. Isıtma sezonu içinde ısıtma tesisatı sürekli rejimde çalışmaz. Uygulamada ısıtma sisteminin çalışması, ısıtma sezonu boyunca ve gün içinde aralıklıdır. Bu durum, bina için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre hesaplanan yıllık yakıt tüketimi ve ısıtma tesisatının işletme durumuna göre harcadığı yıllık yakıt miktarı olarak iki farklı değeri ortaya çıkarır. Bölüm 6'da maliyet analizlerinde kullanılan yakıt tüketimi değerlerinin doğru tespit edilmesi açısından önemlidir. Binalarda enerji tasarrufu yalnızca binanın termofiziksel özelliklerini iyileştirerek yapılmaz. Binaların düşük kapasite kullanıldığı ve hiç kullanılmadığı zamanlarda ısıtma sisteminin kontrollü çalıştırılmasıyla da önemli bir enerji tasarrufu sağlanır. Farklı yalıtım uygulamaları

için yapılan maliyet analizlerinde; kontrollü yakma sonucu oluşan yakıt tüketimi ve maliyetinin kullanılması daha doğru bir yaklaşımdır.

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre yakıt tüketimi hesabı

Bina için gereken yıllık yakıt sarfıyatı Eş. 4.39 ile hesaplanır [MMO, 1992].

$$B_y = Q_{yıl} / (H_u \times \eta_k) \quad (4.39)$$

Bu eşitlikte,

B_y : Yıllık yakıt miktarı (kg veya m³)

H_u : Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg veya kJ/m³)

η_k : Isıtma sisteminin (Kazanın verimi) (Birimsiz)

Merkezi ısıtma sistemine sahip binalardaki kazan verimleri; katı yakıtlı kazanlarda %75'den, sıvı ve gaz yakıtlı kazanlarda, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nca 05/06/2008 tarihli ve 26897 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan *Sıvı ve Gaz Yakıtlı Yeni Sıcak Su Kazanlarının Verimlilik Gereklerine Dair Yönetmeliğin 7'nci maddesinde belirtilen 2 yıldız (**)* verim sınıfından daha düşük olamaz [BEPY, 2008].

Isıtma sisteminde kullanılan yakıtların alt ısı değerleri ve kalorifer kazanlarının verimleri ile ilgili literatürde bilgiler vardır. Ancak gelişen teknoloji ve standartlar, özellikle kalorifer kazanlarının verim değerlerini literatürde baz alınan değerlerden daha yükseğe çıkartmıştır. Kazan verimlerinin literatürdeki değerler olarak kabul edilmesi, yıllık yakıt tüketiminin olması gerekenden daha fazla çıkmasına neden olacağından; bu çalışmada kalorifer kazanları imalatında minimum verim değerlerinin belirlendiği standartlar olan TS EN 303-2, TS EN 303-3 ve TS EN 303-5'in ön gördüğü minimum verim değerleri göz önünde bulundurularak piyasada bulunan kalorifer kazanlarının ortalama verimleri belirlenmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır.

Çizelge 4.4’de literatürde bulunan bazı yakıtların alt ısı değerleri ve kalorifer kazanı verimleri verilmiştir [Karakoç, 2001].

Çizelge 4.4. Bazı yakıt türlerinin alt ısı değerleri ve literatürdeki kalorifer kazanı verimleri

Yakıt türü	Yakıtın alt ısı değeri	Literatürde kazan verimi
Doğalgaz	34535 kJ/m ³	0,85 – 0,92
Fuel-oil	41860 kJ/kg	0,75 – 0,80
Linyit kömürü	8370-23020 kJ/kg	0,60 – 0,65
Kok ve maden kömürü	25115 kJ/kg	0,65 – 0,70
Zonguldak taş kömürü	29300 kJ/kg	0,65 – 0,70

TS EN 303- 2, TS EN 303-3 ve TS EN 303-5 standardının ön gördüğü kalorifer kazanlarının minimum verim değerleri [TS EN 303, 2001] ve piyasada üretilen çeşitli marka kazanların ortalama verim değerleri aralığı [Erensan, 2008], [Kubuş, 2008], Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. TS EN 303-2, TS EN 303-3 ve TS EN 303-5 standartlarına göre minimum kazan verimi ve piyasada üretilen kalorifer kazanı verimleri

Yakıt türü	Kazanın anma ısı gücü (P_n), (kW)	TS EN 303’e göre minimum kalorifer kazanı verimleri (%)	Piyasada üretilen çeşitli kalorifer kazanlarının verim aralığı (%)
Doğalgaz	$4 \text{ kW} \leq P_n \leq 400 \text{ kW}$	$84 + 2.\log P_n$	88 - 95
	$400 \text{ kW} < P_n \leq 1000 \text{ kW}$	89,2	90 - 95
Fuel-oil	$P_n \leq 400 \text{ kW}$	$84 + 2.\log P_n$	-
	$400 \text{ kW} \leq P_n$	89,2	-
	30 kW	87	87 - 90
	60 kW	87,5	87,5 - 90
	100 kW	88	88 - 90
	300 kW	89	90 - 93
	$400 \text{ kW} \leq P_n \leq 1000 \text{ kW}$	89,2	90 - 95
Linyit ve maden kömürü	$10 \text{ kW} < P_n$	73	73-75
	$10 \text{ kW} \leq P_n \leq 200 \text{ kW}$	$65,3 + 7,7.\log P_n$	75 - 85
	$200 \text{ kW} < P_n$	86	86 - 89

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilen kazan verim değerleri incelendiğinde günümüzde üretilen kalorifer kazanlarının yakma verimlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Kazan verimi tayin edilirken anma kapasitesi ve kazanın tam yükte çalışması belirleyici bir kriterdir. Yıllık yakıt sarfiyatını hesaplarken ısıtma

sisteminin verimi olarak kabul edilen ortalama kazan verimi bir miktar hata payı içerir. Çalışmada bu hata payı ihmal edilmiştir.

Bu çalışmada yukarıdaki açıklamalara paralel olarak hesaplamalarda kullanılmak üzere belirlenen ortalama ısıtma sistemi (kazan) verim değerleri, yakıt türlerinin alt ısıtma değerleri ve birincil enerji cinsinden FSEG (CO₂) dönüşüm katsayıları [BEPY, 2008] Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Hesaplamalarda kullanılan yakıt türlerinin alt ısıtma değerleri ısıtma sistemi (kalorifer kazanı) verimleri ve FSEG (CO₂) dönüşüm katsayıları [BEPY, 2008]

Yakıt türü	Yakıtın alt ısıtma değeri	Hesaplamalarda kullanılan ortalama kalorifer kazanı verimleri (%)	FSEG (CO ₂) dönüşüm katsayısı (kg eşd.CO ₂ /kWh)
Doğalgaz	34535 kJ/m ³	0,92	0,234
Fuel-oil	41860 kJ/kg	0,90	0,330
Linyit ve maden kömürü	25122 kJ/kg	0,85	0,433

Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisine göre yakıt tüketimi hesabı

Bina için yıllık kullanılan (gerçek) yakıt sarfıyatı Eş. 4.39’dan yararlanarak, Eş. 4.40 ile ifade edilebilir.

$$B_{gy} = Q_G / H_u \times \eta_k \quad (4.40)$$

Burada, B_{gy} yıllık kullanılan (gerçek) yakıt sarfıyatı (kg veya m³)

4.4.2. Sera gazı (CO₂) emisyonu hesabı

Isıtma tesisatında kullanılan yakıtların yanması sonucu açığa çıkan atık gazların % 85’ini CO₂ oluşturmaktadır [Toksoy ve ark., 2008]. Bu nedenle hesaplamalarda genel yaklaşım olarak CO₂ emisyonu dikkate alınmaktadır. 5 Aralık 2008 tarihinde ve 27075 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde, binaların yıllık CO₂ emisyonunu sınırlandırılmış ve kullanılan enerji

kaynağına (yakıt türüne) bağlı olarak, nihai enerji tüketimi sonucu açığa çıkan CO₂ miktarının belirlenmesi için dönüşüm katsayıları (FSEG) verilmiştir.

Emisyon dönüşüm katsayıları (FSEG), enerji ihtiyaçlarının karşılandığı yakıt cinsine bağlıdır ve Çizelge 4.6'dan seçilir. CO₂ emisyonu hesaplamaları yapılırken bu dönüşüm katsayıları kullanılmıştır.

Binanın nihai enerji tüketimine bağlı olarak kullanılan yakıt cinsine göre yıllık CO₂ emisyon miktarı yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre Eş. 4.41 ile hesaplanır [Toksoy ve ark., 2008].

$$SEGM_y = 0,278 \times 10^{-3} \times B_y \times H_u \times FSEG \quad (4.41)$$

Burada,

SEGM_y : Yıllık CO₂ emisyon miktarı (kg eşd.CO₂)

FSEG: Yakıt cinsine göre CO₂ emisyonu dönüşüm katsayısı (kg eşd.CO₂ /kWh)

Yıllık kullanılan (gerçek) kullanılan ısıtma enerjisine göre CO₂ emisyonu miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$SEGM_{gy} = 0,278 \times 10^{-3} \times B_{gy} \times H_u \times FSEG \quad (4.42)$$

Burada,

SEGM_{gy}: Yıllık gerçek CO₂ emisyon miktarı (kg eşd.CO₂)

5. BİR ÖRNEK BİNA İÇİN FARKLI YALITIM DURUMLARINDA ISI KAYBI, YAKIT TÜKETİMİ VE CO₂ EMİSYONU HESABI

Binalarda ısı kaybına, dolayısı ile yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonuna etki eden faktörler; yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri, yapı elemanlarının yapı kabuğundaki oranı ve güneş enerjisi kazancı olarak sıralanabilir. Enfiltrasyon kayıpları açısından ise saydam yüzey alanların opak yüzey alanlara oranı etkilidir.

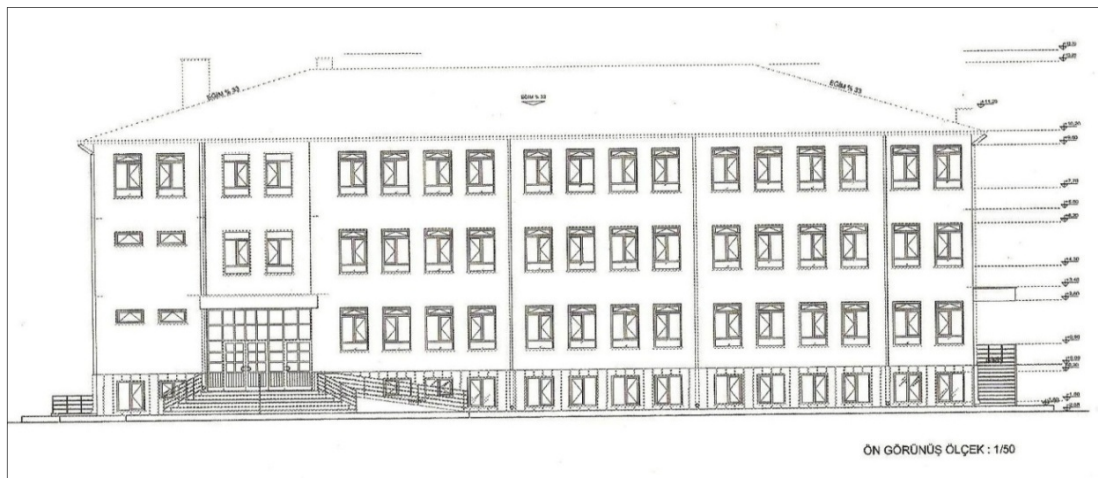
Bu çalışmadaki analizler için, Şekil 5.1’de verilen 16 derslikli ilköğretim okulu binası ele alınmıştır. Bu okul binası Konya’da bulunmaktadır ve hale hazırda kullanılmaktadır. Seçilen bina Türkiye genelindeki okul binalarını temsil edebilecek tipik bir yapıdır. Bundan dolayı, aynı okul binası için Türkiye’nin dört ısı yalıtım (derece-gün) bölgesi için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Analizlerde, bina dış kabuğuna uygulanan beş farklı yalıtım durumu ele alınmıştır. Bu beş farklı yalıtım, tuğla duvar XPS yalıtım, tuğla duvar mineral yün yalıtım, sandviç tuğla duvar EPS yalıtım, gaz beton ve yalıtımsız tuğla duvar olarak belirlenmiştir.

Yalıtım kalınlıkları ısı yalıtım bölgelerinde bina için TS 825 ısı yalıtım kurallarının ön gördüğü ısıtma enerjisi ihtiyacı üst sınır değerini sağlayan kalınlık olarak, tüm yapı elemanlarında eşit ve minimum olacak şekilde belirlenmiştir. Bina tek bir hacim olarak kabul edilmiş ısı kaybı hesapları bu duruma göre yapılmıştır.

Microsoft Excel ortamında geliştirilen bir bilgisayar programı yardımı ile ısı kaybı hesapları, yıllık ısıtma yükleri, yakıt sarfiyatları, CO₂ emisyonları her bir bölge ve her bir yalıtım durumu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonuçlar çizelgeler ve grafikler halinde verilmiştir. Ayrıntılı hesaplar binanın 1. bölgede tuğla duvar ve XPS yalıtım durumu için verilmiştir. Diğer yalıtım durumları ve ısı yalıtım bölgeleri için yapılan hesaplamaların sonuçları tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

5.1. Binanın Özellikleri

Analizlerde esas alınan binanın dış görünümü Şekil 5.1’de verilmiştir. Binanın uzun eksenini doğu – batı yönünde olacak şekilde konumlandırılmış, ön cephe güneye bakmaktadır. Binanın boyutları, kullanılmış olan yapı elamanları vb. özellikleri aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.1. Isıl analizleri yapılan örnek okul binası ön görünüşü

Bina kullanım amacı: Öğretim binası

Bina kat adedi: 4 (1 bodrum, 1 zemin ve 2 normal kat)

Binanın statik yapısı: Betonarme karkas

Bina eni: 17,30 m

Bina boyu: 35,00 m

Bina yüksekliği: 14,20 m

Kat yüksekliği: 3,40 m

Pencereler: 12 mm aralıklı çift camlı PVC

Dış kapılar: Metal ısı yalıtımlı

Çatı durumu: Üzeri kullanılmayan çatı

Havalandırma: Doğal

Binanın dış kabuğu aşağıdaki yapı elemanlarından oluşmaktadır:

- a. Taşıyıcı olmayan (dolgu) duvarlar
- b. Taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş) duvarlar
- c. Toprağa temas eden betonarme duvarlar
- d. Tavan (betonarme, üzeri kullanılmayan çatılı)
- e. Taban (toprağa oturan döşeme)
- f. Pencere (12 mm aralıklı çift camlı PVC)
- g. Dış kapılar (metal ısı yalıtımlı)

Taban alanı (toprağa temas eden): 605,5 m²

Tavan alanı (üzeri kullanılmayan çatılı): 605,5 m²

Doğu yönündeki toplam pencere alanı: 11,88 m²

Batı yönündeki toplam pencere alanı: 18,04 m²

Kuzey yönündeki toplam pencere alanı: 120,12 m²

Güney yönündeki toplam pencere alanı: 122,76 m²

Toplam pencere alanı: 272,8 m²

Toplam kapı alanı: 39,44 m²

Dış havaya açık taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) toplam duvar alanı: 464,34 m²

Dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kiriş, kolon) toplam duvar alanı: 528,55 m²

Toprağa temas eden taşıyıcı betonarme (kolon, perde) toplam duvar alanı: 200,07 m²

Toplam dış duvar alanı: 1192,96 m²

Binanın brüt hacmi (ısı kaybeden dış yüzeylerin oluşturduğu hacim): 8556,35 m³

Şekil 5.2’de okul binasının, ısı kaybeden dış yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanları ve bu yapı elemanlarının bina dış kabuğundaki oranları verilmiştir:

Bina dış kabuğunun,

% 17’si dış havaya açık taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) duvarlar,

- % 20'si dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş) duvarlar,
- % 7'si toprağa temas eden taşıyıcı betonarme duvarlar,
- % 22'si tavan (betonarme), (üzeri ısıtılmayan çatı),
- % 22'si taban (toprağa oturan döşeme),
- % 10'u pencereler (PVC 12 mm aralıklı çift camlı),
- % 2'si dış kapılardan (metal ısı yalıtımlı) oluşmaktadır.



Şekil 5.2. Bina dış kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının yapı kabuğundaki oranları

5.2. Bina Dış Kabuğunda Kullanılan Yapı Elemanları ve Yalıtım Uygulamaları

Binanın dış kabuğunun beş farklı durumu için analizler yapılmıştır. Analizlerde esas alınan bu beş farklı dış duvar uygulaması aşağıda kısaca açıklanmış ve Şekil 5.3'de şematik olarak gösterilmiştir.

1. Tuğla duvar ve XPS yalıtım: Taşıyıcı olmayan (dolgu) dış duvarlar 19 cm kalınlığında yatay delikli tuğla ile yapılmış ve bütün opak dış yüzeyler ekstrüde polistiren köpük (XPS) ile dıştan yalıtılmıştır (mantolanmıştır).

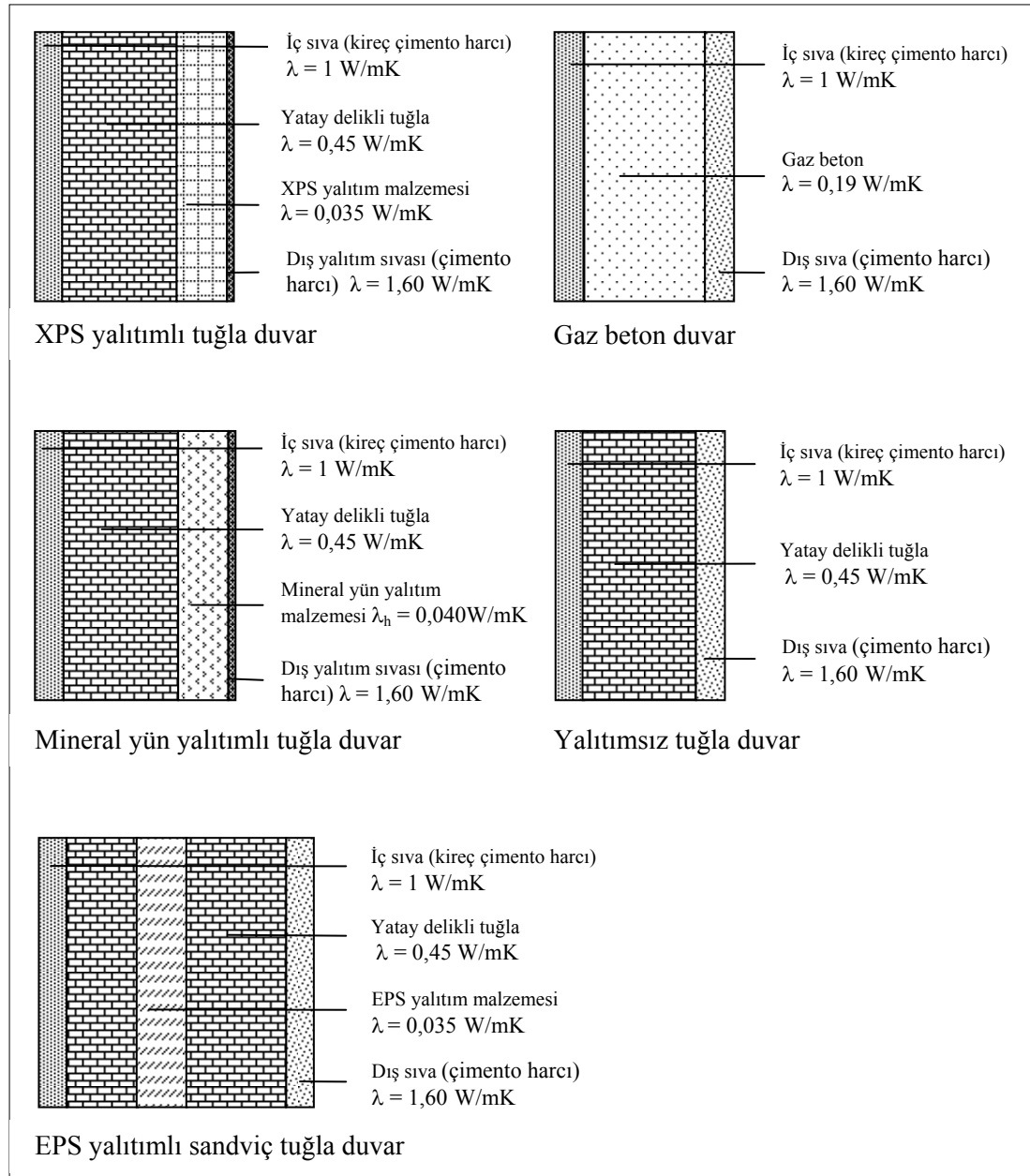
2. *Tuğla duvar ve mineral yün (cam yünü) yalıtım:* Taşıyıcı olmayan (dolgu) dış duvarlar 19 cm kalınlığında yatay delikli tuğla ile yapılmış ve bütün opak dış yüzeyler mineral yün (cam yünü) ile dıştan yalıtılmıştır (mantolanmıştır).

3. *Sandviç tuğla duvar ve EPS yalıtım:* Taşıyıcı olmayan (dolgu) dış duvarlar iç tarafta 8,5 cm kalınlığında yatay delikli tuğla, ortada expanded polistiren köpük (EPS) yalıtım malzemesi, dış tarafta ise 13,5 cm kalınlığında yatay delikli tuğla olacak şekilde betonarme kolon ve kirişlerin arasına örülmüştür. Taşıyıcı olmayan sandviç tuğla duvarların haricindeki opak dış yüzeyler ise EPS yalıtım malzemesi ile dıştan yalıtılmıştır.

4. *Gaz beton duvar:* Taşıyıcı olmayan (dolgu) dış duvarlar 20 cm kalınlığında gaz beton ile yapılmış ve bütün opak dış yüzeyler yalıtımsızdır.

5. *Yalıtımsız tuğla duvar:* Taşıyıcı olmayan (dolgu) dış duvarlar 19 cm kalınlığında yatay delikli tuğla ile yapılmış ve bütün opak dış yüzeyler yalıtımsızdır.

Bina dış yapı kabuğunun beş farklı yalıtım durumu şematik olarak Şekil 5.3’de verilmiştir. Yapı kabuğunu oluşturan duvarların dış yüzüne; yalıtımsız durumlarda 2 cm kalınlığında (çimento harçlı) dış sıva, yalıtımlı durumlarda ise 0,5 cm kalınlığında (çimento harçlı) dış yalıtım sıvası, iç yüzüne ise 2 cm kalınlığında (kireç- çimento harcı) iç sıva yapılmıştır.



Şekil 5.3. Binaya uygulanan beş farklı yalıtım durumu

Çizelge 5.1’de bina dış kabuğunda kullanılan yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları ve yüzeylerin ısı taşınım dirençleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bina dış kabuğunda kullanılan yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları ve yüzeylerin ısı taşınım dirençleri [TS 825, 2008]

Yapı malzemesi ve yüzeyin		Isı iletkenlik katsayısı		
S. No	Adı	Sembolü	Değeri	Birimi
1	İç sıva (kireç-çimento harcı)	λ	1,00	W/mK
2	Yalıtımsız duvarlar için dış sıva (çimento harcı)	λ	1,60	W/mK
3	Yalıtımlı duvarlar için dış yalıtım sıvası (çimento harcı)	λ	1,60	W/mK
4	Çimento harçlı şap	λ	1,40	W/mK
5	Taban döşeme kaplaması (yapay taş)	λ	1,30	W/mK
6	Donatılı betonun (kolon, giriş, perde)	λ	2,50	W/mK
7	Donatısız beton (Dolgu betonu)	λ	1,65	W/mK
8	Yatay delikli tuğla	λ	0,45	W/mK
9	Gaz beton (birim hacim kütlesi 600 kg/m ³)	λ	0,19	W/mK
10	Ekstrüde polistiren köpük (XPS) levha (birim hacim kütlesi ≥ 30 kg/m ³)	λ	0,035	W/mK
11	Mineral yün (cam yünü) levha (birim hacim kütlesi $65 \geq$ kg/m ³)	λ	0,040	W/mK
12	Ekspande polistiren köpük (EPS) levha (birim hacim kütlesi $30 \geq$ kg/m ³)	λ	0,035	W/mK
13	Duvar iç yüzeyin yüzeyel ısı taşınım direnci	R_i	0,13	m ² K/W
14	Tavan (aşağıdan yukarıya ısı iletimi olan) iç yüzeyinin yüzeyel ısı taşınım direnci	R_i	0,13	m ² K/W
15	Taban (yukarıdan aşağıya ısı iletimi olan) iç yüzeyinin yüzeyel ısı taşınım direnci	R_i	0,17	m ² K/W
16	Duvar dış yüzeyinin (dış havaya açık) yüzeyel ısı taşınım direnci	R_e	0,04	m ² K/W
17	Toprağa temas eden duvarın, toprağa temas eden dış yüzeyinin yüzeyel ısı iletim direnci	R_e	0	m ² K/W
18	Tavanın (Üzeri ısıtılmayan çatılı) çatıya bakan dış yüzeyinin yüzeyel ısı taşınım direnci	R_e	0,08	m ² K/W
19	Toprağa oturan tabanın, toprağa temas eden yüzeyinin yüzeyel ısı iletim direnci	R_e	0	m ² K/W
20	Pencereler (PVC, 12mm aralıklı çift cam)	U_p	2,80	W/m ² K
21	Dış kapılar (metal, ısı yalıtımlı)	U_k	4,00	W/m ² K

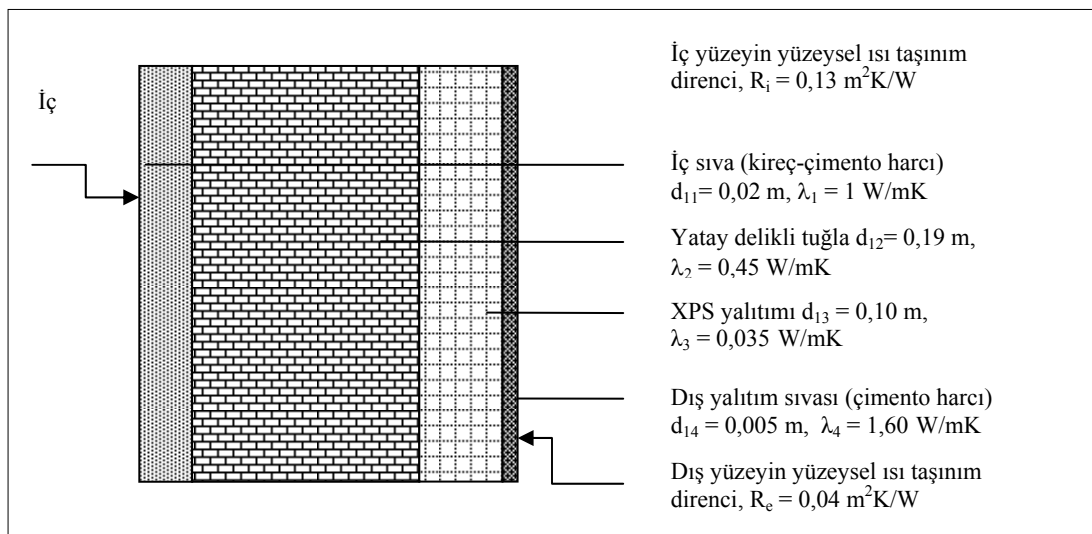
5.3. Dış Kabuğun Tuğla Duvar ve XPS Yalıtım Olması Durumunda 1. Isı Yalıtım Bölgesinde Isı Kaybı, Yakıt Tüketimi ve CO₂ Emisyonu Hesabı

5.3.1. Isı kaybı hesabı

Binanın dış kabuğunu oluşturan yapı elemanları XPS yalıtım malzemesi ile duvarlar dıştan (mantolama) şeklinde, tavan ve taban ise aşağıda yapı elemanı detay kesitinde gösterildiği şekilde yalıtılmıştır. Isı kaybı hesapları bölüm 4.1’de ayrıntıları verilen TS 825 standardının tarif ettiği hesap metoduna göre yapılmıştır.

Yapı elemanlarının toplam ısı transfer katsayısı (U) hesabı

Tuğla dış duvarın detay kesiti Şekil 5.4 de gösterilmiştir. Taşıyıcı olmayan dış duvarı oluşturan her bir katmanın kalınlıkları ve ısı transfer katsayıları şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekil üzerindeki veriler ve Bölüm 4’de verilen formüller kullanılarak, duvarın toplam ısı transfer katsayısı U_{D1} aşağıdaki gibi hesaplanabilir:



Şekil 5.4. XPS yalıtımlı tuğla duvar detayı şematik kesiti

Tuğla duvarın toplam ısı transfer katsayısı,

$$U_{D1} = 1/(R_i + R_{D1} + R_e)$$

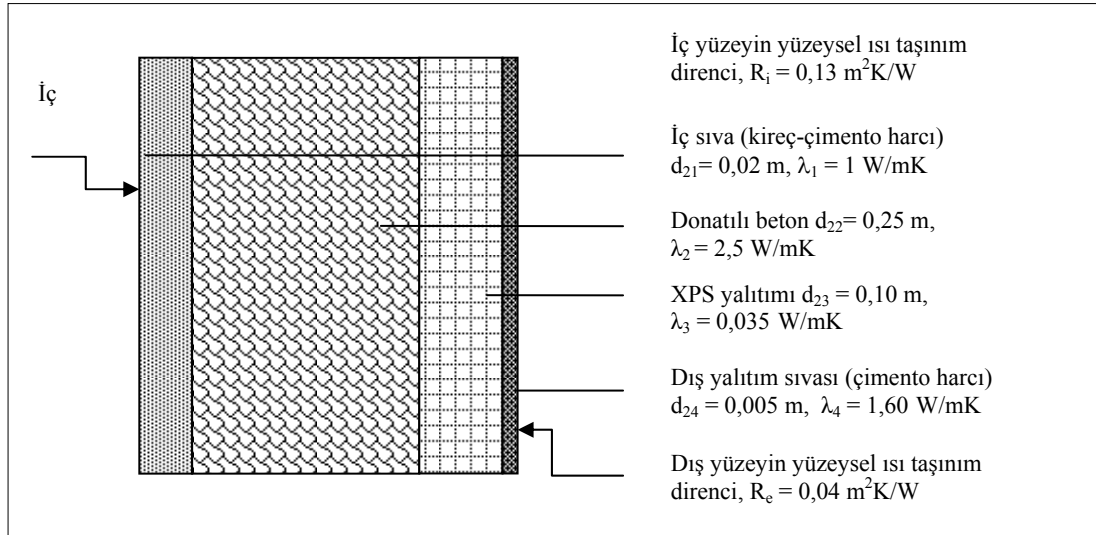
$R_{D1} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots$ eşitlikleri kullanılarak,

$$U_{D1} = 1/(0,13 + 0,02/1,00 + 0,19/0,45 + 0,10/0,035 + 0,005/1,60 + 0,04) = 1/ 3,472$$

$U_{D1} = 0,288 \text{ W/m}^2\text{K}$ bulunur.

Taşıyıcı betonarme (kolon-kiriş) dış duvarın kesiti Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kolon-kiriş) duvarı oluşturan her bir katmanın kalınlıkları ve ısı transfer katsayıları şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekil üzerindeki

veriler ve Bölüm 4’de verilen formülleri kullanarak duvarın toplam ısı transfer katsayısı U_{D2} hesaplanabilir:



Şekil 5.5. XPS yalıtımlı betonarme duvar detayı şematik kesiti

Dış havaya açık betonarme (kolon-kiriş) duvarın toplam ısı transfer katsayısı,

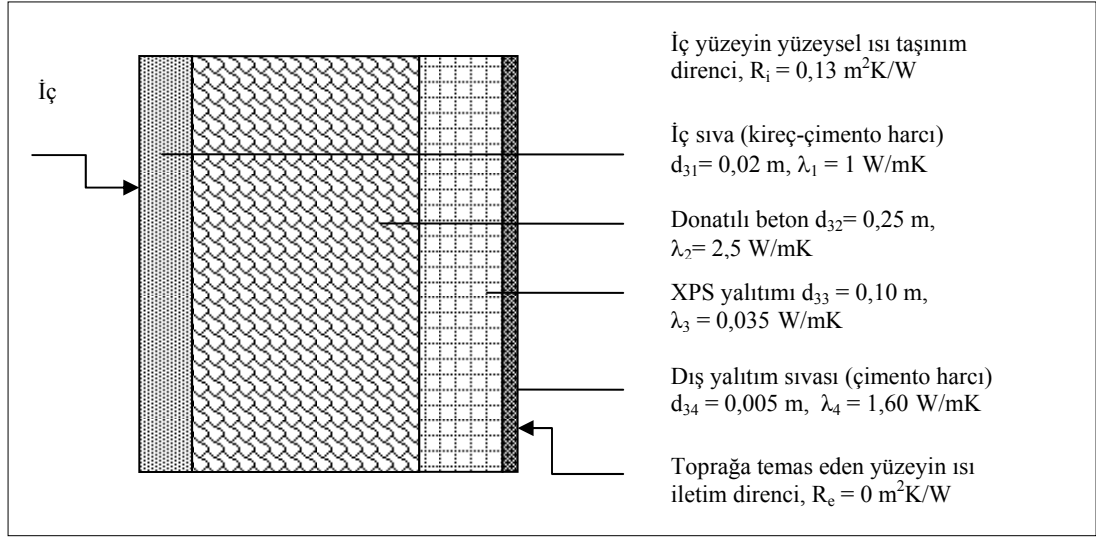
$$U_{D2} = 1/(R_i + R_{D2} + R_e),$$

$$R_{D2} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots \text{ eşitlikleri kullanılarak,}$$

$$U_{D2} = 1/(0,13 + 0,02/1,00 + 0,25/2,5 + 0,10/0,035 + 0,005/1,60 + 0,04) = 1/ 3,150$$

$$U_{D2} = 0,317 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ bulunur.}$$

Toprağa temas eden betonarme (perde) duvarın kesiti Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Duvarı oluşturan her bir katmanın kalınlıkları ve ısı transfer katsayıları şekil üzerinde verilmiştir. Şekil üzerindeki veriler ve Bölüm 4’de verilen formülleri kullanarak duvarın toplam ısı transfer katsayısı U_{D3} hesaplanabilir:



Şekil 5.6. Toprağa temas eden XPS yalıtımlı betonarme duvar detayı şematik kesiti

Toprağa temas eden betonarme (perde) duvarın toplam ısı transfer katsayısı,

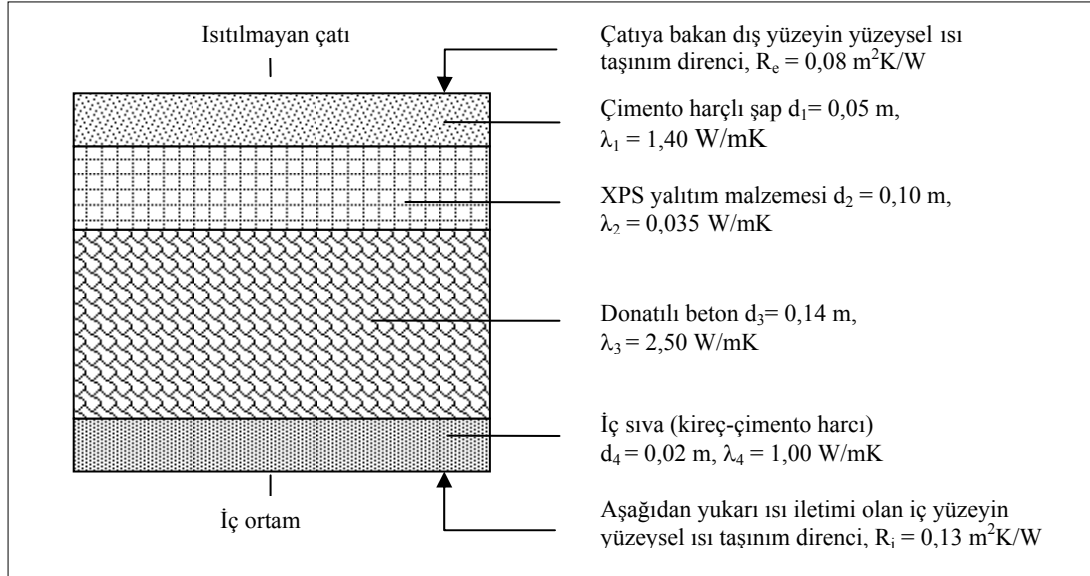
$$U_{D3} = 1/(R_i + R_{D3} + R_e),$$

$$R_{D3} = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots \text{ eşitlikleri kullanılarak,}$$

$$U_{D3} = 1/(0,13 + 0,02/1,00 + 0,25/2,5 + 0,10/0,035 + 0,005/1,60 + 0) = 1/ 3,110$$

$$U_{D3} = 0,322 \text{ W/m}^2\text{K bulunur.}$$

Üzeri ısıtılmayan çatılı tavanın kesiti Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Tavanı oluşturan her bir katmanın kalınlıkları ve ısı transfer katsayıları şekil üzerinde verilmiştir. Şekil üzerindeki veriler ve Bölüm 4’de verilen formüller kullanılarak tavanın toplam ısı transfer katsayısı U_T bir sonraki sayfada hesaplanmıştır.



Şekil 5.7. XPS yalıtımlı tavan (üzeri ısıtılmayan çatı) detayı şematik kesiti

Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatı) toplam ısı transfer katsayısı,

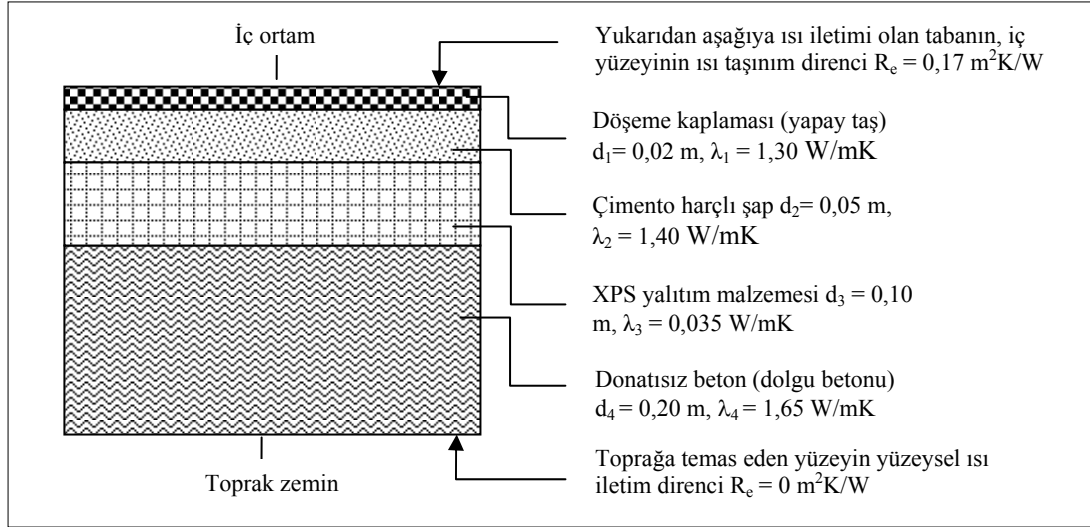
$$U_T = 1/(R_i + R_T + R_e),$$

$R_T = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots$ eşitlikleri kullanılarak,

$$U_T = 1/(0,13 + 0,02/1,00 + 0,14/2,5 + 0,10/0,035 + 0,02/1,4 + 0,080) = 1/ 3,157$$

$$U_T = 0,317 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ bulunur.}$$

Tabanın (toprağa oturan döşeme) kesiti Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Tabanı oluşturan her bir katmanın kalınlıkları ve ısı transfer katsayıları şekil üzerinde verilmiştir. Şekil üzerindeki veriler ve Bölüm 4’de verilen formüller kullanılarak tabanın toplam ısı transfer katsayısı U_t hesaplanabilir:



Şekil 5.8. XPS yalıtımlı taban (toprağa oturan döşeme) detayı şematik kesiti

Tabanın (toprağa oturan döşeme) toplam ısı transfer katsayısı,

$$U_t = 1/(R_i + R_t + R_e),$$

$R_t = d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_3/\lambda_3 + \dots$ eşitlikleri kullanılarak,

$$U_t = 1/(0,17 + 0,02/1,3 + 0,05/1,4 + 0,10/0,035 + 0,20/1,65 + 0) = 1/3,199$$

$$U_t = 0,313 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ bulunur.}$$

Bina dış kabuğunda bulunan pencereler ve kapılar, TS 2164 standardında belirtilen şartlara uygun üretilen 12 mm aralıklı çift camlı PVC pencere sistemi ve metal ısı yalıtımlı kapı olarak belirlenmiştir.

Seçilen pencere sisteminin toplam ısı transfer katsayısı:

$$U_p = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K'dir [TS 825, 2008].}$$

Metal ısı yalıtımlı kapı sisteminin toplam ısı transfer katsayısı:

$$U_k = 4 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ olarak kabul edilmiştir [Karakoç, 2001].}$$

Binanın özgül ısı kaybı

Binanın özgül ısı kaybı; yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının, ısı köprülerinin ve havalandırma yoluyla olan özgül ısı kayıplarının toplamıdır ve

$$H = \sum AU + IU_I + H_V$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada $\sum AU$ bina yapı elemanlarından, IU_I binadaki ısı köprülerinden, H_V ise havalandırma yoluyla gerçekleşen özgül ısı kayıplarıdır.

$$\sum AU = U_{D1}A_{D1} + U_{D2}A_{D2} + U_{D3}A_{D3} + U_pA_p + U_kA_k + 0,8U_T A_T + 0,5U_t A_t$$

eşitliği ile hesaplanır.

Her bir yapı elemanının hesaplanan toplam ısı transfer katsayısı ve ısı kaybeden yüzey alanı yukarıdaki eşitlikte yerine yazılır ve hesaplanırsa, binanın tuğla duvar XPS yalıtım durumunun yapı elemanlarından gerçekleşen özgül ısı kaybı:

$$\sum AU = 0,288 \times 464,34 + 0,317 \times 528,55 + 0,322 \times 200,07 + 2,8 \times 272,8 + 4 \times 39,44 + 0,8 \times (0,317 \times 605,5) + 0,5 \times (0,313 \times 605,5)$$

$$\sum AU = 133,73 + 167,55 + 64,42 + 763,84 + 157,76 + 0,8 \times (191,94) + 0,5 \times (189,52)$$

$$\sum AU = 1535,62 \text{ W/K olarak bulunur.}$$

Yukarıdaki eşitlikte IU_I teriminin binadaki ısı köprülerini temsil ettiği daha önce Bölüm 4’de belirtmişti. Bina dış kabuğunda yalıtım yapılamayan ön cephede ana giriş kapısı ile yan cephede öğrenci giriş kapısı sağanıkları üzerinde bulunan 2 adet şekil olarak balkona benzeyen markiz ve 1 adet öğrenci giriş merdiveni sağanlığından kaynaklanan ısı köprüsü mevcuttur. Isı köprülerinden gerçekleşen ısı kaybı standartlarda tarif edilen basitleştirilmiş metotlar kullanılarak veya analitik hesap yöntemleri geliştirilerek hesaplanabilir.

Isı köprüsü oluşturan elemanların ısı kaybı hesabı, *TS EN 14683 standardının tarif ettiği hesap yöntemi ve dış ölçülere göre*:

$$IU_1 = \sum \Psi L$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada Ψ ve L sırası ile ısı köprüsünün lineer ısı geçiş katsayısı ve ısı köprüsü kesişim uzunluğudur. Standartta dıştan yalıtımlı binalarda ısı köprüsü oluşturan balkon ve benzeri yapı elemanları için belirlenen lineer ısı geçiş katsayısı, $\Psi_e = 0,85$ W/mK'dir [İZODER, 2009]. Binada ısı köprüsü oluşturan yapı elemanlarının toplam ısı köprüsü kesişim uzunluğu, $I_e = 12,50$ m'dir.

Yukarıda belirlenen değerler eşitlikte yerine yazılır ve hesaplanırsa, ısı köprülerinden olan toplam ısı kaybı:

$$IU_1 = 0,85 \times 12,50$$

$IU_1 = 10,625$ W/K olarak bulunur.

Binanın doğal havalandırma yoluyla olan ısı kaybı, yapı bileşenleri ve ısı yalıtım bölgelerinden bağımsız bir büyüklüktür ve

$$H_V = 0,33 \times n_h \times (0,8 \times V_{\text{brüt}})$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada n_h kapalı ortamın hava değişim sayısıdır. Kapalı ortamlar kullanım amacına göre doğal veya mekanik olarak havalandırılırlar. Sağlıklı bir yaşam mekânının saatte 0,8-1 defa hava değişimi olacak şekilde havalandırılması gerekir. Hava değişim sayısı $n_h = 0,8$ olarak alınır [TS 825, 2008].

Binanın doğal havalandırma yoluyla olan ısı kaybı,

$$V_{\text{brüt}} = 8556,35 \text{ m}^3$$

$$H_V = 0,33 \times 0,8 (0,8 \times 8556,35) = 1807,10 \text{ W/K olarak bulunur.}$$

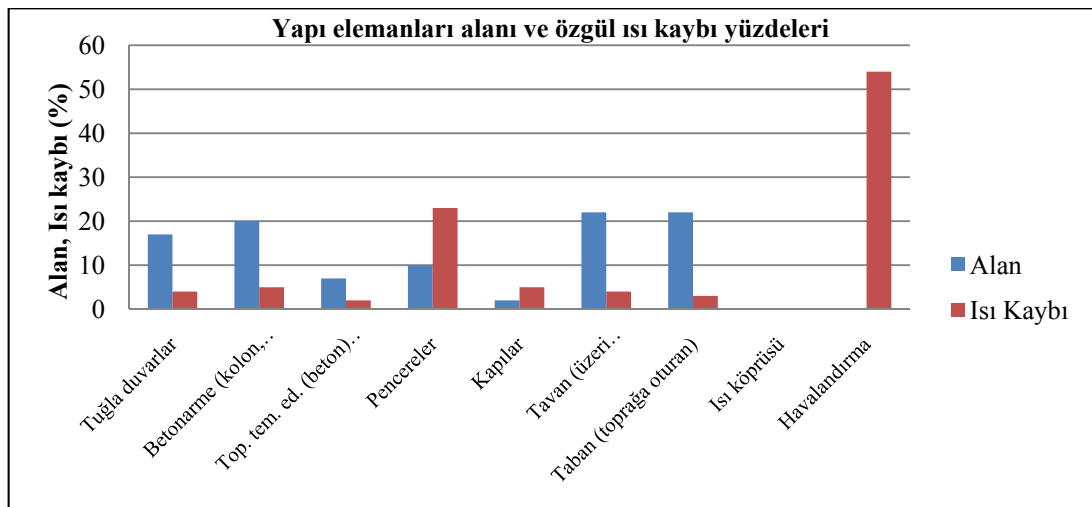
Binanın özgül ısı kaybı,

$$H = \sum AU + IU_I + H_V$$

$$H = 1535,62 + 10,625 + 1807,10$$

$$H = 3353,35 \text{ W/K bulunur.}$$

Şekil 5.9'da dış kabuğun tuğla duvar ve XPS yalıtım olması durumunda 1. bölgede yapı elemanları alanları ve özgül ısı kaybı yüzdeleri karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 5.9. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı binanın 1. bölgede yapı elemanları alan ve özgül ısı kaybı yüzdeleri

Binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı,

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})]t$$

eşitliği ile hesaplanır.

Eşitlikte $H(\theta_i - \theta_e)$ ifadesi binanın aylık toplam ısı kaybını, $\eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})$ ise aylık ısı kazançlarını ifade eder. Bu terimlerdeki θ_i iç ortam sıcaklığı, θ_e dış ortam sıcaklığı, η_{ay} aylık kazanç kullanım oranı, $\Phi_{i,ay}$ aylık ortalama iç ısı kazancı ve $\Phi_{s,ay}$ ise aylık ortalama güneş enerjisi kazancıdır.

Aylık ısı kayıplarını hesaplarken her aya ait ısı yalıtım bölgelerinin aylık ortalama dış sıcaklıkları (θ_e) Çizelge 4.1'den ve bina iç ortam sıcaklığı ($\theta_i = 20\text{ °C}$) EK 1 Çizelge 1.1'den seçilir. Isıtma sezonunda bulunan her ay için ayrı ısı kaybı hesabı yapılır.

Aylık ortalama iç kazançların hesabı

Bina iç ortamında bulunan ısı kaynaklarının ortama yaydığı ısı, iç kazançlar olarak tanımlanır. İç kazançlar ısı kaynaklarına göre hesaplanabildiği gibi, binaların kullanım amacına göre literatürde belirlenmiş sabit değerler kullanılarak yaklaşık olarak da hesaplanabilir.

Bu çalışmada aylık ortalama iç kazançlar sabit kabul edilmiştir. Aylık ortalama iç kazançlar konutlarda, okullarda, normal donanımlı binalarda, $\Phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$ olarak alınır [TS 825, 2008]. Burada A_n binanın kullanım alanı olup, binanın brüt hacmine bağlı olarak,

$$A_n = 0,32 \times V_{\text{brüt}}$$

eşitliği ile hesaplanır [TS 825, 2008].

Binanın kullanım alanı yukarıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanırsa:

$$A_n = 0,32 \times (8556,35 \text{ m}^3)$$

$$A_n = 2738,03 \text{ m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Aylık ortalama iç kazançlar, binanın kullanım alanına bağlı olarak hesaplanırsa:

$$\Phi_{i,ay} = 5 \times 2738,03$$

$\Phi_{i,ay} = 13690,16$ W olarak bulunur.

$\Phi_{i,ay}$ değeri bina yapı elemanlarından ve binanın bulunduğu bölgeden bağımsız bir büyüklüktür. Isı kaybı hesapları yapılırken bina için sabittir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancının hesabı

Bina kütlelerinin güneşten ışınlama kazandığı ısı enerjisi olarak tanımlanır. Güneş enerjisi kazancı ışınlama şiddetine ve açısına, bina opak yüzeylerinin absorbe kabiliyetine, saydam yüzeylerin geçirme faktörüne ve binanın konumuna bağlı olarak değişir. Bu çalışmada kullandığımız TS 825 hesap metodunda ülkemizin tüm bölgelerinde güneş ışınlama şiddeti sabit kabul edilmiştir. Tüm ısı yalıtım bölgeleri için yönler göre aylık ortalama güneş ışınlama şiddeti ve ısı analizi yapılan okul binasının yönler göre pencere alanları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tüm bölgeler için aylık ortalama güneş ışınlama şiddeti ve binada bulunan pencerelerin yönler göre alanları [TS 825, 2008]

Ay	$I_{i,ay}$ (Güneş ışınlama şiddeti – W/m ²)				A_i (pencere yüzey alanları – m ²)			
	Güney	Kuzey	Batı	Doğu	Güney	Kuzey	Batı	Doğu
Ocak	72	26	43	43	122,76	120,12	18,04	11,88
Şubat	84	37	57	57				
Mart	87	52	77	77				
Nisan	90	66	90	90				
Mayıs	92	79	114	114				
Haziran	95	83	122	122				
Temmuz	93	81	118	118				
Ağustos	93	73	106	106				
Eylül	89	57	81	81				
Ekim	82	40	59	59				
Kasım	67	27	41	41				
Aralık	64	22	37	37				

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, güneş ışınlam şiddeti sabit kabul edilerek,

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$$

eşitliği ile hesaplanır [TS 825, 2008].

Bu eşitlikte sırasıyla $r_{i,ay}$ gölgelenme faktörü, $g_{i,ay}$ pencerelerin güneş enerjisi geçirme faktörü, $I_{i,ay}$ güneş ışınlam şiddeti ve A_i binada bulunan pencerelerin yönlere göre alanlarıdır. Bu çalışmada okul binaları genellikle yerleşim birimlerinde olduğu için gölgelenme faktörü $r_{i,ay} = 0,5$ olarak belirlenmiştir.

Pencerelerin güneş enerjisi geçirme faktörü ise,

$$g_{i,ay} = F_w \times g_{\perp}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada F_w camlar için düzeltme faktörüdür ve 0,80 olarak alınır [TS 825, 2008]. $g_{\perp}$ saydam yüzeylerin (camların) geçirgenlik katsayısıdır. Pencerelerimiz çift camlı olduğu için $g_{\perp} = 0,75$ alınmıştır [TS 825, 2008]. Pencerelerin güneş enerjisi geçirme faktörü yukarıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanırsa:

$$g_{i,ay} = 0,80 \times 0,75$$

$$g_{i,ay} = 0,6 \text{ bulunur.}$$

Binanın aylık ortalama güneş enerjisi kazançları, Excel ortamında hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Tüm bölgeler için binanın aylık ortalama güneş enerjisi kazançları

Ay	$\Gamma_{i,ay}$	$g_{i,ay}$	$I_{i,ay} \times A_i$				$\Phi_{s,ay}$ (W)
			Güney	Kuzey	Batı	Doğu	
Ocak	0,5	0,6	8838,72	3123,12	775,72	510,84	3974,52
Şubat			10311,84	4444,44	1028,28	677,16	4938,516
Mart			10680,12	6246,24	1389,08	914,76	5769,06
Nisan			11048,4	7927,92	1623,6	1069,2	6500,736
Mayıs			11293,92	9489,48	2056,56	1354,32	7258,284
Haziran			11662,2	9969,96	2200,88	1449,36	7584,72
Temmuz			11416,68	9729,72	2128,72	1401,84	7403,088
Ağustos			11416,68	8768,76	1912,24	1259,28	7007,088
Eylül			10925,64	6846,84	1461,24	962,28	6058,8
Ekim			10066,32	4804,8	1064,36	700,92	4990,92
Kasım			8224,92	3243,24	739,64	487,08	3808,464
Aralık			7856,64	2642,64	667,48	439,56	3481,896

Kazanç kullanım oranı ve kazanç kullanım faktörünün hesabı

Isı kazançları binanın ısıtma ihtiyacının olmadığı zamanlarda da mevcuttur. Bu nedenle ısı kazançlarının tamamı kullanılmaz. Kullanılmayan ısı kazançlarının hesaplarda gerçekçi bir şekilde yer alması içi aylık kazanç kullanım oranına bağlı olarak aylık kazanç kullanım faktörü belirlenir ve bu faktöre bağlı olarak aylık ısı kazançları hesaplanarak binanın aylık ısı kayıplarından çıkarılarak, binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı tespit edilir.

Aylık kazanç kullanım oranı,

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_i - \theta_e)$$

eşitliği ile, aylık ortalama kazanç kullanım faktörü ise,

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$$

eşitliği ile hesaplanır. Aylık kazanç kullanım faktörünün 2,5'ten büyük olduğu aylarda ısıtmanın olmadığı kabul edilir [TS 825, 2008].

Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

Excel ortamında geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla, dış kabuğun tuğla duvar ve XPS yalıtımlı olması durumunda; 1. bölgede kazanç kullanım oranı, aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmış Çizelge 5.4’de verilmiştir. Yıllık ısıtma enerjisi hesaplanırken ekim ayı KKO 3,71 > 2,5 olduğundan, ekim ayı için ısı kaybı olmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 5.4. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı binanın 1. bölgede aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kaz. Kul. Fakt	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Kazançlar Toplamı			
	H (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H \times (\theta_i - \theta_e)$ (W)	$\Phi_{i,ay}$ (W)	$\Phi_{s,ay}$ (W)	$\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}$ (W)			
Ocak	3353	11,6	38898,86	13690	3974,52	17664,68	0,45	0,89	60101832
Şubat		11	36886,85		4938,52	18628,68	0,51	0,86	53991192
Mart		8,4	28168,14		5769,06	19459,22	0,69	0,76	34433902
Nisan		4,2	14084,07		6500,74	20190,9	1,43	0,50	10223667
Mayıs		$\theta_e > \theta_i$	0		7258,28	20948,44	0	0	0
Haziran		$\theta_e > \theta_i$	0		7584,72	21274,88	0	0	0
Temmuz		$\theta_e > \theta_i$	0		7403,09	21093,25	0	0	0
Ağustos		$\theta_e > \theta_i$	0		7007,09	20697,25	0	0	0
Eylül		$\theta_e > \theta_i$	0		6058,80	19748,96	0	0	0
Ekim		1,5	5030,025		4990,92	18681,08	3,71	0,24	Isıtma yok
Kasım		7	23473,45		3808,46	17498,62	0,75	0,74	27345980
Aralık		10,7	35880,85		3481,90	17172,06	0,48	0,88	54001298
$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 240097870 \text{ kJ}$ $Q_{yıl} = 66747,21 \text{ kWh}$									
A= 2716,2 m ²		V= V _{brüt} = 8556,35 m ³		A/V = 0,3175			Q' = 14,1×A/V + 3,4		
Q ⁱ = 7,88 kWh/m ³				TS 825'e göre 1. bölgede binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı üst sınırı					
Q _{yıl} / V _{brüt} = 7,80 kWh/m ³				Yalıtım uygundur					

Binanın yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi hesabı

Bina ısıtma sisteminin yakma rejimine bağlı olarak yıllık harcadığı ısıtma enerjisidir.

$$Q_G = Q_{yıl} - Q_K$$

eşitliği ile hesaplanır (Bkz. Bölüm 4).

Bu eşitlikte Q_K binanın yakma rejimine bağlı olarak harcamadığı ısıtma enerjisi miktarıdır. Yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisi olarak tanımlanmış ve Bölüm 4’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisi,

$$Q_{aykulm} = 1483,2 \times q_{ay} - 792[H(\theta_{idk} - \theta_e) - \eta_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})]$$

$$Q_K = \sum Q_{aykulm}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Eşitliklerdeki $\sum Q_{aykulm}$ terimi ısıtma sezonunda bulunan her bir ayın ay içinde kullanılmayan ısıtma enerjilerinin toplamıdır. q_{ay} ise binanın aylık ortalama ısı kaybıdır (Bkz. Bölüm 4).

Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı içinde olan; ancak uygulamada işletme durumu ve tasarruf uygulamalarından dolayı, kullanılmayan aylık ve yıllık ısıtma enerjileri miktarları Excel ortamında geliştirilen bilgisayar programı yardımı ile hesaplanmış ve Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı binanın 1. bölgede aylık ve yıllık kullanılmayan ısıtma enerjisi miktarları

Aylar	Isıtma tesisatının kapalı olduğu günlerde	20:00-06:00 arası (iç ortam 16 °C) çalışma tasarrufu	Yıllık kullanılmayan toplam ısıtma enerjisi (Q_K) (kJ)
<i>Ocak</i>	16027155	10623413	26650567,95
<i>Şubat</i>	14397651	10623413	25021063,93
<i>Mart</i>	9182374	10623413	19805786,65
<i>Nisan</i>	2726311	10623413	13349723,90
<i>Mayıs</i>	0	0	0
<i>Haziran</i>	0	0	0
<i>Temmuz</i>	0	0	0
<i>Ağustos</i>	0	0	0
<i>Eylül</i>	0	0	0
<i>Ekim</i>	0	0	0
<i>Kasım</i>	7292261	10623413	17915674,13
<i>Aralık</i>	14400346	10623413	25023759,01
<i>Isıtma sezonu</i>	64026099	63740477	127766576

Binanın yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi,

$$Q_G = Q_{yıl} - Q_K$$

eşitliği kullanılarak,

$$Q_{yıl} = 240097870 \text{ kJ (Bkz. Çizelge 5.4)}$$

$$Q_K = 127766576 \text{ kJ (Bkz. Çizelge 5.5)}$$

$$Q_G = 240097870 \text{ kJ} - 127766576 \text{ kJ}$$

$$Q_G = 112331295 \text{ kJ bulunur.}$$

5.3.2. Yakıt tüketimi ve sera gazı (CO₂) emisyonu hesabı

Yakıt tüketimi ısı enerjisinin elde edileceği birincil enerji kaynağına ve yakma sisteminin verimine bağlı olarak,

$$B_y = Q_{yıl} / H_u \times \eta_k$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada B_y yıllık yakıt tüketimi, $Q_{yıl}$ binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, H_u , ısı enerjisinin elde edildiği birincil enerji kaynağının (yakıtın) alt ısı değeri ve η_k ısıtma (yakma) sisteminin verimidir.

Nihai enerji tüketimine göre kullanılan yakıt türüne bağlı olarak atmosfere salınan yıllık CO₂ miktarı ise,

$$SEGM_y = 0,278 \times 10^{-3} \times B_y \times H_u \times FSEG$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada sırasıyla $SEGM_y$ atmosfere salınan yıllık CO_2 miktarı, FSEG yakıt türüne göre CO_2 emisyonu dönüşüm katsayısıdır.

Binanın tuğla duvar XPS yalıtımı durumunda; iki farklı kullanım (işletme) ve üç farklı yakıt türü (doğalgaz, fuel-oil, linyit kömürü) için yıllık yakıt tüketimi ve CO_2 emisyonu Çizelge 5.6'da hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan parametreler (farklı yakıt türlerinin alt ısı değerleri, ısıtma (yakma) sisteminin verim değerleri ve CO_2 emisyonu dönüşüm katsayıları) Çizelge 4.6'dan alınmıştır (Bkz. Bölüm 4).

Çizelge 5.6. Tuğla duvar ve XPS yalıtımlı binanın 1. bölgede yıllık yakıt tüketimi ve CO_2 emisyonu

BİNA	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre - $Q_{Yıl}$		Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisine göre - Q_G	
	Yakıt tüketimi	CO_2 emisyonu (kg CO_2)	Yakıt tüketimi	CO_2 emisyonu (kg CO_2)
Doğalgaz (m ³)	7557	16977	3536	7943
Fuel-oil (kg)	6373	24474	2982	11450
Linyit kömürü (kg)	11244	34002	5261	15908

5.4. Diğer Isı Yalıtım Bölgeleri ve Yalıtım Durumları İçin Analizler

Yukarı da yapılan işlemler farklı dış kabuk yapı elemanlarıyla farklı bölgeler için tekrarlanmıştır. Benzer işlemler tekrarlanmış olduğu için işlemlerin detayları tezde verilmemiştir. Bina dış kabuğunun beş farklı yalıtım durumu ve 1., 2., 3., 4. ısı yalıtım bölgesi için Bölüm 5.3'de takip edilen hesap metoduna göre ısı kaybı ve diğer hesaplar yapılmış sonuçlar Çizelge 5.7 - Çizelge 5.8 - Çizelge 5.9 - Çizelge 5.10 - Çizelge 5.11 - Çizelge 5.12 - Çizelge 5.13'de ve Şekil 5.10 - Şekil 5.11 - Şekil 5.12 - Şekil 5.13 - Şekil 5.14 - Şekil 5.15 - Şekil 5.16 - Şekil 5.17 - Şekil 5.18'de verilmiştir.

Binanın dört farklı ısı yalıtım bölgesinde TS 825 şartlarını sağlayan üç farklı yalıtımlı durumunun yapı elemanları yalıtım kalınlıkları ve toplam kalınlıkları, iki farklı yalıtımsız durumunun (gaz beton duvar ve yalıtımsız tuğla duvar) ise yapı elemanları kalınlıkları Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Isı yalıtım bölgelerinde yalıtım ve yapı elemanları kalınlıkları

Bina	Isı yalıtım bölgesi	Yalıtım kalınlığı (cm)	Yapı elemanlarının (bileşenlerinin) kalınlıkları (cm)				
			Taşıyıcı olmayan duvarlar	Betonarme (kolon-kiriş) duvarlar	Toprağa temas eden beton duvarlar	Tavan	Taban
XPS yalıtımlı tuğla duvarlı	1	10	31,5	37,5	37,5	28	37
	2	11	32,5	38,5	38,5	29	38
	3	16	37,5	43,5	43,5	34	43
	4	20	41,5	47,5	47,5	38	48
Mineral yün yalıtımlı tuğla duvarlı	1	11	32,5	38,5	38,5	29	38
	2	12	33,5	39,5	39,5	30	39
	3	18	39,5	45,5	45,5	36	45
	4	23	44,5	50,5	50,5	41	50
EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı	1	10	36	37,5	37,5	28	37
	2	11	37	38,5	38,5	29	38
	3	16	42	43,5	43,5	34	43
	4	20	46	47,5	47,5	38	47
Gaz beton duvarlı	Tüm bölgeler	–	24	29	29	16	27
Yalıtımsız tuğla duvarlı	Tüm bölgeler	–	23	29	29	16	27

Aynı yalıtım bölgesinde binanın XPS yalıtımlı tuğla duvar ve EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvar durumunun; yalıtım malzemesi kalınlıklarının aynı olduğu, mineral yün (cam yünü) tuğla duvar durumunun yalıtım malzemesi kalınlığının ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Okul binasının TS 825 üst sınır değerini karşılayan minimum yalıtım kalınlığı 1. bölgede XPS yalıtımlı tuğla duvar ve EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvar durumlarında 10 cm olarak hesaplanmıştır. En yüksek yalıtım kalınlığı ise 4. bölgede mineral yün (cam yünü) yalıtımlı tuğla duvar durumu için 23 cm olarak hesaplanmıştır.

1. ve 2. bölgede yalıtım kalınlıkları bir birine yakın değerler alırken, 3. ve 4. bölgede yalıtım kalınlıkları arasında fark artmıştır. Binanın yalıtımlı durumunu temsil eden, üç farklı yalıtım durumu ve kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı yalıtım kabiliyeti açısından bir birine yakın davranış sergilediği görülmektedir.

TS 825 ısı yalıtım kurallarına uygun olarak yalıtılmış hali temsil eden üç farklı yalıtım durumuna, yapı elemanları kalınlıkları açısından bakıldığında; en düşük yapı elemanı kalınlıkları 1. bölgede XPS yalıtımlı tuğla duvar durumunda elde edildiği

görülmektedir. Dış kabuğun XPS yalıtımlı tuğla duvar olması durumunda 1. bölgede: Taşıyıcı olmayan (tuğla) toplam duvar kalınlığı 31,5 cm, betonarme toplam duvar kalınlığı 37,5 cm, tavanın toplam kalınlığı 28 cm, tabanın toplam kalınlığı 37 cm olmaktadır. En yüksek yapı elemanı kalınlıkları ise mineral yün (cam yünü) yalıtımlı tuğla duvar durumu için 4. bölgede: Taşıyıcı olmayan (tuğla) toplam duvar kalınlığı 44,5 cm, betonarme toplam duvar kalınlığı 50,5 cm, Tavanın kalınlığı 41 cm, tabanın kalınlığı 50 cm olmaktadır.

Binanın beş farklı yalıtım durumunun dört farklı ısı yalıtım bölgesinde özgül ısı kayıpları ve yapı elemanlarının toplam ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Isı yalıtım bölgelerinde yalıtım durumuna göre binanın özgül ısı kaybı ve yapı elemanları ısı transfer katsayıları

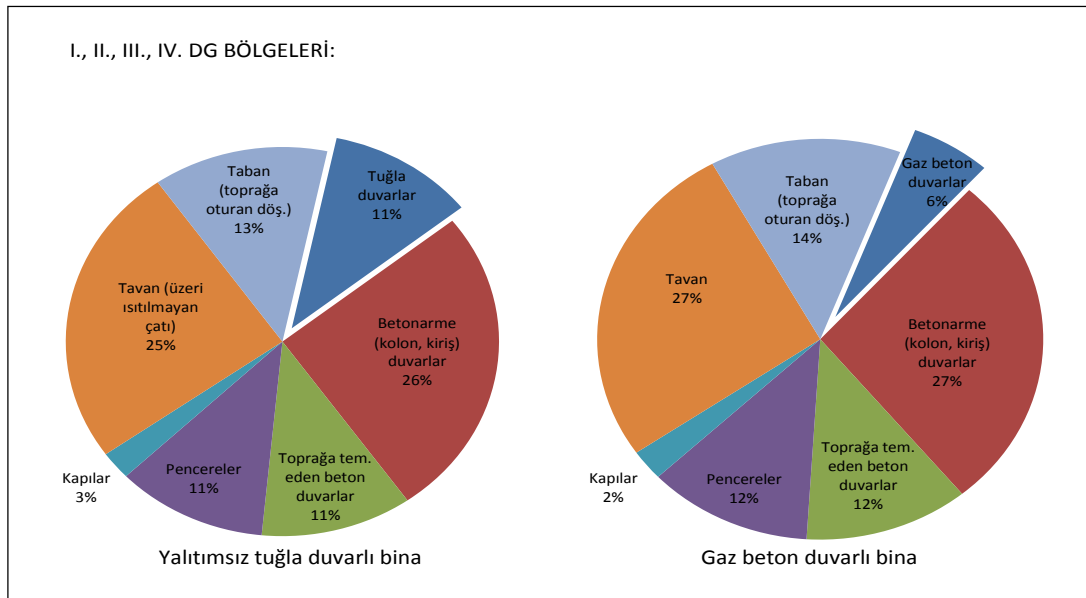
Bina	İsı yalıtım bölgesi	Özgül ısı kaybı (H) (W/K)	Yapı elemanlarının toplam ısı transfer katsayısı (U) (W/m²K)					Pencereler (PVC)	Dış Kapılar		
			Taşıyıcı olmayan duvarlar	Betonarme (kolon-kiriş) duvarlar	Toprağa temas eden betonarme duvarlar	Tavan (üzeri ısıtılmayan çatı)	Taban (toprağa oturan döşeme)				
XPS yalıtımlı tuğla duvarlı	1	3353,35	0,288	0,317	0,322	0,317	0,313	2,8	4,0		
	2	3302,84	0,266	0,291	0,294	0,290	0,287				
	3	3140,31	0,193	0,206	0,207	0,205	0,204				
	4	3062,29	0,158	0,166	0,168	0,166	0,158				
Mineral yün yalıtımlı tuğla duvarlı	1	3374,43	0,297	0,329	0,333	0,328	0,323				
	2	3327,35	0,277	0,304	0,307	0,303	0,299				
	3	3145,78	0,195	0,209	0,210	0,208	0,207				
	4	3062,43	0,157	0,165	0,167	0,165	0,164				
EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı	1	3350,56	0,282	0,317	0,322	0,317	0,313				
	2	3300,52	0,261	0,291	0,294	0,290	0,287				
	3	3138,91	0,190	0,206	0,207	0,205	0,204				
	4	3063,48	0,156	0,166	0,168	0,166	0,165				
Gaz beton duvarlı	Tüm bölgeler	8186,71	0,797	3,306	3,810	3,497	2,921				
Yalıtımsız tuğla duvarlı	Tüm bölgeler	8560,04	1,601	3,306	3,810	3,497	2,921				

Binanın yalıtımsız tuğla duvarlı durumda özgül ısı kaybı: 8560,04 W/K, gaz beton duvarlı durumda: 8186,71 W/K olarak hesaplanmıştır. Taşıyıcı olmayan dolgu duvarların tuğla yerine gaz beton yapılması, binanın özgül ısı kaybında 373,33 W/K’lık (yaklaşık % 4,4) bir iyileşme meydana getirdiği belirlenmiştir. Bu iyileşme

binanın ısı yalıtım kurallarına uygun yalıtılmış halini temsil eden üç farklı yalıtım durumu ile karşılaştırıldığında önemsiz kalmaktadır. Aynı ısı yalıtım bölgesinde üç farklı yalıtım durumu birbiriyle karşılaştırıldığında; XPS yalıtımlı tuğla duvar ve EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvar yalıtım durumlarında, binanın özgül ısı kaybı ve yapı elemanları ısı transfer katsayıları bir birine yakın değerler aldığı görülmektedir.

En düşük ısı transfer katsayısı EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvar yalıtım durumu için 4. bölgede, taşıyıcı olmayan sandviç tuğla duvarlarda, $U = 0,156 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek ısı transfer katsayısı ise mineral yün (cam yünü) yalıtımlı tuğla duvar yalıtım durumu için 1. bölgede toprağa temas eden betonarme duvarlarda, $U = 0,333 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu hesaplanmıştır.

Dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının; bina dış kabuğundan olan özgül ısı kaybındaki (yapı kabuğu özgül ısı kaybı) yüzdeleri, beş farklı yalıtım durumu ve dört farklı ısı yalıtım bölgesi için sırasıyla Şekil 5.10 - Şekil 5.11 - Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.10. Isı yalıtım bölgelerinde bina dış kabuğunun yalıtımsız tuğla duvar ve gaz beton duvar olması durumunda yapı elemanlarının bina dış kabuğundan olan özgül ısı kaybındaki (yapı kabuğu özgül ısı kaybı) yüzdeleri

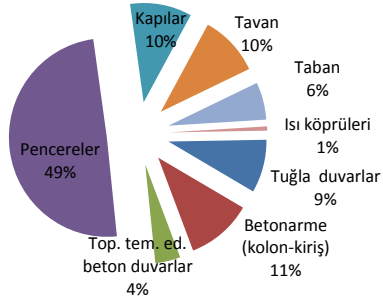
Yapı elemanlarından gerçekleşen toplam ısı kaybının, yalıtımsız durumlarda (yalıtımsız tuğla duvar ve gaz beton duvar) % 14'ü, saydam yüzeylerden (pencere ve kapılar), % 86'sı ise opak yüzeylerden (duvarlar, tavan, taban) olmaktadır. Binanın yalıtımsız tuğla duvarlı durumunda, toplam ısı kaybının % 11'i taşıyıcı olmayan tuğla duvarlardan kaynaklanmaktadır. Isı kaybını azaltmak için taşıyıcı olmayan duvarların tuğla yerine gaz beton yapılması durumunda, taşıyıcı olmayan dolgu duvarların toplam ısı kaybındaki payı % 6'ya gerilediği görülmüştür.

Yalıtımlı durumlarda, TS 825'e göre bina için belirlenen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı üst sınır değerine bağlı olarak yapı elemanlarından gerçekleşen ısı kaybı, bölgelere ve yalıtım durumuna göre değişmektedir. Şekil 5.11'de bina dış kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının 1. ve 2. bölgede yapı kabuğu özgül ısı kaybındaki oranları verilmiştir.

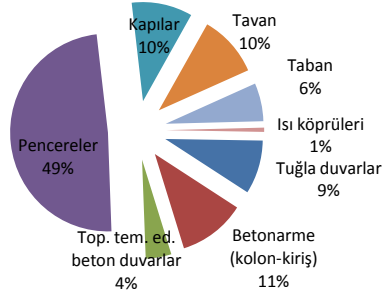
Dış kabuğun 1. bölgede tuğla duvar XPS yalıtım veya tuğla duvar mineral yün (cam yünü) yalıtımlı olması durumunda iletimsel ısı kaybının % 59'u saydam yüzeylerden (pencereler % 49, kapılar % 10), % 41'i opak yüzeylerden (duvarlar, tavan, taban, ısı köprüleri) olmaktadır. 2. bölgede ise tuğla duvar XPS yalıtım ve sandviç tuğla duvar EPS yalıtım durumların da iletimsel ısı kaybının % 62'si saydam yüzeylerden (% 51 pencereler, % 11 kapılar), % 38'i opak yüzeylerden meydana gelmektedir. Opak yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybının % 8'i taşıyıcı olmayan tuğla duvarlar, % 10'u dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kolon, giriş) duvarlar, % 4'ü toprağa temas eden betonarme duvarlar, % 9'u tavan, % 6'sı taban ve % 1'i ısı köprülerinden olmaktadır.

Şekil 5.12'de verilen grafiklerde ise binanın üç farklı yalıtımlı durumunda 3. bölgede iletimsel ısı kaybının % 69'u saydam yüzeylerden (% 57 pencereler, % 12 kapılar), % 31'i opak yüzeylerden olduğu görülmektedir. Opak yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybının % 7'si taşıyıcı olmayan tuğla duvarlar, % 8'i dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kolon, giriş) duvarlar, % 3'ü toprağa temas eden betonarme duvarlar, % 7'si tavan, % 5'i taban ve % 1'i ısı köprülerinden olmaktadır.

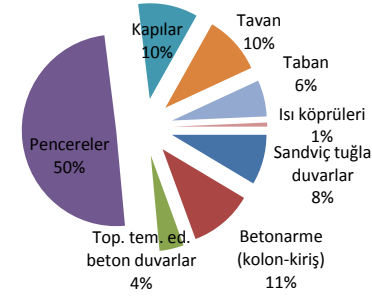
1. ISI YALITIM BÖLGESİ



XPS yalıtımlı tuğla duvarlı bina

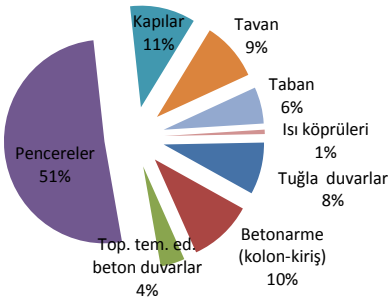


Mineral yün yalıtımlı tuğla duvarlı bina

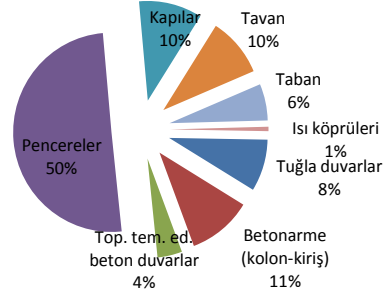


EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı bina

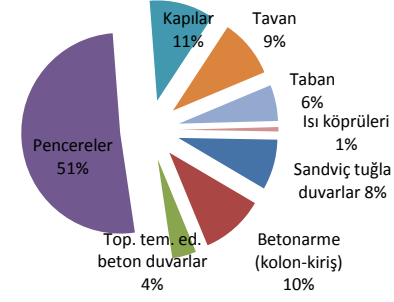
2. ISI YALITIM BÖLGESİ



XPS yalıtımlı tuğla duvarlı bina



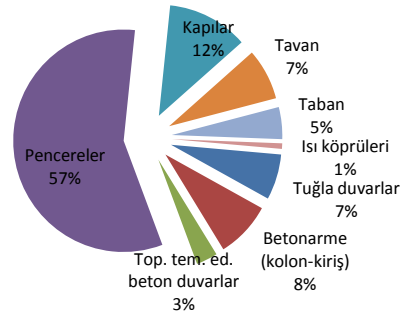
Mineral yün yalıtımlı tuğla duvarlı bina



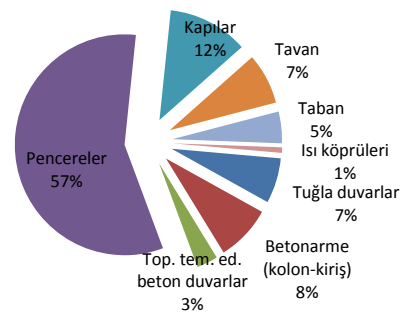
EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı bina

Şekil 5.11. Çeşitli yalıtım uygulamaları için dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının 1. ve 2. bölgede yapı kabuğu özgül ısı kaybındaki yüzdeleri

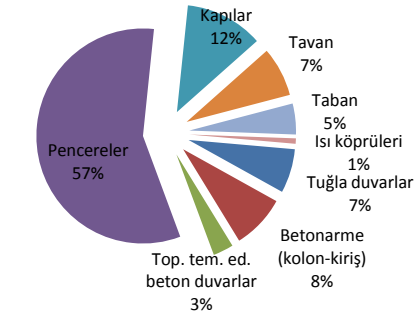
3. ISI YALITIM BÖLGESİ



XPS yalıtımlı tuğla duvarlı bina

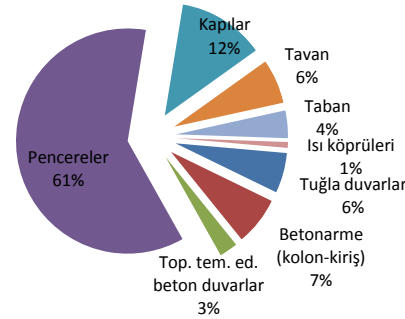


Mineral yün yalıtımlı tuğla duvarlı bina

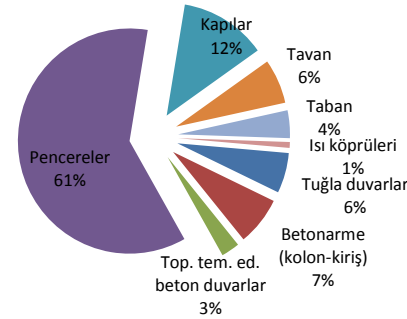


EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı bina

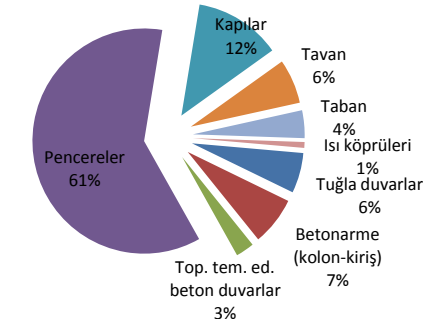
4. ISI YALITIM BÖLGESİ



XPS yalıtımlı tuğla duvarlı bina



Mineral yün yalıtımlı tuğla duvarlı bina



EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı bina

Şekil 5.12. Çeşitli yalıtım uygulamaları için dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının 3. ve 4. bölgede yapı kabuğu özgül ısı kaybındaki yüzdeleri

Dış ortam şartları bakımından sırasıyla en sıcak bölge 1. ısı yalıtım bölgesi, en soğuk bölge 4. ısı yalıtım bölgesidir. Yalıtım bölgesi soğudukça yalıtım kalınlığı artmakta ve opak yapı elemanlarının ısı transfer katsayıları azalmaktadır. Yalıtımlı durumlarda opak yüzeylerin ısı kaybına etkisi azalmış, sabit ısı transfer katsayısına sahip olan saydam yüzeylerin (pencereler ve kapılar) binanın toplam ısı kaybına etkisi artmıştır.

Isı yalıtım kurallarına uygun olarak yalıtılmış binanın; 3. bölgede iletimsel ısı kaybının % 69'u, 4. bölgede % 73'ü pencere ve kapılardan olmaktadır. Pencereler için alınan $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ısı transfer katsayısının yüksek olduğu ve pencerelerin yalıtım kalınlığına etkisinin soğuk bölgelerde daha fazla olduğu görülmektedir. Artan yalıtım kalınlığı artan yalıtım maliyeti olacağından, maliyet analizlerinde ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde saydam yüzeylerde değişken parametre olarak dikkate alınmalıdır.

Okul binasının iki farklı kullanım durumunu temsil eden yıllık ısıtma enerjisi (bina iç ortamının ısıtma sezonu boyunca 20°C 'de tutulduğu) ve ısıtma (yakma) rejimine göre belirlenen yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi dört farklı yalıtım bölgesinde (1., 2., 3., 4.) binanın beş farklı yalıtım durumu için hesaplanmış ve Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Isı yalıtım bölgelerinde çeşitli yalıtım durumları için binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi

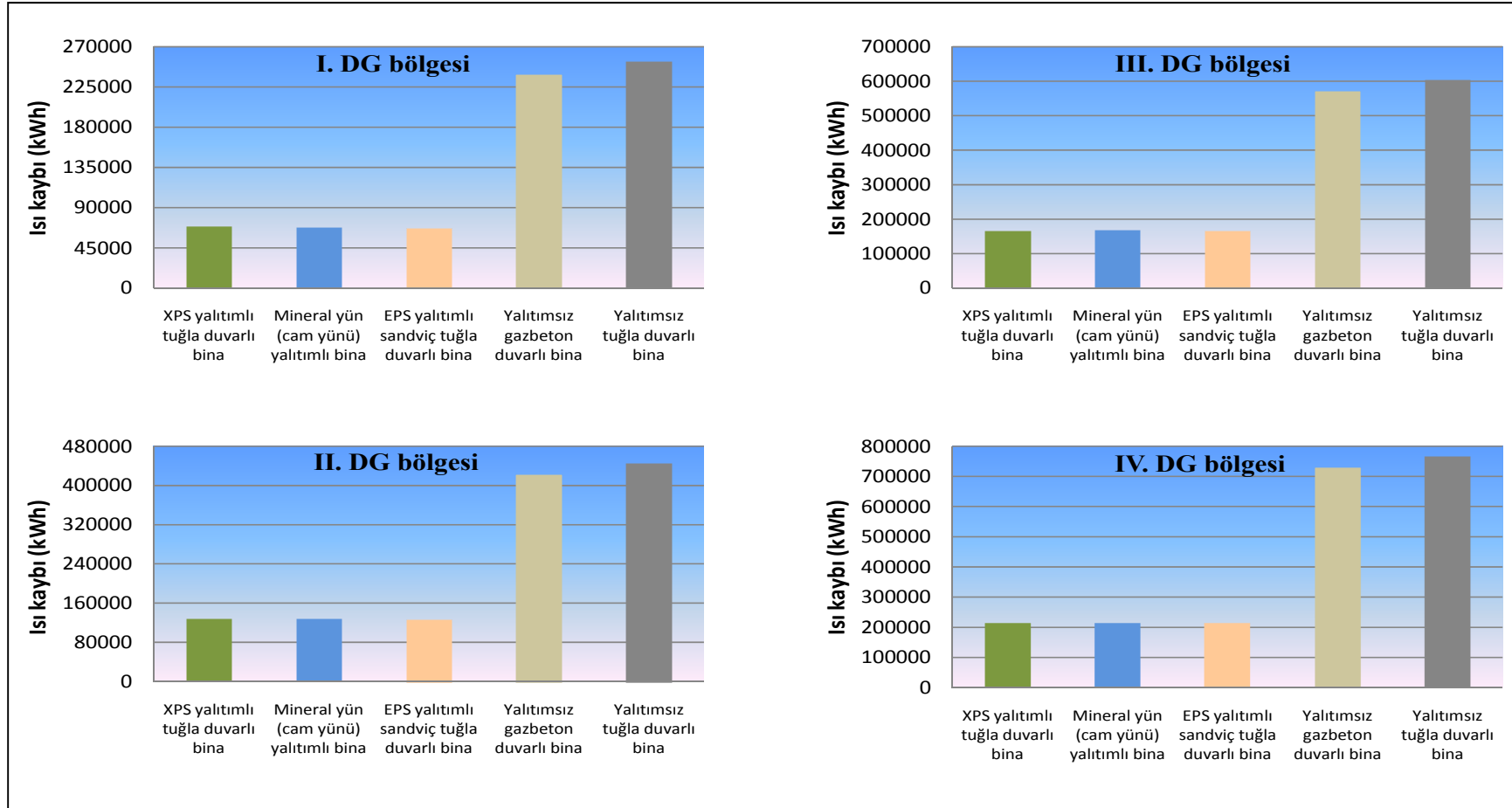
BİNA	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh)				Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi (kWh)			
	1. bölge	2. bölge	3. bölge	4. bölge	1. bölge	2. bölge	3. bölge	4. bölge
XPS yalıtımlı tuğla	66747,21	126184,58	165053,79	211338,52	31228,10	72173,59	96978,00	131045,96
Mineral yün yalıtımlı tuğla	67399,10	127540,48	165460,86	211351,23	31594,79	73016,84	97234,64	131054,23
EPS yalıtımlı sandviç tuğla	66660,86	126056,05	164949,16	211450,08	31179,55	72093,67	96912,03	131118,51
Gaz beton	238499,57	420900,13	570133,35	725756,59	128935,50	254584,58	352666,42	463365,35
Yalıtımsız tuğla	252553,20	444140,50	600994,78	764051,03	137145,44	269161,57	372314,34	488307,96

Binanın en düşük yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (ısıtma sezonu boyunca iç ortam sıcaklığı 20 °C tutulduğunda) 1. bölgede EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvar durumunda 66660,86 kWh olmaktadır. Isıtma sistemi işletme durumuna bağlı olarak çalıştırıldığında ise yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi, 35481,31 kWh (yaklaşık % 53) azalarak 31179,55 kWh olmaktadır.

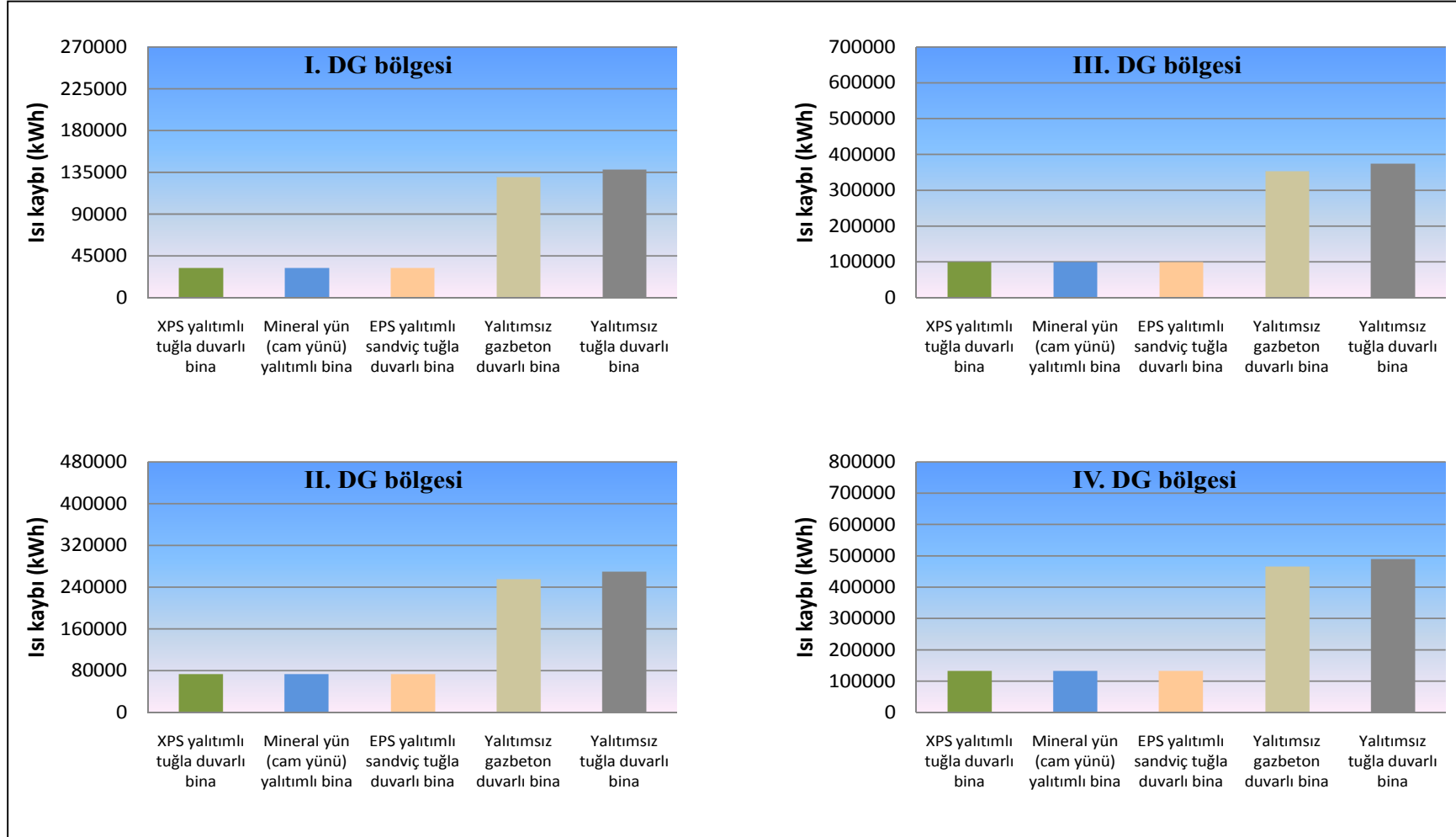
En yüksek yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (ısıtma sezonu boyunca iç ortam sıcaklığı 20 °C tutulduğunda) 4. bölgede yalıtımsız tuğla duvar durumunda 764051,03 kWh olarak hesaplanmıştır. Yakma rejimi uygulandığında ise enerji tüketimi 275743,07 kWh (yaklaşık % 36) azalarak 488307,96 kWh düşmektedir.

1. bölgede bulunan, ısıtma sistemi yakma rejimine göre çalıştırılmayan yalıtımsız tuğla duvarlı okul binasının, XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılması ve ısıtma sisteminin yakma rejimine uygun olarak çalıştırılması durumunda, yıllık ısı kaybı 252553,20 kWh yerine 221325,10 kWh (yaklaşık % 88) azalarak 31228,10 kWh'e düşecektir.

Bina dış kabuğunun beş farklı yalıtım durumu ve bölgeler için, iki farklı kullanım durumuna göre hesaplanan yıllık enerji tüketimleri, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de verilen grafiklerde karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.13. Bina dış kabuğunun beş farklı yalıtım durumu için ısı yalıtım bölgelerinde yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı



Şekil 5.14. Bina dış kabuğunun beş farklı yalıtım durumu için ısı yalıtım bölgelerinde yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de verilen grafikler incelendiğinde bina ısıtma sisteminin işletme durumuna bağlı olarak belirlenen bir yakma rejimine göre çalıştırılması yıllık enerji tüketimini azaltmaktadır. İşletme durumuna bağlı olarak yapılan tasarruf uygulaması ile birlikte yalıtım yapılması durumunda enerji tüketimi ısı yalıtım bölgelerinde % 82 ile % 88 arasında azalmaktadır.

Binanın yalıtımsız tuğla duvar durumu ile ısı kaybını azaltmak için yapılan gaz beton duvar durumu karşılaştırıldığında, toplam ısı kaybında ortalama % 5’lik bir azalma olduğu görülmüştür.

Beş farklı yalıtım durumu göre binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olarak iki farklı kategoride değerlendirilebileceği görülmektedir. Isı kaybı yalıtımsız durumlarda yalıtımlı durumlara göre yaklaşık dört kat daha fazladır. Isı kaybının yüksek olması daha fazla yakıt tüketimi, çevre kirliliği ve ısıtma sisteminin daha büyük kapasitede tasarlanmasına neden olur. Artan kapasiteye bağlı olarak ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti ve işletme giderleri de artar.

Binanın ısı ihtiyacı üç farklı yakıt türü (doğalgaz, fuel-oil, linyit kömürü) kullanılarak karşılandığında yıllık yakıt tüketimi ve çevreye salınan CO₂ miktarı; binanın beş farklı yalıtım durumu ve yalıtım bölgeleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonuçlar 1. bölge için Çizelge 5.10, 2. bölge için Çizelge 5.11, 3. bölge için Çizelge 5.12 ve 4. bölge için Çizelge 5.13’de verilmiştir. Yakıt tüketimi ve CO₂ salınımı değerleri 1. bölge için Şekil 5.15, 2. bölge için Şekil 5.16, 3. bölge için Şekil 5.17, 4. bölge için Şekil 5.18’de verilen grafiklerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.10. Yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (1. bölge)

BİNA	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre						Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi ihtiyacına göre					
	Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)			Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)		
	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür
XPS yalıtımlı tuğla	7557	6373	11244	16977	24474	34002	3536	2982	5261	7943	11450	15908
Mineral yün yalıtımlı tuğla	7631	6435	11354	17143	24713	34334	3577	3017	5322	8036	11585	16095
EPS yalıtımlı sandviç tuğla	7547	6365	11229	16955	24442	33958	3530	2977	5252	7930	11433	15883
Gaz beton	27002	22772	40176	60662	87450	121434	14598	12331	21720	32794	47276	65681
Yalıtımsız tuğla	28593	24114	42544	64236	92603	128654	15527	13095	23103	34883	50287	69863

Çizelge 5.11. Yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (2. bölge)

BİNA	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre						Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi ihtiyacına göre					
	Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)			Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)		
	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür
XPS yalıtımlı tuğla	14286	12048	21256	32095	46268	64280	8171	6891	12158	18357	26464	36766
Mineral yün yalıtımlı tuğla	14440	12178	21485	32440	46765	64971	8267	6972	12300	18572	26773	37196
EPS yalıtımlı sandviç tuğla	14272	12036	21235	32062	46221	64214	8162	6884	12144	18337	26434	36725
Gaz beton	47653	40188	70902	107055	154330	214411	28823	24308	42886	64753	93348	129688
Yalıtımsız tuğla	50284	42407	74817	112966	162852	226250	30473	25700	45341	68461	98693	137114

Ülkemizde binaların ısıtılmasında üç farklı yakıt türü doğalgaz, fuel-oil ve linyit kömürü yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde bu üç yakıt türünün de avantajlar ve dezavantajları vardır. Çevre kirliliğine etkisi ve kullanım kolaylığı açısından değerlendirildiğinde sırasıyla doğalgaz, fuel-oil, linyit kömürü şeklinde sıralanabilir. Ulusal ekonomi, dışa bağımlılık, fiyat istikrarı ve tedarik güvenliği gibi parametreler baz alınarak değerlendirme yapıldığında ise sıralamanın yerel enerji kaynaklarını öne çıkaracağı bir gerçektir.

Bu çalışmada enerji kaynağı olarak doğalgaz, fuel-oil ve linyit kömürü kullanılmıştır. En az yakıt tüketimi ve CO₂ salınımı 1. bölgede, en fazla yakıt tüketimi ve CO₂ salınımı 4. bölgede olduğu belirlenmiştir.

1. bölgede en az yakıt tüketimi sandviç tuğla duvar EPS yalıtımı durumunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre üç farklı yakıt türü için sırasıyla; Doğalgaz için 7547 m³, Fuel-oil için 6365 kg, Linyit kömürü için 11229 kg'dır. Bu yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ miktarı ise sırasıyla; doğalgaz yakıldığında 16955 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 24442 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında ise 33958 kgCO₂ olmaktadır.

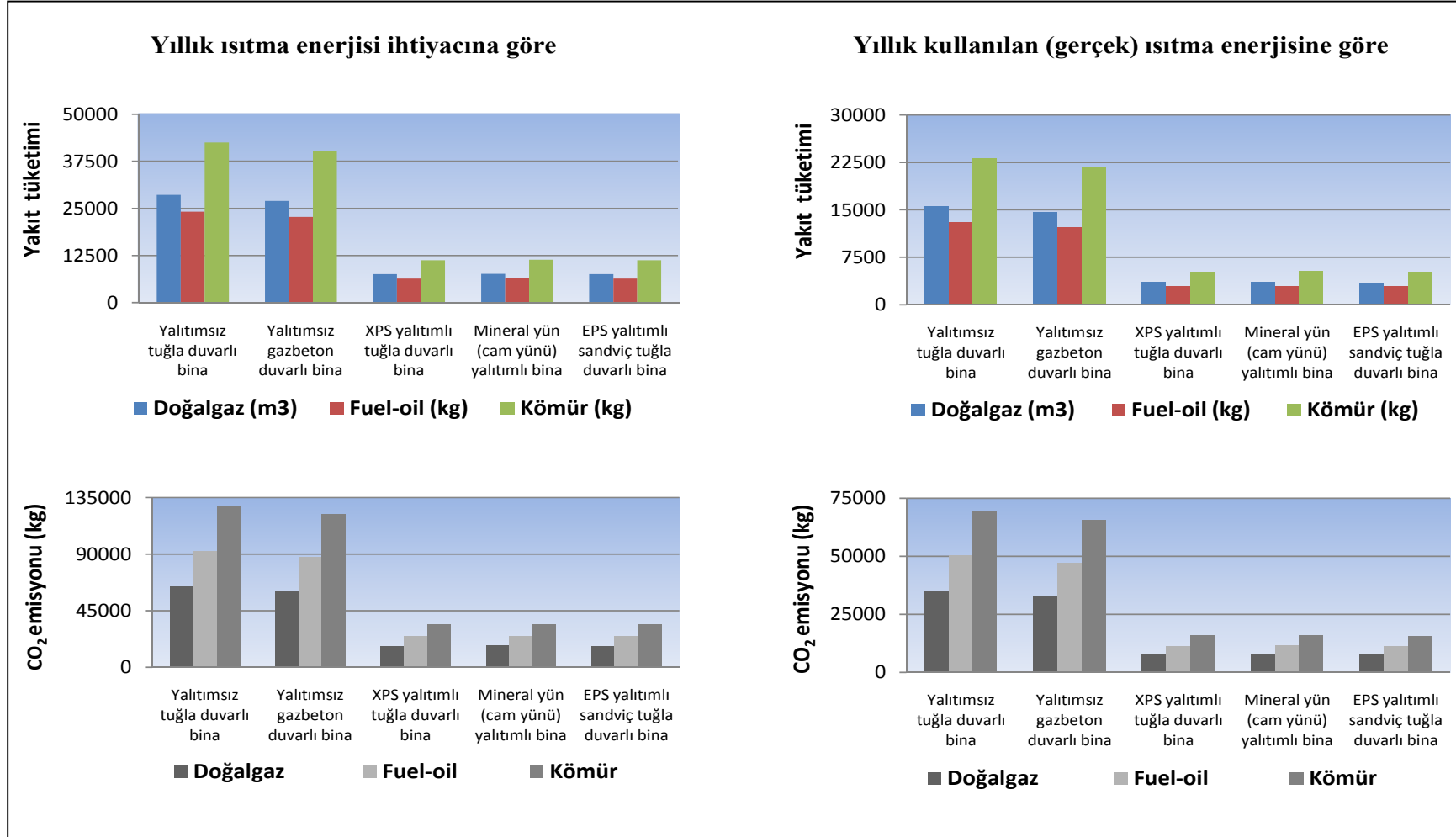
Isıtma sistemi yakma rejimine göre çalıştırıldığında yıllık yakıt tüketimi sırasıyla; doğalgaz 3530 m³, fuel-oil 2977 kg, linyit kömürü 5252 kg'a düşmektedir. Havaya salınan CO₂ miktarı ise, doğalgaz yakıldığında 7930 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 11433 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında 15883 kgCO₂ olmaktadır.

1.bölgede en fazla yakıt tüketimi yalıtımsız tuğla duvar durumunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre üç farklı yakıt türü için sırasıyla, doğalgaz: 28593 m³, fuel-oil 24114 kg, linyit kömürü 42544 kg'dır. Bu yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ miktarı ise sırasıyla, doğalgaz yakıldığında 64236 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 92603 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında 128654 kgCO₂ olmaktadır.

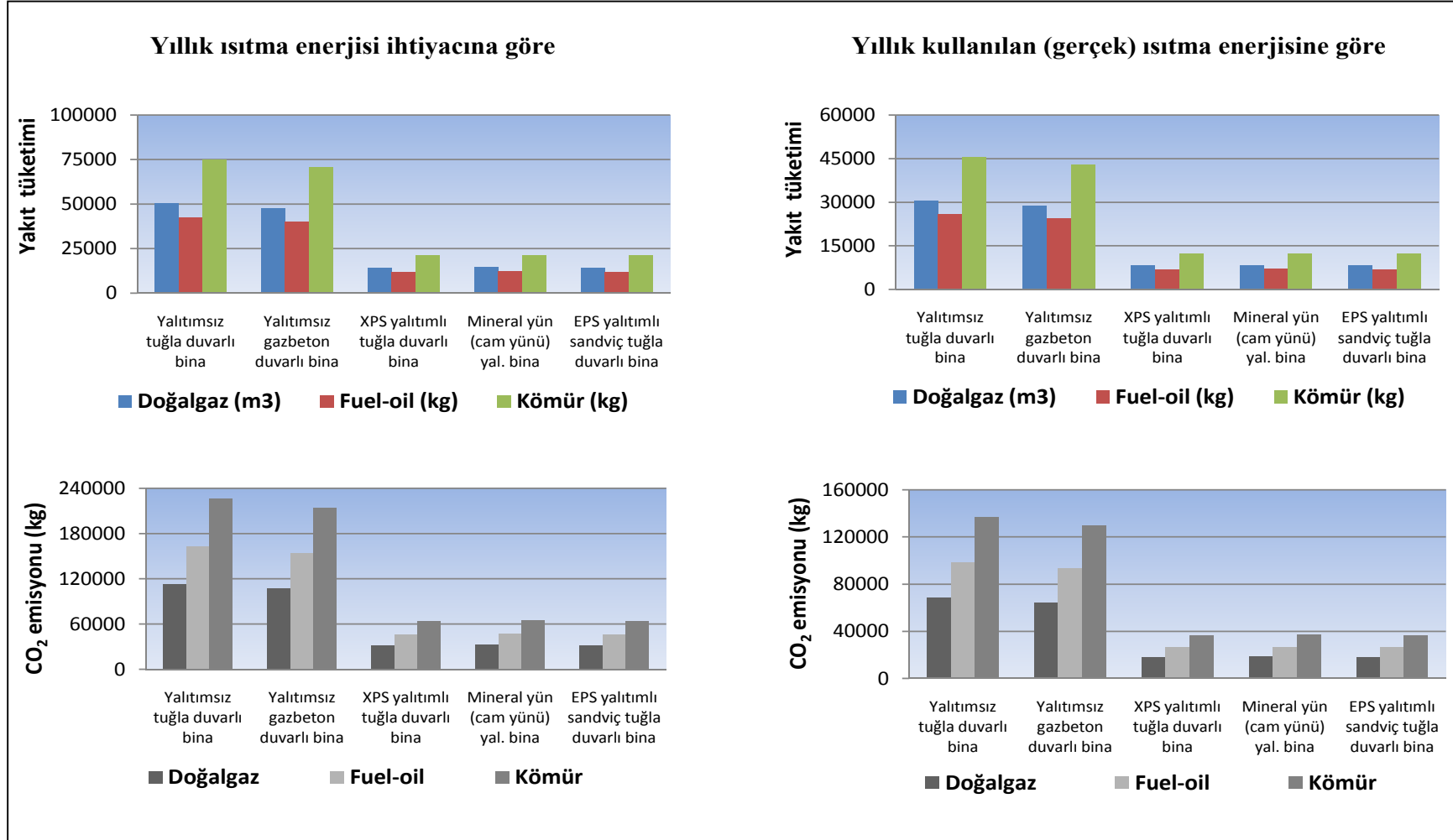
Isıtma sistemi yakma rejimine göre çalıştırıldığında ise yıllık yakıt tüketimi sırasıyla; doğalgaz kullanıldığında 15527 m³, fuel-oil kullanıldığında 13095 kg, linyit kömürü kullanıldığında ise 23103 kg'a düşmektedir. Havaya salınan CO₂ miktarı ise doğalgaz yakıldığında 34883 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 50287 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında ise 69863 kgCO₂ düşmektedir.

Çizelge 5.11 incelendiğinde binanın 2. bölgede yakıt tüketimi ve CO₂ salınımı bakımından 1. bölgeye benzer davranış sergilediği görülmektedir.

Yakıt tüketimi ve CO₂ salınımı dikkate alındığında en uygun bina dış kabuğu; sandviç tuğla duvar ve EPS yalıtım, yakıt olarak ise doğalgaz kullanılması öne çıkmaktadır. Ancak binanın üç farklı yalıtımlı durumunun yalıtım kalınlığı, yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ salınımı birbirine yakın değerler olduğundan, yapı kabuğu ve yalıtım malzemesinin belirlenmesinde amaca uygun başka kriterlerin de göz önünde bulundurulması gerekir.



Şekil 5.15. Çeşitli yalıtım durumları için yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (1. bölge)



Şekil 5.16. Çeşitli yalıtım durumları için yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (2. bölge)

Çizelge 5.12. Yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (3. bölge)

BİNA	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre						Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisine göre					
	Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)			Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)		
	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür
XPS yalıtımlı tuğla	18687	15759	27804	41981	60520	84080	10979	9259	16336	24666	35559	49402
Mineral yün yalıtımlı tuğla	18733	15798	27873	42085	60669	84288	11009	9284	16380	24731	35653	49532
EPS yalıtımlı sandviç tuğla	18675	15749	27786	41954	60481	84027	10972	9253	16325	24649	35534	49368
Gaz beton	64548	54436	96041	145012	209049	290433	39927	33673	59408	89700	129311	179652
Yalıtımsız tuğla	68042	57383	101240	152862	220365	306154	42152	35549	62718	94697	136515	189661

Çizelge 5.13. Yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (4. bölge)

BİNA	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre						Yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisi ihtiyacına					
	Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)			Yakıt tüketimi			CO ₂ emisyonu (kgCO ₂)		
	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür	Doğalgaz (m ³)	Fuel-oil (kg)	Kömür (kg)	Doğalgaz	Fuel-oil	Kömür
XPS yalıtımlı tuğla	23927	20179	35601	53753	77491	107658	14837	12512	22075	33331	48050	66756
Mineral yün yalıtımlı tuğla	23928	20180	35603	53757	77495	107665	14837	12513	22077	33333	48053	66761
EPS yalıtımlı sandviç tuğla	23940	20189	35620	53782	77532	107715	14845	12519	22087	33350	48077	66793
Gaz beton	82167	69295	122257	184595	266111	369709	52460	44242	78056	117856	169901	236044
Yalıtımsız tuğla	86503	72952	128708	194335	280152	389217	55284	46624	82258	124200	179046	248750

Ülkemizde en soğuk iki ısı yalıtım bölgesi sırasıyla 3. bölge ve 4. bölgedir. Binanın beş farklı yalıtım durumu ve yakıt türleri için en soğuk bu iki bölgede hesaplanan yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu değerleri Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13’de görülmektedir.

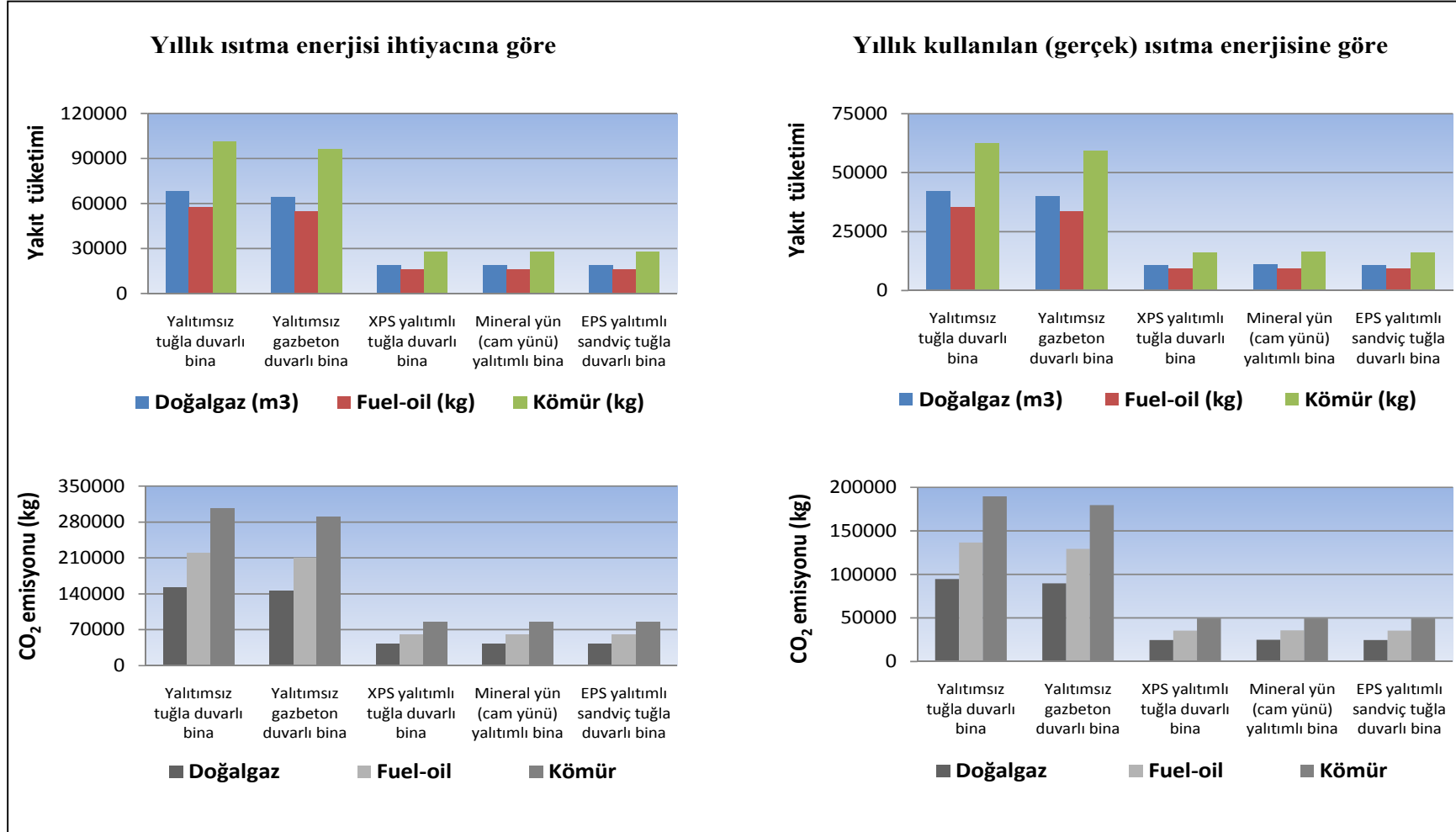
Dış kabuğun yalıtımsız tuğla duvar olması durumunda 3. bölge için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre (ısıtma sezonu boyunca iç ortam sıcaklığı 20 °C tutulduğunda) ve üç farklı yakıt türüne bağlı olarak yakıt tüketimi sırasıyla; doğalgaz için 68042 m³, fuel-oil için 57383 kg, linyit kömürü için ise 101240 kg’dır. Bu yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ miktarı; doğalgaz yakıldığında 152862 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 220365 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında 306154 kgCO₂ olmaktadır.

Isıtma sistemi yakma rejimine göre çalıştırıldığında ise yıllık yakıt tüketimi; doğalgaz kullanıldığında 42152 m³, fuel-oil kullanıldığında 35549 kg, linyit kömürü kullanıldığında 62718 kg’a düşmektedir. Havaya salınan CO₂ miktarı ise doğalgaz yakıldığında 94697 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 136515 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında 189661 kgCO₂ olmaktadır.

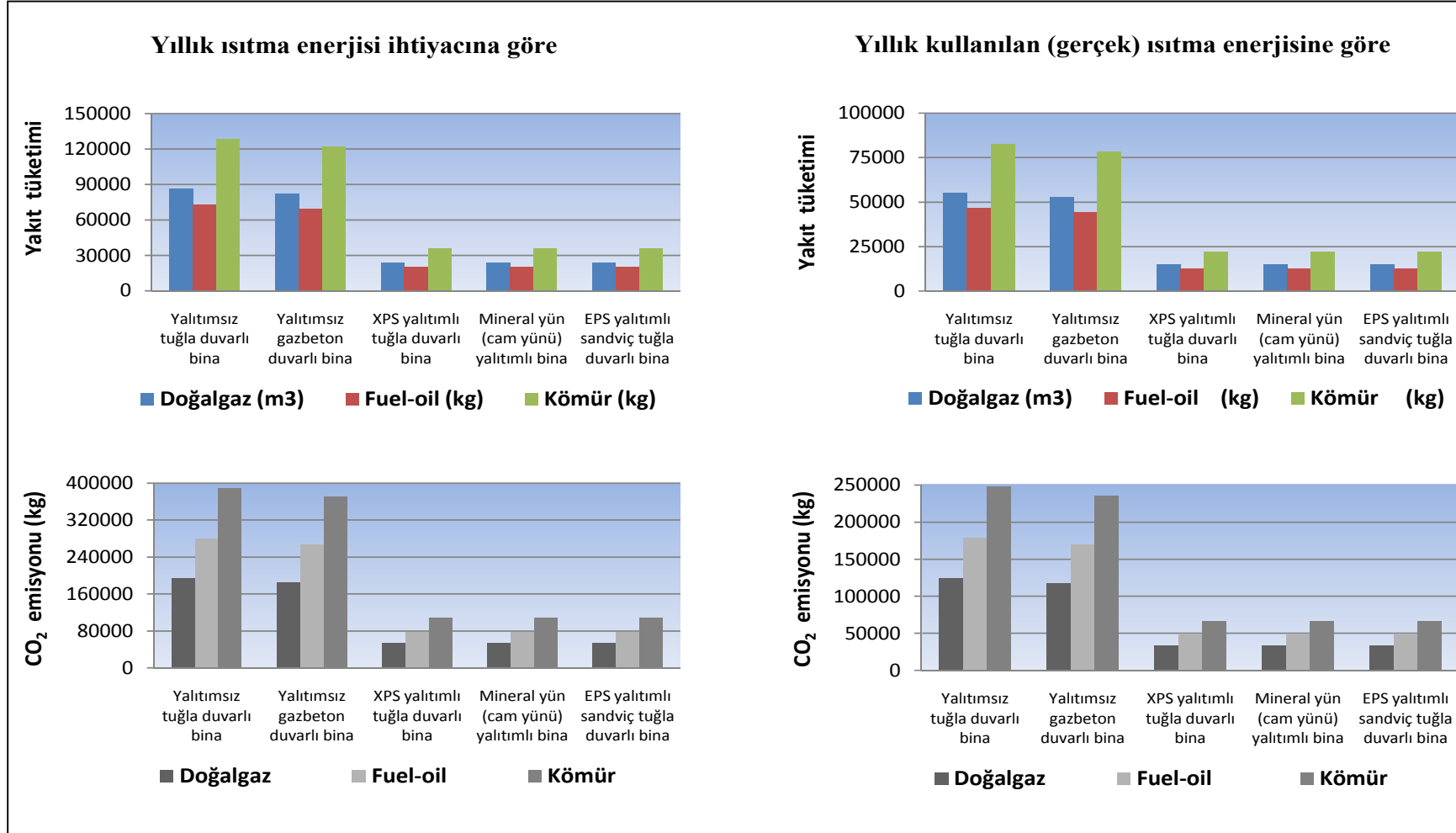
4. bölgede yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre yakıt tüketimi doğalgaz için 86503 m³, Fuel-oil için 72952 kg, linyit kömürü için ise 128708 kg’dır. Bu yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ miktarı; doğalgaz yakıldığında 194335 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 280152 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında 389217 kgCO₂ olmaktadır.

Isıtma sistemi yakma rejimine göre çalıştırıldığında ise yıllık yakıt tüketimi doğalgaz kullanıldığında 55284 m³, fuel-oil kullanıldığında 46624 kg, linyit kömürü kullanıldığında ise 82258 kg’a düşmektedir. Havaya salınan CO₂ miktarı doğalgaz yakıldığında 124200 kgCO₂, fuel-oil yakıldığında 179046 kgCO₂, linyit kömürü yakıldığında 248750 kgCO₂ olmaktadır.

Dış kabuğun yalıtımsız tuğla duvar olması durumunda yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisine göre yakıt tüketimi 1. bölgede 15527 m³ doğalgaz olurken, 4. bölgede 55284 m³ olmaktadır. Başka bir ifade ile Erzurum'da bulunan bir okulun yakıt tüketimi, Antalya'da bulunan bir okulun yakıt tüketiminden 3,6 kat daha fazladır. Bu durum soğuk iklim bölgelerinde maliyet ve çevre kirliliği açısından yalıtımın önemini ortaya koymaktadır.



Şekil 5.17. Çeşitli yalıtım durumları için yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (3. bölge)



Şekil 5.18. Çeşitli yalıtım durumları için yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu (4. bölge)

6. EKONOMİK ANALİZ

Bu bölümde, değişik yalıtım uygulamalarının ekonomikliğini değerlendirebilmek ve optimum yalıtım uygulamasını belirleyebilmek için binanın ısıtılmasında rol oynayan unsurların toplam maliyeti esas alınarak bir analiz yapılmıştır.

Bir binanın belli bir kullanım süresindeki toplam maliyeti, ilk yatırım maliyetleri, kullanım süresi içinde oluşan işletme maliyetleri ve onarım-bakım maliyetlerinden oluşur. Isıtma açısından bina maliyetini hesaplarken onarım giderleri ihmal edilebilir. Isıtma parametrelerini ilgilendiren maliyet aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$C_{bina} = C_{inş} + C_{tes} + \sum C_{yak} \quad (6.1)$$

Burada,

- $C_{inş}$: Isı kaybeden yapı kabuğunun ilk yatırım maliyeti (TL)
- C_{tes} : Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti (TL)
- C_{yak} : Binanın kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisine göre yıllık yakıt maliyeti (TL)

Yukarıdaki eşitlikte bina maliyeti iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm ilk yatırım maliyetleri olup bir defaya mahsus yatırım maliyetleridir. İkinci bölüm ise binanın kullanım ömrü boyunca oluşan giderlerdir. Binanın ekonomik olabilmesi ilk yatırım maliyetlerinin ve kullanım ömrü boyunca oluşan giderlerin toplamının düşük olduğu bir optimum duruma bağlıdır.

6.1. İlk Yatırım Maliyetlerinin Hesaplanması

6.1.1. Dış kabuğun ilk yatırım maliyeti

Binanın ısı kaybeden dış kabuğunun ilk yatırım maliyetini aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz:

$$C_{inş} = \sum A_{ye} \times C_{ye} \quad (6.2)$$

Burada,

A_{ye} : Yapı elemanının ısı kaybeden yüzey alanı (m^2)

C_{ye} : Yapı elemanın yalıtıma bağlı olarak değişen kısmının birim maliyeti (TL/ m^2)

Eşitlik 6.2 bina dış kabuğunu oluşturan, yalıtıma bağlı değişkenlik gösteren yapı elemanlarını ifade edecek şekilde düzenlenirse:

$$C_{inş} = A_D \times C_{fD} + A_T \times C_{fT} + A_t \times C_{ft} \quad (6.3)$$

şeklini alır. Eşitlikte sırasıyla $A_D \times C_{fD}$ terimi dış kabuğu oluşturan duvarların maliyetini, $A_T \times C_{fT}$ tavanın maliyetini, $A_t \times C_{ft}$ tabanın maliyetini ifade eder. Dış kabuğu oluşturan duvarlar iki farklı tipte olup maliyetleri de farklıdır. Bu iki farklı duvar tipini dikkate alarak Eş. 6.3 yeniden düzenlenirse, dış kabuğun ilk yatırım maliyeti aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$C_{inş} = A_{D1} \times C_{fD1} + A_{D2} \times C_{fD2} + A_T \times C_{fT} + A_t \times C_{ft} \quad (6.4)$$

Burada, sırasıyla A_{D1} taşıyıcı olmayan (tuğla veya gaz beton) duvarların alanı, A_{D2} betonarme (kolon-kiriş, toprağa temas eden perde) duvarların alanı, A_T binanın tavan alanı, A_t taban alanıdır. C_{fD1} taşıyıcı olmayan (tuğla veya gaz beton) duvarların, C_{fD2} betonarme (kolon-kiriş, toprağa temas eden perde) duvarların, C_{fT} binanın tavanın, C_{ft} bina tabanının ısı yalıtımına bağlı olarak değişen kısmının birim maliyetidir.

Yapı elemanları birim maliyetlerinin hesaplanması

Dış kabuğu oluşturan elemanların birim maliyetleri piyasa araştırması ile hesaplanabilir. Ancak piyasa fiyatları günlük ekonomik gelişmelere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu durum sağlıklı bir ekonomik analiz yapmayı güçleştirir. Günlük ekonomik gelişmelerden bağımsız güvenilir bir birim maliyet belirlenmesi

gerekir. Ülkemizde Bayındırlık ve İskân Bakanlığı kamu ve özel sektör yatırımlarının maliyet hesaplamalarında kullanılmak üzere her yıl inşaat ve tesisat işleri birim fiyatları ve malzeme, işçilik rayiç fiyatları yayınlamaktadır. Yayımlanan birim fiyatlar işin tanımına göre belirlenen malzeme, işçilik ve diğer girdilerin hesaba katılması (analiz) ile elde edilmektedir. Birim fiyatı olmayan işlerin birim fiyatını hesaplamak için ise, birim fiyatı belli olan benzer işlerin malzeme, işçilik ve diğer girdilerin belirlendiği analizlerin kullanılarak hesaplanması öngörülmüştür.

Bu çalışmada dış kabuğu oluşturan yapı tabakalarının birim fiyatı olanlar doğrudan Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2009 yılı inşaat ve tesisat işleri birim fiyatlarından alınmış EK 1 Çizelge 1.2’de verilmiştir. Birim fiyatı olmayan yapı tabakalarının birim fiyatları, benzer işlerin 2009 yılı malzeme ve işçilik rayiç değerleri kullanılarak EK 2’de Çizelge 2.1 - Çizelge 6’da hesaplanmış ve belirlenen bu birim fiyatlar, yapı elemanları birim maliyetlerin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Dış kabuğu oluşturan yapı elemanlarının TL/m² olarak birim maliyetleri her bir yapı elemanının detayına göre, yapı elemanını oluşturan yapı tabakaları birim fiyatları kullanılarak dört farklı ısı yalıtım bölgesi için ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Yapı elemanlarının birim maliyetleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)

Bina dış kabuğu	Isı yalıtım bölgesi	Yalıtım kalınlığı (cm)	Yalıtım malzemesi birim fiyatı (TL/m ²)	Yapı elemanları birim maliyetleri (TL/m ²)			
				Taşıyıcı olmayan duvarlar (C _{FD1})	Betonarme (kolon, kiriş, toprağa tem. eden perde) duvarlar (C _{FD23})	Tavan (üzeri ısıtılmayan çatı) (C _{FT})	Taban (toprağa oturan döşeme) (C _{FT})
Tuğla duvar XPS yalıtımlı	1	10	23,63	72,77	57,33	30,22	30,22
	2	11	25,99	75,72	60,28	33,18	33,18
	3	16	37,80	90,49	75,05	47,94	47,94
	4	20	47,25	102,3	86,86	59,75	59,75
Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	1	11	32,92	84,38	68,94	41,84	41,84
	2	12	35,91	88,12	72,68	45,58	45,58
	3	18	53,87	110,57	95,13	68,02	68,02
	4	23	68,83	129,27	113,83	86,73	86,73
Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	1	10	14,18	58,45	45,51	18,41	18,41
	2	11	15,59	60,22	47,29	20,18	20,18
	3	16	22,68	69,08	56,15	29,04	29,04
	4	20	28,35	76,17	63,23	36,13	36,13
Gaz beton duvar	Tüm bölgeler	—	—	53,09	12,38	0	0
Yalıtımsız tuğla duvar	Tüm bölgeler	—	—	27,82	12,38	0	0

Dört ayrı ısı yalıtım bölgesi ve beş farklı yalıtım durumu için bina dış kabuğu ilk yatırım maliyeti,

$$C_{inş} = A_{D1} \times C_{FD1} + A_{D23} \times C_{FD23} + A_T \times C_{FT} + A_t \times C_{ft}$$

eşitliğinde dış kabuğu oluşturan yapı elemanları alanları ve birim maliyetleri yerini yazılarak hesaplanmış Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Bina dış kabuğu ilk yatırım maliyetleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)

BİNA	Bina dış kabuğu ilk yatırım maliyetleri (C _{inş}) (TL)				
	Tuğla duvar XPS yalıtım	Tuğla duvar mineral yün yalıtım	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtım	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	112158,23	140080,31	82594,68	31195,26	19461,30
2. bölge	119262,02	149071,12	86856,97		
3. bölge	154756,40	203027,91	108156,06		
4. bölge	183147,17	247994,08	125192,85		

6.1.2. Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti

Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti, kazan, boru sistemi, radyatör vb. elamanların maliyeti ve bunların kurulması için gerekli olan işçilik maliyetlerinin toplamından oluşur. Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti binanın farklı yalıtım durumlarına bağlı olarak değişir. Yalıtımsız bir binada inşaat maliyetleri düşer. Ancak, ısıtma sisteminin kapasitesi büyüyeceği için ısıtma sistemi ilk yatırım maliyeti artar.

Isıtma sistemi binanın en yüksek ısı kaybı olduğu andaki ısıtma ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlanır. Isı kayıpları aylık ortalama dış sıcaklık ve kazançlara bağlı olarak hesaplanmış, kayıp ve kazançların üniform olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte binanın ısı kayıpları ve kazançları üniform değildir. Ay içinde ve gün içinde değişkenlik gösterir. Isıtma sistemi tasarımı için en düşük sıcaklığa göre ısı kaybının (ısıtma sistemi tasarım kapasitesinin) belirlenmesi gerekir.

En yüksek ısı kaybı, kazançların minimum ($\Phi_{s,ay} = 0$ ve $\eta_{ay} = 1$) kayıpların ise maksimum olduğu anda oluşur. En düşük dış ortam sıcaklığına göre binanın ısı kaybı aşağıdaki şekilde ifade edebilir.

$$q_{max} = H(\theta_i - \theta_d) - \Phi_{i,ay} \quad (6.5)$$

Burada H binanın özgül ısı kaybı, θ_i binanın iç ortam sıcaklığı ($\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), θ_d binanın bulunduğu bölgenin en düşük dış ortam sıcaklığı, $\Phi_{i,ay}$ ise binanın aylık ortalama iç ısı kazancı olup sabittir (Bkz. Bölüm 5).

Bir binanın ısıtma sistemi üç ana bölümden oluşur (Bkz. Bölüm 3). İlk yatırım maliyeti bu üç ana bölüm maliyetlerinin toplamıdır. Binanın ısıtma kapasitesi değiştiğinde, ısıtma sistemini oluşturan bölümlerin maliyetleri aynı oranda değişmez. Radyatör tesisatları (radyatör miktarı) ve yakma sistemi (kazan, brülör vb.) maliyeti belirgin bir şekilde değişirken iletim tesisatları daha az oranda değişir. Binanın farklı yalıtım uygulamaları sonucu değişen ısıtma kapasitesine bağlı olarak hesaplanan

ısıtma sistemi ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırılmasında; iletim tesisatları maliyetleri ihmal edilebilir. Isıtma sistemi ilk yatırım maliyeti olarak radyatör maliyetleri ve yakma sistemi (kazan, brülör. vb) maliyetlerinin toplamı alınabilir.

Yakma sistemi kazan ve yakıcıdan oluşur. Yakıcılar gaz ve sıvı yakıtlı sistemlerde brülörler, katı yakıtlı sistemlerde otomatik yükleyici veya işçidir. Farklı yakıt türlerinin yakma sistemi maliyetlerinin karşılaştırılmasında hesaplarda pratiklik sağlaması açısından yakıcı maliyetleri göz ardı edilirse, farklı yalıtım uygulamaları ve yakıt türleri için binanın en yüksek ısı kaybının olduğu duruma bağlı olarak ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$C_{tes} = C_{frad} \times q_{max} + C_{fkaz} \times q_{max} / \eta_{kaz} \quad (6.6)$$

Burada,

C_{frad} : Radyatör birim maliyeti (TL/kW)

C_{fkaz} : Yakma sistemi (kalorifer kazanı) birim maliyeti (TL/kW)

q_{max} : En düşük dış ortam sıcaklığı θ_d 'ye göre hesaplanan ısı kaybı (kW)

η_{kaz} : Kalorifer kazanı verimi

Isıtma sistemi elemanları birim maliyetlerinin hesaplanması

Yakıt türlerine göre ısıtma sistemi elemanları; doğalgaz için gaz yakıtlı çelik kalorifer kazanı ve panel radyatör, sıvı yakıt için sıvı yakıtlı çelik kalorifer kazanı ve panel radyatör, linyit kömür için ise katı yakıtlı elle yüklemeli çelik kalorifer kazanı ve panel radyatör olarak belirlenmiştir.

Isıtma sistemi birim maliyetlerinin hesaplanmasında; binanın en düşük dış ortam sıcaklığı θ_d 'ye göre hesaplanan ısı kaybı ve yakıt türüne göre belirlenen ısıtma sistemi elemanlarının 2009 yılı birim fiyatları esas alınmıştır. Bölgelerin en düşük dış ortam sıcaklığı bölge içinde yer alan bir şehrin dış ortam sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. En düşük dış ortam sıcaklığı,

1. bölge için $\theta_d = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, (Antalya),
2. bölge için $\theta_d = -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (İstanbul),
3. bölge için $\theta_d = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Konya),
4. bölge $\theta_d = -21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Erzurum) kabul edilmiştir [MMO, 1992].

Hesaplamalarda kullanılan ısıtma sistemi elemanları birim maliyetleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Kazan ve radyatör birim maliyetleri (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)

Bina dış kabuğu	Isı yalıtım bölgesi	$Q_{\max}$ (kW)	Isıtma sistemi elemanları birim maliyetleri (TL/kW)			
			Doğalgaz kazanı (C_{fkaz})	Fuel-oil kazanı (C_{fkaz})	Katı yakıt kazanı (C_{fkaz})	Panel Radyatör (C_{frad})
Tuğla duvar XPS yalıtımlı	1	43,32	47,36	46,68	63,07	78,45
	2	62,28	37,91	37,44	54,10	
	3	86,80	34,02	33,82	49,62	
	4	111,86	31,23	30,80	43,76	
Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	1	43,68	47,10	46,43	62,82	
	2	62,84	37,72	37,25	53,97	
	3	86,97	34,00	33,81	49,57	
	4	111,87	31,23	30,80	43,76	
Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	1	43,27	47,39	46,72	63,10	
	2	62,22	37,93	37,46	54,12	
	3	86,75	34,03	33,83	49,63	
	4	111,91	31,23	30,79	43,76	
Gaz beton duvar	1	125,48	29,06	28,67	42,75	
	2	174,60	25,03	25,00	40,88	
	3	248,28	23,30	23,11	39,33	
	4	321,96	21,92	21,75	36,85	
Yalıtımsız tuğla duvar	1	131,83	28,20	27,83	42,34	
	2	183,19	24,98	24,95	40,72	
	3	260,23	22,90	22,71	38,61	
	4	337,27	21,57	21,41	36,30	

Isıtma sisteminde kullanılan radyatörler, Bayındırlık ve İskân Bakanlığının 2009 yılı inşaat ve tesisat işleri birim fiyatları kitabında 165-708 birim fiyat numarası ile tanımlanan Tip 22 panel radyatör olarak belirlenmiştir. Tip 22 panel radyatörün 80°C ortalama su sıcaklığı ve 20°C ortam sıcaklığında ısı transfer gücü: 1825 Kcal/hm (2,1225 kW/m) alınmıştır [MMO, 1992]. Kalorifer kazanı ve radyatör birim maliyetleri; Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2009 yılı inşaat ve tesisat işleri kitabında

verilen kalorifer kazanı ve panel radyatör birim fiyatlarının TL/kW olarak birim maliyetlere dönüştürülmesi ile elde edilmiştir.

Dört ayrı ısı yalıtım bölgesi ve beş farklı yalıtım durumu için ısıtma sistemi ilk yatırım maliyeti,

$$C_{tes} = C_{frad} \times q_{max} + C_{fkaz} \times q_{max} / \eta_{kaz}$$

eşitliğinde Çizelge 6.3’de verilen ısıtma sistemi elemanları birim maliyetleri yerine konarak hesaplanmış ve Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Isıtma tesisatı ilk yatırım maliyetleri (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre)

BİNA	Yakıt türü	Isıtma sistemi ilk yatırım maliyeti (TL)				
		Tuğla duvar XPS yalıtımlı	Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	Doğalgaz	5627,90	5662,37	5623,33	13807,84	14383,00
	Fuel oil	5644,99	5679,60	5640,40	13841,79	14418,66
	Linyit kömürü	6612,26	6654,13	6606,71	16154,62	16909,36
2. bölge	Doğalgaz	7451,76	7505,98	7446,62	18447,51	19344,45
	Fuel oil	7476,33	7530,78	7471,17	18548,43	19450,33
	Linyit kömürü	8849,47	8919,68	8842,81	22094,23	23146,81
3. bölge	Doğalgaz	10019,43	10037,88	10014,68	25766,78	26891,84
	Fuel oil	10071,61	10090,16	10066,84	25853,53	26982,77
	Linyit kömürü	11876,28	11895,33	11871,38	30965,38	32236,49
4. bölge	Doğalgaz	12573,53	12574,03	12577,93	32929,61	34367,57
	Fuel oil	12603,79	12604,29	12608,21	33040,46	34483,69
	Linyit kömürü	14534,90	14535,56	14540,68	39215,95	40863,34

Çizelge 6.4’de hesaplanan maliyetler üç farklı yakıt (doğal gaz, fuel-oil, linyit kömürü) kullanması durumunda oluşan ısıtma sistemi ilk yatırım maliyetleridir. Isıtma sistemi ilk yatırım maliyeti kullanılan yakıt türüne bağlı olarak değişmektedir. Bina maliyetleri hesaplanırken ısıtma sistemi maliyeti ile yakıt maliyeti birlikte değerlendirilmelidir. Bir yakıt ve yakıtı kullanan sistemin ekonomikliği sadece o

yakıt veya o yakıtı kullanan sistemin fiyatının ucuzluğu ile belirlenemez. Kullanılan yakıt ve sistemin ekonomik olup olmadığının belirlenmesinde yakıt maliyeti ile sistemin maliyeti ve verimi birlikte değerlendirilmelidir.

6.2. Kullanım Süresi İçinde Oluşan Yakıt Maliyeti

Binanın yıllık yakıt maliyeti aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$C_{yak} = C_{fyak} \times B_{gy} \quad (6.7)$$

Burada sırasıyla C_{fyak} kullanılan yakıtın TL olarak birim fiyatı, B_{gy} ise yıllık kullanılan (gerçek) ısıtma enerjisine göre hesaplanan kg veya m^3 olarak yıllık yakıt miktarıdır. Bina'nın belli bir kullanım süresi (N yıl) boyunca oluşan toplam yakıt maliyetinin doğru hesaplanabilmesi, güncel yakıt maliyetine bağlı olarak N yıl boyunca olan yıllık yakıt maliyetlerinin bir güncel değer katsayısı (PV) ile çarpılarak bu günkü değere dönüştürülmesini gerektirir. Bu katsayı yıllık faiz ve enflasyon oranına bağlı olarak ifade edilmektedir. PV değeri gerçek faiz oranı ve zamana bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [Bolattürk, 2006].

$$PV = [(1 + r)^N - 1] / [r(1 + r)^N] \quad (6.8)$$

Burada PV güncel değer (bugünkü değer) katsayısı, N binanın kullanım ömrü, r ise gerçek faiz oranıdır. Gerçek faiz oranı r enflasyon oranına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [Mearing, Coffee, Morgan, 1999].

$$r = (i - g) / (1 + g) \quad (6.9)$$

Burada g enflasyon oranı, i ise güncel faiz oranıdır. Bina'nın N yıl boyunca oluşan yakıt maliyeti bugünkü fiyatlarla PV değeri kullanılarak ifade edilirse:

$$C_{Nyak} = PV \times C_{fyak} \times B_{gy} \quad (6.10)$$

eşitliği elde edilir. Burada C_{Nyak} , N yıl boyunca oluşan yakıt maliyetinin bugünkü değeridir.

6.2.1. Bugünkü değer katsayısının (PV) hesaplanması

Enflasyon ve faiz oranları yıllar itibarı ile değişkenlik gösterse de faiz ve enflasyon oranı arasında makul bir fark bulunur. Genel ekonomik duruma bağlı olarak faiz ve enflasyon arasındaki fark durgunluk olduğu dönemlerde azalır, talebin arttığı enflasyonist eğilim olduğu dönemlerde artar. Güncel faiz oranı i ve enflasyon oranı g ülkemizin 2009 yılındaki ekonomik trendi göz önünde bulundurularak belirlenmiş ve sabit kabul edilmiştir. Belirlenen güncel faiz ve enflasyon oranı aşağıda verilmiştir.

Faiz oranı (i): 13

Enflasyon oranı (g): 5,50

Kullanışlı ömür süresine bağlı olarak hesaplanan yakıt maliyetleri binanın yalıtımlı ve yalıtımsız durumunun karşılaştırılmasında kısa, orta ve uzun vadede yalıtımın karlılığının doğru biçimde belirlenmesi açısından önemlidir. Kısa vadede karlı olarak görünmeyen bir yalıtım uzun vadede karlı olabilir. Bu nedenle kısa, orta ve uzun vade olarak sırasıyla binanın 10, 20, 30 yıllık üç farklı kullanım ömrü için gerçek faiz oranı ve bugünkü değer katsayısı (PV) değerleri aşağıda hesaplanmıştır.

Gerçek faiz oranı:

$$r = (i - g)/(1 + g)$$

$$r = (0,13 - 0,055)/(1 + 0,055)$$

$$r = 0,0711 = \% 7,11$$

$N = 10$ yıllık kullanım ömrü için:

$$PV = [(1 + r)^N - 1]/[r(1 + r)^N]$$

$$PV = [(1 + 0,0711)^{10} - 1]/[0,0711(1 + 0,0711)^{10}]$$

$$PV = 6,99$$

$N = 20$ yıllık kullanım ömrü için:

$$PV = [(1 + r)^N - 1] / [r(1 + r)^N]$$

$$PV = [(1 + 0,0711)^{20} - 1] / [0,0711(1 + 0,0711)^{20}]$$

$$PV = 10,50$$

$N = 30$ yıllık kullanım ömrü için:

$$PV = [(1 + r)^{30} - 1] / [r(1 + r)^{30}]$$

$$PV = [(1 + 0,0711)^{30} - 1] / [0,0711(1 + 0,0711)^{30}]$$

$$PV = 12,27$$

6.2.2. Yakıt maliyetinin hesaplanması

Binanın yakıt maliyeti kullanılan yakıtın birim fiyatı ve PV değerine bağlıdır. Güncel yakıt fiyatları aşağıda verilmiştir.

Doğalgaz birim fiyatı: 0,7271 TL/m³

Fuel-oil birim fiyatı: 1,7900 TL/kg

Linyit kömürü birim fiyatı: 0,4544 TL/kg

Hesaplamalarda kullanılan 6000 kcal/kg alt ısı değerli linyit kömürünün birim fiyatının belirlenmesinde, 4487 kcal/kg alt ısı değerli linyit kömürünün birim fiyatı baz değer olarak alınmıştır. 4487 kcal/kg alt ısı değerli linyit kömürünün birim fiyatı 0,339840 TL/kg'dır [DGD, 2009].

Yakıt maliyeti üç farklı yakıt türü ve 10, 20, 30 yıllık kullanım süresine göre

$$C_{Nyak} = PV \times C_{fyak} \times B_{gy}$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. 10 yıllık kullanım süresi için Çizelge 6.5'de, 20 yıllık kullanım süresi için Çizelge 6.6'da, 30 yıllık kullanım süresi için Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Toplam yakıt maliyetleri (kullanım ömrü 10 yıl)

	Yakıt türü	Yakıt maliyeti 10 yıllık kullanım ömrü için (TL)				
		Tuğla duvar XPS yalıtımlı	Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	Doğalgaz	17964,74	18175,68	17936,81	74173,34	78896,31
	Fuel oil	37297,98	37735,94	37239,99	153997,00	163802,73
	Linyit kömürü	16704,72	16900,87	16678,75	68970,94	73362,65
2. bölge	Doğalgaz	41519,64	42004,75	41473,67	146456,09	154841,86
	Fuel oil	86202,14	87209,30	86106,69	304068,80	321479,16
	Linyit kömürü	38607,52	39058,60	38564,77	136183,89	143981,51
3. bölge	Doğalgaz	55788,99	55936,63	55751,05	202880,09	214183,04
	Fuel oil	115827,84	116134,37	115749,06	421215,04	444681,97
	Linyit kömürü	51876,04	52013,33	51840,76	188650,41	199160,59
4. bölge	Doğalgaz	75387,43	75392,19	75429,17	266562,39	280911,25
	Fuel oil	156517,68	156527,55	156604,33	553430,79	583221,56
	Linyit kömürü	70099,88	70104,30	70138,69	247866,14	261208,59

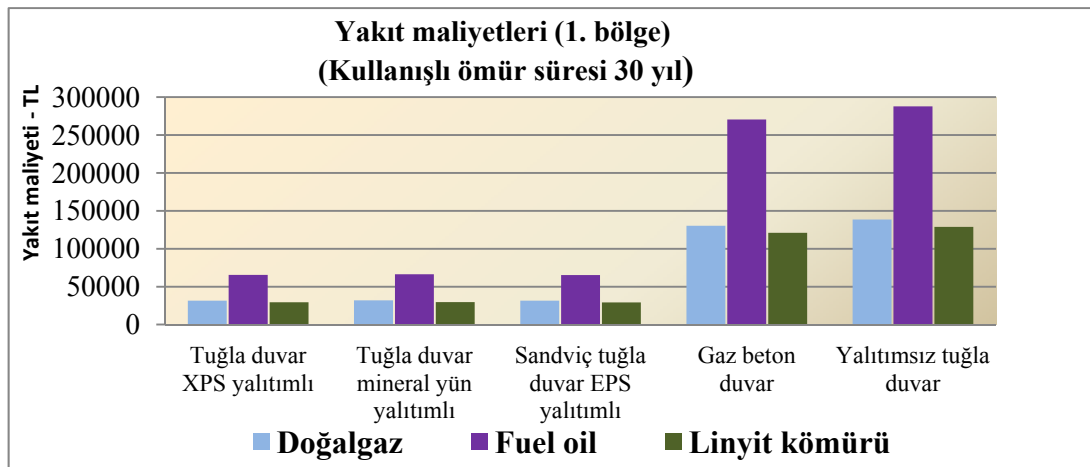
Çizelge 6.6. Toplam yakıt maliyetleri (kullanım ömrü 20 yıl)

	Yakıt maliyeti 20 yıllık kullanım ömrü için (TL)					
	Yakıt türü	Tuğla duvar XPS yalıtımlı	Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	Doğalgaz	27004,58	27321,68	26962,60	111497,32	118596,89
	Fuel oil	56066,30	56724,64	55979,14	231488,21	246228,17
	Linyit kömürü	25110,53	25405,38	25071,49	103677,08	110278,70
2. bölge	Doğalgaz	62412,30	63141,51	62343,20	220152,71	232758,20
	Fuel oil	129579,01	131092,97	129435,53	457076,06	483247,29
	Linyit kömürü	58034,81	58712,87	57970,55	204711,56	216432,92
3. bölge	Doğalgaz	83861,98	84083,92	83804,94	304969,24	321959,83
	Fuel oil	174112,35	174573,13	173993,92	633170,22	668445,70
	Linyit kömürü	77980,04	78186,41	77927,00	283579,20	299378,09
4. bölge	Doğalgaz	113322,35	113329,50	113385,09	400696,44	422265,64
	Fuel oil	235277,29	235292,13	235407,55	831916,86	876698,33
	Linyit kömürü	105374,11	105380,75	105432,44	372592,25	392648,61

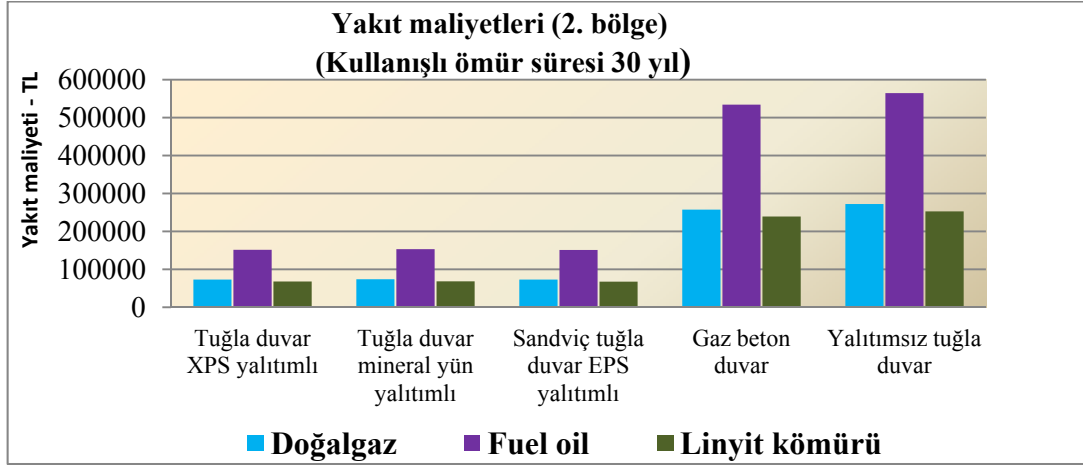
Çizelge 6.7. Toplam yakıt maliyetleri (kullanım ömrü 30 yıl)

	Yakıt türü	Yakıt maliyeti 30 yıllık kullanım ömrü için (TL)				
		Tuğla duvar XPS yalıtımlı	Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	Doğalgaz	31553,43	31923,94	31504,37	130278,73	138574,20
	Fuel oil	65510,51	66279,75	65408,67	270481,74	287704,61
	Linyit kömürü	29340,32	29684,84	29294,71	121141,19	128854,83
2. bölge	Doğalgaz	72925,48	73777,52	72844,73	257236,81	271965,66
	Fuel oil	151406,23	153175,21	151238,58	534069,22	564648,93
	Linyit kömürü	67810,61	68602,89	67735,52	239194,64	252890,43
3. bölge	Doğalgaz	97988,30	98247,62	97921,65	356340,45	376193,05
	Fuel oil	203441,08	203979,47	203302,70	739825,95	781043,48
	Linyit kömürü	91115,56	91356,69	91053,58	331347,31	349807,49
4. bölge	Doğalgaz	132411,18	132419,53	132484,49	468192,62	493395,09
	Fuel oil	274909,09	274926,42	275061,28	972050,90	1024375,68
	Linyit kömürü	123124,08	123131,84	123192,24	435354,35	458789,16

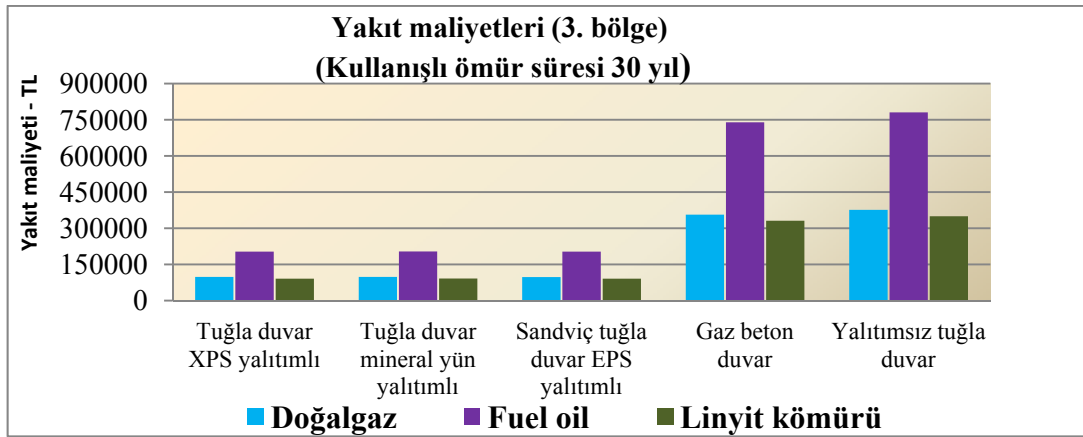
Çizelge 6.5, 6.6, ve 6.7’de verilen yakıt maliyetleri binaya uygulanan tasarruflu yakma rejimi sonucu olan gerçek yakıt tüketimine göre hesaplanmıştır. Yakıt miktarları Çizelge 5.10, 11, 12, 13’den alınmıştır (Bkz. Bölüm 5). Bina dış kabuğunun beş farklı yalıtım durumu ve kullanışlı ömür süresi 30 yıl (uzun vade) için yakıt türlerine göre hesaplanan yakıt maliyetleri ısı yalıtım bölgeleri için aşağıda verilen grafiklerde karşılaştırılmıştır.



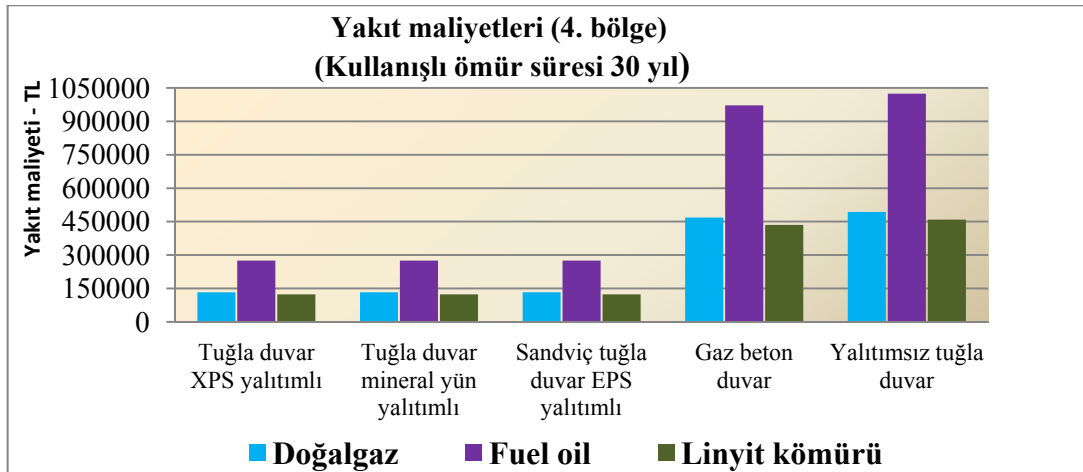
Şekil 6.1. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 1. bölgede yakıt maliyetleri



Şekil 6.2. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 2. bölgede yakıt maliyetleri



Şekil 6.3. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 3. bölgede yakıt maliyetleri



Şekil 6.4. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 4. bölgede yakıt maliyetleri

6.3. Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC – Life Cycle Cost)

Bir projenin veya yatırımın yaşam döngüsü maliyeti, yatırım maliyeti ile kullanım süresi boyunca oluşan maliyetlerin toplamından oluşur. Bu toplam maliyet, ilk yatırım maliyeti, enerji maliyetleri, bakım-onarım ve sair maliyetleri içerir. Genellikle ilk yatırım maliyetleri dışında kalan maliyetler farklı zamanlarda oluştuklarından, paranın zamana bağlı değerine göre analiz edilmeleri gerekir. LCC metodunda güncel değer katsayısı (PV) kullanılarak tüm maliyetlerinin bugünkü değeri hesaplanır ve N yıllık kullanım süresince olan toplam maliyet bulunur. Birden fazla seçenek arasında en düşük yaşam döngüsü maliyeti olan seçeneğin karlı olduğu kabul edilir [Onaygil, 2009].

Binanın N yıllık kullanım ömrü boyunca olan toplam maliyeti (yaşam döngüsü maliyeti) ilk yatırım maliyetleri ile N yıllık zamanda olan yakıt maliyetlerinin PV değerine bağlı hesaplanan bugünkü değerinin toplamından oluşur ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$C_{bina}(LCC) = C_{inş} + C_{tes} + PV \times C_{fyak} \times B_{gy} \quad (6.11)$$

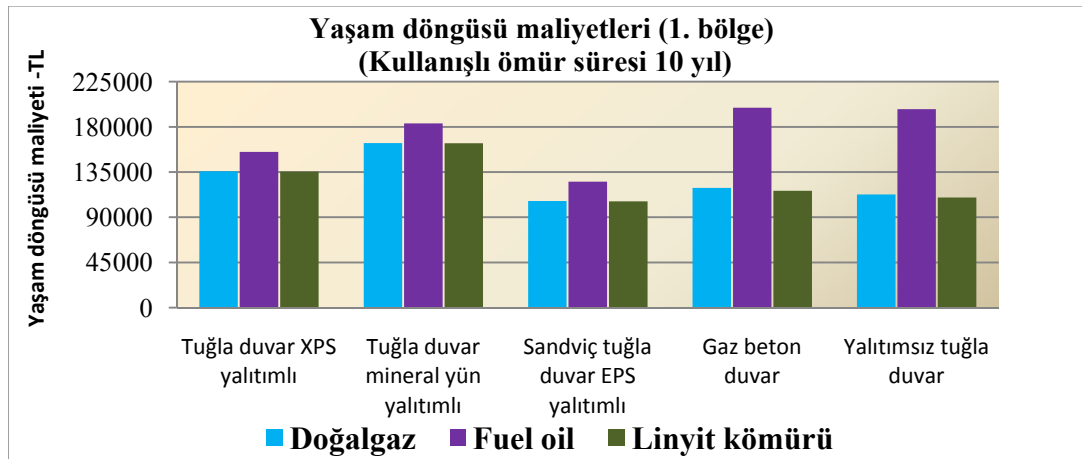
6.3.1. Yaşam döngüsü maliyetlerinin hesaplanması

Yaşam döngüsü maliyetleri Eş. 6.11 yardımı ile 10, 20, 30 yıl kullanışlı ömür süresi için Microsoft Excel ortamında hazırlanan bilgisayar programı ile yapılmıştır. Sonuçlar 10 yıllık kullanışlı ömür süresi için Çizelge 6.8’de, 20 yıllık kullanışlı ömür süresi için Çizelge 6.9’da, 30 yıllık kullanışlı ömür süresi için Çizelge 6.10’da verilmiştir. Hesaplamalarda doğal gaz, fuel-oil ve linyit kömürü için hesaplanan ısıtma sistemi ilk yatırım maliyetleri ile 10, 20, 30 yıllık kullanışlı ömür süresinde yakma rejimine göre hesaplanan gerçek yakıt tüketimi ve maliyetleri kullanılmıştır. Dört farklı ısı yalıtım bölgesi için hesaplanan yaşam döngüsü maliyetleri kısa, orta ve uzun vade olarak grafiklerle karşılaştırılmıştır.

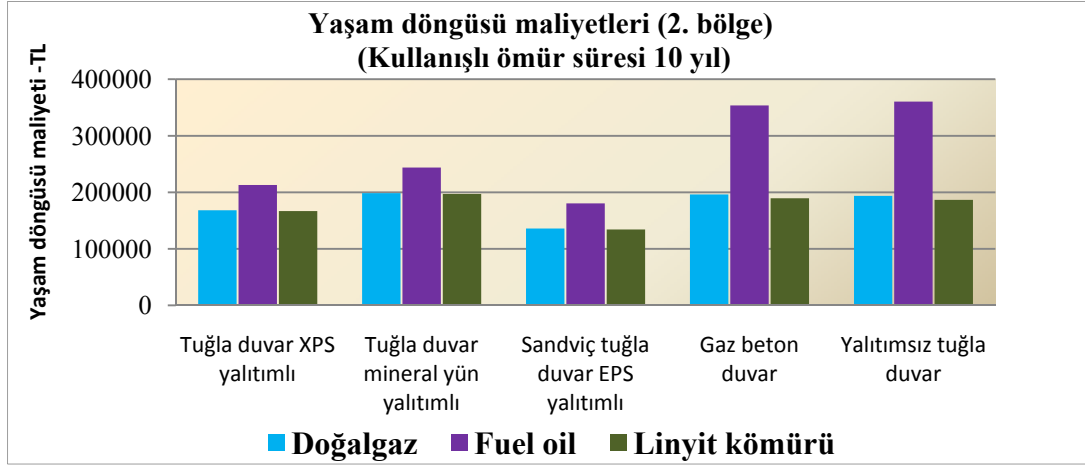
Çizelge 6.8. Yaşam döngüsü maliyetleri (kullanım ömrü 10 yıl)

	Yakıt türü	Yakıt maliyeti 10 yıllık kullanım ömrü için (TL)				
		Tuğla duvar XPS yalıtımlı	Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	Doğalgaz	135750,86	163918,36	106154,82	119176,44	112740,69
	Fuel oil	155101,20	183495,85	125475,07	199034,05	197682,78
	Linyit kömürü	135475,21	163635,32	105880,13	116320,82	109733,40
2. bölge	Doğalgaz	168233,42	198581,85	135777,26	196098,86	193647,70
	Fuel oil	212940,49	243811,20	180434,83	353812,49	360390,87
	Linyit kömürü	166719,01	197049,40	134264,56	189473,39	186589,71
3. bölge	Doğalgaz	220564,82	269002,42	173921,79	259842,13	260536,27
	Fuel oil	280655,85	329252,45	233971,95	478263,84	491126,13
	Linyit kömürü	218508,72	266936,57	171868,20	250811,05	250858,47
4. bölge	Doğalgaz	271108,13	335960,30	213199,95	330687,26	334740,20
	Fuel oil	352268,64	417125,92	294405,39	617666,51	637166,64
	Linyit kömürü	267781,95	332633,94	209872,22	318277,35	321533,32

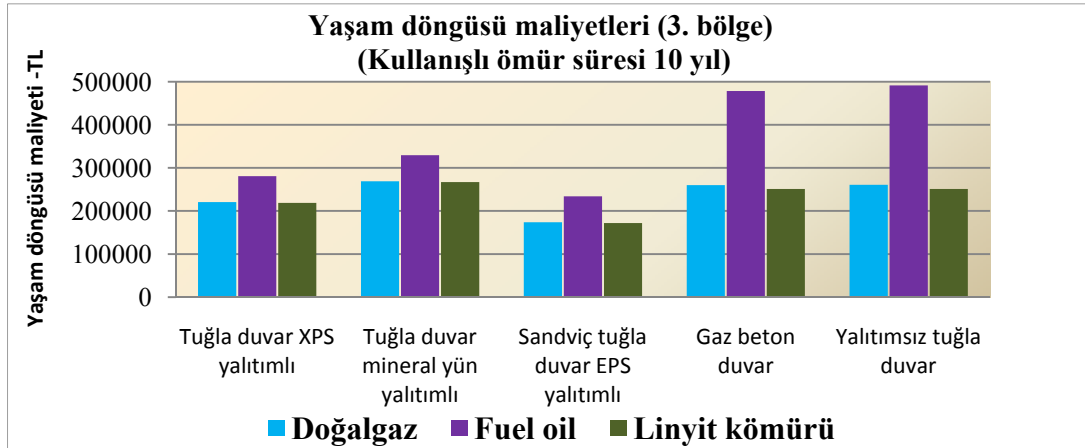
Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için (kısa vadede) yaşam döngüsü maliyetleri karşılaştırması 1. bölge için Şekil 6.5’de, 2. bölge için Şekil 6.6’da, 3. bölge için Şekil 6.7’de ve 4. bölge için Şekil 6.8’de görülmektedir.



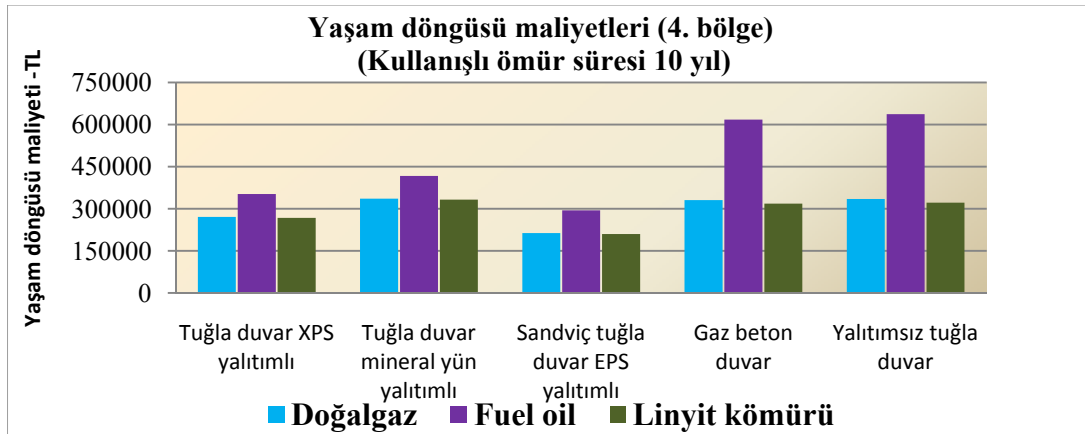
Şekil 6.5. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 1. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.6. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 2. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.7. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 3. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.8. Kullanışlı ömür süresi 10 yıl için 4. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri

Kullanışlı ömür süresi 10 yıl olduğunda (kısa vadede): 1. bölgede en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 105880,13 TL ile EPS yalıtımlı sandviç duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine doğalgaz kullanıldığında 106154,82 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. 1. bölgede ekonomik açıdan en avantajlı ikinci bina dış kabuğu yalıtımsız tuğla duvardır.

2. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 134264,56 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 135777,26 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 2. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, dış kabuğu tuğla duvar XPS yalıtımlı olan binadır.

3. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 171868,20 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 173921,79 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 3. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, tuğla duvarlı XPS yalıtımlı bina olmaktadır.

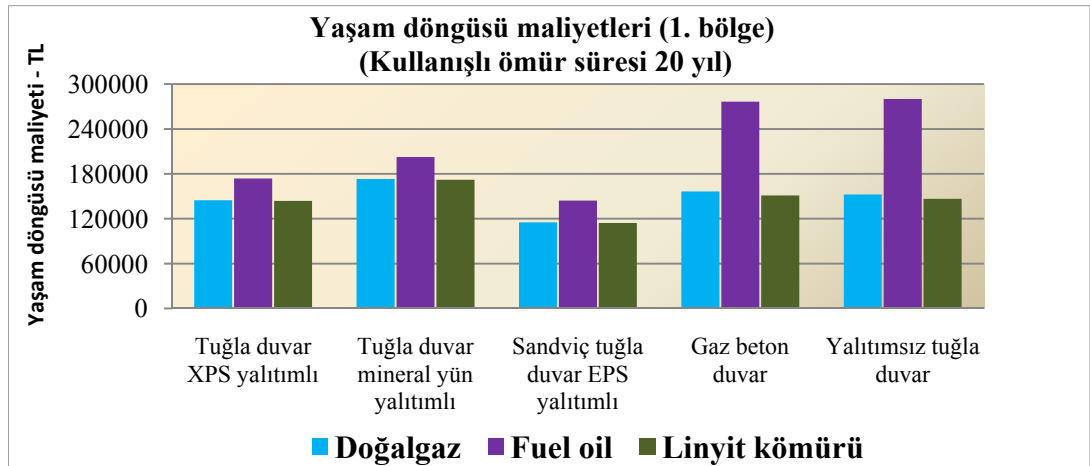
4. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 209872,22 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 213199,95 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 4. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, tuğla duvarlı XPS yalıtımlı bina olmaktadır.

Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için hesaplanan yaşam döngüsü maliyetleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

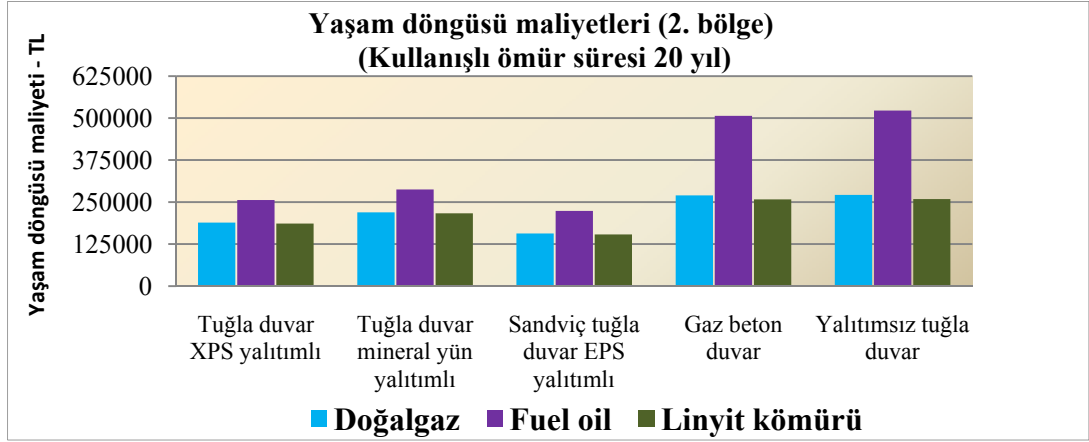
Çizelge 6.9. Yaşam döngüsü maliyetleri (kullanım ömrü 20 yıl)

	Yakıt türü	Yakıt maliyeti 20 yıllık kullanım ömrü için (TL)				
		Tuğla duvar XPS yalıtımlı	Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	Doğalgaz	144790,71	173064,35	115180,61	156500,42	152441,27
	Fuel oil	173869,52	202484,55	144214,22	276525,25	280108,22
	Linyit kömürü	143881,01	172139,83	114272,87	151026,96	146649,45
2. bölge	Doğalgaz	189126,09	219718,62	156646,79	269795,48	271564,04
	Fuel oil	256317,36	287694,87	223763,67	506819,74	522159,01
	Linyit kömürü	186146,30	216703,67	153670,33	258001,05	259041,12
3. bölge	Doğalgaz	248637,81	297149,71	201975,68	361931,28	368313,06
	Fuel oil	338940,35	387691,20	292216,82	690219,02	714889,86
	Linyit kömürü	244612,72	293109,65	197954,44	345739,84	351075,98
4. bölge	Doğalgaz	309043,04	373897,60	251155,87	464821,31	476094,59
	Fuel oil	431028,25	495890,50	373208,61	896152,58	930643,41
	Linyit kömürü	303056,17	367910,39	245165,97	443003,46	452973,34

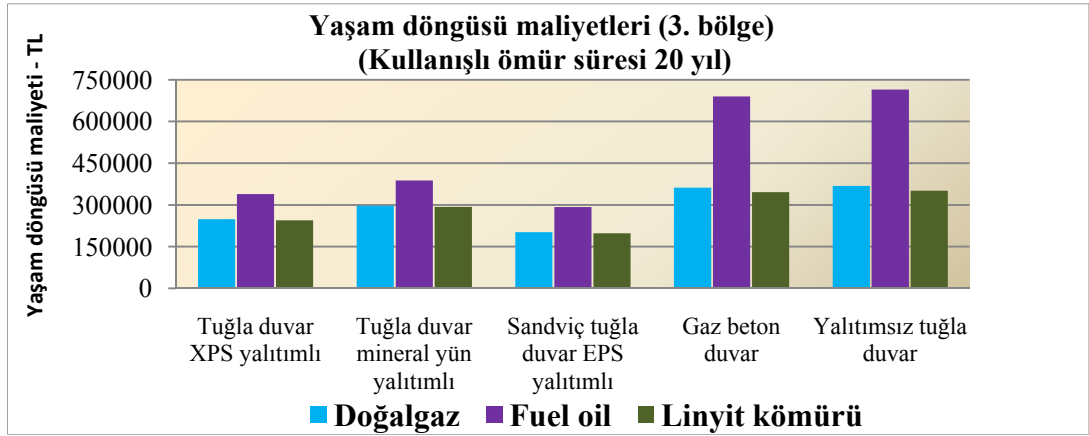
Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için (orta vade de) yaşam döngüsü maliyetleri karşılaştırması sırasıyla 1. bölge için Şekil 6.9’da, 2. bölge için Şekil 6.10’de, 3. bölge için Şekil 6.11’de, 4. bölge için Şekil 6.12’de verilmiştir.



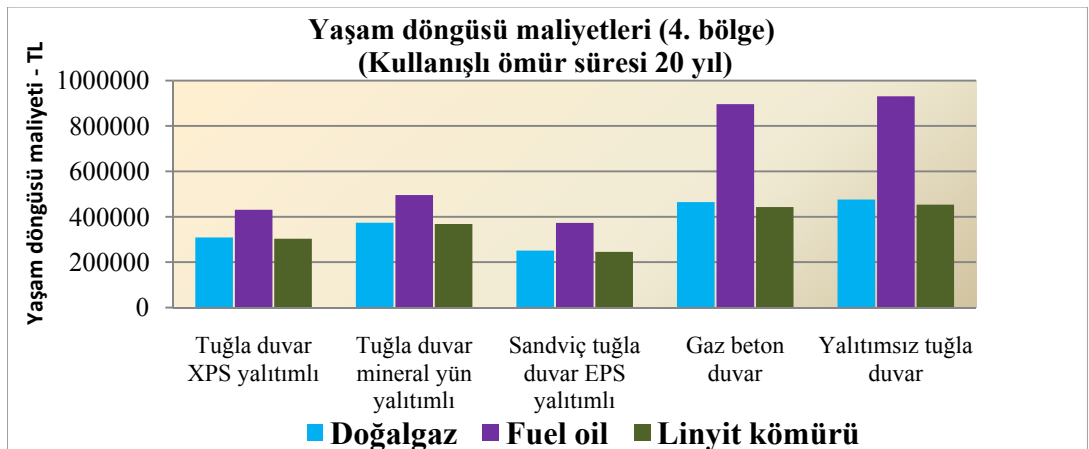
Şekil 6.9. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 1. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.10. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 2. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.11. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 3. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.12. Kullanışlı ömür süresi 20 yıl için 4. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri

Kullanışlı ömür süresi 20 yıl olduğunda (orta vadede): 1. bölgede en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 114272,87 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 115180,61 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 1. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, dış kabuğu XPS yalıtımlı tuğla duvar olan binadır.

2. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 153670,33 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 156646,79 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 2. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, dış kabuğu tuğla duvar XPS yalıtımlı olan binadır.

3. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 197954,44 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 201975,68 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 3. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, tuğla duvarlı XPS yalıtımlı bina olmaktadır.

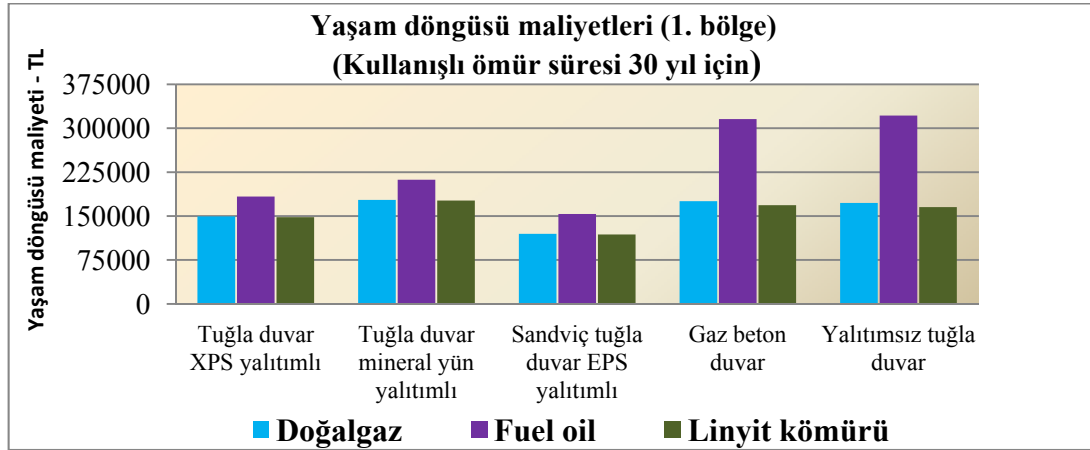
4. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 245165,97 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 251155,87 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 4. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, tuğla duvarlı XPS yalıtımlı bina olmaktadır.

Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için hesaplanan yaşam döngüsü maliyetleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

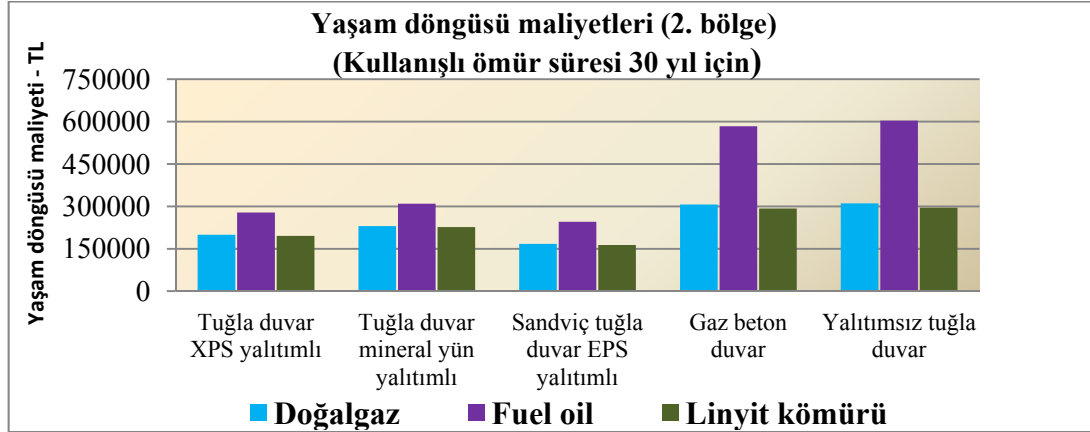
Çizelge 6.10. Yaşam döngüsü maliyetleri (kullanım ömrü 30 yıl)

	Yakıt türü	Yakıt maliyeti 30 yıllık kullanım ömrü için (TL)				
		Tuğla duvar XPS yalıtımlı	Tuğla duvar mineral yün yalıtımlı	Sandviç tuğla duvar EPS yalıtımlı	Gaz beton duvar	Yalıtımsız tuğla duvar
1. bölge	Doğalgaz	149339,55	177666,61	119722,38	175281,83	172418,58
	Fuel oil	183313,73	212039,66	153643,74	315518,79	321584,66
	Linyit kömürü	148110,81	176419,29	118496,09	168491,07	165225,58
2. bölge	Doğalgaz	199639,26	230354,63	167148,32	306879,58	310771,50
	Fuel oil	278144,58	309777,11	245566,72	583812,91	603560,65
	Linyit kömürü	195922,09	226593,69	163435,30	292484,13	295498,63
3. bölge	Doğalgaz	262764,12	311313,41	216092,39	413302,48	422546,28
	Fuel oil	368269,09	417097,55	321525,60	796874,75	827487,64
	Linyit kömürü	257748,24	306279,93	211081,03	393507,95	401505,37
4. bölge	Doğalgaz	328131,87	392987,64	270255,27	532317,49	547224,04
	Fuel oil	470660,04	535524,80	412862,34	1036286,62	1078320,76
	Linyit kömürü	320806,14	385661,48	262925,77	505765,57	519113,89

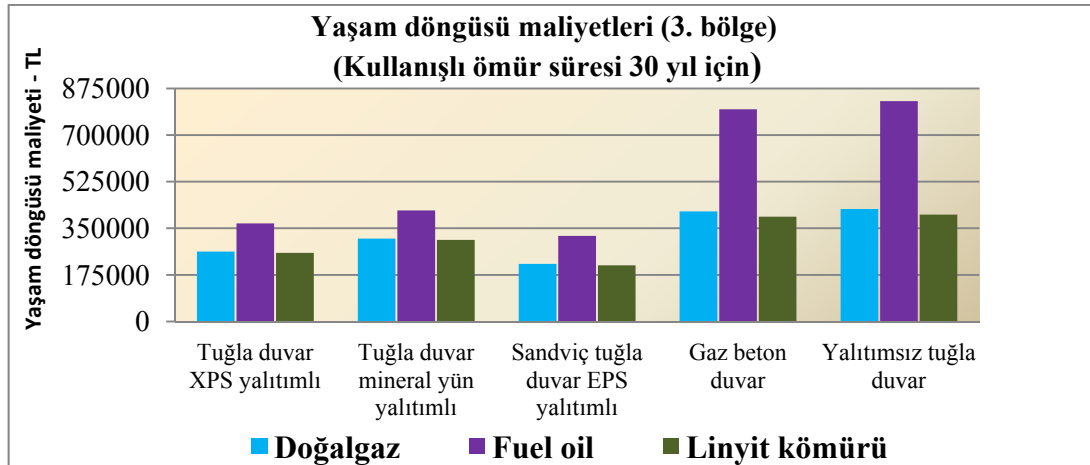
Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için (uzun vade de) yaşam döngüsü maliyetleri karşılaştırılması sırasıyla 1. bölge için Şekil 6.13’de, 2. bölge için Şekil 6.14’de, 3. bölge için Şekil 6.15’de, 4. bölge için Şekil 6.16’da verilmiştir.



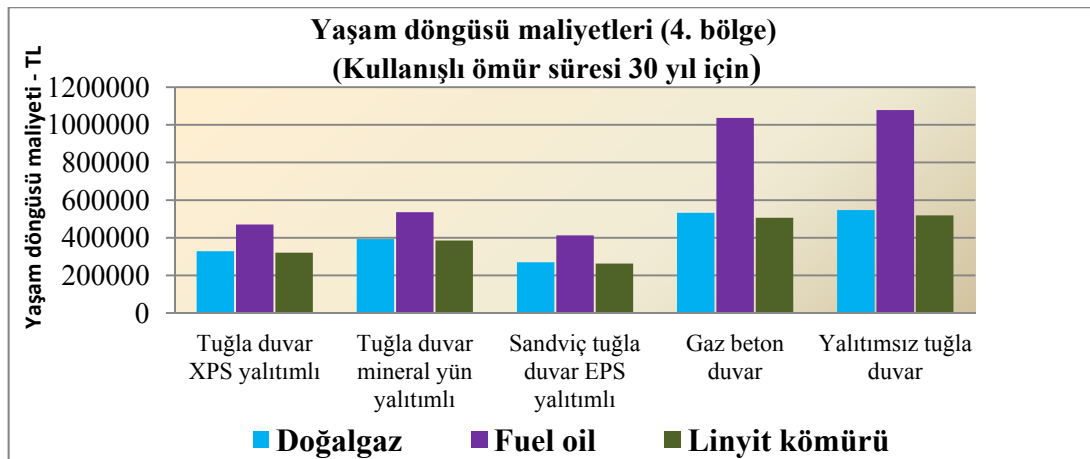
Şekil 6.13. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 1. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.14. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 2. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.15. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 3. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri



Şekil 6.16. Kullanışlı ömür süresi 30 yıl için 4. bölgede yaşam döngüsü maliyetleri

Kullanışlı ömür süresi 30 yıl olduğunda (uzun vade de): 1. bölgede en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 118496,09 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 119722,38 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 1. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, linyit kömürü kullanıldığında dış kabuğu yalıtımsız tuğla duvar olan bina, doğalgaz kullanıldığında ise XPS yalıtımlı tuğla duvarlı bina olmaktadır.

2. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 163435,30 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 167148,32 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 2. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, dış kabuğu tuğla duvar XPS yalıtımlı olan binadır.

3. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 211081,03 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 216092,39 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 3. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, tuğla duvarlı XPS yalıtımlı bina olmaktadır.

4. bölge için en düşük yaşam döngüsü maliyeti linyit kömürü kullanıldığında 262925,77 TL ile EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada olmaktadır. İkinci en düşük yaşam döngüsü maliyeti ise yine EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarlı binada 270255,27 TL ile doğalgaz kullanıldığında olmaktadır. 4. bölgede ekonomik açıdan ikinci en avantajlı bina, tuğla duvarlı XPS yalıtımlı bina olmaktadır.

7. ISI YALITIM BÖLGELERİNDE OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ HESABI

Isı yalıtım bölgelerinin aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları ve belirlenen denge sıcaklığı (T_b) referans alınarak, bölgelerin ısıtma sezonu DG değerleri hesaplanabilir. Bölgeler için belirlenen DG değerine bağlı olarak birim duvar yüzeyinin ısı kaybı ve yalıtım kalınlığı bulunabilir. Toplam DG değeri Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 ile hesaplanır.

$$\text{Eğer } (T_o \leq T_b) \text{ ise, } DG = \sum_1^N (T_i - T_o) \quad (4.1)$$

$$\text{Eğer } (T_o > T_b) \text{ ise, } DG = 0 \quad (4.2)$$

Eşitliklerde,

T_i : İç ortam tasarım sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

T_o : Isı yalıtım bölgesinin aylık ortalama dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

T_b : Denge sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

7.1. Isı Yalıtım Bölgelerinin DG Değerinin Hesabı

Genel olarak yaşam mekânı olan kapalı ortamlarla dış ortam arasında 3°C sıcaklık farkının bulunduğu, bu farkın güneş enerjisi ve iç kazançlardan kaynaklandığı literatürde belirtilmektedir (Bkz. Bölüm 4). Denge sıcaklığı ise binanın ısı kayıpları ile kazançlarının eşit olduğu sıcaklıktır. Denge sıcaklığı (T_b) bina iç ortam tasarım sıcaklığına (T_i) bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$T_b = T_i - 3$$

Bina iç ortam tasarım sıcaklığı $T_i = 20^{\circ}\text{C}$ olduğundan,

$$T_b = 20 - 3 = 17^{\circ}\text{C}$$

bulunur.

Isı yalıtım bölgeleri için ısıtma dönemi DG değeri, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\text{Eğer } (T_o \leq T_b) \text{ ise, } DG = 30 \sum_1^{12} (T_i - T_o) \quad (7.1)$$

$$\text{Eğer } (T_o > T_b) \text{ ise, } DG = 0 \quad (7.2)$$

Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı (T_o) ve denge sıcaklığına ($T_b=17^\circ\text{C}$) bağlı olarak, ısı yalıtım bölgeleri için DG değerleri Eş. 7.1 ve Eş. 7.2 kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

Birinci bölgede Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim aylarının ortalama dış ortam sıcaklıkları $T_o > T_b = 17^\circ\text{C}$ olduğundan bu aylarda ısıtma olmadığı ve $DG = 0$ olduğu kabul edilerek ısıtma sezonu DG değeri:

$$DG_{1\text{bölge}} = 30[(20 - 8,4) + (20 - 9) + (20 - 11,6) + (20 - 15,8) + (20 - 13) + (20 - 9,3)]$$

$$DG_{1\text{bölge}} = 1587$$

İkinci bölgede Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının ortalama dış ortam sıcaklıkları $T_o > T_b = 17^\circ\text{C}$ olduğundan bu aylarda ısıtma olmadığı ve $DG = 0$ olduğu kabul edilerek ısıtma sezonu DG değeri:

$$DG_{2\text{bölge}} = 30[(20 - 2,9) + (20 - 4,4) + (20 - 7,3) + (20 - 12,8) + (20 - 14,1) + (20 - 8,5) + (20 - 3,8)]$$

$$DG_{2\text{bölge}} = 2586$$

Üçüncü bölgede Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının ortalama dış ortam sıcaklıkları $T_o > T_b = 17^\circ\text{C}$ olduğundan bu aylarda ısıtma olmadığı ve $DG = 0$ olduğu kabul edilerek ısıtma sezonu DG değeri:

$$DG_{3\text{bölge}} = 30[(20 - (-0,3)) + (20 - 0,1) + (20 - 4,1) + (20 - 10,1) + (20 - 14,4) + (20 - 11,6) + (20 - 5,6) + (20 - 1,3)]$$

$$DG_{3bölge} = 3393$$

Dördüncü bölgede Haziran, Temmuz, Ağustos aylarının ortalama dış ortam sıcaklıkları $T_o > T_b = 17\text{ °C}$ olduğundan bu aylarda ısıtma olmadığı ve $DG = 0$ olduğu kabul edilerek ısıtma sezonu DG değeri:

$$DG_{4bölge} = 30[(20 - (-5,4)) + (20 - (-4,7)) + (20 - 0,3) + (20 - 7,9) + (20 - 12,8) + (20 - 10,3) + (20 - 3,1) + (20 - 16,5) + (20 - (-2,8))]$$

$$DG_{4bölge} = 4260$$

7.2. Isı Kaybı ve Yakıt Tüketimi Hesabı

Birim yüzeyden olan ısı kaybı Eş. 4.4 ile yıllık ısı kaybı ise Eş. 4.5 ile hesaplanır.

$$q = U(T_i - T_o) \quad (4.4)$$

$$q_{yıl} = 86400 \times DG \times U \quad (4.5)$$

Birim yüzeyinden olan ısı kaybı sebebiyle, ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı Eş. 4.6 kullanılarak hesaplanır (Bkz. Bölüm 4).

$$E_{yıl} = 86400 \times DG \times U / \eta \quad (4.6)$$

Burada, η ısıtma sisteminin verimidir.

Yalıtımlı bir duvarın toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

$$U_D = 1/(R_i + R_d + x / \lambda + R_e) \quad (7.3)$$

Burada,

R_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m^2K/W)

R_d : Duvarı oluşturan yalıtımsız tabakaların toplam ısı iletim direnci (m^2K/W)

x : Yalıtım malzemesinin kalınlığı (m)

λ : Yalıtım malzemesinin ısı transfer katsayısı (W/mK) :

R_e : Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m^2K/W)

Eş. 7.3’de yalıtım malzemesinin kalınlığı dışındaki parametreler sabittir. Sabit olan parametreler dikkate alınarak Eş. 7.3 düzenlenirse duvarın ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

$$U_D = 1/(R_{t,w} + x / \lambda) \quad (7.4)$$

Burada $R_{t,w}$ yalıtımlı duvarı oluşturan yalıtımsız tabakaların toplam ısı iletim dirençleri ile duvarın iç ve dış yüzeylerinin yüzeysel ısı taşınım dirençlerinin toplamıdır.

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Eş. 7.4 dikkate alınarak düzenlenirse aşağıdaki hali alır.

$$E_{yıl} = \frac{86400 \times DG}{\eta(R_{t,w} + x/\lambda)} \quad (7.5)$$

Birim yüzey alanından olan ısı kaybı sebebiyle ısıtma için gerekli olan yakıt tüketimi, birim yüzeyin yıllık enerji ihtiyacının seçilen yakıt türünün alt ısı değerine (H_u) bölünmesi ile hesaplanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$B_{my} = \frac{86400 \times DG}{H_u \times \eta(R_{t,w} + x/\lambda)} \quad (7.6)$$

Burada B_{my} yıllık birim yakıt tüketimidir. Birimi doğalgaz için (m^3/m^2), sıvı ve katı yakıtlar için (kg/m^2)’dir.

N yıl boyunca olan toplam birim yakıt maliyeti ise bu günkü değer katsayısına (PV) bağlı olarak Eş. 7.7 ile hesaplanabilir.

$$C_{Nmy} = \frac{86400 \times DG \times PV \times C_{fyak}}{H_u \times \eta (R_{t,w} + x/\lambda)} \quad (7.7)$$

7.3. Yalıtım Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesabı

Yalıtım maliyeti (C_{ym}) yalıtım malzemesinin birim fiyatına ve kalınlığına bağlı olarak Eş. 7.8’da verilen denklemlerle hesaplanır [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

$$C_{ym} = C_{mlz} \cdot x \quad (7.8)$$

Burada, C_{mlz} yalıtım malzemesinin TL/m³ olarak birim fiyatı, x ise m olarak yalıtım malzemesi kalınlığıdır.

Duvarın toplam ısıtma maliyeti, yakıt maliyeti ile duvarı oluşturan tabakaların ve birim duvar yüzeyi için gereken ısıtma sistemi maliyetlerinin toplamından oluşur.

Yalıtımsız tabakaların ve ısıtma sisteminin maliyetleri ihmal edilirse, yalıtım kalınlığına bağlı olarak duvarın toplam ısıtma maliyeti (C_t) Eş. 7.9 ile hesaplanabilir [Dağsöz ve Bayraktar, 1995].

$$C_t = \frac{86400 \times DG \times PV \times C_{fyak}}{H_u \times \eta (R_{t,w} + x/\lambda)} + C_{mlz} \cdot x \quad (7.9)$$

Optimum yalıtım kalınlığı Eş. 7.9’da verilen toplam ısıtma maliyeti denkleminin (x) göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse elde edilir [Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2009].

$$\frac{dC_t}{dx} = 0$$

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{86400 \times DG \times PV \times C_{fyak}}{H_u \times \eta (R_{t,w} + x/\lambda)} + C_{mlz} \cdot x \right] = 0 \quad (7.10)$$

Eş. 7.10'da verilen denklemi sıfır yapan yalıtım kalınlığı değeri ($x = x_{opt}$) olarak ifade edilir. Eş. 7.10 çözülür ve x 'e göre düzenlenirse optimum yalıtım kalınlığını (x_{opt}) veren Eş. 7.11 denklemi elde edilir [Dağsöz ve Bayraktar, 1995].

$$x_{opt} = 293,94 \left[\frac{DG \times PV \times C_{fyak} \times \lambda}{H_u \times C_{mlz} \times \eta} \right]^{1/2} - \lambda \times R_{t,w} \quad (7.11)$$

7.4. Isı Yalıtım Bölgelerinde Farklı Yalıtım Durumları için Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Bu bölümde, ısı yalıtım bölgeleri ve iki farklı yakıt türü (doğalgaz ve linyit kömürü) için Şekil 5.3'de verilen (Bkz. Bölüm 5) üç farklı yalıtımlı duvar tipinin (XPS yalıtımlı tuğla duvar, mineral yün yalıtımlı tuğla duvar ve EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvar) optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Optimum ısı yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

PV: 12,27 (N = 30 yıl için, Bölüm 6'da hesaplanmıştır.)

Doğalgaz birim fiyatı (C_{fyak}) : 0,7271 TL/m³

Doğalgazın alt ısı değeri (H_u) : 34535×10³ Joule/m³

Isıtma sisteminin verimi (doğalgaz - η) : 0,92

Linyit kömürü birim fiyatı (C_{fyak}) : 0,4544 TL/kg

Linyit kömürünün alt ısı değeri (H_u) : 25122×10³ Joule/kg

Isıtma sisteminin verimi (liniyit kömürü - η) : 0,85

XPS birim fiyatı (C_{mlz}) : 225 TL/m³ (EK-2)

EPS birim fiyatı (C_{mlz}) : 135 TL/m³ (EK-2)

Mineral yün (cam yünü-100 kg/m³) birim fiyatı (C_{mlz}) : 271,43 TL/m³ (EK-2)

XPS'in ısı iletim katsayısı (λ) : 0,035 W/mK

EPS'nin ısı iletim katsayısı (λ) : 0,035 W/mK

Mineral yün (cam yünü-100 kg/m³) ısı iletim katsayısı (λ) : 0,040 W/mK

$R_{t,w} = 0,615 \text{ m}^2\text{K/W}$ (tuğla duvar için)

$R_{t,w} = 0,691 \text{ m}^2\text{K/W}$ (sandviç tuğla duvar için)

$R_{t,w} = 0$ (Betonarme kolon- kiriş için)

Eş. 7.11 kullanılarak doğalgaz ve linyit kömürü için ısı yalıtım bölgelerinde optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış ve TS 825'e göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları ile birlikte Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Taşıyıcı olmayan tuğla duvarlar için ısı yalıtım bölgelerinde kullanışlı ömür süresi 30 yıla göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve TS 825 göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları

		Optimum ısı yalıtım kalınlığı (m)					TS 825'e göre hesaplanan ısı yalıtım kalınlığı (m)		
		Tuğla duvar			Sandviç tuğla duvar (ortadan yalıtım)		Tuğla duvar		Sandviç tuğla duvar
		EPS yalıtımlı	XPS yalıtımlı	Cam yünü yalıtımlı	EPS yalıtımlı	XPS yalıtımlı	XPS yalıtımlı	Cam yünü yalıtımlı	EPS yalıtım
1. bölge	Doğalgaz	0,078	0,056	0,051	0,076	0,051	0,10	0,11	0,10
	L. kömürü	0,075	0,053	0,048	0,072	0,048			
2. bölge	Doğalgaz	0,106	0,077	0,072	0,103	0,075	0,11	0,12	0,11
	L. kömürü	0,101	0,074	0,068	0,099	0,071			
3. bölge	Doğalgaz	0,125	0,092	0,086	0,122	0,089	0,16	0,18	0,16
	L. kömürü	0,119	0,088	0,082	0,117	0,085			
4. bölge	Doğalgaz	0,140	0,105	0,099	0,139	0,103	0,20	0,23	0,20
	L. kömürü	0,135	0,101	0,094	0,134	0,098			

Çizelge 7.2 Taşıyıcı betonarme (kolon-kiriş) duvarlar için ısı yalıtım bölgelerinde kullanışlı ömür süresi 30 yıla göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve TS 825 göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları

		Optimum ısı yalıtım kalınlığı (m)			TS 825'e göre hesaplanan ısı yalıtım kalınlığı (m)		
		XPS yalıtımlı betonarme (kolon-kiriş)	Cam yünü yalıtımlı betonarme (kolon-kiriş)	EPS yalıtımlı betonarme (kolon-kiriş)	XPS yalıtımlı betonarme (kolon-kiriş)	Mineral yün yalıtımlı betonarme (kolon-kiriş)	EPS yalıtımlı betonarme (kolon-kiriş)
1.bölge	Doğalgaz	0,067	0,064	0,090	0,10	0,11	0,10
	L. kömürü	0,064	0,061	0,086			
2. bölge	Doğalgaz	0,089	0,084	0,117	0,11	0,12	0,11
	L. kömürü	0,085	0,081	0,113			
3. bölge	Doğalgaz	0,103	0,098	0,136	0,16	0,18	0,16
	L. kömürü	0,099	0,094	0,131			
4. bölge	Doğalgaz	0,117	0,112	0,153	0,20	0,23	0,20
	L. kömürü	0,112	0,107	0,148			

Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2 incelendiğinde TS 825'e göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları yüksek, optimum yalıtım kalınlıkları ise daha düşük bulunmuştur. TS 825 göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları ile optimum yalıtım kalınlıkları arasında dikkate değer bir fark vardır. Bu farkın tuğla duvarlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni TS 825 hesap metodunda hacimden olan ısı kaybının dikkate alınarak yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve ısı yalıtım bölgelerinde yıllık ısı kaybının sınırlandırılmasıdır. TS 825 hesap metodunda binanın özgül ısı kaybı, yapı kabuğu özgül ısı kaybı (iletimsel ısı kaybı) ve havalandırmadan kaynaklanan ısı kaybının toplamından oluşur. Yalıtım kalınlıkları havalandırmadan kaynaklanan ısı kaybını da içerir. Bu nedenle yüksek bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlıkları ise sadece yapı kabuğundan olan ısı kayıplarını içerdiğinden daha düşük kalınlıklarda çıkmaktadır.

Tuğla duvarların TS 825'e göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları ile optimum yalıtım kalınlıkları arasındaki farkın daha yüksek olmasının nedeni ise çalışmamızda analiz edilen binanın tüm yapı elemanlarının aynı kalınlıkta yalıtılmış olmasıdır. Betonarme yapı elemanları ve ısı kaybı yüksek olan tavan ve taban daha yüksek kalınlıkta yalıtılırsa, tuğla duvarlara uygulanan yalıtım kalınlığı düşecek ve TS 825 göre hesaplanan yalıtım kalınlığı ile optimum yalıtım kalınlığı arasındaki fark azalacaktır.

Isı transfer katsayısı yüksek olan betonarme elemanların optimum yalıtım kalınlığı daha yüksek, ısı transfer katsayısı düşük olan tuğla duvarların optimum yalıtım kalınlığı daha düşüktür. Yalıtılacak yapı elemanının ısı transfer katsayısı düşükçe optimum yalıtım kalınlığı azalmaktadır. Binalarda ısı transfer katsayısı yüksek olan betonarme elemanların öncelikle ve daha yüksek kalınlıklarda yalıtılması gerektiği görölmektedir.

En düşük optimum yalıtım kalınlığı 1. bölgede 5,1 cm ile mineral yün yalıtımlı tuğla duvarda linyit kömürü kullanıldığında elde edilmiştir. 1. bölgede yine linyit kömürü kullanıldığında XPS yalıtımlı tuğla duvarda yalıtım kalınlığı 5,3 cm, EPS yalıtımlı sandviç tuğla duvarda yalıtım kalınlığı ise 7,2 cm hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesinin fiyatı arttıkça optimum yalıtım kalınlığı düşmektedir. Yalıtım kalınlığının düşmesi daha fazla ısı kaybı ve yakıt tüketimine neden olur.

Yapı elemanlarının TS 825 göre hesaplanan yalıtım kalınlıkları, optimum yalıtım kalınlıklarına göre daha yüksektir. Bu durum ilk yatırım maliyetlerinin artmasına neden olur. Ancak yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu azalmasına olumlu katkı sağlar.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nüfusu hızlı artan şehirlerimizde oluşan konut ve hizmet binaları açığı, bina yapımında geri dönüşü yıllarca sürecektir olan yalıtım maliyetine katlanılmasını gereksiz kılmıştır. Bu yaklaşım kalitesiz ve yüksek enerji maliyetli binalardan oluşan şehirleri ortaya çıkarmıştır. Yakıt maliyetlerindeki yükselme ve yalıtımsız binalardaki aşırı yakıt tüketimi hava kirliliğini beraberinde getirmiştir. Oysa enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal eden bir ülkenin öncelikli politikası birim enerji tüketimini azaltmak olmalıdır. Bu itibarla enerji tüketiminde dışa bağımlılığı azaltacak ve çevreyi daha az kirletecek çözüm metodlarının geliştirilmesi zorunludur. Bu çalışmada seçilen örnek okul binası dış kabuğunun yalıtımlı ve yalıtımsız olmak üzere beş farklı durumu ile üç farklı yakıt kullanılması sonucu ısı yalıtım bölgelerinde oluşan ısı kaybı, yakıt tüketimi, CO₂ emisyonu ve maliyetler irdelenmiştir.

Yürürlükteki ısı yalıtım kurallarına uygun olarak belirlenen binanın üç farklı yalıtımlı (tuğla duvar XPS yalıtım, tuğla duvar mineral yün yalıtım, sandviç tuğla duvar EPS yalıtım) durumunda, binanın iki farklı yalıtımsız durumuna göre tüm bölgelerde ısı kaybı, yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu önemli ölçüde azalmıştır.

Tüm bölgelerde ısı yalıtım kurallarına uygun olarak hesaplanan yalıtım kalınlıkları, dış kabuğun tuğla duvar XPS yalıtım ve sandviç tuğla duvar EPS yalıtım olması durumunda aynı olmuş, tuğla duvar mineral yün yalıtım durumunda ise daha yüksek bulunmuştur. Bina dış kabuğunun yalıtımsız tuğla duvar olması durumunda toplam ısı kaybının % 11'i taşıyıcı olmayan duvarlardan olmaktadır. Taşıyıcı olmayan duvarların yalıtımsız tuğla yerine gaz beton yapılması durumunda taşıyıcı olmayan duvarlardan olan ısı kaybı % 45 azalmıştır. Toplam ısı kaybında ise yaklaşık % 5'lik bir azalma meydana getirmiştir.

Kısa, orta ve uzun vadede tüm ısı yalıtım bölgelerinde yalıtım karlıdır. Yaşam döngüsü maliyetleri açısından uzun vadede en avantajlı bina dış kabuğu, tüm

bölgeler için sandviç tuğla duvar ve EPS yalıtım olarak belirlenmiştir. İkinci en avantajlı yapı kabuğu ise tuğla duvar ve XPS yalıtımıdır.

En düşük yakıt maliyeti 1. bölgede, en yüksek yakıt maliyeti 4. bölgede olmaktadır. Tüm ısı yalıtım bölgelerinde en ekonomik yakıt linyit kömürü ikinci ekonomik yakıt ise doğalgaz'dır. Linyit kömürü maliyeti ile doğalgaz maliyeti birbirine yakın değerler olurken, fuel-oil kullanılması durumunda yakıt maliyeti iki kattan daha fazla artmaktadır. Isı kaybı yalıtımsız durumlarda yalıtımlı durumlara göre yaklaşık dört kat daha fazladır. Isı kaybının yüksek olması daha fazla yakıt tüketimi, çevre kirliliği ve ısıtma sisteminin daha büyük kapasitede tasarlanmasına neden olur.

En düşük CO₂ emisyonu doğalgaz kullanıldığında 1. bölgede olmaktadır. En yüksek CO₂ emisyonu 4. bölgede linyit kömürü kullanıldığında ortaya çıkmaktadır.

Binaların yürürlükteki ısı yalıtım kurallarına göre yalıtılması ile ekonomik kazanç elde edilebilir ve ısıtma kaynaklı çevre kirliliği azaltılabilir. Isıtma sistemlerinin yakma rejimine uygun çalıştırılması ile de yakıt tasarrufu ve CO₂ emisyonu azalması sağlanabilir.

Çalışmamızda analiz edilen binada, yapı kabuğunun %44'ünü tavan ve taban oluşturmaktadır. Binanın yalıtımsız tuğla duvarlı durumunda, yapı kabuğu özgül ısı kaybının % 38'i tavan ve tabandan olmaktadır. Bu yapı elemanlarına uygulamada daha yüksek yalıtım kalınlığı seçmek daha pratik ve uygundur. Tavan ve tabana uygulanacak yüksek yalıtım kalınlığı diğer opak yapı elemanlarındaki yalıtım kalınlığını düşürecektir.

Yüksek yalıtım kalınlığı ilk yatırım maliyetlerini artırmış ve pratikte yapılabilirliği zor yapı elemanlarını ortaya çıkarmıştır. Bu durum ısı transfer katsayısı düşük ve fiyatı gaz betondan daha ucuz olan yekpare bir yapı malzemesi üretimine ihtiyacı beraberinde getirmektedir. Bu özelliklere sahip yapı malzemeleri üretiminin teşvik edilmesi gerekir.

KAYNAKLAR

Anon, ‘‘Energy conservation-design resource handbook’’, *The Royal Architectural Institute of Canada*, Ottawa, 9 (1979).

Akgün G., Dilmaç Ş., ‘‘Isı köprüsü problemlerinde kullanılan matematik modellerin karşılaştırılması’’, *itüdergisi/d Mühendislik*, 5(4): 3-16 (2005).

Aytaç, A. ve Aksoy U.T., ‘‘Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyet ilişkisi’’, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4): 753-758 (2006).

Bayer G., ‘‘Binalarda uygulanan ısı yalıtım sistemleri ve örnek bir projede ısı yalıtım maliyet analizi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 12, 58 (2006).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, ‘‘Madde 13-17’’, *5 Aralık 2008 tarih ve 27075 sayılı Resmi Gazete*, (2008).

Bolattürk A., ‘‘Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey’’, *Applied Thermal Engineering* 26, 1301-1309 (2006).

Büyükalaca O., Bulut H., YILMAZ T., ‘‘Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey’’, *Applied Energy* 69: 269-283 (2001).

Dağsöz, A. K., Bayraktar, K., ‘‘Türkiye’de Derece-Gün Sayıları ve Enerji Politikamız’’, *İzocam Yayınları*, A-8, (1995)

Dilmaç Ş., ‘‘Yeni TS 825’de önerilen hesap metodunun değerlendirilmesi’’, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, (1): 110 (1999).

Doğal Gaz Dergisi, ‘‘Çeşitli yakıtların maliyet karşılaştırma tablosu’’, Eylül, 10 (2009).

Erensan Isı Tekniği ve Sanayi ve Ticaret A.Ş., ‘‘Ürün katalogları’’, 1- 6 (2008)

Ertaş K., ‘‘Isı yalıtım malzemeleri ve ısı yalıtım detayları’’, *İzolasyon Dünyası Dergisi*, 33, 18-23 (2002)

Gültekin M.L., Kadioğlu M., ‘‘Marmara bölgesinde ısıtma soğutma derece - günlerinin dağılımı’’, *Tesisat mühendisliği dergisi*, Temmuz-Ağustos, 33-34 (1996).

2009 Yılı İnşaat ve Tesisat İşleri Birim Fiyatları, *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, (2009).

İZODER, ‘‘TS 825 hesap programı yardım bölümü’’, 31-32, *Isı Su Ses ve Yangın İzolasyoncuları Derneği* <http://www.izoder.org.tr> (2009).

İnternet: Onaygil S., ‘‘Ekonomik analiz ve geri dönüşüm maliyeti’’, 15-16 http://atlas.cc.itu.tr/~onaygil/ebt535_maliyet_analizi.pdf, (2009).

İnternet: Toksoy M. ve ark., ‘‘Konutlarda enerji performansı standart değerlendirme metodu’’, 24-25 (2008) <http://web.iyte.edu.tr/~geocen/kep-sdm/doc1.pdf> (2009).

İnternet: TGÜB, ‘‘Türkiye Gazbeton Üreticileri Birliği’’ <http://www.tgub.org.tr> (2009).

Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları, *Makina Mühendisleri Odası*, 44, 127 (1992).

Karakoç T.H., ‘‘Uygulamalı TS825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı’’, *İzocam yayınları*, 26, 82 (2001).

Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz R., ‘‘Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı’’, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 110, 19-24 (2009).

Kubuş Isı Cihazları, ‘‘Ürün katalogları ve kazan verim deney raporları’’, 1- 3 (2008).

Mearing T., Coffee N., Morgan M., ‘‘Life cycle cost analysis handbook’’, State of Alaska, *Department of Education and Early Development Education Support Services / Facilities*, 1 st ed., (1999).

Morgül M.F., ‘‘Binalarda ısı kaybı ve maliyet analizi ile uygun yalıtımın belirlenmesi’’ Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 12-13 (2004)

Onaylı S., ‘‘Binalarda ısı yalıtımı ve son teknolojik gelişmeler’’, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 30-40, 42-53 (2002).

Özel M., Pıhtılı K., ‘‘Isıtma ve soğutma derece-gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi’’, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3): 191 (2008).

Özel M., Pıhtılı K., ‘‘Duvar yalıtım kalınlığının pencere alanlarına etkisinin araştırılması’’, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3): 655-662 (2008).

Özel M., ‘‘Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi’’, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (4): 879-884 (2008).

Soysal S., ‘‘Konut binalarında tasarım parametreleri ile enerji tüketim ilişkisi’’, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 38-39 (2008).

Şişman N., ‘‘Derece gün bölgeleri için bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve duvar yapı bileşenleri kullanılması halinde ekonomik analiz yöntemi ile en iyi yalıtım kalınlığının tespiti’’, Yüksek Lisans Tezi, **Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 48-57 (2005).

Tuncer M., ‘‘Isıtılan ve soğutulan mahallerde ısı yalıtımının optimizasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 1-8 (2007)

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, **Türk Standartları Enstitüsü**, 1-75 (2008).

TS EN 303-2, TS EN 303-3, TS EN 303-5, **Türk Standartları Enstitüsü**, (2001).

EKLER

EK-1 Farklı amaçlarla kullanılan binaların ortalama iç sıcaklık değerleri ve maliyet hesaplamalarında kullanılan duvar yapı tabakaları birim fiyatları

Çizelge 1.1. Farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri (θ_i) [TS 825, 2008]

	Isıtılacak binanın adı	Sıcaklığı (°C)
1	Konutlar	19
2	Yönetim binaları	
3	İş ve hizmet binaları	
4	Otel, motel ve lokantalar	20
5	Öğretim binaları	
6	Tiyatro ve konser salonları	
7	Kışlalar	
8	Ceza ve tutuk evleri	
9	Müze ve galeriler	
10	Hava limanları	
11	Hastaneler	22
12	Yüzme havuzları	26
13	İmalat ve atölye mahalleri	16

Çizelge 1.2. Duvar yapı tabakaları birim fiyatları (Bayındırlık Bakanlığı 2009 yılı birim fiyatlarına göre) [BBBF, 2009]

POZ NO	İMALATIN TANIMI	KALINLIK (CM)	BİRİM FİYATI (TL/M ²)
27.501	250/300 çimento dozlu harçla dış sıva yapılması	2,0	12,38
18.071/3	13,5 cm kalınlığında yatay delikli tuğla ile duvar	13,5	14,85
18.071/1	8,5 cm kalınlığında yatay delikli tuğla duvar yapılması	8,5	12,81
18.071/2	19 cm kalınlığında yatay delikli tuğla ile duvar	19,0	15,44
18.111/11	20 cm gaz beton ile duvar yapılması	20,0	40,71

EK-2 Yalıtım malzemesi olan yapı elemanlarının birim fiyatları

Çizelge 2.1. Bina duvarlarına XPS ile dıştan (mantolama) yalıtım yapılması birim fiyatı (Bayındırlık Bakanlığı 2009 yılı rayiçleri ve analiz değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.) [BBBF, 2009]

RAYİÇ NO	TANIMI	BİRİMİ	MİKTARI				RAYİÇ FİYATI (TL)	TUTARI (TL/M2)			
	Yalıtım kalınlığı		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm
1.010	Yalıtımcı ustası	SA	1,5	1,5	1,5	1,5	4,85	7,275	7,275	7,275	7,275
1.210	Tecritçi usta yardımcısı	SA	0,75	0,75	0,75	0,75	3,5	2,625	2,625	2,625	2,625
1.501	Düz işçi	SA	0,75	0,75	0,75	0,75	3,3	2,475	2,475	2,475	2,475
4.031	Su	M3	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	3,9	0,00975	0,00975	0,00975	0,00975
04.274/2B1	Isı yalıtım dübelleri	AD	6	6	6	6	0,3	1,8	1,8	1,8	1,8
4.479	Sıva filesi	M2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,32	1,452	1,452	1,452	1,452
4.481	Isı yalıtım sıvası	KG	5	5	5	5	0,84	4,2	4,2	4,2	4,2
4.480	Yapıştırıcı	KG	4	4	4	4	0,6	2,4	2,4	2,4	2,4
04.612/4C-1a	Ekstrüde polistiren köpük Levha	M3	0,105	0,1155	0,168	0,21	225	23,63	25,99	37,80	47,25
TOPLAM RAYİÇ FİYATI								45,86	48,22	60,04	69,49
MÜTEAHHİTLİK KARI (% 25)								11,47	12,06	15,01	17,37
XPS İLE DIŞTAN YALITIM (MANTOLAMA) YAPILMASI (TL/M2)								57,33	60,28	75,05	86,86

Çizelge 2.2. Yatay yüzeylere (döşeme üzerine) XPS ile yalıtım yapılması birim fiyatı (Bayındırlık Bakanlığı 2009 yılı rayiçleri ve imalat analiz değerleri kullanılarak hesaplanmıştır) [BBBF, 2009]

RAYİÇ NO	TANIMI	BİRİMİ	MİKTARI				RAYİÇ FİYATI (TL)	TUTARI (TL/M2)			
	Yalıtım kalınlığı		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm
1.010	Yalıtımcı ustası	SA	0,08	0,08	0,08	0,08	4,85	0,388	0,388	0,388	0,388
1.501	Düz işçi	SA	0,05	0,05	0,05	0,05	3,3	0,165	0,165	0,165	0,165
04.612/4C-1a	Ekstrüde polistiren köpük levha	M3	0,105	0,1155	0,168	0,21	225	23,63	25,99	37,80	47,25
TOPLAM RAYİÇ FİYATI								24,18	26,54	38,35	47,80
MÜTEAHHİTLİK KARI (% 25)								6,04	6,64	9,59	11,95
XPS İLE YATAY YÜZEYLERE YALITIM YAPILMASI (TL/M2)								30,22	33,18	47,94	59,75

EK-2 (Devam) Yalıtım malzemesi olan yapı elemanlarının birim fiyatları

Çizelge 2.3. Bina duvarlarına mineral yün (cam yünü) ile dıştan (mantolama) yalıtım yapılması birim fiyatı (Bayındırlık Bakanlığı 2009 yılı rayiçleri ve analiz değerleri kullanılarak hesaplanmıştır) [BBBF, 2009]

RAYİÇ NO	TANIMI	BİRİMİ	MİKTARI	RAYİÇ FİYATI (TL)				TUTARI (TL/M2)			
	Yalıtım kalınlığı			11 cm	12 cm	18 cm	23 cm	11 cm	12 cm	18 cm	23 cm
1.010	Yalıtımcı ustası	SA	1,5	4,85	4,85	4,85	4,85	7,275	7,275	7,275	7,275
1.210	Tecritçi usta yardımcısı	SA	0,75	3,5	3,5	3,5	3,5	2,625	2,625	2,625	2,625
1.501	Düz işçi	SA	0,75	3,3	3,3	3,3	3,3	2,475	2,475	2,475	2,475
4.031	Su	M3	0,0025	3,9	3,9	3,9	3,9	0,00975	0,00975	0,00975	0,00975
04.274/2B1	Isı yalıtım dübelleri	AD	6	0,3	0,3	0,3	0,3	1,8	1,8	1,8	1,8
4.479	Sıva filesi	M2	1,1	1,32	1,32	1,32	1,32	1,452	1,452	1,452	1,452
4.481	Isı yalıtım sıvası	KG	5	0,84	0,84	0,84	0,84	4,2	4,2	4,2	4,2
4.480	Yapıştırıcı	KG	4	0,6	0,6	0,6	0,6	2,4	2,4	2,4	2,4
04.734/A16	Cam yünü levha 100 kg/m3	M2	1,05	31,35	34,2	51,3	65,55	32,92	35,91	53,87	68,83
TOPLAM RAYİÇ FİYATI								55,15	58,15	76,10	91,06
MÜTEAHHİTLİK KARI (% 25)								13,79	14,54	19,03	22,77
CAM YÜNÜ (100 KG/M3) İLE DIŞTAN YALITIM (MANTOLAMA) YAPILMASI (TL/M2)								68,94	72,68	95,13	113,83

Çizelge 2.4. Yatay yüzeylere (döşeme üzerine) mineral yün (cam yünü) ile yalıtım yapılması birim fiyatı (Bayındırlık Bakanlığı 2009 yılı rayiçleri ve imalat analiz değerleri kullanılarak hesaplanmıştır) [BBBF, 2009]

RAYİÇ NO	TANIMI	BİRİMİ	MİKTARI	RAYİÇ FİYATI (TL)				TUTARI (TL/M2)			
	Yalıtım kalınlığı			11 cm	12 cm	18 cm	23 cm	11 cm	12 cm	18 cm	23 cm
1.010	Yalıtımcı ustası	SA	0,08	4,85	4,85	4,85	4,85	0,388	0,388	0,388	0,388
1.501	Düz işçi	SA	0,05	3,3	3,3	3,3	3,3	0,165	0,165	0,165	0,165
04.734/A16	Cam yünü levha 100 kg/m3	M2	1,05	31,35	34,2	51,3	65,55	32,92	35,91	53,87	68,83
Toplam Rayiç Fiyatı								33,47	36,46	54,42	69,38
Müteahhitlik Karı (% 25)								8,37	9,12	13,60	17,35
CAM YÜNÜ (100 KG/M3) İLE YATAY YÜZEYLERE YALITIM (MANTOLAMA) YAPILMASI (TL/M2)								41,84	45,58	68,02	86,73

EK-2 (Devam) Yalıtım malzemesi olan yapı elemanlarının birim fiyatları

Çizelge 2.5. Bina duvarlarına EPS ile dıştan (mantolama) yalıtım yapılması birim fiyatı (Bayındırlık Bakanlığı 2009 yılı rayiçleri ve imalat analiz değerleri kullanılarak hesaplanmıştır) [BBBF, 2009]

RAYİÇ NO	TANIMI	BİRİMİ	MİKTARI				RAYİÇ FİYATI (TL)	TUTARI (TL/M2)			
	Yalıtım kalınlığı		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm
1.010	Yalıtımcı ustası	SA	1,5	1,5	1,5	1,5	4,85	7,275	7,275	7,275	7,275
1.210	Tecritçi usta yardımcısı	SA	0,75	0,75	0,75	0,75	3,5	2,625	2,625	2,625	2,625
1.501	Düz işçi	SA	0,75	0,75	0,75	0,75	3,3	2,475	2,475	2,475	2,475
4.031	Su	M3	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	3,9	0,00975	0,00975	0,00975	0,00975
04.274/2B	Isı yalıtım dübelleri	AD	6	6	6	6	0,3	1,8	1,8	1,8	1,8
4.479	Sıva filesi	M2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,32	1,452	1,452	1,452	1,452
4.481	Isı yalıtım sıvası	KG	5	5	5	5	0,84	4,2	4,2	4,2	4,2
4.480	Yapıştırıcı	KG	4	4	4	4	0,6	2,4	2,4	2,4	2,4
04.612/2C	Ekspande polistiren köpük levha	M3	0,105	0,1155	0,168	0,21	135	14,18	15,59	22,68	28,35
TOPLAM RAYİÇ FİYATI								36,41	37,83	44,92	50,59
MÜTEAHHİTLİK KARI (% 25)								9,10	9,46	11,23	12,65
EPS İLE DIŞTAN YALITIM (MANTOLAMA) YAPILMASI (TL/M2)								45,51	47,29	56,15	63,23

Çizelge 2.6. İki duvar arasına veya yatay yüzeylere (döşeme üzerine) EPS ile yalıtım yapılması birim fiyatı (Bayındırlık Bakanlığı 2009 yılı rayiçleri ve imalat analiz değerleri kullanılarak hesaplanmıştır) [BBBF, 2009]

RAYİÇ NO	TANIMI	BİRİMİ	MİKTARI				RAYİÇ FİYATI	TUTARI (TL/M2)			
	Yalıtım kalınlığı		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm		10 cm	11 cm	16 cm	20 cm
1.010	Yalıtımcı ustası	SA	0,08	0,08	0,08	0,08	4,85	0,388	0,388	0,388	0,388
1.501	Düz işçi	SA	0,05	0,05	0,05	0,05	3,3	0,165	0,165	0,165	0,165
04.612/2C	Ekspande polistiren köpük levha	M3	0,105	0,1155	0,168	0,21	135	14,18	15,59	22,68	28,35
TOPLAM RAYİÇ FİYATI								14,73	16,15	23,23	28,90
MÜTEAHHİTLİK KARI (% 25)								3,682	4,04	5,81	7,23
EPS İLE İKİ DUVAR ARASINA VEYA YATAY YÜZEYLERE YALITIM YAPILMASI (TL/M2)								18,41	20,18	29,04	36,13

EK-3 TS 825 ısı yalıtım standardının binalarda öngördüğü yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerleri ve birim dönüşüm tablosu

Çizelge 3.1. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri

		$A/V < 0,2$ için	$A/V > 1,05$	
1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	19,2	56,7	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	6,2	18,2	kWh/m ³ ,yıl
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	38,4	97,9	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	12,3	31,3	kWh/m ³ ,yıl
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	51,7	116,5	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	16,6	37,3	kWh/m ³ ,yıl
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	67,3	137,6	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	21,6	44,1	kWh/m ³ ,yıl

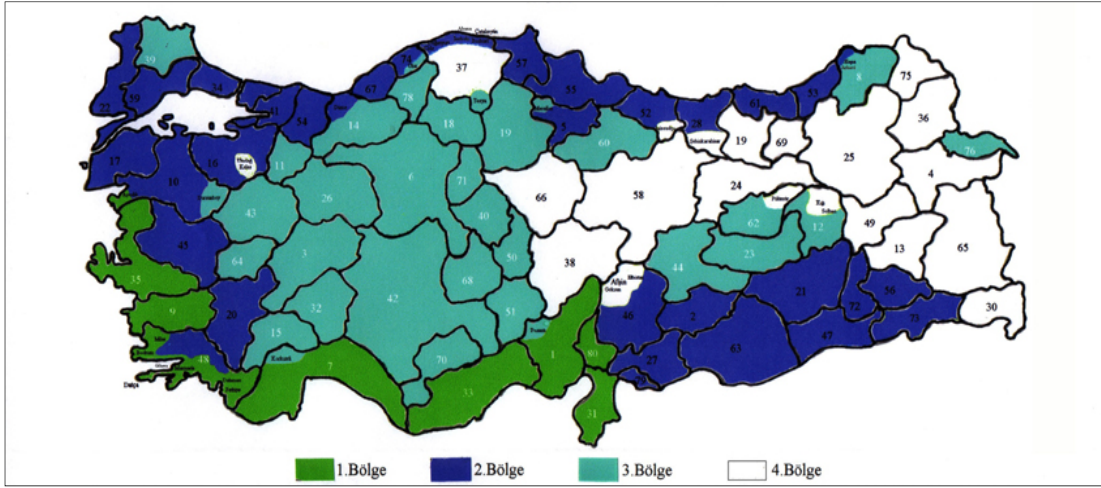
Çizelge 3.2. Bölgelere ve ara değer $A_{top}/V_{brüt}$ oranlarına bağlı olarak sınırlandırılan Q^I 'nin hesaplanması

1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	44,1	$A/V + 10,4$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	14,1	$A/V + 3,4$	[kWh/m ³ ,yıl]
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	70	$x A/V + 24,4$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	22,4	$A/V + 7,8$	[kWh/m ³ ,yıl]
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	76,3	$x A/V + 36,4$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	24,4	$x A/V + 11,7$	[kWh/m ³ ,yıl]
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	82,8	$x A/V + 50,7$	[kWh/m ² ,yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	26,5	$x A/V + 16,3$	[kWh/m ³ ,yıl]

Çizelge 3.3. Birim dönüşüm tablosu

1 kCal	4,187	kJ
1 kCal	1,163 x 10 ⁻³	kWh
1 kWh	860	Kcal
1 kCal/m ² h°C	1,163	W/m ² K
1 m ² h°C/kCal	0,86	m ² K/W
1 kJ	0,278 x 10 ⁻³	kWh

EK-4 Türkiye'nin illere göre derece gün bölgeleri ve illeri

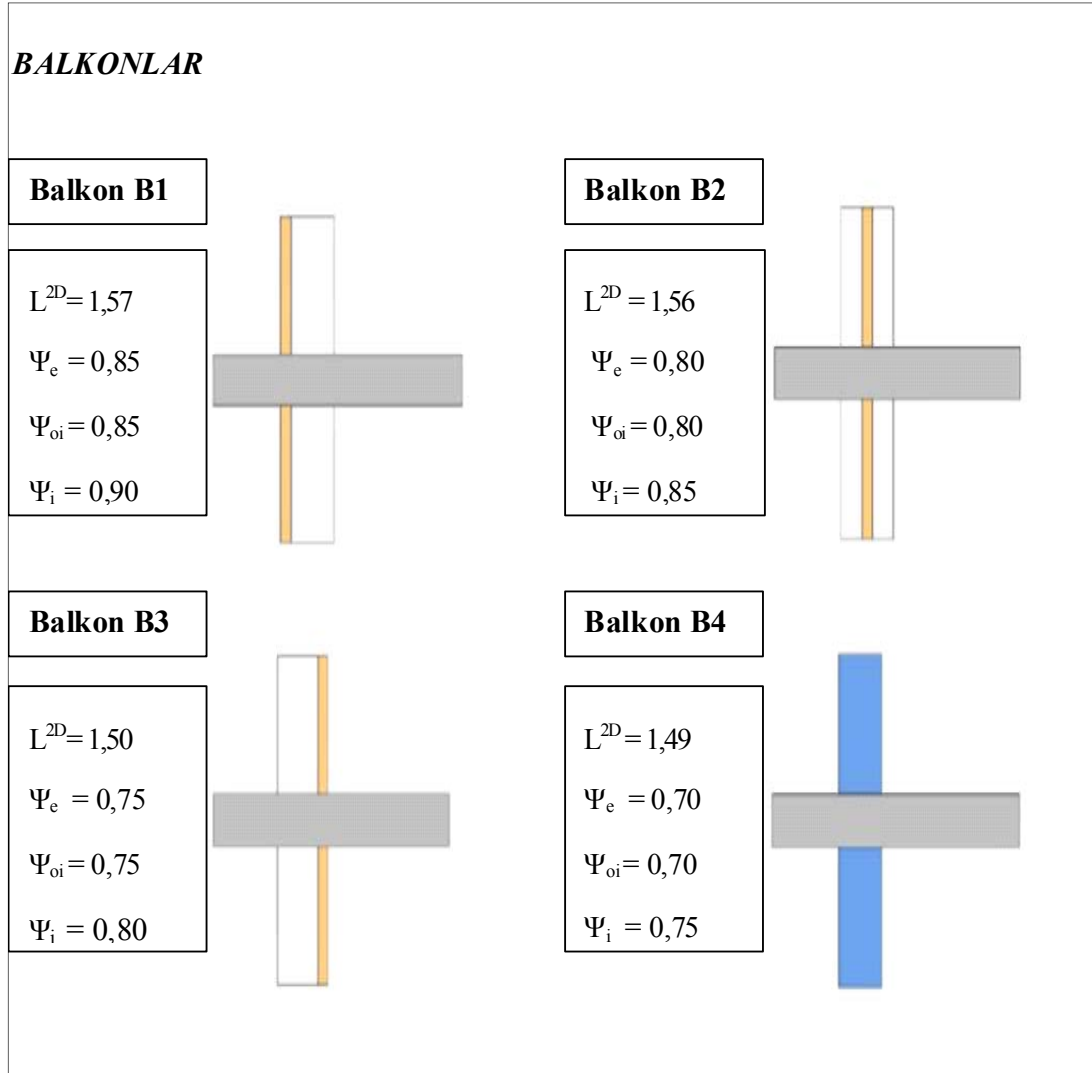


Şekil 4.1. Derece gün bölgelerine göre illerimiz

Çizelge 4.1. İllerimiz ve plaka kodları

01- Adana	10- Balıkesir	19- Çorum	28- Giresun	37- Kastamonu	46- K.Maraş	55- Samsun	64- Uşak	73- Şırnak
02- Adıyaman	11- Bilecik	20- Denizli	29- Gümüşhane	38- Kayseri	47- Mardin	56- Siirt	65- Van	74- Bartın
03- Afyon	12- Bingöl	21- Diyarbakır	30- Hakkâri	39- Kırklareli	48- Muğla	57- Sinop	66- Yozgat	75- Ardahan
04- Ağrı	13- Bitlis	22- Edirne	31- Hatay	40- Kırşehir	49- Muş	58- Sivas	67- Zonguldak	76- Iğdır
05- Amasya	14- Bolu	23- Elazığ	32- Isparta	41- Kocaeli	50- Nevşehir	59- Tekirdağ	68- Aksaray	77- Yalova
06- Ankara	15- Burdur	24- Erzincan	33- İçel	42- Konya	51- Niğde	60- Tokat	69- Bayburt	78- Karabük
07- Antalya	16- Bursa	25- Erzurum	34- İstanbul	43- Kütahya	52- Ordu	61- Trabzon	70- Karaman	79- Kilis
08- Artvin	17- Çanakkale	26- Eskişehir	35- İzmir	44- Malatya	53- Rize	62- Tunceli	71- Kırıkkale	80- Osmaniye
09- Aydın	18- Çankırı	27- Gaziantep	36- Kars	45- Manisa	54- Sakarya	63- Şanlıurfa	72- Batman	81- Düzce

EK-5 TS EN 14683 standardında tanımlanan ısı köprüsü türlerine göre lineer ısı geçiş katsayıları [İZODER, 2009]



Şekil 5.1. Balkonlarda oluşan ısı köprüsü türleri ve ısı geçiş katsayıları

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ULAŞ, Ahmet
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri: 05.05.1969 Doğanhisar
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (542) 6517057
 e-mail : ahmulas@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği Bölümü	2010
Lisans	Selçuk Üniversitesi / Müh.- Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü	1990
Lise	Konya Teknik Lise ve End. Mes. Lisesi	1985

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1991 - 1992	Muş Tek. ve End. Mes. Lisesi	Motor Öğretmeni
1992 - 1993	Ankara İmrahor End. Mes. Lisesi	Motor Öğretmeni
1993 - 1995	Ankara İl Milli Eğitim Müdürlüğü İnşaat - Yatırım Şubesi	Kontrol Mühendisi
1995 - 1996	Afyon İl Milli Eğitim Müdürlüğü ve Bayındırlık ve İskân İl Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi
1996 - 2009	Konya İl Milli Eğitim Müdürlüğü İnşaat ve Yatırımlar Şubesi	Kontrol Mühendisi
2009 -	Kahramanmaraş İl Milli Eğitim Müdürlüğü	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kültür ve Doğa Gezileri, Fotoğraf