

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KONUTLARDA ISITMA ENERJİ PERFORMANSININ VE
İYİLEŞTİRME POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH ALTUN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2018

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



KONUTLARDA ISITMA ENERJİ PERFORMANSININ VE
İYİLEŞTİRME POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH ALTUN

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nadir İLTEN (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Doç. Dr. Enver YALÇIN

BALIKESİR, HAZİRAN - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Emrah ALTUN tarafından hazırlanan "KONUTLARDA ISITMA ENERJİ PERFORMANSININ VE İYİLEŞTİRME POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 20.07.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç.Dr.Nadir İLTEN

Üye
Prof.Dr.Bedri YÜKSEL

Üye
Doç.Dr.Enver YALÇIN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**KONUTLARDA ISITMA ENERJİ PERFORMANSININ VE İYİLEŞTİRME
POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
EMRAH ALTUN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR.NADİR İLTEN)

BALIKESİR, HAZİRAN - 2018

Binalarda enerji savurganlığının önlenmesi, enerji kaynaklarının yaşam standardını ve hizmet kalitesini düşürmeden etkin ve verimli kullanılması, yakıt tüketimini azaltılması, çevrenin korunmasını sağlayacaktır. Ocak 2011 yılında Dünya Bankası tarafından yayınlanan “Türkiye’de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak” adlı dokümanında, binalarda %20 ila % 50 arasında değişen enerji tasarrufu potansiyeli olduğu belirtilmektedir.

Yapılan çalışmada, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’na göre 2’nci derece gün bölgesinde bulunan Çanakkale ilinde, örnek seçilen bir bina için farklı yalıtım malzeme cinslerine göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıklarının uygulanması ile seçilen binada, yapılacak iyileştirmeler sonucunda, enerji tüketimindeki azalma miktarları, yalıtım maliyetleri, farklı tip yalıtım malzemeleri kalınlıklarına göre yalıtımın geri ödeme süreleri tespit edilmiştir. Uygulaması da gerçekleştirilen örnek binada ve diğer hesaplamalarda İZODER yalıtım programı kullanılmıştır. Çanakkale ili için optimum yalıtım kalınlıkları; dış duvarlarda 6 cm taş yünü, toprağa temas eden yüzeylerde 6 cm XPS (Haddelenmiş polistren köpüğü) ve çatı arasında 12 cm taş yünü (cam yünü) olarak bulunmuştur. Optimum kalınlıktaki yalıtım malzemesi ile yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda yaklaşık geri ödeme süreleri 4,34 yıl civarında hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda, derece gün sayısına göre 2’nci bölgede bulunan illerde, binalarda uygulanması gereken yalıtım kalınlıkları hakkında bir kısım önerilerde bulunulmuştur. Böylece; toplumsal kazanç sağlanması, topluma örnek olması ve toplumun bu konuda bilinçlendirilmesi amaçlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER:, Binalarda ısı yalıtımı, binalarda enerji tasarrufu, binalarda yakıt tüketimi, konutlarda ısı kaybı.

ABSTRACT

EXAMINING THE HEATING ENERGY PERFORMANCE AND REHABILITATION POTENTIALS IN HOUSING

MSC THESIS

EMRAH ALTUN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC.PROF.DR.NADİR İLTEN)

BALIKESİR, JUNE 2018

Preventing energy waste in buildings, using energy resources effectively and efficiently without lowering the quality of life and service quality will reduce fuel consumption and protect the environment. In “Using the Energy Saving Potential in Turkey” published by the World Bank in January 2011, It is reported that buildings have potential in saving energy ranging from %20 to %50.

In the study, according to TS 825 Building Thermal Insulation Rules, in the province of Çanakkale, which is located in the 2 nd degree day zone, optimum insulation thicknesses were calculated for a selected building according to different insulation material types. With the application of optimum insulation thicknesses, the selected building, as a result of improvements, the amount of reduction in energy consumption, the insulation costs, the repayment times of the insulation according to the thicknesses of the different types of insulation materials have been determined. İZODER insulation program is used in the sample bin and other calculations that are implemented. Optimum insulation thicknesses for Çanakkale province; 6 cm stone wool on the outer walls, 6 cm XPS (Extruded polystyrene foam) on the surfaces contacting the soil and 12 cm stone wool (glass wool) between the roofs. If natural gas is used as the fuel with the insulation material at the optimum thickness, the approximate repayment period is calculated around 4.34 years.

As a result of calculations and evaluations made, some suggestions have been made about the insulation thicknesses that should be applied in the buildings in the districts located in the 2nd zone according to the degree days. In this way providing social gain, being an example of collecting and raising the awareness of the society on this issue are aimed.

KEYWORDS:, Heat isolation in buildings, energy saving in buildings, fuel consumption in buildings, heat loss in houses.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. BİNALARDA KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLGİLİ KAVRAMLAR.....	8
2.1 Binalarda Isı Yalıtımı	8
2.1.1 Isı Yalıtımı Malzemelerinde Kullanılan Temel Kavramlar	10
2.1.1.1 Isıl İletkenlik ve Isıl Direnç Kavramları	10
2.1.1.2 Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ) ve Su Buharı Difüzyonuna Karşı Direnç (S_d) Kavramları	11
2.1.1.3 Yalıtım Hesabı ve Yalıtım Maliyeti Hesaplanması	13
2.1.1.4 Derece-gün Yöntemi	13
2.1.2 TS 825 ve Yalıtım Hesabı.....	17
2.1.3 Isı Yalıtım Hesabı	18
2.1.3.1 Yıllık Isıtma Enerjisinin Hesaplanması	18
2.1.3.2 Isı Kayıplarının Hesaplanması	19
2.1.3.2.1 İletim Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı	20
2.1.3.2.2 Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı	20
2.1.3.3 Isı Kazançlarının Hesaplanması.....	22
2.1.3.4 Kazanç Kullanım Faktörünün Hesabı	25
2.1.3.5 Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Sınır Değerleri.....	26
2.1.3.6 Bina Tipilerine Göre İç Oda Sıcaklığının Belirlenmesi.....	27
2.1.3.7 Yapı Bileşenlerinin Toplam Isı İletkenlik Katsayılarının Hesaplanması	27
2.1.3.8 Isı Köprüsü Parametreleri	31
2.1.3.9 Buhar Geçişinin Tahkiki ve Sınırlandırılması	33
2.1.3.10 Yoğuşma Hesabı	36
2.1.4 Isı Yalıtım Malzemeleri	39
2.1.4.1 Haddelenmiş Polistren Köpüğü (XPS).....	39
2.1.4.1.1 Isıl İletkenlik Değeri	39
2.1.4.1.2 Su Emme.....	40
2.1.4.1.3 Su Buharı Geçirgenliği	40
2.1.4.1.4 Kimyasallara ve Kimyasal Çözücülere Karşı Dayanıklılık	41
2.1.4.1.5 Yangın Performansı ve Yangın Dayanımı.....	41
2.1.4.1.6 Mekanik Özellikler	42
2.1.4.1.7 Boyutsal Kararlılık.....	43
2.1.4.2 Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS).....	44
2.1.4.2.1 Isıl İletkenlik Değeri	44
2.1.4.2.2 Su Emme.....	45
2.1.4.2.3 Su Buharı Geçirgenliği	47

2.1.4.2.4	Kimyasallara ve Kimyasal Çözücülere Karşı Dayanıklılık	47
2.1.4.2.5	Yangın Performansı ve Yangın Dayanımı	47
2.1.4.2.6	Mekanik Özellikler	48
2.1.4.2.7	Boyutsal Kararlılık	50
2.1.4.3	Taş Yünü	51
2.1.4.3.1	Isıl İletkenlik Değeri	51
2.1.4.3.2	Su Emme	51
2.1.4.3.3	Su Buharı Geçirgenliği	52
2.1.4.3.4	Kimyasallara ve Kimyasal Çözücülere Karşı Dayanıklılık	52
2.1.4.3.5	Yangın Performansı ve Yangın Dayanımı	52
2.1.4.3.6	Mekanik Özellikler	52
2.1.4.3.7	Boyutsal Kararlılık	53
2.1.4.4	Taş Yünü, EPS ve XPS Karşılaştırılması	53
2.1.4.4.1	Isı İletim Katsayısı (λ)	53
2.1.4.4.2	Basınç Dayanımı	54
2.1.4.4.3	Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ)	54
2.1.4.4.4	Su Emme Durumu	54
2.1.4.4.5	Boyutsal Kararlılık	55
2.1.4.4.6	Yanıcılık Sınıfı	55
2.1.4.4.7	Ses Yalıtımı	56
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	57
3.1	Çanakkale İle İlgili Coğrafik Bilgiler	57
3.2	Binada Kullanılacak Yalıtım Malzemeleri	58
3.3	Örnek Binanın Özellikleri (Binanın Boyutları, Mimarisi, Yapı Elemanları, Toplam Dış Duvar, Pencere Alanlar vs.)	59
3.4	Binada Kullanılan Isıtma Sistemi	67
3.5	Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı	68
3.6	Isıtma Maliyeti	69
3.7	Yakıt Özellikleri ve Yanma Denklemleri	70
3.8	İZODER Programının Kullanılması	72
3.9	XPS, EPS ve Taş Yünü Yalıtım Malzemeleri Kullanılması Durumunda Bina Yalıtım Değerlerinin İncelenmesi	72
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	74
5.	KAYNAKLAR	102
6.	EKLER	105

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye’de yerli kaynaklardan enerji üretimi ve toplam enerji.....	2
Şekil 2.1: TS 2164 ve TS 825’e göre binaların ısı hesaplarının yapılması.....	17
Şekil 2.2: Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü (ri,ay)	24
Şekil 2.3: Yapı bileşenlerine ait mahal adlandırılması	28
Şekil 2.4: Örnek ısı köprüsü tipleri.....	31
Şekil 2.5: Bir yapı elemanındaki katmanlar arasındaki sıcaklık dağılımı	37
Şekil 2.6: XPS’ e ait yoğunluk – basma dayanımı ilişkisi.....	42
Şekil 2.7: XPS’ e ait yoğunluk – sünme dayanımı ilişkisi (Sünme: Sabit yük altında uzun süreli deformasyon)	42
Şekil 2.8: XPS’ e ait hücre yapısı	43
Şekil 2.9: XPS’ e ait hücre yapısı (XPS ısı yalıtım levhalarının boyutsal kararlılığı 0,07 mm/mK’dir.)	43
Şekil 2.10: EPS Isı Yalıtım Levhalarında Isı İletkenliğinin Sıcaklıkla Değişimi ($\rho = 20 \text{ kg/m}^3$).....	45
Şekil 2.11: Yoğunlukları farklı EPS levhalarının zamanla su emme oranları	46
Şekil 2.12: EPS’nin yoğunluğa bağlı basınç gerilmesi değişimi	49
Şekil 2.13: EPS levhalarda rötrenin zamanla değişimi.....	50
Şekil 3.1: Örnek binaya ait kazan dairesi uygulama projesi.....	60
Şekil 3.2: Örnek binaya ait kat planları kalorifer tesisat projesi.....	61
Şekil 3.3: Örnek binaya ait dış cephe görünümü	62
Şekil 4.1: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre yalıtım maliyetinin değişimi	81
Şekil 4.2: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süresinin değişimi	81
Şekil 4.3: Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında oluşan maliyetler	82
Şekil 4.4: Yakıt olarak fuel-oil kullanıldığında oluşan maliyetler	82
Şekil 4.5: Yakıt olarak motorin kullanıldığında oluşan yıllık maliyetler	83
Şekil 4.6: Yakıt olarak kömür kullanıldığında oluşan yıllık maliyetler	83
Şekil 4.7: Duvar yalıtım kalınlığına göre yalıtım maliyetinin değişimi	89
Şekil 4.8: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süresinin değişimi	89
Şekil 4.9: Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında oluşan maliyetler	90
Şekil 4.10: Yakıt olarak fuel-oil kullanıldığında oluşan maliyetler	90
Şekil 4.11: Yakıt olarak motorin kullanıldığında oluşan maliyetler	91
Şekil 4.12: Yakıt olarak kömür kullanıldığında oluşan maliyetler	91
Şekil 4.13: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre yalıtım maliyetinin değişimi	97
Şekil 4.14: Duvar yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süresinin değişimi	97
Şekil 4.15: Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında oluşan maliyetler.....	98
Şekil 4.16: Yakıt olarak fuel-oil kullanıldığında oluşan maliyetler	98
Şekil 4.17: Yakıt olarak motorin kullanıldığında oluşan maliyetler	99
Şekil 4.18: Yakıt olarak kömür kullanıldığında oluşan maliyetler	99

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Dünya birincil enerji talebi (milyon ton petrol eşdeğeri – tpe).....	1
Tablo 1.2: Bölgelere göre dünya birincil enerji talebi (mtpe).....	2
Tablo 2.1: Malzemelere ait ısı iletkenlik değerleri	10
Tablo 2.2: Bazı yapı malzemelerine ait su buharı difüzyon direnç faktörü	12
Tablo 2.3: İller için yıllık ısıtma derece-gün değerleri.....	15
Tablo 2.4: Yıllık soğutma derece-gün değerleri.....	16
Tablo 2.5: Bölgelere göre ortalama aylık dış hava sıcaklık değerleri [Θe].....	19
Tablo 2.6: 50 Pa basınç farkı oluştuğundaki hava değişim oranı.....	21
Tablo 2.7: Bina sınıfı ve “e” değerleri	22
Tablo 2.8: Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü.....	24
Tablo 2.9: Bütün derece gün bölgeleri için hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama aylık güneş ışınımı şiddeti.....	25
Tablo 2.10: Yıllık ısıtma enerjisi sınır değerlerinin bölgelere göre değişimi	26
Tablo 2.11: Farklı yapılarda dikkate alınması gereken iç ortam sıcaklıkları	27
Tablo 2.12: Yapı bileşenlerinin tipine göre verilen yüzeysel ısı iletim direnç değerleri.....	28
Tablo 2.13: Bölgelere göre yapı bileşenlerinde önerilen U değerleri	29
Tablo 2.14: Bazı pencere sistemlerinin Up değerleri	30
Tablo 2.15: Toplam (içten - içe) iç ölçüler kullanarak ısı köprüsü hesaplama	32
Tablo 2.16: Dış ölçüler kullanarak ısı köprüsü hesaplama	32
Tablo 2.17: EPS türleri için verilen yoğunluk, ısı iletkenlik ve basınç gerilmesi değeri	44
Tablo 2.18: EPS numuneler üzerinde Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi’nde gerçekleştirilen su emme deney sonuçları.....	46
Tablo 2.19: Yapı malzemelerinin yanıcılık özellikleri.....	48
Tablo 3.1: Çanakkale iline ait son 11 yılın ısıtma derece-gün değerleri [33]	58
Tablo 3.2: Yalıtım malzemelerine ait ısı iletim katsayısı ile yanma özelliği	58
Tablo 3.3: Yakıtların kimyasal formülleri	71
Tablo 4.1: Hesaplamalarda kullanılan yakıt, yalıtım malzemesi özellikleri ve finansal parameter değerleri	75
Tablo 4.2: Yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda bina yapı elemanına ait U değerleri	76
Tablo 4.3: Farklı EPS yalıtım malzemesi kalınlıkları için hesaplanan enerji ihtiyacı ve yalıtım kalınlıkları	77
Tablo 4.4: Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum EPS yalıtım kalınlığı.....	78
Tablo 4.5: Yakıt olarak doğalgaz ve fuel-oil kullanıldığında hesaplanan sonuçlar ..	79
Tablo 4.6: Yakıt olarak motorin ve kömür kullanıldığında hesaplanan sonuçlar	80
Tablo 4.7: Yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda bina yapı elemanına ait U değerleri	84
Tablo 4.8: Farklı XPS yalıtım malzemesi kalınlıkları için hesaplanan enerji ihtiyacı ve yalıtım kalınlıkları	85
Tablo 4.9: Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum XPS yalıtım kalınlığı.....	86

Tablo 4.10: Yakıt olarak doğalgaz ve fuel-oil kullanıldığında	87
Tablo 4.11: Yakıt olarak motorin ve kömür kullanıldığında hesaplanan sonuçlar ...	88
Tablo 4.12: Yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılması durumunda bina yapı elemanına ait U değerleri.....	92
Tablo 4.13: Farklı taş yünü yalıtım malzemesi kalınlıkları için hesaplanan enerji ihtiyacı ve yalıtım kalınlıkları	93
Tablo 4.14: Isıtımda kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum taş yünü yalıtım kalınlığı	94
Tablo 4.15: Yakıt olarak doğalgaz ve fuel-oil kullanıldığında hesaplanan sonuçlar	95
Tablo 4.16: Yakıt olarak motorin ve kömür kullanıldığında	96

SEMBOL LİSTESİ

D	: Yapı malzemesinin kalınlığı
λ_h	: Isıl iletkenlik değeri
$1/U$: Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci
$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı
Q_{ay}	: Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı
H	: Binanın özgül ısı kaybı
θ_i	: Ortalama aylık iç sıcaklık değeri
θ_e	: Ortalama aylık dış sıcaklık değeri
η_{ay}	: Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü
$\Phi_{i,ay}$: Ortalama aylık iç kazanç değeri
$\Phi_{s,ay}$: Ortalama aylık güneş enerjisi ısı kazancı değeri
T	: Zaman, (s)
U	: Isıl geçirgenlik değeri
U_D	: Dış duvarın ısıl iletkenlik değeri
U_p	: Pencerelere ait ısıl iletkenlik değeri
U_k	: Dış kapılara ait ısıl iletkenlik değeri
U_T	: Tavana ait ısıl iletkenlik değeri
U_t	: Toprağa temas eden döşemenin ısıl iletkenlik değeri
U_d	: Toprağa temas eden duvarın ısıl iletkenlik değeri
U_{ds}	: Düşük sıcaklıklı duvara temas eden yapı bileşenine ait ısıl iletkenlik değeri
A_D	: Toplam dış duvarın alanı
A_P	: Toplam pencere alanı
A_k	: Toplam dış kapının alanı
A_T	: Binaya ait tavan/çatının alanı
A_t	: Toprağa temas eden döşeme/tabânın toplam alanı
A_D	: Dış havaya temas eden döşeme/tabânın toplam alanı
A_{ds}	: Düşük sıcaklıklardaki mahallerin birbiri ile temas ettikleri yüzeyin toplam alanı
P	: Havanın birim hacim kütlesi
C	: Havanın özgül ısı
V'	: Hacimsel hava değişim debisi (m^3/h)
n_h	: Hava değişim oranı
V_h	: Havalandırılan hacim
$r_{i,ay}$: "i" yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
$g_{i,ay}$: "i" yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü
$I_{i,ay}$: "i" yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ısınımı şiddeti
A_i	: "i" yönündeki toplam pencere alanı
V^I	: Hacimsel toplam hava değişim debisi
V_f	: Sistem vantilatörleri çalışırken vantilatörlerdeki ortalama hacimce hava değişim debisi
V_x	: Hava sızıntısı ile oluşan ilave hacimce hava değişim debisi (m^3/h)
V_h	: Havalandırılan hacim (m^3)
n_{50}	: İç ve dış ortamlar arasında 50 Pa basınç farkı varken hava değişim oranı

F	: Binada dış ortama açık bir yüzey varsa 15, birden fazla yüzey varsa 20 alınır.
V_s	: Binaya dışarıdan alınan temiz hava debisi
V_E	: Binadan dışarı atılan kirli hava debisi
V_o	: Vantilatörlerin çalışmadığı durum için hacimce hava değişim debisi
β	: Vantilatörlerin çalıştığı zaman oranı
η_v	: Isı geri kazanım sisteminin verimi (havadan havaya)
$\theta_{i,ay}$: Ortalama aylık iç mahal sıcaklığı
$\theta_{e,ay}$: Ortalama aylık dış hava sıcaklığı
$\Phi_{i,ay}$: Aylık mahalde bulunan ısı kazançları
$\Phi_{s,ay}$: Ortalama aylık güneş enerji sistemine ait ısı kazancı
F_w	: Yapıda bulunan camlar için alınması gereken düzeltme faktörü
g_{\perp}	: Yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü
U	: Yapı bileşenlerine ait toplam ısı iletkenlik katsayısı
R	: Isıl iletkenlik direnci
R_i	: İç yüzeyin yüzeyel ısı iletim direnci
R_e	: Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletim direnci
m_y	: Yapıda gerçekleşen toplam yoğuşan/buharlaşan suyun kütlesi
G	: Birim zamanda toplam yoğuşan/buharlaşan suyun kütlesi
θ_{yi}	: İç ortam mahalline ait yüzey sıcaklığı
R_i	: İç ortam yüzeyinin ısı iletkenlik direnci
Q	: Isı akısı yoğunluğu
θ_{yd}	: Dış hava ile temas eden yapının dış yüzeyinin sıcaklığı
R_e	: Dış hava ile temas eden yapının dış yüzeyinin ısı iletkenlik direnci
S_d	: Su buharı difüzyonu eş değer hava tabakası kalınlığı
μ	: Su buharı difüzyon direnci katsayısı
P	: Kısmi su buharı basıncı
Φ	: Bağlı nem
p_s	: “ θ ” sıcaklığındaki, doymuş su buharı basıncı

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek, bilgi birikimi ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Bedri YÜKSEL ve Doç. Dr. Nadir İLTEN' e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu süreçte her an yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme şükranlarımı, kızım Elif Cemre ALTUN'a sevgilerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik, siyasi ve sosyal gelişimini etkileyen ana unsurlardan biri haline gelen enerji, tüketimde meydana gelen artış ve bu artışta beklenen devamlılık nedeniyle her ülkenin ucuz ve kesintisiz bir biçimde bu enerji kaynaklarına ulaşma isteğine neden olmaktadır [1].

Dünyada enerji sektörünün görünümü üç ana küresel senaryo üzerinden analiz edilmektedir. Bunlardan ana senaryo olan Yeni Politikalar Senaryosunda, hâlihazırda yürürlükte olan politika ve önlemlerle birlikte, ilan edilmiş olan amaçlar, hedefler ve niyetlerin henüz yasalaşmamış olsalar dahi, sonuçları tam veya kısmen dikkate alınmaktadır. Diğer bir senaryo olan Mevcut Politikalar Senaryosu, 2016 yılının ortalarına kadar yürürlüğe giren uygulama tedbirleri tarafından desteklenenlerin haricinde herhangi bir yeni politika ya da tedbirlerin uygulanmadığı bir küresel enerji sistemine giden yolu göstermekte olup, bu senaryoda ilan edilen politika hedeflerine mutlaka gerçekleşecek gözüyle bakılmamaktadır. Son senaryo olarak ise, 450 (Karbonsuzlaştırma) Senaryosunda yenilenebilir kaynaklara yönelimdeki artış ile 2100 yılındaki ortalama küresel sıcaklık artışının endüstrileşme öncesi yıllardaki seviyenin 2 derece fazlasına sınırlandırılmasını sağlayacak önlemlerin geliştirileceği öngörülmektedir [2].

Tablo 1.1: Dünya birincil enerji talebi (milyon ton petrol eşdeğeri – mtpet)

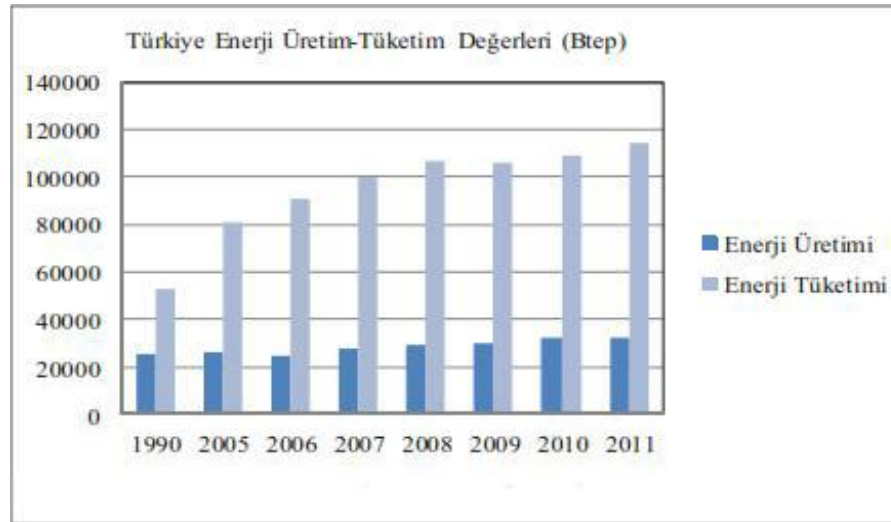
	2014	Yeni Politikalar Senaryosu		Mevcut Politikalar Senaryosu		450 Senaryo	
		2025	2040	2025	2040	2025	2040
Kömür	3.926	3.955	4.140	4.361	5.327	3.175	2.000
Petrol	4.266	4.577	4.775	4.751	5.402	4.169	3.326
Doğal Gaz	2.893	3.390	4.313	3.508	4.718	3.292	3.301
Nükleer	662	888	1.181	865	1.032	960	1.590
Hidro	335	420	536	414	515	429	593
Biyoenerji *	1.421	1.633	1.883	1.619	1.834	1.733	2.310
Diğer Yenilenebilir	181	478	1.037	420	809	596	1.759
Toplam	13.684	15.340	17.866	15.937	19.636	14.355	14.878
TBET içindeki fosil yakıt payı (%)	81	78	74	79	79	74	58
CO ₂ Emisyonları (Gt)	32,2	33,6	36,3	36,0	43,7	28,9	18,4

* Geleneksel ve modern biyokütle kullanımlarını içerir.
TBET: Toplam birincil enerji talebi
Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı, World Energy Outlook (WEO) 2016

Tablo 1.2: Bölgelere göre dünya birincil enerji talebi (mtpe)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2014-2040 Büyüme* (%)
OECD	4.526	5.278	5.293	5.215	5.140	5.093	5.077	-0,1
Amerika	2.264	2.722	2.734	2.708	2.680	2.674	2.696	-2,0
ABD	1.915	2.212	2.211	2.176	2.130	2.101	2.094	0,2
Avrupa	1.631	1.697	1.690	1.641	1.601	1.568	1.540	-0,4
Asya Okyanusya	631	857	870	866	859	851	842	-0,1
Japonya	439	442	424	411	399	389	381	-0,6
OECD-dışı	4.045	8.046	8.866	9.664	10.535	11.406	12.178	1,6
Doğu Avrupa /Avrasya	1.539	1.101	1.120	1.152	1.189	1.232	1.271	0,6
Rusya	880	686	683	696	714	737	758	0,4
Asya	1.578	4.809	5.398	5.930	6.488	7.010	7.437	1,7
Çin	879	3.070	3.328	3.544	3.728	3.855	3.892	0,9
Hindistan	307	824	1.033	1.225	1.457	1.700	1.938	3,3
Orta Doğu	211	715	819	912	1.026	1.142	1.244	2,2
Afrika	390	781	884	979	1.085	1.207	1.336	2,1
Latin Amerika	327	639	646	691	747	815	890	1,3
Brezilya	138	300	296	317	344	376	408	1,2
Dünya **	8.774	13.684	14.576	15.340	16.185	17.057	17.866	1,0
Avrupa Birliği	1.643	1.563	1.547	1.492	1.441	1.398	1.360	-0,5

* Yıllık bileşik ortalama büyüme oranı
 ** Dünya değeri uluslararası deniz ve hava bunkerlarını içermektedir.
 Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı, WEO 2016



Şekil 1.1: Türkiye’de yerli kaynaklardan enerji üretimi ve toplam enerji

Dünya üzerindeki birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi üzerine gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler enerji ihtiyaçlarını kontrol altına alma ve enerjiyi etkin kullanma yöntemleri geliştirmişlerdir. Ülkemizde de; başta sanayi ve konut sektörlerinde olmak üzere, enerji tüketimleri her geçen yıl artmaktadır. Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı olarak tüketilmektedir [3].

Ülkemizde en çok enerji tüketiminin sanayiden sonra konutlarda olduğu tespit edilmiş, enerjinin etkin ve verimli kullanılması için bu alanda çalışmalar yapılmış ve bu konuda bazı standartlar yayınlanmıştır. Böylelikle enerji verimliliğinin yanında enerji tüketiminde dikkat edilmesi gerektiği saptanmış, yapılması gereken hususlar kanun, standart ve uygulama yönetmelikleriyle belirlenmiştir. Bu bağlamda; TS 825 [4] “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” yanı sıra, Türkiye’nin Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yönetim Kurulu, İlgili Meslek Odaları, Sivil Toplum Kuruluşları ve Kamu Kurum ve Kuruluşları bir araya gelmiş Ağustos 2009 ve Aralık 2009 yılında yapılan çalıştay sonucunda, 2007 yılında çıkarılan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu [5] ile daha geniş bir çerçeveye enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması hedeflenmiştir. Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsamaktadır. Kanunun öngördüğü yönetmeliklerden biri 2008 yılında hazırlanan Binalarda Enerji Performansı yönetmeliğidir [6]. 2010 yılı içerisinde uygulamaya başlanması sürecinde karar kılınmıştır.

Konutlarda harcanan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı olduğundan enerji tasarrufu yapacağımız alanlarda konutlardaki ısıtma ya da soğutmada enerji kaybını azaltacak önlemler olacaktır. Genel itibarıyla bu konuda binalarda doğru seçilmiş yalıtım malzemesi ve doğru hesaplanmış optimum yalıtım kalınlığı enerji tasarrufunda tek başına büyük önem arz etmektedir.

Binalarda %20 ile %50 arasında değişen enerji tasarrufu potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [7]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının araştırmalarında binalarda ki enerji kayıplarının 1/3'nü pencerelerden, 1/3'nü duvarlardan geri kalan kısmı ise binanın diğer yapı elamanlarından kaynaklandığı belirtilmektedir. Enerji tasarrufu sağlamayan pencerelerden kaçan ısı nedeniyle her yıl 900 Okul, 300 Hastane yapılabileceği, böylelikle yılda 5 milyar Türk Lirasının havaya atıldığı tespit edilmiştir. Bu açıklamalar ışığında, seçilen binada yapılan iyileştirmeler sonucunda "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğine" göre; enerji tasarrufu uygulaması yaparak toplumsal kazanç sağlanması, topluma ve kamuya örnek olması amaçlanmıştır.

Isı yalıtımının temel amacı enerji tasarrufu sağlayarak bunun sonucunda çevreyi daha az kirletmektir. Bunun sonucunda insanların sağlıklı ve konforlu bir yaşam sürdürebilmesini de ekleyebiliriz. Enerji bütün ülkeler için en önemli, en stratejik bir kavramdır. Ülkemizin enerji kaynakları çok zengin olmadığından enerji ihtiyacının ithalatla karşılamaktadır. Yıllara göre enerji ithalat oranları değişmekle birlikte bu oran ortalama %60-65 seviyesindedir [8,9]. Enerji ithalat oranları her yıl yaklaşık olarak %4,4 oranında artış göstermiştir [10]. Yalıtımsız binalar veya yanlış kalınlıkta yapılmış yalıtımlı binalardan ısıtma veya soğutma amaçlı enerji israfı oluşmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak; karbonmonoksit, kükürtdioksit gibi zehirli gazların oluşmasına, hava kirliliği, küresel ısınma ve doğanın zamanla yok olmasına yol açmaktadır. Bu sonuçlar sadece ülkemiz için değil tüm dünya için önemli bir problemdir.

Dombayacı (2006) yaptığı çalışmasında; Denizli ili için dış duvarlarda optimum izolasyon kalınlığının çevresel etkisini araştırmıştır. Isı yalıtımının, enerji kullanımını en aza indirmek ve emisyonu azaltmak açısından çok önemli olduğunu vurgulamıştır. Hesaplamalarında yakıt kaynağı olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak genleşmiş polistiren ve çift panelli pencere kullanmıştır. Bu çalışmada; yalıtım malzemesinin çevre ve enerji tüketimi üzerinde etkisini analiz edilirken, dış ortam için yalıtım malzemesinin (genişletilmiş polistiren) optimum kalınlığının bulunması amaçlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda binalardaki ısı kaybı, binanın sadece dış yüzeyinde görülmüştür. Toplam ısı kaybının %65,2'si dış duvarlar, tavanlar ve zeminden kaynaklandığı, %34,8' ini ise pencerelerden olduğu hesaplanmıştır. Dış

duvarlar, tavan ve taban da optimum kalınlıkta yalıtım malzemesinin kullanılması, binaların bu bölümdeki enerji kaybını azaltacaktır. Yapılan çalışmalar ışığında Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı 0,095 m olarak bulunmuştur. Sonuç olarak; optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında, CO₂ ve SO₂ emisyonlarını %41,53 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan yalıtım malzemelerinin önemli bir unsuru olan enerji tüketimi incelenmiş ve optimum yalıtım malzemesi kalınlığı kullanılarak %46,6 azalma sağlandığı görülmüştür [11,12].

Çomaklı ve Yüksel (2004) çalışmalarında; Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk şehirleri seçilerek enerji tasarrufu için dış duvarların optimum yalıtım kalınlığı araştırılmıştır. Optimizasyon Yaşam döngüsü maliyet analizine dayandırılmıştır. Yaşam Döngüsü maliyeti kavramı, hem optimum yalıtım kalınlığını belirlemek hem de yakıt, malzeme ve yalıtım maliyetini doğrudan etkileyen faiz ve enflasyon değişikliğinden ne kadar etkilendiğini hesaplamaya yarayan yöntemdir. Dış duvar tasarımı yapılırken bölgenin hava şartları göz önünde bulundurularak kompozit bir yapı ele alınmış yalıtım malzemesi olarak Strafor (k: 0,030 W/mK) seçilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde Erzurum için optimum yalıtım kalınlığı 0,104878 m, Kars için optimum yalıtım kalınlığı 0,10737, Erzincan için optimum yalıtım kalınlığı 0,085107 m hesaplanmıştır. Sonuç olarak; mevcut optimizasyon tekniği, birçok farklı ekonomik parametre, yalıtım malzemesi ve iklim koşulları için etkili bir şekilde optimum izolasyonu belirlemek için kullanılabilen genel bir formüle götürür. Ekonomik açıdan aşırı ya da eksik yalıtımın arzulanan olmadığı açıktır. Aşırı yalıtım, yaşam döngüsü enerji maliyetinin düşmesine neden olur, ancak yalıtım eksikliği daha düşük sermaye yatırımına ihtiyaç duyar, ancak ömür boyu enerji maliyeti artar. Optimum yalıtım kalınlığının yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik maliyetiyle ters orantılı olduğu da görülmüştür. Üç şehir optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında geri ödeme süresi Erzurum için 1.41, Erzincan için 1.51 ve Kars için 1.40 yıl olarak bulunmuştur. Derece gün artıkça geri ödeme süresini kısaltıyor. Buradan da anlaşılacağı üzere daha soğuk bölgelerde yalıtım uygulamak maliyeti artırmakla birlikte geri ödeme süresinin kısaldığı belirtilmiştir [13].

Yamankaradeniz ve Kaynaklı (2008) çalışmalarında; bir bölgenin derece-gün sayısının hesaplanması ile yapılara ait dış duvarlara yapılacak ısı yalıtımının kalınlığına ait prosedür sunmuşlardır. Güncel olarak alınan dış hava sıcaklıkları

alınarak derece-gün değerleri ile yıllık toplam ısıtma enerji ihtiyacını belirlenmiştir. Isıtma ihtiyacını karşılamak için yakıt olarak doğalgaz kullanılmış, yıllık harcanan yakıt gideri ile binada olması gereken yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Harcanan yakıt tutarı ile binaya yapılan maliyeti toplanmış olup binanın ısınması için gerekli toplam maliyet ortaya çıkmıştır. Yıllık faiz oranı, enflasyon oranı ve ömür dikkate alınarak yıllık yakıt giderinin bugünkü değeri çıkarılmıştır. Farklı yalıtım kalınlıkları ele alınarak maliyet eğrileri oluşturulmuştur. Nihayetinde toplam maliyeti en az olan yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan yalıtım malzemesi olarak strafor ($k = 0,034 \text{ W/mK}$) alınmıştır. İki çeşit duvar tipi belirlenmiş; birinci duvar tipinde iç sıva, yalıtım, tuğla (13,5 cm) ve dış sıva alınırken ikinci duvar tipinde (sandviç) iç sıva, tuğla (13,5 cm), yalıtım, tuğla (8 cm), dış sıva alınarak iki farklı duvar türüne göre hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar dördüncü bölgeye (Ardahan) göre yapılmış birinci duvar tipinde optimum yalıtım kalınlığı 7,3 cm bulunurken ikinci duvar tipinde yalıtım kalınlığı 6,7 cm olarak bulunmuştur. Aynı çalışma Hatay /İskenderun içinde yapılmış olup Ardahan ilindeki bir binanın, aynı özellikte İskenderun'da bulunana göre ısınma için 6,2 kat daha fazla enerji ihtiyacı olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, duvarın toplam ısı transfer katsayısının artması optimum yalıtım kalınlığını azaltırken, derece-gün ve yalıtım malzemesinin k değerinin artması optimum yalıtım kalınlığını artırmaktadır. Ülkemizdeki optimum yalıtım kalınlıklarına değerlendirildiğinde yaklaşık 2,8 ile 9,6 cm arasında oldukça geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür [14].

Bolattürk (2006) çalışmasında; Türkiye' de dört ısı bölgesinden iller seçilerek binalara ait dış duvarları için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemek için analizler yapılmıştır. Yalıtım kalınlığından kaynaklanan enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada bölgelere göre duvar yapıları da değerlendirmeye tabi tutulmuş, sıcak iklim bölgesinde binaların duvarları tuğla ve beton duvar üzerine ince alçı taban kaplama, soğuk iklim bölgelerinde ise duvar yapısının sandviç duvar olarak kullanıldığını tespit edilmiştir. Sandviç duvar yapısı incelendiğinde; iki tuğla katmanı ve ortasında bir yalıtım tabakası yapılarak iç ve dış yüzeylerde iki sıva tabakasından oluştuğu görülmüştür. Yalıtım malzemesi olarak polistiren ($\rho = 30 \text{ kg/m}^3$, $k = 0,030 \text{ W/mK}$) seçilmiştir. İç sıva 2 cm kalınlığında ($k = 0,87 \text{ W/mK}$), 13,5 cm kalınlığında tuğla ($k = 0,45 \text{ W/mK}$), yalıtım malzemesi, 8,5 cm kalınlığında tuğla ve 3 cm kalınlığında dış sıva girilerek duvar bileşenleri tanımlanmıştır. Isı enerjisinin

korunması ve bununla ilgili maliyet tasarrufu ve termal konfor, iyileştirilmiş yalıtım sayesinde duvarların ve tavan dışındaki ısı kayıplarının en aza indirgenmesiyle sağlandığı aşikârdır. Daha fazla enerji biriktirmek zorunda kalınırsa, fazladan bir yalıtım kalınlığı eklemek ilk yatırım maliyetini artırmaktadır. Belirli bir yalıtım kalınlığının üzerinde yalıtım yapmak daha fazla enerji tasarrufu yapıldığı manasına gelmez. Yalıtım kalınlığı arttırarak daha fazla yalıtım eklemek, tasarruf edilen enerjide azalan getiriler verirken, kurulum maliyeti doğrusal olarak artmaktadır. Yalıtım kalınlığı belirlenirken (optimum yalıtım kalınlığını bulmak için) artan tasarruflara karşı artan ilk yatırım maliyeti arasındaki dengeye dayanmalıdır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; optimum yalıtım kalınlıklarının şehir ve yakıt türüne bağlı olarak 2 ile 17 cm arasında değişmekte, enerji tasarrufu %22 ile %79 arasında ve geri ödeme süresi 1,3 ile 4.5 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir [15].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının araştırmalarında, binalardaki enerji kayıplarının 1/3'nün pencerelerden, 1/3'nün duvarlardan geri kalan kısmının ise binanın diğer yapı elamanlarından kaybolduğunu göstermektedir. Enerji tasarrufu sağlamayan pencerelerden kaçan ısı miktarının fazlalığı nedeniyle, her yıl 900 Okul ve 300 Hastanenin yapılabileceği, böylelikle yılda 5 milyar Türk Lirasının havaya atılmayacağı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, binalarda tüketilen enerji miktarının, yaşam standardı ve hizmet kalitesini düşürmeden, etkin ve verimli kullanılarak azaltılması hedeflenmiştir. Böylece; enerji savurganlığının önlenmesi ve çevrenin korunması da amaçlanmıştır. Çanakkale'de örnek seçilen bir lojman binasında Enerji Performans Yönetmeliği kapsamında uygulaması yapılarak, bu iyileştirmelerin sayısal değerleri ve katkıları tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. BİNALARDA KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ İLGİLİ KAVRAMLAR

2.1 Binalarda Isı Yalıtımı

Binaların enerji tüketim miktarlarını etkileyen en önemlileri parametreler, yapı elemanlarının dış duvar, çatı ve döşemesini oluşturan bileşenlerin karakteristik özellikleri ve bunların kalınlıklarıdır. Bunun yanı sıra, binanın konumu ve bina içerisinde bulunan hacimlerin yönleri, binanın bulunduğu rakım, binanın kat sayısı, dış havaya açılan pencerelerin alanları ve fuga uzunlukları, dış havaya açılan kapıların alanları ve güneş enerjisi kazançları gibi faktörler de bina enerji tüketiminde önemli derecede etkilidirler.

Yalıtım konusu, enerji fiyatlarının 1970’li yıllarda aşırı yükselmesi ile ön plana çıkmıştır ve Ocak 1980 den itibaren ilgili standart (TS825) belirli aralıklarla güncellenerek Aralık 2013’de bugün kullanılan şeklini almıştır. Ancak, bu süre içerisinde çıkan yönetmeliklerin uygulanmasında bazı sorunlar yaşanmış, toplum bu konuda yeterli şekilde aydınlatılmadığından maalesef bazen hiç uygulanmamış ve bazen kısmen uygulanmıştır. Bu nedenle; halen kullanılmakta olan binaları, ısı yalıtımsız, noksan ısı yalıtımlı ve yalıtımlı binalar olarak üç grupta inceleyebiliriz. Isı yalıtımı, sıcak ya da soğuk havanın dış yapı elemanlarından ve ısı köprüleri vasıtası ile konutlardan içeri girmesini veya çıkmasını engellemek adına yapılan işlemlere denilmektedir [16]. Ülkemizde, 08 Mayıs 2000 tarihinde Resmi Gazetede yürürlüğe giren “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” kapsamında binalarda ısı yalıtımı uygulamaları için TS 825 standardı getirilmiştir. Bu Standardın amaçlarına bakıldığında;

- Yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standartta açıklanan hesap metodunu ve değerlerini uygulayarak, ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini belirlemek,
- Mevcut binaların ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek,

- Mevcut bir binaya yenileme projesi uygulamadan önce, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını belirlemek,

- Bina sektörünü temsil edebilecek muhtelif binaların enerji ihtiyaçlarını hesaplayarak, bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını milli seviyede tahmin etmektir [17].

Standardın uygulama alanları incelendiğinde;

- İnsanların yaşadığı veya çalıştıkları mekânların iç sıcaklıkları en az 15 °C olan ve ısıtılan yapılar,

- Oturma amaçlı kullanılan binalar, ofisler, eğitim ve kültür merkezleri, hastaneler, idari ve toplantı binaları, alışveriş ve konaklama tesisleri, banka ve iş hanları, huzur evi ile kışla binaları bu kapsamda değerlendirilir.

Bitişik yapı malzemelerinin ısı iletim direncini artırmak veya dışarıya kaçan ısı miktarının minimuma indirmek için kullanılan TS 825 ve Alman DIN 4108 normlarına göre ısı iletim katsayısı $\lambda=0,065$ W/mK değerinin altında olan malzemelere ısı yalıtım malzemesi, bu değer üzerinde kalan malzemeler de yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadırlar [18]. Bir malzemenin (λ) ısıl iletkenlik değeri küçüldükçe o malzemenin ısı yalıtımı özelliğinin bir o kadar arttığı anlamına gelir. Malzemenin ısıl iletkenlik değeri kadar, o malzemenin kalınlığı da yalıtım özelliği açısından önemli bir faktördür.

Isı yalıtım malzemelerinden istenen genel özellikler şunlardır;

1. Isı yalıtım malzemeleri hafif olmalıdır.
2. Isı yalıtım malzemeleri kokusuz olmalıdır.
3. Su ve nem absorbe etme özelliği olmamalıdır.
4. Bakteri ve haşerelerin yuva yapmasına elverişli olmamalıdır.
5. Çürümeye karşı dayanıklı olmalıdır.
6. İlk özelliğini kaybetmemelidir.
7. Yanıcı olmamalıdır.
8. Uzun ömürlü olmalıdır.
9. Taşımaya elverişli ve insan sağlığına zarar vermemelidir.

10. Ekonomik ve temin edilebilir olmalıdır.

2.1.1 Isı Yalıtımı Malzemelerinde Kullanılan Temel Kavramlar

2.1.1.1 Isıl İletkenlik ve Isıl Direnç Kavramları

Isı yalıtım malzemeleri; ısı kaybı ve kazançlarının azaltılmasında kullanılan, düşük kalınlıklarda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla üretilmiş, hafif, uygun kalınlıklarda yüksek ısı direnç özelliğine sahip ürünlerdir. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği ısı iletkenliğinin düşük olması ve ısı geçişine karşı gösterdikleri direncin yüksek olmasıdır. Isıl iletkenlik, bir malzemenin ne kadar ısı ilettiğinin ölçüsüdür. Genel olarak ısı iletkenlik 1 m² yüzey alanına sahip 1 metre kalınlığındaki bir malzemenin karşılıklı yüzeyleri arasında 1°C sıcaklık farkı olması durumunda transfer olan ısı miktarıdır. Isıl iletkenlik malzemelere dair bir özelliktir. Bir başka deyişle her malzemenin muhtelif yöntemler ile ölçülen bir ısı iletkenliği vardır. Bazı malzemeler için TS 825 standardında tanımlanmış olan iletim yoluyla transfer olan ısı miktarının ölçüsü olan ısı iletkenlik katsayıları aşağıda örnek olarak verilmiştir.

Tablo 2.1: Malzemelere ait ısı iletkenlik değerleri

Malzeme	Isıl İletkenlik Hesap Değeri W/ (mK)
Metaller	35,0-384,0
Donatılı Beton	2,20-2,50
<u>Donatısız Beton</u>	1,65-2,10
Tuğla	0,19-1,40
Gaz Beton	0,11-0,29
MW, EPS, XPS, PUR / PIR vb. ısı yalıtım malzemeleri	0,020-0,045

Isıl direnç fiziksel bir değerdir. Isıl direnç hesaplanırken malzeme kalınlığının malzemenin ısı dirence bölünerek bulunur. Isıl direnç kavramı malzemenin ısı

geçirgenliğine karşı dayanımını gösterir. Isıl direncin artışı yapılan enerji tasarrufunun arttığını gösterir [19].

2.1.1.2 Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ) ve Su Buharı Difüzyonuna Karşı Direnç (S_d) Kavramları

İç ortamda üretilen su buharı, yapılara zarar veren bir potansiyele sahiptir. Su buharı; basınç farkı nedeniyle ısı akımı ile aynı yönde hareket ederek yapı elemanının gözeneklerinden geçer ve dış ortama ulaşmaya çalışır. Su buharının yapı elemanı içerisindeki bu geçişi sırasında, doyma sıcaklığının altında veya düşük sıcaklıkta bir yüzeyle temas etmesi durumunda buharın bir kısmı yoğunlaşarak su haline geçer. Yapı elemanları içerisinde birikerek yapı malzemelerine ve insan konforuna zarar verir. Yoğuşma iç yüzeyde veya yapı elemanları içinde meydana gelebilir. Bu nedenle, yapı elemanları tasarlanırken mutlaka yoğuşma kontrolü yapılmalıdır [19].

Bina kabuğu tasarımında; bağıl nem değerinin, kısa süreler için bile 0,8'den yüksek olması durumunda iç yüzeylerde küf oluşma riski vardır. Yüzeyde meydana gelen yoğuşma, neme karşı hassas olan korunmamış yapı malzemelerinde hasarlar oluşmasına neden olabilir. Yüzeydeki nem miktarının fazla olması; telafisi zor olan, fiziksel değişikliklere (dökülme, kabarma vb.), kimyasal reaksiyonlara (paslanma vb.) ve biyolojik gelişmelere (ahşabın çürümesi vb.) neden olur ve konfor ortamını bozar.

Yapı elemanlarının ara yüzeylerinde meydana gelen yoğuşma, yapının yük taşıyıcı kısımlarında bulunan demirlerin paslanmasına neden olduğu için, yapı ömrünü tehdit eden unsurlardan biridir.

Su buharı difüzyon direnç faktörü; bir malzemenin durgun havadan kaç kat daha fazla su buharı geçişine direnç sağladığının ölçüsüdür. Durgun hava referans alınarak belirlenen su buharı difüzyon direnç faktörü malzemelere dair bir özelliktir. Bir başka deyişle her malzeme; 1 (durgun havaya eşdeğer) ile ∞ arasında değişen bir su buharı difüzyon direnç faktörüne sahiptir [19].

Tablo 2.2: Bazı yapı malzemelerine ait su buharı difüzyon direnç faktörü

Malzeme	Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ)
Camyünü ve Taşyünü	1,0
EPS	20-100
XPS	80-250
Polimer Bitümlü Örtüler	20.000
Polietilen Folyo	80.000
Cam	1.000.000
Metaller	1.000.000

Su buharı difüzyonu eş değer hava tabakası kalınlığı (m) (Sd) ise su buharı difüzyon direnç faktörü (birimsiz) (μ) ile malzeme kalınlığının (m) (d) çarpılması ile elde edilir. Bulunan değer fiziksel bir büyüklüktür. Malzemenin su buharı geçişine karşı gösterdiği dayanımı ifade eder. Sd değeri; yapı elemanı bileşenlerinin su buharının geçişine gösterdiği dirence eşdeğer direnci gösteren hareketsiz hava tabakasının kalınlığı olarak tanımlanır. Temel olarak bir uygulama detayının Sd değerinin büyümesi yapı elemanının su buharı geçişine karşı direncinin arttığı anlamına gelmektedir. “Sd” değeri DIN 4108 Standardına göre 1500 m ve üzerinde bir değer ise su buharı oluşmamış gibi değerlendirilir.

$$Sd = \mu \times d \quad (2.1)$$

Bu yönüyle ele alındığında özellikle yapı elemanının dış tarafından yalıtım yapılmayan durumlarda mutlaka yoğuşma durumu incelenmelidir. Yoğuşma riskinin azaltılması veya ortadan kaldırılması için; yapı bileşenlerinin içinden geçen su buharı miktarı sınırlandırılmalı ya da yapı bileşeninin tüm kesitteki sıcaklık dağılımı doyma sıcaklığının üzerinde olmalıdır. Bunu gerçekleştirebilmek için binanın dış cephesine ısı yalıtımı yapılması gerekir. Yapının dış cephesine yalıtım yapılarak yapı malzemelerinin ısı yalıtımından önce olması, yapı malzemelerinin sıcak tarafta kalmasını sağlar ve ısıyı korur. Bunun sonucunda yapı malzemeleri yoğuşma sıcaklığı

üzerinde olur ve yoğuşma olması engellenir. Yoğuşmanın olmaması yapı malzemelerinin ömrünü de uzatır.

Bazı binaların dış cephesinden ısı yalıtımı yapmak zor veya imkânsız olduğunda binaya ısı yalıtımı içeriden yapılır. İçeriden ısı yalıtımı yapıldığında; iç yüzeyin sıcaklığı su buharının doyma sıcaklığın üzerinde olacağından mantar, küf gibi oluşumlar gözlenmez. Fakat içeriden yalıtım yapılan binalarda yapı bileşenleri dış havayla temas edeceğinden yoğuşma meydana gelecek ve yapı bileşenlerine zarar verecektir. Yoğuşmayı önlemek için yapı bileşenleri içerisine buhar kesici veya buhar difüzyon katsayısı yüksek olan yapı malzemeleri tercih edilerek uygun kalınlıkta kullanılmalıdır [19].

2.1.1.3 Yalıtım Hesabı ve Yalıtım Maliyeti Hesaplanması

Türkiye, illerin ve ilçelerin derece-gün (DG) sayıları dikkate alınarak, Aralık 2013 de Resmi Gazete de yayımlanan TS 825'e göre 5 ısı yalıtım bölgesine ayrılmıştır. 1'inci bölge ısıtma enerjisi için en az ihtiyacın olduğu bölge olurken 5'inci bölge ısıtma enerjisi için en fazla ihtiyacın olduğu bölge olarak belirlenmiştir. Uygulamaya konan bu yönetmeliğe göre ilgili kurum ve kuruluşlar binaların yalıtım hesabı için bazı paket programlar geliştirmişlerdir. (İZODER, Mekanik Tesisat Hesabı – MTH, Makine Mühendisleri Odası - MMO vb. gibi). Bu projedeki hesaplamalar İZODER programından yararlanarak yapılmıştır. Her ne kadar paket programlar olsa da hesaplama yöntemleri TS 825'te verilmiştir. Binalarda kullanılan yapı malzemelerine ait özellikler, tavsiye edilen ısı iletim katsayıları, ısı kazancı, pencere tipleri vb. gibi özellikler TS 825'te tanımlanmıştır.

2.1.1.4 Derece-gün Yöntemi

Günümüzde binalarda enerji analizi için karmaşık ve gelişmiş yöntemler mevcut olmasına rağmen en basit enerji tahmin tekniklerinden olan derece-gün yöntemi önemini korumaktadır. Derece-gün yönteminde bir binanın enerji ihtiyacı temelde, binanın iç ortam sıcaklığı ile ilgili denge noktası sıcaklığı ve binanın bulunduğu yerin dış hava sıcaklığı arasındaki fark ile doğru orantılıdır. Eğer binanın iç ortam sıcaklığı ve iç ısı kazançları sabit ise derece-gün yöntemlerinden elde edilen

değerlerle, binanın ısıtma veya soğutma ihtiyacı için gerekli enerji iyi bir hassasiyetle tahmin edilir [25].

DG değeri belirli bir denge sıcaklık (T_b) referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışınımı vs.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Bu nedenle binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DG değerinin belirlenmesinde etkilidir [25].

Geleneksel olarak ısıtma derece-gün sayıları 18°C denge sıcaklığında, soğutma derece-gün sayıları ise 22°C denge sıcaklığına göre hesaplanır [26].

Isıtma derece-gün bölgeleri için yapılan araştırmada; Türkiye’de 81 il merkezi için $14,16$ ve 18°C denge noktası sıcaklıklarında hesaplanan yıllık ısıtma derece-gün değerleri Tablo 2.3’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi 18°C denge noktası sıcaklığı için en düşük ısıtma derece-gün değeri 852°C.gün ile Mersin’de, en yüksek değer ise 5137°C.gün ile Ardahan’da tespit edilmiştir. En yüksek değer ile en düşük değer arasındaki oran $6,03$ ’tür. Türkiye için ortalama ısıtma derece-gün değeri 2449°C.gün ’dür. 42 il, Türkiye ortalamasının altında bir değere sahiptir. Isıtma derece-gün bölgelerinin tespitinde 18°C denge noktası sıcaklığındaki derece-gün değerleri esas alınmıştır. Başlangıçta derece-gün değerleri artan şekilde sıralanmıştır [27].

I. Bölge ≤ 1250

$1251 \leq$ II. Bölge ≤ 2250

$2251 \leq$ III. Bölge ≤ 3250

$3251 \leq$ IV. Bölge ≤ 4250

V. Bölge ≥ 4251

Tablo 2.3: İller için yıllık ısıtma derece-gün değerleri

İl	14 °C	16 °C	18 °C
Adana	341	579	874
Adapazarı	1049	1413	1833
Adıyaman	995	1328	1695
Afyon	1878	2325	2828
Ağrı	3353	3867	4423
Aksaray	1743	2157	2626
Amasya	1393	1778	2210
Ankara	1773	2199	2677
Antalya	439	731	1083
Ardahan	3861	4469	5137
Artvin	1535	1951	2429
Aydın	580	867	1213
Balıkesir	1128	1498	1914
Bartın	1330	1747	2226
Batman	1117	1450	1823
Bayburt	3006	3545	4149
Bilecik	1521	1933	2397
Bingöl	1994	2399	2838
Bitlis	2340	2800	3311
Bohu	1832	2291	2821
Burdur	1496	1902	2351
Bursa	1117	1491	1920
Çanakkale	1003	1371	1789
Çankırı	1928	2370	2864
Çorum	1965	2428	2958
Denizli	907	1245	1627
Diyarbakır	1375	1739	2142
Edirne	1403	1791	2224
Elazığ	1805	2211	2653
Erzincan	2129	2564	3047
Erzurum	3637	4205	4827
Eskişehir	2043	2516	3049
Gaziantep	1242	1605	2009
Giresun	957	1328	1765
Gümüşhane	2228	2702	3234
Hakkari	2543	2986	3470
Hatay	528	797	1119
Iğdır	1914	2319	2764
Isparta	1684	2120	2607

İl	14 °C	16 °C	18 °C
İstanbul	1054	1433	1865
İzmir	562	845	1188
K. Maraş	954	1284	1653
Karaman	1809	2229	2698
Kars	3573	4145	4772
Kastamonu	2088	2567	3112
Kayseri	2120	2587	3113
Kilis	877	1196	1554
Kırıkkale	1731	2145	2609
Kırklareli	1429	1828	2274
Kırşehir	1923	2365	2857
Kocaeli	1015	1375	1786
Konya	1916	2350	2836
Kütahya	1899	2360	2880
Malatya	1648	2037	2461
Manisa	843	1166	1535
Mardin	1270	1621	2004
Mersin	311	552	852
Muğla	1081	1458	1879
Muş	2656	3088	3563
Nevşehir	2044	2508	3033
Niğde	1922	2362	2856
Ordu	984	1361	1804
Rize	991	1375	1820
Samsun	996	1377	1826
Siirt	1230	1577	1958
Sinop	1038	1430	1879
Sivas	2412	2896	3444
Şanlıurfa	852	1157	1503
Tekirdağ	1193	1586	2032
Tokat	1534	1938	2399
Trabzon	923	1291	1724
Tunceli	1880	2280	2716
Uşak	1525	1945	2414
Van	2454	2938	3476
Yalova	1033	1409	1843
Yozgat	2350	2853	3422
Zonguldak	1162	1557	2020

Soğutma derece-gün bölgeleri için yapılan araştırmada; derece-gün yöntemi ısıtma uygulamaları için hassas olmasına karşın, soğutma uygulamaları içinde benzer şekilde derece-gün değerleri hesaplanabilir [26]. Tablo 2.4'te 81 il merkezi için hesaplanan 22-26°C denge sıcaklıkları için soğutma derece-gün değerleri verilmektedir. Ardahan 22 °C denge noktasına ulaştığında 0 °C.gün değeri ile en düşük soğutma gün derecesine sahip il olmuştur. Yani Ardahan'da ortalama sıcaklık hiçbir zaman 22 °C'yi geçmemiştir. Eğer iç kazançlar çok yüksek değilse Ardahan'daki binalarda soğutmaya ihtiyaç yoktur. En yüksek soğutma derece-gün değeri 940 °C.gün ile Şanlıurfa'da hesaplanmıştır. Çizelge 1.20'e göre, 22 °C denge noktası sıcaklığında

yıllık soğutma derece-gün sayısının Türkiye için ortalaması 241 °C.gün'dür ve yıllık ortalamayı geçen 24 il bulunmaktadır [27].

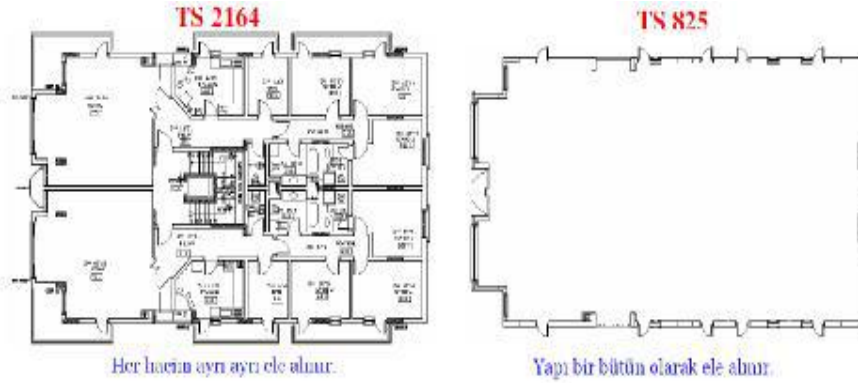
Tablo 2.4: Yıllık soğutma derece-gün değerleri

İl	22 °C	24 °C	26 °C
Adana	796	500	255
Adapazarı	155	51	10
Adıyaman	824	570	360
Afyon	58	14	2
Ağrı	35	9	1
Aksaray	131	47	11
Amasya	159	57	14
Ankara	109	37	8
Antalya	562	330	164
Ardahan	0	0	0
Artvin	58	19	5
Aydın	601	355	170
Balıkesir	226	91	20
Bartın	44	9	1
Batman	763	519	318
Bayburt	8	1	0
Bilecik	101	33	7
Bingöl	361	197	83
Bitlis	105	35	6
Bolu	22	4	0
Burdur	183	71	14
Bursa	177	61	12
Çanakkale	249	103	25
Çankırı	76	22	4
Çorum	24	4	0
Denizli	469	265	120
Diyarbakır	640	422	242
Edirne	195	72	16
Elazığ	337	179	75
Erzincan	130	44	8
Erzurum	7	1	0
Eskişehir	27	4	0
Gaziantep	521	312	157
Giresun	108	23	3
Gümüşhane	40	9	2
Hakkari	184	72	18
Hatay	614	348	139
Iğdır	276	132	43
Isparta	88	23	4

İl	22 °C	24 °C	26 °C
İstanbul	159	47	6
İzmir	559	319	147
K. Maraş	649	405	210
Karaman	119	39	7
Kars	2	0	0
Kastamonu	23	4	0
Kayseri	38	8	1
Kilis	689	429	224
Kırkkale	128	43	10
Kırklareli	185	72	20
Kırşehir	85	24	4
Kocaeli	204	76	18
Konya	101	31	5
Kütahya	35	7	0
Malatya	407	229	103
Manisa	570	343	171
Mardin	755	515	315
Mersin	585	317	124
Muğla	369	198	81
Muş	208	92	25
Nevşehir	47	13	2
Niğde	63	14	2
Ordu	119	30	3
Rize	81	13	1
Samsun	76	11	0
Sırt	747	509	311
Sinop	92	16	1
Sivas	27	6	1
Şanlıurfa	940	665	429
Tekirdağ	112	26	3
Tokat	97	30	5
Trabzon	91	17	1
Tunceli	353	193	85
Uşak	127	43	9
Van	32	6	1
Yalova	123	32	4
Yozgat	20	4	0
Zonguldak	50	14	2

2.1.2 TS 825 ve Yalıtım Hesabı

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında verilen sıcaklık değerleri Türkiye’de son 20 yıllık meteorolojik verilere dayalı olarak hazırlanmaktadır. Bu meteorolojik verilerden yararlanılarak elde edilen derece gün sayılarına göre, ilgili kurum Türkiye’yi beş bölgeye ayırmıştır. TS 825 standardında ayrıca, yapı malzemelerinin özellikleri de verilmiş olup, binanın tüm yapı elemanlarına ait yapı malzemelerinin teknik özellikleri ve ısı iletkenlik katsayıları da verilmiştir. Bunlara ait bazı kısıtlamalara standartta yer verilmiştir. Standartta göre yapılan hesaplamalar sonucunda, bina bir bütün olarak ele alınarak, yıllık enerji ihtiyacı, yıllık ısı kaybı miktarı, yapı elemanlarında meydana gelebilecek yoğuşma, bina enerji kimlik belgesi ve yalıtım maliyetinin geri ödeme süreleri gibi kavramlar hakkında da bilgi vermektedir. TS 825 standardıyla binalarla ilgili yalıtım değerleri hesaplanmakta olup, binanın ısıtma kapasitesinin belirlenmesi için TS 2164’e (Kalorifer Tesisatı Boyutlandırma Esasları) göre ısıtma tesisatına ait cihaz seçimi ve boyutlandırma yapılması gerekmektedir. TS 825 standardına göre bina bir bütün olarak ele alınırken, TS 2164 standardına göre bina bir bütün olarak değil mahal mahal ele alınmaktadır. Her mahallin özelliğine göre standardın belirlediği sıcaklık, kat yüksekliği, pencere yönleri, pencere büyüklüğü, mahallin yönü gibi değerler ayrı ayrı ele alınmaktadır.



Şekil 2.1: TS 2164 ve TS 825'e göre binaların ısı hesaplarının yapılması

TS 825'e göre yapılan hesaplamalarda amaç net binanın bir bütün olarak ısı ihtiyacının bulunmasıdır. Burada net ısı ihtiyacından kasıt, binanın toplam ısı kaybından binanın toplam ısı kazancının çıkarılmasıdır.

2.1.3 Isı Yalıtım Hesabı

Isı yalıtımı standardına göre yeteri kalınlıkta yapılmış bir binada, iç ortamın sabit bir sıcaklıkta kalması için gerekli olan ısı enerjisinin bir kısmını ısı kazancından ve güneş enerjisinden alınır. Isıtma sezonunda bunlar yetersiz kaldığı için kalan önemli miktar ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir [4].

TS 825’de verilen hesaplama yönteminde, binanın bulunduğu bölgedeki ısıtma sezonu ele alınarak ısıtma sezonundaki aylardaki ısı ihtiyaçları toplanır. Hesap metodunda; ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdaki ve eğer varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencerelerden oluşur. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılır. Eğer binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtılıyorsa veya ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 4 K 'den fazla değil ise, binanın tamamı için ortalama bir iç sıcaklık değeri hesaplanarak bina tek hacimli olarak ele alınır ve ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıda açıklanan metoda göre hesaplanır. Binadaki farklı amaçlar için kullanılan birimler içerisinde sıcaklık farkı 4 K'den büyük ortamlar mevcut ise, farklı ısıtma bölümlerinin sınırları belirlenerek tek hacimli bina için verilen hesap metodu, farklı sıcaklıktaki her bina bölümü için ayrı uygulanmalı ve her bina hacmi için hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı toplanmalıdır [4].

2.1.3.1 Yıllık Isıtma Enerjisinin Hesaplanması

Yapı için aylara göre ısı kayıpları ve ısı kazançları hesaplanır.

$$Q_{\text{yıl}} = \sum Q_{\text{ay}} \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{ay}} = [\underbrace{H (\Theta_i - \Theta_e)}_{\text{Isı kayıpları}} - \underbrace{\eta_{\text{ay}} (\phi_{i,\text{ay}} + \phi_{s,\text{ay}})}_{\text{Isı kazançları}}] \times t \quad (2.3)$$

Isıtma sezonunda gerekli olan ısı ihtiyacı belirlenirken; ısı kazançlarının fazla olduğu aylar dikkate alınmaz. Sadece ısı kaybı olan aylar hesaplanır ve bu ayların toplamı dikkate alınır [4].

Binalarda Isı Yalıtım Kurallarına göre Türkiye 5 ayrı derece-güne ayrılarak bölge bölge değerlendirilmiştir.. En sıcak iklim bölgesi 1. Derece-gün bölgesi olurken, 5. Derece-gün bölgesi en soğuk iklim bölgesi olmuştur. Bazı illerimize ait ilçeler de farklı derece-gün bölgesi özellikleri göstermektedir. Bu ilçeler TS 825 standardında verilmiştir. Bölgelere göre aylık dış sıcaklık değerleri hesaplamalar açısından önemli olup sınır değerleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.5: Bölgelere göre ortalama aylık dış hava sıcaklık değerleri [°C]

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

2.1.3.2 Isı Kayıplarının Hesaplanması

Isı kaybı hesabı yapılırken; 1K'lık sıcaklık farkı olduğunda binanın dış cephelerinden havalandırma, iletim ve taşınım ile olan ısı kaybının (özgül ısı kaybı) binanın dış cephesindeki sıcaklık ile binanın iç ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının çarpılmasıyla hesaplanır. (H) Özgül Isı Kaybını, (H_t) iletim ve taşınımından gelen ısı kaybını, (H_v) havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybını ifade etmektedir [4].

$$H = H_t + H_v \quad (2.4)$$

2.1.3.2.1 İletim Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

Binanın yapı bileşenlerini oluşturan; duvar, toprağa temas eden duvar, toprağa temas eden döşeme, çatı, pencere ve kapılardan, iki mahal arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşan ısı kayıpları ile ısı köprüsünden dolayı gelen ısı kayıplarının toplanması ile bulunur.

$$H_t = \Sigma AU + I U_i \quad (2.5)$$

$$\Sigma AU = U_d \cdot A_d + U_p \cdot A_p + U_k \cdot A_k + 0,8 \cdot U_t \cdot A_t + 0,5 \cdot U_t \cdot A_t + U_d \cdot A_d + 0,5 \cdot U_{ds} \cdot A_{ds} \quad (2.6)$$

(Çatı döşemesi doğrudan dış hava ile temas ediyorsa formülde yer alan U_t 'nin önündeki 0,8 katsayısı 1 olarak alınır.)

Isı köprüsü demek, ısı kaybının binanın ortalama ısı kaybından daha yüksek olması, kışın iç yüzey sıcaklığının daha düşük olduğu bölüm ve bitişik yüzeye göre bileşimi değişik olan bölümdür. TS 825 standardına göre şart koşulan şey ısı köprülerine karşı önlem alınmasıdır. Isı köprüsünün oluşmadığının kabul edildiği durumlar, ısı yalıtım yönetmeliğinde verilen detay çözümlerinin uygulanmasıdır [4].

2.1.3.2.2 Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybının Hesabı

Havalandırma doğal ve cebri olarak iki şekilde ele alınmaktadır.

a. Doğal Havalandırma

Doğal havalandırmadan dolayı kaynaklanan ısı kaybı aşağıdaki bağıntıyla bulunur;

$$H_v = \rho \times c \times V' \quad (2.7)$$

Doğal havalandırma için ise bu formül aşağıdaki şekli alır;

$$H_v = \rho \times c \times V' = \rho \times c \times n_h \times V_h = 0,33 \times n_h \times V_h \quad (2.8)$$

Doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı

kayıbı hesabında havalandırma sayısı “nh” 0,8 (h-1) olarak alınır.

b. Cebri Havalandırma

Cebri havalandırmadan dolayı kaynaklanan ısı kaybı aşağıdaki bağıntıyla bulunur;

$$V' = V_f + V_x \quad (2.9)$$

Cebri havalandırmada; hacimce hava değişim debisi hesabı, sistemin durumuna göre iki durumdan biri için hesaplanabilir.

· Sistem Sürekli ve Kararlı Halde Çalışıyorsa

Hacimce hava değişim debisi (V_f), taze hava giriş debisi (V_s) ile çıkış debisi (V_e)’den büyük olana eşit alınır. “ V_x ” in yaklaşık olarak hesaplanması için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır;

$$V_x = \frac{V_h \cdot n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \left[\frac{V_s - V_e}{V_h \cdot n_{50}} \right]^2} \quad (2.10)$$

Tablo 2.6’da binanın sızdırmazlık derecesi ve binanın kat özelliklerine göre iç ve dış mahaller arasında basınç farkı 50 Pascal olduğundaki hava değişim oranları “ n_{50} ” verilmiştir. Bağıntıda verilen “ e ” değeri sabit olup bina sınıfına göre bakılarak Tablo 2.7’de verilmiştir [4].

Tablo 2.6: 50 Pa basınç farkı olduğundaki hava değişim oranı

Katta çok dairesel binalar	Katta tek dairesel binalar	Bina zarfının sızdırmazlık durumu
$n_{50} < 2$	$n_{50} < 4$	Yüksek
$2 \leq n_{50} \leq 5$	$4 \leq n_{50} \leq 10$	Orta
$5 < n_{50}$	$10 < n_{50}$	Düşük

Tablo 2.7: Bina sınıfı ve “e” değerleri

Bina sınıfı	“e” değeri	
	Birden fazla dışa açık yüzey	Dışa açık bir yüzey
Açık alandaki binalar veya şehir içindeki 10 kattan daha yüksek binalar	0,10	0,03
Kırsal alandaki binalar	0,07	0,02
Şehir merkezlerindeki 10 kattan daha az katlı binalar	0,04	0,01

Hacimce hava değişim debisi için aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$V' = V_o (1-\beta) + (V_f + V_x) \cdot \beta \quad (2.11)$$

Mekanik sistem farklı “V_f” ler için tasarlanmışsa ortalama değer kullanılır. Mekanik havalandırma sistemi, mekanik havalandırma ile meydana gelebilecek ısı kayıplarının hesaplanmasında azaltma faktörünün kullanılması için, dışarı atılan havadaki ısı enerjisi ortama gönderilen havanın ön ısıtmasını sağlamak için kullanılacak ısı değiştiricisine ve geri kazanım sistemine sahip olması gerekir. Bu amaçla hacimce hava değişim debisinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır [4].

$$V' = V_f (1-\eta_v) + V_x \quad (2.12)$$

Yukarıdaki eşitliğin kullanılmayacağı bir durum vardır: O da ısı geri kazanım sistemi dışarı atılan havadan alınan ısı enerjisini ısı pompası gibi başka bir sistem aracılığıyla ya da sıcak su sistemine iletilmesidir. Bu durumlarda azaltma, ilgili sistemin enerji tüketiminin hesaplanması sırasında dikkate alınmalıdır [4].

2.1.3.3 Isı Kazançlarının Hesaplanması

Yapılarda ısı kazancı denildiğinde; mahalde bulunan iç kaynaklar ile güneş enerjisinden gelen ısı kazançlarının toplamını ifade etmektedir. Isı kazançları ısı kaybında olduğu gibi ay ay hesaplanmaktadır. Mahalde bulunan iç kazançları ($\Phi_{i,ay}$), güneş enerjisi kazançlarını ise ($\Phi_{g,ay}$) olarak ayırıp iki grupta incelenip hesaplanması gerekmektedir.

i. Aylık Ortalama İç Kazançlar ($\Phi_{i,ay}$)

Mahalde bulunun iç ısı kazancı aşağıdaki ifadelerin bir bütünüdür.

- İnsanların vücut ısılarından dolayı oluşan ısı kazancı,
- Yapıda kullanılan ısıtma/sıcak su vb. sisteminden doğan ısı kazancı,
- Mutfakta bulunan pişirme sırasından oluşan ısı kazancı,
- Yapıda bulunan aydınlatma sisteminden doğan ısı kazancı,
- Mahallerde bulunan elektrikli cihazların yaydığı ısı kazancı.

Konutlarda, okullarda ve normal binalarda;

- $\Phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$ (Watt)
- **An:** Bina kullanım alanı ($A_n=0,32 \times V_{brüt} \text{ m}^2$)

Yüksek iç enerji kazançlı binalarda;

Örneğin yemek fabrikalarında, aşırı elektrikli cihaz çalıştırılan binalarda ve etrafa çok fazla ısı yayan sanayi cihazlarının kullanıldığı yapılarda,

$$\Phi_{i,ay} \leq 10 \cdot A_n \text{ (Watt)}$$

ii. Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazançları ($\Phi_{s,ay}$)

Gün içerisinde pencerelerimizden doğrudan güneş ışını alırız. Bu güneş ışınlarının hesaplamalarını tarif eden enerji kazancıdır. Fayda sağlamayan pasif güneş enerjisi sistemleri kazancı ihmal edilmiştir. Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\Phi_{s,ay}$) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [4].

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (2.13)$$

Buradaki “ $r_{i,ay}$ ” değeri binanın konumuna göre aşağıdaki 3 farklı değeri alabilmektedir.

	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0,8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0,6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0,5

Şekil 2.2: Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$)

“ $r_{i,ay}$ ” yukarıda verilen çizelgeden seçilir. “ $r_{i,ay}$ ” ayrıca TS EN 832’de verilen hesaplama yöntemine göre de hesaplanabilmektedir.. Güneş enerjisi geçirme faktörü “ $g_{i,ay}$ ” ise aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g^{\wedge} \quad (2.14)$$

Burada “ F_w ” değeri 0,8 alınmaktadır. Camın türüne göre de “ g^{\wedge} ” değeri seçilir.

Tablo 2.8: Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü

Cam türü	g^{\wedge}
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
* Isıl geçirgenlik katsayısı $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ’den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için	0,50

Tablo 2.9: Bütün derece gün bölgeleri için hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama aylık güneş ışınımı şiddeti

Aylar	I güney	I kuzey	I batı/doğu
Ocak	72	26	43
Şubat	84	37	57
Mart	87	52	77
Nisan	90	66	90
Mayıs	92	79	114
Haziran	95	83	122
Temmuz	93	81	118
Ağustos	93	73	106
Eylül	89	57	81
Ekim	82	40	59
Kasım	67	27	41
Aralık	64	22	37

2.1.3.4 Kazanç Kullanım Faktörünün Hesabı

Isıtma enerjisi gereksinimlerinin azaltılması bakımından, güneş enerjisi kazancının ve iç kazançlarının toplamının faydalı enerji gibi kabul görmesi her zaman doğru değildir. Bunun nedeni, kazançların doğru zamanda yapılamadığı veyahut ısı kazancının yüksek olduğu anda kazancın kayıplardan fazla olabileme ihtimalidir. İç ortamın sıcaklığının kontrol sistemi kesin olarak mükemmel olmaz. Yapı elemanlarının içerisinde az da olsa ısı depolanır. Bu yüzden yararlanma faktörü ile birlikte iç kazançlar ve güneş enerjisi kazanımları azaltılır [4].

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü;

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (2.15)$$

“**KKO_{ay}**” Kazanç / kayıp oranı olup, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(\Theta_{i,ay} - \Theta_{e,ay}) \quad (2.16)$$

Aylık kazanç kullanım oranı (KKO_{ay}), 2,5 ve üzerinde olduğunda, o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir.

2.1.3.5 Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Sınır Değerleri

Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları kapsamında belirtilen hesaplama yöntemine göre yıllık ısıtma ihtiyacı hesaplanır. Yapının enerji verimliliği açısından; binadaki mahallerin kat yüksekliği dikkate alınarak birim alana veya birim hacimce düşen yıllık ısıtma ihtiyacının standartta verilen yıllık ısıtma sınır değerinin altında bir sonuç vermesi gerekir [4].

Yıllık Isıtma Enerjisi sınır değeri hesabı yapılırken yapının ısı enerjisi kaybeden tüm alanların toplamının (A_{top}) yapının toplam hacmine ($V_{brüt}$) oranına göre ($A_{top}/V_{brüt}$) hesaplanır [4].

Tablo 2.10: Yıllık ısıtma enerjisi sınır değerlerinin bölgelere göre değişimi

		A/V < 0,2 için	A/V > 1,05 için	
1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1,DG} =$	13,8	44,9	kWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1,DG} =$	4,4	14,4	kWh/m ³ , yıl
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2,DG} =$	28,5	82,3	kWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2,DG} =$	9,1	26,3	kWh/m ³ , yıl
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3,DG} =$	38,4	100,9	kWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3,DG} =$	12,3	32,3	kWh/m ³ , yıl
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4,DG} =$	50,4	122,3	kWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4,DG} =$	16,0	38,8	kWh/m ³ , yıl
5. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{5,DG} =$	62,8	148,2	kWh/m ² , yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{5,DG} =$	20,0	47,4	kWh/m ³ , yıl

Hesaplamalarda yükseklik tabandan (döşemeden) tavana kadar olan mesafe alınır. Eğer ki aynı yapıda kullanım alanlarında yükseklikler arasında farklılıklar var ise hangi alanın hacmi daha büyükse o alanın net yüksekliğine göre hesaplamalar yapılır [4].

$$\text{Net oda yüksekliği} > 2,6 \text{ m} \text{-----} Q=Q_{yıl}/V_{brüt} \text{ (kWh/m}^3\text{)}$$

$$\text{Net oda yüksekliği} \leq 2,6 \text{ m} \text{-----} Q=Q_{yıl}/A_N \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

2.1.3.6 Bina Tipilerine Göre İç Oda Sıcaklığının Belirlenmesi

Hesaplamalar yapılırken lazım olan iç ortam sıcaklığı TS 825 “binalarda ısı yalıtımı kuralları” standardında belirlenen yapıların kullanım amacına göre belirlenmiştir. Aşağıda verilen Şekil 1.28’de farklı yapılarda dikkate alınması gereken iç ortam sıcaklıkları belirtilmiştir [4].

Tablo 2.11: Farklı yapılarda dikkate alınması gereken iç ortam sıcaklıkları

	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	22
11	Hastaneler	
12	Kapalı yüzme havuzları	28
13	İmalat ve atölye mahalleri	16

2.1.3.7 Yapı Bileşenlerinin Toplam Isı İletkenlik Katsayılarının Hesaplanması

Toplam ısı iletkenlik katsayısı (U), yapı bileşeni dirençleri ile yüzeysel iletim direncinin toplamının 1’e bölümüdür;

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_d} \quad (2.17)$$

Isıl geçirgenlik direnci R, yapı bileşenlerini meydana getiren her tabakanın kalınlığının ve tabakanın tipine göre hesaplanır;

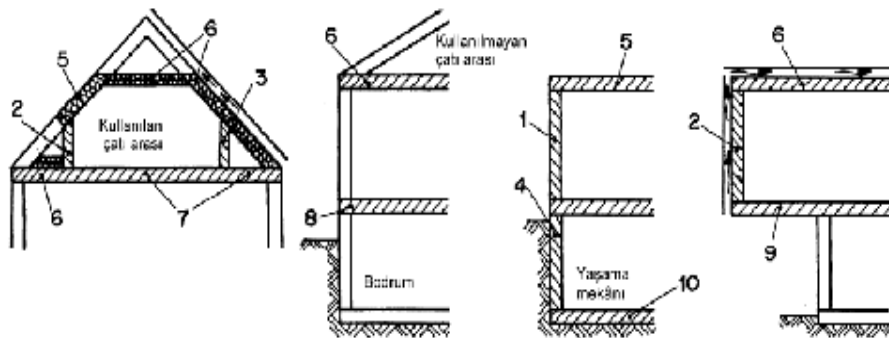
$$R = \frac{d_1}{\lambda h_1} + \frac{d_2}{\lambda h_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda h_n} \quad (2.18)$$

İç yüzeyin yüzeyel ısı iletim direnci R_i ($1/\alpha_i$), dış yüzey yüzeyel ısı iletim direnci R_e ($1/\alpha_e$) ile ifade edilir. Bu dirençler yapı bileşenlerin cinsine ve yapıdaki ısı geçişinin yönüne göre Tablo 2.12' de verilmiştir [4].

Tablo 2.12: Yapı bileşenlerinin tipine göre verilen yüzeyel ısı iletim direnç değerleri

Sıra No	Yapı bileşeni tipi ¹⁾	Yüzeyel ısı dirençleri ²⁾	
		R_{si} (m ² K/W)	R_{se} (m ² K/W)
1	Dış duvar (Sıra no 2 'de verilen dışındaki dış duvarlar)	0,13	0,04
2	Arkadan havalandırılan giydirmeye cephe ³⁾ dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar		0,08
3	Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekânlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvar		5)
4	Toprak temaslı dış duvar		0
5	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı	0,13	0,04
6	Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekân altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu)		0,08
7	Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban		
7.1	Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması halinde	0,13	5)
7.2	Yukarıdan aşağıya ısı akışı olması halinde	0,17	5)
8	Bodrum tavanı		5)
9	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları	0,17	0,04
10	Altında bodrum olmayan bir yaşama mekânının zemine oturan tabanı		0

¹⁾ Basitleştirmek amacıyla bütün durumlarda $R_{si} = 0,13$ m²K/W ve 4 ve 10'uncu sıradaki durumlar hariç olmak üzere $R_{se} = 0,04$ m²K/W değerleri hesaplamalarda kullanılabilir.
²⁾ Yapı elemanlarından buhar geçişinin tahkiki ve sınırlandırılması ile ilgili hesaplamalarda kullanılacak olan iç ve dış yüzeyel ısı transfer direnci için Ek F Madde F.2.4.6'ya bakınız.
³⁾ Yapı bileşenlerinin bina üzerindeki konumları için Şekil 1'e bakınız.
⁴⁾ Hava katmanlı sandviç duvarlarda Sıra no 1 'de verilen değerler kullanılır.
⁵⁾ Yapı bileşeninin iç mekânda yer alması durumunda, hesaplamalarda iç ve dış yüzey ısı transfer direnç değerleri aynı kabul edilmiştir.



Şekil 2.3: Yapı bileşenlerine ait mahal adlandırılması

TS 825 standardında tavsiye nitelikli olarak ısıl geçirgenlik katsayısı, eskimiş yapılarda yenilenecek tamiratlarda alakalı bölümlerin sağlaması için ısıl direncin bulunmasında kullanılmaktadır. TS 825 standardına uygun olarak bulunacak sonuçlar, yeni binalarda tasarımlarda duvardan tavana, tabandan pencerelere verilen değerler düşük ısıl geçirgenlik katsayısının oluşturulması durumunda standarda uygun sonuçların elde edilme olasılığı maksimumdur [4].

Bir yapıda önemli olan sağlık ve konfor, yapılarda bulunan sıcaklık dağılımının homojen olmasına bağlıdır. Buna göre, yapılan ısı yalıtım hesabında yeni yapıların pencere, döşeme duvarları için hesaplanan U değerinin bir ya da daha fazlasının TS 825 standardına göre belirlenen U değerlerinin %25inden büyük olması halinde, diğer bölümlerde hesapları yapılarak bulunan U değer sonucunun standardın tavsiye ettiği değer %25 inden düşük olamaz. Standartta verilen bu özel durumun amacı, bazı bölümlerde yalıtımın yapılmaması ya da uygulanamaz seviyede veyahut maliyetlerin dengesiz olması durumlarının, diğer bölümlerde de yalıtımın eksik yapılabilmesi tehlikesini ortadan kaldırmaya yöneliktir. Bir yapıda bulunan pencere, döşeme ve duvarlarda, hesaplamaları yapılarak bulunan U değerler sonuçlarının TS 825'e göre tavsiye edilen değerlerden küçük olması halinde yapılar hakkında herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. İstenilen kadar düşük ısıl geçirgenlik katsayısının detay tasarımının yapılabilmesi için tüm yapı elemanlarının tavsiye edilen U değerlerine uyulması gerekir [4].

Tablo 2.13: Bölgelere göre yapı bileşenlerinde önerilen U değerleri

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_P^* (W/m ² K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

Standartta göre, havalandırma boşluğu olan -örneğin giydirmce cephesi- ısıl geçirgenlik değer hesaplamalarında, mevcut bulunan boşlukların dış ortam iklim şartlarının olduğu kabul edilir. Bu nedenle, havalandırma boşluğu ile bu boşluğun

dışında bulunan yapının malzemeleri, ısıl geçirgenlik katsayısı ilgili detayın hesaplanmasında dikkate alınmaz. Diğer taraftan da boşluk içinde ve dış ortamda bulunan hava hareketleri birbirlerinden farklı olabilmektedir. Bu nedenle havalandırılan bölümlerde, dış ortamın ısı taşınım katsayısı (α_d); 25 W/m².K yerine 12,5 W/m².K alınarak yapı elemanının “U” değeri hesaplanır [4].

Tablo 2.14: Bazı pencere sistemlerinin Up değerleri

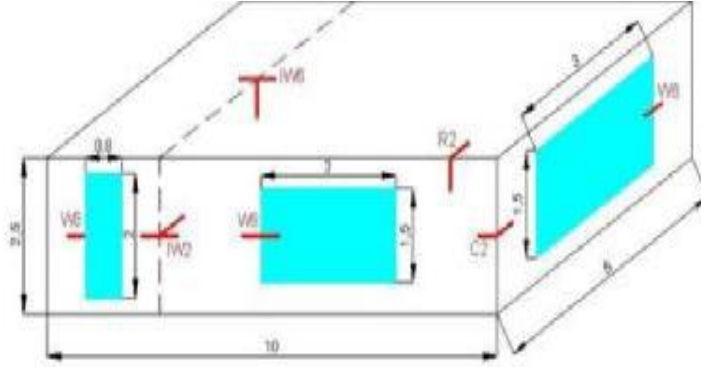
	Türkiye'deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısıl geçirgenlik (U_p) katsayıları W/m ² .K	TEK CAMLI PENCERE	ÇİFT CAMLI PENCERE (kaplamasız cam)		ÇİFT CAMLI LOW-E KAPLAMALI PENCERE	
			ARA BOŞLUK (mm)		ARA BOŞLUK (mm)	
			12	16	12	16
	DOĞRAMASIZ	6,7	2,9	2,7	1,6	1,3
D O Ğ R A M A T İ P İ	AHŞAP DOĞRAMA	4,57	2,64	2,50	1,74	1,53
	PVC DOĞRAMA (2 odacıklı)	4,73	2,79	2,65	1,89	1,68
	PVC DOĞRAMA (3 odacıklı)	4,63	2,70	2,56	1,80	1,59
	PVC DOĞRAMA (4 odacıklı)	4,60	2,67	2,53	1,77	1,56
	PVC DOĞRAMA (5 odacıklı)	4,57	2,64	2,50	1,74	1,53
	PVC DOĞRAMA (6 odacıklı)	4,54	2,61	2,47	1,71	1,50
	ALÜMİNYUM DOĞRAMA	5,62	3,68	3,55	2,79	2,58
	ALÜMİNYUM DOĞRAMA (yalıtım köprülü)	4,73	2,79	2,65	1,89	1,68

Pencerelerden olan ısı kayıplarının en aza indirilmesi açısından Up değerinin kaplamalı camlar kullanılarak 1,8 W/m².K'e kadar düşürülecek şekilde tasarlanması tavsiye edilir. Diğer kapı ve pencere türleri için TS 2164'te verilen 11.05.2000 revizyon tarihli Çizelge 6a ve Çizelge 6b kullanılarak ısıl geçirgenlik katsayıları bulunur ve hesaba katılır. Bazı pencere tipleri için TS 2164'ten faydalanılarak bulunan Up değerleri Tablo 2.14'te verilmiştir [4].

2.1.3.8 Isı Köprüsü Parametreleri

Isı köprüleri, binalarda birbirinden farklı olan ısı iletkenlik katsayısı olan malzemelerin montajı yapılırken tam veya kısmi olarak zarar görmesi, aşınması veya delinmesi, yapının elemanlarının kalınlıklarının farklılık göstermesi ve özellikle duvar, tavan ve zemin gibi birleşim noktalarının ısı direncinin farklılık göstermesi sebebi ile oluşur.

Binalarda Isı Yalıtımı kuralları TS 825 e göre, ısı köprülerine karşı birtakım önlemler almak zorunludur. Bu önlemlerden detaylı bahseden yönetmelik 8 Mayıs 2000 tarihinde 24043 sayılı resmi gazetede yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre önlem alınması mümkün olmayan balkon vb. detaylarda oluşan ısı köprülerinin negatif etkilerinin özgül ısı kaybı hesabında göz önüne alınması gerekir. Isı köprüsü hesabı yapılırken TS EN ISO 10211, TS EN ISO 14683 veya TS 8441 standardı dikkate alınmalıdır. Aşağıda verilen şekilde tek katlı bir yapı ve bu yapıya ait; teras çatı, bir adet dış kapı, dış duvarında iki pencere bulunan, bir bölme duvarı olan bir yapı örnek olarak verilmiştir. Yapıya ait ölçüler ile gerçekleşen ısı köprüsü tipleri Şekil 2.4'te işaretlenerek gösterilmiştir [4].



Şekil 2.4: Örnek ısı köprüsü tipleri

i. İç ölçüler kullanılarak ısı köprüsü hesabı;

Yapıda gerçekleşen ısı köprüsü tipleri belirlenerek Tablo 2.15'te verilen ısı köprüsü uzunluk değeri ile "loi" ısı köprüsünün ısı iletkenlik değeri "psi" seçilir. Bu değerlerin çarpımıyla iletimle gerçekleşen ısı kaybı bulunur [4].

Tablo 2.15: Toplam (içten - içe) iç ölçüler kullanarak ısı köprüsü hesaplama

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

ii. Dış ölçüler kullanılarak ısı köprüsü hesabı;

Duvar kalınlığı, çatı döşemesinin kalınlığı projeden alınarak toplam iç ölçülere eklendiğinde binanın ölçüleri bulunur. Yapıda gerçekleşen ısı köprüsü tipleri belirlenerek Tablo 2.15'te verilen ısı köprüsü uzunluk değeri ile "le" ısı köprüsünün ısı iletkenlik değeri "ψe" seçilir. Bu değerlerin çarpımıyla iletimle gerçekleşen ısı kaybı bulunur. Hesaplamalarda 0,1 W/m.K'den küçük olan "ψe" değerleri ihmal edilir [4].

Tablo 2.16: Dış ölçüler kullanarak ısı köprüsü hesaplama

Isı Köprüsü	Isı köprüsü tipi ¹	Ψ_e W/(m.K)	l_e m	$\Psi_e \times l_e$ W/K
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

2.1.3.9 Buhar Geçişinin Tahkiki ve Sınırlandırılması

Farklı kısmi buhar basınçlarının olmasının nedeni, bir yapının iki yüzü arasında, bağıl nemin ve sıcaklıkların farklı olması sonucunda oluşur. Bu basınç farkı, havadaki buhar molekülleri ısı akımı ile aynı yönde hareket eder ve yapı elemanı gözeneklerinden geçerse dış ortama ulaşır. Su buharı bu geçiş anında yapının içerisinde, doyum sıcaklığında ya da daha düşük sıcaklıkta herhangi bir yere temas ederse yoğunlaşarak su haline dönüşür. Bu durum da yapının içerisine ya da yüzeyinde su birikintisi oluşturarak yapıya zarar verir [4].

Yapıya zarar verdiğinin kanıtı, yapının üzerinde oluşan siyah lekeler, mantar oluşumu, küf oluşumudur. Bu durum yapıya zarar verdiği kadar insan sağlığını da etkiler, ayrıca ortamın konforunu da olumsuz etkiler. Yapı elemanları arasında meydana gelen yoğunlaşma, eklentilerin paslanmasına neden olur. Pas, donatının işlevini yitirmesine neden olur. Bunun sonucunda da paslanan ve işlevini yitiren donatı yapının ömrünün kısalmasına ve deprem dayanımının azalmasına neden olur [4].

Bu olumsuz durumların oluşmaması için elbette ki çözümler vardır. Standartta hesaplama yöntemine göre buhar geçişi hesaplanıp istenilen sınır değerinin altında olduğunu gösterir şekilde rapor alınması gerekir. Böylelikle insan sağlığı için rahat ve konforlu bir yaşam sağlanır. Aynı zamanda uzun ömürlü binalar ve önemli oranda da enerji tasarrufu sağlanmış olur [4].

i. Hesap Metodu

TS 825 standartına göre binadaki yapı bileşenlerine ait yoğunlaşma olasılığının incelenmesi gerekmektedir. Yoğunlaşma hesabı yapılırken, yapının yapıldığı zaman duvar bileşenlerinde bulunan suyun olmadığını kabul edilir ve aşağıda belirtilen durumlar değerlendirmeye dahil edilmez;

1. Isıl iletkenliğin, nem miktarı ile bağımlılığı,
2. Serbest kalan ve emilen gizli ısı,
3. Nem miktarına bağlı olarak malzeme özelliklerinin değişimi,
4. Kapılar emme ve malzeme içerisinden sıvı nem (su) geçişi,
5. Çatlaklar veya hava bölümleri arasındaki hava hareketleri,

6. Malzemelerin higroskopik nem kapasiteleri.

Yoğuşma oluşmasındaki en temel etkenler; yapının bulunduğu yer, iklim şartları, yapı bileşenlerinde kullanılan malzemeler, yapı malzemelerinin birbiri ile oluşan etkileşimi, iki malzeme arasındaki sıcaklık farkı ve yapı malzemelerin kalınlığı şeklinde sıralanabilir [4].

ii. Malzeme Seçiminde Bakılması Gereken Hususlar

Yapı malzemelerinin özellikleri kullanılacağı yere göre önem arz etmektedir. Yapı malzemesi homojen bir yapıya sahipse ısı iletkenlik değeri ve su buharı difüzyon katsayısı dikkat edilirken, yapı malzemesi homojen değil kompozit bir malzeme ise ısı direnci ile eş değer hava katsayı değeri önem arz etmektedir. Yapı malzemelerine ait bu değerler TS 825’de verilmiştir.

iii. Hesaplamalar İçin Olması Gereken Ortam Şartları

Hesaplamalar yapılırken; dış hava sıcaklığına, yapı bileşenlerine temas eden toprak sıcaklığına, iç hava sıcaklığına, iç ve dış ortamın bağıl nem değerlerine dikkat edilmelidir. Bu değerler TS 825’de verilmiştir. Hangi şartlar altında bu değerlerin nasıl değerlendirileceği bu standartta detaylı bir şekilde belirtilmiştir [4].

iv. İç Yüzey Sıcaklığının Sınır Değeri

Yapıda küf oluşmaması ve istenilen konfor şartlarının değişmemesi için mahalein iç yüzey sıcaklığının $\Theta_{yi, en}$ düşük, standartta belirtilen iç ortam sıcaklığı arasındaki fark en fazla 3°C olacak şekilde yapı bileşenleri projelendirilmelidir.

v. Su Buharı Difüzyonu – Eş Değer Hava Tabakası Kalınlığı

Bir yapı elemanı katmanının su buharının geçişine gösterdiği dirence eşdeğer direnci gösteren hareketsiz hava tabakasının kalınlığı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$S_d = \mu \times d \quad (2.19)$$

vi. Bağıl Nem

Hava içindeki, aynı sıcaklıktaki kısmî su buharı basıncının, doymuş durumdaki su buharı kısmî basıncına oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır [4].

$$\varphi = \frac{p}{p_s} \quad (2.20)$$

vii. Yüzeyin Kritik Nemi

Yapı elemanının yüzeyinde oluşan bağıl nem miktarı %80 ve üzerinde olduğunda yüzeylerde küf oluşumu başlar. Bu küf oluşumuyla birlikte yüzeylerde bozulmalar başlar [4].

viii. Doymuş Buhar Basıncı ve Sıcaklığı

Doymuş buhar basıncı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Doymuş buhar basıncı aşağıda verilen bağıntılar ile bulunur.

$$\Theta = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{p_s}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_s}{610,5} \right)} \quad p_s \geq 610,5 \text{ pa} \quad (2.21)$$

$$\Theta = \frac{265,5 \log_e \left(\frac{p_s}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left(\frac{p_s}{610,5} \right)} \quad p_s < 610,5 \text{ pa} \quad (2.22)$$

$$p_s = 610,5 e^{\frac{17,269 \Theta}{237,3 + \Theta}} \quad \Theta \geq 0^\circ C \text{ için} \quad (2.23)$$

$$p_s = 610,5 e^{\frac{21,875 \Theta}{265,5 + \Theta}} \quad \Theta < 0^\circ C \text{ için} \quad (2.24)$$

Yukarıda verilen bağıntılar deneysel ifadelerdir. İlgili standartta su buharı basıncı değerleri tablo hâlinde verilmiştir [4].

ix. Yüzeysel Isıl İletim Direnci

Yoğuşma tahkiki hesaplamalarında yapı elemanları iç ve dış yüzeylerindeki yüzeysel ısı iletim direnç değerleri için $R_i = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ ve $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ değerleri kullanılmalıdır.

2.1.3.10 Yoğuşma Hesabı

Bir yapıda elemanın bileşenleri arasında, sıcaklık ve nemin farklı olmasından dolayı buhar basıncı oluşur. Kış sezonunda yapıda ısıtma yapıldığında yapının iç tarafında yüksek buhar basıncı oluşur. Yüksek buhar basıncı düşük buhar basıncı olan yapının dış bileşenlerine doğru hareket ederek dış ortama doğru ulaşmaya çalışır. Su buharının iç ortamdan dış ortama gaz fazında geçerse yapı bileşenleri açısından herhangi bir problem oluşmaz. Fakat buhar fazı yapı bileşenin herhangi bir katmanında faz değiştirip sıvı hale geçerse yoğuşma meydana gelir. Yapı bileşenlerinde oluşan yoğuşma miktarını TS 825 standardına göre hesaplanır. Hesaplama yapılırken yapı bileşenlerindeki her katman geçişi için (ara yüzey) ayrı ayrı yoğuşma hesabı yapılır.

i. Malzeme Özellikleri

Metal levhalar gibi bazı malzemeler, etkili bir şekilde su buharı geçişini önlerler ve bu sebeple sonsuz μ değerine sahiptirler. Bununla birlikte hesaplama işlemi için malzemenin sonlu bir μ değerinin olması gerektiğinden bu tür malzemeler için μ değeri 100.000 olarak alınacaktır. Dıştan içe doğru “n” adet ara yüzeyin toplanmış su buharı difüzyon – eş değer hava tabakası kalınlığı hesaplanır [4].

$$R_N^I = R_e + \sum_{j=1}^n R_j \quad (2.25)$$

$$S_{d,n}^I = \sum_{j=1}^n S_{d,j} \quad (2.26)$$

Toplam ısı direnç ve su buharı difüzyon – eşdeğer hava tabakası kalınlığı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$R_T^I = R_i + \sum_{j=1}^N R_j + R_e \quad (2.27)$$

$$S_{d,T}^I = \sum_{j=1}^N S_{d,j} \quad (2.28)$$

ii. Isı Akış Yoğunluğunun Hesaplanması, Doymuş Buhar Basıncı ve Sıcaklık Dağılımı

$$\text{Bir yapı elemanının ısı akış yoğunluğu (q),} \quad q = U \times (\Theta_i - \Theta_e) \quad (2.29)$$

$$\text{İç yüzey sıcaklığı } (\Theta_{yi}), \quad \Theta_{yi} = \Theta_i - R_i \times q \quad (2.30)$$

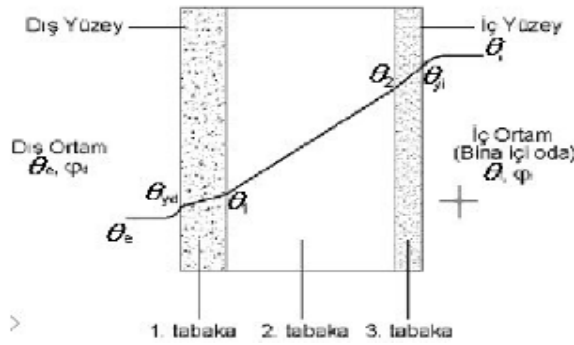
$$\text{Dış yüzey sıcaklığı } (\Theta_{yd}), \quad \Theta_{yd} = \Theta_e + R_e \times q \quad (2.31)$$

Ara yüzey sıcaklıkları; malzemeler arasındaki her bir ara yüzey için sıcaklık değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır;

$$\Theta_n = \Theta_e + \frac{R_n'}{R_T'} (\Theta_i - \Theta_e) \text{ veya } \Theta_1 = \Theta_{yi} - R_1 \times q \quad (2.32)$$

$$R = \frac{1}{\lambda} = \frac{d}{\lambda h} \quad \Theta_2 = \Theta_1 - R_2 \times q \quad (2.33)$$

Sürekli rejim şartlarının kabulünden dolayı her bir katman için sıcaklık dağılımı doğrusal olarak Şekil 1.37'de verilmiştir. Her bir malzeme katmanı arasındaki ara yüzeylerdeki sıcaklığa göre su buharı doyma basıncı hesaplanır.



Şekil 2.5: Bir yapı elemanındaki katmanlar arasındaki sıcaklık dağılımı

iii. Başlangıç Ayı

Yapı bileşenlerinde TS 825'e göre yoğuşma tahkiki yapılır. Hesaplamalar yapılırken yapının bir yıl içinde yoğuşma olup/olmadığına bakılır. Yapı bileşenlerinde yoğuşma çıkıyorsa yoğuşan suyun miktarı standartta göre hesaplanır. Yoğuşmanın çıktığı ay başlangıç ayı kabul edilir [4].

iv. Yoğuşma Hesabı

Yapıda meydana gelen yoğuşma TS 825 standartında verilen bağıntılarla bulunur. Yapıda yoğuşma hesabı aylık olarak yapılır. Yoğuşmanın çıktığı ay başlangıç kabulü edilir ve bu aydan itibaren yapıdaki yoğuşma bir yıl boyunca aylık olarak hesaplanır. Yoğuşma hesabı yapıldıktan sonra aylık olarak raporlanır.

v. Buharlaşma

Yapı elemanlarının bileşenlerinin bir veya birden fazla yüzeyinde oluşan veya biriken yoğuşmada, su buhar basıncı suyun doyma basıncına eşit olmalıdır. Buharlaşma hesabı TS 825 standartında verilen bağıntılarla bulunur. Yapılan hesaplama sonucunda sonuç pozitif çıkarsa yapı bileşeninde yoğuşma, negatif çıkarsa yapıda buharlaşma olduğunu ifade eder [4].

vi. Buharlaşma ve Yoğuşma

Bir yapı bileşeninin katmanlarının birinde buharlaşma olurken diğer katmanında yoğuşma oluşabilir [4].

vii. Yoğuşma Kriterleri

Aşağıda belirtilen maddelere göre yoğuşma hesapları ve çıkan sonuçlar rapor edilir.

a. Herhangi ayda herhangi ara yüzeyde yoğuşma olmaması durumunda; yapı elemanı ve yapı elemanlarına ait herhangi bir bileşenlerde yoğuşmanın çıkmadığı rapor edilir.

b. Bir veya daha çok ara yüzeyde yoğuşma olması durumunda;

Yapı elemanı ve yapı elemanlarına ait herhangi bir bileşenlerde yoğuşma olmasından dolayı, yalıtım malzemesi ve diğer yapı bileşenlerinin zarar veya bozulmaması için aşağıda belirtilen şartlar yapılmalıdır.

• Yapıda bulunan tüm yapı bileşenlerinin toplamında oluşan yoğuşma suyu miktarı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'yi aşmamalıdır.

• Yapıda dıştan yalıtımın mümkün olmadığı yerlerde (içeriden yalıtım yapılması) betonarme duvarda yoğuşma suyu miktarı $0,5 \text{ kg/m}^2$ 'yi aşmamalıdır.

• Ahşap malzemelerdeki nem muhtevasının kütle cinsinden ifade edildiği durumda, ahşap malzemenin kütlelerinin nem nedeniyle %5'ten daha fazla artmasına izin verilmez. İşlenmiş ahşap mamullerinde (sunta vb.) ise %3'ten daha fazla artmamalıdır.

c. Yapı elemanının iç yüzeyinde yoğuşma meydana gelmesi durumunda;

Yapı elemanını iç yüzeyinde yoğuşma gelmesi durumu TS 825 standartına göre istenilmeyen durumdur. Bu durumu gidermek için buhar tutucu/kesici gibi önlemler almak gerekir veyahut yapı bileşen malzemelerinin değiştirilmesi gerekir [4].

2.1.4 Isı Yalıtım Malzemeleri

Ülkemizde binalarda kullanılacak yapı ve yalıtım malzemeleri seçilirken; Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde belirtilen kural ve uygulamalara uyulması gerekmektedir. Bu kurallar ışığında binalar daha emniyetli, konforlu, enerji tasarruflu, çevreye karşı duyarlı yapılar olması hedeflenmiştir.

Yapılarda en önemli enerji tasarrufu sağlayan yapı elemanı ısı yalıtım malzemesidir. Isı yalıtım malzemeleri seçilirken; binanın bulunduğu yer, binanın özellikleri, dış duvar, döşeme, tavan, taban yapısında kullanılan diğer malzemeler, yalıtım malzemesinin kullanım yeri, ısı yalıtım malzemesinin yanmaya karşı direnci, maliyeti vb. özelliklerine bakılarak yalıtım malzemesi seçilir.

2.1.4.1 Haddelenmiş Polistren Köpüğü (XPS)

2.1.4.1.1 Isıl İletkenlik Değeri

XPS ısı yalıtım sektörünü aslı ve en eski ürünlerindedir. XPS ürünlerinin en önemli özelliği 25-30 kg/m³ yoğunlukta üretilmeleri ve su emme özelliklerinin diğer ısı yalıtım malzemelerine oranla düşük olmasıdır. Bir diğer avantajı ise mukavemet değerlerinin diğer ısı yalıtım ürünlerinden yüksek olmasıdır. Optimum buhar geçiş özelliğine sahip olan ürün ısı iletkenlik değerleri açısından da diğerlerinden daha avantajlıdır.

Homojen hücre yapısına sahip, ısı yalıtımı yapmak amacıyla üretilen ve kullanılan köpük malzemelerdir. XPS'in hammaddesi olan polistren, Haddelenmiş işlemi ile hat boyunca istenilen kalınlıkta çekilir. Sürekli bilgisayar kontrolünde yapılan bu üretim sayesinde homojen bal peteği görünümünde, kararlı bir hücre yapısı elde edilir. Hücreler bütün yüzlerinden birbirine bağlıdır. Hava hücrelerin içine hapsedilmiştir. Hareketsiz kuru hava ile bilinen en mükemmel ısı yalıtımı sağlanmaktadır.

Haddelenmiş Polistren malzemeler (XPS) bünyesine su almaz ve nemden etkilenmezler ve diğer ısı yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında haklı bir üstünlüğe sahiptirler. XPS levhalarının ısı iletkenliği 0.030, ile 0,040 W /mK aralığındadır [30].

2.1.4.1.2 Su Emme

Su, bünyesine girdiği ısı yalıtım malzemelerinin bozulmasına neden olduğu gibi ısı yalıtım direncini de düşürmektedir. Su ısıyı havadan 25 kat daha fazla iletmektedir. Hücre yapısı sayesinde suya ve neme karşı dayanıklı Haddelenmiş Polistren Köpükler yapılarda uzun ömürlü ve güvenli detay çözümleri sunar. Suyun sebep olacağı yalıtım zaafalarına meydan vermez, yalıtım performansını yapı ömrü boyunca devam ettirir [20].

XPS levhalarının bu özelliği sayesinde detaylarda önemli avantajlar sağlanır. Örneğin Teras Çatılarda Ters Teras Çatı Sisteminde olduğu gibi su yalıtımını koruyan, uzun ömürlü detay çözümlerine olanak tanır. Dış Cephe mantolama sistemlerinde sürekli dış iklim şartlarına maruz kaldığında suyu bünyesine emmediği için ve donma-çözülme döngüsündeki dayanımı sayesinde malzemenin dayanıklılığı bina ömrü boyunca süreklidir ve zaman içinde ısı yalıtım performansı değişmez [31].

2.1.4.1.3 Su Buharı Geçirgenliği

$\mu=50-250$ EN 12086

Haddelenmiş polistren malzemeler optimum buhar difüzyon direnci sayesinde kullanım yerine uygun μ değerine sahiptir. Su buharı difüzyon direnci; bir malzemenin

belirli sıcaklık, nem ve kalınlık koşulları altında birim zaman da birim alandan geçen su buharı miktarını ifade eder. Yapıların duvarından gerçekleşen difüzyon (halk arasında nefes alma) mekanizması, her yapı malzemesinde, μ değeri olarak tanımlanır ve her malzemenin bir buhar geçiş difüzyon katsayısı mevcuttur. Bu değer, malzemelerin havaya oranla buhar geçiş direncini tanımlamaktadır [32].

2.1.4.1.4 Kimyasallara ve Kimyasal Çözücülere Karşı Dayanıklılık

Uygulamada, ısı yalıtım malzemeleri, yapıştırıcılar, boyalar, çözücüler, ayırıcı, bitüm ürünleri ile temas halinde kullanılan, beton vb. maddelere karşı kimyasal direncine dikkat etmek gerekir. XPS levhaların, kireç, çimento, alçı, bitüm, serum fizyolojik, seyreltik asit vb. gibi inşaat malzemeleri dayanıklılığı vardır. Bununla beraber yakıt, katran ürünleri, cila ve diğer kimyasal çözücülere dirençli değildir [20].

2.1.4.1.5 Yangın Performansı ve Yangın Dayanımı

Diğer tüm organik maddeler gibi, XPS yanabilir. Alev geciktirici kullanılırsa tek başına bir ürün olarak test edildiğinde, XPS Avrupa yangın sınıflandırma şemasının E sınıfındadır. XPS ürünler hiçbir zaman yapıda çıplak halde kullanılmadığından, üzerindeki kaplama ile birlikte yangına karşı davranışı test edilmelidir. Bir malzemenin yangın reaksiyonu, bu malzemenin yanıcı olup olmadığı, alev sürekliliğinin derecesi ve yanan damlalar oluşturup oluşturmadığını gösterir. Yangın direnci, malzemenin yangın karşısında yapısal kararlılığını ne kadar zaman sürdürebildiğidir. Aşağıdaki parametrelerden etkilenir;

- Yangın geciktirici katkı oranı
- Şişirme gazı alevlenirliği
- Test numunesi (Kalınlık)
- Ürün Yoğunluğu

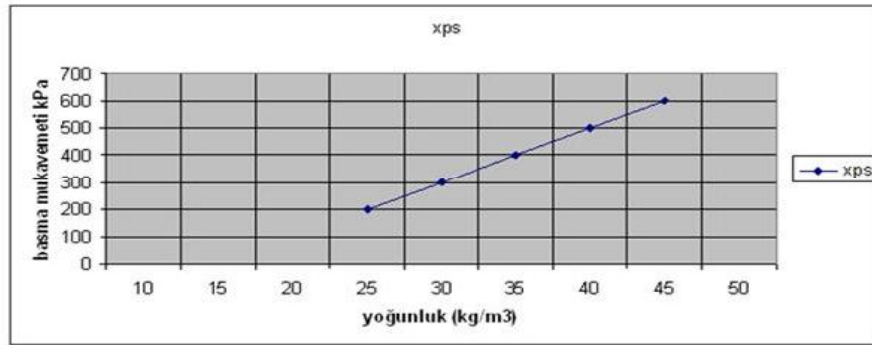
XPS ısı yalıtım levhaları E yangın sınıfına sahiptir. Alev kaynağının sürekli temas etmesi ile yanmaya devam eder. Alev kaynağı uzaklaştırılınca yanma durur [20].

2.1.4.1.6 Mekanik Özellikler

Haddelenmiş Polistren Köpüklerin bir diğer üstünlüğü de kısa ve uzun süreli yüklemeler karşısında gösterdiği yüksek mekanik dayanımdır. Bir ısı yalıtım malzemesi yük altında iken basma dayanımı ne kadar yüksek olursa kalınlığındaki azalma o kadar az olur ki, ısı iletkenlik hesap değeri değişmez ve yalıtım performansını ve değerini korur. Termal direnç değeri kalınlık ile doğru orantılıdır [20].

Haddelenmiş Polistren Köpükler basma dayanımı en yüksek malzemelerden biridir. Güvenli tarafta kalmak için de malzemelerin %10 deformasyondaki basma dayanımları esas alınmalıdır [20].

Yoğunluk ve XPS ürünlerin en önemli özelliklerinden olan Basma/ Sünme dayanımı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça basma ve sünme dayanımları artar [20].



Şekil 2.7: XPS' e ait yoğunluk – basma dayanımı ilişkisi

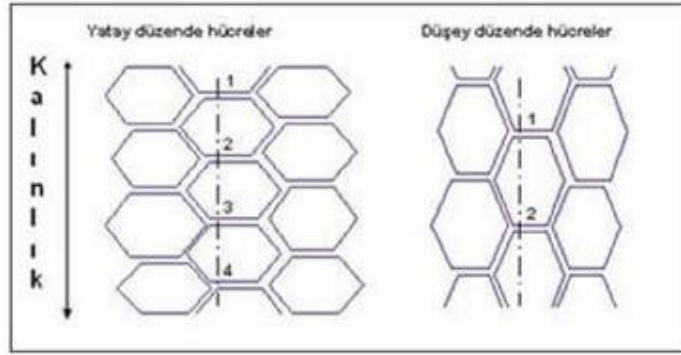


Şekil 2.6: XPS' e ait yoğunluk – sünme dayanımı ilişkisi (Sünme: Sabit yük altında uzun süreli deformasyon)

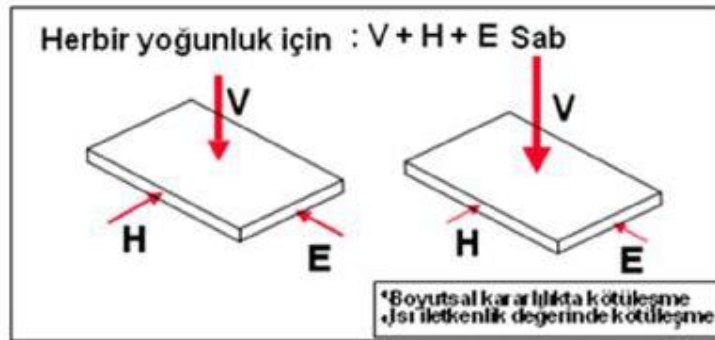
Test metodu ve hesaplamalara göre (EN 1606), 20 ila 50 yıllık periyod tahmin edilmiştir. Sünmede normal limit olan maksimum %2 (EN 1606'ya göre) kabul edilmektedir. (30 kg/m³ yoğunluk için: 300/3 = 100 kPa = dizayn değeri.)

2.1.4.1.7 Boyutsal Kararlılık

Yalıtım malzemeleri amaçları gereği ciddi ısı değişimlerine maruz kalacaklardır. Plakaların iki yüzü arasında yüksek sıcaklık farklılıkları olacağı gibi, gece-gündüz döngülerinde hızlı ısı değişimlerine maruz kalacaklardır. Bu açıdan bakıldığında boyutsal kararlılık ısı yalıtım malzemelerinin vereceği hizmetin ne kadar iyi olacağını belirleyen en önemli özelliktir. Haddelenmiş polistren köpüklerde hücre yapısının ve düzeninin 3 yönde de dengede olması beklenir [20].



Şekil 2.8: XPS' e ait hücre yapısı



Şekil 2.9: XPS' e ait hücre yapısı (XPS ısı yalıtım levhalarının boyutsal kararlılığı 0,07 mm/mK' dir.)

2.1.4.2 Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS)

2.1.4.2.1 Isıl İletkenlik Değeri

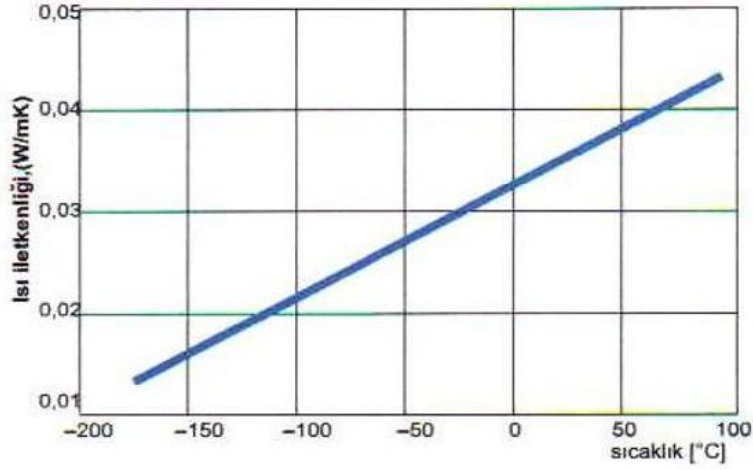
EPS levhalarının ısı iletkenliği hesap değeri 0,033 W/mK ile 0,040 W/mK arasında değişir. Yoğunluk arttıkça ısı iletkenliği azalır. Bazı ısı yalıtım malzemeleri, uzun süreli yük altında kalınlıklarında azalma gösterirler ve bu sebeple zamanla ısı dirençleri azalır. EPS yaklaşık 30 yıllık bir kullanım süresine sahiptir.

EPS ısı yalıtım levhalarının üretiminde kullanılan şişirici gaz, hava ile çok hızlı bir şekilde yer değiştirdiği için, EPS ısı yalıtım levhalarının ısı iletkenlikleri, üretimi takiben nihai değerine ulaşır ve zamanla kötüleşmez; uygulamanın gerektirdiği yoğunluklarda kullanıldıkları zaman kalınlıklarında da ısı direncini etkileyecek bir değişim görülmez. EPS ısı yalıtım levhalarının ısı iletkenliklerinin ve ısı dirençlerinin kullanım ömrü boyunca sabit kalması, en önemli avantajlarıdır [21].

Tablo 2.17: EPS türleri için verilen yoğunluk, ısı iletkenlik ve basınç gerilmesi değeri

EPS Türü	%10 Deformasyondaki Basınç gerilmesi (σ_{10} , kPa)	μ değeri	Yaklaşık Yoğunluk (ρ , kg/m ³)	Isı İletkenliği (W/mK)
EPS 50	50	20 - 40	16	0,039
EPS 60	60	20 - 40	17	0,038
EPS 70	70	20 - 40	18	0,038
EPS 80	80	20 - 40	19	0,037
EPS 90	90	30 - 70	20	0,037
EPS 100	100	30 - 70	21	0,037
EPS 120	120	30 - 70	23	0,036
EPS 150	150	30 - 70	26	0,035
EPS 200	200	40 - 100	31	0,034
EPS 250	250	40 - 100	36	0,034
EPS 300	300	40 - 100	41	0,033
EPS 350	350	40 - 100	46	0,033
EPS 400	400	40 - 100	51	0,033
EPS 500	500	40 - 100	61	0,033

Isı yalıtım malzemesi olan EPS levhaları -180 °C 'ye kadar uygulama yapılabilir. Düşük sıcaklıklarda ısı yalıtımı açısından başarılı sonuçlar vermiştir. EPS levha türlerinde ısı iletkenlik değeri (λ) sıcaklık düştükçe azalır. EPS ısı yalıtım levhalarının λ değerleri Şekil 2.10' da verilmiştir [21].

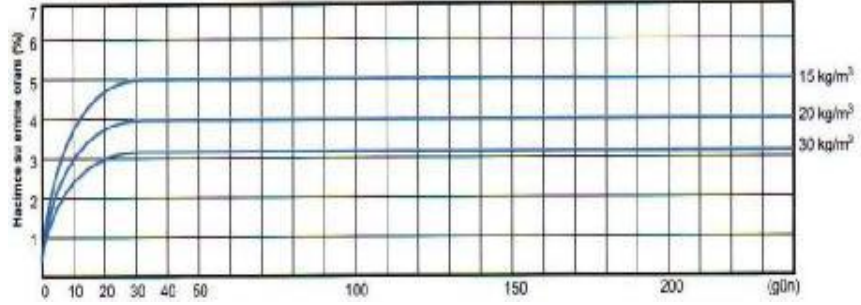


Şekil 2.10: EPS Isı Yalıtım Levhalarında Isı İletkenliğinin Sıcaklıkla Değişimi ($\rho = 20 \text{ kg/m}^3$)

2.1.4.2.2 Su Emme

Yapı malzemelerinde su emme özelliği incelendiğinde malzemelerin gözenekli olup/olmadığı ve bu gözeneklerin açık veya kapalı olması en önemli etkidir. Yapı malzemelerinin gözenekli ve gözeneklerinin açık olması su emme oranının fazla olduğunu gösterir. EPS levhaları gözenekli olmasına rağmen gözenekleri kapalı olduğu için su emme oranı çok düşüktür. EPS'yi oluşturan Styrene, suda çözülmeyen, suda erimeyen bir malzeme olduğundan gözenekleri suyu geçirmez. Tamamen suya batırılmış EPS malzemesi üzerinde yapılan deney sonuçları Şekil 2.11 'de verilmiştir.

Deney sonucuna göre EPS suya batırılmış fakat tekrar yüzeye çıkmıştır. Bu sebeple EPS “Su almaz” denilenebilir. [21]



Şekil 2.11: Yoğunlukları farklı EPS levhalarının zamanla su emme oranları

Tablo 2.18: EPS numuneler üzerinde Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi’nde gerçekleştirilen su emme deney sonuçları

Standart	Yoğunluk (kg/m ³)	Hacimce Su Emme oranı (%)
EN 12087 (7 günlük)	25	0,3
EN 12087 (7 günlük)	25	0,3
TS 4502 ve ISO 2896 (20x20x5 cm)	28	0,3
TS 4502 ve ISO 2896 (20x20x5 cm)	28	0,8
TS 4502 ve ISO 2896 (20x20x5 cm)	28	1,0

2.1.4.2.3 Su Buharı Geçirgenliği

EPS levhaların, μ değeri 20 ila 100 arasındadır. EN 13163'e göre μ değeri nin değışimi Şekil 2.11'de gösterilmiştir. EPS levhaların, içerden yalıtım uygulamaları için gerekli olan yüksek buhar direncine sahip olan tipleri bulunduğu gibi, dışarıdan yalıtım için gerekli olan düşük buhar dirençlerine sahip tipleri de olabilmektedir. EPS levhalar yoğunluğun (Tipin) uygun seçilmesi halinde, her iki yalıtım uygulaması için de istenilen performansı sağlayabilirler [21].

2.1.4.2.4 Kimyasallara ve Kimyasal Çözücülere Karşı Dayanıklılık

EPS, çimento, beton, kireç, alçı, ahşap, metal, anhidrit gibi klasik yapı malzeme ve bileşenlerine karşı tepkisizdir. Bazı kimyasallara karşı ise duyarlıdır [21].

EPS, mikroorganizmalar için bir besin maddesi değildir. Küflenmez, çürümez, kokmaz. Aşırı şartlar altındaki şiddetli kirlenmelerde diğer polimer esaslı malzemelerde de görülebildiği gibi mikroorganizmalar yuvalanabilir. Ancak EPS burada sadece bir taşıyıcı olarak kalır ve biyolojik olayın dışındadır. EPS sağlığa zararlı değildir. Bu nedenle aynı malzemeden yapılmış ambalaj ürünleri, yiyecek endüstrinde yaygın şekilde kullanılır [21].

2.1.4.2.5 Yangın Performansı ve Yangın Dayanımı

%98'i havadan ibaret olan EPS'nin elektriksel durumu havaya benzer. Bu nedenle elektrik özelliği havadaki nemle ilgilidir. Polistiren zinciri (Polimeri), kutup teşkil edecek moleköl grupları ihtiva etmez [21].

EPS levhaları B1 ve B2 yangın dayanımı olmak üzere iki tipi vardır. Yapı malzemeleri DIN 4102 'ye göre yanıcılık özellikleri sınıflandırılır. Yapı malzemelerine göre yanıcılık özellikleri Tablo 2.19'da gösterilmiştir [21].

Tablo 2.19: Yapı malzemelerinin yanıcılık özellikleri

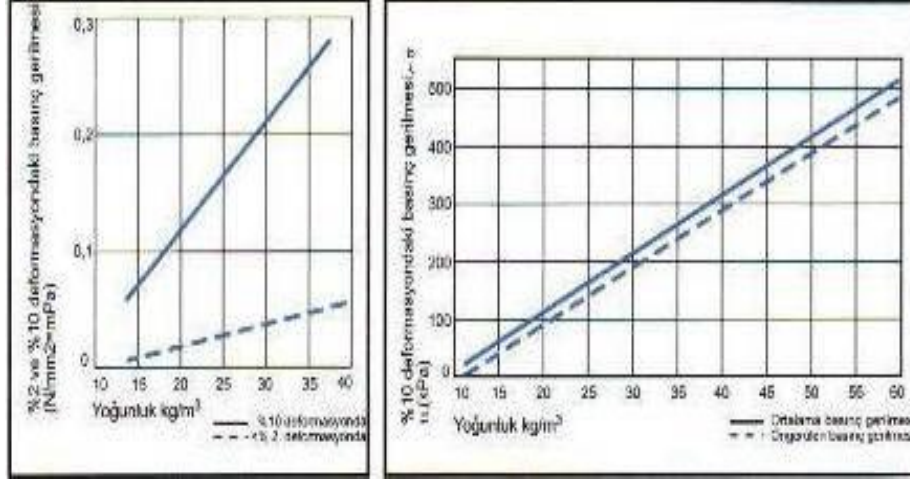
Yapı Malzemesi Türleri	Yanmaz		Yanar		
	A 1	A 2	B1 Zor alev alır	B2 Normal alev alır	B3 Kolay alev alır
Lifli malzemeler, Camyünü, Kaya yünü		•	•		
EPS, Genleştirilmiş Polistiren			•	•	
PUR, Poliüretan			•	•	
Cam Köpüğü					
Doğal Mantar				•	
Kamış				•	•
Ahşap				•	
XPS, Ekstrude Polistiren			•		

2.1.4.2.6 Mekanik Özellikler

EPS levhalarını öne çıkartan özelliklerin başında üzerine gelen yüklere karşı gösterdiği dirençtir. EPS levhalarının uygulandığı yapılarda normal şartlar altında mekanik etkilere dayanabilecek yeterliliktedir.

Isı yalıtım malzemelerinde, kalınlığın belli bir değerden fazla olması, malzemenin ısı performansının kabul edilemez düzeyde bozulmasına sebep olur. Bu sırada malzeme yük taşısa bile, ana görevi yerine getiremez. Bu sebeple ısı yalıtım malzemelerinde, basınç dayanımı değil , %10 deformasyondaki (yani kalınlıkta %10 azalma meydana geldiğindeki) basınç gerilmesi esas alınır. Bu değere %10

deformasyondaki basınç gerilemesi denir ve σ_{10} simgesi ile gösterilir. EPS levhaların özellikleri yoğunluğa bağlı olarak değişir. σ_{10} değeri de yoğunluğa bağlı olarak artar [21].



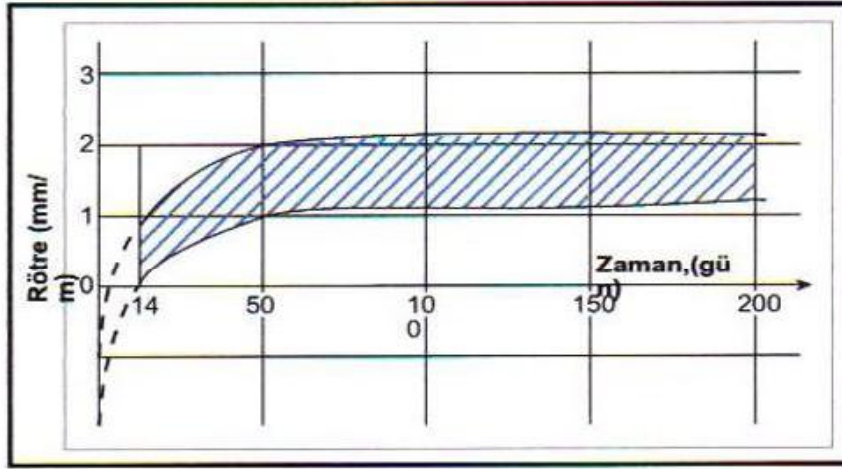
Şekil 2.12: EPS'nin yoğunluğa bağlı basınç gerilmesi değişimi

Aynı şekilde, yoğunluk arttıkça EPS levhalarının kayma, eğilme ve çekme dayanımları da artar. EPS'nin elastisite modülü 0,6 - 3,1 MPa arasında değerler alabilir. EPS ısı yalıtım levhaları uluslararası düzeyde, σ_{10} değerlerine ve eğilme mukavemetlerine göre sınıflandırılmaktadır. EPS ısı yalıtım levhaları için, EN 13163'de kabul edilen sınıflamaların bir bölümü Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Ürün ülkemizde uzun süre yoğunluğuna göre sınıflandırılmıştır. Ülkemizde yeni kullanılacak olan EN normuna uygun sınıflamada kolaylık sağlaması için son sütunda, EN normuna uygun sınıflamaya karşılık gelen yaklaşık yoğunluk değerleri ve EN 13163'de verilen formüle göre hesaplanan ısı iletkenlikleri değerleri gösterilmiştir [21].

EPS ısı yalıtım ürünlerinin yüzeye dik çekme mukavemeti ise, 20 kPa ile 400 kPa arasında değişir [21].

2.1.4.2.7 Boyutsal Kararlılık

Yalıtım levhaları için diğer önemli konu, boyutların sabit kalmasıdır. Yapılarda boyut değişimi, farklı sıcaklıkların etkisi sonucu ısıl genleşme ile meydana geldiği gibi; üretimi takiben belirli süre içinde dış etkilerden bağımsız olarak da meydana gelebilir. Dolayısı ile boyutların kararlılığı sıcaklığa ve zamana göre ayrı ayrı düşünülmelidir. EPS'nin sıcaklık karşısında boyut değişim faktörü (Lineer ısı genleşme katsayısı) 5×10^{-5} ila $7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ 'dir. Yani 17 K'lık (17 °C'lik) sıcaklık farkında yaklaşık 1mm/m bir değişim olur. Bu da %0.1 demektir. Normal şartlarda ve normal uygulamalarda, bu mertebedeki boyut değişimi sorun oluşturmaz ve ek tedbir alınması gerekmez. Çok büyük yalıtım levhalarının büyük sıcaklık farkına maruz kaldığı yerlerde kullanılması halinde gerekli önlemler (Derzler) alınmalı ve gerekli durumlarda mekanik tespit uygulanmalıdır. Üretimi takiben aynı çevre şartlarında levhaların boyutlarında zamanla kısıalma olması **rötre** olarak tanımlanır [21].



Şekil 2.13: EPS levhalarda rötrenin zamanla değişimi

EPS levhalarda rötre ilk günlerde hızlanır, zamanla yavaşlar ve durur. Toplam rötre üretim şekline ve yoğunluğa bağlı olarak %0,3 ila %1,0 arasında değişebilir. Rötrenin büyük bir bölümü normal depolama süresi içinde (1-2 hafta) gerçekleşir ve uygulama için özel bir tedbir alınması gerekmez. İnce sıva tekniği ile dışarıdan ısı yalıtımı uygulamalarında, normalden biraz daha uzun bir depolama süresi gerekir. Şekil 2.13'de 14 günlük levhalarda 150 günde meydana gelen

kısalmanın büyük bir bölümünün 1.5-2.0 mm/m arasında kaldığı görülmektedir. Bu değerler her yapı için izin verilen toleranslar dâhilindedir [21].

2.1.4.3 Taş Yünü

2.1.4.3.1 Isıl İletkenlik Değeri

Taş yününün ısı iletkenlik değerinin çok düşük olması onu iyi bir ısı yalıtım malzemesi yapmaktadır. Isı iletkenlik değeri yaklaşık 0,035 - 0,040 W/mK aralığındadır. Özellikle ısı direnci yüksektir ve -50/+1000 °C aralığında kullanılabilen bir malzeme olarak yanmaz malzeme sınıfındadır. Taş yünü zamanla bozulmayan ve kaybolmayan bir yalıtım malzemesidir. Organizmalar tarafından yenmez ya da yok edilmez. Taş yünü hem soğuk hem de sıcaktan koruyan mükemmel bir ısı yalıtım malzemesidir. Taş yünü yalıtım sistemleri, ısıtma ve soğutmada yüksek enerji tasarrufu sağlamakta, ayrıca binalarda iklimsel konforlu koşullar sunmaktadır. Taş yünü yaklaşık 40-50 yıllık bir kullanım süresini temin eder [22].

2.1.4.3.2 Su Emme

Taş yünü, yalıtımının içinden geçen ses titreşim enerjisini sıcaklığa dönüştürmektedir. Taş yününün çapraz geçişli sayısız elyaftan oluşan yapısı, tümüyle titreşimleri etkisiz hale getirmektedir. Bu benzersiz fibröz (liflerden oluşmuş) elyaf yapısı taş yününü en iyi ses emici inşaat malzemelerinden biri haline getirmektedir. Taş yünü, suya veya yağmura maruz kaldığında ıslakmış gibi görünmektedir. Gerçekte su yüzeyde kalır, çünkü taş yünü elyafları su iticidir. Taş yünü elyaflarının empenye (uygulanan malzemeye kimyasal emdirilmesi) işlemi yalnızca yüzeyde değil, ürünün baştan aşağı her yerinde bulunmakta ve bu sayede su, ürünlerin iç katmanlarına ilerleyememektedir [22].

2.1.4.3.3 Su Buharı Geçirgenliği

Taş yününün su buharı difüzyon direnç faktörü de 1'dir. Taş yünü buhar geçirmekte, dolayısıyla nem binanın içinde tutunamamaktadır ki bu yalıtımlı konut ve ofis yapılarını konforlu hale getirmektedir [22].

2.1.4.3.4 Kimyasallara ve Kimyasal Çözücülere Karşı Dayanıklılık

Taş yünü, zamanla bozulma, çürüme, küf tutma, korozyon ve paslanma gibi kalitesinden ödün verdirecek aşamalardan da geçmez. Taş yünü, sahip olduğu yapıdan dolayı böcekler ya da mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemeyecek düzeydedir. Taş yünü, higroskopik ve kapiler değildir. Higroskopik, kimyada bir maddenin içinde bulunduğu ortamdaki su moleküllerini azaltabilme yeteneğidir. Higroskopik olmadığından dolayı içerisinde su bulundurmaz ve nemi çekmek yerine iter. Kapiler ise bir maddenin başka bir maddeyi kendine çekmesi olayıdır. Bir sıvı ile başka bir maddenin moleküler seviyedeki çekiminin, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden daha kuvvetli olması sonucunda meydana gelir. Taş yünü, kılcallık özelliğine sahip olmadığından dolayı sıvıyı da iç yüzeyine geçirmez [23].

2.1.4.3.5 Yangın Performansı ve Yangın Dayanımı

Taş yününün en önemli özelliklerinden biri 1000°C üzerindeki ısı karşısında dayanıklılığıdır. Düzgün uygulandığı takdirde taş yünü, insan hayatını kurtarmaya gerekli olabilecek değerli dakikaları kazandıracak yangın güvenliği vazifesi görmektedir. Taş yünü ile mantolama yapılan yapılar, yangına karşı güvenlidir, zira taş yünü yangının başlayıp yayılmasını önlemektedir [22].

2.1.4.3.6 Mekanik Özellikler

İnorganik bir hammadde olan bazalt ve diabez taşlarının 1350-1400°C sıcaklıklarda, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilip bunların organik

bağlayıcılarla ile sıcaklık ve basınç altında levha haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Basma dayanımı 30 ile 500 kPa arasında değişir [22]

2.1.4.3.7 Boyutsal Kararlılık

Taş yününün boyutları sıcaklığın iniş çıkışlarına bağlı olarak değişmemektedir. Taş yünü elyaflarının homojen oryantasyonu (kılavuzluk etme) mükemmel mekanik özellikler ve kalıcı boyut stabilitesi kazandırmaktadır [22].

2.1.4.4 Taş Yünü, EPS ve XPS Karşılaştırılması

Ülkemizde en çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri Taş yünü, Haddelenmiş Polistren (XPS), Genleştirilmiş Polistren (EPS)'dir. Bu üç malzeme de ısı yalıtımında kullanılsa da birçok yönden farklılıklar göstermektedir [24].

Bu farklılıklar;

2.1.4.4.1 Isı İletim Katsayısı (λ)

EPS ısı iletkenliği yoğunluğuyla ters orantılı olarak değişim gösterir, yoğunluk arttıkça ısı iletkenliği azalır yoğunluk 15-45 kg/m³ olması halinde λ değeri 0,033-0,040 w/mK arasında değişir [24].

XPS ısı iletkenliği kullanılan şişirici gaza göre değişmektedir. En düşük ısı iletkenliği ozon tabakasına zarar veren CFC'lerle (Kloroflorokarbon – Sera gazı türü) sağlanmaktadır. Ozona daha az zarar veren HCFC'lere (Hidrokloroflorokarbon – Sera gazı türü) geçildikçe, ısı iletkenliği artmakta ve sera etkisi görülmektedir. HCFC'lerin kullanımı yasaklanmıştır. Bunların yerine HFC'ler veya CO₂ kullanılması gerekmektedir. Bu gazlar kullanıldığında ısı iletkenliği gene artmaktadır. XPS'in λ değeri 0,030-0,045 w/mK arasında değişmektedir [24].

Taş yünü λ değeri 0,035-0,040 w/mK arasında değişmektedir.

Sonuç olarak; EPS için yoğunluk belirtilmeli, XPS için hangi gazın kullanılacağı tanımlanmalıdır [24].

2.1.4.4.2 Basınç Dayanımı

EPS : %10 Deformasyondaki basınç gerilmesi dayanımı 30-500 kPa

XPS : %10 Deformasyondaki basınç gerilmesi dayanımı 100-1000 kPa

Taş yünü : %10 Deformasyondaki basınç gerilmesi dayanımı 0,5-500 kPa

Sonuç olarak; XPS, Taş yünü ve EPS'nin iki katı basınç gerilmesi dayanımına sahiptir [24].

2.1.4.4.3 Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü (μ)

EPS : $\mu=20-100$ aralığındadır.

XPS : $\mu=80-200$ aralığındadır.

Taş yünü : $\mu=1$ 'dir.

Sonuç olarak; bu değer küçük olması yapı kesitlerinin nefes almasını sağlamakta önem arz etmektedir bu sebeple taş yünü ile yapılan ısı yalıtımları diğer ürünlere göre daha fazla nefes alabilir yapı kesitleri sağlamaktadır [24].

2.1.4.4.4 Su Emme Durumu

EPS: Hacimce %0-%5

XPS: Hacimce %0-%0,5

Taş yünü: Hacimce %2,5-%10

Sonuç olarak; taş yününün su emmesi diğerlerine göre çok yüksek olmakta XPS su almamakta EPS ise neredeyse XPS'e yaklaşmaktadır [24].

2.1.4.4.5 Boyutsal Kararlılık

Sıva ve şap altı uygulamalarında kullanılan yalıtım malzemelerinin boyutsal kararlılığı büyük önem taşımaktadır. Özellikle, üretim teknolojisinden kaynaklanan sebeplerden dolayı, EPS yalıtım plakalarının boyutsal kararlılığa ulaşması yaklaşık 6-7 hafta dinlenme süresinin sonunda olmaktadır. Malzeme bu sürenin bir kısmını blok olarak bir kısmını ise levha olarak tamamlamalıdır. Gerek EPS gerekse XPS yalıtım levhaları gözenekli hücre yapısına sahip olmaları sebebi ile ısı değişimleri karşısında boyutsal değişim göstermektedir. Her iki ürünün de lineer uzama katsayıları ve sıcaklık farklarındaki boyutsal değişimleri taş yünü ısı yalıtımı levhalarına oranla çok daha yüksektir [24].

2.1.4.4.6 Yanıcılık Sınıfı

EPS ve XPS, petrol türevi polistren hammaddesi kullanılarak imal edilen yalıtım malzemeleri olup maksimum kullanım sıcaklıkları 75 °C'dir. Bu dezavantajları nedeni ile yurt dışında yangın riskinin yüksek olduğu bitişik nizam veya çok katlı binalarda bu ürünler belli sınırlar dâhilinde kullanılmaktadır. Ülkemizde de 2002 yılı sonunda Resmi Gazete de yayınlanarak yürürlüğe giren Yangında Korunma Yönetmeliği gereğince söz konusu malzemelerin kullanım alanları sınırlandırılmıştır. Bu malzemeler DIN 4102 standardına göre yanıcı malzemeler olup B1 sınıfı malzemelerdir. İmalatları sırasında kullanılan yanma geciktirici maddeler, bu malzemelerin yanıcılık sınıflarını bir miktar iyileştirmekle birlikte yanmaz malzeme durumuna getirmemektedir. Taş yünü ise DIN 4102 standardına göre A sınıfı yanmaz malzeme olup 750 °C maksimum kullanım sıcaklığı ile yangına karşı üstün bir performans göstermektedir. Mantolamada EPS veya XPS kullanılsa bile alev yalaması ile yangının diğer hacimlere sıçramasını engellemek ve yangının yayılma hızını azaltmak için, pencere ve kapı kasalarının etrafının taş yünü ile yalıtılması gerektiği unutulmamalıdır [24].

2.1.4.4.7 Ses Yalıtımı

Ses yalıtımında temel prensip, dinamik sertliği düşük (yumuşak) malzemelerin sesin geçişinin engelleneceği yapı kesitine yerleştirilmesi ve hava ile yayılan sesin mekanik (hareket) enerjisinin, yalıtım malzemesi bünyesinde absorbe edilmesidir. EPS ve XPS kapalı gözenekli yapıları sebebi ile ses yalıtımı yapmazlar. Taş yünü ise açık gözenekli ve lifli yapısı ile iyi bir ses yalıtımı malzemesidir. Bu nedenle ses yalıtımının önemli olduğu mantolama uygulamalarına en uygun ürün Taş yünü yalıtım levhalardır [24].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çanakkale İle İlgili Coğrafi Bilgiler

Çanakkale ili TS 2164'e göre 2'nci Derece-Gün bölgesinde olup, 40° 8' Kuzey enleminde 26° 24' Doğu boylamında bulunmaktadır.

Çanakkale ili Türkiye'nin kuzeybatısında yer almakta olup, Çanakkale Boğazı ile Avrupa ve Asya kıtalarını birbirinden ayırmaktadır. Avrupa ve Asya'da toprakları bulunan Çanakkale, Edirne, Tekirdağ ve Balıkesir il sınırları ile çevrilidir. İl sınırlarına; Ege Denizinde Türkiye'nin en büyük adası olan Gökçeada ile Bozcaada ve Tavşan Adaları girer. Çanakkale ili 9.933 km²'lik alanı kapsar. Çanakkale ili topraklarının büyük bir kısmı Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümüne, Edremit Körfezi kıyısındaki küçük bir alanı ise, Ege Bölgesine girer [29].

Çanakkale ilinin iklimi, bulunduğu yer nedeniyle geçiş iklimi özellikleri gösterir. Genel karakteriyle Akdeniz iklimi özelliklerini yansıtır. Bunun yanında İlimizin daha kuzeyde bulunması nedeniyle kışları ortalama sıcaklık daha düşüktür. Minimum sıcaklık -4,2 °C ile Şubat ayı, Maksimum sıcaklık +35,8 ile Ağustos ayındadır. Yıllık sıcaklık ortalaması 14.7, ortalama nem oranı ise %72.6' dır. İlimizi çevre İllerden ayıran diğer bir özelliği de yılın büyük bir kısmının rüzgârlı geçmesidir. Yıllık egemen rüzgâr kuzey rüzgârlarıdır. En çok, poyraz, yıldız, lodos, kible eser. Yıllık ortalama yağış miktarı 662,8 m³ (Gökçeada) ile 854,9 m³ (Ayvacık) arasında değişmektedir. Yaz aylarında yağış miktarı oldukça düşüktür. Yağışların en fazla görüldüğü aylar Aralık, Ocak ve Şubat aylarıdır. Karla örtülü gün sayısı en fazla 8 gün kadardır [29].

Çanakkale ili merkezin rakımı 3 m olup kış şartlarında ortalama dış hava sıcaklığı -3°C, yaz aylarında ise ortalama yağ termometre sıcaklığı 34°C, ortalama kuru termometre sıcaklığı ise 25°C kabul edilmektedir. Ayrıca ısıtma ve soğutma açısından binanın bulunduğu ilin derece –gün sayıları önemli olduğu için son yılların hesaplanan derece gün sayıları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çanakkale iline ait son 11 yılın ısıtma derece-gün değerleri [33]

Çanakkale iline ait son 11 yılın ısıtma derece-gün değerleri										
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1519	1574	1480	1374	1984	1635	1489	1364	1532	1402	1484
Son 11 yılın ortalama ısıtma derece gün sayısı 1530										

3.2 Binada Kullanılacak Yalıtım Malzemeleri

Binalarda ısı yalıtımı yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerin başında ısı iletim katsayısı(λ) ile malzemenin yangına karşı gösterdiği dirençtir. Örnek aldığımız binada 3 farklı yalıtım malzemesi ele alınmış, bu malzemelere ait ısı iletim katsayısı ve yangına karşı göstermiş olduğu direnç tablo halinde verilmiştir.

Tablo 3.2: Yalıtım malzemelerine ait ısı iletim katsayısı ile yanma özelliği

	Isı iletim katsayısı (λ)(W/mK)	Yanma Özelliği
XPS	0,03 - 0,045	B1 - Yanar / Zor alev alır
EPS	0,033 - 0,040	B1 - Yanar / Zor alev alır
		B2 - Normal / Alev alır
Taş Yünü	0,035 - 0,040	A1 - A2 / Yanmaz

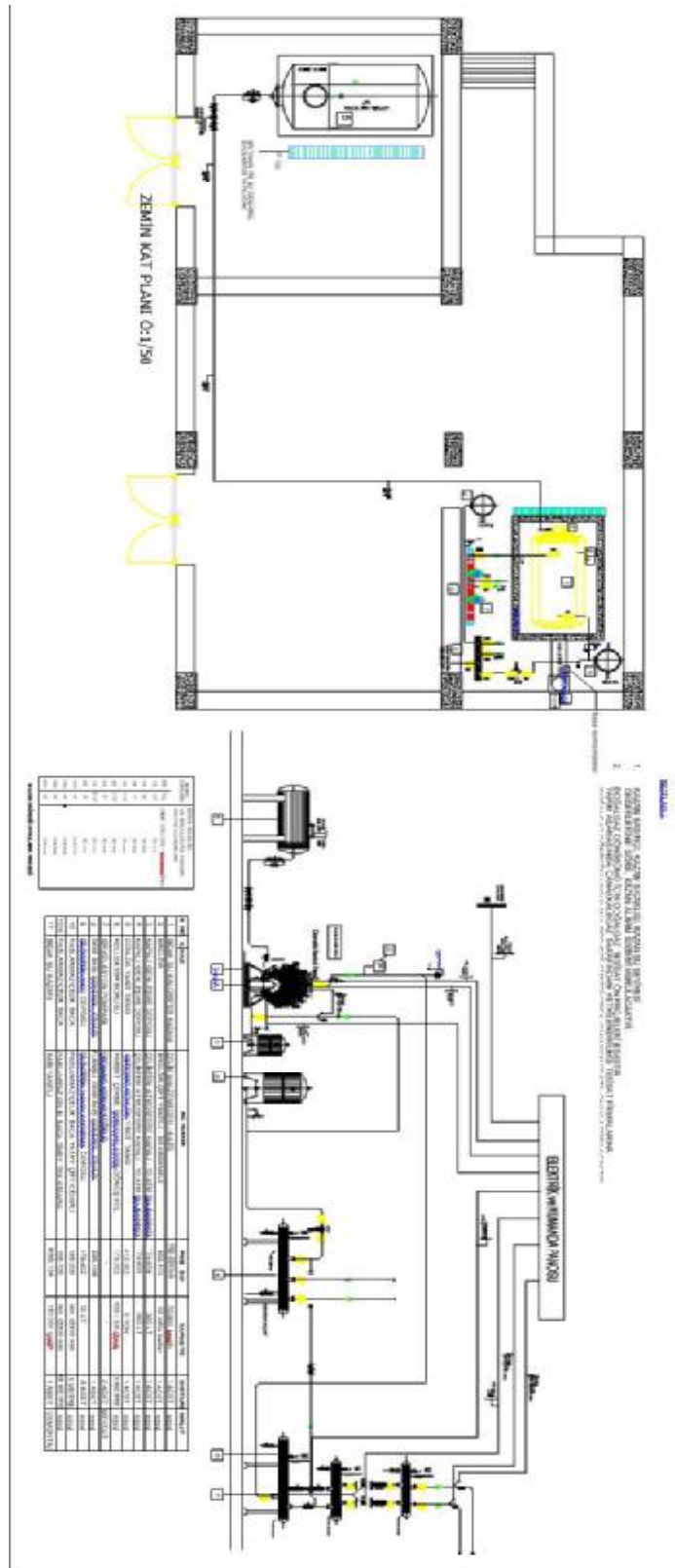
Yukarıda açıklanan yalıtım malzemelerini özellikler, standartlar ve yönetmeliklerde dikkate alınarak, en uygun yalıtım malzemelerinden birisi olarak görülen taş yünü örnek seçilen binada yalıtım malzemesi olarak seçilmiş ve kullanılmıştır. Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik gereğince bina çatı detayının ahşap oturmali çatı sistemi olmasından dolayı çatı döşemesine yalıtım malzemesi olarak cam yünü şilte seçilmiştir. Tüm sistemlerde cam yünü kullanılmış sadece kalınlıklar değiştirilmiştir. Binanın toprağa temas eden duvar ve toprağa temas eden taban kısımlarında doğal zemindeki nem ve basınca maruz kalacağı düşünülerek bu mahallere yalıtım malzemesi olarak XPS seçilmiştir. Ayrıca, farklı yalıtım malzemelerinin taş yünü yerine kullanılması durumunda elde edilecek

sonuçlar da hesaplanarak karşılaştırmaları yapılmış ve en uygun olanı belirlenmeye çalışılmıştır.

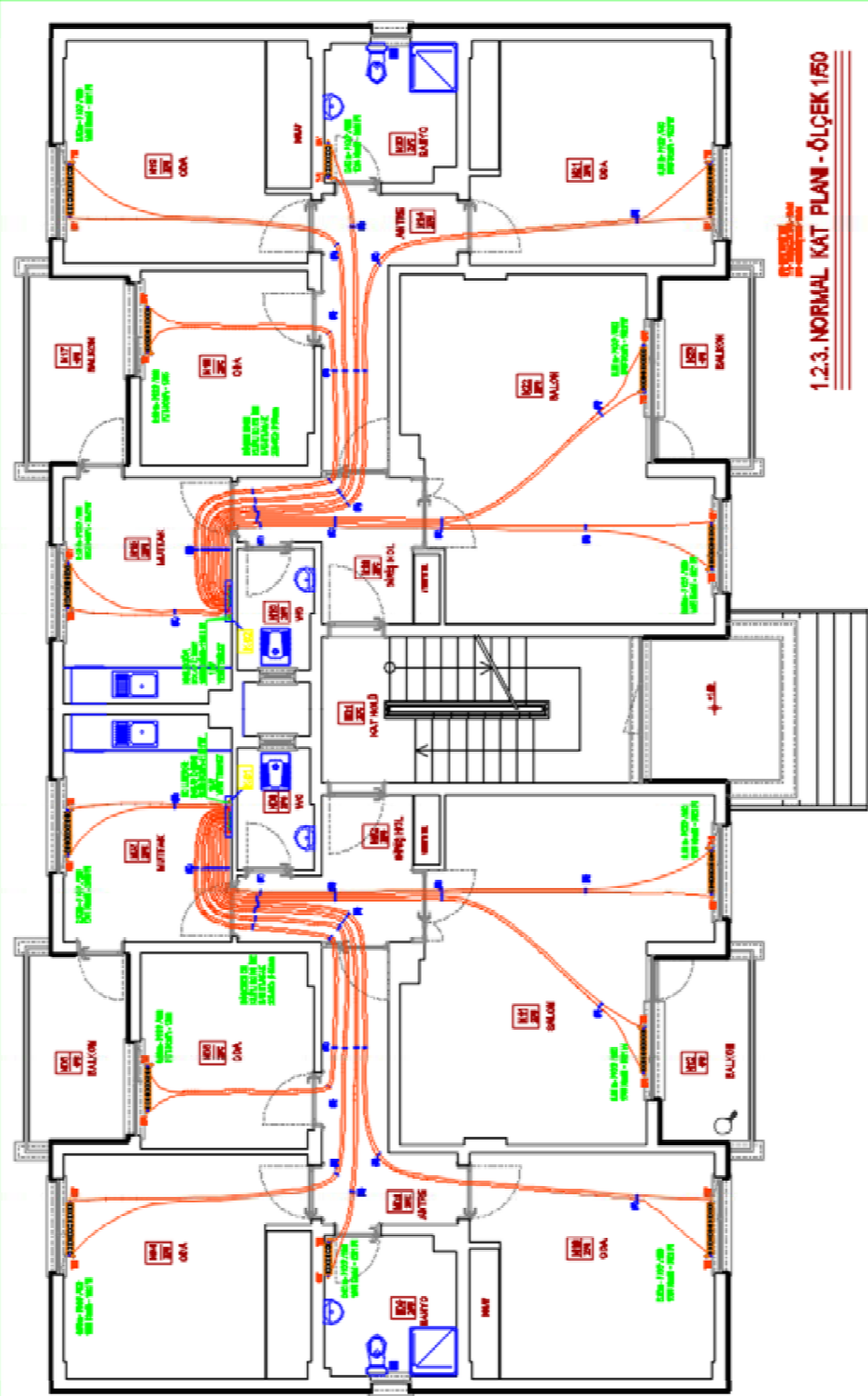
3.3 Örnek Binanın Özellikleri (Binanın Boyutları, Mimarisi, Yapı Elemanları, Toplam Dış Duvar, Pencere Alanlar vs.)

Tez çalışmamızda; Çanakkale ilinde bulunan Bodrum-Zemin-4 katlı bir bina örnek alınacaktır. Hesaplamalarda kullanılacak örnek bina 1982 yılında yapılmış olup aynı yıl içerisinde kullanıma başlanmıştır. Bina Çanakkale ili merkezi Karacaören Caddesinde bulunmaktadır. Binanın eni 12 metre uzunluğu ise 23 metredir. Bodrum kat zemin kotu -2,7 m olup çatı mahya kotu 17.70 m'dir. Binanın bodrum katı bodrum döşemesinden zemin kat taban döşemesine kadar yüksekliği 2,7 m, zemin kat ve 4 adet normal katların yüksekliği ise 3 m'dir. Binanın çatısı, ahşap oturma çatı sistemi olup çatının zemin döşemesinden mahyaya kadar olan yüksekliği 2.7 m'dir. Binanın bodrum katında kazan dairesi ve daire sakinleri kullanımına ait depolar mevcuttur. Binada; her katta 2 daire olmak üzere zemin ve 4 katta toplam 10 adet daire bulunmaktadır. Her daire balkonlar hariç net kullanım alanı 102,09 m²'dir.

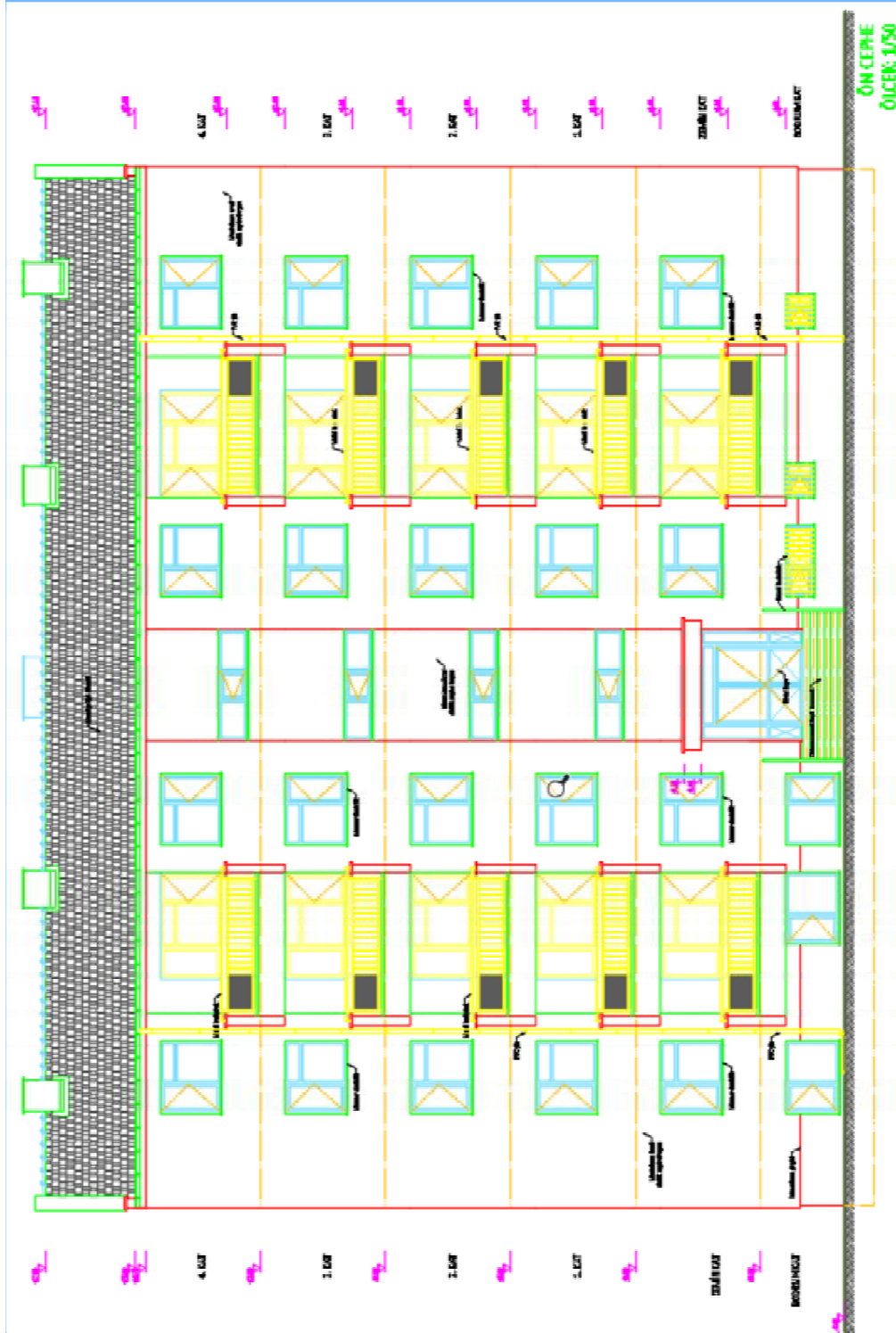
Bir daire 3 oda, 1 salon, 1 mutfak, 1 banyo, 1 koridor, 1 hol ve 1 WC mahallinden oluşmaktadır. Mahalleri incelediğimizde yaklaşık olarak mutfak 11,23 m², oda 9,97 m², oda 16,40 m², oda 16,37 m², banyo 5,4 m², salon 26,81 m², koridor 7,05 m², hol 6,16 m² ve WC 2,7 m² alana sahiptir. Binaya ait mimari proje aşağıda verilmiştir;



Şekil 3.1: Örnek binaya ait kazan dairesi uygulama projesi



Şekil 3.2: Örnek binaya ait kat planları kalorifer tesisat projesi

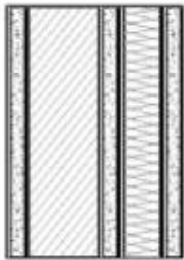


Şekil 3.3: Örnek binaya ait dış cephe görünümü

Binayı bir bütün olarak ele aldığımızda;

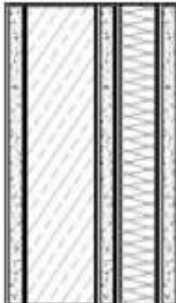
1. Dış havaya temas eden toplam tuğla duvar alanı 657,41 m² dir. Yapı bileşenleri aşağıda verilmiştir.

DUVAR		- Malzeme Yapı Bileşenleri -	
Dış Havaya Açık		4.2 Çimento harcı	
Duvar1.1		7.1.5.2 Yatay dalikli tuğlalara yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	
		4.2 Çimento harcı	
		10.3.1.1.1 Polistiren - Partiküler Köpük - TS 7316 EN 13163e uygun ısı iletkenlik grupları 035	
		4.8.1 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	



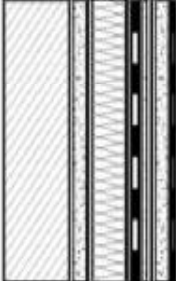
2. Dış havaya temas eden toplam betonarme duvar ve kiriş alanı 480,96 m² dir. Yapı bileşenleri aşağıda verilmiştir.

DUVAR		- Malzeme Yapı Bileşenleri -	
Dış Havaya Açık		4.2 Çimento harcı	
Duvar1.2		5.1.1 (*) Donatılı	
		4.2 Çimento harcı	
		10.3.1.1.1 Polistiren - Partiküler Köpük - TS 7316 EN 13163e uygun ısı iletkenlik grupları 035	
		4.8.1 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	



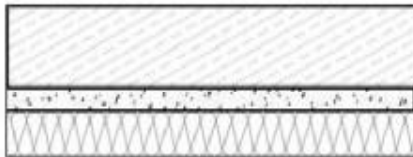
3. Toprağa temas eden duvar alanı 77,74 m² dir. Yapı bileşenleri aşağıda verilmiştir.

DUVAR		- Malzeme Yapı Bileşenleri -	
Toprağa Temas Eden		4.2 Çimento harcı	
Duvar1.1		7.1.5.5 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	
		4.2 Çimento harcı	
		10.3.2.1.1 Ekstrüde polistren köpüğü - TS 11905 EN 13164e uygun ısı iletkenlik grupları 030	
		9.2.2.1.5 Polimerbitümlü su yalıtım örtüleri	
		9.2.2.1.5 Polimerbitümlü su yalıtım örtüleri	
		4.2 Çimento harcı	



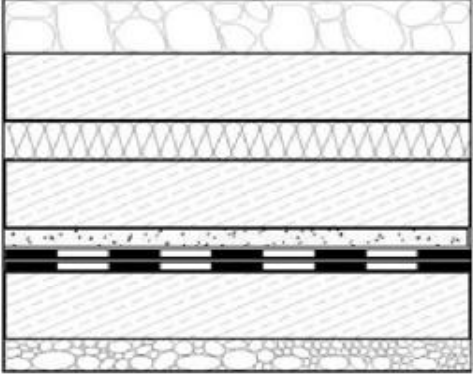
4. Binaya ait çatı alanı 253,50 m² dir. Yapı bileşenleri aşağıda verilmiştir.

TAVAN		- Malzeme Yapı Bileşenleri -	
Çatı Arası Kullanılmayan		10.5.2 Mineral ve bitkisel iletken yalıtım malzemeleri (Cam yünü, taş yünü vb.) TS 901-1 EN 12162 100	
Tavan1.1		4.2 Çimento harcı	
		5.1.1 (*) Donatı	



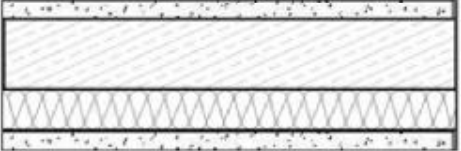
5. Binanın zemine oturduğu toplam döşeme alanı 270 m²'dir. Yapı bileşenleri aşağıda verilmiştir.

TABAN		- Malzeme Yapı Bileşenleri -	
Toprağa Temas Eden		1.6	Marmar
Taban1.1		5.1.2	Donatısız
		10.3.1.1.1	Polistiren - Partiküler Köpük - TS 7316 EN 13163e uygun ısı iletkenlik grupları 035
		5.1.1 (*)	Donatılı
		4.2	Çimento harcı
		9.2.2.1.5	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri
		9.2.2.1.5	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri
		5.1.2	Donatısız
		2.1	Kum-kum-çakıl



6. Zemin katın altı depo ve kazan dairesi olduğundan bodrum katın tavanına (kazan dairesi tavanı hariç) yalıtım yapılması gerekmektedir. Zemin katın tabanı 234,50 m²'dir. Yapı bileşeni aşağıda verilmiştir.

TABAN		- Malzeme Yapı Bileşenleri -	
İst. İç Ortam		4.2	Çimento harcı
Taban1.1		5.1.1 (*)	Donatılı
		10.3.1.1.1	Polistiren - Partiküler Köpük - TS 7316 EN 13163e uygun ısı iletkenlik grupları 035
		4.2	Çimento harcı



7. Binanın dış cepheye bakan yüzeyinde toplam 184,75 m² pencere alanı vardır. Pencere tipi; çift camlı, üç odacıklı plastik doğrama olup iki cam arasındaki boşluk 16 mm'dir. Binanın batı yönüne bakan pencere alanı 75,15 m², kuzey yönüne bakan pencere alanı 10,85 m², doğu yönüne bakan pencere alanı 87,90 m², güney yönüne bakan pencere alanı 10,85 m²'dir.

8. Binaya ait ısı yalıtımlı demir bir adet giriş kapısı bulunmaktadır. Demir kapının alanı 6,13 m²'dir.

9. Binanın toplam ısıtılan hacmi 4531,5 m³'tür.

Aynı standarda göre; Çanakkale ili rüzgârlı bölgede bulunmakta ve örnek alınan bina konum olarak "serbest durum" olarak ele alınacaktır. Bina yalıtımında 3 farklı tip yalıtım malzemesinin kullanılması planlanmıştır. Seçilen yalıtım malzemeleri Türkiye'de sıklıkla kullanılan, temini ve uygulaması kolay olan taş yünü, XPS ve EPS olarak seçilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak; taş yünü, EPS ve XPS malzemeleri farklı kalınlıklarda kullanılarak (3,4,5,6,8,10,12,14 cm), yalıtımsız bina ile hesaplanan değerlerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Kullanılan farklı kalınlıktaki yalıtım malzemelerine göre; ısı kayıpları, güneş enerjisi kazançları, birim hacim başına düşen yıllık enerji ihtiyaçları, yoğuşma hesapları ve geri ödeme süreleri vb. diğer değerler hesaplanarak, bina ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıchesaplamalarda bina dış cephelerinin yalıtım kalınlığı değişkenliğine göre çatı örtüsü içinde 6, 12 ve 14 cm kalınlıklarında cam yünü kullanılarak yukarıda belirtilen hesaplamalar ayrıca incelenecektir. Yapılan hesaplamalarda ağırlıklı olarak ikinci bölümde verilen İZODER'in hesaplama formülleri ve İZODER'in paket yalıtım programı kullanılacaktır. Hesaplamalarda seçilen binada farklı yalıtım kalınlıkları, 3 farklı yalıtım malzemesi için hesaplanacak ve bu hesaplamalardan en uygun yalıtım kalınlığı ve yalıtım malzemesi bulunacaktır. Ülkemizde ısıtma sistemlerinde yakıt olarak genellikle doğalgaz, motorin, fuel-oil ve kömür yakıtları bölgelere göre ve bina özelliklerine bağlı olarak kullanıldığından, bu yakıtlara göre geri ödeme süreleri de belirlenecektir. Böylece, yalıtımda teşvik verilebilecek ve öncelik verilecek bölge, kurum ve kuruluşlarda ana hatları ile belirlenmeye çalışılacaktır. Binaya ait yalıtım maliyetleri 2017 yılına ait Çevre ve Şehircilik Bakanlığının inşaat imalatlarına ait fiyatlar esas alınarak bulunmuştur.

3.4 Binada Kullanılan Isıtma Sistemi

Kazan dairesi alanı yaklaşık 35,5 m² olup içerisinde 1 adet 180.000 kcal/h kapasiteli elle beslemeli katı yakıtlı (kömür) sıcak su kazanı bulunmaktadır. Binanın ısıtma ihtiyacı bu sıcak su kazanından sağlanmaktadır. Binanın altından dağıtılarak daire mahallerini ayrı zonlar eşliğinde ısıtılmaktadır. Daire içlerindeki mahallerde ısıtma elemanı olarak kolonlu döküm radyatör (144/500) kullanılmaktadır. Çatı mahallinde sıcak su kazanının emniyeti açısından 1000 lt açık genleşme deposu bulunmaktadır. Binada yalıtım bulunmamaktadır. 2013 yılında bina genel onarım kapsamına alınmış olup, hesaplamalar sonucunda; binaya dış cephede 6 cm kalınlığında taş yünü uygulaması yapılmış, çatı döşemesine 12 cm kalınlığında mineral cam yünü serilmiş, bodrum kat tavanına, döşemeye ve toprağa temas eden duvara 6 cm kalınlığında XPS uygulaması yapılmıştır. Binadaki katı yakıtlı sıcak su kazanı çıkarılmış yerine 250.000 kcal/h (290 kW) kapasiteli sıvı ve gaz yakıtlı, üç geçişli skoç tip sıcak su kazanı ile iki kademeli doğalgaz ile çalışan 350 kW kapasiteli brülör ve tesisatı yapılmıştır. (Binaya ait kazan kapasitesinin büyük seçilmesinin amacı, aynı özellikteki 2 lojman binasının da ileride bu kazan dairesinden besleneceği olmasıdır.) Binanın tüm temiz su, pis su, ısıtma tesisatı yenilenmiş olup, her daireye mobil sistem ısıtma sistemi yapılmış olup, döküm radyatör yerine panel radyatör (PKKP / Panel-Kanat-Kanat-Panel) kullanılmış, mevcut sistemde takılı olan termostatik vana, geri dönüş valfi ve ısı pay ölçer sistemi ise tekrar kullanılmıştır. Yeni yapılan kazan dairesinde; binalarda enerji performansı yönetmeliği kapsamında; frekans invertörlü pompalar ile dış hava sıcaklığına bağlı otomatik kontrol sistemi kurulmuştur. Kazana ait bacada yenilenmiş eski baca şaftı içerisinde tek cidarlı ϕ 300 mm çapında paslanmaz çelik baca yapılmış olup mahya yüksekliğini 50 cm üzerine çıkmıştır. Kazan ve baca sistemlerine ait topraklama tesisatı da genel onarım kapsamında yapılmıştır.

3.5 Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı

Isıtma sezonunda toplam derece-gün sayısı için eşitlik (3.1) ve (3.2) kullanılabilir.

$$DG = \sum_1^N (T_i - T_o) \quad (T_o \leq T_b) \quad (3.1)$$

$$DG = 0 \quad (T_o > T_b) \quad (3.2)$$

Burada T_i iç ortam dizayn sıcaklığını, T_o günlük ortalama dış hava sıcaklığı ve N ısıtma yapılan toplam gün sayısıdır. Günlük ortalama sıcaklık, gün içindeki ölçülen maksimum ve minimum sıcaklıklarının ortalaması alınarak belirlenir.

$$T_o = \frac{T_{o,\min} + T_{o,\max}}{2} \quad (3.3)$$

Burada $T_{o,\min}$ ve $T_{o,\max}$ sırasıyla gün içinde kaydedilen en düşük sıcaklıklardır.

Dış duvarların birim yüzeyinden olan ısı kaybı;

$$q = U (T_b - T_o) \quad (3.4)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Burada U duvarın toplam ısı transfer katsayısıdır. DG kavramından yararlanarak birim yüzey alan için yıllık ısı kaybı ise eşitlik (5) ile bulunabilir.

$$q = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (3.5)$$

Dış duvarların birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle, ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı E_A , yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine (η) bölünmesiyle hesaplanabilir.

$$E_A = 86400 \cdot DG \cdot U / \eta \quad (3.6)$$

Yalıtımın da olduğu tipik bir duvar için toplam ısı geçirgenliği, U ,

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + RW + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (3.7)$$

Burada h_i ve h_o sırasıyla ısı kaybı olan yapı elamanı (duvar, döşeme ve tavan gibi) iç ve dış taraflarındaki ısı taşınım katsayıları, R_w yalıtımsız duvarın ısıl direnci, x ve k sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır. Yalıtımsız duvarın toplam ısıl direnci $R_{t,w}$ olmak üzere toplam ısı geçirgenliği yeniden düzenlenirse,

$$U = \frac{1}{R_{t,w} + \frac{x}{k}} \quad (3.8)$$

elde edilir. Bu durumda, ısıtma için gerekli yıllık enerji ihtiyacı eşitlik (9) yardımıyla hesaplanabilir.

$$Ea = \frac{86400 \cdot DG}{\left(R_{t,w} + \frac{x}{k}\right) \cdot \eta} \quad (3.9)$$

Toplam ısıtma maliyetinin yani (16) no'lu denklemin, yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınıp sifıra eşitlenirse optimum yalıtım kalınlığı elde edilir.

$$X_{opt} = 293,94 \left(\frac{DG \cdot C_f \cdot k \cdot PV}{Hu \cdot C_{ins} \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (3.10)$$

3.6 Isıtma Maliyeti

Burada η ısıtma sisteminin verimidir. Hu yakıtta ait alt ısıl değeri olmak üzere, tüketilen yıllık yakıt miktarı aşağıda verilen denklemlerle hesaplanır.

$$mf = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{t,w} + \frac{x}{k}\right) \cdot Hu \cdot \eta} \quad (3.11)$$

Yakıt miktarı bulunduğundan sonra bu değer C_f ile çarpılması yakıt maliyetini verir. Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti eşitlik (11) ile hesaplanabilir.

$$CA = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{t,w} + \frac{x}{k}\right) \cdot Hu \cdot \eta} \quad (3.12)$$

Binanın kullanım ömrü süresince enerji maliyet hesaplarında ömür maliyet analizi (LCCA) kullanılmıştır. Toplam ısıtma maliyeti hesaplanırken ömür süresi (LT) ve bugünkü değer (PV) birlikte değerlendirilmesi gerekir. PV değeri, gerçek faiz oranına (r) ve zamana bağlıdır. Gerçek faiz oranı aşağıda verilen denklemlerle bulunur.

$$r = \frac{(i-g)}{(i+g)} \quad (3.13)$$

Bu durumda g enflasyon oranı ve i faiz oranıdır. Bu durumda PV,

$$PV = \frac{(1+r)^{LT}-1}{r \cdot (1+r)^{LT}} \quad (3.14)$$

Burada LT ömür süresidir. Yalıtımın toplam maliyeti ($C_{t,ins}$) aşağıda verilen denklemlerle bulunur.

$$C_{t,ins} = C_{ins} \cdot X \quad (3.15)$$

Sonuç olarak toplam ısıtma maliyeti eşitlik (15) ile hesaplanabilir.

$$Ct = \frac{86400 \cdot DG \cdot Cf \cdot PV}{(Rt \cdot w + \frac{x}{k}) \cdot Hu \cdot \eta} + C_{t,ins} \quad (3.16)$$

3.7 Yakıt Özellikleri ve Yanma Denklemleri

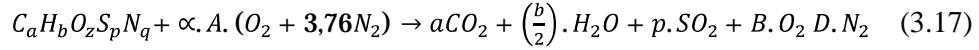
Merkezi veya müstakil ısıtma sistemlerinde genellikle yakıt olarak kömür, doğalgaz, fuel-oil ve motorin kullanılmaktadır. Ülkemizde doğalgaz dağıtımının yaygınlaşması ile birlikte diğer yakıtlardan doğalgaza geçiş süreci hızlanmıştır. Petrolde dışa bağlı ülke olmamız sebebiyle motorin ve fuel-oil fiyatlarının doğalgaza göre hızlı yükselişi, yanma sonucunda doğalgazın diğer yakıtlara göre daha çevreci oluşu doğalgazı daha cazip hale getirmiştir.

Bu kapsamda örnek aldığımız binada yakıt olarak; kömür, doğalgaz, fuel-oil ve motorin incelenecektir. Yakıtlara ait kimyasal formüller aşağıda Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3: Yakıtların kimyasal formülleri

YAKIT	KİMYASAL FORMÜLÜ
Kömür	$C_{7,078}H_{5,149}O_{0,517}S_{0,01}N_{0,086}$
Doğalgaz	$C_{1,05}H_4O_{0,034}N_{0,022}$
<u>Fuel-Oil</u>	$C_{7,3125}H_{10,407}O_{0,04}S_{0,026}N_{0,02}$
Motorin	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$

Yakıtın yanma denkleminin genel kimyasal formülü aşağıda verildiği gibidir.



A, B ve D için oksijen denkleştirilirse, eşitlik aşağıdaki gibi olur. Burada verilen a, b, z, p, q yakıtların kimyasal formülündeki elementlerin bileşimleridir.

$$A = \left(a + \frac{b}{4} + p - \frac{z}{2}\right) \quad (3.18)$$

$$B = (\alpha - 19) \left(a + \frac{b}{4} + p - \frac{z}{2}\right) \quad (3.19)$$

$$D = 3,76 \cdot \alpha \cdot \left(a + \frac{b}{4} + p - \frac{z}{2}\right) + \frac{q}{2} \quad (3.20)$$

Burada CO ve NO_x emisyonları ihmal edilmiştir. 1 kg yakıtın yanmasıyla üretilen yanma emisyon oranları aşağıda verilmiştir.

$$M_{CO_2} = \frac{a \cdot CO_2}{\dot{M}} \left(\frac{kg CO_2}{kg Yakıt} \right) \quad (3.21)$$

$$M_{SO_2} = \frac{p \cdot SO_2}{\dot{M}} \left(\frac{kg SO_2}{kg Yakıt} \right) \quad (3.22)$$

Yukarıdaki denklemlerin sağ tarafı yakılan toplam yakıtın miktarı \dot{M}_f yazılarak türetilirse, CO₂ ve SO₂ toplam emisyonları aşağıdaki gibi bulunur.

$$M_{CO_2} = \frac{44.a}{\dot{M}} M_f \left(\frac{kg}{m^2 \text{ yıl}} \right) \quad (3.23)$$

$$M_{SO_2} = \frac{64.p}{\dot{M}} M_f \left(\frac{kg}{m^2 \text{ yıl}} \right) \quad (3.24)$$

M yakıtın mol ağırlığıdır ve aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\dot{M} = 12a + b + 16z + 32p + 14q \left(\frac{kg}{kmol} \right) \quad (3.25)$$

3.8 İZODER Programının Kullanılması

Isı Su Sus ve Yangın Yalıtımcıları Derneği (İZODER), TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardı ile 08 Mayıs 2000 tarih ve 24043 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği” kapsamında binalarda kullanılacak olan yalıtım ve yapı malzemelerinin standart ve yönetmeliğe uygun olarak seçilmesi için hazırlanmış bir paket programdır. Bu tür paket programlar 2000’li yıllarda ülkemizde kullanılmaya başlanmış olup TS 825 standardı ve Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği değişikçe bu paket programlarda kendilerini revize etmişlerdir.

İZODER programına ilk önce binanın bulunduğu il, binanın kat yüksekliği ve hangi amaçla kullanıldığı girilmiştir. Binaya ait verileri girilmeden önce, mimari proje üzerinden ısıtılan alanların hacimleri (taban alanı x yükseklik), dış duvar alanları (tuğla, kolon ve kiriş), çatı alanları (teras ve kapalı çatı), toprağa temas eden döşeme, toprağa temas eden dış duvar, pencere alanları (yönleri ile birlikte), dış kapı alanı gibi veriler önceden hesaplanarak girilmiştir. Programa yukarıda belirtilen alanlar, mimari projede yer alan binaya ait duvar, çatı, döşeme vb. yapı elemanları hesaplanan alanlarla birlikte girilir. Sonuç olarak istenilen sonuçlar bir hesap raporu şeklinde alınır.

3.9 XPS, EPS ve Taş Yünü Yalıtım Malzemeleri Kullanılması Durumunda Bina Yalıtım Değerlerinin İncelenmesi

Binanın ait yapı elemanları ve yalıtım malzemesi (EPS, XPS ve Taş yünü), pencereler, kapılar İZODER paket programına girilerek bina bir bütün halinde

yalıtımsız ve farklı yalıtımlı kalınlıklarında (0, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14 cm) U değerleri hesaplanacaktır. Ayrıca paket program sayesinde binaya ait toplam ısı kaybı (H), bina için olması gereken en büyük ısı kaybı (Q'), bina için hesaplanan ısı kaybı (Q), binanın yapı elemanlarında gerçekleşen yoğuşma miktarı ve sınır değerler içinde olup/olmadığı gibi sonuçlar bulunarak karşılaştırma yapılacaktır.

Bulunan sonuçlar doğrultusunda binada ısıtma amaçlı kullanılan yakıt türü doğalgaz, fuel-oil, motorin ve kömür kullanılması durumunda yalıtım kalınlıklarına göre yılda ne kadar yakıt tüketimi yapıldığı ve yalıtım kalınlıklarına göre yapılan tasarruf miktarı ile geri ödeme süresi hesaplanacaktır.

Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik gereğince bina çatı detayının ahşap oturtmalı çatı sistemi olmasından dolayı çatı döşemesine yalıtım malzemesi olarak cam yünü şilte seçilmiştir. Binanın toprağa temas eden duvar ve toprağa temas eden taban kısımlarında doğal zemindeki nem ve basınca maruz kalacağı düşünülerek bu mahallere yalıtım malzemesi olarak XPS seçilmiştir. Tüm hesaplamalarda ahşap oturtmalı çatı sisteminde cam yünü kullanılmış olup yalıtım kalınlıkları 6, 12 ve 14 cm olarak değiştirilmiştir. Toprağa temas eden duvar ve toprağa temas eden döşemede ise dış duvar kalınlıklarına göre aynı oranda XPS yalıtım kalınlıkları girilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Paket program kullanılarak binaya ait tüm yapı elemanlarının verileri girilerek farklı yalıtım kalınlıklarında yapı elemanlarına ait U değeri Tablo 4.2, 4.7, 4.12'deki gibi hesaplanmıştır. Bu değerlere göre hesaplanan binaya ait toplam ısı kaybı (H), bina için olması gereken en büyük ısı kaybı (Q'), bina için hesaplanan ısı kaybı (Q), binanın yapı elemanlarında kullanılan yalıtım kalınlığının uygun olup/olmadığı hesaplanarak üç farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, Taş yünü) için TS 825'e göre hesaplanan sonuçlar Tablo 4,1'de yapılarak aşağıda verilmiştir.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken aşağıdaki değerler ele alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1: Hesaplamalarda kullanılan yakıt, yalıtım malzemesi özellikleri ve finansal parameter değerleri

Parametre	Değer
Yakıt (Doğalgaz)	
Alt ısııl değeri	9,595 kWh/Nm ³
Fiyat (Cf)	1,17 TL/m ³
Isıtma sisteminin verimi (η) (Yanma verimi)	0,9
Yakıt (Fuel-oil)	
Alt ısııl değeri	11,63 kWh/kg
Fiyat (Cf) (Fuel-oil No:5)	2,70 TL/lt
Isıtma sisteminin verimi (η)	0,75
Yakıt (Motorin)	
Alt ısııl değeri	11,86 kWh/kg
Fiyat (Cf) (Fuel-oil No:5)	5,12 TL/lt
Isıtma sisteminin verimi (η)	0,85
Yakıt (Kömür)(Linyit)	
Alt ısııl değeri	6,397 kWh/kg
Fiyat (Cf)	0,53 TL/kg
Isıtma sisteminin verimi (η)	0,65
Yalıtım malzemesi (Polistiren - EPS)	
Isı iletim Katsayısı (k)	0,035 W/mK
Fiyatı (Cins)	42,52 TL/m ²
Yoğunluğu	30 kg/m ³
Yalıtım malzemesi (Taşyünü)	
Isı iletim Katsayısı (k)	0,040 W/mK
Fiyatı (Cins)	51,48 TL/m ²
Yoğunluğu	40 kg/m ³
Yalıtım malzemesi (XPS)	
Isı iletim Katsayısı (k)	0,030 W/mK
Fiyatı (Cins)	45,23 TL/m ²
Yoğunluğu	30 kg/m ³
Finansal Parametreler	
Enflasyon oranı yıllık (2017 yılı) (g)	11,92
Faiz oranı (2017 yılı) (i)	14
Omür (LT) (takribi)	20
Şimdiki değer (PV)	5,9
Diğer veriler	
Derece gün sayısı (Çanakkale ili için son 11 yılın ortalaması)	1530
Yalıtımsız duvar tabakasının ısııl direnci (binanın ortalama ısııl direnci) W/mK	2,6245

Farklı yalıtım malzemelerin kullanım durumları aşağıda verilmiştir

a. Yalıtım malzemesi olarak EPS'yi incelediğimizde;

Yapılan çalışmalarda çatı arasında 6 cm, 12 cm ve 14 cm cam yününün kullanıldığı kabul edilerek dış duvarlarda farklı kalınlıklarda (0, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14 cm) yalıtım malzemesi kullanımları için hesaplamalar yapılmıştır. Çanakkale ili için dış duvarlarda minimum yalıtım kalınlığının EPS için 6 cm olarak bulunmuştur. Çatı arasında 6 cm cam yünü, dış duvarlar, toprağa temas eden döşeme minimum 6 cm EPS çıkmaktadır. Binaya ait farklı yalıtım kalınlıklarında bina yapı bileşenlerine ait ısı iletim katsayısı aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.2: Yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılması durumunda bina yapı elemanına ait U değerleri

		Hesaplanan U (W/m ² K) değerleri								
		Yalıtım Kalınlığı								
Yalıtım kalınlığı (cm)		Yalıtımsız	3	4	5	6	8	10	12	14
	DD1	1,384	0,620	0,527	0,458	0,405	0,329	0,277	0,239	0,210
	DD2	3,184	0,830	0,671	0,563	0,485	0,380	0,312	0,265	0,230
	TTED	1,610	0,617	0,512	0,437	0,381	0,304	0,253	0,216	0,186
	TTDÖ	1,478	0,652	0,550	0,475	0,418	0,338	0,283	0,244	0,214
	Taban	2,291	0,773	0,633	0,536	0,465	0,367	0,304	0,259	0,225
	ÇATI1	3,402	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557
	ÇATI2	3,402	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304
	ÇATI3	3,402	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264
* DD1 – Dış Havaya Açık Duvar (Tuğla Duvar)										
* DD2 – Dış Havaya Açık Duvar (Kolon-Kiriş)										
* TTED – Toprağa Temas Eden Duvar										
* TTDÖ – Toprağa Temas Eden Döşeme										
* Taban – Düşük Sıcaklığa Temas Eden Taban										
* ÇATI1 – Çatı Tabanına 6 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										
* ÇATI2 – Çatı Tabanına 12 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										
* ÇATI3 – Çatı Tabanına 14 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										

Kullanılan paket program sayesinde binaya ait farklı yalıtım kalınlıklarına ait hesaplanan; toplam bina ısı kaybı (W/K), toplam ısı kaybı (Q_{yıl}= kWh), hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m³), olması gereken ısıtma enerjisi ihtiyacı

(kWh/m³), yalıtım kalınlığının uygun/uygun değil sonuçları elde edilmiş bu sonuçlar Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3: Farklı EPS yalıtım malzemesi kalınlıkları için hesaplanan enerji ihtiyacı ve yalıtım kalınlıkları

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 6 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI (CM)	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
0	4.627,85	213.156,0	9,595	47,03	18,50	26.135,67	UYGUN DEĞİL
3	2.626,75	103.014,0	9,595	22,73	18,50	12.630,84	UYGUN DEĞİL
4	2.450,85	93.754,0	9,595	20,69	18,50	11.495,45	UYGUN DEĞİL
5	2.326,15	87.104,0	9,595	19,22	18,50	10.680,07	UYGUN DEĞİL
6	2.233,45	82.283,0	9,595	18,16	18,50	10.088,96	UYGUN
8	2.104,75	75.720,0	9,595	16,71	18,50	9.284,25	UYGUN
10	2.019,05	71.445,0	9,595	15,76	18,50	8.760,08	UYGUN
12	1.958,05	68.278,0	9,595	15,07	18,50	8.371,76	UYGUN
14	1.914,05	66.006,0	9,595	14,56	18,50	8.093,19	UYGUN
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI (CM)	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
0	4.576,55	210.392,0	9,595	46,42	18,50	25.796,77	UYGUN DEĞİL
3	2.575,45	100.316,0	9,595	22,14	18,50	12.300,03	UYGUN DEĞİL
4	2.399,45	91.142,0	9,595	20,11	18,50	11.175,18	UYGUN DEĞİL
5	2.274,85	84.422,0	9,595	18,63	18,50	10.351,22	UYGUN DEĞİL
6	2.182,15	79.747,0	9,595	17,60	18,50	9.778,01	UYGUN
8	2.053,35	73.093,0	9,595	16,13	18,50	8.962,14	UYGUN
10	1.967,75	68.763,0	9,595	15,17	18,50	8.431,23	UYGUN
12	1.906,75	65.589,0	9,595	14,47	18,50	8.042,06	UYGUN
14	1.862,75	63.461,0	9,595	14,00	18,50	7.781,14	UYGUN
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 14 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI (CM)	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
0	4.568,45	209.930,0	9,595	46,32	18,50	25.740,12	UYGUN DEĞİL
3	2.567,35	99.854,0	9,595	22,03	18,50	12.243,39	UYGUN DEĞİL
4	2.391,35	90.680,0	9,595	20,01	18,50	11.118,54	UYGUN DEĞİL
5	2.266,75	84.047,0	9,595	18,55	18,50	10.305,24	UYGUN DEĞİL
6	2.174,05	79.284,0	9,595	17,49	18,50	9.721,24	UYGUN
8	2.045,25	72.700,0	9,595	16,04	18,50	8.913,96	UYGUN
10	1.959,65	68.301,0	9,595	15,07	18,50	8.374,58	UYGUN
12	1.898,65	65.210,0	9,595	14,39	18,50	7.995,59	UYGUN
14	1.854,65	63.074,0	9,595	13,92	18,50	7.733,68	UYGUN

Yalıtım malzemesinin kullanılmasıyla yalıtımsız binaya göre optimum yalıtımlı binada %67,5 enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yapılan geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında 6 cm EPS ile yalıtım yapıldığında; yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında 3,54 yılda, fuel-oil kullanıldığında 1,64 yılda, motorin kullanıldığında 1 yılda, kömür kullanıldığında ise 3,99 yılda yapılan yalıtımın geri ödemesi karşılanmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere aynı yalıtım malzemesini kullanılıp ısıtmak için yakıt türü olarak doğalgaz ve kömürün yıllık yakıt miktarının birbirine yakın olduğu, doğalgaz ve kömürün fuel-oile göre yaklaşık 2,3 kat, motorine göre de yaklaşık 3,5-4 kat daha ucuz olduğu hesaplamalarla bulunmuştur. Hesaplamalarda yalıtım kalınlıkları arttıkça (yalıtım kalınlığı > 6 cm) yalıtım maliyetine oranla tasarruf miktarının aynı oranda artmadığı görülmüştür. Örneğin; 6 cm EPS ile 10 cm EPS ile yalıtımı karşılaştırdığımızda yalıtım maliyeti bina için yaklaşık 12.777,95 TL artarken yıllık yakıt tasarrufu 1.575,74 TL azalmaktadır.

Tablo 4.1'deki parametreler ile bölüm 3.5'de optimum yalıtım kalınlığı formülünde değerler yerine konulduğunda yakıt türlerine göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış olup aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 4.4: Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum EPS yalıtım kalınlığı

<u>Yalıtım Malzemesi</u>	<u>Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum yalıtım kalınlığı (cm)</u>				<u>İZODER programında hesaplanan yalıtım kalınlığı (cm)</u>
	<u>Doğalgaz</u>	<u>Fuel-oil (No:5)</u>	<u>Motorin</u>	<u>Kömür</u>	
<u>EPS (Karbon takviyeli)</u>	<u>8,86</u>	<u>12,1</u>	<u>13,7</u>	<u>8,04</u>	<u>6</u>

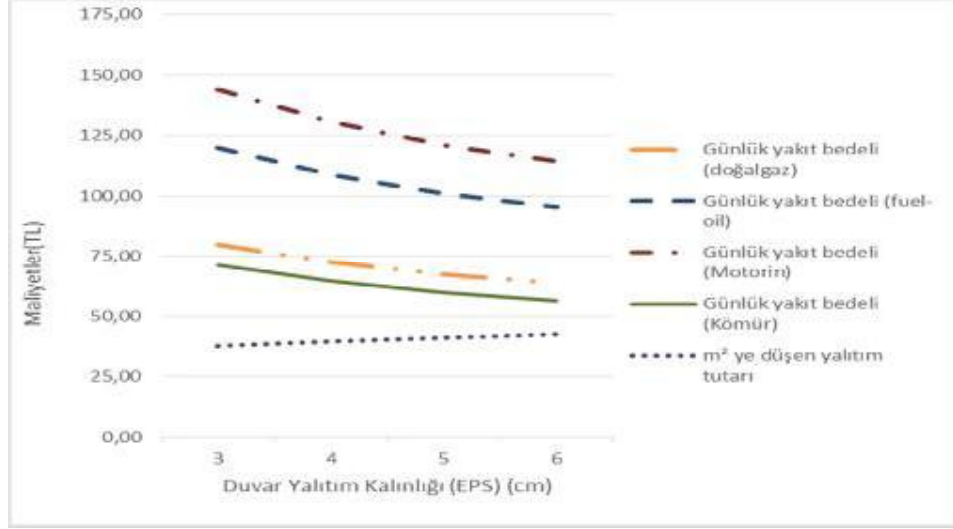
Tablo 4.5: Yakıt olarak doğalgaz ve fuel-oil kullanıldığında hesaplanan sonuçlar

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - doğalgaz																	
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BİNA KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYL=KWh)	TOPLAM ISI YAKITIN ISIL DEĞERİ (KWh/m³)	ALTI DEĞERİ (KWh/m³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (KWh/m²)	OLMASI GEREKEN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (KWh/m²)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m³/yıl)	YALITIM KALINLIĞI	m² düşen yalıtım tutan (m²/TL)	ye düşen yalıtım tutan (m²/TL)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (m³/yıl)	m³ gaz fiyatı (TL/Nm³)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli (doğalgaz) (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Doğalgaz
duvar- 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	9.595	9.595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL	0,00	0,00	0,00	0	1,17	35.245,82	195,81	0,00	0,00
0	4.576,55	210.392,0	9.595	9.595	46,42	18,50	25.796,77	UYGUN DEĞİL	1,94	3.853,20	4327,87	4327,87	1,17	30.182,22	167,68	5.063,60	0,76
3	2.575,45	100.316,0	9.595	9.595	22,14	18,50	12.300,03	UYGUN DEĞİL	37,87	75.093,13	17824,60	17824,60	1,17	14.391,04	79,95	20.854,78	3,60
4	2.399,45	91.142,0	9.595	9.595	20,11	18,50	11.175,18	UYGUN DEĞİL	39,42	78.181,17	18949,45	18949,45	1,17	13.074,96	72,64	22.170,86	3,53
5	2.274,85	84.422,0	9.595	9.595	18,63	18,50	10.351,22	UYGUN DEĞİL	40,96	81.236,94	19773,41	19773,41	1,17	12.110,93	67,28	23.134,89	3,51
6	2.182,15	79.747,0	9.595	9.595	17,60	18,50	9.778,01	UYGUN	42,52	84.324,99	20346,63	20346,63	1,17	11.440,27	63,56	23.805,55	3,54
8	2.053,35	73.093,0	9.595	9.595	16,13	18,50	8.962,14	UYGUN	45,62	90.468,81	21162,49	21162,49	1,17	10.485,71	58,25	24.760,12	3,65
10	1.967,75	68.763,0	9.595	9.595	15,17	18,50	8.431,23	UYGUN	48,96	97.102,94	21693,41	21693,41	1,17	9.864,54	54,80	25.381,29	3,83
12	1.906,75	65.589,0	9.595	9.595	14,47	18,50	8.042,06	UYGUN	52,57	104.249,35	22082,58	22082,58	1,17	9.409,21	52,27	25.836,62	4,03
14	1.862,75	63.461,0	9.595	9.595	14,00	18,50	7.781,14	UYGUN	56,45	111.945,74	22343,50	22343,50	1,17	9.103,93	50,58	26.141,89	4,28
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - fuel-oil																	
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BİNA KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYL=KWh)	TOPLAM ISI YAKITIN ISIL DEĞERİ (KWh/kg)	ALTI DEĞERİ (KWh/kg)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (KWh/m²)	OLMASI GEREKEN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (KWh/m²)	YILLIK YAKIT MİKTARI (kg/yıl)	YALITIM KALINLIĞI	m² düşen yalıtım tutan (m²/TL)	ye düşen yalıtım tutan (m²/TL)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (kg/yıl)	kg fuel-oil fiyatı (TL/kg)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli (fuel-oil) (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Fuel Oil
duvar- 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	11.630	11.630	54,21	18,50	28.167,27	UYGUN DEĞİL	0,00	0,00	0,00	0	2,70	76.051,63	422,51	0,00	0,00
0	4.576,55	210.392,0	11.630	11.630	46,42	18,50	24.120,61	UYGUN DEĞİL	1,94	3.853,20	4046,66	4046,66	2,70	65.125,64	361,81	10.925,98	0,35
3	2.575,45	100.316,0	11.630	11.630	22,14	18,50	11.500,83	UYGUN DEĞİL	37,87	75.093,13	16666,44	16666,44	2,70	31.052,24	119,93	44.999,38	1,67
4	2.399,45	91.142,0	11.630	11.630	20,11	18,50	10.449,07	UYGUN DEĞİL	39,42	78.181,17	17718,20	17718,20	2,70	28.212,48	108,96	47.839,14	1,63
5	2.274,85	84.422,0	11.630	11.630	18,63	18,50	9.678,65	UYGUN DEĞİL	40,96	81.236,94	18488,62	18488,62	2,70	26.132,35	100,92	49.919,28	1,63
6	2.182,15	79.747,0	11.630	11.630	17,60	18,50	9.142,68	UYGUN	42,52	84.324,99	19024,59	19024,59	2,70	24.685,23	95,34	51.366,40	1,64
8	2.053,35	73.093,0	11.630	11.630	16,13	18,50	8.379,82	UYGUN	45,62	90.468,81	19787,45	19787,45	2,70	22.625,52	87,38	53.426,10	1,69
10	1.967,75	68.763,0	11.630	11.630	15,17	18,50	7.883,40	UYGUN	48,96	97.102,94	20283,86	20283,86	2,70	21.285,19	82,20	54.766,43	1,77
12	1.906,75	65.589,0	11.630	11.630	14,47	18,50	7.519,52	UYGUN	52,57	104.249,35	20647,75	20647,75	2,70	20.302,70	78,41	55.748,93	1,87
14	1.862,75	63.461,0	11.630	11.630	14,00	18,50	7.275,55	UYGUN	56,45	111.945,74	20891,72	20891,72	2,70	19.643,99	75,87	56.407,64	1,98

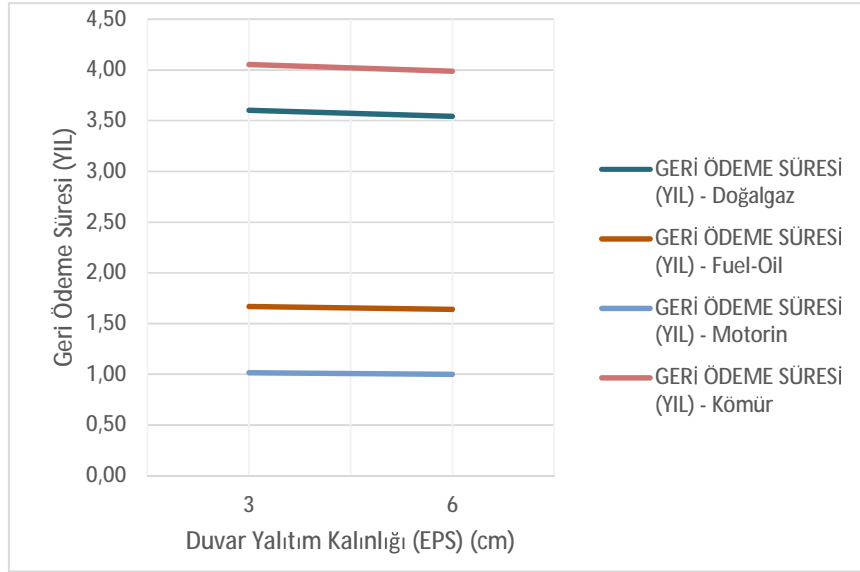
Tablo 4.6: Yakıt olarak motorin ve kömür kullanıldığında hesaplanan sonuçlar

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Motorin																
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (ILETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=KWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (KWh/kg)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/kg)	OLMASI GEREKEN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/kg)	YILLIK YAKIT MIKTARI (kg/yıl)	YALITIM KALINLIĞI I	YALITIM YALITIM TUTAN (m ² /TL)	m ² ye düşen yalıtım tutan (m ² /TL)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MIKTARI (kg/yıl)	kg motorin fiyatı (TL/kg)	YILLIK Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli (Motorin) (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Motorin
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	11,860	54,21	18,50	24.371,49	UYGUN DE	0,00	0,00	0,00	0	5,12	124.782,03	693,23	0,00	0
0	4.576,55	210.392,0	11,860	46,42	18,50	20.870,15	UYGUN DE	1,94	3.853,20	3.853,20	3501,34	5,12	106.855,18	593,64	17.926,86	0,21
3	2.575,45	100.316,0	11,860	22,14	18,50	9.951,00	UYGUN DE	37,87	75.093,13	75.093,13	14420,49	5,12	50.949,10	143,91	73.832,93	1,02
4	2.399,45	91.142,0	11,860	20,11	18,50	9.040,97	UYGUN DE	39,42	78.181,17	78.181,17	15330,52	5,12	46.289,76	130,75	78.492,28	1,00
5	2.274,85	84.422,0	11,860	18,63	18,50	8.374,37	UYGUN DE	40,96	81.236,94	81.236,94	15997,12	5,12	42.876,76	121,11	81.905,27	0,99
6	2.182,15	79.747,0	11,860	17,60	18,50	7.910,62	UYGUN	42,52	84.324,99	84.324,99	16460,87	5,12	40.503,39	114,40	84.279,64	1,00
8	2.053,35	73.093,0	11,860	16,13	18,50	7.250,57	UYGUN	45,62	90.468,81	90.468,81	17120,92	5,12	37.122,92	104,86	87.659,11	1,03
10	1.967,75	68.763,0	11,860	15,17	18,50	6.821,05	UYGUN	48,96	97.102,94	97.102,94	17550,44	5,12	34.923,77	98,65	89.858,26	1,08
12	1.906,75	65.589,0	11,860	14,47	18,50	6.506,20	UYGUN	52,57	104.249,35	104.249,35	17865,29	5,12	33.311,74	94,09	91.470,29	1,14
14	1.862,75	63.461,0	11,860	14,00	18,50	6.295,11	UYGUN	56,45	111.945,74	111.945,74	18076,38	5,12	32.230,96	91,04	92.551,07	1,21
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Kömür																
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (ILETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=KWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (KWh/kg)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/kg)	OLMASI GEREKEN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/kg)	YILLIK YAKIT MIKTARI (kg/yıl)	YALITIM KALINLIĞI I	YALITIM YALITIM TUTAN (m ² /TL)	m ² ye düşen yalıtım tutan (m ² /TL)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MIKTARI (kg/yıl)	kg kömür fiyatı (tonu : 530,00 TL) (TL/kg)	YILLIK Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli (Kömür) (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Kömür
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	6,397	54,21	18,50	59.087,55	UYGUN DE	0,00	0,00	0,00	0	0,53	31.316,40	173,98	0,00	0,00
0	4.576,55	210.392,0	6,397	46,42	18,50	50.598,72	UYGUN DE	1,94	3.853,20	3.853,20	8488,83	0,53	26.817,32	148,99	4.499,08	0,86
3	2.575,45	100.316,0	6,397	22,14	18,50	24.125,73	UYGUN DE	37,87	75.093,13	75.093,13	34961,82	0,53	12.786,64	71,04	18.529,77	4,05
4	2.399,45	91.142,0	6,397	20,11	18,50	21.919,41	UYGUN DE	39,42	78.181,17	78.181,17	37168,14	0,53	11.617,29	64,54	19.699,12	3,97
5	2.274,85	84.422,0	6,397	18,63	18,50	20.303,27	UYGUN DE	40,96	81.236,94	81.236,94	38784,29	0,53	10.760,73	59,78	20.555,67	3,95
6	2.182,15	79.747,0	6,397	17,60	18,50	19.178,94	UYGUN	42,52	84.324,99	84.324,99	39908,61	0,53	10.164,84	56,47	21.151,56	3,99
8	2.053,35	73.093,0	6,397	16,13	18,50	17.578,67	UYGUN	45,62	90.468,81	90.468,81	41508,88	0,53	9.316,70	51,76	21.999,71	4,11
10	1.967,75	68.763,0	6,397	15,17	18,50	16.537,32	UYGUN	48,96	97.102,94	97.102,94	42550,23	0,53	8.764,78	48,69	22.551,62	4,31
12	1.906,75	65.589,0	6,397	14,47	18,50	15.773,98	UYGUN	52,57	104.249,35	104.249,35	43313,57	0,53	8.360,21	46,45	22.956,19	4,54
14	1.862,75	63.461,0	6,397	14,00	18,50	15.262,20	UYGUN	56,45	111.945,74	111.945,74	43825,35	0,53	8.088,97	44,94	23.227,44	4,82

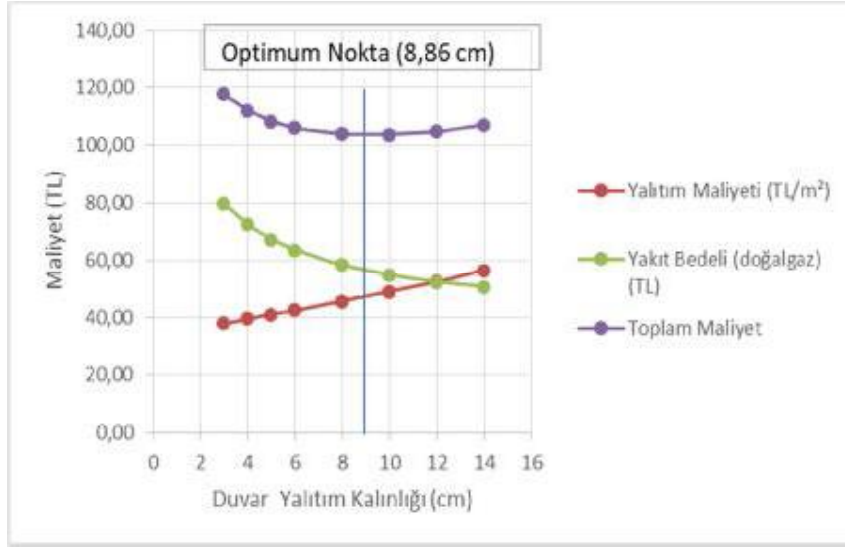
Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda yakıt türlerine göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



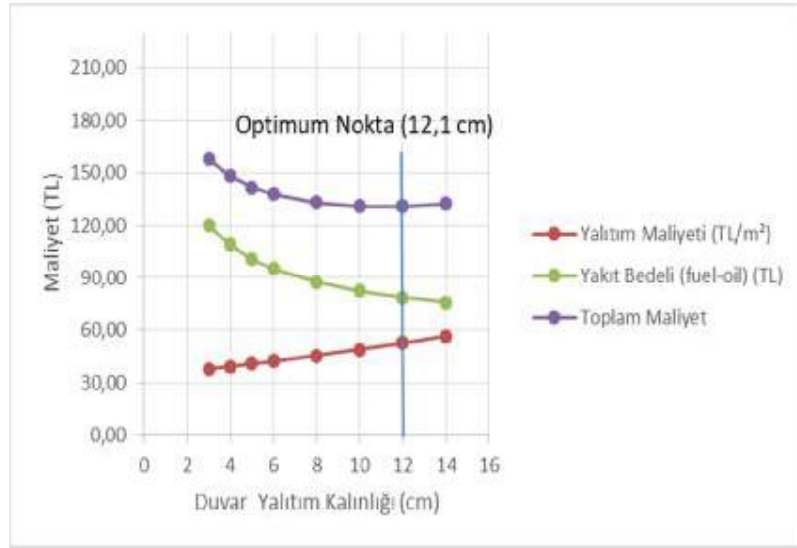
Şekil 4.1: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre yalıtım maliyetinin değişimi



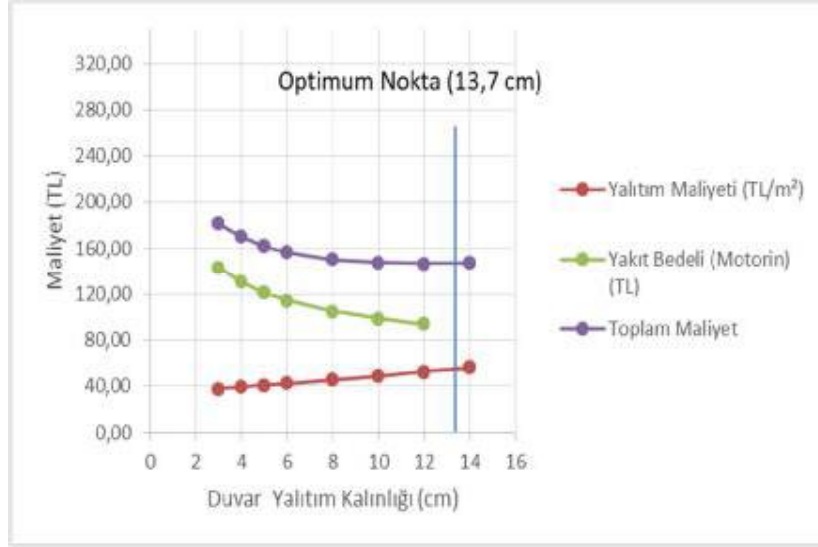
Şekil 4.2: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süresinin değişimi



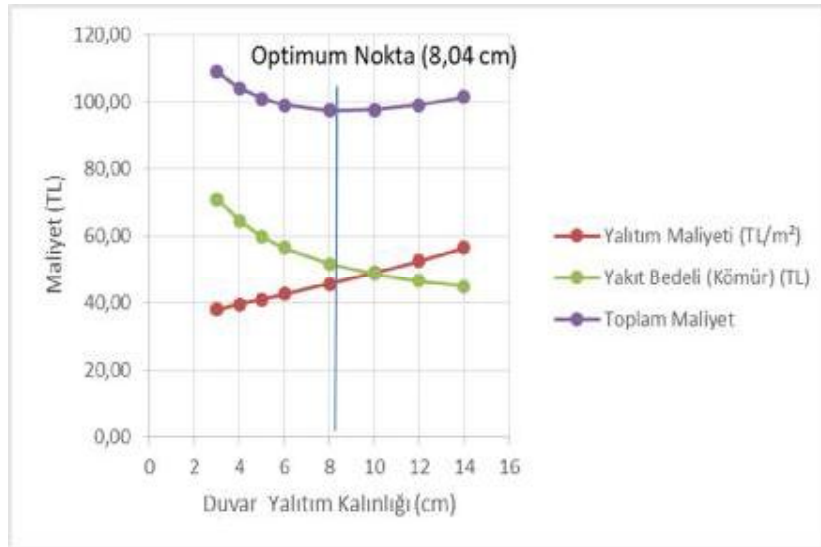
Şekil 4.3: Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.4: Yakıt olarak fuel-oil kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.5: Yakıt olarak motorin kullanıldığında oluşan yıllık maliyetler



Şekil 4.6: Yakıt olarak kömür kullanıldığında oluşan yıllık maliyetler

b. Yalıtım malzemesi olarak XPS'yi incelediğimizde;

Yapılan çalışmalarda çatı arasında kalınlığının 6 cm, 12 cm ve 14 cm cam yününün kullanıldığı kabul edilerek dış duvarlarda farklı yalıtım kalınlıklarında (0, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14 cm) yalıtım malzemesi kullanımları için hesaplamalar yapılmıştır. Çanakkale ili için dış duvarlarda minimum yalıtım kalınlığının 5 cm XPS olarak bulunmuştur. Çatı arasında 12 cm cam yünü ve dış duvarlar, toprağa temas eden döşeme minimum 5 cm XPS çıkmaktadır. Binaya ait farklı yalıtım kalınlıklarında bina yapı bileşenlerine ait ısı iletim katsayısı aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.7: Yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılması durumunda bina yapı elemanına ait U değerleri

Yalıtım kalınlığı (cm)		Hesaplanan U (W/m ² K) değerleri								
		Yalıtım Kalınlığı								
		Yalıtımsız	3	4	5	6	8	10	12	14
DD1	1,384	0,569	0,479	0,413	0,363	0,292	0,245	0,210	0,184	
DD2	3,184	0,742	0,595	0,497	0,426	0,332	0,272	0,230	0,199	
TTED	1,610	0,617	0,512	0,437	0,381	0,304	0,253	0,216	0,186	
TTDÖ	1,478	0,596	0,498	0,427	0,374	0,299	0,249	0,214	0,187	
Taban	2,291	0,696	0,565	0,475	0,410	0,322	0,265	0,225	0,196	
ÇATI1	3,402	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	
ÇATI2	3,402	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	
ÇATI3	3,402	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	
* DD1 – Dış Havaya Açık Duvar (Tuğla Duvar)										
* DD2 – Dış Havaya Açık Duvar (Kolon-Kiriş)										
* TTED – Toprağa Temas Eden Duvar										
* TTDÖ – Toprağa Temas Eden Döşeme										
* Taban – Düşük Sıcaklığa Temas Eden Taban										
* ÇATI1 – Çatı Tabanına 6 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										
* ÇATI2 – Çatı Tabanına 12 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										
* ÇATI3 – Çatı Tabanına 14 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										

Kullanılan paket program sayesinde binaya ait farklı yalıtım kalınlıklarına ait hesaplanan; toplam bina ısı kaybı (W/K), toplam ısı kaybı (Q_{yıl}= kWh), hesaplanan

yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m³), olması gereken ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m³), yalıtım kalınlığının uygun/uygun değil sonuçları elde edilmiş bu sonuçlar Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Farklı XPS yalıtım malzemesi kalınlıkları için hesaplanan enerji ihtiyacı ve yalıtım kalınlıkları

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 6 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
duvar - 0 cm /	5.204,85	245.689,0	9,595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL
0	4.627,85	213.156,0	9,595	47,03	18,50	26.135,67	UYGUN DEĞİL
3	2.534,35	98.199,0	9,595	21,67	18,50	12.040,46	UYGUN DEĞİL
4	2.367,75	89.333,0	9,595	19,71	18,50	10.953,38	UYGUN DEĞİL
5	2.251,25	83.163,0	9,595	18,35	18,50	10.196,85	UYGUN
6	2.165,05	78.771,0	9,595	17,38	18,50	9.658,34	UYGUN
8	2.046,75	72.716,0	9,595	16,05	18,50	8.915,92	UYGUN
10	1.969,55	68.866,0	9,595	15,2	18,50	8.443,86	UYGUN
12	1.914,05	66.006,0	9,595	14,56	18,50	8.093,19	UYGUN
14	1.875,05	64.163,0	9,595	14,16	18,50	7.867,21	UYGUN

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	9,595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL
0	4.576,55	210.392,0	9,595	46,42	18,50	25.796,77	UYGUN DEĞİL
3	2.483,05	95.504,0	9,595	21,07	18,50	11.710,02	UYGUN DEĞİL
4	2.316,35	86.632,0	9,595	19,12	18,50	10.622,20	UYGUN DEĞİL
5	2.199,95	80.618,0	9,595	17,79	18,50	9.884,81	UYGUN
6	2.113,75	76.151,0	9,595	16,80	18,50	9.337,09	UYGUN
8	1.995,45	70.174,0	9,595	15,48	18,50	8.604,24	UYGUN
10	1.918,25	66.246,0	9,595	14,62	18,50	8.122,61	UYGUN
12	1.862,75	63.461,0	9,595	14,00	18,50	7.781,14	UYGUN
14	1.823,75	61.695,0	9,595	13,61	18,50	7.564,60	UYGUN

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 14 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
duvar - 0 cm /	5.204,85	245.689,0	9,595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL
0	4.568,45	209.930,0	9,595	46,32	18,50	25.740,12	UYGUN DEĞİL
3	2.474,95	95.042,0	9,595	20,97	18,50	11.653,37	UYGUN DEĞİL
4	2.308,25	86.170,0	9,595	19,01	18,50	10.565,55	UYGUN DEĞİL
5	2.191,75	80.225,0	9,595	17,70	18,50	9.836,62	UYGUN
6	2.105,65	75.772,0	9,595	16,72	18,50	9.290,62	UYGUN
8	1.987,35	69.711,0	9,595	15,38	18,50	8.547,47	UYGUN
10	1.910,15	65.783,0	9,595	14,52	18,50	8.065,84	UYGUN
12	1.854,65	63.074,0	9,595	13,92	18,50	7.733,68	UYGUN
14	1.815,65	61.233,0	9,595	13,51	18,50	7.507,95	UYGUN

Yalıtım malzemesinin kullanılmasıyla yalıtımsız binaya göre optimum yalıtımlı bir binada %67,1 enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yapılan geri ödeme süresinin hesaplanmasında 5 cm XPS ile yalıtım yapıldığında; yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında 3,79 yılda, fuel-oil kullanıldığında 1,99 yılda, motorin kullanıldığında 1,07 yılda, kömür kullanıldığında ise 5,58 yılda yapılan yalıtımın geri ödenmesi karşılamaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere aynı yalıtım malzemesini kullanılıp ısıtmak için yakıt türü olarak kömür doğalgaza göre yıllık yakıt miktarı 1,47 kat daha ucuz olduğu, kömüre göre fuel-oil yaklaşık 2,8 kat, motorine göre de yaklaşık 5,21 kat daha ucuz olduğu hesaplamalarla bulunmuştur. Hesaplamalarda yalıtım kalınlıkları arttıkça (yalıtım kalınlığı > 5 cm) yalıtım maliyetine oranla tasarruf miktarının aynı oranda artmadığı görülmüştür. Örneğin; 5 cm XPS ile 10 cm XPS ile yalıtımı karşılaştırdığımızda yalıtım maliyeti bina için yaklaşık 24.802,61 TL artarken yıllık yakıt tasarrufu 2.061,77 TL azalmaktadır.

Tablo 4.1'deki parametreler ile bölüm 3.5'de optimum yalıtım kalınlığı formülünde değerler yerine konulduğunda yakıt türlerine göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış olup aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 4.9: Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum XPS yalıtım kalınlığı

Yalıtım Malzemesi	Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum yalıtım kalınlığı (cm)				İZODER programında hesaplanan yalıtım kalınlığı (cm)
	Doğalgaz	Fuel-oil (No:5)	Motorin	Kömür	
XPS	5,96	10,04	12,21	5,76	5

Aşağıda verilen tabloda yakıt türlerine göre yapılan hesaplamalar verilmiştir.

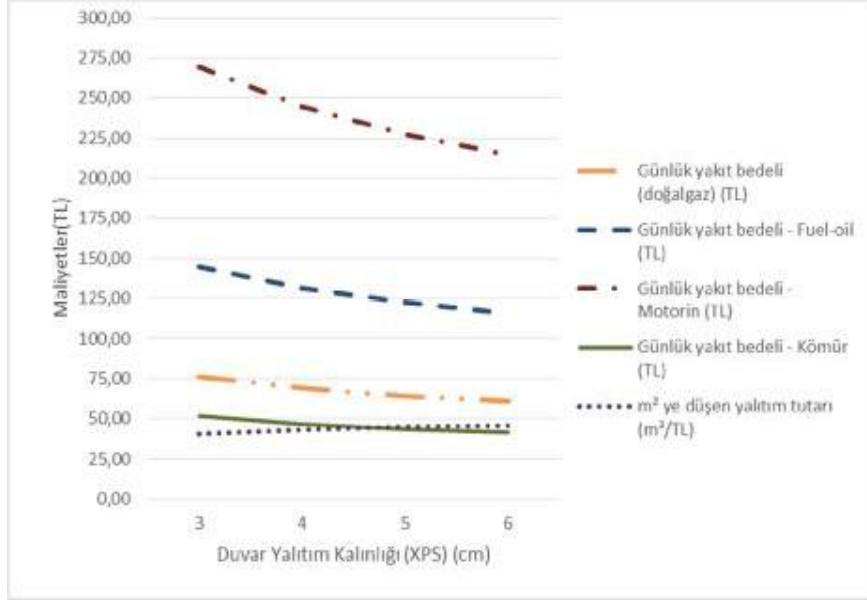
Tablo 4.10: Yakıt olarak doğalgaz ve fuel-oil kullanıldığında hesaplanan sonuçlar

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - doğalgaz													
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (ILETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN AN YILLIK GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ²)	YILLIK YAKIT MIKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MIKTARI (m ³ /yıl)	m ³ gaz fiyatı (TL/Nm ³)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli (doğalgaz) (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Doğalgaz	
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	9.595	54,21	30.124,64	UYGUN DEĞİL	0	1,17	35245,82	195,81	0,00	0,00	
0	4.576,55	210.392,0	9.595	46,42	25.796,77	UYGUN DEĞİL	4327,87	1,17	30182,22	167,68	5063,60	0,76	
3	2.483,05	95.504,0	9.595	21,07	11.710,02	UYGUN DEĞİL	18414,62	1,17	13700,72	76,12	21545,10	3,72	
4	2.316,35	86.632,0	9.595	19,12	10.622,20	UYGUN DEĞİL	19502,44	1,17	12427,97	69,04	22817,85	3,72	
5	2.199,95	80.618,0	9.595	17,79	9.884,81	UYGUN	20239,83	1,17	11565,22	64,25	23680,60	3,79	
6	2.113,75	76.151,0	9.595	16,80	9.337,09	UYGUN	20787,54	1,17	10924,40	60,69	24321,42	3,72	
8	1.995,45	70.174,0	9.595	15,48	8.604,24	UYGUN	21520,40	1,17	10066,96	55,93	25178,87	4,13	
10	1.918,25	66.246,0	9.595	14,62	8.122,61	UYGUN	22002,02	1,17	9503,46	52,80	25742,37	4,45	
12	1.862,75	63.461,0	9.595	14,00	7.781,14	UYGUN	22343,50	1,17	9103,93	50,58	26141,89	4,83	
14	1.823,75	61.695,0	9.595	13,61	7.564,60	UYGUN	22560,03	1,17	8850,58	49,17	26395,24	5,26	
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Fuel-Oil													
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (ILETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN AN YILLIK GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ²)	YILLIK YAKIT MIKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MIKTARI (m ³ /yıl)	kg fuel-oil fiyatı (TL/kg)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli - Fuel-oil (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Fuel-oil	
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	11.630	54,21	24.853,47	UYGUN DEĞİL	0	2,70	67104,38	372,80	0,00	0,00	
0	4.576,55	210.392,0	11.630	46,42	21.282,89	UYGUN DEĞİL	3570,58	2,70	57463,80	319,24	9640,57	0,40	
3	2.483,05	95.504,0	11.630	21,07	9.661,02	UYGUN DEĞİL	15192,45	2,70	26084,75	144,92	41019,62	1,95	
4	2.316,35	86.632,0	11.630	19,12	8.763,54	UYGUN DEĞİL	16089,93	2,70	23661,56	131,45	43442,81	1,96	
5	2.199,95	80.618,0	11.630	17,79	8.155,18	UYGUN	16698,30	2,70	22018,98	122,33	45085,40	1,99	
6	2.113,75	76.151,0	11.630	16,80	7.703,30	UYGUN	17150,17	2,70	20798,92	115,55	46305,46	1,95	
8	1.995,45	70.174,0	11.630	15,48	7.098,68	UYGUN	17754,79	2,70	19166,44	106,48	47937,94	2,17	
10	1.918,25	66.246,0	11.630	14,62	6.701,33	UYGUN	18152,14	2,70	18093,59	100,52	49010,78	2,34	
12	1.862,75	63.461,0	11.630	14,00	6.419,60	UYGUN	18433,87	2,70	17332,93	96,29	49771,44	2,53	
14	1.823,75	61.695,0	11.630	13,61	6.240,96	UYGUN	18612,51	2,70	16850,59	93,61	50253,79	2,77	

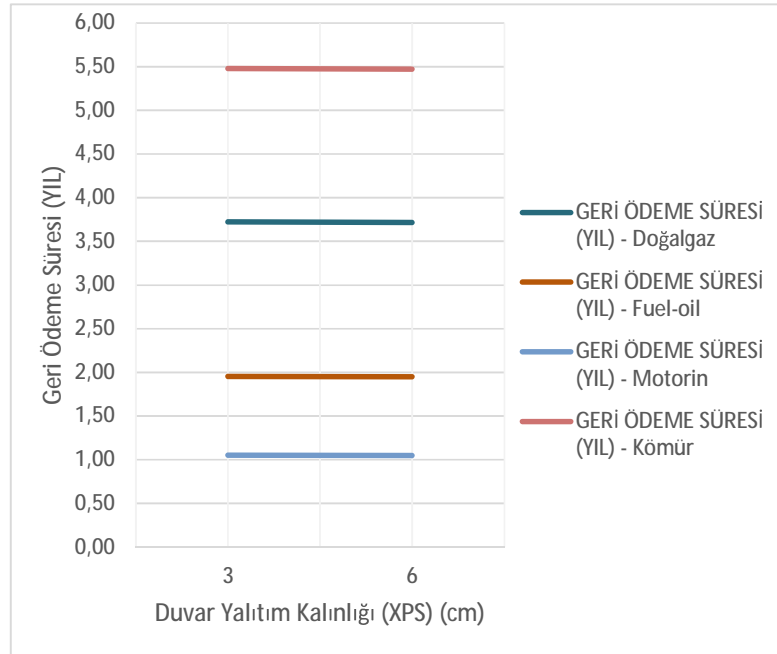
Tablo 4.11: Yakıt olarak motorin ve kömür kullanıldığında hesaplanan sonuçlar

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Motorin															
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	ISI TOPLAMISI KAYBI (QYIL=KWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (KWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /Yıl)	YALITIM KALINLIĞI	m ² ye düşen yalıtım tutarı (m ² /TL)	YE YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (m ³ /Yıl)	kg motorin fiyatı (TL/kg)	YILLIK YAKIT BEDELİ (TL)	Günlük yakıt bedeli - Motorin (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Motorin
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	11,860	54,21	18,50	24.371,49	UYGUN DEĞİL	0,00	0,00	0	5,12	124782,03	693,23	0,00	0,00
0	4.576,55	210.392,0	11,860	46,42	18,50	20.870,15	UYGUN DEĞİL	1,94	3853,20	3501,34	5,12	106855,18	593,64	17926,86	0,21
3	2.483,05	95.504,0	11,860	21,07	18,50	9.473,66	UYGUN DEĞİL	40,43	80180,89	14897,83	5,12	48505,16	269,47	76276,88	1,05
4	2.316,35	86.632,0	11,860	19,12	18,50	8.593,59	UYGUN DEĞİL	42,83	84937,32	15777,90	5,12	43999,19	244,44	80782,84	1,05
5	2.199,95	80.618,0	11,860	17,79	18,50	7.997,02	UYGUN	45,24	89711,04	16374,47	5,12	40944,76	227,47	83837,27	1,07
6	2.113,75	76.151,0	11,860	16,80	18,50	7.553,91	UYGUN	45,58	90394,67	16817,58	5,12	38676,04	214,87	86106,00	1,05
8	1.995,45	70.174,0	11,860	15,48	18,50	6.961,02	UYGUN	52,44	103997,62	17410,48	5,12	35640,40	198,00	89141,63	1,17
10	1.918,25	66.246,0	11,860	14,62	18,50	6.571,37	UYGUN	57,74	114513,65	17800,12	5,12	33645,42	186,92	91136,61	1,26
12	1.862,75	63.461,0	11,860	14,00	18,50	6.295,11	UYGUN	63,61	126136,63	18076,38	5,12	32230,96	179,06	92551,07	1,36
14	1.823,75	61.695,0	11,860	13,61	18,50	6.119,93	UYGUN	70,08	138970,33	18251,56	5,12	31334,03	174,08	93448,00	1,49
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Kömür															
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	ISI TOPLAMISI KAYBI (QYIL=KWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (KWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /Yıl)	YALITIM KALINLIĞI	m ² ye düşen yalıtım tutarı (m ² /TL)	YE YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (kg/Yıl)	kg kömür fiyatı (TL/kg)	YILLIK YAKIT BEDELİ (TL)	Günlük yakıt bedeli - Kömür (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Kömür
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	6,397	54,21	18,50	45.184,60	UYGUN DEĞİL	0,00	0,00	0	0,53	23947,84	133,04	0,00	0,00
0	4.576,55	210.392,0	6,397	46,42	18,50	38.693,14	UYGUN DEĞİL	1,94	3853,20	6491,46	0,53	20507,36	113,93	3440,47	1,12
3	2.483,05	95.504,0	6,397	21,07	18,50	17.564,12	UYGUN DEĞİL	40,43	80180,89	27620,48	0,53	9308,98	51,72	14638,86	5,48
4	2.316,35	86.632,0	6,397	19,12	18,50	15.932,47	UYGUN DEĞİL	42,83	84937,32	29252,13	0,53	8444,21	46,91	15503,63	5,48
5	2.199,95	80.618,0	6,397	17,79	18,50	14.826,44	UYGUN	45,24	89711,04	30358,16	0,53	7858,01	43,66	16089,83	5,58
6	2.113,75	76.151,0	6,397	16,80	18,50	14.004,91	UYGUN	45,58	90394,67	31179,69	0,53	7422,60	41,24	16525,24	5,47
8	1.995,45	70.174,0	6,397	15,48	18,50	12.905,68	UYGUN	52,44	103997,62	32278,92	0,53	6840,01	38,00	17107,83	6,08
10	1.918,25	66.246,0	6,397	14,62	18,50	12.183,28	UYGUN	57,74	114513,65	33001,31	0,53	6457,14	35,87	17490,70	6,55
12	1.862,75	63.461,0	6,397	14,00	18,50	11.671,10	UYGUN	63,61	126136,63	33513,50	0,53	6185,68	34,36	17762,16	7,10
14	1.823,75	61.695,0	6,397	13,61	18,50	11.346,31	UYGUN	70,08	138970,33	33838,29	0,53	6013,54	33,41	17934,29	7,75

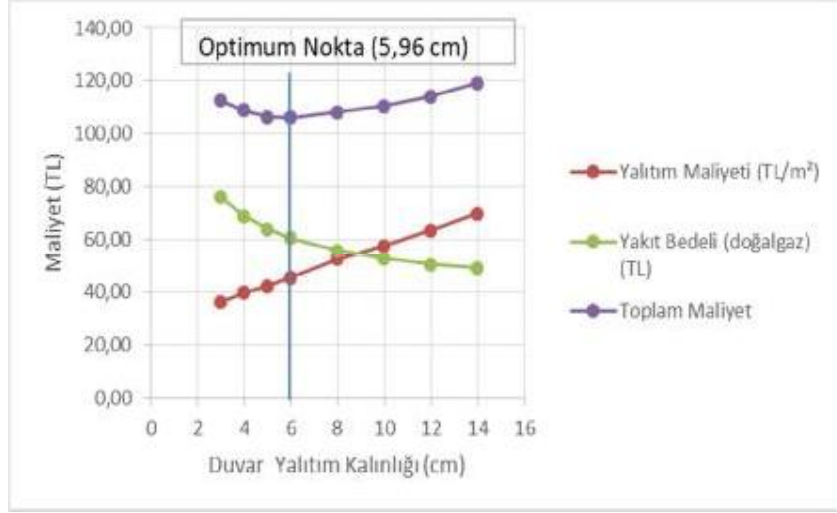
Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda yakıt türlerine göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



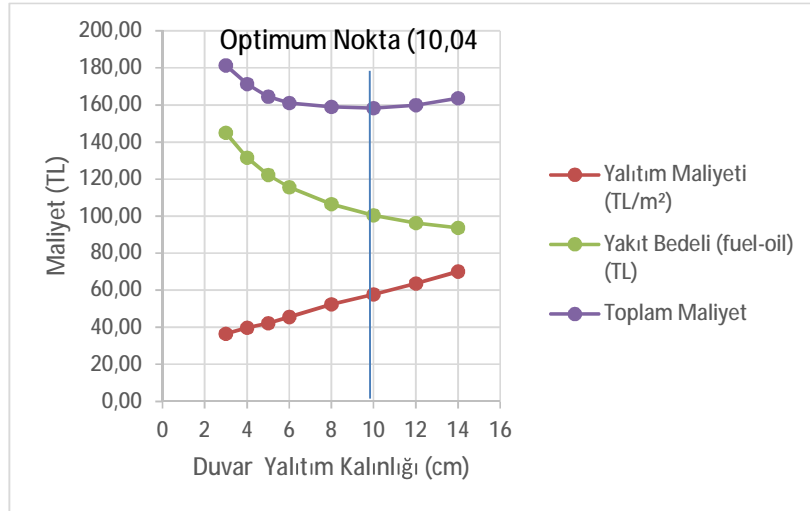
Şekil 4.7: Duvar yalıtım kalınlığına göre yalıtım maliyetinin değişimi



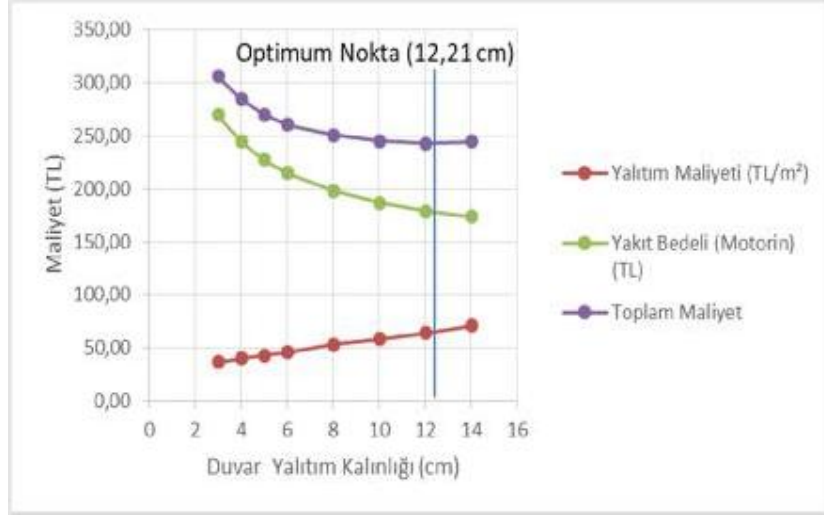
Şekil 4.8: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süresinin değişimi



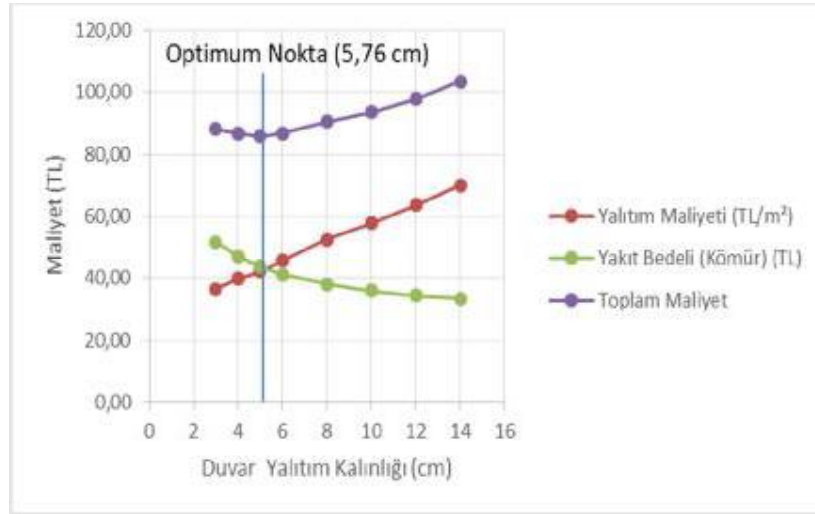
Şekil 4.9: Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.10: Yakıt olarak fuel-oil kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.11: Yakıt olarak motorin kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.12: Yakıt olarak kömür kullanıldığında oluşan maliyetler

c. Yalıtım malzemesi olarak Taş yünü incelediğimizde;

Yapılan çalışmalarda çatı arasında 6 cm, 12 cm ve 14 cm cam yünü kullanıldığı kabul edilerek dış duvarlarda farklı kalınlıklarda (0, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14 cm) yalıtım malzemesi kullanımları için hesaplamalar yapılmıştır. Çanakkale ili için dış duvarlarda minimum yalıtım kalınlığının 6 cm taş yünü olarak bulunmuştur. Çatı arasında 12 cm cam yünü ve dış duvarlar minimum 6 cm taş yünü, toprağa temas eden döşeme minimum 6 cm XPS çıkmaktadır. Binaya ait farklı yalıtım kalınlıklarında bina yapı bileşenlerine ait ısı iletim katsayısı aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.12: Yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılması durumunda bina yapı elemanına ait U değerleri

		Hesaplanan U (W/m ² K) değerleri								
Yalıtım kalınlığı (cm)		Yalıtım kalınlığı								
		Yalıtımsız	3	4	5	6	8	10	12	14
	DD1	1,384	0,569	0,479	0,413	0,363	0,292	0,245	0,210	0,184
	DD2	3,184	0,742	0,595	0,497	0,426	0,332	0,272	0,230	0,199
	TTED	1,610	0,617	0,512	0,437	0,381	0,304	0,253	0,216	0,186
	TTDÖ	1,478	0,596	0,498	0,427	0,374	0,299	0,249	0,214	0,187
	Taban	2,291	0,696	0,565	0,475	0,410	0,322	0,265	0,225	0,196
	ÇATI1	3,402	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557	0,557
	ÇATI2	3,402	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304
	ÇATI3	3,402	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264
* DD1 – Dış Havaya Açık Duvar (Tuğla Duvar)										
* DD2 – Dış Havaya Açık Duvar (Kolon-Kiriş)										
* TTED – Toprağa Temas Eden Duvar										
* TTDÖ – Toprağa Temas Eden Döşeme										
* Taban – Düşük Sıcaklığa Temas Eden Taban										
* ÇATI1 – Çatı Tabanına 6 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										
* ÇATI2 – Çatı Tabanına 12 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										
* ÇATI3 – Çatı Tabanına 14 cm Kalınlığında Mineral Cam Yünü Uygulaması										

Kullanılan paket program sayesinde binaya ait farklı yalıtım kalınlıklarına ait hesaplanan; toplam bina ısı kaybı (W/K), toplam ısı kaybı (Q_{yıl}= kWh), hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh/m³), olması gereken ısıtma enerjisi ihtiyacı

(kWh/m³), yalıtım kalınlığının uygun/uygun değil sonuçları elde edilmiş bu sonuçlar Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13: Farklı taş yünü yalıtım malzemesi kalınlıkları için hesaplanan enerji ihtiyacı ve yalıtım kalınlıkları

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 6 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI (CM)	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
duvar - 0 cm /	5.204,85	245.689,0	9,595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL
0	4.627,85	213.156,0	9,595	47,03	18,50	26.135,67	UYGUN DEĞİL
3	2.678,05	105.709,0	9,595	23,33	18,50	12.961,28	UYGUN DEĞİL
4	2.497,55	96.187,0	9,595	21,22	18,50	11.793,77	UYGUN DEĞİL
5	2.369,15	89.413,0	9,595	19,73	18,50	10.963,19	UYGUN DEĞİL
6	2.272,95	84.314,0	9,595	18,6	18,50	10.337,98	UYGUN DEĞİL
8	2.138,65	77.497,0	9,595	17,1	18,50	9.502,13	UYGUN
10	2.048,35	72.808,0	9,595	16,07	18,50	8.927,20	UYGUN
12	1.984,05	69.523,0	9,595	15,34	18,50	8.524,42	UYGUN
14	1.937,95	67.282,0	9,595	14,85	18,50	8.249,64	UYGUN
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI (CM)	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	9,595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL
0	4.576,55	210.392,0	9,595	46,42	18,50	25.796,77	UYGUN DEĞİL
3	2.626,75	103.014,0	9,595	22,73	18,50	12.630,84	UYGUN DEĞİL
4	2.446,25	93.491,0	9,595	20,63	18,50	11.463,20	UYGUN DEĞİL
5	2.317,85	86.718,0	9,595	19,13	18,50	10.632,74	UYGUN DEĞİL
6	2.221,65	81.686,0	9,595	18,02	18,50	10.015,76	UYGUN
8	2.087,35	74.815,0	9,595	16,51	18,50	9.173,28	UYGUN
10	1.997,05	70.265,0	9,595	15,5	18,50	8.615,39	UYGUN
12	1.932,75	66.986,0	9,595	14,78	18,50	8.213,35	UYGUN
14	1.886,65	64.668,0	9,595	14,27	18,50	7.929,13	UYGUN
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 14 CM							
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI (CM)	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAVALA NDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=kWh)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kWh/m ³)	HESAPLANAN YILLIK ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	OLMASI GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	YALITIM KALINLIĞI
duvar - 0 cm /	5.204,85	245.689,0	9,595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL
0	4.568,45	209.930,0	9,595	46,32	18,50	25.740,12	UYGUN DEĞİL
3	2.618,65	102.552,0	9,595	22,63	18,50	12.574,20	UYGUN DEĞİL
4	2.438,15	93.029,0	9,595	20,53	18,50	11.406,55	UYGUN DEĞİL
5	2.309,75	86.255,0	9,595	19,03	18,50	10.575,97	UYGUN DEĞİL
6	2.213,55	81.311,0	9,595	17,94	18,50	9.969,78	UYGUN
8	2.079,25	74.420,0	9,595	16,42	18,50	9.124,85	UYGUN
10	1.988,95	69.803,0	9,595	15,4	18,50	8.558,75	UYGUN
12	1.924,65	66.611,0	9,595	14,7	18,50	8.167,37	UYGUN
14	1.878,45	64.200,0	9,595	14,17	18,50	7.871,75	UYGUN

Yalıtım malzemesinin kullanılmasıyla yalıtımsız binaya göre optimum yalıtımlı binada % 66,75 enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yapılan geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında 6 cm taş yünü ile yalıtım yapıldığında; yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında 4,34 yılda, fuel-oil kullanıldığında 2,28 yılda, motorin kullanıldığında 1,23 yılda, kömür kullanıldığında ise 6,39 yılda yapılan yalıtım bedelini karşılamaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere aynı yalıtım malzemesini kullanılıp ısıtmak için yakıt türü olarak kömür doğalgaza göre yıllık yakıt miktarı 1,47 kat daha ucuz olduğu, kömüre göre fuel-oil yaklaşık 2,8 kat, motorine göre de yaklaşık 5,19 kat daha ucuz olduğu hesaplamalarla bulunmuştur. Hesaplamalarda yalıtım kalınlıkları arttıkça (yalıtım kalınlığı > 6 cm) yalıtım maliyetine oranla tasarruf miktarının aynı oranda artmadığı görülmüştür. Örneğin; 6 cm taş yünü ile 10 cm taş yünü ile yalıtımı karşılaştırdığımızda yalıtım maliyeti bina için yaklaşık 20.808,90 TL artarken yıllık yakıt tasarrufu 1.638,42 TL azalmaktadır.

Tablo 4.1'deki parametreler ile bölüm 3.5'de optimum yalıtım kalınlığı formülünde değerler yerine konulduğunda yakıt türlerine göre optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış olup aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Tablo 4.14: Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum taş yünü yalıtım kalınlığı

Yalıtım Malzemesi	Isıtmada kullanılacak olan yakıt türüne göre optimum yalıtım kalınlığı (cm)				İZODER programında hesaplanan yalıtım kalınlığı (cm)
	Doğalgaz	Fuel-oil (No:5)	Motorin	Kömür	
Taş Yünü	6,5	10,4	13,6	6,3	6 cm

Aşağıda verilen tabloda yakıt türlerine göre yapılan hesaplamalar verilmiştir.

Tablo 4.15: Yakıt olarak doğalgaz ve fuel-oil kullanıldığında hesaplanan sonuçlar

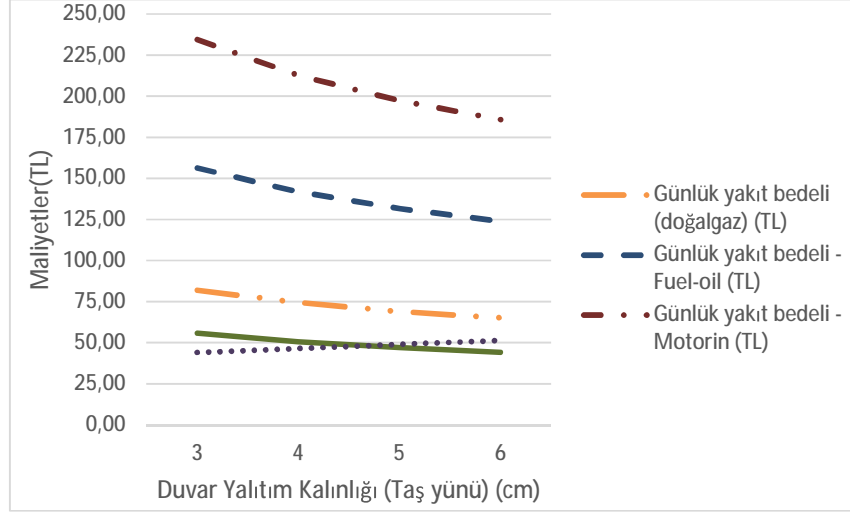
ÇATI KALINLIĞI YALITIM 12 CM - Doğalgaz																		
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=KWh)	YAKITIN ALT DEĞERİ (KWh/m³)	HESAPLANAN YILLIK GEREKEN OLUMASI				YILLIK YAKIT MİKTARI (m³/yıl)	YALITIM KALINLIĞI	m² düşen yalıtım tutarı (m²/TL)	ye	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (m³/yıl)	m³ gaz fiyatı (TL/Nm³)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli (doğalgaz) (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Doğalgaz
				AN YILLIK GEREKEN	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m³)	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m³)	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m³)											
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	9,595	54,21	18,50	30.124,64	UYGUN DEĞİL		0,00	0,00	0,00	0	1,17	35245,82	195,81	0,00	0,00	
0	4.576,55	210.392,0	9,595	46,42	18,50	25.796,77	UYGUN DEĞİL		1,94	3853,20	4327,87	4327,87	1,17	30182,22	167,68	5063,60	0,76	
3	2.626,75	103.014,0	9,595	22,73	18,50	12.630,84	UYGUN DEĞİL		44,20	67167,69	17493,79	17493,79	1,17	14778,09	82,10	20467,74	3,28	
4	2.446,25	93.491,0	9,595	20,63	18,50	11.463,20	UYGUN DEĞİL		46,60	72113,48	18661,44	18661,44	1,17	13411,94	74,51	21833,88	3,30	
5	2.317,85	86.718,0	9,595	19,13	18,50	10.632,74	UYGUN DEĞİL		49,00	97178,74	19491,89	19491,89	1,17	12440,31	69,11	22805,51	4,26	
6	2.221,65	81.686,0	9,595	18,02	18,50	10.015,76	UYGUN	51,48	102094,54	20108,88	20108,88	20108,88	1,17	11718,43	65,10	23527,39	4,34	
8	2.087,35	74.815,0	9,595	16,51	18,50	9.173,28	UYGUN	56,44	111920,68	20951,35	20951,35	20951,35	1,17	10732,74	59,63	24513,08	4,57	
10	1.997,05	70.265,0	9,595	15,5	18,50	8.615,39	UYGUN	61,98	122903,44	21509,24	21509,24	21509,24	1,17	10080,01	56,00	25165,81	4,88	
12	1.932,75	66.986,0	9,595	14,78	18,50	8.213,35	UYGUN	68,08	135004,53	21911,29	21911,29	21911,29	1,17	9609,62	53,39	25636,21	5,27	
14	1.886,65	64.668,0	9,595	14,27	18,50	7.929,13	UYGUN	74,80	148327,74	22195,51	22195,51	22195,51	1,17	9277,08	51,54	25968,74	5,71	
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Fuel-oil																		
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BINA KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA) (W/K)	TOPLAM ISI KAYBI (QYIL=KWh)	YAKITIN ALT DEĞERİ (KWh/m³)	HESAPLANAN YILLIK GEREKEN OLUMASI				YILLIK YAKIT MİKTARI (m³/yıl)	YALITIM KALINLIĞI	m² düşen yalıtım tutarı (m²/TL)	ye	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (m³/yıl)	kg fuel-oil fiyatı (TL/kg)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli - Fuel-oil (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL) - Fuel-oil
				AN YILLIK GEREKEN	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m³)	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m³)	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m³)											
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	245.689,0	11,630	54,21	18,50	24.853,47	UYGUN DEĞİL		0,00	0,00	0	0	2,70	67104,38	372,80	0,00	0	
0	4.576,55	210.392,0	11,630	46,42	18,50	21.282,89	UYGUN DEĞİL		1,94	3853,20	3570,58	3570,58	2,70	57463,80	319,24	9640,57	0,40	
3	2.626,75	103.014,0	11,630	22,73	18,50	10.420,72	UYGUN DEĞİL		44,20	67167,69	14432,76	14432,76	2,70	28135,94	156,31	38968,44	1,72	
4	2.446,25	93.491,0	11,630	20,63	18,50	9.457,39	UYGUN DEĞİL		46,60	72113,48	15396,09	15396,09	2,70	25534,95	141,86	41569,43	1,73	
5	2.317,85	86.718,0	11,630	19,13	18,50	8.772,24	UYGUN DEĞİL		49,00	97178,74	16081,23	16081,23	2,70	23685,05	131,58	43419,32	2,24	
6	2.221,65	81.686,0	11,630	18,02	18,50	8.263,21	UYGUN	51,48	102094,54	16590,26	16590,26	16590,26	2,70	22310,68	123,95	44793,70	2,28	
8	2.087,35	74.815,0	11,630	16,51	18,50	7.568,16	UYGUN	56,44	111920,68	17285,32	17285,32	17285,32	2,70	20434,02	113,52	46670,36	2,40	
10	1.997,05	70.265,0	11,630	15,5	18,50	7.107,89	UYGUN	61,98	122903,44	17745,59	17745,59	17745,59	2,70	19191,29	106,62	47913,08	2,57	
12	1.932,75	66.986,0	11,630	14,78	18,50	6.776,19	UYGUN	68,08	135004,53	18077,28	18077,28	18077,28	2,70	18295,71	101,64	48808,67	2,77	
14	1.886,65	64.668,0	11,630	14,27	18,50	6.541,70	UYGUN	74,80	148327,74	18311,77	18311,77	18311,77	2,70	17.662,60	98,13	49.441,78	3,00	

Tablo 4.16: Yakıt olarak motorin ve kömür kullanıldığında hesaplanan sonuçlar

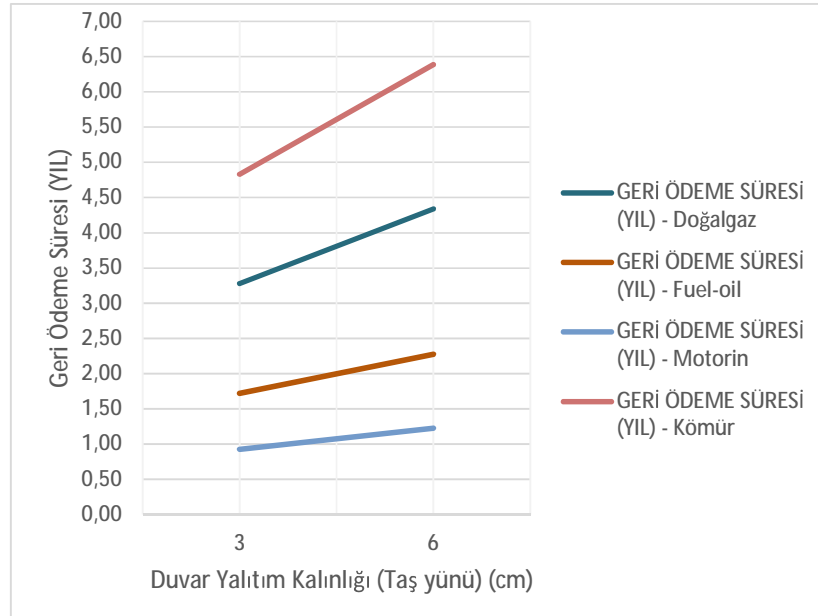
ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Motorin															
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kW/h/m ³)	HESAPLANAN UYUMSIZLIK DURUMU			YALITIM KALINLIĞI (m ² /yıl)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	m ² ye düşen yalıtım tutarı (m ² /TL)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (m ³ /yıl)	kg motorin fiyatı (TL/kg)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli - Motorin (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (Yıl) - Motorin
			HESAPLANAN UYUMSIZLIK DURUMU	GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)										
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	11,860	54,21	18,50	24.371,49	UYGUN DEĞİL	0,00	0,00	0	5,12	124782,03	693,23	0,00	0,00	
3	4.576,55	11,860	46,42	18,50	20.870,15	UYGUN DEĞİL	1,94	3853,20	3501,34	5,12	106855,18	593,64	17926,86	0,21	
4	2.626,75	11,860	22,73	18,50	10.218,63	UYGUN DEĞİL	44,20	67167,69	14152,86	5,12	52319,38	234,47	72462,65	0,93	
5	2.446,25	11,860	20,63	18,50	9.273,98	UYGUN DEĞİL	46,60	72113,48	15097,51	5,12	47482,78	212,79	77299,25	0,93	
6	2.317,85	11,860	19,13	18,50	8.602,12	UYGUN DEĞİL	49,00	97178,74	15769,37	5,12	44042,87	197,38	80739,16	1,20	
8	2.221,65	11,860	18,02	18,50	8.102,97	UYGUN	51,48	102094,54	16268,52	5,12	41487,19	185,92	83294,85	1,23	
10	2.087,35	11,860	16,51	18,50	7.421,39	UYGUN	56,44	111920,68	16950,10	5,12	37997,50	170,28	86784,53	1,29	
12	1.997,05	11,860	15,5	18,50	6.970,04	UYGUN	61,98	122903,44	17401,45	5,12	35686,62	159,93	89095,42	1,38	
14	1.886,65	11,860	14,78	18,50	6.644,78	UYGUN	68,08	135004,53	17726,71	5,12	34021,26	152,46	90760,77	1,49	
14	1.886,65	11,860	14,27	18,50	6.414,84	UYGUN	74,80	148327,74	17956,65	5,12	32843,98	147,19	91938,05	1,61	

ÇATI YALITIM KALINLIĞI 12 CM - Kömür															
DUVAR YALITIM KALINLIKLARI	TOPLAM BİNA ISI KAYBI (İLETİM+HAV ALANDIRMA)	YAKITIN ALT ISIL DEĞERİ (kW/h/m ³)	HESAPLANAN UYUMSIZLIK DURUMU			YALITIM KALINLIĞI (m ² /yıl)	YILLIK YAKIT MİKTARI (m ³ /yıl)	m ² ye düşen yalıtım tutarı (m ² /TL)	YALITIM MALİYETİ (TL)	TASARRUF MİKTARI (kg/yıl)	kg kömür fiyatı (tonu : 530,00 TL/kg)	Yıllık Yakıt Bedeli (TL)	Günlük yakıt bedeli - Kömür (TL)	TOPLAM TASARRUF BEDELİ (Yıllık) (TL)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (Yıl) - Kömür
			HESAPLANAN UYUMSIZLIK DURUMU	GEREKEN ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)	ISITMA ENERJİSİ İHTİYACI (kWh/m ³)										
duvar - 0 cm / çatı 0 cm	5.204,85	6,397	54,21	18,50	45.184,60	UYGUN DEĞİL	0,00	0,00	0	0,53	23947,84	133,04	0,00	0,00	
3	4.576,55	6,397	46,42	18,50	38.693,14	UYGUN DEĞİL	1,94	3853,20	6491,46	0,53	20507,36	113,93	3440,47	1,12	
4	2.626,75	6,397	22,73	18,50	18.945,28	UYGUN DEĞİL	44,20	67167,69	26239,32	0,53	10041,00	55,78	13906,84	4,83	
5	2.446,25	6,397	20,63	18,50	17.193,91	UYGUN DEĞİL	46,60	72113,48	27990,69	0,53	9112,77	50,63	14835,07	4,86	
6	2.317,85	6,397	19,13	18,50	15.948,28	UYGUN DEĞİL	49,00	97178,74	29236,31	0,53	8452,59	46,96	15495,25	6,27	
8	2.221,65	6,397	18,02	18,50	15.022,85	UYGUN	51,48	102094,54	30161,75	0,53	7962,11	44,23	15985,73	6,39	
10	2.087,35	6,397	16,51	18,50	13.759,21	UYGUN	56,44	111920,68	31425,39	0,53	7292,38	40,51	16655,46	6,72	
12	1.997,05	6,397	15,5	18,50	12.922,42	UYGUN	61,98	122903,44	32262,18	0,53	6848,88	38,05	17098,96	7,19	
14	1.886,65	6,397	14,78	18,50	12.319,38	UYGUN	68,08	135004,53	32865,22	0,53	6529,27	36,27	17418,57	7,75	
14	1.886,65	6,397	14,27	18,50	11.893,07	UYGUN	74,80	148327,74	33291,52	0,53	6303,33	35,02	17644,51	8,41	

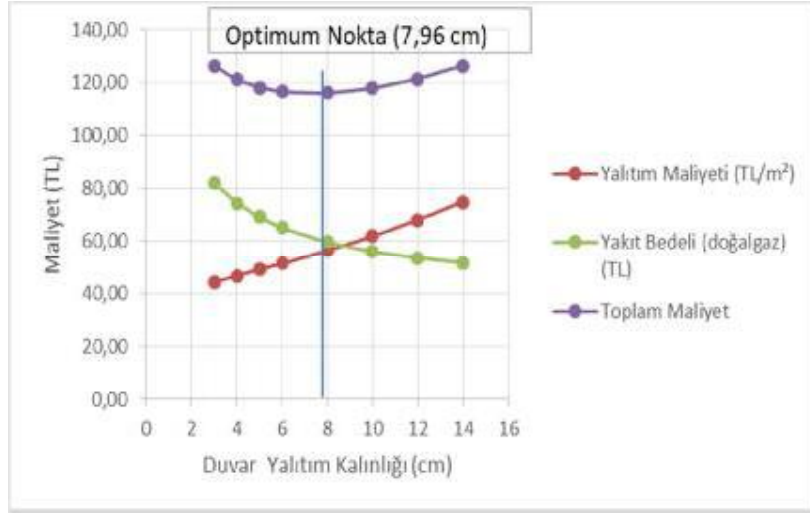
Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda yakıt türlerine göre aşağıdaki grafikler elde edilmiştir



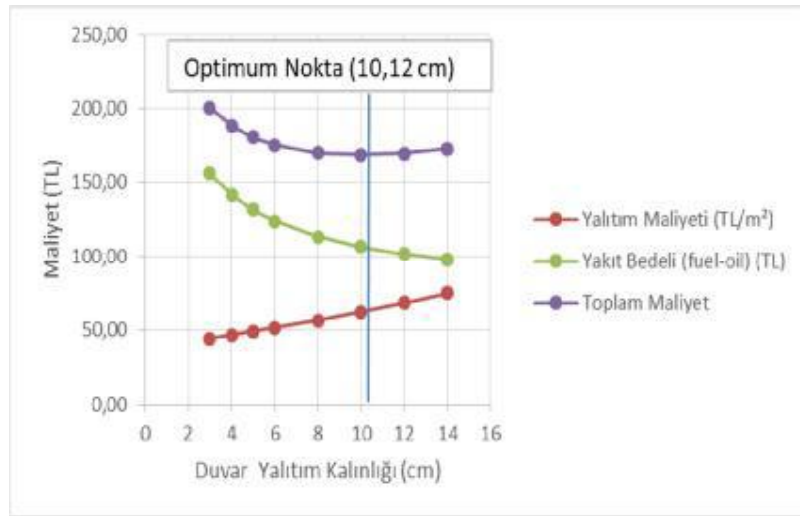
Şekil 4.13: Dış duvar yalıtım kalınlığına göre yalıtım maliyetinin değişimi



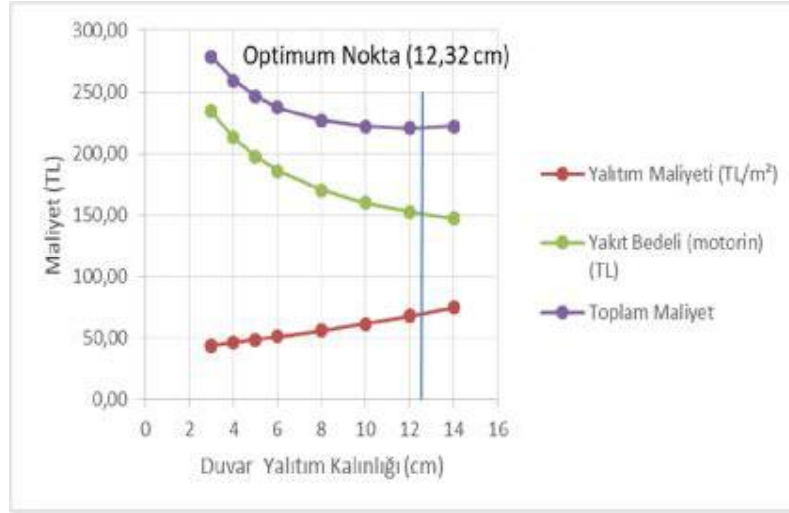
Şekil 4.14: Duvar yalıtım kalınlığına göre geri ödeme süresinin değişimi



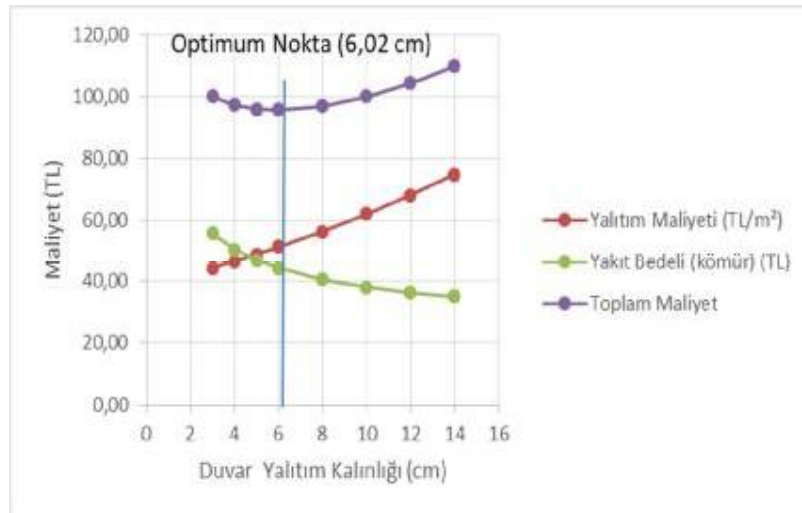
Şekil 4.15: Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.16: Yakıt olarak fuel-oil kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.17: Yakıt olarak motorin kullanıldığında oluşan maliyetler



Şekil 4.18: Yakıt olarak kömür kullanıldığında oluşan maliyetler

Sonuç olarak; ülkemizde doğal enerji kaynaklarımızın sınırlı olduğu, enerji ihtiyacının karşılanması için büyük bir kısmının ithal edildiğinden enerjinin yoğun kullanıldığı ısıtma ve soğutma amaçlı binalarda ısı kayıplarının azaltılması ve enerjinin verimli kullanılması ülkemiz için önem arz etmektedir.

Yapılan bu çalışmada Çanakkale ilinde örnek bir binada yapılması gerekli yalıtım kalınlıkları çeşitli yalıtım malzemelerine göre değerlendirilmiş (EPS, XPS, Taş yünü) ayrıca ısıtmada kullanılan farklı yakıt cinslerine (kömür, doğalgaz, fuel-oil, motorin) göre hesaplamalar yapılmıştır.

Sonuç olarak;

1. Birim fiyatı doğalgaz ve kömüre göre yüksek olan fuel-oil yakıtının kullanılması binaya yapılan yalıtım maliyetinin geri ödeme süreleri yaklaşık 2,5 kat fazla çıkmıştır.

2. Birim fiyatı doğalgaz ve kömüre göre yüksek olan motorin yakıtının kullanılması binaya yapılan yalıtım maliyetinin geri ödeme süreleri yaklaşık 4 kat fazla çıkmıştır.

3. Birim fiyatı doğalgaz ve kömüre göre yüksek olan fuel-oil yakıt kullanılması durumunda binaya yapılan optimum yalıtım kalınlığı doğalgaz/kömüre göre yaklaşık 1,65 kat artmaktadır.

4. Yakıtların alt ısıl değerleri birbirine yakın olmasına karşın (motorin, fuel-oil, doğalgaz) birim fiyatları arasında çok fark olduğundan, ısıtma için en uygun yakıtın kömür ve doğalgaz olduğu belirlenmiştir. Isıtmanın yapıldığı binalarda en ekonomik yakıt kömür ve doğalgaz olduğu tespit edilmiştir.

5. Binada kullanılması gerekli minimum yalıtım kalınlığı, yalıtım malzemesine göre (EPS-6 cm, XPS-5 cm, Taş yünü-6 cm) olarak çıkmış ve ortalama %67 oranında enerji tasarrufunun sağlanacağı hesaplamalardan çıkmıştır.

Yapılan çalışma neticesinde; binalarda kullanılacak yalıtım malzemesi ve yalıtım kalınlığı her bina için ayrı ayrı seçilmeli ve yalıtım kalınlığı hesaplanmalıdır.. TS 825 standardına göre 5 bölge bulunmakta fakat ülkemizde derece-gün sayıları çok farklılık gösterdiğinden ısıtma ve soğutma derece-gün sayıları baz alınarak bölge sayıları arttırılmalı ve sınır değerler düzenlenmelidir. Ayrıca, TS 825 standardında sadece ısıtma sezonu dikkate alınarak hesap yapıldığından standardın yaz sezonu da

göz önüne alınarak (soğutma yüküde dikkate alınarak) hesaplanma şekli belirlenmelidir.

5. KAYNAKLAR

- [1] 2016 Yılı Botaş Sektör Raporu
(http://www.botas.gov.tr/docs/raporlar/tur/sectorap_2016.pdf), [online], (2016).
- [2] Dünya Enerji Görünümü Raporu
(<https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyenin-enerji-gorunumu-2016>), [online], (2016).
- [3] İzoder, “Bina ve Tesisatlarda Isı Yalıtımı Teknik Şartnamesi”, (2014).
- [4] TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1998).
- [5] 5267 sayılı kanun, “Enerji Verimliliği Kanunu”, Resmi Gazete, 2/5/2007 Sayı: 26510, (2007).
- [6] “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği”, Resmi Gazete, 5/12/2008 Sayı: 27075, (2008).
- [7] Dünya Bankası tarafından yayınlanan “Türkiye’de Enerji Tasarrufu Potansiyelini Kullanmak”, (2011).
- [8] Ogulata R.G., “Sectoral energy consumption in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 471-480, (2002).
- [9] Kaygusuz K., Kaygusuz A., “Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use”, *Energy Sources*, 26,1071-1082, (2004).
- [10] Demirbaş A., “Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 42, 1239-1258, (2001).

- [11] Dombaycı ÖA, Gölcü M, Pancar Y. “Optimization of insulation thickness for external walls for different energy-sources.” *Applied Energy*, 83(9):921-8, (2006).
- [12] Dombaycı ÖA. “The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings”, *Building and Environment*, 42: 3855-3859, (2006).
- [13] Çomaklı K, Yüksel B. “Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings”, *Applied Thermal Engineering*, 24(2):933-40, (2004).
- [14] Yamankaradeniz R, Kaynaklı Ö. “Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 19-25, (2008).
- [15] Bolattürk A, “Determination of optimum insulation thickness for buildg walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey”, *Applied Thermal Engineering*, 1301-1309, (2006).
- [16] <https://www.gnyapi.com.tr/isiyalitimi-nedir> , [online], (28.09.2017).
- [17] İzoder, TS 825 Hesap Programı.
- [18] <https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri>, [online], (17.10.2017).
- [19] Bina ve tesisatlarda ısı yalıtımı teknik şartnamesi, İZODER, (2014).
- [20] <http://www.xpsturkiye.org/sayfa.asp?ID=136> , [online], (08.11.2017).
- [21] http://strosan.com/eps_epsnin_bazi_ozellikleriyle_ilgili_aciklamalar-l-1-sayfa_id-101-id-78492-g_id-29992 , [online], (08.11.2017).
- [22] <http://www.tasyunuplus.com/tuzla-tas-yunu> , [online], (08.11.2017).
- [23] <http://www.insaahaberleri.net/haber/19943-tas-yunu-teknik-ozellikleri.html>, [online], (08.11.2017).
- [24] http://izomont.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=77&Itemid=230 , [online], (08.11.2017).

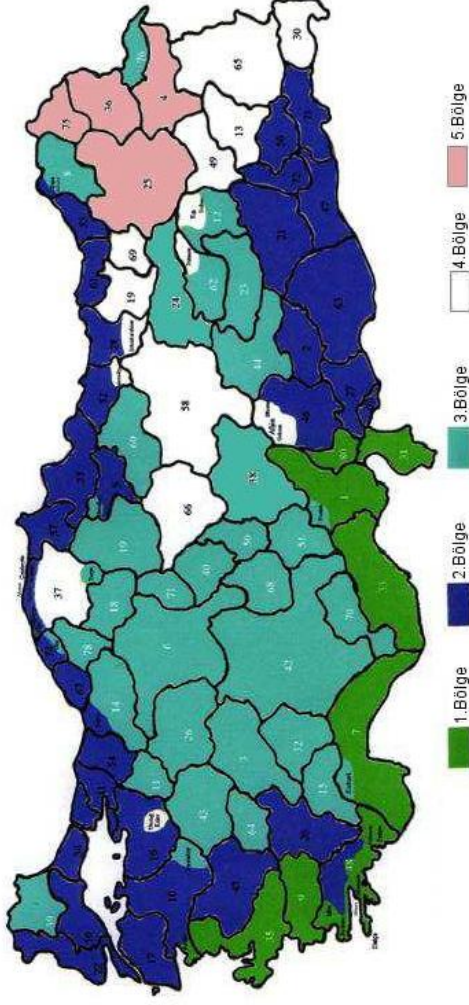
- [25] Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz T., “Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey” , *Applied Energy*, 69,269-283, (2001).
- [26] Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., “Türkiye’nin Bazı illeri için derecenin değerleri”, *12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1*, sayfa 107-112, Sakarya, (2000).
- [27] Bulut H, Büyükalaca O, Yılmaz T., “Türkiye için ısıtma ve soğutma derecenin bölgeleri”, *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, (2007).
- [28] Mearing T., Coffee N., Morgan M., “Life cycle cost analysis handbook”, *State of Alaska, Department of Education & Early Development Education Support Services / Facilities, 1 sted.*, (1999).
- [29] <http://www.canakkalekulturturizm.gov.tr/TR,70467/cografya.html>, [online], (13.03.2018).
- [30] <http://www.fixkim.net/htmldocs/index/icerik/47/fixkim-yalitim-sistemleri-xps-nedir.html>, [online], (12.06.2018).
- [31] <http://mantolama.be/xps-nedir.html>, [online], (12.06.2018).
- [32] <https://www.promantolama.com/su-buhari-gecirgenligi.html>, [online], (12.06.2018).
- [33] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx>, [online], (12.06.2018).

6. EKLER

EK-A (Birim Dönüştürme Tablosu)

1 kCal	4,187	kJ
1 kCal	$1,163 \times 10^{-3}$	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	$0,278 \times 10^{-3}$	kWh

EK-B (Derece gün bölgelerine göre illerimiz)



01- ADANA	10- BALIKESİR	19- ÇORUM	28- GİRESUN	37- KASTAMONU	46- K.MARAŞ	55- SAMSUN	64- UŞAK	73- ŞIRNAK
02- ADIYAMAN	11- BİLECİK	20- DENİZLİ	29- GÜMÜŞHANE	38- KAYSERİ	47- MARDİN	56- SIIRT	65- VAN	74- BARTIN
03- AFYON	12- BİNGÖL	21- DIYARBAKIR	30- HAKKARİ	39- KIRKLARELİ	48- MUĞLA	57- SINOP	66- YOZGAT	75- ARDAHAN
04- AĞRI	13- BITLİS	22- EDİRNE	31- HATAY	40- KİRSEHİR	49- MUŞ	58- SIVAS	67- ZONGULDAK	76- İGDIR
05- AMASYA	14- BOLU	23- ELAZIĞ	32- İSPARTA	41- KOCAELİ	50- NEVSEHİR	59- TEKİRDAĞ	68- AKSARAY	77- YALOVA
06- ANKARA	15- BURDUR	24- ERZİNCAN	33- İÇEL	42- KONYA	51- NİĞDE	60- TOKAT	69- BAYBURT	78- KARABÜK
07- ANTALYA	16- BURSA	25- ERZURUM	34- İSTANBUL	43- KÜTAHYA	52- ORDU	61- TRABZON	70- KARAMAN	79- KİLİS
08- ARTVİN	17- ÇANAKKALE	26- ESKİŞEHİR	35- İZMİR	44- MALATYA	53- RİZE	62- TUNCELİ	71- KIRIKKALE	80- OSMANIYE
09- AYDIN	18- ÇANKIRI	27- GAZİANTEP	36- KARS	45- MANİSA	54- SAKARYA	63- ŞANLIURFA	72- BATMAN	81- DÜZCE