

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİNA DUVARLARINDA GÜNEŞ RADYASYONU DİKKATE
ALINARAK OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ
BELİRLENMESİ: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ

Merve KÖSE

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2022
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİNA DUVARLARINDA GÜNEŞ RADYASYONU DİKKATE ALINARAK OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ

Merve KÖSE

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

Bu çalışmada, Derece-Gün yöntemi ile güneş ışınımının etkisi dikkate alınarak dış duvarlara uygulanacak ısı yalıtım kalınlığının yönler göre değişimi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda TS 825 standartlarına göre 4. İklim bölgesinde yer alan Erzincan ili için 2008-2018 yılları arasındaki 10 yıllık günlük güneşlenme verileri kullanılmıştır. Güneşlenme verileri kullanılarak tüm ana yönlerde (Doğu-Batı-Kuzey-Güney) her ay için güneş hava sıcaklığı hesaplanmıştır. Derece-Gün yöntemi kullanılarak 2 yapı malzemesi (bims ve tuğla), 4 yakıt (fueloil, LPG, doğal gaz ve kömür) ve 3 yalıtım malzemesi (XPS, EPS ve taş yünü) için dört ana yönde optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde kullanım şartları ve geri ödeme süresine göre tuğla, XPS ve doğal gaz sırasıyla en uygun yapı bileşeni, yalıtım malzemesi ve yakıt türü olarak belirlenmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı belirlenen en uygun yapı bileşeni, 24°C referans sıcaklığı ve güneş radyasyonunun dikkate alınmadığı durum için 6,6 cm olarak hesaplanmıştır. Güneş radyasyonu dikkate alındığında ise güney ve batı yönünde 3,9 cm, doğu yönünde 4,1 cm ve kuzey yönünde 5,7 cm olarak hesaplanmıştır.

2022, 128 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Derece-Gün metodu, Güneş radyasyonu, Yalıtım kalınlığı

ABSTRACT

MSc Thesis

THE DETERMINING OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS ON BUILDING WALLS BY CONSIDERING SOLAR RADIATION: CASE STUDY OF ERZİNCAN PROVINCE

Merve KÖSE

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

In this study, the change of the thermal insulation thickness to be applied to the outer walls according to the directions was calculated by taking into account the effect of solar radiation with the Degree-Day method. In the calculations, 10 years of daily insolation data between 2008-2018 for the province of Erzincan, which is in the 4th climate zone according to TS 825 standards, was used. Solar air temperature was estimated for each month in all main directions (East-West-North-South) by using insolation data. Optimum insulation thicknesses and payback periods were calculated using the degree-day method for 2 building materials (pumice and brick), 4 fuels (fueloil, LPG, natural gas and coal) and 3 insulation materials (XPS, EPS and rock wool) in four directions. When the results were evaluated, brick, XPS and natural gas are determined as the most suitable building component, insulation material and fuel type according to the usage conditions and payback period, respectively. The optimum insulation thickness was calculated as 6.6 cm for the most suitable building component, at the reference temperature of 24°C and ignoring solar radiation case. Considering the solar radiation, it was calculated as 3.9 cm in the south and west direction, 4.1 cm in the east direction and 5.7 cm in the north direction.

2022, 128 Pages

Keywords: Degree-day method, Insulation thickness, Solar radiation

TEŞEKKÜR

Yaptığımız akademik çalışmada ihtiyaç duyduğumuz yardım ve bilgilerini esirgemeyen Meteoroloji kurumuna ve danışmanım olan çok değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Aslıhan Kurnuç Seyhan'a çalışmalarım boyunca yaptığı katkılardan dolayı, bana inanıp, güvendiği ve her konuda, her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bana inanan, güvenen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Merve KÖSE

Temmuz,2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
3. KURAMSAL TEMELLER.....	20
3.1. Isıl konfor ve insan hayatı için önemi	22
3.2. Enerji verimliliği	25
3.3. Isı yalıtımı	27
3.4. Isı yalıtımı uygulama alanları	31
3.5. Yalıtım malzemelerinin özellikleri.....	32
3.5.1. Cam yünü	34
3.5.2. Taş yünü	35
3.5.3. Ekspende polistren levha	35
3.5.4. Ekstrüde polistiren levha.....	36
3.5.5. PVC köpük.....	37
3.5.6. Polietilen köpük.....	38
3.6. Isı yalıtım hesabı	39
3.7. Derece-Gün yöntemi	47
3.7.1. Güneş ışıınımı değerlerinin elde edilmesi.....	48
3.7.2. Maliyet ve optimum kalınlığın hesaplanması	52
4. MATERYAL ve YÖNTEM	54
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	55
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR.....	96
EKLER.....	103

Ek-1	103
Ek-2	105
Ek-3	120
Ek-4	122
Ek-5	123
Ek-6	125
Ek-7	127



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya genelinde kaynak bazında birincil enerji üretim miktarları	2
Şekil 1.2. 2019 dünya genelinde birincil enerji tüketiminin sektörel olarak dağılımı.....	2
Şekil 1.3. Türkiye birincil enerji tüketimi dağılımı	3
Şekil 1.4. Türkiye’de üretilen birincil enerjinin kullanım alanlarına göre dağılımı	3
Şekil 3.1. Isı transferi şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.2. Isı transfer türleri.....	20
Şekil 3.3. İletim	21
Şekil 3.4. PMV ve PPD değeri arasındaki ilişki.....	23
Şekil 3.5. Enerji kaynakları ve tüketimleri.....	26
Şekil 3.6. Çok ve tek katlı binalardaki ısı kayıpları.....	31
Şekil 3.7. Cam yünü.....	35
Şekil 3.8. Taş yünü	35
Şekil 3.9. EPS hücre yapısı	36
Şekil 3.10. EPS levha.....	36
Şekil 3.11. XPS levha	37
Şekil 3.12. Farklı xps yalıtım uygulamaları	37
Şekil 3.13. Çeşitli polietilen köpük uygulamaları	38
Şekil 5.1. Aylık ortalama güneşlenme saat uzunlukları.....	55
Şekil 5.2. Meteorolojiden alınan aylık güneşlenme saat uzunlukları	56
Şekil 5.3. Ocak ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı.....	57
Şekil 5.4. Şubat ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	57
Şekil 5.5. Mart ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	58
Şekil 5.6. Nisan ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	58
Şekil 5.7. Mayıs ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	59
Şekil 5.8. Haziran ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı.....	59
Şekil 5.9. Temmuz ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	60
Şekil 5.10. Ağustos ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	60
Şekil 5.11. Eylül ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı.....	61
Şekil 5.12. Ekim ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı.....	61

Şekil 5.13. Kasım ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	62
Şekil 5.14. Aralık ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı	62
Şekil 5.15. Kuzey yönündeki dik duvara gelen ışıınım	63
Şekil 5.16. Batı yönündeki dik duvara gelen ışıınım	64
Şekil 5.17. Doğu yönündeki dik duvara gelen ışıınım	64
Şekil 5.18. Güney yönündeki dik duvara gelen ışıınım	65
Şekil 5.19. Tüm yönlere gelen ışıınım	66
Şekil 5.20. Aylara göre günlük ortalama sıcaklığının aylara göre değişimi	67
Şekil 5.21. Meteorolojiden alınan aylık ortalama günlük ortalama sıcaklığı.....	67
Şekil 5.22. Kuzey yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi	68
Şekil 5.23. Güney yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi	68
Şekil 5.24. Doğu yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi.....	69
Şekil 5.25. Batı yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi	69
Şekil 5.26. Tüm yönlerin Tg-h sıcaklıklarının aylara göre değişimi	70
Şekil 5.27. Kuzey yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi	71
Şekil 5.28. Doğu yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi.	72
Şekil 5.29. Batı yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi...	73
Şekil 5.30. Güney yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi	74
Şekil 5.31. Yönlere göre derece gün sayıları.....	75
Şekil 5.32. Güney yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları	80
Şekil 5.33. Batı yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları	80
Şekil 5.34. Kuzey yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları.....	81
Şekil 5.35. Doğu yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları	81
Şekil 5.36. Güney yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims).....	81
Şekil 5.37. Batı yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims).....	82
Şekil 5.38. Kuzey yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims)	82
Şekil 5.39. Doğu yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims)	82
Şekil 5.40. Kuzey yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla)	88
Şekil 5.41. Doğu yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla)	88
Şekil 5.42. Batı yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla).....	88
Şekil 5.43. Güney yönündeki duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla).....	89

Şekil 5.44. Kuzey yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Bims)	89
Şekil 5.45. Doğu yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Bims)	90
Şekil 5.46. Batı yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri (Bims)	90
Şekil 5.47. Güney yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Bims).....	90
Şekil 5.48. Güneş radyasyonlu ve güneş radyasyonsuz Derece-Gün sayıları.....	91
Şekil 5.49. Tuğla, doğalgaz ve XPS kombinasyonunda optimum yalıtım kalınlıkları...	92
Şekil 5.50. Tuğla, doğalgaz ve XPS kombinasyonunda geri ödeme süreleri	93



TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. İç ortam ve iç yüzey sıcaklıkları arasındaki farka göre konfor şartları	22
Tablo 3.2. Isıl duyum gösterge çizelgesi	23
Tablo 3.3. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri	29
Tablo 3.4. Bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri.....	30
Tablo 3.5. Bazı malzemelerin ısı iletim değerleri.....	32
Tablo 3.6. Bazı malzemelerin kullanım sıcaklıkları	34
Tablo 3.7. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü	44
Tablo 3.8. Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışıın için güneş enerjisi geçirme faktörü.....	45
Tablo 3.9. Her bir ayın ortalaması için tavsiye edilen günler.....	48
Tablo 3.10. Yaygın olarak kullanılan dış yüzeyler için yüzey yutma oranları.....	52
Tablo 4.1. Çalışmada kullanılacak olan bileşenler	54
Tablo 5.1. Kuzey yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı	70
Tablo 5.2. Doğu yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı.....	71
Tablo 5.3. Batı yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı.....	72
Tablo 5.4. Güney yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı.....	73
Tablo 5.5. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)	75
Tablo 5.5. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m) (Devamı)	76
Tablo 5.6. Doğu yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)	77
Tablo 5.7. Batı yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)	78
Tablo 5.8. Güney yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)	79
Tablo 5.9. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri.....	83

Tablo 5.9. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri (Devamı)	84
Tablo 5.10. Doğu yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri	84
Tablo 5.10. Doğu yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri (Devamı)	85
Tablo 5.11. Batı yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri	85
Tablo 5.11. Batı yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri (Devamı)	86
Tablo 5.12. Güney yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

(η_{ay})	Aylık Ortalama Kazanç Kullanım Faktörü
θ_e (°C)	Aylık Ortalama Dış Sıcaklık
θ_i (°C)	Aylık Ortalama İç Sıcaklık
$\dot{q}_{h,d}$ (W/m ²)	Yatay Yüzeye Gelen Günlük Yayıllı Güneş Işınımı
$\dot{q}_h$ (W/m ²)	Yatay Yüzeye Gelen Günlük Toplam Güneş Işınımı
$\dot{q}_{o,h}$	Atmosfer Dışında Yatay Yüzeye Gelen Günlük Güneş Işınımı
$\dot{q}_{o,h}$ (W/m ²)	Atmosfer Dışında Yatay Yüzeye Gelen Günlük Güneş Işınımı
$\dot{q}_s$ (W/m ²)	Dik Yüzeye Düşen Toplam Işınım Miktarı
$\phi_{i,ay}$ (W)	Aylık Ortalama İç Kazançlar
$\phi_{s,ay}$ (W)	Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Kazancı
η_{ay}	Kazançlar İçin Aylık Ortalama Kullanım Faktörü
A_D (m ²)	Dış Duvarın Alanı
A_T (m ²)	Tavan Alanı
A_{ds} (m ²)	Düşük Sıcaklıklardaki İç Ortamlar İle Temas Eden Yapı Elemanlarının Alanı
A_i (m ²)	“İ” Yönündeki Toplam Pencere Alanı
A_k (m ²)	Dış Kapının Alanı
A_p (m ²)	Pencerenin Alanı
A_t (m ²)	Zemine Oturan Taban/Döşeme Alanı
C_f (TL/m ³)	Yakıt Maliyeti
C_{ins} (TL/m ³)	Yalıtım Malzemesinin Birim Fiyatı
$C_{t,ins}$ (TL/m ²)	Yalıtımın Toplam Maliyeti
C_t (TL/m ²)	Toplam Maliyet

F_w	Camlar İçin Düzeltme Faktörü
$I_{i,ay}$ (W/m ²)	“i” Yönünde Dik Yüzeylere Gelen Aylık Ortalama Güneş Işınımı Şiddeti
Q_{ay} (Joule)	Aylık Isıtma Enerjisi İhtiyacı
$Q_{yıl}$ (Joule)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı
R_b	Düzeltme Faktörü
R_{duvar}	Yalıtımsız Duvarın Toplam Isıl Direnci
T_{surr}	Çevreleyen Yüzeylerin Ortalama Sıcaklığı
U_D (W/m ² K)	Dış Duvarın Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_T (W/m ² K)	Tavanın Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_d (W/m ² K)	Dış Hava İle Temas Eden Tabanın Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_{ds} (W/m ² K)	Düşük Sıcaklıklardaki İç Ortamlar İle Temas Eden Yapı Elemanlarının Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_k (W/m ² K)	Dış Kapının Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_p (W/m ² K)	Pencerenin Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_t (W/m ² K)	Zemine Oturan Tabanın /Döşemenin Isıl Geçirgenlik Katsayısı
V' (m ³ /h)	Hacimce Hava Değişim Debisi
$g_{i,ay}$	“i” Yönündeki Saydam Elemanların Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü
$r_{i,ay}$	“i” Yönünde Saydam Yüzeylerin Aylık Ortalama Gölgeleme Faktörü
x_{opt}	Optimum Kalınlık
θ_z	Zenit Açısı
λ_h (W/mK)	Isı İletkenlik Hesap Değeri
ω_s	Güneş Batış Açısı
$\emptyset$	Enlem Açısı
Ad (m ²)	Dış Hava İle Temas Eden Tabanın/Döşemenin Alanı

A_n (m ²)	Bina Kullanım Alanı
d (m)	Yapı Bileşeninin Kalınlığı
g	Enflasyon
G_{sc} (W/m ²)	Güneş Sabiti
H (W/K)	Binanın Özgül Isı Kaybı
h_e (W/m ² K)	Dış Duvardaki Isı Taşınım Katsayısı
h_i (W/m ² K)	İç Duvardaki Taşınım Katsayısı
I (m)	Isı Köprüsü
i	Faiz Oranı
k_{duvar} (W/mK)	Duvar Malzemesinin Isıl İletkenlik Katsayısı
KT	Berraklık İndeksi
N	Aylık Ortalama Gün Uzunluğu
n/N sayısı	İzafi Güneşlenme Süresi
PV	Şimdiki Değer
r	Düzeltilmiş Faiz Oranı
R (m ² K/W)	Isı Geçirgenlik Katsayısı
$R_{yalıtım}$ (m ² K/W)	yalıtım malzemesinin ısı direnci
t (s)	Zaman
$T(g-h)$ (°C)	Güneş-Hava Sıcaklığı
T_b (°C)	Referans Sıcaklığı
U	Isı Transfer Katsayısı
$V_{brüt}$ (m ³)	Isıtılan Yapının Brüt Hacmi
Z	Rakım
H_u (J/m ³)	Yakıtın Alt Isıl Değeri
c_h (J/kgK)	Havanın Özgül Isısı
β	Eğim Açısı

γ	Yüzey Azimut Açısı
δ	Denklinasyon Açısı
η	Yakma Sisteminin Verimi
θ	Direkt Güneş Işınımının Geliş Açısı
ρ	Yerin Yansıtma Oranı
ρ (kg/m ³)	Havanın Birim Hacminin Kütlesi (Yoğunluğu)
ω	Saat Açısı

Kısaltmalar

EPS	Ekspende polistren levha
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Milli Hasıla
LCC	Yaşam Döngüsü Maliyeti
PMV	Beklenen Ortalama Karar
PPD	Beklenen Ortalama Memnuniyetsizlik
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
UK	Uçucu Kül
XPS	Ekstrüde polistiren levha

1. GİRİŞ

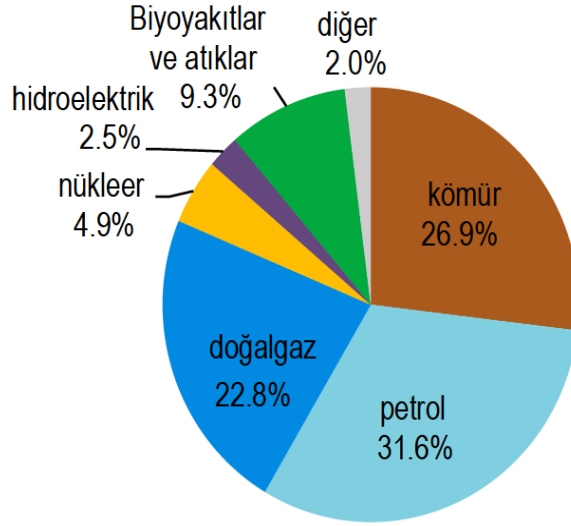
Tüm dünya için vazgeçilmez unsurlarından biri olan enerji, küresel yaşam standartları ve ülkelerin gelişmişlik düzeyindeki artışı sağlayan en önemli faktördür ve enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Ülkelerin gelişimini etkileyen en önemli alanlardan biri olan sanayi sektöründeki artan değişimler, gelişimler ve aynı zamanda hızla artan dünya nüfusu daha fazla enerji talebine sebep olmaktadır. Talep edilen enerji ihtiyacının büyük bir kısmı tükenir enerji kaynakları olan fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır. Tükenir enerji kaynakları olarak nitelendirilen enerji kaynakları ölçülebilir miktarda rezerv düzeyi olan ve kullanımı devam ettiği süreçte tükenebilir olan enerji kaynaklarını tanımlamaktadır. Tükenebilir enerji kaynakları kömür, doğal gaz, petrol olarak sınıflandırılmaktadır.

Fosil yakıtların mevcut rezervi ise günden güne azalmaktadır. Günümüzdeki kullanım oranlarının devam etmesi durumunda dünya üzerindeki fosil yakıtlardan kömürün 134, petrolün 53, doğal gaz rezervlerinin ise 52 yıl içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir (Kavaz ve Karagöl, 2019). Oluşacak enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için yeni fosil kaynaklarının bulunması gerektiğini ifade etmektedir. Fakat bu enerji kaynaklarının(kömür, petrol, doğalgaz) mevcut rezervleri sınırlıdır ve fazla kullanımı çevreye zarar verebilmektedir.

Herhangi bir enerji dönüşüm işleminden geçmemiş enerji birincil enerji olarak adlandırılmaktadır. Birincil enerji kaynakları ise dış etkilerle değişime uğratılarak çeşitli enerji çeşitlerine dönüştürülebilmektedir. Bu sebeple birincil enerji üretimleri büyük önem arz etmektedir.

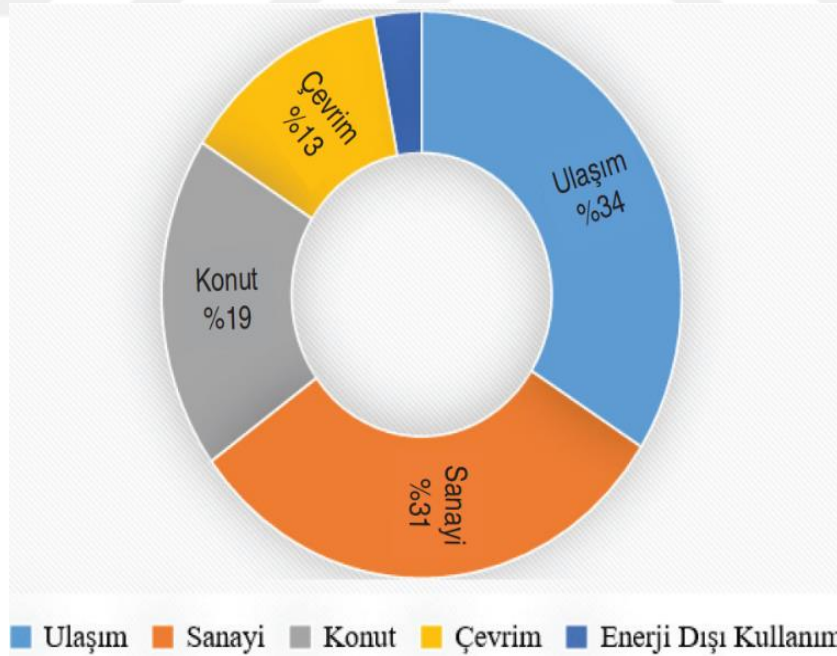
Dünya birincil enerji üretimi 2018 yılında toplam 14,282 milyon TEP (milyon Ton Eşdeğer Petrol) olarak hesaplanmıştır. 2018 yılı dünya geneli kaynak bazında birincil enerji üretim miktarları Şekil 1.1’de belirtilmiştir. Bu birincil enerji üretiminde büyük payı fosil kaynaklı yakıtlardan petrol (4513,12 milyon TEP), kömür (3841,86 milyon TEP), doğal gaz (3256,30 milyon TEP) oluşturmaktadır (IEA, 2020).

Dünya 2019 yılı birincil enerji tüketimini sektörlere göre kullanım oranları dağılımı Şekil 1.2’de verilmiştir. En fazla enerji kullanımı %34 oranla ulaşımda, %31 sanayi sektöründe kullanılırken %19 u ise konutlarda kullanılmaktadır. Enerji tüketimini azaltmak ve verimli kullanmak için bütün sektörlerde farklı önlemler alınmaktadır



Şekil 1.1. Dünya genelinde kaynak bazında birincil enerji üretim miktarları (IEA, 2020)

Ülkemizdeki enerji kullanımları incelendiğinde ise Türkiye genelinde 2019 yılına ait birincil enerji kaynaklarının kullanım miktarları Şekil 1.1’de verilmiştir. En geniş payı fosil yakıtlar olan petrol, doğal gaz ve kömür oluşturmaktadır. Küresel pazarda olduğu gibi ülkemizde de fosil yakıtların kullanım alanının daha fazla olduğu görülmektedir.

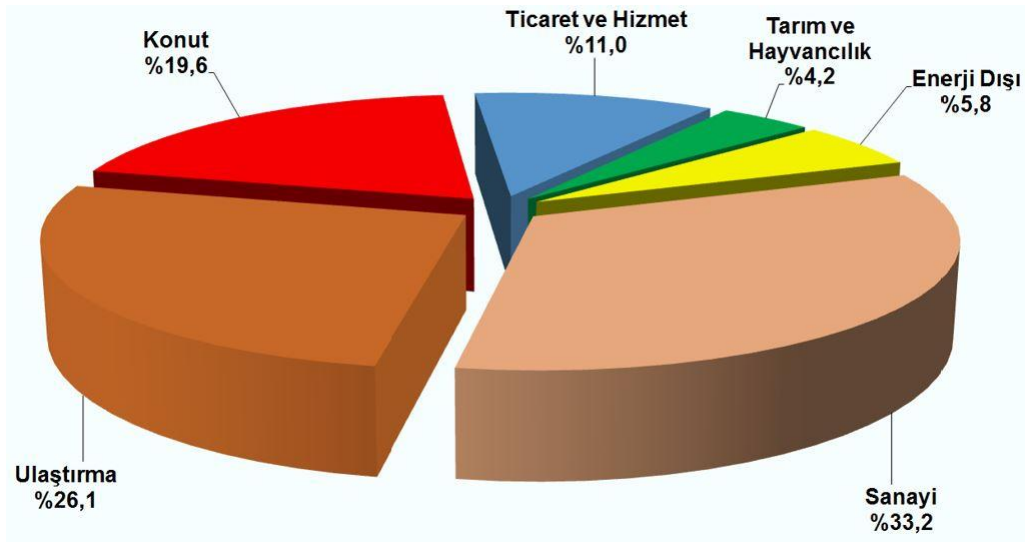


Şekil 1.2. 2019 dünya genelinde birincil enerji tüketiminin sektörel olarak dağılımı (Kavaz ve Karagöl, 2019)



Şekil 1.3. Türkiye birincil enerji tüketimi dağılımı(Kavaz ve Karagöl, 2019)

Türkiye’ de birincil enerji tüketimi dağılımı Şekil 1.3’te verilirken 2018 yılı birincil enerji tüketimini sektörlere göre kullanım oranları dağılımı Şekil 1.4’te verilmiştir. En fazla enerji kullanımı %33,2 oranla sanayi, %19,6 oranda ise konutlarda harcanmaktadır. Küresel kullanımlarla karşılaştırıldığında ülkemizde konutlarda neredeyse sanayi sektörü kadar enerji tüketildiği gözlemlenmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye’ de üretilen birincil enerjinin kullanım alanlarına göre dağılımı (Türkyılmaz Oğuz, Aytaç Orhan, 2020)

Doğal enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi, çevre kirliliğinin artması ve enerji maliyetlerinin yüksekliği gibi kısıtlar dikkate alındığında; enerjinin sanayi, konut, ulaşım vb. alanlarda daha verimli ve etkin kullanılması zorunlu hale gelmiştir (OECD, 2012).

Enerjinin daha verimli ve etkin kullanılabilmesi için İnsanlar yaptıkları binalar ile doğal koşulları göz önüne alarak, yaşamlarını devam ettirmek için gerekli konfor koşullarını sağlayan çevreleri oluşturmuşlardır. İnsanlar konforlu bir yaşam sürebilmeleri için belirli düzeylerde ortam şartlarına ihtiyaç duymaktadır. 20-22°C sıcaklık ve % 50 bağıl nem değerine sahip olan ortamlarda konforlu yaşam mümkün olabilmektedir. Kış aylarında dış ortam sıcaklıkları 20°C'nin oldukça altında iken yaz aylarında ise 20°C'nin oldukça üstündedir.

Isı bir enerji türüdür ve Termodinamiğin 2. Yasasına göre ısı; yüksek sıcaklığa sahip ortamdan düşük sıcaklığa sahip ortama hareket etmektedir. Bu nedenle yapılarda; kışın enerji kayıpları, yazın ise istenmeyen enerji kazançları oluşmaktadır. Bina içerisinde insan sağlığı için gereken konfor ortamının sağlanabilmesi için kış mevsiminde kaybolan ısıнын bir ısıtma sistemiyle karşılanması ve yaz aylarında oluşan fazla ısıнын bir soğutma sistemiyle iç ortamdan atılması gerekmektedir. Gerekli olan bu ısıtma ve soğutma işlemleri için enerji harcanmaktadır.

Bir yapıda ısı kaybı ve kazançlarının sınırlandırılması; ısıtma ve soğutma için tüketilmesi gereken enerji miktarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Isıtma ve soğutma süreçleri; genelde sıcak veya soğuk akışkanların ilgili tesisatlar aracılığıyla taşınmasını gerektirmektedir (Izoder, 2018).

Binaların en temel amaçlarından biri de iç mekânda ısı (termal) konfor şartlarının sağlanmasıdır. Bu amacın yerine getirilmesinde en önemli kısım iç ve dış ortamı birbirinden ayıran bina cepheleri olmaktadır. Günümüzdeki enerji problemi göz önüne alındığında, bina cephelerinin ısı konforu en az enerji kullanarak sağlaması büyük bir önem taşımaktadır. Isıl konfor şartlarını sağlamak için, yapay ısıtma gereksiniminde görülen artışa rağmen; ısıtma ihtiyacını karşılamak için kullanılan enerji kaynakları (kömür, petrol, vb.) azalırken maliyetleri artmakta, yapay ısıtma süreci sonunda oluşan ve dış havaya atılan atıklar insan sağlığına zarar vermektedir.

Bu sorunların çözümü için ısıtma enerjisi harcamalarının en az miktara indirilmesi gerekmektedir. Kullanıcının sağlığı göz önüne alındığında, binalarda ısı yalıtımı kullanımı sayesinde ısı kayıplarını azaltarak enerji kullanımı sonucu oluşan hava kirliliğinin de önüne geçilebilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Teknolojinin şimdiki kadar ilerlemediği zamanlarda konfor şartlarını oluşturmak amacı ile doğal ve yerli malzemeler ile gereken yalıtım önlemleri alınarak enerjinin verimli kullanımı sağlanmıştır. Geleneksel mimari örnekleri göz önüne alındığı zaman çevresel etkenlere uygun doğal yalıtım sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ile her türlü konfor şartının yapay düzeneklerle oluşturulabileceği fikri gün geçtikçe geleneksel yalıtım sistemlerinin değerini kaybetmesine ve enerjinin bitmeyecek gibi tüketilmesine sebep olmuştur. Fakat günümüzde enerji kaynaklarının günden güne azalması, tüm gelişmiş ülkelerde binalarda yalıtım ve enerjinin verimli kullanımına dikkat edilerek çözüm sağlanması gerekliliğini güncel hale getirmiştir (Bayraktar ve Bayraktar, 2016; Demirbas, 2001; Kaygusuz ve Kaygusuz, 2004; Türkmen, 2016). Birincil enerji kaynaklarının ülkemizde yetersiz olduğu ve sürekli artan enerji talebinin ithalat ile temin edildiği görülmektedir. Enerji ihtiyacının %60-65’lik bir bölümü dışardan temin edilmektedir. Türkiye’nin enerji talebi yıllık %6-7 oranında artmaktadır. Sera gazı emisyonlarının CO₂ eşdeğeri olarak %70’i enerjiden kaynaklıdır. Bu enerjinin de %40’ı binalarda kullanılmaktadır. Dolayısıyla sera gazı emisyonlarının %28’i binalardan kaynaklıdır. Binalarda ısı yalıtım uygulamaları konusu enerji verimliliği ve sürdürülebilir yapay çevre açısından ele alınmaktadır. Enerjinin verimli kullanılabilmesi için mevcut binalarda ısı yalıtımı uygulamaları hem ilgili mühendislik dalları bakımından hem de yürürlükte olan mevzuat tarafınca değerlendirilmiştir (Demirbaş, 2001; Kaygusuz ve Kaygusuz, 2004; Türkmen, 2016).

Enerji tüketimi sonucunda oluşan SO₂, CO₂ parçacıkları ve diğer emisyonlar bölgesel boyutlarda önemli sorunlara sebep olmaktadır. Özellikle kış aylarında yoğun enerji kullanımı sonucu meydana gelen hava kirliliği insan yaşamı ürünlerin bütünlüğü ve doğal yaşam için risk oluşturmaktadır. Avrupa’daki CO₂ emisyonlarının %40’nın yapılardaki enerji tüketiminden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu sebeple Avrupa Birliği ülkelerinde ısı yalıtımına verilen önem günden güne artmaktadır (Şenkal Sezer, 2005). Ülkemizde yapılarda ısı yalıtımı uygulamaları ile ilgili kurallar “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” adı altında Türk Standartları (TS) 825 standardı ile belirlenmektedir. TS 825 bu bağlamda binalarda kullanılan enerjinin korunumu için yapılan yalıtım işleminin gereken ideal şartlar neticesinde uygunluğunu hesaplamayı sağlar. Türkiye’de kısmi ısıtma bazında en fazla enerji tüketiminin binalarda olduğu bilinmektedir. Tasarım ve yapım aşamasında uygulanacak etkin ısı yalıtımı, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını ciddi oranda azaltan çözümlerden biridir.

Altun vd. (2019) çalışmasında, Türkiye’de bulunan tüm iller için binaların oluşum aşamasında yapılacak ısı yalıtımı uygulamalarının etkilerini çalışmışlardır. Yapılan çalışmada TS 825 “Binalarda ısı yalıtım kuralları” standardının yürürlükteki (2008) ve taslak halindeki (2013) standartları göz önüne alınmıştır. Yalıtımsız bir binanın TS 825’e göre yalıtılmasının etkileri yıllık ısıtma enerji ihtiyacında sağlanan tasarruf, ek yalıtım maliyeti/ek sera gazı salımı ve yaşam döngüsü maliyeti/sera gazı salımı olmak üzere iki farklı aşamada incelenmiştir. Ayrıca ek olarak yapılan yatırımın maliyet ve sera gazı açısından geri ödeme süreleri üzerinde de çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda standarda uygun yalıtımların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında %75, yaşam döngüsü maliyetinde %70, yaşam döngüsü sera gazı salınımında ise %73’e varan azalmalar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, maliyetin kendini amorti etme süresi en fazla 7 yıl, sera gazı amorti süresi ise en fazla 2 yıl olarak hesaplanmıştır. Isı yalıtımı, binalarda ısıtma ve soğutma için en iyi sonuç veren enerji tasarrufu önlemlerinden birisi olarak mühendislik uygulamalarında başlıca çalışılan bir tasarruf yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Akyol (2006) yaptığı çalışmada Atatürk Üniversitesi bünyesindeki Kampüste bulunan aynı tip dış duvar yapısına sahip yalıtımsız iki binadan birine yalıtım uygulaması yaparak yalıtımlı ve yalıtımsız iki bina arasındaki enerji ve ekserji analizlerini karşılaştırmıştır. Yalıtım yapılan binanın yalıtımsız binaya göre %51.3 daha az ısı enerjisi tükettiği ve ısı kayıplarının %81 oranında azaldığı görülmüştür. Ülkemizde kullanılan enerji tüketim oranları incelendiğinde kullanılan enerji miktarının %35’inin binalarda tüketildiği görülmüştür. Binalarda tüketilen enerjinin %80’i ise ısıtma ihtiyacına kullanılmaktadır.

Tıkız vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Bolu ilinde seçilen bir binaya TS 825 Isı Yalıtım Kuralları dikkate alınarak uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlık değişkenliğinin enerji tasarrufuna etkisinin incelenmesini ve uygulanan yalıtımın maliyetinin geri ödeme süresinin belirlenmesini hedeflemişlerdir. Binanın dış cephesinde mevcut olan yapı elemanları incelenmiş, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, enerji verimliliği ve yapının özgül ısı kaybı hesapları yapılmıştır. Binada mevcut olan yapı elemanları kesit görünümleri verilerek ısıl geçirgenlik katsayıları hesaplanmıştır. Binada bulunan pencere, beton, yapı malzemeleri adetleri ve miktarları belirlenmiştir. Ayrıca çalışma yapılan bölgedeki binalarda bulunan yalıtım uygulamaları termal kamera ile görüntülenmiştir. Bu çalışma sonucunda kullanılabilecek en uygun yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı ve geri ödeme süresi belirlenmiştir.

Yılmaz (2012), iki farklı Derece-Gün bölgesinde bulunan Erzincan ve Konya illerinde farklı konum ve yapılar da 10'ar adet bina ele alarak bu binaların yalıtımsız ve yalıtımlı hallerinin enerji ihtiyaçlarını kıyaslanmıştır. En fazla yoğunlaşmanın hangi noktalarda oluşacağını yoğunlaşma grafikleri ile göstermiştir. Isı yalıtımı konusu sadece ülkemizde değil dünya genelinde çok önemli bir tasarruf şekli olduğundan devamlı geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır.

İsmail (2012) yaptığı çalışmada Türkiye ve Yunanistan'da yapılan ısı yalıtım uygulamaları için ülke genelinde kabul gören standartları belirtmiştir. Bu standartlara bağlı olarak iklim şartları ve maliyet gibi değişkenler de dikkate alınarak geri ödeme sürelerini karşılaştırmıştır. Ülkemizde yapılan yalıtım uygulamalarının denetimi ve enerji tasarrufunun hesaplanabilmesi için Türkiye'de TS 825 standardı kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde TS 825 standardına uygun olarak yapılan yalıtımın sağladığı enerji tasarrufu net bir şekilde görülebilmektedir.

Özutku (2012) çalışmasında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının kış dönemi için ısıtma enerjisi ihtiyacını belirleyerek ve TS 825 standardına uygunluğunu göstererek binanın mevcut yapısal durumunda ısı ekonomisi ve ısı konforu sağlamak için alternatif uygulamalara ve çözüm önerilerine değinmiştir.

Söğüt (2018) çalışmasında Isı yalıtımının önemi işlenmektedir. Türkiye'nin genel enerji durumu incelenerek enerji tasarrufu sağlanmasında yalıtım faktörü detaylı olarak ele alınmıştır. Sadece ısı kaybı görülen binaların yanı sıra enerji kazancı olan binalar için de ısı yalıtımının önemine değinilmektedir. Yalıtım ile ilgili malzemeler, uygulama alanları gibi pek çok etken incelenmektedir. Ayrıca çalışmada bir yapının yalıtımlı ve yalıtımsız hali de mukayese edilmektedir. Çalışma sonucunda yapılan yalıtım yatırımının 3,65 yılda kendini amorti ettiği hesaplanmıştır.

Erdabak (2010) çalışmasında Sivas'taki farklı binaların iç ve dış kısımlarını termal kamera ile görüntülemiştir. Isı kayıplarının oluşabileceği geçiş bölgelerini saptayarak o bölgelere odaklanmıştır. Görüntülerin bilgisayar ortamında analizini yaparak yüzey sıcaklık haritaları elde etmiştir. Yüzey sıcaklık haritaları çıkarılan bölgelerdeki yerel yalıtımların, ısı köprülerinin ve petek arkası yalıtımların sayısal etkileri üzerinde çalışmıştır. Fluent paket programını kullanarak ısı transferinin sayısal çözümünü sürekli şartlarda elde etmiş ve sıcaklık değişimini görsellerle ifade etmiştir. İç ve dış ortam sıcaklıkları sırasıyla 20°C, -20 °C ve iç ve dış ortam ısı taşınım katsayıları sırasıyla 8 W/m²K ve 25 W/m²K kabul edilerek çalışma yapılmıştır.

İlk olarak yalıtımsız duvar üzerindeki sıcaklık dağılımı saptanmış, daha sonra aynı koşullarda olmak şartıyla farklı yalıtım kalınlıklarıyla çalışılarak kalınlığın yalıtım üzerindeki etkileri ve sıcaklık dağılımındaki önemi incelenmiştir. Oluşabilecek farklı şekillerdeki ısı köprülerinin sıcaklık dağılımına etkisi incelenerek karşılaştırma yapılmıştır.

Keleş (2009) çalışmasında 1. Bölgede bulunan İzmir ilindeki bazı özel ve kamu kurum binalardaki ısı yalıtım malzemelerini, özelliklerini, uygulama alanlarını ve oluşabilecek olumsuzlukları incelemiştir. Bina ısıtmalarında sağlanması hedeflenen enerji ihtiyacını ve tasarrufu hesaplarken kullanılan önemli mimari detaylar belirlenmiştir. Çalışmada örnek alınan binalarda; TS 825'den yararlanılarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmıştır. İzmir ilindeki XPS ve EPS'nin kullanıldığı yalıtımlı binalar ile yalıtımsız binaların yıllık ısıtma enerji ihtiyaçları kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda referans bina, konut ve işyerlerinin ısı yalıtımlı ve yalıtımsız durumdaki enerji ihtiyaçları karşılaştırıldığında yalıtımın 2.5 kata kadar tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan yalıtımın nemi önlediği, yoğunlaşmayı azalttığı ve yaşam konforunu olumlu yönde etkilediği de saptanmıştır. Çalışmada yalıtımın doğru bir şekilde uygulanmasına, uygulanma hatalarına ve oluşabilecek sonuçlarına da değinilmiştir.

Doğruel (2010) yaptığı çalışmada yanlış yalıtım uygulamasının gerekli tasarrufu sağlamayacağını gözler önüne sermiştir. Giydirme cephe sistemlerinde uygun olmayan seçimler, detaylandırmalar, ısı yalıtım hataları, ısı yalıtımsız ısı köprüsü oluşturabilecek profil kullanımları, yanlış cam tercihleri ve doğal havalandırma yapılmaması sonucu meydana gelen yüksek enerji ve maliyet harcamaları olduğuna değinilmiştir. Giydirme cephelerde sıklıkla meydana gelen bu hataların önlenmesi ve enerji verimliliğinin sağlanması için tasarım aşamasında etkin bir çalışma yapılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada standart bir bina ve duvar tipinde cephe kaplamalarının ısı yalıtımına etkisinin ne olduğu gözlemlenmiş ve aralarında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Kon (2017) çalışmasında TS 825 standardına göre beş iklim bölgesinden beş farklı şehir seçmiş ve örnek binaların dış duvarlarının yalıtım kalınlıklarını optimizasyon ile hesaplamıştır. Çalışma kapsamında 550 kg/m^3 ve 1000 kg/m^3 yoğunluğa sahip dikey delikli tuğlalar seçilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak cam yünü, genleşmiş polistiren (XPS) ve ekstrüde polistiren (EPS) seçilmiştir. Buna ek olarak, ısıtma işlemi için yakıt olarak doğal gaz, kömür, akaryakıt ve sıvılaştırılmış gaz, soğutma işlemi için elektrik kullanılmıştır.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılırken yaşam döngüsü maliyeti (LCC) analizi ve Derece-Gün yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, 550 kg/m³ ve 1000 kg/m³ yoğunluğa sahip dikey delikli tuğlaların kullanılması durumunda, farklı yalıtım malzemeleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında 5-7 mm arasında farklı değerler elde edilmektedir. Yalıtım malzemesi olarak XPS'nin tercih edilmesi durumunda optimum yalıtım kalınlığının en az, cam yünü kullanılması durumunda yalıtım kalınlığının en fazla olduğu görülmektedir.

Çetinel (2012) ise yaptığı çalışmada dış cephe kaplama malzemelerini uygulama yöntemlerine göre sınıflandırmıştır. Dış cephe kaplamasının üretildiği malzeme, üretim teknolojisi/yöntemine göre ayırarak malzemeleri ve malzemelerin kullanıldığı sistemleri açıklamıştır. Yapılan sınıflandırma ışığında yapının dış cephesine uygulama şekillerine göre ve malzemenin niteliklerine göre olmak üzere iki ana grup oluşturularak günümüzde kullanılan yeni teknolojik malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra dış cephe kaplama sistemlerinde uygulaması yapılan ısı yalıtımının aylık ısıtma enerji ihtiyacına ve yakıt giderine etkisi incelenmiştir. Bu etkinin en net görüleceği ocak ayı baz alınarak TS 825'e göre katkısı incelenerek enerji kazanımına olan faydası değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu dış cephe kaplama malzemelerinin uygulama maliyeti de göz önüne alınarak, yapıya sağlamış olduğu yakıt tasarrufu ve ne kadar sürede geri ödeneceği hesaplanmış, bunun yanında enerji de üretebilen dış cephe kaplama malzemelerinden bahsedilmiştir.

Chasan (2013), Türkiye'de sıklıkla kullanılan tuğla, gaz beton, bims blok kullanılarak yapılan duvar sistemlerinde dış yüzeyden yalıtım uygulamasında dolgu malzemesi ve yalıtım malzemeleri (EPS, XPS ve taş yünü) değişiklik gösterdiğinde sıcaklık, nem ve su içeriğinin nasıl etkilendiğini çalışmıştır. Çalışmasında her yapı ve yalıtım malzemesinde değişik kalınlıklar hesaplanmıştır.

Kocagül (2013) yaptığı çalışmada malzeme seçiminin önemine vurgulayarak EPS, XPS, taş yününün ısı transferine etkisini ve kullanılabilirliklerini incelemiştir. Elazığ Fırat Üniversitesi içerisinde 4 adet aynı tip deney odası hazırlanarak içerisi aynı oranda soğutulmuştur. Deney odasından biri yalıtımsız olarak diğer üç oda Elazığ ilinde sıklıkla kullanılan yalıtım malzemeleriyle ((EPS, XPS ve taş yünü) yalıtılmıştır. Yalıtımsız ve yalıtımlı deney odalarından iç ortam, dış ortam, iç yüzey, dış yüzey ve yalıtımlı duvarlarında yalıtım ile duvar arasında ölçüm alınmıştır. Ayrıca güneş ışınım şiddeti, nem miktarı, rüzgâr hızı ölçülmüş ve bu veriler ışığında Elazığ ili için en uygun yalıtım malzemesinin taş yünü belirlenmiştir. Taş yününde sonra sırası ile XPS ve EPS malzemeleri gelmektedir.

Öztuna ve Dereli (2009), Edirne ilinde yaptığı çalışmada ömür maliyet analizi yöntemi kullanarak 6 farklı yakıt (yerli ve ithal kömür, doğal gaz, LPG, elektrik, fuel-oil) için; genleştirilmiş polistren (EPS) ve taş yünü yalıtım malzemesinin bina dış duvarına uygulanması, EPS yalıtım malzemesinin sandviç duvarda uygulanması durumunda gereken optimum yalıtım kalınlığı derece gün sayısı esas alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarla 5 farklı duvar modelinde, 2 farklı ısı yalıtım malzemesi uygulaması ve her bir yakıt için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıklarının geri ödeme süreleri ile yıllık yakıt ve enerji tasarrufları belirlenmiştir. En iyi sonucun; yakıt olarak yerli kömürün, ısı yalıtım malzemesi olarak EPS uygulanmasının; optimum yalıtım kalınlığı 0,028-0,039m, geri ödeme süreleri 2.1- 4.2 yıl, enerji tasarrufu %24-%47 olduğu görülmüştür.

Tuncer (2007) yaptığı çalışmada 4 farklı derece gün bölgesinde bulunan Antalya, İstanbul, Konya, Sivas illerini seçmiş, enerji kaynağı olarak kömür, doğal gaz, fuel oil, ve elektriği belirleyerek, iki farklı ısı yalıtım malzemesi olan taş yünü ve EPS'yi kullanmıştır. Çalışmada dıştan ve ortadan yalıtım şeklinde iki farklı tip yalıtım şekli baz alınmıştır. Yakıt, yalıtım malzemesi ve duvar tipi ile farklı kombinasyonlar yapılarak yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlar için yıllık toplam maliyet, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve enerji tasarrufu belirlenerek grafikler oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda taş yünü yalıtım malzemesi ile kömür yakıt olarak kullanıldığında en az yalıtım kalınlığının Antalya ilinde olduğu saptanmıştır. Yalıtım kalınlığının ve enerji tasarrufunun en fazla olduğu il yalıtım malzemesinin EPS, yakıt türünün elektrik olduğu Sivas olarak belirlenmiştir. Antalya ilinde yalıtım malzemesi EPS, yakıt türünün kömür olarak kullanıldığı durumda ise en az yatırım maliyetine sahip olduğu görülmüştür. Sivas ilinde ise yalıtım malzemesi EPS, yakıt türü olarak elektrik ve ortadan yalıtımlı duvar modelinde en hızlı geri ödeme sağlandığı görülmüştür.

Azizi (2007) çalışmasında farklı oranlarda genleştirilmiş perlit ve doğal kum kullanarak, hafif betonlar üretmiştir. Çeşitli birim ağırlıklarda üretilen hafif agregalı betonların, basınç dayanımları, elastisite, ısı iletkenliği, su emme oranları ve kılcalık katsayıları ile birim ağırlıkları arasındaki ilişkiler ve değişimler incelenmiştir. Yapılan deneyler ışığında, beton karışımlarındaki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça, işlenebilirliğin arttığı görülmüştür. Perlit katkılı hafif beton karışımındaki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça (hacimce %20-%100) ısı iletkenliğinin 0,57 W/mK ile 0,13 W/mK arasında değerler olduğu görülmüştür. Perlit katkısı bulunan hafif betonların katkısız betonlara oranla daha yüksek ısı yalıtımı sağladığı belirlenmiştir.

Toplam agreganın, % 40 ve % 60'ı oranında genişletilmiş perlit içeren hafif betonların yapısal ve yalıtım beton türüne girdiği, % 80'i oranında genişletilmiş perlit içeren hafif betonların ise yalıtım betonu türüne girdiği ve bu amaçlı kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir.

Öziç (2013), 3 aşamalı bir deneysel çalışma ile en sık kullanılan yalıtım malzemesi olan XPS ve ısı yalıtımlı boyanın ısıl performanslarını karşılaştırmıştır. Deney düzeneği olarak 2x2m taban alanı ve 2.5m yüksekliğine sahip 3 adet model bina yapılmıştır. Deneyin ilk aşamasında üç modele de hiçbir ısı yalıtım uygulaması yapılmadan, sıcaklık değişimleri 4 gün boyunca 10'ar dakikalık periyotlar şeklinde ölçülerek kaydedilmiştir. Deneyin ikinci aşamasında modellerden birine referans olması için hiçbir ısı yalıtımı uygulaması yapılmamıştır. Diğer modellerden birine 5 cm kalınlığında XPS, diğerine ise ısı yalıtımlı boya uygulanmıştır. Modeller içindeki sıcaklık değişimleri 10 gün boyunca kaydedilmiştir. Deneyin son aşamasında, tüm modellerin içine aynı ısı kaynakları konularak saat 19:20 ile 00:20 arasında 5 saat boyunca ısıtılıp soğumaya bırakılmıştır. Dış ortam ve modellerdeki sıcaklık değişimleri 10'ar dakikalık periyotlarla takip edilmiş ve kaydedilmiştir. Deneyler sonucunda XPS ısı yalıtım malzemesi beklenen ısıl performansı gösterirken, ısı yalıtımlı boya uygulanan model ile ısı yalıtımı uygulanmayan model üzerinde neredeyse aynı değerler elde edilmiştir.

Yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi için yapılan çalışmalardan birisi de Kut (2018)'un yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada Kütahya Seyit Ömer termik santrali atık uçucu külleri (UK) ve toz alüminyum oksit katılmasıyla farklı bir yalıtım malzemesi hazırlanmıştır. Hazırlanan malzeme ile yapılan deneyler ve çalışmalar sonucunda yapılarda kullanıma uygun ısı yalıtımı için elde edilen geopolimer malzeme kullanımının teknolojik ve ekonomik açıdan kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Elde edilen polimerik ısı yalıtım malzemesine yapılan karakterizasyon çalışmaları ve ekonomik inceleme sonuçları, bu malzemenin ticari olarak satılan benzer ürünlere göre birçok alanda daha iyi olduğunu göstermiştir. Düşük karbon salınımı sağlaması sebebiyle daha çevreci bir ürün olmakla beraber yerli üretim olduğundan ekonomik üretime de katkı sağlamaktadır. Ayrıca cari açığa olumlu etkilerinden dolayı inşaat sektöründe tercih edilebilecek nitelikli laboratuvar şartlarında üretilebileceği saptanmıştır.

Fırat (2013), Erzincan ilinde yaptığı çalışmada XPS yalıtım malzemesi kullanarak 4 cm, 5 cm ve 8 cm yalıtım kalınlığı kullanılarak ne kadar enerji tasarrufu sağlanabileceğini hesaplayarak yalıtım kalınlığının yalıtım verimi ve enerji tasarrufu üzerinde oluşturduğu değişiklikleri gözler önüne sermiştir.

Açıkkalp ve Kandemir (2019), Bilecik ili için yaptıkları çalışmada yalıtım malzemesi olarak can yünü ve taş yünü kullanmıştır. Çalışma 3 farklı metod kullanılarak yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı ekonomik yaklaşımla 0.140m, çevreci yaklaşımla 0.467m, kombine olarak ekonomik ve çevre metoduyla 0.176m olarak hesaplanmıştır.

Amiri Rad ve Fallahi (2019) çalışmasında bir ofis binası belirleyerek enerji, ekonomi ve çevresel yaklaşımı içeren 3E metodunu kullanarak farklı yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığı elde etmiştir. Poliüretan için 8 cm, EPS için 20 cm, taş yünü için 7 cm ve mineral yünü için 11 cm optimum kalınlık elde etmiştir.

Bulut vd. (2007), 77 il merkezini baz alıp, en az 14 yıllık sıcaklık verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada ısıtma Derece-Gün değerlerini 14°C, ve 18°C ve soğutma Derece-Gün değerlerini ise 22°C, 24°C ve 26°C sıcaklıkları baz almışlardır. Sıcaklıklar dikkate alınarak Derece-Gün sayıları belirlenmiştir. Türkiye’de belirlenen standartlarda 5 ısıtma ve 3 soğutma bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgeler ve çalışma yapılacak iller harita üzerinde gösterilerek çalışmada elde edilen sonuçlar TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardında sadece ısıtma uygulamaları için belirlenen 4 Derece-Gün bölgesi ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar TS 825 ile aynı olmasa da benzer olduğu görülmüştür. Belirtilen ısıtma Derece-Gün ve soğutma Derece-Gün bölgeleri incelenerek illerin belirlenen ısıtma ve soğutma Derece-Gün bölgelerinden farklı bölgelerde yer alabildiği saptanmıştır. Soğutma uygulamaları için de soğutma Derece-Gün bölgeleri oluşturulması gerekliliği sonucuna varılmıştır. Meteorolojik verilerden yararlanılarak tüm il ve ilçeler için ısıtma Derece-Gün ve soğutma Derece-Gün değerleri hesaplanarak bulunacakları bölgeler belirlenebilmektedir. Daha net sonuçların elde edilebilmesi için nem ve güneş ışınımının da dikkate alınması gerektiği yapılan çalışmada belirtilmiştir.

Aksöz (2009), faiz ve enflasyon oranları, toplam ısı geçiş katsayısı, yıllık ısıtma süreleri, ortam sıcaklıkları, kullanılan enerjinin ısı değerleri ile yalıtım malzemesi fiyatlarını inceleyerek ısı yalıtımı ile ilgili ekonomik analizler yapmıştır. Bunların yanı sıra malzeme cins ve fiyatları da dikkate alınarak ısıtma için ihtiyaç duyulan yıllık toplam minimum maliyet hesaplanarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Maliyeti en düşük olan kömürün diğer yakıt türlerine göre enerji maliyeti hesaplanmıştır. Isı yalıtım uygulamalarında yaygın olarak kullanılan EPS, XPS, tas yünü ve cam yünü seçilerek dışarıdan yalıtımlı, içeriden yalıtımlı ve ortadan yalıtımlı uygulama yapı modeli esas alınmıştır. Tüm yapı tipleri ve yalıtım malzemeleri ile farklı kombinasyonlar yapılarak optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir.

Yalıtımlı ve yalıtımsız duvar tipleri için yıllık toplam maliyet tutarı, sağlanabilecek enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri de hesaplanmıştır. Çalışmadaki yakıt türleri için yalıtım malzemesi EPS tercih edildiğinde yaklaşık % 55, XPS tercih edildiğinde yaklaşık % 43, taş yünü tercih edildiğinde yaklaşık % 43 ve cam yünü tercih edildiğinde yaklaşık % 46 oranında enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir. Yalıtımsız uygulaması olmayam yüzey ile ısı yalıtımı yapılan yüzeyde elektrik tercih edildiğinde % 80 oranında, fuel-oil tercih edildiğinde % 77 oranında, doğalgaz tercih edildiğinde % 73 oranında ve kömür tercih edildiğinde ise % 50 oranında tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

Sapan (2017), Erzurum ilinde bulunan örnek bir bina belirleyerek TS 825 standardının 2008 yılı revizyonuna göre yaptığı hesaplamalar sonucunda XPS, EPS ve cam yünü yalıtım malzemesi için sırasıyla 13,8 cm, 14,6 cm ve 15,8 cm optimum yalıtım kalınlığı hesaplamıştır. Hesaplanan değerler Erzurum ilinde pratikte uygulanan 5 cm ısı yalıtım kalınlığı ile karşılaştırıldığında, yıllık ısıtma enerjisi ve CO₂ salınımı açısından %35-38 daha az olduğu görülmüştür. Net tasarruf açısından da 5 cm yalıtım kalınlığı yerine optimum yalıtım kalınlıkları çalışıldığında %7,2 den daha fazla tasarruf sağlandığı hesaplanmıştır.

Atmaca (2016), Aralık 2013'te güncellenen TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardındaki yenilikleri inceleyerek daha önce kullanılan standartla kıyaslamıştır. Yapılan güncellemeler sonucunda 4 ısı iklim bölgesi mevcutken 5 ısı iklim bölgesi oluşturulduğu görülmüştür. Güncelleştirmede kullanılan tablolarındaki verilerde değişiklikler vardır. Yapılan güncellemelerin gözler önüne serilebilmesi için 4. Isı iklim bölgesinde bulunan iki il belirlenerek eski ve güncellenen standartlara göre hesaplamalar yapılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için standartlara bağlı olmayan hiçbir koşul ve yapı malzemeleri değiştirilmemiş ve hesaplanan yalıtım kalınlıklarında farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Hesaplamalar sonucunda 4. İklim bölgesinden 5. İklim bölgesine geçen ildeki yalıtım kalınlığının ciddi oranda arttığı görülmüştür.

Moran (2018), ısı konforu sağlamayı hedeflerken enerji tasarrufunu ve atık gaz miktarını azaltmak için kullanılan TS 825 ısı yalıtım yönetmeliğine bağlı kalarak ömür maliyet analizini kullanmıştır. Çalışmada TS 825 ısı yalıtım yönetmeliği, yatırım tasarrufu, hesap yöntemi ve yıllık enerji maliyeti hesap yöntemi olmak üzere dört farklı hesaplama yöntemi ile dört farklı derece gün bölgesi ve dört farklı ısı yalıtım malzemesine göre optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sağlanan enerji tasarrufunun çevresel etkileri ve maliyeti de incelenmiştir.

Bursa ilini referans olarak alan Arslan (2017) çalışmasında optimum yalıtım kalınlığının tespit edilmesine güneş radyasyonunun etkisini de dahil etmektedir. Yaz dönemi için yapılan çalışmada farklı duvar yönleri için tespit edilen güneş radyasyonu kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Çalışmalar sırasında öncelikle toplam solar radyasyonu ve soğutma iletim yükü tespit edilmiş daha sonra maliyet analizi yapılmıştır.

Güneş radyasyonu dikkate alarak yalıtım kalınlığının saptandığı bir diğer çalışma Bolattürk ve Dağdır (2013)'a aittir. Çalışmada sıcak iklim bölgesinde bulunan Antalya ili için güneş radyasyonunu dikkate alarak soğutma ve ısıtma yüklerine bağlı optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Hesaplamalar yapılırken meteorolojiden alınan 11 yıllık sıcaklıklar, saatlik dış ortam sıcaklıkları ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılarak soğutma ve ısıtma yükleri için belirli bir denge sıcaklığında derece-saat yöntemi çalışılmıştır. Güneş radyasyonunun farkının görülebilmesi için derece gün yöntemi kullanılırken radyasyonun dikkate alındığı ve radyasyonun dikkate alınmadığı derece gün sayıları hesaplanmıştır. Bina kabuğundaki optimum kalınlık, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanırken faiz, enflasyon bina ömrü gibi değişkenlerde dikkate alınmaktadır. Çalışma sonucunda, sıcak iklim bölgelerindeki binalarda ısı yalıtım hesaplamaları sırasında soğutma yüklerinin referans alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Akpınar ve Demir (2018), Türkiye'nin dört iklim bölgesinden seçilmiş olan Balıkesir, Kayseri, Malatya, Mersin, Muğla, Şanlıurfa ve Trabzon illerini referans alarak yaptığı çalışmada optimum yalıtım kalınlığını, geri ödeme süresini ve enerji tasarrufunu belirlerken yaşam döngüsü maliyet analizlerine göre hesaplamaktadır. Hesaplamalarda sandviç ve dıştan yalıtılmış tip duvar modeli kullanılmış, yakıt olarak kömür seçilmiş, EPS ve XPS yalıtım malzemeleri ile kombine edilmiştir. Çalışma sonucunda değişkenlere bağlı olarak yaşam döngüsü enerji tasarrufu 0.629–21.047 \$ / m², geri ödeme süresi 0.3-6.5 yıl ve yalıtım kalınlıkları 0.002-0.049 m olarak hesaplanmıştır.

Coşkun vd, (2012), optimum yalıtım kalınlığını belirlerken aylık bazda saatlik derece-saat değerlerinin tespit edilmesini sağlayan yeni bir tutum ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım ile istenen herhangi bir ay, herhangi bir saat aralığı ve referans iç ortam sıcaklığı için ortalama derece-saat değerlerine ulaşılabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede ortalama derece-saat değerleri ile en yüksek ve en düşük derece-saat değerlerine de ulaşılmaktadır.

Çalışma meydana gelebilecek en kötü koşullar da dahil olmak üzere bir çok koşul için hesaplamaya erişim imkanı sağlamaktadır. Bahsedilen yaklaşım için Antalya ili referans alınmış, aylık bazda saatlik soğutma derece-saat değerleri tespit edilmiştir.

Badescu ve Zamfir (1999) çalışmasında Derece-Gün, Derece-Saat, Bin veri, Ortalama Sıcaklık ve aylık-ortalama sıcaklık yöntemlerini kullanarak Romanya'da 29 şehir için optimum kalınlık belirlemiştir. Çalışmaları sonucunda en iyi yöntemin Derece-Gün yöntemi olduğunu belirtmişlerdir.

Özel ve Pıhtılı (2008), Derece-Gün yöntemini kullanarak Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için ısı yalıtım malzemesi olarak XPS kullanımında optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır.

Erdoğan (2018), ikinci Derece-Gün bölgesinde bulunan Bursa ili için, gerçek faizin sıfır ve sıfırdan farklı olması durumlarında farklı yalıtım malzemeleri ve farklı ömür süreleri için optimum ısı yalıtım kalınlığı, yalıtım maliyetinin geri ödeme süreleri ve yalıtım uygulama maliyetlerini hesaplamıştır. Bursa ili için meteorolojik verilerinden hareketle ısıtma ve soğutma Derece-Gün sayıları ve ardından yıllık ısıtma-soğutma enerji ihtiyaçları belirlenmiştir. Bursa için yapılan hesaplamalarda ısıtma enerji ihtiyacının soğutmaya oranla 5,5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Reel faiz %5, ömür süresi 10 yıl, şimdiki değer analizi kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı ise EPS için 3,8 cm, XPS için 3,05 cm, cam yünü için 11,54 cm ve taş yünü için ise 8,44 cm olarak hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme süreleri EPS ve XPS için 7 yıl, cam yünü için 4 yıl, taş yünü için 5 yıl olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Bursa ilinde bina dış duvarlarına uygulanacak en uygun yalıtım malzemesi EPS olarak belirlenmiştir. Yalıtım maliyetinin peşin ödenmesi ya da kredili olarak bankadan çekilmesi durumunda, geri ödeme süreleri ve farklı ömür süreleri için optimum yalıtım kalınlıklarında görülen farklılıklara da çalışmada yer verilmiştir.

Derece-Gün yöntemi ile ilgili Türkiye'de yapılan en kapsamlı çalışmalardan biri olan Büyükalaca vd. (2001) hesaplamalarında 14°C, 16°C, 18°C, 20°C ve 22°C olmak üzere 5 farklı sıcaklık referans alınarak çalışmışlardır. Sıcaklıklar seçilirken sıcaklık değeri en yüksek il ile en düşük il dikkate alınmıştır. 5 farklı sıcaklık ve 78 şehir için yapılan bu çalışmada bölgeler arası farklar, sıcaklıkların farklı olması nedeniyle görülen değişiklikler net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Kaynaklı vd. (2012) çalışmalarında diğer Derece-Gün yöntemi çalışmalarından değişik olarak güneş ışımasını dikkate almış ve binanın dış duvarlarına uygulanacak yalıtım kalınlığının yönlerle bağlı değişimini çalışmıştır. Çalışmada örnek il olarak İstanbul tercih edilmiş, ortalama hava sıcaklığı ölçümlerinden ve hesaplanan güneş ışıması değerlerinden hareketle binanın tüm yönleri için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda , sadece dış hava sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan toplam Derece-Gün sayısı 1827 iken güneş ışımasını dikkate alındığında güney yönünde 1535, kuzey yönünde 1719, batı yönünde 1628 ve doğu yönünde 1633 olarak elde edilmiştir.

Kürekçi (2016), Türkiye'nin 81 ili için 4 farklı yakıt (Doğalgaz, kömür, fueloil ve LPG) ve 5 farklı ısı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, cam yünü, taş yünü ve poliüretan) kullanarak Derece-Gün yöntemi ile optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir.

Kaynaklı (2013), bina dış duvarlarında ısı yalıtım kalınlığını ömür maliyet analizi yöntemi kullanılarak hesaplamıştır. Türkiye'deki tüm illerin ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçları belirlenip ayrı ayrı göz önüne alınarak optimum yalıtım kalınlıkları, tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada ısıtma-soğutma enerji kullanımı, yalıtım malzemesi ve uygulama maliyeti dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Sadece ısıtma enerjisi dikkate alındığında optimum yalıtım kalınlıkları Türkiye için 4.7 ile 16,6 cm arasında, sadece soğutma enerjisi göz önüne alındığında 0 ile 3,8 cm arasında ve toplam ısıtma-soğutma enerji ihtiyaçları birlikte göz önüne alındığında 5.7 ile 16,6 arasında değişkenlik göstermektedir. Hesaplamalar sonucunda yalıtımın geri ödeme süresi ise 3.85 ile 16.25 yıl arasında değişmektedir. Ayrıca bu çalışmada, optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufu üzerinde etkili olan parametrelerin belirlenmesi için bir parametrik analiz çalışması da yapılmıştır.

Kon ve Yüksel (2013), 1999-2010 yıllarını içeren günlük ortalama dış hava sıcaklık verilerini meteorolojiden alarak, TS 825 aylık ortalama dış hava sıcaklık verilerini kullanarak Derece-Gün yöntemi ve ömür maliyet analizine ile optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Isıtma sisteminde yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak 5 farklı malzeme (XPS, EPS, taş yünü, cam yünü ve poliüretan köpük) kullanılmıştır. Hesaplanan derece gün değerleri ile hesaplanan ve ölçülen ısı transfer katsayıları kullanılarak binaların ısıtma yükleri, optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tüketimleri ve geri ödeme süreleri saptanmıştır.

Uçar ve İnalli (2011) çalışmasında optimum yalıtım kalınlığını belirlerken 3 farklı metod kullanmıştır. İlk metod, enerji maliyetlerine bağlı Derece-Gün metodu olup ikinci metod ise yakıt (Kömür) ve yalıtım malzemesinin (XPS) maliyetine bağlı olan termoekonomik optimizasyon metodudur. Son metod ise Türkiye’de sıklıkla kullanılan TS 825 standardının kullanıldığı metottur. Çalışma dört iklim bölgesinden seçilen Diyarbakır, İzmir, Uşak ve Bayburt illeri için yapılmıştır. 3 metodu kullanarak seçtiği iller için kullanılan yalıtım malzemesinin (XPS) kalınlığını hesaplamıştır. Hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığı 0.038 cm - 0.144 cm, enerji kazancı 2.122 \$/m² - 5.992 \$/m² ve geri ödeme süresi 1.99 yıl - 3.143 yıl arasında değişiklik göstermektedir.

Işık ve Tuğan (2017)’ın yaptığı çalışmada Tunceli, Hakkâri ve Kars illeri için Derece-Gün yöntemi kullanılarak dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Faiz ve enflasyon oranları dikkate alınarak toplam maliyet, yalıtım maliyeti hesaplanmış ve bu değerlerin optimum yalıtım kalınlığı ile değişimi gözlemlenmiştir. Duvar kalınlığına, yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısına, yakıt tipine ve Derece-Gün değerine göre maliyet eğrileri oluşturulmuş ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Isı kayıplarını en aza indirmek ve maliyeti minimumda tutmak amacıyla, binalarda yapılacak yalıtımın enerji verimliliği, sağlık, güvenlik, konfor ve bütçe konusunda nasıl bir etkiye sahip olduğu araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Tunceli ili için optimum yalıtım kalınlığı 7.9 cm hesaplanırken, Hakkâri ve Kars için sırasıyla 8.2 cm ve 10.4 cm olarak hesaplanmıştır.

Ertürk vd. (2016) yaptığı çalışmada, birinci ve ikinci iklim bölgesinde bulunan 16 il seçerek sandviç yalıtım ve dıştan yalıtımlı olmak üzere iki farklı yapı tipini, yalıtım malzemesi olarak taş yünü, EPS ve XPS, yakıt tipi olarak doğal gaz, kömür ve elektrik kullanmışlardır. Derece-saat ve ömür maliyet analizini kullanılarak ısıtma-soğutma uygulamalarında dış duvarlara uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç, geri ödeme süresi ve yalıtımın baca gazı emisyonlarına etkisini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda ısıtma ve soğutma uygulamalarında, ısıtma derece saat ve soğutma derece saat değerlerine bağlı olarak yapılan hesaplamalarda en uygun sonuçların yalıtım malzemesi olarak XPS, yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda elde edildiği görülmüştür. Farklı iklim bölgelerinde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak aynı iklim bölgesinde bulunan farklı şehirlerde de farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Dombaycı (2009) çalışmasında en sıcak iklim bölgesinde bulunan Adana, Adıyaman, Antakya, Antalya, Aydın, Şanlıurfa ve İzmir illerini referans alarak Derece-Gün yöntemini çalışmıştır.

Referans sıcaklık olarak 18°C'den başlayıp 2'şer derece artırarak 28°C'ye kadar 6 farklı sıcaklık kullanmıştır. Sıcak iklim bölgesinde çalışma yapıldığından hesaplamalar soğutma dönemi için yapılmıştır. Seçilen şehirler ve baz alınan sıcaklıklar için yapılan çalışmalar sonucunda Şanlıurfa'nın en yüksek Derece-Gün sayısına (327,70) İzmir'in ise en düşük Derece-Gün sayısına (236,52) sahip olduğu görülmüştür. 22 °C referans sıcaklıkta ağustos ayında Şanlıurfa'nın soğutma enerji tüketiminin İzmir'e göre %42 daha fazla olduğu görülmüştür.

Karakoç (2015), Çorum ilinde bulunan ve son yıllarda yalıtımı yapılan 7 binanın farklı ısı yalıtım malzemesi türleri ve duvar yapıları için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Yakıt türü olarak doğal gaz, ısı yalıtım malzemesi olarak da taş yünü, XPS ve EPS kullanılmıştır. Derece-Gün (HDD) sayısı altı yıllık verilerin ortalamasına göre hesaplanmıştır. Buna ek olarak, optimum yalıtım kalınlığının saptanmasında kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin maliyeti ve enerji verimi, yalıtım ömrü, enflasyon ve faiz oranları da dikkate alınmıştır. Yakıt türü olarak doğal gaz kullanan 7 binanın optimum yalıtım kalınlıklarının taş yünü, XPS ve standart EPS için duvar yapısı ve yalıtım maliyetine bağlı olarak yaklaşık 7-12 cm arasında değiştiği görülmektedir. Seçilen binalarda iki farklı tip duvar yapısı olduğu görülmüştür. Örnek bina seçilerek EPS, XPS ve taş yünü doğal gazı yakıt olarak kullanan örnek binaya uygulanması ile optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 10,61 cm, 7,88 cm ve 7,15 cm olarak hesaplanmıştır.

Mustafa ve Muhsin (2012), İklim bölgesinde bulunan Antalya ili için ölçülen güncel dış hava sıcaklığı verilerinden yararlanarak hem ısıtma hem de soğutma Derece-Gün sayılarını ve ardından yıllık ısıtma-soğutma enerji ihtiyaçlarını hesaplamışlardır. Enflasyon-faiz oranları ve il için belirlenen olası ömür süresi de dikkate alınarak ömür döngüsü maliyet analizi yapılmıştır. Isıtma için gereken enerjinin soğutma için gereken enerjiden 2,5 kat fazla olduğu görülmüştür. Dış duvarda kullanılacak optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma ve soğutma için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı ısıtma sezonu için 2,6 cm, soğutma sezonu için 1,2 cm iken yıllık toplam enerji ihtiyacı dikkate alındığında ise 3,7 cm olarak hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının uygulanmasıyla toplam enerji maliyetindeki tasarruf yaklaşık %63, yalıtımın da dahil olduğu toplam maliyetteki tasarruf ise yaklaşık %32 olmaktadır. Ayrıca yalıtım geri ödeme süresi 7,5 yıl olarak hesaplanmıştır. Analizler farklı Derece-Gün değerlerinde de yapılarak, diğer iklim bölgelerindeki iller için de çalışılmıştır.

Kaynaklı ve Kaynaklı (2016) çalışmasında dış duvarlara uygulanan yalıtım kalınlığının belirlenmesinde güneş radyasyonunun etkisini dâhil ederek hacimsel ısıtma, soğutma ve yıllık enerji gereksinimlerini de dikkate almıştır.

Çalışma 1. iklim bölgesinde bulunan İskenderun, 2. iklim bölgesinde bulunan İstanbul, 3. iklim bölgesinde bulunan Ankara ve 4. iklim bölgesinde bulunan Ardahan için yapılmıştır. Seçilen her il için güneş-hava sıcaklıkları belirlenerek ısıtma-soğutma sezonları ve yıllık enerji tasarrufunu en aza indirecek şekilde optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Güneş radyasyonunun ısıtma-soğutma enerji yüklerine etkisi, Derece-Gün bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının ve geri ödeme sürelerinin değişimi, sezonluk ve yıllık analizler tablolar ve şekiller kullanılarak ifade edilmiştir.

Aksoy ve Ekici (2013), bina düşey yüzeyleri üzerine gelen güneş ışıınımı şiddetlerinin doğru olarak tespit edilebilmesi ve TS 825 EK-C tablosu ve dış sıcaklık verilerinin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada her iklim bölgesini temsilen birer il seçilmiştir. 1. iklim bölgesinden Antalya, 2. iklim bölgesinden İstanbul, 3. iklim bölgesinden Elazığ ve 4. iklim bölgesinden Kayseri illeri referans alınmıştır. Bu illere ait 1990-2012 arası ortalama günlük güneşlenme süresi ve dış sıcaklık değerleri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Gerekli ölçümler yapıp her il için yıllık güneş ışıınımı değerlerinin hesaplanması için MATLAB’de bir program oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalar TS 825 EK-C’de aynı yönlere ait verilen tablo değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar sonucunda ise, TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardının iklimsel veriler açısından kullanılabilirliği tartışılmıştır. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardında önerilen iklimsel veriler 4 iklim bölgesinden seçilen illerin hiçbirisi için uygun olmamakla birlikte oldukça yüksek oranda hatalara neden olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada Derece-Gün yöntemi ile güneş ışıınınının etkisi dikkate alınarak dış duvarlara uygulanacak ısı yalıtım kalınlığının yönlere göre değişimi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Erzincan ili için 2008-2018 yılları arasındaki 10 yıllık günlük güneşlenme verilerinden faydalanılmıştır. Güneşlenme verileri kullanılarak her ay ve her yön için güneş hava sıcaklığı hesaplanmıştır. Hesaplanan güneş hava sıcaklığı kullanılarak kuzey, batı, güney ve doğu yönleri için seçilen 2 yapı malzemesi (bims ve tuğla), 4 yakıt(fueloil, lpg, doğalgaz ve kömür) ve 3 yalıtım malzemesi (xps, eps ve taş yünü) kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre verim ve maliyet yönünden en uygun kombinasyon seçilerek Derece-Gün yöntemi ve güneş radyasyonu kullanılarak yapılan Derece-Gün hesaplamaları karşılaştırılmıştır.

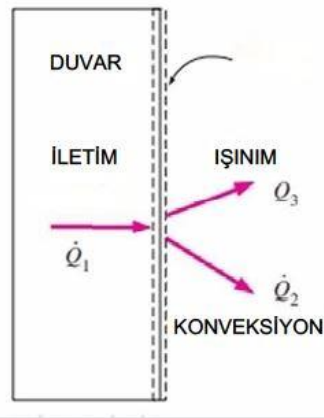
3. KURAMSAL TEMELLER

Isı enerjisi maddeleri meydana getiren moleküllerin hareket etmeleri sayesinde meydana gelen enerjidir. Bir maddenin ısısı, moleküllerinin hareket enerjisi ile oluşmaktadır. Sıcaklık ısıнын bir göstergesi olup Isı alıp veren cisimlerin üzerindeki ısı değişimini değerlendirmek için kullanılan bir kavramdır. Isı enerjisi yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket etmektedir. Farklı sıcaklıktaki iki madde temas halinde iken sıcaklıkları eşit duruma gelinceye kadar aralarında ısı transferi devam etmektedir.

Isı transferi, aralarındaki sıcaklık farkının bir sonucu olarak bir bölgeden diğerine enerji iletimi olarak tanımlanmaktadır (Bkz. Şekil 3.1). Sıcaklıktaki farklılıklar evrenin her yerinde mevcut olduğundan, ısı akışı, yerçekimi olayı kadar evrenseldir. Bununla birlikte, yerçekiminden farklı olarak, ısı akışı benzersiz bir ilişki tarafından değil, çeşitli bağımsız fizik yasalarının bir kombinasyonu ile yönetilmektedir.(Britannica, 1768) Isı transferi iletim (Kondüksiyon), taşınım (Konveksiyon) ve ışıınım (Radyasyon) olmak üzere 3 farklı yolla sağlanmaktadır. (Bkz. Şekil 3.2)

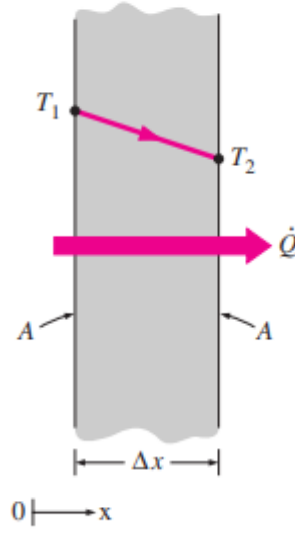


Şekil 3.1. Isı transferi şematik gösterimi(Cengel, 2004)



Şekil 3.2. Isı transfer türleri(Cengel, 2004)

İletim (Kondüksiyon) , bir bütün olarak malzemenin herhangi bir hareketi olmaksızın, bir malzeme içinde moleküler çalkalama yoluyla gerçekleşen ısı transferidir. Metal bir çubuğun bir ucu daha yüksek bir sıcaklıkta ise, o zaman enerji çubuktan daha soğuk uca doğru aktarılacaktır, çünkü daha yüksek hızlı parçacıklar daha yavaş olanlara net bir enerji aktarımı sağlamaktadır (Bkz. Şekil3.3)(Incropera ve Witt, 1996).



Şekil 3.3.İletim(Cengel, 2004)

Taşıyım (konveksiyon), ısıtılan akışkanın ısı kaynağından uzaklaşarak enerji taşıyarak hava veya su gibi bir akışkanın kütle hareketi ile sağlanan ısı transferidir. Sıcak bir yüzeyin üzerinde konveksiyon, sıcak havanın genişlemesi, daha az yoğun hale gelmesi ve yükselmesiyle oluşmaktadır. Sıcak su da aynı şekilde soğuk sudan daha az yoğundur ve yükselir, bu da enerjiyi taşıyan konveksiyon akımlarını oluşturmaktadır. Petek tarafından ısıtılan havanın yükselerek ortamı ısıtması taşıyım ile ısı transferine örnek oluşturmaktadır(Özışık, 1985).

Her maddenin yüzeyinde bir ışıma meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklara ulaşan maddelerde meydana gelen elektromanyetik dalgalar ile gerçekleştirdiği ısı transferidir. Cisimlere çarpan elektromanyetik dalgalar enerjilerinin bir kısmını çarptıkları yüzeye bırakarak ısı transferini gerçekleştirir. Elektromanyetik dalgaların sahip olduğu enerji ve yüzeylerin bu enerjiyi soğurma özellikleri ışıma ile ısı transferini sağlamaktadır. (Incropera ve Witt, 1996) Binalar insanların yaşayacakları nihai ortam ile dış ortamı ayırmak için inşa edilmektedir. İnsan refahını arttırmak ve sağlığını korumak için temel ihtiyaçların yanı sıra ısı konforunun sağlanması da yaşamlarında büyük öneme sahiptir.

3.1. Isıl Konfor Ve İnsan Hayatı İçin Önemi

İnsan hayatının devamı için temel ihtiyaçlar mevcuttur. İnsan vücudu ile çevre arasında sürekli bir ısı etkileşim söz konusudur. İnsanların çalıştığı ortamların rahat, sağlıklı ve konforlu olmasının iş verimini büyük ölçüde etkilediği ve çevre şartlarının değişmesi sonucu vücudun, fizyolojik kontrol mekanizmalarını devreye sokarak çevre ile ısı denge kurmaya çalıştığı bilinen bir gerçektir. Fakat bedenlen ve ruhen rahat edebilmesi için temel şartlar bulunmaktadır. Bu gerekliliklere ısı konfor şartları denmektedir.

Isıl konfor iç ve dış ortamların sıcaklıkları ve arasındaki farkla da ilişkilidir oluşan farklar 2 ile 4 arasında tutulduğunda da hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam sağlar. İç ortam ve iç yüzey sıcaklıkları arasındaki farka göre konfor şartları Tablo 3.1’de gösterilmektedir(Fırat, 2013).

Tablo 3.1. İç ortam ve iç yüzey sıcaklıkları arasındaki farka göre konfor şartları(Fırat, 2013)

$t_i - t_{iy}$	Konfor durumu
2	Çok konforlu
3	Konforlu
4	Az konforlu
6	Konforsuz
8,5	Soğuk
>8,5	Çok soğuk

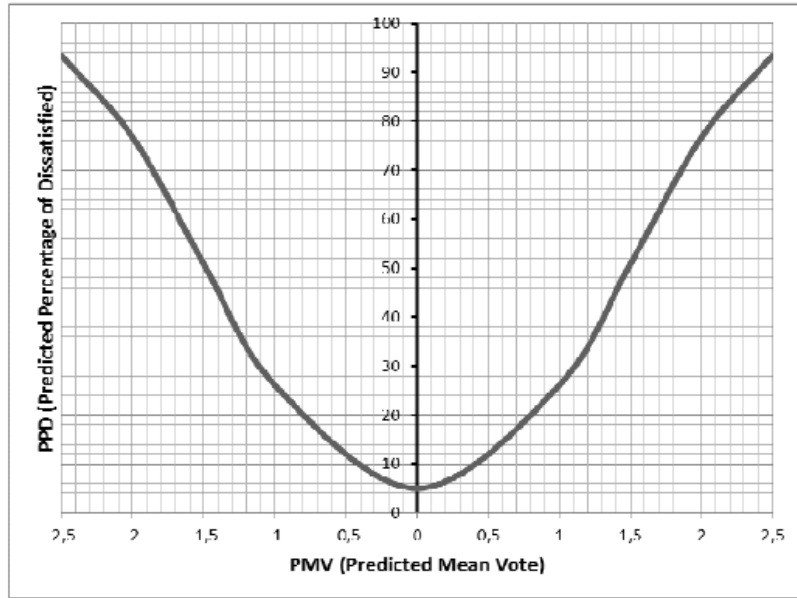
Binalarda ısı konfor şartlarına uygun olmayan ısı üretimi çevreye ve atmosfere de zarar vermektedir. Isı konfor şartları kişiye göre değişiklikler arz ettiğinden standart getirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. ISO 7730 ve ASHRAE Standart 55 kabul görmektedir.

Bu standartlar PMV (Beklenen Ortalama Karar) Tablo 3.2’de verilen ısı duyumu gösterge çizelgesinden görülmektedir ve PPD (Beklenen Ortalama Memnuniyetsizlik) değerleri ile bizlere ortam şartları hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır.(ASHRAE, 2013; ISO, 2005).

Tablo 3.2. Isıl duyum gösterge çizelgesi (Ekici, 2013)

PMV Değeri		
3	Aşırı Sıcak	Bunaltıcı ve tolere edilemez.
2	Sıcak	Çok sıcak
1	Hafif Sıcak	Tolere edilebilir, sıcak.
0	Nötr	Konforlu
-1	Hafif Serin	Tolere edilebilir, serin.
-2	Serin	Çok serin
-3	Soğuk	Tolere edilemez, soğuk.

PPD değeri ile PMV değeri arasındaki ilişki ortamdaki insanların memnuniyetsizlik oranlarını vermektedir. Şekil 3.4’de bulunan grafikte PMV değeri ve PPD değeri oranları gösterilmektedir. Bu oran yüzde 5 ve altında insanlar ortamdan memnun olamamaktadır(Yıldırım ve Altınsoy, 2015).



Şekil 3.4. PMV ve PPD değeri arasındaki ilişki

Isıl konforu etkileyen birçok parametre mevcuttur. Ortam sıcaklığı, hava hızı, nem miktarı, ışıınım sıcaklığı ve insanın metabolik aktivite seviyesi konforu etkileyen en temel parametrelerdir.

Giysi durumu dahi ısı konforu etkileyen parametreler arasında sayılabilmektedir. Örneğin yaz şartlarında kullanılan giysi takımları için direnç miktarı, kış şartlarında kullanılanlara göre daha azdır (Kaynaklı vd. 2005).

Mahal Hava Sıcaklığı; mevsim şartlarına uygun giyimli ve herhangi bir fiziksel aktivite içinde olmayan birey için ideal oda sıcaklığı kış mevsiminde 20-21 °C, iken yaz mevsiminde dış hava sıcaklığını ortalama 24 °C baz alındığında ideal ortam sıcaklığı 21-22 °C olarak kabul edilmektedir. Yaz mevsiminde hava sıcaklığının yüksek olması nedeniyle kişiler daha ince giysiler giymektedir; vücut yüzey sıcaklığı sabit olacağı ve çevreye aynı miktardaki ısı yayılması dikkate alındığında, çevre sıcaklığı da daha fazla olabilmektedir. Kışın 20- 21 °C'lik oda sıcaklığı, kaba bir ortalama ve sadece hareketsiz hava koşulları için geçerlidir. Konfor sıcaklığının sağlanabilmesi için hava hareketi olan durumlarda oda sıcaklığı 22 °C'ye ayarlanmaktadır. (Oğan, 2008) Oda sıcaklıkları insan yaşamı için ısı konfor göz önüne alınarak incelendiğinde her mahalde farklı sıcaklık beklenmektedir. Yatak odaları için 20 °C, oturma odaları ve salonlarda 22 °C, banyolarda 26 °C iken hol, tuvalet, lavabo gibi mahallerde 18 °C sıcaklık yeterli görülmektedir. Mahal ve kullanım yerlerine göre bu sıcaklıklar değişiklik gösterebilmektedir(TS, 2013).

Mahallerin Çevre Yüzeylerin Sıcaklığı; bir mahalin ayırıcı yüzeyleri kapılar, pencereler, duvarlar, tavan, zemin sıcaklıkları genelde insan vücut yüzey sıcaklığından daha az olduğunda, oda konforsuz olarak tanımlanır. Bu nedenle ayırıcı yüzeylerin ortalama sıcaklıkları ile oda hava sıcaklığı arasındaki fark ± 2 °C'den daha fazla olmaması istenmektedir(Yüksel, 2005).

Bağıl Hava Nemi; hava içerisinde her zaman belirli bir oranda su buharı bulunmaktadır. Havada içerisindeki mevcut su miktarı, havanın kg başına içerdiği su miktarının gram olarak oranlanmasıdır. Bu oran mutlak nem olarak isimlendirilir. Belirli bir sıcaklıktaki havanın içinde barındırabileceği bir maksimum su miktarı vardır. Bağıl nem, havanın belirli bir sıcaklıktaki gerçek nem miktarı ile aynı sıcaklıkta olası maksimum nem miktarı arasındaki ilişkisidir. 20-22 °C'lik sıcaklıklarda insanlar %35-65 oranlarındaki bağıl nem değişikliklerini algılamakta güçlük çekmektedir. Bu oranlar tahammül edilebilir nem oranlarıdır(Yüksel, 2005). Yüksek ortam nemi, özellikle giyimli vücut parçalarında yüksek vücut ıslaklıklarına dolayısıyla konforsuzluk hissine sebebiyet verebilmektedir(Atmaca vd. 2004).

Hava hızı; Bir mahali kullanan bireyin konfor hissi havanın hareketiyle ilişkilendirilmektedir. Hava hareketinin hava sıcaklığıyla da bağlantısı bulunmaktadır. Belirli ve aynı şartlar altında yüksek sıcaklıklarda hava hareketinin fazla olması konforlu olarak kabul edilirken düşük hava sıcaklıklarda hafif bir hava hareketi konforsuz olarak tanımlanmaktadır.

20-22°C sıcaklığa sahip bir ortamda aktif olarak hareket sahibi olmayan bireyler için hava hızının konforlu sayılabilmesi için 0.15-0.25 m/s olarak belirtilmektedir. Yükselen hava sıcaklıklarında konfor şartının devamlılığını koruyabilmesi için sıcaklıkla doğru oranda hava hızının da artması gerekmektedir. Konfor koşullarının devamlılığını en verimli ve ekonomik şartlarda sağlayabilmek için; aydınlatma, havalandırma ısıtma ve soğutma gibi yapı içerisindeki enerji sistemlerinin en uygun şartlarda kurulması ve işletilmesi gerekmektedir (Oğan, 2008).

Yapılarda kullanılan enerji sistemleri aktif sistemler ve pasif sistemler olarak iki grupta incelenebilmektedir. Enerjiyi direkt olarak kullanan aydınlatma, havalandırma, ısıtma ve soğutma gibi sistemler aktif sistem olarak adlandırılmaktadır. Enerjiyi direkt kullanmayan fakat enerji tüketim miktarını etkileyen kapı, pencere, duvar ve çatı gibi yapı elemanları da pasif sistem olarak tanımlanmaktadır. Isıtma enerjisi harcamalarını minimuma indirerek, ısı kayıpları azaltılmalıdır. Bu da ısı yalıtımı uygulamasıyla sağlanabilmektedir. Binadaki Pasif sistemlerin sebep olduğu kaçak ve enerji kayıplarının önlenmesi için yalıtım gibi işlemler kullanılarak pasif sistemler iyileştirilebilmektedir. Yalıtım gibi iyileştirici işlemler pasif sistemlerin enerji kaybının azaltırken enerjinin de verimli kullanılmasını sağlayarak binanın enerji ihtiyacı azaltabilmek için gerekli işlemlerdir. Gereksinimin artmasına rağmen ısıtma için kullanılan kömür, petrol, doğal gaz vb. enerji kaynakları azalmaktadır. Isıtma maliyetleri artarken azalan enerji kaynaklarını koruyabilmek için kullanılan enerjinin daha verimli kullanılması gerekmektedir.

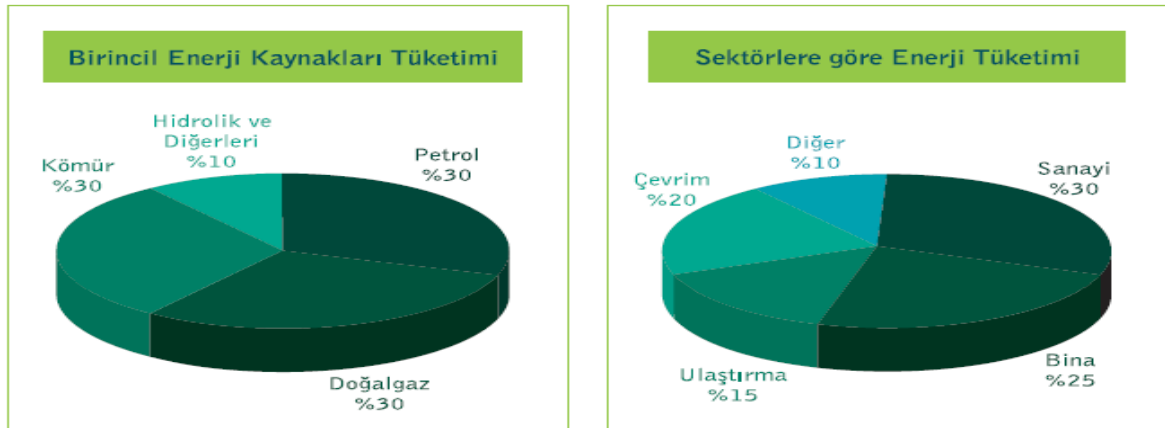
3.2. Enerji Verimliliği

Enerji, sistemlerin iş yapabilme miktarı olarak tanımlanmaktadır. Sisteme giriş veya çıkış yapması durumunda sistemin en az bir özelliğinin değişmesine neden olmaktadır. Enerji, bir sistemde hem kaynak hem ürün hem de atık olarak kullanılabilir. Enerjinin kullanımı yeri kadar verimliliği de büyük önem taşımaktadır. Enerji verimliliği ürün elde edebilmek için kullanılan enerjinin yararlanılan yani sisteme verilen enerjinin toplam enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Enerji verimliliği bir sistem için en önemli parametrelerden biridir (Kaya ve Karakurt, 2018). Enerji verimliliği atık olarak ortaya çıkan ısı, gaz, buhar, basınçlı hava, elektrik gibi enerji kayıplarının değerlendirilmesi veya geri kazanılmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra yeni teknoloji ürünlerinde kullanmak için ya da kaliteyi ve performansı düşürmeden, insan huzurunu engellemeden mevcut tasarımların iyileştirilmesi yoluyla üretime katılması, enerji tüketimini hedeflemektedir.

Enerji verimliliği, dünya genelinde enerji yoğunluğu ile standartlaştırılmıştır. Gayri Safi Yurtiçi Milli Hasıla (GSYİH) başına tüketilen ton eşdeğer petrol (TEP) cinsinden tüketilen enerji miktarı Enerji yoğunluğu olarak adlandırılmaktadır. Enerji yoğunluğu Uluslararası birçok yayında ise 1000 dolarlık gider baz alınarak harcanan TEP cinsinden enerji miktarı olacaktır görülebilmektedir(Oğan, 2008).

Dünya nüfustaki artış, teknoloji ve inşaat sektöründeki gelişmelerle doğru oranda artış gösteren enerji ihtiyacının karşılanması, ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan enerjinin hızla tükenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. (Erdabak, 2010). Küresel pazarda enerji tüketiminin 2010-2030 yıllarında % 50'den fazla artması öngörülen artışın sanayileşmiş ülkelerde % 25 civarında gerçekleşmesi öngörülmektedir (TMMOB, 2006). Ülkelerin ekonomik anlamda gelişmeleri için enerji yoğunluğunu en aza indirmesi gerekmektedir. Enerji yoğunluğunun azalmasıyla birim enerji üretmek için harcanan enerjide düşmektedir. Enerji yoğunluğunda düşüşün sağlanması, enerjinin verimli kullanımı ile mümkündür.

Bir ülkenin gelişimini devam ettirebilmesi için enerjiye gereksinimi vardır. Türkiye ise hızla gelişmekte olan bir ülkedir. Bu sebeple de enerji talebi ve tüketimi hızla artmaktadır. Türkiye'de yıllık enerji tüketimi %4-5, yıllık elektrik tüketimi ise %7-8 oranında artmaktadır. Dünya ve Türkiye için birincil Enerji kaynakları ve tüketimleri Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



(a) Birincil Enerji kaynakları (b) Sektörlere göre enerji tüketimi Şekil 3.5. Enerji kaynakları ve tüketimleri(Oğan, 2008)

Küresel anlamda başlıca tüketilen kaynaklar; kömür, doğal gaz, petrol, odun ve hidroliktir. Başlıca üretilen kaynaklar; petrol, linyit, hidrolik, odun ve petroldür.1970'lerde %25'ler civarında olan dışardan alım gücü günümüzde %70'lere yükselmiştir. 2007 yılı enerji ithalatı, Türkiye'nin dış ticaret açığının yaklaşık yarısına eşdeğerdir.

Türkiye'nin kullanım gücü dikkate alınarak geleceğe yönelik olası enerji talepleri incelendiğinde, yıllık genel enerji ve elektrik enerjisi tüketim artışlarını sağlamak için her yıl 4-5 bin MW'lık elektrik santralinin işleme alınması gerektiği görülmektedir (Oğan, 2008).

Sektörlere göre enerji tüketim dağılımı incelendiğinde Şekil 3.5'te sanayi sektöründen sonra en fazla enerji tüketimi binalarda kullanılan enerjidir. Türkiye, 2009 yılında yaklaşık 45 milyar dolar enerji faturası ödenmiştir. Türkiye'de harcanan enerjinin yüzde 25'inin yapılarda harcanmaktadır. Yapılarda tüketilen enerjinin de büyük kısmının ısıtma ve soğutma için kullanıldığı düşünülürse, binalarda uygulanacak ısı yalıtımlarının enerji tasarrufuna etkisi büyüktür. Binalar çatı, temel, dış duvar, dış kapı ve pencereler gibi dış ortamlar direk teması bulunan yapı elemanlarından oluşmaktadır. Atmosfer koşullarıyla en sık temasta olduğu yapı elemanlarından biri de dış duvarlardır. Isı yalıtımlı bir binada ortalama % 50 ile % 60 arasında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Dış duvarlara TS 825'de belirtilen kural ve standartlara uygun olarak ısı yalıtımı yapmak, hem enerji verimliliğini arttırarak iç ve dış ortam arasında denge sağlayarak bina ömrünü de uzatmaktadır (Kaya, 2010; Yılmaz, 2012).

3.3. Isı Yalıtımı

İnsanların yaşam ve çalışma alanlarında ısı konfor şartlarına ulaşabilmeleri için kış döneminde iç mahallerden dış ortama, yaz döneminde ise dış ortamdan iç mahallere ısı geçişini önleyerek ısıtma ve soğutma harcamalarının en aza indirgenmesini ve bu sayede yakıt harcamalarının da azaltılmasını sağlayan, yapılara ısı yalıtımı işlemi uygulanmaktadır. Isı yalıtımı iki farklı sıcaklıktaki ortam arasında ısı geçişini azaltarak kontrol altında tutmak için yapılmaktadır. Sağlanması hedeflenen ısı geçişini azaltma işlemi ile içerisinde bulunan yaşam ve çalışma alanlarında ısı konfor sağlanabilmektedir. Isı yalıtım uygulamaları ekonomiye doğrudan etki etmektedir. Isı yalıtımı ile sağlanan enerji tasarrufu ısıtma soğutma harcamalarını da olumlu yönde etkilemektedir. Isı yalıtım uygulamalarının ülke ekonomisi ile ülkenin kalkınması arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Ekonomiye etkisi olan tüm yatırım ve yaptırımlar ülke kalkınmasını etkilemektedir.

Isı yalıtım uygulamalarının ekonomik ve çevresel katkıları kişisel ve ülke bazında değerlendirilebilmektedir. Isı yalıtımı ülke için enerji tasarrufu sağlayarak ekonomik kalkınma sağlarken temiz ve sağlıklı bir çevre oluşturarak kişiler için ise yakıt tasarrufu sağlayarak dengeli ve düzenli bir bütçe ile daha iyi konfor elde etmelerini sağlamaktadır. Isı yalıtım uygulamalarının bulunmadığı yapılarda ciddi anlamda enerji ve yakıt tüketimi görülmektedir.

Bu tüketim doğrudan ülke ekonomisine ve kaynaklarına zarar vermektedir. Ülkemiz coğrafi konum sebebiyle enerji kaynaklarına ulaşım kolaylığına sahiptir fakat enerji tüketiminde aşırı tüketimin önlenmesi önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Binalarda ısı yalıtım uygulaması ile enerji tasarruflu yapılar elde edilebilmektedir. Doğru yapılan ısı yalıtım uygulamaları ile enerji miktarı her yıl azalmaktadır. Isı yalıtımı, binalarda oluşan ısı köprülerinin oluşmasını da engellemektedir. Isı yalıtımı uygulanan bina ve yapılarda, ısı dengeli bir şekilde yayılmaktadır. Yapılarda düzensiz ısı dağılımı sebebiyle oluşan yoğuşma, küf ve hava akımı gibi istenmeyen durumlarda en aza indirgenerek konforlu bir yaşam sağlanabilmektedir. İnsan sağlığına da zararı olan nem ve küf gibi oluşumları engelleyerek hem bina ömrünü hem de insan yaşam refahına da katkı sağlamaktadır. Yapı ömrünü etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bina bütünlüğünü sağlayan iskeleti oluşturan yapı birimlerinde demir bulunmaktadır. Demir bütünlüğüne en fazla etkisi olan korozyon yapı ömrünün azaltan en önemli parametrelerden biridir. Isı yalıtımı uygulaması ile bina cephesi dış etkenlere karşı koruyarak korozyonun oluşumu büyük oranda engellemekte ve bina ömrüne katkı sağlamaktadır.

Yapı temel malzemelerinde görülebilen, iklim değişikliklerine bağlı olarak meydana gelen sıcaklık değişikliklerinin sebep olduğu olumsuz şekil değişimi, esneme ve çatlaklara karşı da ısı yalıtımı uygulamaları koruyucu olabilmektedir. Enerji tüketimi yakıt kullanımı sonrasında ortaya çıkan çevreye zararlı SO_2 , CO_2 parçacıkları ve diğer zararlı oluşumlar insan sağlığı çevre düzeni ve hava temizliğinin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Özellikle kış aylarında yakıt tüketiminin artması sebebiyle oluşan, hava kirliliğine sebep olan yakıt ve enerji tüketimi ile atık miktarı da artmaktadır. Isı yalıtımı uygulamaları ile daha tüketilen yakıt miktarı azalacağından atmosfere salınan CO_2 , SO_2 gibi gazların varlığı da etkisi de azalmaktadır. Isı yalıtımının görsel etkisi incelendiğinde ise uzun ömürlü ve dış görünümü hasarlı binalara estetik bir görünüm verilebilmektedir. Isı yalıtımı iki farklı sıcaklıktaki ortam arasında gerçekleşen ısı geçişini azaltarak kontrol altında tutmak için yapılmaktadır. Sağlanması hedeflenen ısı geçişini azaltma işlemi ile içerisinde bulunan yaşam ve çalışma alanlarında ısı konfor sağlanabilmektedir.

Türkiye'deki yalıtım uygulamaları ile ilgili oluşturulan yönetmelikler incelendiğinde; ilk olarak 1970 yılında TSE tarafından "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" adı altında oluşturulan bir yönetmelik olduğu görülmektedir. 1977 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çıkarılan "Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azalması Yönetmeliği" ile bu konuda önemli bir adım atıldığı görülmektedir.

1995 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” revize çalışmaları 29.04.1998 tarihinde TS Teknik Kurulu tarafından onaylanarak yürürlüğe girdiği görülmektedir. TS 825 standardı 14.06.1999 tarihli 23725 sayılı resmi gazetede yayınlanarak 14.06.2000 tarihinden itibaren de zorunlu standart haline getirilerek yeni yapılacak binalarda uygulanmaktadır. 14.06.2000 tarihinden itibaren hali hazırda bulunan binalarda herhangi bir yasal uygulamaya gidilmemesine rağmen yalıtım işlemi uygulanacak tüm eski ve yeni yapıların ısı yalıtım projelerinde bu standarttaki kurallara uyulması zorunlu hale getirilmektedir (Dağıdır, 2011). TS 825 binaların alan ve hacim oranına istinaden ısıtma harcamalarına yeni sınırlamalar getirmektedir. TS 825 standartlarına göre ülkemizde 4 farklı Derece-Gün bölgesi bulunmaktadır. Her derece gün bölgesi için alan hacim oranları için farklı ısıtma enerjileri mevcuttur. Tablo 3.3’de En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri verilmektedir.

Tablo 3.3. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri

	$A_{top}/V_{brüt} \leq 0.2$ için	$A_{top}/V_{brüt} \geq 1.05$ için	
$Q_{1.DG} =$	27	66	kWh/m ²
	8.5	21	kWh/m ³
$Q_{2.DG} =$	48	104	kWh/m ²
	14.7	33	kWh/m ³
$Q_{3.DG} =$	64	121	kWh/m ²
	20.4	39	kWh/m ³
$Q_{4.DG} =$	104	175	kWh/m ²
	33.4	56	kWh/m ³

TS 825 yönetmeliği yeni yapılacak olan binaları ve var olan binalarda oturma alanının %15’i oranında ve % 15 inin üzerinde yapılacak tadilatlarda uygulanmaktadır. Yeni binaların tamamında, mevcut binalarda ise tadilat yapılan bölümün ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplama kurallarını ve yönetmelik tarafından müsaade edilen en yüksek ısı kaybı değerleri kullanılmaktadır. Standartlarda hesaplama ile ilgili bilgiler ve yöntemlerde bulunmaktadır. Bu standardın kullanım sebebi, ülkemizde binaların ısıtılması için kullanılan enerji tüketimini sınırlamayı, bu sayede enerji tasarrufunu arttırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında

kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir. Belirlenen standartlar yeni yapılacak bir yapı için bu standartta açıklanan hesap yöntemini ve değerlerini kullanarak, en uygun enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini bulabilmek için de kullanılmaktadır. Ayrıca standartların kullanımı var olan binaların ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek için de kullanılmaktadır. Mevcut bir yapıya tadilat projesini uygulamadan önce, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını da belirlemeyi mümkün kılan bu standartlar bina sektörünü temsil edebilecek benzer tip binaların enerji ihtiyacını hesaplayarak, bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını yaklaşık olarak tahmin etmeyi mümkün kılmaktadır.

Ülke genelinde TS 825 standartlarının uygulanması yalıtım sektörünün gelişmesine büyük katkı sağlamaktadır. Belirlenen standartlar yapılarda yıllık ısıtma enerjisi harcamalarını sınırlandırmakla birlikte bölgelere göre yapı temel bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayı değerleri için öneriler sunmaktadır. Tablo 3.4'te bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri verilmektedir. Önerilen ısı geçirgenlik katsayıları ile bina kabuğunun yoğuşma açısından kontrol edilmesini de sağlayabilmektedir.

Tablo 3.4. Bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri

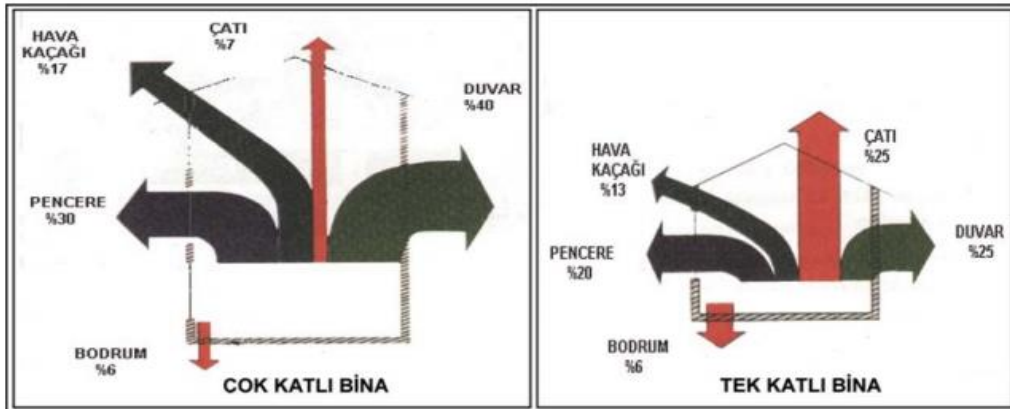
	$U_{\text{duvar}}(\text{W/m}^2\text{K})$	$U_{\text{tavan}}(\text{W/m}^2\text{K})$	$U_{\text{taban}}(\text{W/m}^2\text{K})$	Pencere ($\text{W/m}^2\text{K}$)
1. Bölge	0.70	0.45	0.70	2.40
2. Bölge	0.60	0.40	0.60	2.40
3. Bölge	0.50	0.30	0.45	2.40
4. Bölge	0.40	0.25	0.40	2.40

Belirlenen bu standartlar; konut olarak kullanılacak binalar, büro ve idari binalar, tiyatrolar, kongre ve konser salonları, kültür merkezleri, eğitim yapıları, kütüphaneler, spor tesisleri, öğrenci yurtları, hastaneler, huzurevleri, doğumevleri ve kreşler, cezaevleri ve konaklama tesisleri, kışla binaları, iş hanları, alışveriş merkezleri, banka ve borsa binalarında kullanılmaktadır. Standartlar eski ve yeni yapılarda ısı yalıtım seviyesini Avrupa standartlarına yükseltmek ve TS 825 standardına göre uygulamakla, tüketilen enerjiden sağlanan tasarruf ile aile ve devlet bütçelerinden tasarruf sağlanabilmektedir. Ayrıca hava kirliliğinde de iyileşme sağlamak mümkün olabilmektedir.

3.4. Isı yalıtımı uygulama alanları

Türkiye'nin birçok şehrinde kış ayları oldukça soğuk, yaz ayları ise sıcak geçmektedir. Soğuk gün sayısı fazla olan illerde yalıtım malzemesi kalınlıkları fazla, sıcak gün sayısı fazla olan illerde ise kalınlıkların daha ince yapılmaktadır.

Isı yalıtımı yapılmasının sebebi sadece soğuğa karşı korunmak değil, sıcaktan da korunmaktır. Sıcak iklimlerde yaz döneminde soğutma için harcanan enerji kış döneminde ısınmak için harcanan enerjiden daha fazladır. Bir enerji çeşidi olan ısı termodinamik kanunları gereği çok olduğu ortamdan az olduğu ortama geçme eğilimi göstermektedir. Bu transfer doğal bir geçiş olduğundan engellenememektedir fakat ısı yalıtım uygulamaları ile kontrol altına alınabilmektedir. Çok katlı ve tek katlı binalarda ısı kayıpları şematik olarak Şekil 3.6' da gösterilmektedir. Yapıların iç ortamındaki fazla ısı dış ortama hareket ederek ısı kaybı, yaz mevsimin de ise dış ortamdaki ısı bina içine hareket ederek ısı kazancı ile ortamı ısıtmaktadır.



Şekil 3.6. Çok ve tek katlı binalardaki ısı kayıpları (Özgür vd. 2015)

Bu ısı kayıplarının oluşmasında yapılan mimari tasarımın etkisi çok fazla olmakla beraber genel bina prensipleri incelendiğinde tek katlı binalarda ısınan hava yükselir prensibi ile en fazla ısı kaybının çatılarda olduğu görülmektedir. Tek katlı binalarda ısı kaybı çatılarda % 25, duvarlarda % 20, pencerelerde %20, hava kaçakları % 13 ve bodrumda % 6 olarak görülmektedir. Çok katlı binalarda ise yükseklik arttığında duvar kayıplarının arttığı görülmektedir. Çok katlı binalarda ise ısı kayıpları duvarlarda % 40, pencerelerde % 30, hava kaçakları %17, çatı %7 ve bodrumlarda % 6, olarak görülmektedir. Isı yalıtımının temel sebebi ısı kayıplarını en aza indirmek olduğu için sadece duvarlara değil tüm bina kısımlarına yalıtım uygulanmaktadır(Koçu ve Dereli, 2010).

Isı yalıtım uygulamaları çatı (kırma çatı, teras çatı vb.), dış duvar (dış duvar, iç duvar, çift duvar arası vb.), temel ve toprak temaslı duvarlarda uygulanmaktadır.

3.5. Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri

Yalıtım malzemelerinin seçimi yapılırken dikkate alınması gereken birçok parametre bulunmaktadır. Nihai seçim sadece malzemenin özelliklerini değil, ekonomi ve yapısal hususları da kapsamaktadır. İdeal bir yalıtım malzemesinin düşük ısı iletkenliğine, aşındırıcı olmayan, toksik olmayan, yanıcı olmayan ve uzun süre az veya hiç ayrışma sergileyen bir takım özelliklere sahip olması gerekmektedir. Uygulaması yapılacak olan bir yalıtım malzemesinin en temel özellikleri basınç dayanımı, kullanım sıcaklığı aralığı, ısı iletkenliği, su emme ve kalınlık toleransıdır. Çoğu yalıtım malzemesinin basınç dayanımı sıcaklık arttıkça azalır ve bu nedenle basınç mukavemetini kullanım sıcaklığında dikkate almak gerekmektedir. Kullanım sıcaklığı, yalıtım malzemesinin uzun süreli uygulamada güvenilir bir şekilde kullanılabileceği en yüksek sıcaklıktır. Isı iletkenliği, bir malzemenin ısı akışına direnme kabiliyetini belirleyen en önemli özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Yalıtım malzemesinde suyun emilimi malzemenin iletkenliğini arttırmakta ve malzemenin şişmesine neden olmaktadır. İstenmeyen bir özelliktir. Kalınlık toleransı, hizalama ve ürün kalitesini sağlamak için önemlidir. Yalıtım için çalışma sıcaklıklarında düşük bir termal genleşme değeri beklenmektedir (Deshmukh vd. 2017). Isı yalıtım malzemelerinde aranan en önemli özellik yalıtımı sağlaması için daha az iletkenlik katsayısıyla ısı transferine karşı daha iyi direnç gösterebilmesidir. Isıyı iletme bir malzemenin özelliğidir. Yüksek ısı iletkenliği olan malzemelere göre düşük ısı iletkenliği olan malzemelerin ısı transfer oranı daha fazladır. Bu sebeple, yüksek ısı iletkenliği malzemeleri ısı toplama uygulamalarında yaygın olarak kullanılırken, düşük ısı iletkenliği olan malzemeler ısı yalıtımı uygulamalarında kullanılmaktadır. Bazı malzemelerin ısı iletim değerleri Tablo 3.5'te görülmektedir.

Tablo 3.5. Bazı malzemelerin ısı iletim değerleri (MMO Isı Yalıtım, 2020)

Malzeme Isı iletim değeri [W/(mK)]	
Metaller	35,00 - 384,000
Donatılı Beton	2,20 - 2,500
Donatısız Beton	1,65 - 2,100
Tuğla	0,19 - 1,400
Gaz beton	0,11 - 0,290
EPS, XPS gibi ısı yalıtım malzemeleri	0,02 - 0,045

Isı yalıtım malzemelerinin kullanım ömrü boyunca yıpranma ve çürüme gibi fiziksel ya da kimyasal çözünmelere karşı direnç göstermesi gerekmektedir. Isı yalıtım malzemesi uygulandığı yer ve yapıya bağlı olarak farklı mekanik etkilere maruz kalabilmektedir. Maruz kaldığı etkilerin malzemeye direk temasını önlemek amacıyla sıva gibi ek takviyeler uygulanabilmektedir. Isı yalıtım malzemesi ile sıva gibi malzemeler arasındaki tutuculukta kullanım alanına göre önem kazanmaktadır. Isı yalıtımı farklı kullanım türü olan binalarda uygulanabildiğinden malzemelerin üretim yöntemi sırasında ve daha sonrasında yapı bileşenlerinin içerisinde de çeşitli böcek ve haşere gibi parazitlere yaşam alanı oluşturmaması gerekmektedir. Yapı ömürleri uzun yıllar devam edebildiğinden yapılan ısı yalıtım uygulamasının da uzun süreli olması beklenmektedir. Bu da yalıtım malzemesi seçiminde malzeme ömrünü seçici bir parametre haline getirmektedir. Uygulayıcı ve daha sonra kullanıcının sağlığı ve refahı için yalıtım malzemesinin kokusuz olması istenmektedir. Isı yalıtım malzemeleri olabilecek bir yangında alev alması sonucu zararlı gazlar üretmemelidir. Bina yüzeyleri geniş olduğundan yanan malzeme fazla olacağından çıkan zararlı gaz miktarı atmosfere zarar verebilmektedir. Ayrıca sadece doğal afetler sırasında değil uygulayıcının dokunma veya solunum yoluyla da sağlığına zarar verebilecek malzeme seçimlerinden kaçınılmalıdır.

Bina şekli ve tasarımına entegre olabilmesi için kesme, delme, oyma gibi uygulamalar sırasında malzeme yapısının ve özelliğinin bozulmaması istenmektedir. Seçilecek olan yalıtım malzemesi uygulanacak yapı elemanından kaynaklanacak basma, çekme veya eğilme gibi deformasyona ya da şekil değiştirmeye zorlanacak etkilere karşı mukavemet göstermesi gerekmektedir. Yoğuşma ve küf oluşumu yapılarda istenmeyen bir durumdur. Buhar difüzyonu su buhar basıncı ile alakalıdır. Su buharı yüksek su basıncından alçak su basıncına doğru hareket etmektedir. Yapılarda su buharının sınırlandırılması gerekebilmektedir ve bunun için malzemenin buhar difüzyon direnci önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılarda iç ortamlarda oluşan su buharı yapı birimlerinin gözeneklerinden geçerek dış ortama ulaşmaya çalışmaktadır. Bu sırada doyma sıcaklığındaki veya daha düşük sıcaklıktaki yüzeylere temas ederek yoğuşmaya sebep olabilmektedir. Oluşan yoğuşma bina ömrünü ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen küf kabarma gibi olaylara sebebiyet vermektedir. Buhar difüzyon direnci arttıkça malzemeden geçen su buharı miktarı azalmaktadır ve yoğuşma oranı azalmaktadır bu sebeple yalıtım malzemesi seçerken en önemli parametrelerden biride buhar difüzyon direnci olarak karşımıza çıkmaktadır.

Isı yalıtım malzemesinin ısı dayanımı malzemelerin çalışma sıcaklığının altında olması ve alev almaması gerekmektedir. Kullanım alanında maruz kalacağı ve kalabileceği olası sıcaklıklar saptanarak malzeme seçimi yapılması gerekmektedir. Yalıtım malzemelerinin maruz kalabildiği ve bozulmaya başladığı belirli sıcaklıklar mevcuttur. Bazı yalıtım malzemeleri için en fazla dayanım gösterebileceği kullanım sıcaklıkları Tablo 3.6’da verilmektedir.

Tablo 3.6. Bazı malzemelerin kullanım sıcaklıkları (Özışık, 1985)

Malzeme Maksimum kullanım sıcaklığı [°C]	
Cam Yünü	250
Taş yünü	750
EPS	75-80
XPS	75-80
PVC Köpük	50-60
Polietilen Köpük	100

3.5.1. Cam yünü

Hammaddesi silis kumu olan 1200– 1250°C de eritilerek elyaf hale getirilmesi ile imal edilen bir ısı ve ses yalıtımı malzemesidir. Kullanım yeri ve amacına göre katkı malzemesi ile şilte, levha, boru, dökme şekilde ve yoğunlukta üretilebilmektedir. Isı iletkenlik katsayısı 0,040 W/mK, buhar difüzyon faktörü ise 1 dir. Cam yününün bozulmaya uğramadan -50 °C ile +250 °C arasındaki sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Herhangi bir birleştirici bulunmadan kullanılması durumunda kullanım sıcaklığı 500 °C ye kadar çıkabilmektedir. Kullanım sıcaklık aralığı daha esnek olan cam yünleri de üretilebilmektedir(Deshmukh vd. 2017). Yanmaz bir ısı yalıtım malzemesi olup zamanla çürüme korozyon küf gibi oluşumlar göstermemektedir. Kullanım alanı genellikle çatılardır. Cam yününün kışın sıklıkla görülen yoğuşma riskinin oluşmaması, yazın ise aşırı ısınan çatı arasında uzun ömürlü kullanılması için malzeme üzerinde hava tahliyesi sağlanması gerekmektedir. Ahşap oturtma çatılarda, metal çatılar ve sandviç çatılarda çatı şiltesi olarak kullanılmaktadır(Bkz. Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Cam yünü(Özgür vd. 2015)

3.5.2. Taş yünü

Hammaddesi bazalt taşı olan taş yünü bazalt taşının 1350°C ile 1400°C de eritilerek elyaf şekli verilmesi ile üretilen bir ısı ve ses yalıtımı malzemesidir. Kullanım alanı ve sebebine göre katkı malzemesi ile şilte, levha, boru, dökme şekilde ve yoğunlukta üretilebilmektedir. Isı yalıtımının yanı sıra ses yalıtımı, akustik düzenleme ve yangın yalıtımı içinde kullanılmaktadır. Isı iletkenlik katsayısı 0,040 W/mK dir. Buhar difüzyon direnci ise 1’dir. Taş yünü’nün bozulmaya uğramadan -70 °C ile +700-750 °C arasındaki sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Dış etkilere karşın bozulma incelme göstermemektedir. Böcek haşere tarafından zarara uğramamakla birlikte en iyi yanmaz malzeme olarak yangın yalıtımı içinde idealdir(Bkz. Şekil 3.8).



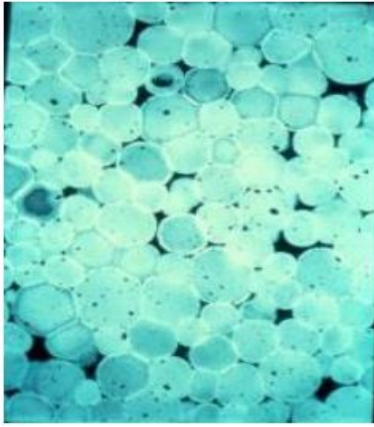
Şekil 3.8. Taş yünü(Baran, 2013)

3.5.3. Ekspende polistren levha

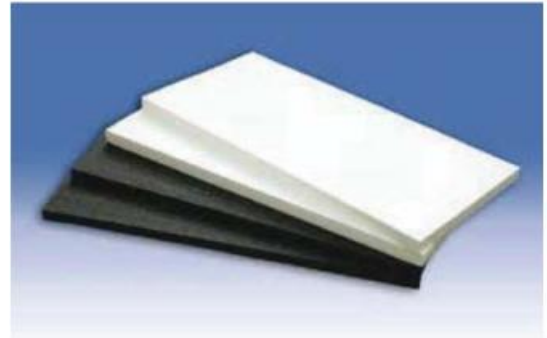
Hammaddesi petrol olan Expanded Polistiren Sert Köpük (EPS Genleştirilmiş Polistiren Sert köpük), kapalı gözenekli köpük yapıları termoplastik ve genellikle beyaz renkte olan ısı yalıtım malzemesidir. Polistiren petrolden elde edilen bir yalıtım malzemesidir. Polistiren, hammadde ile su buharı birleşerek hammadde içerisindeki parçacıkların içinde bulunan pentan gazının ortaya çıkması sonucu şişen granülleri birbirine bağlanmasıyla elde edilmektedir.

Şekil 3.9’da polistiren malzemesinin hücre yapısı gösterilmektedir. EPS blok şeklinde üretilmektedir(Bkz. Şekil 3.10). Farklı yöntemlerle malzeme yapısını bozmadan istenilen kalınlıkta kesilebilmektedir. Malzeme üretimi sırasında oluşan pentan gazının yerini bir süre sonra kuru hava almaktadır. Böylece yalıtım malzemesinin %98 i hareketsiz kuru hava olarak revize olmaktadır. Doğada bilinen en iyi ve ekonomik yalıtım malzemesi kuru havadır. Bu durum EPS yalıtım malzemesini hem ekonomik açıdan hem de çevreye daha az zarar vermesi en iyi yalıtım malzemelerinden biri haline getirmektedir. Pentan gazı ile havanın yer değişimi kısa bir süre içerisinde gerçekleştiğinden ürün işlevini ömürlük hale getirmektedir. Üretim maliyetinin az olması da tercih edilme sebepleri arasında yer almaktadır.

İstenilen yoğunlukta üretilmektedir. Yalıtım sektöründe kullanılması için üretilen 15-30 kg/m³ yoğunluğa sahip EPS levhalar, hafif ve kompozit şeklinde de üretilmektedir. Hafifliği bozunuma uğramaması sebebiyle sınırsız kullanım alanına sahiptir. Kullanım yerine göre farklı şekil ve yoğunluklarda üretilmektedir. Isı iletkenlik katsayısı 0,040 W/mK’dir. Buhar difüzyon direnci ise 20 - 250’dir. EPS nin bozulmaya uğramadan -50 °C ile +70°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılmaktadır(Özgür vd. 2015)



Şekil 3.9. EPS hücre yapısı

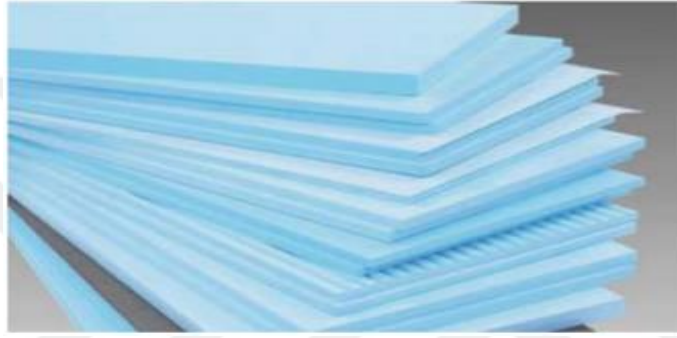


Şekil 3.10. EPS levha(Baran, 2013)

3.5.4. Ekstrüde polistiren levha

Ekstrüde Polistiren levha (XPS) Eps üretiminde kullanılan Polistiren hammaddesinden, ekstrüzyon ile üretilen ısı yalıtım malzemesidir. Kullanım yeri ve amacına yönelik farklı şekil ve yoğunluklarda üretilmektedir. Isı iletkenlik katsayısı 0,028 – 0,031 W/mK dir. Buhar difüzyon direnci 80- 250 dir. XPS nin bozulmaya uğramadan -50 °C ile +70°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılmaktadır.

Basma dayanımı ve şekil koruması çok yüksek olduğundan bozunum göstermemektedir. Isı iletkenliği değişiklik göstermeyip aynı kalarak işlevini korumaktadır. Kapalı gözenekli bir yapısı olduğundan su emiciliği bulunmamaktadır. Uygulanma sürecinde ek buhar kesici ekipmanlara ihtiyaç duymamaktadır. Üst üste gelen kenar profillerde oluşabilecek ısı köprülerini önlemektedir. Hafif olması sebebiyle taşınımı ve Uygulaması kolaydır ayrıca malzeme israfı fazla olmamaktadır. XPS ısı yalıtım levhalarının yoğunlukları $28-32 \text{ kg/m}^3$ arasında olup kullanım alanına ve şekline göre değişiklik göstermektedir (Bkz. Şekil 3.11) (Bkz. Şekil 3.12).



Şekil 3.11. XPS levha(Özgür vd. 2015)



Şekil 3.12. Farklı xps yalıtım uygulamaları

3.5.5. PVC köpük

PVC köpük, sert, yarı sert veya yumuşak olarak Polivinilklorid esaslı termoplastik bir malzemedir. Malzeme yapısındaki gözenek türü üretim şekline göre değişiklik göstermektedir. Basınç altında üretimi gerçekleşen PVC köpük yüksek basınçlı bir sistemde üretildiğinde kapalı gözenek yapısına sahip olurken alçak basınçlı bir sistemde

karışık veya açık gözeneklere, basınçsız bir sistemde ise alçak gözenekli bir yapıya sahip olmaktadır. Isı iletkenlik katsayısı yoğunluğa göre değişiklik göstermektedir. 40 kg/m³ yoğunluğa sahip PVC köpüğün ısı iletkenlik katsayısı 0,038 W/mK, 130 kg/m³ yoğunluğa sahip PVC köpüğün ısı iletkenlik katsayısı 0,051 W/mK dır. Yoğunluğu 30-300 kg/m³ arasında değişiklik gösterebilmektedir. Yapı yalıtım sektöründe çoğunlukla 30-40 kg/m³ yoğunluğa sahip levhalar kullanılmaktadır(Özgür vd., 2015).

Sert levhalar kırılğan bir yapıya sahipken yumuşak levhalar elastik özellik göstermektedir. Buhar difüzyon direnci 40 – 80 arasındadır. Yüksek basınç sisteminde üretilen PVC köpükler su emilimi yapmazken alçak basınç ve basınçsız sistemde üretilen PVC köpükler su emilimi yapabilmektedir. 50-60 °C de malzeme bütünlüğünü yitirip yumuşamaya sebep olabilmektedir.

3.5.6. Polietilen köpük

Polietilen köpük esnek ve yarı esnek, gözenekli yapılara sahip plastik esaslı yalıtım malzemesidir. Polietilen esaslı malzemeler etilen ve propilenden oluşan polimerler kullanılarak üretilen polietilen köpük yalıtım malzemesi kalıptan ekstrüzyon işlemi kullanılarak boru ve levha halinde üretilebilmektedir. Farklı iç çap ve uzunluklarda dış yüzeyi pürüzsüz olarak üretilebilmektedir(Bkz. Şekil 3.13). Levha olarak gerçekleşen üretimlerde farklı levha kalınlıkları elde edilebilmektedir.

Dayanıklı ve ekonomik bir yalıtım malzemesi olup montajı da kolaylıkla kısa bir süre içerisinde gerçekleştirilebilmektedir. Sanayi yalıtım ve birçok alanda da kullanılmaktadır.



Şekil 3.13. Çeşitli polietilen köpük uygulamaları(Baran, 2013)

3.6. Isı Yalıtım Hesabı

Isı yalıtım hesabı standart olması sebebiyle Türk Standartlarının belirlediği yöntem ile hesaplanmaktadır(TS, 2013). Isı yalıtımı yapılırken dikkat edilmesi gereken birçok parametre bulunmaktadır. Yapı özellikleri, kullanım amacı vs. bunlardan biriside yapının bulunduğu şehrin hangi iklim bölgesinde olduğudur.

Derece gün 24 saatlik periyodun ne kadarının sıcak ve ne kadarının soğuk geçtiğini ölçmektedir. Aylık ve yıllık verilere çevrilerek de kullanılabilir. Şehirlerin iklim tiplerine göre derece gün bölgeleri oluşturulmuştur. Yalıtım hesabı yapılırken derece gün bölgesine göre farklılık gösteren değişkenler kullanılmaktadır. Derece gün bölgeleri ve bölgelerdeki şehirler Ek 1’de gösterilmektedir. Isı yalıtım hesabı yapılırken tek tabakalı ve çok tabakalı bileşenlerin ısı geçirgenlik direncinin (R) hesaplanması gerekmektedir. Tek tabakalı bileşenlerin ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanırken R (m²K/W) Denklem 3.1 kullanılmaktadır(Cengel, 2004).

$$R = \frac{d}{\lambda_h} \quad (3.1)$$

Çok tabakalı bileşenlerin ısı geçirgenlik katsayısı hesaplanırken R (m²K/W) Denklem 3.2 kullanılmaktadır.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \frac{d_3}{\lambda_{h3}} \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (3.2)$$

Burada;

d yapı bileşeninin kalınlığı (m), λ_h ısı iletkenlik hesap değeri (W/mK) olarak tanımlanmaktadır. Yapı malzeme ve bileşenlerinin ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) tabloları Ek 2’de verilmektedir.

Tipik yalıtım yapılan bir duvar için toplam ısı transfer katsayısı, U Denklem 3.3 kullanılmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_{duvar} + R_{yalıtım}} \quad (3.3)$$

Burada; R_{duvar} (m^2K/W) yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci , $R_{yalıtım}$ (m^2K/W) yalıtım malzemesinin ısı direncidir. Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci Denklem 3.4 ile hesaplanmaktadır.

$$R_{duvar} = \frac{1}{h_i} + \frac{d}{k_{duvar}} + \frac{1}{h_e} \quad (3.4)$$

Burada;

h_i (Wm^2K) iç duvardaki taşınım katsayısı,

h_e (Wm^2K) dış duvardaki ısı taşınım katsayısı,

d (m) duvar malzemesinin kalınlığı,

k_{duvar} (W/mK) ise duvar malzemesinin ısı iletkenlik katsayısıdır. h_i ve h_e değerleri yapı bileşeninin konumuna göre Ek C'de verilmektedir. $R_{yalıtım}$ (m^2K/W) ise yalıtım malzemesinin ısı direnci Denklem 3.5 kullanılmaktadır.

$$R_{yalıtım} = \frac{x}{k_y} \quad (3.5)$$

x (m) yalıtım malzemesinin kalınlığı, k_y (W/mK) ise yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısıdır.

Gereken düzeyde ısı yalıtımı uygulaması yapılan bir binada, ısıtma gereksinimi sağlanırken iç mahallerde elde edilmek istenilen sıcaklığın bir kısmı insan, elektronik alet vs. gibi materyallerden elde edilirken bir kısmı da güneş enerjisinden elde edilmektedir. Talep edilen sıcaklığa ulaşabilmek için kalan ısı ihtiyacının kullanılan ısıtma sistemi tarafından ortama verilmesi gerekmektedir. Isı yalıtım hesabı yapılırken kullanılan ısıtma sisteminin ortama vermesi gereken ısı miktarı da belirlenebilmektedir. Hesaplama yapılırken ihtiyaç duyulan ısı miktarından iç kazançlar ve güneş ışınlımından oluşan kazançlar çıkarılarak yıl içerisinde ihtiyaç duyulan ısı enerjisi belirlenebilmektedir. Kullanılan hesaplama yönteminde yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma döneminde bulunan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunmaktadır. Böylece bina ısı performansını gerçeğe daha yakın sonuçlarla

elde edilmektedir. Yapılan ısı yalıtım hesapları sonucunda elde edilen verilerle etkin kullanılabilecek güneş enerjisini değerlendirme imkânı sağlayacaktır. Isı yalıtım hesabı yapılırken ısıtılan yapının sınırları, bu ortamı dış ortamdan veya varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran döşeme, duvar, çatı, kapı ve pencerelerde kullanılmaktadır. Isı yalıtımı boğçalama şeklinde uygulandığından dıştan dışa ölçüler dikkate alınmaktadır.

Eğer binanın tamamı aynı sıcaklığa erişene kadar ısıtma işlemi devam ediyorsa veya mahaller arasındaki sıcaklık farkı 4°C 'den fazla değilse, binanın tamamı için ortalama bir iç sıcaklık değeri hesaplanarak bina tek hacimli bina olarak ele alınarak hesaplanmaktadır. Binadaki farklı kullanım amaçları bulunan çok hacimli binalar içerisinde sıcaklık farkı 4°C'den büyük ise, farklı ısıtma bölümlerinin sınırları belirlenerek tek hacimli bina için verilen hesap yöntemi, farklı sıcaklıktaki her bina bölümü için ayrı ayrı uygulanmakta ve her kullanım alanı için hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı toplanarak elde edilebilmektedir. Farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri [θ_i (°C)] Ek 3'te verilmektedir. Yapı bütün olarak yalıtıldığından içerisindeki kısımlar (banyo, mutfak, ofis, vb.) ortalama sıcaklık hesabında dikkate alınmamaktadır (Turkish Standards Institution, 2008).

Tek hacimli bina için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanırken (3.6) ve (3.7) numaralı denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (3.6)$$

$$Q_{ay} = [H * (\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})]^+ * t \quad (3.7)$$

Burada;

$Q_{yıl}$ yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule),

Q_{ay} aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule),

H binanın özgül ısı kaybı (W/K),

θ_i Aylık ortalama iç sıcaklık (°C),

θ_e aylık ortalama dış sıcaklık (°C),

η_{ay} Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü,

$\phi_{i,ay}$ aylık ortalama iç kazançlar (W),

$\phi_{s,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W),

t (s) zaman olarak tanımlanmaktadır. Formülde köşeli parantez içerisindeki işlem sonuçlarının pozitif değerli olanları dikkate alınacaktır.

Binanın özgül ısı kaybı hesaplanırken (H) Denklem 3.8 kullanılmaktadır.

$$H = H_T + H_v \quad (3.8)$$

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (H_T) Denklem 3.9 kullanılmaktadır.

$$H_T = \sum AU + I * U \quad (3.9)$$

$$\sum AU = (U_D * A_D) + (U_p * A_p) + (U_k * A_k) + 0,8(U_T * A_T) + 0,5(U_t * A_t) + (U_d * A_d) + 0,5(U_{ds} * A_{ds}) \quad (3.10)$$

Burada;

U_D Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_p Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_k dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_T tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı(W/m²K),

U_t zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m²K),

U_d dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı(W/m²K),

U_{ds} düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı(W/m²K),

A_D dış duvarın alanı (m²),

A_p pencerenin alanı (m²),

A_k dış kapının alanı (m²),

A_T tavan alanı (m²),

A_t zemine oturan taban/döşeme alanı,

A_d dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı(m²),

A_{ds} düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı(m²) olarak tanımlanmaktadır. Çatı döşemesi dış hava ile direkt temas halinde ise tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı (U_T) önündeki 0,8 olan katsayı 1 olarak alınmaktadır.

I ısı köprüsü (m) , U ısı köprüsünün doğrusal geçirgenliğini (W/mK) tanımlamaktadır.

Yapıda ısı köprüsü olması durumunda ilgili büyüklükler TS EN ISO 10211-1, TS EN ISO 10211-2 ve TS EN ISO 14683'e göre veya TS 8441'de verilen yöntem kullanılarak çözümlenmektedir. Doğrudan ısıl geçirgenlik katsayısının 0,1 W/mK daha az olması durumunda ısı köprüsü 0 olarak kabul edilebilmektedir.

Havalandırma sebebiyle gerçekleşen ısı kaybı (H_v) Denklem 3.11 kullanılmaktadır.

$$H_v = \rho * c * V' \quad (3.11)$$

Burada; ρ havanın birim hacminin kütlesi (yoğunluğu) (kg/m^3),

c havanın özgül ısısı h (J/kgK),

V' hacimce hava değişim debisi (m^3/h) olarak tanımlanmaktadır. Hesaplamalar yapılırken binada bulunan havalandırma sistemi (doğal havalandırma, mekanik havalandırma vs.) göz önüne alınmalıdır.

Yıllık ısıtma enerji ihtiyacı hesaplanırken kullanılan $\phi_{i,ay}$ aylık ortalama iç kazançlar (W) bina içerisinde mevcut olan insanların metabolik ısı kazançları, kullanılan sıcak su ile oluşan ısı kazançları, mutfak gereçlerinde ortama verilen ısı kazançları, aydınlatma ve kullanılan elektrikli cihazlardan oluşan ısı kazançlarının toplanmasından oluşmaktadır. Bahsedilen parametreler ayrı ayrı hesaplamaya uygun olmadığı için aydınlatma dışındaki değerler yıl boyunca sabit kabul edilmektedir. Aydınlatmadan elde edilen kazançlar da TS 825 standardı ile sınıflandırılmıştır.

Aydınlatmadan elde edilen kazançlar; konut, okul ve büro binaları vb. yapılarda iç kazanç olarak birim döşeme kullanım alanı başına en fazla 5 W/m^2 alınmaktadır.

Yemek üretim tesisleri gibi pişirme işleminin ağırlıklı olduğu binalarda, büro konut gibi yapılara oranla daha fazla elektrikli cihaz kullanımı söz konusu olan binalarda (aydınlatmanın sadece elektrikle sağlandığı binalar, tekstil atölyeleri, vb.) veya etrafa ısı veren sanayi cihazların bulunduğu yapılarda iç kazanç için birim döşeme kullanım alanı başına en fazla 10 W/m^2 alınmaktadır.

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda Denklem 3.12 kullanılmaktadır.

$$\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n \text{ (W)} \quad (3.12)$$

Yüksek iç enerji kazançlı binalarda Denklem 3.13 kullanılmaktadır.

$$\phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n \text{ (W)} \quad (3.13)$$

A_n Bina kullanım alanı (m^2) olarak tanımlanırken Denklem 3.14 kullanılmaktadır.

$$A_n = 0,32 \times V_{\text{brüt}} \quad (3.14)$$

$V_{\text{brüt}}$ ısıtılan yapının brüt hacmi(m³) ifade etmektedir.

$\phi_{s,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W) Denklem 3.15 kullanılmaktadır.

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} * g_{i,ay} * I_{i,ay} * A_i \quad (3.15)$$

Burada;

$r_{i,ay}$ “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü (Bkz. Tablo 3.7),

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

$I_{i,ay}$ “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınlı şiddeti (W/m²),

A_i “i” yönündeki toplam pencere alanı (m²) olarak tanımlanmaktadır.

$I_{i,ay}$ değerleri Ek 4’te verilmektedir.

Tablo 3.7. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü (MMO Isı Yalıtım, 2020)

	$r_{i,ay}$
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

Güneş enerjisi geçirme faktörü ($g_{i,ay}$) Denklem 3.16 ile hesaplanmaktadır.

$$g_{i,ay} = F_w * g_{\perp} \quad (3.16)$$

Burada; F_w Camlar için düzeltme faktörü, $g_{\perp}$ laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü olarak tanımlanmaktadır (Bkz. Tablo 3.8).

Tablo 3.8. Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirime faktörü(MMO Isı Yalıtım)

Cam türü	$g_{\perp}$
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
Isıl geçirgenlik katsayısı 2 W/m ² K'den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için	0,50

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü hesaplanırken (η_{ay}) Denklem 3.17 kullanılmaktadır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{\left(-\frac{1}{KKO_{ay}}\right)} \quad (3.17)$$

KKO_{ay} kazanç/kayıp oranını ifade etmektedir ve Denklem 3.18 ile hesaplanmaktadır.

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} - \phi_{s,ay})/H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (3.18)$$

$\theta_{e,ay}$ Aylık ortalama dış hava sıcaklığını tanımlamaktadır. Aylık ortalama dış hava sıcaklığı Ek 3'de bulunan 3.2 tablosunda verilmektedir.

Yapının hesaplanan enerji ihtiyacının verilen sınır değerlerin altında kalmasını sağlayacak şekilde malzeme seçimi ve malzeme kalınlığı kullanılması gerekmektedir. Isıtılacak bina hacmi ($V_{brüt}$) ile ve binanın kullanım alanı (A_n) ile ilişkili olarak en az yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri Ek-1 de verilmektedir. Gerekli enerji korunumunu sağlayabilmesi için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının (Q), Ek 5'de verilen yıllık ısıtma enerjisi (Q_1) sınır değerinden büyük olmaması gerekmektedir.

Yapı için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı yıllık ısıtma enerjisinden daha az ise tüm yapı birimleri için ayrı ayrı yoğuşma tahkiki yapılmaktadır (Turkish Standarts Institution,

2008).Yoğuşma esnasında hesaplaması yapılan yapı bileşeninin içinde toplanan su miktarının, buharlaşarak tekrar atmosfere verilmesi gerekmektedir.

Yoğuşan su miktarının tamamının atmosfere verilmediği takdirde yapı bileşeni yeniden tasarımlanmalı ve uygunluk sağlanana kadar yoğuşma kontrolünün yapılması gerekmektedir. Yoğuşma kontrolü her yapı birimi için TS825 standardında verilen hesap metodu kullanılarak yapılmalıdır. Yoğuşma kontrolü yapılırken Tavan ve duvar bileşenlerinde oluşan yoğuşan su kütlesi 1 kg/m^2 'yi aşmamalıdır. Fakat Betonarme duvarlarda yalıtım uygulaması iç duvardan yapılmış ise yoğuşan su kütlesi $0,5 \text{ kg/m}^2$ 'yi geçmemelidir. Betonarme yapıların içerisindeki demir malzemenin korozyona uğrayarak bütünlüğünü kaybetmemesi hedeflenmektedir. Yapı bileşenleri arasında ahşap malzeme bulunması durumunda standardın müsaade ettiği nem oranı aralıklarına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Isı yalıtım hesaplarının tüm adımları programlar kullanılmadan önce el ile yapılmaktaydı. Yapı bileşeninin fazla olması sebebiyle hesaplamalar uzun sürmekte idi. Yatılım hesapları yapılırken yürürlükteki TS825'te açıklanan hesaplamalara kabul gören sabitlere uygun MMO yalıtım programı, İzoder ve TGÜB ün yaptığı yalıtım programları mevcuttur. Farklı tip yapılar ve bunlara bağlı çeşitli yapı bileşenleri, kapı ve pencereler için yalıtım hesabı yapmayı mümkün kılmaktadır. Geliştirilen yazılımlar kullanılarak özgül ısı kaybı, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, yoğuşma çizelgeleri ve grafikleri kolaylıkla hazırlayarak, otomatik raporlar oluşturulabilmektedir. Programların çalışma prensibi TS 825 standardına paraleldir. Programda öncelikle standarda uygun yapı bilgileri girilmektedir.

Daha sonra yapının yıllık ısıtma enerji ihtiyacı ve yapı bileşenlerinin tamamı için yoğuşma hesapları yapılarak standartta kabul gören şartların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Yıllık ısıtma enerji ihtiyacının ısıtma enerjisinden büyük olması ya da yapı birimlerinde yoğuşma görülmesi durumunda tasarımda yeniden düzenleme yapılması gerekmektedir.

Kullanılan malzemelerin ve kalınlıkların değişimi ya da buhar kesici gibi malzemeleri eklemesi yapılabilir. Bu işleme yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yoğunlaşma kısıtlarını sağlayana kadar devam edilmelidir.

3.7. Derece-Gün yöntemi

Enerji ihtiyacının yaklaşık olarak belirlenmesi için en sık kullanılan yöntemlerden biri de Derece-Gün yöntemidir. Derece gün değeri DG ile ifade edilmektedir (TOLUN, 2010). Yapının özellikleri, duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışınlama durumu, iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok etken referans sıcaklığının belirlenmesini etkilemektedir (Dombayci, 2009). DG hesaplanmasında Denklem 3.19 ve Denklem 3.20 kullanılmaktadır.

$$DG = \sum_1^N (T_b - T_{(a)})^+ \quad T_{(a)} \leq T_b \quad (3.19)$$

$$DG = 0 \quad T_{(a)} > T_b \quad (3.20)$$

Burada; T_a günlük ortalama dış hava sıcaklığı, T_b referans sıcaklığıdır.

Parantezlerin üzerindeki artı işaretleri sadece pozitif değerlerin sayılması gerektiğini göstermektedir (Büyükalaca et al. 2001; Kon ve Yüksel, 2013) N gün sayısı (yıl olarak çalışılacağından 365 alınmaktadır.) Güneş radyasyonu dikkate alınarak DG hesaplanmasında Denklem 3.21 ve Denklem 3.22 kullanılmaktadır.

$$DG = \sum_1^N (T_b - T_{(g-h)})^+ \quad T_{(g-h)} \leq T_b \quad (3.21)$$

$$DG = 0 \quad T_{(g-h)} > T_b \quad (3.22)$$

Burada; T_b (°C) referans sıcaklığı, $T_{(g-h)}$ (°C) güneş-hava sıcaklığıdır. $T_{(g-h)}$ (°C) sıcaklığı ortalama dış ortam sıcaklığına güneş radyasyonunun eklenmesi ile bulunmaktadır.

3.7.1. Güneş Işınımı Değerlerinin Elde Edilmesi

Güneş ışıınıımı hesaplanırken yüzeyler yatay ve dikey yüzeyler olarak iki ayrı grupta incelenmektedir. Yatay yüzeylere gelen güneş ışıınıımı hesaplanırken ilk olarak $\dot{q}_{o,h}$ (W/m²) atmosfer dışında yatay yüzeye gelen günlük güneş ışıınıımı değerleri(Duffie & Beckman, 2013) hesaplanırken Denklem 3.23 kullanılmaktadır.

$$\dot{q}_{o,h} = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (3.23)$$

Burada; G_{sc} (W/m²) güneş sabiti 1367 W/m² olarak kabul edilmektedir. ϕ enlem açısı çalışılan şehre göre belirlenmektedir. δ denklinasyon açısı(Öztürk, 2012) Denklem 3.24 ile hesaplanmaktadır.

$$\delta = 23,45 * \sin \left[\left(\frac{360}{365} \right) * (284 + n) \right] \quad (3.24)$$

n 1 Ocaktan itibaren gün sayısını ifade etmektedir. Yıl içerisindeki her bir ayın ortalaması için tavsiye edilen karakteristik günler Tablo 3.9'da verilmektedir (Klein, 1976;Bakirci, 2006).

Tablo 3.9. Her bir ayın ortalaması için tavsiye edilen günler(Duffie & Beckman, 2013)

Aylar	Yılın Günü	Tarih
Ocak	17	17 Ocak
Şubat	47	16 Şubat
Mart	75	16 Mart
Nisan	105	15 Nisan
Mayıs	135	15 Mayıs
Haziran	162	11 Haziran
Temmuz	198	17 Temmuz
Ağustos	228	16 Ağustos
Eylül	258	15 Eylül
Ekim	288	15 Ekim
Kasım	318	14 Kasım
Aralık	344	10 Aralık

ω_s güneş batış açısı Denklem 3.25 ile hesaplanmaktadır.

$$\omega_s = \cos^{-1}(\tan(\delta) * \tan(\phi)) \quad (3.25)$$

Yatay yüzeye gelen günlük toplam güneş ışıını $\dot{q}_h$ (W/m²) Denklem 3.26 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{\dot{q}_h}{\dot{q}_{o,h}} = \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (3.26)$$

Burada; $\dot{q}_{o,h}$ atmosfer dışında yatay yüzeye gelen günlük güneş ışıını tanımlamaktadır.

$\frac{\dot{q}_h}{\dot{q}_{o,h}}$ berraklık indeksi (K_T) olarak bilinmektedir. K_T hesaplanırken Erbs ve diğerlerinin

korelasyonu için Denklem 3.27, Denklem 3.28 ve Denklem 3.29 kullanılmaktadır (Durmaz, 2007).

$$K_T = 1 - 0.09 K_T \quad K_T \leq 0.22 \quad (3.27)$$

$$K_T = 0.9511 - 0.1604 K_T + 4.388 K_T^2 - 16.638 K_T^3 + 12.336 K_T^4 \quad 0.22 < K_T \leq 0.8 \quad (3.28)$$

$$K_T = 0.165 \quad K_T > 0.8 \quad (3.29)$$

Fakat pratik olması sebebiyle Orgill ve Hollands korelasyonu için Denklem 3.30, Denklem 3.31 ve Denklem 3.32 kullanılmakta ve daha fazla tercih edilmektedir (Duffie & Beckman, 2013).

$$1.0 - 0.249 K_T \quad 0 \leq K_T \leq 0.35 \quad (3.30)$$

$$1.557 - 1.84 K_T \quad 0.35 < K_T < 0.75 \quad (3.31)$$

$$0.177 \quad K_T > 0.75 \quad (3.32)$$

n/N sayısı izafi güneşlenme süresi olarak adlandırılmaktadır. Kaynaklarda bölge ve aylara göre n/N değerleri verilmektedir. n günlük güneşlenme saati olup meteorolojik verilerle belirlenebilmektedir. N aylık ortalama gün uzunluğu Denklem 3.33 ile hesaplanmaktadır.

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (3.33)$$

Denklem 3.26. da yer alan a ve b bölgelere göre farklılık gösteren ampirik sabitlerdir. Türkiye için rakıma (Z) bağlı olarak verilen Denklem 3.34 ve 3.35 kullanılmaktadır.

$$a = 0.103 + 0.000017Z + 0.198 \cos (\phi - \delta) \quad (3.34)$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos (\phi - \delta) \quad (3.35)$$

Yatay yüzeye gelen günlük yayılı güneş ışınlamını $\dot{q}_{h,d}$ (W/m²) hesaplarken berraklık indeksi (K_T) kullanılır(Howell et al., 1982).

$$\dot{q}_{h,d} = \dot{q}_h(0.703 - 0.414K_T - 0.428K_T^2) \quad (3.36)$$

Güneş ışınlam etkisi araştırılırken Direkt güneş ışınlamının geliş açısı (θ) kullanılmaktadır. Direkt güneş ışınlamının geliş açısı yönlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Direkt güneş ışınlamının geliş açısının en temel denklemi olan Denklem 3.37 kullanılmaktadır(Öztürk, 2012).

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \quad (3.37)$$

Burada; β Eğim açısı, γ yüzey azimut açısı, ω saat açısı olacak şekilde tanımlanmaktadır. Saat açısı Denklem 3.38 ile hesaplanmaktadır.

$$\omega = 15 * (GS - 12) \quad (3.38)$$

GS çalışma yapılacak saati temsil etmektedir. Yatay yüzey ($\beta = 0^\circ$) için güneş geliş açısı θ_z (Zenit Açısı) hesaplanırken Denklem 3.39 kullanılmaktadır.

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \quad (3.39)$$

Dik yüzeyler için geliş açısı hesaplanırken $\beta = 90^\circ$ kabul edilir.

Bütün yönler için kullanılan bu denklemde güney içinde azimut açısı $\gamma = 0^\circ$, batı için $\gamma = 90^\circ$, kuzey için $\gamma = 180^\circ$ ve doğu için $\gamma = 270^\circ$ alınmaktadır. Düzeltme faktörü olan R_b hesaplanırken Denklem 3.40 kullanılmaktadır (Liu & Jordan, 1960).

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3.40)$$

Dik yüzeye düşen toplam ışıınım miktarı $\dot{q}_s$ (W/m²) o yöne ait tüm (direkt, yayılı ve yansıyan) ışıınımların toplamına eşittir (Duffie & Beckman, 2013). Bütün yönler için hesaplanması gerekmektedir (Bkz. Denklem 3.41).

$$\dot{q}_s = [\dot{q}_h - \dot{q}_{h,d} R_b] + \left[\dot{q}_{h,d} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right] + \left[\dot{q}_h \rho \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] \quad (3.41)$$

Burada; $\dot{q}_h$ (W/m²) yatay yüzeye gelen günlük toplam güneş ışıınımı, $\dot{q}_{h,d}$ (W/m²) yatay yüzeye gelen günlük yayılı güneş ışıınımını tanımlamaktadır.

ρ Yerin yansıtma oranı olup bitki örtüsü, topografik yapı ve kar durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Değeri 0,2 alınmaktadır (Kılıç & Öztürk, 1983).

Güneş ışıınımının etkili olduğu güneş-hava sıcaklığını hesaplarırken Denklem 3.42 kullanılmaktadır.

$$T_{g-h} = T_a + \frac{\alpha \dot{q}_s}{h_o} - \frac{\varepsilon \sigma (T_a^4 - T_{surr}^4)}{h_o} \quad (3.42)$$

Burada; α yutma katsayısı, σ Stefan-Boltzmann sabiti,

T_a günlük ortalama dış hava sıcaklığı,

T_{surr} çevreleyen yüzeylerin ortalama sıcaklığıdır. Çevreleyen yüzeylerin ortalama sıcaklığı ile ortalama dış hava sıcaklığı eşit olması durumunda Denklem 3.42 kullanılırken eşit olmayan durumlarda denklem içerisindeki son terim ısı transfer düzeltme katsayısı olarak işlevlendirilmektedir. Gökyüzüne dik tüm yüzeylerde ısı transfer düzeltme katsayısı 0 kabul edilmektedir. Tablo 3.10'da yaygın olarak kullanılan dış yüzeyler için yüzey yutma oranları verilmiştir. $h_o = 17$ W/m²°C olarak alınmaktadır (Dağıdır, 2011).

Açık, orta ve koyu yüzeyler için yutma oranı (α) açık renkli yüzeyler için 0.45, orta renkli yüzeyler için 0,66 ve koyu yüzeyler için 0,90 kabul edilmektedir. $\frac{\alpha}{h_o}$ oranı 0.026, 0.052 ve 0.039 m²°C/W olarak hesaplanmıştır(Cengel, 2004).

Tablo 3.10. Yaygın olarak kullanılan dış yüzeyler için yüzey yutma oranları (Bolattürk & Dağıdır, 2013)

Yüzeyler	Yutma Oranı (α)
<u>Doğal Yüzeyler</u>	
Taze Kar	0,25
Toprak(kil,verimli toprak)	0,86
Su	0,93
<u>Yapay Yüzeyler</u>	
Bitümlü ve çakıl çatı	0,87
Koyu bina yüzeyleri (kırmızı tuğla, koyu boyalar vb.)	0,73
Açık bina yüzeyleri (açık renkli boya ve tuğlalar vb.)	0,40
Yeni beton	0,65
Eski beton	0,75
Toprak yol	0,96

3.7.2. Maliyet Ve Optimum Kalınlığın Hesaplanması

Optimum kalınlık hesabı yapılırken ısıtmanın yıllık maliyeti, ömür maliyet analizi kullanılarak yapılmaktadır. Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti hesaplanırken Denklem 3.43 kullanılmaktadır.

$$C_A = \frac{86400 D G C_f}{\left(R_{duvar} + \frac{x}{k_y}\right) H u \eta} \quad (3.43)$$

Burada; C_f yakıt maliyeti (TL/m³), Hu Yakıtın alt ısı değeri (J/m³), η yakma sisteminin verimidir. Şimdiki değer (PV) , düzeltilmiş faiz oranına (r) ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Düzeltilmiş faiz oranı hesaplanırken Denklem 3.44 ve Denklem 3.45 kullanılmaktadır (Açıkkalp & Kandemir, 2019).

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (i > g) \quad (3.44)$$

$$r = \frac{g-i}{1+i} \quad (i < g) \quad (3.45)$$

Burada; i faiz oranı, g enflasyon olarak tanımlanmıştır. PV değeri Denklem 3.46 ile hesaplanmaktadır.

$$PV = \frac{(1+r)^{LT}-1}{r(1+r)^{LT}} \quad (3.46)$$

Burada; LT ömür süresidir. Bir sistemin kullanım ömrü boyunca enerji maliyet analizi, Ömür Maliyet Analizi ile yapılmaktadır. Toplam maliyet C_t (TL/m²) hesaplanırken Denklem 3.47 kullanılmaktadır (Bolattürk & Dağıdır, 2013).

$$C_A = \frac{86400 DGC_f PV}{\left(R_{duvar} + \frac{x}{k_y}\right) Hu \eta} + C_{t,ins} \quad (3.47)$$

Burada; $C_{t,ins}$ yalıtımın toplam maliyeti (TL/m²), PV ise şimdiki değerdir. Bir yapıyı ısıtmak için harcanacak enerji maliyetini en aza indiren yalıtım kalınlığı optimum yalıtım kalınlığı olarak kabul edilmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet Denklem 3.47 ile yalıtım kalınlığına göre türevinin alınarak 0'a eşitlenmesi ile elde edilmektedir. Optimum kalınlık Denklem 3.48 ile hesaplanmaktadır (Kon, 2014).

$$x_{opt} = 293.94 \left(\frac{DGC_f k_y PV}{Hu C_{ins} \eta} \right)^{1/2} - k R_{duvar} \quad (3.48)$$

C_{ins} Yalıtım malzemesinin birim fiyatı (TL/m³) olacak şekilde elde edilmektedir

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Erzincan ili Doğu Anadolu bölgesinde yer almasına rağmen ılıman bir iklime sahiptir Erzincan ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 9°C 'dir. Şehrin coğrafi konumu ve yerleşimi dağlar arasında kalması sebebiyle ortalama sıcaklığı Doğu Anadolu bölgesindeki soğuk illere nazaran daha ılımandır.

Binanın dış yüzeyleri, bina iç mahallerini dış ortamdan ayırmak için kullanılan dış yüzeylerin tamamı olarak tanımlanmaktadır. Dış yüzeyler; Dış duvarlar (tuğla vs. ile yapılan yüzeyler, betonarme yapılar), pencere ve dış yüzeye açılan kapılar, çatılar, toprak temaslı duvarlar, toprak temaslı tabanlardan oluşmaktadır. Bu çalışmada yalnız dış duvarlar dikkate alınmaktadır.

Kullanılacak yapı bileşenleri, yakıt ve yalıtım malzemeleri Tablo 4.1'de verilmektedir. Yapı bileşenleri bölgede sık kullanılan tuğla ve bims olarak seçilmiştir. Kullanılacak yakıtlar bölge şartlarında maliyet olarak kullanıma daha uygun olabilecek olan kömür, LPG, doğal gaz ve fuel oil olarak belirlenmiştir. Yalıtım malzemeleri ise performans olarak tercih edilen XPS, EPS ve taş yünü belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Çalışmada kullanılacak olan bileşenler

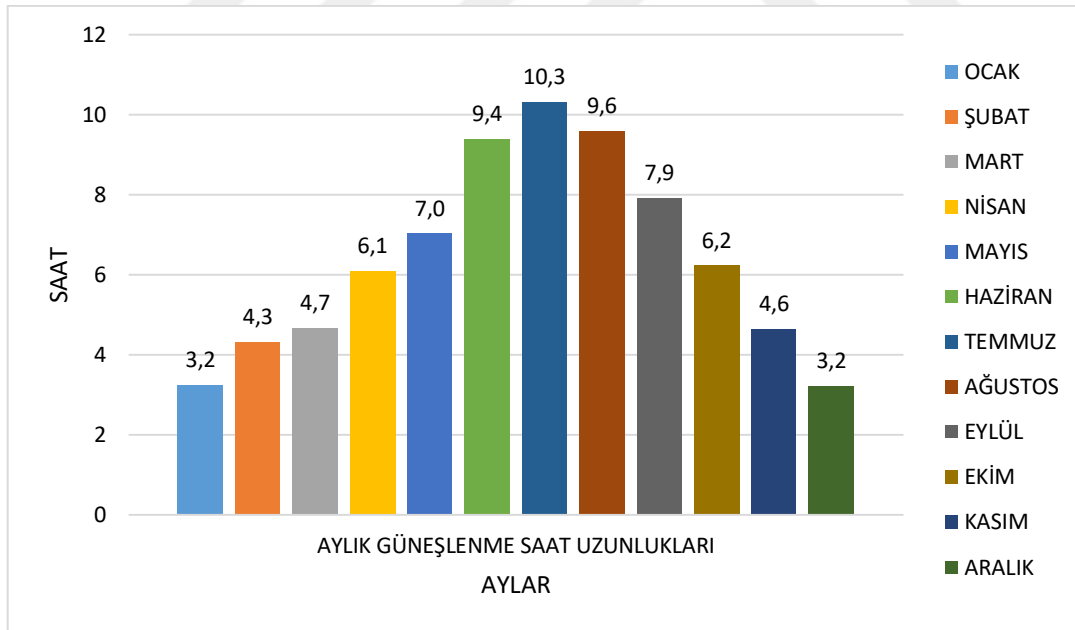
Yapı bileşeni	Kullanılacak Yakıt	Kullanılacak Yalıtım Malzemesi
Tuğla	LPG	XPS
Bims	Doğal gaz	EPS
	Fuel Oil	Taş yünü
	Kömür	

Seçilen bileşenler güneş radyasyonu dikkate alınarak ve güneş radyasyonsuz olacak şekilde farklı kombinasyonlar yapılarak optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanarak çalışmaya dahil edilmektedir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

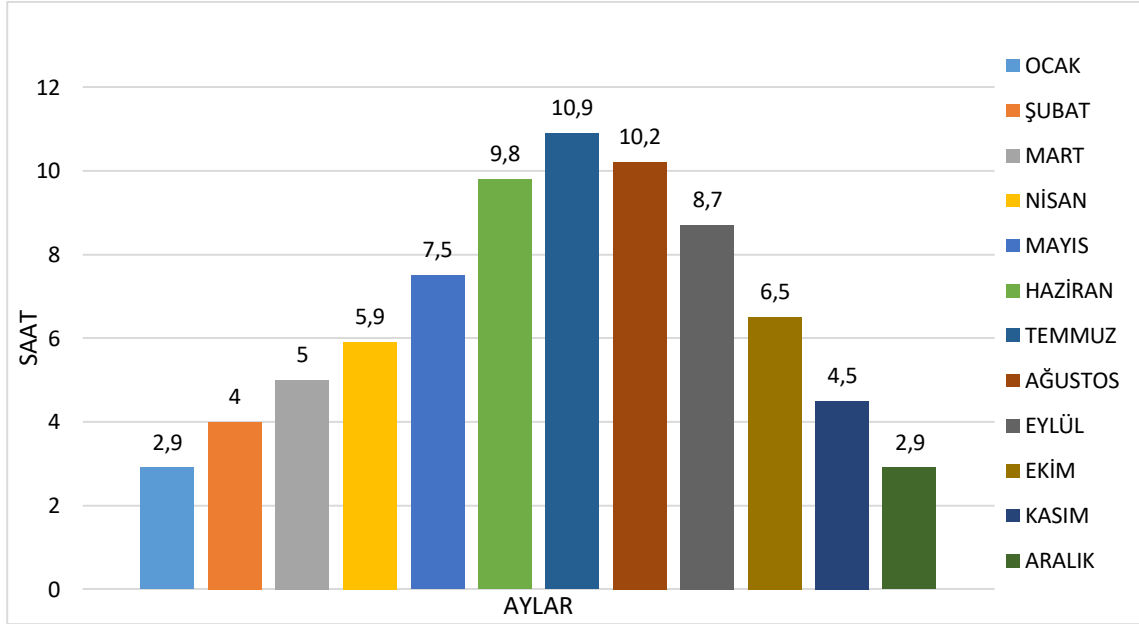
Bu çalışmada ilk olarak derece gün yöntemi kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı, maliyet ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Daha sonra optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken güneş ışınlamalarının yönlere göre etkisi çalışmaya dahil edilmiştir. Güneş ışınlamı bina sıcaklığını ısıtmasını birinci dereceden etkileyen etmenlerden biridir. Güneş ışınlamı çalışmaya dahil edilirken günlük güneşlenme süresi güneşlenme miktarlarına başvurulmaktadır. Kullanılan güneşlenme süresi bir gün içerisinde güneş alan saatlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Güneşlenme süresi bu çalışmada 2008-2018 yıllarının her ay ve her gününü kapsayan verilerin meteorolojiden alınarak ortalamasının hesaplanması ile oluşturulmaktadır. 10 yıllık günlük güneşlenme verileri EK 6'da verilmektedir.

2008 -2018 yılları da dahil olmak üzere 12 ayın her gününde ölçülen güneşlenme saatlerinin çalışmada kullanılmak üzere ortalaması alınmaktadır. Aylık ortalama güneşlenme saati çalışmada kullanılacağı için 12 ayın her günündeki güneşlenme saatinin ortalaması alınmaktadır. Şekil 5.1'de verilen grafikte 10 yıllık verilen aylık ortalamaları görülmektedir.



Şekil 5.1. Aylık ortalama güneşlenme saat uzunlukları

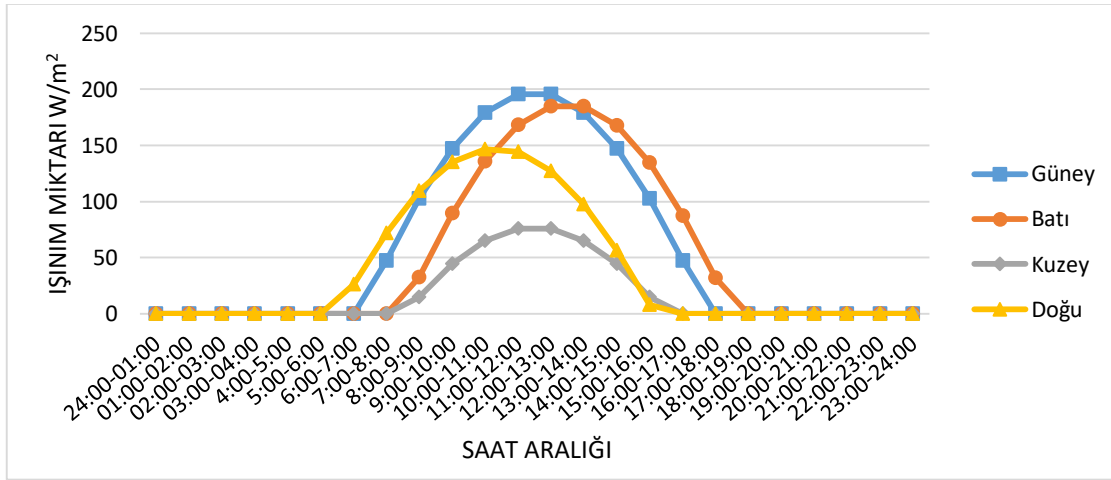
Meteorolojiden alınan aylık veriler Şekil 5.2’de verilmektedir. Meteoroloji verileri ile 10 yıllık veriler kıyaslandığında aylık değerlerin çok yakın olduğu görülmektedir. Işınlıma bağılı Derece gün çalışması yapılırken uzun yıllar ortalaması alınması mümkün olmayan çalışmalarda meteoroloji verilerinden yararlanılabilmektedir.



Şekil 5.2. Meteorolojiden alınan aylık güneşlenme saat uzunlukları(Meteoroloji, 2022)

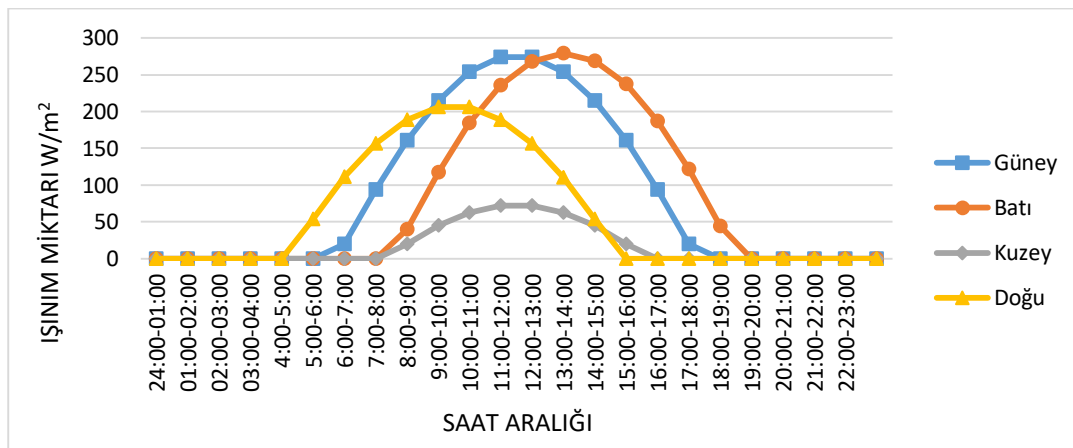
Güneş ışınlımlarının yalıtım kalınlığına etkisinin incelendiğı bu çalışmada dik yüzeylere gelen güneş ışınlımları hesaplanarak çalışmaya dahil edilmektedir. Tüm dik yüzeylere gelen toplam ışınlım hesaplanırken gün içerisindeki 24 saatin tamamı baz alınmaktadır. Güneş ışınlımının gelmediğı saatlerde ışınlım miktarı 0 olarak alınmaktadır. Işınlımın başlangıç ve bitiş saatleri arasında kuzey batı güney ve doğu olmak üzere dik yüzeylere gelen ışınlım miktarının tamamı aylık olarak hesaplanmaktadır. Dik yüzeylere gelen ışınlım miktarları belirlenirken kullanılan geliş açısı ve düzeltme faktörleri güneşlenme saatleri içerisindeki saatler için hesaplanarak ışınlım miktarına dahil edilmektedir. Güneş ışınlımının her yönde başlangıç saatleri güneşin doğuş ve batış doğrultusu baz alındığında değışiklik göstermektedir. Hesaplamalar yapılırken iki saat ortasındaki an dikkate alınmaktadır. Örneğın 15:00-16:00 saatleri arasındaki ışınlım hesaplanırken saat ortası olan 15:30 referans alınarak hesaplama yapılmaktadır.

Ocak ayı için Güney yönü için ısıtım almaya 7:00 de başlayıp 17:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ısıtım 8:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 8:00 de başlayıp 16:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 6:00 de başlayıp 16:00 da sona ermektedir. Ocak ayı için tüm dik yüzeylerin ısıtım miktarlarının gösterildiği grafik Şekil 5.3'te gösterilmektedir.



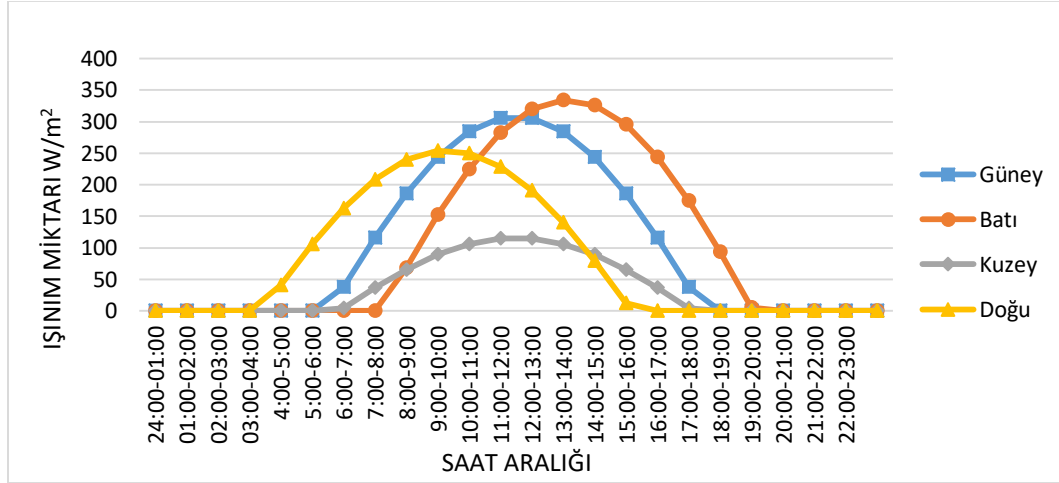
Şekil 5.3. Ocak ayı için dik yüzeylere gelen toplam ısıtım miktarı

Şubat ayı için Güney yönü için ısıtım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ısıtım 8:00 de başlayıp 19:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 8:00 de başlayıp 16:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 5:00 de başlayıp 15:00 da sona ermektedir. Şubat ayı için tüm dik yüzeylerin ısıtım miktarları Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



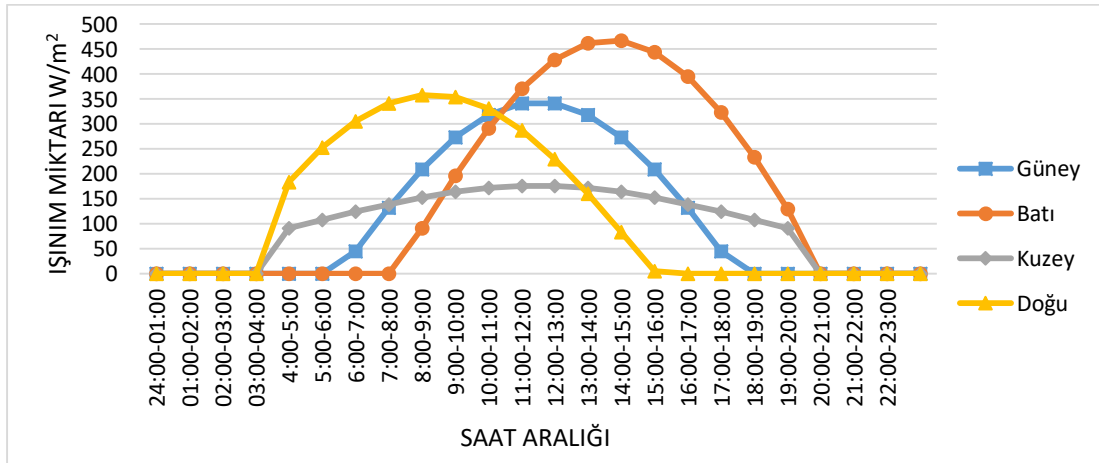
Şekil 5.4. Şubat ayı için dik yüzeylere gelen toplam ısıtım miktarı

Mart ayı için Güney yönü için ısıtım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ısıtım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 16:00 da sona ermektedir. Mart ayı için tüm dik yüzeylerin ısıtım miktarlarının gösterildiği grafik Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



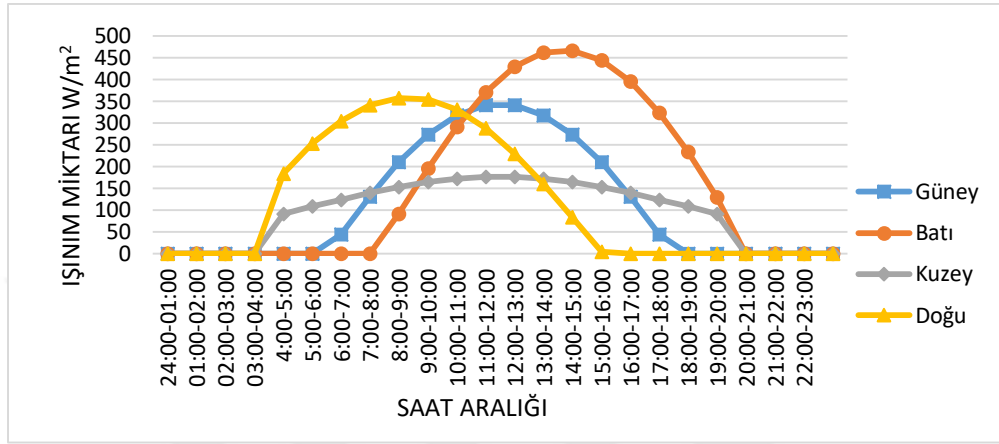
Şekil 5.5. Mart ayı için dik yüzeylere gelen toplam ısıtım miktarı

Nisan ayı için Güney yönü için ısıtım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ısıtım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 4:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 15:00 da sona ermektedir. Nisan ayı için tüm dik yüzeylerin ısıtım miktarları Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



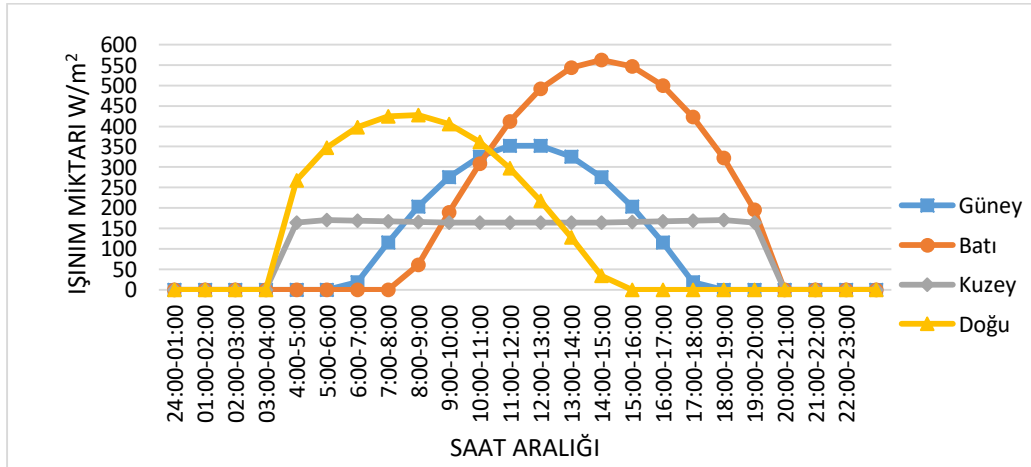
Şekil 5.6. Nisan ayı için dik yüzeylere gelen toplam ısıtım miktarı

Mayıs ayı için Güney yönü için ışıınım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ışıınım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 4:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 16:00 da sona ermektedir. Mayıs ayı için tüm dik yüzeylerin ışıınım miktarlarının gösterildiğı grafik Şekil 5.7’de gösterilmektedir.



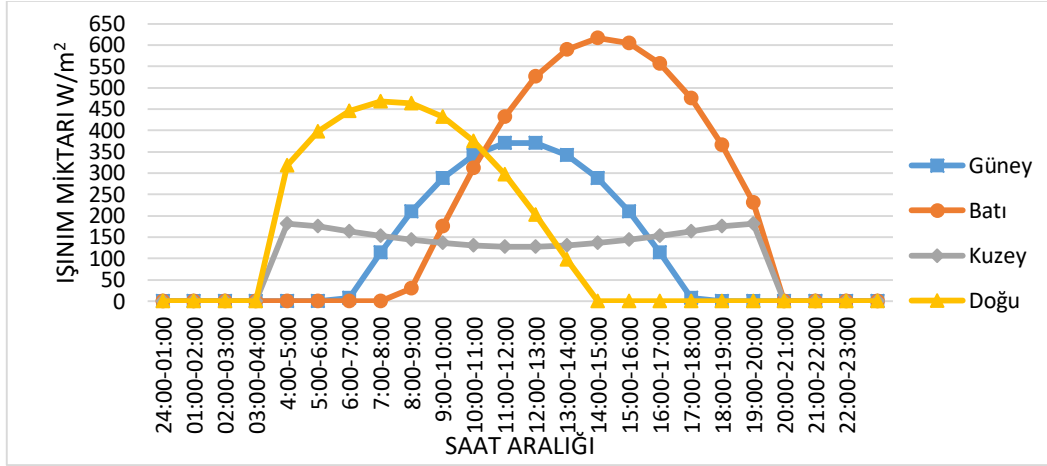
Şekil 5.7. Mayıs ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı

Haziran ayı için Güney yönü için ışıınım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ışıınım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 4:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 15:00 da sona ermektedir. Haziran ayı için tüm dik yüzeylerin ışıınım miktarları Şekil 5.8’de gösterilmektedir.



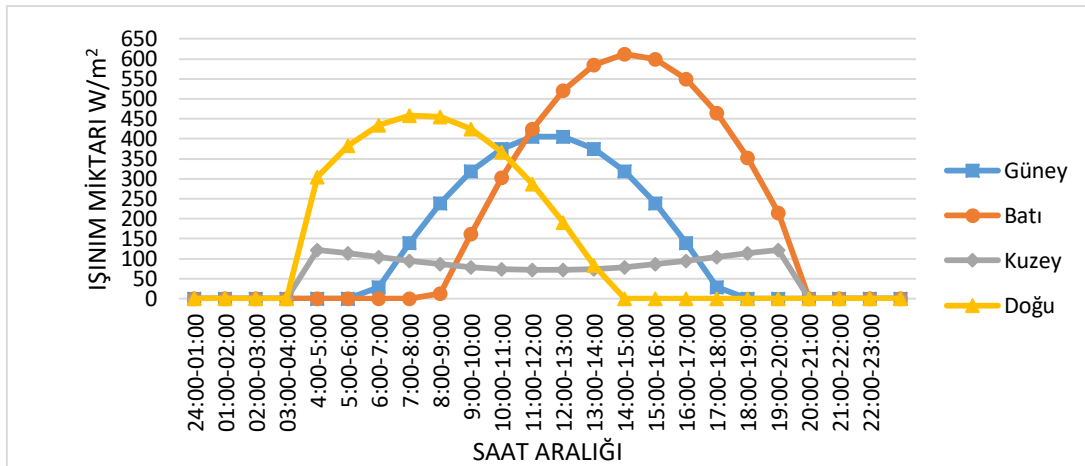
Şekil 5.8. Haziran ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı

Temmuz ayı için Güney yönü için ışıınım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ışıınım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 4:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 14:00 da sona ermektedir. Temmuz ayı için tüm dik yüzeylerin ışıınım miktarları Şekil 5.9’da gösterilmektedir.



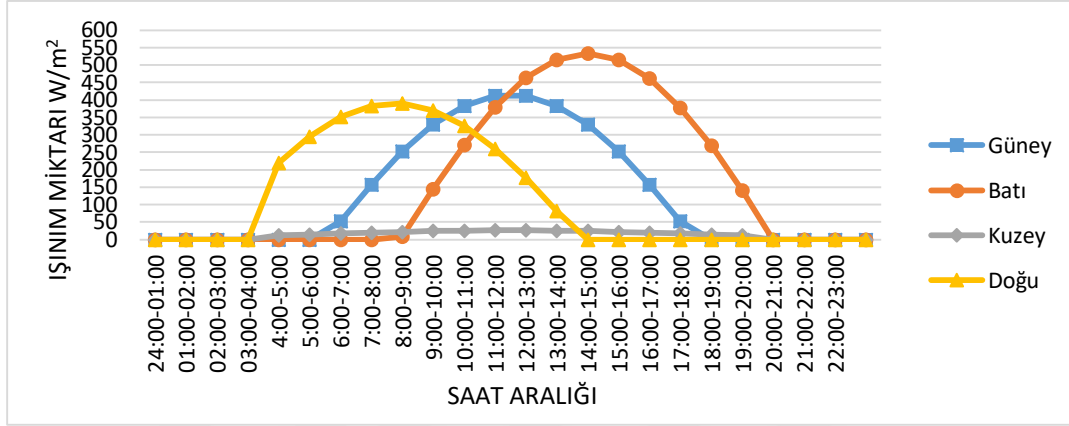
Şekil 5.9. Temmuz ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı

Ağustos ayı için Güney yönü için ışıınım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ışıınım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 4:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 14:00 da sona ermektedir. Ağustos ayı için tüm dik yüzeylerin ışıınım miktarları Şekil 5.10’da gösterilmektedir.



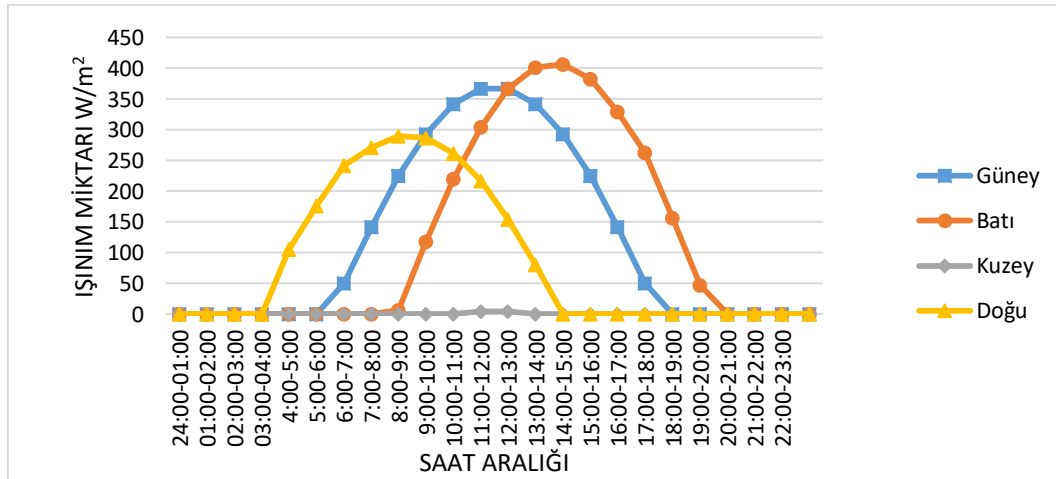
Şekil 5.10. Ağustos ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı

Eylül ayı için Güney yönü için ışıınım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ışıınım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 4:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 14:00 da sona ermektedir. Eylül ayı için tüm dik yüzeylerin ışıınım miktarları Şekil 5.11’de gösterilmektedir.



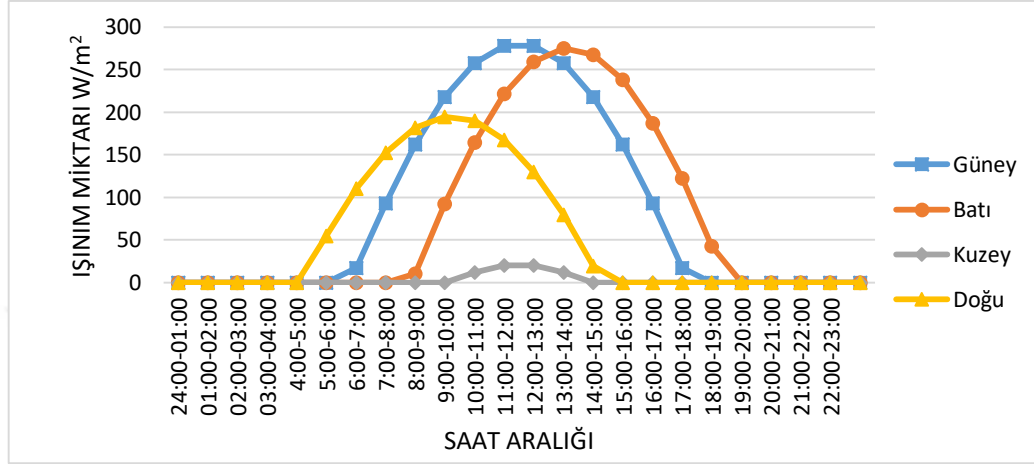
Şekil 5.11. Eylül ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı

Ekim ayı için Güney yönü için ışıınım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ışıınım 8:00 de başlayıp 20:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 11:00 de başlayıp 13:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 4:00 de başlayıp 14:00 da sona ermektedir. Ekim ayı için tüm dik yüzeylerin ışıınım miktarları Şekil 5.12’de gösterilmektedir.



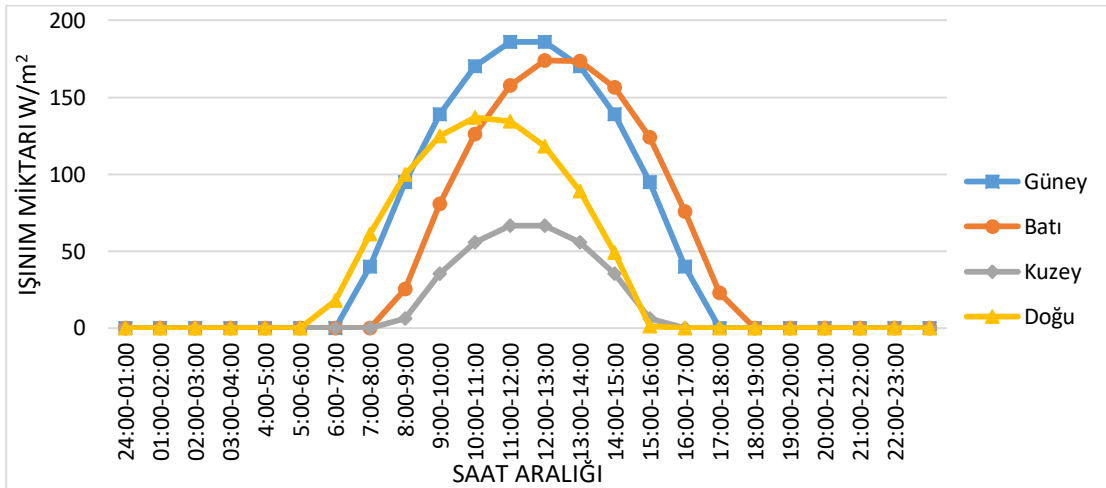
Şekil 5.12. Ekim ayı için dik yüzeylere gelen toplam ışıınım miktarı

Kasım ayı için Güney yönü için ısıtım almaya 6:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ısıtım 8:00 de başlayıp 19:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 10:00 de başlayıp 14:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 5:00 de başlayıp 15:00 da sona ermektedir. Kasım ayı için tüm dik yüzeylerin ısıtım miktarlarının gösterildiği grafik Şekil 5.13'te gösterilmektedir.



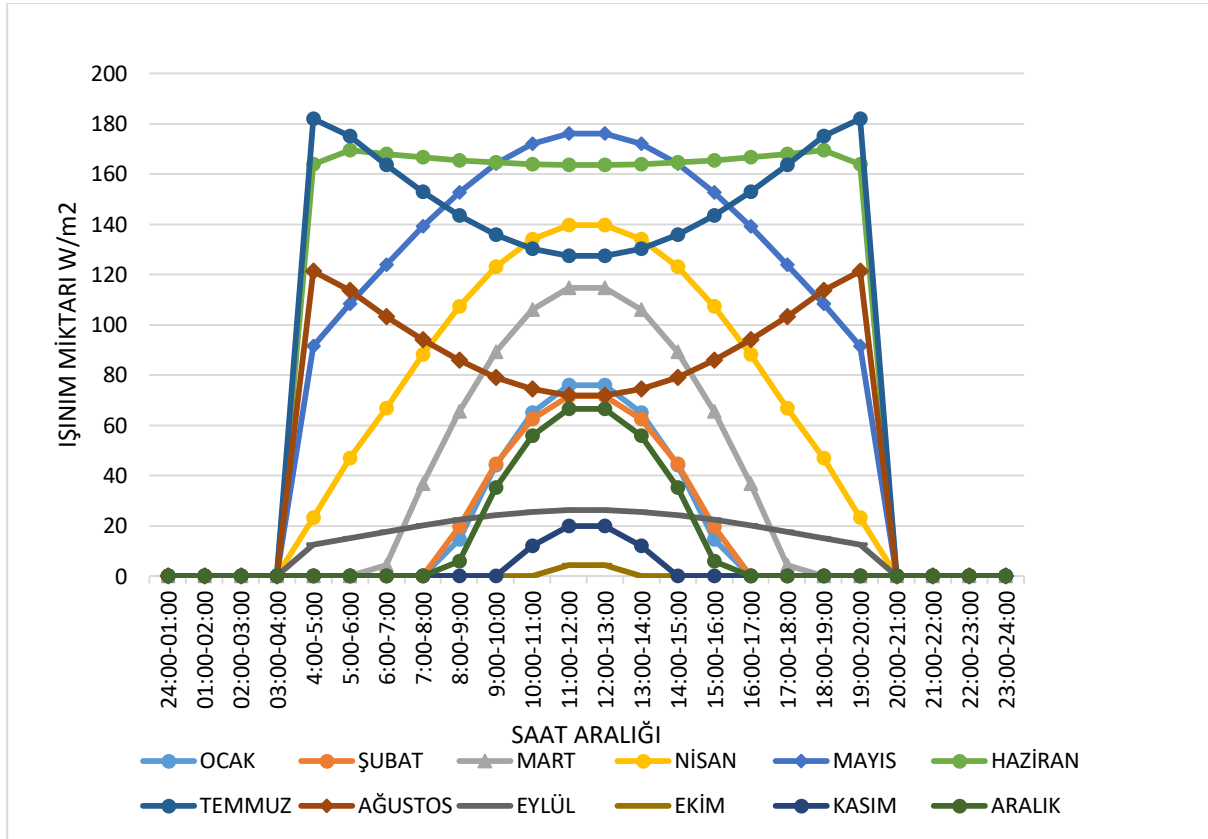
Şekil 5.13. Kasım ayı için dik yüzeylere gelen toplam ısıtım miktarı

Aralık ayı için Güney yönü için ısıtım almaya 7:00 de başlayıp 15:00 da sona ermektedir. Batı yönü için ısıtım 8:00 de başlayıp 18:00 da sona ermektedir. Kuzey yönü için 8:00 de başlayıp 16:00 da sona ermektedir. Doğu yönü için ise 6:00 de başlayıp 16:00 da sona ermektedir. Kasım ayı için tüm dik yüzeylerin ısıtım miktarlarının gösterildiği grafik Şekil 5.14'te gösterilmektedir.



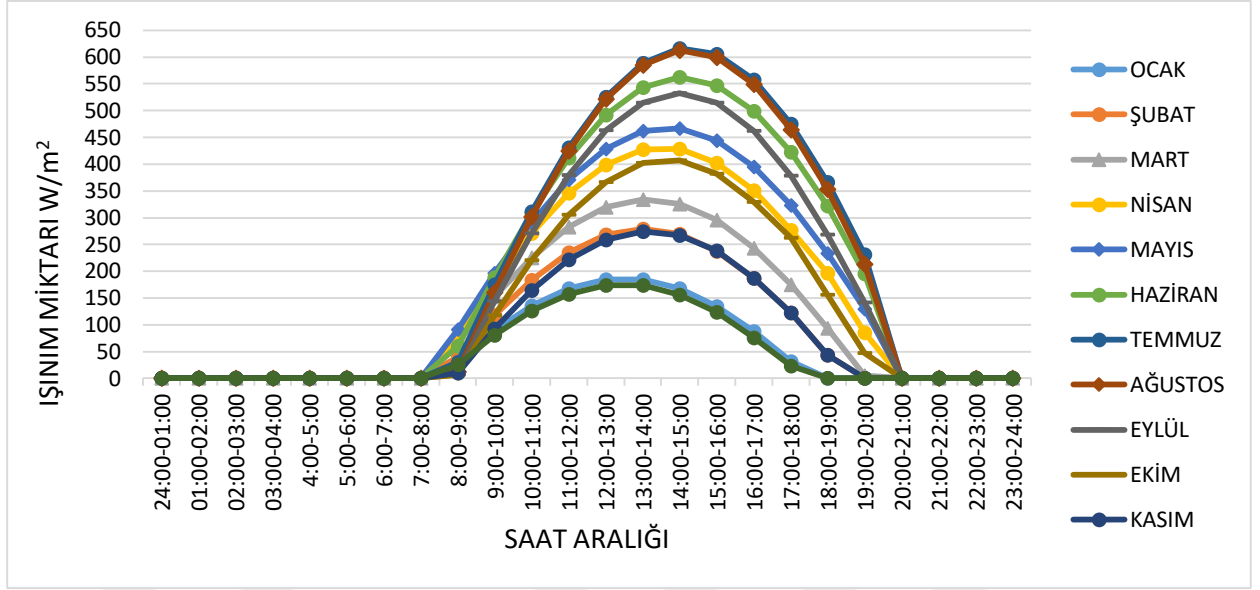
Şekil 5.14. Aralık ayı için dik yüzeylere gelen toplam ısıtım miktarı

Her ay için yapılan hesaplamalar çalışmanın ana materyali olan yönler için bir araya getirildiğinde kuzey yönüne gelen ışınlımların yaz aylarında daha geniş saat aralıklarında haliyle daha fazla ısınım aldığı görülmektedir. Kış aylarında ise sadece gün ortası saatlerde ısınım alabildiği görülmektedir. Bu sebeple dört cephe içerisinde en az ısınım alan yönün kuzey yönü olduğu görülmektedir. Kuzey yönüne gelen aylık ısınım miktarları Şekil 5.15'te verilmektedir.



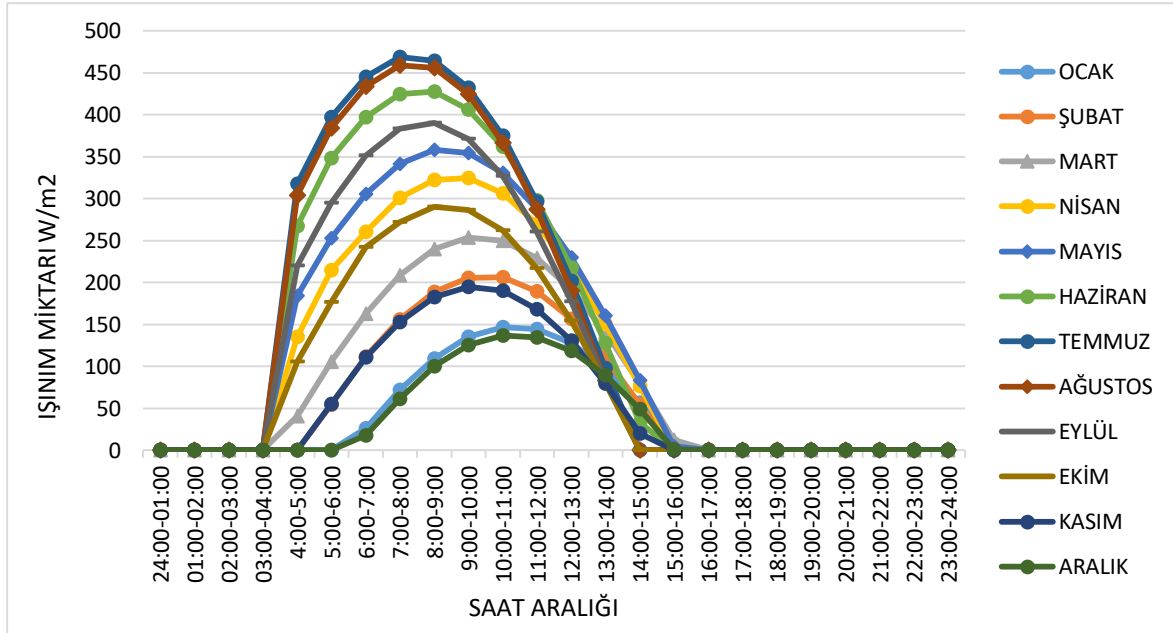
Şekil 5.15. Kuzey yönündeki dik duvara gelen ısınım

Batı yönüne gelen ışınlımlar tek grafikte birleştirildiğinde her ay için saat aralıkları değişiklik gösterse de gün sonunda yoğunluk göstermektedir. Güneş batışı sırasında en fazla ısınıma maruz kalan dış yüzey batı yönündeki dik yüzey olduğu görülmektedir. Batı yönündeki dik yüzeye gelen aylık ısınım miktarlarını gösteren grafik Şekil 5.16'da verilmektedir.



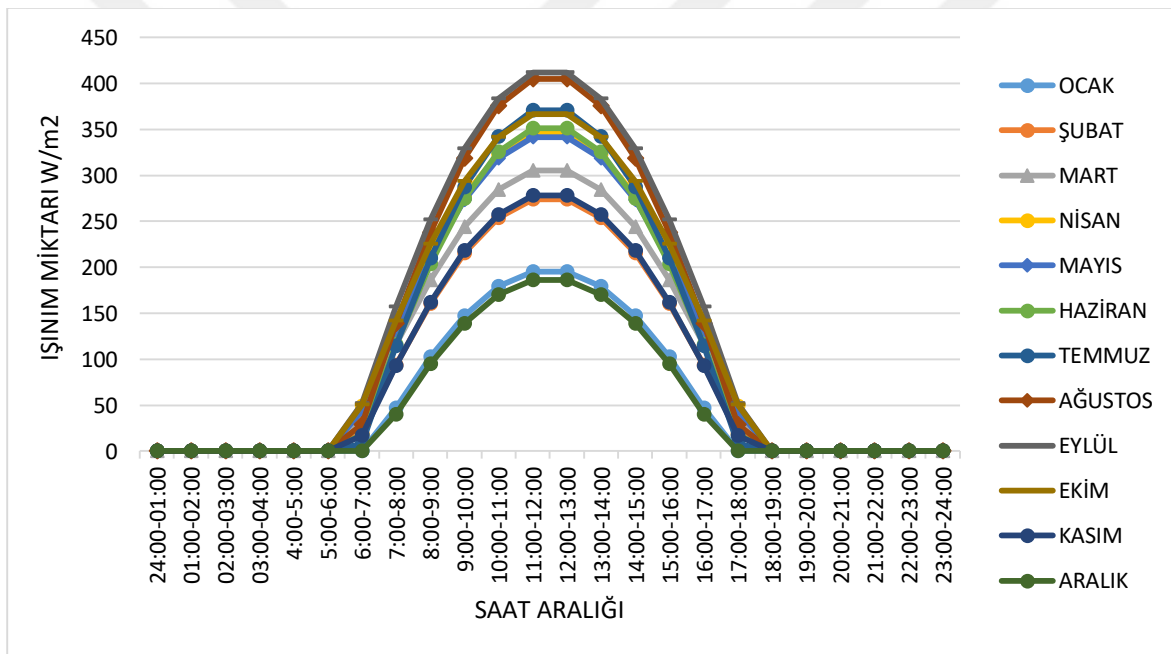
Şekil 5.16. Batı yönündeki dik duvara gelen ısıtım

Doğu yönüne gelen güneş ışınlamaları incelendiğinde ise batı yönündeki gibi saat aralıkları değişiklik gösterse bile gün doğumu sırasında en fazla güneş ışınlamına doğu yönündeki cephe maruz kalmaktadır. Bu sebeple doğu yönündeki ısıtım miktarı günün ilk saatlerinde yoğunluk göstermektedir. Batı yönüne gelen güneş ışınlamaları Şekil 5.17’de verilmektedir.



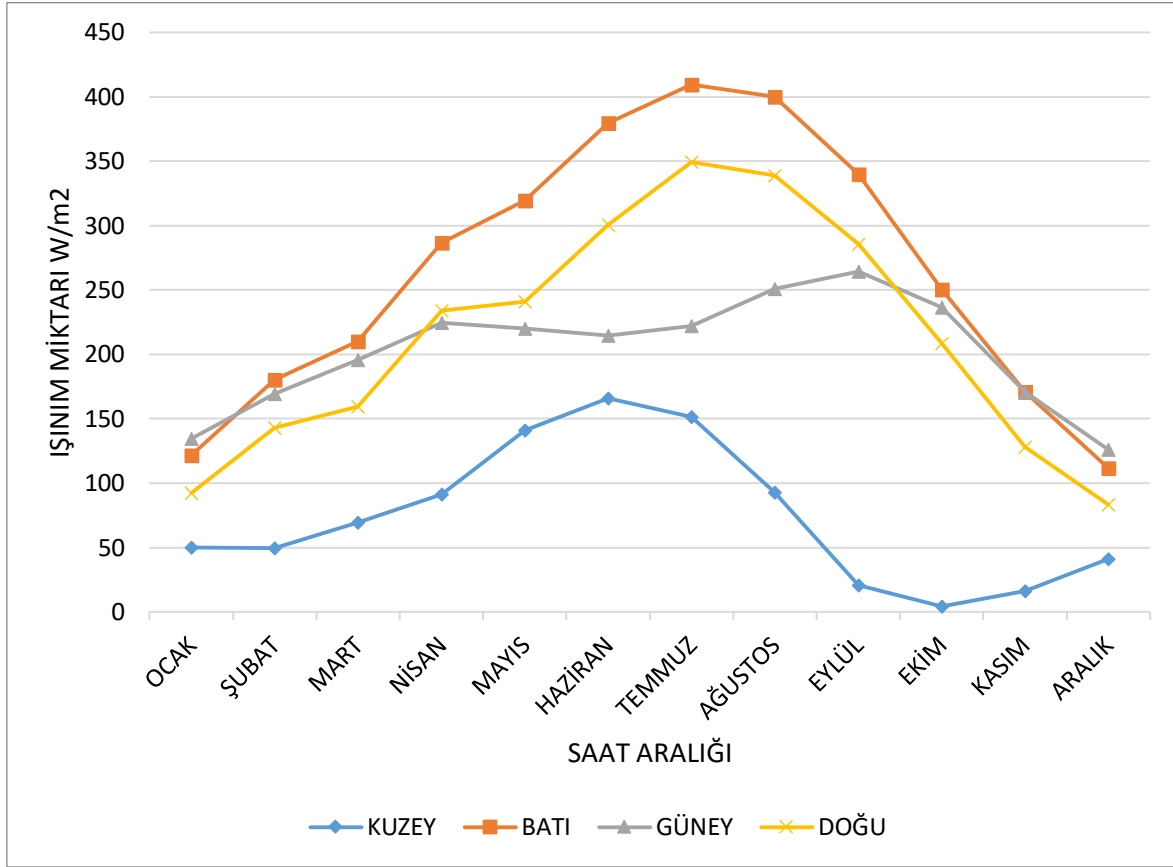
Şekil 5.17. Doğu yönündeki dik duvara gelen ısıtım

Güney yönüne gelen güneş ışınlamaları incelendiğinde güney yönünün en fazla ışınlam alan cephe olduğu görülmektedir. Güneş ışınlamı güneşin doğuşundan batışına kadar neredeyse her saat aralığında güney yönüne denk gelmektedir. Bu sebeple ay fark etmeksizin en fazla ışınlamı güney yönü almaktadır. En fazla sıcaklığa sahip cephe bu sebeple güney cephesi olarak bilinmektedir. Güney yönüne gelen güneş ışınlamaları Şekil 5.18’de verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde kuzey yönüne gelen ışınlam miktarı aylara göre gözle görülür şekilde değişiklik göstermektedir. Doğu yönü güneşin doğuş yönü olduğundan 12 ay boyunca ışınlam miktarları değişiklik gösterse bile günün ilk saatlerinde yoğunken batı yönünde ise gün batım saatlerinde yoğunluk göstermektedir. Güney yönünün ise günün tüm saatlerinde her ay için ışınlam aldığı görülmektedir.



Şekil 5.18. Güney yönündeki dik duvara gelen ışınlam

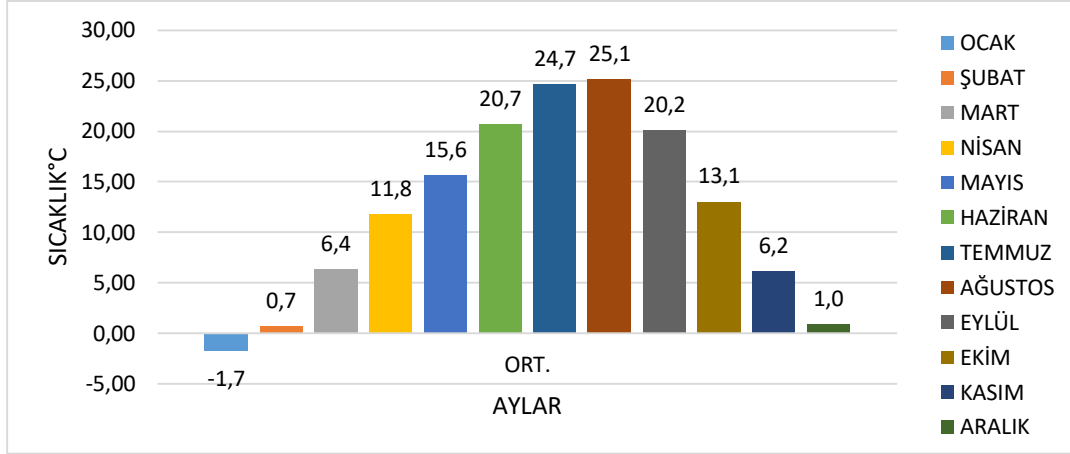
Dik yüzeylere gelen ışınlam miktarları incelendiğinde doğu ve batı yönleri için yaz mevsimlerinde daha fazla ışınlam alırken yılın tamamı göz önüne alındığında güney yönünde ışınlam miktarı daha fazladır. Güneş ışınlamının etkisiyle dik yüzeylerdeki sıcaklar değişiklik göstermektedir. Bu nedenle dik yüzeyler arasında bu sıcaklıklar en düşük olduğu yön kuzeydir. T_{g-h} değerleri de ışınlam değerleriyle uyumludur. Hesaplama sonuçları literatür ile benzerlik göstermektedir (Kaynaklı vd. 2012).



Şekil 5.19. Tüm yönlerde gelen ışıının

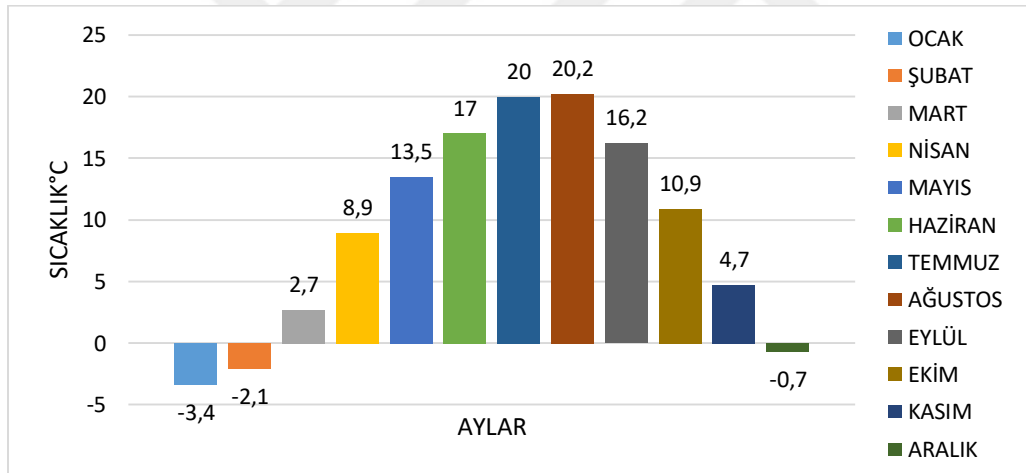
Meteorolojiden alınan ve çalışmada kullanılan bir diğer parametre günlük ortalama sıcaklık (T_a) kavramıdır. 2008-2018 yıllarının her ay ve her gününü kapsayan verilerin meteorolojiden alınarak ortalamasının hesaplanması ile oluşturulmaktadır. 10 yıllık günlük ortalama sıcaklık verileri ortalaması Ek-7’de verilmektedir.

Meteorolojiden alınan 10 yıllık verilerin aylık olarak ortalamaları Şekil 5.19’da verilmektedir. 10 yıllık verilerin ortalaması ile meteoroloji verileri kıyaslandığında aylık değerlerin çok yakın olduğu görülmektedir. Uzun yıllar ortalaması alınması mümkün olmayan çalışmalarda meteoroloji verilerinden yararlanılabilmektedir. Meteoroloji verileri ise Şekil 5.20’de verilmektedir.



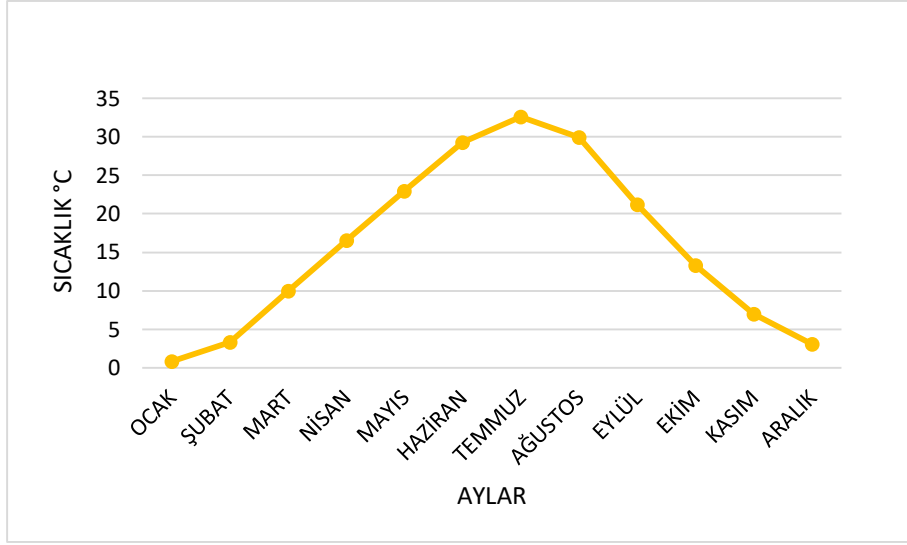
Şekil 5.20. Aylara göre günlük ortalama sıcaklığının aylara göre değişimi

Yönlere bağlı olarak yapılan bu çalışmada hesaplanan diğer parametre güneş – hava sıcaklığıdır (T_{g-h}). Kuzey, batı, güney ve doğu yönleri için 12 ayın T_{g-h} sıcaklıkları hesaplanarak Şekil 5.21’de verilmektedir.



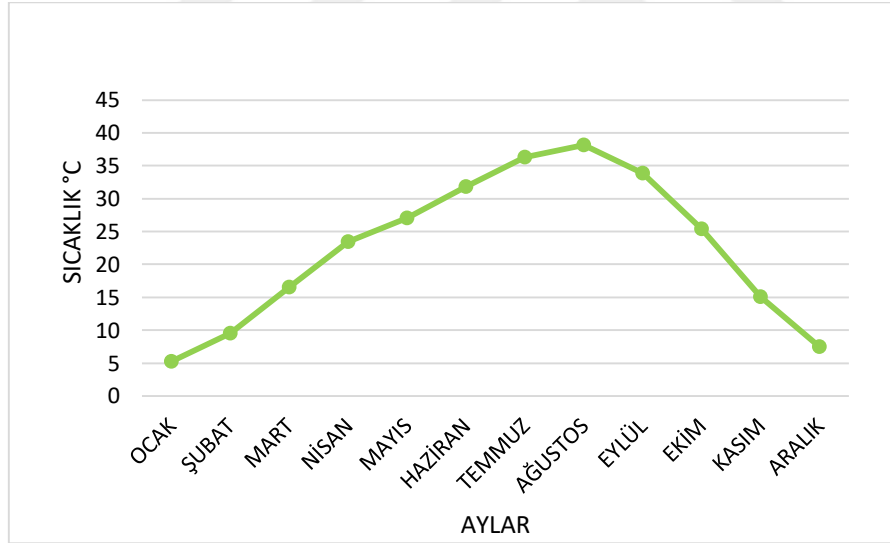
Şekil 5.21. Meteorolojiden alınan aylık ortalama günlük ortalama sıcaklığı (Meteoroloji, 2022)

Kuzey yönündeki duvar için T_{g-h} sıcaklıkları Şekil 5.22’de verilmektedir. Yönler arasında en düşük T_{g-h} sıcaklıkları kuzey yönünde görülmektedir.



Şekil 5.22. Kuzey yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi

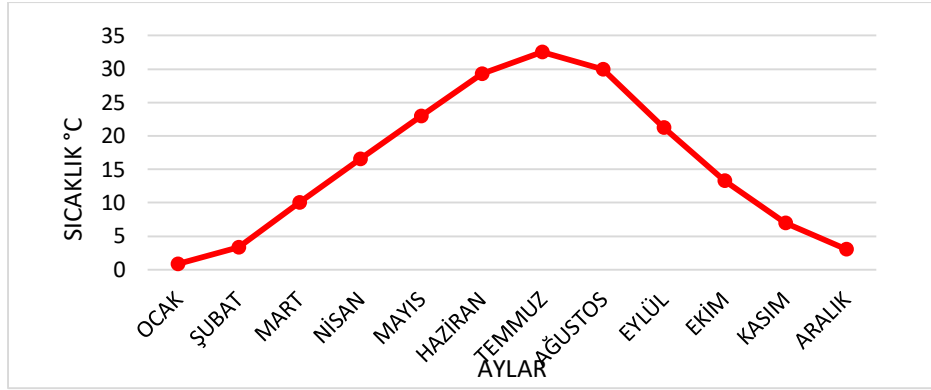
Güney yönlü duvar için Tg-h sıcaklıkları Şekil 5.23’de verilmektedir. Kuzey yönündeki sonra en düşük Tg-h sıcaklığı güney yönlü duvarda görülmektedir.



Şekil 5.23. Güney yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi

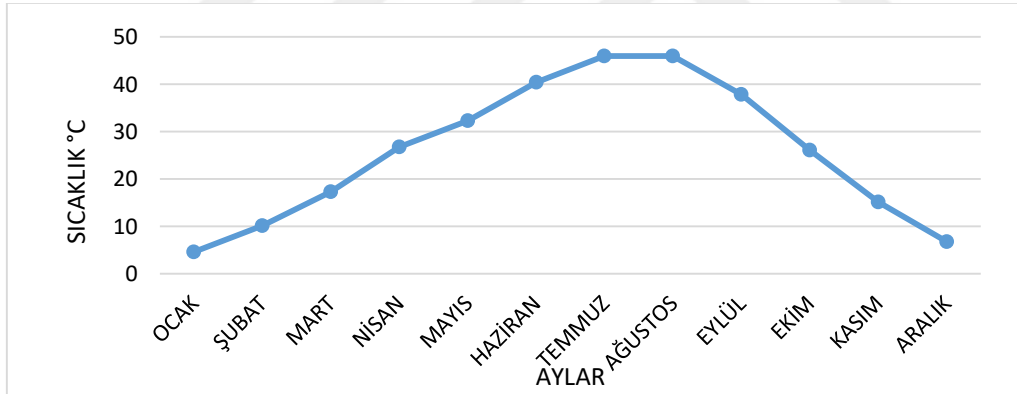
Doğu yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları Şekil 5.24’te verilmektedir. Doğu yönündeki duvar için Tg-h sıcaklığı en yüksek ikinci sıcaklık olarak görülmektedir.

Doğu yönden doğan güneş ile doğu yönünde Tg-h sıcaklığı batı yönünden sonra en yüksek Tg-h sıcaklığı doğu yönüne aittir.



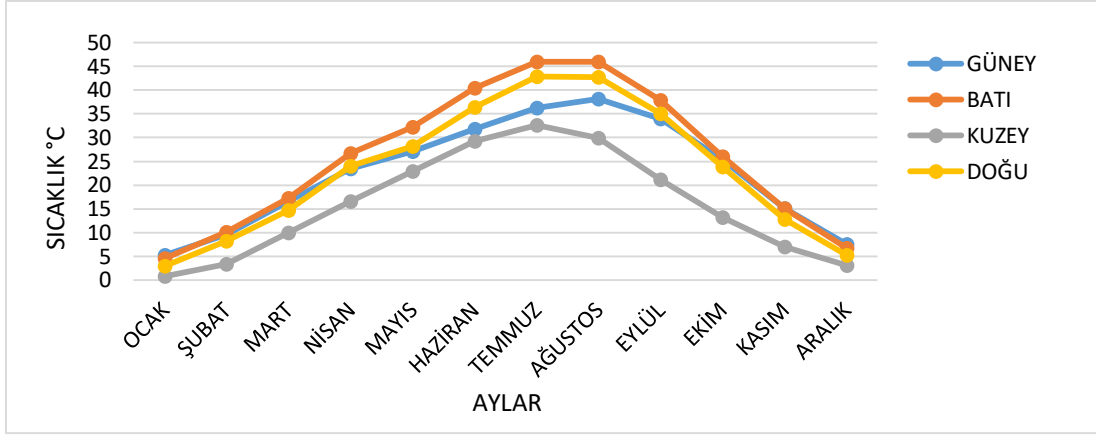
Şekil 5.24. Doğu yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi

Batı yönündeki duvar için Tg-h sıcaklığı Şekil 5.25'te verilmektedir. En yüksek güneş hava sıcaklığı gün içerisinde sıcaklıktan yararlanarak gün batımı sırasında da güneş almaya devam ettiği için batı yönünde görülmektedir.



Şekil 5.25. Batı yönündeki duvar için Tg-h sıcaklıkları aylara göre değişimi

Şekil 5.26'da verilen güneş-hava sıcaklığı grafiği incelendiğinde en yüksek sıcaklıklara yaz aylarında ulaşıldığı görülmektedir. Dört yön kıyaslandığında en yüksek güneş-hava sıcaklıkları tüm gün ısınan gün batımında ise fazladan gün ışığı gören batı yönünde olduğu görülmektedir. Güneş doğarken gün ışığı alan doğu yönünün batı yönünden sonra en yüksek güneş-hava sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. En düşük güneş hava sıcaklığı ise kuzey yönündedir.



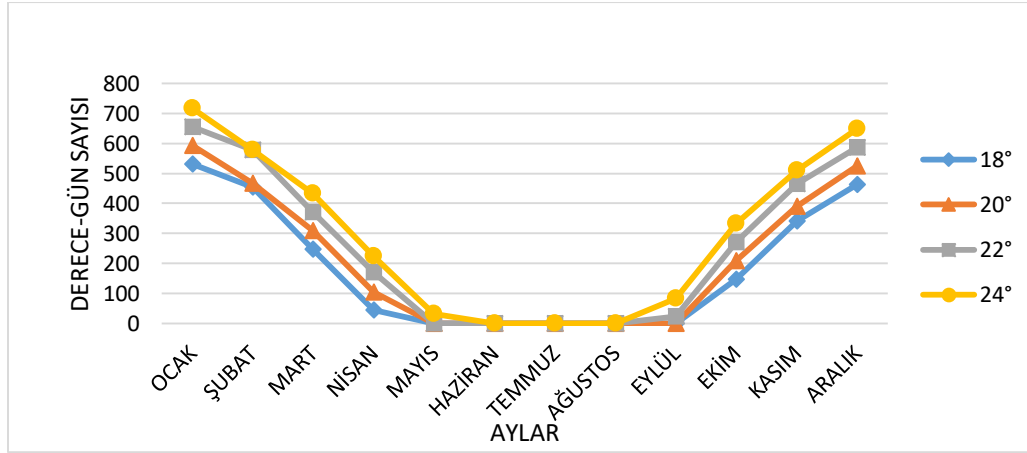
Şekil 5.26. Tüm yönlerin T_{g-h} sıcaklıklarının aylara göre değişimi

Derece Gün sayısı hesaplanırken T_b olarak gösterilen referans sıcaklığı kullanılmaktadır. Referans sıcaklıkları mahal sıcaklıkları olarak kabul edilmektedir. Binalarda hangi mahalin dış yüzeye denk geleceği bilinmemektedir. Bu çalışmada kullanılan referans sıcaklıklar ara mahallerde istenilen konfor sıcaklığı ve en düşük 18°C, 20°C, 22°C, banyoda istenilen konfor sıcaklığı ve en yüksek 24°C dir. Kuzey yönlü dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı 18°C, 20°C, 22°C ve 24°C için Tablo 5.1'te verilmektedir. T_{g-h} sıcaklıklarının referans sıcaklıklardan (T_b) büyük olduğu aylar 0 olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 5.1. Kuzey yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı

	18°C	20°C	22°C	24°C
OCAK	531,7	593,7	655,7	717,7
ŞUBAT	454,9	466,9	578,9	578,9
MART	247,8	309,8	371,8	433,8
NİSAN	45,3	103,8	169,3	223,8
MAYIS	0,0	0,0	0,0	32,0
HAZİRAN	0,0	0,0	0,0	0,0
TEMMUZ	0,0	0,0	0,0	0,0
AĞUSTOS	0,0	0,0	0,0	0,0
EYLÜL	0,0	0,0	24,0	83,2
EKİM	146,2	208,2	270,2	332,2
KASIM	341,5	390,5	465,5	510,5
ARALIK	462,5	524,5	586,5	648,5

Kuzey yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısının tablo verileri Şekil 5.27’de grafik olarak verilmektedir.

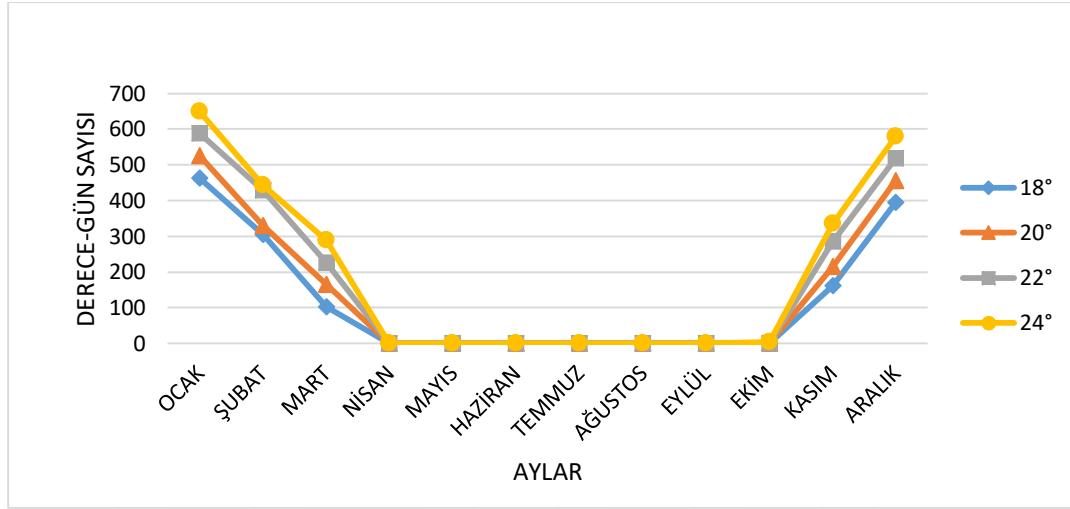


Şekil 5.27. Kuzey yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi
Doğu yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı 18°C, 20°C, 22°C ve 24°C için Tablo 5.2’te verilmektedir.

Tablo 5.2. Doğu yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı

	18°C	20°C	22°C	24°C
OCAK	463,5	525,5	587,5	649,5
ŞUBAT	304,0	330,6	428,0	442,6
MART	102,8	164,8	226,8	288,8
NİSAN	0,0	0,0	0,0	0,6
MAYIS	0,0	0,0	0,0	0,0
HAZİRAN	0,0	0,0	0,0	0,0
TEMMUZ	0,0	0,0	0,0	0,0
AĞUSTOS	0,0	0,0	0,0	0,0
EYLÜL	0,0	0,0	0,0	0,0
EKİM	0,0	0,0	0,0	3,1
KASIM	160,6	215,4	284,6	335,4
ARALIK	394,2	456,2	518,2	580,2

Doğu yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısının tablo verileri Şekil 5.28’de grafik olarak verilmektedir.

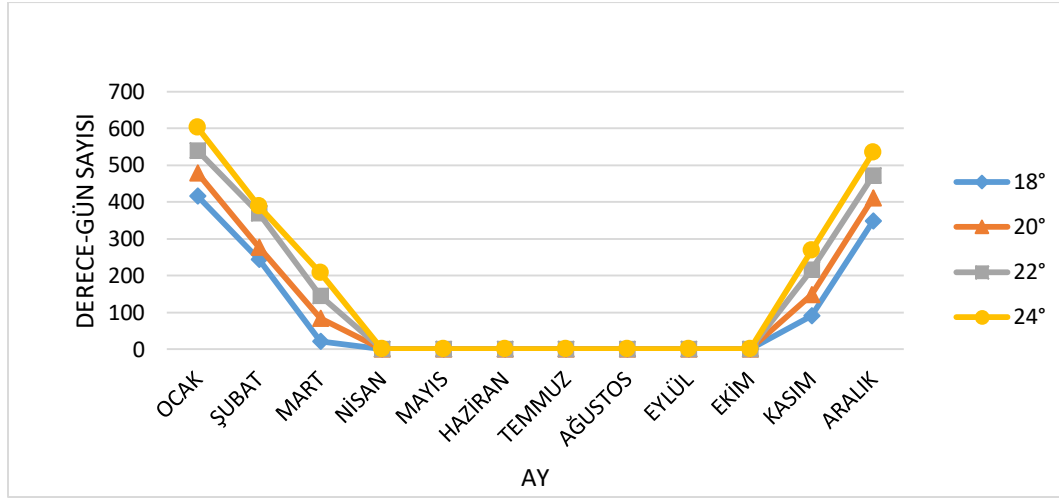


Şekil 5.28. Doğu yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi
Batı yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı 18°C, 20°C, 22°C ve 24°C için Tablo 5.3’te verilmektedir.

Tablo 5.3. Batı yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı

	18°C	20°C	22°C	24°C
OCAK	416,1	478,1	540,1	602,1
ŞUBAT	244,4	276,7	368,4	388,7
MART	21,2	83,2	145,2	207,2
NİSAN	0,0	0,0	0,0	0,0
MAYIS	0,0	0,0	0,0	0,0
HAZİRAN	0,0	0,0	0,0	0,0
TEMMUZ	0,0	0,0	0,0	0,0
AĞUSTOS	0,0	0,0	0,0	0,0
EYLÜL	0,0	0,0	0,0	0,0
EKİM	0,0	0,0	0,0	0,0
KASIM	91,6	148,6	215,6	268,6
ARALIK	348,5	410,5	472,5	534,5

Batı yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısının tablo verileri Şekil 5.29’da grafik olarak verilmektedir.

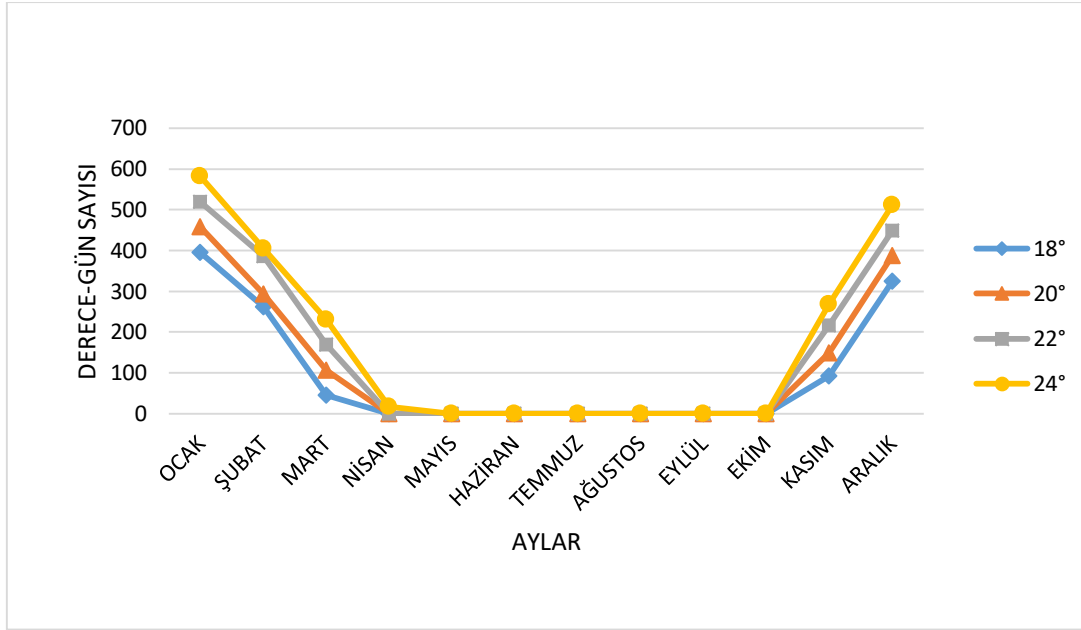


Şekil 5.29. Batı yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi
Güney yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı 18°C, 20°C, 22°C ve 24°C için Tablo 5.4’da verilmektedir.

Tablo 5.4. Güney yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısı

	18°C	20°C	22°C	24°C
OCAK	395,7	457,7	519,7	581,7
ŞUBAT	261,9	292,5	385,9	404,5
MART	44,5	106,5	168,5	230,5
NİSAN	0,0	0,0	0,0	16,1
MAYIS	0,0	0,0	0,0	0,0
HAZİRAN	0,0	0,0	0,0	0,0
TEMMUZ	0,0	0,0	0,0	0,0
AĞUSTOS	0,0	0,0	0,0	0,0
EYLÜL	0,0	0,0	0,0	0,0
EKİM	0,0	0,0	0,0	0,0
KASIM	91,6	148,7	215,6	268,7
ARALIK	325,2	387,2	449,2	511,2

Güney yönündeki dik yüzey için 12 aylık derece gün sayısının tablo verileri Şekil 5.30'da grafik olarak verilmektedir.

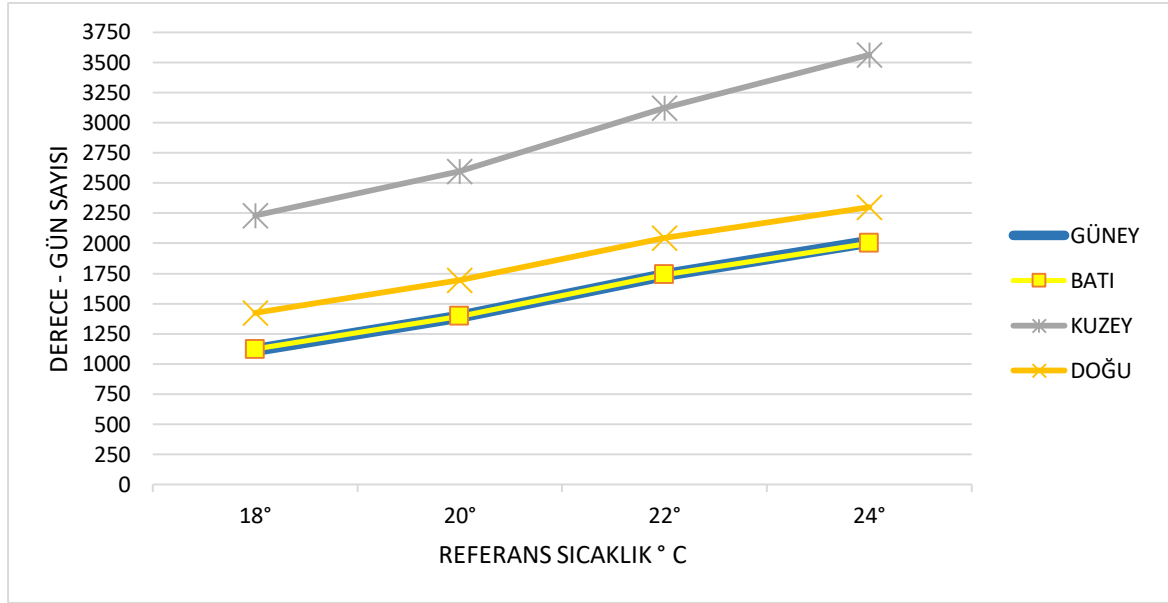


Şekil 5.30. Güney yönündeki dik yüzey için derece gün sayısının aylara göre değişimi

Güneş-hava sıcaklığı kullanılarak hesaplanan derece gün sayılarının yönlere göre grafiği Şekil 5.31'de gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde en yüksek derece gün sayısının kuzey yönünde olduğu görülmektedir. Sırayla doğu batı ve güney yönlerinin derece gün sayılarının azaldığı görülmektedir.

Işınım ve güneş hava sıcaklığı ile ters orantılı olan derece gün sayısı için en düşük güneş hava sıcaklığı ve ışıınım miktarına sahip olan kuzey yönü için en fazladır. Güney ve batı yönleri için hesaplanan derece gün sayısı çok yakın olmasına rağmen en düşük derece gün sayısı güney yönüne aittir.

Çalışmada derece gün sayısı ortalama kuzey yönü için 2598, doğu yönü için 1693, batı yönü için 1398 ve güney yönü için 1392 olarak belirlenmiştir. Yönler göre hesaplanan derece gün sayıları kullanılarak farklı yapı malzemeleri ve yakıt kombinasyonları ile optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmaktadır.



Şekil 5.31. Yönlere göre derece gün sayıları

Bu çalışmada yapı malzemesi olarak tuğla ve bims, Yakıt olarak kömür, LPG, fuel oil ve doğal gaz, yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü optimum yalıtım kalınlığı hesapları yapılırken kullanılmaktadır. Tüm dik yüzeyler için optimum yalıtım kalınlığı tüm malzeme kombinasyonları için hesaplanmaktadır. Kuzey yönlü duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için yalıtım kalınlıkları(m) seçilen referans sıcaklıklarına göre Tablo 5.5’de verilmektedir.

Tablo 5.5. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)

	TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL			
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,063	0,070	0,078	0,084	XPS	0,059	0,065	0,073	0,080
EPS	0,089	0,097	0,109	0,117	EPS	0,083	0,092	0,103	0,112
TAŞ					TAŞ	0,109	0,119	0,133	0,144
YÜNÜ	0,114	0,125	0,139	0,150	YÜNÜ				

Tablo 5.5. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m) (Devamı)

TUĞLA /LPG					BİMS /LPG				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,096	0,105	0,117	0,126	XPS	0,092	0,101	0,112	0,121
EPS	0,134	0,146	0,162	0,175	EPS	0,129	0,141	0,157	0,169
TAŞ YÜNÜ	0,171	0,186	0,206	0,221	TAŞ YÜNÜ	0,165	0,180	0,200	0,215
TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,041	0,046	0,052	0,057	XPS	0,037	0,042	0,048	0,052
EPS	0,059	0,065	0,073	0,080	EPS	0,053	0,060	0,068	0,074
TAŞ YÜNÜ	0,077	0,085	0,095	0,103	TAŞ YÜNÜ	0,072	0,079	0,090	0,097
TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,051	0,056	0,063	0,068	XPS	0,046	0,052	0,059	0,064
EPS	0,072	0,079	0,088	0,096	EPS	0,066	0,073	0,083	0,090
TAŞ YÜNÜ	0,093	0,102	0,114	0,123	TAŞ YÜNÜ	0,087	0,096	0,108	0,117

Doğu yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için yalıtım kalınlıkları(m) seçilen referans sıcaklıklarına göre Tablo 5.6'de verilmektedir.

Tablo 5.6. Doğu yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)

TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,048	0,053	0,060	0,065	XPS	0,043	0,049	0,056	0,061
EPS	0,067	0,075	0,085	0,091	EPS	0,062	0,070	0,079	0,085
TAŞ YÜNÜ	0,088	0,098	0,109	0,117	TAŞ YÜNÜ	0,082	0,092	0,104	0,111
TUĞLA /LPG					BİMS /LPG				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,071	0,079	0,089	0,095	XPS	0,067	0,075	0,084	0,091
EPS	0,100	0,111	0,124	0,132	EPS	0,094	0,105	0,118	0,127
TAŞ YÜNÜ	0,128	0,141	0,158	0,168	TAŞ YÜNÜ	0,123	0,136	0,152	0,163
TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,029	0,033	0,038	0,041	XPS	0,025	0,029	0,034	0,037
EPS	0,042	0,048	0,054	0,059	EPS	0,036	0,042	0,049	0,053
TAŞ YÜNÜ	0,056	0,063	0,071	0,077	TAŞ YÜNÜ	0,051	0,058	0,066	0,071
TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,037	0,042	0,048	0,052	XPS	0,033	0,038	0,044	0,047
EPS	0,053	0,060	0,068	0,073	EPS	0,048	0,054	0,062	0,067
TAŞ YÜNÜ	0,070	0,078	0,088	0,095	TAŞ YÜNÜ	0,065	0,073	0,083	0,089

Batı yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için yalıtım kalınlıkları(m) seçilen referans sıcaklıklarına göre Tablo 5.7’da verilmektedir.

Tablo 5.7. Batı yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)

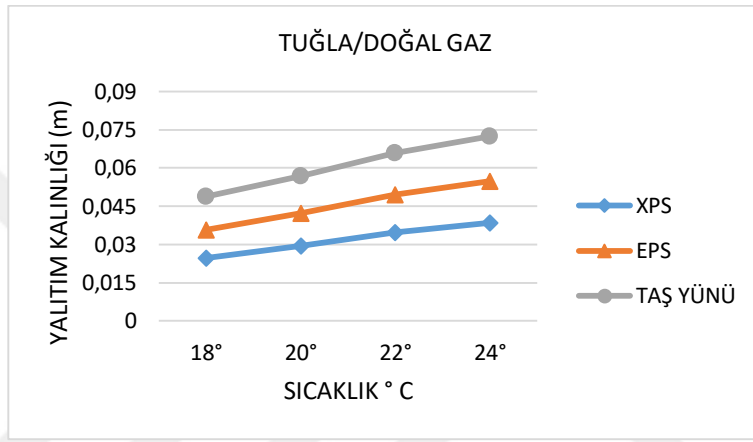
TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,040	0,047	0,054	0,059	XPS	0,036	0,042	0,050	0,055
EPS	0,057	0,066	0,076	0,083	EPS	0,052	0,061	0,071	0,078
TAŞ YÜNÜ	0,075	0,086	0,099	0,107	TAŞ YÜNÜ	0,070	0,081	0,093	0,102
TUĞLA /LPG					BİMS /LPG				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,064	0,073	0,083	0,090	XPS	0,059	0,069	0,079	0,086
EPS	0,089	0,102	0,116	0,126	EPS	0,084	0,097	0,111	0,121
TAŞ YÜNÜ	0,115	0,131	0,148	0,161	TAŞ YÜNÜ	0,109	0,125	0,143	0,155
TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,025	0,030	0,035	0,038	XPS	0,020	0,025	0,030	0,034
EPS	0,036	0,042	0,050	0,055	EPS	0,030	0,037	0,044	0,049
TAŞ YÜNÜ	0,049	0,057	0,066	0,072	TAŞ YÜNÜ	0,043	0,051	0,060	0,066
TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,031	0,037	0,043	0,047	XPS	0,027	0,033	0,039	0,043
EPS	0,045	0,052	0,061	0,067	EPS	0,040	0,047	0,055	0,061
TAŞ YÜNÜ	0,060	0,069	0,080	0,087	TAŞ YÜNÜ	0,054	0,064	0,074	0,081

Güney yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için yalıtım kalınlıkları(m) seçilen referans sıcaklıklarına göre Tablo 5.8’da verilmektedir.

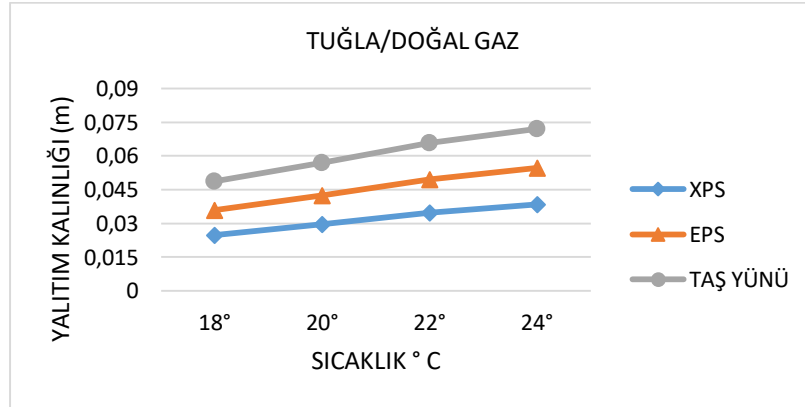
Tablo 5.8. Güney yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için optimum yalıtım kalınlıkları(m)

TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,040	0,047	0,054	0,059	XPS	0,036	0,042	0,050	0,055
EPS	0,057	0,066	0,076	0,083	EPS	0,052	0,060	0,071	0,078
TAŞ YÜNÜ	0,075	0,086	0,099	0,108	TAŞ YÜNÜ	0,069	0,080	0,093	0,102
TUĞLA / LPG					BİMS / LPG				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,064	0,073	0,083	0,091	XPS	0,059	0,068	0,079	0,086
EPS	0,089	0,102	0,116	0,126	EPS	0,084	0,096	0,111	0,121
TAŞ YÜNÜ	0,115	0,131	0,148	0,161	TAŞ YÜNÜ	0,109	0,125	0,143	0,155
TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,025	0,029	0,035	0,039	XPS	0,020	0,025	0,030	0,034
EPS	0,036	0,042	0,050	0,055	EPS	0,030	0,037	0,044	0,049
TAŞ YÜNÜ	0,049	0,057	0,066	0,072	TAŞ YÜNÜ	0,043	0,051	0,060	0,067
TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,031	0,037	0,043	0,047	XPS	0,027	0,032	0,039	0,043
EPS	0,045	0,052	0,061	0,067	EPS	0,039	0,047	0,055	0,062
TAŞ YÜNÜ	0,060	0,069	0,080	0,087	TAŞ YÜNÜ	0,054	0,064	0,074	0,082

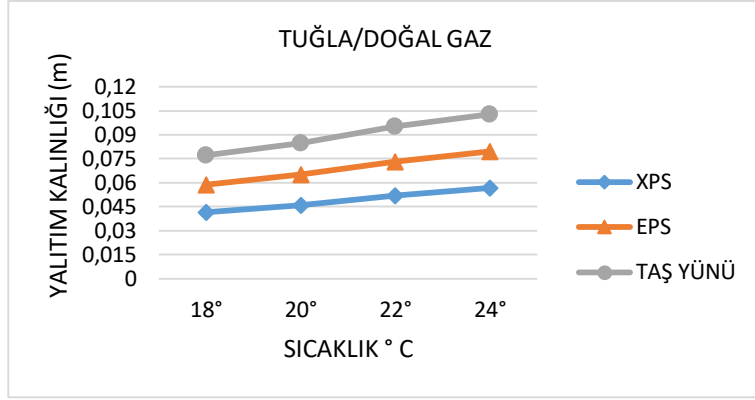
Yapılan çalışmada birim m^2 için hesaplamalar yapılmaktadır. Binanın tamamında cam pencere gibi boyutu değişken olan ısı kayıp mekanizmaları olduğu göz ardı edilmemelidir. Çalışma sonuçları metre cinsinden hesaplanmaktadır. Her yön hesaplanan ısıtım miktarları kullanılarak hesaplanan yalıtım kalınlıkları her yönde her yakıt ve yapı bileşeninde değişiklik göstermektedir. Kuzey, Güney, doğu ve batı yönlü duvar için duvar için XPS, EPS ve taş yünü yalıtım malzemeleri için tuğla yapı malzemesi ve doğal gaz yakıt olarak tercih edildiğinde optimum yalıtım kalınlıkları güney yönü için Şekil 5.32, batı yönü için Şekil 5.33, kuzey yönü için Şekil 5.34 ve doğu yönü için Şekil 5.35’de verilmektedir.



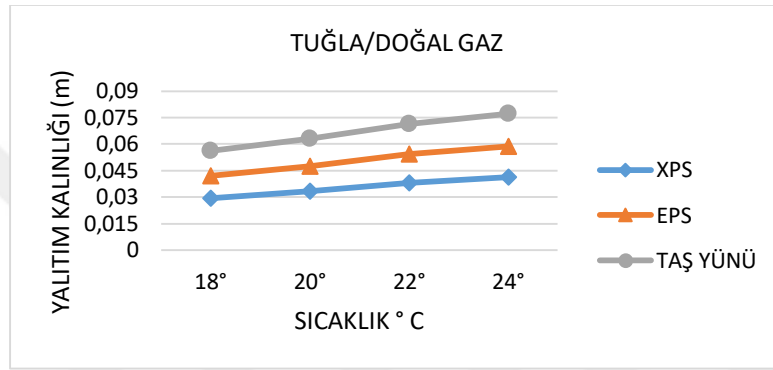
Şekil 5.32. Güney yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.33. Batı yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları

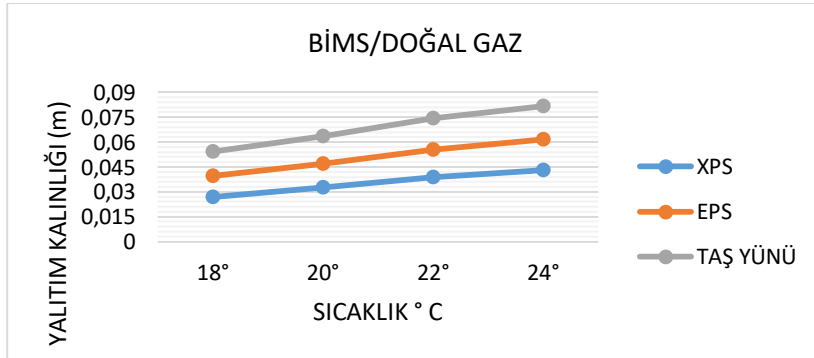


Şekil 5.34. Kuzey yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları

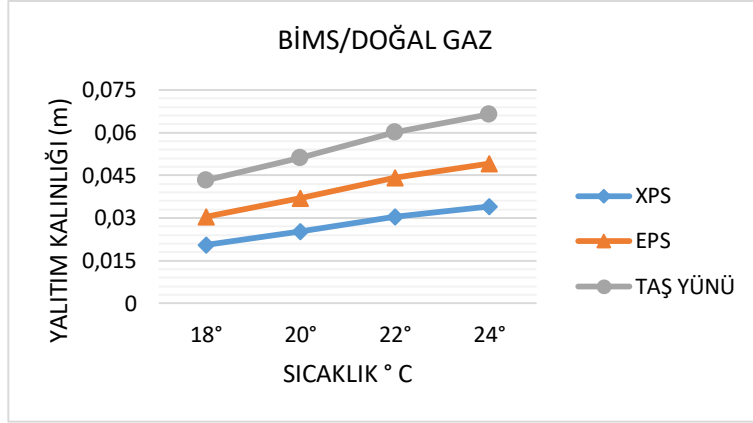


Şekil 5.35. Doğu yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları

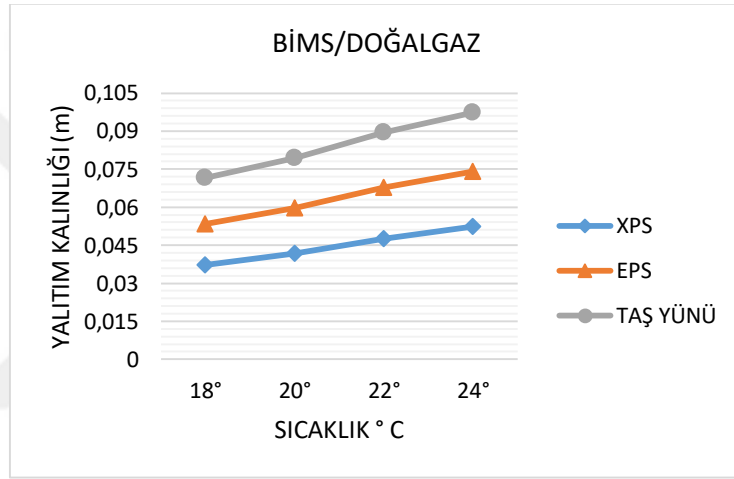
Güney yönü için Şekil 5.32, batı yönü için Şekil 5.33, kuzey yönü için Şekil 5.34 ve doğu yönü için Şekil 5.35 incelendiğinde yalıtım kalınlığının en düşük olduğu malzemenin XPS olduğu görülmektedir. Dört yön için incelendiğinde en yüksek yalıtım kalınlığının kuzey yönünde olduğu görülmektedir.



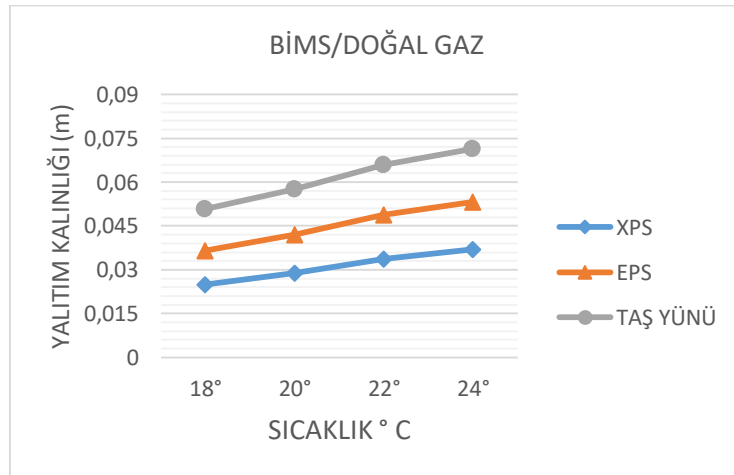
Şekil 5.36. Güney yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims)



Şekil 5.37. Batı yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims)



Şekil 5.38. Kuzey yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims)



Şekil 5.39. Doğu yönündeki dik duvar için optimum yalıtım kalınlıkları(Bims)

Güney yönü için Şekil 5.36, batı yönü için Şekil 5.37, kuzey yönü için Şekil 5.38 ve doğu yönü için Şekil 5.39 incelendiğinde yalıtım kalınlığının en düşük olduğu malzemenin XPS olduğu görülmektedir.

Dört yön için incelendiğinde en yüksek yalıtım kalınlığının kuzey yönünde olduğu görülmektedir. Yalıtım kalınlıklarının farklılığı sebebiyle her yönde ve yapı bileşeni için geri ödeme süreleri de değişiklik göstermektedir. Kuzey yönündeki dik duvar için yakıt ve yapı bileşeni kombinasyonları için geri ödeme süreleri (yıl) Tablo 5.9’da verilmektedir.

Tablo 5.9. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri

TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	6,7	8,0	9,9	11,6	XPS	4,6	5,6	7,1	8,4
EPS	6,9	8,3	10,2	11,8	EPS	4,9	5,9	7,4	8,6
TAŞ YÜNÜ	7,3	10,5	10,7	12,3	TAŞ YÜNÜ	5,3	7,7	7,9	9,2
TUĞLA /LPG					BİMS /LPG				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	15,0	17,8	21,7	25,0	XPS	11,0	13,1	16,2	18,7
EPS	15,3	18,1	22,0	25,4	EPS	11,3	13,4	16,5	19,1
TAŞ YÜNÜ	15,8	18,6	22,6	26,0	TAŞ YÜNÜ	11,9	14,0	17,1	19,8
TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	2,9	3,6	4,6	5,4	XPS	1,7	2,2	3,0	3,6
EPS	3,1	3,8	4,8	5,6	EPS	1,9	2,5	3,2	3,9
TAŞ YÜNÜ	3,4	4,1	5,2	6,0	TAŞ YÜNÜ	2,3	2,9	3,7	4,3

Tablo 5.9. Kuzey yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri (Devamı)

	TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR			
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	4,4	5,3	6,6	7,8	XPS	2,8	3,5	4,6	5,4
EPS	4,6	5,5	6,9	8,0	EPS	3,1	3,8	4,8	5,7
TAŞ YÜNÜ	4,9	5,9	7,3	8,4	TAŞ YÜNÜ	3,5	4,2	5,3	6,2

Doğu yönündeki dik duvar için yakıt ve yapı bileşeni kombinasyonları için geri ödeme süreleri (yıl) Tablo 5.10’da verilmektedir.

Tablo 5.10. Doğu yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri

	TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL			
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	3,8	4,8	6,1	7,0	XPS	2,4	3,2	4,1	4,9
EPS	4,1	5,0	6,3	7,3	EPS	2,7	3,4	4,4	5,1
TAŞ YÜNÜ	4,4	6,5	6,7	7,7	TAŞ YÜNÜ	3,1	4,6	4,9	5,6

	TUĞLA /LPG					BİMS /LPG			
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	8,4	10,3	12,8	14,6	XPS	6,0	7,4	9,3	10,7
EPS	8,7	10,6	13,1	14,9	EPS	6,2	7,7	9,6	11,0
TAŞ YÜNÜ	9,1	11,0	13,6	15,4	TAŞ YÜNÜ	6,7	8,2	10,1	11,5

Tablo 5.10. Doğu yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri (Devamı)

TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	1,3	1,8	2,4	2,9	XPS	0,4	0,8	1,3	1,7
EPS	1,5	2,0	2,6	3,1	EPS	0,7	1,1	1,6	1,9
TAŞ YÜNÜ	1,8	2,3	3,0	3,4	TAŞ YÜNÜ	1,1	1,5	2,0	2,3
TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	2,3	3,0	3,9	4,5	XPS	1,2	1,8	2,4	2,9
EPS	2,5	3,2	4,1	4,7	EPS	1,5	2,0	2,7	3,2
TAŞ YÜNÜ	2,9	3,5	4,5	5,1	TAŞ YÜNÜ	1,9	2,4	3,1	3,6

Batı yönündeki duvar için yakıt ve yapı bileşeni kombinasyonları için geri ödeme süreleri (yıl) Tablo 5.11’de verilmektedir.

Tablo 5.11. Batı yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri

TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	2,7	3,7	4,9	5,9	XPS	1,5	2,3	3,3	4,0
EPS	2,9	3,9	5,1	6,1	EPS	1,8	2,6	3,5	4,2
TAŞ YÜNÜ	3,3	5,3	5,5	6,5	TAŞ YÜNÜ	2,2	3,7	3,9	4,7

Tablo 5.11. Batı yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri (Devamı)

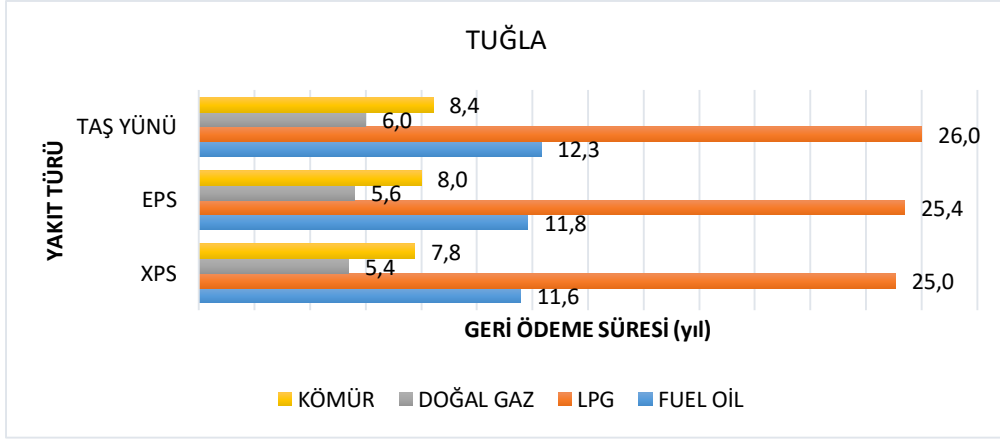
TUĞLA /LPG					BİMS /LPG				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	6,8	8,8	11,3	13,3	XPS	4,7	6,2	8,2	9,7
EPS	7,0	9,0	11,6	13,6	EPS	4,9	6,5	8,5	10,0
TAŞ YÜNÜ	7,4	9,5	12,1	14,0	TAŞ YÜNÜ	5,4	7,0	9,0	10,5
TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,9	1,4	2,0	2,5	XPS	0,0	0,5	1,0	1,4
EPS	1,1	1,6	2,2	2,7	EPS	0,3	0,7	1,2	1,6
TAŞ YÜNÜ	1,4	1,9	2,5	3,0	TAŞ YÜNÜ	0,7	1,1	1,6	2,0
TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	1,6	2,3	3,1	3,8	XPS	0,6	1,2	1,9	2,4
EPS	1,8	2,5	3,3	4,0	EPS	0,9	1,4	2,1	2,6
TAŞ YÜNÜ	2,1	2,8	3,7	4,3	TAŞ YÜNÜ	1,3	1,8	2,5	3,0

Güney yönündeki duvar için yakıt ve yapı bileşeni kombinasyonları için geri ödeme süreleri (yıl) Tablo 5.12’de verilmektedir.

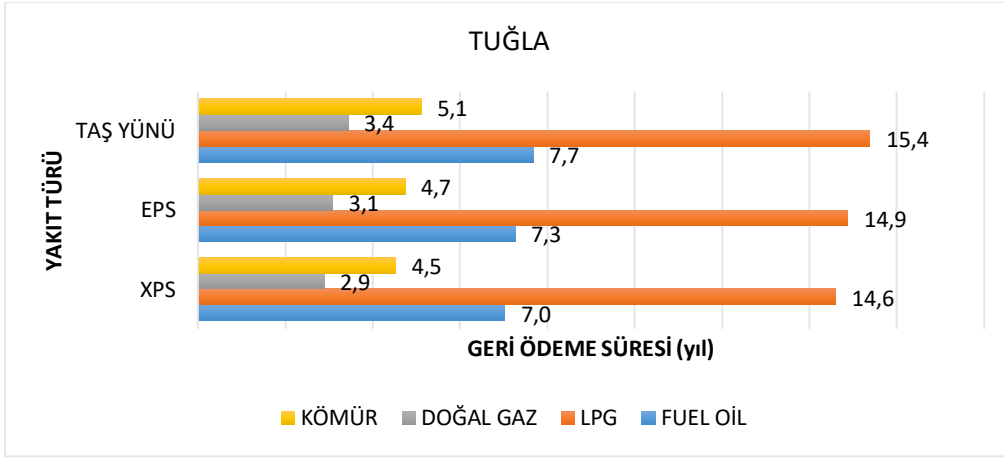
Tablo 5.12. Güney yönündeki duvar için tuğla ve bims ile yakıt kombinasyonları için geri ödeme süreleri

TUĞLA / FUEL OİL					BİMS / FUEL OİL				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	2,7	3,7	4,9	5,9	XPS	1,5	2,3	3,2	4,0
EPS	2,9	3,9	5,1	6,1	EPS	1,8	2,5	3,5	4,3
TAŞ YÜNÜ	3,3	5,3	5,5	6,5	TAŞ YÜNÜ	2,2	3,7	3,9	4,7
TUĞLA /LPG					BİMS /LPG				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	6,8	8,8	11,3	13,4	XPS	4,7	6,2	8,2	9,7
EPS	7,0	9,0	11,6	13,6	EPS	4,9	6,5	8,5	10,0
TAŞ YÜNÜ	7,4	9,5	12,1	14,1	TAŞ YÜNÜ	5,4	7,0	9,0	10,6
TUĞLA /DOĞAL GAZ					BİMS /DOĞAL GAZ				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	0,9	1,4	2,0	2,5	XPS	0,0	0,5	1,0	1,4
EPS	1,0	1,6	2,2	2,7	EPS	0,3	0,7	1,2	1,6
TAŞ YÜNÜ	1,4	1,9	2,5	3,0	TAŞ YÜNÜ	0,7	1,1	1,6	2,0
TUĞLA /KÖMÜR					BİMS/KÖMÜR				
	18°C	20° C	22° C	24° C		18°C	20° C	22° C	24° C
XPS	1,6	2,3	3,1	3,8	XPS	0,6	1,2	1,9	2,4
EPS	1,8	2,5	3,3	4,0	EPS	0,9	1,4	2,1	2,6
TAŞ YÜNÜ	2,1	2,8	3,7	4,4	TAŞ YÜNÜ	1,3	1,8	2,5	3,1

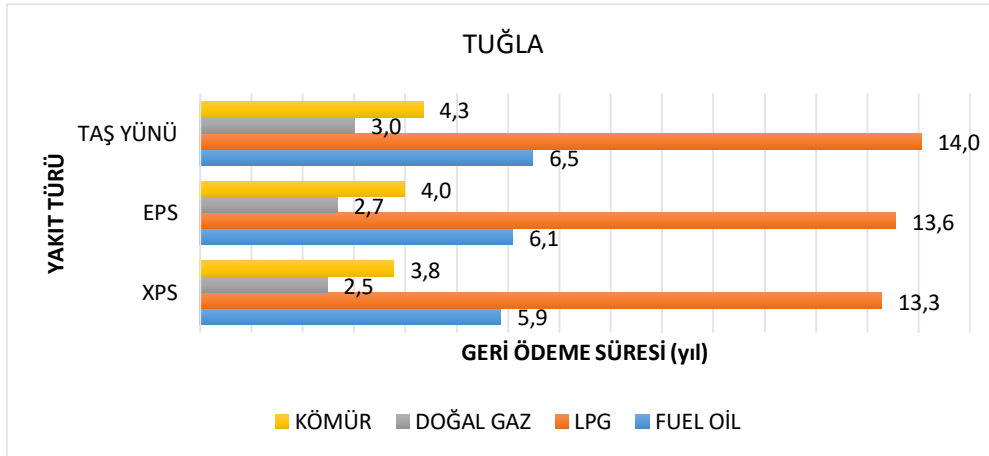
Geri ödeme süreleri yıl olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri kuzey yönü için Şekil 5.40, doğu yönü için Şekil 5.41, batı yönü için Şekil 5.42 ve güney yönü için Şekil 5.43’de verilmektedir.



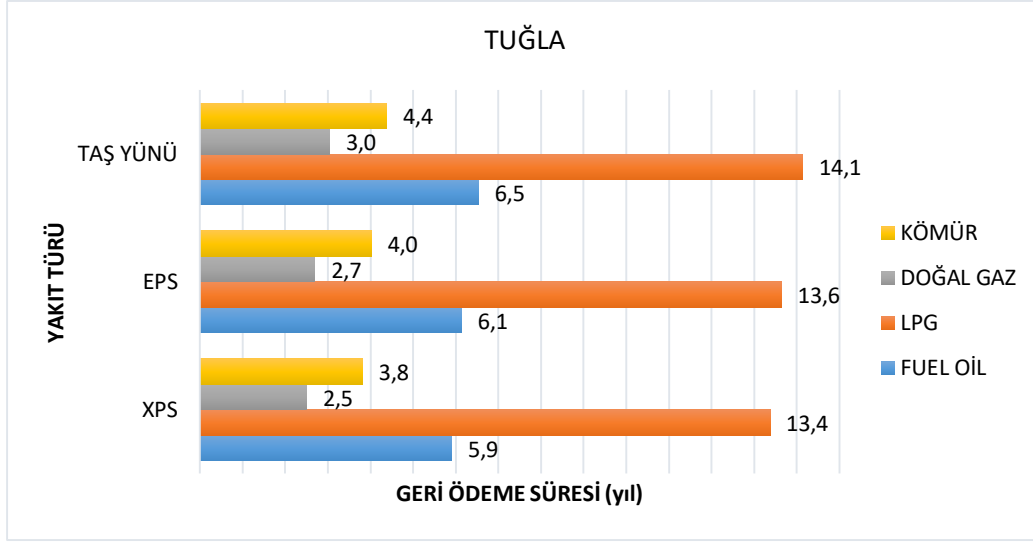
Şekil 5.40. Kuzey yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla)



Şekil 5.41. Doğu yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla)

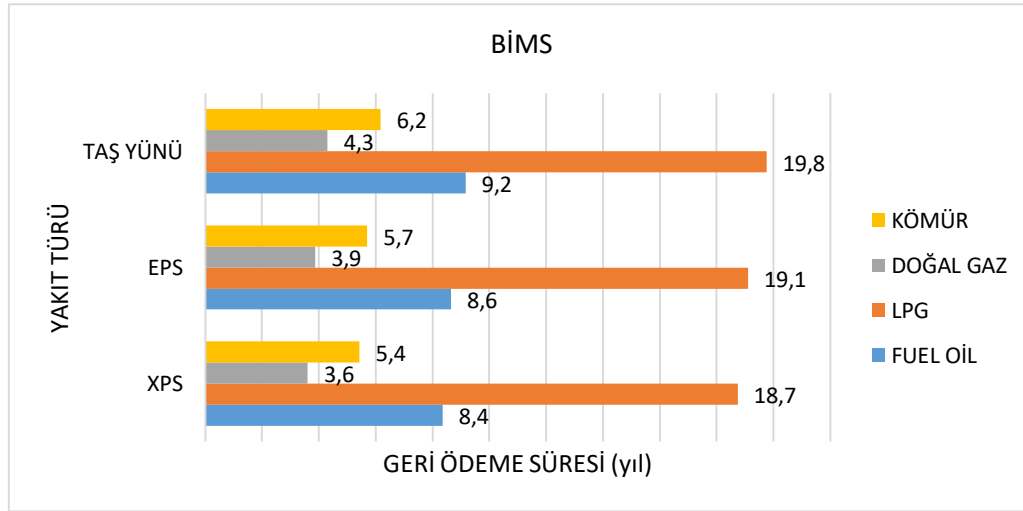


Şekil 5.42. Batı yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla)

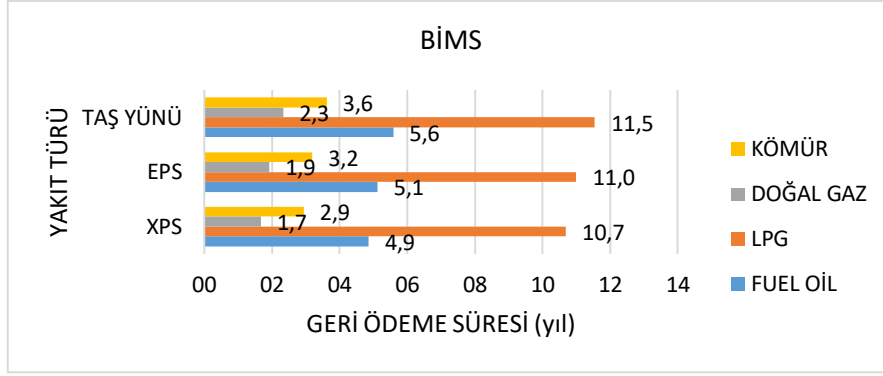


Şekil 5.43. Güney yönündeki duvar için geri ödeme süreleri(Tuğla)

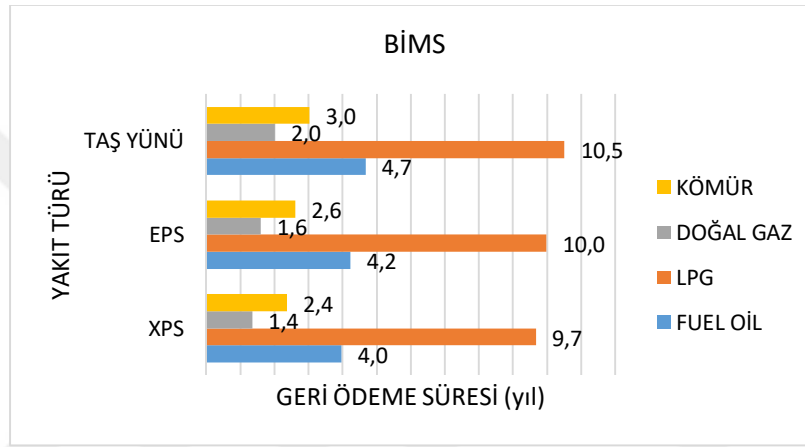
Geri ödeme sürelerinin bulunduğu grafiklere bakıldığında tuğla yapı malzemesi için tercih edilen yakıt (doğalgaz) kuzey yönünde 5,4 yıl, doğu yönünde 2,9 yıl, batı ve güney yönünde ise 2,5 yıl olarak görülmektedir. Geri ödeme süreleri bims yapı malzemesi için kuzey yönündeki dik duvar için Şekil 5.44, doğu yönü için Şekil 5.45, batı yönü için Şekil 5.46 ve güney yönü için Şekil 5.47’de verilmektedir.



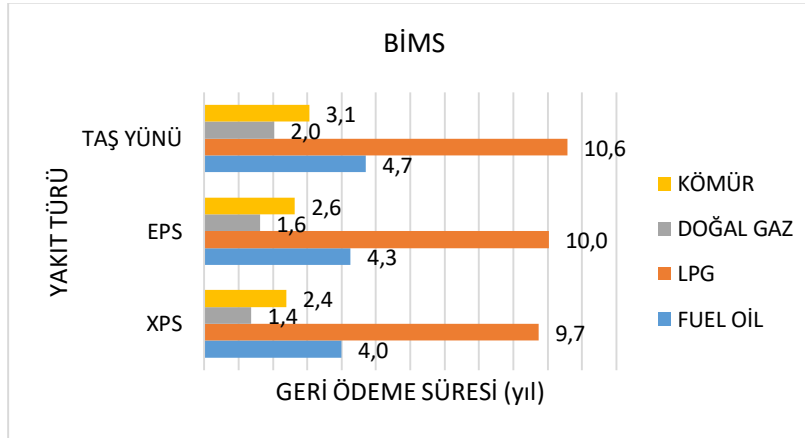
Şekil 5.44. Kuzey yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Bims)



Şekil 5.45. Doğu yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Bims)



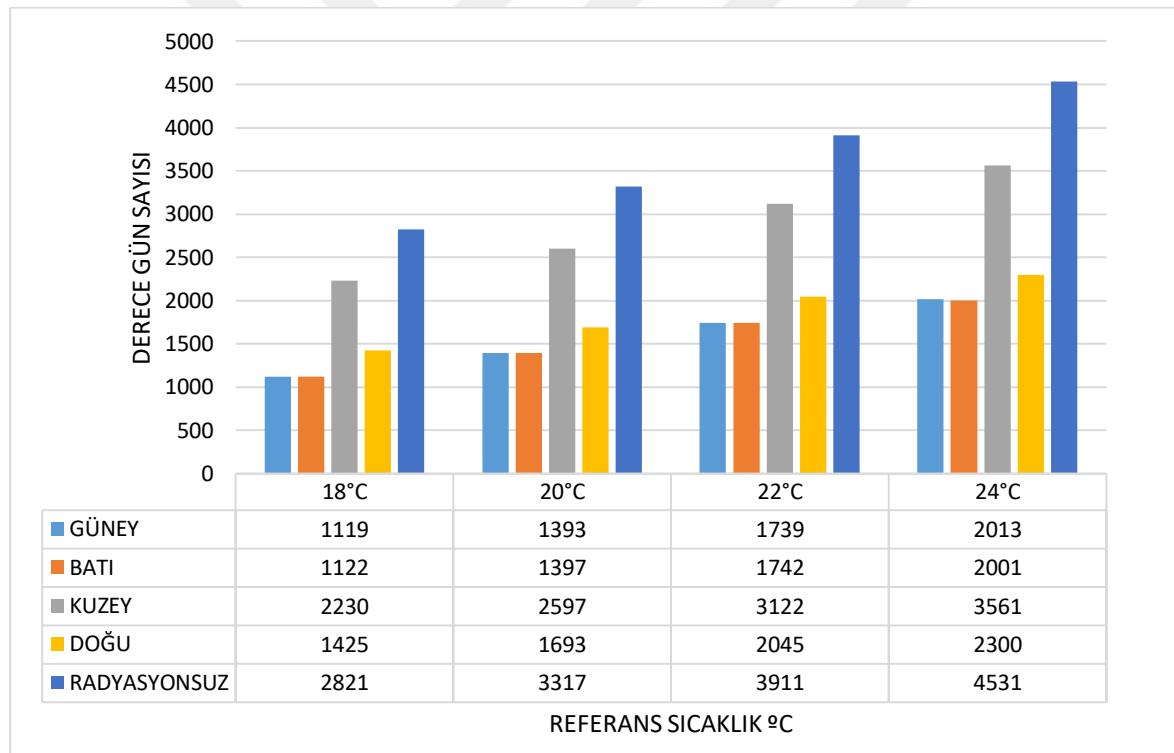
Şekil 5.46. Batı yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri (Bims)



Şekil 5.47. Güney yönündeki dik duvar için geri ödeme süreleri(Bims)

Geri ödeme sürelerinin bims yapı malzemesi bulunduğu grafiklere bakıldığında tercih edilen yakıt (doğalgaz) için kuzey yönünde 3,6 yıl, doğu yönünde 1,7 yıl, batı ve güney yönünde ise 1,4 yıl olarak görülmektedir. Güneş radyasyonsuz ve güneş radyasyonunun dikkate alındığında tuğla, doğalgaz ve XPS kombinasyonunda Derece-Gün sayısı Şekil 5.48’de kıyaslanmaktadır. Şekil 5.48 incelendiğinde radyasyonsuz hesaplanan Derece-Gün sayısının radyasyonun dikkate alındığı yönler göre hesaplanan optimum Derece-Gün sayısından daha yüksek olduğu görülmektedir. Referans sıcaklık olan 20°C için radyasyonsuz Derece-Gün 3318 iken radyasyonun dikkate alınması durumunda kuzey yönünde % 22, doğu yönünde %48, batı ve güney yönünde ise % 58 azaldığı görülmektedir.

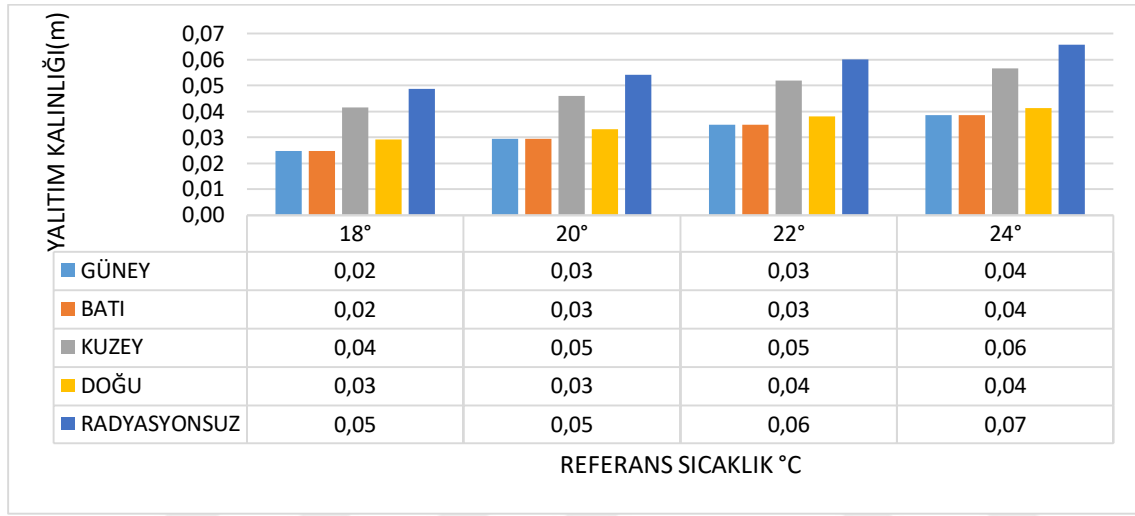
Diğer referans sıcaklıklarında da benzer dağılım görülmektedir. Hesaplama sonuçları literatür ile benzerlik göstermektedir (Bulut vd., 2007).



Şekil 5.48. Güneş radyasyonlu ve güneş radyasyonsuz Derece-Gün sayıları

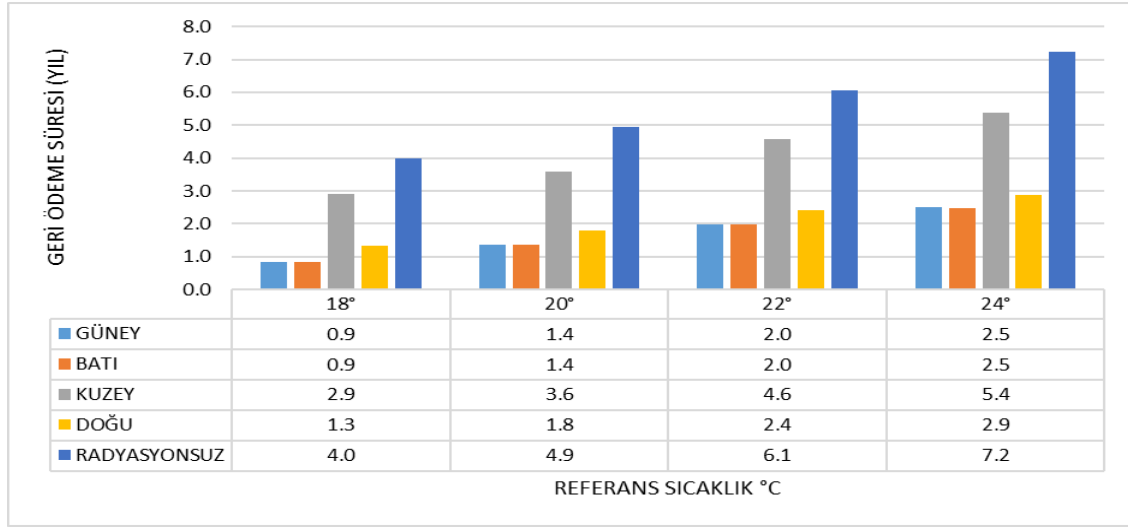
Güneş radyasyonsuz ve güneş radyasyonunun dikkate alındığında tuğla, doğalgaz ve XPS kombinasyonunda optimum yalıtım kalınlıkları Şekil 5.49’da kıyaslanmaktadır.

Şekil 5.49 incelendiğinde radyasyonsuz hesaplanan optimum yalıtım kalınlığının radyasyonun dikkate alındığı yönler göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlığından daha yüksek olduğu görülmektedir. Referans sıcaklık olan 24°C için radyasyonsuz optimum yalıtım kalınlığı 6,6 cm derece iken radyasyonun dikkate alınması durumunda kuzey yönünde 5,7 cm, doğu yönünde 4,1 cm, batı ve güney yönünde 3,8 cm olarak hesaplanmıştır. Diğer referans sıcaklıklarında da benzer dağılım görülmektedir. Hesaplama sonuçları literatür ile benzerlik göstermektedir (Şişman vd. 2007).



Şekil 5.49. Tuğla, doğalgaz ve XPS kombinasyonunda optimum yalıtım kalınlıkları

Geri ödeme sürelerinin dağılımı tuğla, doğalgaz ve XPS kombinasyonunda güneş radyasyonsuz ve güneş radyasyonunun dikkate alındığı durumlar için Şekil 5.50’de verilmiştir. Radyasyonun dikkate alındığı yönler göre hesaplanan geri ödeme sürelerinin Radyasyonsuz hesaplanan sürelere göre daha az olduğu görülmektedir. Referans sıcaklık olan 24°C için radyasyonsuz geri ödeme süresi 7,2 yıl iken, radyasyonun dikkate alınması durumunda kuzey yönünde 5,4 yıl, doğu yönünde 2,9 yıl, batı ve güney yönünde 2,5 yıl olarak hesaplanmıştır. Diğer referans sıcaklıklarında da benzer dağılım görülmektedir.



Şekil 5.50. Tuğla, doğalgaz ve XPS kombinasyonunda geri ödeme süreleri

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada TS 825 standartlarına göre 4. İklim bölgesinde bulunan Erzincan ilinde uygulanabilecek farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS ve Taş yünü), yapı bileşeni (bims ve tuğla) ve yakıt (Doğal gaz, LPG, Fuel oil ve kömür) kombinasyonları için Derece-Gün, optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Derece-Gün yöntemi kullanılırken güneş radyasyonsuz ve güneş radyasyonlu olarak çalışılmıştır. Güneş radyasyonunun etkilerinin daha net görülebilmesi için optimum yalıtım kalınlıkları kuzey, güney, doğu ve batı yönleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Referans sıcaklık seçiminde dış yüzeye gelecek mahalin iç sıcaklığı her bina projesinde farklı olabileceği için ısı konfor şartlarında mahallerin en düşük sıcaklık olan 18°C, 20°C, 22°C ve en yüksek sıcaklık olan 24°C dikkate alınmıştır. Referans sıcaklıkları kullanılarak Derece-Gün, optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri her bir yön için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buna göre;

- Sonuçlar değerlendirildiğinde kullanım şartları ve geri ödeme süresine göre Erzincan ili için en uygun yapı bileşeni olarak tuğla, yalıtım malzemesi olarak XPS ve yakıt türü olarak doğal gaz belirlenmiştir.
- Derece-Gün sayısı güneş radyasyonu dikkate alınmadığında Referans sıcaklık olan 20°C için Derece-Gün sayısı 3318 iken radyasyonun dikkate alınması durumunda kuzey yönünde 2598, doğu yönünde 1693, batı yönünde 1398, güney yönünde ise 1392 olarak hesaplanmıştır. Diğer referans sıcaklıklarında da benzer dağılım görülmektedir. Referans sıcaklık arttıkça Derece gün sayısı da artmaktadır.
- Çeşitli parametrelere bağlı olarak değişen optimum yalıtım kalınlığı 24°C referans sıcaklıkta XPS için güneş radyasyonunun dikkate alınmadığı durumda optimum yalıtım kalınlığı 6,6 cm olarak hesaplanırken güneş radyasyonu dikkate alındığında yönler göre 3,9 cm ile 5,7 cm arasında değişiklik göstermektedir.
- Optimum yalıtım kalınlığı güneş radyasyonu dikkate alındığında güney ve batı yönünde 3,9 cm, doğu yönünde 4,1 cm ve kuzey yönünde ise 5,7 cm olarak hesaplanmıştır.

- Belirlenen optimum yalıtım kalınlıkları dikkate alınarak hesaplanan geri ödeme süreleri ise güneş radyasyonunun dikkate alınmadığı durumda 7,2 yıl iken güneş radyasyonu dikkate alındığında yönlere göre 2,5 - 5,4 yıl olarak hesaplanmıştır.
- Optimum yalıtım kalınlıklarına göre hesaplanan geri ödeme sürelerinde güney ve batı yönleri 2,5 yıl, doğu yönü 2,9 yıl, kuzey yönü ise 5,4 yıl içerisinde kendini amorti ettiği görülmüştür.

Ülkemizin enerji kaynaklarının sınırlı ve dışa bağımlı olması sebebiyle enerji tüketiminin yoğun olduğu ve ısı kayıplarının fazla olduğu yapı sektöründe enerjinin etkin kullanımı ve buna bağlı olarak binalara yalıtım uygulamalarının yapılması büyük önem arz etmektedir. Yapılacak ısı yalıtımının her yönde aynı yalıtım kalınlığının uygulanması yerine yönlere göre farklı optimum yalıtım kalınlıklarındaki malzeme kullanımı ile daha düşük maliyet ve geri ödeme süreleri elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Açıkkalp, E., Kandemir, S. Y. (2019) “A method for determining optimum insulation thickness: combined economic and environmental method”, *Thermal Science And Engineering Progress*, 249–253
- Akpınar, E. K., Demir, İ. H. (2018) “Calculation of optimum insulation thickness and energy savings for different climatic regions of Turkey” *Fırat University Turkish Journal Of Science And Technology*, 13(2), 15–22
- Aksoy, U. T., Ekici, B. B. (2013) “TS 825 iklimsel verilerinin farklı derece gün bölgeleri için uygunluğunun değerlendirilmesi”, *Metu Journal of the Faculty of Architecture*, 163–179
- Aksöz, H. (2009) “Betonarme binalarda uygulanan ısı yalıtım amaçlı duvar elemanlarının ısı ve ekonomik yönden analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı*, Tekirdağ
- Akyol, T. (2006) “Binaların ısı yalıtımında enerji ve ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Balıkesir
- Altun, M., Meral Akgül, Ç. ve Akçamete, A. (2019) “Kabuk yalıtımının bina ısıtma enerjisi ihtiyacına, maliyetine ve karbon ayak izine etkisinin yaşam döngüsü bakış açısıyla değerlendirmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 147–164
- Amiri Rad, E., Fallahi, E. (2019) “Optimizing the insulation thickness of external wall by a novel 3e (energy, environmental, economic) method”, *Construction And Building Materials*, 205, 196–212
- Arslan, E. (2017) “Binalarda farklı etmenler altında yöne bağlı optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve bursa uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalı*, Bursa
- ASHRAE. (2013) “ASHRAE standard”, *Method of Testing Air-to-Air Heat/Energy Exchangers*, Atlanta
- Atmaca, I. İ., Yiğit, A. ve Yiğit, A. (2004) “Isıl konfor ile ilgili mevcut standartlar ve konfor parametrelerinin çeşitli modeller ile incelenmesi”, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 543–555
- Atmaca, U. (2016) “TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları” , *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Konya, 21–35

- Azizi, S. (2007) “Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**, İstanbul
- Badescu, V., Zamfir, E. (1999) “Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures in Romania”, **Energy Conversion and Management**, 40 (8), 885-900
- Bakırcı, K. (2006) “Optimum toplayıcı eğim açısının aylara göre değişimi”, **Mühendis ve Makina Dergisi**, 47(562), 26-30
- Baran, N. (2013) “Isı yalıtımı”, **İnşaat Teknolojisi Modülü**, 1-74
- Bayraktar, D., Bayraktar, E. A. (2016) “Mevcut binalarda ısı yalıtım uygulamalarının değerlendirilmesi”, **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 7(1), 59-66
- Bolattürk, A., Dağıdır, C. (2013) “Güneş radyasyonu dikkate alınarak sıcak iklim bölgelerindeki binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi”, **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 33(1), 87-99
- Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, T. (2007) “Türkiye için ısıtma ve soğutma derece-gün bölgeleri”, **ULIBTK’07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi**, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri
- Büyükalaca, O., Bulut, H. ve Yılmaz, T. (2001) “Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey”, **Applied Energy**, 69(4), 269–283
- Cengel, Y. A. (2004) “Heat transference a practical approach”, **Macgraw-Hill**, 4(9), 874
- Çetinel, E. (2012) “Tarihsel süreç içinde dış cephe kaplama malzemelerinin ısı yalıtımı açısından irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı**, İzmir
- Chasan S. (2013) “Dış cephe bitirme sistemlerinde ısı yalıtımının sıcaklık ve nem performansına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Fen Bilimler Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı**, Edirne
- Coskun, C., Ertürk M. ve Oktay Z., Dinçer İ. (2012) “Aylık bazda saatlik derece-saat değerlerinin tespitini mümkün kılan yeni bir yaklaşım”, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 28-31
- Dağıdır, C., Bolattürk, A. (2011) “Sıcak iklim bölgelerindeki binalarda ısıtma ve soğutma yüküne göre tespit edilen optimum yalıtım kalınlıklarının karşılaştırılması”, **X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, 13-16 Nisan, İzmir

- Demirbaş, A. (2001) “Future energy sources: energy conversion and management, energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 42(10),1239-1258
- Deshmukh, G., Birwal, P., Datir, R., ve Patel, S. (2017) “Thermal insulation materials: A tool for energy conservation”, *Journal of Food Processing & Technology*, 8 (4), 1–4
- Doğruel N. (2010) “Binalarda cephe kaplamalarının ısı yalıtımına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Edirne
- Dombaycı, A. (2009) “Degree-days maps of Turkey for various base temperatures”. *Energy*, 34(11),1807-1812
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. (2013) “Solar engineering of thermal processes”, Second edition, *Jon Wiley and Sons*, New Jersey, 919
- Durmaz, A. F. (2007) “Eğik yüzeylere gelen güneş ışıının analizi ve cam yüzeylerden geçen güneş ışıının tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, Şanlıurfa
- Ekici C. (2013) “PMV metodu ile ısı konfor ölçümü ve hesaplanması”, *8. Ulusal Ölçümbilim Kongresi*, 26-28 Eylül, Gebze, Kocaeli
- Erdabak, M. (2010) “Binalarda ısı yalıtımındaki eksikliklerin enerji tasarrufuna olan etkilerinin uygulamalı olarak araştırılması”, *GUFBED*, 9(3), 526-535
- Erdoğan, Ö. (2018) “Ekonomik parametreler dikkate alınarak bina dış duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının optimizasyonu”, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa
- Ertürk, M., Keçebaş, A., Daşdemir, A., ve Kurt, H. (2016) “Isıtma ve soğutma uygulamalarında optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarruf analizi”, *10th International Clean Energy Symposium*, 496-506, 24-26 Ocak, İstanbul
- Fırat, İ. (2013) “Erzincan ilindeki binalarda ısı yalıtım uygulamaları ve ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisinin ekonomik analizi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36(1), 47-55
- J. R. Howell, R. B. Bannerot ve G. C. Vliet, (1982) “Solar thermal energy systems: Analysis and design” *McGraw Hill, Inc.*, New York
- Incropera, F. P. ve Dewitt, D. P. (1996) “Fundamentals of heat and mass transfer,” 4th Edition, *John Wiley and Sons*, Hoboken
- Işık, E., Tuğan, V. (2017) “The calculation of the optimum wall thickness for heat isolation in the provinces of Tunceli, Hakkâri, and Kars”, *International Journal of Pure and Applied Sciences* , 3(2) , 50-57

- İsmail, S. (2012) “Enerji verimli binalarda ısı yalıtımının toplam bina maliyetindeki etkisi Yunanistan-Türkiye karşılaştırması”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı**, Edirne
- Izoder. (2018) “Isı Yalıtımı”
<https://www.izoder.org.tr/>
Son erişim tarihi: 15.05.2021.
- Karakoç, V. R. (2015) “Çorum ilindeki binalarda kullanılan farklı türdeki ısı yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığının hesaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**, Çorum
- Kavaz, İ., Karagöl, T. (2019) “Dünyada ve Türkiye’de enerji verimliliği”, **International Congress of Energy, Economy and Security ENSCON'19**, 217–225
- Kaya, T. (2016) “Yapılarda Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**, Bilecik
- Kaya, T., Karakurt, C. (2018) “Tuğla duvarlarda uygulanan sıvaların enerji verimliliğinin değerlendirilmesi”, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 26(1), 14-19
- Kaygusuz, K., Kaygusuz, A. (2004) “Energy and sustainable development. part 11: environmental impacts of energy use”, **Energy Sources**, 26(11), 1071-1082
- Kaynaklı, Ö. (2013) “Optimum thermal insulation thicknesses and payback periods for building walls in Turkey”, **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 33(2), 45–55
- Kaynaklı, Ö., Kaynaklı, F. (2016) “Determination of optimum thermal insulation thicknesses for external walls considering the heating, cooling and annual energy requirements”, **Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering**, 21(1), 229
- Kaynaklı, O., Özdemir S., ve Karamangil M.İ. (2012) “Güneş ışıınımı ve duvar yönü dikkate alınarak optimum ısı yalıtım kalınlığının belirlenmesi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 27(2), 367-374
- Kaynaklı, Ö., Atmaca, İ. ve Kılıç, M. (2005) “Giysi ısı direnç faktörünün insan konforu açısından değerlendirilmesi”, **Mühendis ve Makina Dergisi**, 46(543), 20–28
- Kılıç, A., Öztürk, A. (1983) “Güneş Enerjisi”, **Kıpaş Dağıtımculuk**, İstanbul, 280
- Klein, S. A. (1976) “Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces”, 19, 325–329

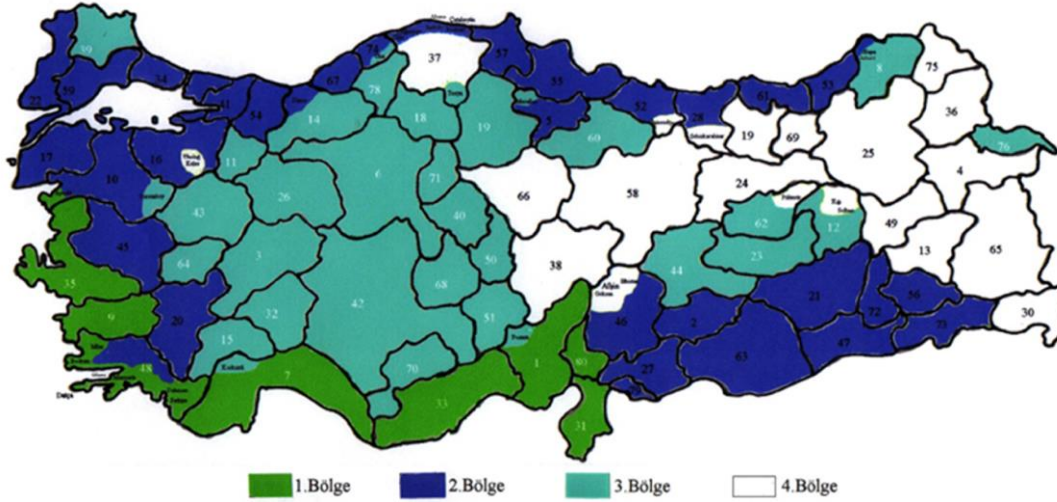
- Koçu, N., Dereli M., (2010) “Dış duvarlarda ısı yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlanması ve detaylarda karşılaşılan sorunlar (Konya kentinden örnekler)”, **5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu**, İzmir
- Kon, O. (2014) “Farklı amaçlarla kullanılan binaların ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının teorik ve uygulamalı olarak belirlenmesi”, **2. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi**, 23-25 Ekim, Balıkesir
- Kon, O. (2017) “Determination of optimum insulation thicknesses using economical analyse for exterior walls of buildings with different masses”, **An International Journal Of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)**, 7(2), 149
- Kon, O., Yüksel, B. (2013) “Kamu binalarının ısıtma yüküne göre dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tüketimleri”, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 15 (1), 30-47
- Kürekçi, N. A. (2016) “Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial centers”, **Energy And Buildings**, 118(825), 197–213
- Kut, U. (2018) “Yapılarda ısı yalıtımı için geopolimer malzeme üretimi ve karakterizasyonu”, Doktora Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı**, Kütahya
- Liu, B. Y. H., Jordan, R. C. (1960) “The interrelationship and characteristic distribution of direct”, Diffuse and Total Solar Radiation, **Solar Energy**, 4(3), 1–19
- Meteoroloji. (2022) “T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü”
<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/ilveilceleristatistik.aspx?K=Undefined&M=Erzincan>
- Son erişim tarihi: 17.08.2021.
- Moran, H. (2018) “Farklı derece gün bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlığının yatırım-tasarruf yöntemine göre hesaplanması ve çevresel etki analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**, Osmaniye
- Mustafa, K., Muhsin, M. (2012) “Bina duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının enerji maliyeti odaklı optimizasyonu”, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 126
- Oğan, N. (2008) “Enerji Verimliliği Teknik Kitapçık”, İstanbul, Eylül
- Özel, M., Pıhtılı, K. (2008) “Determination of optimum insulation thickness by using heating and cooling degree-day values”, **Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 26, 191-197

- Özgür, Y., Özkan, Ş., Haluk, S., Osman, Ç., İlkay, K., Şükrü, E. ve Demet, Ö. (2015) “Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri”, *İmo Yapı Malzemeleri Komisyonu*, 487(4), 62-75
- Öziç, İ. H. (2013) “Binalarda ısı yalıtımı üzerine deneysel bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli
- Özışık, N. (1985) “Heat Transfer”, 1. Basım, *Taylor & Francis Inc*, New York
- Öztuna, S., Dereli, E. (2009) “Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi”, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 139–147
- Öztürk, H. (2012) “Güneş enerjisi ve uygulamaları”, 1. Baskı, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, Eylül
- Özutku, O. (2012) “Binalarda ısı yalıtımı yoluyla enerji tasarrufu MKÜ mühendislik fakültesi binası”, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13/16 Nisan, İzmir
- Sapan, M. A. (2017) “Erzurum ilinde ısı yalıtım kalınlıklarının enerji, ekonomik ve çevresel analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalı Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum
- Şenkal Sezer, F. (2005) “Türkiye’de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79–85
- Şişman, N. (2005) “Derece-Gün bölgeleri için bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve duvar yapı bileşenleri kullanılması halinde ekonomik analiz yöntemi ile en iyi yalıtım kalınlığının tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir
- Söğüt, Ş. (2018) “TS 825’e göre uygun yalıtım kalınlıkları tayini ve yalıtım sağlanan yapı bileşenlerinin yalıtımsız duruma göre karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Düzce
- Tıkız, İ., Pehlivan, H. ve Mermer, M. (2018) “Bina ısı yalıtım sistemlerinin incelenmesi ve optimizasyonu”, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 8(2), 106–135
- Tmmob. (2006) “Tmmob Enerji Raporu”, *Ankara*, Ekim
- Tolun, M. (2010) “Farklı derece-gün bölgeleri için yalıtım probleminin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul

- TS. (2013) “Açıklamalı Ve Örneklerle TS 825 - Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı”
<https://www.izocam.com.tr/>
Son erişim tarihi: 22.10.2020.
- Tuncer, M. (2007) “Isıtılan ve soğutulan mahallerde ısı yalıtımının optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul
- TS 825 (2008) “Thermal insulation requirements for buildings, Turkish Standards Institution”, *Ankara*
- Türkmen, M. (2016) “Bina kabuğunda ısı yalıtımı uygulamalarının yapısal performansı ve etkinliğinin İstanbul’da bir alan çalışması ile incelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı*, İstanbul
- Uçar, A., İnallı, P. M. (2011) “Yapıların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığının üç farklı metotla tespiti”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 125, 5–14
- Yılmaz, A. (2012) “Apartmanların dış kabuğuna uygulanan ısı yalıtımının bina enerji performansına etkisi (Konya Ve Erzincan Örneği)”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı*, Konya
- Yıldırım, H. A., Altınsoy, H. (2015) “TS En ISO 7730 Ve TS En ISO 27243 Standartlarına göre termal konfor programı”, *Çalışma Dünyası Dergisi (Labour World)*, 7–17
- Yüksel, N. (2005) “Günümüz kamu kurumlarında yapısal konfor koşullarının tespit edilmesine yönelik bir çalışma”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 21–31

EKLER

Ek-1



Şekil Ek-1.1. Derece gün bölgelerine göre illerimiz

Tablo Ek-1.1. 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- SİİRT	65- VAN	74- BARTIN
03- AFYON	12- BİNGÖL	21- DİYARBAKIR	30- HAKKARİ	39- KIRKLARELİ	48- MUĞLA	57- SİNOP	66- YOZGAT	75- ARDAHAN
04- AĞRI	13- BİTLİS	22- EDİRNE	31- HATAY	40- KIRŞEHİR	49- MUŞ	58- SİVAS	67- ZONGULDAK	76- IĞDIR

Tablo Ek-1.1. Derece gün bölgelerine göre illerimiz (Devamı)

05- AMASYA	14- BOLU	23- ELAZIĞ	32- ISPARTA	41- KOCAELİ	50- NEVSEHİR	59- TEKİRDAĞ	68- AKSARAY	77- YALOVA
06- ANKARA	15- BURDUR	24- ERZİNCAN	33- İÇEL	42- KONYA	51- NIĞDE	60- TOKAT	69- BAYBURT	78- KARABÜK
07- ANTALYA	16- BURSA	25- ERZURUM	34- İSTANBUL	43- KÜTAHYA	52- ORDU	61- TRABZON	70- KARAMAN	79- KİLİS
08- ARTVİN	17- ÇANAKKALE	26- ESKİŞEHİR	35- İZMİR	44- MALATYA	53- RİZE	62- TUNCELİ	71- KIRIKKALE	80- OSMANİYE
09- AYDIN	18- ÇANKIRI	27- GAZİANTEP	36- KARS	45- MANİSA	54- SAKARYA	63- ŞANLIURFA	72- BATMAN	81- DÜZCE

Ek-2

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ)

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi, kg/m^3	Isıl iletkenlik hesap değeri (λ_h) W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ
1	DOĞAL TAŞLAR			
1.1	Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar (mozaik vb.)	> 2800	3,5	10000
		2600	2,3	200 / 250
1.2	Tortul, sedimente taşlar (kum taşı, traverten, konglomeralar vb.)	2600	2,3	200 / 250
1.3	Gözenekli püskürük taşlar	< 1600	0,55	15 / 20
1.4	Granit	2500-2700	2,8	10000
1.5	Bazalt	2700-3000	3,5	10000
1.6	Mermer	2800	3,5	10000
1.7	Alçı taşı	< 2600	2,3	200 / 250
1.8	Yapay taşlar	1750	1,3	40 / 50
1.9	Arduvaz	2000-2800	2,2	800 / 1000
2	DOĞAL ZEMİNLER (doğal nemlilikte)			
2.1	Kum, kum-çakıl	1700-2200	2,0	50
2.2	Kil, alüvyon	1200-1800	1,5	50
3	DÖKME MALZEMELER (hava kurusunda, üzeri örtülü durumda)			
3.1	Kum, çakıl, kırma taş (mıcır)	1800	0,70	3
3.2	Bims çakılı (TS 3234)	< 1000	0,19	3
3.3	Yüksek fırın cürufu	< 600	0,13	3

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

3.4	Kömür cürufu	< 1000	0,23	3
3.5	Gözenekli doğal taş mıcırları	< 1200	0,22	3
		< 1500	0,27	3
3.6	Genleştirilmiş perlit agregası (TS 3681)	< 100	0,060	3
		100 < 400	0,16	3
3.7	Genleştirilmiş mantar parçacıkları	< 200	0,055	3
Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi kg/m ³	Isıl iletkenlik hesap değeri (λ_h) W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ
3.10	Saman	150	0,058	3
4	SIVALAR, ŞAPLAR VE DİĞER HARÇ TABAKALARI			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	1800	1,0	15 / 35
4.2	Çimento harcı	2000	1,60	15 / 35
4.3	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	1400	0,70	10
4.4	Sadece alçı kullanarak (agregasız) yapılmış sıva	1200	0,51	10
4.5	Alçı harçlı şap	2100	1,20	15 / 35
4.6	Çimento harçlı şap	2000	1,40	15 / 35
4.7	Dökme asfalt kaplama	2100	0,70	50000
4.8	Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	800	0,30	
		900	0,35	
		1000	0,38	
4.9	Genleştirilmiş perlit agregasıyla yapılan sıvalar ve harç ve tabakaları	400	0,14	
		500	0,16	

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

		600	0,20	
		700	0,24	
		800	0,29	
5	BETON YAPI ELEMANI (Bu bölümde yer alan elemanlar tek başına bir yapı elemanını ifade etmektedir. Yapı elemanının bir örgü harcı kullanılarak uygulanması durumunda λ_h değerleri Sıra no: 7 'den alınmalıdır.)			
5.1	Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar			
	Donatılı	2400	2,50	80 - 130
	Donatısız	2200	1,65	70 / 120
5.2	Kesif dokulu hafif betonlar, (agregalar arası boşluksuz) donatılı veya donatısız			
5.2.1	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak ve kuvars kumu	800	0,39	70 / 150
	katılmaksızın yapılmış betonlar (TS 1114 EN 13055-1'e uygun agregalarla ⁶⁾)	900	0,44	70 / 150
		1000	0,49	70 / 150
		1100	0,55	70 / 150
		1200	0,62	70 / 150
		1300	0,70	70 / 150
		1400	0,79	70 / 150

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

		1500	0,89	70 / 150
		1600	1,00	70 / 150
		1800	1,30	70 / 150
		2000	1,60	70 / 150
5.2.2	Sadece genişletilmiş perlit kullanılarak ve kuvars kumu katılmaksızın yapılmış betonlar (TS 3649'a uygun) ⁶⁾	300	0,10	70 / 150
		400	0,13	70 / 150
		500	0,15	70 / 150
		600	0,19	70 / 150
		700	0,21	70 / 150
		800	0,24	70 / 150
		900	0,27	70 / 150
		1000	0,30	70 / 150
		1200	0,35	70 / 150
		1400	0,42	70 / 150
		1600	0,49	70 / 150
5.3	Tuvenan hâlindeki hafif agregalarla yapılan hafif betonlar (agregalar arası boşluklu)			
5.3.1	Gözeneksiz agregalar kullanılarak yapılmış betonlar	1600	0,81	3-10
		1800	1,10	3-10
		2000	1,40	5-10
5.3.2	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak kuvartz kumu katılmadan yapılmış betonlar ⁶⁾	600	0,22	5-15
		700	0,26	5-15

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

5.3.3	Yalnız doğal bims kullanılarak ve kuvars kumu katılmadan yapılmış betonlar	800	0,28	5-15
		1000	0,36	5-15
		1200	0,46	5-15
		1400	0,57	5-15
		1600	0,75	5-15
		1800	0,92	5-15
		2000	1,20	5-15
		400	0,12	5-15
		450	0,13	5-15
		500	0,15	5-15
		550	0,16	5-15
		600	0,18	5-15
		650	0,19	5-15
		700	0,20	5-15
sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ρ , kg/m ³	Isıl iletkenlik hesap değeri $\hat{\lambda}_h$ W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ
		750	0,22	5-15
		800	0,24	5-15
		900	0,27	5-15
		1000	0,32	5-15
		1100	0,37	5-15
		1200	0,41	5-15

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

		1300	0,47	5-15
5.4	Organik bazlı agregalarla yapılmış hafif betonlar			
5.4.1	Ahşap testere veya plânya talaşı betonu	400	0,14	5-15
		600	0,19	5-15
		800	0,25	5-15
		1000	0,35	5-15
		1200	0,44	5-15
5.4.2	Çeltik kapçığı betonu	600	0,14	5-15
		700	0,17	5-15
5.5	Buharla sertleştirilmiş gaz betonlar (TS EN 771-4'e uygun yapı elemanları dâhil)	350	0,11	5 / 10
		400	0,13	5 / 10
		450	0,15	5 / 10
		500	0,15	5 / 10
		550	0,18	5 / 10
		600	0,19	5 / 10
		650	0,21	5 / 10
		700	0,22	5 / 10
		750	0,24	5 / 10
		800	0,25	5 / 10
		900	0,29	5 / 10
		1000	0,31	5 / 10
6	YAPI PLÂKALARI VE LEVHALAR			

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

6.1	Gaz beton yapı levhaları (TS EN 771-4'e uygun plâkalar)			
6.1.1	Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilen levhalar	400	0,20	5 / 10
		500	0,22	5 / 10
		600	0,24	5 / 10
Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi¹⁻³⁾ kg/m³	Isıl iletkenlik hesap değeri $X_{h,3}$ W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ
		700	0,27	5 / 10
		800	0,29	5 / 10
6.1.2	İnce derzli veya özel yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen levhalar	350	0,11	5 / 10
		400	0,13	5 / 10
		450	0,15	5 / 10
		500	0,16	5 / 10
		550	0,18	5 / 10
		600	0,19	5 / 10
		650	0,21	5 / 10
		700	0,22	5 / 10
		750	0,24	5 / 10
		800	0,25	5 / 10

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

6.2	Hafif betondan duvar plâkaları	800	0,29	5 / 10
		900	0,32	5 / 10
		1000	0,37	5 / 10
		1200	0,47	5 / 10
		1400	0,58	5 / 10
6.3	Alçıdan duvar levhalar ve blokları (gözenekli, delikli, dolgu veya agregalı olanlar dâhil) (TS 451, EN 12859, TS 452, TS 1474'e uygun)	750	0,35	5 / 10
		900	0,41	5 / 10
		1000	0,47	5 / 10
		1200	0,58	5 / 10
6.4	Genleştirilmiş perlit agregası katılmış alçı duvar levhaları (TS EN 13169'a uygun)	600	0,29	5 / 10
		750	0,35	5 / 10
		900	0,41	5 / 10
6.5	Alçı karton plâkalar (TS 452'ye uygun)	800	0,25	8 / 25
7	KÂĞIR DUVARLAR (harç fugaları- derzleri dâhil)			
7.1	Tuğla duvarlar			
7.1.1	TS EN 771-1'e uygun tuğlalarla yapılan kâğır duvarlar, dolu klinker, düşey delikli klinker, (TS 4562) seramik klinker (TS 2902)	1800	0,81	5 / 10
		2000	0,96	5 / 10
		2200	1,20	5 / 10
		2400	1,40	5 / 10

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi kg/m ³	Isıl iletkenlik hesap değeri (λ_h) W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ >
7.1.6	Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	700	0,18	5 / 10
		750	0,19	5 / 10
		800	0,20	5 / 10
		850	0,20	5 / 10
		900	0,21	5 / 10
		950	0,22	5 / 10
		1000	0,24	5 / 10
		600	0,33	5 / 10
		700	0,36	5 / 10
		800	0,39	5 / 10
7.2	Kireç kum taşı duvarlar (TS 808 EN 771-2'ye uygun)	900	0,42	5 / 10
		1000	0,45	5 / 10
		700	0,35	5 / 10
		800	0,40	5 / 10
		900	0,44	5 / 10
		1000	0,50	5 / 10
		1200	0,56	5 / 10
		1400	0,70	5 / 10
		1600	0,79	15 / 25
		1800	0,99	15 / 25

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

		2000	1,10	15 / 25
		2200	1,30	15 / 25
7.3	Gaz beton duvar blokları ile yapılan duvarlar (TS EN 771- 4'e uygun)			
7.3.1	Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilmiş bloklarla yapılan duvarlar	400	0,20	5 / 10
		450	0,21	5 / 10
		500	0,22	5 / 10
		550	0,23	5 / 10
		600	0,24	5 / 10
		650	0,25	5 / 10
		700	0,27	5 / 10
		800	0,29	5 / 10
7.3.2	TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/ m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak veya özel yapıştırıcısıyla	350	0,11	5 / 10
	yerleştirilmiş (blok uzunluğunun en az 500 mm olması şartıyla) gaz beton bloklarla yapılan duvarlar	400	0,13	5 / 10

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi kg/m ³	Isıl iletkenlik hesap değeri (λ_h) W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu>$
		1400	0,57	5 / 10
		1600	0,62	10 / 15
		1800	0,68	10 / 15
		2000	0,74	10 / 15

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

7.4.3	TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/ m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak doğal bims betondan dolu	450	0,23	5 / 10
	bloklarla yapılan duvarlar (TS EN 771-3'e uygun DDB türü bloklarla, kuvars kumu katılmaksızın yapılmış)	500	0,24	5 / 10
		550	0,25	5 / 10
		600	0,26	5 / 10
		650	0,27	5 / 10
		700	0,28	5 / 10
		800	0,30	5 / 10
		900	0,32	5 / 10
		1000	0,35	5 / 10
7.4.4	Kuvars kumu katılmaksızın doğal bimsle yapılmış betondan özel yarıklı dolu duvar bloklarıyla yapılan duvarlar (TS EN 771-3'e uygun SW türü bloklarla)	450	0,18	5 / 10
		500	0,20	5 / 10
		550	0,21	5 / 10
		600	0,22	5 / 10
		650	0,23	5 / 10
		700	0,25	5 / 10
		800	0,27	5 / 10
		900	0,30	5 / 10
		1000	0,32	5 / 10
7.4.5	TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/ m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak kuvars kumu katılmaksızın	450	0,16	5 / 10
	doğal bimsle yapılmış betondan özel yarıklı dolu duvar bloklarıyla yapılan duvarlar (TS EN 771-3'e uygun SW türü bloklarla)	500	0,17	5 / 10
		550	0,18	5 / 10

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

		600	0,19	5 / 10
		650	0,20	5 / 10
		700	0,21	5 / 10
		800	0,23	5 / 10
		900	0,26	5 / 10
		1000	0,29	5 / 10
7.4.6	Genleştirilmiş perlit betonundan dolu bloklarla yapılan duvarlar (kuvartz kumu katılmaksızın yapılmış bloklarla) (TS 3681'e uygun agregayla TS 406'ya uygun olarak	500	0,26	5 / 10

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi kg/m ³	Isıl iletkenlik hesap değeri (λ_h) W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ >
	045	(110-150)	0,045	11)
	050		0,050	
	055		0,055	
10.7	Ahşap lifli ısı yalıtım levhaları - TS EN 13168'e uygun Isıl iletkenlik grupları			
	035		0,035	
	040		0,040	
	045	(110-450)	0,045	5
	050		0,050	
	055		0,055	
	060		0,060	

Tablo Ek-2.1. Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısı iletkenlik hesap değeri (λ_h) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) (Devamı)

10.8	065		0,065	
	070		0,070	
	Mantar yalıtım malzemeleri			
	Mantar levhalar - TS 304 EN 13170'e uygun			
	Isıl iletkenlik grupları	(80-500)	0,045	5-10
	045			
	050		0,050	
	055		0,055	

- 1) Bu Ek'te verilen birim hacim kütleleri, bir yapı malzeme veya bileşeninin gerçek birim hacim kütlesinden farklı olabilir. Bu gibi durumlarda göz önünde bulundurulacak ısı iletkenlik hesap değeri, esas malzemenin (meselâ, tuğla duvarda tuğlanın) kuru durumdaki birim hacim kütlesine (varsa içindeki boşluk ve delikler dâhil birim hacim kütlesi) en yakın, ancak ondan daha büyük olan birim hacim kütlesi için verilen değerdir. Bir malzeme veya bileşen için sadece bir birim hacim kütlesine bağlı olarak daha düşük veya aynı ısı iletkenlik hesap değeri verilmişse, malzeme veya bileşenin gerçek birim hacim kütlesi farklı da olsa bu ek'teki daha düşük olmayan değer geçerlidir. Gerektiğinde, yapı malzeme veya bileşenlerinin birim alan kütlelerinin hesabında da bu ek'teki birim hacim kütleleri yukarıdaki esaslara göre göz önünde bulundurulur.
- 2) 10 sıra numaralı "ısı yalıtım malzemeleri" bölümünde parantez içinde verilen yoğunluk değerleri sadece birim alana tekabül eden kütlelerin belirlenmesi amacıyla verilmiştir (meselâ, yaz şartlarında yapılan ısı korumanın doğrulanması durumunda).
- 3) Bazı gevşek dokulu malzemeler kullanıldığı yerlerde, üzerine gelen yükler sonucu sıkışabilirler (meselâ döşeme kaplaması altındaki gevşek dokulu yalıtım tabakaları gibi). Bu gibi durumlarda malzemenin sıkışmış olarak birim hacim kütlesi, bu malzeme için bu ek'te verilen birim hacim kütlesi değerinden daha büyük değilse, verilen ısı iletkenlik hesap değerleri aynen geçerlidir. Ancak yapılacak ısı geçirgenlik direnci hesaplarında, malzemenin sıkışmış durumdaki kalınlığının göz önünde bulundurulması gerekir. Ayrıca, gevşek dokulu veya sıkışabilir malzemeler üzerine yapılacak

kaplamaların, üzerlerine gelecek sabit ve hareketli yükleri, zarar görmeden taşıyacak şekilde seçilmesine ve uygulanmasına özen gösterilmelidir. Mü (p) değerlerinin kullanımı ile ilgili olarak malzeme imalatçısının TSE belgeli tek değer olarak beyanı yok ise, yapı bileşenleri için her durumda verilen aralık değerlerinden küçük olanı alınır ve hesaba katılır. İlâve olarak, bina kabuğunun dış tarafında yer alan malzemeler için “p”nün değeri olarak verilen büyük değer alınabilir. Yapı konstrüksiyonu için uygun olmayan değerler her defasında göz ardı edilir.

4) TS EN 998-2’ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m^3 ’ün altında olan hafif örgü harcı kullanılması durumunda, bu ek’te; TS 406 kapsamında yer alan briket ve bloklarla yapılan duvarlar için verilen ısı iletkenlik hesap değerleri $0,06 \text{ W/mK}$ kadar azaltılabilir.

5) Kuvartz kumu katılmadan yapılmış beton elemanlar için verilen ısı iletkenlik hesap değerleri, kuvartz kumu katılması durumunda % 20 arttırılarak uygulanır.

6) Bir yapı bileşeni veya elemanı birden fazla, değişik ısı iletkenlik hesap değerine sahip malzemeden meydana geliyorsa, o yapı bileşeni veya elemanın ısı iletkenliği hesap değeri; her bir malzemenin kalınlıkları ve alan/uzunlukları dikkate alınarak ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanır, böylece yüzey yüzde (%) veya uzunluk yüzde (%) oranlarına göre ortalama ısı iletkenlik değerleri bulunur ve bileşen veya elemanın boyutlarına göre derz durumları da göz önünde bulundurularak hesaplanır.

7) TS 11989 EN 13164’te belirtilen özelliklere ilâveten, toprak temaslı perde duvar yalıtımında, $WD^{12)}$ veya $WS^{13)}$ tipi uygulamalarda aşağıdaki özellikler gereklidir:

- Isı yalıtım plakalarının her iki yüzünde zırlı olmalıdır.
- Basma mukavemeti $\%10$ şekil bozukluğunda $> 0,30 \text{ N/mm}^2$ (300 kPa) olmalıdır.
- TS EN 12088’e göre difüzyonla su emme oranı 50°C ilâ 1°C arasında % 3’ten az

olmalıdır.

8) TS 11989 EN 13164’te belirtilen özelliklere ilâveten, ters teras çatı yalıtımında, $WD^{12)}$ veya $WS^{13)}$ tipi uygulamalarda aşağıdaki özellikler gereklidir.

- Basma mukavemeti $\%10$ şekil bozukluğunda $> 0,30 \text{ N/mm}^2$ (300 kPa) olmalıdır.
- TS EN 12088’e göre difüzyonla su emme oranı 50°C ilâ 1°C arasında % 3’ten az

olmalıdır.

- Isı yalıtım levhalarının kenar profili binili (lâmbalı) olmalıdır.

9) Ses yalıtım malzemelerinin ambalajlarının üzerinde ısı iletkenlik grup değerleri verilmelidir.

- 10) Pratik buhar geçirmezliği değeri S_d 1500 m'dir (TS EN 12086 veya TS EN ISO 12572).
- 11) **WD:** Darbe ses yalıtımının aranmadığı yüke maruz kalan döşemelerde veya sıcak çatılarda nefes alan su yalıtım membranı altında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri.
- 12) **WS:** Özel uygulamalar için yüke maruz kaldığında daha büyük dayanım değerlerine sahip olan ısı yalıtım malzemeleri (örneğin otopark katlarında).
- 13) Bu Ek'in 10'uncu maddesinde verilen ısıl iletkenlik grubu tayini ile belirlenecek olan malzemelerin ısıl iletkenlik hesap değerinin ara değerlerde olması halinde, kendisinden büyük olan ilk grupta olduğu varsayılır ve hesaba katılır.
- 14) Sadece iki tabaka arasına püskürtme metoduyla yapılan uygulamalar için kullanılır.
- 15) Kalınlığı 15 mm'den küçük olan ahşap yünü levhalar, ısıl iletkenlik hesaplamalarında dikkate alınmaz.

Ek-3

Tablo Ek-3.1. Farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri $[[\theta_{i i} (^{\circ}\text{C})]$

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

Tablo Ek-3.2. Farklı derece gün (DG) bölgeleri için ısı kaybı ve yoğuşma hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri[[$\theta_e(^{\circ}\text{C})$]]

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

Ek-4

Tablo Ek-4.1. Bütün derece gün bölgeleri için hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama aylık güneş ışınlı şiddeti değeri [W/m²]

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

Not - Ara yönlerin aylık ortalama güneş ışınlı şiddeti değeri olarak, hakim yönlerin değeri, yatay camlamalarda ise Güney yönü için verilen değeri alınır.

Tablo Ek-5.1. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri

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

Tablo Ek-5.2. Bölgelere ve ara değer $A_{top}/V_{brüt}$ oranlarına bağlı olarak sınırlandırılan Q^I 'nin hesaplanması

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

Tablo Ek-6.1. Aylara Ve Günlere Göre 10 Yıllık Ortalama Güneşlenme Süreleri

Gün/Ay	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	3,25	3,01	3,24	4,6	6,42	8,21	10,3	8,94	8,08	5,85	4,69	3,75
2	4,45	4,83	3,48	5,61	7,05	6,39	10,18	9,17	7,6	6,73	5,38	3,5
3	3,85	5,57	2,49	3,52	5,59	8,55	9,9	8,28	7,9	5,24	5,35	2,67
4	2,65	4,52	3,86	6,38	5,32	9,03	9,9	9,38	8,02	6,46	5,51	3,15
5	1,93	4	3,35	6,59	5,02	9,56	8,82	9,49	7,84	6,8	4,45	3,47
6	3,27	5,1	5,43	5,69	5,37	8,78	9,04	9,21	8,36	7,38	4,95	3,77
7	2,95	4,44	4,15	5,76	4,73	8,48	9,15	8,84	7,6	6,42	5,14	3,93
8	3,04	3,2	4,3	5,41	5,76	8,12	9,86	8,31	8,23	5,03	6,45	3,22
9	2,46	4,65	4,3	5,83	5,21	8,15	9,87	8,93	8,15	4,7	6,15	3,61
10	4,69	4,49	4,97	4,3	6,76	8,21	9,39	8,4	7,34	6,35	4,74	2,95
11	4	3,95	4,91	5,47	6,71	7,7	10,33	9,15	7,95	6,58	4,66	2,45
12	4,35	3,42	4,95	5,02	6,62	8,2	10,34	8,97	8,12	6,85	5,07	2,44
13	3,89	4,68	2,92	5,06	6,7	8,04	9,67	9,12	7,55	5,36	4,99	3,01
14	3,24	4,79	4,66	5,95	5,92	8,16	9,51	8,56	7,19	6,06	4,82	2,79

Tablo Ek-6.1. Aylara Ve Günlere Göre 10 Yıllık Ortalama Güneşlenme Süreleri (Devamı)

Gün/Ay	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
15	3,85	4,27	3,67	6,79	5,81	7,66	8,83	8,89	7,85	4,23	4,89	3,17
16	4,01	3,66	4,55	6	6,45	6,3	8,87	8,01	7,65	6,16	4,33	4,4
17	3,25	4,42	5,91	5,35	8,14	8,15	8,76	8,33	7,02	7,27	5,05	2,82
18	2,6	4,15	4,85	5,53	8,1	8,85	9,03	8,63	7,58	6,84	3,95	2,6
19	2,8	4,77	6,96	7,15	6,44	8,34	8,62	8,81	7,24	6,24	4,87	2,41
20	3,62	4,62	4,83	6,94	4,68	8,28	8,34	8,76	6,69	5,65	3,67	3,5
21	5,57	4,23	5,18	4,81	6,47	8,09	9,46	8,32	6,47	6,37	4,24	4,49
22	3,77	4,66	4,58	6,56	7,53	8,78	9,51	8,67	5,25	6,48	4,14	2,47
23	3,93	5,08	4,94	6,25	5,89	10,04	9,04	8,6	4,87	5,46	4,11	3,68
24	2,18	4,28	4,88	7,22	6	9,07	9,18	8,62	5,93	4,93	5,22	2,64
25	2,05	3,86	6,06	8,11	6,63	9,67	9,61	7,95	6,72	4	4,02	1,95
26	2,38	3,55	7,11	8,09	6,71	9,15	9,51	8,61	6,45	4,25	3,65	3,55
27	3,18	4,44	5,55	7,02	7,29	8,78	9,25	8,46	6,5	5,1	3,86	2,33
28	2,33	4,78	5,68	7,65	6,19	9,95	9,43	8,87	6,49	3,95	3,19	3,73
29	2,49		3,73	7,44	6,48	9,27	8,75	8,32	7,03	4,52	4,96	3,23
30	3,2		4,13	7,15	8,7	10,14	9,27	8,35	6,32	3,87	2,76	2,08
31	1,61		5,12		7,48		9,18	8,57		4,54		3,17

Ek-7**Tablo Ek-7.1.** Aylara ve günlere göre 10 yıllık günlük ortalama sıcaklığı

Gün/Ay	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
1	-0.73	-0.60	3.97	9.28	15.27	18.17	23.14	26.20	23.38	15.47	8.15	3.43
2	-1.59	-2.19	3.60	10.39	14.89	17.98	23.58	26.23	23.07	15.12	7.49	2.04
3	-2.81	-3.38	4.49	9.64	14.71	18.62	23.63	26.23	23.05	14.90	6.78	1.51
4	-1.92	-4.16	3.96	9.13	14.18	19.70	24.00	25.73	22.74	14.15	6.87	2.12
5	-1.56	-3.60	3.50	9.71	15.08	19.97	23.67	25.15	22.66	14.11	7.65	2.65
6	-0.26	-2.02	3.34	11.52	14.21	19.87	23.55	25.27	22.85	14.41	8.15	2.16
7	-0.39	-0.68	5.03	12.87	13.42	19.01	23.55	25.09	21.59	14.26	8.28	1.61
8	-0.60	0.68	5.77	11.87	13.77	18.92	23.49	24.98	21.08	14.23	7.75	2.15
9	-2.15	1.10	7.02	10.82	14.33	19.45	23.97	25.15	21.39	14.01	7.74	1.73
10	-3.55	0.65	7.03	9.60	14.65	19.95	24.45	25.17	20.97	13.85	8.24	1.20
11	-3.86	0.01	6.35	9.39	15.01	19.57	25.04	25.69	21.21	14.56	7.05	1.75
12	-3.58	-0.27	7.14	9.19	15.02	19.65	25.34	26.02	21.49	14.39	7.83	1.09
13	-2.77	-0.14	7.83	9.54	14.19	20.46	25.62	25.19	21.68	14.24	7.71	0.33
14	-2.06	0.80	7.39	11.04	14.96	21.05	25.09	25.55	21.74	14.11	6.89	-0.89
15	-2.67	2.83	5.99	11.85	15.58	20.65	23.83	25.75	21.51	14.16	5.94	-1.13

Tablo Ek-7.1. Aylara Ve Günlere Göre 10 Yıllık Günlük Ortalama Sıcaklığı(Devamı)

Gün/Ay	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
16	-2.60	1.91	5.05	11.55	16.21	20.26	24.08	25.30	20.76	13.53	5.85	-1.25
17	-1.68	1.65	4.36	11.57	17.15	20.36	24.65	24.88	20.17	13.82	5.50	-0.50
18	-0.78	1.77	4.59	12.14	18.21	20.38	24.62	25.37	20.14	13.93	5.12	-0.11
19	-1.12	1.59	5.95	13.18	16.07	20.80	24.27	25.77	20.20	12.60	4.95	0.03
20	-2.17	1.25	6.84	12.80	16.20	21.31	24.42	24.69	20.35	12.02	5.30	-0.12
21	-2.31	1.89	6.44	12.03	16.15	20.82	24.83	24.68	19.67	12.05	5.43	1.55
22	-1.67	1.31	6.80	11.79	16.81	20.62	25.06	24.25	19.03	11.92	4.65	1.56
23	-1.12	1.51	7.66	12.02	15.78	21.76	24.95	24.42	17.57	12.13	4.07	1.17
24	-1.63	1.69	7.98	12.23	15.74	21.77	24.99	24.36	16.87	12.12	4.31	1.55
25	-1.25	2.72	8.75	13.97	15.92	22.35	25.54	24.46	17.10	12.40	4.74	0.65
26	0.05	3.71	9.13	14.68	16.02	22.66	26.07	24.08	17.17	11.13	5.02	0.21
27	-1.46	4.34	9.80	15.45	15.88	23.75	26.31	24.49	17.06	10.75	4.22	0.25
28	-2.31	4.58	9.07	15.05	16.40	24.12	26.08	24.75	16.55	10.30	4.17	0.07
29	-1.94		8.01	14.82	16.77	23.50	25.98	24.73	16.21	10.72	4.63	0.45
30	-1.12		7.31	14.83	17.59	23.17	25.95	24.75	15.50	9.90	4.13	1.55
31	-0.63		8.06		18.62		25.85	24.37		9.57		0.88

