



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI DUVAR TİPLERİNDE KULLANILAN YALITIM
MALZEMELERİ İÇİN ENERJİ, MALİYET VE ÇEVRESEL ETKİ
ANALİZİ; BATMAN İLİ ÖRNEĞİ**

Fırat HAMARAT

**KASIM-2024
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI DUVAR TİPLERİNDE KULLANILAN YALITIM
MALZEMELERİ İÇİN ENERJİ, MALİYET VE ÇEVRESEL ETKİ
ANALİZİ; BATMAN İLİ ÖRNEĞİ

Fırat HAMARAT

Danışman
Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

Diğer Jüri Yeleri

Dr. Öğr. Üyesi M. Ali KALLIOĞLU

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

KASIM -2024
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Fırat HAMARAT tarafından hazırlanan “Farklı Duvar Tiplerinde Kullanılan Yalıtım Malzemeleri İçin Enerji, Maliyet ve Çevresel Etki Analizi; Batman İli Örneği” adlı tez çalışması 19/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

.....

Danışman

Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi M. Ali KALLIOĞLU

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Fırat HAMARAT

Tarih: 19/11/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI DUVAR TİPLERİNDE KULLANILAN YALITIM MALZEMELERİ İÇİN ENERJİ, MALİYET VE ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ; BATMAN İLİ ÖRNEĞİ

Fırat HAMARAT

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan KARAKAYA

2024, 66 Sayfa

Teknolojinin gelişmesi, kentleşme ve artan nüfus, enerji ihtiyacını her geçen gün artırmaktadır. Bu bağlamda, yalnızca yeni ve alternatif enerji kaynaklarının araştırılması değil, aynı zamanda enerjinin verimli kullanımı da büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Batman ili iklim şartlarında dört farklı yalıtım malzemesi, dört farklı duvar tipi (Tuğla, izo tuğla, bims ve gaz beton) ve dört farklı yakıt türü (Kömür, Doğalgaz, Fuel oil ve soğutmada Elektrik) kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları, maliyet, geri ödeme süreleri ve çevresel etki analizleri yapılmış olup grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Tüm değerler ısıtma için incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığında en yüksek değer 0.158 m ile bims-fuel oil-cam yünü kullanılması durumunda en küçük değer ise 0.020 m ile izo tuğla-doğal gaz-taş yünü kullanılması durumunda hesaplanmıştır. Soğutma için en yüksek değer 0.039 m ile bims-elektrik-cam yünü kullanılması durumunda en küçük değer 0.005 m ile izo tuğla-elektrik-taş yünü kullanılması durumunda hesaplanmıştır. Ayrıca güneş ışınımının etkisi dikkate alınarak ısıtma ve soğutma derece gün sayıları hesaplanmış buna bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı ve diğer parametrelerin değişimi belirlenmiştir.

Yalıtım yapılmadan önce lokasyonun iklim verileri, kullanılması düşünülen duvar yapısı, yakıt türü, yalıtım türüne göre hesaplamalar yapılarak çevre, maliyet ve enerji açısından en uygun seçim yapılabilir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki, Geri ödeme süresi, Optimum yalıtım kalınlığı, Yalıtım, Enerji tasarrufu.

ABSTRACT

MASTER THESIS

ENERGY, COST, AND ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS OF INSULATION MATERIALS USED IN DIFFERENT WALL TYPES; A CASE STUDY OF BATMAN PROVINCE

Firat HAMARAT

Batman University Graduate Education Institute

Mechanical Engineering Department of Science

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan KARAKAYA

2024, 66 Pages

The development of technology, urbanization, and the increasing population are raising the demand for energy every day. In this context, not only the research of new and alternative energy sources but also the efficient use of energy is of great importance.

In this study, under the climatic conditions of Batman province, the optimum insulation thicknesses, costs, payback periods, and environmental impact analyses were conducted using four different insulation materials, four different wall types (Brick, iso brick, pumice, and aerated concrete), and four different fuel types (Coal, Natural Gas, Fuel oil, and Electricity for cooling). The results were presented in the form of graphs and tables. When all values were examined for heating, the highest value at the optimum insulation thickness was calculated as 0.158 m using pumice-fuel oil-glass wool, while the lowest value was calculated as 0.020 m using iso brick-natural gas-stone wool. For cooling, the highest value was calculated as 0.039 m with the use of pumice-electric-glass wool, while the lowest value was calculated as 0.005 m with the use of iso-brick-electric-stone wool. Additionally, considering the effect of solar radiation, heating and cooling degree day numbers have been calculated, and based on this, the optimal insulation thickness and the variation of other parameters have been determined.

Before insulation is applied, calculations can be made based on the location's climate data, the wall structure to be used, the type of fuel, and the type of insulation, allowing for the most suitable choice in terms of environment, cost, and energy.

Keywords: Environmental impact, Payback period, Optimum insulation thickness, Insulation, Energy saving.

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, yüksek lisans eğitimim süresince değerli katkılarda bulunan, çalışmamı öneren ve her aşamada bilgi ve tecrübeleriyle beni daima destekleyen, başaracağıma inanan, her daim yanımda olan saygıdeğer danışmanım Sayın Doç. Dr. Hakan KARAKAYA' ya ve tez jürimde yer alan sayın hocalarıma destekleri için şükranlarımı sunarım.

Ayrıca eğitim hayatım dahil ve yaşamımın her aşamasında yanımda olan, desteklerini esirgemeyen ve başarabileceğime inanan sevgili aileme beni bu noktaya kadar sıkılmadan, yorulmadan getiren anneme, babama ve her zaman destekleyen tüm kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi iletmek isterim. Onların motivasyonu ve sürekli desteği, bu sürecin en önemli unsurlarından biri olmuştur.

Fırat HAMARAT
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER/TABLolar LİSTESİ.....	xx
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Yalıtım (İzolasyon).....	2
1.1.1. Isı yalıtımı.....	3
1.1.2. Isı yalıtımın amacı ve önemi.....	3
1.1.3. Binalarda ısı yalıtımı ile ilgili mevzuat.....	5
1.1.3.1. TS-825 standardı.....	5
1.1.4. Yalıtım malzemeleri.....	9
1.1.4.1. Taş yünü.....	9
1.1.4.2. Ekstrüde polistiren köpük (XPS).....	11
1.1.4.3. Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS).....	11
1.1.4.4. Cam yünü.....	12
1.1.4.5. Poliüretan sert köpük (PUR).....	13
1.1.4.6. Fenol köpük.....	14
1.1.4.7. Ahşap lifli levhalar (WF).....	15
1.1.4.8 Genleştirilmiş mantar levha.....	16
1.1.4.9. Genleştirilmiş perlit (EPB).....	17
1.1.5. Dolgu duvar malzemeleri.....	17
1.1.5.1. Tuğla.....	17
1.1.5.2 Bims.....	18
1.1.5.3. Gaz beton	19
1.1.6. Duvarlarda ısı yalıtım uygulamaları.....	20
1.1.6.1. İçten yalıtım.....	20
1.1.6.2. Ortadan yalıtımlı (Sandviç duvar).....	22
1.1.6.3. Dıştan yalıtım	23
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi.....	32

3.1.1. Duvar tipi, yalıtım malzemesi ve yakıt türü seçimi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
3.1.2 Duvar tiplerinin seçimi.....	32
3.1.3. Senelik ısı enerjisi.....	33
3.1.4. Yalıtım malzemesi seçimi.....	35
3.1.5. Yakıt türleri seçimi	35
3.1.6. Ekonomik analiz yöntemi.....	36
3.1.7. Optimum yalıtım kalınlığının tespiti yöntemi.....	37
3.1.8. Geri ödeme periyodu tespiti.....	38
3.1.9. Çevresel etki analiz.....	38
3.2. Batman İli İçin Yapılan Hesaplamalar.....	39
3.2.1. Duvardaki toplam ısıının geçirgenlik katsayısının tayini.....	39
3.2.2. Şimdiki değer faktörünün hesaplanması.....	40
3.2.3. Optimum yalıtım kalınlığının hesabı	41
3.2.4. Yatırım maliyeti hesabı.....	41
3.2.5. Senelik toplam ısıtma maliyeti kazancı hesabı.....	42
3.2.6. Geri ödeme süresi.....	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
5.1. Sonuçlar.....	58
5.2. Öneriler.....	59
KAYNAKLAR.....	60

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. İllere göre derece gün bölgeleri (TS 825, 2013; Atmaca, 2016).....	8
Çizelge 1.2. Isı yalıtım malzemelerinin sınıflandırması (Moran,2018).....	9

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Yalıtım malzemelerinin özellikleri	35
Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri (Kürekçi, 2012; Karakaya, 2018).....	35
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan duvar yapıları (Karakaya, 2018).....	40
Tablo 4.1. Tuğla duvar için hesaplanan değerler.....	45
Tablo 4.2. İzo tuğla duvar için hesaplanan değerler.....	46
Tablo 4.3 Bims duvar için hesaplanan değerler.....	48
Tablo 4.4. Gaz beton duvar için hesaplanan değerler.....	49
Tablo 4.5. Isıtma ve Soğutma Derece Gün değerleri.....	52
Tablo 4.6. Işınımın dahil edilmesi durumunda izo tuğla için hesaplanan değerler.....	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Binalarda oluşan ısı kayıp oranları (Uzun,2013)	4
Şekil 1.2. Derece gün bölge haritası (TS 825, 2013; Atmaca, 2016)	7
Şekil 1.3. Taş yünü örneği (Anonim, 2024e).....	10
Şekil 1.4. Ekstrüde polistiren köpük (XPS) (Anonim, 2024g).....	11
Şekil 1.5. Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS) (Anonim, 2024h).....	12
Şekil 1.6. Cam Yünü (Anonim, 2024i).....	13
Şekil 1.7. Poliüretan sert köpük (Anonim, 2024k).....	14
Şekil 1.8. Fenol köpüğü (Anonim, 2024l).....	15
Şekil 1.9. Ahşap lifli levhalar (İzoder, 2003; ÇŞB, 2015).....	16
Şekil 1.10. Genleştirilmiş mantar levhalar (ÇŞB, 2015).....	16
Şekil 1.11. Genleştirilmiş perlit (Anonim, 2024o).....	17
Şekil 1.12. Yatay delikli tuğla.....	18
Şekil 1.13. Bims(Anonim, 2024m).....	19
Şekil 1.14. Gaz beton duvar malzemesi	20
Şekil 1.15. İçten EPS yalıtımlı duvar örneği	21
Şekil 1.16. İçten yalıtımlı duvar detayı.....	21
Şekil 1.17. EPS yalıtımlı (Sandviç) tuğla duvar örneği.....	22
Şekil 1.18. Ortadan yalıtımlı (Sandviç) duvar detayı	22
Şekil 1.19. EPS kullanılarak yapılan mantolama işlemi.....	24
Şekil 1.20. Dış cephe yalıtımlı duvar detayı	24
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan duvar örneği	33
Şekil 4.1. Tuğla duvar tipi ve XPS yalıtım malzemesi için yalıtım, yakıt ve toplam giderlerin yalıtım kalınlığı ile değişimi.....	43
Şekil 4.2. XPS yalıtım malzemesi ve kömür yakıtı için farklı duvar tiplerinde CO ₂ salınımı.....	50
Şekil 4.3. İzo tuğla duvar tipi ve EPS yalıtım malzemesi için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı SO ₂ değişimi	51
Şekil 4.4. Batman ilinin yıl boyu dış hava sıcaklığının günlük değişimi	53
Şekil 4.5. Batman ilinin yıl boyu günlük eşdeğer çevre sıcaklığının değişimi (Ti=18°C).....	54
Şekil 4.6. Dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak Isıtma Derece-Gün (IDG) değerlerinin değişimi	54
Şekil 4.7. Batman ilinin yıl boyu günlük eşdeğer çevre sıcaklığının değişimi (Ti=26°C).....	55
Şekil 4.8. Soğutma Derece-Gün (SDG) değerlerinin eşdeğer çevre sıcaklıklarına göre değişimi.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	: Güneş ışıınının dış yüzeyde yutma oranı
C_A	: Senelik enerji maliyeti (yalıtımsız) (TL/m ² -yıl)
C_{Ain}	: Senelik enerji maliyeti (yalıtlımlı) (TL/m ² -yıl)
C_f	: Yakıt maliyeti (TL/kg; TL/m ³)
C_i	: Yalıtım malzemesi maliyeti (TL/m ³)
C_T	: Toplam ısıtma maliyeti (yalıtımsız) (TL)
C_{Tin}	: Toplam ısıtma maliyeti (yalıtlımlı) (TL)
E_A	: Yıllık enerji ihtiyacı (j/m ² -yıl)
g	: Enflasyon oranı
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri (J/kWh, J/kg, J/m ³)
h_o	: Dış ortamdaki taşınım katsayısı (W/m ² K)
I	: Güneş ışıınını şiddeti (W/m ²)
i	: Faiz oranı
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
M	: Yakıtın molar ağırlığı
m_{fA}	: Tüketilen senelik yakıt miktarı (kg/m ² -yıl)
N	: Çalışma ömrü
PP	: Geri ödeme süresi
q	: Birim alandan olan ısı kaybı (W/m ²)
r	: Reel faiz oranı
R	: Isı iletkenlik direnci (m ² K/W)
R_i	: İç ortam ısı taşınım direnci (m ² K/W)
R_{izo}	: İzolasyon malzemesi iletim direnci (m ² K/W)
R_o	: Dış ortam ısı taşınım direnci (m ² K/W)
R_w	: Duvar iletim direnci (m ² K/W)
R_{wt}	: Toplam duvar iletim direnci (yalıtım hariç) (m ² K/W)
S_A	: Senelik enerji tasarrufu
ΔT	: Sıcaklık farkı (°K)
T_e	: Eşdeğer sıcaklık (°K)
T_i	: Denge sıcaklığı (°K)
T_o	: Gün içindeki ortalama dış ortam sıcaklığı (°K)
U	: Toplam ısı transfer katsayısı (W/m ² K)
x	: İzolasyon kalınlığı (m)
x_{opt}	: Optimum yalıtım kalınlığı (m)
η	: Verim

Kısaltmalar

ÇŞB : Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DGS : Derece gün sayısı
EPS : Genleştirilmiş Polistiren Köpük
IDG : Isıtma derece gün
MGM :Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PUR : Poliüretan Sert Köpük
PWF : Şimdiki değer faktörü
SDG : Soğutma derece gün
TS : Türk Standartları
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
XPS : Extrude Polistren Köpük

1.GİRİŞ

Günümüzde hızlı bir şekilde artan nüfusun beraberinde getirdiği ihtiyaçların başında enerji gelmektedir. Dünyada nüfusunun artış göstermesi, sanayileşme olgusu, insanların ihtiyaçlarının çeşitlenmesi ve mevcut yaşam tarzlarının dönüşmesi ile enerji sorunu küresel düzeyde önemli bir mesele haline gelmiştir. Bu çerçevede, enerji talebinin sürekli bir artış eğilimi göstermesi, hem ekonomik büyümenin sürdürülebilirliği hem de çevresel etkilerin yönetimi açısından giderek daha kritik bir boyut kazanmaktadır (Dombayci et., 2017). Sanayileşme süreci, ekonomik büyüme ve teknolojik ilerlemelerle birlikte, enerji tüketimini kaçınılmaz bir şekilde artırmıştır. Enerjiye olan bu talep artışı, fosil yakıtların hızla tükenmesine ve çevresel sürdürülebilirlik konusundaki endişelerin derinleşmesine yol açmaktadır. İnsanoğlu yıllar boyunca bu ihtiyaçlar için uğraşlar sarf etmiş ve hatta savaşlar yapmıştır. Bu temel ihtiyaçları karşılamak için teknolojik çağın gerisinden başlayıp günümüze kadar farklı alternatif yollar denenmiş ve kaynaklar bulunmuştur. Bu kaynakların başında ise fosil yakıtlar gelmektedir. Fosil yakıtların enerji için kullanımının bazı olumsuzlukları bulunmaktadır. Çevreye verdiği zarar ve hızlı bir şekilde tükenmesi fosil yakıtlara alternatif enerjiler arayışı başlatmıştır.

Günümüzün enerji ihtiyacı, ekonomik kalkınma, teknolojik ilerlemeler, artan nüfus ve yaşam standartlarının yükselişiyle sürekli olarak artmaktadır. Enerji talebi ile ilgili temel dinamikler alttaki şekilde sıralanabilir:

1.Nüfus Artışı: Dünya hızla artmakta ve bu da enerji talebinin giderek artmasına neden olmaktadır.

2. Kentleşme: Daha fazla insan şehirde yaşadıkça enerji tüketimi artmaktadır.

3.Endüstriyel Gelişim: Sanayi ve üretim değişimi enerji tüketimini artırmaktadır.

4.Teknolojik İlerlemeler: Yeni teknolojilerin kullanımı, özellikle bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler enerji tüketimini artırmaktadır.

5.Yaşam Standartlarının Yükselmesi: Daha yüksek yaşam standartları, daha fazla enerji tüketen cihaz ve sistemleri teşvik etmektedir.

Enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi endişeye yol açmaktadır. Alternatif enerji kaynakları arayışının yanı sıra var olan enerji kaynaklarını verimli ve tasarruflu bir şekilde kullanmak önem kazanmıştır.

Enerji tasarrufu ile enerji tüketimini azaltılarak kaynakların daha verimli kullanılması sağlanabilir. Günümüzde sıkça kullanılabilecek enerji tasarrufu yöntemleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

Konutlarda Enerji Tasarrufu:

1. Isı yalıtımı
2. Verimli ısıtma ve soğutma
3. Enerji verimliliği ekipmanları
4. Doğal ışık kullanımı

Sanayi ve İş Yerinde Enerji Tasarrufu

1. Enerji verimli ekipmanlar.
2. Otomasyon ve kontrol sistemleri.
3. Enerji yönetim sistemleri.
4. Atık ısı geri kazanımı

Isı yalıtımı başta konutlar olmak üzere birçok alanda enerji tasarrufu oluşturulabilecek en yaygın yöntemlerden biridir. Bu çalışmada da Batman ili için konutlarda kullanılan farklı yakıt, farklı yalıtım malzemesi, farklı duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlıkları, maliyetler, amortisman (geri ödeme) süreleri, çevresel etkiler, enerji tasarruf oranı vb. hesaplamalar yapılmış elde edilen sonuçlar irdelenerek bu alanda yapılacak çalışmalar ve sektördeki uygulamalar için öneriler sunulmuştur.

1.1 Yalıtım (İzolasyon)

Yalıtım, yalıtkan özelliğe sahip malzemeler kullanılarak iç ortam ile dış ortama arasındaki enerji akışının önlenmesidir. Isı enerjisi çok yoğun ortamdan (sıcak ortamdan) az yoğun ortama (soğuk ortama) kendiliğinden akar. Sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen bu akış ortamda ısı kaybına neden olur. Yalıtım sayesinde ısı kaybı engellenmeye çalışılır (Anonim, 2024a).

Isı kayıplarını engellemenin yanı sıra yapıların iç ve dış etkenlerden korunmasını, su/nem ve ısı/ses geçişlerini kontrol altına alarak uzun ömürlü olmasını, gürültünün en aza indirilmesini, sağlıklı, can ve mal emniyeti açısından güvenli olmasını sağlayacak her türlü kaplama işlemleri yalıtım olarak isimlendirilir (Anonim, 2024b).

Yalıtım, binalarda ve yapılarda enerji verimliliğini artırmak, enerji tasarrufu sağlamak ve konforu artırmak amacıyla ısı, ses ve su geçişini azaltmak veya engellemek

için kullanılan yöntem ve malzemelerdir. Yalıtım, enerji maliyetlerini düşürerek çevresel etkileri azaltır ve yaşam kalitesini yükseltir.

1.1.1. Isı yalıtımı

Isı yalıtımı, bireylerin yaşadıkları bölgelerde ısı konfor koşullarına ulaşabilmeleri için yapılan bir uygulamadır. Bu uygulama, kış mevsiminde iç ortamdan dış ortama, yaz mevsiminde ise dış ortamdan iç ortama doğru gerçekleşen istenmeyen ısı akışını engelleyerek ısıtma ve soğutma giderlerini en aza indirmeyi amaçlar. Böylece yakıt tüketiminde ve dolayısıyla enerji maliyetlerinde azalma sağlanır. Isı yalıtımı, enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak adına yapıların termal performansını iyileştiren bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Sapan, 2017).

Yapıyı oluşturan bileşenlerin uygun standartlarda imal edilmesi gerekmektedir. Standartlara uygun Isı yalıtımlı bir konutun iklim şartlarından etkilenmesi daha azdır. Ayrıca ısı yalıtımına sahip bir konutun dış etkilere karşı korunaklı olduğundan ayakta durması da uzun süreli olur. Yalıtım, hem yapının hem de kullanıcıların korunmasına yönelik kapsamlı önlemleri içeren bir süreçtir. Bu süreç, yapıların bakım maliyetlerini düşürmeyi, ömrünü uzatmayı ve kullanıcılar için sağlıklı, huzurlu ve konforlu yaşam alanları oluşturmayı amaçlar. Binalarda ısı yalıtımı, bölgenin mevsimsel koşullarına bağlı olarak, ısıtma ve/veya soğutma dönemlerinde ortamlar arasında sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferini minimum seviyeye indirmeyi hedefler. Bu uygulamalar, yapıların çeşitli bölgelerine entegre edilerek ısı ekonomisi ve ısı konforu sağlanmasına katkıda bulunur. Isı yalıtımı, enerji verimliliğini artırarak hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamak amacıyla kritik bir rol oynamaktadır. Isı yalıtım işlemini gerçekleştirmek için kullanılan malzemelere "ısı yalıtım malzemesi" denir (Ekici et al., 2012).

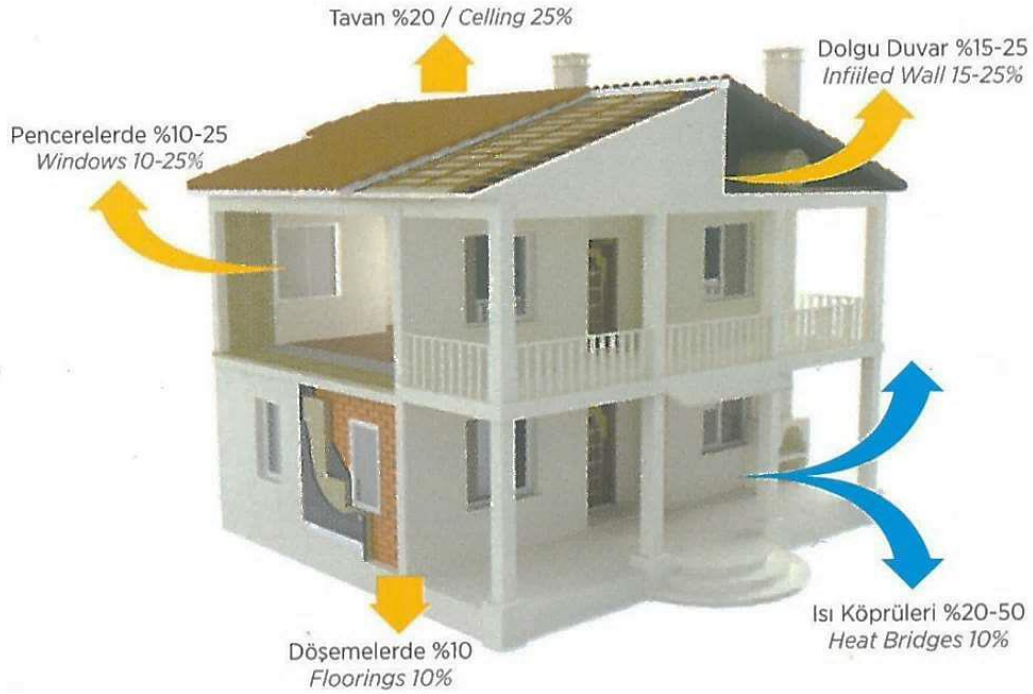
1.1.2. Isı yalıtımının amacı ve önemi

Bir yapının veya konutun yapılış amaçlarından biri uzun yıllar ayakta kalabilmesi ayrıca her türlü dış etkilere karşı uzun süre dayanabilmesidir. Bu da yapımında gerekli şartları sağlamış olmasına bağlıdır. Bu gerekli şartlardan bir tanesi de yapının yalıtımlı olmasıdır. Yalıtımın esas amacı, yapıların uzun ömürlü olmasını temin etmek, bakım masraflarını en aza indirmek, enerji tüketimini ve yakıt maliyetlerini azaltmak ve

kullanıcılar için sağlıklı, konforlu ve huzurlu yaşam alanları oluşturmayı sağlamaktır (TS 825, 2008). Gerekli bir ısı yalıtımının göz ardı edildiği yapılarda, enerji tüketimi oldukça yüksektir. Bununla ilgili yapılmış olan hesaplamalar neticesinde uygun ısı yalıtımını yapılan konutlarda ortalama %50 enerji tasarrufu sağlanabileceği sonucuna varılmaktadır (Anonim, 2024c).

Isı kayıplarının yapının farklı bileşenlerine göre değişen oranlarda gerçekleşmesi, yalıtım uygulamalarının bu bileşenlere özgü olarak optimize edilmesi gerektiğini vurgular. Isı yalıtımı hem binadaki ısı kayıplarını önler hem de binayı nem, rutubet ve korozyondan korur. Böylece binanın ömrüne olumlu yönde etki eder. Binalarda enerji tasarrufu, konforlu yaşam alanı sunarak, yaz aylarında sıcak ve kış aylarında ise soğuk havaların geçişini engelleyerek yaşayanlar için ekonomik tasarrufta sağlamaktadır (Akıncı, 2007).

Isı kayıpları sadece duvarlardan değil aynı zamanda tavan, döşeme vb. birçok alandan gerçekleşmektedir. Isı kaybının yaklaşık hangi oranda gerçekleştiği Şekil 1.1’ de görülebilir (Uzun, 2013).



Şekil 1.1. Binalarda oluşan ısı kayıp oranları (Uzun, 2013)

Isı yalıtımının başlıca faydaları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Yakıt tasarrufu sağlandığı için hava kirliliğini önler.
- Ülkeler için enerji tasarrufu sağlar dolayısıyla buda ekonomik kalkınmayı destekler.
- Kış aylarında ısınmaya, yaz aylarında ise serinlemeye olanak sağlar.
- Isıtma için tüketilen enerji miktarını en aza indirir.
- Enerji tasarrufu sağladığı için yakıt giderlerini azaltır.
- Konutta dengeli bir şekilde ısı dağılımı olur ve dolayısıyla daha konforlu bir yaşam alanı sunmuş olur.
- Isı yalıtımı ile daha az yakıt kullanılacağından CO₂, SO₂ gibi gazların atmosferde varlığı azalır.
- Yapılarda küflenme, siyah leke vb. zararlı oluşumları engeller (Kaplan, 2012; Bektaş, 2017).

1.1.3. Binalarda ısı yalıtımı ile ilgili mevzuat

1.1.3.1. TS-825 standardı

TS-825, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirlenen bir standardı ifade eder. Bu standart, genellikle inşaat sektöründe, özellikle betonarme yapılarda kullanılan çelik donatılarla ilgilidir. Binaların enerji performansını iyileştirmek amacıyla yapılarda ısı yalıtımı ve enerji tasarrufu ile ilgili kuralları belirler.

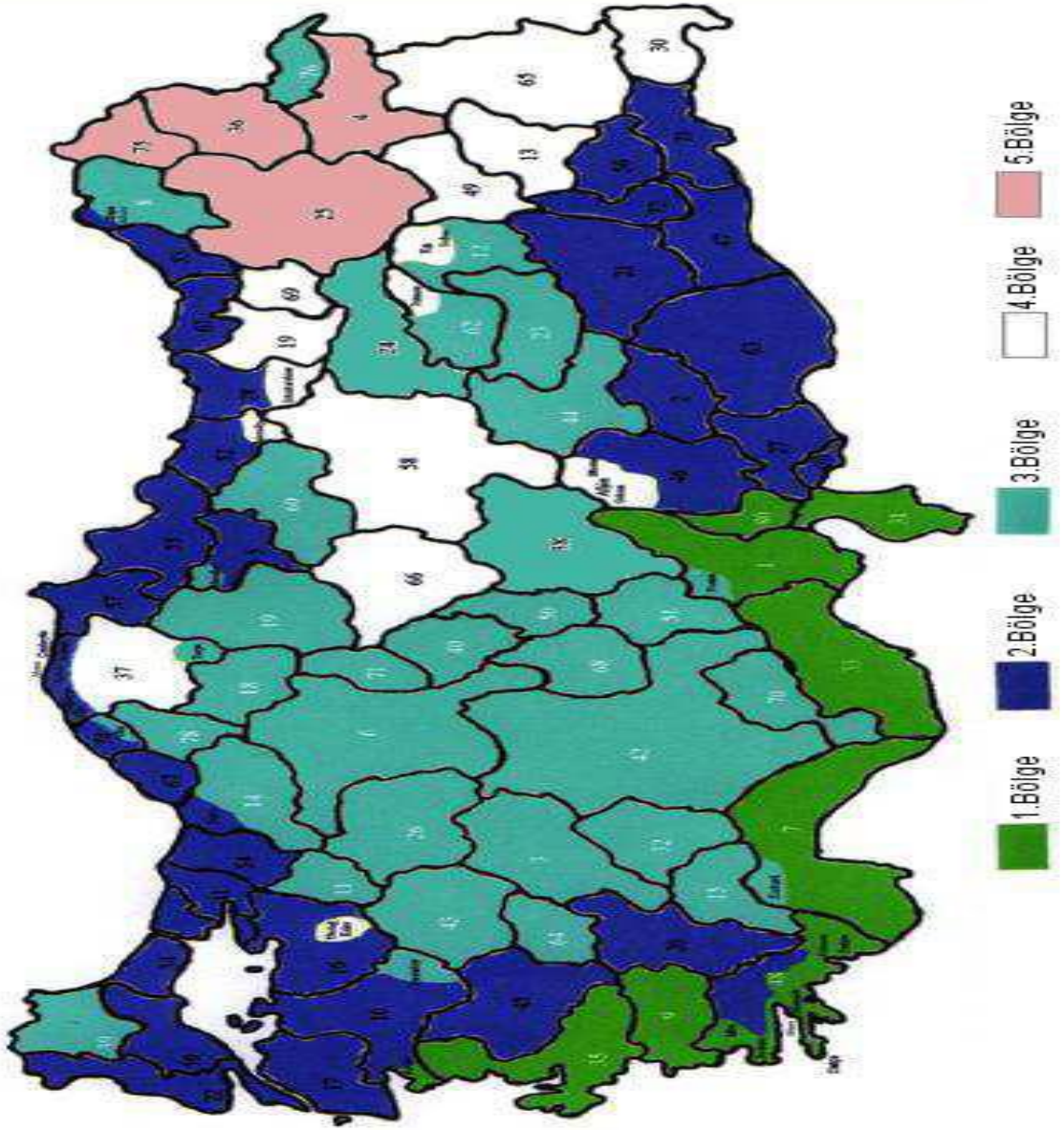
TS-825, binaların enerji verimliliği ve ısı yalıtımı gereksinimlerini karşılamak için uyulması gereken kriterleri ve hesaplama yöntemlerini kapsar. Bu standart, binaların enerji ihtiyacını azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Binaların enerji performansını belirlemek için gerekli olan ısı yalıtımı, ısı köprüleri, hava sızdırmazlığı ve diğer ilgili faktörleri düzenler. TS 825, yapıların enerji verimliliği ve ısı konforunu sağlamak amacıyla gerekli standartları ortaya koyan bir referans olarak işlev görür.

Avrupa Birliğine uyum süreciyle birlikte yalıtım konusunda yapılan standart çalışmaları sonucunda ilk çalışma 29 Nisan 1998 tarihinde yürürlüğe konmuştur. Daha sonra TSE' nin Mühendislik Hizmetleri İhtisas bağlı TK30 Enerji ve Enerji Sistemleri Teknik Komitesi'nce TS 825: 2008 + T1: 2009 + T2: 2009'un revizyonu olarak

hazırlanmış ve TSE Teknik Kurulu'nun 18 Aralık 2013 tarihli toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiştir (TS 825,2013).

TS 825 standardı, 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren tüm yapılar için zorunlu olarak uygulanmaya başlanmış ve bu süreçte çeşitli revizyonlardan geçirilmiştir. Aralık 2013'te yapılan revizyon ile güncellenmiş ve standart, yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayılarını (U) azaltmayı hedeflemiştir. Standart kapsamında, Türkiye'deki illere ait derece gün süreleri ve bölgesel dağılımlar Şekil 1.2 ve Çizelge 1.1'de detaylı olarak sunulmaktadır. Bu veriler, TS 825 standardının yapıların enerji performansının değerlendirilmesi ve ısı konforunun sağlanması konusundaki uygulama esaslarını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır (TS 825, 2013; Atmaca, 2016).

Son olarak Başkanlığını Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yaptığı revizyon komisyonunda hazırlanan TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardı tasarısı, TSE'nin 21 Ekim 2024 tarihinde gerçekleştirilen Teknik Kurulda kabul edilmiştir. Standardın zorunlu olarak yürürlüğe girmesi için Bakanlık tarafından Resmi Gazete'de yayımlanarak zorunlu olarak yürürlüğe girmesi beklenmektedir. Standarttaki revizyonlarla birlikte yeni bir metodolojiye kullanılarak enerji limitleri Bakanlık tarafından yeniden tayin edilmiştir. Yeni standartta iklim bölgesi sayısı 6'ya çıkarılmış ve tavsiye edilen U değerleri iyileştirilmiştir (Anonim, 2024d).



Şekil 1.2. Derece gün bölge haritası (TS 825, 2013; Atmaca, 2016)

Çizelge 1.1. İllere göre derece gün bölgeleri (TS 825, 2013; Atmaca, 2016)

1.BÖLGE	ADANA	AYDIN	İÇEL	OSMANİYE
	ANTALYA	HATAY	İZMİR	
	İli 2.bölgede olup kendisi 1.bölgede olan belediyeler			
	AYVALIK	DALAMAN	FETHİYE	MARMARİS
	BODRUM	DATÇA	KÖYCEĞİZ	MİLAS
	GÖKOVA			
2.BÖLGE	ADAPAZARI	ADIYAMAN	AMASYA	BALIKESİR
	BARTIN	BATMAN	BURSA	ÇANAKKALE
	DENİZLİ	EDİRNE	GAZİANTEP	GİRESUN
	İSTANBUL	K.MARAŞ	KİLİS	KOCAELİ
	RİZE	SAMSUN	SİİRT	SİNOP
	ŞANLIURFA	ŞIRNAK	TEKİRDAĞ	TRABZON
	YALOVA	ZONGULDAK	DÜZCE	
	İli 3.bölgede olup kendisi 2. Bölgede olan belediyeler			
	HOPA	ARHAVİ		
3.BÖLGE	AFYON	ANKARA	AKSARAY	BİLECİK
	BİNGÖL	BOLU	BURDUR	ÇANKIRI
	ÇORUM	ELAZIĞ	ESKİŞEHİR	İĞDIR
	ISPARTA	KARABÜK	KARAMAN	KIRIKKALE
	KIRKLARELİ	KIRŞEHİR	KONYA	KÜTAHYA
	MALATYA	NEVŞEHİR	NİĞDE	TOKAT
	TUNCELİ	UŞAK		
	İli 4. Bölgede olup kendisi 3.bölgede olan belediyeler.			
	TOSYA			
4.BÖLGE	AĞRI	ARDAHAN	BAYBURT	BİTLİS
	ERZİNCAN	ERZURUM	GÜMÜŞHANE	HAKKARİ
	KARS	KASTAMONU	KAYSERİ	MUŞ
	SİVAS	VAN	YOZGAT	
	İli 2.bölgede olup kendisi 4.bölgede olan belediyeler			
	KELES	Ş.KARAHİSAR	ELBİSTAN	MESUDİYE
	ULUDAĞ	AFŞİN	GÖKSUN	
	İli 3.bölgede olup kendisi 4.bölgede olan belediyeler.			
	KIĞI	PLÜMÜR	SOLHAN	

1.1.4. Yalıtım malzemeleri

Isı yalıtım malzemesi binalarda ısı kaybını önlemek ve ısının soğuk ortama doğru akışını engellemek için kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri ısı geçişine karşı yüksek direnç sağlamalarının yanı sıra neme ve suya karşı yüksek dayanım sağlamalı, havayı geçirmeli ve nefes almalı, yanıcı olmamalı, yeterli basınç ve çekme mukavemetine sahip olmalı, zaman içinde özelliklerini kaybetmemelidir (Öziç, 2013; Kıvrak, 2022). Avrupa standartlarında ısı iletim katsayıları 0.065 W/mK ’ den düşük malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak isimlendirilir (Çakallı, 2013). Isı yalıtım malzemeleri Çizelge 1.2.’ deki şekilde gruplanabilir (Moran, 2018).

Çizelge 1.2. Isı yalıtım malzemelerinin sınıflandırması (Moran,2018)

ISI YALITIM MALZEMELERİ			
Hayvansal-Bitkisel kökenli	Mineral Kökenli	Sentetik kökenli	İleri teknolojik ürünler
Oluklu mukavva	Cam yünü	Poliüretan Köpük(PU)	Aerojel
Pamuk keçe	Taş yünü	Extrude Polistren Köpük(XPS)	Vakum yalıtım paneli
Odun lifli levha	Asbest	Expand PolistrenKöpük (EPS)	
Halat Şeklinde Organik İzolasyon Malzemeleri	Perlit	Polietilen Köpük	
Mantar Isı İzolasyon Levhaları	Sermik yünü	Elastomerik Kauçuk Köpüğü	
	Cam köpüğü	PVC	
		Melanin Köpüğü	

1.1.4.1. Taş yünü

Taş yünü, volkanik kayaların yüksek sıcaklıklarda eritilip lif haline getirilmesiyle elde edilen bir yalıtım malzemesidir. Isı, ses ve yangın yalıtımı sağlama özellikleriyle bilinir. İnşaat sektöründe, özellikle binaların çatı, duvar ve döşeme yalıtımında kullanılır.

Taş yünü, bazalt, kireçtaşı, diabez ve dolomit gibi minerallerin 1350°C - 1400°C sıcaklıkta eritilmesiyle elyaf formuna dönüştürülen mineral bazlı bir ısı yalıtım malzemesidir. Bu üretim süreci, taş yününün fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyerek yüksek sıcaklık dayanımını artırmakta ve malzemenin performansını

optimize etmektedir. Isı iletkenlik katsayısı (10°C ' de) 0.035 W/mK - 0.040 W/mK aralığında olan taş yünü, etkili ısı yalıtımı sunar.

Taş yününün diğer önemli özellikleri şunlardır:

- Sıcaklık ve nem değişikliklerine karşı stabil kalır.
- Zamanla bozulma, çürüme ve küf oluşumuna karşı dirençlidir.
- Korozyon ve paslanma gibi kimyasal etkilerden etkilenmez.
- İç yapısı nedeniyle böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilmez.
- Şekil verme ve kesme işlemlerinin kolay olması, işçilik açısından avantaj sağlar.

Bu özelliklerinden dolayı taş yünü enerji verimliliğini artıran, uzun ömürlü ve güvenilir bir yalıtım çözümü olarak tercih edilmektedir (Anonim, 2024e).

Taş yünü, yapıların enerji verimliliğini artırmak ve konfor düzeyini yükseltmek için ideal bir yalıtım malzemesidir. Bu nedenle, hem yeni inşaat projelerinde hem de mevcut binaların yalıtımında sıkça tercih edilmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Taş yünü örneği (Anonim, 2024e)

1.1.4.2. Ekstrüde polistiren köpük (XPS)

Ekstrüde polistiren köpük, polistiren taneciklerinin ekstrüzyon yöntemiyle preslenip levha şeklinde üretilmiş bir ısı yalıtım malzemesidir (Şekil 1.4). Bu süreçte, polistiren tanecikleri yüksek sıcaklıkta eritilerek sürekli bir levha formuna dönüştürülür. Ekstrüde polistiren köpük, düşük ısı iletkenlik katsayısı ve su emme kapasitesinin düşük olması gibi özellikleri nedeniyle, etkili bir ısı yalıtımı sağlar. Bu malzeme, yapıların enerji verimliliğini artırmak ve ısı kayıplarını azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Arslan ve Aktaş, 2018). XPS levha halinde, homojen bir hücre yapısına sahip köpük malzemelerdir (Kaya ve Karakurt, 2016). Ekstrüde polistiren köpük (XPS) petrol kaynaklı bir ürün olduğundan yanıcıdır. Yanma gerçekleşme esnasında zehirli gazlar ortaya çıkarmasından dolayı ekolojiye zararlı olarak değerlendirilmektedir (Akelçi, 2016). Kullanılabilecek sıcaklık aralığı $-50/ +75\sim 80^{\circ}\text{C}$ olarak değişmektedir. Isıl iletkenlik katsayısı (TS 825' e göre) $0,030-0,040 \text{ W}/(\text{m.K})$ 'dir (Anonim, 2024f).



Şekil 1.4. Ekstrüde polistiren köpük (XPS) (Anonim, 2024g)

1.1.4.3. Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS)

Polistiren su buharına maruz bırakılarak, içindeki pentan gazı granüllerinin hacimce büyümesi ve birbirlerine yapışması neticesinde oluşmaktadır (Şekil 1.5).

Sektörde kullanılması düşünülen yere göre farklı yapıda ve ebatlarda genelde levha olarak üretilmektedir (Anonim, 2024h).

Kullanılacağı yere göre 10 kg/m^3 ile 60 kg/m^3 arasındaki yoğunluklarda üretilir (Türkmen, 2016), yoğunluğunun artması ile basınç mukavemeti, fiyatı, buhar geçirimsizliği artar. Isı iletim katsayısı $0.030 - 0.040 \text{ W/mK}$ 'dir (Anonim,2024ı). %97'si havadan oluşan EPS çok hafiftir, kolay taşınır ve uygulanır (Gören, 2022).

Ekstrüde polistiren (EPS) köpüğü, yaklaşık %98 oranında havadan oluşan bir malzemedir. Bu yüksek hava içeriği nedeniyle EPS, oldukça hafif bir yapıya sahiptir ve yoğunlukları $10\text{-}30 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. EPS'nin diğer yalıtım malzemelerinden en belirgin avantajı, düşük ısıl iletkenlik katsayısıdır. Bu özellik, EPS'yi etkili bir ısıl yalıtım çözümü olarak öne çıkarır (Paralı, 2009).



Şekil 1.5. Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS) (Anonim, 2024h)

1.1.4.4. Cam yünü

Silis kumunun $1200^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında yüksek basınç altında eritilmesi ve ardından ince eleklerden geçirilerek elyaf formuna dönüştürülmesi sonucu elde edilen cam yünü (Şekil 1.6), açık gözenekli bir ısı yalıtım malzemesidir (Arslan ve Aktaş, 2018; Candan, 2007).

Binalarda genellikle çatılarda, havalandırmalı duvarlarda, çift duvar arası boşluklarda ve asma kat döşemelerinde kullanılmaktadır (Sarı, 2020). Cam yününün ısı iletim katsayısı (10°C’de) 0,031-0,043 W/mK aralığındadır (Anonim, 2024i).

Cam yünü, A sınıfı yanmaz malzemeler grubuna dahil olması nedeniyle, yangın güvenliği sağlama açısından da önemli bir rol oynar. Ayrıca, özel uygulamalara uygun olarak -200°C ile +550°C arasındaki sıcaklık koşullarına dayanabilen cam yünü türleri mevcuttur ve bu özellikler tüketicinin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilmektedir (Topçuoğlu, 2017).



Şekil 1.6. Cam Yünü (Anonim, 2024i)

1.1.4.5. Poliüretan sert köpük (PUR)

Poliüretan Sert Köpük (PUR), genellikle yapı sektöründe ısı yalıtımı amacıyla kullanılan bir malzemedir(Şekil 1.7). PUR, iki bileşenin (poliol ve izosiyanat) kimyasal reaksiyona girmesiyle oluşur ve bu reaksiyon sırasında köpük formunda genişler. PUR, düşük ısı iletkenliği sayesinde mükemmel ısı yalıtımı sağlar. Hafif olmasına rağmen yapısal olarak oldukça dayanıklıdır. Su emme oranı düşüktür, bu yüzden nem ve suya karşı dirençlidir. Sprey olarak uygulanabilir ve uygulandığı yüzeye kolayca yapışır. Belirli formülasyonlarla yangına dayanıklılık kazandırılabilir. Zamanla performansını kaybetmez ve uzun yıllar boyunca etkili bir yalıtım sağlar. Poliüretanlar, endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahip olan ısı yalıtım malzemeleridir. Bu malzemeler, iki ayrı kimyasal bileşenin karıştırılmasıyla elde edilen bir karışımın, kalıba

dökülerek reaksiyona sokulması ile üretilir. Kimyasal reaksiyonun ardından karışım genişterek kalıbı tamamen doldurur ve sıvı formdan katı formuna geçiş yapar.

Poliüretanlar, çeşitli öz kütlelerde ($\geq 30 \text{ kg/m}^3$) üretilebilmektedir. Levha veya sandviç panel şeklinde hazır olarak temin edilebilen poliüretanlar, ayrıca uygulama sırasında yerinde püskürtme yöntemiyle de uygulanabilir. Malzeme genellikle sarı renkte olup, hücrelerinin büyük bir kısmı kapalı gözeneklidir. Farklı yoğunluk aralıklarında ($30\text{-}200 \text{ kg/m}^3$) üretilebilen poliüretanlar, çeşitli uygulama ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilmektedir. Yoğunluğu $30\text{-}200 \text{ kg/m}^3$ arasında, ısı iletim katsayıları $0.021\text{-}0.030 \text{ W/mK}$ aralığında değişmektedir (Ülker, 2009; Çakallı, 2013; Kaya ve Öztürk, 2014).



Şekil 1.7. Poliüretan sert köpük (Anonim, 2024k)

1.1.4.6. Fenol köpüğü

Düşük öz kütle ($30\text{-}60 \text{ kg/m}^3$) ve yüksek öz kütle ($80\text{-}120 \text{ kg/m}^3$) değerlerinde üretilebilen malzemelerdir (Şekil 1.8). Sert, gevrek ve kırılgan ve küçük gözenekli bir yapıda olup sürtünme karşısında yüzeyi tozlaşır. Genelde boru tesisatlarının yalıtımında kullanılan fenol köpüğü, uygulandığı metal yüzeylerde paslanmayla sebep olma ihtimali vardır. Fenol köpüklerde çalışma sıcaklığı $-180 / +150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. 0.030 W/mK ile 0.045 W/mK arasında ısı iletkenlik değerine sahiptir (Bayer, 2006; Gören, 2022).



Şekil 1.8. Fenol köpüğü (Anonim, 2024l)

1.1.4.7. Ahşap lifli levhalar (WF)

Çevresel sürdürülebilir ve çevre dostu özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir (Şekil 1.9). Bu levhalar, ahşap liflerinden üretilir ve binaların enerji verimliliğini artırma ve ısı kaybını azaltma amacı taşır. Üretim süreci, ladin ve köknar gibi ağaç talaşlarının eleklerle ayrılması ile başlar; talaşlar, buhar ile yumuşatılarak lifli bir yapı oluşturulur.

Bu liflere, su itici katkılar (örneğin, %2 oranında parafin) püskürtülerek kurutma işlemine tabi tutulur. Lifler, su fenol reçinesi ile belirli oranlarda karıştırılır ve merdaneler arasında sıkıştırılarak çeşitli kalınlıklarda levhalar haline getirilir. Kurutulmuş liflere, %4 oranında poliüretan esaslı reçine püskürtülerek levha formuna dönüştürülür. Bu levhalar, çeşitli yoğunluklarda (110-450 kg/m³) üretilebilmekte olup, çeşitli ısı yalıtım uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Dağsöz, 1991; İzoder, 2003).



Şekil 1.9. Ahşap lifli levhalar (İzoder, 2003; Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı(ÇŞB), 2015)

1.1.4.8. Genleştirilmiş mantar levha

Mantar levhalar, ağaçlardan elde edilen bir yalıtım malzemesi olup, homojen bir yapıya sahiptir. Üretim sürecinde, granüller otoklavda 300-350°C sıcaklıkta genişletilir ve basınç altında yaklaşık 20 dakika süreyle şekillendirilir. Bu işlemler sonucunda, mantar levhaların ısı iletim katsayısı 0.045-0.055 W/mK arasında değişir (Şekil 1.10). Mantar levhalar, güneş ışınlarının etkilerine karşı dayanıklıdır. Ancak, nemi kolayca geçirebilmeleri nedeniyle, binalarda çatı, duvar, zemin ve tavanlarda ısı yalıtımı için kullanımı yaygındır. Ayrıca, endüstriyel uygulamalarda soğutma odaları, depolama tankları ve borular gibi alanlarda da etkili bir yalıtım çözümü olarak kullanılmaktadır (Özer, 2019; Gören, 2022).



Şekil 1.10. Genleştirilmiş mantar levhalar (ÇŞB, 2015)

1.1.4.9. Genleştirilmiş perlit (EPB)

Genişletilmiş perlit, perlit mineralinin yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak genleştirilmesiyle üretilen hafif ve gözenekli bir ısı yalıtım malzemesidir (şekil 1.11). Bu malzeme, inşaat, tarım ve sanayi sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Perlit, camsı bir volkanik kayaç olup, inci taşı anlamına gelen ve çeşitli gri tonlarında bulunan bir mineral olarak tanımlanır (Altınışık, 2016).



şekil 1.11. Genleştirilmiş perlit (Anonim, 2024o)

1.1.5. Dolgu duvar malzemeleri

Dış duvar sistemini oluşturan malzemelerin seçimi yapıyı oluşturan diğerk malzemeler kadar önemlidir. İki temel ğeb bu dış duvar sitemini oluşturmaktadır. Bunlardan biri ısı yalıtım malzemesi diğeri ise duvar dolgu malzemesidir. Her iki unsurda standarda uygun bir şekilde tasarlanmalıdır.

1.1.5.1. Tuğla

TS 705 standardı, pişmiş toprak tuğlaların üretimi ve nitelikleri üzerine kapsamlı bir ereve sunar. Bu standarda göre, pişmiş toprak tuğlalar, kil, killi toprak ve balığın belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Karışımın yapısal özelliklerini optimize etmek amacıyla, su, kum, öğütülmüş tuğla, kiremit tozu ve kül gibi katkı maddeleri

kullanılabilir. Şekillendirme sürecinin ardından, bu karışımın kurutulması ve yüksek sıcaklıkta fırınlanmasıyla pişmiş toprak tuğlalar üretilir (Çiçek, 2002). Fiziksel olarak, pişmiş toprak tuğlalar sert, gevrek ve ısıya dayanıklıdır. İnşaat sektöründe kullanılan tuğlaların pişirme sıcaklıkları genellikle 950-1200°C arasında değişmektedir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Yatay delikli tuğla

1.1.5.2. Bims

Bims (pomza taşı), volkanik kökenli, gözenekli ve hafif bir yapı malzemesidir (Şekil 1.13). İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bims, özellikle hafif beton üretiminde ve ısı yalıtımında tercih edilir. Gaz beton gibi gözenekli bir yapıya sahip olan bu malzeme, ısı yalıtımı alanında önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Gözenekli yapısı, hem ısı yalıtım malzemeleri ile birlikte etkili bir performans sergilemesini hem de ses absorpsiyon özelliği sunmasını mümkün kılmaktadır. Bu malzeme, yanmazlık özelliği ile de dikkat çeker; bu özellik, yangın güvenliği açısından avantaj sağlar. Isı yalıtımında sağladığı verimlilik ve akustik konforun yanı sıra, bu malzemenin yangın güvenliği katkıları da yapıların genel performansını artırmaktadır. Hafif ve kolay üretilmesinden dolayı günümüzde inşaat sektöründe oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Karademir, 2023; Anonim, 2024m).



Şekil 1.13. Bims (Anonim, 2024m)

1.1.5.3. Gaz beton

Gaz beton, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan, hafif, yüksek ısı yalıtımı ve ses yalıtımı sağlayan bir yapı malzemesidir (Şekil 1.14). Genellikle kum, çimento, kireç, su ve az miktarda alüminyum tozu karışımından üretilir. Üretim sürecinde karışıma eklenen alüminyum tozu, karışımın içinde hava kabarcıkları oluşturur ve bu da gaz betonun gözenekli yapısını sağlar. Gaz beton, üstün mekanik özellikleri nedeniyle inşaat sektöründe kendine sağlam bir yer edinmiştir. Modern yapı teknolojilerine uyum sağlayacak şekilde üretilmiş olan bu malzeme, mekanik ve fiziksel özellikleri açısından yüksek performans sunmaktadır. Gaz betonun gözenekli yapısı, düşük ısıl iletkenlik değeri sunarak ısı yalıtımında etkin bir çözüm sağlar ve bu özelliği, malzemenin öne çıkan avantajlarından biridir. Gaz beton, modern inşaat projelerinde enerji verimliliği, hafiflik ve dayanıklılık gibi avantajları nedeniyle sıkça tercih edilen bir malzemedir. Hem çevre dostu olması hem de uzun ömürlü ve dayanıklı yapısı, gaz betonu yapı sektöründe önemli bir konuma getirmektedir (Anonim, 2024j).



Şekil 1.14. Gaz beton duvar malzemesi

1.1.6. Duvarlarda Isı Yalıtım Uygulamaları

Binalarda dış duvarlar aracılığıyla gerçekleşen ısı kayıpları, binanın yüksekliği ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Dış duvarlar, yapıların atmosferik koşullara doğrudan maruz kaldığı alanlardır. Türkiye'nin dört mevsimli iklimi, yapı bileşenlerinde genleşme ve büzülme gibi fiziksel değişimlere neden olabilmektedir.

Bu tür fiziksel değişimlerin binaların güvenilirliğini ve ömrünü olumsuz etkileyebilmesi muhtemeldir. Bu bağlamda, binaların güvenilirliğini artırmak ve uzun ömürlü olmalarını sağlamak amacıyla, standartlara ve yönetmeliklere uygun ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı büyük önem taşımaktadır.

1.1.6.1. İçten yalıtım

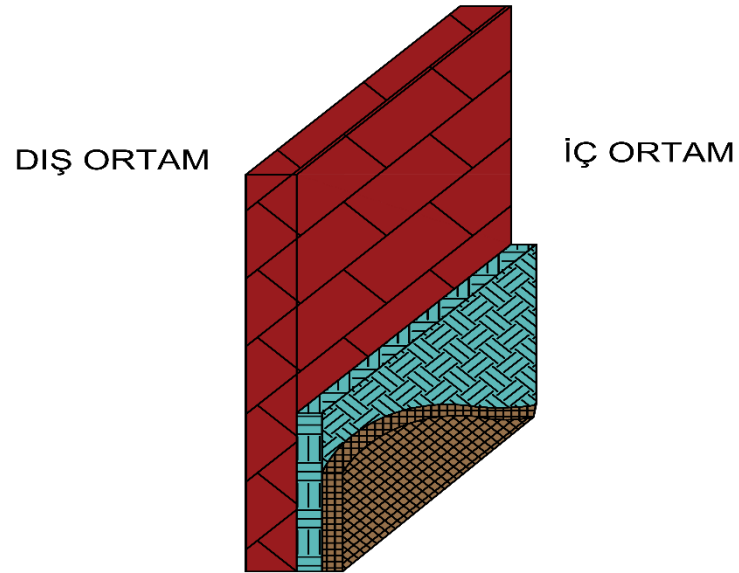
İçten yalıtım duvarlarda dış duvarların yalıtıma uygun olmadığı durumlarda gerçekleşen bir yöntemdir. Kolon ve kiriş kısımları çok iyi yalıtılması gerekmektedir. Dıştan yalıtım ise genellikle uygulama ve malzeme maliyetleri açısından daha yüksek bir yatırım gerektirir. Yüksek kaliteli malzemeler ve işçilik, toplam maliyeti artırabilir.

Bu durum, bazı yapısal engeller ve ek işçilik gereksinimleri doğurabilir. İçten yapılan yalıtım, genellikle dıştan yalıtım daha kolay uygulanabilir. İç mekânlarda yapılan uygulamalar, doğrudan yapı elemanlarına erişim sağlar ve çevresel koşullardan bağımsız olarak gerçekleştirilebilir. İçten yalıtım, uygulama sürecinde daha hızlı ve esnek olma

avantajı sunar. Uygulama, kapalı alanlarda yapılabilir ve dış hava koşullarına bağlı değildir (Şekil 1.15, Şekil 1.16) (Yalçın, 2012).



Şekil 1.15. İçten EPS yalıtımlı duvar örneği



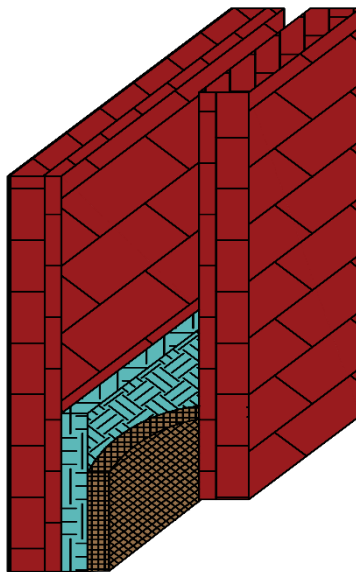
Şekil 1.16. İçten yalıtımlı duvar detayı

1.1.6.2. Ortadan yalıtımlı (Sandviç Duvar)

Ortadan Yalıtımlı (Sandviç duvarlarda) duvar malzemesi arasında bir boşluk vardır ve bu boşluk ısı yalıtım malzemesiyle doldurulmaktadır. Birçok ısı yalıtım malzemesi ortadan yalıtımlı sandviç duvarda kullanılabilir. Bunlardan bazıları cam yünü, taş yünü, ahşap yünü, koyunyünü, EPS ve XPS vb. ısı yalıtım malzemeleridir (Şekil 1.17, Şekil 1.18)(Yalçın, 2012).



Şekil 1.17. EPS yalıtımlı (Sandviç) tuğla duvar örneği



Şekil 1.18. Ortadan yalıtımlı (Sandviç) duvar detayı

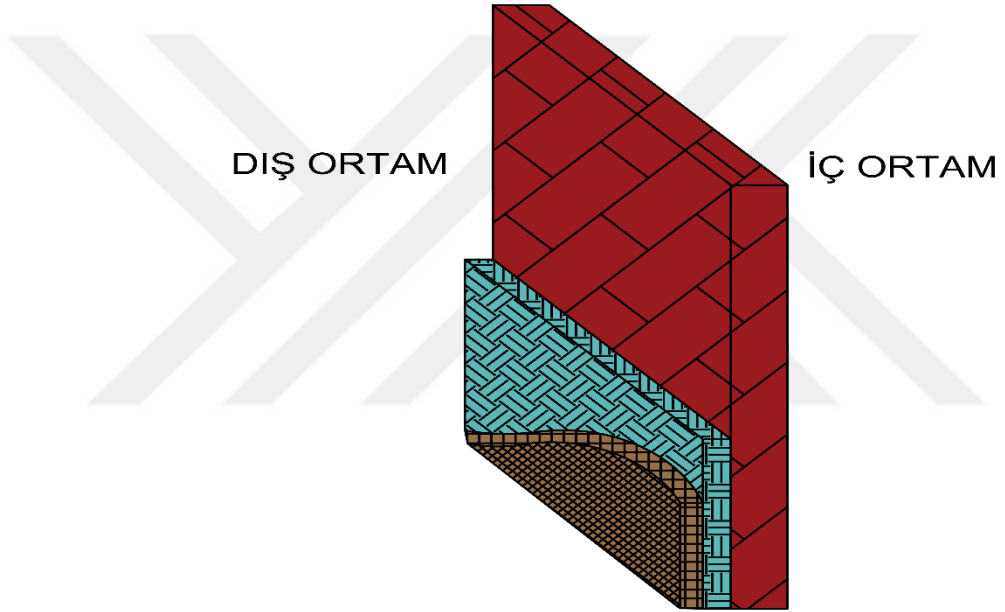
1.1.6.3. Dıştan yalıtım

Dış duvarlarda etkili bir ısı yalıtımı sağlamak amacıyla, yalnızca duvar yüzeylerinin değil, aynı zamanda diğer yapı elemanlarına da yalıtım yapılmalıdır. Bu kapsamlı yaklaşım, ısı köprülerinin ortadan kaldırılmasına ve yapı elemanlarının atmosferik koşullardan korunmasına olanak tanır (Şekil 1.19, Şekil 1.20). Dıştan yalıtım uygulama aşamaları alttaki şekilde sıralanabilir (Yalçın, 2012) :

1. **Yalıtım Levhalarının Montajı:** Yalıtım levhaları, duvar yüzeyine uygulanan yapıştırıcı ile yerleştirilir. Yapıştırıcı, levhaların yüzeye tam olarak yapışmasını sağlamak amacıyla düzgün bir şekilde sürülmelidir. Levhalar, aralarında boşluk kalmayacak şekilde dikkatlice yerleştirilmelidir.
2. **Yapıştırıcı Kuruma Süresi:** Yapıştırıcı harcı, genellikle yaklaşık 24 saat içinde kurur. Bu süre zarfında levhaların sabitlenmesi ve yapışması sağlanır. Harcın tam olarak kuruması, levhaların yerinden oynamaması ve uzun ömürlü bir uygulama için kritik öneme sahiptir.
3. **Dubelleme:** Harç kuruduktan sonra, yalıtım levhalarını daha da sağlamlaştırmak amacıyla özel yalıtım dübelleri kullanılır. Her m²'ye yaklaşık 6 adet dübel yerleştirilir. Bu dübeller, levhaların duvara güvenli bir şekilde sabitlenmesini sağlar ve yalıtımın etkinliğini artırır.
4. **Astar Sıva ve File Uygulaması:** Yalıtım levhasının üzerine ince bir astar sıva uygulanır. Astar sıva, yüzeyin düzgünlüğünü artırarak bir sonraki uygulama katmanları için uygun bir zemin hazırlar.
5. **Son Kat Sıva:** File uygulamasının ardından, yüzeye yeniden astar sıva uygulanır. Bu katman, fileyi kapatarak yüzeyi düzleştirir ve koruma sağlar. Son olarak, tüm bu işlemlerin üzerine son kat sıva yapılır. Son kat sıva, yalıtım uygulamasını tamamlar ve dış etkenlere karşı ilave bir koruma tabakası oluşturur.



Şekil 1.19. EPS mantolama işlemi



Şekil 1.20. Dış cephe yalıtımlı duvar detayı

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar farklı lokasyonlarda farklı yalıtım/yakıt/duvar tipinin optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi, enerji tasarrufu, maliyet ve çevresel etkisi üzerine çalışmalar gerçekleştirmiş ve elde edilen sonuçlar ışığında öneriler sunmuştur. Literatürde bu kapsamda yer alan çalışmalardan bazıları altta sunulmuştur:

Yaşam döngüsü metodu kullanılarak optimum yalıtım kalınlığının tespit edilmesi amacıyla bir hesaplama yapılmıştır. Sonuç olarak taş yünü ve polystrene için enerji tasarrufu 21\$/m² olarak tespit edilmiştir. Ayrıca taş yünü ve polystrene için geri ödeme süreleri hesaplanmıştır (Hasan, 1999).

Soğuk iklim bölgeleri için yaşam döngüsü maliyet analizini dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, optimum yalıtım kalınlığının sağlanması durumunda yıllık yaklaşık 12 \$/m² düzeyinde enerji tasarrufu elde edilebileceği belirlenmiştir. Bu çalışmada, soğuk iklim koşullarında enerji verimliliğini artırmak ve toplam maliyetleri optimize etmek konusunda öneriler sunulmuştur (Çomaklı ve Yüksel, 2003).

Üç farklı yalıtım malzemesi kullanılarak Eskişehir ilinde bulunan bir binada ısı yalıtımı üzerine yapılan bir çalışmada optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin kalınlıkları taş yünü ve XPS için 4 cm, EPS için 7 cm, olarak bulunmuştur (Ünalın, 2003).

Denizli ili için yakıt malzemesi olarak ithal fuel-oil ve kömür kullanılması durumunda enerji tasarrufu, geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığı değerleri için hesaplamalar yapılmıştır (Gölcü vd., 2006).

Derece gün değerlerini kullanılarak Türkiye’de dört farklı iklim bölgesinde bulunmakta olan birer il için yalıtım yapılan duvarlarda senelik enerji kazancı ve ömür maliyet değerleri hesaplanmıştır (Şişman vd., 2007).

Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illerinde ısıtma ve soğutma derece gün değerleri dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplamalar için yalıtım malzemesi olarak EPS seçilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, optimum yalıtım kalınlıklarının 0.04 m ile 0.084 m arasında değiştiği bulunmuştur. Senelik enerji tasarrufunun 21.94 YTL/m² ile 97.12 TL/m² aralığında değiştiği ve geri ödeme sürelerinin ise 1.45 yıl ile 2.05 yıl arasında olduğu tespit edilmiştir (Özel vd., 2008).

Gaz beton duvarda nem oranlarına bağılı olarak ısı iletkenlik katsayılarının değışimi deneysel olarak incelenmiştir. Nem içeriğinin % 0-48 arasında değıştiğı, 0-45 °C sıcaklık aralığındaki numunelerde nem içeriğı ve sıcaklık artışı ile ısı iletkenliğı arttığı tespit edilmiştir (Pehlivanlı, 2009).

Araştırmacılar optimum yalıtım (yalıtım) kalınlığı, geri ödeme periyodu (süresi) ve enerji süresini hesaplamak için Sivas iline ait hesaplamalar yapmışlardır, Bu hesaplamalar için yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt türü ise (kömür, doğalgaz ve fuel-oil) kullanmışlardır. Fuel-oil ve doğalgaz kullanıldığında sırasıyla en iyi yalıtım (yalıtım) kalınlıklarını 0.028 m, 0.026 m ve 0.048 m olarak tespit etmişlerdir. Üç farklı yakıt türü yıllık tasarrufu 8.5 ve 35.5 TL/m² aralığında ve geri ödeme süresini yakıt türlerine bağılı olarak 2.58 ile 2.22 yıl arasında olduğunu tespit etmişlerdir (Uçar ve Balo, 2009).

Araştırmacılar TS 825 (Binalarda Isı İzolasyon Kuralları Standardı) doğrultusunda yapılan hesaplamalar için Türkiye'nin dört farklı bölgesini seçmiştir. Çalışmada, her bir bölge için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur. Analizler, seçilen bölgelerin iklimsel özellikleri ve yapı tipleri dikkate alınarak yapılmıştır. Grafiksel veriler, bu bölgelerde gerekli olan optimum yalıtım kalınlıklarını görsel olarak temsil etmekte ve bölgesel farklılıkların yalıtım gereksinimleri üzerindeki etkilerini açıkça göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışma, TS 825 standardına uygun olarak binalarda yalıtım kalınlıklarının belirlenmesinde önemli veriler sunmakta ve bu verilerin bölgesel enerji verimliliğı uygulamalarına entegrasyonu hakkında kapsamlı bir analiz sağlamaktadır. Bu bulgular, yapı sektörü için enerji verimliliğı politikalarının geliştirilmesine yönelik bilimsel temeller oluşturmaktadır (Özkan ve Onan, 2009).

Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde bulunan Sivas ve Aydın illerinde, EPS ve XPS yalıtım malzemelerinin kullanımıyla optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. EPS yalıtım malzemesi uygulandığında, dış duvarlarda enerji tasarrufunun en fazla olduğu yer Sivas'ta ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamı için 58.28 TL/m² olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda, en düşük enerji tasarrufu Aydın'da sadece ısıtma yükleri için 14.44 TL/m² olarak hesaplanmıştır. XPS yalıtım malzemesi kullanıldığında ise, en yüksek enerji tasarrufu yine Sivas'ta ısıtma ve soğutma yüklerinin toplamı için 53.45 TL/m² olarak tespit edilmiştir. En düşük enerji tasarrufu, Aydın'da sadece ısıtma yükleri için 12.08 TL/m² olarak bulunmuştur (Gürel ve Daşdemir, 2011).

Kürekçi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yalıtım kalınlığı hesabı yapılmış ve elde edilen tasarruflar ile geri ödeme süresi hesaplanmıştır, Türkiye’deki tüm iller için doğalgaz ile kömür yakıtı ve 5 çeşit yalıtım malzemesi kullanıldığı duruma göre hesaplama yapılmıştır (Kürekçi vd., 2012).

Çalışmasında hesap yöntemi olarak ömür maliyet analizi ve TS 825 standardını kullanarak Türkiye’nin farklı bölgelerinde bulunan İstanbul, Erzurum, İzmir ve Ankara illerinde farklı yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığının tespit edilmesi ve enerji tasarrufunun tespit edilmesi için bir takım hesaplamalar yapmıştır (Tuncer, 2012).

Yapmış olduğu çalışmada, 7 farklı ilde iki farklı duvar türü (dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar) ile EPS ve XPS yalıtım malzemeleri için geri ödeme süresi ve enerji maliyeti analizi gerçekleştirmiştir. Elde edilen bulgular, Mersin ili için EPS yalıtım malzemesi kullanılarak dıştan yalıtılmış duvar modelinde en düşük maliyet sağlandığını ortaya koymaktadır. Bu durumda, geri ödeme süresi 0.3 yıl ve enerji maliyeti tasarrufu 629 \$/m² olarak belirlenmiştir. Buna karşın, XPS yalıtım malzemesi ve sandviç duvar modeli kullanılarak yapılan analizlerde, Kayseri ili için en yüksek maliyetler tespit edilmiştir. Bu bağlamda, geri ödeme süresi 4.3 yıl ve enerji maliyeti tasarrufu 21.047 \$/m² olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, farklı yalıtım malzemeleri ve duvar türlerinin enerji maliyetleri üzerindeki etkilerini ortaya koymakta olup, enerji verimliliği açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Elde edilen veriler, bina tasarımında yalıtım malzemelerinin seçiminde dikkate alınması gereken kritik faktörleri vurgulamaktadır (Demir, 2014).

Hakkari, Tunceli ve Kars illeri için derece-gün yöntemini kullanılarak dört ayrı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, Cam yünü, Taş yünü) için optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Ayrıca toplam maliyet ve yalıtım maliyeti de hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla Hakkari için 8.2 cm, Tunceli ili için 7.9 cm ve Kars için 10.4 cm olarak tespit edilmiştir (Işık ve Tuğan, 2017).

Batman ili için yapılan çalışmada olarak iki farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS), dört ayrı duvar dolgu malzemesi (tuğla, izo-tuğla, bims, gaz beton), dört farklı yakıt türü (doğalgaz, kömür, fuel-oil, elektrik) kullanarak ısıtma ve soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları, maliyet, enerji tasarrufu, geri ödeme sürelerini hesaplamıştır, Ayrıca çevresel etkilerin belirlenmesi için CO₂ ve SO₂ emisyonları da hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda çevresel etkilerin değerlendirilmesinde yalıtımı olmayan binaya göre CO₂ ve SO₂ emisyonlarının %77.3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Geri ödeme süreleri ise ısıtmada sırasıyla 2 yıl, 3,11 yıl, 1,54 yıl, ve 5,88 yıl olurken soğutmada 30,3 yıl, 4,68 yıl, 2,30 yıl ve 8.79 yıl olarak bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma ve soğutmada

sırasıyla tuğla duvar kullanımında 0.0952 m. 0.0512 m olarak; izo-tuğla duvar kullanımında 0.0818 m. 0.0379 m, bims kullanımında 0.1007 m. 0.0568 m, gaz beton kullanımında 0.0475 m. 0.0036 m olarak hesaplanmıştır. Yaptığı bu çalışmanın Batman ilinin 2.Bölgede olması nedeniyle diğer 2. Bölge illeri içinde kullanılabileceğini belirtmiştir (Karakaya, 2018).

Bursa ilinde 46 konutluk bir şantiyenin ısı yalıtım uygulamaları incelenmiştir. Bu şantiyede Dış duvar çatı, döşeme ve bodrum mahallerinde yalıtım kullanıldığı tespit etmiştir. İncelenen şantiyede konutlar için döşemelerde %59 oranında EPS, %39 oranında XPS, %3 oranında poliüretan köpük ve %9 oranında ise taş yünü kullanıldığı belirlenmiştir. Binalarda yoğuşma, ısı köprülerinin oluşmaması ve ısı yalıtımla beraber enerji kaybının azaltılması için standartlara uygun ısı yalıtımının yapılması gerektiği vurgulanmış ve öneriler sunulmuştur (Şimşek, 2019).

Çalışmasında, hangi yalıtım malzemelerinin kullanılacağını ve bu malzemelerin optimum kalınlıkları ile geri ödeme sürelerini inceleyerek değerler elde etmiştir. Özellikle bina duvarlarında değişen koşullara göre uygulanan yalıtımın enerji verimliliği üzerindeki etkileri ve ekonomik geri dönüş süreleri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir (Ünver vd., 2020).

Farklı yalıtım ve duvar malzemeleri için 4. Derece gün bölgesi için minimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Minimum yalıtım kalınlığı malzeme türünden bağımsız bir hale getirilerek, ısı iletim katsayısı tabanlı bir seçim önerilmiştir. Yapı elemanı için farklı derece gün bölgeleri için yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır (Geliş ve Yeşildal, 2020).

İki ayrı iklim bölgesinde yer almakta olan İstanbul ve Erzurum illerinde taş yünü ve gaz beton ısı yalıtım malzemelerinin ve yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı 0.051 m ile 0.100 m aralığında, geri ödeme süreleri ise 1.54 ile 2.48 yıl aralığında olduğu tespit edilmiştir (Gören, 2022).

Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Ağrı ili için 5 adet yakıt türü (doğal gaz, kömür, LPG, fuel-oil ve elektrik) ve 4 ayrı duvar modeli (taş, briket, tuğla ve betonarme), ve yalıtım malzemesi olarak ise EPS seçilerek yapılan çalışmada yalıtım malzemesinin maliyeti, yakıt maliyeti, optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyet ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Yakıt türü olarak elektrik ve duvar türü ise taş duvar türü kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 0.138 m, yakıt maliyeti 3.2319\$/m² ve toplam maliyet ise 20.6820 \$/m² bulunmuştur. Yalıtım ve yakıt maliyetleri ile toplam maliyetler için hesaplamalar yapılmıştır (Ünvar, 2023).

Türkiye’ deki tüm iller için XPS, Taş yünü ve EPS yalıtım malzemesi, Tuğla, gaz beton ve bims duvar türü kullanılarak optimum ısı yalıtım kalınlığı ve toplam maliyet analizi yapmıştır (Karademir, 2023).

Bu çalışmada ise Batman ili için dört farklı yalıtım malzemesi, dört farklı duvar tipi, dört farklı yakıt türü kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri, yıllık tasarruf miktarı, enerji tasarruf oranı, CO₂ ve SO₂ emisyonları hesaplanmıştır. Ayrıca güneş ışınlamı dahil edilerek hesaplamalar yapılmış elde edilen sonuçlar güneş ışınlamının ihmal edildiği durumla kıyaslanmıştır. Güncel veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler ışığında araştırmacılar ve sektördeki kullanıcılar için öneriler sunulmuştur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Türkiye'nin iklim coğrafyası çerçevesinde 2. bölgedeki Batman ilinin ısıtma ve soğutma koşullarında, dört farklı duvar tipi, dört farklı yakıt ve dört farklı yalıtım malzemesinin seçilmesi halinde yalıtım parametrelerinin değişimini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Enerji ihtiyacı analizi için ömür maliyet analizi (LLCA) yöntemi ele alınarak, ısıtma süreçlerinde fosil yakıtlardan kömür, doğalgaz ve fuel oil; soğutma süreçlerinde ise elektrik tüketimi ele alınmıştır. Bu yaklaşım, her bir enerji kaynağının maliyet etkinliğini ve çevresel etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Optimum yalıtım noktasının belirlenmesi amacıyla, dört yaygın yalıtım malzemesi olan ekstrüde polistiren (XPS), ekspande polistiren (EPS), cam yünü ve taş yünü seçilmiştir. Bu yalıtım malzemelerinin enerji verimliliği, maliyet etkinliği ve çevresel etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada seçilen malzeme ve yöntemlerin enerji tasarrufu üzerindeki etkileri değerlendirilerek sürdürülebilir yapı tasarımına katkıda bulunmak hedeflenmiştir. Elde edilen veriler, bölgedeki enerji verimliliği uygulamalarının geliştirilmesine ve çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik stratejilerin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın sonuçları, hem akademik hem de pratik alanda önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Bu amaçla Batman iline ait dış ortamın sıcaklığı ve güneş ışıınımı şiddeti göz önünde bulundurularak Isıtma ve Soğutma için Derece Gün verileri aşağıdaki yöntemlerle hesaplanabilir. Bu çalışmada Batman iline ait ısıtma ve soğutma parametreleri, dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışıınım şiddeti dikkate alınarak altta verilen iki ayrı yöntem kullanılarak tespit edilmiştir.

I. yöntem

$$IDG = \sum_1^N (T_i - T_o)^+ \quad (3.1)$$

$$SDG = \sum_1^N (T_o - T_i)^+ \quad (3.2)$$

II. yöntem

$$IDG = \sum_1^N (T_i - T_e)^+ \quad (3.3)$$

$$SDG = \sum_1^N (T_e - T_i)^+ \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde;

- T_i : Denge sıcaklığını,
 T_o : Gün içindeki ortalama dış ortam sıcaklığını,
 N : Isıtma/soğutma yapılan toplam gün sayısını ifade etmektedir.
+ sembolü : Yalnızca pozitif değerlerin hesaplanacağını belirtmektedir.
 T_e : Eşdeğer çevre sıcaklığı dış ortam sıcaklığı ve güneş ışıınının bileşkesini belirten ve sıcaklık ve ışıınıma bağılı olarak gün içerisinde değışen teorik bir sıcaklıktır. (Threlkeld, 1998; Özel ve Kunt, 2020).

$$T_e(t) = T_o(t) + \frac{\alpha I(t)}{h_o} \quad (3.5)$$

Burada

- T_o : Dış ortam sıcaklığını
 α : Güneş ışıınının dış yüzeyde yutma oranını (0.6)
 h_o : Dış ortamdaki taşınım katsayısını(22 W/m²K)
 I : Güneşin ışıınım şiddetini (meteoroloji verilerinden temin edilmiştir) ifade etmektedir.

Bu parametreler, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının doğru bir şekilde hesaplanması açısından kritik öneme sahiptir. Dış ortam sıcaklığı, yapıların enerji verimliliğı üzerindeki etkisini belirlerken; güneş ışıınının yutma oranı ve taşınım katsayısı, iç mekan konforunu sağlamak amacıyla ısı transferinin optimize edilmesine olanak tanır. Elde edilen bu veriler, enerji tasarrufu stratejilerinin geliştirilmesi ve yapı yalıtım çözümlerinin belirlenmesine önemli katkılar sunmaktadır.

3.1. Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Standart bir yapıda dış duvar, pencere, çatı, tavan, kolon, zemin ve havalandırma gibi yerden ısı kayıpları yaşanmaktadır. Bu çalışmada var olan ısı kayıpları incelenmiş olup sadece dış duvar için hesaplamalar yapılmıştır.

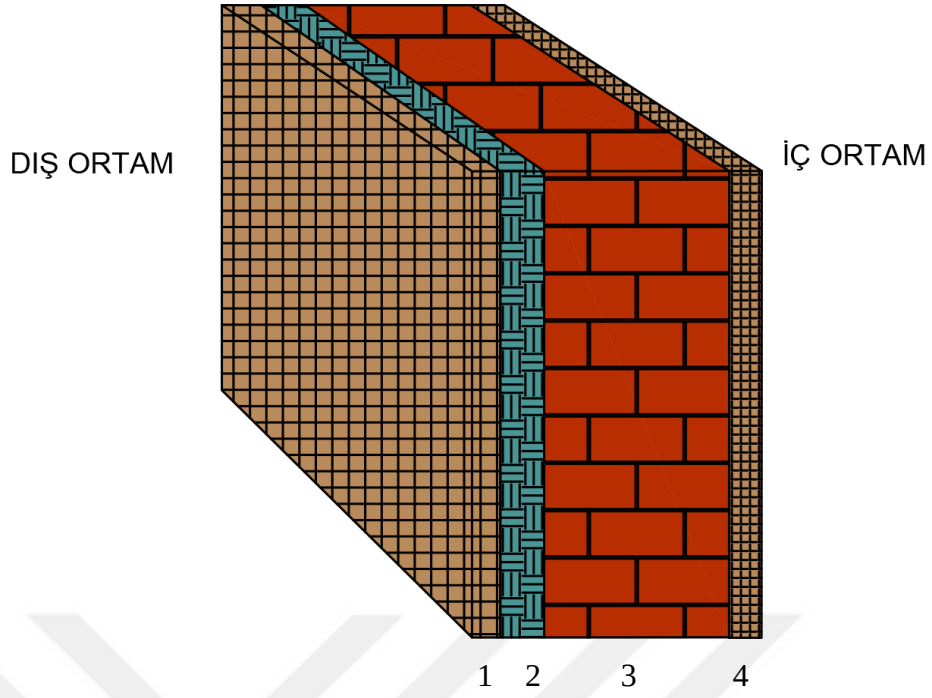
3.1.1. Duvar tipi, yalıtım malzemesi ve yakıt türü seçimi

Fiziksel prensipler doğrultusunda, sıcak taraftan soğuk tarafa doğru uzanan bir malzeme sisteminde, her bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısının kademeli olarak azalması gerekmektedir. Bu kuralın ihlali, ilgili düzlemde ve bölgede su yoğuşma riskinin artmasına yol açabilir. Bu bağlamda, yapılan çalışmada, yalıtım uygulamasının en uygun çözüm olarak seçilmesi gereken duvar türü olarak dıştan yalıtımlı duvar türü tercih edilmiştir. Bu seçim, su yoğuşması riskini minimize etmek ve ısı performansını optimize etmek amacıyla yapılmıştır.

3.1.2 Duvar tiplerinin seçimi

Batman ili için çoğunlukla kullanılan duvar türü dıştan yalıtımlı duvar türü olmaktadır. Fakat sandviç duvar da tercih edilmektedir. Bu çalışmada duvar dolgu türü olarak yatay delikli tuğla, izo tuğla, bims ve gaz beton seçilmiştir. Batman ilinde duvar dolgu malzemesi olarak yatay delikli tuğla ve yalıtımlı tuğla tercih edilmektedir. Bims ve gaz beton duvar dolgu malzemeleri daha az kullanılmaktadır.

Şekil 3.1' de bu çalışmada kullanılacak duvar tipi şematik olarak verilmiştir. Kullanılan 1 numara ile gösterilen dış sıva (çimento harçlı) ve 4 numara iç sıva (alçı) bütün duvarlarda kullanılmakta. 2 numara ile gösterilen yalıtım malzemesi ve 3 numara ile gösterilen duvar yapı malzemesi için farklı alternatifler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan duvar örneği

Duvarda kullanılan bileşenler dıştan içe doğru aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

1. Dış Sıva (çimento harçlı) 0.02 m
2. Yalıtım Malzemesi
(XPS, EPS, Cam yünü, Taş Yünü)
3. Duvar Yapı Malzemesi
(Yatay delikli tuğla (0.135 m), İzö tuğla (0.190 m), Bims (0.150 m), Gaz beton (0,23 m))
4. İç Sıva (alçı) 0.02 m

3.1.3. Senelik ısı enerjisi ihtiyacı

Dış duvarlarda birim yüzeyde meydana gelen ısı kayıplarını belirlemek için kullanılan hesaplama formülü aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q = U \times \Delta T \quad (3.6)$$

Denklemden U (W/m²K) ısı geçiş katsayısını, ΔT sıcaklık farkını ifade etmektedir. Isı geçiş katsayısı, bir malzemenin veya yapı elemanının ısı transferine karşı gösterdiği direnci belirleyen önemli bir parametredir. Birim yüzeyde oluşan senelik ısı kaybı 3.7 denklemi ile bulunabilir.

$$q = Ux86400xDGS \quad (3.7)$$

Bu denklemde DGS derce gün sayısını ifade etmektedir. Senelik enerji kaybı, ısı kaybının sistem verimine bölünmesiyle elde edilir.

$$E_A = 86400xDGSxU / \eta \quad (3.8)$$

Denklem 3.8 de E_A , yıllık enerji ihtiyacını ($\text{j/m}^2\text{-yıl}$), η ısıtma sistem verimini ifade etmektedir. Isı geçiş katsayısı (U) duvarda bulunan her bir bileşenin direnç katsayıları kullanılarak 3.9 denklemi ile hesaplanabilir. Burada R_{izo} yalıtım malzemesinin ısıl direncini ifade etmektedir ve yalıtım malzemesinin kalınlığının (x), yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısına (k) oranı ile hesaplanır (Denklem 3.9):

$$U = \frac{1}{R_l + R_w + R_{izo} + R_o} \quad (3.9)$$

$$R_{izo} = \frac{x}{k}$$

Isı geçiş katsayısı yalıtımın ısıl direnci hariç toplam direnç(R_{wt}) ve yalıtım direncinin toplamı şeklinde yazılabilir (Denklem 3.10);

$$U = \frac{1}{R_{WT} + \frac{x}{k}} \quad (3.10)$$

Yıllık enerji ihtiyacı denklem 3.10 bağlı olarak alttaki şekilde yazılabilir (Hasan, 1999; Çomaklı ve Yüksel, 2003; Özel, 2011; Shekarchian et al., 2012; Kürekçi, 2016).

$$E_A = \frac{86400.DGS.U}{\eta} = \frac{86400.DGS}{(R_{TW} + R_{izo}).\eta} \quad (3.11)$$

3.1.4. Yalıtım malzemesi seçimi

Dört farklı duvar türü için belirlenen dört farklı yalıtım malzemesi sırasıyla taş yünü, XPS, EPS ve cam yünü ‘dür. Yapacağımız hesaplamalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri Tablo 3.1’ de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Yalıtım malzemelerinin özellikleri

Yalıtım türü	k (W/mK)	Maliyet (TL/m ³)
XPS	0,040	2409
EPS	0,030	2562
Cam yünü	0,038	1704
Taş yünü	0,035	3000

Seçilen yalıtım malzemelerinin özellikleri belirlenirken Batman ili şartlarındaki piyasa araştırması ile Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2024 yılı için belirlemiş olduğu birim fiyatları kullanılmıştır (ÇŞB, 2024).

3.1.5. Yakıt türleri seçimi

Seçilen yalıtım malzemeleri ve duvar türü ile beraber kullanacağımız diğer bir parametre ise yakıt türüdür. Batman ili şartlarında kullanılan yakıt türleri Kömür, Doğalgaz, Fuel oil ve Elektrik olarak seçilmiştir. Belirlenen yakıtların özellikleri Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan yakıtların özellikleri (Kürekçi, 2012; Keçebaş, 2015;Karakaya, 2018)

Yakıt	C_f	H_u	η	Kimyasal Formülü
Kömür(Soma)	4,5 TL/kg	$19,794 \times 10^6$ J/kg	0,65	$C_{5.85}H_{5.26}O_{1.13}S_{0.008}N_{0.077}$
Doğalgaz	6,03 TL/m ³	$34,526 \times 10^6$ J/m ³	0,93	$C_{1.05}H_4O_{0.034}N_{0.022}$
Fuel-Oil	30,05 TL /kg	$41,317 \times 10^6$ J/kg	0,80	$C_{7.3125}H_{10.407}O_{0.04}S_{0.026}N_{0.02}$
Elektrik	2,03 TL/kWh	$3,5990 \times 10^6$ J/kWh	0,99	-

Tablo 3.2. yakıt türlerinde Kömür için Türkiye Kömür işletmelerinin (TKİ), Doğalgaz için Batman Bölge Müdürlüğü SİBADAŞ’ ın Elektrik için (DEPSAŞ) Dicle Elektrik’in, Fuel oil için ise(TPAO)Türkiye Petrollerinin belirlemiş olduğu birim fiyatlar esas alınmıştır.

3.1.6. Ekonomik analiz yöntemi

Yalıtımdaki temel amaç ekonomik açıdan fayda elde etmektir. İzolasyon yatırımı için ekonomik hesaplama yapmak oldukça önemlidir. Bu sebeple yalıtıma başlamadan önce gerekli yalıtım parametrelerini göz önünde bulundurarak hesaplama sonucunda yalıtıma başlanması gerekmektedir. Bu parametreler ise toplam yatırım giderleri, faiz oranı, ekonomik ömür, geri ödeme süresi vb dir.

Yalıtım bir yatırım olarak düşünülürse optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için ekonomik analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ekonomik analiz için şimdiki değer yöntemi seçilmiştir (Kahya, 1999a).

Şimdiki değer faktörü hesaplanırken, hesaplamanın yapıldığı yılda ülkedeki enflasyonu ve faiz oranını (reel faiz oranı) r kullanılır (Denklem 3.12) (Anonim, 2024n).

Şimdiki değer faktörü 3.13. nolu denklemi kullanarak elde edilir.

$$\text{Eğer } i > g \text{ ise } r = \frac{(i-g)}{(1+g)} \quad (3.12)$$

$$\text{Eğer } g > i \text{ ise } r = \frac{(g-i)}{(1+i)}$$

Şimdiki değer faktörü ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$PWF = \frac{1+r^N}{r \times (1+r)^N} \quad (3.13)$$

Bu denklemlerde PWF şimdiki değer faktörünü, N belirlenen zaman periyodunu, r gerçek faiz oranını, g enflasyon oranını, i faiz oranını belirtmektedir (Hasan, 1999; Kahya, 1999b).

Ekonomik analiz için maliyetler ele alınırsa:

Tüketilen senelik yakıt miktarı aşağıdaki 3.14 nolu denklem kullanılarak hesaplanır.

$$m_{fA} = \frac{86400.DGS}{\left(R_{IZO} + \frac{x_y}{k_y}\right).H_u.\eta} \quad (3.14)$$

Bu denklemde m_{fA} (kg/m²-yıl) tüketilen yakıt miktarını, H_u yakıtın ısıl değerini ifade etmektedir. Bir birim alanın yıllık ısıtma enerji maliyeti $C_{A,H}$ (TL/m²-yıl), 3.15 numaralı denklem kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu denklem, birim alan başına düşen yıllık enerji tüketimi ile enerji maliyetlerini dikkate alarak, belirli bir alanın ısıtma için gereksinim duyduğu enerji tüketimini yıllık bazda belirlemektedir.

$$C_{A,H} = \frac{86400.HDD.C_f}{(R_{WT} + R_{IZO}).\eta.H_u} \quad (3.15)$$

Birim alanın soğutulması için gerekli enerji maliyeti, 3.16 numaralı denklem kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu denklemde COP, soğutma sisteminin performans katsayısını ifade etmekte olup, bu çalışmada 2.5 olarak belirlenmiştir. Burada H_u (J/kg; J/m³; J/kWh), yakıtın alt ısı değeri, η yakıtın verimliliğini; C_f ise yakıtın fiyatını (TL/kg; TL/m³) temsil etmektedir. Bu değerler Tablo 3.4.'te gösterilmiştir. İlgili parametreler, soğutma sistemlerinin ekonomik analizinde kritik bir öneme sahiptir.

$$C_{A,C} = \frac{86400 \times CDD \times C_f}{(R_{TW} + R_{IZO})COP} \quad (3.16)$$

Yalıtımı yapılmış bir binanın toplam maliyeti C_T (TL) 3.17 no.lu eşitlikle hesaplanmaktadır. Burada C_i yalıtım malzemesinin birim fiyatı (TL/m³) ve x (m) yalıtım malzemesinin kalınlığıdır. Ayrıca HDD ısıtma derece gün sayısını, CDD ise soğutma derece gün sayısını ifade etmektedir (Hasan, 1999; Çomaklı ve Yüksel, 2003; Özel, 2011; Shekarchian et al., 2012; Kürekçi, 2016).

$$C_T = C_A.PWF + C_i.x \quad (3.17)$$

3.1.7. Optimum yalıtım kalınlığının tespiti

Optimum yalıtım kalınlığı, bir yapı elemanının yalıtım malzemesi kalınlığını belirlerken enerji tasarrufu ve ekonomik faydalar göz önünde bulundurularak hesaplanır. Optimum yalıtım kalınlığı, enerji maliyetleri ve yalıtım malzemesi maliyetleri arasında bir denge kurarak, toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlar. Toplam maliyeti veren 3.17 denklemin x 'e göre türevi alınırsa optimum yalıtım kalınlığını veren 3.18 denklemi elde edilir (Çomaklı ve Yüksel, 2003; Kallioğlu et al., 2019).

$$X_{OPT} = 293.94. \left(\frac{DGS.C_f.PWF.k}{H_u.C_i.\eta} \right)^{1/2} - k.R_{TD} \quad (3.18)$$

3.1.8. Geri ödeme periyodu tespiti

Geri Ödeme Periyodu (PP) yöntemi, yatırımın ekonomik verimliliğini doğrudan ölçmeyen, ancak yatırımın maliyetlerini ne kadar sürede karşılayacağını belirleyen bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntem, genel olarak yalıtım yatırımlarının ne kadar sürede amorti edileceğine dair bilgi sağlar ve yatırım kararlarında önemli bir kriter olarak kullanılır. Yatırımlar arasında, geri ödeme süresi en kısa olan yatırımlar tercih edilir, çünkü bu, yatırımın finansal geri dönüşünün daha hızlı olacağı anlamına gelir. Geri ödeme süresinin hesaplanmasında kullanılan yöntem Denklem (3.19) ile hesaplanır. Bu denklemde S_A yıllık tasarruf miktarı olup yalıtımsız durum ile yalıtımlı durum arasındaki fark olarak tanımlanır (Kallioğlu et al., 2019).

$$p_b = \frac{C_T}{S_A} \quad (3.19)$$

3.1.9. Çevresel etki analizi

Enerji gereksinimlerinin fosil kökenli yakıtlarla karşılanması, atmosferdeki zararlı emisyon seviyelerini artırarak ekolojiye zarar neden olmaktadır. Fosil yakıtların tüketilmesinde yanma işlemi sonrası ortaya çıkan karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4), azot oksitler (NO_x) ve kükürt dioksit (SO_2) gibi gazlar, atmosferde sera etkisini artırmakta ve küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. Bu durum, iklim değişikliği ve çevresel sorunlar açısından ciddi tehditler oluşturur. Konutlarda yalıtım kalınlığının artırılması, ısıtma giderlerini azaltarak bu soruna kısmen çözüm sunma potansiyeline sahiptir. Yalıtımın etkinliği, ısı kayıplarını azaltarak enerji tüketimini minimize etmekte önemli bir rol oynamaktadır. Yakıtın yanma sürecine ilişkin genel formül, 3.20. numaralı bağıntıda yer almaktadır

$$C_X + H_Z + O_W + S_Y + N_T + a.A(O_2 + 3.76N_2) - xCO_2 + \left(\frac{Z}{2}\right)H_2O + ySO_2 + B.O_2 + E.N_2 \quad (3.20)$$

Oksijen denge koşulları doğrultusunda, A, B ve E sabitleri aşağıdaki 3.21 numaralı denklemler aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$E = 3.76a \left(X + \frac{Z}{4} + y - \frac{W}{4} \right) + \frac{t}{2} \quad (3.21)$$

Yıllık yakıt tüketimine bağlı olarak emisyon değerleri sırasıyla 3.22 ve 3.23 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir. Bu eşitlikler, yakıt tüketiminin çeşitli emisyon bileşenleri üzerindeki etkisini nicel olarak değerlendirmeye imkan tanır ve yıllık emisyon miktarlarını hesaplamada kullanılır.

$$mCO_2 = \frac{44 \cdot x}{M} m f_a \quad (3.22)$$

$$mSO_2 = \frac{64 \cdot X}{M} m f_a \quad (3.23)$$

3.22 ve 3.23 numaralı eşitliklerde kullanılan M, yakıtın molar ağırlığını ifade etmekte olup, bu değer 3.24 numaralı bağıntı aracılığıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntı, yakıt bileşimini oluşturan kimyasal bileşenlerin moleküler ağırlıkları ve bunların göreceli oranları dikkate alınarak, yakıtın molar ağırlığının belirlenmesine olanak sağlamaktadır (Yıldız vd. 2008; Kallioğlu et al., 2016; Shekarchian et al., 2012).

$$M = 12x + z + 16w + 32y + 14t \quad (3.24)$$

3.2. Batman İli İçin Yapılan Hesaplamalar

Bu çalışmada Batman ili için dış duvarda farklı yalıtım ve duvar tipleri için hesaplamalar yapılmıştır.

3.2.1. Duvardaki toplam ısıнын geçirgenlik katsayısının tayini

Yapı bileşenindeki iletimle toplam ısı geçiş direnci R_w (R_{duvar}) denklem 3.9 ve denklem 3.10 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 3.3 oluşturulmuştur.

Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan duvar yapıları (Karakaya, 2018)

Duvar Tipi	Duvar Yapısı	Kalınlık (m)	k (W/m.K)	R (m ² K/W)	R duvar (m ² K/W)
Tuğla Duvar	Alçı İç Sıva	0,02	0,51	0.0392	0,6837
	Tuğla	0,135	0,33	0.4019	
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0,02	0,87	0.0230	
	R iç	-	-	0.1670	
	R dış	-	-	0.0454	
İzo Tuğla Duvar	Alçı İç Sıva	0,02	0,51	0.0392	1,0663
	İzo Tuğla	0,19	0,24	0.7917	
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0,02	0,87	0.0230	
	R iç	-	-	0.1670	
	R dış	-	-	0.0454	
Bims Blok	Alçı İç Sıva	0,02	0,51	0.0392	0,5246
	Bims Blok	0,15	0,60	0.2500	
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0,02	0,87	0.0230	
	R iç	-	-	0.1670	
	R dış	-	-	0.0454	
Gaz Beton	Alçı İç Sıva	0,02	0,51	0.0392	2,0438
	Gaz beton	0,23	0,13	1.7692	
	Çimento Harçlı Dış Sıva	0,02	0,87	0.0230	
	R iç	-	-	0.1670	
	R dış	-	-	0.0454	

3.2.2. Şimdiki değer faktörünün hesaplanması

Şimdiki değer faktörünün hesaplamadan gerekli parametreler senelik faiz oranı ve senelik enflasyon oranı değerleridir. Yatırım şimdiki değer yöntemi ile değerlendirirken, hesaplamalarda 2024 yılına Ekim ayına ait (TÜFE) değerleri, ortalama faiz oranı % 50 ve enflasyon oranı % 49.38 değerleri baz alınmıştır (TCMB). Yatırımın ekonomik ömrü, yapılan analizde 10 yıl süre baz alınmıştır.

Reel faiz oranı

$$r = (0,4938 - 0,50) / (1 + 0,50)$$

$$r = 0,5 \text{ olup; } r = \% 50$$

$$PWF = \frac{(1 + 0.5)^{10} - 1}{0.5(1 + 0.5)^{10}}$$

Buradan; Şimdiki değer faktörü PWF= 9.7754 olarak hesaplanır.

3.2.3. Optimum yalıtım kalınlığının hesabı

Batman ili için optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için dört farklı yalıtım malzemesi (Taş yünü, XPS, EPS ve Cam yünü) ve dört farklı duvar türü (Tuğla, İzo tuğla, Bims ve Gaz beton) seçilmiştir. Buradan her bir yalıtım malzemesi ve her bir duvar türü için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar sonucunda bütün parametrelere ait optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir. Altta, yatay delikli tuğla duvar türü, doğalgaz yakıtı ve taş yünü yalıtım malzemesi kullanılarak yapılan örnek bir hesaplama sunulmuştur. Bu hesaplama, belirli bir duvar türü ve enerji kaynağı kombinasyonu için optimal yalıtım stratejisinin belirlenmesi ve ekonomik değerlendirilmesinin nasıl yapıldığını göstermektedir. Denklem 3.18 de yerine yazacak olursak.

$$X_{OPT} = 293.94 \cdot \left(\frac{DGS \cdot C_f \cdot PWF \cdot k}{H_U \cdot C_i \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{TD}$$

$$X_{OPT} = 293.94 \sqrt{\frac{1835 \times 0.035 \times 6.03 \times 9.7754}{34526000 \times 3000 \times 0.93}} - (0.035 \times 0.6837)$$

Buradan $X_{opt} = 0.034$ m olarak hesaplanır.

3.2.4. Yatırım maliyeti hesabı

İzolasyon yatırım maliyeti 3.17 nolu denklem ele alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$C_T = 3000 \text{ TL/m}^3 \times 0.034 \text{ m}$$

$C_{in} = 103,02 \text{ TL/m}^2$ olarak bulunur.

3.2.5. Senelik toplam ısıtma maliyeti kazancı hesabı

$$C_{AT} = \frac{86400 \times 1835 \times 6.03}{0,6837 \times 34526000 \times 0,9} - \frac{86400 \times 1835 \times 6.03}{(0.6837 + \left(\frac{0.034}{0.035}\right) \times 34526000 \times 0.93}$$

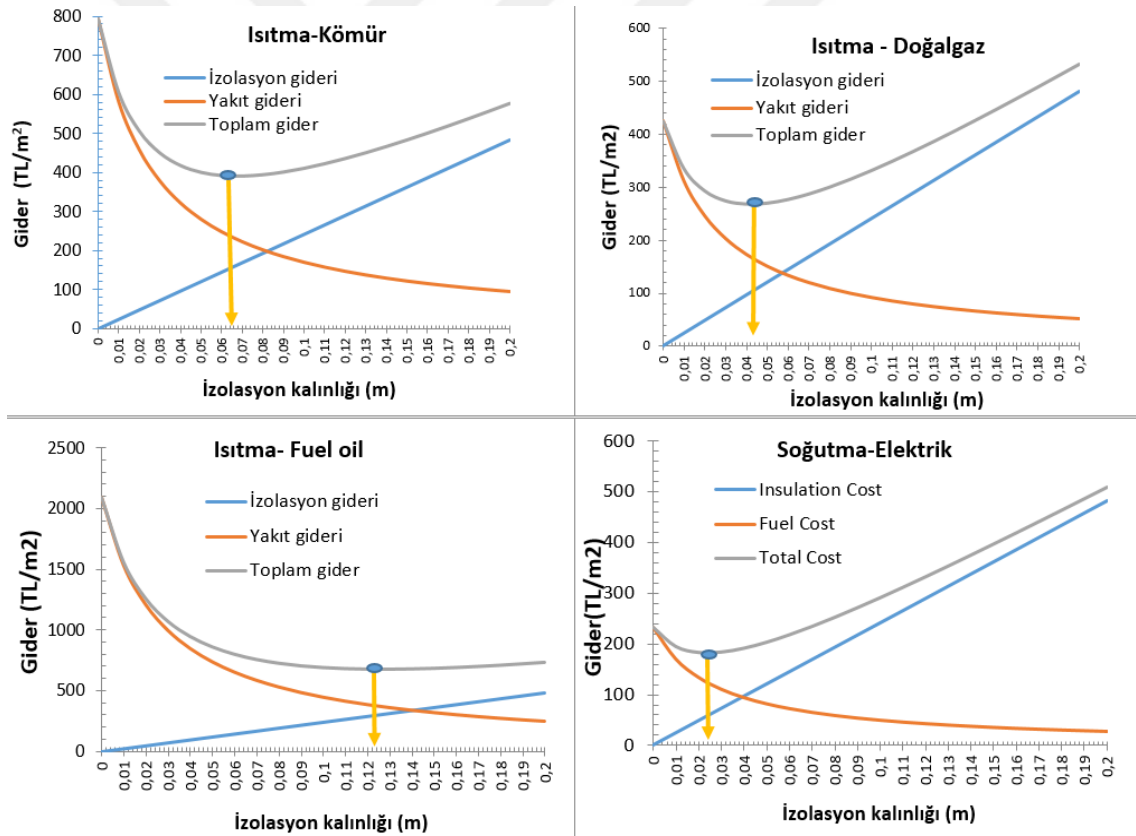
$$C_{AT} = 25,39 \text{ TL/m}^2\text{yıl}$$

3.2.6. Geri ödeme periyodu hesabı

$$PP = 103,02 / 25,39 = 4.056 \text{ Yıl olarak hesaplanmıştır.}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Batman ili iklim şartlarında teknikte en fazla kullanılan dört farklı duvar türü (yatay tuğla, bims, gaz beton, perlit), dört farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, Taş yünü ve Cam yünü) ve ısıtma (kömür, doğalgaz, fuel oil) ve soğutma (elektrik) amacıyla kullanılan dört farklı yakıt tipi için giderler (yakıt, yalıtım ve toplam giderler), en uygun yalıtım kalınlığı (X_{opt}), geri ödeme süreleri (yıl), yıllık kazanç miktarları (TL/m^2), yıllık kazanç oranları (%), çevresel etkinin belirlenmesi amacıyla hesaplanan CO_2 ve SO_2 salınımları tablolar (Tablo 4.1.-4.4.) ve grafikler (Şekil 4.1-4.4) halinde detaylı olarak bu bölümde sunulmuştur. Ayrıca ısıtımın dahil edildiği durumdaki veriler (Şekil 4.5-4.8) ve Tablo 4.5. te sunulmuştur.



Şekil 4.1. Tuğla duvar tipi ve XPS yalıtım malzemesi için yalıtım, yakıt ve toplam giderlerin yalıtım kalınlığı ile değişimi

Tuğla duvar ve XPS yalıtım malzemesi için yalıtım kalınlığı ile giderlerin değişimi Şekil 4.1' de verilmiştir. Şekil 4.1' de toplam giderlerin hesaplanan minimum seviyelerine karşılık gelen yalıtım kalınlıkları en uygun yalıtım kalınlığı (X_{opt}) olarak belirlenmiştir. En uygun yalıtım kalınlığı ısıtma amacıyla yakıt tiplerinden kömür de 0.06 m, doğalgaz da 0.042 m, fuel oil de 0.126 m belirlenirken soğutma amacıyla elektrik için 0.024 m olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra tuğla duvar için farklı yalıtım malzemesi ve farklı yakıt tipleri için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi, yıllık kazanç, enerji tasarrufu değerleri hesaplanmış Tablo 4.1.' de detaylı olarak verilmiştir. Duvar tipi tuğla duvar ve ısıtmada (Kömür, Doğalgaz, Fuel oil) soğutmada ise (elektrik) ve yalıtım malzemesi olarak (Taş yünü, Cam yünü, XPS ve EPS) kullanıldığı durumda Tablo 4.1.'de görüldüğü üzere optimum yalıtım kalınlığının taş yünü ve doğalgaz kullanıldığında 0.034 m ile en düşük değerde olduğu, en yüksek ise cam yünü ve Fuel oil kullanıldığında ise 0.152 m ile en yüksek değerde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca soğutmada en düşük değer taş yünü kullanıldığında 0.019 m ile en yüksek, cam yünü kullanıldığında ise 0.033 m ile en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. Geri ödeme süreleri irdelendiğinde yakıt tipi fuel oil yalıtım malzemesi ise cam yünü kullanıldığında 1.429 yıl, yakıt olarak doğalgaz, yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanıldığında 4.056 yıl en yüksek değer olarak tespit edilmiştir. Soğutmada ise yakıt tipi elektrik seçildiğinde geri ödeme sürelerinin yalıtım malzemeleri ile değişimi irdelendiğinde en düşük değer 4.32 yıl ile cam yünü kullanıldığında, en yüksek değer ise 5.51 yıl ile taş yününde olduğu belirlenmiştir. Tuğla duvar için ısıtma durumunda yıllık kazanç değeri ele alındığında en yüksek değer 1527.374 TL/m² ile cam yünü ve fuel oil kullanılması durumunda en düşük değer 1388.491 TL/m² ile taş yünü ve fuel oil kullanılması durumunda olduğu saptanmıştır. Soğutma için elektrik kullanılması durumunda 73.73 TL/m² ile en yüksek değer cam yününde ve 45.80 TL/m² ile en düşük değer taş yününde olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca diğer duvarlar için de optimum yalıtım kalınlığı grafikleri benzer çıktığından grafik yerine tüm değerler tablolar (Tablo 4.1.-4.4.) halinde sunulmuştur. Bu veriler, farklı yapı ve malzeme kombinasyonlarının maliyet etkinliği ve performans kriterleri açısından karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

Tablo 4.1. Tuğla duvar için hesaplanan değerler

TAŞ YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.055	0.034	0,105	0.019
Geri ödeme süresi (yıl)	2.965	4.056	1.821	5.51
Yıllık kazanç(TL/m2)	387.485	147.861	1388.491	45.80
Enerji tasarrufu (%)	51.127	65.266	33.619	80.28
CAM YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.083	0.054	0.152	0.033
Geri ödeme süresi (yıl)	2.325	3.179	1.429	4.32
Yıllık kazanç(TL/m2)	462.414	195.412	1527.374	73.73
Enerji tasarrufu (%)	41.676	54.096	26.979	68.26
XPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.067	0.042	0.126	0.024
Geri ödeme süresi (yıl)	2.840	3.884	1.744	5.27
Yıllık kazanç(TL/m2)	401.631	156.648	1415.154	50.74
Enerji tasarrufu (%)	49.342	63.202	32.344	28.15
EPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.0591	0.037	0.108	0.022
Geri ödeme süresi (yıl)	2.535	3.466	1.557	4.70
Yıllık kazanç(TL/m2)	437.160	179.119	1481.187	63.86
Enerji tasarrufu (%)	44.86	57.924	29.187	72.51

Duvar tipi izo tuğla duvar için ısıtma ve soğutma durumunda farklı yakıt ve yalıtım malzemesi seçenekleri için yapılan hesaplamalar Tablo 4.2’de verilmiştir. Isıtma durumunda optimum yalıtım kalınlığı ele alındığında en düşük değer 0.020 m ile yalıtım olarak taş yünü ve yakıt olarak doğalgaz seçildiğinde en yüksek değer ise 5.606 m yalıtım olarak cam yünü ve yakıt olarak Fuel oil seçildiğinde hesaplanmıştır Soğutmada ise en düşük yalıtım kalınlığı taş yünü kullanıldığında 0,005 m ve en yüksek yalıtım kalınlığı cam yününde 0.018 m olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri irdelendiğinde

en düşük değer 0.070 yıl ile yakıt olarak fuel oil ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü seçeneğinde, en yüksek değer ise 6.356 yıl ile yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt olarak doğalgaz seçeneğinde görölmüştür. Soğutma durumunda ise en düşük değer 6.76 yıl olarak yakıt tipi elektrik ve yalıtım için cam yünü, en yüksek değerin ise 8.65 yıl olarak yalıtım için taş yünü ve yakıt türünde olarak elektrik seçildiğinde hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. İzo tuğla duvar için hesaplanan değerler

TAŞ YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.042	0.020	0.091	0.005
Geri ödeme süresi (yıl)	4.641	6.356	2.84	8.65
Yıllık kazanç(TL/m2)	143.178	35.286	678.134	2.63
Enerji tasarrufu (%)	71.835	87.072	49.437	98.230
CAM YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.069	0.040	0.070	0.018
Geri ödeme süresi (yıl)	3.637	4.977	5.606	6.76
Yıllık kazanç(TL/m2)	202.707	67.438	1322.008	15.16
Enerji tasarrufu (%)	60.125	75.293	1.429	89.82
XPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.052	0.026	0.111	0.008
Geri ödeme süresi (yıl)	4.444	6.086	2.726	8.28
Yıllık kazanç(TL/m2)	154.017	40.767	701.492	4.27
Enerji tasarrufu (%)	69.703	85.064	47.696	97.13
EPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.047	0.026	0.097	0.011
Geri ödeme süresi (yıl)	3.965	5.428	2.433	7.38
Yıllık kazanç(TL/m2)	182.086	55.778	760.063	9.93
Enerji tasarrufu (%)	64.181	79.565	43.328	93.34

Yıllık kazanç değerine bakılacak olursa en yüksek değer 1322.008 TL/m² ile yalıtım cam yünü ve yakıt türü fuel oil kullanılması durumunda hesaplanmıştır. En düşük değer ise 35.286 TL/m² ile taş yünü ve doğalgaz yakıt türü kullanılması durumunda tespit edilmiştir. Soğutma için en yüksek değer EPS yalıtım ve elektrik kullanılması durumunda 15.16 TL/m² olarak belirlenmiştir. Enerji tasarrufuna incelendiğinde ısıtma için taş yünü yalıtım malzemesi ve doğalgaz yakıt türü kullanılması durumunda %87.072 ile en yüksek değer elde edildiği görülmektedir. En düşük değer ise %1.429 değere sahip cam yünü yalıtım ve fuel oil yakıt seçeneğinde ortaya çıkmaktadır. Soğutmada ise yalıtımın taş yünü ve yakıtın elektrik kullanılması durumunda % 98.230 olarak en yüksek değer ve yalıtımın cam yünü, yakıtın elektrik kullanılması durumunda ise %89.82 ile en düşük değer hesaplanmıştır.

Duvar tipi Bims duvar ve yakıt olarak ısıtma için kömür, doğalgaz, fuel oil soğutma için ise elektrik ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü, cam yünü, XPS ve EPS kullanılması durumunda hesaplanan veriler Tablo 4.3' de sunulmuştur.

Optimum yalıtım kalınlığı en düşük 0.039 m ile taş yünü ve doğalgaz seçeneğinde, en yüksek ise 0.158 m ile cam yünü ve Fuel oil seçeneğinde hesaplanmıştır. Soğutmada ise taş yünü kullanılması durumunda 0.024 m ile en düşük değer ve cam yünü kullanılması durumunda 0.039 m ile en yüksek değer hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri incelendiğinde en düşük değer 1.095 yıl ile yakıt için fuel oil yalıtım için cam yünü kullanılması durumunda, en yüksek değer ise 3.106 yıl ile yalıtım için taş yünü ve yakıt için doğalgaz kullanılması durumunda hesaplanmıştır. Soğutmada ise en düşük değer 3.30 yıl ile yakıt tipi elektrik ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanıldığında en yüksek değer ise 4,22 yıl ile taş yünü yalıtım malzemesi ve elektrik yakıt türünde seçeneğinde hesaplanmıştır. Yıllık kazanç değeri incelendiğinde en yüksek değer 2151.444 TL/m² ile yalıtımın cam yünü ve yakıtın fuel oil seçeneğinde hesaplanmıştır. En düşük değer ise 260.263 TL/m² değer ile yalıtımın taş yünü ve yakıtın ise doğalgazın kullanılması durumunda tespit edilmiştir. Enerji tasarrufu ele alındığında ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi ve doğalgaz yakıt türü kullanılması durumunda %53.089 en yüksek değer elde edildiği görülmektedir. En düşük değer ise %21.095 ile yalıtım cam yünü ve yakıt Fuel oil seçildiği durumda ortaya çıkmaktadır. Soğutmada ise yalıtımın taş yünü ve yakıtın elektrik kullanılması durumunda % 67.12 ile en yüksek enerji tasarruf oranı ve yalıtımın cam yünü, yakıtın elektrik kullanılması durumunda ise %55.78 ile en düşük enerji tasarruf oranı hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. Bims duvar için hesaplanan değerler

TAŞ YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.061	0.039	0.110	0.024
Geri ödeme süresi (yıl)	2.272	3.106	1.396	4.22
Yıllık kazanç(TL/m2)	611.232	260.263	2006.158	99.53
Enerji tasarrufu (%)	40.846	53.089	26.404	67.12
CAM YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.090	0.060	0.158	0.039
Geri ödeme süresi (yıl)	1.782	2.436	1.095	3.30
Yıllık kazanç(TL/m2)	692.564	314.218	2151.444	133.87
Enerji tasarrufu (%)	32.975	43.365	21.095	55.78
XPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.073	0.048	0.133	0.030
Geri ödeme süresi (yıl)	2.176	2.975	1.337	4.04
Yıllık kazanç(TL/m2)	626.752	270.424	2034.196	105.85
Enerji tasarrufu (%)	39.344	51.258	25.380	65.03
EPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.063	0.042	0.113	0.027
Geri ödeme süresi (yıl)	1.942	2.655	1.194	3.60
Yıllık kazanç(TL/m2)	665.384	295.998	2103.331	122.07
Enerji tasarrufu (%)	35.605	46.648	22,844	59.67

Duvar tipi gaz beton duvar ve yakıt olarak ısıtma için kömür, doğalgaz, fuel oil soğutma için ise elektrik ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü, cam yünü, XPS ve EPS kullanılması durumunda hesaplanan veriler Tablo 4.4’ de sunulmuştur.

Gaz beton duvar tipi seçildiğinde diğer duvar tiplerinden farklı olarak belirlenen seçeneklerin bir kısmında optimum yalıtım kalınlıkları çok küçük olarak hesaplandığından yalıtım yapılmasına gerek olmadığı saptanmıştır. Bu sebepten dolayı yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda ve soğutma için değerler

hesaplanmamıştır. Bu durum gaz betonun diğer duvar tiplerinden farklı olarak aynı zamanda yalıtım özelliğine sahip olması ile açıklanabilir. Batman ili gibi nispeten daha ılık iklime sahip 2. Derece gün kuşağındaki illerde bazı durumlarda yalıtım için gaz beton kullanımının uygun olmadığını göstermektedir. Eğer gaz beton kullanılacaksa Tablo 4.4.’ de hesaplanan durumlar için kullanılabilir veya gaz beton kalınlığı düşürülerek diğer durumlar için hesaplamalar yapılabilir.

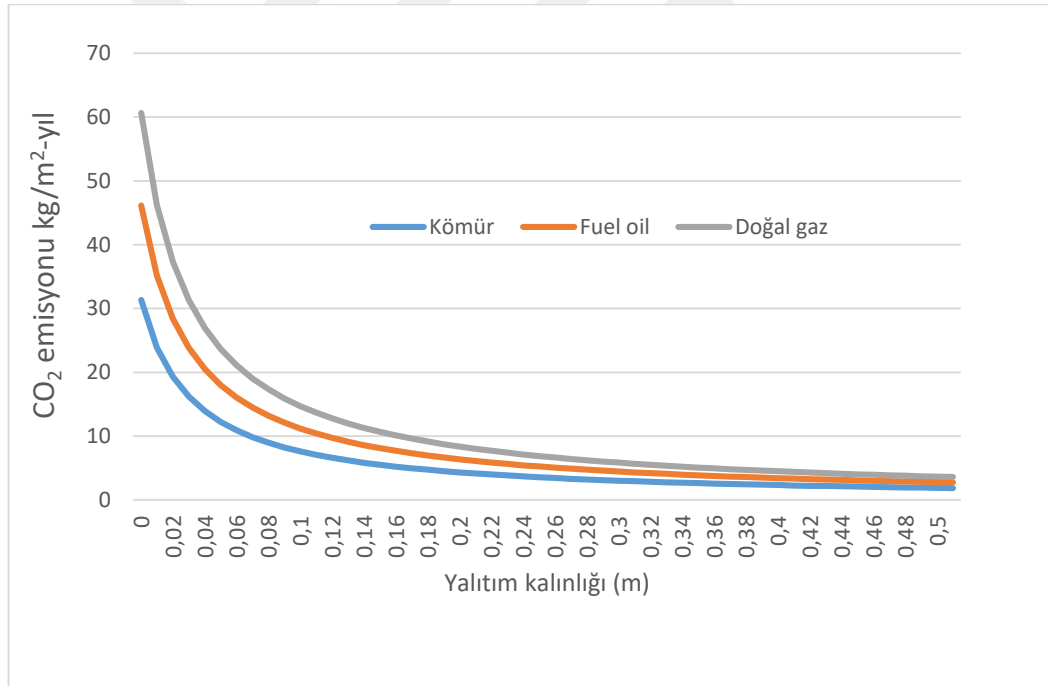
Tablo 4.4. Gaz beton duvar için hesaplanan değerler

TAŞ YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.007	-	0.057	-
Geri ödeme süresi (yıl)	8.976	-	5.486	-
Yıllık kazanç(TL/m2)	2.678	-	139.315	-
Enerji tasarrufu (%)	98.990	-	80.090	-
CAM YÜNÜ	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.032	-	0.100	-
Geri ödeme süresi (yıl)	7.020	-	4.29	-
Yıllık kazanç(TL/m2)	22.865	-	223.456	-
Enerji tasarrufu (%)	91.378	-	68.065	-
XPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.013	-	0.072	-
Geri ödeme süresi (yıl)	8.592	-	5.253	-
Yıllık kazanç(TL/m2)	5.072	-	154,227	-
Enerji tasarrufu (%)	98.087	-	77.958	-
EPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.018	-	0.068	-
Geri ödeme süresi (yıl)	7.658	-	4.686	-
Yıllık kazanç(TL/m2)	14.079	-	193.737	-
Enerji tasarrufu (%)	94.691	-	72.312	-

Hesaplanan değerlerde optimum yalıtım kalınlıkları ele alınırsa en düşük değerin 0.007 m ile yalıtım olarak taş yünü ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda, en yüksek değerin 0.100 m ile yalıtım olarak cam yünü ve yakıt olarak fuel oil seçilmesi durumunda hesaplandığı görülecektir.

Yalıtımın en önemli faydalarından birisi de emisyon salınımının düşürülmesidir. Yalıtım sayesinde günümüzde yoğun olarak kullanılan yakıtların kullanımı azalarak çevreye verilen zararın bir kısmı engellenecektir. Farklı yakıt türü için CO₂ ve SO₂ salınımları hesaplanarak her bir durumun çevresel etki analizi yapılmıştır.

Şekil 4.2’ de duvar tipinin izo tuğla ve yalıtım malzemesinin EPS kullanılması durumunda karbon salınımının en yüksek kömür yakıtında olduğu görülmektedir. Karbon salınımının en düşük olduğu yakıt türü ise doğalgaz olarak görülmektedir. Farklı duvar ve yalıtım malzemelerinde de sıralama aynı şekildedir. Tüm yakıt türlerinde yalıtım kalınlığı arttıkça karbon salınımında düşüş gözlenmektedir.

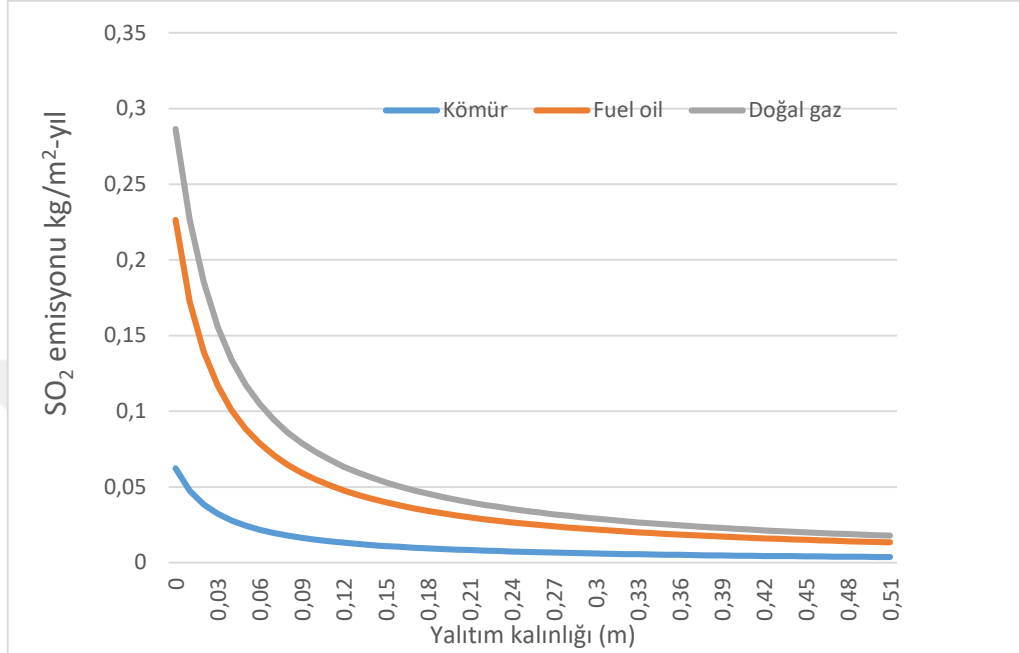


Şekil 4.2. İzo tuğla duvar tipi ve EPS yalıtım malzemesi için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı CO₂ değişimi

Elde edilen veriler incelendiğinde farklı yakıt, yalıtım malzemesi ve duvar tipleri için CO₂ emisyonların da ortalama % 80 oranında bir azalma gözlemlenmiştir.

İzo tuğla duvar tipi ve yalıtım malzemesinin EPS kullanılması durumunda, SO₂ salınımı en yüksek fuel oil yakıt tipinde en düşük kömür yakıt tipinde gerçekleşmiştir

(Şekil 4.3). Farklı duvar tipi ve farklı yalıtım malzemelerinde de aynı sıralama tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak yalıtım kalınlığı arttıkça SO₂ salınımının da düşüş olduğu görülmektedir. SO₂ salınımında da CO₂ salınımında olduğu gibi yalıtımsız duruma nazaran ciddi düşüşler olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. İzo tuğla duvar tipi ve EPS yalıtım malzemesi için farklı yakıt türlerine göre yalıtım kalınlığı SO₂ değişimi

Çalışmada bu kısma kadar yapılan hesaplamalarda Güneş ışınımının etkisi göz ardı edilmişti. Işınım etkisi dahil edilerek yapılan analizde, eşitlik 3.3, 3.4, 3.5 kullanılarak II. yöntem kapsamında verilen formüller ile ışıınıma bağlı olarak eşdeğer sıcaklıklar hesaplanmıştır. Denge noktası sıcaklığı derece-gün değerlerinin belirlenmesinde doğrudan etkilidir. Denge noktası sıcaklığı, yapıda ısıtma veya soğutma gereksinimi oluşmadığı şartlardaki dış ortam sıcaklığını ifade eder ve binadan binaya değişkenlik gösterebilir. Bu farklılık, binanın iç ortam sıcaklığı, ısı özellikleri ve kullanım biçimine göre belirlenmektedir. Genelde, ısıtma derece-gün sayıları 15 °C veya 18 °C denge sıcaklıklarında, soğutma derece-gün sayıları ise 22 °C denge sıcaklığında hesaplanmaktadır (Büyükalaca et al., 2001; Kreider and Rabl, 1994; Norford, 2001). Sıcak iklim bölgelerinde, ısıtma derece-gün sayıları için 18 °C, soğutma derece-gün sayıları için ise 26 °C denge sıcaklıkları da belirlenebilmektedir.

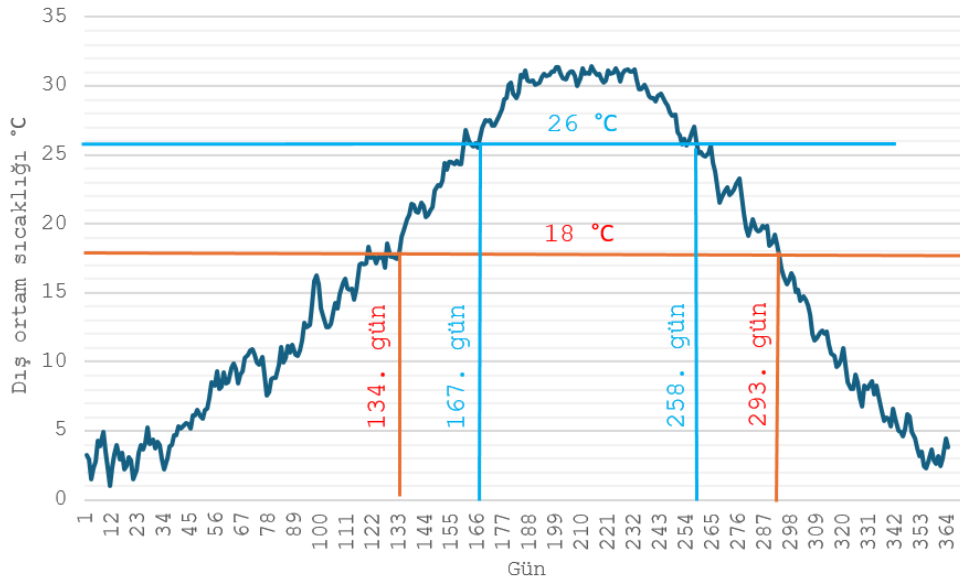
Bu çalışmada, ısıtma derece-gün değerleri için dış ortam sıcaklığı 15 °C ve 18 °C; soğutma derece-gün değerleri ise 22 °C ve 26 °C olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.5). Elde

edilen değerler incelendiğinde, Batman ili için ısıtma derece-gün hesaplamalarında 18 °C, soğutma derece-gün hesaplamalarında ise 26 °C denge sıcaklığının daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında denge sıcaklıkları 18 °C ve 26 °C olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Isıtma ve Soğutma Derece Gün değerleri

Isıtma dönemi				Soğutma dönemi		
Güneş ışıınımı ihmal	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü
	15 ° C	302. gün 28 Ekim	109. gün 19 Nisan	22 ° C	148. gün 28 Mayıs	278. gün 4 Ekim
Güneş ışıınımı dahil	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü
	15 ° C	314. gün 10 Kasım	88. gün 28 Mart	22 ° C	113. gün 23 Nisan	294. gün 21 Ekim
Isıtma dönemi				Soğutma dönemi		
Güneş ışıınımı ihmal	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü
	18 ° C	293. gün 19 Ekim	134. gün 14 Mayıs	26 ° C	167. gün 15 Haziran	258. gün 15 Eylül
Güneş ışıınımı dahil	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü	Denge sıcaklığı	Başlangıç günü	Bitiş Günü
	18 ° C	305. gün 1 Kasım	95. gün 5 Nisan	26 ° C	134. gün 14 Mayıs	293. gün 19 Ekim
15 °C – 22 °C						
Derece Gün Değerleri			Güneş Işınımı İhmal		Güneş Işınımı Dahil	
IDG			1278		832	
SDG			775		1975	
18 °C – 26 °C						
Derece Gün Değerleri			Güneş Işınımı İhmal		Güneş Işınımı Dahil	
IDG			1835		1282	
SDG			330		1325	

Yapılan hesaplamalarda 2013-2022 yılları arasındaki son 10 yıllık günlük ortalama sıcaklık verileri ve günlük global radyasyon verileri kullanılmıştır. Veriler Batman İl Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilmiştir. Günlük ortalama sıcaklık verileri ve denge sıcaklıkları ile birlikte yalnızca dış ortam sıcaklıklarına dayalı olarak hesaplanan ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerinin yıl boyunca değişimi Şekil 4.4'te sunulmuştur.



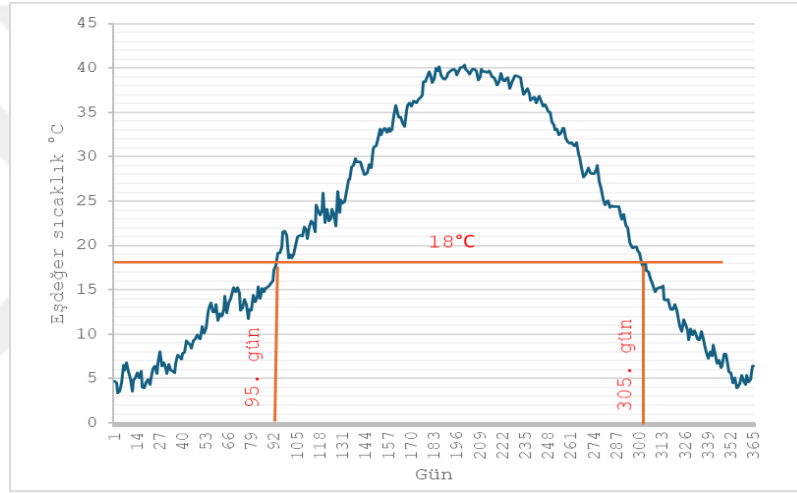
Şekil 4.4. Batman ilinin yıl boyu dış hava sıcaklığının günlük değişimi

Işınımın ihmal edildiğinde referans sıcaklığın 18 °C ve 26 °C olarak seçilmesi durumunda yılın 293. günü (19 Ekim) ile 134. günü (14 Mayıs) arası ısıtma periyodu, 167. günü (15 Haziran) ile 258. günü (15 Eylül) arası soğutma periyodu olarak belirlenmiştir. Bu dönemler için Isıtma Derece Gün sayısı 1835, Soğutma Derece Gün sayısı 330 olarak hesaplanmıştır. Bulut ve arkadaşlarının son 14 yıl verileri kullanarak 2007 yılında Türkiye’ deki 77 ili için yapmış oldukları çalışmada referans sıcaklığının 18 °C ve 26 °C olarak seçilmesi durumunda Batman ili için Isıtma Derece Gün sayısı 1823, Soğutma Derece Gün sayısı 318 olarak hesaplandığı görülmüştür (Bulut vd,2007). Bizim çalışmamızda hesaplanan değerlerin literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Güneş ışıınının dahil edilmesi ve ihmal edilmesi durumunda hesaplanan değerler Tablo 4.5.’ de detaylı olarak sunulmuştur.

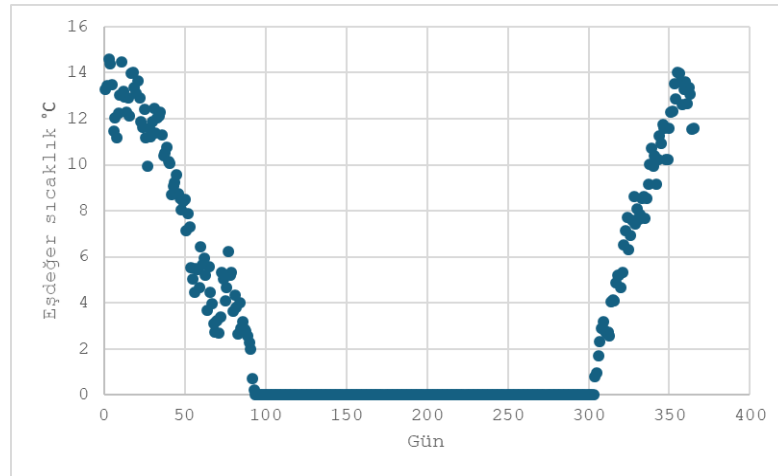
Güneş ışıınının dahil edildiği eşdeğer çevre sıcaklıklarına bağlı olarak ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerinin hesaplanması, optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesine olanak tanıyarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Batman ilinin yıllık dış hava sıcaklık değişimleri, 18 °C ve 26 °C denge sıcaklıkları temel alınarak sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.7’de sunulmaktadır. Bu görseller, Batman ilindeki mevsimsel sıcaklık dalgalanmalarının ısıtma ve soğutma gereksinimleri üzerindeki etkilerini incelemeye olanak tanıyarak, enerji performans analizlerinde önemli veriler sağlamaktadır.

Şekil 4.5’de, 18 °C denge sıcaklığı için ısıtma sezonunun başlangıç ve bitiş noktaları, sıcaklık eğrisinin denge sıcaklığı ile kesişim noktaları olarak belirlenmiştir. Bu noktalar, sırasıyla yılın 95. günü (5 Nisan) ve 305. günü (1 Kasım) olarak tespit edilmiştir. Bu kesişim noktaları, ısıtma gereksiniminin başlangıç ve bitiş dönemlerini tanımlamakta olup, ısıtma sezonunun süresini belirleyerek enerji talebi analizinde önemli referans değerler sunmaktadır. Bu bağlamda, Batman ili için ısıtma periyodu 1 Kasım’da başlamakta ve 5 Nisan’da sona ermektedir. 26 °C denge sıcaklığı için soğutma sezonunun başlangıç ve bitiş noktaları ise yine eğrinin kesim noktalarıdır ve sırasıyla yılın 134. günü (14 Mayıs) ve 293. günü (19 Ekim) olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla, soğutma periyodu 14 Mayıs’ta başlayıp 19 Ekim’de sona ermektedir.

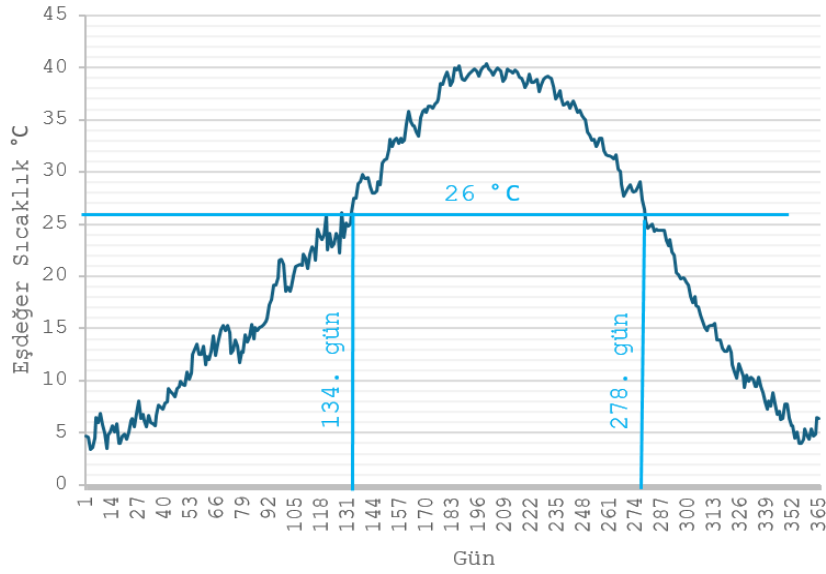


Şekil 4.5. Batman ilinin yıl boyu günlük eşdeğer çevre sıcaklığının değişimi (Ti=18°C)

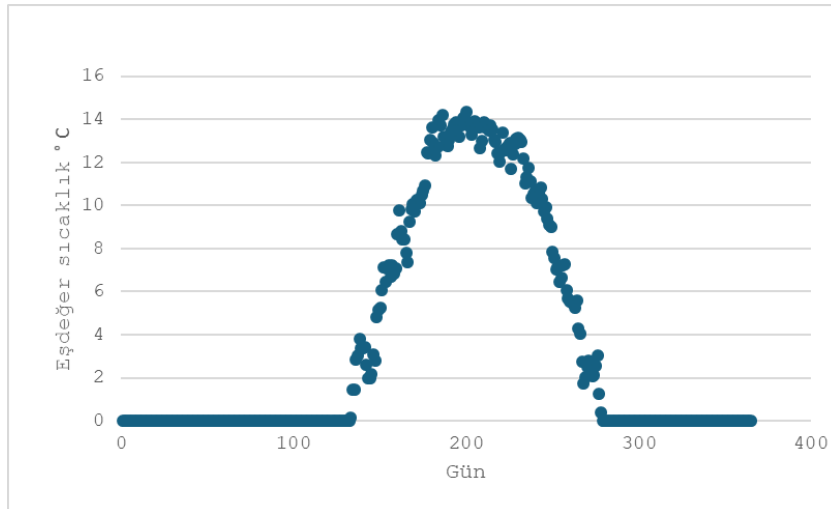


Şekil 4.6. Dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak Isıtma Derece-Gün (IDG) değerlerinin değişimi

Isıtma ve soğutma işlemlerinin uygulanmadığı günlerde, ısıtma derece-gün (IDG) ve soğutma derece-gün (SDG) değerlerinin sıfır olduğu, Şekil 4.6 ve Şekil 4.8'de açık bir şekilde görülmektedir. Günlük olarak hesaplanan ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri ayrı ayrı toplandığında, ısıtma derece-gün (IDG) değeri 1282, soğutma derece-gün (SDG) değeri ise 1325 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Batman ilinin ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının değerlendirilmesinde önemli bir referans noktası teşkil etmektedir. Bu veriler, bölgedeki enerji ihtiyacının belirlenmesi ve yalıtım stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.



Şekil 4.7. Batman ilinin yıl boyu günlük eşdeğer çevre sıcaklığının değişimi ($T_i=26^{\circ}\text{C}$)



Şekil 4.8. Soğutma Derece-Gün (SDG) değerlerinin eşdeğer çevre sıcaklıklarına göre değişimi

Işınım dahil edilerek elde edilen Isıtma Derece Gün ve Soğutma Derece Gün sayıları kullanılarak optimum yalıtım kalınlıkları başta olmak üzere belirlenen parametreler hesaplanmış ışıının ihmal olduğu durumla kıyaslanmıştır. Işıının dahil edildiği hesaplamalar en fazla kullanılan 2 yalıtım türü (XPS, EPS) için ve izo tuğla duvar tipi seçilerek yapılmıştır.

Tablo 4.6. Işıının dahil edilmesi durumunda izo tuğla için hesaplanan değerler

XPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.036	0.015	0.086	0.060
Geri ödeme süresi (yıl)	5.32	7.29	3.26	4.10
Yıllık kazanç(TL/m2)	75.85	13.48	419.184	204.96
Enerji tasarrufu (%)	78.643	92.926	55.263	65.72
EPS	Isıtmada			Soğutmada
Yakıt türü	Kömür	Doğalgaz	Fueloil	Elektrik
Xopt (m)	0.034	0.016	0.076	0.054
Geri ödeme süresi (yıl)	4.75	6.5	2.91	3.65
Yıllık kazanç(TL/m2)	95.898	22.62	466.72	237.16
Enerji tasarrufu (%)	72.998	88.136	50.402	60.34

Işıının dahil edilmeden önceki yalıtım kalınlıklarını güneş ışıının dahil edildiği durumda XPS ve EPS yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıklarında azalma olduğu görülmektedir. Işıının dahil edilmediği durumda izo tuğla duvar için XPS yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı kömür, doğalgaz ve Fuel oil yakıt türleri için sırasıyla 0.052, 0.026, 0.111 m iken ışıının dahil edildiği durumda ise optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 0.036, 0.015, 0.086 m olduğu görülmektedir. EPS yalıtım malzemesi için durum değerlendirildiğinde ışıının dahil edilmediği durumda optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 0.047, 0.026, 0.097 m iken ışıının dahil edildiği durumda düşüş göstererek optimum yalıtım kalınlıklarının sırasıyla 0.034, 0.016 ve 0.076 m olduğu görülmüştür.

Soğutmada ise yakıtın elektrik kullanılması durumunda ışıının dahil edilmediğinde XPS yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı 0.008 m iken ışıının dahil edildiği durumda ise 0.060 m olarak hesaplanmıştır. Yalıtımın EPS

kullanılması durumunda ısıtımın dahil edilmediğinde optimum yalıtım kalınlığı 0.011 m iken ısıtımın dahil edildiği durumda ise 0.054 m olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak izo tuğla duvar için XPS ve EPS yalıtım malzemelerinin kullanılması durumunda ısıtma için hesaplamalara güneş ısıtımını dahil edildiğinde her üç yakıt türü için optimum yalıtım kalınlıklarının azaldığı, soğutmada ise arttığını görülmektedir. Geri ödeme süreleri ele alındığında ısıtma durumunda her üç yakıt türü için de artış söz konusu iken soğutma da düşüş gözlenmiştir. Yıllık kazanç miktarı incelendiğinde ısıtma durumunda her üç yakıt türü için düşüş, soğutma durumunda artış görülmüştür. Enerji tasarrufu değerlerinde ise ısıtma durumunda artış soğutma durumunda ise düşüş gözlenmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Elde edilen veriler ışığında optimum yalıtım kalınlıkları ısıtma durumu için değerlendirildiğinde en düşük taş yünü sonra EPS, XPS ve en yüksek cam yünü şeklinde sıralanmıştır. Yine optimum yalıtım kalınlıkları yakıt bazlı değerlendirildiğinde en düşük doğal gaz sonra kömür ve en yüksek fuel oil olarak sıralanmıştır. Yakıt bazlı sıralama bütün yalıtım malzemeleri için geçerlidir. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığı ile ilgili yalıtım malzemesi ve yakıt bazlı olarak verilen sıralama bütün duvar malzemelerinde de tespit edilmiştir. Tüm değerler ısıtma için incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığında en yüksek değer 0.158 m ile bims-fuel oil-cam yünü kullanılması durumunda en küçük değer 0.020 m ile izo tuğla-doğal gaz-taş yünü kullanılması durumunda hesaplanmıştır(Gaz beton duvar- doğal gaz için hesaplanan değerler çok küçük olduğundan dikkate alınmamıştır). Soğutma durumunda en yüksek değer 0.039 m ile bims-elektrik-cam yünü kullanılması durumunda en küçük değer 0.005 m ile izo tuğla-elektrik-taş yünü kullanılması durumunda hesaplanmıştır(Gaz beton duvar- elektrik için hesaplanan değerler çok küçük olduğundan dikkate alınmamıştır).

Geri ödeme süreleri irdelendiğinde ısıtma durumu için ele alındığında en yüksek doğal gaz sonra kömür en düşük fuel oil olarak saptanmıştır. Soğutma için de sıralama benzer durumdadır. Yakıt bazlı sıralama tüm yalıtım malzemelerinde aynıdır. Yalıtım malzemeleri için geri ödeme süreleri en yüksek taş yünü sonra XPS, daha sonra EPS ve en küçük cam yünü şeklindedir. Soğutma durumu için de aynı sıralama geçerlidir. Bu durum bütün duvar tipleri için benzerdir.

Yıllık kazanç ısıtma durumu için ele alındığında yalıtım malzemeleri için sıralama en yüksek taş yünü sonra XPS, daha sonra EPS ve en küçük cam yünü şeklindedir. Yakıt bazlı sıralama ise en yüksek fuel oil sonra kömür en düşük doğal gaz olarak saptanmıştır. Hem yakıt bazlı hem de yalıtım bazlı sıralama bütün duvar tipleri için aynı şekilde belirlenmiştir.

Enerji tasarruf oranlarında ise ısıtma durumu için en yüksek taş yünü sonra XPS, daha sonra EPS ve en küçük cam yünü şeklindedir. Yakıt bazlı sıralama ele alındığında en yüksek doğal gaz sonra kömür en düşük fuel oil olarak saptanmıştır. Enerji tasarruf oranları için yakıt bazlı sıralama tüm yalıtım malzemelerinde aynıdır.

Yakıt olarak doğalgaz duvar tipi olarak gaz beton kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları çok küçük hesaplandığından yalıtım malzemesi kullanmaya

gerek yoktur. Yine aynı şekilde soğutma için elektrik kullanılması durumunda gaz beton duvar tipi için (optimum yalıtım kalınlıkları çok küçük hesaplandığından) yalıtım kullanılması uygun değildir.

Hesaplamalara ısıtımın dahil edilmesi durumunda optimum yalıtım kalınlıklarında ısıtma durumunda artış soğutma durumunda düşüş saptanmıştır. Yalıtımla birlikte ısıtmada kullanılan yakıtların çevreye yaydığı zararlı emisyonlarda (CO_2 , SO_2) ciddi oranda azalma görülmüştür. Dolayısıyla yalıtım karbon salınımının azaltılması noktasında önem arz etmektedir.

5.2 Öneriler

Yalıtım yapılmadan önce yalıtım yapılması düşünülen binanın bulunduğu bölgenin iklim verileri, binada kullanılacak duvar yapıları, yalıtım malzemesi, ısıtma veya soğutma durumu, kullanılacak yakıt vb. seçenekler belirlenerek optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi, maliyet, enerji tasarrufu, karbon salınımı, vb parametreler hesaplandıktan sonra optimum seçim yapılmalıdır.

Batman ili için elde edilen veriler kullanılarak yalıtım yapmayı düşünen veya sektördeki kullanıcılar en uygun seçimi yapabilir. Özellikle Batman ili gibi ısıtım değerlerinin yüksek olduğu yerlerde ısıtım değerleri dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlıkları belirlenebilir. Yapılan hesaplamalar Batman gibi 2. Derece gün kuşağında bulunan iller için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Akıncı, H. (2007). *Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Akelçi, B. (2016). *Kentsel Dönüşüm Kapsamında Dıştan Isı Yalıtım Uygulamalarının İrdelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- Altınışik, K. (2016). *Isı İzolasyonu*. Nobel Yayıncılık.
- Anonim, (2024a). Yalıtım nedir?, <https://www.izobir.com/blog/yalitim-nedir>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024b). Yalıtım nedir?, <https://birsove.com.tr/yalitim-nedir/>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim,(2024c).Enerjiverimliliği,https://evcedruzgar.enerji.gov.tr/verimlilik/b_en_ver_b_2.aspx, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024d). TS 825, <https://www.izoder.org.tr/haber/7070/ts-825-standardi-revize-edildi>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024e). Taş yünü, <https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/tasyunu>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024f). Isı yalıtım malzemeleri, https://www.izoder.org.tr/dosyalar/isi-yalitim-malzemeleri_n.pdf, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024g). XPS, [https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekstrude-polistiren-\(xps\)](https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekstrude-polistiren-(xps)), [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024h). EPS, [https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekspande-polistiren-\(eps\)](https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/ekspande-polistiren-(eps)), [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024ı). EPS, <https://www.epsder.org.tr/tr/page/9/isi-yalitim-uygulamalarinda-eps>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024i). Cam yünü, www.izocam.com.tr/images/product/technical-image/camyunu259.pdf, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024j). Gaz beton, <https://www.kompozitpazari.com/blog/icerik/gazbeton-ytong-nedir-avantajlari-ve-dezavantajlari>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024k). Poliüretan, <https://www.misyondekor.com/sert-poliuretan-kopuk>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024l). Fenol köpüğü, <https://vegaplus.com.tr/urun/63/fenol-kopugu>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].

- Anonim, (2024m). Bims, <https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz-cimento/bims-nedir-nerelerde-kullanilir>, [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Anonim, (2024n). Faiz, enflasyon verileri, <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Faiz+Istatistikleri/nelerdir>. [Erişim Tarihi: 2 Kasım 2024].
- Anonim, 2024o, Genleştirilmiş perlit, <https://www.kaleperlit.com.tr/genlestirilmis-perlit>. [Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Arslan, M. A. ve Aktaş, M. (2018). İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2) 299-320. <https://doi.org/10.2339/politeknik.407257>
- Atmaca, U. (2016). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler. *Tesisat Mühendisliği*, 154, 21-35.
- Bayer, G. (2006). *Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Bektaş, V. (2017). *Bina Dış Duvarları için Optimum İzolasyon Kalınlığının Belirlenmesi Ve Maliyet Analizi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Bilecik şeyh Edebali Üniversitesi.
- Bulut, H., Büyükalaca, O., & Yılmaz, T. (2007). *Türkiye için ısıtma ve soğutma dereceğün bölgeleri* [Konferans sunumu]. 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri-Türkiye.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., & Yılmaz, T. (2001). Analysis of variable-base heating and cooling degree-day.s for Turkey. *Applied Energy*, 69(4), 269-283. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(01\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(01)00017-4)
- Candan, N. (2007). *Isı Yalıtım Sistemleri ve Özelliklerinin Karşılaştırılması*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Çakallı, H. (2013). TRC2 Bölgesi İzolasyon Sektörü Raporu. Diyarbakır-şanlıurfa. T.C. Karacadağ Kalkınma Ajansı şanlıurfa Yatırım Destek Ofisi. https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwkaracadaggovtr_90_kx7n84bi_analiz_ve_genel_degerlendirme.pdf.
- Çevre şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı(ÇşB). (2024). 2024 yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları. /<https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/1--2024-b-r-m-f-yatlar-20240603-1019-20240603093641.pdf>.
- Çevre şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı(ÇşB). (2015). Isı yalıtım uygulama kılavuzu. [.https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu617.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu617.pdf).

- Çomaklı, K., & Yüksel, B. (2003). Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied thermal engineering*, 23(4), 473-479. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00209-0](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00209-0)
- Çiçek, Y. E. (2002). *Pişmiş Toprak Tuğla, Bims beton, Gaz beton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin, Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Dağsöz, A. K. (1991). *Yapılarda Isı İzolasyonu ve Buhar Geçişi*. Emre Matbaacılık.
- Demir, İ. H. (2014). *Bina Dış Duvarları için Optimum İzolasyon Kalınlığının Belirlenmesi ve Maliyet Analizi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi.
- Dombaycı, Ö. A., Atalay, Ö., Acar, Ş. G., Ulu, E. Y., & Ozturk, H. K. (2017). Thermoeconomic method for determination of optimum insulation thickness of external walls for the houses: Case study for Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 22, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.05.005>
- Ekici, B. B., Gulten, A. A., & Aksoy, U. T. (2012). A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey. *Applied Energy*, 92, 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.008>
- Geliş, K., & Yeşildal, F. (2020). Klasik ve Modern Yapı Elemanları Kullanılması Durumunda Isı İletim Katsayısının Değişimi ile Minimum Yalıtım Kalınlığının Tayini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(4), 869-877. DOI: 10.17714/gumusfenbil.725909
- Dombaycı, Ö. A., Gölcü, M., & Pancar, Y. (2006). Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*, 83(9), 921-928. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.10.006>
- Gören, B. (2022). *Gaz beton Isı İzolasyon Levhasının, Taş Yünü Isı İzolasyon Malzemesi İle Karşılaştırılarak, Bina Enerji Performansı Ve Isınma Maliyetine Etkisinin İncelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Arel Üniversitesi.
- Gürel, A. E., & Daşdemir, A. (2011). Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısıtma ve soğutma yükleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(4), 346-353.
- Hasan, A. (1999). Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. *Applied energy*, 63(2), 115-124. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00023-9)
- Işık, E., & Tuğan, V. (2017). Tunceli, Hakkâri ve Kars İllerinin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 50-57.

- İzoder, (2003). *Isı yalıtımı. İnşaat teknolojisi*. <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Isi-Yalitimi.pdf>.
- Kahya, E. (1999a). A new unidimensional search method for optimization: the tangential interpolation. *International Journal of Applied Mathematics*, 1(7), 711-724.
- Kahya, E. (1999b). *Mühendislik Ekonomisi*. TEKAM No:TS99-003-EK, Eskişehir.
- Kallioğlu, M. A., Batı, Z. A., Karakaya, H., & Durmuş, A. (2016). Environmental and economic analysis of optimum heat insulation thickness in energy saving. *European Journal of Technique (EJT)*, 6(2), 160-169.
- Kallioğlu, M. A., Ercan, U., Avcı, A. S., Fidan, C., & Karakaya, H. (2020). Empirical modeling between degree days and optimum insulation thickness for external wall. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(11), 1314-1334. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1651797>
- Kaplan, G. (2012). *Dış Duvar Özelliklerinin Isıl Performansının DeneySEL İncelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Karademir, B. (2023). *Türkiye’de Tüm İllerde Optimum Duvar Ve İzolasyon Malzemelerinin Belirlenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Gedik Üniversitesi.
- Karakaya, H. (2018). Farklı Duvar ve Yakıt Tiplerinde Optimum Yalıtım Kalınlığının Isıtma ve Soğutmada Tespiti ve Çevresel Etkileri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 193-202.
- Kaya, D. ve Öztürk, H. (2014). *Sanayide Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği - Uygulamalı Örneklerle*. Umuttepe Yayınları.
- Kaya, T. (2016). *Yapılarda kullanılan yalıtım malzemelerinin enerji verimliliği açısından incelenmesi* [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.
- Keçebaş, A. (2015). Determination of optimum insulation thickness in pipe for exergetic life cycle assessment. *Energy Conversion and Management*, 105, 826-835. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.017>
- Kreider, J.F. & Rabl, A. (1994). *Heating and cooling of buildings*, McGraw Hill Inc., New York.
- Kıvrak, F. (2022). *Ticari Kahve Atıklarının İzolasyon Malzemesi İçerisinde Değerlendirilebilirliğinin İncelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Konya Teknik Üniversitesi.
- Kürekci, N. A., Bayrakçı, A., Çubuk, M. H., & Emanet, Ö., (2012). Türkiye’nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı. *Tesisat Mühendisliği*, 131, 5-21.
- Kurekci, N. A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial

- Moran, H. (2018). *Farklı Derece Gün Bölgelerine Göre Optimum İzolasyon Kalınlığının Yatırım tasarruf Yöntemine Göre Hesaplanması Ve Çevresel Etki Analizi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi.
- Norford, L. (2001). *Ashrae, Ashrae Handbook- Fundamentals (SI), Energy estimating and modeling methods*. ashrae-hvac-2001-fundamentals-handbook.pdf. chapter 31.
- Özel, M. (2008). Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4).
- Özel, M. (2011). Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), 3854-3863. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.033>
- Özel, M. (2020). Dış Ortam Sıcaklıkları ve Güneş Işınımı Şiddeti Dikkate Alınarak Adana İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı Tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(1), 167-177. <https://doi.org/10.35234/fumbd.621070>
- Özer, N. ve Acun Özgünler, S. (2019).Yapılarda Yaygın Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Performans Özelliklerinin Duvar Kesitleri Üzerinde Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2),25-48. DOI: 10.17482/uumfd.438738
- Öziç, İ. H. (2013). *Binalarda ısı Yalıtımı Üzerine DeneySEL Bir Çalışma*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Pamukkale Üniversitesi.
- Özkan, D. B., Onan, S. C. (2009). Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Isı Yalıtımına Etkisi. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 190-196.
- Paralı, D. (2009). *Bina Duvarlarında Uygulanan Isı İzolasyon Sistemlerinin İncelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi].Sakarya Üniversitesi.
- Pehlivanlı, Z. (2009). Gaz beton malzemesinin ısı iletkenliğinin nem ve sıcaklıkla değişiminin incelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*,1(2), 76-80.
- Sapan, M. A. (2017). *Erzurum ilinde Isı İzolasyon Kalınlıklarının Enerji, Ekonomik Ve Çevresel Analizi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Sarı, M. (2020). *Hidrofobik Hale Getirilen Biyolojik Atık ve Kağıt Atıklarının Su Bazlı Reçineler Kullanılarak Kompozit Yapı Malzemesi Üretimi ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi] Kafkas Üniversitesi.
- Shekarchian, M., Moghavvemi, M., Rismanchi, B., Mahlia, T. M. I., & Olofsson, T. (2012). The cost benefit analysis and potential emission reduction evaluation of

- applying wall insulation for buildings in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4708-4718. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.045>
- Şimşek, Z. (2019). Konut yapılarında kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin incelenmesi. *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 14(4), 147-162. <https://doi.org/10.12739/nwsa.2019.14.4.2a0177>
- Şişman, N., Kahya, E., Aras, N., ve Aras, H. (2007). Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof for Turkey's different degree-day regions. *Energy Policy*, 35(10):5151-5155. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.04.037>
- Threlkeld, J., L. (1998). *Thermal Environmental Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. NJ.
- Topçuoğlu, K. (2017). *Yalıtım teknolojisi*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- TS-825, (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 825, (2013) Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuncer, T. (2012). *Konutlarda Enerji Verimliliği Ve Derece Gün Bölgelerine Göre Farklı Malzemelerde Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Türkmen, M. (2016). *Bina kabuğunda ısı yalıtımı uygulamalarının yapısal performansı ve etkinliğinin İstanbul'da bir alan çalışması ile incelenmesi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Uçar, A., & Balo, F. (2009). Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey. *Applied Energy*, 86(5), 730-736. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.015>
- Uzun, İ. (2013). *Yönetmelikler Işığında Isı Yalıtım Uygulamaları*. EPS Sanayi Derneği (EPSDER) Yayınları, Inovasya ajans.
- Ülker, S. (2009). *Isı Yalıtım Malzemelerinin Özelliklerinin Uygulamaya Etkileri*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ünalın, H. (2003). *Yapı Kabuğunda Isı İzolasyonun irdelenmesi ve Anadolu Üniversitesi Lojmanları Örneği*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi.
- Ünvar, S. (2023). Ağrı ilinde farklı yakıtlar ve duvar bileşenleri için optimum yalıtım kalınlıkları kullanılarak enerji maliyetlerinin analizi. *Politeknik Dergisi*, 26(2), 1011-1023. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1260040>
- Ünver, Ü., Adıgüzel, E., Adıgüzel, E., Çivi, S., & Roshanaei, K. (2020). Türkiye'deki iklim bölgelerine göre binalarda ısı yalıtım uygulamaları. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 171-187.

- Yalçın A. H. (2012). *Elazığ İlinde Kullanılan Farklı Duvar Tipleri İçin Optimum İzolasyon Kalınlığının Belirlenmesi Ve Ekonomi Analizi*. [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi.
- Yildiz, A., Gurlek, G., Erkek, M., & Ozbalta, N. (2008). Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings. *Journal of Thermal Science and Technology*, 28(2), 25-34.

