KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI TİP VE KALINLIKLARDA YALITIM MALZEMESİ KULLANIMININ YAPI ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ

İLHAN UYSAL

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI TİP VE KALINLIKLARDA YALITIM MALZEMESİ KULLANIMININ YAPI ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ

İLHAN UYSAL

Doç.Dr. Salih Taner YILDIRIM		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof.Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof.Dr. Metin İPEK		
Jüri Üyesi,	**Sakarya Uyg. Bil. Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 07.10.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Üniversite eğitimim boyunca büyük desteklerini gördüğüm, tecrübelerinden esin aldığım, tez konumu seçerken neler yapmak istediğimi göz önünde bulunduran ve yardımcı olan tez danışmanın Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM ile İnşaat Yüksek Mühendisi Cihat ARSLAN'a ve yakın dostum olan İnşaat Mühendisi Ensar AYAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, maliyet bilgileri danıştığımız Su ve Isı Yalıtım Danışmanı İnş. Müh. Jozef BONFİL'e, İzocam Pazarlama Direktörü Kemal Gani BAYRAKTAR'a ve geri ödeme bilgilerini danıştığımız Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof.Dr. Ufuk Teoman AKSOY'a teşekkürü borç bilirim.

Temmuz – 2020 İlhan UYSAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 5
1.1. Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtımında Temel Kavramlar 5
1.1.1. Isıl iletkenlik katsayısı, λ[W/mK] 7
1.1.2. Isıl direnç, R[m^2.K/W] ve toplam ısıl geçirgenlik sayısı, U (W/m^2.K) 8
1.2. Isı Yalıtım Malzemeleri 11
1.2.1. Taş yünü 11
1.2.2. Expande polistren (EPS) 13
1.2.3. Perlitli sıva 14
1.2.4. Ekstrüde polistren (XPS) 16
1.3. Duvar Malzemeleri 17
1.3.1. Gazbeton 17
1.3.2. Bimsblok 18
1.3.3. Tuğla 19
1.4. Kullanılan Yakıt Türleri ve Enerji Tasarrufu 20
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 22
3. ISI YALITIMI HESAPLARI İÇİN KULLANILAN YÖNTEM 28
3.1.Derece-Gün Yöntemi 28
3.1.1. Isı kaybı ve enerji gereksinimi 34
3.1.2. Yıllık enerji maliyet analizi, optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve geri ödeme süresinin saptanması 36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 41
4.1. Birinci Bölge: Adana 44
4.2. İkinci Bölge: Kocaeli 56
4.3. Üçüncü Bölge: Ankara 68
4.4. Dördüncü Bölge: Van 85
4.5. Beşinci Bölge: Ardahan 97
4.6. Beş Derece Gün Bölgesindeki Geri Ödeme Sürelerinin Karşılaştırılması 110
4.7. Beş Derece Gün Bölgesinde Doğalgaz Enerjisi Kullanımında Alt ve Üst Isıl Değerlerin Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisi 112
5. SONUÇLAR 115
KAYNAKLAR 120
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 127
ÖZGEÇMİŞ 128

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. TS 825 bölgelere göre U değerlerini gösteren harita 10
Şekil 1.2 Enerji Performans Yönetmeliğinin (EPBD) maliyet etkinlik kuralları çerçevesinde hedeflenen U değerleri 10
Şekil 1.3. Taş yünü uygulaması 12
Şekil 1.4. Bina dış cephesinde taş yünü uygulaması 12
Şekil 1.5. Farklı türde Ekspande Polistren 13
Şekil 1.6. Dış cephe ısı yalıtımında kullanılan ekspande polistren köpüğü 14
Şekil 1.7. Ambalaj içerisinde muhafaza edilen kuru halde perlitli sıva malzemesi 14
Şekil 1.8. Perlitli sıva agregası 15
Şekil 1.9. Ekstrüde polistren 16
Şekil 1.10. Ekstrüde polistren (XPS) ısı yalıtım malzemesi 16
Şekil 1.11. Gazbeton duvar malzemesinin kullanımı 18
Şekil 1.12. Duvar malzemesi: Bimsblok 19
Şekil 1.13. Yapı sektöründe kullanılan tuğlalar 20
Şekil 4.1. Gazbetonda yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Adana) 46
Şekil 4.2. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Adana) 47
Şekil 4.3. Bimsblokta yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Adana) 50
Şekil 4.4. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Adana) 51
Şekil 4.5. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğlanın ve doğalgazın kullanımında yalıtıma ait enerji kazançları (Adana) 53
Şekil 4.6. Yatay delikli tuğlada toplam yatırım maliyetleri (Adana) 54
Şekil 4.7. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Adana) 55
Şekil 4.8. Gazbetonda toplam yatırım maliyetleri (Kocaeli) 57
Şekil 4.9. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Kocaeli) 59
Şekil 4.10. Bimsblokta toplam yatırım maliyetleri (Kocaeli) 61
Şekil 4.11. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Kocaeli) 62
Şekil 4.12. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanımında yalıtıma ait enerji kazançları (Kocaeli) 63
Şekil 4.13. Yatay delikli tuğlada toplam yatırım maliyetleri (Kocaeli) 65
Şekil 4.14. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Kocaeli) 66
Şekil 4.15. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanımında yalıtıma ait enerji kazançları 67

Şekil 4.16. Gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri 70
Şekil 4.17. Gazbetonda toplam yatırım maliyetleri (Ankara) 71
Şekil 4.18. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ankara) 72
Şekil 4.19. Optimum yalıtım kalınlığında gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 73
Şekil 4.20. Bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri 75
Şekil 4.21. Bimsblokda toplam yatırım maliyetleri (Ankara) 76
Şekil 4.22. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ankara) 77
Şekil 4.23. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 78
Şekil 4.24. Yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri 80
Şekil 4.25. Yatay delikli tuğlada toplam yatırım maliyetleri (Ankara) 81
Şekil 4.26. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları 82
Şekil 4.27. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 84
Şekil 4.28. Gazbetonda yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Van) 86
Şekil 4.29. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Van) 87
Şekil 4.30. Optimum yalıtım kalınlığında gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 88
Şekil 4.31. Bimsblokta yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Van) 90
Şekil 4.32. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Van) 91
Şekil 4.33. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 92
Şekil 4.34. Yatay delikli tuğlada yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Van) 94
Şekil 4.35. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Van) 95
Şekil 4.36. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 96
Şekil 4.37. Gazbetonda yalıtımlı durumda topla yatırım maliyetleri (Ardahan) 99
Şekil 4.38. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ardahan) 100
Şekil 4.39. Optimum yalıtım kalınlığında gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 101
Şekil 4.40. Bimsblokta yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Ardahan) 103
Şekil 4.41. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ardahan) 104
Şekil 4.42. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 105

Şekil 4.43. Yatay delikli tuğlada yalıtımda toplam yatırım maliyetleri (Ardahan) 107
Şekil 4.44. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ardahan) 108
Şekil 4.45. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları 109

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Çalışmada kullanılacak yalıtım ve duvar malzemelerine ait ısıl iletkenlik değerleri ve ilgili standartları 7
Tablo 1.2. Yapı duvarları için toplam ısıl geçirgenlik değerinin bölgelere göre dağılımı 9
Tablo 1.3. Çalışmada dikkate alınacak enerji kaynaklarına ait olan ısıl değer, fiyat ve verim tablosu 21
Tablo 3.1. Derece-gün sistemine göre 1. Bölge Derece-Gün İlleri 30
Tablo 3.2. Derece-gün sistemine göre 2. Bölge Derece-Gün İlleri 31
Tablo 3.3. Derece-gün sistemine göre 3. Bölge Derece-Gün İlleri 32
Tablo 3.4. Derece-gün sistemine göre 4. Bölge Derece-Gün İlleri 32
Tablo 3.5. Derece-gün sistemine göre 5. Bölge Derece-Gün İlleri 33
Tablo 3.6. Çalışma için seçilmiş illere ait Derece-Gün değerleri 33
Tablo 3.7. Farklı derece-gün (DG) bölgeleri için ısı kaybı ve yoğuşma hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri [θ_e (^oC)] 34
Tablo 4.1. Yapı malzemesinin gazbeton olarak seçildiği kombinasyon 41
Tablo 4.2. Yapı malzemesinin bimsblok olarak seçildiği kombinasyon 42
Tablo 4.3. Yapı malzemesinin yatay delikli tuğla olarak seçildiği kombinasyonlar 43
Tablo 4.4. Adana ilinde gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 45
Tablo 4.5. Adana ilinde bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 49
Tablo 4.6. Adana ilinde yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 52
Tablo 4.7. Kocaeli ilinde gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara ait optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 57
Tablo 4.8. Kocaeli ilinde bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 60
Tablo 4.9. Kocaeli ilinde için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 65
Tablo 4.10. Ankara ili için gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 69
Tablo 4.11. Ankara ili için bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 75
Tablo 4.12. Ankara ili için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 80
Tablo 4.13. Van ili için gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 86

Tablo 4.14. Van ili için bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 89
Tablo 4.15. Van ili için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 93
Tablo 4.16. Ardahan ili için gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 98
Tablo 4.17. Ardahan ili için bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 102
Tablo 4.18. Ardahan ili için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları 106
Tablo 4.19. Beş derece gün bölgesi için hesaplanan geri ödeme süreleri 111
Tablo 4.20. Doğalgaz kullanımında farklı ısıl değerlerin yalıtım kalınlıklarına etkisi 114

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	:	Yüzey alan, (m^2)
C_A	:	Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti, (TL/m^2yıl)
$C_{ısıtma}$	:	Toplam ısıtma maliyeti, (TL/m^2yıl)
C_{toplam}	:	Yalıtımlı binanın toplam ısıtma maliyeti, (TL/m^2yıl)
$C_{tasarruf}$	:	Yıllık tasarruf miktarı, (TL/m^2yıl)
C_y	:	Yalıtım malzemesinin birim fiyatı, (TL/m^3)
$C_{yakıt}$	:	Yakıtın birim fiyatı, (TL/m^3 veya TL/kg)
$C_{yalıtım}$	:	Yalıtım malzemesinin maliyeti, (TL/m^2)
$C_{yatırım}$	:	Yalıtımlı binanın toplam maliyeti, (TL/m^2yıl)
DG	:	Derece gün değeri
g	:	Enflasyon oranı
G	:	Geri ödeme süresi
H_u	:	Yakıtın alt ısıl değeri, (J/kg)
i	:	Faiz oranı
λ	:	Isı iletim katsayısı, (W/mK)
λy	:	Yalıtım malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı, (W/mK)
L	:	Duvar kalınlığı
$m_{yakıt}$	:	Yıllık tüketilen yakıt miktarı, (kg)
N	:	Isıtma yapılan yıl sayısı
q	:	Yıllık ısı kaybı, (W/m^2)
r	:	Gerçek faiz oranı
R	:	Isıl direnç, (K/W
R_d	:	Yalıtımsız duvarın toplam ısıl iletim direnci, (m^2K/W)
S	:	Şimdiki değer faktörü
T_b	:	Denge sıcaklık değeri, (°C)
T_d	:	Dış ortam sıcaklığı, (°C)
T_i	:	İç ortam sıcaklığı, (°C)
T_{max}	:	Maksimum sıcaklık, (°C)
T_{min}	:	Minimum sıcaklık, (°C)
T_0	:	Ortalama sıcaklık değeri, (°C)
U	:	Toplam ısı geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)
x	:	Yalıtım kalınlığı, (m)
η	:	Kazan verimi

Kısaltmalar

XPS	:	Extruded Polystyren (Ekstrüde Polistren Isı Yalıtım Malzemesi)
EPS	:	Expanded Polystyren (Ekspande Polistren Isı Yalıtım Malzemesi)
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü

FARKLI TİP VE KALINLIKLARDA YALITIM MALZEMESİ KULLANIMININ YAPI ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ

ÖZET

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının artan maliyetlerinden dolayı enerjinin doğru ve güvenilir bir şekilde kullanımının önemi artmaktadır. Kullanılan enerjiden istenilen verimi almak, enerji maliyetleri ve enerji tasarrufları gibi kavramları da değerlendirmek için ısı yalıtımı vazgeçilmez bir yol olmaktadır. Isı kayıplarının yoğunlaştığı dış duvarlar bu çalışmada baz alınmış ve dış duvarlara yapılacak olan ısı yalıtımı yani mantolama sistemi çalışmada detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Ancak yapılacak olan yalıtım sistemleri ilave bir maliyet oluşturacağından dolayı, kullanılacak yalıtım malzemelerinin optimum bir kalınlıkta uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada derece gün yöntemi kullanılarak gerekli enerji miktarları, enerji maliyetleri, optimum yalıtım kalınlık değerleri, enerji tasarruf miktarları ve optimum yalıtım kalınlıklarında geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ülkemizde bulunan beş derece gün bölgesi için sırasıyla Adana, Kocaeli, Ankara, Van ve Ardahan illeri seçilmiştir. Aynı zamanda çalışmada duvar malzemesi olarak gazbeton, bimsblok ve tuğla kullanılarak, taş yünü, EPS, perlitli sıva ve XPS gibi yalıtım malzemelerinin bulunduğu kombinasyonlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kombinasyonlarda ısıtma enerjisi olarak doğalgaz, kömür ve elektrik enerjisi kullanılmış olup, gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Yüz seksen adet kombinasyonun bulunduğu bu çalışmada; derece gün değeri arttıkça, optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de arttığı saptanmıştır. Optimum yalıtım kalınlık değerleri; ısıtma enerjisi olarak doğalgaz kullanımında düşük, elektrik kullanılmasında ise yüksek değerler almıştır. Çalışmada doğalgaz üst ısıl değeri kullanılarak da optimum yalıtım kalınlık hesapları yapılmış ve alt ısıl değer ile ortaya çıkan optimum yalıtım kalınlık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda duvar malzemelerinin yalıtım kalınlıkları üzerindeki etkisi incelendiğinde, optimum yalıtım kalınlık değerlerini küçükten büyüğe doğru gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğla olarak sıralamak mümkün olmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; derece gün değeri arttıkça, enerji maliyetlerinin ve tasarruf maliyet miktarlarının sırası ile gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğla için giderek arttığı saptanmıştır. Duvar malzemelerinin fiyatlarının da dahil edildiği toplam yatırım maliyetlerinde bimsbloğa ait kombinasyonlar diğer kombinasyonlara göre daha avantajlı durumda kalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derece Gün Yöntemi, Enerji Maliyeti, Enerji Tasarruf Miktarı, Geri Ödeme Süreleri, Optimum Yalıtım Kalınlık Değeri.

THE EFFECT OF USE OF INSULATION MATERIAL IN DIFFERENT TYPES AND THICKNESS ON BUILDING ENERGY PERFORMANCE

ABSTRACT

Nowadays, the importance of using energy in a correct and reliable way is increasing due to the increasing costs of energy resources. Thermal insulation is an indispensable way to get the desired efficiency from the energy used and to evaluate the concepts such as energy costs and energy savings. The outer walls where heat losses intensify were based on this study and the thermal insulation to be applied to the outer walls, the jacketing system, was studied in detail in the study. However, since the insulation systems to be constructed will create an additional cost, the insulation materials to be used must be applied at an optimum thickness.

In this study, the required energy quantities, energy costs, optimum insulation thickness values, energy saving quantities and payback times in optimum insulation thicknesses were calculated using the degree day method. Adana, Kocaeli, Ankara, Van and Ardahan provinces were selected respectively for the five degree day regions in our country. At the same time, combinations with aerated concrete, pumice block and brick were used as wall materials, and insulation materials such as stone wool, EPS, perlite plaster and XPS were created. In these combinations, natural gas, coal and electrical energy were used as heating energy and necessary calculations were made. In this study, which has one hundred and eighty combinations; it was determined that as the degree day value increased, the optimum insulation thickness values also increased. Optimum insulation thickness values; it has a low value in the use of natural gas as heating energy and high values in the use of electricity. In the study, optimum insulation thickness calculations were made by using the natural gas upper calorific value and compared with the optimum insulation thickness values resulting from the lower calorific value. At the same time, when the effect of the wall materials on the insulation thicknesses is examined, it is possible to rank the optimum insulation thickness values from small to large as aerated concrete, pumice block and horizontal perforated brick. As a result of the calculations made, it has been determined that as the degree day value increases, the energy costs and the amount of saving costs gradually increase for aerated concrete, pumice block and horizontal perforated brick, respectively. Combinations of pumice block have remained more advantageous than other combinations in total investment costs, including the prices of wall materials.

Keywords: Degree Day Method, Energy Cost, Energy Saving Amount, Payback Times, Optimum Insulation Thickness Value.

GİRİŞ

Günümüz coğrafyalarında ve ülkemizde enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Enerji ihtiyacındaki arz-talep dengesi, insanoğlunu enerji tasarrufuna itmekte ve doğru bir enerji politikasının benimsenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte geçmiş yıllardan günümüze kadar insanoğlu tarafından, ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılan yapılarda çeşitli enerji kaynakları kullanılmıştır. Bu kaynakların başında ısıtma enerjisi maksadı için kullanılan kaynaklar gelmektedir. Ülkemizde ısıtma enerjisinin büyük çoğunluğu yapılarda kullanılmaktadır. Isı yalıtımı; mevcut olarak kullanılan yapılarda ısıtma enerjisini verimli kullanmak ve gerekli ısıtma enerjisi ihtiyacını belli bir dengede tutabilmek için, uygulanabilecek önemli yolların başında gelmektedir (Öztuna ve Dereli, 2009). Enerji İşleri Genel Müdürlüğünün 2016 yılı Nisan ayında açıkladığı verilerde enerji tüketiminin %55' i doğalgaz, %25'i elektrik ve %15'i motorin tüketiminde oluştuğu belirtilmiştir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Nisan 2016). Ülkemizdeki toplam enerjiye bakıldığında ise, inşaat sektörünün bu enerjinin yaklaşık olarak %30-%35' ini tükettiği görülmektedir. Bu durumdan kaynaklı bir tasarruf programının uygulanması gerektiği anlaşılmış ve ısı yalıtımına olan ilgiyi artmıştır (Demirbaş, 2001). Tüketilen enerjinin büyük bir kısmı, soğutma ve ısıtma olarak kullanılmaktadır (Dağıdır ve Bolatürk, 2011). Günümüzde artan enerji maliyetlerinden dolayı enerjinin büyük bir yoğunlukta kullanıldığı ısıtma enerjisi maliyetleri de dolayısı ile artmaktadır. Yapılarda ısıtma enerjisi olarak kullanılan enerji türlerinden maksimum verim almak ve enerji maliyetlerini ekonomik bir düzeyde tutmak gerekmektedir. Isı yalıtımı, yapılarda meydana gelebilecek ısı kayıplarının veya ısı kazançlarının yaşam alanı için belirli bir seviyede tutulmasını sağlamaktadır.

Isıtma enerjisinin verimli olarak kullanılabilmesi ve bununla birlikte iklim şartlarından dolayı gerekli olan soğutma enerjisi için de, ısı yalıtımı mevcut yapılarda vazgeçilmez bir yol olmaktadır. Isı yalıtımının olmadığı ya da yetersiz olduğu yapılar, karbonmonoksit ve kükürtdioksit gibi zararlı gazların fazla salınması ile daha çok hava

kirliliğine yol açmaktadır (Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007). Aynı zamanda küresel ısınma ve yanlış enerji kullanımından kaynaklı olarak meydana gelen hava değişimlerine karşı yine en doğru yol ısı yalıtımı olmaktadır. Dolayısı ile sadece mevcut yapılarda değil henüz proje aşamasındaki yapılarda da, yapı da kullanılabilecek ve ekonomik olarak yapı sahiplerine uygun olabilecek ısı yalıtımı imalatı yapılmalıdır.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda yalıtım sisteminin bulunduğu bir yapı için ısıtma ve yalıtım maliyeti olmak üzere iki önemli parametrenin olduğu saptanmıştır. Isı yalıtımı maddi olarak yapı maliyetini arttırsa da, bina durabilitesi, sağlığı ve ileriye dönük olabilecek enerji kazanımları ile meydana gelen bu ekstra maliyeti karşılayacaktır. Binalar dış çevre koşullarına ve iç mekân ısıl konfor şartlarına göre yalıtılmalıdır. Isı yalıtımı genellikle ilgili alanı ısıtmak ve soğutmak için uygun malzemelerle yapılmalıdır. Yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça yalıtım tesisatı maliyeti artarken, enerji kullanımı ve maliyetleri ile ısıtma ve soğutma maliyetleri düşürmektedir. Böylece yakıt maliyeti optimum yalıtım kalınlığında düşüktür (Mahlia ve diğerleri, 2007). Bu sebepten dolayı yapılacak olan yapı ya da mevcutta hazır olan bir yapı için ısı yalıtımı yapılmadan önce yapının bulunduğu bölge, yapı için kullanılabilecek enerji, yapı malzemesi olarak uygun malzemelerin seçilmesi ve uygun yalıtım malzemesinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Yapılan literatür araştırmaları dikkate alındığında, yalıtım malzemelerinin optimum kalınlık ile farklı enerji kaynaklarına göre gerekli geri ödeme sürelerini sağlamıştır.

Çalışmada yapılan hesaplamalarda derece-gün yöntemi kullanılmıştır. Derece-gün değerleri yapıları ısıtmak ya da soğutmak için enerjiye olan ihtiyacı belirlemede kullanılan bir yöntemdir (Büyükalaca ve diğerleri, 2001). Yıllık enerji ihtiyacı Derece-Gün yöntemi doğrultusunda hesaplanmıştır. Aynı zamanda çalışmada yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiş, yıllık enerji maliyeti ise hizmet süresi maliyet analizi yapılarak hesaplanmıştır.

Şahin (2013) yaptığı çalışmada, binalarda meydana gelen ısı kayıplarının %25-40 gibi büyük bir kısmının dış duvarlardan kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda da bu bilgiye ulaşılmış ve bu çalışmada da ısı kayıplarının

fazlalaştığı dış duvarlarda ısı yalıtımı yapılması, başka bir deyişle dış duvarlara mantolama yapılması gerektiği hakkında çalışılmıştır. Yapılacak olan ısı yalıtımının duvar malzemeleri ile birlikte bir bütün olarak düşünülmesi gerekmekte ve mantolama sisteminin duvar malzemeleri ile bir bütün olarak kullanılması gerekmektedir. Gelişen yapı teknolojisi ile duvar malzemelerinin ısıl iletkenlik katsayı değerleri düşürülerek ısı yalıtımına ciddi faydalar sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda çalışmada, kullanılacak yalıtım malzemelerinin hangi duvar malzemesi ve enerji türü ile daha iyi bir kombinasyon oluşturacağının bilinmesi hedeflenmektedir. Oluşacak olan kombinasyonların; optimum yalıtım kalınlıklarına, toplam ısıtma maliyetlerine, enerji kazançlarına ve geri ödeme sürelerine ne denli etki ettiği ve hangi kombinasyonun maliyet açısından daha ekonomik olacağının bulunması amaçlanmaktadır. Böylelikle yapılacak olan hesaplamalar sonucunda ilgili grafik ve tablolar çıkartılarak bu konu hakkında daha net bilgilere ulaşmak hedeflenmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda ülkemizde mevcut bulunan beş yalıtım bölgesi için üç farklı enerji kaynağı, üç farklı duvar malzemesi ve dört farklı yalıtım malzemesi seçilmiştir. Çalışma için belirlenen duvar malzemeleri, yalıtım malzemeleri ve enerji kaynaklarının seçiminde ülkemizde genel olarak kullanılma durumu baz alınarak belirlenmiştir.

Çalışmada belirlenen iller,

- Adana (1. Bölge)
- Kocaeli (2. Bölge)
- Ankara (3. Bölge)
- Van (4. Bölge)
- Ardahan (5. Bölge)

Duvar malzemeleri;

- Gazbeton
- Bimsblok
- Yatay delikli tuğla

Yalıtım malzemeleri;

- Taş yünü
- Genleştirilmiş polistren (EPS)
- Perlitli sıva
- Eksrüde polistren (XPS)

Enerji kaynakları;

- Doğalgaz
- Kömür
- Elektrik

Çalışmada kullanılan veriler TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Yönetmeliği dikkate alınarak oluşturulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan yapı malzemelerinin kalınlıkları oluşturulacak kombinasyonlarda kıyaslanmak amacıyla 20 cm gibi sabit bir kalınlık alınarak hesaplanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtımında Temel Kavramlar

Isı yalıtımı, yapılarda meydana gelebilecek ısı kayıplarının veya ısı kazançlarının yaşam alanı için belli bir seviyede tutulması, yapılarda gerekli olması gereken ısıl konforunu sağlayarak, bina içerisinde yaşayanların sağlıklı bir hayat yaşamaları ve çevre şartlarına karşı yapı durabilitesinin ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için gerekli olan işlemdir. Yapı durabilitesi açısından ısı yalıtımı, iç ve dış ortam şartlarına göre meydana gelebilecek yoğuşma ve yoğuşmadan kaynaklı olarak yapı ve insan sağlığı için büyük bir problem oluşturabilecek ciddi rutubet problemlerinin ortaya çıkmasını önlemektedir. Bu durumla birlikte ısı yalıtımı, meydana gelebilecek korozyonu da önlenmekte ve betonarme donatılarının bozulmalarına fırsat vermemektedir (Tolun, 2010). Ayrıca, yapılara uygulanan ısı yalıtımı; ısıtma için kullanılan yakıt tüketimin azaltılması, yazın soğutma giderlerinin azalması, çevre kirliliğinin azalması gibi avantajlar sağlamaktadır. Tüm bu durumlara rağmen, ülkemiz ısı yalıtımı ile geç tanışmıştır.

Geçmişten günümüze bakıldığında ise çevre şartlarına karşı dış cephede yapılan ısı yalıtımı, refah seviyesi yüksek ve gelişmiş ülkelerde 1970'li yıllarda uygulanmıştır. Bunun aksine ülkemizde ise ısı yalıtımı olgusu çok yavaş gelişmiş, 1991 yılı itibari ile yalıtım için gerekli olan ithal ürünlerle dış cephe ısı yalıtımı ürünleri ile tanışmaya başlamıştır (Yaman ve diğerleri, 2015).

Herhangi bir bölgedeki yapıya yapılacak ve bölgeye göre uygun olabilecek malzemelerin kullanıldığı bir ısı yalıtımında enerji tasarrufu açısından %30-60 aralığında bir tasarruf yapmak mümkün olmaktadır (ÇŞB, 2015). Böylece ülkemizde son zamanlarda ısı yalıtımına verilen değer artmış ve yapılarda uygun bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır. Aynı zamanda ülkemizde ısı yalıtımı için mevcut TS 825 yönetmeliği bulunmaktadır.

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları olarak bilinen yönetmelik 2013 yılında yenilenmiştir. TS 825 enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan konut ısıtmasının enerji tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlamayı amaçlamaktadır (Kurekçi, 2016).

Yapılan araştırmalar sonucunda yapılarda meydana gelen ısı kayıplarının genellikle dış duvar yüzeylerinde, tavanlarda, pencerelerden dolayı oluştuğu belirtilmektedir (Mahlia ve Iqbal, 2010). Duvarlardan kaynaklanan ısı kayıplarının; artan ısıl direnç veya azalan iletkenlik ile azalmakta olduğu yapılan araştırmalarda görülmüştür. Dış duvarlardan oluşan ve birim yüzeyden meydana gelen ısı kayıpları,

$$q=U\times(T_i-T_0) \quad (1.1)$$

eşitliğinde belirtilmektedir (Öztuna ve Dereli, 2009). Eşitlikte U değeri, ilgili yüzeylerdeki toplam ısı geçirgenlik değerini temsil etmektedir.

Bu durum, yapılarda yapılacak olan ısı yalıtımının, hem hizmet süresi hem de maliyet açısından verimli olabilmesi için optimum kalınlıkta olmasının önemini arttırmaktadır. Yapılacak olan ısı yalıtımı için kullanılacak malzemelerin ilgili şartlara ve kapsamlara uygun olması gerekmektedir. Aynı şekilde verimli olması planlanan yalıtımın hesaplamaları yapılırken bazı parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Farklı uygulama alanlarında kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin sahip olması gereken özelliklere bakıldığında, malzemelerin;

- Isıl iletkenlik katsayısı
- Yoğunluk
- Sıcaklık dayanımı
- Mekanik dayanımı
- Buhar difüzyon direnci
- Su emme kapasitesi
- Boyutsal kararlılık

gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

1.1.1. Isıl iletkenlik katsayısı, λ[W/mK]

Isıl iletkenlik katsayısı ısı yalıtımı için kullanılan malzemelere ait bir karakteristik özelliktir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda istenilen yalıtım değerine ulaşabilmek ve kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin yalıtım malzemesi sayılabilmesi için ısıl iletkenlik katsayısının 0,065 W/mK değerine eşit ya da daha düşük olması gerekmektedir. Isıl iletkenlik değerinin küçük olması ile kullanılan malzemelerin ısı geçişine göstereceği direnç de aynı oranda artacaktır (Yıldırım, 2020; Bayraktar ve Bayraktar, 2016).

Çalışmada oluşturulan kombinasyonlar incelendiğinde ısıl iletkenlik katsayı değerlerinin enerji maliyetlerini ve dolayısı ile kullanılan enerji türünden elde edilecek olan yıllık enerji tasarrufunu etkilediği görülecektir. Aşağıda yer alan Tablo 1.1'de bu çalışmada kullanılan yalıtım malzemeleri ve duvar malzemelerine ait ısıl iletkenlik katsayıları ile birlikte ülkemizde yer aldıkları standartlar bulunmaktadır.

Tablo 1.1. Çalışmada kullanılacak yalıtım ve duvar malzemelerine ait ısıl iletkenlik değerleri ve ilgili standartları

Malzeme	Isıl iletkenlik hesap değeri, λ (W/mK)	İlgili STANDART
Perlitli sıva	0,055	TS EN 15599-1,2; 14316-1, 2
Ekstrüde polistren köpük(XPS)	0,035	TS 11989 EN 13164
Ekspande polistren köpük(EPS)	0,040	TS 7316 EN 13163
Taş Yünü	0,040	TS 901 EN 13162
Gazbeton	0,150	TS EN 771-4
Yatay Delikli Tuğla	0,330	TS EN 771-1
Bimsblok	0,200	TS EN 771-3

1.1.2. Isıl direnç, R[m^2.K/W] ve toplam ısıl geçirgenlik sayısı, U (W/m^2.K)

Isıl direnç, kullanılan yapı bileşenine ait kalınlık değerinin, ısıl iletkenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. Diğer bir deyişle, yapıda kullanılacak malzemelerin ısı iletimine karşı gösterdiği direnç,

$$R=\frac{d}{\lambda} \tag{1.2}$$

olarak da ifade edilmektedir (1.2).

Yapılacak olan yapıda katman sayısı artması ile birlikte her katman için ısıl direnç değerinin hesaplanması gerekmektedir. Böylelikle bir yapıya ait olabilecek toplam ısıl geçirgenlik direnci (1/U (m^2.K/W) hesaplanmış olacaktır. Çok tabakalı yapı bileşenleri için aşağıdaki formül (1.3) kullanılmaktadır:

$$R=\frac{d_1}{\lambda_1}+\frac{d_1}{\lambda_1}+\ldots+\frac{d_n}{\lambda_n} \tag{1.3}$$

Toplam ısıl geçirgenlik sayısı ilgili yapıda kullanılacak malzemelerin ısıl geçirgenlik dirençlerine bağlıdır ve (1.4) eşitliğindeki gibi ifade edilmektedir:

$$U=\frac{1}{R_1+R_2+\ldots R_n} \tag{1.4}$$

Ülkemizde şehirleşme hızının artması ile birlikte yapılar için ihtiyaç duyulan enerji miktarları da artmaktadır. Dünya genelinde oluşmaya başlamış bir enerji kaybı olgusunun olduğu düşünüldüğünde ise, yapılar için kullanılması gereken ısıtma enerjisinin daha verimli ve ekonomik kullanılması gerektiği düşünülmektedir. Bu sebepten dolayı ısı yalıtımı yapılması gereken bir yapı için; problemlerin belirlenmesi, gerekli koşulların düşünülmesi ve belirlenen problemlerin uygun ısı yalıtım sistemleri ile çözülmesi gerekmektedir. Böylelikle elde edilecek verilere güven de artacaktır ve istenilen sonuçlara ulaşılacaktır.

Yapılan araştırmalar sonucunda ülkemizde mevcut bulunan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları adı altındaki yönetmelik incelendiğinde ilgili yapı için ısı yalıtım sistemine sahip olup olmadığı durumundan önce, yönetmelikte yer alan toplam ısıl

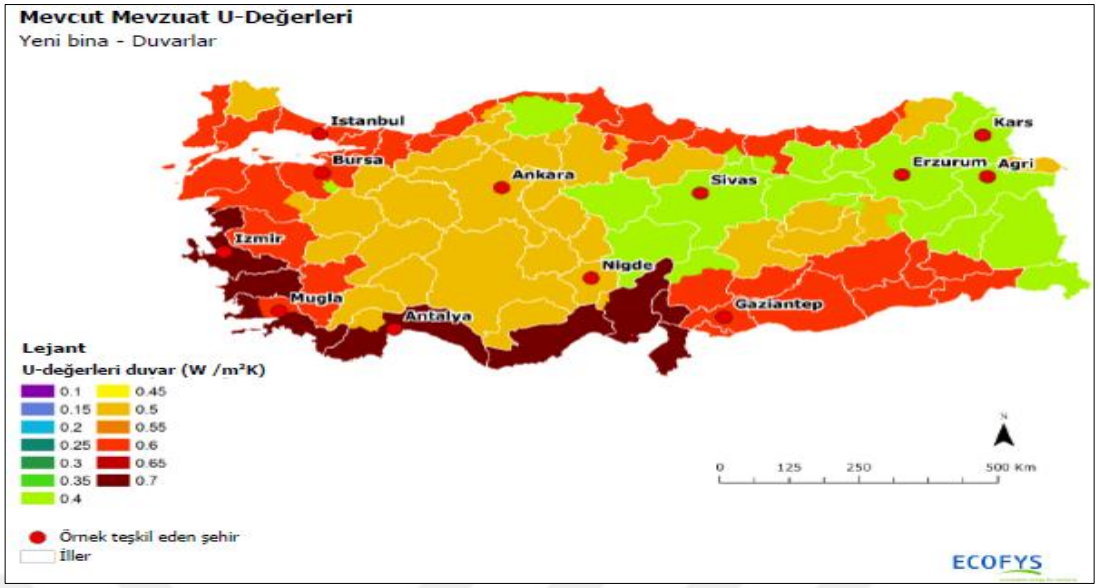
geçirgenlik değerinin dikkate alınması gerektiği benimsenmiştir. Isıl geçirgenlik değerinin dikkate alınması ile birlikte hesaplamalara geçilmeden önce, yapıda kullanılacak yapı malzemeleri ve yalıtım malzemesinin ilgili bölge ve ısı yalıtımı için uygun olup olmayacağı tartışılabilecektir. Herhangi bir yapıda kullanılan ısı yalıtım sisteminde hedeflenen verimi yakalayabilmek için toplam ısıl geçirgenlik sayısının Tablo 1.2'de yer alan aralıklardaki gibi olmalıdır. Bu çalışmada yalıtım malzemelerinin duvar malzemeleriyle olan kombinasyonları incelendiğinden dolayı toplam ısıl geçirgenlik sayısına sadece yapılardaki duvar bileşenine bakılmıştır.

Toplam ısıl geçirgenlik sayısının değer olarak düşmesi, ısı kayıplarına karşı gösterilen direncin de artması anlamına gelmektedir. Beş derece gün bölgesi için optimum yalıtım kalınlıkları ile hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik dirençlerine bakıldığında, yalıtımın olmadığı durumdaki toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin ne denli düştüğü bu çalışmada gösterilmiştir. Çalışmada yer alan bulgular kısmında ısıl geçirgenlik değerlerine bakıldığında, ısı yalıtım sistemlerinin olmasının önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

Tablo 1.2.Yapı duvarları için toplam ısıl geçirgenlik değerinin bölgelere göre dağılımı (TS EN 825, 2013)

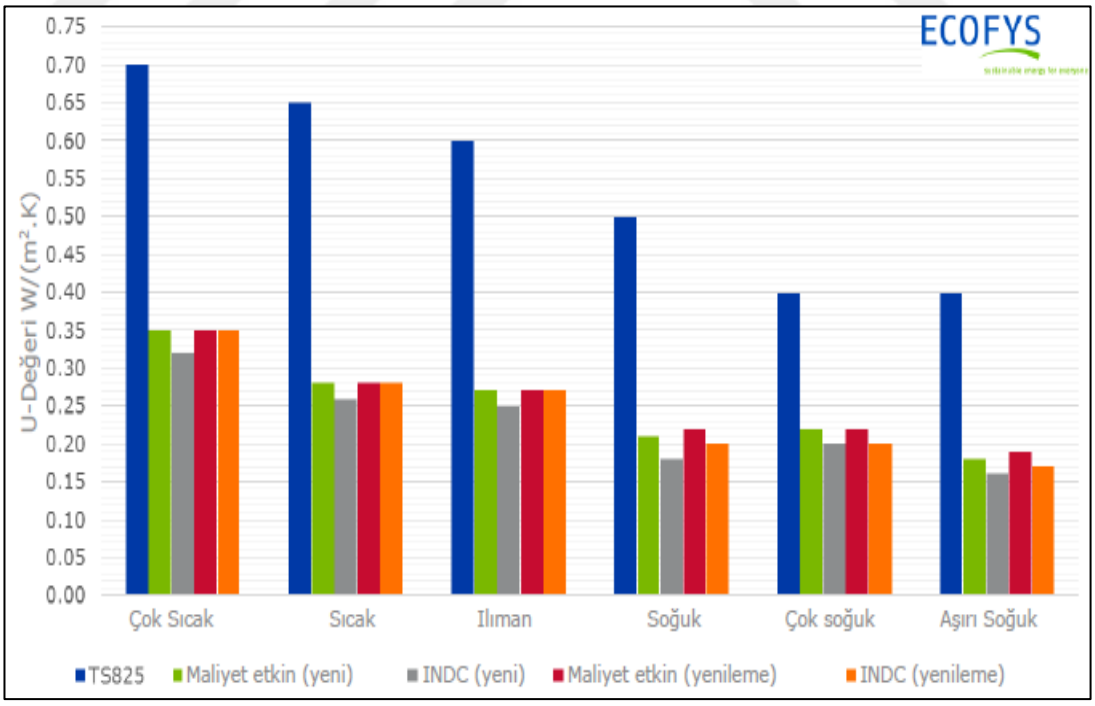
Isı Derece/Gün Bölgeleri	Eşitlik	Isıl Geçirgenlik Değeri, U (W/m²K)
1. Bölge	≤	0,66
2. Bölge	≤	0,57
3. Bölge	≤	0,48
4. Bölge	≤	0,38
5. Bölge	≤	0,36

Aşağıdaki şekilde de 2016 yılında İZODER tarafından yayınlanmış olan toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin illere göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 1.1. TS 825 bölgelere göre U değerlerini gösteren harita (Schimschar ve diğerleri, 2017)

Şekil 1.1'de ülkemiz illeri için mantolamada geçerli olabilecek U değerleri yer almaktadır. Derece gün değerlerinin, bazı ilçelerde kendi iline göre farklılık gösterdiği ve farklı derece gün bölgelerine dâhil oldukları görülmektedir.



Şekil 1.2 Enerji Performans Yönetmeliğinin (EPBD) maliyet etkinlik kuralları çerçevesinde hedeflenen U değerleri

Şekil 1.2 Enerji Performans Yönetmeliğinin (EPBD) maliyet etkinlik kurallarına göre oluşturulmuştur. Yukarıda yer alan şekilde 2016 yılında yayınlanmış olan U değerleri raporunda yer alan altı iklim bölgesi için maliyet etkin U değerleri ve Türkiye'nin INDC'sinde (Niyet Edilen Ulusal Katkı) hedeflenen iklim durumlarına ulaşılması için dış duvarlar baz alınarak tadilattan geçen mevcut binaların ve proje aşamasındaki veya yeni binaların U değerleri yer almaktadır. Aynı zamanda, şekil; maliyet etkin U değerlerinin hesaplama sonuçlarını ve Türkiye'nin INDC (Niyet Edilen Ulusal Katkı) hedefine ulaşılmasını sağlayacak U değerleri ile ilgili hesaplama sonuçlarını göstermektedir. Türkiye'nin INDC'sinde çevre koruma hedefi belirlenmiş ve mevcut şartların sürdürülmesi için 2030 yılında meydana gelebilecek sera gazı kaynaklı emisyonundan %21 oranına kadar azaltılması hedeflenmektedir. Aynı zamanda 2016 yılında yayınlanmış bu raporda; ülkemizde mevcut bulunan TS 825'e göre yürürlükteki U değerleri ile bir kıyaslama yapılması sağlanmaktadır.

1.2. Isı Yalıtım Malzemeleri

Günümüzde ısı yalıtımı için çok fazla malzeme çeşitliliği olmasına rağmen, ısı yalıtım malzemelerinin bilinçsizce kullanılması ile birlikte öngörülen enerji kazanımları elde edilememektedir. Uygun malzeme ve doğru işçilik ile bu durumun önüne geçilebilmektedir. Ülkemizde sürekli değişen iklim şartları ve beş farklı derece gün bölgesi olduğundan, bölgelerde kullanılabilecek ısı yalıtım malzemeleri de farklılık göstermektedir.

Isı yalıtımında hedeflenen enerji verimliliği ve enerji kazanımlarının istenilen düzeylerde olabilmesi için, ülkemiz standartlarına uygun malzemelerin seçiminden önce hangi malzemelerin kullanılabileceğinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada beş farklı derece gün bölgesi için taş yünü, genleştirilmiş perlitli sıva, expande polistren köpüğü (EPS) ve ekstrüde polistren köpüğü(XPS) olmak üzere dört farklı ısı yalıtım malzemesi belirlenerek analizler yapılmıştır.

1.2.1. Taş yünü

Taş yünü inorganik hammaddelerin yaklaşık olarak 1350°C-1400°C'de ergitilmesi sonucu elyaf haline gelmektedir. Kullanım amacına ve yerine göre farklı teknik

özelliklerde üretilebilmektedir. Bu sayede ısı yalıtımının yanında yapı içerisindeki akustiğin düzenlenmesinde, ses yalıtımında ve TS EN 13501 standardına göre A1 sınıfı yanmaz malzeme olduğundan dolayı yangın güvenliğinde de kullanılmaktadır. Taş yününe ait olan ısıl iletkenlik katsayısı 0,035 ile 0,040 W/mK aralığında yer almaktadır. Yapılacak olan ısı yalıtımında istenilen verimim sağlamak için ülkemizde bulunan beş farklı derece-gün bölgesine göre farklı kalınlıkta üretilmekte ve uygulanmaktadır.



Şekil 1.3. Taş yünü uygulaması

Yukarıdaki şekilde taş yününün bina içinde de kullanıldığı görülmektedir. Taş yününün kullanılması esnasında istenilen performansın ve enerji tasarrufunun sağlanması için imalatı esnasında imalatın doğru bir şekilde yapılması önem kazanmaktadır.



Şekil 1.4. Bina dış cephesinde taş yünü uygulaması

Mineral bir yapıya sahip olan taş yünü zamanla bozulma ve küflenme gibi malzeme ömrünü azaltan sebeplerden etkilenmemektedir. Bu durum yapıya avantaj sağlamakta, yapı durabilitesini arttırmakta ve ileriki zamanlarda meydana gelebilecek tadilat maliyetlerini de azaltmaktadır.

1.2.2. Expande polistren (EPS)

Ekspande polistren (EPS) polistren malzemesinden üretilmektedir. Isı yalıtımı amacıyla kullanılmakta olan EPS, TS EN 13501-1 standardına göre yangın güvenliği açısından E sınıfında yer almaktadır.

Isı yalıtımı için ısıl iletkenlik katsayısı 0,032 ile 0,040 W/mK yer almakta ve bu da EPS malzemesinin yalıtım açısından kullanılabilir bir malzeme olduğunu göstermektedir. Farklı derece-gün bölgelerine göre yapılardaki uygulama kalınlığı değişmektedir.



Şekil 1.5. Farklı türde Ekspande Polistren

Yukarıdaki şekilde farklı kalınlıklarda üretilen ekspande polistren köpüğü görülmektedir. EPS de diğer yalıtım malzemelerinde olduğu gibi, farklı derece-gün bölgelerine göre farklı kalınlıklarda kullanılmasına rağmen yalıtım malzemelerinde, kalınlık arttıkça ısı yalıtımı açısından istenilen verimi almak mümkün olmaktadır.



Şekil 1.6. Dış cephe ısı yalıtımında kullanılan Ekspande Polistren köpüğü

Ülkemizde mevcut bulunan diğer ısı yalıtım malzemelerine nazaran maliyet açısından daha ekonomik gelmesi sebebiyle çok fazla tercih edilmektedir. Bina dış cephelerinde kullanımı esnasında ilgili yönetmelik ve standartlara uygun olarak yapılması ile, istenilen enerji tasarrufunu sağlamaktadır.

1.2.3. Perlitli sıva

Perlitli sıva; ısı ve ses yalıtımına katkıda bulunan bir yapı malzemesidir. Perlitli sıva rezervlerinin %74 gibi büyük bir çoğunluğu ülkemizde yer almaktadır (Anonymous 2008b, 2008). Isı yalıtım malzemelerinin yalıtım yapabilme özelliklerinin olabilmesi için ısıl iletkenlik katsayılarının 0,065 W/mK değerinden düşük olması gerekmektedir. Bu çalışmada perlitli sıva malzemesine ait ısıl iletkenlik katsayısı 0,055 W/mK olarak alınmıştır.



Şekil 1.7. Ambalaj içerisinde muhafaza edilen kuru halde perlitli sıva malzemesi

Perlitli sıva düşük ısıl iletkenlik katsayısına sahip olması ile birlikte son yıllarda tercih edilen bir yapı malzemesi olmakla beraber günümüzdeki önemi giderek artmakta ve genleştirilmiş perlitli sıva doğal bir yalıtım malzemesi olarak kabul görmektedir (Batar ve diğerleri, 2009). Genleştirilmiş perlitli sıva 0,055 W/mK ısı iletkenlik katsayısına sahiptir. Perlitli sıva malzemesinin sahip olduğu bu özellikler sonucunda ülkemiz genelinde üretilen perlitin %80' i ısı ve ses yalıtım malzemesi olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. İçeriğinde perlitli sıva agregası barındıran iç ve dış sıvaların mevcut olduğu yapıların diğer yapılara kıyasla ısı geçirme katsayısı %50 daha düşüktür ve perlitli sıvaların iç duvar, dış duvar ve tavanlarda 2-3 cm kalınlıkta uygulanması sonucunda yapılar için başka herhangi bir yalıtım malzemesi ile yalıtım yapılmasına gerek kalmamaktadır (Yıldız, 2015). Perlitli sıva bu özelliği sayesinde yıllık yakıt masraflarında %50 gibi bir ekonomik fayda sağlayabilmektedir (Yıldız, 2015).



Şekil 1.8. Perlitli sıva agregası

Yukarıdaki şekilde perlitli sıva agregası yer almaktadır. İnşaat sektöründe perlitli sıva malzemesinin hızla kullanılmasına, sahip olduğu yoğunluğun düşük olması, kimyasal tepkimesizliği, yangına karşı dayanıklılığı ve ısı ve ses yalıtımlarındaki düşük iletkenlik katsayısı ile sağladığı avantajlar sebep olmaktadır (Yıldız, 2015).

1.2.4. Ekstrüde polistren (XPS)

Isı yalıtım malzemesi olarak kullanılan XPS, polistren hammaddesinden üretilmektedir. Farklı bir ısı yalıtım malzemesi olan ve yoğunluk olarak da XPS' den düşük yoğunluğa sahip olan EPS'nin geliştirilmesi ile XPS malzemesi üretilmiştir.



Şekil 1.9. Ekstrüde polistren

XPS; sert olup, kapalı gözenekli bir yapıya sahiptir ve kapiler bir emiciliği yoktur. Bu sayede dış duvar ısı yalıtımlarında, temel ısı yalıtımlarında ve toprak dolgu altında kalan bölgelerde tercih edilmektedir.



Şekil 1.10. Ekstrüde polistren (XPS) ısı yalıtım malzemesi

Isıl iletkenlik katsayısı olarak 0,035-0,040 W/mK değerine sahiptir ve bu sayede ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. XPS malzemesi de diğer ısı yalıtım malzemeleri gibi malzeme kalınlığı arttıkça ilgiyi yapıya sağlayacağı ısıl konfor da aynı derecede artacaktır.

1.3. Duvar Malzemeleri

Günümüzde yapı teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte, yapılarda kullanılan duvar malzemelerinin de gelişen bu teknoloji ile mekanik özellikleri gelişmiştir. Aynı zamanda duvar malzemelerine artan taleplerden dolayı duvar malzeme türleri artmıştır. Artan bu seçenek olanakları ile birlikte yapılarda kullanılacak olan duvar malzemelerinin yapı performansları önem kazanmaktadır. Duvar malzemelerine ait olan yapı performanslarının etkilendiği faktörlere bakıldığında ısı, su, ses ve yangın yalıtımları üzerine etkili olduğu görülmüştür.

Enerji verimliliği ile günümüzde sürekli odak noktası haline gelen ısı yalıtım sistemlerinde, hangi yalıtım malzemesinin hangi duvar malzemesi ile iyi bir kombinasyon oluşturabileceğinin bilinmesi gerekmektedir. Böylelikle, hedeflenen yalıtım kalınlıklarının azaltılması, ısıtma maliyetlerinin azalması, yıllık tasarruf miktarlarının artması ve enerji verimliliğinin maksimum seviyede tutulması mümkün olacaktır.

1.3.1. Gazbeton

Gazbeton sahip olduğu mekanik özellikleri ile yapı sektöründe yerini almıştır. Malzemeye talepler giderek artmaktadır. Sahip olduğu mekanik ve fiziksel özellikleri de günümüz yapı teknolojisine uygun olarak üretilmiştir. Binalarda meydana gelen ısı kayıplarının en fazla olarak gerçekleştiği kısımlarından biri de dış duvarlar olduğu bilinmekte ve seçilen duvar malzemesinin bu dezavantajları önlemesi hedeflenmektedir.

Gazbeton başlangıçta iyi bir yalıtım malzemesi olarak tasarlanmasına rağmen, hafifliği, malzeme tasarrufu ve toz haline getirilmiş yakıt külü gibi atıkların büyük ölçekli kullanım potansiyeli nedeniyle yapısal özelliklerine olan ilgi yeniden artmıştır (Narayanan ve Ramamurthy, 2000). Gözenekli bir yapıya sahip olan gazbetonu önemli

hale getiren özelliklerinin başında düşük ısıl iletkenlik değerine sahip olması gelmektedir (Pehlivanlı, 2009).

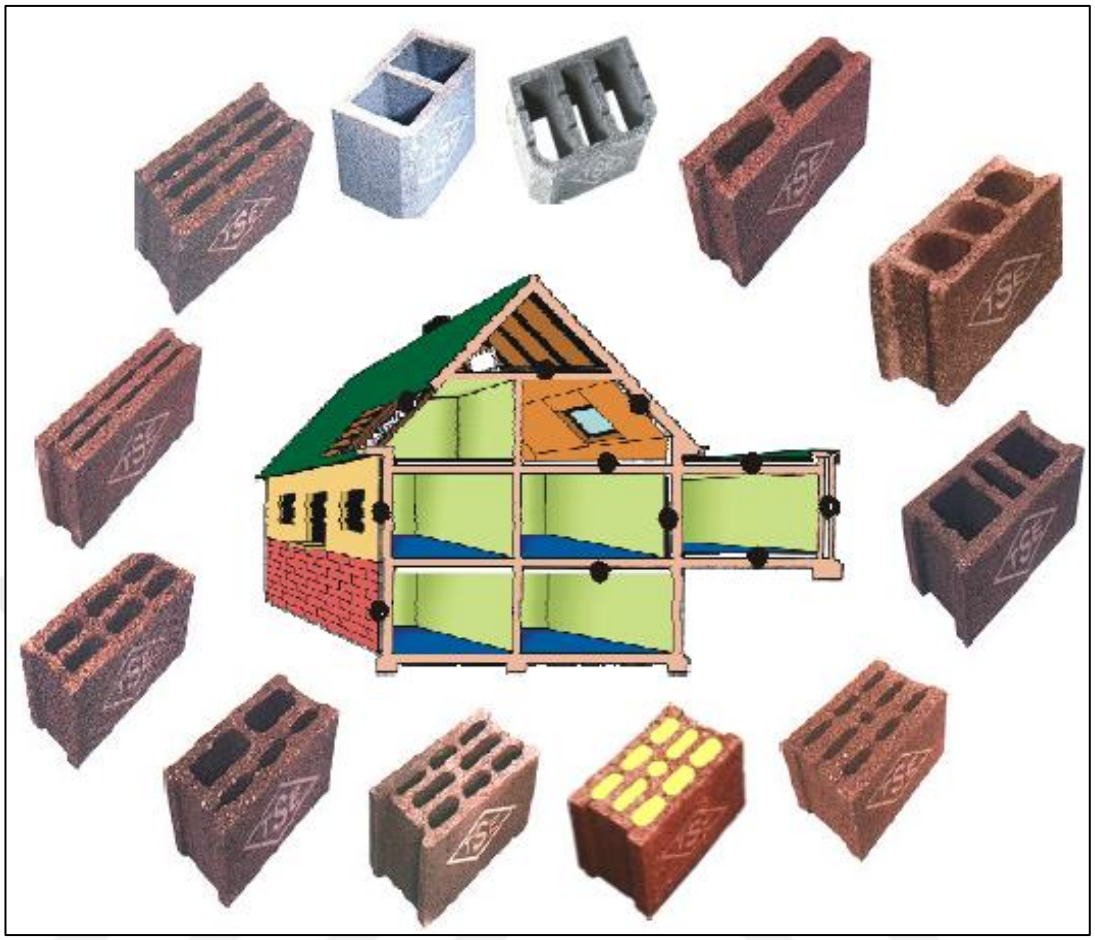


Şekil 1.11. Gazbeton duvar malzemesinin kullanımı

Pehlivanlı (2009) yaptığı çalışmada, gazbetonun gözenekli yapısı ile ilgili olarak mikro ve makro düzeyindeki gözeneklerin oranının %60-85 arasında değiştiğini belirtmiş ve gazbetonun bu özelliğinin sahip olduğu ısıl iletkenlik değerini düşürdüğünü vurgulamıştır.

1.3.2. Bimsblok

Bimsblok geçmişten günümüze kadar gelen pomza agregası ile yapılan hafif bir duvar malzemesidir. Gazbetonda olduğu gibi gözenekli bir yapıya sahip olması ile birlikte ısı yalıtımında, ısı yalıtım malzemeleri ile kullanılabilen önemli bir malzeme haline gelmiştir. Aynı zamanda yanmaz bir malzeme olmasının yanında, gözenekli yapısı sayesinde ses absorbsiyon özelliği de bulunmaktadır.

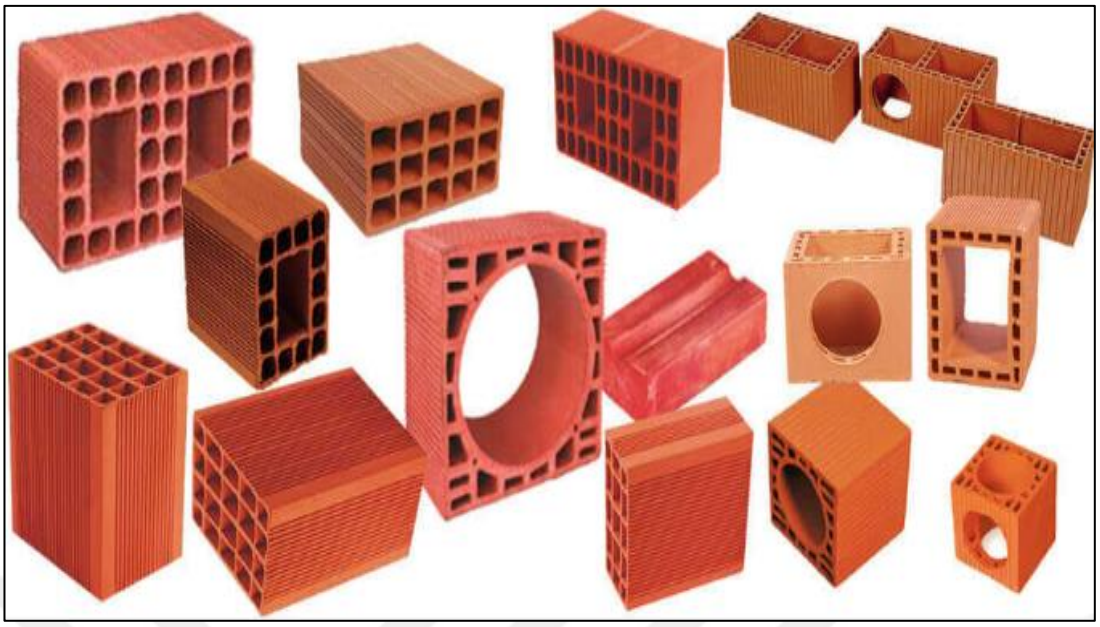


Şekil 1.12. Duvar malzemesi: Bimsblok (Bims Sanayicileri Derneği 2006)

Farklı şekillerde kolaylıkla üretilebilen bimsbloklar hafif bir yapıya sahip olması ve ısı yalıtımına yardımcı olan bir duvar malzemesi olarak günümüz yapı sektöründe önemli yer bulmuştur.

1.3.3. Tuğla

Şehirleşme hızının ve yüksek binaların sayısının arttığı bu dönemlerde farklı duvar malzemeleri de kullanılmasına rağmen tuğla halen en çok kullanılan duvar malzemesidir. Giderek hafif bir duvar malzemesi haline gelmesi ve yalıtım değerinin artması ile birlikte ülkemizde diğer duvar malzemeleri ile rekabet gücü de artmıştır. Şahin (2013) yaptığı çalışmada, binalarda meydana gelen ısı kayıplarının %25-40 gibi büyük bir kısmının dış duvarlardan kaynaklı olduğunu belirtmiş ve duvar malzemesi olarak kullanılan tuğlaların, tuğla iç geometrisi değiştirilerek daha düşük ısıl iletkenlik katsayılarının elde edilebileceğini vurgulamıştır.



Şekil 1.13. Yapı sektöründe kullanılan tuğlalar (URL-8)

Yapı sektöründe elde edilen farklı türleri ile birçok yerde kullanılma imkânı bulan tuğlalar, bu çalışmada da yerini almış ve ısıl iletkenlik katsayısı TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları yönetmeliğinde 0,33 W/mK gibi bir değer alınarak hesaplamalara dâhil edilmiştir. Aynı zamanda çalışmada malzeme türü olarak ise ülkemizde kullanım oranı fazla olduğundan yatay delikli tuğla kullanılmıştır.

1.4. Kullanılan Yakıt Türleri ve Enerji Tasarrufu

Ülkemizde yeterli bir enerji bilinç düzeyi olmadığından dolayı ülke genelindeki tüketilen enerji miktarı da artmaktadır. Genel anlamda bu sorunu çözebilmek için insanların bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Ülkemizde yer alan enerjinin büyük bir kısmı yapılarda kullanıldığı için, enerji verimliliği açısından da ilk önlem alınması gereken yerlerden birisi yapılarımızdır. Isıl konforun sağlanması ve ekonomik bir çözümün bulunabilmesi için kullandığımız binalarda enerji türüne göre nasıl bir yalıtım malzemesi kullanılacağı ve nasıl bir sistemin uygulanacağı önem kazanmaktadır. Bununla birlikte enerji tasarrufunun yeterli düzeyde olabilmesi için enerjinin etkin kullanılması da, enerji bilinci açısından yararlı olacaktır.

Ülkemizde diğer yakıt türlerinin kullanımına göre ısıtma enerjisi olarak doğalgaz daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ısıtma enerjilerinden

istenilen verimi almak için çeşitli çalışmalar yapılmakta ve ürünler geliştirilmektedir. Bu duruma en iyi örnek olarak doğalgaz enerjisini yeni kombi sistemlerinin tasarlanmasında ısıl değer olarak alt ısıl değer kullanımı yerine üst ısıl değer kullanılmaktadır. Böylelikle hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerleri daha düşük değerler almaktadır. Bu durum maliyet açısından sırası ile yalıtım maliyetini, toplam ısıtma maliyetini, toplam yatırım maliyetini ve tasarruf maliyetini direk olarak olumlu bir şekilde etkilemektedir. Aynı zamanda geri ödeme sürelerini de kısaltmaktadır. Bu çalışmada üst ısıl değerlerin optimum yalıtım kalınlıklarını ne denli etki ettiği bulgular kısmında da yer almaktadır.

Tablo 1.3' de farklı yakıt türlerine ait bilgiler yer almaktadır. Tabloda yer alan yakıtlara maliyet açısından bakıldığında doğalgaz daha maliyetli görülmektedir. Ama tablo dikkatli bir şekilde incelendiğinde; yakıtlara ait maliyet dışındaki diğer parametrelere bakıldığında, ortalama verim ve yakıt alt ısıl değerleri açısından doğalgaz daha avantajlı durumda görülmektedir. Çalışmada yapılacak olan hesaplamalar sonucunda yakıt maliyetinin önemli olduğu kadar yakıt alt ısıl değeri ile yakıt veriminin de çalışmaya etkisi hesaplamalarda görülmektedir.

Tablo 1.3. Çalışmada dikkate alınacak enerji kaynaklarına ait olan ısıl değer, fiyat ve verim tablosu (URL-2)

Yakıt	**Tip**	**Alt Isıl Değeri/Üst Isıl Değeri**	**Birim**	**Birim Fiyatı**	**Birimi**	**Ortalama Verim (Kazan Verimi)**	**TL/1000kcal**
Doğal gaz	Konut	8250/9155	Kcal/m3	1,69 ₺	TL/m3	92%	0,22 ₺
Kömür	İthal	7200/-	Kcal/kg	1,50 ₺	TL/kg	65%	0,32 ₺
Elektrik	kWh	860/-	Kcal/kwh	0,71 ₺	TL/KWh	99%	0,83 ₺

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Büyükalaca ve diğerleri (2000) tarafından yapılan araştırmada, Türkiye için ısıtma ve soğutma derece günleri uzun vadeli son ölçülen veriler kullanılarak belirlenmiştir. Isıtma derecesi-günlerinin hesaplanmasında 14 ºC ile 22 ºC arasında değişen beş farklı taban sıcaklığı belirlenmiştir. Soğutma dereceleri durumunda, 18 ºC ile 28 °C aralığında 6 farklı taban sıcaklığı kullanılmıştır. Hem tablo şeklinde yıllık ısıtma ve soğutma dereceleri, hem de Türkiye'nin tüm illeri için sayaç haritaları yetmiş sekiz hava istasyonu olarak verilmiştir.

Kaynaklı (2008) tarafından yapılan çalışmada, yapılarda meydana gelen ısı kayıpları, özellikle Türkiye'de, mevcut ve yeni binalarda yalıtımın yapılmadığı veya yetersiz kaldığı için enerjinin yanlış kullanımında önemli bir paya sahip olduğunu ve doğru yalıtım kalınlığının kullanılması ile birlikte ısı kaybı özelliklerinin belirlenmesiyle enerji tasarrufunun sağlanabileceği belirtilmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada örnek bir şehir olarak Bursa'da seçilen bir binada optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır. Aynı zamanda yalıtım kalınlığının enerji gereksinimi ve toplam maliyet üzerindeki etkileri sunulmuştur. Uzun vadeli ve mevcut dış hava sıcaklığı kayıtları (1992'den 2005'e kadar) dikkate alındığında, derece-saat değerleri hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü maliyeti analizine dayanarak, farklı yakıt tipleri için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Sonuç olarak, ısıtma periyodunun uzunluğu ortalama 221 gün olduğu ve Bursa için optimum yalıtım kalınlığının yakıta bağlı olarak 5.3 ve 12.4 cm arasında değiştiği belirtilmiştir.

Yu ve diğerleri (2009) yapılan çalışmada, ısı yalıtımı kullanımı, soğutma ve ısıtma için bina enerjisinin korunmasının en etkili yollarından biri olduğunu söylemiştir. Çalışmada, uygun bir yalıtım malzemesinin seçiminin optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde önemli bir paya sahip olduğu belirtilmiştir. Şangay, Changsha, Shaoguan ve Chengdu'nun dört tipik kenti, sırasıyla Çin'de sıcak yaz ve soğuk kış bölgesinin A, B, C ve D alt bölgelerini temsil etmek üzere seçilmiştir. Genleştirilmiş

polistren, ekstrüde polistren, köpüklü poliüretan, perlitli sıva ve köpüklü polivinil klorür dahil beş yalıtım malzemesinin optimum kalınlıkları, güneş-hava soğutma ve ısıtma derece-gün analizi ve P1-P2 ekonomik modeli kullanılarak tipik bir konut duvarı ile hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada, kullanılacak enerjilerin toplam maliyetleri, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri, hizmet süresi maliyet analizine dayanarak hesaplanmıştır. Çalışma sonlandığında ise sonuç olarak kullanılan beş farklı yalıtım malzemesine ait olan optimum kalınlıkların 0.053 ile 0.236 m arasında değiştiği vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda hesaplanan geri ödeme sürelerinin ise 20 yıllık bir hizmet süresi boyunca 1.9 ile 4.7 yıl arasında değiştiği belirtilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler ışığında enerji tasarrufunun, Şangay'da 54.4 $/m^2, Changsha' da 54.8 $/m^2, Shaoguan' da 41.5 $/m^2 ve Chengdu' da 39.0 $/ m^2 olduğu hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada yalıtım malzemelerinin ekonomik verimliliğini analiz etmeye yönelik bir yaklaşım geliştirilmiş ve sonuçta, polistrenin (EPS), en yüksek enerji tasarrufu ve en düşük geri ödeme süresi nedeniyle kullanılan diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında en ekonomik yalıtım malzemesi olduğu belirtilmiştir.

Bolattürk (2006) yaptığı çalışmada, geri ödeme süreleri, optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarruflarının hesaplanması için Türkiye'de on altı farklı ili farklı iklim bölgelerinden seçmiştir. Çalışma sonucunda optimum yalıtım kalınlıklarının 0,02 ile 0,17 m arasında değiştiği ve bu duruma bağlı olarak geri ödeme sürelerinin ise 1,3 ile 4,5 arasında değiştiği belirtilmiştir. Aynı zamanda çalışma sonucunda enerji tasarrufunun ise %22 ile %79 arasında olduğu belirtilmiştir.

Ekici ve diğerleri (2012), Türkiye'de TS 825 Türkiye Isı Yalıtım Standardı'nın yayınlanmasından sonra yönetmeliğin zorunlu hale gelinceye kadar bina yalıtımının yaygın olmadığını belirtmiştir. Bu çalışmada ülkemizde yapılarda kullanılan yapı malzemelerinden olan taş, tuğla ve beton gibi duvar malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ilgili standartlara göre belirlenen ve farklı iklim bölgelerinde yer alan Antalya (1. Bölge), İstanbul (2. Bölge), Elazığ (3. Bölge) ve Kayseri (4. Bölge) illeri belirlenmiş ve her biri için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak fiberglas, ekstrüde polistren, ekspande polistren ve köpüklü

poliüretan seçilmiştir. Isıtma enerjisi olarak kömür, LPG, elektrik, fuel oil ve doğal gaz gibi beş farklı enerji türü kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığının 0,2 cm ile 18,6 cm arasında değiştiği görülmüştür. Hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları baz alındığında kullanılan yalıtım malzemeleri dikkate alındığında enerji tasarrufunun 0,038 $/m^2 ile 250,415 $/m^2 arasında değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin şehre bağlı olarak 0,714 ile 9,104 arasında değiştiği belirtilmiştir.

Uçar ve Balo (2010) yaptıkları çalışmada, Türkiye'de ısı yalıtımı açısından mevcut bulunan dört farklı iklim bölgesinden dört şehir seçmiş ve seçilen bu şehirler için optimum yalıtım kalınlıkları, 10 yıl boyunca elde edilen enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışmada dış duvardan ısı yalıtımı konusu baz alınarak dört farklı yalıtım malzemesi kullanılmış ve elde edilen veriler beş farklı enerji türüne göre değerlendirilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistren, ekspande polistren ve taş yünü seçilmiştir. Bu çalışmada net enerji maliyet tasarrufu P1 – P2 metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucuna bakıldığında, enerji ve maliyet tasarrufunun, şehir ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak değiştiği ve 4,2 $/m^2 ile 9,5 $/m^2 aralığında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda ısıtma enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı Mersin'de 2,25 yıl olan en yüksek geri ödeme süresi değerinin elde edildiği, en düşük değerin ise ısıtma enerjisi olarak LPG'nin kullanıldığı Bitlis'te görülmüştür.

Dombaycı ve diğerleri (2006) yapılan çalışmada, Denizli ilindeki yapılarda yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve genleştirilmiş polistren kullanmış ve çalışmada derece gün yöntemini baz almışlardır. Isıtma enerjisi olarak doğalgaz, kömür, elektrik, LPG ve fuel oil kullanılmış ve optimum yalıtım kalınlıkları bu enerji türlerine göre hesaplanmıştır. Çalışma sonucuna bakıldığında optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında geri ödeme süresinin 1,43 yıl ve enerji tasarrufunun 14 $/m^2 olduğu belirtilmiştir.

Öztuna ve Dereli (2009) yaptıkları çalışmada, Edirne ili için, ısıtma enerjisi olarak doğalgaz, elektrik, fuel-oil, LPG, kömür gibi altı farklı yakıt türü belirlemiş ve bu kaynakları ömür maliyet analizi yöntemini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada

derece gün sayısı esas alınmış ve optimum yalıtım kalınlığı taş yünü, genleştirilmiş polistren (EPS) ve sandviç duvarda genleştirilmiş polistren kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan hesaplamalarda farklı duvar modellerinde belirlenen optimum yalıtım kalınlıklarının geri ödeme süreleri ile yıllık enerji kullanım durumu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yalıtım malzemesinin genleştirilmiş polistren ve yakıt türünün kömür olarak kullanıldığı durumda çarpıcı sonuçlar elde edilmiş ve enerji tasarrufunun %24 ile %47 arasında olduğu görülmüştür. Çalışmada optimum yalıtım kalınlığının 0,028 ile 0,039 m arasında değiştiği ve geri ödeme süreleri 2,1 ila 4,2 yıl olduğu belirtilmiştir.

Gürel ve Daşdemir (2011) yapılan çalışmada, Sivas, Malatya, Edirne ve Aydın illeri baz alınarak soğutma ve ısıtma yüklerinin belirlenmesi için optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarrufları hesaplamıştır. Yalıtım malzemesi olarak dış duvarlarda ekstrüde polistren (XPS) ve genleştirilmiş polistren (EPS) kullanılmış ve yakıt olarak soğutma için elektrik, ısıtma için ise doğalgaz kullanılmıştır. Çalışmada ekonomik durum P_1-P_2 yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak seçilen illere ve yalıtım malzemesine bağlı olarak enerji tasarruflarının 12,08 TL/m^2 ve 58,28 TL/m^2 arasında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca optimum yalıtım kalınlıkları da 0.036-0,1 m arasında olduğu ve buna bağlı olarak da geri ödeme sürelerinin 1.5 ve 2.52 yıl arasında değiştiği belirtilmiştir.

Hasan (1999) yaptığı çalışmada, Filistin'de optimum yalıtım kalınlığı için sistematik bir yaklaşım geliştirmiştir ve hizmet süresi maliyet analizi kullanılmıştır. Çalışmada derece gün yöntemine ve duvarın ısıl direncine göre optimum yalıtım kalınlığının seçilmesi için genelleştirilmiş şemalar hazırlanmıştır. Ayrıca Filistin için yalıtımlı binaların enerji tasarrufları hesaplanmıştır. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve polistrenin kullanıldığı durumlarda yalıtım için 21 \$/m^2 'ye kadar tasarruf edilebileceğini belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada duvar malzemesinin türüne bağlı olarak geri ödeme sürelerinin, taş yününün kullanıldığı durumlarda 1 ile 1,7 yıl arasında, polistrenin kullanıldığı durumlarda ise 1,3 ile 2,3 yıl arasında olduğu belirtilmiştir.

Özkan ve Onan (2011) yapılan çalışmada, pencere ve dış duvar alanlarındaki değişikliklerin binanın ısıtma enerjisi ihtiyacına ve optimum yalıtım kalınlığına

etkisini P1-P2 metodu kullanarak incelemiştir. Çalışmada, çeşitli yalıtım malzemeleri, cam alanları ve yakıt türleri için Türkiye'nin dört derece günü boyunca gerçekleştirilmiş ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Çalışmada enerji tasarrufu 13.996 $/m^2, 31.680 $/m^2, 46.613 $/m^2 ve 63.071 $/m^2 değerleri için sırasıyla, yatırımın geri ödeme süresi 2.023, 1.836, 1.498 ve 1.346 yıl olarak bulunmuştur. Optimum yalıtım malzemesi (XPS) ve doğal gazın kullanıldığı durumlarda CO_2 emisyonları %50,91 oranında azalmıştır. Optimum yalıtım malzemesi (XPS) ve akaryakıt kullanılan durumlarda CO_2 ve SO_2 emisyonları % 54,67 oranında azaldığı belirtilmiştir.

Ucar ve Balo (2009) yapılan çalışmada, Türkiye'nin dört iklim bölgesinden dört farklı şehir için optimum yalıtım kalınlığı, 10 yıl boyunca enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi, beş farklı enerji türü ve dört farklı yalıtım malzemesi için hesaplamıştır. Çalışmada, P1-P2 metodu kullanılarak net enerji tasarrufu miktarının değeri hesaplanmıştır. Sonuçlar optimum yalıtım kalınlığının 1.06 ile 7.64 cm arasında değiştiğini, enerji tasarrufunun 19 $/m^2 ile 47 $/m^2 arasında değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin ise seçilen şehir ve yakıt türüne bağlı olarak 1.8 ile 3.7 yıl arasında değiştiğini göstermiştir. LPG yakıt türü için Ağrı'da en yüksek enerji tasarrufu değerine ulaşılırken, doğal gaz için Aydın'da en düşük değer elde edildiği belirtilmiştir.

Çomakli ve Yüksel (2003) yapılan çalışmada, Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk şehirleri için optimum yalıtım kalınlığını araştırmıştır. Optimizasyon için hizmet süresi maliyet analizi kullanılmıştır. Sonuç olarak, optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında önemli miktarda enerji tasarrufu elde edilmiştir. Erzurum için 12.113 $/m^2 enerji tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir.

Elde edilen tasarruf miktarları irdelenirken ısıtma maliyetlerinin artması ile birlikte optimum yalıtım kalınlıklarında enerji tasarruf miktarlarının arttığı literatürde ve bu çalışmada yerini almıştır.

Özel ve Pıhtılı (2008) yapılan çalışmada, dış duvarlara uygulanan optimum yalıtım kalınlığını ısıtma ve soğutma derece gün değerleri dikkate alınarak belirtmiştir. Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illerinde hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda dış

duvarlara yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistren uygulanarak optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Sonuç olarak, optimum yalıtım kalınlıklarının 0,04 ile 0,084 m arasında değiştiği, 21,94 ile 97,12 TL/m^2 arasında enerji tasarrufu ve incelenen şehre göre geri ödeme sürelerinin 1,45 ile 2,05 yıl arasında değiştiği görülmüştür.

3. ISI YALITIMI HESAPLARI İÇİN KULLANILAN YÖNTEM

TS-825 de, ülkemizde mevcut bulunan yapıların ısıl konforun sağlanması için gerekli enerji miktarının belli bir değerde tutulması, dolayısı ile enerji tasarrufunun arttırılması ve gerekli enerji ihtiyacının belirlenmesi için hesaplama esnasında kullanılacak hesap değerlerini ve hesap metodunun belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Hesap metodunda kullanılması için yönetmeliğe göre ülkemizde iller, beş farklı derece-gün bölgesine ayrılmakta ve farklı amaçlarla kullanılana yapılar için hesaplamalarda kullanılması gereken aylık ortalama iç sıcaklık değerleri yer almaktadır. Çalışmada ayrıca ülkemizde bulunan derece-gün bölgeleri için ilgili yapı için farklı yapı malzemeleri ve yalıtım malzemelerinden oluşan farklı kombinasyonlar ile daha rasyonel verilere ulaşmak istenilmiştir.

3.1.Derece-Gün Yöntemi

Günümüz yapılarında enerji analizleri yapmak için farklı ve karmaşık programlar bulunmaktadır. Enerji tasarrufunun önem kazanması ile birlikte insanlar daha anlaşılır yöntemlere başvurmakta ve gelişmiş yöntemlerin bulunmasına rağmen diğer enerji analizlerine nazaran basit sayılabilecek derece-gün yöntemi ile enerji tahmin teknikleri önemini korumaktadır (Bulut ve diğerleri, 2007).

Derece-gün yönteminde, yapının iç ortam sıcaklığı ile ilgili denge noktasında sahip olduğu sıcaklık ile yapının bulunduğu bölgenin dış hava sıcaklığı arasındaki fark ile doğru orantılı olduğu ve hesapların bu orantı ile çözülebileceği amaçlanmaktadır (Büyükalaca ve diğerleri, 2000). Isı yalıtımı yapılacak olan yapıda yapılması gereken hesaplamalarda derece-gün yöntemi için aşağıdaki eşitlik dikkate alınmalıdır.

$$DG=\sum_{1}^{N}(T_i-T_0) \quad T_0 \leq T_b \tag{3.1}$$

$$DG=0 \quad (T_0>T_b) \tag{3.2}$$

Yukarıdaki eşitliklerde, T_0 dış ortamın günlük ortalama sıcaklığını, T_i iç ortamın sıcaklığını, T_b derece-gün sayısı belli bir denge sıcaklık değerini ve N ise ısıtma yapılacak toplam gün sayısını ifade etmektedir.

$$T_0=\frac{T_{min}+T_{max}}{2} \tag{3.3}$$

Sıcaklıklara ait olan maksimum ve minimum değerleri gün içerisinde kaydedilmiş en yüksek ve en düşük hava sıcaklığı değerlerini ifade etmektedir.

Aşağıdaki tablolarda ülkemizde TS 825 yönetmeliğinde bulunan derece gün bölgelerinde yer alan iller yer almaktadır. Yapılması planlanan yalıtım sitemleri henüz düşünce aşamasındayken aşağıdaki tablolar incelenmeli ve yapılacak olan yalıtım siteminin hangi yalıtım malzemesi ile yapılacağı kararlaştırılmalıdır.

Aynı zamanda yalıtım malzemesinin farklı enerji kaynakları kullanımı durumunda hangi duvar malzemesi ile daha iyi bir yalıtım performansı göstereceği araştırılmalıdır. Böylelikle meydana gelebilecek hem ekonomik sıkıntıların, hem de yapı durabilite sıkıntılarının önüne geçilebilecektir.

Çalışma incelendiğinde yapılacak olan hesaplamalar için kullanılan derece gün değerinin ne kadar önemli olduğu anlaşılacaktır. Optimum yalıtım kalınlığına direkt olarak etki eden derece gün değerlerinin bazı ilçelerde aynı illerde olmalarına rağmen farklı derece gün bölgelerine dâhil olduklarından, hesaplamalarda kullanılacak değerler de farklı olacaktır.

Tablo 3.1'de bu durum daha net bir şekilde görülmektedir. İkinci derece gün bölgesinde yer alan Muğla iline ait sekiz ilçenin birinci derece gün bölgesinde yer aldığı görülmektedir. Bu durum hesaplamalarda farklı yalıtım kalınlık değerlerinin çıkmasına neden olmaktadır. Böylelikle bu tür durumlarda hesaplamalar sonucunda elde edilecek toplam ısıtma maliyetleri, tasarruf miktarları da farklılık gösterecektir.

Farklı yalıtım malzemelerinin kombinasyonları ile oluşturulan bu çalışmada derece gün bölgelerine göre hangi yalıtım malzemesinin avantajlı olduğu da hesaplamalar sonucunda elde edilecektir. Bu durum yapılarda yapılması planlanan yalıtım

sistemlerinin de bilinci olarak ve alanında uzman kişiler eşliğinde yapılması gerektiğinin önemi gün yüzüne çıkmaktadır.

Tablo 3.1. Derece-gün sistemine göre 1. Bölge Derece-Gün İlleri

1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
ADANA	MERSİN	İZMİR	HATAY
ANTALYA			
İli 2. Bölgede olup da kendisi 1.Bölgede olan belediyeler			
MARMARİS(Muğla)	DALAMAN (Muğla)	FETHİYE (Muğla)	BODRUM (Muğla)
GÖKOVA (Muğla)	KÖYCEĞİZ (Muğla)	DATÇA (Muğla)	MİLAS (Muğla)

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi belirtilen illerin veya ilçelerin farklı iklim şartlarından dolayı derece-gün bölgeleri farklılık göstermektedir.

Tablo 3.2. incelendiğinde aynı tablo içerisinde birden fazla bölgenin dâhil olduğu görülmektedir. Bu durum yapılacak yalıtım türlerinin de aynı bölgede olabilecek il, ilçe veya beldelerde farklılık gösterebileceğini belirtmektedir. Dolayısı ile yalıtım yapılacak bir bölgede ne tür bir yalıtımın yapılacağı, hangi yalıtım malzemelerinin kullanılabileceği ve hangi enerji kaynağının bölgede kullanılabileceği de detaylı bir şekilde irdelenmelidir. Aksi takdirde plansız ve imalatı açısından sıkıntı barındıran ısı yalıtım sistemlerinde istenilen verimin alınamamasının yanında istenilen geri ödeme sürelerinde ve ilgili bölge için gerekli olan enerji fiyatlarında da artış olacaktır.

Tablo 3.2.Derece-gün sistemine göre 2. Bölge Derece-Gün İlleri

2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
SAKARYA	ÇANAKKALE	KAHRAMAN MARAŞ	RİZE
ADIYAMAN	DENİZLİ	KİLİS	SAMSUN
AMASYA	DİYARBAKIR	KOCAELİ	SİİRT
BALIKESİR	EDİRNE	MANİSA	SİNOP
BARTIN	GAZİ ANTEP	MARDİN	ŞANLI URFA
BATMAN	GİRESUN	MUĞLA	ŞIRNAK
BURSA	İSTANBUL	ORDU	TEKİRDAĞ
TRABZON	YALOVA	ZONGULDAK	DÜZCE
KARAMAN	OSMANİYE	AYDIN	AYVALIK(Balıkesir)
İli 3. Bölgede olup da kendisi 2.Bölgede olan belediyeler			
HOPA (Artvin)		ARHAVİ (Artvin)	AYVALIK (Balıkesir)
İli 4. Bölgede olup da kendisi 2.Bölgede olan belediyeler			
ABANA(Kastamonu)	BOZKURT (Kastamonu)	ÇATALZEYTİN (Kastamonu)	İNEBOLU (Kastamonu)
DOĞANYURT (Kastamonu)			

Tablo 3.2. de bahsedilen durumu Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 içinde belirtilmesi mümkündür. Yukarıdaki tabloda ilgili il bir önceki derece gün bölgesinde bulunsa bile yani kısmen daha sıcak bölgede bulunmasında bile o ile ait ilçe ve mezraların daha soğuk bir iklim etkisi altında olabileceği unutulmamalıdır. Görülen bu tür durumlardan dolayı ısı yalıtımı yapılmak istenen ilde yalıtımdan önce, ilgili ile ait olan ilçe veya mezraların aynı derece gün bölgesine veya değerine sahip olup olmadığına bakılması gerekmektedir. Aksi halde yapılacak olan yalıtım sistemlerinde hedeflenen yalıtım maliyetleri, toplam ısıtma maliyetleri ve yıllık tasarruf miktarları hakkında doğru yorumlar yapmak imkânsız olmaktadır. Çalışma incelendiği durumda derece gün değerlerinin bu gibi parametreleri nasıl etkilediği görülmektedir.

Tablo 3.3.Derece-gün sistemine göre 3. Bölge Derece-Gün İlleri

3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KIRŞEHİR	TUNCELİ
BİNGÖL	IĞDIR	KONYA	UŞAK
BOLU	ISPARTA	KÜTAHYA	
İli 1. Bölgede olup da kendisi 3.Bölgede olan belediyeler			
POZANTI (Adana)	KORKUTELİ (Antalya)		
İli 2. Bölgede olup da kendisi 3.Bölgede olan belediyeler			
MERZİFON (Amasya)	DURSUNBEY (Balıkesir)	ULUS (Bartın)	
İli 4. Bölgede olup da kendisi 3.Bölgede olan belediyeler			
TOSYA (Kastamonu)			

Tablo 3.4'de de görüldüğü gibi ülkemizde yer alan illerin ve bazı özelleşmiş bölgelerin hangi bölgede bulunduğuna dair tablo görülmektedir. Ülkemizdeki değişken iklim şartlarına karşı yalıtım yapılacak yapının hangi bölgede bulunduğu dikkate alınmalıdır. Ülkemizde yer alan illerin sahip olduğu derece-gün değerlerindeki farklılık da bu durumu desteklemektedir.

Tablo 3.4.Derece-gün sistemine göre 4. Bölge Derece-Gün İlleri

4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
SİVAS	YOZGAT	KAYSERİ	BİTLİS
VAN	GÜMÜŞHANE	MUŞ	ERZİNCAN
BAYBURT	HAKKÂRİ	KASTAMONU	
İli 2. Bölgede olup da kendisi 4.Bölgede olan belediyeler			
KELES (Bursa)	ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun)	ELBİSTAN (K. Maraş) MESUDİYE (Ordu)	ULUDAĞ (Bursa)
AFŞİN (Kahramanmaraş)	GÖKSUN (Kahramanmaraş)		
İli 3. Bölgede olup da kendisi 4.Bölgede olan belediyeler			
KIĞI (Bingöl)	PÜLÜMÜR (Tunceli)		SOLHAN (Bingöl)

Tablo 3.5'de ülkemizde 2013 yılında yenilenmiş TS 825'de yer alan beşinci derece gün bölgesinde bulunan iller yer almaktadır. Derece gün değerlerinin diğer bölgelerde yer alan illerden daha yüksek olmasından dolayı bu bölgede yapılacak herhangi bir yalıtım sisteminde daha dikkatli olmak gerekmektedir.

Tablo 3.5.Derece-gün sistemine göre 5. Bölge Derece-Gün İlleri

5. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
AĞRI	ARDAHAN	ERZURUM	KARS

Aşağıdaki tabloda yer alan derece gün değerlerine bakıldığında sıcak iklimin hâkim olduğu bölgelerde derece gün değerinin daha düşük değerlerde olduğu yer almaktadır. Beşinci derece gün bölgesine yakınlaştıkça ısı kayıplarının yalıtım sistemlerinin olmadığı durumlarda yüksek değerlerde olacağı ve bu durumun da ilave maliyetler getireceğini unutmamak gerekmektedir. Optimum yalıtım kalınlıkları, toplam ısıtma maliyetleri ve yıllık tasarruf miktarları hesaplamalarında Tablo 3.6'da yer alan değerler belirleyici olmuştur. Derece gün değerinin artması ile birlikte sıcak iklimden daha soğuk bir iklime doğru gidildiği tabloda yer alan illerin iklim durumlarının incelenmesi ile yorumlanabilecektir.

Tablo 3.6. Çalışma için seçilmiş illere ait Derece-Gün değerleri (Bulut ve diğerleri, 2007)

İl	Bölge	Denge Sıcaklığı	Derece-Gün Değerleri
Adana	1.Bölge	18 ºC	874
Kocaeli	2.Bölge		1786
Ankara	3.Bölge		2677
Van	4.Bölge		3476
Ardahan	5.Bölge		5137

Tablo 3.6' da derece gün değerleri yer almaktadır. Bu çalışmada yukarıdaki tabloda yer alan değerler, denge sıcaklık değeri 18 ºC kabul edilip, tablo oluşturulmuştur.

Tablo 3.7.Farklı derece-gün (DG) bölgeleri için ısı kaybı ve yoğuşma hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri [θ_e (^{o}C)]

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

Yapılması beklenen ısı yalıtım sistemlerinde uygun malzeme seçinden önce ilgili yapının bulunduğu bölgeye ait enerji durumu, ısı kayıpları ve sıcaklık değerleri hesaplamalarda dikkate alınmalıdır. Böylelikle daha rasyonel sonuçlara ulaşılacaktır.

3.1.1. Isı kaybı ve enerji gereksinimi

Günümüzde bina yüzeylerinde meydana gelen ısı kayıpları, yapı sahipleri için ekonomik açıdan zorlu günlerin geçmesine neden olmaktadır. İlgili yapılarda ısı kayıplarının önlenememesi aynı zamanda yapı durabilitesi için rutubet veya bina yüzeylerinde meydana gelecek ısı veya buhar dengesinin bozulması gibi önemli problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bina dış yüzeyleri için birim yüzeyden meydana gelen ısı kaybı,

$$q=U\times\Delta T \quad (3.4)$$

eşitlikteki gibi ifade edilmektedir. Eşitlikte yer alan U, ilgili yüzeylerdeki toplam ısıl geçirgenlik sayısını, ΔT ise gün içerisindeki iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık değişimini ifade etmektedir. Isı yalıtım malzemesinin kullanıldığı bir duvar yüzeyinde toplam ısıl geçirgenlik sayısı,

$$U=\frac{1}{R_d+R_y} \tag{3.5}$$

ile ifade edilmektedir. Eşitlikteki R_y sayısı yalıtım malzemesinin ısıl direnci aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$Ry=\frac{x}{\lambda_y} \tag{3.6}$$

Eşitlikte yer alan x değeri ısı yalıtım malzemesinin kalınlığını, λ_y değeri ise ısı yalıtım malzemesinin ısıl iletkenlik değerini ifade etmektedir. Bina birim yüzeylerinde oluşan yıllık ısı kaybı hesabında, birim yüzeyden meydana gelen ısı kaybı derece-gün değeri ile düşünüldüğü durumda günlük durum göz önüne alınarak hesaplanmaktadır (Ekici ve diğerleri, 2012),

$$q_A= 24x60x60\times DG\times U \tag{3.7}$$

derece-gün sayıları da dikkate alınarak ifade edilmektedir. Böylece birim yüzeyde gelişen yıllık ısı kaybı,

$$q_A=\frac{86400\times DG}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})} \tag{3.8}$$

şeklini alacaktır. Birim yüzeyden meydana gelen yıllık ısı kaybının hesaplanması ile birlikte ilgili yapı için belirlenen enerji türünün dikkate alınması ile birlikte yıllık enerji miktarı,

$$E_A=\frac{86400\times DG\times U}{\eta} \tag{3.9}$$

olarak hesaplanmakta η değeri ısı yalıtımı için kullanılacak yakıt malzemesinin kazan verimini ifade etmektedir. Yıllık enerji miktarı diğer bir eşitlikte,

$$E_A=\frac{q_A}{\eta} \tag{3.10}$$

olarak ifade edilmektedir. Yıllık enerji miktarı denklemi düzenlendiğinde,

$$E_A=\frac{86400\times DG}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta} \tag{3.11}$$

gibi ifade edilmektedir. Eşitlikte de görüldüğü gibi enerji için kullanılan yakıt kazan verimi(η) önem taşımaktadır. Yukarıdaki denklemler dikkate alındığında tüketilen yıllık yakıt miktarı,

$$m_{yakıt}=\frac{E_A}{H_u} \tag{3.12}$$

olarak hesaplanmaktadır. Eşitlikte yer alan H_u değeri ilgili yapı için kullanılacak yakıt değerinin alt ısıl değerini ifade etmektedir. Eşitlik düzenlendiğinde tüketilen yıllık yakıt miktarı,

$$m_{yakıt}=\frac{86400\times DG}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta\times H_u} \tag{3.13}$$

gibi ifade edilmektedir.

3.1.2. Yıllık enerji maliyet analizi, optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve geri ödeme süresinin saptanması

Ülkemizde enerji birim fiyatları ve maliyetleri stabil bir duruma sahip olmadığından dolayı, günümüz yapılarında barınan vatandaşlar için ekonomik problemlere yol açmaktadır. Bu durumdan dolayı ısı yalıtımı maliyeti hesaplanırken enerji maliyetlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Kullanılan enerji türlerinin yıllık maliyetleri incelendiğinde, enerji türlerine göre ısı yalıtım malzemesinin optimum değerlerinin de değişebileceği literatürde yerini almıştır. Bu parametreler değerlendirilirken optimum yalıtım kalınlık değerleri ile elde edilen geri ödeme sürelerinin de incelenmesi gerekmektedir. Yılık yakıt maliyeti, yıllık yakıt miktarı ve yakıt birim fiyatının çarpılması ile elde edilmektedir:

$$C_A=m_{yakıt}\times C_{yakıt} \tag{3.14}$$

Eşitlikte C_A değeri yıllık enerji maliyetini, $C_{yakıt}$ değeri ise enerji birim fiyatını belirtmektedir. Eşitlik, yıllık tüketilen yakıt miktarı eşitliği dikkate alındığında,

$$C_A=\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta\times H_u} \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Optimum yalıtım kalınlığının saptanabilmesi için ömür maliyet analizi kullanılmıştır. Ömür maliyet analizi hesaplanırken enflasyon ve faiz oranları dikkate alınmaktadır. Enflasyon ve faiz oranı yıllık enerji maliyetini etkileyen şimdiki değer faktörü formülünde yer almaktadır. Şimdiki değer faktörü,

$$S=\frac{(1+r)^N-1}{r\times(1+r)^N} \quad (3.16)$$

olarak hesaplanmaktadır. Eşitlikte yer alan N değeri ömür süresini, r gerçek faiz oranını temsil etmekte ve faiz oranı(i) enflasyon oranından(g) büyükse,

$$r=\frac{(i+g)}{(1+g)} \quad (3.17)$$

eğer enflasyon oranı(g) faiz oranından büyükse,

$$r=\frac{(g-i)}{(1+i)} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışmada faiz oranı %11,25 ve enflasyon %8,20 olarak alınarak şimdiki değer faktörü 4,49 olarak hesaplanmıştır. Şimdiki değer faktörünün optimum yalıtım kalınlıkları ve maliyet ile ilgili grafikler incelendiğinde önemli bir parametre olduğu daha iyi anlaşılacaktır. Şimdiki değer faktörünün hesaplamalara dahil edildiği kısımlarda maliyetlerin daha rasyonel olabilmesi için N değeri 10 yıl olarak alınmıştır. Gerçek faiz oranının da dahil edildiği ve herhangi bir ısı yalıtımı sisteminin olduğu veya olmadığı yapılarda meydan gelebilecek toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{ısıtma}=C_A\times S \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Toplam ısıtma maliyeti eşitliği yıllık tüketilen yakıt miktarı eşitliği ile birlikte,

$$C_{ısıtma}=\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}\times S}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta\times H_u} \quad (3.20)$$

gibi ifade edilmektedir. Binalarda kullanılacak olan yalıtım maliyeti ise,

$$C_{yalıtım}=C_y\times(x) \quad (3.21)$$

olarak ifade edilmekte ve C_y yalıtım malzemesinin birim fiyatını 'x' değeri ise ısı yalıtım malzemesinin kalınlığını ifade etmektedir. Eşitlikte de görüldüğü gibi ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça yalıtım maliyeti de artacaktır. Bu çalışmada genel piyasa fiyatları ve önemli firmalardan gelen fiyat teklifleri de dikkate alınarak; taşyünü maliyeti 290 TL/m^3, EPS maliyeti 206 TL/m^3, perlitli sıva maliyeti 416,5 TL/m^3 ve XPS maliyeti 425 TL/m^3 olarak alınmıştır. Aynı zamanda yalıtım sistemlerine yaptıkları katkılardan dolayı, yapılacak olan mantolama sisteminin kullanılacak duvar malzemeleri ile bir bütün halinde düşünülmesi ve maliyetlere de dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda gazbeton 217 TL/m^3, bimsblok 75,5 TL/m^3, yatay delikli tuğla 133,41 TL/m^3 olarak hesaplamalarda yerini almıştır. Toplam ısıtma maliyeti ve ısı yalıtım maliyetleri dikkate alındığında toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{top}=C_{ısıtma}+C_{yalıtım} \quad (3.22)$$

şeklinde belirtilmektedir. Yukarıdaki denklem silsilesi dikkate alındığında toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{top}=\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}\times S}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta\times H_u}+C_y\times(x) \quad (3.23)$$

eşitliğindeki şekli alacaktır. Toplam yatırım maliyeti ise Eşitlik 3.23'e duvar malzemesinin maliyetinin dâhil edilmesi ile hesaplanmakta,

$$C_{yatırım}=C_{ısıtma}+C_{yalıtım}+C_{duvar\ malzemesi} \quad (3.24)$$

şeklinde olmaktadır. Toplam ısıtma maliyetinin ve toplam yatırım maliyetinin belirlenmesi ile birlikte yapının bulunduğu bölge ve il dikkate alındığında optimum yalıtım kalınlığı belirlenecektir. Optimum yalıtım kalınlığı,

$$X_{opt}=293,94\times\left(\frac{DG\times C_{yakıt}\times S\times\lambda_y}{H_u\times Cy\times\eta}\right)^{1/2}-\lambda_y\times R_d \quad (3.25)$$

gibi ifade edilmektedir. Eşitlik 3.25 incelendiğinde, eşitliğin bir önceki denklemde yani toplam ısıtma maliyeti denkleminde yalıtım kalınlığı olan "x" değerine göre türevinin alınıp, sıfıra eşitlenmesiyle elde edildiği görülecektir.

Optimum yalıtım kalınlığı yukarıdaki eşitlikte de görüldüğü gibi derece gün sayısı vasıtasıyla ilgili ilin bulunduğu iklim durumuna, yakıt maliyetine, duvar ve yalıtım malzemesinin özelliklerine, kullanılan yalıtım malzemesinin maliyetine ve şimdiki değer faktörü ile faiz ve enflasyon oranına bağlı olarak değişebilmektedir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda yıllık enerji kazancı yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyetinin çıkartılması ile bulunur ve

$$C_{tasarruf}=\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}\times S}{R_d\times\eta\times H_u}-\left(\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}\times S}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta\times H_u}+C_y\times(x)\right) \quad (3.26)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Şiman ve diğerleri, 2007). Çalışmada hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerleri ve bu değerlerin kullanımıyla hesaplanan toplam ısıtma maliyetleri ve yıllık tasarruf miktarlarının değerlendirilmeden önce eşitlik 3.25'e bakılması gerektiği unutulmamalıdır.

Maliyetlerin dahil edildiği eşitlikte geri ödeme sürelerinin de optimum yalıtım kalınlık değerlerinden etkilendiği bilinmektedir.

Isı yalıtım maliyetinin belirlenmesi ile birlikte, yapılacak ısı yalıtımı sistemi için ekonomik açıdan geri ödeme süreleri belirlenebilmektedir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda geri ödeme süresi,

$$G=\frac{\text{Yalıtımlı durumdaki ısıtma maliyeti}}{\text{Yıllık kazanç}} \quad (3.27)$$

veya,

$$G=\frac{\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}\times S}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta\times H_u}+C_y\times(x)}{\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}\times S}{R_d\times\eta\times H_u}-\left(\frac{86400\times DG\times C_{yakıt}\times S}{(R_d+\frac{x}{\lambda_y})\times\eta\times H_u}+C_y\times(x)\right)} \quad (3.28)$$

eşitliklerdeki gibi hesaplanmaktadır (Işık ve Tuğan, 2017).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde literatür araştırması sonucu elde edilen veriler ışığında yapılan araştırma sonuçları yer almaktadır.

Elde edilen veriler ışığında, belirlenen kombinasyonlar için toplam ısıl geçirgenlik dirençleri hesaplanmış ve toplam ısıl geçirgenlik sayı değerleri bölgelere göre değerlendirilmiştir. İlgili tablolarda duvar malzemesi kalınlığı 20 cm gibi sabit bir değer alınarak hesaplamalar sonuçlandırılmıştır. Aşağıdaki tablolarda da yapı malzemesinin gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğla olarak belirlendiği kombinasyonlar yer almaktadır.

Tablo 4.1'de yapı malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonu barındırmaktadır. Tabloda yer alan değerler TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Yönetmeliği içerisinde bulunan değerler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki tabloda da görüleceği gibi herhangi bir yalıtım sisteminin gazbetonun dâhil olduğu kombinasyonda toplam ısıl geçirgenlik değeri 0,66 W/m^2K olarak bulunmuş ve TS 825'de birinci bölge için yer alan ve toplam ısıl geçirgenlik değeri, 0,66 W/m^2K değerinden küçük ya da eşit olma durumunu sağladığı görülmektedir.

Tablo 4.1.Yapı malzemesinin gazbeton olarak seçildiği kombinasyon

Malzeme	Kalınlık(m)	Isıl iletkenlik katsayısı, λ(W/mK)	Isıl direnç, $R_d(m^2K/W)$
İç yüzey			0,130
İç sıva(Çimento Harcı)	0,01	1,600	0,006
Gazbeton	0,20	0,150	1,333
Dış sıva	0,01	1,600	0,006
Dış yüzey			0,040
R_d(Toplam ısıl geçirgenlik direnci)			1,515
U(1/R), W/m^2K			0,660

Aşağıdaki tabloda yapı malzemesinin bimsblok olarak belirlendiği kombinasyon yer almaktadır. Tablo 4.2 incelendiğinde genel itibari ile ısı yalıtım malzemesinin kullanılmadığı bu durum toplam ısıl geçirgenlik sayısının beş derece-gün değeri için de uygun olmadığı görülmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında da bimsbloğun kullanıldığı ancak herhangi bir ısı yalıtım malzemesinin kullanılmadığı yapılarda toplam ısıl geçirgenlik sayısının ilgili bölge değerlerine uygun olmadığı görülmüştür. Bu gibi durum ileriki zamanlarda ısı yalıtımı olmadığından dolayı ısıl konforun yetersizliği ile birlikte, fazla ısı enerjisi maliyeti, yapı durabilitesinin ve insan sağlığına negatif yönde etkileri olabileceğini belirtmektedir. Bu gibi durumlar sonucunda duvar yüzeylerinde farklı ısıl değerlerin görülebileceğinden dolayı, yapılarda ciddi rutubet problemlerinin oluşabileceği unutulmamalıdır.

Tablo 4.2.Yapı malzemesinin bimsblok olarak seçildiği kombinasyon

Malzeme	Kalınlık(m)	Isıl iletkenlik katsayı, λ(W/mK)	Isıl direnç, $R_d(m^2K/W)$
İç yüzey			0,130
İç sıva(Çimento Harcı)	0,01	1,600	0,006
Bimsblok	0,20	0,250	0,800
Dış sıva	0,01	1,600	0,006
Dış Yüzey			0,040
R_d(Toplam ısıl geçirgenlik direnci)			0,982
U(1/R), W/m^2K			1,018

Aşağıda Tablo 4.3 incelendiğinde yapı malzemesinin yatay delikli tuğla olarak kullanıldığı ve ısı yalıtım malzemesinin olmadığı bu durumda, toplam ısıl geçirgenlik sayısının olması gereken değerlerden çok fazla uzaklaştığı görülmektedir. Tabloda hesaplamalar sonucunda bulunan toplam ısıl iletkenlik sayısının ülkemizde yer alan beş derece gün bölgesi için de ideal olmadığı görülmektedir. Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3 incelendiğinde tablolarda yer alan duvar malzemelerinin herhangi bir yalıtımın olmadığı durumlarda kıyaslandığında optimum yalıtım kalınlığı bakımından duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı durum avantajlı olduğu görülmektedir. Bu durumun duvar malzemesi fiyatlarının da dâhil olduğu toplam yatırım maliyetleri ile birlikte incelenmesi gerekmektedir. Optimum yalıtım kalınlık değerleri beş derece gün bölgesi içinde irdelenmeden önce eşitlik 3.25'te yalıtım kalınlığı değerinin hangi şartlardan etkilendiğini incelemek gerekmektedir.

Tablo 4.3.Yapı malzemesinin yatay delikli tuğla olarak seçildiği kombinasyonlar

Malzeme	Kalınlık(m)	Isıl iletkenlik katsayısı, λ(W/mK)	Isıl direnç, $R_d(m^2K/W)$
İç yüzey			0,130
İç sıva(Çimento Harcı)	0,01	1,600	0,006
Yatay Delikli Tuğla	0,20	0,330	0,606
Dış sıva	0,01	1,600	0,006
Dış Yüzey			0,040
R_d(Toplam ısıl geçirgenlik direnci)			0,788
U(1/R), W/m^2K			1,269

Çalışma sonucunda ve yapılan literatür araştırmaları ışığında Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de de görüldüğü gibi ısı yalıtım malzemesinin olmadığı kombinasyonlarda toplam ısıl geçirgenlik değeri olması gereken değerlerin dışında kalmıştır. Toplam ısıl iletkenlik değerinin meydana çıkardığı durum ile birlikte tartışmaya açılan bu konuda yapılacak olan yalıtım sistemini ve kullanılacak olan ısı yalıtım malzemesinin yapı için verebileceği enerji verimi, ısıl konforu ve ekonomik faydaları tartışılabilecektir.

Çalışmada kullanılan ısıtma enerjileri ışığında kombinasyonlar kıyaslandığında doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlarda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin ve toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin diğer kombinasyonlara kıyasla daha avantajlı durumda olduğu görülmektedir. Kullanılan enerji kaynaklarına ait olan verimlere bakıldığı durumlarda sırasıyla verim yüzdesinin elektrikte %99, doğalgazda %92 ve kömürde ise %65 olduğu bilinmektedir Ancak alt ısıl değerlere bakıldığında ise doğalgazın sırasıyla kömür ve elektrikten yüksek alt ısıl değerde olmasından dolayı elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerleri ve bu değerlere bağlı olan maliyet değerleri de doğalgazı daha avantajlı duruma getirmektedir. Maliyet değerleri olarak yalıtımın bir bütün olarak düşünüldüğünü unutmamak gerekmekte ve duvar malzemesinin fiyatlarının da dâhil edilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu sebepten dolayı çalışmada yer alan enerji kazancına ait grafikler yakıt olarak doğalgazın kullanıldığı durumlarda oluşturulmuştur.

Optimum yalıtım kalınlık değerlerinde yıllık tasarrufun yakıt maliyeti ile doğru orantılı olduğu için, yıllık yakıt maliyeti arttıkça enerji türüne ait yıllık tasarruf miktarı da artmaktadır. Bu durum literatürde var olmakla birlikte, bu çalışmada da ilgili

şekillerde yer almaktadır. Çalışmada kullanılan duvar malzemeleri açısından bakıldığında ise ısıl iletkenlik değeri diğer malzemelere kıyasla daha düşük değerde olan malzemenin bulunduğu kombinasyonlarda, yıllık tasarruf maliyet miktarının daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu konu ile ilgili gazbetonda tasarruf maliyet miktarının en düşük, yatay delikli tuğlanın bulunduğu kombinasyonlarda ise tasarruf maliyet miktarlarının diğer duvar malzemelerine kıyasla daha yüksek, duvar malzemesi olarak kullanılan bimsbloklarda ise gazbetona oranla biraz daha yüksek değerlerde olduğu saptanmıştır. Ancak duvar malzemesi maliyetlerinin dâhil edildiği toplam yatırım maliyetlerinde bu durumdan bahsedilememektedir. Yatırım maliyeti açısından gazbeton 43,33 TL/m^2 ile en pahalı duvar malzemesi olmakta ve gazbetonu 26,68 TL/m^2 ile yatay delikli tuğla ve 15,11 TL/m^2 ile bimsblok takip etmektedir. Dolayısı ile gazbeton sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayı değerinden dolayı ısı yalıtımına diğer duvar malzemelerine oranla daha fazla fayda sağlayarak optimum yalıtım kalınlık değerlerini düşürmesine rağmen, yüksek maliyetinden dolayı toplam yatırım maliyetlerinde diğer duvar malzemelerine oranla daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Bu konu ile ilgili grafikler çalışmada yer alan illerin başlıkları altında incelenmiştir. Çalışmada belirlenen Adana, Kocaeli, Ankara, Van ve Ardahan illeri ile ilgili hesaplamalarda kullanılan derece gün sayıları, denge sıcaklığının 18 ºC olarak alınmasıyla hesaplanmıştır. Bu değerlerin literatürde denge sıcaklığının değişmesi ile birlikte farklı değerlerde olduğu bilinmektedir. Çalışma verilerinin literatürde yer alan benzer olabilecek çalışmalar ile kıyaslanması amacıyla denge sıcaklığı değeri 18 ºC olarak alınmıştır.

4.1. Birinci Bölge: Adana

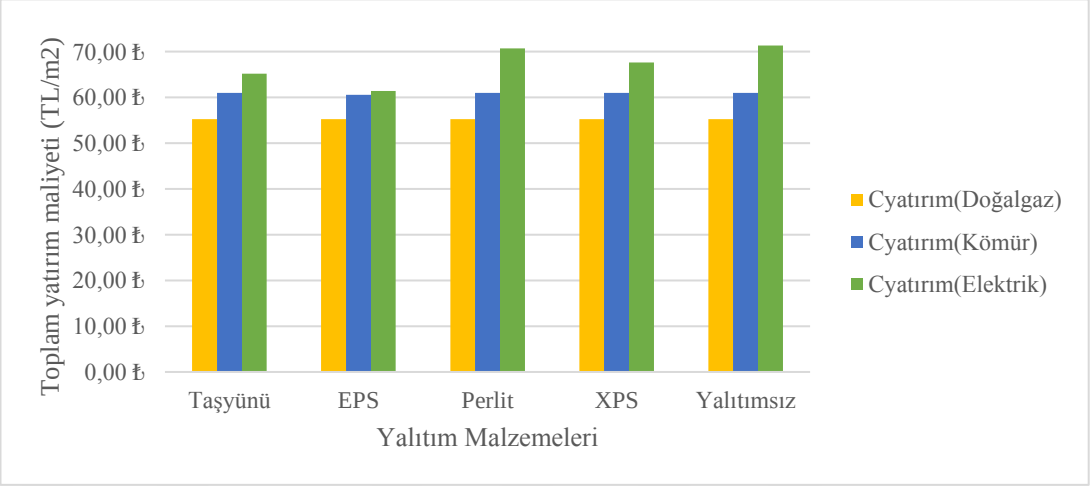
Çalışmada ülkemizde birinci bölgede yer alan Adana ili için TS 825' te yer alan veriler ışığında hesaplamalar yapılmıştır. Adana ilinin birinci bölgede ve sıcak iklimin etkisi altında yer aldığından dolayı elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarında seçilen Kocaeli, Ankara, Van ve Ardahan illeri ile kıyaslandığında, Adana ilinde daha düşük verilere ulaşılmıştır. Adana ili için oluşturulan kombinasyonlarda duvar bileşeni için gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğla gibi duvar malzemelerinin kullanıldığı kombinasyonlar ile ilgili yapılan hesaplamalarda elde edilen veriler aşağıda yer almaktadır.

Tablo 4.4'de de görüldüğü gibi hesaplamalar sonucunda Adana ili için yapı malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı ve yalıtımsız duruma da ait olan veriler yer almaktadır. Adana ilinin birinci derece gün bölgesinde yer alması dolayısı ile hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları, yakıt olarak doğalgaz ve kömürün kullanıldığı durumda sıfır gibi değerler almıştır. Ancak bu değerler değerlendirilmeden önce eşitlik 3.24'e bakılması gerektiği ve optimum yalıtım kalınlık değerinin bağlı olduğu koşullardan nasıl etkilendiği hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Yakıt olarak elektrik enerjisinin kullanıldığı durumda ise 5 cm' e kadar yalıtım kalınlıkları hesaplamıştır. Yalıtımın olmadığı ve yapı malzemesinin gazbeton olarak kullanıldığı durumda toplam ısıl geçirgenlik değerinin birinci bölge için yeterli olduğu tabloda yer almaktadır. Aynı zamanda kombinasyonlardaki kalınlık değerlerinin değiştirilmesi ile birlikte optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de değişeceği unutulmamalıdır. Çalışmada duvar malzemesine ait olan kalınlık değerleri tüm hesaplamalarda dâhil edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo incelenirken hesaplamalarda kullanılan derece gün yönteminin 18 ºC denge sıcaklığı temel alınarak hesaplandığı ve gazbetonun ısıl iletkenlik değerinin 0,15 λ (W/mK) olduğu unutulmamalıdır.

Tablo 4.4. Adana ilinde gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,000	0,000	0,036
EPS	0,000	0,011	0,054
Perlit	0,000	0,000	0,011
XPS	0,000	0,000	0,022
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,660	0,660	0,414
EPS	0,660	0,555	0,349
Perlit	0,660	0,660	0,582
XPS	0,660	0,660	0,469
Yalıtımsız Durum	0,660	0,660	0,660

Aşağıdaki şekilde hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ile hesaplanmış olan toplam yatırım maliyetleri yer almaktadır.



Şekil 4.1. Gazbetonda yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Adana)

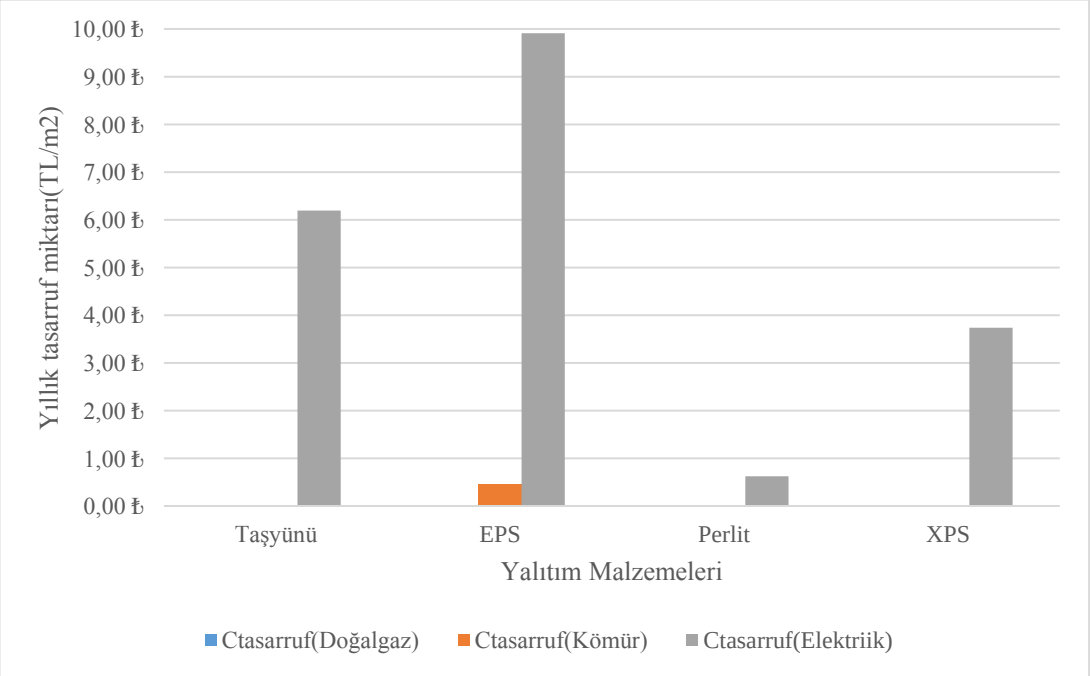
Şekil 4.1 incelendiğinde ısıtma enerjisi olarak doğalgaz ve kömürün kullanıldığı durumda hesaplamalar sonucunda yalıtıma ihtiyaç olmadığı, dolayısıyla optimum yalıtım kalınlığının çıkmadığı görülmüştür. Eşitlik 3.25 incelendiği durumda optimum yalıtım kalınlığının birçok değişkene bağlı olduğu görülmektedir. Herhangi bir yalıtım malzemesinin kullanılmadığı durumda toplam yatırım maliyetinin, yalıtım malzemesinin kullanıldığı durumlara kıyasla daha yüksek bir maliyette olduğu görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlık değerleri 0 olarak çıktığı için, doğalgaz ve kömür için 50-60 TL/m^2 olan yalıtımsız durumdaki toplam yatırım maliyeti kombinasyonlarda aynı olarak çıkmıştır. EPS malzemesine elektrik enerjisi kullanımında bakıldığında 60 TL/m^2'ye yakın bir değerde yer alarak diğer yalıtım malzemelerine oranla düşük bir yatırım maliyetine sahip olmuştur.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi ve yapılan literatür araştırmaları sonucunda optimum yalıtım kalınlığının olduğu kombinasyonlarda yalıtım kalınlığından dolayı kullanılan enerji maliyetinin azaldığı saptanmış ve toplam yatırım maliyetinin optimum yalıtım kalınlığında minimum bir değerde yer aldığı belirlenmiştir. Yalıtım maliyeti eşitlik 3.21'de de görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı ile doğru orantılıdır. Şekil 4.1'de ve çalışmada yer alan ilgili diğer tüm durumlarda yalıtım kalınlığının artması ile birlikte yalıtım maliyetinin de artacağı unutulmamalıdır.

Yalıtım malzemelerine bakıldığında optimum yalıtım kalınlıklarında perlitli sıva malzemesinin maliyetinin XPS dışındaki diğer yalıtım malzemelerinden yüksek olmasından dolayı toplam yatırım maliyetinde de diğer yalıtım malzemelerine kıyasla yüksek değerlerde olmaktadır. Ancak XPS malzemesinin sahip olduğu 0,035 W/mK ısıl iletkenlik katsayısından dolayı ısı geçişlerine perlit malzemesine oranla daha fazla direnç gösterecek ve yıllık ısıtma maliyetini düşürecektir. Bu durumdan dolayı XPS malzemesi perlit malzemesinden daha yüksek fiyatta olmasına rağmen toplam yatırım maliyeti açısından perlit malzemesi kullanımından daha az maliyetli olmaktadır. Gazbetonun kullanıldığı bu kombinasyonlarda EPS kullanımının XPS ve taşyünü malzemelerinden kısmen daha az maliyetli olduğu görülmektedir.

Adana ili için gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlarda toplam ısıtma maliyetinin hesaplanması ile birlikte kullanılan enerji türlerinin optimum yalıtım kalınlıklarında tasarruf maliyet miktarlarının ne gibi değerler aldığı irdelenmelidir.

Tasarruf maliyetleri bakımından ısıl iletkenlik katsayı değerlerinin düşük olduğu duvar malzemelerinde ısı yalıtımına yapacakları katkılardan dolayı ısıtma maliyetlerinin düşmesini sağlayarak tasarruf maliyetlerinin daha düşük değerlerde olmasına neden olacaktır. Aşağıdaki şekilde ilgili grafik yer almaktadır.



Şekil 4.2. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Adana)

Yukarıdaki şekilde Adana ili için duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara ait yıllık tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır. Şekildeki grafik eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Adana ili ülkemizde bulunan birinci derece gün bölgesinde yer aldığından dolayı yıllık tasarruf maliyet miktarları diğer illerde yer alan gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara göre daha düşük değerler almaktadır. Maliyet açısından 206 TL/m^2 değerine sahip olan EPS malzemesinde tasarruf maliyeti açısından 10 TL/m^2 değerine yaklaşarak en tasarruflu malzeme olduğunu göstermektedir. EPS malzemesini 6 TL/m^2 maliyeti ile taşyünü takip etmektedir.

Enerji türlerine bakıldığı durumda genel itibari ile elektrik enerjisinin maliyeti diğer enerji türlerine göre daha yüksek olduğundan dolayı yıllık tasarruf maliyet miktarı da yüksek çıkmaktadır. Şekilde de görüleceği gibi yalıtım malzemesinin EPS olarak kullanıldığı durumda doğalgaza ait olan yıllık tasarruf maliyet miktarı diğer enerji türlerinden yüksek çıkmıştır. Bu durum EPS malzemesinin diğer duvar malzemelerine oranla daha düşük maliyette olmasından dolayı, yalıtım maliyeti daha düşük olmakta ve yalıtımsız durumdaki toplam yatırım maliyeti ile yalıtımlı durumdaki toplam yatırım maliyeti arasındaki fark büyümesinden kaynaklanmakta ve tasarruf edilmektedir. Diğer duvar malzemelerini değerlendirmeden önce duvar malzemesi olarak bimsblokların ve tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda hangi değerlerin olduğuna bakmak gerekmektedir.

Aşağıdaki tabloda duvar malzemesi olarak bimsbloklarının kullanıldığı kombinasyonlarda hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar sonucu elde edilmiş toplam ısıl geçirgenlik katsayıları yer almaktadır.

Tablo 4.5'de görüldüğü gibi hesaplamalar sonucunda Adana ili için yapı malzemesi olarak bimsblokların kullanıldığı kombinasyonlar ve yalıtımsız duruma ait olan veriler yer almaktadır. Optimum yalıtım kalınlıklarının gazbetona kıyasla yüksek çıktığı tabloda görülmektedir. Her üç enerji türüne de bakıldığında optimum yalıtım kalınlık değerlerinin 8 cm'e kadar çıktığı anlaşılmaktadır. Toplam ısıl geçirgenlik değerlerine bakıldığında ise optimum yalıtım kalınlığının artması ile birlikte yalıtımsız duruma ait olan toplam ısıl geçirgenlik değerinin de azaldığı görülmektedir. Toplam ısıl

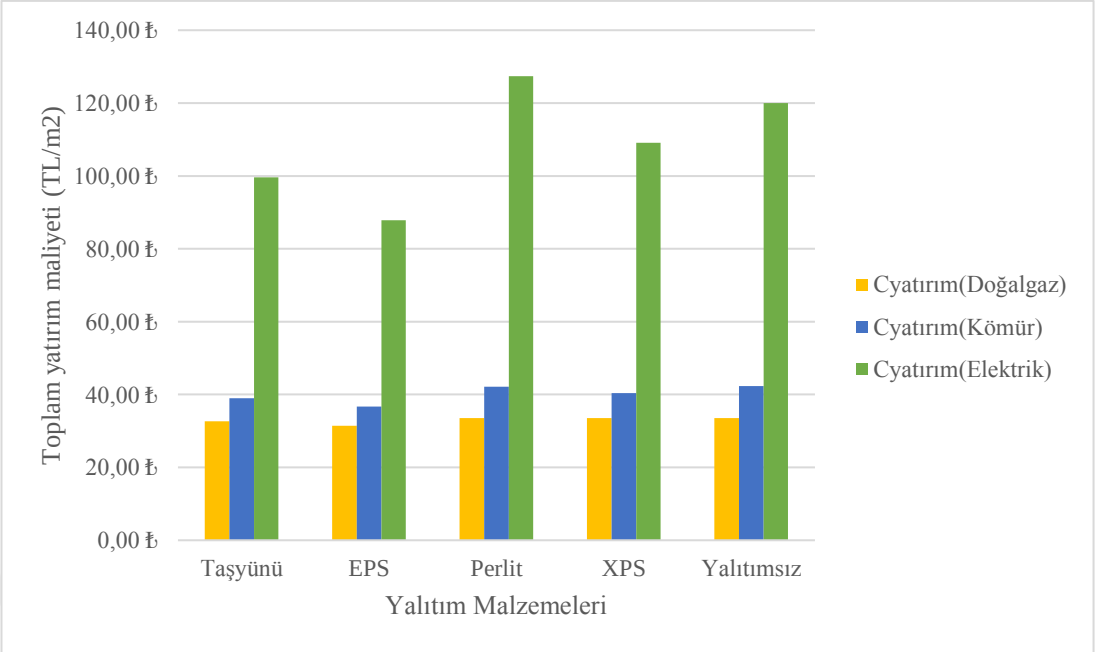
geçirgenlik değerinin genel itibari ile 0,66 W/m^{2}K değerinin altında ve değere yakın olduğu görülmektedir. Yalıtım kalınlığının literatür araştırması sonucunda belirlenen hesaplamalara göre yapılmasına rağmen optimum yalıtım kalınlığına bağlı olarak hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik sayısının dışında kaldığı görülmektedir. Bu durumun belirlenen kombinasyonlardaki kalınlıklar veya malzemeler değiştirilerek giderilebileceği unutulmamalıdır.

Tablo 4.5. Adana ilinde bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,011	0,021	0,057
EPS	0,020	0,033	0,075
Perlit	0,000	0,005	0,041
XPS	0,000	0,013	0,040
Yalıtımsız Durum	0,000	0,00	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,801	0,658	0,414
EPS	0,675	0,555	0,349
Perlit	1,018	0,925	0,582
XPS	1,018	0,746	0,469
Yalıtımsız Durum	1,018	1,018	1,018

Bimsbloğun olduğu durumlarda optimum yalıtım kalınlıklarının hesaplamalar sonucunda ortaya çıkmasıyla, enerji ısıtma maliyetinin yalıtım maliyeti ve duvar malzemesi maliyetleri ile oluşturduğu toplam yatırım maliyeti hakkında konuşmak mümkün olmaktadır.

Aşağıdaki şekilde ilgili kombinasyonlara ait optimum yalıtım kalınlık değerlerine ait toplam yatırım maliyetleri yer almaktadır.

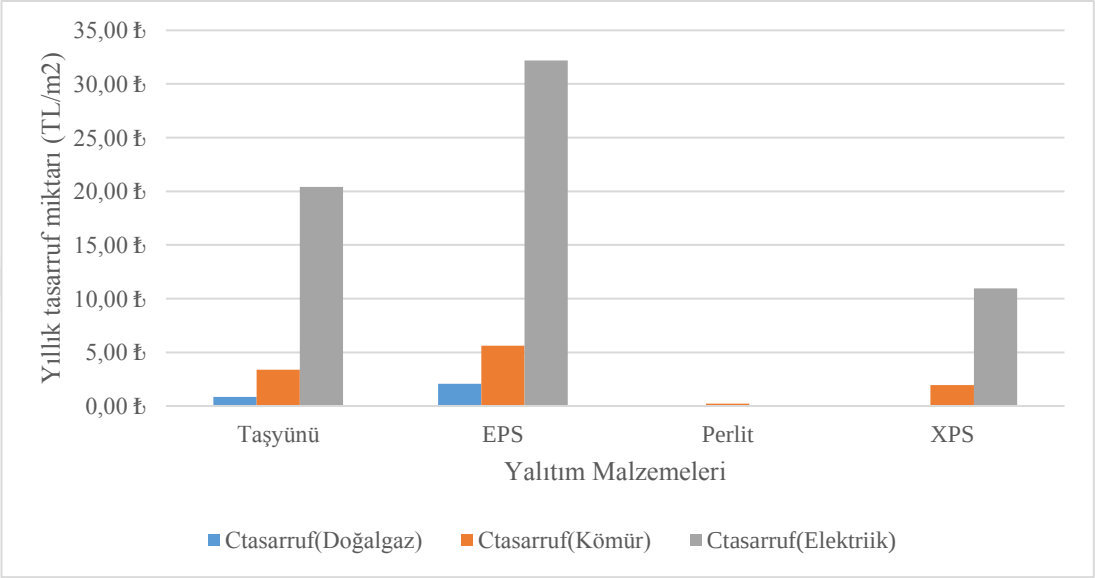


Şekil 4.3. Bimsblokta yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Adana)

Şekil 4.3'de duvar malzemesinin bimsblok olarak kullanıldığı kombinasyonlara ait veriler yer almaktadır. Optimum kalınlıklar kıyaslandığında ısıtma enerjisinin elektrik olarak kullanıldığı kombinasyonlarda diğer değerlere kıyasla yüksek değerlerin çıkması yalıtım maliyeti, toplam ısıtma maliyeti ve toplam yatırım maliyeti açısından elektrik enerjisinin ısıtmada kullanılmasını dezavantajlı duruma düşürmektedir. EPS kullanımında yalıtımsız durumdaki toplam yatırım maliyeti 120 TL/m^2 iken optimum yalıtım kalınlığında uygulanan EPS ile 90 TL/m^2 gibi en düşük yatırım maliyeti değeri görülmüştür. Perlit malzemesi maliyet açısından XPS'den daha ucuz bir malzeme olmasına rağmen yüksek ısıl iletkenlik katsayısından dolayı yalıtımsız durumdaki toplam yatırım maliyeti olan 120 TL/m^2 maliyetini aştığı görülmektedir. Aynı zamanda elektrik enerjisinin kullanıldığı durumda optimum yalıtım kalınlığının toplam yatırım maliyetini belli bir minimum seviyede tutması beklenirken, perlitli sıva malzemesinin kullanıldığı durumda, maliyetinden dolayı yalıtımsız duruma ait olan yatırım maliyeti, yalıtımın olduğu durumdan düşük çıkmıştır.

Optimum yalıtım kalınlığında toplam enerji maliyetleri minimum bir değer gördükten sonra tekrar logaritmik bir şekilde arttığı literatürdeki araştırmalarda yerini almıştır. EPS malzemesinin kullanıldığı durumlarda toplam yatırım maliyetlerinin gördüğü değerler EPS'yi daha avantajlı hale getirmektedir.

Elde edilen veriler ışığında toplam yatırım maliyetinin yüksek değerlerde olduğu kombinasyonlarda enerji tasarruf maliyet miktarlarının da bu duruma paralel olarak arttığı belirlenmiştir. Bu durumun yapılan literatür araştırmaları sonucunda aynı şekilde seyrettiği görülmüştür. Aşağıdaki şekilde bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara ait veriler yer almaktadır.



Şekil 4.4. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Adana)

Şekil 4.4'de Adana ili için duvar malzemesinin bimsblok olarak kullanıldığı kombinasyonlara ait optimum yalıtım kalınlığındaki enerji türlerinin yıllık tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır. Yalıtım kalınlıklarının belirginleşmesi ile birlikte tasarruf miktarları da belirginleşmiştir. Kömür ve elektrik kullanımında tüm tasarruf değerleri yer almaktadır. EPS'nin üç yakıt türü içinde sırasıyla doğalgazda 0-5 TL/m^2 aralığında, kömür kullanımında 5 TL/m^2 ve elektrik kullanımında 30-35 TL/m^2 aralığında yer alarak en tasarruflu malzeme olmaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Adana ilinin birinci derece gün bölgesinde ve diğer illere kıyasla daha sıcak bir bölgede yer almasının etkisi Şekil 4.4'de de görülmektedir.

Derece gün sayısının düşük olduğu illerde yakıt maliyetlerinin derece gün sayısının yüksek olduğu illere kıyasla daha düşük çıktığı yine Şekil 4.4'de anlaşılmaktadır. Enerji tasarruf maliyetlerine bakıldığında ise birinci bölgede yer alan illerde çıkan sıfıra yakın yalıtım kalınlık değerlerinden dolayı bazı tasarruf maliyet değerlerinde

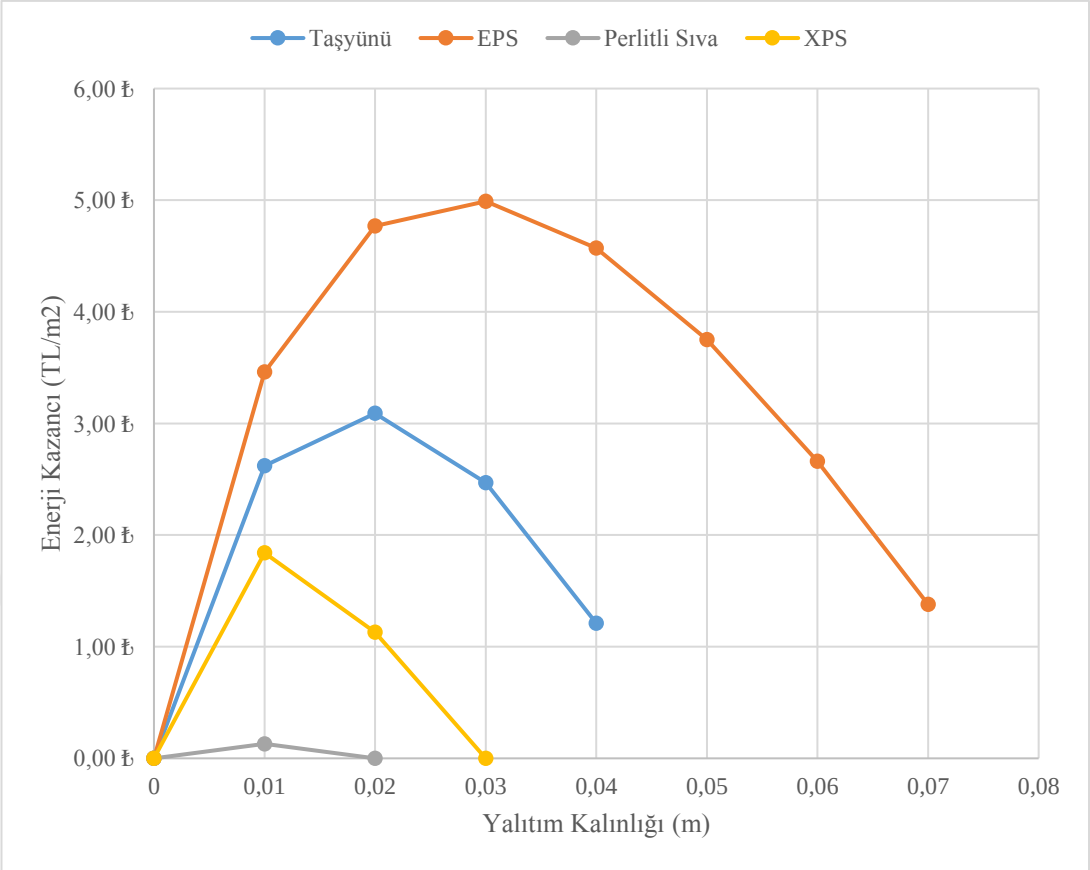
eksi değerler yer almaktadır. Bu durum Şekil 4.4'de elektrik enerjisinin kullanıldığı kombinasyonlarda yer almaktadır.

Adana iline ait verilerin değerlendirildiği bu kısımda duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı durumda optimum yalıtım kalınlıklarının, ısıtma maliyetlerinin ve optimum yalıtım kalınlıklarındaki enerji tasarruf maliyet miktarlarının gazbeton ve bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlar ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Değerlendirme yapılırken yalıtımın duvar malzemeleri ile bir bütün halinde düşünülmesi ve bundan dolayı duvar malzemelerinin maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Böylece kullanılacak duvar malzemesinin seçimi ile bu değerlerin nasıl değiştiği veya yatay delikli tuğlanın sahip olduğu ısıl iletkenlik değerinin nasıl bir etki yaptığı ile ilgili daha rasyonel sonuçlara ulaşılacaktır. Aşağıdaki tabloda yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlara ait optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile hesaplanmış toplam ısıl geçirgenlik değerleri yer almaktadır.

Tablo 4.6'da da görüldüğü gibi hesaplamalar sonucunda Adana ili için yapı malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlar ve yalıtımsız duruma ait olan veriler yer almaktadır. Tablo 4.6'da da Tablo 4.5'dekine benzer bir durum meydana gelmektedir.

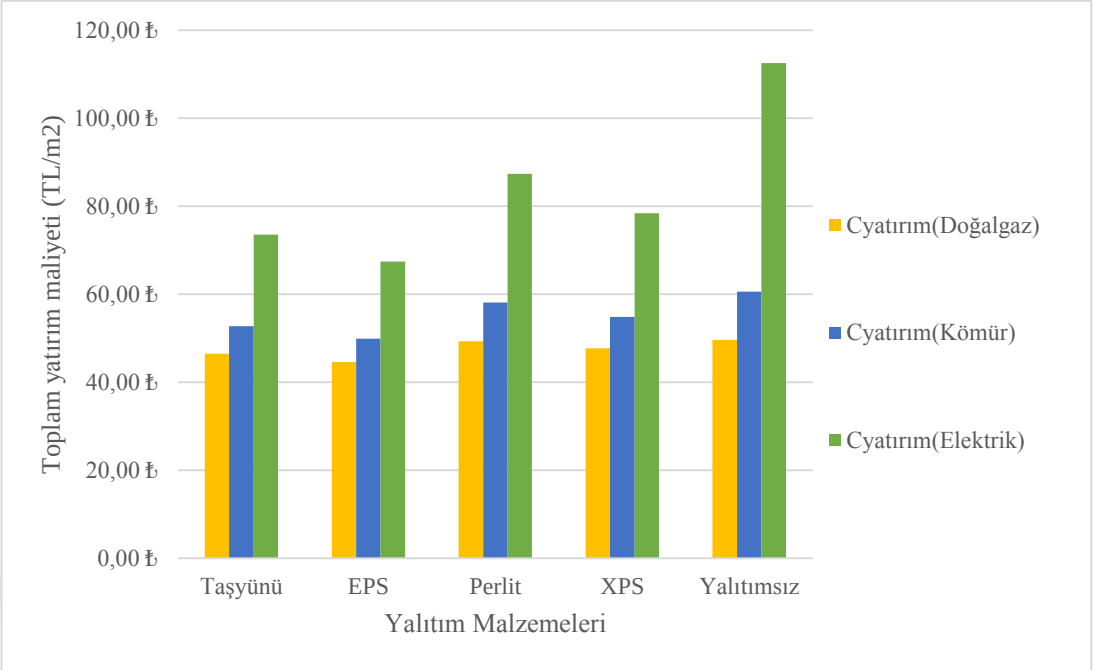
Tablo 4.6. Adana ilinde yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,018	0,029	0,065
EPS	0,028	0,041	0,083
Perlit	0,005	0,016	0,051
XPS	0,011	0,019	0,047
Yalıtımsız Durum	0,000	0,00	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,801	0,658	0,414
EPS	0,675	0,555	0,349
Perlit	1,126	0,925	0,582
XPS	0,907	0,746	0,469
Yalıtımsız Durum	1,268	1,268	1,268



Şekil 4.5. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğlanın ve doğalgazın kullanımında yalıtıma ait enerji kazançları (Adana)

Şekil 4.5'de duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı durumda, yalıtım kalınlığının artması ile birlikte gerçekleşen enerji tasarruf miktarları dört yalıtım malzemesi için de yakıt enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı durumda hesaplanmıştır. Şekil 4.5'in oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Yalıtım kalınlığının optimum değere gelmesi ile birlikte enerji tasarruf değeri de maksimum değere ulaşmıştır. Optimum yalıtım kalınlıklarındaki tasarruf miktarları EPS malzemesinde 5 TL/m^2, taş yününde 3 TL/m^2, XPS kullanımında 2 TL/m^2 ve perlit kullanımında 0-1 TL/m^2 aralığında yer almıştır. Yalıtım kalınlığının, yakıt olarak doğalgaz ve duvar malzemesi olarak gazbeton ve bimsbloğun kullanıldığı birinci derece gün bölgesinde çıkmadığından dolayı, enerji tasarruf eğrileri çıkartılmamıştır. Aşağıdaki şekilde yalıtım kalınlıklarının değişmesi ile birlikte toplam ısıtma maliyetlerinin nasıl değiştiği görülmektedir.

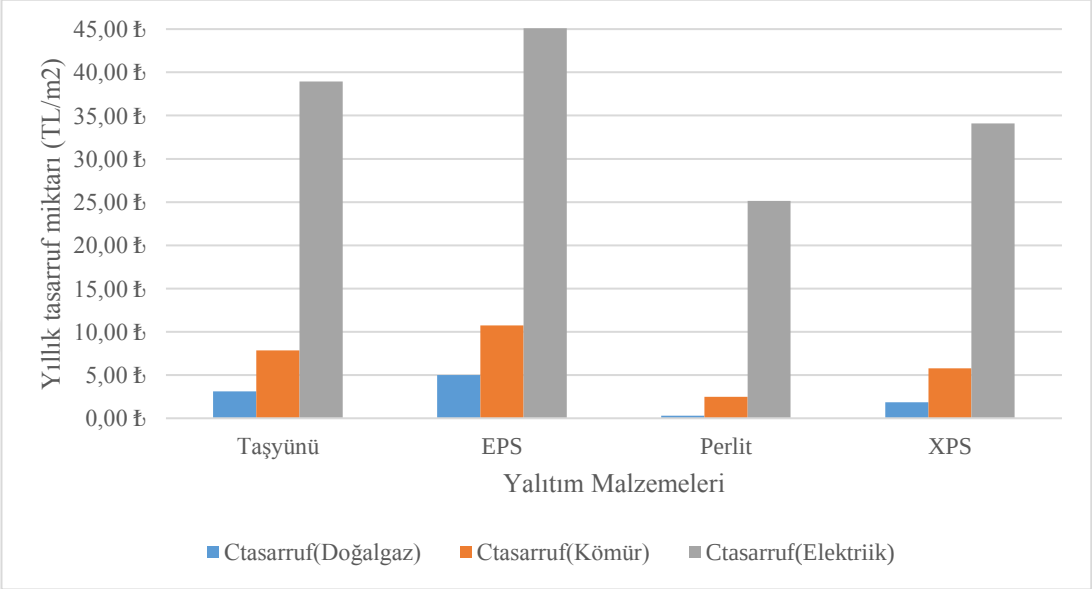


Şekil 4.6. Yatay delikli tuğlada toplam yatırım maliyetleri (Adana)

Şekil 4.6'da duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlara ait veriler yer almaktadır. Toplam yatırım maliyetlerine bakıldığında EPS malzemesinin kullanıldığı kombinasyonlarda diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha düşük değerler aldığı yatay delikli tuğlada da görülmektedir. Yalıtımsız durumdaki doğalgaz enerjisi kullanımında 50 TL/m^2 olan yatırım maliyeti EPS malzemesinde 40-45 TL/m^2 gibi diğer yalıtım malzemelerine oranla daha düşük bir değerde yer almaktadır. Kömür enerjisi kullanımında EPS yine daha az maliyetli ama taş yünü maliyetine bakılınca iki malzemede 50 TL/m^2 sınırında yer almaktadır. Perlitli sıva malzemesinin diğer yalıtım malzemelerine kıyasla dezavantajlı olduğu bu durumda EPS ve XPS malzemeleri ile taş yününün olduğu kombinasyonlarda toplam ısıtma maliyetlerinin yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Derece gün değerleri değiştikçe bu durumun değişebileceği de unutulmamalıdır.

Adana ili için toplam ısıtma maliyetleri gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğlanın olduğu kombinasyonlarda irdelenirken toplam yatırım maliyetinin ısıtma maliyeti, yalıtım maliyeti ve duvar malzemesi maliyetlerinin toplamından oluştuğu bilinmelidir. Bu durum optimum yalıtım kalınlık değerlerinin her ne kadar toplam yatırım maliyetlerini belli bir minimum değerde tutsa bile ilgili yalıtım malzemelerinin kullanılması durumunda, yalıtım malzemelerinin maliyetlerinin de önemli olduğunu

göstermektedir. Yatay delikli tuğlanın kullanılması durumunda gazbeton ve bimsbloğun kullanıldığı durumlarından toplam ısı maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı tasarruf maliyet miktarlarının da yüksek değerlerde olduğu belirlenmiş ve aşağıdaki şekilde ilgili verilere yer verilmiştir.



Şekil 4.7. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Adana)

Şekil 4.7'de duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlara ait yıllık enerji tasarruf maliyet verileri yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Yatay delikli tuğla sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayı değerinin 0,33 W/mK gibi çalışmada kullanılan diğer duvar malzemelerine kıyasla daha yüksek bir değerde olmasından ve toplam ısıtma maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı Adana ili için yıllık enerji tasarruf maliyetinin en fazla sağlandığı duvar malzemesi olmaktadır. Yalıtım kalınlıklarının belirginleşmesi ile birlikte tasarruf miktarları da artış göstermektedir. EPS malzemesini maliyet açısından taş yünü takip etmektedir. Dört yalıtım malzemesine de kömür enerjisi kullanımında bakıldığında taş yünü 5-10 TL/m^2 aralığında, EPS 10 TL/m^2, perlit 0-5 TL/m^2 aralığında ve XPS ise 5 TL/m^2 değerinde yer almaktadır. Yatırım maliyeti açısından da gaz betondan daha avantajlı olduğunu unutmamak gerekmektedir. Optimum yalıtım kalınlıklarının yatay delikli tuğlada ısıtma enerjisinin doğalgaz olarak kullanıldığı kombinasyonlarda daha düşük çıkmasından dolayı yıllık tasarruf maliyet miktarları da aynı ölçüde düşmüştür.

4.2. İkinci Bölge: Kocaeli

Çalışmada ülkemizde birinci bölgede yer alan Kocaeli ili için TS 825'te yer alan veriler ışığında hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda Kocaeli için derece gün değeri 18 ºC denge sıcaklığı temel alınarak hesaplanmıştır. Yapılan literatür araştırmaları ve bu çalışma sonucunda, birinci derece gün bölgesinden uzaklaştıkça optimum yalıtım kalınlık değerlerinin arttığı saptanmıştır.

Bu bölümde, elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerleri kullanılarak bölgelere ait olan ve üç duvar malzemesine ait olan kombinasyonlardaki değerler için hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik değerleri yer almaktadır. Yakıt enerjisi olarak kullanılacak enerji kaynaklarının optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisi görülmektedir. Böylelikle kullanılacak yalıtım malzemesinin hangi yakıt türünde ve hangi duvar malzemesi türünde daha avantajlı olduğu bu çalışmada olduğu gibi irdelenmelidir.

Çalışmada hesaplamalarda kullanılan duvar malzemeleri dikkate alındığında diğer illerde olduğu gibi Kocaeli'de de yalıtımsal getirileri açısından gazbeton diğer duvar malzemelerine kıyasla daha avantajlı durumda yer almaktadır. Yatırım maliyeti açısından duvar malzemelerinin bulunduğu kombinasyonlar incelendiğinde bimsblok daha avantajlı durumda kalmaktadır.

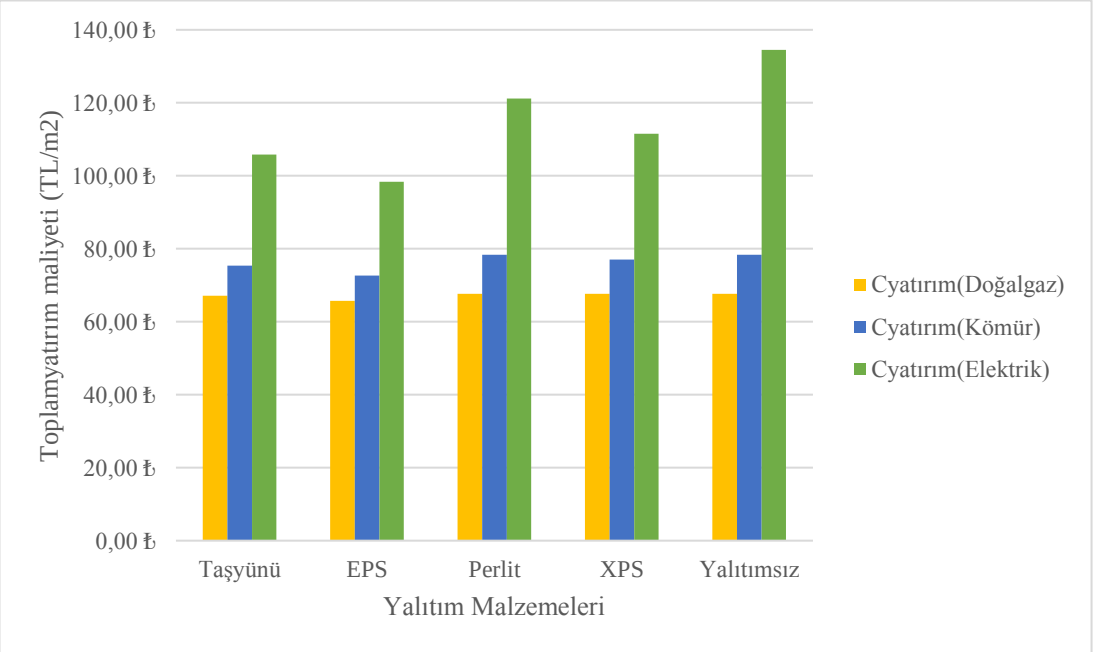
Tablo 4.7'de duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlarda hesaplamalar sonucu elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerleri ve optimum yalıtım kalınlık değerlerinin kullanılarak hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik değerleri yer almaktadır. Tabloda yer alan veriler yalıtım malzemelerine göre kıyaslanırsa EPS malzemesinin kullanıldığı kombinasyonlarda diğer yalıtım malzemelerine göre daha düşük ısıl geçirgenlik katsayıları elde edilmiştir.

Tablo 4.7'de Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin doğalgazın kullanıldığı durumda düşük olduğu görülmektedir. Doğalgaz enerjisinin sahip olduğu alt ısıl değer, sırası ile kömür ve elektrik enerjisinden daha yüksek olduğu çalışmada da yerini almaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin her derece gün bölgesi için değerlendirilmeden önce bu çalışmada yer alan metot kısmında eşitliklerdeki formüllerin irdelenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Tablo 4.7. Kocaeli ilinde gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara ait optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,011	0,025	0,077
EPS	0,024	0,041	0,103
Perlit	0,000	0,000	0,052
XPS	0,000	0,013	0,054
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,561	0,467	0,290
EPS	0,472	0,394	0,244
Perlit	0,660	0,657	0,407
XPS	0,660	0,529	0,328
Yalıtımsız Durum	0,660	0,660	0,660

Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin belirlenmesi ile birlikte gazbetonun kullanıldığı bu kombinasyonlarda toplam yatırım maliyeti ve yalıtıma ait tasarruf maliyet miktarlarına bu bilgiler ışığında bakılabilmektedir. Derece gün bölgesi değiştikçe illerdeki aynı duvar malzemesi kullanımında derece gün değerlerinin toplam yatırım maliyetleri üzerindeki etkisi de tartışılabilecektir.



Şekil 4.8. Gazbetonda toplam yatırım maliyetleri (Kocaeli)

Şekil 4.8'de Kocaeli ili için duvar malzemesinin gazbeton olarak kullanıldığı duruma ait veriler yer almaktadır. Çalışmada yer alan kombinasyonlarda duvar malzemeleri kıyaslanması açısından duvar malzemesi kalınlığı olarak 20 cm gibi sabit bir kalınlık değeri alınmıştır.

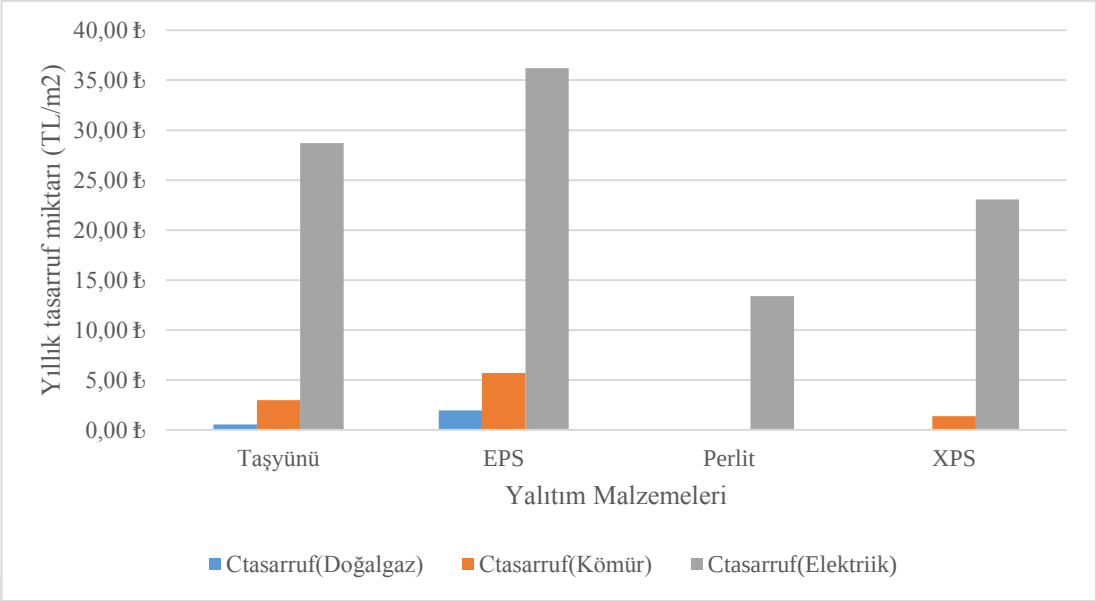
Gazbeton diğer duvar malzemeleri ile kıyaslandığında, gazbetonun sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayısının 0,15 W/m^2K gibi düşük bir değerde olmasından dolayı hem optimum yalıtım kalınlığı açısından avantajlı duruma gelmektedir. Ancak gazbetona ait maliyetin yüksek olmasından dolayı diğer duvar malzemelerinin gerisinde kalmaktadır. Aynı zamanda kombinasyonlarda yer alan kalınlık değerlerinin değiştirilmesi ile birlikte hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de değişebileceği unutulmamalıdır.

Yalıtım malzemesinin perlitli sıva ve XPS olarak kullanıldığı durumda optimum yalıtım kalınlığı değerinin sıfıra yakın bir değerde olduğu toplam yatırım maliyeti değerinin de yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyeti arasında belirli bir farkın olmadığı görülmektedir.

Elektrik enerjisi kullanımında; yalıtımsız durumda 140 TL/m^2 değerine yakın EPS'ye bakıldığında, EPS 100 TL/m^2 altına düşen tek yalıtım malzemesidir. Taş yünü kullanımında 100 TL/m^2 değerine yakın bir değerde olunmakta, ancak perlit ve XPS kullanımında 130 TL/m^2 değerini geçerek 140 TL/m^2 değerine yaklaşmaktadır. Perlitli sıva malzemesine ait olan değerler değerlendirilirken eşitlik 3.24 incelenmesi gerekmektedir.

Eşitlik 3.25 incelendiği durumda, optimum yalıtım kalınlığının yalıtım malzemesinin maliyetine ve şimdiki değer faktörü ile faiz ve enflasyon oranına da bağlı olduğu görülmektedir. EPS kullanımının daha avantajlı olduğu görülmekte ve EPS malzemesini sırasıyla taş yünü ve XPS malzemeleri takip etmektedir.

Toplam yatırım maliyetlerinin belirlenmesi ile birlikte optimum yalıtım kalınlıklarındaki tasarruf maliyet miktarlarına bakılabilmektedir.



Şekil 4.9. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Kocaeli)

Şekil 4.9'da Kocaeli iline ait duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji türlerinden elde edilen yıllık tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Isıtma enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlarda doğalgaza ait ısıtma enerjisi maliyetinin düşük olmasından dolayı yıllık enerji tasarruf maliyet değeri de diğer yakıt türlerine göre daha düşük olmakta veya sıfır çıkmaktadır. Tasarruf maliyet miktarlarının elektrik enerjisinde 35-40 TL bandına yaklaştığı görülmektedir. EPS'yi 30 TL/m^2 bandına yaklaşan taş yünü takip etmektedir. Şekil 4.9'da yıllık tasarruf maliyet miktarlarının düşük çıkmasında duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı da unutulmamalıdır. Kullanılan yalıtım malzemelerine bakıldığında ise EPS malzemesinin kullanıldığı durumda yıllık tasarruf maliyet miktarlarının daha yüksek çıktığı görülmektedir. Çalışmada yer alan bimsblok ve yatay delikli tuğla kullanımında optimum yalıtım kalınlıklarında ortaya çıkan değerlere bakıldığında daha rasyonel yorumlar yapılabilecektir.

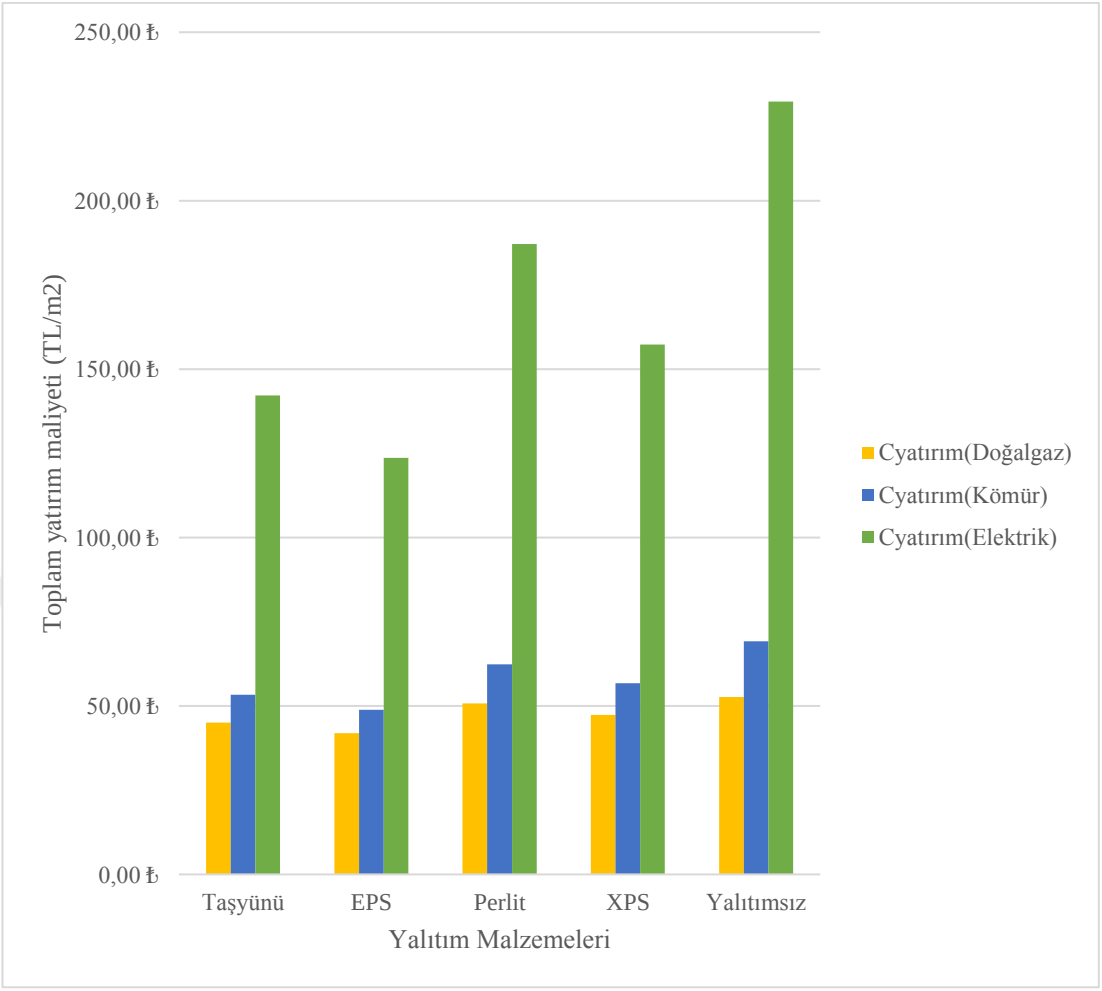
Bimsblokta optimum yalıtım kalınlık değerlerinin, toplam yatırırm maliyetlerinin ve enerji tasarruf maliyet miktarlarının gazbetona göre daha yüksek olduğu Kocaeli ili içinde hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Tablo 4.8'de optimum yalıtım kalınlık değerleri gazbetona kıyasla artmaktadır. Toplam ısıl geçirgenlik katsayılarının ısıtma enerjisi olarak elektriğin kullanıldığı durumlarda daha düşük çıktığı tabloda

görülmektedir. Optimum kalınlık değerlerine bakıldığında ısıtma enerjisinin elektrik olarak kullanıldığı durum da diğer kombinasyonlara kıyasla daha yüksek çıktığı tabloda anlaşılmaktadır. Sonuç olarak çalışmada yer alan diğer kombinasyonlar da incelendiğinde optimum yalıtım kalınlık değerlerinin artmasıyla toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin de olması gereken aralıklar arasına girdiği ve toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum yalıtım kalınlığının artması ile birlikte toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin düştüğünü göstermektedir. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin daha fazla belirginleştiği bu kombinasyonlarda optimum yalıtım kalınlığı açısından EPS malzemesinin diğer yalıtım malzemelerine oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir. Eşitlik 3.25 incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığını etkileyen parametrelerden ikisinin yalıtım malzemesinin ve kullanılan yakıt enerjisinin maliyetleri olduğu görülecektir. Dolayısı ile çalışmada kullanılan diğer yalıtım malzemelerinden daha yüksek ısıl iletkenlik değerine sahip olan perlitli sıva, daha yüksek yalıtım kalınlığı değerinin kısmen beklenilmesine rağmen taş yününde daha yüksek değerler elde edilmiştir. EPS malzemesini bu kombinasyonda sırası ile taş yünü ve XPS malzemeleri takip etmektedir.

Tablo 4.8. Kocaeli ilinde bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,032	0,046	0,099
EPS	0,045	0,062	0,125
Perlit	0,016	0,030	0,081
XPS	0,021	0,032	0,072
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,561	0,467	0,290
EPS	0,472	0,394	0,244
Perlit	0,788	0,657	0,407
XPS	0,635	0,529	0,328
Yalıtımsız Durum	1,018	1,018	1,018

Hesaplanan optimum kalınlık değerlerinden sonra bimsblok için toplam yatırım maliyetine bakılabilmektedir.

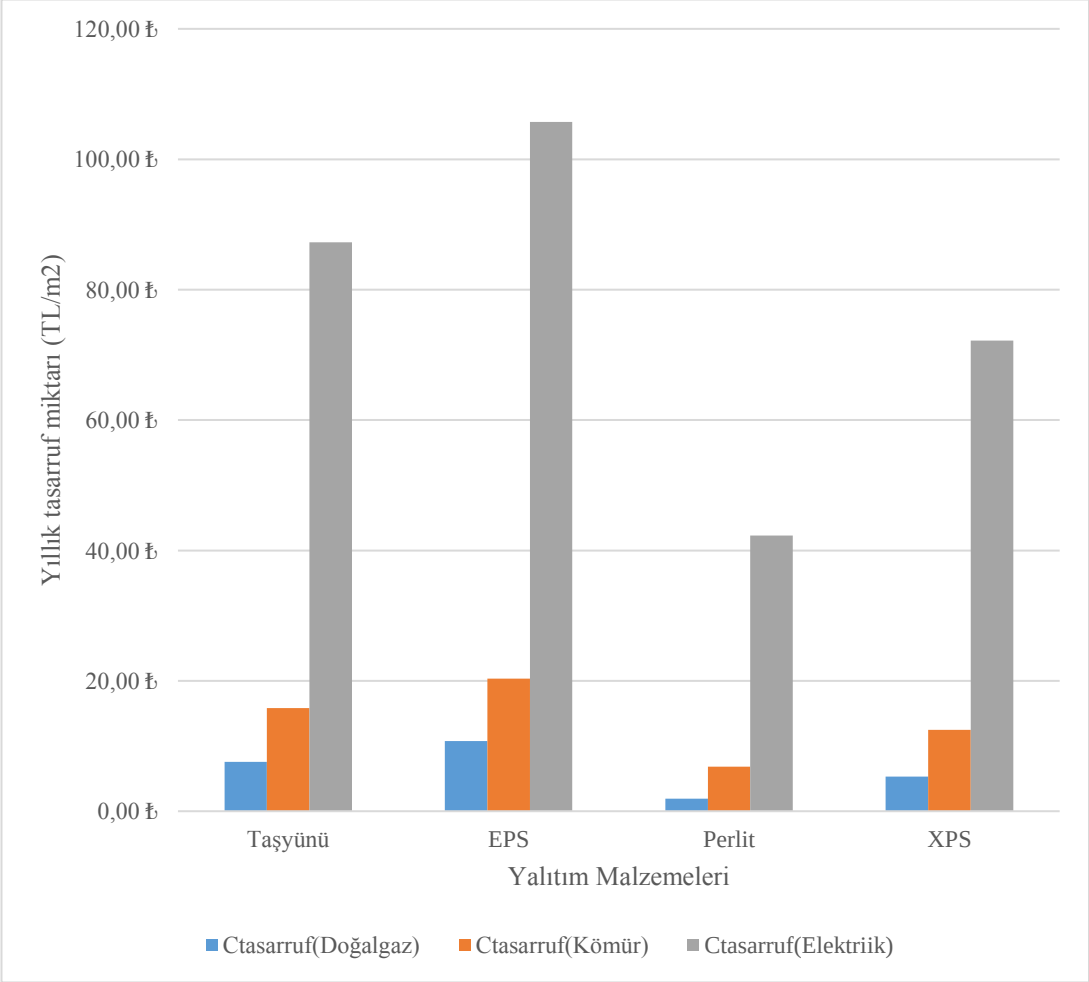


Şekil 4.10. Bimsblokta toplam yatırım maliyetleri (Kocaeli)

Şekil 4.10'da duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara ait veriler yer almaktadır. Şekil 4.10'da da ısıtma enerjisi olarak doğalgaz ve kömür kullanımının elektrik enerjisinin kullanıldığı duruma ait optimum yalıtım kalınlıkları ve toplam yatırım maliyeti açısından daha avantajlı durumda olduğu görülmektedir. Gazbeton dışındaki duvar malzemeleri kullanıldığında optimum yalıtım kalınlık değerlerinin arttığı görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlıkları belirginleştikçe toplam yatırım maliyetleri hakkında daha rasyonel yorumlar yapılabilmektedir. Perlitli sıva malzemesi yüksek maliyetinden dolayı dezavantajlı duruma düşmektedir. Taş yünü ve XPS malzemelerine ait verilerin EPS malzemesinden daha yüksek olduğu şekilde anlaşılmaktadır. Sadece doğalgaz kullanımındaki değerlere bakıldığında yalıtımsız durumdaki maliyetin 50 TL/m^2'yi aştığı görülmekte ve şekilde de görüleceği gibi yalıtım malzemelerine bakıldığında en düşük değerin EPS kullanımında olduğu görülecektir. Isıl iletkenlik katsayısı değerinin 0,25 W/mK gibi

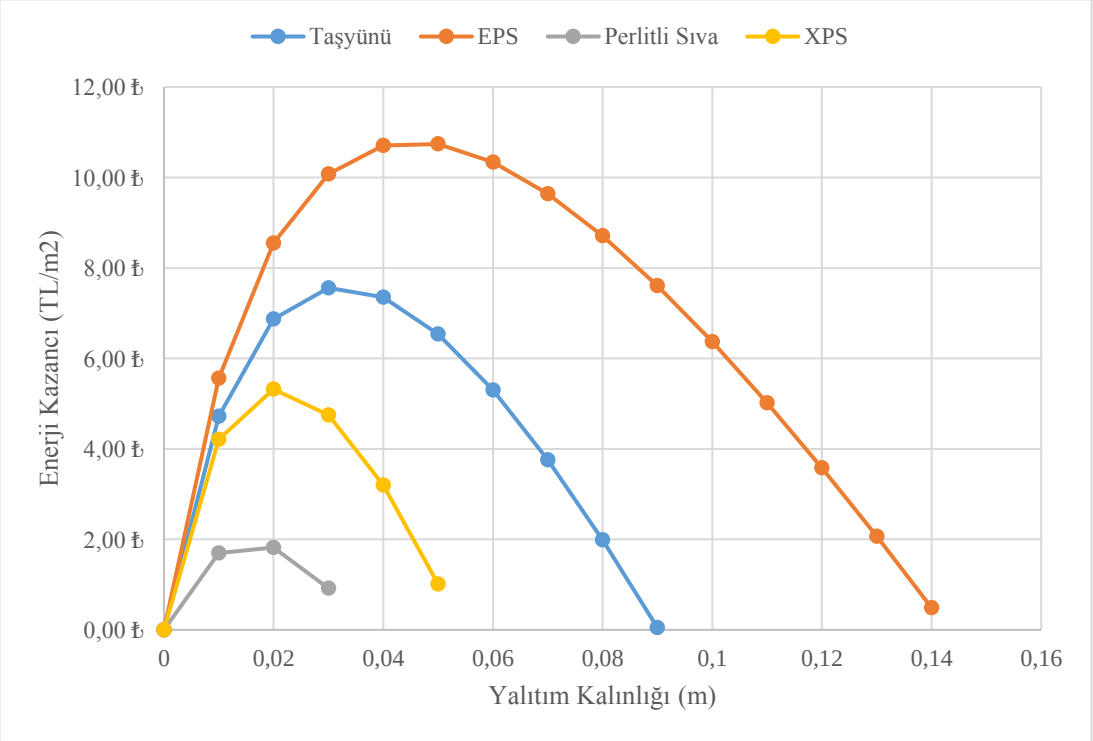
bir değerde olması ve maliyetinin diğer duvar malzemelerine kıyasla daha düşük olması bimsbloğu bazı duvar malzemelerine kıyasla daha avantajlı duruma düşürmektedir. Ancak çalışmada yer alan beş derece gün bölgesinde kullanılan kombinasyonlarda yer alan gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğlaya ait ısıl iletkenlik değerleri değerlendirilirken TS 825'te yer alan değerlerin incelenmesi gerekmektedir. TS 825'te aynı malzemelere ait birden fazla ısıl iletkenlik değeri bulunabilmektedir.

Toplam yatırım maliyetlerinin belli olması ile birlikte optimum yalıtım kalınlıklarında yıllık tasarruf maliyet miktarlarına bakılmalı ve kullanılacak yalıtım sistemlerinin tasarruf maliyet miktarları göz önüne alınarak seçilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Aşağıdaki şekilde bimsblok kullanımında elde edilen tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır.



Şekil 4.11. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Kocaeli)

Yukarıda duvar malzemesinin bimsblok olarak kullanıldığı kombinasyonlara ait optimum yalıtım kalınlık değerlerindeki enerji türlerinin yıllık tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara oranla daha yüksek tasarruf maliyet miktarları elde edilmiştir. Yalıtım malzemelerine bakıldığında duvar malzemesi olarak bimsblok kullanıldığı bu kombinasyonlarda yalıtım malzemesinin perlitli sıva olduğu durumda enerji türlerine ait yıllık tasarruf maliyet miktarı daha düşük değerlerde olmaktadır. EPS malzemesinin kullanıldığı durumun taş yünü malzemesinin kullanıldığı yalıtım sisteminden yıllık tasarruf maliyet miktarları arasında fazla bir fark görülmemektedir. EPS malzemesinin kullanıldığı kombinasyonlarda daha yüksek tasarruf maliyet miktarları elde edilmiştir. Kömür enerjisi kullanımında 20 TL/m^2 tasarruf maliyetini sadece EPS yakalamış, aynı zamanda elektrik enerjisi kullanımında ise 100 TL/m^2 değerini sadece EPS geçmiştir. Doğalgaz enerjisi kullanımında ise EPS ve taş yünü kısmen yakın olarak gözükmektedir, ancak EPS 10TL/m^2 gibi bir tasarruf değeriyle yine önde yer almıştır.



Şekil 4.12. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanımında yalıtıma ait enerji kazançları (Kocaeli)

Yukarıdaki şekilde doğalgazın kullanıldığı durumda bimsblokta elde edilen enerji tasarruf eğrileri yer almaktadır. Şekil 4.12'in oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Enerji tasarruf miktarlarının maksimum değerlere ulaştığı noktaların Tablo 4.9'da yer aldığı gibi optimum yalıtım kalınlıklarında ulaştığı görülmektedir.

EPS kullanımının diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha avantajlı olduğu görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlığında 10-12 TL/m^2 aralığında yer alarak en yüksek tasarruf değerini yakalamıştır. Taş yünü ise 8 TL/m^2 gibi bir değerle perlitli sıva ve XPS malzemelerini geride bırakmıştır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda ve şekilde de görüldüğü gibi enerji tasarruf miktarlarının optimum yalıtım kalınlığı değerinden sonra aşağı yönlü bir eğilimde olduğu görülmüştür.

Kocaeli ili için gazbeton ve bimsbloğa ait veriler irdelenmeden önce yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlar incelenmelidir. Böylelikle duvar malzemesi değişiminin optimum yalıtım kalınlığı, toplam yatırım maliyeti ve enerji tasarruf maliyeti üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılacaktır.

Aşağıdaki tabloda ve devamında Kocaeli ili için gelen şekillerde yatay delikli tuğlaya ait veriler incelenebilecektir. Tabloya bakıldığında elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayılarının 0,57 W/m^2K' den düşük olduğu görülmektedir. Tabloda 0,57 W/m^2K değerinden yüksek olan değerlerin ise duvar malzemesi kalınlığı, optimum yalıtım kalınlık değerlerinin hesaplanandan daha yüksek alınması veya kombinasyonda yer alan satırların değiştirilmesi ile birlikte düzeltilebileceği unutulmamalıdır.

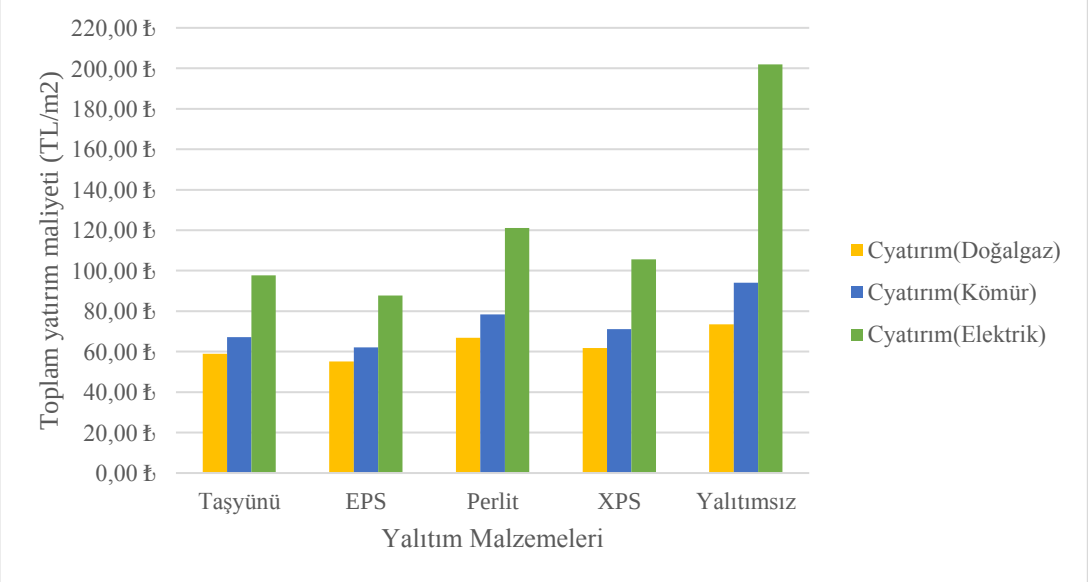
Isıtma enerjisi olarak doğalgaz enerjisinin kullanıldığı durumda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin daha düşük değerlerde yer aldığı ve doğalgaz enerjisini sırası ile kömür ve elektrik enerjisinin takip ettiği tabloda anlaşılmaktadır.

Yatay delikli tuğlanın kullanıldığı bu kombinasyonlarda elektrik enerjisinin sahip olduğu alt ısıl değerden dolayı yüksek yalıtım kalınlıklarının çıktığı görülmekte ve bu durumun toplam yatırım maliyetlerini arttıracağı aşağıdaki ilgili tabloda anlaşılmaktadır.

Tablo 4.9. Kocaeli ilinde için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

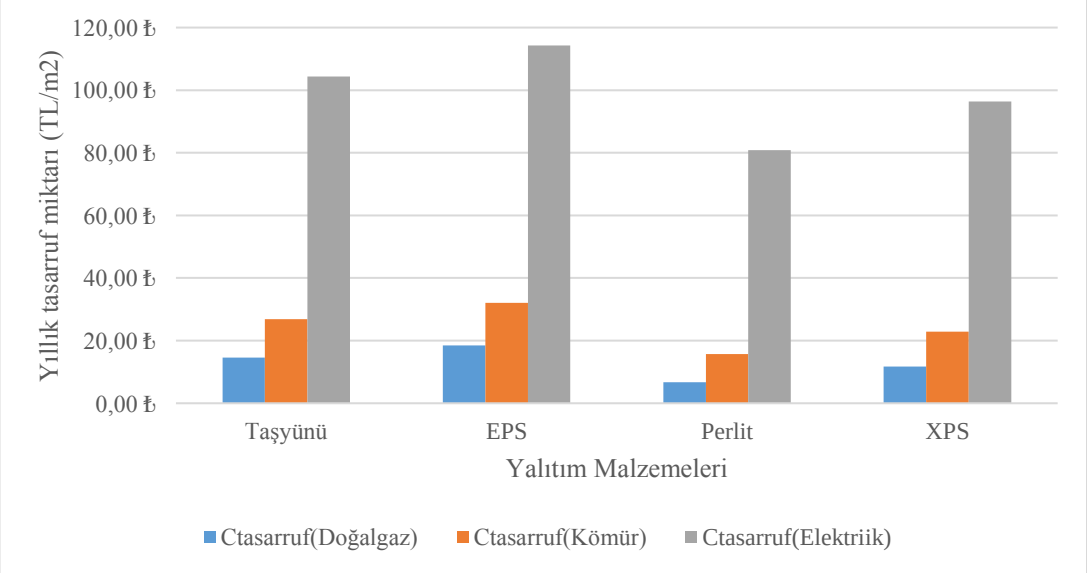
Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,040	0,054	0,107
EPS	0,053	0,070	0,132
Perlit	0,026	0,040	0,092
XPS	0,028	0,039	0,079
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,561	0,467	0,290
EPS	0,472	0,394	0,244
Perlit	0,788	0,657	0,407
XPS	0,635	0,529	0,328
Yalıtımsız Durum	1,268	1,268	1,268

Enerji verimi bakımından kömür enerjisinin %65 gibi çalışmada yer alan diğer enerji kaynaklarından daha düşük verimde olmasına rağmen, optimum yalıtım kalınlıkları açısından elektrik enerjisi kullanımından daha düşük optimum yalıtım kalınlık değerlerine ulaşılmıştır. Bu durum irdelenmeden önce bu optimum yalıtım kalınlıklarındaki toplam yatırım maliyetlerine bakmak gerekmektedir.



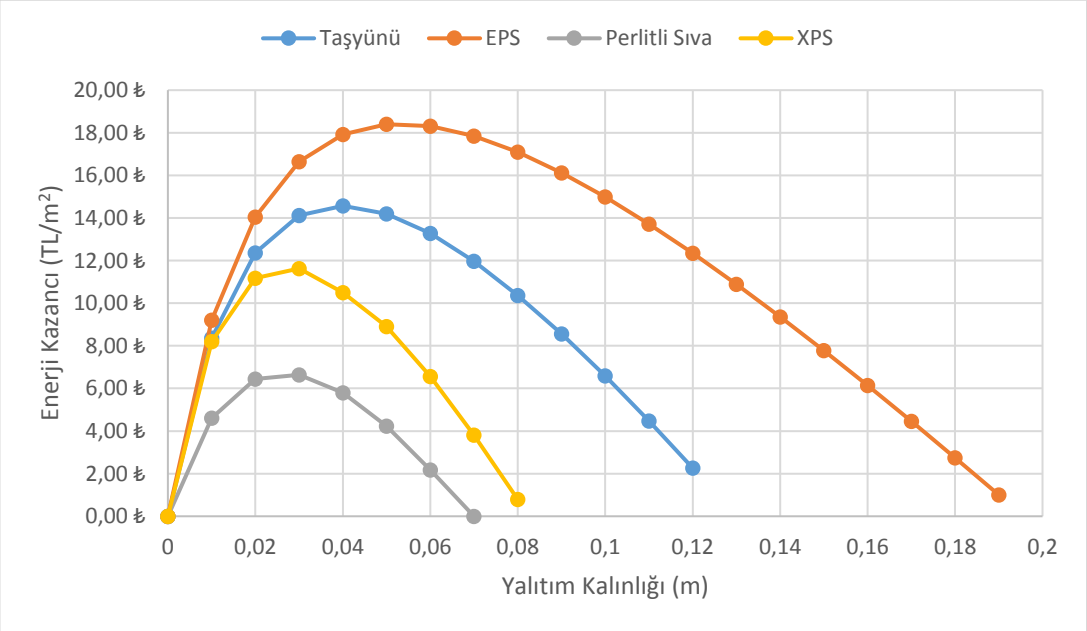
Şekil 4.13. Yatay delikli tuğlada toplam yatırım maliyetleri (Kocaeli)

Şekil 4.13'de duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı durum yer almaktadır. Yatay delikli tuğlada yalıtım kalınlık değerlerinin ve yatırım maliyeti değerlerinin arttığı görülmekte ve diğer duvar malzemelerine kıyasla Kocaeli ilinde dezavantajlı duruma düşmektedir. Aynı zamanda Şekil 4.13'de yer alan kombinasyonlar incelendiğinde yalıtım malzemesinin EPS ve XPS olarak kullanıldığı durumlara ait verilerin birbirine yakın olduğu ve EPS malzemesinin XPS malzemesinden daha avantajlı olduğu görülmektedir. Yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetleri incelendiğinde optimum yalıtım kalınlıklarında ısı kayıplarının azalmasından dolayı toplam yatırım maliyetlerinin düştüğü şekilde anlaşılmaktadır. Şekil 4.13 incelendiğinde doğalgaz kullanımında yalıtımsız durumun 80 TL/m^2 yaklaşmasına rağmen, yatırım maliyetlerine bakıldığında 60 TL/m^2 değerinin altında sadece EPS ve taş yünü yer almakta ve EPS daha avantajlı durmaktadır. En büyük farkın elektrik enerjisinde olduğu görülmekte ve 200 TL/m^2 olan yalıtımsız duruma ait maliyetin EPS kullanımı ile birlikte 80-90 TL/m^2 aralığına düştüğü şekilde anlaşılmaktadır. Bu durum literatürde yer alan araştırmaları desteklemektedir. Toplam yatırım maliyetleri açısından EPS'nin sırası ile taş yünü, XPS ve perlitli sıva malzemelerinden daha avantajlı olduğu görülmektedir. Toplam ısıtma maliyetlerinin yüksek değerlerde olması yıllık enerji tasarruf maliyet değerlerinin de yüksek çıkması anlamına gelmekte ve bu durumda yapılan hesaplamalarda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin işe yaradığını göstermektedir.



Şekil 4.14. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Kocaeli)

Şekil 4.14'de Kocaeli iline ait duvar malzemesinin yatay delikli tuğla olarak kullanıldığı duruma ait enerji türlerinin yıllık tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Kocaeli için duvar malzemeleri kıyaslandığında yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda elde edilen yıllık tasarruf maliyet miktarları gazbetonun ve bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara göre daha yüksek değerler almaktadır. Bu duruma sebep olarak gazbetonun ve bimsbloğun yatay delikli tuğladan daha düşük ısıl iletkenlik sayılarına sahip olmaları etkilemektedir. Aynı şekilde yatay delikli tuğlada yüksek ısıl iletkenlik katsayısından dolayı diğer duvar malzemelerine kıyasla yıllık tasarruf maliyet miktarları da yüksek çıkmaktadır. Yalıtım malzemesi olarak perlitli sıvanın kullanıldığı kombinasyonlarda elde edilen tasarruf maliyet miktarlarının Kocaeli için yatay delikli tuğlanın kullanıldığı bu durumda biraz daha yüksek değerler aldığı ve perlitli sıvaya ait tasarruf maliyet değerlerinin diğer yalıtım malzemelerine ait değerlere yaklaştığı görülmektedir. Doğalgaz ve kömür enerjisi kullanımlarına bakıldığında her iki durumunda 20 TL/m^2 altında olduğu tek malzeme perlitli sıva malzemesi olmaktadır. Aynı zamanda elektrik enerjisi kullanımında ise 80 TL/m^2 tasarruf değeri ile en aza tasarruf edilen yalıtım malzemesi olmaktadır.



Şekil 4.15. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanımında yalıtıma ait enerji kazançları

Yukarıdaki şekilde doğalgaz enerjisinin kullanıldığı durumda enerji kazançları ile ilgili eğriler yatay delikli tuğlanın kullanıldığı durum için belirtilmiştir. Şekil 4.15'in oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Yalıtım kalınlık değerlerinin daha fazla belirginleştiği bu durumda, yapılan yalıtım sistemlerinin enerji kazançlarına bakıldığında ne kadar gerekli olduğu görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi yalıtım kalınlık değerlerinin optimum değerlerde seçilmesi gerektiği anlaşılmakta, aksi halde yalıtım kalınlığının artması ile birlikte enerji kazançlarının aşağı yönlü bir eğilim sergilediği görülmektedir. Taş yünü ve XPS malzemesinin kazanç yönünden EPS kullanımı durumuna yakın olduğu ama perlitli sıva kullanımının üç yalıtım malzemesinden de geri kaldığı görülmektedir. Yalıtım kalınlıklarının 2-8 cm olduğu aralığa bakıldığında en yüksek tasarruf maliyetinin EPS'ye ait olduğu ve 18 TL/m^2 değerini geçen tek malzemenin de EPS olduğu görülmektedir.

4.3. Üçüncü Bölge: Ankara

Çalışmada ülkemizde üçüncü bölgede yer alan Ankara ili için TS 825'te yer alan veriler ışığında hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda Ankara için derece gün değeri 18 ºC denge sıcaklığı temel alınarak hesaplanmıştır. Birinci bölgeden üçüncü bölgeye doğru gelindikçe elde edilen optimum kalınlık değerlerinin arttığı aşağıdaki tablolarda anlaşılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada 180 adet kombinasyon bulunmaktadır. Çok fazla verinin oluşturulduğu bu çalışmada değerlendirilme açısından Ankara ili için ısıtma enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı duruma ait duvar malzemeleri ile yalıtım malzemelerinin kombinasyonlarından oluşan grafikler detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

Tablo 4.10 incelendiği durumda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin 14 cm' ye kadar çıktığı görülmektedir. Elde edilen optimum değerden yola çıkarak hesaplanan toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin de genel olarak 0,48 W/m^2K değerinden düşük olduğu görülmekte ve bu durumun da kombinasyonların uygun bir yalıtım sistemi olduğunu göstermektedir. Derece gün bölgesi üçüncü bölge olmasına rağmen ısıtma enerjisi

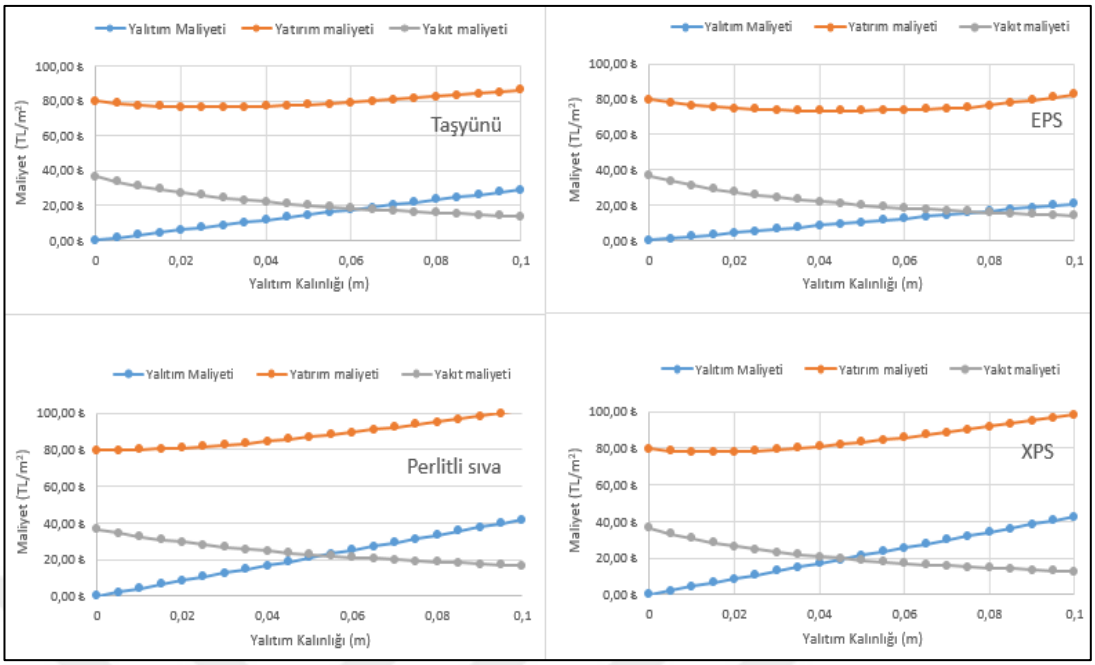
olarak doğalgaz kullanımında optimum yalıtım kalınlık değerleri, kömür ve elektrik enerjisinin kullanıldığı kombinasyonlara oranla daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu durum toplam ısıtma maliyeti açısından doğalgaz kullanımını daha avantajlı duruma düşürmektedir. Ancak toplam yatırım maliyeti dikkate alındığında gazbeton diğer duvar malzemelerine oranla dezavantajlı durumda kalmaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerine bakıldığında, EPS kullanımında yalıtım kalınlık değerlerinin diğer yalıtım malzemelerine oranla daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu sayede U değerleri de nispeten düşük çıkmıştır.

Tablo 4.10. Ankara ili için gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,027	0,044	0,108
EPS	0,043	0,063	0,140
Perlit	0,000	0,019	0,082
XPS	0,014	0,028	0,077
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,459	0,382	0,237
EPS	0,387	0,322	0,200
Perlit	0,660	0,537	0,333
XPS	0,519	0,433	0,268
Yalıtımsız Durum	0,660	0,660	0,660

Optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde yalıtım malzemesinin maliyeti ve yakıt türünün maliyetleri parametre olarak kullanıldığı için yalıtım malzemelerinin değerlendirilmesinde duvar malzeme fiyatlarının da dahil olduğu toplam yatırım maliyetlerine bakmak gerekmektedir. Yalıtım maliyeti değerlendirilirken yalıtım malzemesinin maliyetinin, yalıtım kalınlığından daha baskın olduğu yapılan hesaplamalar ve literatür araştırmaları sonucunda saptanıştır.

Aşağıdaki şekilde Ankara ili için ısıtma enerjisi olarak Doğalgaz, duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlardaki toplam ısıtma maliyeti, yalıtım maliyeti ve yakıt maliyeti eğrilerinin nasıl bir yol izlediği görülmektedir.

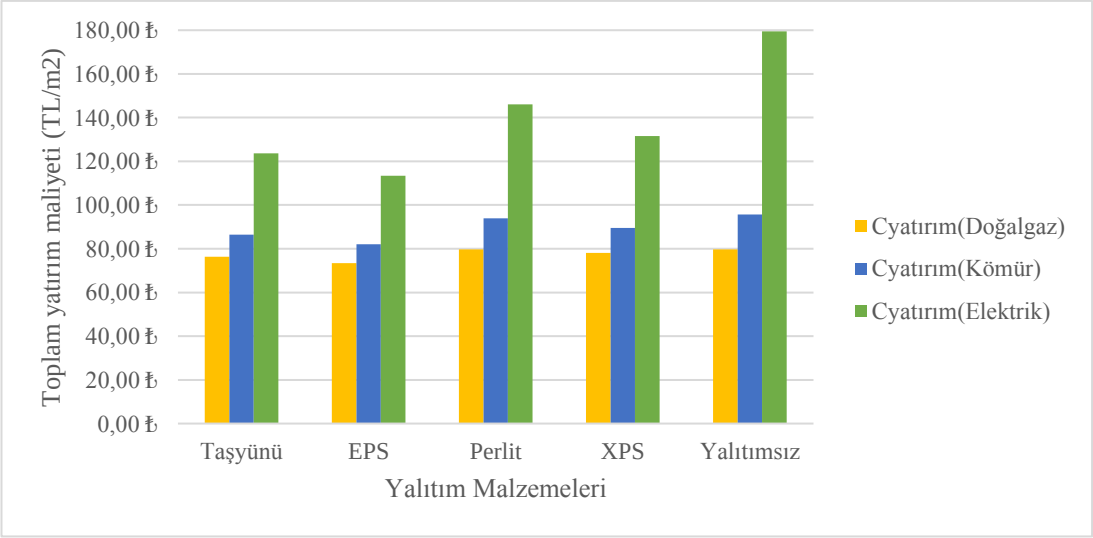


Şekil 4.16. Gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri

Yukarıdaki şekilde duvar malzemesi olarak gazbeton ve yakıt enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı duruma ait olan yalıtım maliyeti, yakıt maliyeti ve toplam yatırım maliyet eğrileri yer almaktadır. Yalıtım kalınlığın artması ile birlikte yalıtım maliyetlerinin arttığı şekilde anlaşılmaktadır. Aynı zamanda 80 TL çizgisi dikkatli bir şekilde incelendiğinde yatırım maliyetlerinin en düşük değerini yine EPS malzemesinde aldığı anlaşılmaktadır. EPS'yi kısmen taş yünü bu değerin altında kalarak takip etmektedir. Artan yalıtım kalınlık değerleri ile birlikte yakıt maliyet eğrisinin aşağı yönlü bir eğilim içinde olduğu görülmekte ve durum da yalıtım sistemlerinin önemini açıklamaktadır.

Toplam yatırım maliyetlerinin bu çalışmada ve literatürde de yer aldığı gibi, optimum yalıtım kalınlık değerinde minimum bir değer gördükten sonra yalıtım kalınlığının artması ile birlikte artma eğiliminde olduğu şekilde görülmektedir. Dolayısı ile yapılacak olan yalıtım sistemlerinde doğru malzeme önemli olduğu gibi, doğru kalınlık seçimi de önem kazanmaktadır.

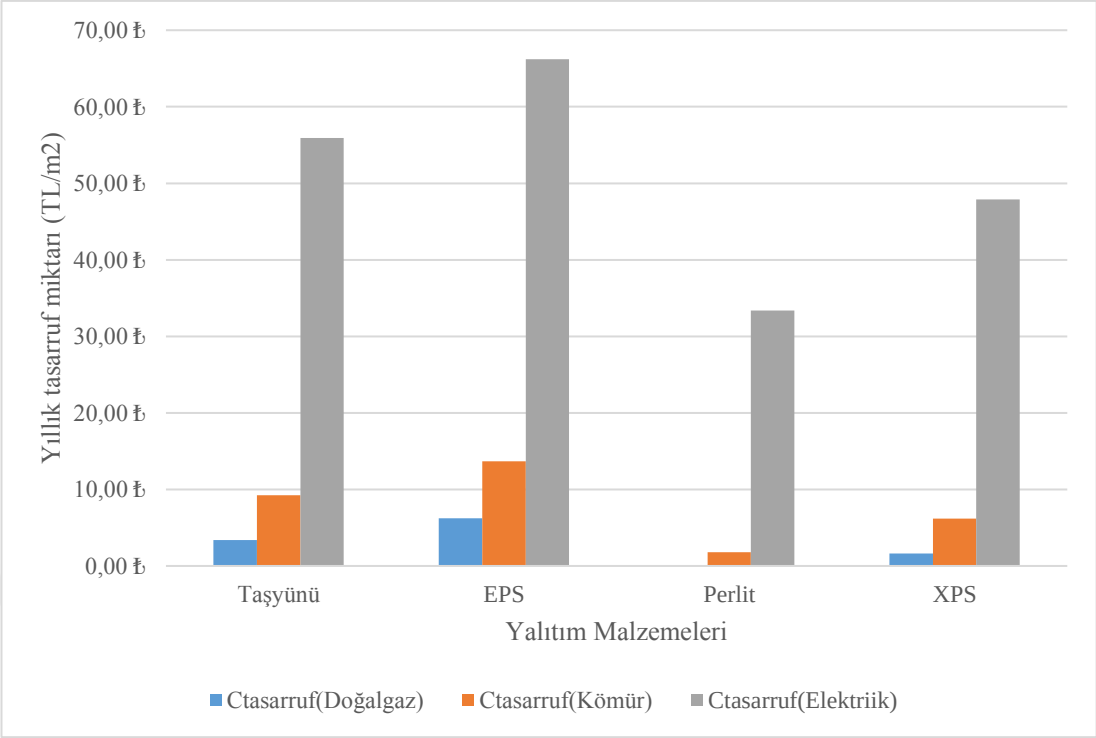
Aşağıda yer alan şekillerde ise Ankara için; gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğlanın her üç enerji kaynağının da kullanıldığı kombinasyonlarda optimum yalıtım kalınlık değerlerindeki toplam ısıtma maliyetleri yer almaktadır.



Şekil 4.17. Gazbetonda toplam yatırım maliyetleri (Ankara)

Şekil 4.17'de ülkemizde üçüncü derece gün bölgesinde yer alan Ankara iline ait ve duvar malzemesinin gazbeton olarak kullanıldığı kombinasyonlar yer almaktadır. Yalıtım malzemesi olarak EPS, ısıtma enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı durumun diğer illerde de olduğu gibi daha avantajlı olduğu görülmektedir. Doğalgaz kullanımında 70 TL/m^2, kömür kullanımında 80 TL/m^2 ve elektrik için 110 TL/m^2 civarında maliyetlerle en avantajlı EPS malzemesi olmuştur. Perlitli sıva malzemesine ait olan kalınlık değerinin doğalgaz kullanımında sıfıra yakın olması değerlendirilirken yine eşitlik 3.25' in incelenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Ancak duvar malzemesi olarak bimsblok ve tuğlanın kullanıldığı durumlarda optimum yalıtım kalınlık değerinin sıfırdan uzaklaştığı ilgili tablolarda ve şekillerde görülmektedir. Toplam yatırım maliyetinin optimum yalıtım kalınlık değerlerinden kıyasla yalıtımsız duruma ait olandan daha düşük olduğu saptanmıştır. Ancak toplam yatırım maliyetinin optimum değerden sonra yalıtım kalınlığının artması ile birlikte arttığı görülmüştür. Bu durum eşitlik 3.21'de de anlaşılmaktadır. Bilinçsiz yalıtım kalınlık değerlerinin seçilerek yalıtım sistemlerinin oluşturulması daha maliyetli olmaktadır. Yapılacak olan yalıtım sistemlerinden bu durumların göz ardı edilmemesi gerekmekte ve ısı yalıtımı yapacak bireylerin bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

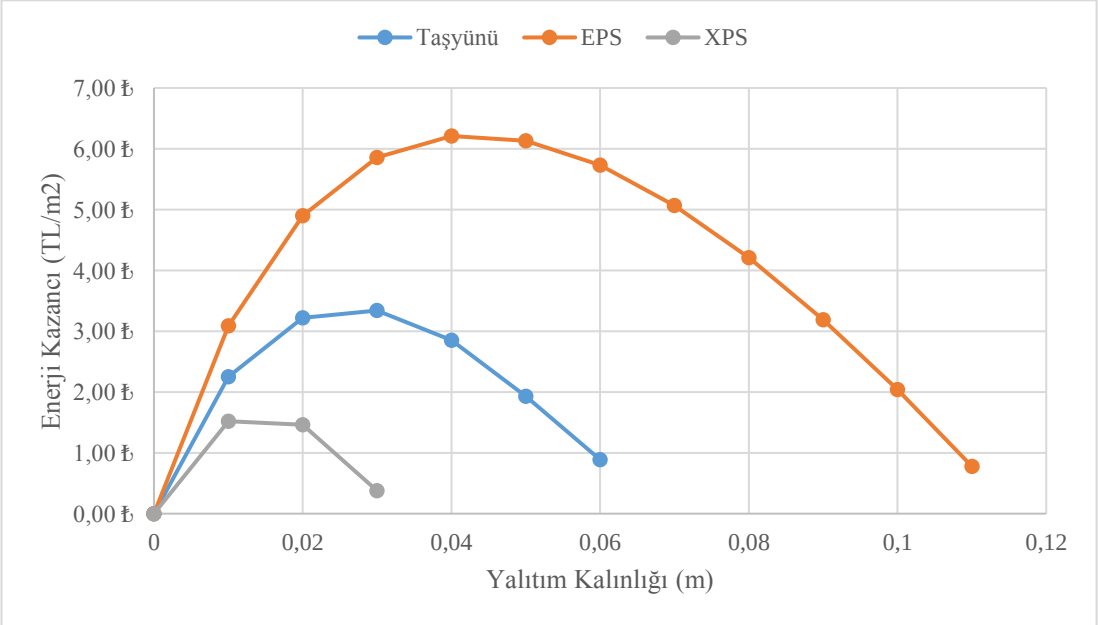
Ekonomik dengelerin sürekli değiştiği günümüz dünyasında ısıtma enerji kullanımının bilinçli kullanımı durumunda hem maliyet açısından hem de enerji tasarruf maliyeti açısından avantaj elde edileceği unutulmamalıdır.



Şekil 4.18. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ankara)

Şekil 4.18'de ülkemizde üçüncü derece gün bölgesinde yer alan ve soğuk bir iklimin hâkim olduğu Ankara iline ait, duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonların yıllık enerji tasarruf maliyet miktarlarını içermektedir. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Gazbetonun kullanıldığı illeri kıyaslarsak sırası ile birinci derece gün bölgesinde yer alan Adana ili ve ikinci derece gün bölgesinde yer alan Kocaeli iline ait verilerin Şekil 4.18'de yer alan değerlerden daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada derece gün değeri arttıkça ısıtma ve yalıtım maliyetlerinin arttığı saptanmış ve bununla beraber tasarruf maliyet miktarlarının da elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ile birlikte arttığı görülmüştür. Yıllık tasarruf maliyet miktarlarının bu grafikte de olduğu gibi genel olarak EPS malzemesinde arttığı yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Kömür kullanımında 10 TL/m^2 tasarruf değerini sadece EPS geçmiştir. Doğalgaz kullanımında ise 10 TL/m^2 değerine en yakın malzeme EPS malzemesi olmuştur. Elektrik kullanımında düşük alt ısıl değerinden dolayı yüksek maliyetler çıkmış ve bu durum da tasarruf maliyetlerini arttırmıştır. Elektrik kullanımına bakıldığında 60 TL/m^2 tasarruf değerini sadece EPS malzemesi geçmiştir. Yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve XPS malzemelerinin kıyaslanması ile taş yünü

malzemesinin yıllık enerji tasarruf maliyeti açısından XPS malzemesinden biraz daha avantajlı olduğu görülmektedir. Perlitli sıva için; gazbetonun kullanıldığı Adana ve Kocaeli illerine ait grafikler ile Şekil 4.18 irdelenirse, yıllık enerji tasarruf maliyeti açısından diğer yalıtım malzemelerinden daha düşük tasarruf maliyet değerlerinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda elektrik enerjisinin kullanıldığı kombinasyonlarda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerlerinin yüksek olduğu ve buna bağlı olarak da elde edilen yıllık enerji tasarruf maliyet miktarının daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak optimum yalıtım kalınlık değerlerinin artması ile eşitlik 3.21 de yer alan yalıtım maliyetinin hesap formülünün doğrusal olduğu bilinmekte ve yalıtım kalınlığının artması ile birlikte yalıtım maliyetinin de artacağı unutulmamalıdır.



Şekil 4.19. Optimum yalıtım kalınlığında gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Birinci derece gün bölgesinden uzaklaştıkça yalıtım kalınlıklarının duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanımında derece gün değerinin artması ile birlikte arttığı çalışmada yer almaktadır. Şekil 4.19'un oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. EPS kullanımın da elde edilen enerji kazanıcının diğer yalıtım malzemelerine kıyasla bir adım önde olduğu

görülmektedir. Grafiğin maliyet kısmına bakıldığında 6 TL'yi geçen tek malzemenin EPS olduğu görülmektedir. Perlitli sıva yapılan hesaplamalarda yalıtım kalınlığının 0 çıkmasından dolayı grafikte yer almamaktadır. Yalıtım kalınlığının çıkmadığı durumda enerji kazancından bahsetmek imkânsız hale gelmektedir. Tablo 4.11 incelendiğinde enerji kazançlarının maksimum olduğu değerlerde yalıtım kalınlık değerlerinin de optimum değerlerde olduğu görülmektedir.

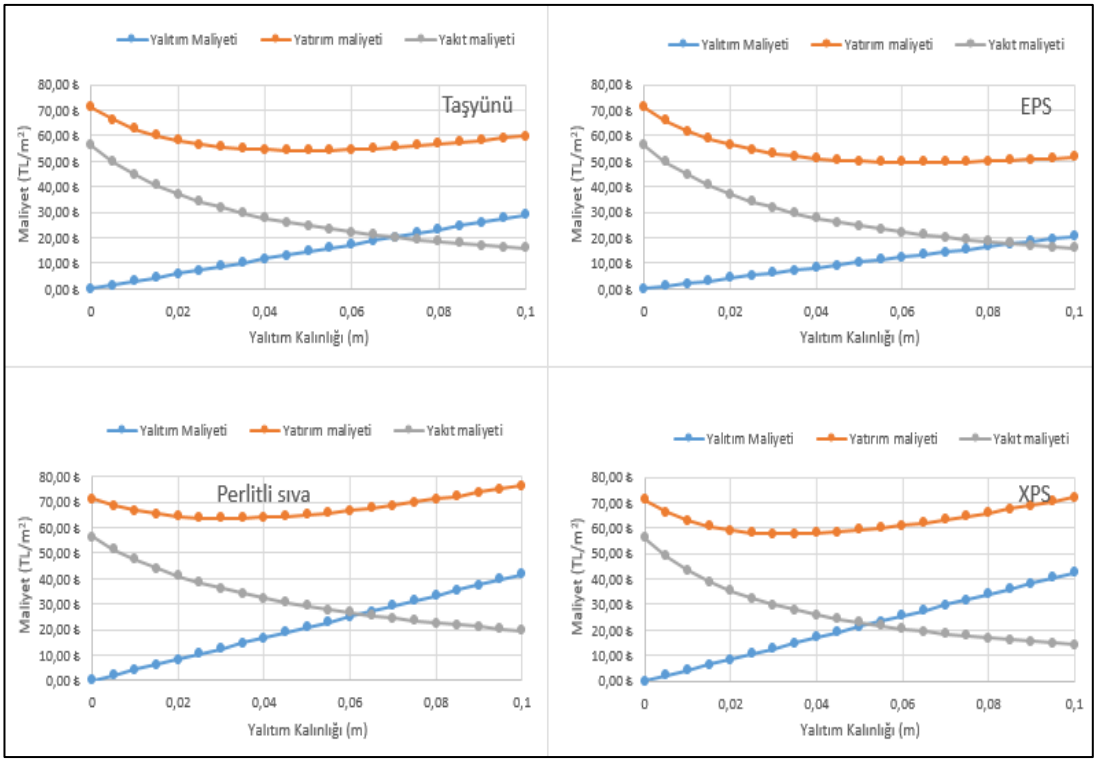
Ankara ili için gazbetona ait verilerin incelenmesinden sonra duvar malzemesinin değişiminde optimum yalıtım kalınlık değerlerinin ve maliyet değerlerinin nasıl değiştiğini görmek için bimsblok ve yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonların incelenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Duvar malzemelerinin sadece türü değil, sahip oldukları ısı iletkenlik katsayılarının TS 825 Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nde farklılık gösterdiği yönetmelik incelendiğinde anlaşılmaktadır. Bu durumdan bağımsız olarak kullanılmasına karar verilen duvar malzemelerine ait kombinasyonlarda yer alan kalınlık değerlerinin değiştirilmesi ile birlikte optimum kalınlık değerlerinin değişebildiği yapılan literatür araştırmaları sonucunda elde edilmiştir. Bu çalışmada optimum yalıtım kalınlıklarının, toplam yatırım maliyetlerinin ve yıllık tasarruf maliyet miktarlarının yanı sıra kombinasyonlardaki katmanların değiştirilmesi ile birlikte bahsi edilen durumların nasıl değiştiği görülmektedir. Böylece çok fazla literatür araştırmasını da içerisinde barındıran bu çalışma elde edilen verilerle daha zengin bir hal almaktadır.

Aşağıda bimsbloğun kullanıldığı duruma ait veriler yer almaktadır. Tablo 4.11'e bakıldığında yalıtım malzemesinin XPS olarak kullanıldığı kombinasyonlarda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin diğer kombinasyonlara kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Toplam ısıl geçirgenlik değerlerine bakıldığı durumda ise EPS'nin kullanıldığı kombinasyonlar daha avantajlı durumda yer almaktadır. Ancak Ankara' da duvar malzemesinin bimsblok olarak kullanıldığı bu duruma bakıldığında optimum yalıtım kalınlık değerinin EPS'de daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısı ile elde edilen yalıtım kalınlığı değerinden dolayı toplam geçirgenlik değerinin daha düşük çıktığı unutulmamalıdır. Böylelikle EPS'nin kullanıldığı bu kombinasyonun kullanıldığı durumda yapı durabilitesinin ve yoğuşma olayının yapı için daha sağlıklı bir çözüm olabileceği unutulmamalıdır.

Tablo 4.11. Ankara ili için bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,048	0,065	0,129
EPS	0,064	0,085	0,161
Perlit	0,031	0,048	0,111
XPS	0,033	0,046	0,096
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,459	0,382	0,237
EPS	0,387	0,322	0,200
Perlit	0,645	0,537	0,333
XPS	0,519	0,433	0,268
Yalıtımsız Durum	1,018	1,018	1,018

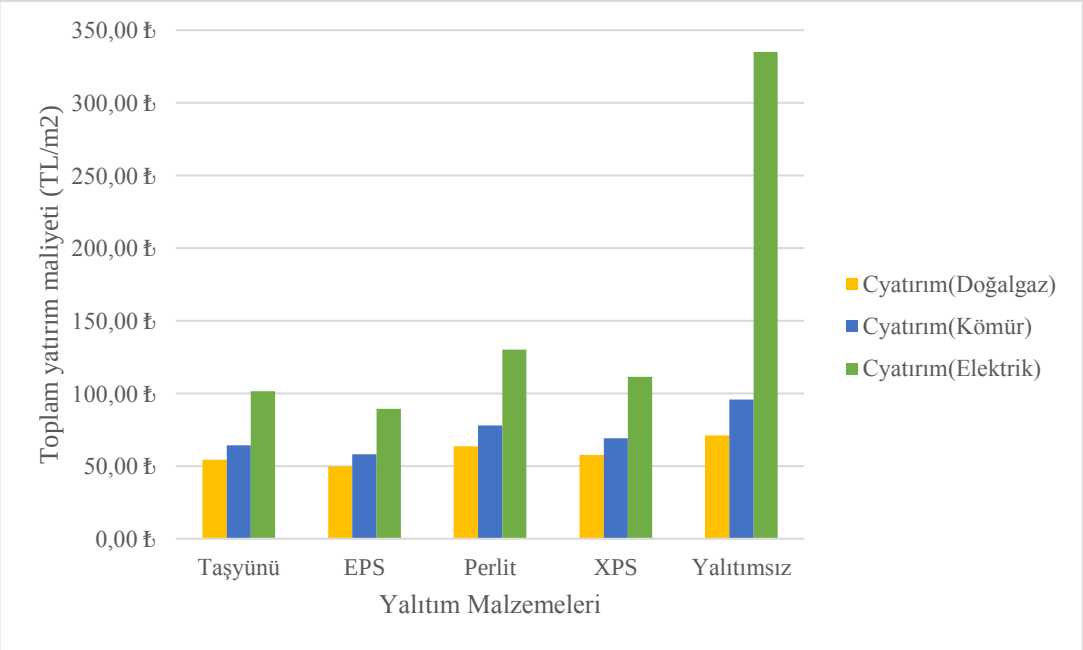
Farklı ısıtma enerjisi kullanımının optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etki incelendiğinde doğalgaz enerjisinin kullanımının diğer yakıt türlerine kıyasla daha avantajlı durumda olmaktadır. Aşağıdaki şekilde doğalgazın kullanıldığı durumlara ait maliyet eğrileri yer almaktadır.



Şekil 4.20. Bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri

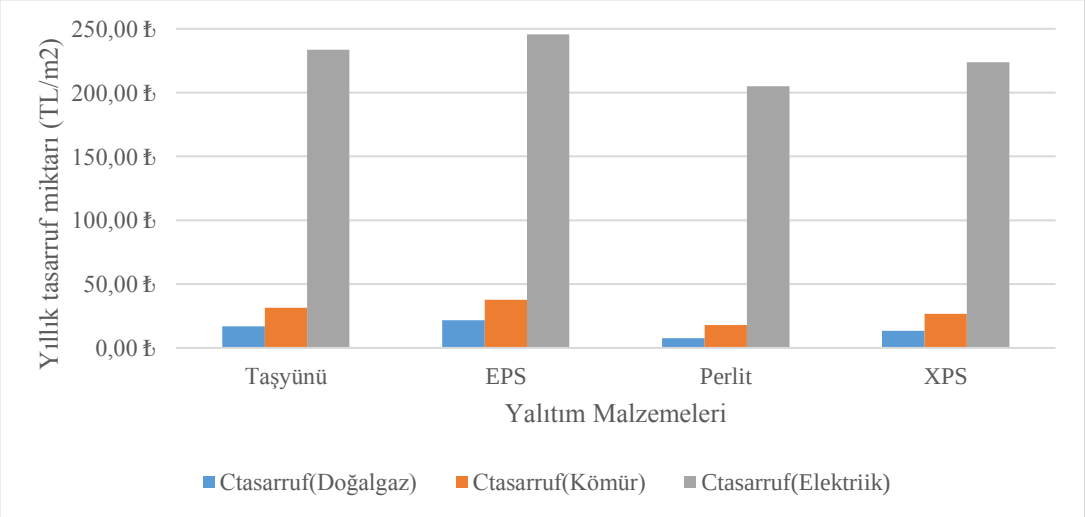
Yukarıdaki şekilde Ankara ili için duvar malzemesi olarak bimsblok, yakıt enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri yer almaktadır. Elde edilen eğrilerin literatürde yapılan araştırmaları desteklediği görülmüştür. Yalıtım maliyetinin doğrusal bir fonksiyon olarak, yalıtım kalınlığının artması ile birlikte arttığı görülmektedir. Tablo 4.11 incelendiğinde elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerlerinde toplam maliyetlerinin minimum değerlerde yer aldığı görülmektedir. Maliyet kısımlarındaki 50 TL çizgisine bakıldığında, bu çizgiye en yakın malzemenin EPS olduğu görülmektedir. Taş yünü 50 TL değerinin çok fazla üstünde yer almadığı görülmekte, ancak perlitli sıva ve XPS kullanımında değerlerin en düşük 60 TL ve üstünde kaldığı görülmektedir. Yalıtım kalınlığının artması ile artan yalıtım maliyetleri optimum değerden sonra toplam maliyetleri de arttırdığı şekilde anlaşılmaktadır. Doğru yalıtım sisteminin doğru duvar malzemesi ile yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı duvar malzemelerinin sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayı değerleri kadar duvar malzemesi maliyetleri de önem kazanmaktadır. Maliyet değerlerine bakıldığında gazbeton ve bimsblok kombinasyonlarındaki maliyet eğrileri kıyaslandığında bu durum daha iyi anlaşılacaktır.

Aşağıdaki şekilde ise bimsbloğun; doğalgaz, kömür ve elektrik enerjisi kullanımındaki optimum yalıtım kalınlık değerlerinde toplam ısıtma maliyetleri yer almaktadır.



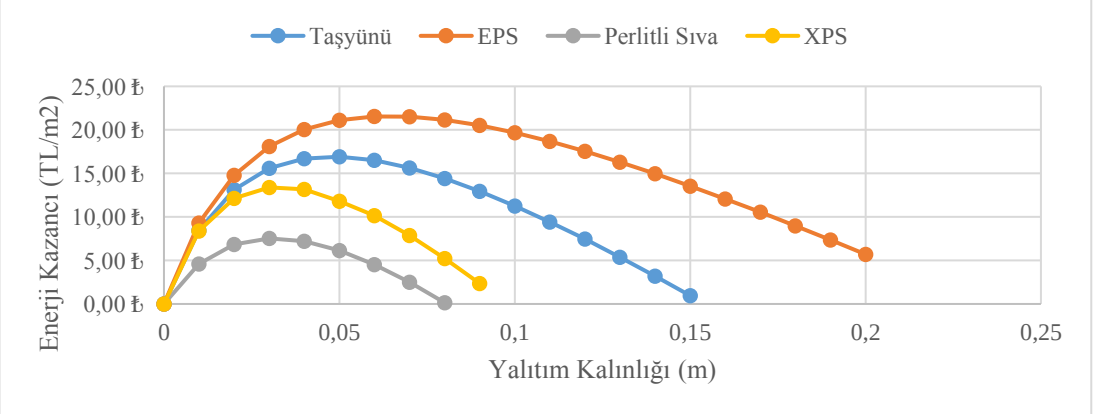
Şekil 4.21. Bimsblokda toplam yatırım maliyetleri (Ankara)

Şekil 4.21'de duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı duruma ait olan kombinasyonlar yer almaktadır. Çalışmada yer alan diğer kombinasyonlarda olduğu gibi bu kombinasyonda da derece gün değeri olarak birinci bölgeden uzaklaştıkça optimum yalıtım kalınlık değerlerinin arttığı saptanmıştır. Dolayısı ile beklenilen yalıtım kalınlık değerlerini bu kombinasyonlarda bulmak mümkün olmaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerinin artması ile birlikte yalıtımsız durumdaki toplam yatırım maliyeti ile çalışmada yer alan taş yünü, XPS, EPS ve perlitli sıva malzemesinin optimum kalınlıklarda toplam ısıtma maliyetleri arasındaki fark artmakta ve bu durum bir binada neden yalıtım yapılması gerektiği sorusunu da cevaplamaktadır. Doğalgaz kullanımına bakıldığında EPS'nin 50 TL/m^2 değerinde yer alarak en düşük yatırım maliyetine sahip olduğu görülmekte ve EPS malzemesini yine 50 TL/m^2 değerine çok yakın olan taş yünü takip etmektedir. Aynı zamanda elektrik kullanımında yatırım maliyetlerine bakıldığında 350 TL/m^2 değerine yaklaşan, yalıtımsız durumdaki maliyeti 100 TL/m^2 değerinin altına düşüren tek malzeme EPS olmaktadır. Binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin ısı kayıplarını engellediği bilinmektedir. Yalıtımsız durumda maliyetlerin yüksek çıkması ekonomik açıdan yaşanılacak zorlukları da beraberinde getireceği unutulmamalıdır. Bu sebepten dolayı yapılma durumu düşünülen yalıtım sistemlerine ani kararlar vermek yerine uzun süreli düşünmek ve elde edilecek tasarruf maliyet miktarını göz ardı etmemek gerekmektedir. Bu çalışmada hesaplamalarda yapılacak olan yalıtım sistemi için ömür sayısını ifade eden N sayısı on yıl olarak alınmıştır.



Şekil 4.22. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ankara)

Şekil 4.22'de duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara ait yıllık enerji tasarruf maliyeti miktarlarına ait veriler yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Derece gün bölgeleri beşinci derece gün bölgesine yaklaştıkça ve duvar malzemeleri sırasıyla gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğlaya yaklaştıkça elde edilen tasarruf maliyet miktarları da artmaktadır. Doğalgaz ve kömür kullanımları incelendiğinde 50 TL/m^2 değerine en yakın değerlerin EPS kullanımında elde edildiği görülmektedir. Elektrik enerjisi kullanımında ise 250 TL/m^2 değerine en yakın malzemenin EPS olduğu görülmektedir. Bu durumu irdelemeden önce bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlarda yıllık enerji miktarlarının, ısıtma maliyetlerinin ve yalıtım maliyetlerinin gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara oranla daha yüksek değerlerde olduğu hatırlanmalıdır. Ancak duvar malzeme fiyatlarının dâhil olduğu toplam yatırım maliyetlerine bakıldığında maliyet açısından bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlar diğer duvar malzemelerine kıyasla daha avantajlı durumda kalmaktadır. Aynı şekilde bahsedilen değerlerin yatay delikli tuğlaya ait verilerde diğer yapı malzemelerine kıyasla daha yüksek olduğu unutulmamalıdır. Yalıtım malzemesi olarak perlitli sıvanın kullanıldığı kombinasyonlarda elde edilen yıllık tasarruf maliyet miktarlarının gazbetona kıyasla bimsblokta hesaplanan değerlerin diğer yalıtım malzemelerinde elde edilen tasarruf maliyet miktarlarına yaklaştığı görülmektedir. Ankara iline ait gazbeton ve bimsbloğun kullanıldığı durumlar incelenirken yatay delikli tuğla kullanımının çalışma verilerini nasıl etkilediğini bilmek gerekmektedir.



Şekil 4.23. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Yukarıdaki şekilde enerji kazançlarının olduğu eğriler görülmektedir. Şekil 4.23'ün oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Şekil 4.23' de sadece 5 cm olan enerji kazançlarına bakıldığında EPS'nin 20 TL'yi geçtiği, taş yününün 15 TL'yi geçtiği XPS ve perlitli sıvanın daha düşük enerji kazancı sağladığı görülmektedir.

Enerji kazançlarının maksimum olduğu değerlerin optimum yalıtım kalınlıklarının uygulanmasında elde edildiği literatürdeki yerini almıştır. Yalıtım kalınlığının optimum değere yaklaşması ile enerji kazançlarının arttığı ama yalıtım kalınlıklarının optimum değerlerden sonra artması ile birlikte enerji kazanç eğilimlerinin aşağı yönlü olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı yapılacak olan yalıtım sistemlerinin toplam ısıtma maliyeti, tasarruf maliyet miktarları ve enerji kazançları göz önüne alınarak optimum bir değerde yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.12 incelendiğinde duvar malzemesinin yatay delikli tuğla olarak kullanıldığı bu kombinasyonlarda hesaplamalar sonucunda daha yüksek optimum yalıtım kalınlık değerlerine ulaşılmıştır. Çalışmada yer alan diğer tablolara bakıldığı zaman Tablo 4.12' de de görüldüğü gibi toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin ısıtma enerjisi olarak elektrik enerjisinin kullanıldığı durumlarda daha düşük çıktığı ve aynı zamanda da optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durumun maliyet açısından bakıldığı zaman ısıtma maliyeti, yalıtım maliyeti ve toplam yatırım maliyeti açısından ekonomik olamayacağı anlaşılmaktadır. İlgili grafikler ile bu durum daha iyi anlaşılmaktadır.

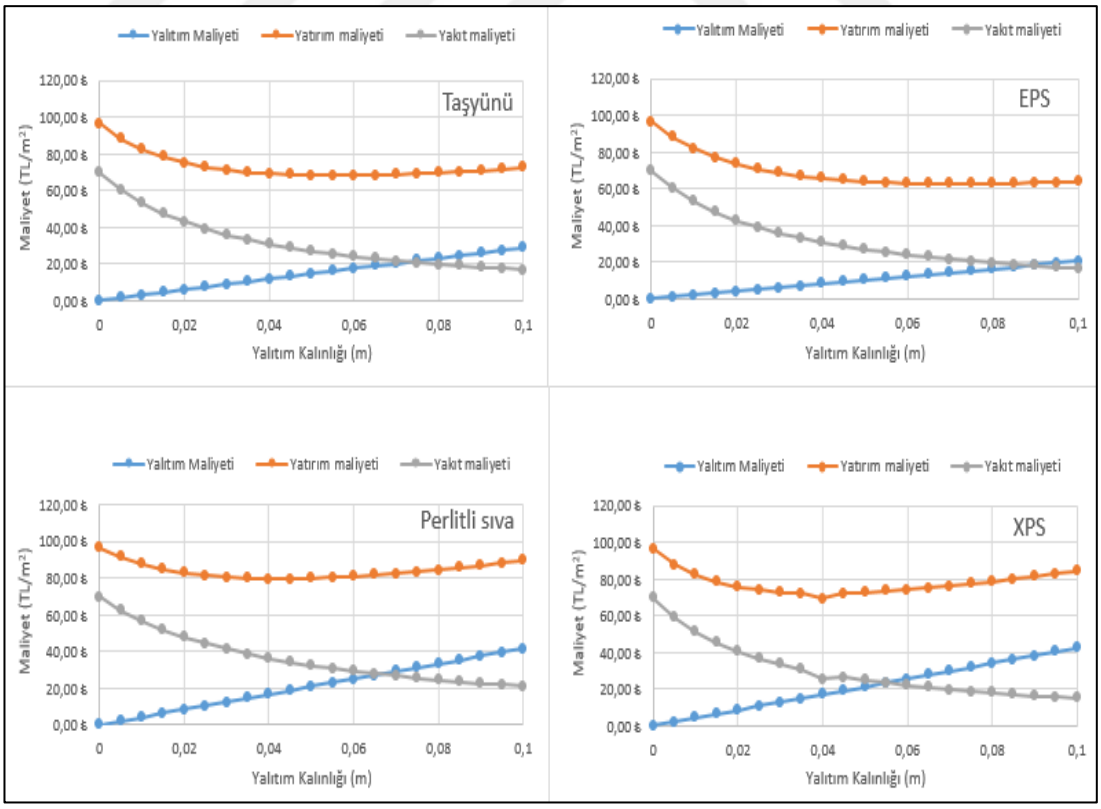
Yatay delikli tuğlada sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayısından dolayı elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerleri 4 cm ile 17 cm arasında değişmektedir. Yüksek çıkan yalıtım kalınlık değerlerine ısıtma enerjisi olarak elektrik enerjisinin kullanıldığı durumlarda rastlanılmıştır.

Yalıtım malzemesi olarak taş yününün kullanıldığı kombinasyonlar derece gün bölgelerinin değişmesi durumları ile kıyaslanınca daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Tablo 4.12. Ankara ili için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

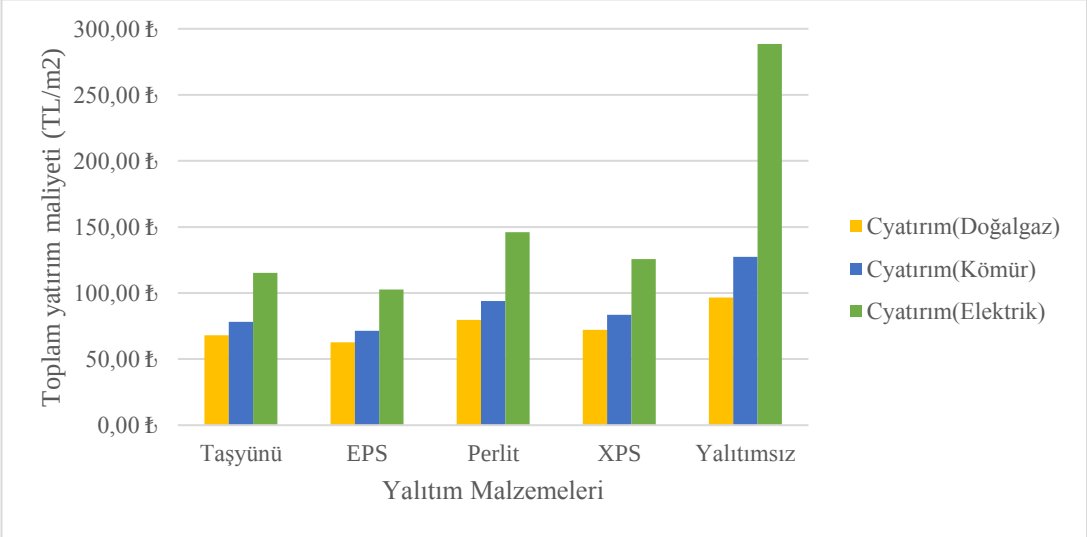
Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,056	0,073	0,137
EPS	0,072	0,093	0,169
Perlit	0,042	0,059	0,122
XPS	0,040	0,053	0,103
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,459	0,382	0,237
EPS	0,387	0,322	0,200
Perlit	0,645	0,537	0,333
XPS	0,519	0,433	0,268
Yalıtımsız Durum	1,268	1,268	1,268

Aşağıdaki şekilde doğalgaz enerjisinin kullanıldığı durumlara ait maliyet eğrileri duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı durumlar için oluşturulmuştur.



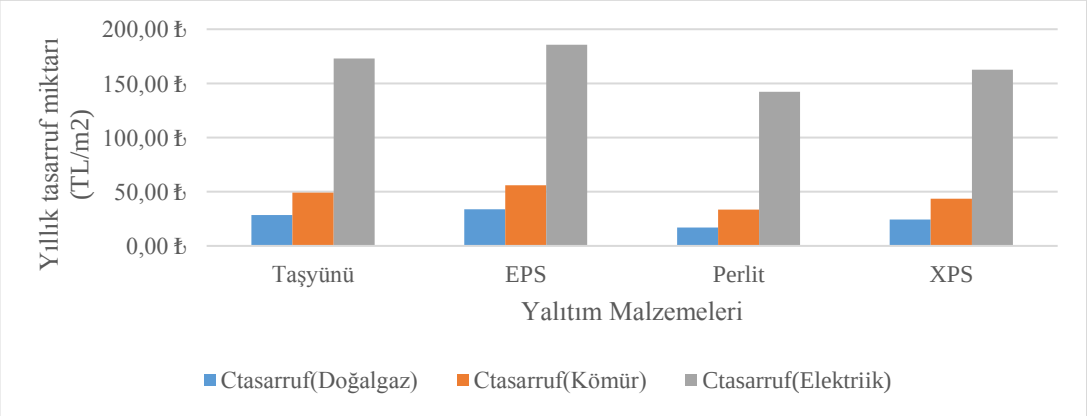
Şekil 4.24. Yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri

Yukarıdaki şekilde duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğla ve ısıtma enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait maliyet eğrileri yer almaktadır. Diğer duvar malzemelerinin doğalgaz ile olan kombinasyonlar sonucunda oluşturulan maliyet eğrilerinde olduğu gibi bu durumda da eğriler aynı yönelimde hareket etmektedir. Literatürde de eğrilerin bu yönelimdedir. Minimum değeri optimum yalıtım kalınlık değerinde görülen toplam maliyet eğrisinin, optimum değerden sonra tekrar artma yönünde eğilim gösterdiği görülmektedir. En düşük değerde yer alan yatırım maliyetine bakıldığında maliyet kısmında 60 TL'ye yaklaşan EPS malzemesinde elde edildiği görülmektedir. Ancak yalıtım maliyetine bakıldığında 10 cm'ye kadar 20TL'nin altında kalan tek malzemenin EPS olduğu ve dolayısıyla yalıtım maliyetlerinin en düşük olduğu yalıtım malzemesinin EPS olduğunu söylemek gerekmektedir. Yakıt maliyetlerinin yalıtım kalınlıklarının artması ile birlikte azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak yapılacak olan yalıtım sisteminin optimum değerde olmayışı toplam maliyeti arttırabilir. Bundan dolayı uygulanacak olan ısı yalıtım sistemlerinin bilinçli kişiler tarafından yapılması gerekmektedir. Sadece doğalgaz enerjisinin kullanıldığı maliyet eğrilerinde olduğu gibi, kömür ve elektrik kullanımında da aynı eğilimlerde grafiklerin meydana geleceği unutulmamalıdır. Aşağıdaki şekilde ise yatay delikli tuğlanın; doğalgaz, kömür ve elektrik enerjisi kullanımında dört yalıtım malzemesi içinde oluşturulan kombinasyonlar yer almaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin hesaplanması ile birlikte toplam ısıtma maliyetlerinin hangi değerlerde kaldığı aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.25. Yatay delikli tuğlada toplam yatırım maliyetleri (Ankara)

Şekil 4.25'de duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlar yer almaktadır. Toplam ısıtma maliyetlerinin hesaplandığı yatay delikli tuğlada yalıtım sistemlerinin gerekliliği daha iyi anlaşılmaktadır. Yakıt olarak doğalgazın, yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımının toplam yatırım maliyeti açısından çalışmada yer alan diğer kombinasyonlarda olduğu gibi bu kombinasyonda da avantajlı durumda olmaktadır. Grafikteki maliyet değerlerine bakıldığında her üç yakıt türü içinde yatırım maliyetlerinin 100 TL ve altına düştüğü malzemenin EPS olduğu görülmektedir. Bu duruma yalıtımsız durumdaki maliyetler ile birlikte bakıldığında en karlı malzemenin EPS olduğu anlaşılacaktır. Ama çalışmada yer alan ilgili tablolar incelendiğinde doğalgaz kullanımının, genel olarak kömür ve elektrik enerjisi kullanımına göre hem optimum yalıtım kalınlığı açısından hem de toplam ısıtma maliyeti açısından daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Kombinasyonlar değerlendirilirken genel olarak EPS ve taş yününe ait verilerin birbirine yakın olduğu ve EPS malzemesinin kullanımının XPS malzemesi kullanımında daha avantajlı olduğu Şekil 4.25'de de anlaşılmaktadır. Ancak daha doğru yorumların yapılabilmesi için hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerlerindeki enerji tasarruf maliyet miktarlarına bakılması gerektiği unutulmamalıdır. Enerji tasarruf maliyet miktarlarının derece gün bölgeleri değiştikçe arttığı ve hem yalıtım malzemesi değiştikçe, hem de kullanılan duvar malzemesinin türü ve kalınlık değeri değiştikçe değiştiği bilinmelidir. Çalışmada yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda toplam ısıtma maliyetlerinin artması ile birlikte enerji tasarruf maliyet miktarlarının da arttığı saptanmıştır. Bu durum aşağıdaki şekilden de anlaşılmaktadır.



Şekil 4.26. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları

Şekil 4.26'da duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlara ait yıllık enerji tasarruf maliyet miktarları ile ilgili veriler yer almaktadır.

Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur.

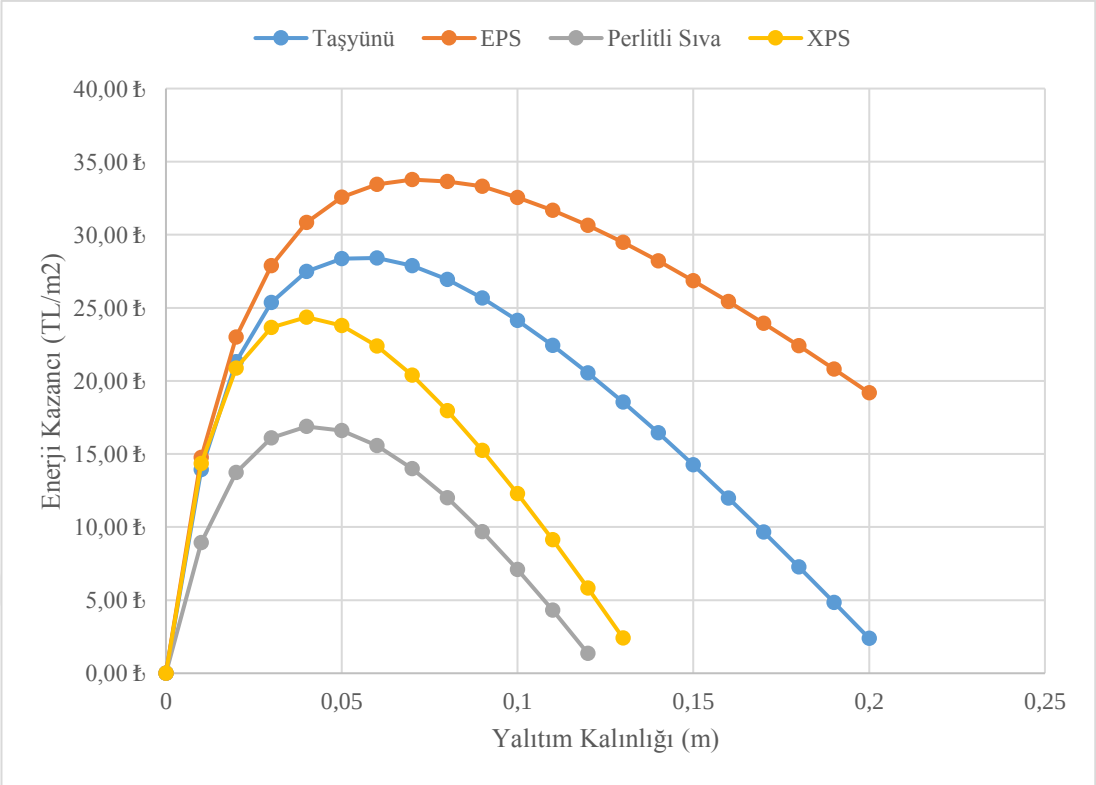
Şekilde yalıtım malzemesi olarak kullanılan taş yünü ve XPS malzemesinin yıllık tasarruf maliyet miktarlarının EPS'nin kullanıldığı kombinasyonlarda elde edilen tasarruf maliyet miktarlarına yaklaştığı görülmektedir. Ancak değer olarak EPS'nin olduğu durumda yıllık tasarruf maliyet miktarlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Grafikte maliyet çizgilerine bakıldığında en yüksek değerlerin her üç yakıt türü için de sırasıyla 40 TL, 60 TL ve 180 TL değerlerine yakın olan EPS malzemesinin sağladığı görülmektedir. Bu durum EPS kullanımını en tasarruflu malzeme haline getirmektedir.

Ankara ili için duvar malzemelerine bakıldığında yıllık tasarruf maliyet miktarlarının diğer illerde de olduğu gibi yatay delikli tuğlada daha fazla çıktığı görülmektedir. Bu durumun sebeplerine bakılacak olursa, ısıtma maliyetlerinin ve dolayısı ile yalıtım maliyetlerinin diğer duvar malzemelerine oranla daha yüksek olmasını saymak gerekmektedir. Aynı zamanda yatay delikli tuğlanın sahip olduğu ısıl iletkenlik değerinin diğer duvar malzemelerinden daha yüksek olması da bu duruma dâhil edilebilmektedir.

Isıtma maliyetleri arttıkça optimum kalınlıklar da, yapılan yalıtımdan dolayı tasarruf maliyet miktarları da artmaktadır.

Perlitli sıva malzemesi birinci ve ikinci derece gün bölgesindeki kombinasyonlar ile birlikte incelendiğinde yıllık tasarruf maliyet miktarlarının yatay delikli tuğlada diğer yalıtım malzemelerinden elde edilen tasarruf maliyet miktarlarına yaklaştığı görülmektedir. Ancak ısıtma maliyetlerinin yatay delikli tuğlada diğer duvar malzemelerine göre daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Bu durum ile birlikte optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de gazbeton ve bimsblokta hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerden daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.27. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Şekil 4.27'nin oluşturulmasında eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Yukarıdaki şekilde Ankara ili için yatay delikli tuğla ve doğalgaz kullanımında enerji kazançlarının eğilimlerinin nasıl gerçekleştiği ve optimum yalıtım kalınlığı sonucunda maksimum enerji kazançlarının hangi değerlerde olduğu görülmektedir. Enerji kazanç eğrilerinin daha fazla belirginleştiği bu durumda derece gün değerinin artması ve duvar malzemesi olarak gazbetondan yatay delikli tuğlaya doğru ilerledikçe enerji kazançlarının da arttığı görülmektedir. Bu durumun grafik eğilimlerinin değiştirmediği literatürde ve bu çalışmada yer almıştır. EPS kullanımının enerji kazancı olarak avantajlı duruma düştüğü bu durumda yalıtım malzemesi olarak perlitli sıva kullanımının üç yalıtım malzemesinden de geri kaldığı görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlık değerinde maksimum tasarrufların bulunduğu bu grafikte 30 TL/m^2 değerini geçen tek malzemenin EPS olduğu görülmektedir. Yalıtım kalınlığının 5 cm olduğu çizgiye bakıldığında XPS ve perlitli sıvanın aşağı yönlü bir azalımda olduğu, taş yününün 30 TL/m^2 değerine yaklaşarak

maksimum bir değer elde ettiği ve EPS'nin ise hala yukarı doğru bir artış gerçekleştirdiği görülmektedir.

4.4. Dördüncü Bölge: Van

Çalışmada ülkemizde dördüncü bölgede yer alan Van ili için TS 825 te yer alan veriler ışığında hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda Van için derece gün değeri 18 ºC denge sıcaklığı temel alınarak hesaplanmıştır.

Van ili dördüncü derece gün bölgesinde yer alması ve soğuk bir iklimin etkisi altında olmasından dolayı elde edilen veriler ile yalıtımının gerekliliği daha iyi anlaşılmaktadır. Kullanılan kombinasyonlarda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerlerinin hesaplamalarda kullanılarak elde edilen toplam ısıl geçirgenlik değerinin 0,38 W/m^{2}K'dan düşük olması gerektiği unutulmamalıdır.

Toplam ısıl geçirgenlik sayısının azalması ile birlikte ısı kayıplarına karşı gösterilen direncinde artacağı literatür araştırmaları sonucunda saptanmıştır. Bu durumun hem insan sağlığı hem de yapı sağlığı açısından ne kadar önemli olduğu unutulmamalıdır. Genel olarak yanlış yalıtım sistemlerinin kullanıldığı bu ilimizde verilerin dikkatlice incelenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

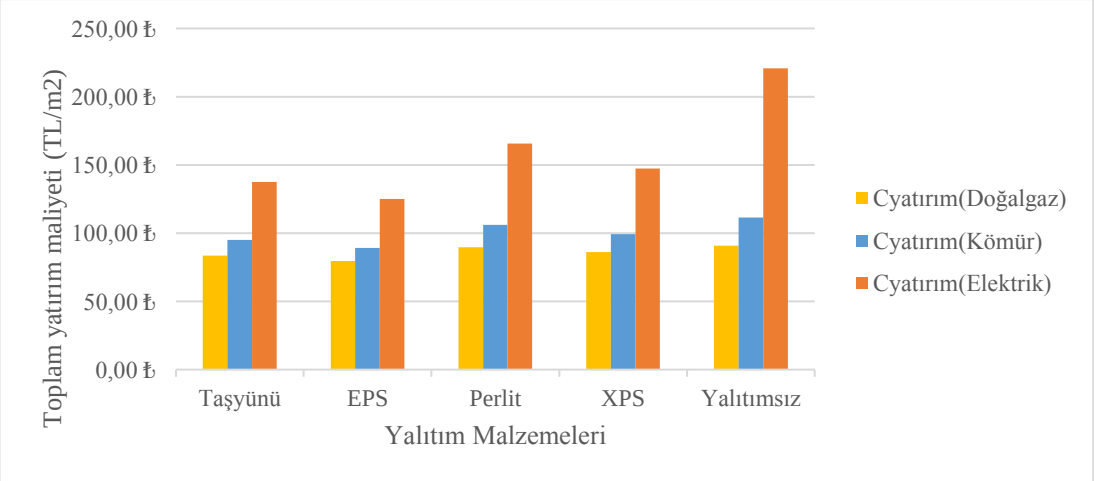
Tablo 4.13'de duvar malzemesinin gazbeton olarak kullanıldığı kombinasyonlar yer almaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin yaklaşık olarak 17 cm'e kadar çıkabildiği tabloda görülmektedir. Diğer tablolarda da görüldüğü gibi ısıtma enerjisinin elektrik olarak kullanıldığı durumda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durumda soğuk ve sert iklimin etkisi altında kalan bu bölgede yalıtım maliyetinin artması anlamına gelmektedir.

Toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin 0,38 W/m^{2}K değerinden genel itibari ile düşük olduğu görülmektedir. Toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin, kombinasyonlarda yer alan duvar malzemesi kalınlık değerinin ve duvar malzemesine ait ısıl iletkenlik değerinin TS 825'de yer alan başka bir değerle değiştirilmesi ile düzeltilebileceği unutulmamalıdır. Yalıtım malzemesinin perlitli sıva olarak kullanıldığı kombinasyonlarda toplam ısıl geçirgenlik değerinin yüksek çıktığı saptanmıştır.

Tablo 4.13. Van ili için gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,039	0,059	0,132
EPS	0,057	0,081	0,168
Perlit	0,014	0,033	0,105
XPS	0,024	0,039	0,096
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,402	0,335	0,208
EPS	0,339	0,282	0,175
Perlit	0,565	0,471	0,292
XPS	0,455	0,379	0,235
Yalıtımsız Durum	0,660	0,660	0,660

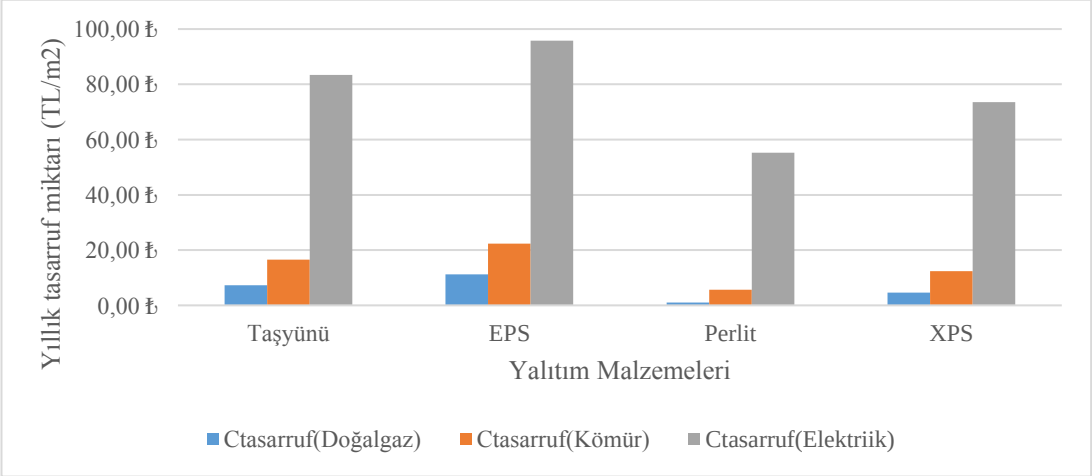
Yalıtım malzemelerinin değerlendirilirken toplam yatırım maliyetleri ve enerji tasarruf maliyet miktarları üzerindeki etki düşünülerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Aşağıda gazbetonun kullanıldığı duruma ait veriler yer almaktadır.



Şekil 4.28. Gazbetonda yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Van)

Şekil 4.28'de soğuk ve sert bir iklimin hâkim olduğu ve dördüncü derece gün bölgesinde yer alan Van ilinde duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı duruma ait olan kombinasyonlar yer almaktadır. Şekilde yer alan verilere bakıldığında Adana, Kocaeli ve Ankara ait olan ve duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı durumlar kıyaslanırsa, Van ilinde hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerlerinin ve toplam yatırım maliyeti değerlerinin daha yüksek

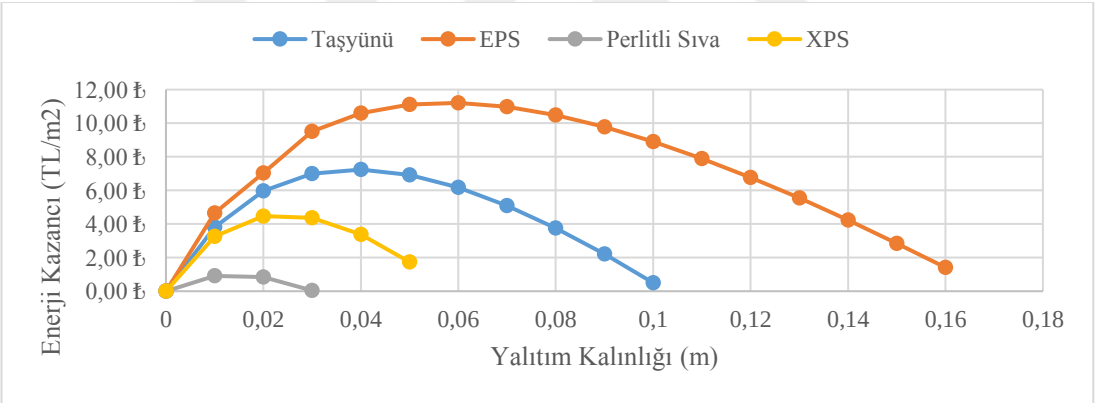
çıktığı görülmektedir. Isıtma enerjisi olarak elektrik enerjisinin kullanıldığı durumumun diğer bölgelerde olduğu gibi bu bölgede de dezavantajlı durumda olduğu görülmektedir. Elektrik kullanımında yalıtımsız durumdaki maliyetin 200 TL/m^2 değerini geçtiği görülmektedir. Perlitli sıva dışındaki diğer yalıtım malzemeleri 200 TL/m^2 maliyeti altında kalmakta ve en düşük değer yaklaşık olarak 125 TL/m^2 ile EPS olmaktadır. Kömür enerjisi kullanımında ise perlit dışındaki malzemelerin 100 TL/m^2 altında olduğu görülmektedir. Doğalgaz kullanımına bakıldığında ise yine en düşük değerin EPS malzemesinde elde edildiği görülmektedir. Yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımında diğer yalıtım malzemelerine bakıldığında toplam yatırım maliyetlerinin daha fazla düştüğü görülmektedir. Bu durum çalışmada yer alan bütün kombinasyonlarda EPS'yi sürekli bir adım ötede tutmuştur. Ancak yine de bu duruma yalıtım malzemelerinin kullanıldığı durumlarda oraya çıkan tasarruf maliyet miktarları ile birlikte bakmak gerekmektedir.



Şekil 4.29. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Van)

Şekil 4.29'da duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlarda Van ili için yıllık enerji tasarruf maliyet miktarlarına ait veriler yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Şekil 4.29'da gazbetonun kullanıldığı birinci, ikinci ve üçüncü derece gün bölgelerinde yer alan kombinasyonlar ile birlikte bakıldığında dördüncü derece gün bölgesi ve soğuk bir iklim bölgesinde yer alan Van ilinde aynı yalıtım malzemelerinin kullanılması ile elde edilen yıllık tasarruf maliyet miktarlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yalıtım malzemelerine bakıldığında ise perlitli sıva

malzemesinin gazbetonun kullanıldığı bu durumda yıllık tasarruf maliyet miktarlarının daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. EPS'nin bulunduğu kombinasyonlarda tasarruf maliyet miktarları açısından XPS ve taş yünü malzemelerinden daha yüksek olduğu ama belirgin bir farkın da olmadığı şekilde anlaşılmaktadır. Aynı zamanda grafik dikkatli bir şekilde incelendiğinde her üç yakıt türü için de 10 TL/m^2 değerinin sadece EPS kullanımında geçildiği görülmekte ve bu tasarruf değerleri diğer yalıtım malzemelerine kıyasen maksimum değerler olmaktadır. Isıtma enerjisi olarak elektrik enerjinin alt ısıl değerinin diğer yakıt türlerinden daha düşük olmasından dolayı ısıtma için gerekli enerji miktarı fazla olmakta ve dolayısı ile ısıtma enerjisi maliyetleri de diğer yakıt türlerine göre yüksek çıkmaktadır. Bu durum elektrik enerjisinde optimum yalıtım kalınlık değerlerinin, tasarruf maliyet miktarları açısından daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. Ancak elektrik enerjisini değerlendirirken ısıtma maliyetlerinin ve yalıtım maliyetlerinin diğer yakıt türlerine oranla daha yüksek olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 4.30. Optimum yalıtım kalınlığında gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı yukarıdaki şekilde yakıt enerjisi olarak doğalgaz kullanımında enerji kazanç eğrilerinin her dört yalıtım malzemesi için de nasıl bir eğilimde olduğu görülmektedir. Şekil 4.30'un oluşturulmasında eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Enerji kazanç eğrilerinin maksimum bir değeri gördükten sonra eğilimin aşağı yönde olduğu görülmektedir. Eğilimlerin daha net olduğu bu grafikte EPS malzemesinin yaklaşık olarak 6 cm olan yalıtım kalınlığında 10-12 TL/m^2 gibi diğer kombinasyonlara kıyasen

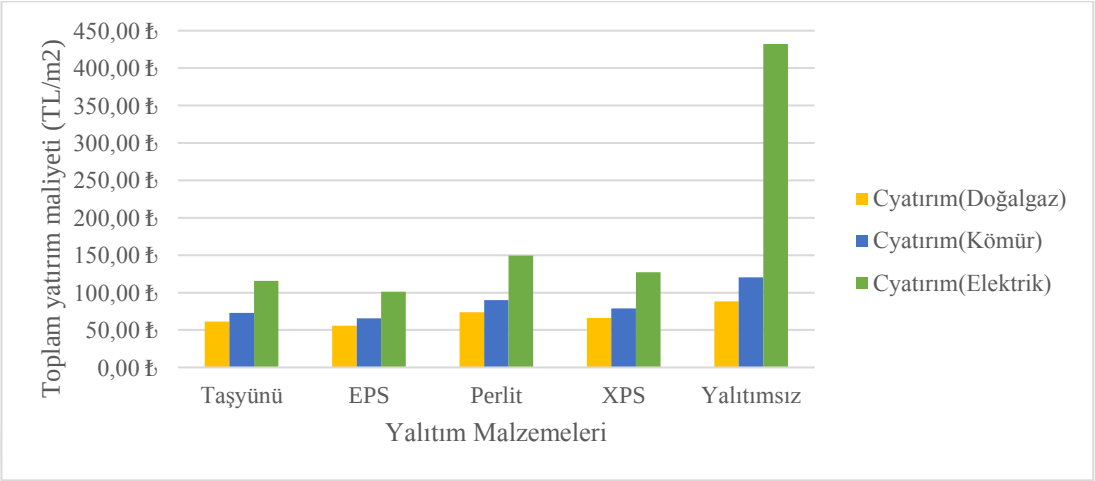
en yüksek tasarrufun sağlandığı görülmektedir. Taş yünü kullanımında ise 4 cm yalıtım kalınlığında yaklaşık olarak 7-8 TL/m^2 gibi bir tasarrufun sağlandığı görülmektedir. Derece gün değerinin artması ile birlikte enerji kazançlarının da arttığı şekilde görülmektedir. Derece gün bölgeleri gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlar dikkate alınarak incelendiğinde Van ilinde enerji kazançlarının yalıtım kalınlıklarının belirginleşmesi ile birlikte arttığı ve eğilimin de bu duruma göre şekillendiği görülmektedir. Çalışmada dördüncü derece gün bölgesi değerlendirilirken çalışmada yer alan diğer derece gün bölgeleri ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylelikle derece gün değeri arttıkça ve sıcak iklimden soğuk iklime doğru gidildikçe, optimum yalıtım kalınlık değerlerinin, toplam yatırım maliyetlerinin ve tasarruf maliyet miktarlarının nasıl değiştiği görülecektir. Çalışmada yer alan bimsblok ile ilgili kombinasyonlar ve aşağıdaki tablo beraber incelendiğinde, bimsblok kullanımının optimum yalıtım kalınlığı üzerinde ne denli etkili olabileceği görülebilmektedir. Tablo 4.14'de duvar malzemesinin bims olarak kullanıldığı kombinasyon yer almaktadır. Optimum yalıttım kalınlık değerlerinin birinci, ikinci ve üçüncü bölgede yer alan duvar malzemesi olarak bimsin kullanıldığı kombinasyonlara oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir. Isıtma enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı kombinasyonların daha avantajlı olduğu unutulmamalıdır.

Tablo 4.14. Van ili için bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,060	0,080	0,153
EPS	0,079	0,102	0,189
Perlit	0,043	0,063	0,134
XPS	0,043	0,058	0,114
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^2K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,402	0,335	0,208
EPS	0,339	0,282	0,175
Perlit	0,565	0,471	0,292
XPS	0,455	0,379	0,235
Yalıtımsız Durum	1,018	1,018	1,018

Her kombinasyonda olduğu gibi optimum yalıtım kalınlık değerlerinin değerlendirilmeden önce farklı türdeki ısıtma enerjileri ve duvar malzemeleri ile olan

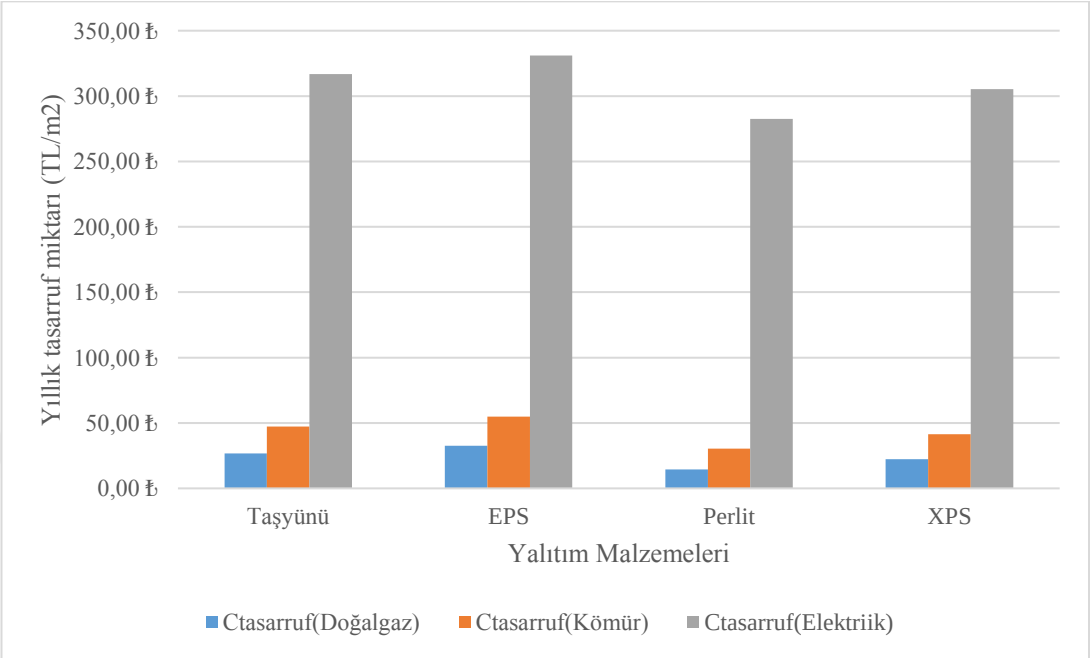
kombinasyonlardaki toplam yatırım maliyetlerine bakılmalıdır. Aşağıdaki tabloda bimsbloğa ait veriler yer almaktadır.



Şekil 4.31. Bimsblokta yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Van)

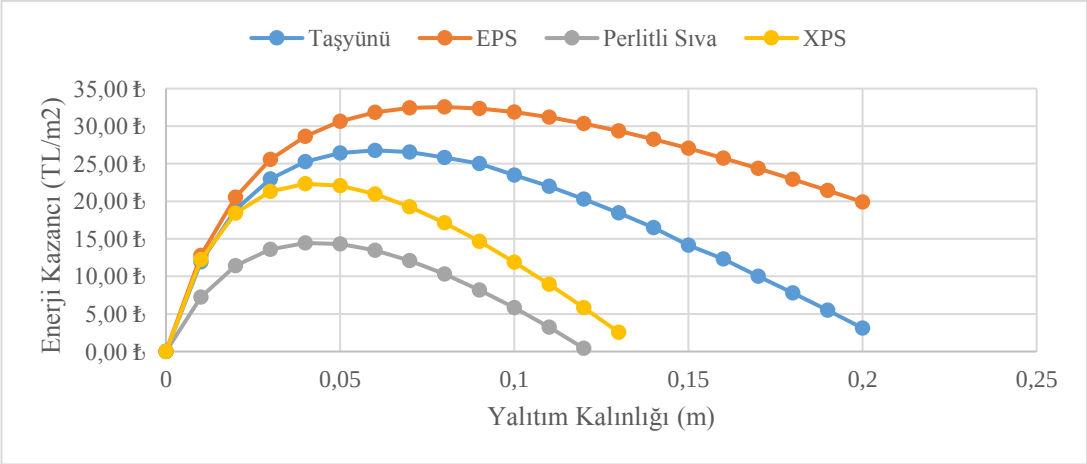
Şekil 4.31'de duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara ait veriler yer almaktadır. Yalıtım malzemeleri elde edilen optimum kalınlıklardaki toplam yatırım maliyeti kıyaslanırsa ekonomik olarak EPS'nin sırasıyla taş yünü, XPS ve perlitli sıva malzemelerinden daha avantajlı olduğunu söylemek mümkün olmaktadır. Toplam yatırım maliyetlerine bakıldığında her üç ısıtma enerjisi içinde 100 TL/m^2 maliyetinin altında kalan malzemenin EPS olduğu görülmektedir. Yakıt alt ısıl değerlerinden dolayı daha maliyetli olan kömür ve elektrik enerjisinde yatırım maliyetleri sırası ile 100 TL/m^2 ve 400 TL/m^2 değerinde iken bu değerler EPS kullanımında kömürde yaklaşık olarak 60 TL/m^2, elektrik kullanımında ise 100 TL/m^2 değerine düşmüştür. Birinci derece gün bölgesinden dördüncü derece gün bölgesine yakınlaştıkça elektrik enerjisinin ısıtma enerjisi olarak kullanımında daha maliyetli olduğu çalışmada yer alan tüm kombinasyonlarda görülmektedir. Kömür enerjisinin doğalgaz ile kıyaslanınca maliyetli olduğu, ancak aradaki maliyet farkının çok fazla olmadığı görülmektedir. Hesaplamalar sonucu elde edilen yıllık enerji miktarı ve buna bağlı olarak yıllık tüketilen yakıt miktarı maliyetlerinin dördüncü bölgede yer alan bütün kombinasyonlarda diğer derece gün bölgelerine oranla daha yüksek olduğunu söylemek mümkün olmaktadır. Dolayısı ile bu bölgede yer alan kombinasyonlarda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin daha belirgin olduğu hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Bimsbloğa ait toplam yatırım maliyetleri beş derece gün bölgesi için

beraber irdelendiğinde optimum yalıtım kalınlık değerlerindeki tasarruf maliyet miktarlarının yorumlanması daha doğru olacaktır.



Şekil 4.32. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Van)

Şekil 4.32'de Van ili için duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara ait yıllık enerji tasarruf maliyet miktarlarına ait veriler yer almaktadır. Şekildeki grafik eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Duvar malzemesi olarak gazbetondan uzaklaştıkça toplam ısıtma maliyetlerinin daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak da hesaplamalar sonucunda elde edilen tasarruf maliyet miktarlarının daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. EPS'nin tasarruf maliyet miktarlarına bakıldığında daha yüksek değerlerde olduğu Şekil 4.32'de de anlaşılmaktadır. Örnek vermek gerekirse, kömür enerjisi kullanımında 50 TL/m^2 olan tasarruf miktarının sadece EPS kullanımında geçildiği görülmektedir. EPS'yi her üç yakıt türü içinde en yakın olarak taş yünü takip etmektedir. Bununla birlikte optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de EPS'de diğer yalıtım malzemelerine oranla daha yüksek olduğu yapılan hesaplamalar ile bulunmuştur. Derece gün bölgeleri kıyaslandığında ise duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlarda Van ilinde elde edilen yıllık tasarruf maliyet miktarlarının daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.33. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Şekil 4.33'ün oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Enerji kazançlarının arttığı bu şekilde EPS sahip olduğu eğilimin taş yünü, XPS ve perlitli sıvanın sahip olduğu eğilimlerden daha iyi olduğu görülmektedir. Yalıtım kalınlığı olarak 5 cm değerindeki maliyetlere bakıldığında perlitli sıva ve XPS malzemelerinin maksimum değerlerinden sonra aşağı yönlü bir eğilime başladığı, EPS ve taş yününün ise maksimum değerlerine doğru bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Maksimum kazanç değerlerine optimum yalıtım kalınlıklarında ulaşıldığı Tablo 4.15 incelendiğinde anlaşılmaktadır. Çalışmada yer alan yatay delikli tuğlanın yer aldığı kombinasyonlar değerlendirilirken beş derece gün bölgesindeki değerlere beraber bakmak, yatay delikli tuğla kullanımının ve hangi yalıtım malzemeleri ile hangi bölgelerde kullanılacağı hakkında daha doğru yorumlar yapılmasını sağlayacaktır.

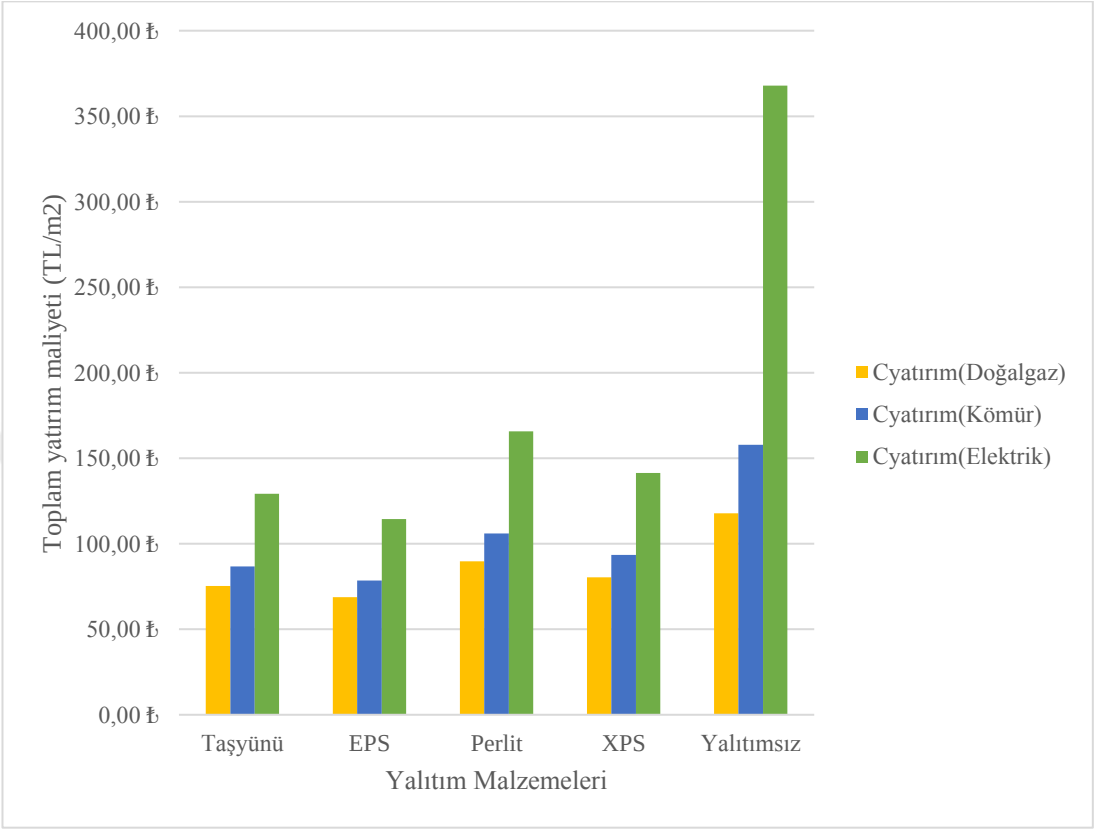
Tablo 4.15'de duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyon yer almaktadır. Çalışmada yer alan optimum yalıtım kalınlık değerlerine bakıldığı durumda beş derece gün bölgesinde de yer alan bütün kombinasyonlar incelenirse, en yüksek optimum yalıtım kalınlık değerlerinin yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda olduğu görülecektir. Bu duruma yatay delikli tuğlanın sahip olduğu ısıl iletkenlik değerinin diğer duvar malzemelerine kıyasla daha yüksek olmasından kaynaklı olduğu unutulmamalıdır. Yalıtım kalınlık değerlerinin artması ile birlikte herhangi bir yalıtım sisteminin olmadığı durumda toplam ısıl geçirgenlik değeri 1,27

W/m^{2}K gibi yüksek bir değerde olduğu tablodan anlaşılmakta ve yalıtım kalınlık değerlerinin belirginleşmesi ile birlikte bu değerin ne kadar azaldığı da tabloda görülmektedir. Optimum yalıtım kalınlıklarındaki toplam ısıtma maliyetlerine bakılmadan bile sadece toplam ısıl geçirgenlik değerleri yorumlanarak yalıtım sistemlerinin ne kadar gerekli olduğu hakkında yorum yapılabilmektedir. EPS kullanımının toplam ısıl geçirgenlik değerleri incelendiğinde diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir ve bu durumda EPS'nin ısı yalıtım malzemesi olarak iyi bir malzeme olduğunu göstermektedir. XPS ve EPS malzemelerine Tablo 4.15 ve çalışmada yer alan diğer kombinasyonlar incelendiğinde EPS malzemesinin ısı yalıtım malzemesi olarak XPS malzemesinden optimum yalıtım kalınlıklarında daha büyük olduğu, ancak toplam yatırım maliyetleri açısından EPS malzemesinin XPS kullanımına nazaran daha iyi ekonomik olduğu literatürde olduğu gibi bu çalışmada da yapılan hesaplamalar sonucunda daha ekonomik olduğu elde edilmiştir.Perlitli sıva malzemesinin diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında yatay delikli tuğlanın kullanıldığı bu kombinasyonda, diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha yüksek toplam ısıl geçirgenlik değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4.15.Van ili için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,068	0,088	0,161
EPS	0,087	0,110	0,197
Perlit	0,054	0,073	0,145
XPS	0,049	0,065	0,121
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,402	0,335	0,208
EPS	0,339	0,282	0,175
Perlit	0,565	0,471	0,292
XPS	0,455	0,379	0,235
Yalıtımsız Durum	1,268	1,268	1,268

Bu durumlar irdelendikten sonra daha gerçekçi yorumların yapılabilmesi için toplam ısıtma maliyetlerine bakılması gerektiği unutulmamalıdır.

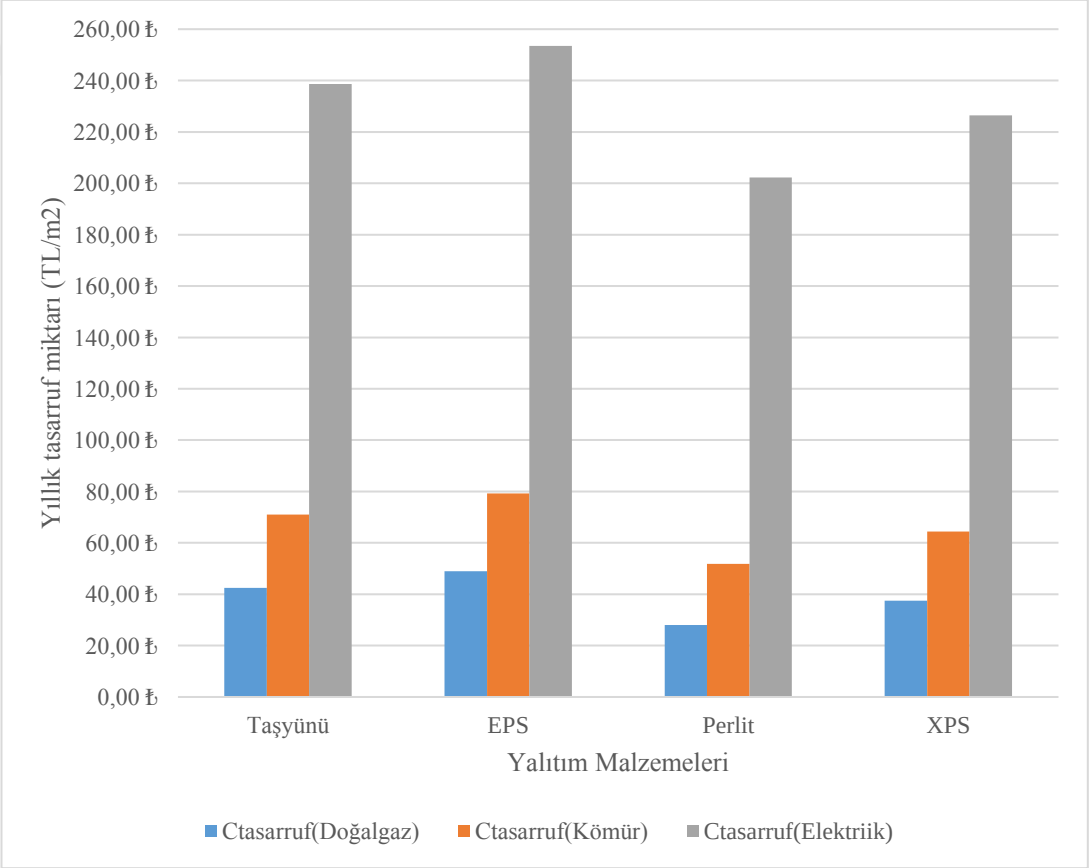


Şekil 4.34. Yatay delikli tuğlada yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Van)

Şekil 4.34 incelendiğinde duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı bu kombinasyonun Van iline göre duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara göre dezavantajlı olduğu görülmektedir. Duvar malzemesi fiyatlarından dolayı gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlar ile karşılaştırıldığında daha düşük toplam yatırım maliyetlerine sahip olmasından dolayı yatay delikli tuğlanın bulunduğu kombinasyonlar daha avantajlı duruma gelebilmektedir. Toplam yatırım maliyetlerine Van ili için üç duvar malzemesi kullanımına da bakıldığında bu durum daha iyi anlaşılacaktır.

Çalışmada yer alan ilgili diğer şekillerde olduğu gibi ısıtma enerjisi olarak doğalgazın kullanıldığı durumun kömür enerjisinden ve elektrik enerjisinde daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Tüm kombinasyonlarda olduğu gibi ısıtma enerjisi olarak doğalgazın ve yalıtım malzemesi olarak EPS'nin kullanıldığı durumunun diğer kombinasyon

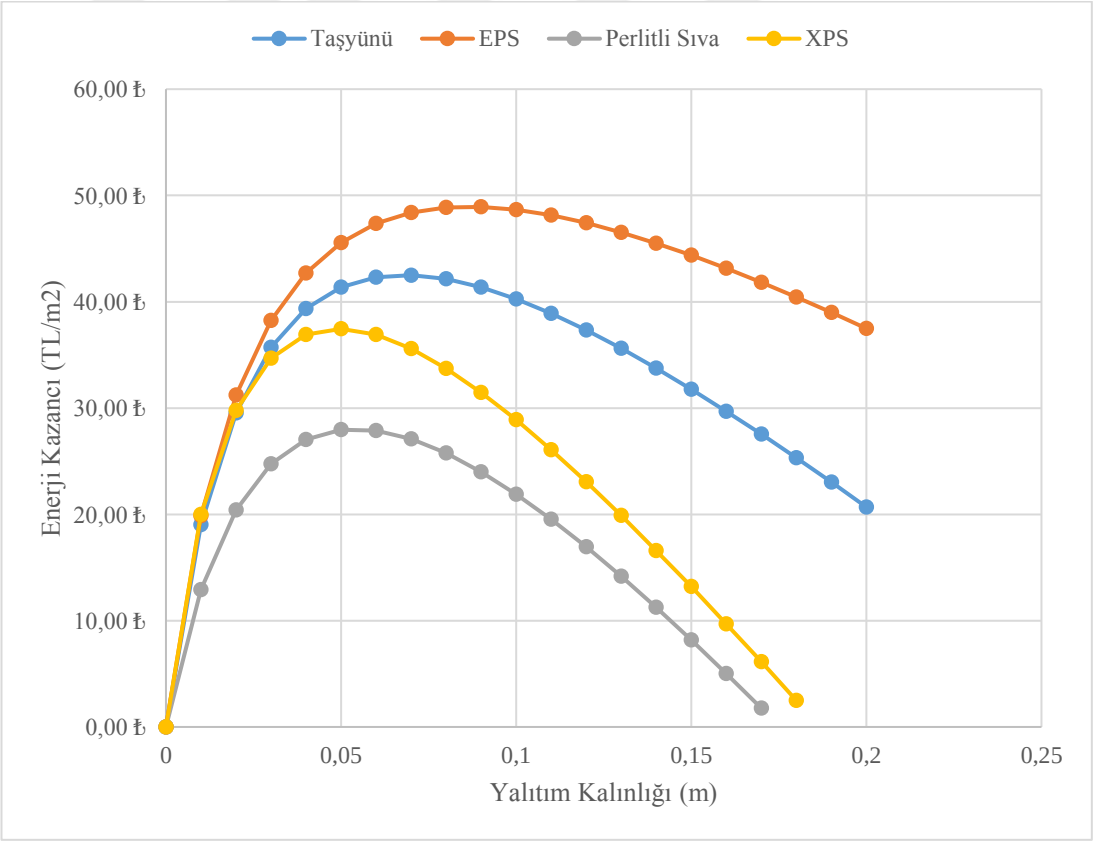
değerlerinden daha düşük toplam ısıtma maliyetlerinde olduğu şekilde anlaşılmaktadır. Sadece elektrik enerjisi kullanımına bakıldığında bile 350 TL/m^2 değerini aşan yalıtımsız durumdaki maliyetin, EPS kullanımında 100-120 TL/m^2 olduğu görülmektedir. Bu durum yatırım maliyetleri açısından EPS'yi avantajlı kılmaktadır. XPS malzemesinin daha maliyetli bir malzeme olmasına rağmen perlitli sıvaya oranla daha düşük bir ısıl iletkenlik katsayısına sahip olduğundan dolayı toplam yatırım maliyeti açısından perlitli sıva malzemesi kullanımında daha az maliyetli olduğu görülmektedir. Toplam ısıtma maliyetleri değerlendirilirken tasarruf maliyet miktarlarına da bakılması gerekmektedir.



Şekil 4.35. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Van)

Yukarıdaki şekilde duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlara ait Van ili için yıllık enerji tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır. Şekildeki grafik eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Tasarruf maliyet miktarlarının çalışmada yer alan diğer tüm kombinasyonlara bakıldığında en yüksek değerlerin Van ili için yatay delikli tuğlanın

kullanıldığı kombinasyonlarda olduğu görülmektedir. Aynı zamanda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de daha yüksek olduğu görülmektedir. Yalıtım malzemelerine bakıldığında tasarruf maliyet miktarları açısından aralarında belirgin farkların olmadığı yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. EPS'nin kullanıldığı durumlarda tasarruf maliyet miktarlarının daha yüksek olduğu bu şekilde de anlaşılmaktadır. EPS kullanımında doğalgazda tasarruf miktarının 40 TL/m^2 değerini aştığı, kömür enerjisi kullanımında tasarruf miktarının 80 TL/m^2 değerinin yakaladığı ve elektrik kullanımında tasarruf maliyetinin 240 TL/m^2' yi aştığı ve 260 TL/m^2 değerine yaklaştığı görülmektedir. Yatay delikli tuğlaya bakıldığında Van ili için duvar malzemesi maliyetinden dolayı gazbeton kullanımından daha az maliyetli olduğu anlaşılmaktadır. Ancak hem ısıtma maliyetlerinin, hem de optimum yalıtım kalınlık değerlerinin yüksek olmasından dolayı maliyet artışı olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 4.36. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Şekil 4.36'nın oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak

yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Yukarıdaki şekilde yatay delikli tuğla kullanımında yalıtım kalınlık değerlerinin artması ile birlikte enerji kazançlarının da optimum değerde arttığı ve daha sonrasında aşağı yönlü bir eğilimin içinde olduğu görülmektedir. Avantajlı durumda kalan EPS malzemesi incelendiğinde tasarruf maliyetinin 50 TL/m^2 değerini yakaladığı görülmektedir. Maksimum değerlerin yakalandığı yalıtım kalınlık değerlerine bakıldığında sırası ile EPS 9 cm ve taş yünü 7 cm'ye yakın bir değerde, XPS ve perlitli sıva ise 5 cm'ye yakın bir değerde elde edildiği görülmektedir. Van ilinde dört yalıtım malzemesinin de sahip olduğu eğilim çizgilerinin diğer derece gün bölgelerine ve kullanılan duvar malzemelerine kıyasla, bu şekilde daha yakın olduğu görülmektedir.

4.5. Beşinci Bölge: Ardahan

Çalışmada ülkemizde beşinci bölgede yer alan Ardahan ili için TS 825 te yer alan veriler ışığında hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda çalışmada diğer derece-gün bölgelerinde olduğu gibi beşinci derece-gün bölgesinde de derece gün değeri 18 ºC denge sıcaklığı temel alınarak hesaplanmıştır. Derece gün değerinin arttığı Ardahan ilinde optimum yalıtım kalınlıkları da hesaplamalar sonucunda diğer bölgelere göre yüksek değerler almıştır. Bu duruma paralel olarak toplam yatırım maliyetleri ve yıllık tasarruf maliyet miktarları da artış göstermiştir. Kullanılan kombinasyonlarda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerlerinin hesaplamalarda kullanılarak elde edilen toplam ısıl geçirgenlik değerinin 0,36 W/m^2K'dan düşük olması gerekmektedir. Toplam ısıl geçirgenlik değerinin düşmesi ile ısı kayıplarına gösterilen direncin de arttığı yıllık tasarruf maliyet miktarlarının beşinci derece gün bölgesinde yüksek değerlerde olması ile açıklanabilmektedir. Isı yalıtım sistemlerinin gerekliliği derece gün bölgesi beşinci bölgeye doğru geldikçe daha iyi anlaşılmaktadır. Bu durumu daha iyi anlayabilmek için beş derece gün bölgesinde yer alan illere ait kombinasyon grafiklerinin incelenmesi yeterli olacaktır.

Tablo 4.16'da gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlara ait veriler yer almaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerine bakıldığında Ardahan ilinin beşinci derece gün bölgesinde olmasının etkisi daha iyi anlaşılmaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin çalışmada yer alan illere bakıldığında doğalgaz enerjisinin kullanıldığı

durumda diğer enerji kaynaklarına kıyasla düşük olduğu bu tabloda da görülmektedir. Isıtma enerjisinin elektrik olarak kullanıldığı durumda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin beşinci derece gün bölgesine yaklaştıkça arttığı görülmektedir. Bu durum beşinci derece gün bölgesi için yalıtım maliyetinin artması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda yalıtım maliyetinin artması ile toplam ısıtma maliyetleri artmakta ve dolayısı ile toplam yatırım maliyetleri de artmaktadır.

Toplam ısıl geçirgenlik değerlerinin 0,36 W/m^{2}K değerinden genel itibari ile düşük olduğu görülmektedir. Isı kayıplarının diğer derece gün bölgelerine bakıldığında yüksek olan bu bölgede elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları ile ısıl geçirgenlik değerlerinin değişimi derece gün değeri arttıkça daha iyi anlaşılmaktadır.

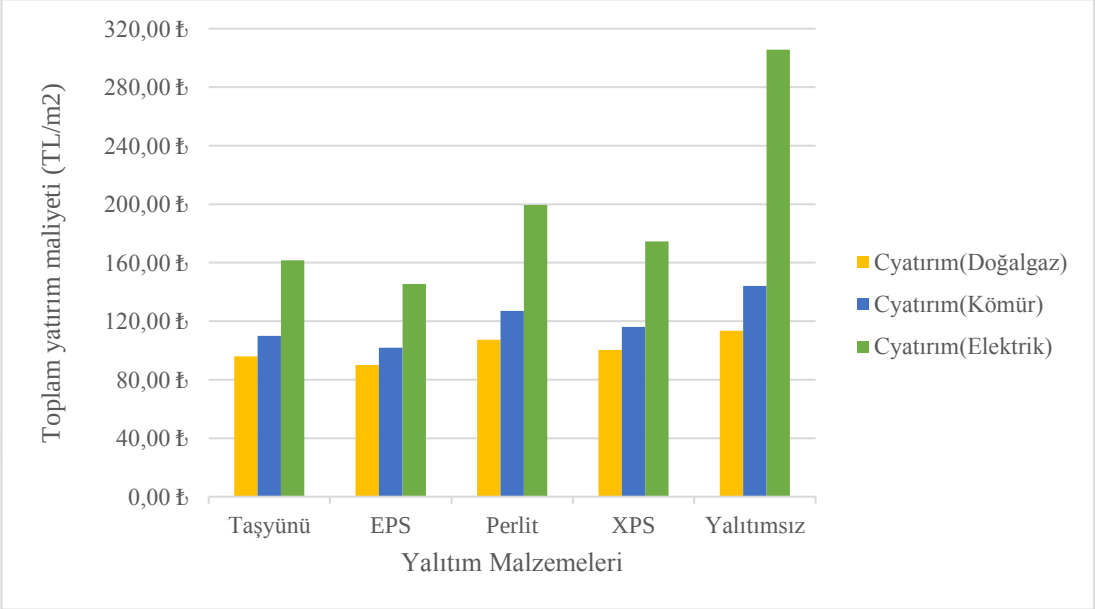
Toplam ısıl geçirgenlik sayısının azalması ile ısı kayıplarına karşı olan direnç artmakta, ısı kayıpları azalmakta ve bu durumda bir binada neden yalıtım yapılması gerektiği daha iyi anlaşılmaktadır. Yalıtım malzemesinin perlitli sıva olarak kullanıldığı kombinasyonlarda toplam ısıl geçirgenlik değerinin yüksek çıktığı saptanmıştır. Bu durum perlitli sıvanın sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayısının diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha yüksek bir değerde olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.16. Ardahan ili için gazbetonda optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,060	0,085	0,174
EPS	0,083	0,112	0,217
Perlit	0,035	0,059	0,146
XPS	0,040	0,059	0,128
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,331	0,276	0,171
EPS	0,279	0,232	0,144
Perlit	0,465	0,387	0,240
XPS	0,374	0,312	0,193
Yalıtımsız Durum	0,660	0,660	0,660

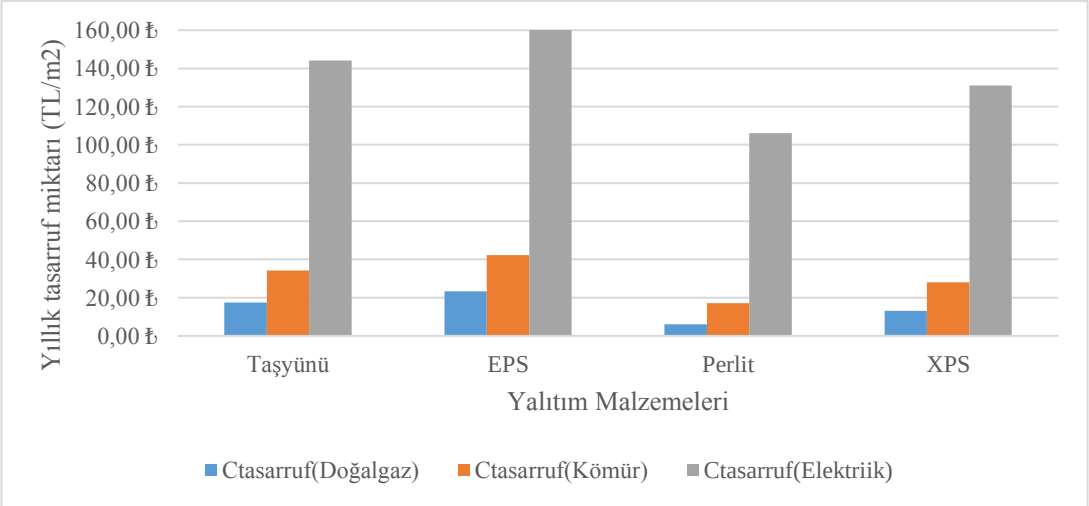
Yalıtım malzemelerinin değerlendirilirken toplam yatırım maliyetleri ve enerji tasarruf maliyet miktarları üzerindeki etki düşünülerek değerlendirilmesi gerekmektedir.

Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin hesaplanması ile toplam ısıtma maliyetlerine ve yıllık tasarruf maliyet miktarlarına bakmak mümkün olmaktadır.



Şekil 4.37. Gazbetonda yalıtımlı durumda topla yatırım maliyetleri (Ardahan)

Şekil 4.37'de beşinci derece gün bölgesinde yer alan Ardahan bölgesinde yer alan duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı duruma ait olan kombinasyonlar yer almaktadır. Şekilde yer alan verilere bakıldığında Adana, Kocaeli, Ankara ve Van illerine ait olan ve duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı durumlar kıyaslanırsa, Ardahan ilinde hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum yalıtım kalınlık değerlerinin ve toplam ısıtma maliyeti değerlerinin daha yüksek çıktığı ve bu durumun aynı şekilde toplam yatırım maliyetlerini arttırdığı görülmektedir. Isıtma enerjisi olarak elektrik enerjisinin kullanıldığı durumumun diğer bölgelerde olduğu gibi bu bölgede de dezavantajlı durumda olduğu görülmektedir. Yalıtımsız durumdaki elektrik kullanımındaki yatırım maliyeti 300 TL/m^2 değerinin üzerinde olmasına rağmen, yalıtım malzemesi kullanımında taş yününde 160 TL/m^2, EPS kullanımında 140-150 TL/m^2 aralığında, perlitli sıva kullanımında 200 TL/m^2 ve XPS kullanımında ise 180 TL/m^2 değerine yakın bir değerde olduğu görülmektedir. Yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımında diğer yalıtım malzemelerine bakıldığında toplam yatırım maliyetlerini daha fazla düştüğü görülmektedir. Ancak yine de bu duruma yalıtım malzemelerinin kullanıldığı durumlarda oraya çıkan tasarruf maliyet miktarları ile birlikte bakmak gerekmektedir.



Şekil 4.38. Gazbetonda yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ardahan)

Şekil 4.38'de duvar malzemesi olarak gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlarda Ardahan ili için yıllık enerji tasarruf maliyet miktarlarına ait veriler yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Derece-gün değerinin artması ile soğuk ve sert iklimin hakim olduğu Ardahan ilinde gazbetonun kullanıldığı kombinasyonlardaki tasarruf maliyet miktarlarına bakılırsa beşinci derece-gün bölgesinde elde edilen tasarruf maliyet değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Isı kayıplarına gösterilen direnç ile birlikte optimum yalıtım kalınlığında daha fazla ısı kaybı bu bölgede önlenmiş ve bu durumda tasarruf maliyet miktarları da diğer bölgelere göre optimum kalınlıklarda artmıştır.

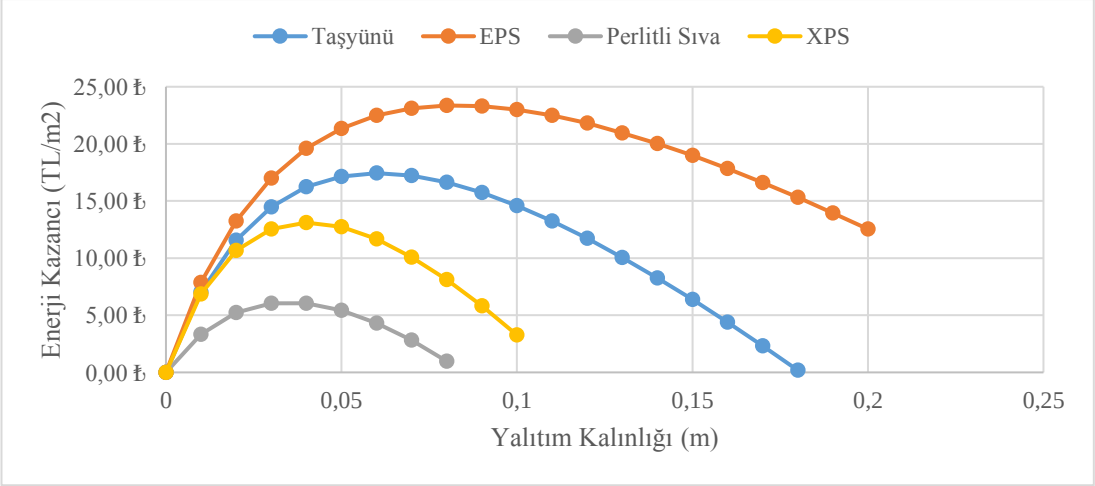
Yalıtım malzemelerine bakıldığında ise perlitli sıva malzemesinin gazbetonun kullanıldığı bu durumda yıllık tasarruf maliyet miktarlarının daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

EPS'nin bulunduğu kombinasyonlarda tasarruf maliyet miktarları açısından XPS ve taş yününden daha yüksek olduğu şekilde anlaşılmaktadır. EPS kullanımında doğalgazda 20-30 TL/m^2 aralığında, kömür kullanımında 40 TL/m^2 değerinde ve elektrik kullanımında 160 TL/m^2 gibi grafikteki en yüksek değerlerde olmaktadır.

Elektrik enerjisinin bu kombinasyonda da dezavantajlı duruma düştüğü görülmekte, kömür enerjisinden elde edilen tasarruf maliyet miktarlarının doğalgazın kullanıldığı

durumda daha yüksek çıktığı görülmektedir. Doğalgaz kullanımında en düşük tasarruf maliyetine bakıldığında bu değeri 0-10 TL/m^2 aralığında olduğu görülmektedir. Ancak yakıt ve optimum yalıtım kalınlığının artması ile birlikte artan toplam yatırım maliyetlerinin büyükten küçüğe doğru sırası ile elektrik, kömür ve doğalgaz gibi sıralamak mümkün olmaktadır.

Çalışmada beşinci derece gün bölgesi son bölge olmasından dolayı kombinasyonlar değerlendirilirken tüm bölgelere bakılması gerekmektedir. Böylelikle derece gün değerinin arttıkça ve sıcak iklimden soğuk iklime doğru gidildikçe optimum yalıtım kalınlık değerlerinin, toplam ısıtma maliyetlerinin ve tasarruf maliyet miktarlarının nasıl değiştiği görülecektir.



Şekil 4.39. Optimum yalıtım kalınlığında gazbeton ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Yukarıdaki şekilde beşinci derece gün bölgesinde yer alan Ardahan iline ait olan enerji kazanç eğrileri yer almaktadır. Şekil 4.39'un oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Maksimum enerji kazançlarına optimum yalıtım kalınlık değerlerinde ulaşıldığı bu grafikte, yalıtımın gerekliliği önemini artırmaktadır. Oluşturulan bu kombinasyonda EPS kullanımında optimum yalıtım kalınlık değeri diğer yalıtım malzemelerine oranla kısmen yüksek bir değerde yer almaktadır. Ama enerji kazancına bakıldığında ise diğer yalıtım malzemelerine oranla kazanç miktarı fazla olmaktadır. EPS kullanımında kazanç değeri 25 TL/m^2 maliyetine yaklaşmış ve EPS'yi yaklaşık olarak 18TL/m^2 maliyet

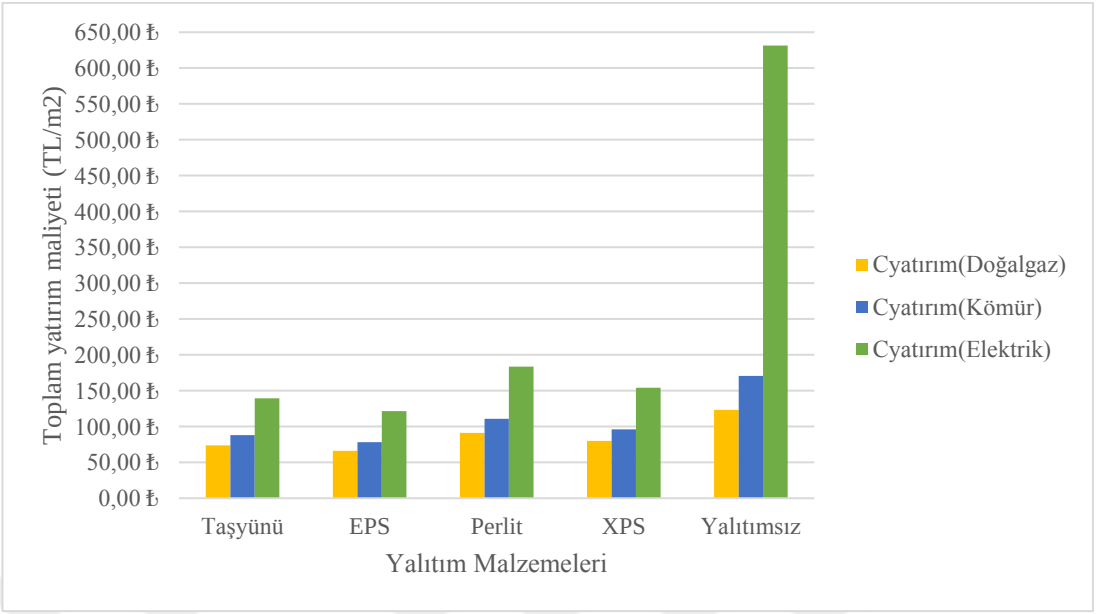
değeri ile taş yünü takip etmektedir. Bu durum yalıtım malzemelerinin değerlendirilirken birden fazla yönden bakılması gerektiğini hatırlatmaktadır.

Tablo 4.17'de duvar malzemesinin bimsblok olarak kullanıldığı kombinasyon yer almaktadır. Çalışmada yer alan bimsblok ile ilgili kombinasyonlar ve aşağıdaki tablo beraber incelendiğinde, bimsblok kullanımının optimum yalıtım kalınlığı üzerinde ne derece etkili olabileceği görülebilmektedir. Optimum yalıttım kalınlık değerlerinin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü bölgede yer alan duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir. Duvar malzemesinin gazbetondan uzaklaştıkça optimum yalıtım kalınlık değerlerinin arttığı Tablo 4.16 Tablo 4.17 ile kıyaslanırsa daha iyi anlaşılacaktır. Kömür enerjisi kullanımında yalıtım kalınlık değerlerinin yine doğalgaz kullanımı ve elektrik enerjisi kullanımı arasında kaldığı görülmektedir. Yalıtım kalınlıklarının arttığı taş yününü değerlendirmeden önce toplam ısıtma maliyetlerine bakılması gerektiği unutulmamalıdır.

Tablo 4.17. Ardahan ili için bimsblokta optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,082	0,106	0,195
EPS	0,104	0,133	0,239
Perlit	0,064	0,088	0,175
XPS	0,059	0,078	0,147
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,331	0,276	0,171
EPS	0,279	0,232	0,144
Perlit	0,465	0,387	0,240
XPS	0,374	0,312	0,193
Yalıtımsız Durum	1,018	1,018	1,018

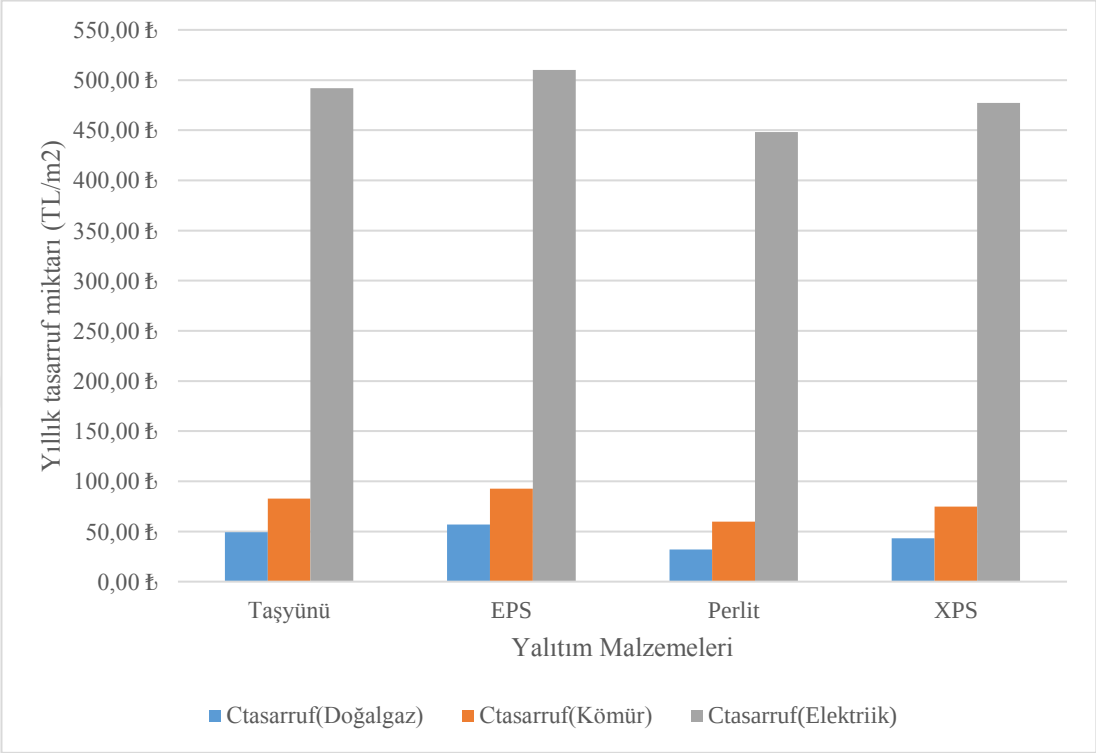
Her kombinasyonda olduğu gibi optimum yalıtım kalınlık değerlerinin değerlendirilmeden önce farklı türdeki ısıtma enerjileri ve duvar malzemeleri ile olan kombinasyonlardaki toplam yatırım maliyetlerine bakılmalıdır. Aşağıdaki tabloda bimsbloğa ait veriler yer almaktadır.



Şekil 4.40. Bimsblokta yalıtımlı durumda toplam yatırım maliyetleri (Ardahan)

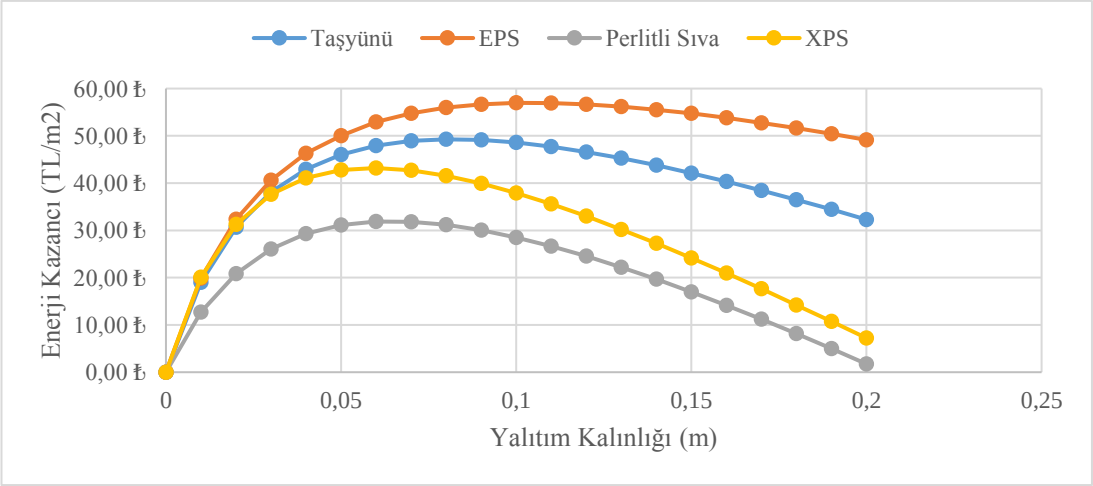
Şekil 4.40'da duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara ait veriler yer almaktadır. Yalıtım malzemeleri elde edilen optimum kalınlıklardaki toplam yatırım maliyeti kıyaslanırsa beşinci derece gün bölgesinde diğer derece gün bölgelerinde olduğu gibi, ekonomik olarak sırasıyla EPS'nin, taş yünü, XPS ve perlitli sıva malzemelerinden daha avantajlı olduğunu söylemek mümkün olmaktadır. Derece gün değerinin artması ile birlikte sert ve soğuk iklimin artmasından dolayı toplam ısıtma maliyetleri de artmakta ve bu durum elektrik enerjisinin kullanıldığı durumlarda kendini daha fazla belirginleştirmektedir. Bu durum yalıtımın olmadığı durumlarda maliyetlerin ne denli artacağının da bir göstergesi olmaktadır. Kömür enerjisinin doğalgaz ile kıyaslanınca maliyetli olduğu ancak aradaki maliyet farkının çok fazla olmadığı görülmektedir. Kömür kullanımında en düşük değerlerin 60-70 TL/m^2 aralığında EPS kullanımında olduğu, aynı şekilde doğalgaz kullanımında da en düşük değerin 50-60 TL/m^2 aralığında yine EPS kullanımında olduğu görülmektedir. Yalıtımsız durumda ise doğalgaz kullanımında maliyetin 100TL/m^2 değerini, kömür kullanımında 150 TL/m^2 değerini aştığı görülmektedir. Bu durumda maliyetler arasındaki farklara bakıldığında en avantajlı malzeme EPS olmaktadır. Hesaplamalar sonucu elde edilen yıllık enerji miktarı ve buna bağlı olarak da yıllık tüketilen yakıt miktarı maliyetlerinin beşinci derece gün bölgesinde yer alan bütün kombinasyonlarda diğer derece gün bölgelerine oranla daha yüksek olduğunu söylemek mümkün

olmaktadır. Bimsbloğa ait toplam yatırım maliyetleri beş derece gün bölgesi için beraber irdelendiğinde optimum yalıtım kalınlık değerlerindeki tasarruf maliyet miktarlarının yorumlanması daha doğru olacaktır.



Şekil 4.41. Bimsblokta yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ardahan)

Şekil 4.41'de Ardahan ili için duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara ait yıllık enerji tasarruf maliyet miktarlarına ait veriler yer almaktadır. Şekildeki grafik Eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Tasarruf maliyet miktarlarının giderek arttığı bu kombinasyonda ısıtma maliyetlerinin yüksek olduğunu unutmamak gerekmektedir. Perlitli sıva malzemesinin kullanılması durumunda tasarruf maliyet değerlerinin diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha düşük olduğu şekilde anlaşılmaktadır. Perlitli sıvada doğalgaz kullanımında enerji tasarrufunun 30-40 TL/m^2 aralığında, kömür kullanımında 50-60 TL/m^2 aralığında, elektrik enerjisi kullanımında ise 450 TL/m^2 değerinde kalarak en düşük tasarruf değerlerine ulaşmıştır. EPS kullanımının taş yünü ve XPS malzemelerinin kullanımı bakımında tasarruf maliyet değerlerinin daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durum yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanımını bir adım öne çıkarmaktadır.



Şekil 4.42. Optimum yalıtım kalınlığında bimsblok ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Şekil 4.42'nin oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Yukarıdaki şekilde Ardahan iline ait çalışmada yer alan diğer yakıt türlerine kıyasla daha yüksek bir alt ısıl değere sahip olan doğalgaz kullanımında enerji kazanç eğrilerinin nasıl bir yol izlediği görülmektedir. Grafikte yalıtım kalınlığı olarak 10 cm'e denk gelen maliyetlere bakıldığında en yüksek maliyet değerinin 50-60 TL/m^2 aralığında EPS malzemesinde olduğu görülmektedir. Bu durum EPS malzemesi için 10 cm'in optimum yalıtım kalınlığı olduğunu ifade etmektedir. Diğer yalıtım malzemelerine bakıldığında maksimum maliyet değerlerini 10 cm'den önce yakaladığından dolayı sonrasında çizgiler aşağı yönlü bir eğilim içinde olmuşlardır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinden sonra, çalışmada yer alan diğer enerji kazanç grafiklerinde olduğu gibi bu grafikte de eğilimin aşağı yönlü olduğu görülmektedir. Bu durum yalıtım sistemlerinin bilinçli olarak yapılması gerektiğini anlatmaktadır. Aksi takdirde fazla yalıtım kalınlığının kullanılması, enerji kazançlarını düşürmesi ile birlikte yalıtım maliyetini ve toplam ısıtma maliyetlerini arttırmıştır. Çalışmada yer alan yatay delikli tuğlanın yer aldığı kombinasyonlar değerlendirilirken beş derece gün bölgesindeki değerlere beraber bakmak, yatay delikli tuğla kullanımının ve hangi yalıtım malzemeleri ile hangi bölgelerde kullanılacağı hakkında daha doğru yorumlar yapılmasını sağlayacaktır. Çalışmada yer alan optimum yalıtım kalınlık değerlerine bakıldığı durumda beş derece gün bölgesinde de yer alan bütün kombinasyonlar incelenirse, en yüksek optimum yalıtım

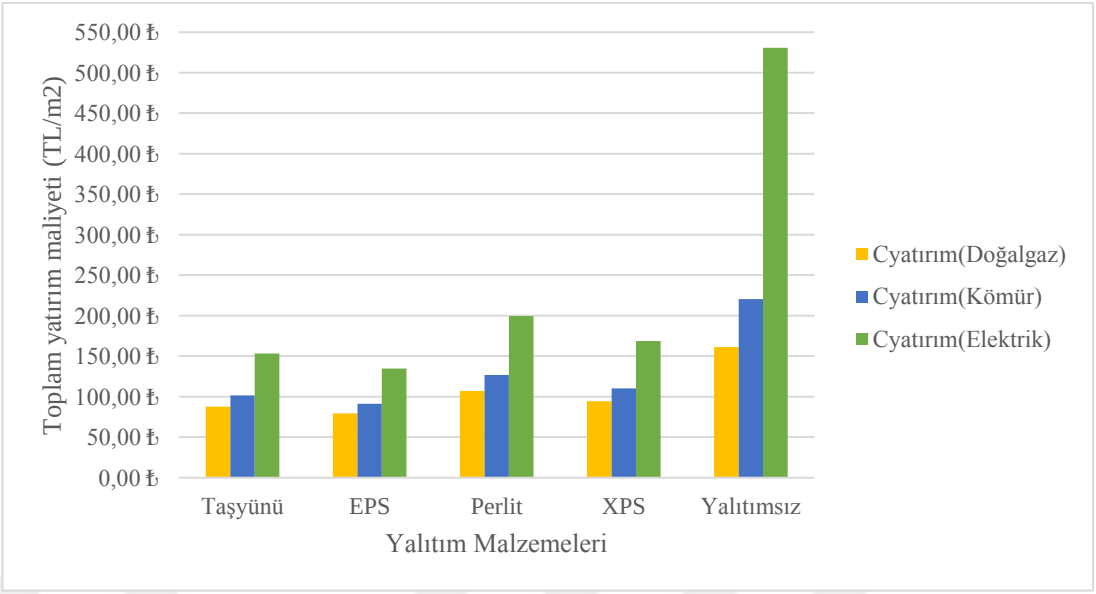
kalınlık değerlerinin beşinci derece gün bölgesinde ve yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda olduğu görülecektir.

Tablo 4.18'de Ardahan ili için duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyon yer almaktadır. Yatay delikli tuğlanın sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayısının diğer duvar malzemelerine oranla daha yüksek olmasından dolayı ısı kayıplarına gösterilen direnç de diğer duvar malzemelerine kıyasla daha düşük olmaktadır. Bu durumu tabloda yer alan yalıtım kalınlık değerlerinin yüksek değerlerde olması desteklemektedir. Aynı zamanda optimum yalıtım kalınlıklarındaki toplam ısıl geçirgenlik değerleri yorumlanarak yalıtım sistemlerinin ne kadar gerekli olduğu anlaşılmaktadır. EPS kullanımının diğer derece gün bölgelerinde olduğu gibi bu bölgede de toplam ısıl geçirgenlik değerleri incelendiğinde diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Perlitli sıva malzemesi bu kombinasyonda incelendiğinde toplam ısıl geçirgenlik değerinin yüksek olduğu hesaplamalar sonucunda bulunmuştur. Ayrıca perlitli sıva malzemesi beşinci derece gün bölgesinde yer alan diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında, ısı kayıplarının daha fazla olduğu toplam ısıl geçirgenlik değerinin diğer yalıtım malzemelerindeki değerlerden yüksek olmasından anlaşılmaktadır.

Tablo 4.18.Ardahan ili için yatay delikli tuğlada optimum yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklar ile elde edilen toplam ısıl geçirgenlik sayıları

Yalıtım Malzemeleri	Xopt, m (Doğalgaz)	Xopt, m (Kömür)	Xopt, m (Elektrik)
Taş yünü	0,089	0,114	0,203
EPS	0,112	0,141	0,246
Perlit	0,075	0,099	0,186
XPS	0,066	0,085	0,153
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000
Optimum Yalıtım Kalınlıklarına Göre Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı U W/m^{2}K			
	U(Doğalgaz)	U(Kömür)	U(Elektrik)
Taş yünü	0,331	0,276	0,171
EPS	0,279	0,232	0,144
Perlit	0,465	0,387	0,240
XPS	0,374	0,312	0,193
Yalıtımsız Durum	1,268	1,268	1,268

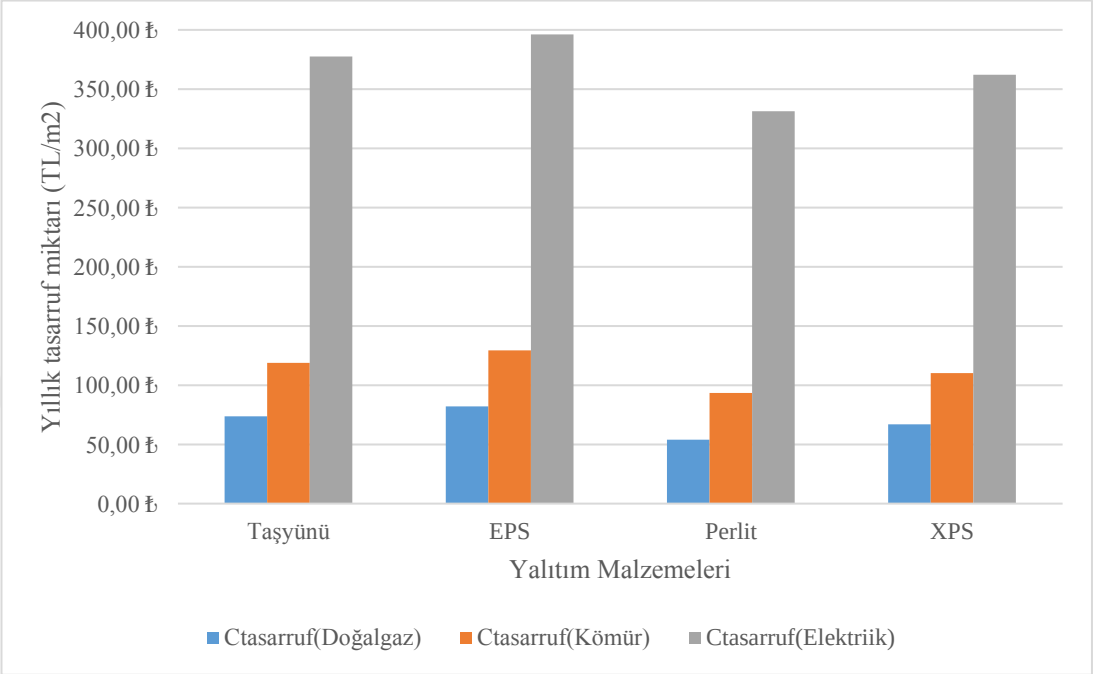
Bu durumlar irdelendikten sonra daha gerçekçi yorumların yapılabilmesi için toplam yatırım maliyetlerine bakılması gerektiği unutulmamalıdır.



Şekil 4.43. Yatay delikli tuğlada yalıtımda toplam yatırım maliyetleri (Ardahan)

Şekil 4.43 incelendiğinde duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı bu kombinasyonun Ardahan iline göre duvar malzemesi olarak bimsbloğun kullanıldığı kombinasyonlara göre dezavantajlı olduğu görülmektedir. Yakıtlar incelendiğinde kömür enerjisi kullanımında sadece EPS malzemesi 100 TL/m^2 değerinin altında yer alırken, taş yünü 100 TL/m^2 değerinde kalmıştır. Doğalgaz kullanımında yalıtımsız durumda 150 TL/m^2 değeri aşılmasına rağmen, EPS, taş yünü ve XPS 100 TL/m^2 sınırının altında yer almaktadır. Elektrik enerjisi kullanımında ise EPS 150 TL/m^2 maliyet değerinin altında kalarak yalıtımsız durum ile aradaki farkın en yüksek olduğu yalıtım malzemesi konumuna gelmiştir. Duvar malzemesi maliyetinden dolayı ise gazbetonun yer aldığı kombinasyonlardan avantajlı duruma düşmektedir. Ancak yatay delikli tuğlanın sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayısının yüksek olmasından dolayı optimum yalıtım kalınlık değerlerinin yüksek çıktığı ve bu durumun yalıtım maliyetini arttırdığını unutmamak gerekmektedir. Toplam yatırım maliyetleri değerlendirilirken tasarruf maliyet miktarlarına da bakılması gerekmektedir. Optimum kalınlıklarda yapılan yalıtım sitemlerinin toplam yatırım maliyetlerini derece gün değerinin artması ile daha fazla düşürdüğü toplam yatırım maliyetlerinin bulunduğu grafiklerde anlaşılmaktadır. Ancak literatürde toplam yatırım maliyetlerinin optimum yalıtım kalınlığında minimum bir değer gördüğü ve bu değerden sonra yalıtım kalınlığının artmasıyla arttığı dikkate alınmalıdır. Perlitli sıva malzemesinin kullanımının yüksek maliyetinden dolayı toplam yatırım

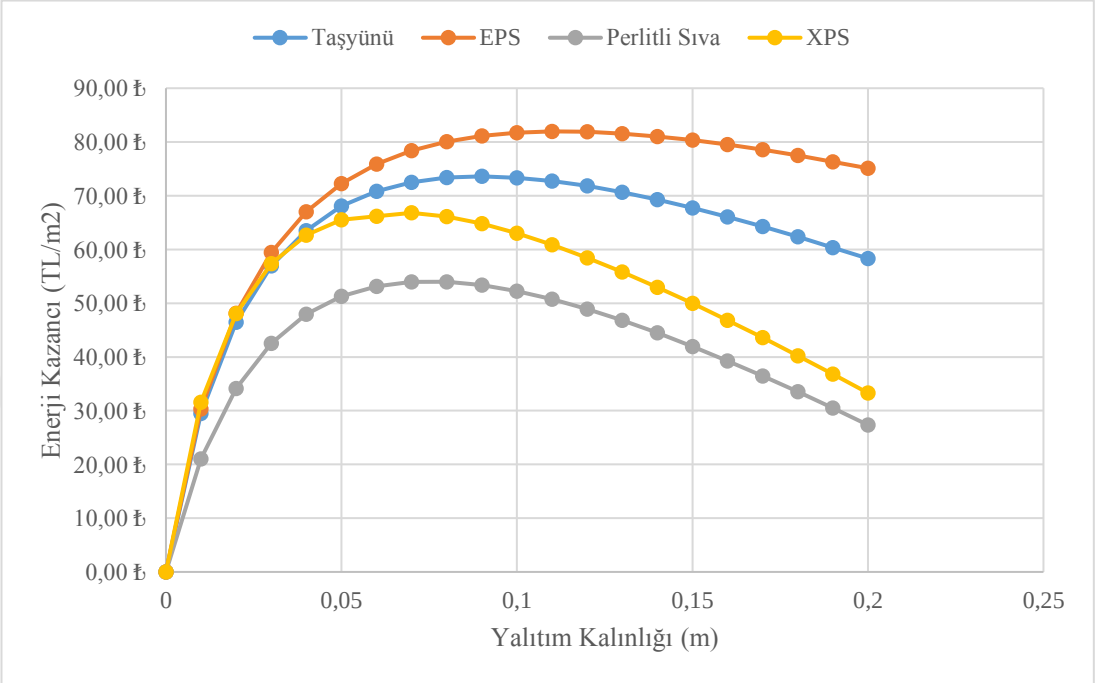
maliyetleri bakımından diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Toplam yatırım maliyetine dâhil olan yalıtım fiyatının yalıtım kalınlığının artmasıyla arttığı eşitlik 3.21'de de görülmektedir.



Şekil 4.44. Yatay delikli tuğlada yalıtıma ait yıllık tasarruf maliyet miktarları (Ardahan)

Şekil 4.44'de duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlara ait Ardahan ili için yıllık enerji tasarruf maliyet miktarları yer almaktadır. Şekildeki grafik eşitlik 3.26 kullanılarak optimum yalıtım kalınlığındaki değerlere göre oluşturulmuştur. Tasarruf maliyet miktarlarının çalışmada yer alan diğer tüm kombinasyonlara bakıldığında en yüksek değerlerin Ardahan ili için yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda olduğu görülmektedir. Aynı zamanda optimum yalıtım kalınlık değerlerinin de daha yüksek olduğu görülmektedir. Beşinci derece gün bölgesinde yer alan Ardahan ili için EPS'nin kullanıldığı durumlarda tasarruf maliyet miktarlarının daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. EPS, doğalgaz kullanımda yaklaşık olarak 70-80 TL/m^2, elektrik enerji kullanımında 400 TL/m^2 maliyetlerle en tasarruflu malzeme olmaktadır. Yatay delikli tuğlaya bakıldığında genel itibari ile beş derece gün bölgesi içinde daha maliyetli olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Ancak yapılan literatür araştırmalarında tuğlaya ait geometrik matrisinin değiştirilmesi ile ısıl iletkenlik katsayı değerinin daha

aşağı değerlere çekilebileceği yer almaktadır. Bu durumum tuğla kullanımının ısı kayıplarına göstereceği direncin daha fazla olmasını sağlamakla birlikte toplam ısıtma maliyetlerini de düşüreceği unutulmamalıdır.



Şekil 4.45. Optimum yalıtım kalınlığında yatay delikli tuğla ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazançları

Şekil 4.45'in oluşturulmasında Eşitlik 3.23 kullanılmış ve yalıtımsız durumdaki toplam ısıtma maliyetinden yalıtımlı durumdaki toplam ısıtma maliyeti çıkartılarak yıllık enerji kazançları bulunmuştur. Çalışmada yer alan ve doğalgazın kullanıldığı kombinasyonlara ait enerji kazanç eğrileri incelendiğinde en yüksek değerlerin yukarıdaki şekilde elde edildiği görülmektedir. Bu durum; derece gün değeri arttıkça ve duvar malzemesi olarak gazbetondan yatay delikli tuğlaya doğru ilerledikçe, optimum yalıtım kalınlıklarının arttığını kanıtlamakla beraber, maliyet miktarlarının da arttığını göstermektedir. Taş yünü ve EPS malzemeleri incelendiğinde yer iki malzemeye ait maksimum tasarruf miktarlarının 10 cm'e yakın olduğu durumlar da oluştuğu görülmektedir. Tablo 4.18 incelendiğinde optimum yalıtım kalınlıklarının taş yününde doğalgaz kullanımında 8,9 cm, EPS kullanımı da 11,2 cm olmaktadır. Isıl iletkenlik katsayı değerlerinin sadece yalıtım malzemesi için değil, duvar malzemesi içinde yapılacak olan yalıtım sistemlerinde çok önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

4.6. Beş Derece Gün Bölgesindeki Geri Ödeme Sürelerinin Karşılaştırılması

Geri ödeme süreleri ülkemizde mevcut bulunan Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği olan TS 825'de bulunmamaktadır. Ancak yapılacak olan yalıtım sisteminde yalıtımın karlılığının hesaplanabilmesi açısından opsiyon olarak sunulmuştur. Bu çalışmada da beş derece gün bölgesinde seçilen illerde yer alan kombinasyonların tümünde geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Geri ödeme süresinin yakıt alt ısıl değerleri, yakıt birim fiyatları, yalıtım malzemelerinin birim fiyatları ve efektif faiz oranı dolayısı ile faiz ve enflasyon oranlarından etkilendiğini unutmamak gerekmektedir. Çalışmada yer alan faiz ve enflasyon oranları Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Ocak Ayı Beklenti Anketi incelenmiş ve açıklanan değerler alınmıştır. Aynı zamanda yapılacak olan yalıtım sistemlerinin bir bütün olarak düşünülmesi gerektiği dolayısı ile yalıtım malzemelerinin birlikte kullanıldığı duvar malzemelerinin de yapılan literatür araştırmaları sonucunda çok fazla yer almadığı saptanmıştır.

Geri ödeme sürelerinin kullanılan yakıt türü, duvar katmanları ve yalıtım malzemeleri ile doğrudan ilişki içindedir. Çalışmada duvar malzemesi kalınlığı olarak gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğlada 20 cm gibi sabit bir değer alınarak hesaplanmıştır. Bu durumdan dolayı duvar malzemesine ait kalınlık değerlerinin değişmesi ile geri ödeme sürelerinde değişiklikler olabileceği unutulmamalıdır. Literatür araştırmaları sonucunda geri ödeme sürelerinin optimum yalıtım kalınlıkları ile ters yönde bir değişim izlemekte olduğu ve yalıtım kalınlığı arttıkça geri ödeme sürelerinin azaldığı saptanmıştır. Enerji maliyetlerinin özellikle beşinci derece gün bölgesine ve soğuk iklimin etkisi altında olan illere doğru gidildikçe yüksek ısı kayıplarından dolayı yüksek maliyetlerin meydana geldiği bilinmektedir. Dolayısı ile yapılacak olan optimum yalıtım kalınlığındaki yalıtım sistemlerinde enerji tasarruf maliyeti daha fazla sağlanacak ve bu durumda geri ödeme sürelerini kısaltacaktır. Tablo 4.20'de çalışmada yer alan Adana, Kocaeli, Ankara, Van ve Ardahan illeri için geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Tabloda yer alan 'D' simgesi doğalgaz enerjisi kullanımında, 'K' simgesi kömür enerjisi kullanımında, 'E' simgesi ise elektrik enerjisi kullanımında elde edilen geri ödeme sürelerini temsil etmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda bazı durumlarda elde edilen geri ödeme sürelerinde, çok yüksek geri ödeme sürelerinin çıkması, yalıtım sistemlerinin çok uzun bir vadede geri ödeme süresine sahip

olmasından dolayı üst limit olarak 12 yıl temel alınmıştır. 12 yılın üzerindeki değerler tabloda verilmemiştir.

Tablo 4.19. Beş derece gün bölgesi için hesaplanan geri ödeme süreleri

ADANA									
	GAZBETON			BİMSBLOK			YATAY DELİKLİ TUĞLA		
Yalıtım Malzemeleri	D	K	E	D	K	E	D	K	E
Taşyünü	0,00	0,00	6,21	-	7,02	4,14	6,38	3,33	1,20
EPS	0,00	-	3,51	7,83	3,84	2,26	3,58	2,16	0,90
Perlit	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	-	-	2,41
XPS	0,00	0,00	10,94	0,00	-	8,59	11,35	4,89	1,52
KOCAELİ									
	GAZBETON			BİMSBLOK			YATAY DELİKLİ TUĞLA		
Yalıtım Malzemeleri	D	K	E	D	K	E	D	K	E
Taşyünü	-	10,75	2,18	3,96	2,42	1,46	2,21	1,51	0,68
EPS	11,42	5,16	1,52	2,48	1,66	1,03	1,54	1,10	0,53
Perlit	0,00	0,00	5,82	-	6,94	4,07	5,97	3,30	1,17
XPS	0,00	-	2,96	6,06	3,34	1,97	3,01	1,94	0,82
ANKARA									
	GAZBETON			BİMSBLOK			YATAY DELİKLİ TUĞLA		
Yalıtım Malzemeleri	D	K	E	D	K	E	D	K	E
Taşyünü	9,78	4,66	1,44	2,31	1,57	0,37	1,45	1,05	0,51
EPS	4,84	2,82	1,06	1,60	1,14	0,30	1,07	0,80	0,41
Perlit	0,00	-	3,08	6,44	3,49	0,56	3,14	2,01	0,84
XPS	-	7,47	1,84	3,17	2,03	0,43	1,87	1,31	0,61
VAN									
	GAZBETON			BİMSBLOK			YATAY DELİKLİ TUĞLA		
Yalıtım Malzemeleri	D	K	E	D	K	E	D	K	E
Taşyünü	5,85	3,13	1,13	1,73	1,22	0,32	1,14	0,85	0,43
EPS	3,22	2,06	0,85	1,25	0,91	0,26	0,86	0,65	0,35
Perlit	-	11,18	2,22	4,05	2,46	0,48	2,25	1,53	0,69
XPS	9,39	4,53	1,41	2,27	1,54	0,37	1,43	1,04	0,51
ARDAHAN									
	GAZBETON			BİMSBLOK			YATAY DELİKLİ TUĞLA		
Yalıtım Malzemeleri	D	K	E	D	K	E	D	K	E
Taşyünü	3,02	1,95	0,82	1,19	0,88	0,25	0,83	0,63	0,34
EPS	2,00	1,38	0,64	0,90	0,68	0,21	0,64	0,50	0,27
Perlit	10,42	4,86	1,47	2,38	1,60	0,38	1,49	1,07	0,52
XPS	4,34	2,60	1,00	1,50	1,08	0,29	1,01	0,76	0,39

Tablo incelendiğinde derce gün değerinin artması ile birlikte geri ödeme sürelerinin de kısaldığı görülmektedir. Doğalgaz kullanımında dört yalıtım malzemesine beş derece gün bölgesi için bakıldığında birinci bölgede yalıtım kalınlığı olmadığından geri ödeme düresinin 0, ikinci, üçüncü ve dördüncü bölgelerde derece gün bölgesine bakıldığında en yüksek geri ödeme sürelerinin 12 yılın üzerinde olduğu, beşinci derece gün bölgesinde ise 10,42 yıla kadar düştüğü görülmektedir. Doğalgazda gerçekleşen bu durumun tablo incelendiğinde kömür ve elektrik kullanımında da oluştuğu görülmektedir. Ancak kömür ve elektrik enerjilerine ait alt ısıl değerlerin doğalgazdan yüksek olmasından dolayı, yalıtım kalınlıkları doğalgaz kullanımına göre yüksek çıkmış ve bunun sonucunda geri ödeme süreleri de kısalmıştır.

Yalıtım malzemelerine bakıldığında en düşük geri ödeme sürelerinin maliyeti düşük olan EPS kullanımında elde edildiği görülmektedir. Bimsblok kullanımında üç yakıt türü ve beş derece gün bölgesi içinde EPS kullanımına bakıldığında geri ödeme süreleri yıl olarak; Adana'da 7,83 değerine ulaştığı, Kocaeli'nde 2,48, Ankara'da 1,60 değerine, Van'da 1,25 değerine ve Ardahan'da 0,90 değerine ulaştığı görülmektedir. Derece gün değerleri ve bölgeleri değiştikçe yapılacak olan yalıtım sistemlerinin ısı kayıplarına göstereceği direnç de farklı olacaktır.

Isı kayıplarına karşı olan direnci beşinci derece gün bölgesine doğru gelindikçe daha fazla olduğu ve dolayısı ile tasarruf maliyet miktarlarının optimum yalıtım kalınlıklarında arttığı hem literatürde, hem de bu çalışmada ilgili tablo ve şekillerde görülmektedir.

4.7. Beş Derece Gün Bölgesinde Doğalgaz Enerjisi Kullanımında Alt ve Üst Isıl Değerlerin Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisi

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte doğalgaz enerjisi kullanımı, yoğuşmalı kombi teknolojisi ve gelişen kalorifer sistemleri ile birlikte, son yıllarda da yaygın olarak kullanılan yakıt üst ısıl değerlerinin optimum yalıtım kalınlık değerlerini ne derece etkilediğinin bilinmesi gerekmektedir.

Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin değişmesi ile birlikte yalıtım maliyetlerinin değiştiği bilinmektedir. Aynı zamanda toplam ısıtma maliyetleri, yatırım maliyetleri

ve tasarruf maliyetlerinin de optimum yalıtım kalınlığının değişmesi ile değiştiği ilgili formüllerde de görülmektedir. Maliyet olarak en ekonomik çözümlerin arandığı bu çalışmada da doğalgaz enerjisine ait olan üst ısıl değerler incelenmiştir.

Tablo 4.20'de çalışmada yer alan beş derece gün bölgesinden seçilmiş iller için duvar malzemesi olarak gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğla kullanımında optimum yalıtım kalınlıkları tekrardan hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere ısıl değerlerin optimum yalıtım kalınlığı üzerinde nasıl bir etkinin olduğunun incelenmesi açısından, tabloda doğalgaz enerjisine ait alt ve üst ısıl değerlerin kullanılması ile hesaplanan optimum yalıtım kalınlık değerleri alınmıştır. Alt ısıl değere kıyasen üst ısıl değerde daha düşük yalıtım kalınlıkları elde edilmiştir. Çalışmada yer alan diğer yakıtların yüksek ısıl değerlerinin optimum yalıtım kalınlıklarını düşürdüğü saptanmıştır. Aynı şekilde üst ısıl değerin alt ısıl değerden daha büyük olduğu tabloda da görülmektedir. Bu durumda üst ısıl değerlerden elde edilecek olan optimum yalıtım kalınlıkları da daha düşük değerlerde olacaktır.

Tablo 4.20 incelendiğinde doğalgaza ait üst ısıl değerin alt ısıl değerden yüksek olmasından dolayı optimum yalıtım kalınlıklarının da alt ısıl değerde elde edilen yalıtım kalınlıklarına kıyasen daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Tablo 1.3'de de görüldüğü gibi doğalgaza ait alt ısıl değerin 8250 Kcal/m^3, üst ısıl değerin ise 9155 Kcal/m^3 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla doğalgaza ait alt ve üst ısıl değer arasında ciddi bir fark olmadığından dolayı yalıtım kalınlıkları birbirine yakın çıkmıştır. Yalıtım malzemelerine bakıldığında en yüksek yalıtım kalınlıklarının yine EPS malzemesinde elde edildiği görülmektedir. Gazbeton kullanımında Adana'da gaz beton kullanımında yalıtım kalınlıkları 0 olarak bulunmuştur. Yalıtım kalınlıklarının belirginleştiği diğer bölgelere bakıldığında, gazbeton kullanımında Kocaeli'nde 0,024 m olan yalıtım kalınlığı üst ısıl değer kullanılarak 0,020 m, Ankara'da 0,043 m olan yalıtım kalınlığı üst ısıl değer kullanılarak 0,038 m, Van'da 0,057 m olan yalıtım kalınlığı üst ısıl değer kullanılarak 0,051 m ve Ardahan'da 0,083 m olan yalıtım kalınlığı üst ısıl değer kullanılarak 0,076 olarak bulunmuştur. EPS kullanımında elde edilen bu değerlerde olduğu gibi diğer yalıtım malzemelerinde de yalıtım kalınlıklarının bu ölçüde azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda gazbeton kullanımında olduğu gibi bimsblok ve yatay delikli tuğlada da aynı durum geçerlidir.

Tablo 4.20. Doğalgaz kullanımında farklı ısıl değerlerin yalıtım kalınlıklarına etkisi

ADANA İLİNDE ELDE EDİLEN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI (m)						
	GAZBETON		BİMSBLOK		YATAY DELİKLİ TUĞLA	
Yalıtım Malzemeleri	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer
Taş yünü	0,000	0,000	0,011	0,008	0,018	0,016
EPS	0,000	0,000	0,020	0,017	0,028	0,025
Perlit	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003
XPS	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,009
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
KOCAELİ İLİNDE ELDE EDİLEN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI (m)						
	GAZBETON		BİMSBLOK		YATAY DELİKLİ TUĞLA	
Yalıtım Malzemeleri	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer
Taş yünü	0,011	0,007	0,032	0,028	0,040	0,036
EPS	0,024	0,020	0,045	0,041	0,053	0,049
Perlit	0,000	0,000	0,016	0,012	0,026	0,023
XPS	0,000	0,000	0,021	0,018	0,028	0,025
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ANKARA İLİNDE ELDE EDİLEN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI (m)						
	GAZBETON		BİMSBLOK		YATAY DELİKLİ TUĞLA	
Yalıtım Malzemeleri	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer
Taş yünü	0,027	0,022	0,048	0,043	0,056	0,051
EPS	0,043	0,038	0,064	0,059	0,072	0,067
Perlit	0,000	0,000	0,031	0,027	0,042	0,038
XPS	0,014	0,011	0,033	0,030	0,040	0,036
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
VAN İLİNDE ELDE EDİLEN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI (m)						
	GAZBETON		BİMSBLOK		YATAY DELİKLİ TUĞLA	
Yalıtım Malzemeleri	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer
Taş yünü	0,039	0,034	0,060	0,055	0,068	0,063
EPS	0,057	0,051	0,079	0,073	0,087	0,081
Perlit	0,014	0,009	0,043	0,038	0,054	0,049
XPS	0,024	0,020	0,043	0,039	0,049	0,045
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ARDAHAN İLİNDE ELDE EDİLEN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARI (m)						
	GAZBETON		BİMSBLOK		YATAY DELİKLİ TUĞLA	
Yalıtım Malzemeleri	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer	Alt Isıl Değer	Üst Isıl Değer
Taş yünü	0,060	0,054	0,082	0,076	0,089	0,083
EPS	0,083	0,076	0,104	0,097	0,112	0,105
Perlit	0,035	0,029	0,064	0,058	0,075	0,069
XPS	0,040	0,036	0,059	0,054	0,066	0,061
Yalıtımsız Durum	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci derece gün bölgesinden seçilmiş olan sırası ile; Adana, Kocaeli, Ankara, Van ve Ardahan illeri için optimum yalıtım kalınlıkları, optimum kalınlıklardaki enerji maliyetleri ve tasarruf maliyet miktarları, toplam yatırım maliyetleri, toplam ısıl geçirgenlik değerleri ile uygulanacak yalıtımın doğru bir çözüm olup olamayacağı ve geri ödeme süreleri 180 farklı kombinasyon oluşturarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar ve değerlendirmelere göre elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Çalışmada birinci derece gün bölgesinden beşinci derece gün bölgesine doğru gidildikçe soğuk iklim etkisine bağlı olarak derece gün değerinin arttığı ve buna bağlı olarak da optimum yalıtım kalınlık değerlerinin arttığı saptanmıştır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin farklı duvar malzemesi ve yakıt türü kullanımında; birinci derece gün bölgesinde 0 ile 8 cm arasında, ikinci derece gün bölgesinde 0 ile 13 cm arasında, üçüncü derece gün bölgesinde 0 ile 17 cm arasında, dördüncü derece gün bölgesinde 1 ile 20 cm arasında ve beşinci derece gün bölgesinde 4 ile 25 cm arasında değiştiği hesaplamalar sonucunda bulunmuştur. Binalarda yapılması planlanan yalıtım sistemlerinde yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı kayıplarının azalmaktadır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin artması ile birlikte toplam ısıl geçirgenlik değerleri (U) de azalmıştır. U değerlerinin azalması ile birlikte yapıda gerçekleşen ısı kayıplarına verilen dirençte de artma meydana gelmiştir. Derece gün değerinin artması ile birlikte yalıtım kalınlıkları artığından dolayı U değerleri yalıtımsız durumdaki değerlerden düşük çıkarak literatürü desteklemiştir. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin ayrı ayrı incelendiği kombinasyonlarda; ısı kayıplarının azalması ile birlikte toplam ısıtma maliyetinin buna bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Toplam ısıtma maliyetlerinin literatürde yapılan araştırmalarda ve bu çalışmada optimum yalıtım kalınlık değerinde minimum olduğu saptanmıştır. Ancak derece gün değerlerinin artması ile birlikte, beşinci derece gün bölgesine doğru ilerledikçe toplam ısıtma maliyetlerinin arttığı hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Bu durumdan

dolayı duvar malzemesinin fiyatlarının da dâhil edildiği toplam yatırım maliyetleri de artmıştır. Çalışmada her beş derece gün bölgesi incelendiğinde, enerji türü olarak doğalgaz, duvar malzemesi olarak gazbeton kullanımında optimum yalıtım kalınlık değerlerinin diğer kombinasyonlar ile kıyaslandığında daha düşük değerlerde olduğu ve bu durumun yalıtım maliyetlerini de nispeten azalttığı hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Optimum yalıtım kalınlıkları bakımından XPS ve perlitli sıva kullanımında daha düşük yalıtım kalınlıkları çıkmasına rağmen, yüksek maliyetlerinden dolayı optimum yalıtım kalınlıkları da daha maliyetli olmakta, ama yüksek yalıtım kalınlık değerlerinin olduğu EPS malzemesi maliyetinden dolayı daha ekonomik olmaktadır. Bu konuda EPS malzemesini taş yünü takip etmektedir.

Yüksek çıkan optimum yalıtım kalınlık değerlerinin yakıt alt ısıl değeri, diğer yakıt türlerine oranla çok düşük olan elektrik enerjisi kullanımında meydana gelmektedir. Bu durum ısıtma enerjisi olarak elektrik enerjisi kullanımının yalıtım maliyetini arttıracağı dolayısı ile toplam yatırım maliyetlerinin yukarı yönlü bir artış yapacağını göstermektedir. Yalıtım kalınlığı değerlendirilirken kullanılan yakıt alt ısıl değerlerine bakılması gerekmektedir. Bu duruma paralel olarak çalışmada ısıtma enerjisi olarak kullanılan doğalgaz, kömür ve elektrik enerjisi maliyetlerinin de derece gün bölgelerinin değişmesiyle arttığı, dolayısı ile toplam ısıtma maliyetlerinin de arttığı yapılan hesaplamalar sonucunda bulunmuştur. Enerji birim maliyeti doğalgazda en fazla, elektrik enerjisinde ise en düşük olduğu bilinmektedir. Ancak yakıtların sahip olduğu alt ısıl değerlerden dolayı elektrik enerjisinin ısıtma enerjisi olarak kullanımında daha maliyetli olduğu ve bu durumu kısmen daha az maliyetli olarak kömürün takip ettiği elde edilmiştir. Oluşturulan kombinasyonlarda farklı illerdeki farklı duvar malzemeleri için doğalgaz enerjisinin kullanıldığı kombinasyonlar incelendiğinde; diğer yakıt türlerine oranla optimum yalıtım kalınlık değerlerinin daha düşük olduğu, buna bağlı olarak da toplam ısıtma maliyetlerinin ve yatırım maliyetlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Isıtma enerjisi maliyetlerinin artması ile birlikte yıllık tasarruf maliyet miktarlarının da arttığı elde edilmiştir. Tasarruf maliyet miktarları açısından yakıt türlerine bakıldığında elektrik enerjisinde tasarruf maliyet miktarının en yüksek, doğalgaz enerjisinin kullanımında en düşük olduğu saptanmıştır. Ancak ısıtma enerjisi maliyetlerinden dolayı doğalgaz daha avantajlı durumda olmaktadır. Çalışmada kullanılan duvar malzemelerinin yıllık enerji tasarruf maliyeti

üzerindeki etkisine bakılırsa gazbetonun kullanıldığı durumda en düşük, yatay delikli tuğlanın kullanımında ise en yüksek enerji tasarruf maliyet değerleri elde edilmiştir. Elde edilen yüksek değerlerin elektrik enerjisi kullanımında elde edildiği saptanmıştır. Elde edilen değerler ile birlikte yapılması planlanan ısı yalıtım sisteminin ne kadar gerekli olduğu da anlaşılmaktadır. Gazbeton; 0,15 W/mK ile diğer duvar malzemelerine oranla daha düşük bir ısıl iletkenlik katsayısına sahip olduğundan dolayı, optimum yalıtım kalınlık değerleri, toplam ısıtma maliyetleri ve enerji tasarruf maliyet miktarları gazbetonda düşük, yatay delikli tuğlada yüksek değerlerdedir. Ancak bir bütün olarak düşünülen mantolama sistemlerinde duvar malzemeleri maliyetleri bakımından, gazbeton yüksek maliyetinden dolayı bimsblok ve yatay delikli tuğla kullanımına göre dezavantajlı duruma düşmektedir. Derece gün değeri arttıkça ve yalıtım kalınlık değeri arttıkça, toplam ısıtma maliyetlerinin dolayısı ile toplam yatırım maliyetlerinin arttığı unutulmamalıdır. Optimum yalıtım kalınlık değerlerinin birbirine yakın olduğu ve EPS'nin kullanıldığı kombinasyonlarda kısmen optimum kalınlık değerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Enerji tasarruf maliyet miktarları açısından gazbeton, bimsblok ve yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda yer alan EPS'de her üç yakıt türü içinde diğer yalıtım malzemelerine oranla daha yüksek tasarruf maliyet değerleri elde edilmiştir. EPS malzemesinin sırası ile taş yünü, XPS ve perlitli sıva malzemesi takip etmektedir. Ancak yalıtım için kullanılan perlitli sıva malzemesinin yalıtım maliyetinin XPS dışındaki diğer yalıtım malzemelerine oranla daha yüksek maliyet değerine sahip olduğu ve dolayısı ile toplam ısıtma maliyetinin ve buna bağlı olarak toplam yatırım maliyetlerinin de yüksek değerlerde çıktığı görülmüştür. XPS malzemesi perlitli sıvadan daha yüksek maliyetli olmasına rağmen, ısıl iletkenlik katsayısı bakımından perlitli sıvadan düşük bir değere sahiptir ve bu durum da ısıtma maliyetlerinin XPS kullanımında perlitli sıva ile karşılaştırıldığında daha düşük değerlerde olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum perlitli sıva malzemesi derece gün değeri beşinci bölgeye, duvar malzemesi olarak da yatay delikli tuğlanın kullanıldığı kombinasyonlarda daha maliyetli hale getirmektedir.

Geri ödeme sürelerine bakıldığında, derece gün değeri arttıkça yani soğuk iklime doğru gidildikçe süreler azalmaya başlamıştır. Diğer bir deyişle yalıtım kalınlıklarının

artması ile birlikte ısı kayıplarına gösterilen direnç artacağından, geri ödeme süreleri de azalmıştır. Yakıt türleri incelendiğinde, doğalgaza kullanımında alt ısıl değer yüksek olmasından dolayı yalıtım kalınlıkları en düşük, elektrik kullanımında ise alt ısıl değer düşük olmasından dolayı yalıtım kalınlıkları en yüksek değerlerde bulunmuş ve sonuç olarak en yüksek geri ödeme süreleri doğalgaz enerjisinin kullanıldığı kombinasyonlarda, en düşük geri ödeme süreleri ise elektrik enerjisinin kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir. Yalıtım malzemeleri incelendiğinde en düşük geri ödeme sürelerinin EPS kullanımında, en yüksek değerlerin ise perlitli sıva kullanımında meydana gelmiştir. Duvar malzemelerinde ısıl iletkenlik katsayılarında en düşük değere sahip olan gazbetonda yalıtım kalınlıkları en düşük, yatay delikli tuğla kullanımında ise en yüksek değerlerde olmasından dolayı, geri ödeme süreleri açısından duvar malzemelerinde; en yüksek değerlerin gazbeton kullanımında, en düşük değerlerin ise yatay delikli tuğla kullanımında elde edildiği bulunmuştur.

Alt ve üst ısıl değerlerin optimum yalıtım kalınlıkları üzerindeki etkisi incelendiğinde, her iki ısıl değerin artması ile birlikte yüksek ısıl değerler ile birlikte yalıtım kalınlılarının azaldığı saptanmıştır. Kömür ve elektrik enerjisinin üst ısıl değeri olmadığından sadece doğalgaz enerjisi kullanımında hem alt ısıl değer hem üst ısıl değer kullanılarak yalıtım kalınlıkları bulunmuştur. Üst ısıl değerler, alt ısıl değerlerden yüksek olduğundan dolayı yalıtım kalınlıkları da üst ısıl değerlerde daha düşük çıkmıştır.

Optimum yalıtım kalınlıklarının EPS malzemesinde yüksek olması ile beraber, toplam ısıl geçirgenlik değerleri de beş derece gün bölgesi içinde en düşük EPS kullanımında elde edilmiştir. EPS malzemesini taş yünü takip etmiştir. Yakıt türlerine bakıldığında yüksek ısıl değerlerden dolayı en düşük yalıtım kalınlıkları doğalgaz enerjisi ile elde edilmiştir. Gazbeton diğer duvar malzemelerine göre düşük ısıl iletkenlik katsayına sahip olmasından dolayı, optimum yalıtım kalınlıklarının en düşük çıktığı duvar malzemesi olmuştur. Gazbetonu bu konuda bimsblok takip etmektedir. Ancak duvar malzemesi maliyetlerine bakıldığında, gazbeton en maliyetli malzeme olmasından dolayı toplam yatırım maliyetleri gazbeton kullanımında yüksek, bimsblok kullanımında ise en düşük değerleri almıştır. Yalıtım kalınlıkları ve maliyetler

incelendiğinde beş derece gün bölgesi için en iyi uygulama duvar malzemesi olarak bimsblok, yalıtım malzemesi olarak EPS ve yakıt türü olarak doğalgaz görülmektedir.

Bu tezde malzemelerin su ve ses yalıtımı, buhar difüzyon direnç katsayıları ile yangın dirençleri dikkate alınmamıştır. Bu özellikler de dikkate alınarak karşılaştırma tekrar yapılarak farklı araştırma sonuçlarına ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

Abdallah M.A., Ismail L.A., Saving Energy Lost From Steam Boiler Vessels, *Renewable Energy*, 2001, **23** (3-4), 537– 550.

Abdou AA., Budaiwi IM., Comparison of Thermal Conductivity Measurements of Building Insulation Materials Under Various Operating Temperatures, *Journal of Building Physics*, 2005, **29**(2), 171–185.

Ağra Ö., Emanet Ö., Kürekci N.A., İstanbul'daki Konutlar İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi, *T.M.M.O. Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 2009, **109**, 21–27.

Ahmad EH., Cost Analysis and Thickness Optimization of Thermal Insulation Materials Used in Residential Buildings in Saudi Arabia, *Proceedings of the 6th Saudi Engineering Conference*, Dhahran, Saudi Arabia, 2002.

Aktacir M., Buyukalaca O., Yılmaz T., A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-Conditioning System in the Hot and Humid Regions, *Applied Energy* 2010, **87**(2), 599–607.

Al-Khawaja M.J., Determination and Selecting The Optimum Thickness of Insulation for Buildings in Hot Countries by Accounting for Solar Radiation, *Applied Thermal Engineering*, 2004, **24**(17-18), 2601–2610.

Al-Sallal K.A., Comparison Between Polystyrene and Fiberglass Roof Insulation in Warm and Cold Climates, *Renewable Energy* 2003, **28**(4), 603–611.

Al-Sanea SA., Zedan MF., Al-Ajlan SA., Effect of Electricity Tariff on The Optimum Insulation-Thickness in Building Walls as Determined By a Dynamic Heat-Transfer Model. *Applied Energy*,2005, **82**(4),313–330.

Al-Turki A., Zaki GM., Cooling Load Response for Building Walls Comprising Heat Storing and Thermal Insulating Layers, *Energy Conversion and Management*, 1991, **32**(3):235–247.

Anastaselos D., Giama E., Papadopoulos AM., An Assessment Tool for The Energy, Economic and Environmental Evaluation of Thermal Insulation Solutions, *Energy and Buildings*, 2009, **41**(11),1165–1171.

Anonymous (2008b) U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2008

Aylık Enerji İstatistikleri Raporu-4, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye, Nisan 2016

Bahadori A., Vuthaluru HB., A Simple Method for The Estimation of Thermal Insulation Thickness, *Applied Energy*, 2010, **87**(2),613–619.

Batar T., Köksal N.S., Atık Bor, Atık Kâğıt ve Perlitli sıva Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu., *Ekoloji Dergisi*, 2009, **18**(72), 45-53.

Bayraktar D., Bayraktar E.A., Mevcut Binalarda Isı Yalıtım Uygulamalarının Değerlendirilmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2016, **7**(1), 59-66.

Bektaş V., Çercevik A.E., Yerel Kandemir S., Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2017, **4**(1), 36-42.

Bojic M., Yik F., Sat P., Influence of Thermal Insulation Position in Building Envelope on The Space Cooling of High-Rise Residential Buildings in Hong Kong, *Energy and Buildings*, 2001, **33**(6),569–581.

Bolattürk A., Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 2006, **26**(11-12), 1301-1309.

Budaiwi I., Abdou A., Al-Homoud M., Variations of Thermal Conductivity of Insulation Materials Under Different Operating Temperatures: Impact on Envelope-Induced Cooling Load, *Journal of Architectural Engineering*, 2002, **8**(4), 125–132.

Bulut H., Büyükalaca O., Yılmaz T., Türkiye için Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri, *16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, Türkiye, 30 Mayıs-2 Haziran, 2007.

Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz T., Analysis of Variable-Base Heating and Cooling Degree-Days for Turkey, *Applied Energy*, 2001, **69**(4), 269-283.

Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz, T., Türkiye'nin Bazı İlleri için Derece-Gün Değerleri, *12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Sakarya, Türkiye,8-10 Eylül, 2000.

Cheung CK., Fuller RJ., Luther MB., Energy-Efficient Envelope Design for Highrise Apartments. *Energy and Buildings*, 2005, **37**(1), 37–48.

Choi GS., Kanga JS., Jeong YS., Lee SE., Sohn JY., An Experimental Study on Thermal Properties of Composite Insulation, *Thermochimimica Acta*, 2007, **455**(1-2), 75–79.

Comakli K., Yuksel B., Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving, *Applied Thermal Engineering*, 2003, **23**(4), 473–479.

Çiçek Y.E., Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton ve perlitli sıvali yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak

incelenmesi, Yüksek Lisans Tez, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 127045.

ÇŞB. Isı Yalıtım Uygulama Kılavuzu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2015.

Dağıdır C., Bolatürk A., Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,* İzmir, Türkiye, 13-16 Nisan 2011.

Daouas N., Hassen Z., Aissia H., Analytical Periodic Solution For The Study of Thermal Performance and Optimum Insulation Thickness of Building Walls in Tunisia, *Applied Thermal Engineering*, 2010, **30**(4), 319–326.

Demirbaş A., Energy Balance, Energy Sources, Energy Policy, Future Developments And Energy İnvestments In Turkey, *Energy Conversion and Management*, 2001, **42**(10), 1239-1258.

Dombaycı Ö.A., Gölcü M., Pancar Y., Optimization of Insulation Thickness For External Walls Using Different Energy Sources, *Applied Energy*, 2006, **83**(9), 921-928.

Ekici B.B., Gülten A.A., Aksoy U.T., 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*, 2012, **92**, 211-217.

Fasano G., Zinzi M., Optimisation of Opaque Components of The Building Envelope. Energy, Economic and Environmental Issues. *Building and Environment*, 2006, **41**(8), 1001–1013.

Fayaz R., Kari B., Comparison of Energy Conservation Building Codes of Iran, Turkey, Germany, China, Iso 9164 And En 832, *Applied Energy*, 2009, **86**(10),1949–1955.

Gürel A.E., Daşdemir A., Türkiye'nin Dört Farklı İklim Bölgesinde Isıtma ve Soğutma Yükleri için Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 2011, **27**(4), 346-353.

Hasan A., Optimizing İnsulation Thickness For Buildings Using Life Cycle Cost. *Applied Energy*, 1999, **63**(2), Pp. 115-124.

Işık E., Tuğan V. Tunceli, Hakkâri ve Kars İllerinin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması, *Applied Science*, 2017, **3**(2), 50-57.

İzoder, Türkiye'de Yalıtım Gerçeği, *İzoder*, İstanbul, Türkiye, 2005.

Kara İ.B., Baran Y., Yapılarda Sürdürülebilirlik ve Yangın Dayanıklılığı Açısından Cam Yünü ve Taş Yünü Malzemelerinin İncelenmesi, *Umteb-I*, 2017, 604.

Kaynaklı O., A Study On Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness, *Renewable Energy*, 2008, **33**(6), 1164-1172.

Kına Y.E., Duvar Ve Döşeme Tasarımında Malzeme Seçim Yardımcılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 222871.

Koçlar Oral G., Sağlıklı Binalar İçin Enerji Verimliliği Ve Isı Yalıtımı, *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 25-28 Ekim 2007.

Koçu, N., Dereli M., Dış Duvarlarda Isı Yalıtımı ile Enerji Tasarrufu Sağlanması ve Detaylarda Karşılaşılan Sorunlar (Konya Kentinden Öneriler), *5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir, Türkiye, 2010.

Kossecka E., Kosny J., Influence of İnsulation Configuration on Heating and Cooling Loads in A Continuously Used Building, *Energy and Building*, 2002, **34**(4), 321–331.

Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın N., Seçer, T., Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim 1997.

Kurekci Na., Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls by Using Heating and Cooling Degree-Day Values of All Turkey's Provincial Centers, *Energy and Building*, 2016, **118**, 197–213.

Li H., Chen J., Sheng D., Li W., The Improved Distribution Method of Negentropy and Performance Evaluation of Ccpps Based on The Structure Theory of Thermoeconomics, *Applied Thermal Engineering*, 2016, **96**, 64–75.

Liu X., Chen Y., Ge H., Fazio P., Chen G., Determination of Optimum Insulation Thickness of Exterior Wall With Moisture Transfer in Hot Summer and Cold Winter Zone of China, *Procedia Engineering*, 2015, **121**, 1008–1015.

Mahlia T.M.I., Iqbal A., Cost Benefits Analysis and Emission Reductions of Optimum Thickness and Air Gaps for Selected Insulation Materials for Building Walls in Maldives, *Energy*, 2010, **35**(5), 2242-2250.

Mahlia T.M.I., Taufiq B.N., Ismail Masjuki H.H., Correlation Between Thermal Conductivity and The Thickness of Selected İnsulation Materials for Building Wall, *Energy And Buildings*, 2007, **39**(2), 182–187.

Mcafee R.P., Lewis T.R., *Introduction to Economic Analysis*, Flatworld Knowledge, 2009.

Moshen M.S., Akash B.A., Some Prospect of Enegy Saving in Buildings, *Energy Conversion and Management*, 2001, **42**(11), 1307-1315.

Narayanan N., Ramamurthy K., Structure and properties of aerated concrete: a review. *Cement and Concrete composites*, 2000, **22**(5), 321-329.

Ozel M, Pihtili K., Determination of Optimum Insulation Thickness By Using Heating and Cooling Degree-Day Values (in Turkish), *J Eng Nat Sci*, 2008, **26**(3), 191–197.

Ozkan D.B., Onan C., Optimization of İnsulation Thickness for Different Glazing Areas in Buildings for Various Climatic Regions in Turkey, *Applied Energy*, 2011, **88**(4),1331–1342.

Özel M., Bina Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları için Dinamik Yaklaşı ve Maliyeti Analizi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak.Dergisi*, 2008, **23**(4), 879-884.

Özel M., Pıhtılı K., Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Değerlerini Kullanarak Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2008, **26**(3), 191-197.

Öztuna S., Dereli E., Edirne İlinde Optimum Duvar Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2009, **10**(2), 139-147.

Papadopoulos A.M., Giama E., Environmental Performance Evaluation of Thermal Insulation Materials And Its Impact on The Building, *Building and Environment*, 2007, **42**(5), 2178–2187.

Papadopoulos A.M., State Of The Art in Thermal İnsulation Materials and Aims for Future Developments. *Energy and Buildings*, 2005, **37**(1), 77–86.

Papakostas K., Kyriakis N., Heating and Cooling Degree-Hours for Athens and Thessaloniki, Greece, *Renewable Energy* 2005, **30**(12), 1873–1880.

Papakostas K., Mavromatis T., Kyriakis N., Impact of The Ambient Temperature Rise on The Energy Consumption for Heating and Cooling in Residential Buildings of Greece. *Renewable Energy*, 2010, **35**(7), 1376–1379.

Pehlivanlı, Z.O., Gazbeton Malzemesinin Isıl İletkenliğinin Nem ve Sıcaklıkla Değisiminin İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 2009, **1**(2), 76-80.

Piacentino A., Application of Advanced Thermodynamics, Thermoeconomics and Exergy Costing to A Multiple Effect Distillation Plant: In-Depth Analysis of Cost Formation Process, *Desalination* 2015, **371**, 88–103.

Sahal, N., Proposed Approach for Defining Climate Regions for Turkey Based On Annual Driving Rain Index and Heating Degree-Days for Building Envelope Design, *Building and Environment*, 2006, **41**(4), 520–526.

Sarak H., Satman A., The Degree-Day Method to Estimate The Residential Heating Natural Gas Consumption in Turkey: A Case Study, *Energy*, 2003, **28**(9), 929–939.

Sezer Ş.F., , Türkiye'de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2005, **10**(2), 79-85.

Sisman N., Kahya E., Aras N., Aras H., Determination of Optimum Insulation Thicknesses of The External Walls and Roof (Ceiling) For Turkey's Different Degree-Day Regions, *Energy Policy*, 2007, **35**(10), 5151–5155.

Soylemez, M.S., Unsal, M., Optimum Insulation Thickness for Refrigeration Applications, *Energy Conversion Management*, 1999, **40**(1), 13–21.

Şahin B., Tuğla İç Geometrisinin Isı Transferi Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 17-20 Nisan 2013.

TCMB Ocak 2020 Beklenti Anketi İstatistikleri, 2020

Tıkız İ., Pehlivan H., Mermer M., Bina Isı Yalıtım Sistemlerinin İncelenmesi ve Optimizasyonu, *Ejovoc (Electronic Journal Of Vocational Colleges)*, 2018, **8**(2), 106-135.

Tolun M. Farklı Derece-Gün Bölgeleri için Yalıtım Probleminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tez, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2010, 301991070.

Schimschar S., Boermans T., Heperkan H., Şen E., Yanardağ C., Türkiye'deki Binalar için Yeni (U) Değerleri:Maliyet Etkin Yöntem, *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 19-22 Nisan 2017.

TS En 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013.

Ucar A., Balo F., Determination of The Energy Savings and The Optimum İnsulation Thickness in The Four Different İnsulated Exterior Walls, *Renewable Energy*, 2010, **35**(1), 88-94.

Ucar A., Balo F., Effect of Fuel Type on The Optimum Thickness of Selected Insulation Materials for The Four Different Climatic Regions of Turkey, *Applied Energy*, 2009, **86**(5), 730–736.

Ucar A., Thermoeconomic Analysis Method for Optimization of Insulation Thickness For The Four Different Climatic Regions of Turkey, *Energy* 2010, **35**(4), 1854–1864.

URL-1:https://www.baypratik.com/perlitli sıva-sayfa4-katid1.cmt, (Ziyaret Tarihi: 2 Eylül 2019)

URL-2:https://www.izgaz.com.tr/tr/evsel/yakit-karsilastirma, (Ziyaret Tarihi: 1 Mart 2020)

URL-3:https://www.izocam.com.tr/f2-tasyunu.html, (Ziyaret Tarihi: 1 Mart 2020)

URL-4:https://www.emlak365.com/ekonomi/merkez-bankasi-2019-yil-sonu-enflasyon-dolar-ve-faiz-beklentisi-anketi-h22849.html, (Ziyaret Tarihi: 1 Mart 2020)

URL-5:http://www.izoder.org.tr/sayfa/31/genel-bilgi-almak-istiyorum, (Ziyaret tarihi 20 Mayıs 2020)

URL-6: http://www.tki.gov.tr/bilgi/komur//komur-fiyatlari/236 (Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2020)

URL7:https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/elektriktarifeleri//Ocak2020 TarifeTablosu.pdf (Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2020)

URL-8: https://insaathesabi.com/blog/tugla-nedir/ (Ziyaret Tarihi: 29 Mayıs 2020)

Yaman,Ö., Şengül Ö., Selçuk H., Çalıkuş O., Kara İ., Erdem Ş., Özgür D., Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri (Tmh)*, 2015, **487**(4), 62-75.

Yıldız N., Yalıtımda Doğal Çözüm:Perlitli sıva, *Madencilik Türkiye*, 2015

Yılmaz Z., Koçlar Oral G., Manioğlu G., Isıtma Enerjisi Tasarrufu Açısından Bina Kabuğu Isı Yalıtım Değerinin Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi, *İtü Arastırma Fonu*, Proje No:985, İstanbul, Türkiye, 2000.

Yildiz A., Gurlek G., Erkek M., Ozbalta,N., Economical and Environmental Analyses of Thermal İnsulation Thickness in Buildings, *Journal of Thermal Science and Technology*, 2008, **28**(2), 25-34.

Yu J., Yang C., Tian,L., Liao D., A Study on Optimum İnsulation Thicknesses of External Walls in Hot Summer and Cold Winter Zone of China, *Applied Energy*, 2009, **86**(11), 2520-2529.

Yuan J., Farnham C., Emura K., Alam Ma., Proposal For Optimum Combination of Reflectivity and Insulation Thickness of Building Exterior Walls For Annual Thermal Load in Japan, *Building and Environment*, 2016, **103**, 228–237

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yıldırım S.T., Arslan C., **Uysal İ.**, "Fire Safety Supervision According to Fire Regulations and Acceptance Criteria on the Faculty of Engineering in Kocaeli University," *VII. Mühendislikte Yakıtlar, Yanma ve Yangın Konferansı* – FCE2019 , Antalya, Turkey, 10-13 Mart 2019.

ÖZGEÇMİŞ

İlhan UYSAL, Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2018 Haziran ayı itibari ile onur öğrencisi olarak mezun olmuştur. İlk ve ortaokulunu 2000 yılında girdiği ve 2008 yılında bitirdiği İsmail Hakkı Tonguç İlköğretim Okulunda tamamlamıştır. Eğitim hayatına 2009-2012 yılları arasında Şamran Anadolu Lisesi'nde devam etmiştir. Lise öğrenimi gördüğü okulunun daha uzağa taşınmasıyla 2012 yılında Kazım Karabekir Lisesi' ne devam etmiş ve 2013 yılında bitirmiştir.2013 yılında da girdiği üniversite sınavı sonucunda Kocaeli Üniversitesi' ne girmeye hak kazanmıştır.