

**FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ YAPILARIN
OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARININ ENERJİ VE
ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ**

UĞUR YAMAN

OCAK 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ YAPILARIN
OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARININ ENERJİ VE
ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ**



UĞUR YAMAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

OCAK 2025

DİYARBAKIR

FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ YAPILARIN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARININ ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ

Uğur YAMAN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU
Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Vedat ORUÇ (*)
Makine Mühendisliği Bölümü,
Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU (**)
Makine Mühendisliği Bölümü,
Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI
Makine Mühendisliği Bölümü,
Batman Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 07 / 01 /2025

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışman

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Uğur YAMAN

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU'na çalışmanın daha fikir aşamasından, veri setleri oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Jüri üyelerim, Prof. Dr. Vedat ORUÇ ve Dr. Öğr. Gör. Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI'na bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim. Doç. Dr. Mehmet Kadri AKYÜZ'e ve Öğr. Gör. Mehmet YILDIRIM'a özel teşekkürlerimi sunarım.

En önemlisi, sabırlarından dolayı sevgili eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xvi
ÖZET.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	10
3.1 Matematiksel Yöntem	10
3.1.1 Dış duvar yapısı.....	12
3.1.2 Dış duvar ısı kayıpları ve yıllık enerji ihtiyacı hesabı.....	13
3.1.3 Yıllık enerji maliyeti ve optimum yalıtım kalınlık hesabı	15
3.1.4 Ekonomik geri ödeme süresi	18
4. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ	19
4.1 Yaşam Döngü Değerlendirmesi (LCA) Tanımı	19
4.2 Yaşam Döngü Değerlendirmesinde Amaç ve Kapsam	20
4.3 Yaşam Döngü Değerlendirmesinde Envanter Analizi	21
4.3.1 Akış diyagramı oluşturulması	22
4.3.2 Veri toplama planı geliştirilmesi	22
4.3.3 Verilerin toplanması.....	23
4.3.4 Değerlendirme ve raporlama.....	23
4.4 Etki Değerlendirmesi	24
4.4.1 Küresel ısınma potansiyelinin (gwp) etkileri	24
4.5 Yorumlama.....	27

4.6 Dünya Geneline Kullanılan Yaşam Döngü Değerlendirme Yöntemleri.....	27
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
5.1 Optimum Yalıtım Kalınlığının Şehirlere Göre Değerleri	29
5.2 Yıllık Kazanç ve Ekonomik Geri Ödeme Süreleri.....	32
5.3 Yıllık Maliyet-Yalıtım Kalınlığı Grafikleri	37
5.3.1 Doğalgaz ile ısıtma.....	37
5.3.2 Fuel-Oil ile ısıtma	46
5.3.3 Kömür ile ısıtma.....	54
5.3.4 Isıtma (doğalgaz)-soğutma.....	62
5.3.5 Isıtma (fuel-oil)-soğutma	70
5.3.6 Isıtma (kömür)-soğutma.....	78
5.4 Çevresel Etki Değerleri	86
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 TS 825'e göre 4 Bölgede Bulunan Şehirler	11
Şekil 3.2 Kompozit duvar.....	12
Şekil 4.1 Beşikten Mezara Yaklaşım.....	19
Şekil 4.2 Yaşam Döngü Değerlendirme Aşamaları.....	20
Şekil 4.3 Akış Diyagramı.....	22
Şekil 4.4 Veri Planlama Diyagramı.....	23
Şekil 4.5 1990-2021 Sektörel Sera Gazı Emisyonları.....	25
Şekil 4.6 2021 Yılı Sektörel Sera Gazı Emisyonları.....	26
Şekil 5.1.1 Doğal gaz kullanıldığında şehirlere göre ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları.....	29
Şekil 5.1.2 Doğal gaz kullanıldığında şehirlere göre ısıtma-soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları.....	29
Şekil 5.1.3 Fuel-oil kullanıldığında şehirlere göre ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları.....	30
Şekil 5.1.4 Fuel-oil kullanıldığında şehirlere göre ısıtma-soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları.....	30
Şekil 5.1.5 Kömür kullanıldığında şehirlere göre ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları.....	31
Şekil 5.1.6 Kömür kullanıldığında şehirlere göre ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları.....	31
Şekil 5.3.1 (Doğalgaz)-Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	38
Şekil 5.3.2 (Doğalgaz)-Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	38
Şekil 5.3.3 (Doğalgaz)-Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	39
Şekil 5.3.4 (Doğalgaz)-Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	39
Şekil 5.3.5 (Doğalgaz)-Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	40

Şekil 5.3.6 (Doğalgaz)-Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	40
Şekil 5.3.7 (Doğalgaz)-Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	41
Şekil 5.3.8 (Doğalgaz)-Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	41
Şekil 5.3.9 (Doğalgaz)-Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	42
Şekil 5.3.10 (Doğalgaz)-Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	42
Şekil 5.3.11 (Doğalgaz)- Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	43
Şekil 5.3.12 (Doğalgaz)- Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	43
Şekil 5.3.13 (Doğalgaz)-Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	44
Şekil 5.3.14 (Doğalgaz)-Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	44
Şekil 5.3.15 (Doğalgaz)- Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	45
Şekil 5.3.16 (Doğalgaz)- Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	45
Şekil 5.3.1 (Fuel-oil)-Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	46
Şekil 5.3.2 (Fuel-oil)-Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	46
Şekil 5.3.3 (Fuel-oil)-Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	47
Şekil 5.3.4 (Fuel-oil)-Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	47
Şekil 5.3.5 (Fuel-oil)-Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	48

Şekil 5.3.6 (Fuel-oil)-Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	48
Şekil 5.3.7 (Fuel-oil)-Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	49
Şekil 5.3.8 (Fuel-oil)-Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	49
Şekil 5.3.9 (Fuel-oil)-Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	50
Şekil 5.3.10 (Fuel-oil)-Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	50
Şekil 5.3.11 (Fuel-oil)- Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	51
Şekil 5.3.12 (Fuel-oil)- Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	51
Şekil 5.3.13 (Fuel-oil)-Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	52
Şekil 5.3.14 (Fuel-oil)-Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	52
Şekil 5.3.15 (Fuel-oil)- Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	53
Şekil 5.3.16 (Fuel-oil)- Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	53
Şekil 5.3.1 (Kömür)-Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	54
Şekil 5.3.2 (Kömür)-Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	54
Şekil 5.3.3 (Kömür)-Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	55
Şekil 5.3.4 (Kömür)-Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	55
Şekil 5.3.5 (Kömür)-Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	56

Şekil 5.3.6 (Kömür)-Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	56
Şekil 5.3.7 (Kömür)-Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	57
Şekil 5.3.8 (Kömür)-Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	57
Şekil 5.3.9 (Kömür)-Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	58
Şekil 5.3.10 (Kömür)-Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	58
Şekil 5.3.11 (Kömür)- Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	59
Şekil 5.3.12 (Kömür)- Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	59
Şekil 5.3.13 (Kömür)-Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	60
Şekil 5.3.14 (Kömür)-Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	60
Şekil 5.3.15 (Kömür)- Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti.....	61
Şekil 5.3.16 (Kömür)- Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti	61
Şekil 5.3.1 (Doğalgaz)-Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	62
Şekil 5.3.2 (Doğalgaz)-Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	62
Şekil 5.3.3 (Doğalgaz)-Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	63
Şekil 5.3.4 (Doğalgaz)-Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	63
Şekil 5.3.5 (Doğalgaz)-Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	64

Şekil 5.3.6 (Doğalgaz)-Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	64
Şekil 5.3.7 (Doğalgaz)-Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	65
Şekil 5.3.8 (Doğalgaz)-Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	65
Şekil 5.3.9 (Doğalgaz)-Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	66
Şekil 5.3.10 (Doğalgaz)-Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	66
Şekil 5.3.11 (Doğalgaz)- Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	67
Şekil 5.3.12 (Doğalgaz)- Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	67
Şekil 5.3.13 (Doğalgaz)-Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	68
Şekil 5.3.14 (Doğalgaz)-Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	68
Şekil 5.3.15 (Doğalgaz)- Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	69
Şekil 5.3.16 (Doğalgaz)- Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	69
Şekil 5.3.1 (Fuel-oil)-Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	70
Şekil 5.3.2 (Fuel-oil)-Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	70
Şekil 5.3.3 (Fuel-oil)-Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	71
Şekil 5.3.4 (Fuel-oil)-Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	71
Şekil 5.3.5 (Fuel-oil)-Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	72

Şekil 5.3.6 (Fuel-oil)-Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	72
Şekil 5.3.7 (Fuel-oil)-Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	73
Şekil 5.3.8 (Fuel-oil)-Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	73
Şekil 5.3.9 (Fuel-oil)-Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	74
Şekil 5.3.10 (Fuel-oil)-Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	74
Şekil 5.3.11 (Fuel-oil)- Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	75
Şekil 5.3.12 (Fuel-oil)- Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	75
Şekil 5.3.13 (Fuel-oil)-Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	76
Şekil 5.3.14 (Fuel-oil)-Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	76
Şekil 5.3.15 (Fuel-oil)- Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	77
Şekil 5.3.16 (Fuel-oil)- Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	77
Şekil 5.3.1 (Kömür)-Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	78
Şekil 5.3.2 (Kömür)-Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	78
Şekil 5.3.3 (Kömür)-Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	79
Şekil 5.3.4 (Kömür)-Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	79
Şekil 5.3.5 (Kömür)-Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	80

Şekil 5.3.6 (Kömür)-Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	80
Şekil 5.3.7 (Kömür)-Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	81
Şekil 5.3.8 (Kömür)-Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	81
Şekil 5.3.9 (Kömür)-Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	82
Şekil 5.3.10 (Kömür)-Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	82
Şekil 5.3.11 (Kömür)- Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	83
Şekil 5.3.12 (Kömür)- Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	83
Şekil 5.3.13 (Kömür)-Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	84
Şekil 5.3.14 (Kömür)-Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	84
Şekil 5.3.15 (Kömür)- Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti.....	85
Şekil 5.3.16 (Kömür)- Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma-soğutma maliyeti	85

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 HDD ve CDD Sayıları	11
Tablo 3.2 Yalıtım Malzemesi Özellikleri.....	12
Tablo 3.3 Kompozit Duvar Bileşenlerinin Değerleri.....	13
Tablo 3.4 Çalışmada Kullanılan Yakıtların Alt Isıl Değerleri.....	15
Tablo 3.5 Çalışmada Kullanılan PWF Değerleri.....	16
Tablo 4.1 Dünyada kullanılan LCA Yöntemleri.....	28
Tablo 5.1 Doğalgaz yakıtı kullanımında taşıyıcı malzemesine ait ekonomik analiz..	32
Tablo 5.2 Doğalgaz yakıtı kullanımında camyünü malzemesine ait ekonomik analiz..	33
Tablo 5.3 Doğalgaz yakıtı kullanımında XPS malzemesine ait ekonomik analiz.....	33
Tablo 5.4 Doğalgaz yakıtı kullanımında EPS malzemesine ait ekonomik analiz.....	33
Tablo 5.5 Fuel-oil yakıtı kullanımında taşıyıcı malzemesine ait ekonomik analiz.....	34
Tablo 5.6 Fuel-oil yakıtı kullanımında camyünü malzemesine ait ekonomik analiz...	34
Tablo 5.7 Fuel-oil yakıtı kullanımında XPS malzemesine ait ekonomik analiz.....	35
Tablo 5.8 Fuel-oil yakıtı kullanımında EPS malzemesine ait ekonomik analiz.....	35
Tablo 5.9 Kömür yakıtı kullanımında taşıyıcı malzemesine ait ekonomik analiz.....	35
Tablo 5.10 Kömür yakıtı kullanımında camyünü malzemesine ait ekonomik analiz...	36
Tablo 5.11 Kömür yakıtı kullanımında XPS malzemesine ait ekonomik analiz.....	36
Tablo 5.12 Kömür yakıtı kullanımında EPS malzemesine ait ekonomik analiz.....	37
Tablo 5.4.1 Yalıtım malzemelerinin üretim ve paketleme kgCO ₂ eşdeğeri.....	86
Tablo 5.4.2 Yalıtım malzemelerinin üretim, paketleme ve taşımadaki kgCO ₂ eşdeğeri.....	86
Tablo 5.4.3 Doğalgaz-taş yünü çevresel etki değerleri.....	87
Tablo 5.4.4 Doğalgaz-cam yünü çevresel etki değerleri.....	87
Tablo 5.4.5 Doğalgaz-XPS çevresel etki değerleri.....	88
Tablo 5.4.6 Doğalgaz-EPS çevresel etki değerleri.....	88
Tablo 5.4.7 Fuel-oil-taş yünü çevresel etki değerleri.....	88
Tablo 5.4.8 Fuel-oil -cam yünü çevresel etki değerleri.....	89
Tablo 5.4.9 Fuel-oil -XPS çevresel etki değerleri.....	89
Tablo 5.4.10 Fuel-oil EPS çevresel etki değerleri.....	89

Tablo 5.4.11 Kömür-taş yünü çevresel etki değerleri.....	90
Tablo 5.4.12 Kömür -cam yünü çevresel etki değerleri.....	90
Tablo 5.4.5 Kömür -XPS çevresel etki değerleri.....	90
Tablo 5.4.6 Kömür -EPS çevresel etki değerleri.....	90



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltmalar

Açıklama

$A_{yılH}$	Isıtma için yıllık net tasarruf, $\$/m^2$
$A_{yılC}$	Soğutma için yıllık net tasarruf, $\$/m^2$
$A_{yılH,C}$	Isıtma-soğutma için yıllık net tasarruf, $\$/m^2$
CDD	Soğutma derece gün sayısı
C_F	Yakıt fiyatı, $\$/m^3$ - $\$/kg$
C_H	Yalıtımsız fiyat, $\$$
C_{tH}	Yalıtımlı fiyat, $\$$
C_{ins}	Yalıtımlı malzemenin fiyatı, $\$/m^2$
C_y	Yalıtım malzemesi fiyatı, $\$/m^3$
COP	Verim
d	Özkütle, kg/m^3
E	Yıllık enerji miktarı, $kWh/yıl$
E_H	Yıllık ısıtma enerji ihtiyacı miktarı, $kWh/yıl$
ET	Yıllık net enerji tasarrufu, kWh/m^2
g	Faiz oranı, (%)
GWP	Küresel ısınma potansiyeli, $kgCO_2$
H_u	Yakıtın alt ısı değeri, J/m^3 , J/kg
HDD	Isıtma derece gün sayısı
k	Isıl iletkenlik katsayısı, W/mK
i	Enflasyon oranı, (%)
N	Yaşam süresi, yıl
$q_{yıl}$	Yıllık ısı kaybı, W/m^2
$Ö.Ç.Ö$	Önlenen çevresel etki, $kgCO_2$
PP	Geri ödeme süresi, yıl
PWF	Bugünkü net değer faktörü
r	Güncel faiz oranı, (%)
R_i	İç ortam ısı direnci, m^2K/W
R_0	Dış ortam ısı direnci, m^2K/W
R_w	Yalıtımsız duvarın ısı direnci, m^2K/W
$R_{w,t}$	Toplam ısı direnci, m^2K/W
R_{ins}	Yalıtım malzemesi ısı direnci, m^2K/W
T_0	Dış sıcaklık, $^{\circ}C$
T_b	Denge sıcaklığı, $^{\circ}C$
T_i	İç ortam sıcaklığı $^{\circ}C$

U	Toplam ısı transfer katsayısı, W/m ² K
X	Malzeme kalınlığı, m
X_{optC}	Soğutma için optimum yalıtım kalınlığı, m
X_{optH}	Isıtma için optimum yalıtım kalınlığı, m
$X_{optH,C}$	Isıtma-soğutma için optimum yalıtım kalınlığı, m
LCA	Life cycle assesment, yıl
η	Yanma sisteminin verimi (%)



ÖZET

FARKLI DERECE GÜN BÖLGELERİNDEKİ YAPILARIN OPTİMUM YALITIM KALINLIKLARININ ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ

YAMAN,Uğur

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Ocak 2025, 122 sayfa

TS 825'e göre dört farklı derece gün değerine sahip, Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars illerine ait optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Hesaplama da yalıtım malzemesi olarak ekspanded polistren sert köpük (EPS), ekstrüde polistren köpük (XPS), cam yünü ve taş yünü, yakıt olarak doğal gaz, kömür ve fuel-oil kullanıldığı durumlar karşılaştırılmıştır. Dış duvara yalıtımın uygulanması durumunda ekonomik geri ödeme süreleri ve çevresel etki değerleri hesaplanmıştır. Yapılan ekonomik ve yaşam döngü değerlendirme analizlerinde binalarda ısıtmada kullanılan doğalgaz, fuel-oil ve kömür yakıt türleri arasında, Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars illeri için en uygun yakıt türünün doğalgaz ve en uygun yalıtım malzemesinin Antalya ili için taş yünü, Diyarbakır, Konya ve Kars ili için taş yünü veya cam yünü olacağı tespit edilmiştir. Yakıt olarak doğalgaz, yalıtım malzemesi olarak cam yünü izolasyon malzemesinin kullanılmasına göre Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin optimum yalıtım kalınlığı sırasıyla 0.049, 0.076, 0.09 ve 0.12 m, geri ödeme süreleri 2.68, 1.9, 1.65 ve 1.27 yıl olarak tespit edilmiştir. Aynı durumlar için, önlenebilir çevresel etki değerleri 11.24, 24.01, 33.76 ve 59.41 kgCO₂ ve küresel ısınma potansiyeli değerleri 3.43, 5.6, 6.28 ve 8.83 kgCO₂'dir.

Anahtar Kelimeler: Isıtma derece-gün; Optimum yalıtım kalınlığı, Çevresel etki değeri

ABSTRACT

ENERGY AND ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS OF BUILDINGS IN DIFFERENT DEGREE DAYS REGIONS

Uğur YAMAN

Master of Science in Department of Machinical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

January 2025, 122 pages

According to TS 825, optimum insulation thicknesses for Antalya, Diyarbakır, Konya and Kars provinces with four different degree day values were determined. In the calculations, the situations were compared when stone wool, glass wool, XPS and EPS were used as insulation materials, and natural gas, coal and fuel oil were used as fuels. In case of external wall insulation, economic payback periods and environmental impact values were calculated. In the economic and life cycle assessment analyses, it was determined that among the fuel types used in heating in buildings, natural gas, fuel oil and coal, the most suitable fuel type for Antalya, Diyarbakır, Konya and Kars provinces would be natural gas and the most suitable insulation material would be stone wool for Antalya province, and stone wool or glass wool for Diyarbakır, Konya and Kars provinces. According to the use of natural gas as fuel and glass wool as insulation material, the optimum insulation thickness for Antalya, Diyarbakır, Konya and Kars provinces were determined as 0.049, 0.076, 0.09 and 0.12 m, and the payback periods were determined as 2.68, 1.9, 1.65 and 1.27 years, respectively. For the same conditions, avoidable environmental impact values were 11.24, 24.01, 33.76 and 59.41 kgCO₂ and global warming potential values were 3.43, 5.6, 6.28 and 8.83 kgCO₂.

Keywords: Heating degree-days; Optimal insulation thickness; Life cycle assessment

1. GİRİŞ

Coğrafi keşiflerin ardından, dünyanın sanayi devrimlerine olan ihtiyacı giderek belirginleşmiştir. Bilim insanları bu ihtiyaçlara ilk olarak Endüstri 1.0 ile buhar gücünden yararlanılan makineler(trenler) yaparak karşılık vermiştir. Bu gelişmeleri sırasıyla Endüstri 2.0, Endüstri 3.0 ve günümüzde dünya genelinde henüz yeni yerini almaya başlayan, insan işgücünü azaltmayı hedefleyen ve robotların çağı olarak adlandırılan Endüstri 4.0 ile gelişimi takip etmektedir. Endüstri devriminin başlarında tüketilen fosil yakıtların bitebileceğine ilişkin genel kanının çok az olmasına karşın günümüze varan yıllar içerisinde fosil yakıtlarının bir ömrünün olduğu kavramı giderek ağırlığını hissettirmektedir. Bunun en büyük ispatı ise yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin hızla artması olarak gösterilebilir. Hem Dünya nüfusunun artması hem de insan ihtiyaçlarını karşılayacak ürünlerin üretilme ve işlenmeleri sürecinde enerjiye olan bağlılığımız açıkça gözlenmektedir. Ayrıca kullanılan fosil yakıtların küresel ısınmaya ve çevreye olan zararlı etkileri dünyanın enerjiye duyulan ihtiyacı kadar önem kazanmıştır. Bu başlıkla ilgili dünya devletlerinin son 50 yılda birçok alınmış ve uygulanmış/uygulanmakta olan kararları da bulunmaktadır. Paris İklim Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü bunlardan bazılarıdır.

Ülkemizde enerji tüketiminin büyük bir kısmı konutlarda ısıtma ve soğutma amaçlı gerçekleşmektedir. Enerjide dışa bağımlı olan ülkemiz için enerji tüketiminin azaltılması çok önemli olduğundan bu konu ile ilgili çalışmalar yapılmış ve yalıtım konusu gündeme gelmiştir. Binalarda enerjinin etkin kullanılması için başvurulması gereken yollardan birisi ısı yalıtım uygulamasıdır. Bina dış duvarlarına uygulanan ısı yalıtımı; enerjinin korunumu açısından önemli olduğu gibi, çevre kirliliğinin azalması, ısı konforu, binanın dış etmenlerden korunması ve yakıt tüketimine bağlı olarak işletme giderlerinin azalması açısından da çok önemlidir [1].

Binalarda ısı yalıtımı, soğuk aylarda ısı kaybını azaltmak, sıcak aylarda ise ısı kazanımını azaltmak amacıyla yapılır. Bir binada ısı transferleri; çatıda, zeminde, pencerelerde ve en çok yüzey alanına sahip olan duvarlarda gerçekleşir. Soğutma derece gün değeri (CDD) ve ısıtma derece gün değeri (HDD) ve kullanılan yakıtın alt

ısııl değeri ve diğeri tüm parametreler belirlenen bir yönetmeliğe göre hesaplanır. Ülkemizde bu hesaplamalar TS 825 Yönetmeliğine göre yapılır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılacak olan yalıtım malzemesinin toplam enerji tasarrufuna katkısının kesin olduğu verisi elde edilirken, yapılacak olan maliyet analizine göre de toplam maliyete ilave bir yük getireceği ve bu yalıtım malzemesinin optimum kalınlıkta olmasını sağlayarak toplam maliyete eklenen bu yükün daha fazla artmasının önüne geçilmiş olunur.

Dünya genelinde insan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla üretilen malzemelerin hammaddeden ürüne dönüştürülme aralığında üretim için ihtiyaç duyulan enerjinin üretilmesi esnasında doğal kaynakların insan eliyle bilinçsizce tüketilmesini önlemek ve negatif çevresel etkinin önlenmesi fikri sürdürülebilirlik kavramının oluşumunu ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı bu amaçla ilk defa Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu'nda (WCED) ifade edilmiştir [2]. Kohler sürdürülebilir gelişmenin ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutunun olduğunu ve bu alanlardaki gelişmelere bağlı olduğunu belirtmiştir [3].

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde en aktif iş sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Gelişen inşaat sektörü sürdürülebilirlik kavramının alt başlıkları olan sosyal ve ekonomik yönden pozitif yönde ivme kat ederken kendine destek veren diğer disiplin ve alanlarla birlikte ihtiyaç duyduğu ürünlerin tedarikleri sırasında kaynakları en fazla tüketen sektörlerdendir. Avrupa Komisyonu 2006 yılı raporunda belirtildiği gibi; İnşaat sektöründe 11.8 milyon çalışan bulunmaktadır. Avrupa'nın en büyük endüstri işvereni olmasına karşın, çevresel açıdan bu sektörün en fazla enerjiyi harcadığı, katı atık oluşumunda öncü rol üstlendiği, sera gazı oranının yükselmesine önemli oranda katkı sağladığı, çevresel hasarın üzerindeki etkisinin ve ham madde tüketiminin sorumlusudur [4].

Bu durumda çevreye duyarlı yaklaşımlar ile sürdürülebilir binaların üretilmesi ve bina üretimi için yapı malzemelerinin, ürün veya sistemlerin performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun için binaların neden olduğu çevresel etkilerinin ölçülmesi, aynı etkilerin kaynaklarının standartlaştırılması ve toplam çevresel performansın hesaplanması gereklidir [5].

Yaşam Döngü Değerlendirme yöntemi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan kaynak tüketimini engellemek ve çevresel etkileri ortaya koymak için inşaat sektöründe sürdürülebilirliğin geliştirilmesinde kullanılmaktadır [6]. Yaşam Döngü Değerlendirmesi ile ürün veya sistem içindeki malzeme ve enerji miktarının hesaplanması sağlanırken aynı zamanda bunlarla ilişkili çevresel etkilerde ölçülmektedir [6,7].

Bu tezde, Türkiye sınırları içinde bulunan ve TS 825'e göre 4 farklı bölgede olan Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars İllerinde binalarda kullanılan 3 farklı yakıt tipi doğalgaz, fueloil ve kömür kullanılarak 4 farklı yalıtım malzemesi olan ekspanded polistren sert köpük (EPS), ekstrüde polistren köpük (XPS), cam yünü ve taş yünü malzemelerinin optimum kalınlıklarına ilişkin Yaşam Maliyet Analizleri ve Yaşam Döngü Değerlendirmesi çalışmaları yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Enerji maliyetlerindeki artış binalarda özellikle ısı yalıtımını ekonomik bir çözüm olarak ortaya çıkarmaktadır. Günümüzün artan teknolojik gelişmeleri ve bilinç seviyesine bağlı olarak yapı kullanıcıları tüketilen fazla yakıtın ekonomik zararlarının yanında çevresel zararlarını da göz önüne almaktadır. Bu durumda ısı yalıtım malzemeleri de teknolojik gelişimlere paralel olarak değişim göstermiştir. Saman, kil, toprak gibi organik malzemelerin yerini polistiren, poliüretan gibi polimerler veya taş yünü, cam yünü gibi inorganik bileşenli malzemeler almıştır [8].

Ertürk yapmış olduğu çalışmada yalıtım malzemesine ilaveten hava boşluğunu ele alarak ısı yalıtımının ekonomik ve çevresel boyutunu incelemiştir. Yakıt olarak doğalgaz ve kömür, duvar tipi olarak sandviç duvar, yalıtım malzemesi olarak da EPS, XPS ve taş yünü kullanmıştır. Hesaplamalarda dört farklı kalınlıkta hava boşluğu incelenmiş olup, inceleme sonucunda en az yalıtım kalınlığı XPS malzemesi kullanılabileceğini göstermiştir. Yakıt olarak doğalgaz tercih edildiğinde XPS malzemesi optimum yalıtım kalınlığı 9.2 cm olarak bulunmuştur. Duvar bileşenine hava boşluğu ilave edildiğinde oluşan havanın kalınlığına bağlı olarak 4 cm hava boşluğu için optimum yalıtım kalınlığı değeri, 3.4 cm olarak hesaplanmıştır. Yıllık maliyet m² başına 24.48 TL'den 17.57 TL'ye, geri ödeme süresi 1.50 yıldan 1.32 yıla inmiş, yıllık kazanç ise %96 oranında yükselmiştir. 2014 yılı nüfus ve meskene ait elektrik abone sayıları esas alınarak yapılan hesaplamalara göre; yalıtımsız binaya kıyasla, 4 cm XPS ve 4 cm hava boşluğu ile oluşturulan duvar bileşeni için CO₂ ve SO₂ salınımının % 82 azaldığı belirtilmiştir [9].

Liu ve arkadaşları, çalışmalarında yıllık enerji tüketimini bulmak için nem transferinin ısı transferine olan etkisini dikkate alan birleştirilmiş ısı ve nem transferi modelini kullanmayı tercih etmişlerdir. Çin'deki 3 il için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yapılan enerji tasarruflarını hesaplamışlardır. Kullanılan yalıtım malzemeleri EPS ve XPS olarak tercih etmişlerdir. Çalışmaların sonucunda optimum yalıtım kalınlığının XPS için 0.053 m ile 0.069 m arasında, EPS için ise 0.081 m ile 0.10 m arasında olduğu belirtilmiştir. Enerji tasarrufları, EPS için; 16.69-28.50 \$/m² XPS'de

ise;16.60-28.39 \$/m² olarak bulmuşlardır. Çalışma sonucunda XPS'in EPS ye göre daha pahalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [10].

Özel, çalışmasında Elâzığ ili için yalıtım kalınlığının farklı bina yönleri ilişkin 10 yıllık zaman periyodu için net bugünkü değer faktörüyle hesaplama yapmış ve yönlere göre optimum yalıtım kalınlıklarıyla beraber enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Özel'in yaptığı çalışmada optimum yalıtım kalınlığını doğu batı ve kuzey cepheleri için 0.060 m, güney cephesi için 0.055 m olarak hesaplamıştır [11].

Daouas, çalışmasında Tunus iklim koşullarında 30 yıllık yaşam süresi belirlenen bir bina için yönlere göre yalıtımın önemini ve enerji tasarrufuna etkisi konusunda incelemede bulunmuştur. Binanın ortalama yapılan analiz sonuçlarına göre sabit periyodik koşullar altında optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Karmaşık Sonlu Fourier Dönüşümü 'ne dayanan analitik bir yöntem, iki tip yalıtım malzemesi (taş yünü ve genişletilmiş polistirenden) ve iki tipik duvar yapısı için yıllık soğutma iletim yüklerini titizlikle tahmin edecek şekilde genişletilmiştir. Douas yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığını belirlemek amacıyla yaşam döngüsü maliyet analizini girdi olarak kullanmıştır. Buna göre en karlı durumun, optimum kalınlığı 5.7 cm olan taş/tuğla sandviç duvar ve yalıtım için genişletilmiş polistiren olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda 3.11 yıllık geri ödeme süresi ile %58'e varan enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirtilmiştir [12].

Kürekçi ve arkadaşları, çalışmalarında derece gün değerleri kullanarak ömür maliyet analizi yöntemi kullanarak Türkiye'de 81 vilayet 2 çeşit yakıt ve 5 çeşit yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı, kazanılan enerji tasarrufları ve yalıtım malzemesi geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır [13].

Bolattürk, çalışmasında Türkiye'nin birinci iklim bölgesindeki binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığını yıllık ısıtma ve soğutma yüklerini göz önüne alarak hesaplamış ve P1-P2 metodu ile geri ödeme sürelerini bulmuştur [14].

Akyüz, çalışmasında Diyarbakır İli için binalarda ısıtma amaçlı 3 farklı yakıt dikkate alınarak dış yüzeyde EPS kullanılarak, optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Yaptığı çalışmada; yakıt olarak kullandığı doğalgaz için 0.057 m, kömür için 0.066 m ve fueloil için 0.089 m olarak bulmuştur. Geri ödeme süreleri doğalgaz, kömür ve fueloil için sırasıyla 2.85, 3.57 ve 2.05 yıl olarak

bulmuştur. Yine yazar aynı çalışmasında Yaşam Döngü Değerlendirmesi yaparak, hesapladığı optimum yalıtım kalınlıkları için yıllık önlenen çevresel etki değerleri doğalgaz için; 17.45 CO₂eq /m², kömür için; 51.28 CO₂eq /m² ve fueloil için, 26.7 kg CO₂eq /m² olarak hesaplamıştır [15].

Literatür incelendiğinde Yaşam Döngü değerlendirmesi yapılan çalışmaların çoğunluğu Avrupa Birliği Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve diğer gelişmiş ülkelerde yapıldığı gözlenmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde bu tür örneklerle daha az rastlandığını görülmüştür. Bu durumun gelişmiş ülkeler lehinde olmasının bir nedeni de ilgili ülkelerde konuyla ilgili zengin kütüphanesi olan veri tabanları oluşturulup, otomatik hesaplama yapılabilen yazılımların geliştirilmesi olmuştur. Sima Pro , Open LCA vb. programlar somut örnekler olarak gösterilebilir. 2008 yılında Danimarka'nın Ulusal Çevre Araştırma Enstitüsü (NERI), Danimarka'da emisyon envanteri oluşturulması için bir çalışma hazırlamıştır. Bu çalışmada gemilerdeki yakıtların emisyonları ile yakıt tüketim fiyatları arasında bir bağıntı elde edilmesini tavsiye etmiştir. Bu önerisinde özellikle altını çizdiği husus emisyon faktörünün geliştirilmesine yönelik hesaplamalar yaptırmak olmuştur [16].

Bozkurt, İzmir İlinde Yaşam Döngü Değerlendirme Yöntemiyle 4 aşamadan (alan seçimi, inşaat, kullanım ve yıkım) oluşan konut modeli geliştirmiş ve çıkan sonuçlar beşlik sisteme göre 1 en zayıf 5 mükemmel şeklinde sınıflandırıp konut performansını değerlendirmiştir [17].

Babalık, çalışmasında doğal agrega ile üretilen normal beton ve geri dönüştürülmüş agregalı betonun çevresel etkilerini karşılaştırmış ve çalışmasını yaparken Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yöntemini kullanmıştır. Çalışmasında çevresel etki değerlendirme modellemesini GaBi ve 4.3 yazılımı ile hazırlamıştır. Kullandığı yazılımda “profesyonel database” veri tabanını kullanmış ve etki değerlendirmesini CML 2001 yöntemiyle belirlemiştir. Çalışmasının sonucunda, geri dönüştürülmüş agregalı beton üretiminin, normal beton üretimine göre çevresel etkisinin daha az olduğunu belirlemiştir [18].

Akyüz, çalışmasında Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alan İzmir, İstanbul, Ankara ve Erzurum illerinde duvar yapımında ısı yalıtımının ekonomik ve çevresel etkisini incelemiştir. Üç farklı senaryo belirlemiş ve analizler bu senaryolar üzerinden

gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda EPS, cam yünü, taş yünü ve XPS olmak üzere dört farklı yalıtım malzemesi seçilmiştir. Çevresel değerlendirmeleri, tüm senaryolar için yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yöntemiyle gerçekleştirmiştir. 17 çevresel etkinin ReCiPe yöntemiyle birleştirilmesiyle çevre analizi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, tüm senaryolarda en düşük çevresel geri ödeme süresi EPS olarak bulunurken, en yüksek çevresel geri ödeme süresi XPS olarak bulunmuştur. Tüm senaryolar için en yüksek ekonomik geri ödeme süresi XPS olduğunu belirtmiştir. Ekonomik ve yıllık önlenen çevresel etki açısından ısı yalıtımının soğuk iklimlerde daha etkili olduğu gözlemlendiği sonucuna ulaşmıştır. Tüm senaryolarda çevresel geri ödeme süresinin ekonomik geri ödeme süresinden oldukça düşük olduğu bulunmuştur [19].

Demirer, Günümüzde iklim değişikliği, ozon tahribatı vb. konuların çevre bilincinin artmasıyla birlikte, proje geliştirme ve uygulama süreçlerinde varılan tüm sonuçların çevresel boyutu daha da önem kazanmıştır. Teknoloji ve yaşam standartları geliştikçe, bir projenin topluma maliyeti, performansı, doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenler karar verme süreçlerinde giderek daha fazla dikkate alınmaktadır. Bu kapsamda, projelerin çevresel etkilerini değerlendirmek ve karşılaştırmak için çeşitli araç ve yöntemler geliştirilmiştir. Yaşam Döngü Değerlendirmesi, bu geliştirilen araçlardan bir tanesidir [20].

Çamur, çalışmasında ısı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle çevresel etkilerinin değerlendirilmesini incelemiştir. Isı yalıtım malzemelerinden EPS ile buna alternatif olarak kullanılacak taş yününün üretim aşamasından, uygulama aşamasına (uygulama aşaması da dahil) kadar olan süreçte hangisinin daha çevre dostu olduğunu ortaya koymayı amaçlamıştır. Yalıtım malzemelerinin çevresel etkilerini GaBi 4 yazılımı kullanarak değerlendirmiştir. Sonuç olarak, EPS'nin çevresel etkilerini incelenen tüm çevresel etki sınıfları için taş yününe göre daha az olduğunu bulunmuştur. Çalışma yapı malzemelerinin seçiminde çevresel ölçütlerin önemini vurgulamaktadır [21].

Özel, çalışmasında farklı yapı malzemelerine sahip bina duvarlarının dinamik ısı koşullar altında ısı performansını ve optimum yalıtım kalınlığını ele almıştır. Beton, briket, tuğla, blokbims ve otoklavlanmış gaz beton (AAC) kullanılarak inşa edilen bina duvarlarının ısı performansını, yalıtımsız ve yalıtımlı duvar yapıları için belirtilmiş olup, yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS seçilmiştir. Yıllık soğutma ve ısıtma iletim

yükleri, sabit periyodik koşullar altında örtülü sonlu farklar yöntemi kullanılarak hesaplamıştır. Bu yükler, optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için yalıtım malzemesi maliyetini ve binanın 10 yıllık ömrü boyunca enerji tüketim maliyetinin bugünkü değerini içeren ekonomik bir modele girdi olarak kullanılmıştır. Araştırmada güneye bakan bir duvar ve Elazığ, iklim koşulları için yürütülmektedir. Sonuçlar, beş farklı yapı malzemesi ve iki farklı yalıtım malzemesine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının 2 ile 8.2 cm arasında, enerji tasarrufunun 2.78 ile 102.16 \$/m² arasında değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin 1.32 ile 10.33 yıl arasında değiştiğini göstermektedir. Sonuçlar derece-gün yöntemiyle karşılaştırılmıştır [22].

Mahlia ve Iqbal, çalışmalarında Maldivler'deki binalarda en büyük enerji tüketicisinin klima olduğunu belirtmiştir. Bu enerji gereksinimindeki herhangi bir azalmanın, elektrik üretimi için dizel yakıt kullanımının azalması ve dolayısıyla toplam sera gazı emisyonlarında önemli bir azalmanın meydana geleceğini ifade etmişlerdir. Ancak bunun, bina sakinlerinin iç mekân hava kalitesinden ve termal konforundan ödün vermeden başarılması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışmalarında dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığının arttığına dair güçlü bilimsel kanıtların varlığı ve bu fosil yakıtların yakılmasıyla atmosfere salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarının konsantrasyonunun artmasının bir sonucu olduğunu söylemişlerdir [23].

Al-Sanea ve arkadaşları çalışmalarında sabit periyodik koşullar altında boşluk duvarlarındaki yalıtım katmanlarının optimum kalınlığını araştırdı. Çalışmaları toplam maliyeti en aza indirmek için şimdiki değer analizine dayanıyordu. Sonuçlar, en ekonomik boşluk konfigürasyonunun kullanılan yalıtım malzemesinin türüne bağlı olduğunu gösterdi. Elektrik tarifesinin bina duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığına etkisi dinamik bir ısı transferi modeli kullanılarak Al-Sanea ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [24].

Aktemur ve Atikol, çalışmalarında, Türkiye'nin belirlediği iklim bölgelerinden seçilen dört şehir için altı farklı yakıt ve yalıtım malzemesinin optimum yalıtım kalınlığını, 15 yıllık kullanım ömrü boyunca enerji tasarrufunu ve geri ödeme sürelerini gösteren bir yaşam döngüsü maliyet analizi yapmışlardır. Isı Yalıtım Standardı (TS 825). Aşağıdaki altı yalıtım malzemesinden inşa edilen sandviç tipi bir duvarın analizi için Muğla (1. bölge), Kocaeli (2. bölge), Ankara (3. bölge) ve Ardahan (4. bölge)

seçilmiştir: ekstrüde polistiren, genleştirilmiş polistiren, cam yünü, taş yünü, poliizosiyanürat ve poliüretan. Hesaplamalar ayrıca motorin, doğalgaz, propan (LPG), elektrik, kömür (ithal) ve 4 numaralı akaryakıt gibi altı farklı yakıt esas alınarak yapıldı. Sonuçlar, optimum yalıtımın gerekli olduğunu göstermiştir. Yalıtım kalınlığı 2.8 cm ile 45.1 cm arasında değişirken, enerji tasarrufu 16.4 TL/m² ile 479 TL/m² arasında değişmiştir. Çalışmalarında, geri ödeme süreleri şehre, yalıtım malzemesine ve yakıt maliyetine göre 0.078 ile 0.860 yıl arasında değişmektedir [25].



3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada TS 825'e göre tanımlanmış 4 bölgede bulunan Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars İllerine ait derece gün değerlerine göre EPS, XPS, cam yünü ve taş yünü malzemelerin fiziksel ve termal özellikleri dikkate alınarak doğalgaz, fueloil ve kömür gibi fosil yakıtların kullanılması durumunda matematiksel bir yöntem ile optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır. Ayrıca hesaplamalar yapılırken yalıtım malzemelerinin petrol türevli olmalarından kaynaklı hammadde-imalat-kullanım aşamaları dikkate alınarak oluşan karbon ayak izlerinin ve küresel ısınmaya etki eden değerlerin de hesaplamaları yapılmıştır.

3.1 Matematiksel Yöntem

Taban sıcaklığı, üretilen iç sıcaklığın dışarıdan ısı kaybını telafi edeceği sıcaklıktır. Sonuç olarak, HDD değerlerinin değerlendirilmesi, duvar kategorisi, yalıtım seviyesi, hava kaçağının varlığı, gelen güneş ışığına erişilebilirlik vb. gibi çeşitli yapısal özelliklerin yanı sıra belirli iklim koşulları ve binayı kullanan kişilerin kişisel eğilimleri gibi parametrelerden oluşur. Böylece derece-gün sayısı Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'ye göre hesaplanır [26]. Burada T_b taban sıcaklığıdır, T_0 bir meteoroloji istasyonunda kaydedilen günlük ortalama dış hava sıcaklığıdır, N bir ısıtma sezonunda $T_0 < T_b$ olması koşuluyla gün sayısıdır. Bu nedenle HDD değerleri, $T_0 < T_b$ olarak hesaplanır. Denklem (3.2)'den de görüleceği üzere HDD değerleri sadece pozitif değerler almaktadır. Ayrıca T_i iç ortam sıcaklığını ifade etmektedir. (T_b :15 °C olarak alınmıştır.)

Eğer, $T_0 < T_b$ ise;

$$HDD = \sum_{j=0}^N (T_b - T_0) \quad (3.1)$$

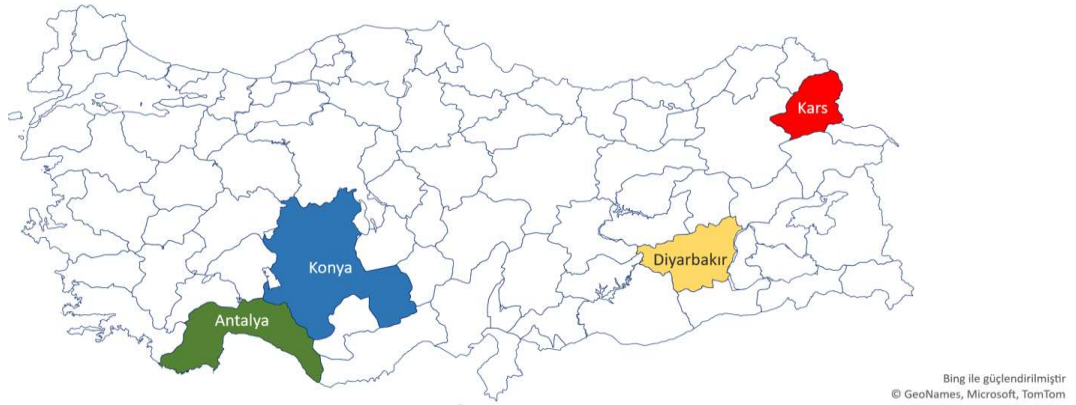
Eğer, $T_b < T_0$ ise;

$$HDD = 0 \quad (3.2)$$

$$CDD = \sum (T_i - T_r) \quad (3.3)$$

Burada T_0 ortalama dış sıcaklık olup, T_r soğuk hava referans sıcaklığıdır. Bu çalışmada $T_r = +4, 0, -5, -10, -15, -20, -25$ ve -30°C olarak dikkate alınmıştır.

Türkiye, TS 825'in belirlediği HDD sayılarına göre dört iklim bölgesine ayrılmıştır. Birinci bölge, ısınma için en az enerji ihtiyacı olan bölgeyi, dördüncü bölge ise ısınma için enerjiye en çok ihtiyaç duyulan bölgeyi temsil etmektedir. Derece-gün yöntemi ısıtma uygulamaları için hesaplanabilir olması yanında, soğutma uygulamaları için de benzer şekilde derece-gün değerleri hesaplanabilir [27 ve 28]. Bu çalışmada şekil 3.1'de gösterilen Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin HDD değerleri kullanılarak sandviç tipi yalıtımlı duvar tipi yalıtımlı duvar yapısının yalıtım analizi yapılmıştır. Isıtma derece-gün sayıları Tablo 3.1'de verilmiştir [29]. Literatürü incelediğimizde, Derece Gün Değeri kavramı yalıtım hesaplarında hem ısıtmada , hem de soğutmada kullanıldığını görülmektedir. Denklem (3.3)'de soğutma için derece gün değeri belirtilmiştir [43].

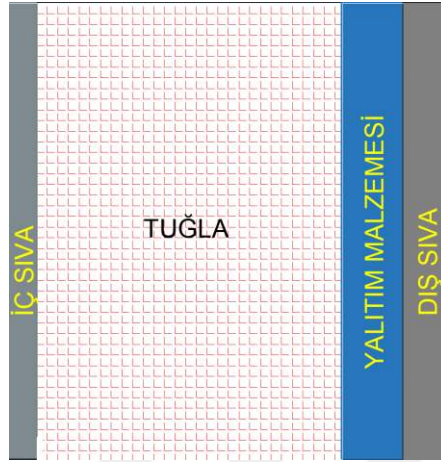


Şekil 3.1 TS 825'e göre 4 bölgede bulunan şehirler

Tablo 3.1 HDD ve CDD sayıları [29]

Şehirler	HDD	CDD
Antalya	1083	562
Diyarbakır	2142	640
Konya	2836	101
Kars	4772	2

3.1.1 Dış duvar yapısı



Şekil 3.2 Kompozit duvar

Şekil 3.2’de kompozit duvarın kesit alanı gösterilmiştir. Kompozit Duvarı oluşturan malzemeler sırasıyla içten dışa; iç sıva, tuğla, yalıtım malzemesi ve dış sıva olmak üzere 4 katmandan oluşmaktadır [30]. Çalışmamızda; XPS, EPS, cam yünü ve taş yünü malzemelerine ait termal özellikler ve maliyet ile ilgili bilgiler Tablo 3.2 ‘de verilmiştir.

Tablo 3.2 Yalıtım malzemelerinin özellikleri [31]

	EPS	XPS	Cam Yünü	Taş Yünü
k (W/mK)	0.039	0.031	0.038	0.040
Cy (\$/m ³)	120	180	85	80
d (kg/m ³)	16	28	24	40

Duvar bileşenleri 2 cm iç sıva, 13 cm tuğla ve 3 cm dış sıvadan oluşmaktadır. Isı yalıtım malzemesi olarak Tablo 3.2’de belirtilen malzemeler kullanılmış olup, bu malzemelerin fiziksel özellikleri Tablo 3.3’te gösterilmektedir [32].

Tablo 3.3 Kompozit duvar bileşenlerinin değerleri [13,32]

Duvar Yapısı	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m ² K/W)
İç Sıva	0.02	0.87	0.023
Tuğla	0.13	0.45	0.289
Dış Sıva	0.03	1.4	0.021
R ₀			0.040
R _i			0.130
R _{w,t}			0.503

3.1.2 Dış duvar ısı kayıpları ve yıllık enerji ihtiyacı hesabı

Isının binanın içine ve dışına duvarlar aracılığıyla aktarılması radyasyon, iletim ve konveksiyon süreçlerini içerir. Güneş radyasyonu, daha sonra duvarın büyük kısmı boyunca aktarılan ısıyı üretmek için doğrudan duvarların dış yüzeyinde emilebilir. Daha fazla ısı, hem dış hem de iç duvar yüzeyleriyle temas halinde olan atmosferin konvektif hareketleriyle aktarılabilir. Dış duvarın birim yüzey alanı başına kaybedilen ısı miktarı Denklem 3.4'ten elde edilir ve birimi (W/m²) olarak alınmıştır [33,34,35].

$$q = U \times (T_i - T_0) \quad (3.4)$$

Burada U duvarın toplam ısı transfer katsayısı, T_i iç hava sıcaklığı ve T_0 dış hava sıcaklığıdır. Bir yalıtım katmanı içeren dış duvarın genel ısı transfer katsayısı Denklem (3.5) ile verilmektedir. R_{ins} yalıtım malzemesinin ısı direnci, x_{ins} yalıtım malzemesi kalınlığı ve k_{ins} yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı olarak Denklem (3.6)'da gösterilmiştir[36].

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_0} \quad (3.5)$$

$$R_{ins} = \frac{x_{ins}}{k_{ins}} \quad (3.6)$$

Burada R_i ve R_0 sırasıyla iç ve dış ortamın ısı direnç katsayılarını, R_w yalıtımsız duvarın ısı direncini, Bina içi ve bina dışı ısı dirençleri $R_i = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ve $R_0 = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ değerleri kullanılmıştır.

Yalıtımsız duvar katmanının $R_{w,t}$ toplam direnci aşağıdaki Denklem (3.7) yardımıyla belirlenmiştir.

$$R_{w,t} = R_i + R_w + R_0 \quad (3.7)$$

HDD kavramını kullanarak birim yüzey alanı için yıllık ısı kaybı aşağıdaki Denklem (3.8) ile bulunabilir [37].

$$q_{yıl} = 86400 \times HDD \times U \quad (3.8)$$

Dış duvarın birim yüzeyinden ısı kaybı ile ısıtma için gerekli olan yıllık enerji miktarı, Denklem (3.9)'da belirtildiği gibi, yıllık ısı kaybının yanma sisteminin verimliliğine (η) bölünmesiyle elde edilir [25].

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı miktarı aşağıdaki Denklem (3.9)'daki gibi yazılabilir [38].

$$E_H = \frac{86400 \times HDD}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times \eta} \quad (3.9)$$

Denklem (3.10)'da gösterilen soğutma için ihtiyaç duyulan enerji miktarı hesaplanmıştır. Burada COP soğutma sistemi performans katsayısını tanımlamaktadır.

$$E_C = \frac{86400 \times CDD}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times COP} \quad (3.10)$$

H_u kullanılan yakıtın alt ısı değeri olup, Tablo 3.4'de bu çalışmada kullanılan yakıtların alt ısı değerleri belirtilmiştir [13,32,40].

Tablo 3.4 Çalışmada kullanılan yakıtların alt ısı değerleri (Hu)

Yakıt	Alt Isıl Değer(H_u)	η	C_F
Doğalgaz	34485000 J/m ³	%90	0.36 \$/m ³
Kömür	25080000 J/kg	%65	0.196 \$/kg
Fueloil	40546000 J/kg	%80	0.737 \$/kg

3.1.3 Yıllık enerji maliyeti ve optimum yalıtım kalınlık hesabı

Yıllık yakıt maliyetini hesaplamak için, yakıt miktarının yakıtın birim fiyatı ile çarpılması gerekir. Bu hesaplama Denklem (3.11), (3.12) ve Denklem (3.13) 'de belirtilmiştir.

$$C_H = E \times C_F \quad (3.11)$$

$$C_H = \frac{86400 \times HDD \times C_F}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times H_U \times \eta} \quad (3.12)$$

$$C_{A,C} = \frac{86400 \times CDD \times C_e}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times COP} \quad (3.13)$$

Soğutmada kullanılan yıllık enerji maliyeti Denklem (3.13)'de belirtildiği gibi $C_{A,C}$ tüketilen elektrik enerjisi birim fiyatının çarpımıyla elde edilir.

C_F kullanılan yakıtın maliyetini belirtir. Bu çalışmada elektriğin fiyatı (C_e) 0.54 \$/kWh olarak alınmıştır. PWF (Present Worth Factor) Şimdiki Değer Faktörünü belirtir. Ekonomik analiz hesaplamaları yapılırken beklenen ömür (N) ve PWF birlikte değerlendirilmelidir. PWF değeri güncel faiz oranına (r) ve zamana bağlıdır.

Enflasyon(g) oranına göre düzeltilmiş faiz oranı (i) aşağıdaki Denklem (3.14) ve Denklem (3.15) ile verilmektedir [26,34].

Eğer, Faiz Oranı (i) > Enflasyon Oranı(g) ;

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (3.14)$$

Eğer, Enflasyon Oranı (g) > Faiz Oranı(i) ;

$$r = \frac{g-i}{1+g} \quad (3.15)$$

Denklem (3.14) ve Denklem(3.15) durumlarında PWF Denklem (3.16)'deki gibidir.

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

Eğer, Faiz Oranı (i) = Enflasyon Oranı (g) ise PWF Denklem (3.17)'deki gibidir.

$$PWF = \frac{N}{1+i} \quad (3.17)$$

Bu çalışmada PWF'nin hesaplanmasında kullanılan ömür, faiz ve enflasyon oranı değerleri Tablo (3.5)'te belirtilmiştir.

Tablo 3.5 PWF hesaplamasında kullanılan değerler

Faiz Oranı (i)	Enflasyon Oranı (g)	Beklenen Ömür (Yıl)	Şimdiki Değer Faktörü
%9	%8.1	10	9.55

Yalıtım maliyeti, yalıtım malzemesinin birim kalınlığıyla orantılı olarak artar. Yalıtım maliyeti aşağıdaki Denklem (3.18) ile belirlenir. Denklemde C_{ins} yalıtım malzemesi (güncel kalınlık değerine göre) fiyatını, C_y yalıtım malzemesinin 1 m^3 fiyatını, x yalıtım malzemesi kalınlığını metre olarak ifade eder.

$$C_{ins} = C_y \times x \quad (3.18)$$

Yalıtım yapılmış duvarın toplam maliyeti ($C_{t,H}$) aşağıdaki Denklem (3.19) ile belirtilmiştir.

$$C_{t,H} = C_H \times PWF + C_{ins} \quad (3.19)$$

Denklem (3.12) Denklem (3.19) 'da yerine yazılırsa, toplam ısıtma maliyeti aşağıdaki Denklem (3.20)'deki gibi gösterilir.

$$C_{t,H} = \frac{86400 \times HDD \times C_F \times PWF}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times H_u \times \eta} + C_y \times x \quad (3.20)$$

Optimum yalıtım kalınlığı, ısıtma ve soğutma maliyetlerinin en aza indirilmesiyle belirlenir. Optimum yalıtım kalınlığı, Denklem (3.21) ve Denklem (3.22)'de belirtilmiştir. Isıtma ve soğutma için optimum yalıtım kalınlığı, duvarın özelliklerine, yalıtım malzemesine, yakıt birim fiyatına, PWF' ye, faiz oranına, enflasyon oranına, yakıt türüne ve toplam ısıtma/soğutma derece-gün sayısına bağlı olarak değişir [14,19,34,38,41,42,44].

$$X_{opt,H} = 293.94 \times \left[\frac{HDD \times C_F \times PWF \times k}{H_u \times C_y \times \eta} \right]^{\frac{1}{2}} - k \times R_{w,t} \quad (3.21)$$

$$X_{opt,C} = 293.94 \times \left[\frac{CDD \times C_e \times PWF \times k}{C_y \times COP} \right]^{\frac{1}{2}} - k \times R_{w,t} \quad (3.22)$$

Isıtma ve soğutmada optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için Denklem (3.23) kullanılır [45,46].

$$X_{opt,H,C} = 293.94 \times \left[\frac{HDD \times C_F \times PWF \times k}{H_u \times C_y \times \eta} + \frac{CDD \times C_e \times PWF \times k}{C_y \times COP} \right]^{\frac{1}{2}} - k \times R_{w,t} \quad (3.23)$$

3.1.4 Ekonomik geri ödeme süresi

Faiz oranlarının değişkenlik gösterdiği durumlarda uzun vadeli faiz oranını tahmin etmek mümkün değildir. Bu sebeple geri ödeme süresinin dikkate alınması gerekir. Mevcut ekonomik sistem dikkate alındığında faiz oranlarının artan yıllara kıyasla hassas olacağı tahmin edilebilir. Geri ödeme süresi (PP), bir yatırımın ekonomik sürdürülebilirliğini ölçen bir yöntem değil, kaç yıllık gelirlerin giderleri karşılayacağını hesaplayan bir yöntemdir. Formüldeki C_H ön yalıtım ısıtma enerjisi maliyetlerini temsil eder. Isıtılan binalar için yıllık toplam net tasarruf miktarı ($A_{yılH}$) Denklem (3.24) ile, PP_H ise Denklem (3.25) ile hesaplanmaktadır [26].

$$A_{yılH} = C_H - C_{t,H} \quad (3.24)$$

$$PP_H = \frac{C_{ins}}{A_{yılH}} \quad (3.25)$$

4. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ

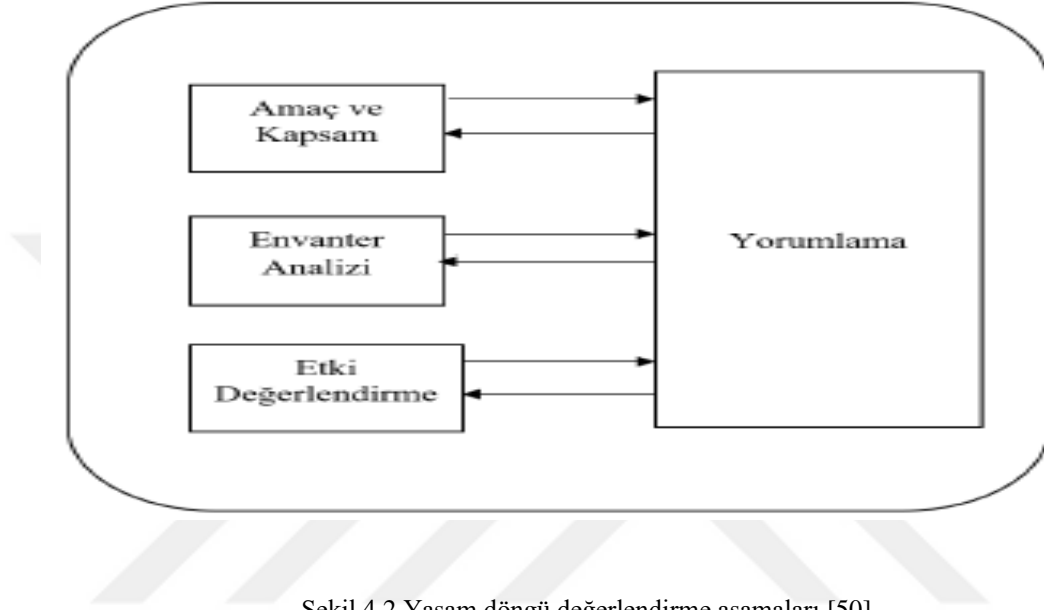
4.1 Yaşam Döngü Değerlendirmesi (LCA) Tanımı

Yaşam döngü değerlendirmesi, bir ürünün veya işlemin ham madde halinde doğadan elde edilmesi ile başlayıp, atık olarak doğaya geri dönene kadar ki bütün süreçlerde bütün çevresel boyutlarını kapsayan ve inceleyen bir yöntemdir. Yaşam döngü değerlendirmesi, hammaddenin elde edilmesi, hammaddenin işlenmesi, hammaddenin ürüne veya hizmete dönüşümü, dönüşen ürün veya hizmetlerin taşınması ve dağıtılması, son tüketiciye ulaşması, atık haline gelmesi ve nihayetinde geri dönüşümüne kadar ulaşması şeklindeki tüm aşamalardan meydana gelen bir işlemler bütünüdür [47]. Yaşam döngü değerlendirmesi, endüstride üretilen ve kullanılan ürünleri değerlendirmek için beşikten mezara yaklaşım olarak da ifade edilmektedir. Beşik, ürün veya hizmetin üretiminde kullanılan hammaddelerin doğadan çıkarılması ve üretilmesindeki gerekli olan enerjiyi diğer bir deyişle doğadan sisteme dahil edilen hammadde ve kaynakları tanımlamaktadır. Mezar ise hammaddeden elde edilen ürünlerin doğaya geri döndüğü yer ve zamanı ifade eden bir tanımdır [48]. “Beşikten mezara” kavramı şekil (4.1)’de belirtilmiştir [49].



Şekil 4.1 Beşikten mezara yaklaşım [49]

Yaşam döngü değerlendirmesi, amaç ve kapsam, envanter analizi, etki değerlendirme ve yorumlama olarak dört aşamadan oluşmaktadır [49]. Bu aşamalar şekil (4.2)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Yaşam döngü değerlendirme aşamaları [50].

4.2 Yaşam Döngü Değerlendirmesinde Amaç ve Kapsam

Yaşam döngü değerlendirmesinin ilk basamağı, problemin teşhis edilip, incelenen konunun amacının oluşturulmasıdır. Amaç olabildiğince şeffaf olmalıdır. Yapılan çalışmanın nedenleri ve tüm aşamaları iyice açıklanmalıdır. Yaşam döngü değerlendirmesinin kapsamı ele alınırken, çalışmanın işlem basamakları ve özellikleri belirtilmelidir. Bu sebeple kapsamın tanımı, işlevsel(fonksiyonel) birim, sistemin sınırları, verilerle ilgili kesin sonuçlar ve paydaş sistemler arasındaki karşılaştırma ve değerlendirme gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [51]. Yaşam döngü değerlendirmesinin önemi bir başka ifadeyle aşağıdaki gibi sıralanmıştır [52].

- Ürün veya hizmetlerin yaşam döngülerinin farklı aşamalarında çevresel performans geliştirme fırsatlarını belirleme,
- Endüstride veya endüstriye bağlı kuruluşlarda karar vericilere bilgi paylaşmak,

- Çevresel performansın önemli parametrelerinin seçiminde faydalı olmak,
- Pazarlama süreçlerinde fayda sağlamaktır.

Yaşam döngü değerlendirmesi amacı doğal kaynakların korunmasının desteklenmesi, çevresel kirliliğin azaltılma çalışmaları, çevresel eşitliğin oluşturabilmesi, çevre ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin uygulamaya geçirilmesi, çevre yönetim sistemlerinde çevresel performans değerlendirmesinin geliştirilmesi, çevreye duyarlılığı olan ürünlerin üretiminin desteklenmesi, oluşan toplam çevresel etkilerin ve insan sağlığına olan negatif etkilerinin azaltılması şeklinde tanımlanabilir [48,53].

İşlevsel (fonksiyonel) birim, bir referans olup, ürünün veya hizmetin temel fonksiyonunu sembolize eder. Yalıtım malzemelerinin üretimi için bu değer 1 kg alınabilir veya elektrik üretiminde 1 kWh elektrik üretimi olarak tercih edilebilir. Fonksiyonel birim ürün veya hizmetin yaşam döngüsü süresince birim başına etki edeceği nicelik olarak adlandırılır. Örneğin, 1 kg yalıtım malzemesinin veya 1 kWh elektrik üretiminde düzenlenen sistem sınırları içindeki çevresel etkileri hesaplamak için kullanılır. Fonksiyonel birim, çalışmanın amacı ve kapsamıyla uygun olmalı ve açıkça ifade edilmelidir. Paydaş çalışmalarla karşılaştırıldığında fonksiyonel birimlerin aynı olması gerekir, aksi halde değerlendirme yapılamaz [50].

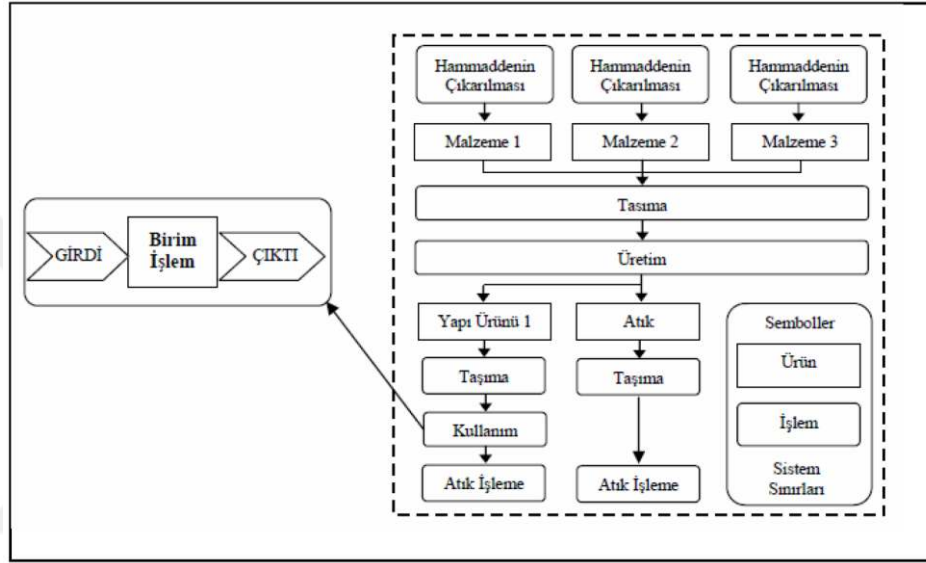
4.3 Yaşam Döngü Değerlendirmesinde Envanter Analizi

Yaşam döngü değerlendirmesinde envanter kapsamı, bir ürünün veya hizmetin tüm yaşam döngüsünün tüm evreleri boyunca hammadde ve enerji ihtiyaçlarını, atmosferik emisyonlarını, katı atıklarını ve diğer salımlarını belirleyen bir süreçtir [20]. Yaşam döngü değerlendirmesinde toplanan verilerin içerikleri ve içeriklerinin doğru olması yapılan çalışmanın kendini takip eden diğer evrelerinin sağlıklı ilerletilebilmesi ve çalışmanın sonuçlarına etki eder. Yaşam döngü envanter analizinin aşamaları şunlardır [54]:

- Sürecin akış diyagramının oluşturulması,
- Veri toplama planının geliştirilmesi,
- Verilerin toplanması,
- Değerlendirme ve raporlama.

4.3.1 Akış diyagramı oluşturulması

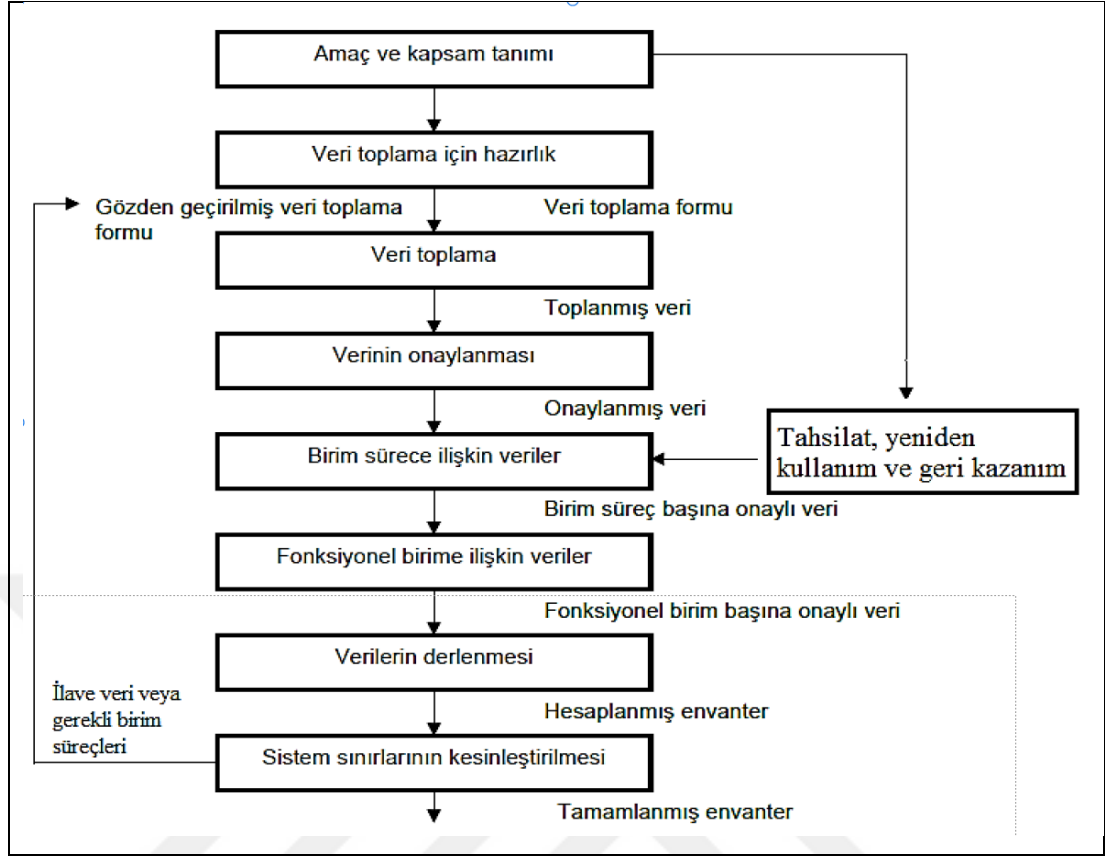
Tüm aşamaları belirlenmiş olan çalışmada yer alan ürün veya hizmetlerin sistem sınırları içerisinde kalan tüm işlemlerin birbiriyle olan ilişkileri de incelendiğinde, sisteme ait tüm girdi ve çıktıların yaşam döngüsü değerlendirmesi içinde akışı oluşur. Akış diyagramı şekil (4.3)'de gösterilmiştir [55].



Şekil 4.3 Akış diyagramı [55].

4.3.2 Veri toplama planı geliştirilmesi

Veri toplama planı şekil (4.4)'deki gibi veri toplama için hazırlık, veri toplama formu hazırlama, toplanan verilerin onaylanması, birim sürece ilişkin verilerin oluşturulması, fonksiyonel birime ilişkin verilerin eldesi, verilerin derlenmesi ve sistem sınırlarının geliştirilmesi şeklinde planlanabilir.



Şekil 4.4 Veri planlama diyagramı [56].

4.3.3 Verilerin toplanması

Veriler, yapılan çalışma ile ilgili uzmanlarla görüşülerek veya zengin bir kütüphanesi olan ve veri tabanı periyodik olarak güncellenen yazılımlar satın alınarak toplanabilir. Veri tabanlarına ait yazılımlar tercih edilirken, yazılımın yapılan çalışma ile ilişkin verilerin barındırması, bölgesel farklılıkları dikkatle seçebilmesi ve şeffaf olması elzemdir.

4.3.4 Değerlendirme ve raporlama

Değerlendirme ve raporlama aşamasında, hangi yöntemlerin kullanıldığını belirtmek, analizi yapılan sistemin ve sistem sınırlarını açıklamak gereklidir. Bilgi toplama aşamasında yapılan tahminler ve oluşan senaryolar açık olarak ifade edilmelidir. Paydaş sistemlerle kıyas yapılırken hesaplanmış eşdeğer veriler ve kıyaslama temelleri tanımlanmalıdır [20].

4.4 Etki Değerlendirmesi

Yaşam döngü etki değerlendirmesi, sistem sınırları belirlenmiş bir çalışmada veya uygulamada aynı çalışmaya ait uygulanan potansiyel etkilerin büyüklüğünün ve niteliğinin belirlenip incelendiği aşamadır [48]. Yaşam döngü etki değerlendirmesi iki başlık altında incelenebilir. Birincisi zorunlu elemanlardan oluşan etki değerlendirmesi, ikincisi ise zorunlu olmayan elemanlardan oluşan etki değerlendirmesidir. Zorunlu elemanlar üç tanedir bunlar etki sınıflarının seçimi, sınıf göstergelerinin saptanması ve tanımlama modellerinin oluşturulmasıdır [56]. Etki sınıfları coğrafi ölçekte üç farklı grup içerisinde ele alınabilir: küresel etkiler (kıtasal etkiler), bölgesel etkiler ve yerel etkiler [53,57]. ISO 14047’de ise 6 çıktı ve 2 girdi ilişkili sınıf tanımlanmaktadır. Bunlar çıktı ilişkili sınıflar; iklim değişikliği, stratosferdeki ozon tüketimi, asitleşme, besin birikimi, insan zehirlenmesi, ekolojik zehirlenmedir. Girdi ilintili sınıflar ise; abiyotik kaynakların tüketimi ve “biyotik kaynakların tüketimidir. Çevresel etki sınıfları, ISO 14040’a göre sınıf göstergelerine ve her bir sınıf göstergesi de sınıf uç noktalarına şeklinde dönüşebilmektedir. Sınıf göstergeleri etki sınıflarının çıktılarını; sınıf uç noktaları ise muhafaza edilmesi gereken alanları ifade eder [58].

IPCC 2013 IPCC 2007’nin güncellenmiş versiyonu olup hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (International Panel on Climate Change, IPCC) tarafından oluşturulmuştur. Bu yöntemle iklim değişikliği faktörünün etkileri 20, 100 ve 500 yıllık zaman dilimleri için hesaplamalar yapılabilir [59,60]. Bu çalışmada küresel ısınma potansiyelinin (GWP) etkileri 100 yıllık zaman dilimi için hesaplanmıştır. Bu çalışma SimaPro 9.0.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde kullanılan veriler Sima Pro 9.0.0 yazılımında mevcut Eco Invent 3 veri tabanından elde edilmiştir.

4.4.1 Küresel ısınma potansiyelinin (gwp) etkileri

Atmosferdeki karbondioksit, metan, diazotoksit, hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kükürthekzaflorid, ozon ve su buharı gibi gazlar güneşten yeryüzüne gelen ısıнын bir kısmını tutarak yeryüzü sıcaklığını belirli bir dengede kalmasını sağlar. Güneş tarafından dünyamıza gönderilen enerjinin atmosferde

tutulmaması sonucunda dünyanın 33°C daha soğuk olacağı tahmin edilmektedir. Eskiden insanlar ve doğa daha uyumlu halde yaşarken, özellikle endüstri devrimleri sonrası bu denge doğa aleyhinde bozulmuştur. Endüstriyel kuruluşlar tarafından atmosfere salınan gazları ve araçların egzozlarından çıkan gazlar sera etkisi yaratmaktadır. İfade edilen bu olaylar neticesinde küresel ısınma diye tabir ettiğimiz olay gerçekleşmektedir [61,62]. Türkiye İstatistik Kurumunun 1990-2021 yılları arasında gerçekleşen sektörel bazda sera gazı emisyon değerleri şekil (4.5)'te gösterilmektedir [63]. Küresel ısınmayla ilgili Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1988 yılında insan eliyle oluşan iklim değişikliği konusunu incelemek amacıyla kurulmuştur. IPCC verilerine göre son 150 yılda sıcaklık 0.8°C artmıştır. IPCC 2100 yılına kadar ise 1.8°C ile 4°C arasında artış öngörmektedir [64].

Sektörlere göre sera gazı emisyonları, 1990-2021											(Milyon ton CO ₂ eşd.)	
	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	1990-2021 değişim (%)	2020-2021 değişim (%)
Toplam emisyon	219,5	298,9	398,8	475,0	501,1	528,6	523,1	508,7	524,0	564,4	157,1	7,7
Enerji	139,5	216,0	287,9	342,0	361,7	382,4	373,4	365,6	366,6	402,5	188,4	9,8
Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	22,9	26,2	49,1	59,7	63,8	66,6	67,7	59,0	68,0	75,1	228,7	10,6
Tarım	46,1	42,3	44,4	56,1	58,9	63,3	65,3	68,0	73,2	72,1	56,5	-1,5
Atık	11,1	14,3	17,4	17,1	16,7	16,3	16,6	16,1	16,3	14,7	32,6	-9,9

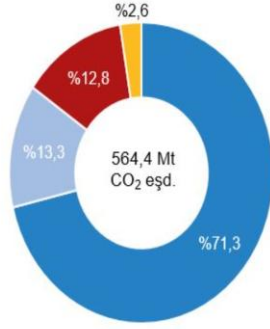
Tablodaki rakamlar, yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

Şekil 4.5 1990-2021 sektörel sera gazı emisyonları [63].

Yine Türkiye İstatistik Kurumunun 2021 yılına gerçekleşen sektörel bazda sera gazı emisyon değerleri incelendiğinde; Toplam CO₂ emisyonlarının 2021 yılında %32.7'si elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %85.2'si enerji sektöründen, %14.5'i endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen, %0.3'ü ise tarım ve atık sektörlerinden oluştuğu gözlenmektedir. CH₄ emisyonlarının %61.4'ü tarım, %19.3'ü enerji, %19.3'ü atık ve %0.03'ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen;

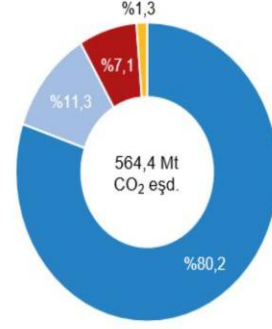
N₂O emisyonlarının ise %78'i tarım, %11.1'i enerji, %5.9'u atık ve %5'i de endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen kaynaklandığını belirtilen veriler şekil (4.5)'te gösterilmektedir [63].

Sektörlere göre sera gazı emisyon oranları, 2021



■ Enerji ■ Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımı ■ Tarım ■ Atık

Gazlara göre sera gazı emisyon oranları, 2021⁽¹⁾



■ CO2 ■ CH4 ■ N2O ■ F-gazlar

Şekil 4.6 2021 Yılı sektörel sera gazı emisyonları [63].

Küresel ısınmanın olumsuz etkilerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Sel, heyelan, toprak kayması, kasırga, hortum gibi doğal afetler sayılarındaki yükseliş,
- Kutuplardaki buzulların erimesi sonucu deniz seviyelerinin artması,
- Rakımı deniz seviyesinin altında bulunan topraklarda su basması yaşanması,
- Denizlerdeki çözünmüş CO₂'in deniz suyu sıcaklığının artmasıyla yeniden atmosfere karışması,
- Yeryüzünün giderek çölleşmesi, su kaynağına olan ulaşımının zorlaşması,
- Orman yangınlarının artması,
- Gece ve gündüz sıcaklık farklarının düşmesi, asit yağmurlarının toprağın ve toprakta bulunan canlıların yapısını bozması,
- Salgın hastalıkların artması,
- Biyoçeşitliliğin azalması olarak sıralanabilir [62].

Bu sebeplerden ötürü sera gazı salımının azaltılması için, yapı malzemesi üretiminde sera gazı oluşumuna etki eden etkilerin azaltılması gerekmektedir. Yapılarda kullanılan malzemelerinin üretim aşamalarında genelde fosil yakıtlardan enerji elde

edilmektedir. Bu konularda farkındalık oluşturmak amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 17 Mayıs 2014 tarihinde Sera Gazı Emisyonlarının Takibi hakkında bir yönetmelik, Resmi Gazetede yayınlanmıştır. Bu yönetmelik kapsamında yapı sektöründe kullanılan bazı ürünlerin üretim aşamalarından bazı ölçümler yapılması istenmektedir. Bunlar; demir, çelik, alüminyum (birincil ve ikincil), klinker, cam, seramik, elyaf yalıtım malzemesi, çatı kiremitleri, tuğlalar, karolar, taş ürünler alçı pano üretimi gibi yapılarda kullanılan malzemeleri kapsamaktadır. İstenen ölçümler ise CO₂ ve N₂O gazlarına yöneliktir. Küresel ısınma klor flor karbon bileşikler sadece hava emilimi için verilmiştir. CFs'in zararı, havadaki CO₂ kilogramına göre hesaplanmaktadır. Ayrıca CH₄, N₂O ve CO'de IPCC listesinde verilmiştir [65].

4.5 Yorumlama

Yaşam döngü değerlendirmesinin son aşaması olan yorumlamada elde edilen sonuçların; çalışmanın kapsamına ve amaçlarına uygun olması gerekmektedir. Yorumlama evresinde, çalışmanın önemli noktaların belirlenmesi tespit edilen kısımların değerlendirildiği evredir. Bu evrede çıkan sonuçlar baz alınarak, çevresel açıdan kritik noktalar ortaya çıkmaktadır. Tespit edilen uç noktaların hangi malzeme ya da aşamada olduğu gözlemlenir. Yapılan gözleme göre çalışma raporlanır ve yapılacak düzeltmeler üzerine öneriler oluşturulur. Raporlandırma aşamasında şeffaf olunması önemlidir. Verilerin alındığı kaynaklar, yapılan kabuller ve tahminler detaylı olarak dikkate alınmalıdır [66].

Bu aşama için yapılan çalışmanın sonucunun anlaşılabilir ve net olması elzemdir. Sonuç ve öneriler bölümünde çalışmaya ait verilerin ulaşılabilirliğine, şeffaflığına ve gelişmeye açık olmasına dikkat edilmelidir.

4.6 Dünya Geneline Kullanılan Yaşam Döngü Değerlendirme Yöntemleri

Çevresel değerlendirmede kullanılmak üzere dünya geneline çeşitli yöntemler ve sistemler geliştirilmiştir. Bina çevresel değerlendirme yöntemleri değerlendirilirken, bina tasarımı ve bina yapımını kapsayan, sürdürülebilirlik kavramını da ele alan bir bakış açısı oluşturulmaktadır. Tablo (4.1)'de dünyada kullanılan yaşam döngü değerlendirmesi (LCA) ile ilgili yöntemler ve bu sistemlere ait yazılımların listesi verilmiştir.

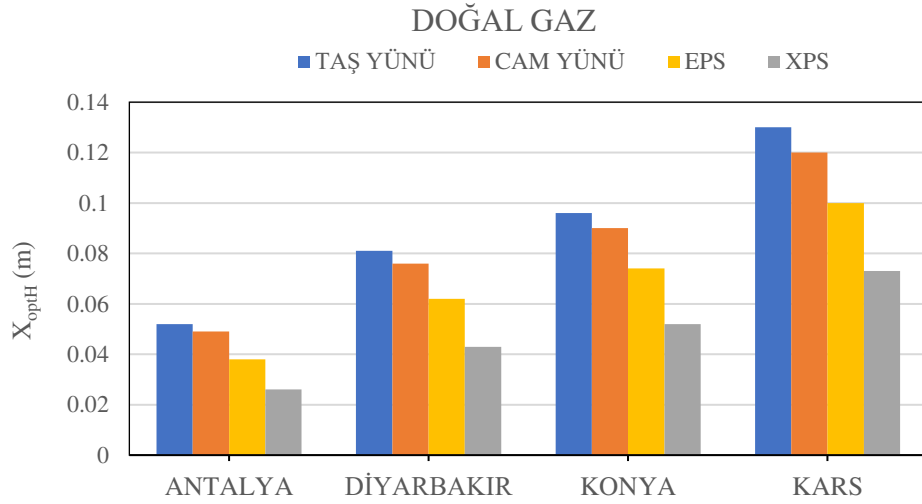
Tablo 4.1 Dünya’da kullanılan LCA yöntemleri

Ülkeler	Yaşam Döngü Değerlendirme Yöntemleri
A.B.D.	BEES, GREET 17, LEED, US LCI Data
Almanya	ATROID, EcoPro, GaBi 4, GEMIS, Umberto
Avustralya	LISA SEDA
Danimarka	EDIP PC-Tool, SPOLD
Finlandiya	BEE, KCL-ECO
Fransa	EQUER, ESCALE, TEAM™ 4.0
Hollanda	CMLCA, Dubo-Calc, Eco-Quantum, IDEMAT, MIET 3.0, SimaPro
Kanada	ATHENA, BE PAC

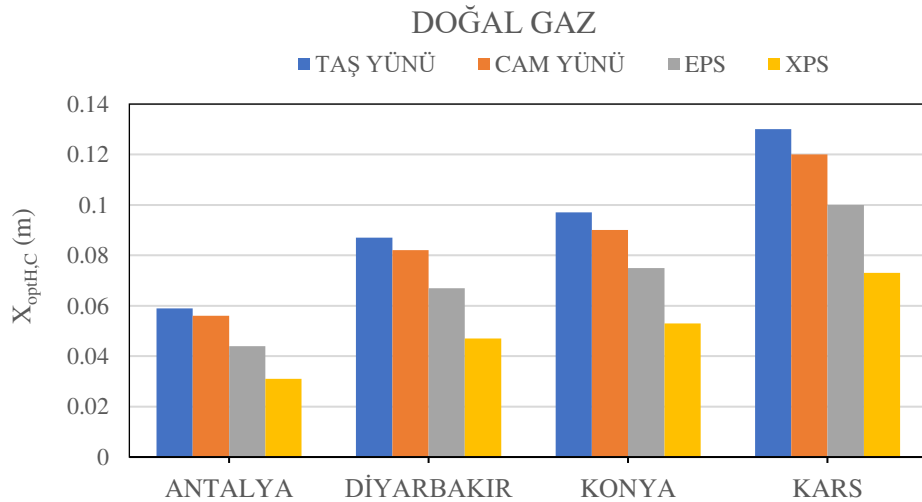
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Optimum Yalıtım Kalınlığının Şehirlere Göre Değerleri

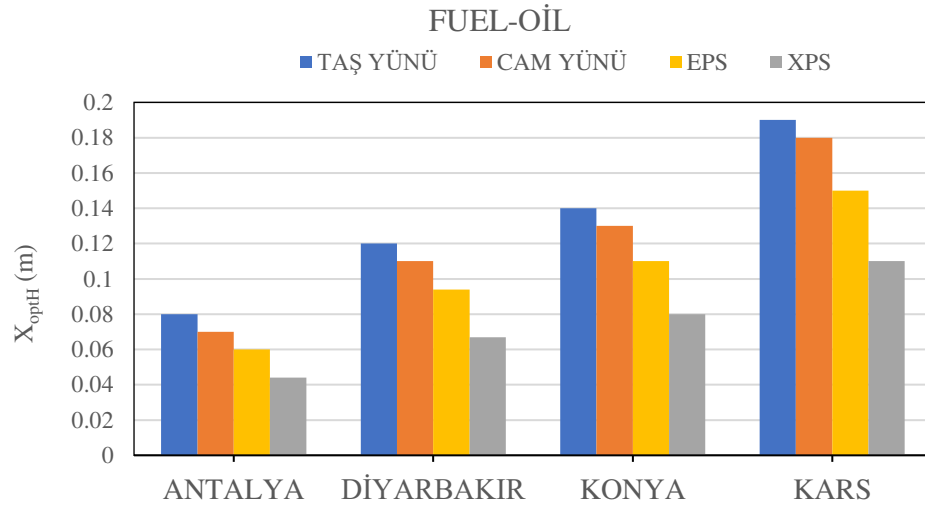
Bu başlıkta çalışmada TS 825'e göre belirlenmiş şehirlerdeki kullanılan yakıta göre yalıtım malzemesinin optimum kalınlıkları gösterilmiştir. Şekil (5.1.9) ve şekil (5.1.10), şekil (5.1.11), şekil (5.1.12), şekil (5.1.13), şekil (5.1.14)'de ısıtma için sırasıyla doğalgaz ,kömür ve fueloil, soğutmada elektrik kullanılarak dört şehir için sırasıyla taş yünü, cam yünü, EPS ve XPS malzemelerinin optimum kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlara göre her dört ilde kullanılan yakıt türleri farketmeksizin optimum yalıtım kalınlığı en az olan yalıtım malzemesinin XPS olduğu belirlenmiştir.



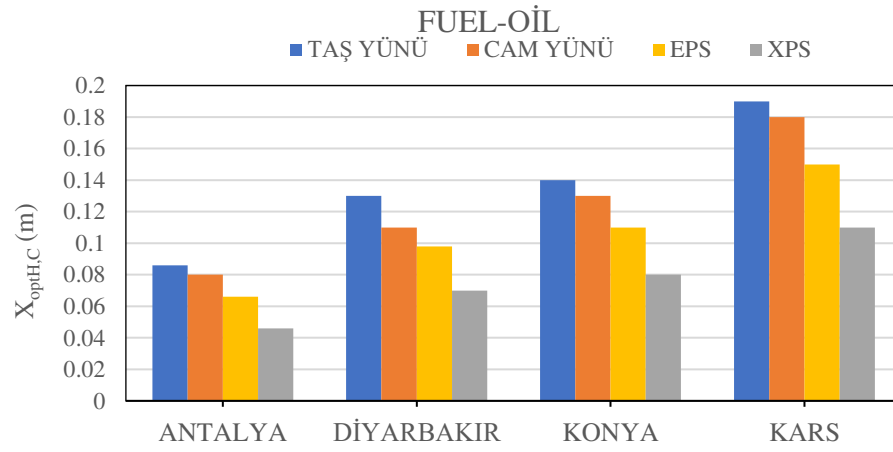
Şekil 5.1.1 Doğal gaz kullanıldığında şehirlere göre ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları



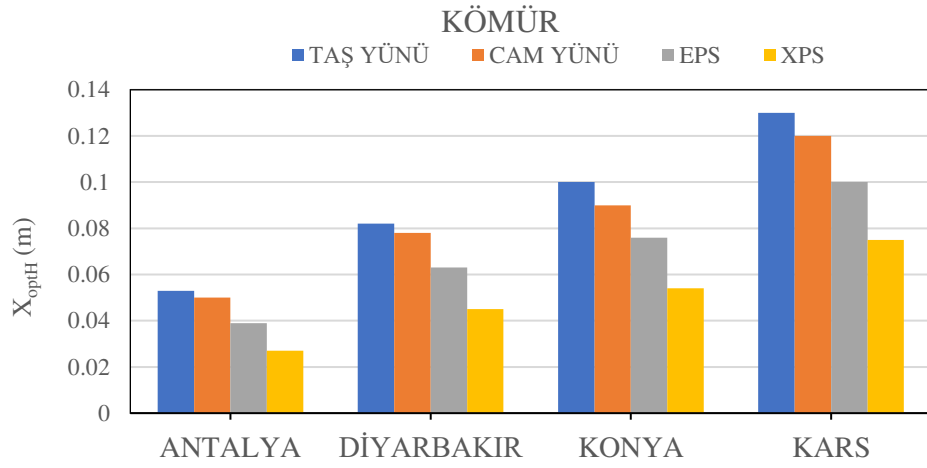
Şekil 5.1.2 Doğal gaz kullanıldığında şehirlere göre ısıtma-soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları



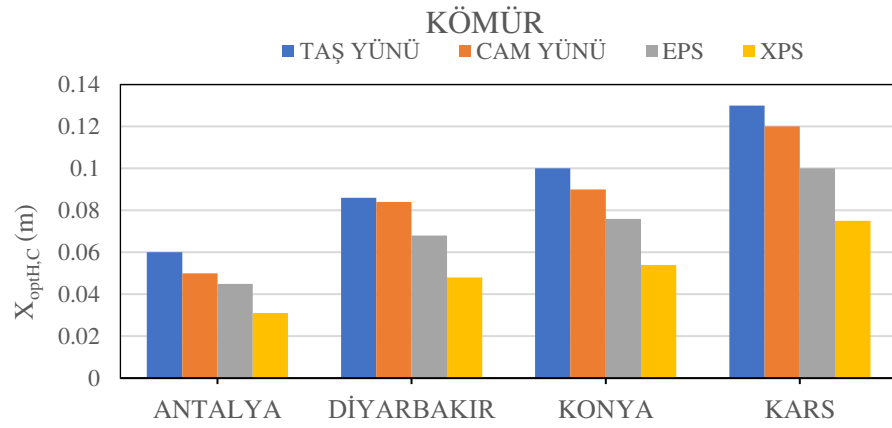
Şekil 5.1.3 Fuel-oil kullanıldığında şehirlere göre ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.1.4 Fuel-oil kullanıldığında şehirlere göre ısıtma-soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.1.5 Kömür kullanıldığında şehirlere göre ısıtma için optimum yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.1.6 Kömür kullanıldığında şehirlere göre ısıtma-soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları

5.2 Yıllık Kazanç ve Ekonomik Geri Ödeme Süreleri

Tablo (5.1)'de gösterilen TS 825'e göre dört bölgede bulunan Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars şehirlerine ait HDD sayıları sırasıyla 1083, 2142, 2836 ve 4772 olarak, CDD sayıları 562, 640, 101, 2 değerleri olarak hesaplanmıştır. Yakıt olarak Doğalgaz kullanılmış olup, taş yünü izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık kazançlar hesaplanmıştır. Bu değerler sırasıyla ısıtma için, $A_{YıllıkH}$ soğutma için, $A_{YıllıkC}$ ve ısıtma soğutma için, $A_{YıllıkH,C}$ şeklinde gösterilmiştir. ve birimi $\$/m^2$ 'dir. Aynı tabloda ekonomik geri ödeme süreleri(PP) hesaplanmıştır. Bu değerler sırasıyla ısıtma için, PP_H soğutma için, PP_C ve ısıtma soğutma için, $PP_{H,C}$ şeklinde verilmiştir. Birimi yıl 'dır. Hesaplanan sonuçlara göre; TS 825 'e göre sırasıyla birinci bölgeden başlayıp dördüncü bölgede bulunan illerden Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin ısıtma için yıllık net kazançları Antalya'ya oranla %120, %201 ve %429 arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında ısıtma için birinci bölgeden dördüncü bölgeye gidildikçe yalıtım malzemesi kullanımının sağladığı faydanın arttığı belirlenmiştir.

Tablo 5.1 Doğalgaz yakıtı kullanımında taş yünü malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{YılH}$ ($\$/m^2$)	$A_{YılC}$ ($\$/m^2$)	$A_{YılH,C}$ ($\$/m^2$)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.052	0.034	0.059	1.55	0.35	1.97	2.67	7.8	2.4
Diyarbakır	0.081	0.036	0.087	3.41	0.44	3.92	1.9	6.5	1.79
Konya	0.096	0.014	0.097	4.67	0.07	4.74	1.63	16	1.64
Kars	0.13	0.002	0.13	8.2	0.001	8.24	1.27	108	1.27

Tablo (5.2)'de yakıt olarak doğalgaz kullanılmış olup, cam yünü izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. TS 825 'e göre sırasıyla birinci bölgeden başlayıp dördüncü bölgede bulunan illerden Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %120, %197 ve %429 oranında arttığı sonucu elde edilmiştir.

Tablo 5.2 Doğalgaz yakıtı kullanımında cam yünü malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.049	0.032	0.056	1.55	0.35	1.97	2.68	7.8	2.4
Diyarbakır	0.076	0.034	0.082	3.41	0.44	3.91	1.9	6.6	1.79
Konya	0.09	0.01	0.09	4.6	0.07	4.75	1.65	16	1.64
Kars	0.12	0.01	0.12	8.2	0.001	8.23	1.27	109	1.2

Tablo (5.3)'de yakıt olarak doğalgaz kullanılmış olup, XPS izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları Antalya'ya kıyasla sırasıyla %112, %147 ve %345 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.3 Doğalgaz yakıtı kullanımında XPS malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.026	0.02	0.031	1.36	0.3	1.76	3.5	11.7	3.18
Diyarbakır	0.043	0.021	0.047	3.1	0.4	3.63	2.5	9.4	2.35
Konya	0.052	0.008	0.053	4.3	0.06	4.36	2.2	22.7	2.17
Kars	0.073	0.001	0.073	7.83	0.001	7.83	1.67	151	1.67

Tablo (5.4)'de yakıt olarak doğalgaz kullanılmış olup, EPS izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. TS 825 'e göre sırasıyla birinci bölgeden başlayıp dördüncü bölgede bulunan illerden Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %128, %214 ve %461 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.4 Doğalgaz yakıtı kullanımında EPS malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.038	0.027	0.044	1.42	0.32	1.83	3.2	10.2	2.96
Diyarbakır	0.062	0.029	0.067	3.24	0.42	3.73	2.29	8.3	2.16
Konya	0.074	0.01	0.075	4.47	0.069	4.54	1.99	20	1.98
Kars	0.1	0.001	0.1	7.98	0.001	7.98	1.53	135	1.53

Tablo (5.5)'de yakıt olarak Fueloil kullanılmış olup, taş yünü izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. TS 825 'e göre sırasıyla birinci bölgeden başlayıp dördüncü bölgede bulunan illerden Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %112, %187 ve %398 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.5 Fueloil yakıtı kullanımında taş yünü malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.08	0.034	0.086	3.38	0.38	3.82	1.9	7	1.81
Diyarbakır	0.12	0.03	0.13	7.17	0.47	7.68	1.35	6.1	1.31
Konya	0.14	0.014	0.14	9.7	0.07	9.78	1.17	15	1.17
Kars	0.19	0.002	0.19	16.85	0.001	16.85	0.91	104	0.9

Tablo (5.6)'da yakıt olarak Fueloil kullanılmış olup, cam yünü izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %115, %194 ve %409 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.6 Fueloil yakıtı kullanımında cam yünü malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.07	0.03	0.08	3.3	0.038	3.4	1.91	7	1.83
Diyarbakır	0.11	0.03	0.11	7.1	0.4	7.68	1.36	6.1	1.32
Konya	0.13	0.013	0.13	9.7	0.07	9.7	1.84	15	1.8
Kars	0.18	0.001	0.18	16.8	0.001	16.84	0.9	104	0.9

Tablo (5.7)'de yakıt olarak Fueloil kullanılmış olup, XPS izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %116, %196 ve %416 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.7 Fueleoil yakıtı kullanımında XPS malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.044	0.02	0.046	3.1	0.35	3.53	2.52	10	2.38
Diyarbakır	0.067	0.021	0.07	6.7	0.45	7.3	1.79	8.5	1.73
Konya	0.08	0.008	0.08	9.2	0.07	9.34	1.55	21	1.55
Kars	0.19	0.001	0.19	16.28	0.001	16.28	1.2	142	1.2

Tablo (5.8)'de yakıt olarak Fueleoil kullanılmış olup, EPS izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %90, %159 ve %354 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.8 Fueleoil yakıtı kullanımında EPS malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.06	0.027	0.066	3.63	0.36	3.99	2.3	8.8	2.18
Diyarbakır	0.094	0.029	0.098	6.9	0.45	7.43	1.64	7.7	1.58
Konya	0.11	0.01	0.11	9.4	0.07	9.49	1.42	18.8	1.42
Kars	0.15	0.001	0.15	16.48	0.0015	16.5	1.1	128.8	1.1

Tablo (5.9)'da yakıt olarak kömür kullanılmış olup, taş yünü izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %119, %200 ve %425 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.9 Kömür yakıtı kullanımında taş yünü malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.053	0.034	0.06	1.62	0.35	2.04	2.62	7.75	2.37
Diyarbakır	0.082	0.036	0.086	3.56	0.44	4.06	1.86	6.5	1.75
Konya	0.1	0.01	0.1	4.86	0.07	4.94	1.62	16	1.6
Kars	0.13	0.002	0.13	8.5	0.001	8.57	1.25	108	1.24

Tablo (5.10)'de yakıt olarak kömür kullanılmış olup, cam yünü izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %118, %200 ve %431 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.10 Kömür yakıtı kullanımında cam yünü malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.05	0.03	0.05	1.6	0.35	2	2.6	7.8	2.59
Diyarbakır	0.078	0.034	0.084	3.5	0.4	4	1.87	6.5	1.66
Konya	0.09	0.01	0.09	4.8	0.07	4.9	1.62	16	1.61
Kars	0.12	0.001	0.12	8.5	0.01	8.56	1.25	109	1.25

Tablo (5.11)'de yakıt olarak kömür kullanılmış olup, XPS izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %130, %220 ve %474 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.11 Kömür yakıtı kullanımında XPS malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.027	0.02	0.031	1.42	0.3	1.82	3.4	11.6	3.1
Diyarbakır	0.045	0.027	0.048	3.28	0.41	3.76	2.5	9.4	2.3
Konya	0.054	0.008	0.054	4.54	0.06	4.62	2.14	22.5	2.12
Kars	0.075	0.001	0.075	8.15	0.001	8.16	1.64	150	1.64

Tablo (5.12)'de yakıt olarak kömür kullanılmış olup, EPS izolasyon malzemesinin ısıtmada, soğutmada ve ısıtma-soğutmada yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Diyarbakır, Konya ve Kars illerinin Antalya'ya oranla ısıtma için, yıllık kazançları sırasıyla %126, %212 ve %456 oranında arttığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.12 Kömür yakıtı kullanımında EPS malzemesine ait ekonomik analiz

Şehirler	X_{optH} (m)	X_{optC} (m)	$X_{optH,C}$ (m)	$A_{yılH}$ (\$/m ²)	$A_{yılC}$ (\$/m ²)	$A_{yılH,C}$ (\$/m ²)	PP_H (Yıl)	PP_C (Yıl)	$PP_{H,C}$ (Yıl)
Antalya	0.039	0.027	0.045	1.49	0.32	1.9	3.1	10.1	2.87
Diyarbakır	0.063	0.029	0.068	3.37	0.42	3.87	2.25	8.3	2.12
Konya	0.076	0.01	0.076	4.65	0.07	4.73	1.96	20.1	1.94
Kars	0.1	0.001	0.1	8.29	0.001	8.3	1.52	135	1.51

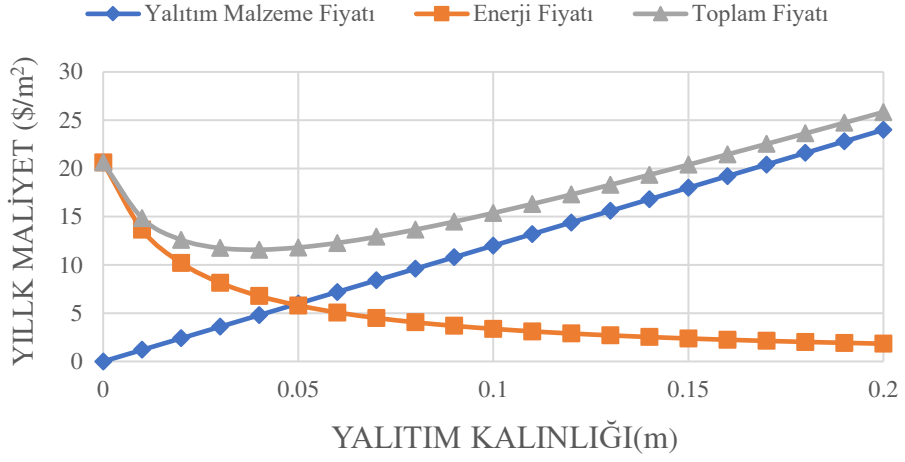
5.3 Yıllık Maliyet-Yalıtım Kalınlığı Grafikleri

Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars şehirlerinde üç farklı yakıt (doğalgaz, fueloil ve kömür) dikkate alınarak yıllık maliyet-yalıtım malzemesi kalınlığı grafikleri verilmiştir. Hesaplamalarda 0-0.20 metre arasındaki yalıtım malzemesi kalınlıklarına karşılık gelen yıllık maliyetler, yalıtım malzemesi fiyatı, enerji fiyatı ve toplam fiyat olarak üç değişkenle ilişkilendirilmiştir. Yıllık maliyetler Amerikan Dolar'ı cinsinden, yalıtım malzemeleri kalınlıkları ise metre cinsinden gösterilmiştir.

5.3.1 Doğalgaz ile ısıtma

Şekil (5.3.1)'de gösterilen Antalya şehri için doğalgaz ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça tüketilen enerjinin azaldığı ve bu durumun enerji tasarrufuna neden olduğu gözlemlenmektedir. Ancak, yalıtım malzemesinin de bir maliyeti olduğu ve bu maliyetin de kalınlıkla doğru orantılı olarak arttığı gözlenmektedir. Optimum kalınlık değeri 0.038 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 11.5 \$/m² olarak hesaplanmıştır.

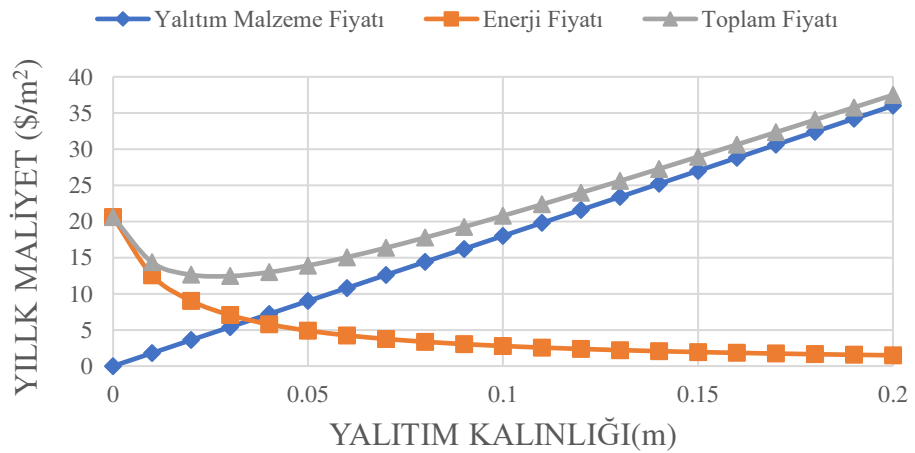
EPS ANTALYA H



Şekil 5.3.1 Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

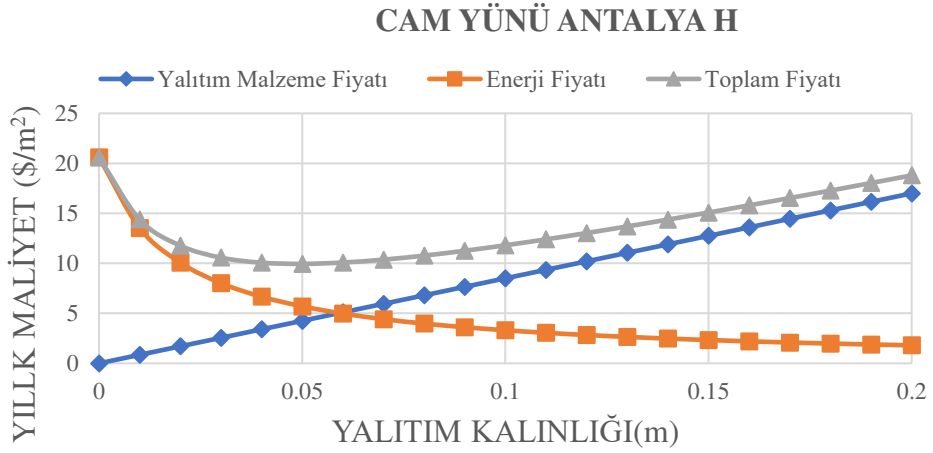
Şekil (5.3.2)'de gösterilen Antalya şehri için doğalgaz ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde Antalya şehri için doğalgaz ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.026 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 12.4 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.

XPS ANTALYA H



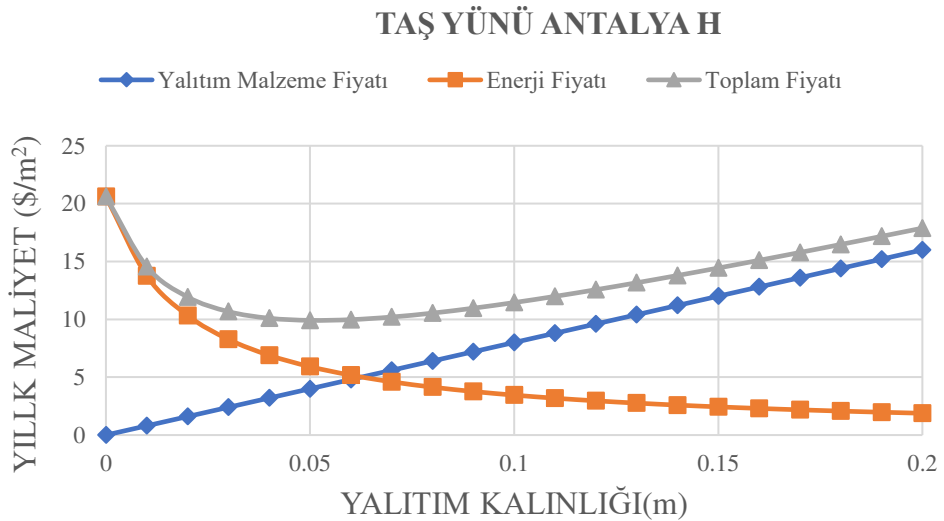
Şekil 5.3.2 Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.3)'de gösterilen Antalya şehri için doğalgaz ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.049 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 10 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



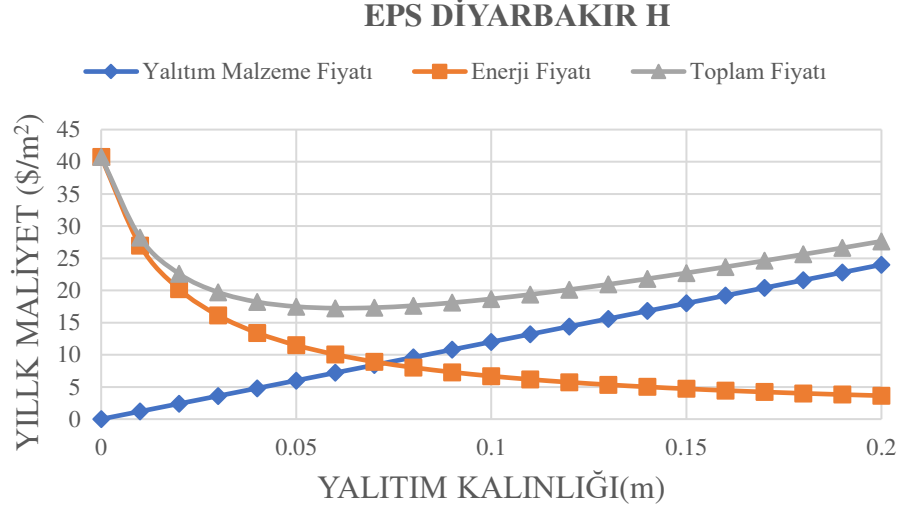
Şekil 5.3.3 Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.4)'de gösterilen Antalya şehri için doğalgaz ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde yalıtım malzemesi fiyatı ile enerji fiyatının toplamını oluşturan toplam fiyatın optimum yalıtım kalınlığa kadar azaldığı daha sonra yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça toplam fiyatın arttığını gözlemlemekteyiz. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.052 m olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 10 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



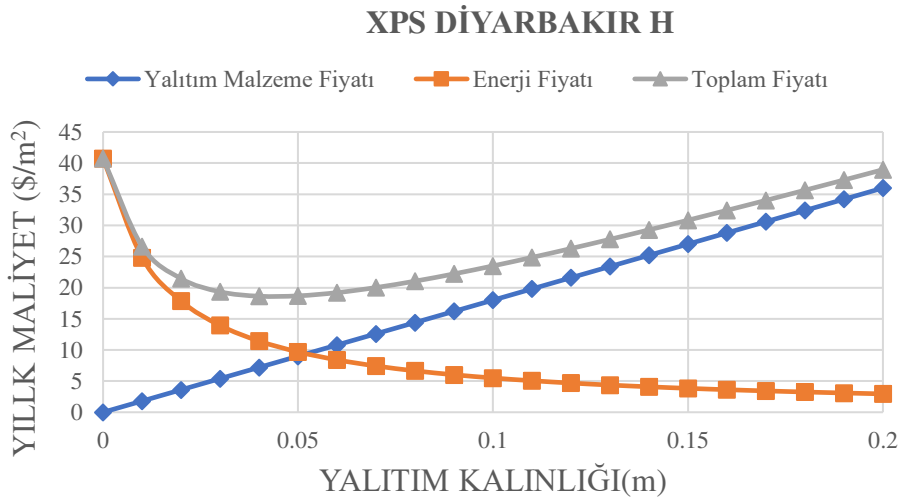
Şekil 5.3.4 Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.5)'de Diyarbakır şehri için doğalgaz ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.06 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 17 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



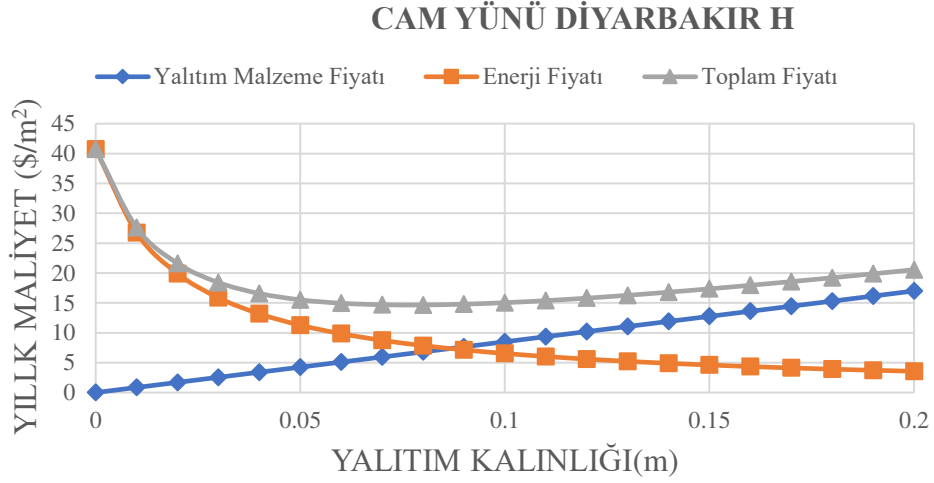
Şekil 5.3.5 Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.6)'da gösterilen Diyarbakır şehri için doğalgaz ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.04 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 18.6 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



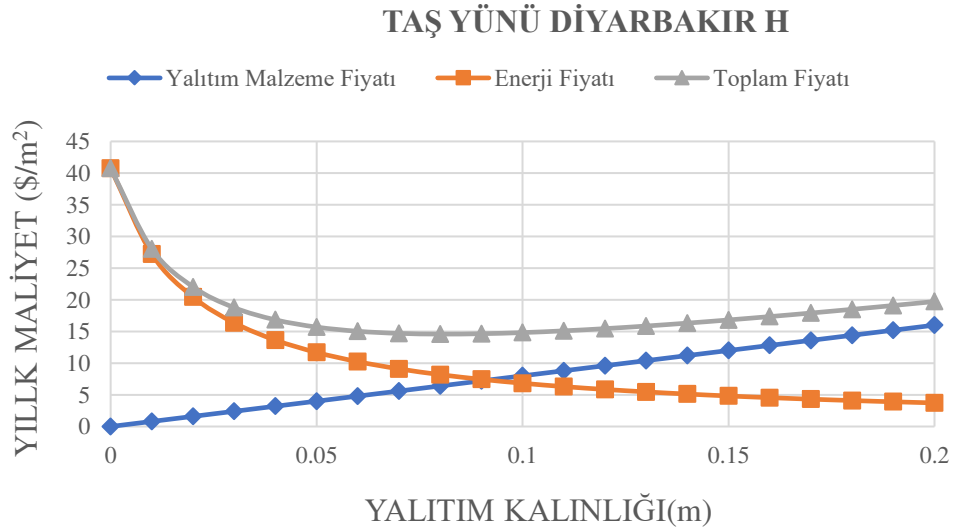
Şekil 5.3.6 Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.7)'da Diyarbakır şehri için doğalgaz ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 14.7 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



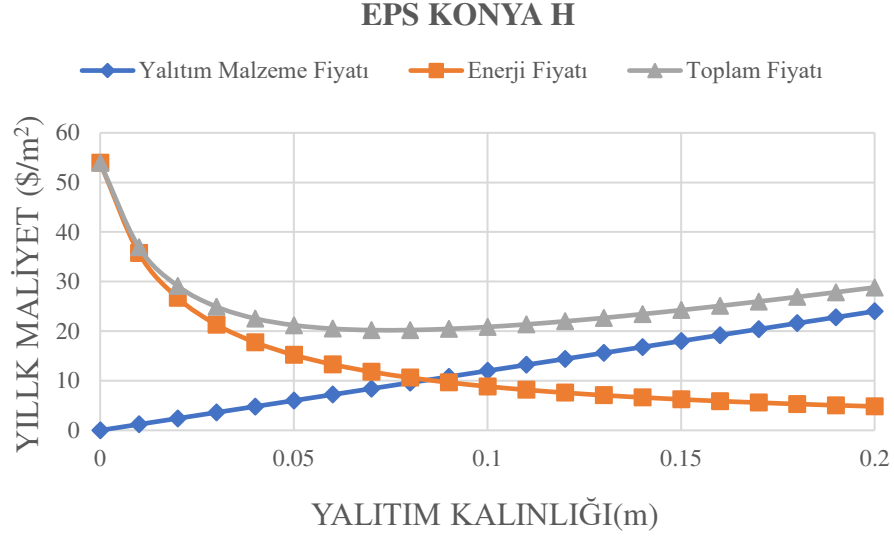
Şekil 5.3.7 Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.8)'da Diyarbakır şehri için doğalgaz ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 14.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



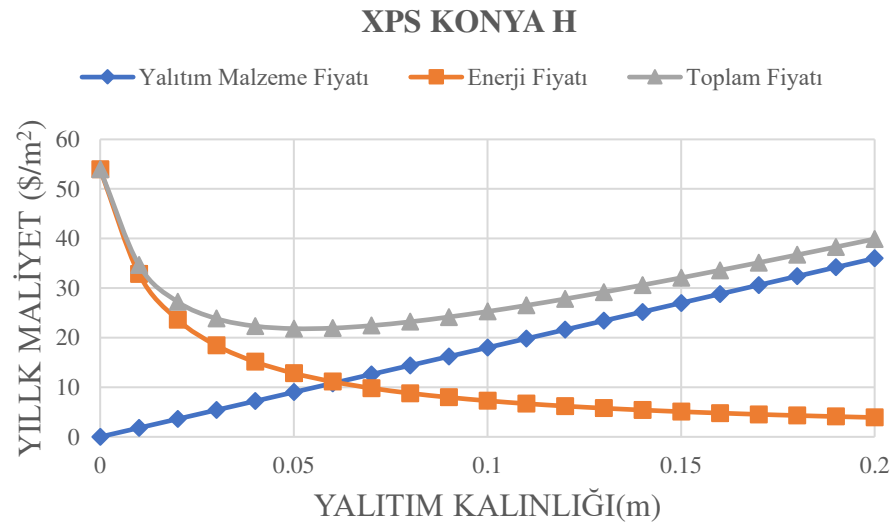
Şekil 5.3.8 Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.9)'da Konya şehri için doğalgaz ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.07 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 20 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



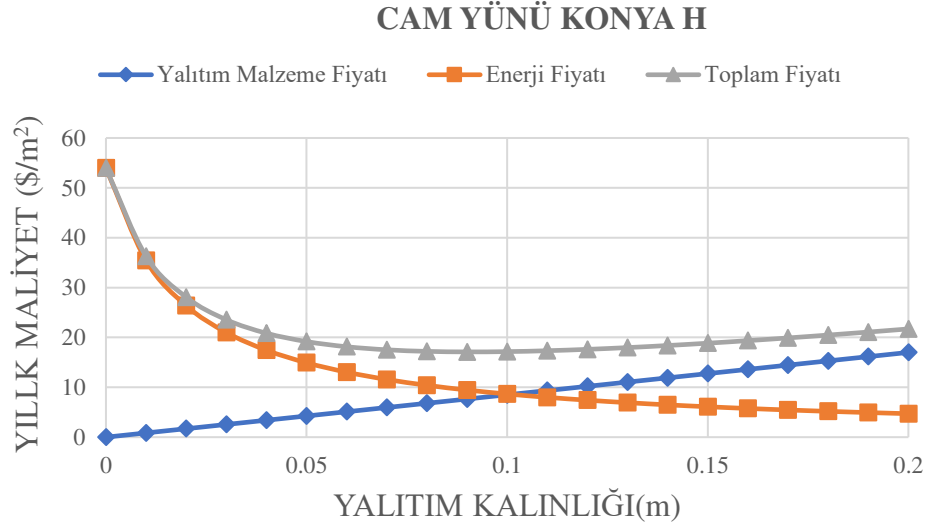
Şekil 5.3.9 Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.10)'da Konya şehri için doğalgaz ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.06 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 22 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



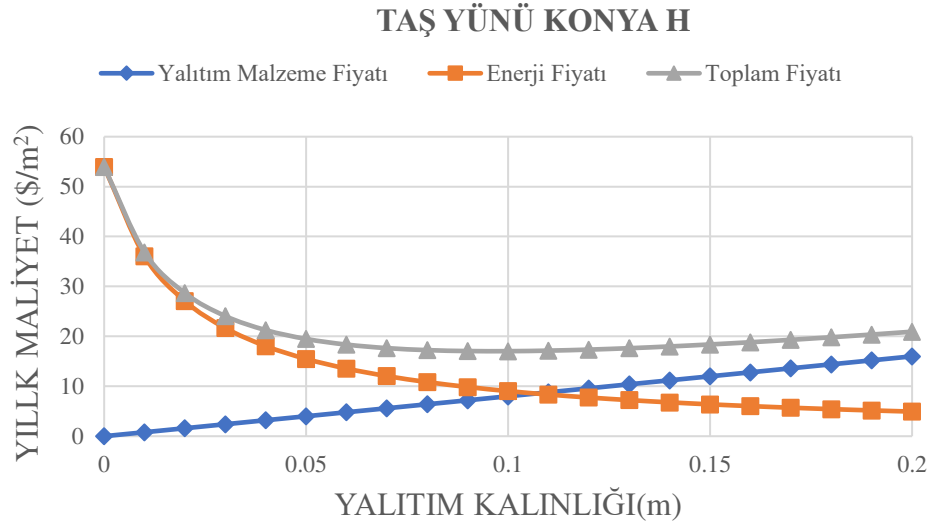
Şekil 5.3.10 Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.11)'da Konya şehri için doğalgaz ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.09 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 17 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



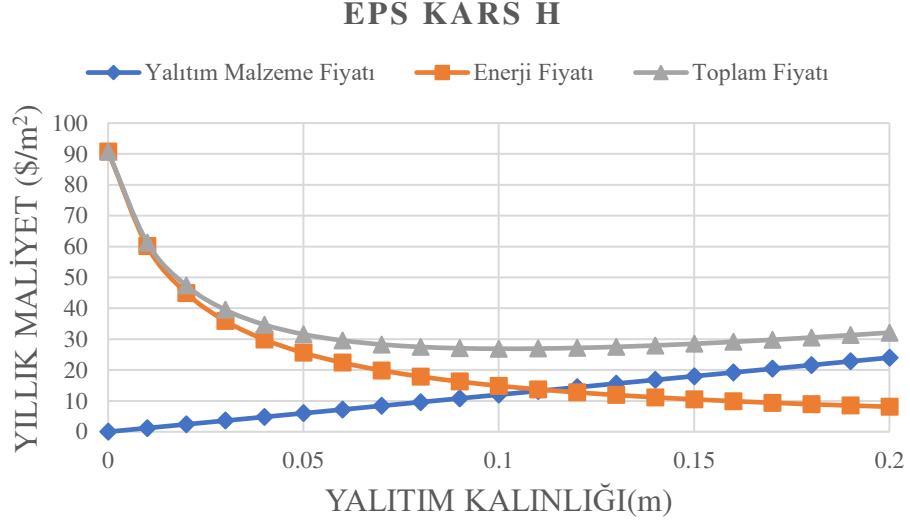
Şekil 5.3.11 Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.12)'da Konya şehri için doğalgaz ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.1 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 17 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



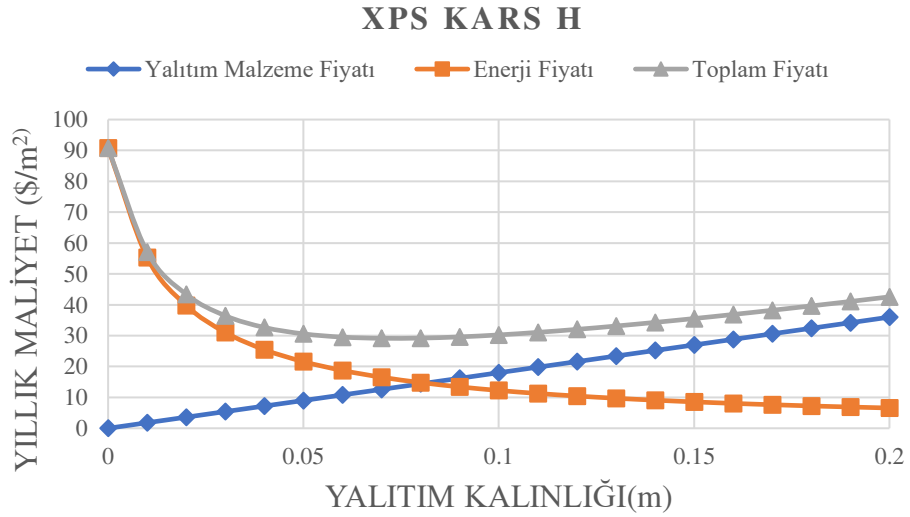
Şekil 5.3.12 Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.13)'da Kars şehri için doğalgaz ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.1m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 27 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



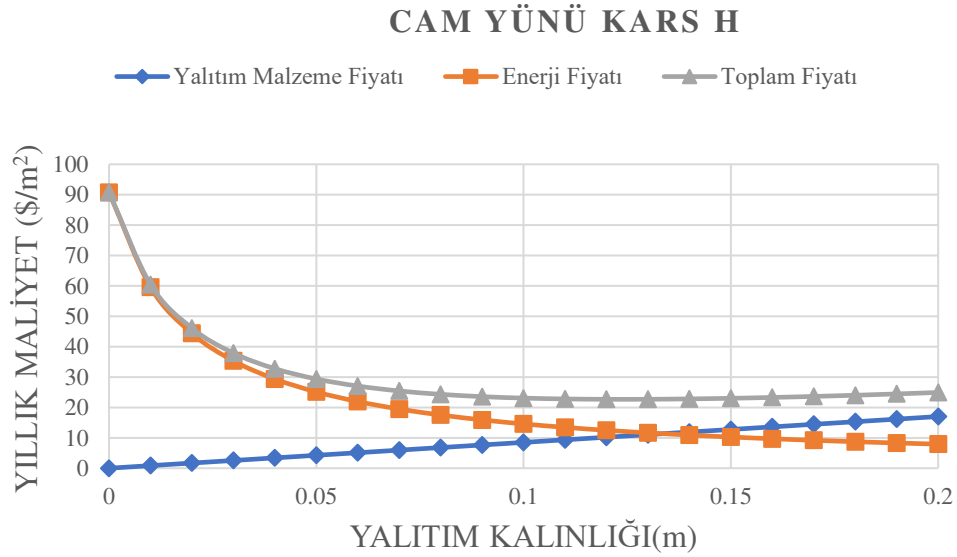
Şekil 5.3.13 Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.14)'da Kars şehri için doğalgaz ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.07 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 29 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



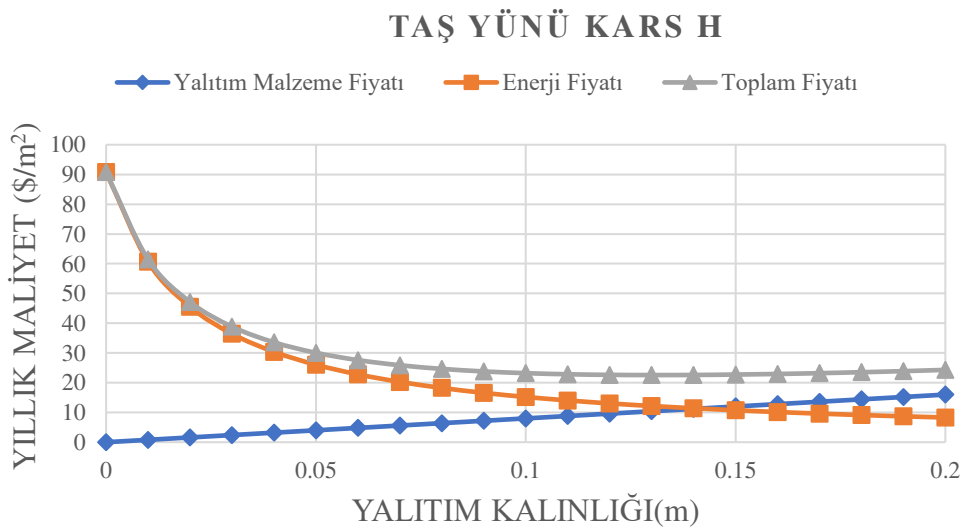
Şekil 5.3.14 Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.15)'de Kars şehri için doğalgaz ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.12 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 22.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.15 Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

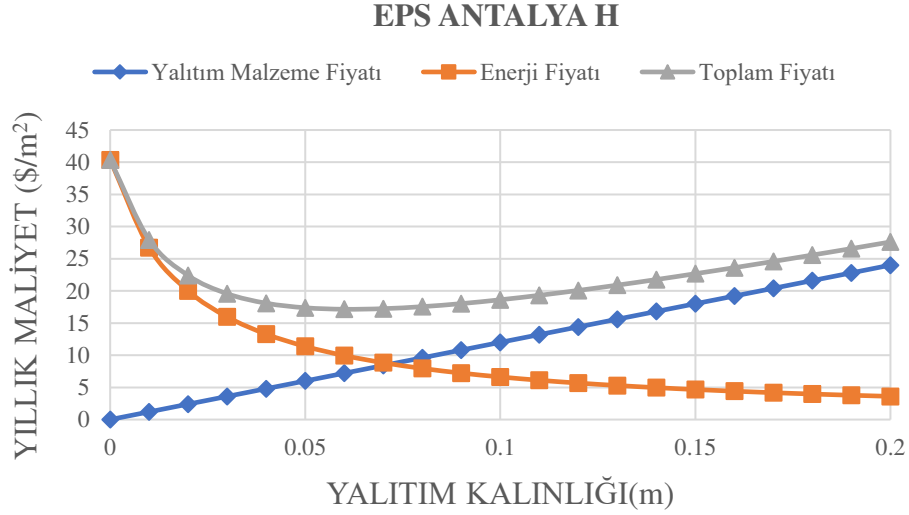
Şekil (5.3.16)'da gösterilen Kars şehri için doğalgaz ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.13 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 22.5 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.16 Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

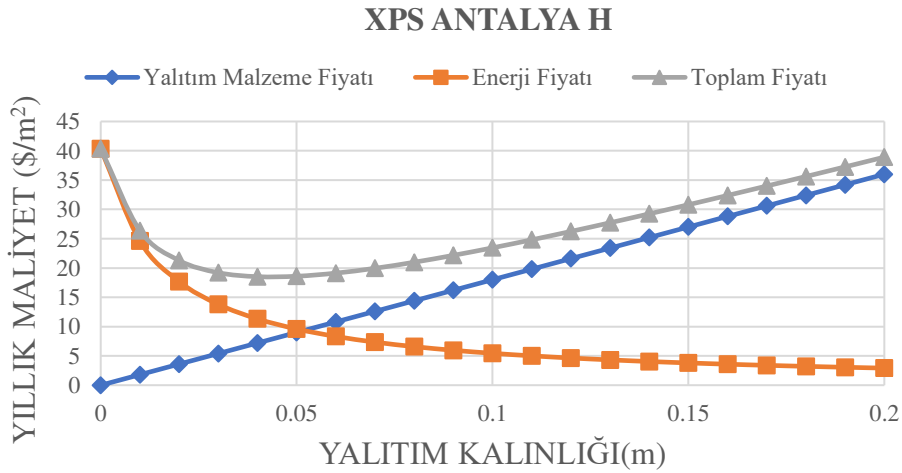
5.3.2 Fuel-Oil ile ısıtma

Şekil (5.3.17)'de gösterilen Antalya şehri için fueloil ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.06 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 17 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



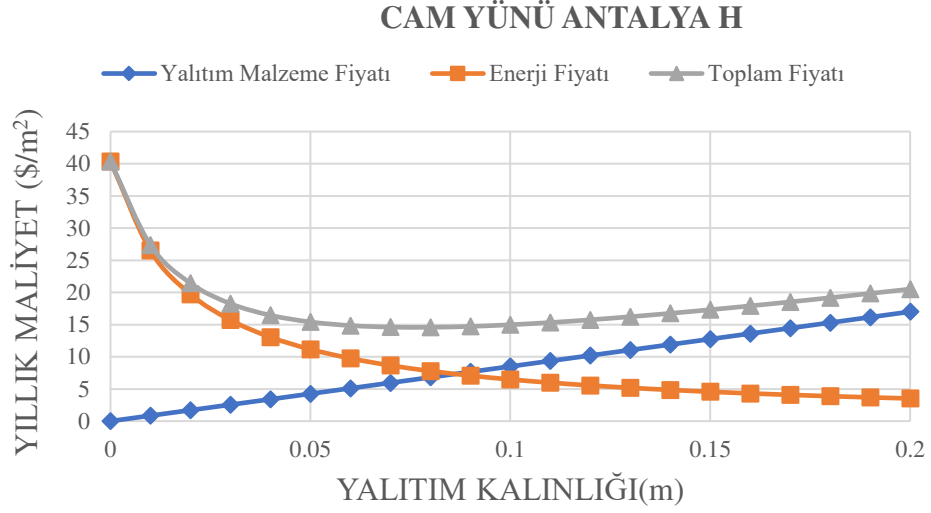
Şekil 5.3.17 Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.18)'de Antalya şehri için fuel-oil ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.04 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 18.5 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



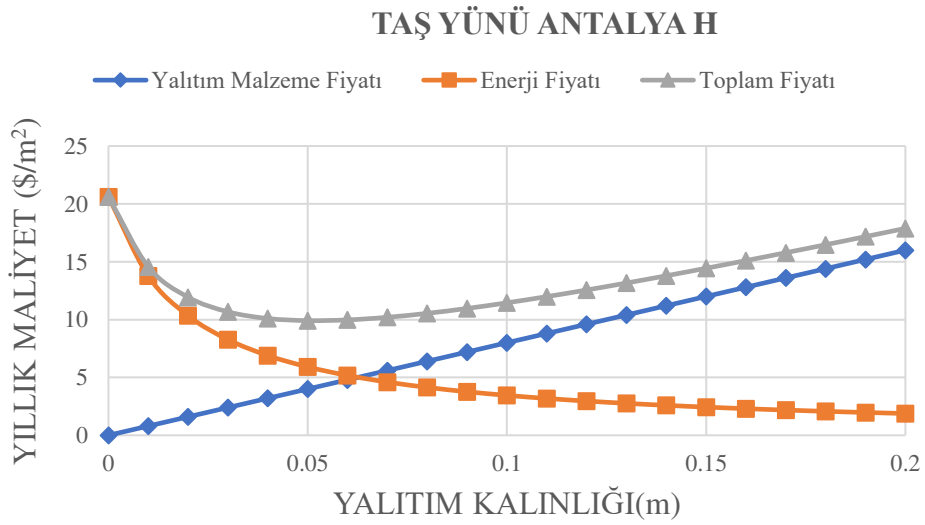
Şekil 5.3.18 Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.19)'de Antalya şehri için fuel-oil ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 14.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



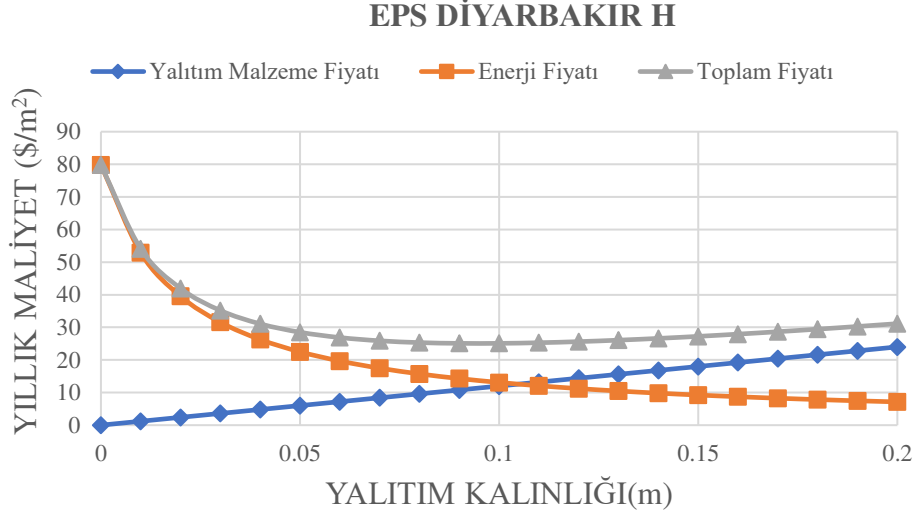
Şekil 5.3.19 Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.20)'de Antalya şehri için fuel-oil ile ısıtmada Taş Yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.05 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 9.9 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



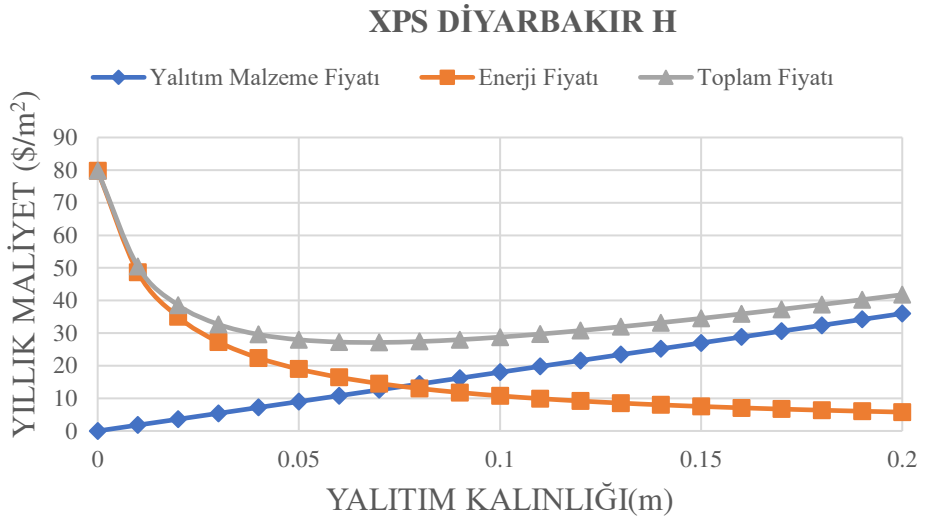
Şekil 5.3.20 Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.21)'de Diyarbakır şehri için fuel-oil ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.09 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 25 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



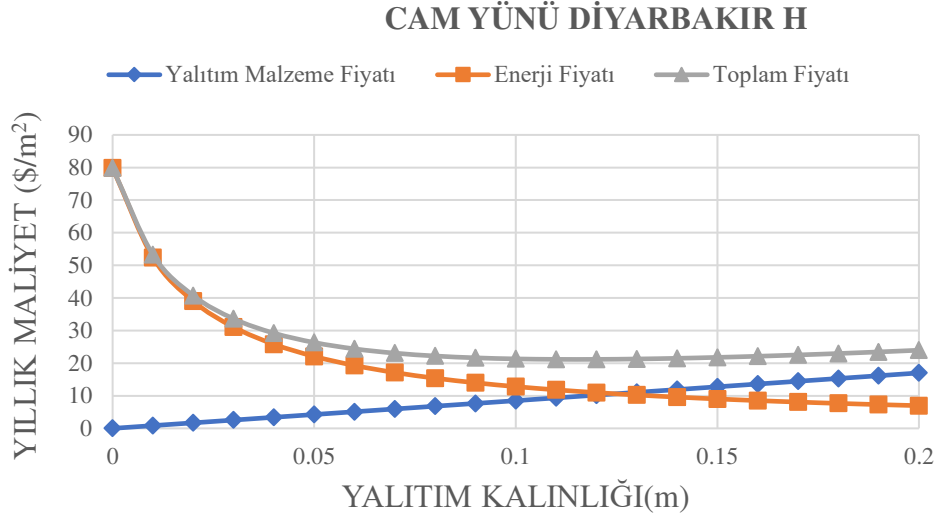
Şekil 5.3.21 Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.22)'de Diyarbakır şehri için fuel-oil ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.07 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 27 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



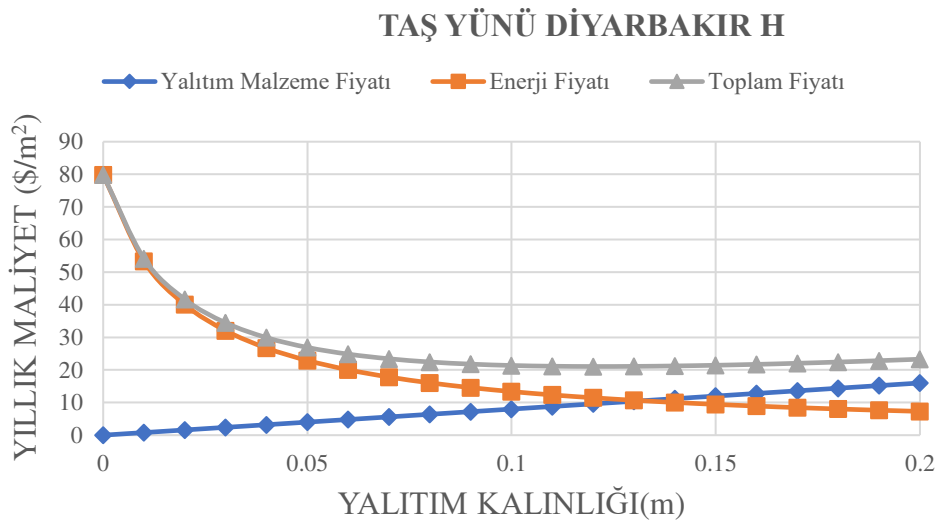
Şekil 5.3.22 Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.23)'de Diyarbakır şehri için fuel-oil ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.12 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 21 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



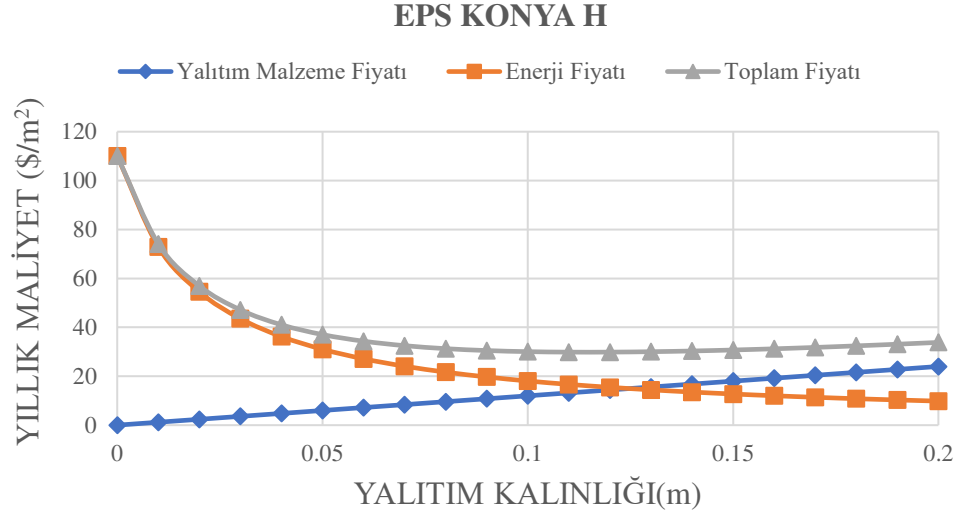
Şekil 5.3.23 Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.24)'de Diyarbakır şehri için fuel-oil ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.12 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 21 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



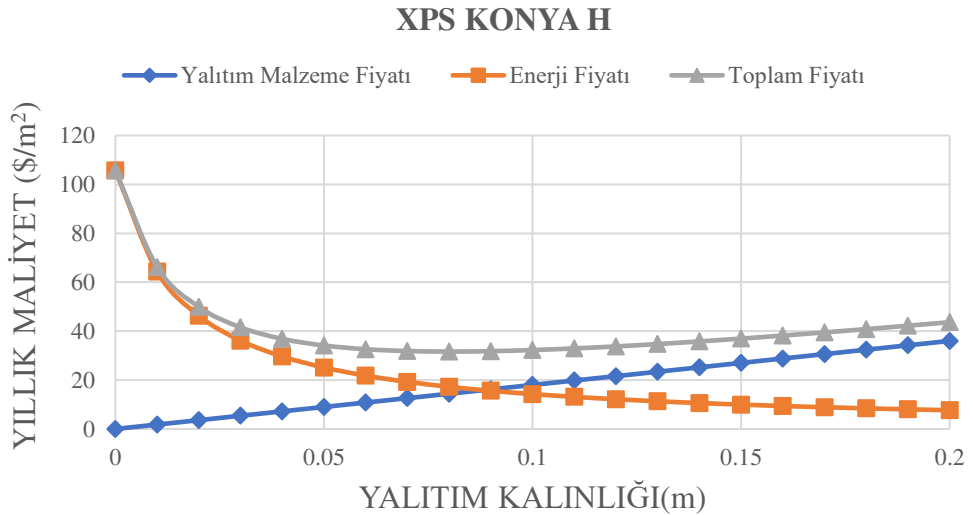
Şekil 5.3.24 Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.25)'de Konya şehri için fuel-oil ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.1m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 30 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



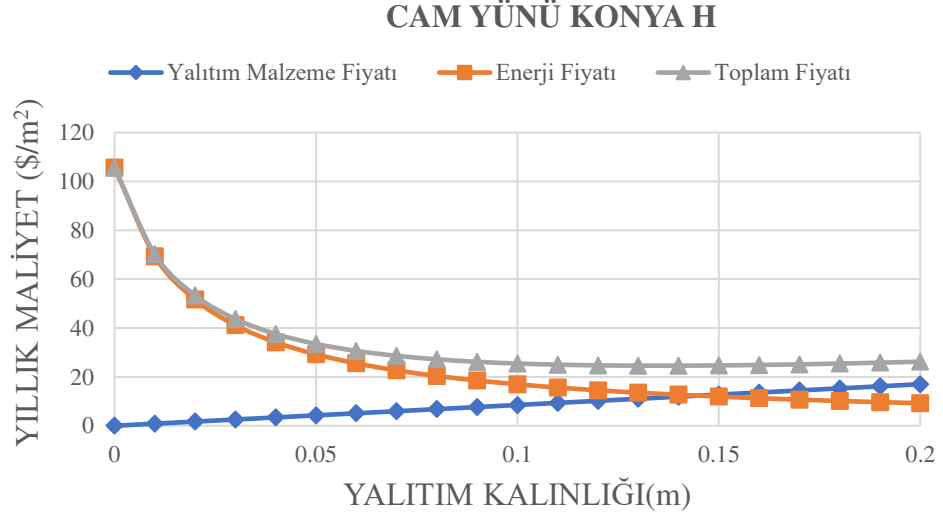
Şekil 5.3.25 Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.26)'da Konya şehri için fuel-oil ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 31.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



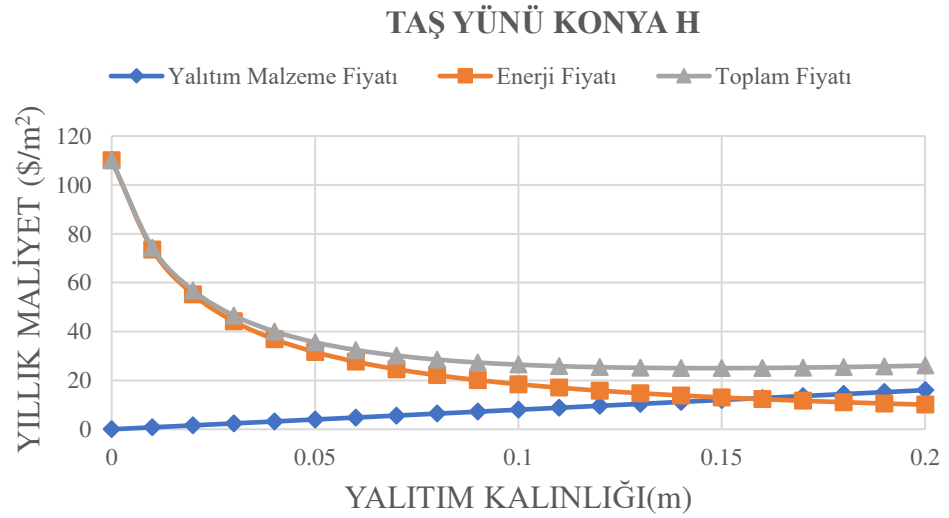
Şekil 5.3.26 Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.27)'de Konya şehri için fuel-oil ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.13 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 24.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



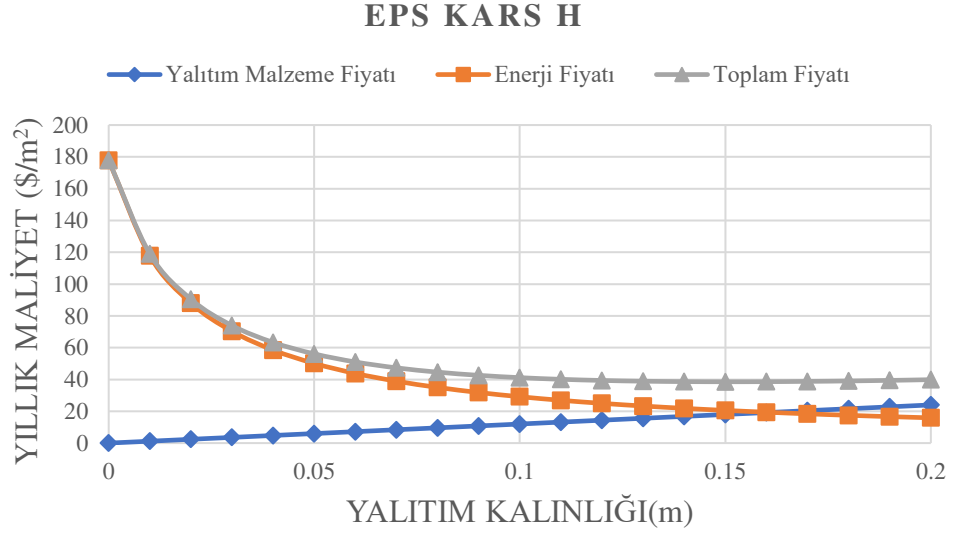
Şekil 5.3.27 Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.28)'de Konya şehri için fuel-oil ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.14 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 25 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



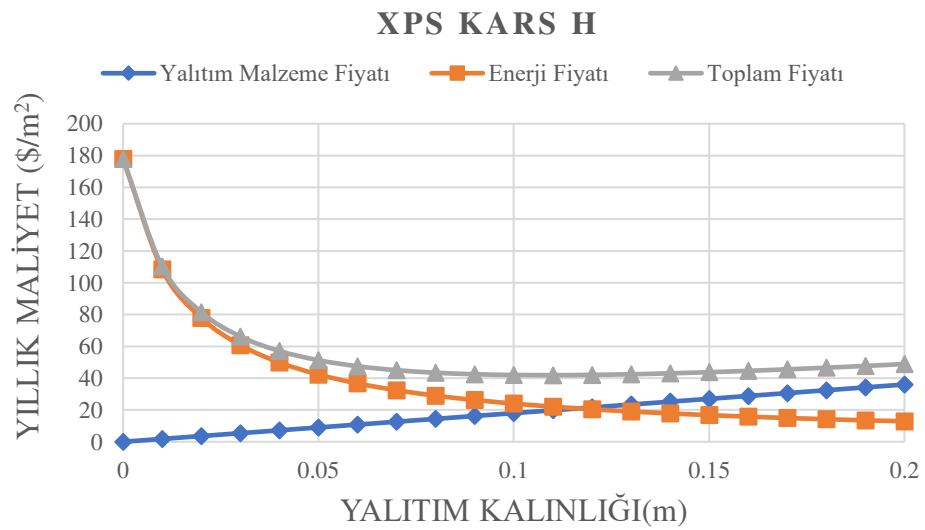
Şekil 5.3.28 Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.29)'de Kars şehri için fuel-oil ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.15 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 38.5 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



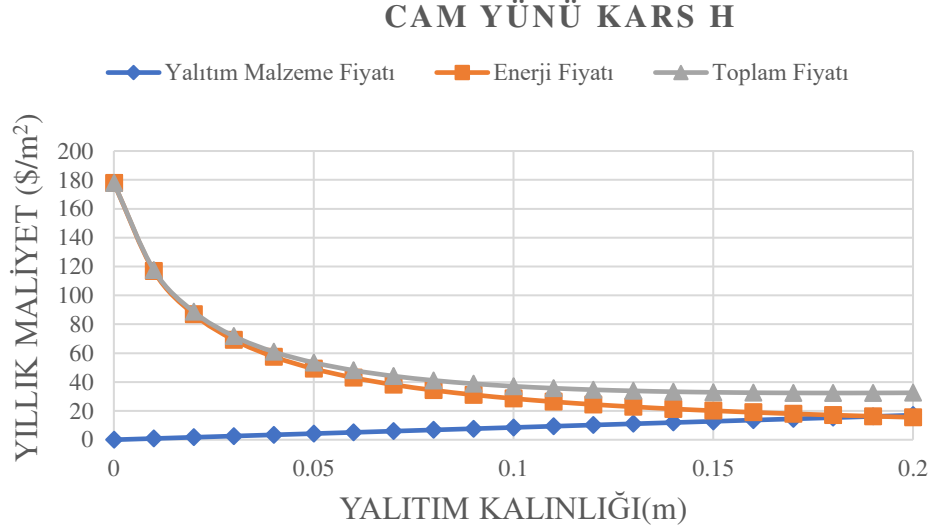
Şekil 5.3.29 Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.30)'da Kars şehri için fuel-oil ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.11 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 42 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



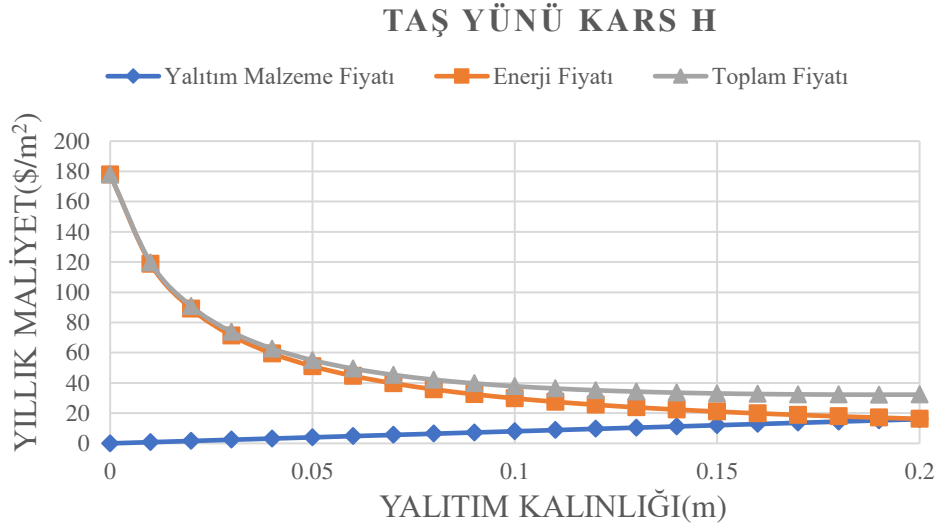
Şekil 5.3.30 Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.31)'de Kars şehri için fuel-oil ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.18 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 32.4 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.31 Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

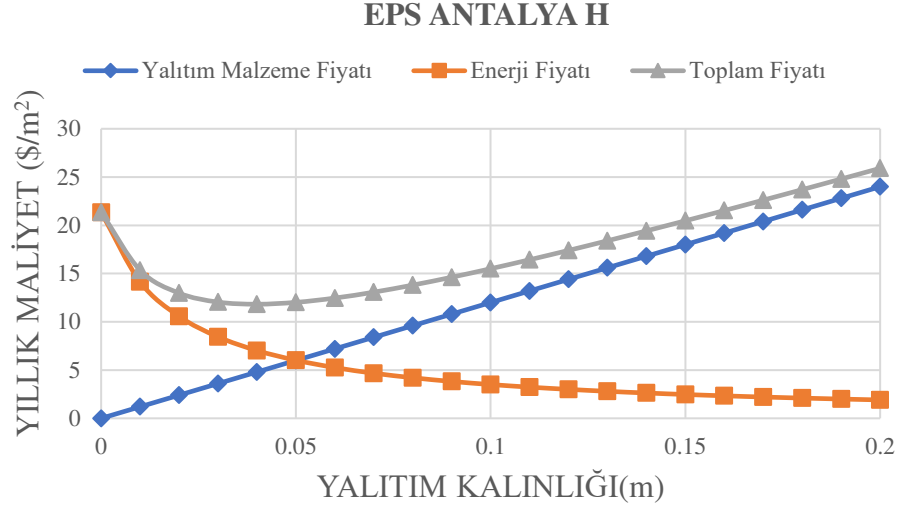
Şekil (5.3.32)'de Kars şehri için fuel-oil ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.18 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 32.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.32 Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

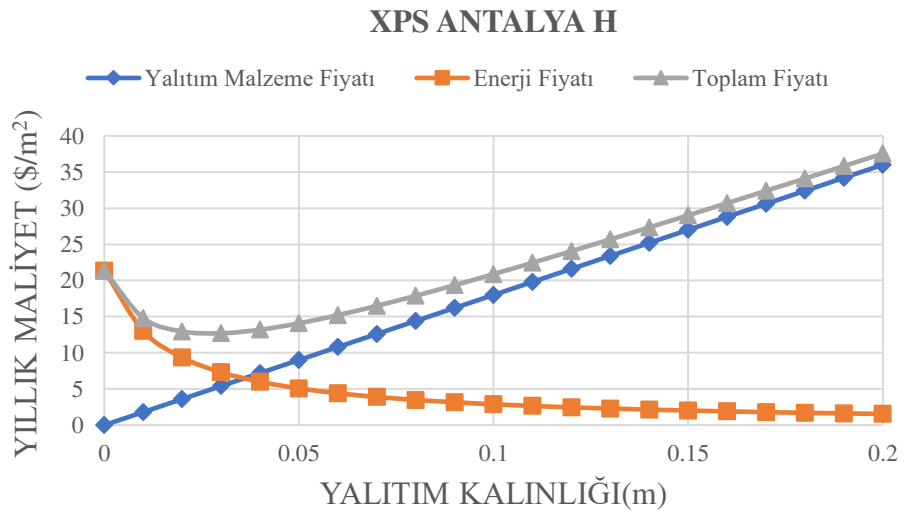
5.3.3 Kömür ile ısıtma

Şekil (5.3.33)'de Antalya şehri için kömür ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.04 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 11.8 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



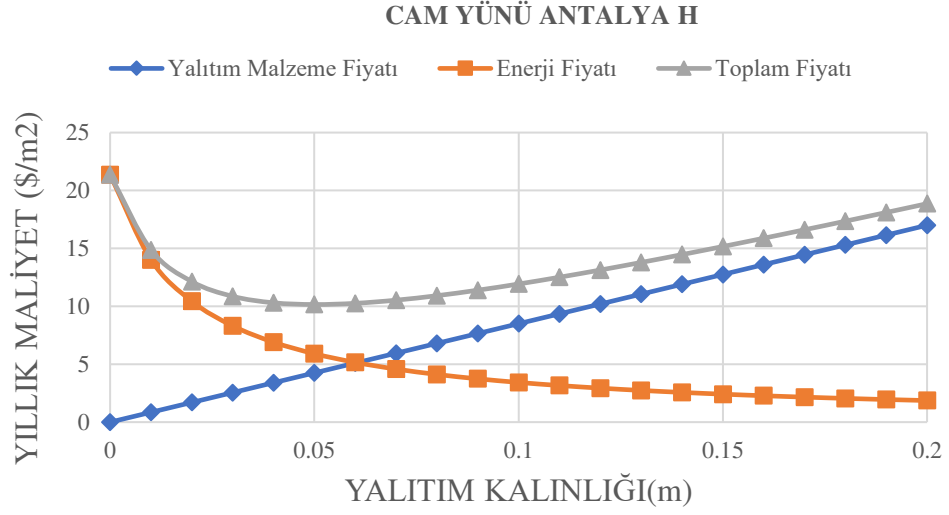
Şekil 5.3.33 Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.34)'de Antalya şehri için kömür ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.03 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 12.7 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



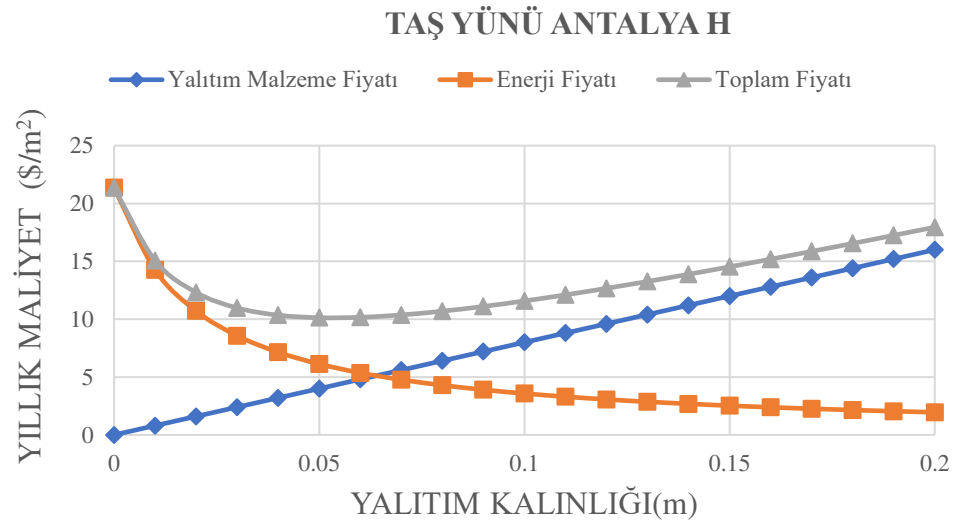
Şekil 5.3.34 Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.35)'de Antalya şehri için kömür ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.05 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 10.2 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



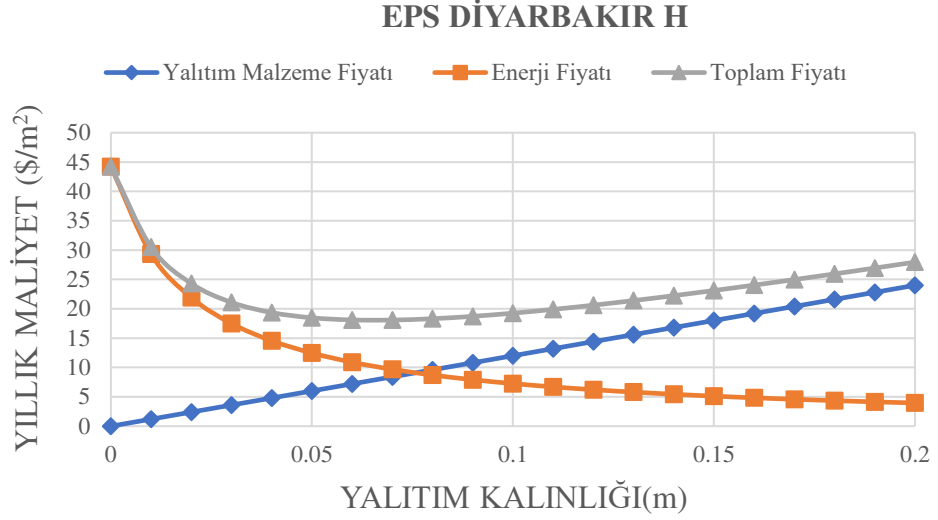
Şekil 5.3.35 Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.36)'da Antalya şehri için kömür ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.05 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 10.1 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



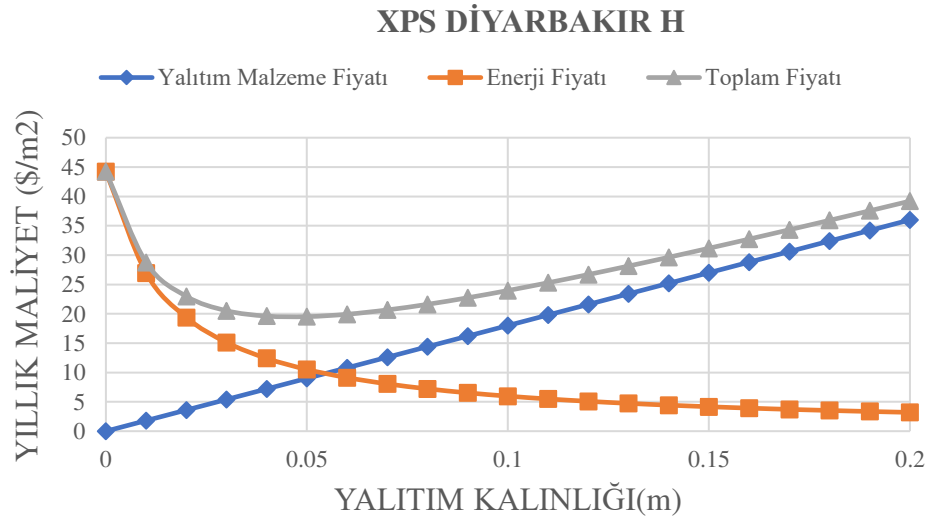
Şekil 5.3.36 Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.37)'de Diyarbakır şehri için kömür ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.07 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 18.1 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



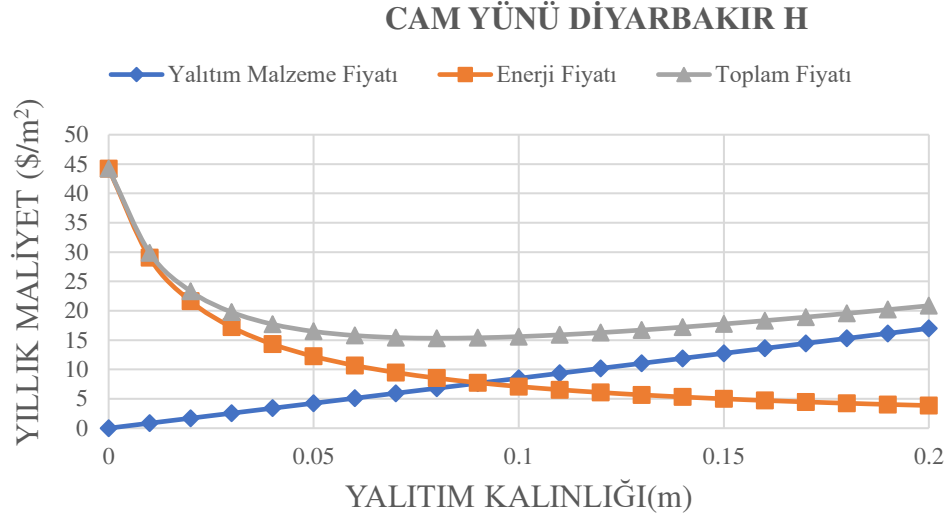
Şekil 5.3.37 Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.38)'de gösterilen Diyarbakır şehri için kömür ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.05 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 19.5 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



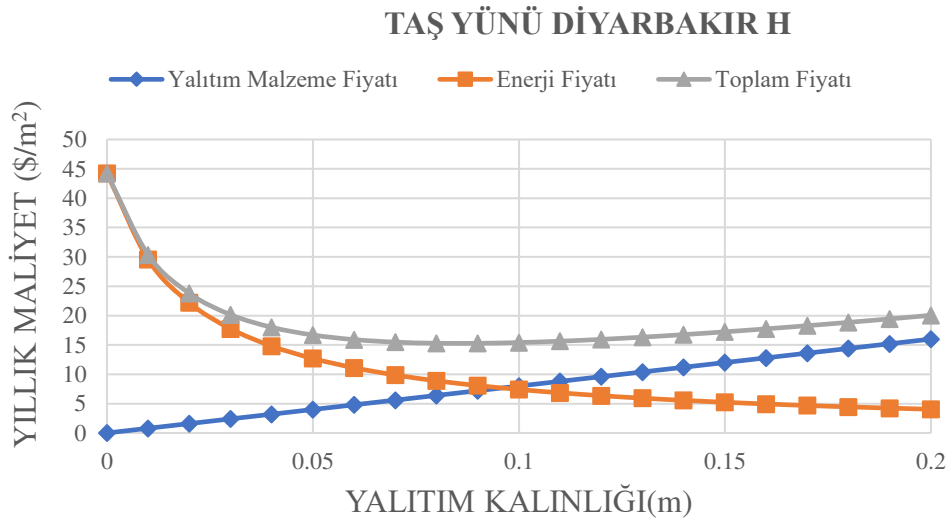
Şekil 5.3.38 Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.39)'da Diyarbakır şehri için kömür ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 15.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



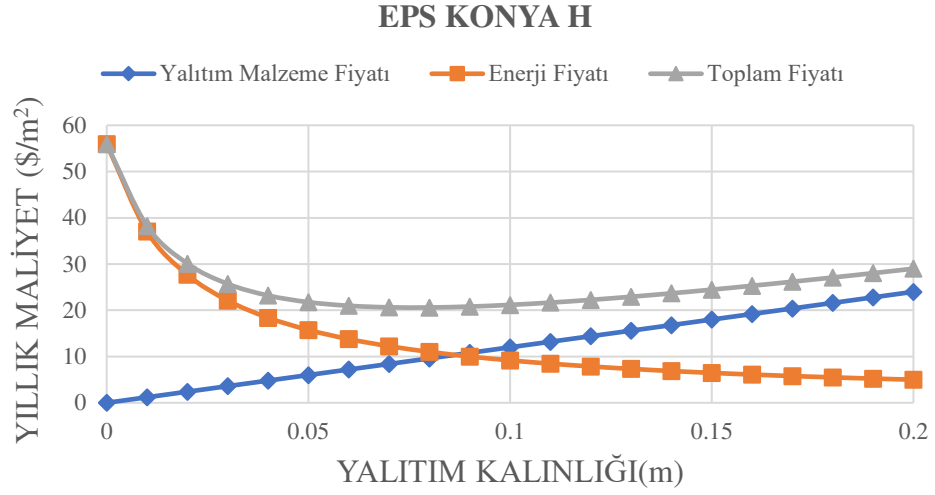
Şekil 5.3.39 Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.40)'da Diyarbakır şehri için kömür ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 15.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



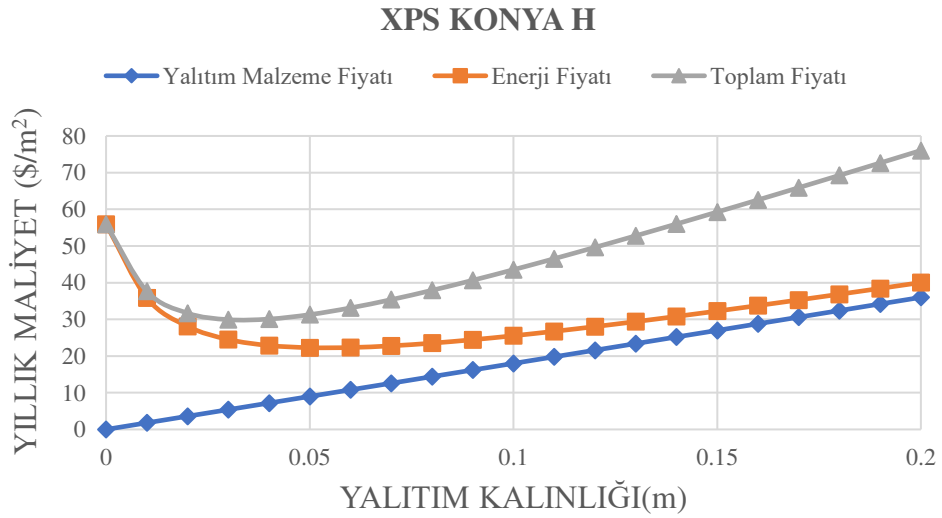
Şekil 5.3.40 Diyarbakır Taş Yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.41)'de gösterilen Konya şehri için kömür ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 20.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



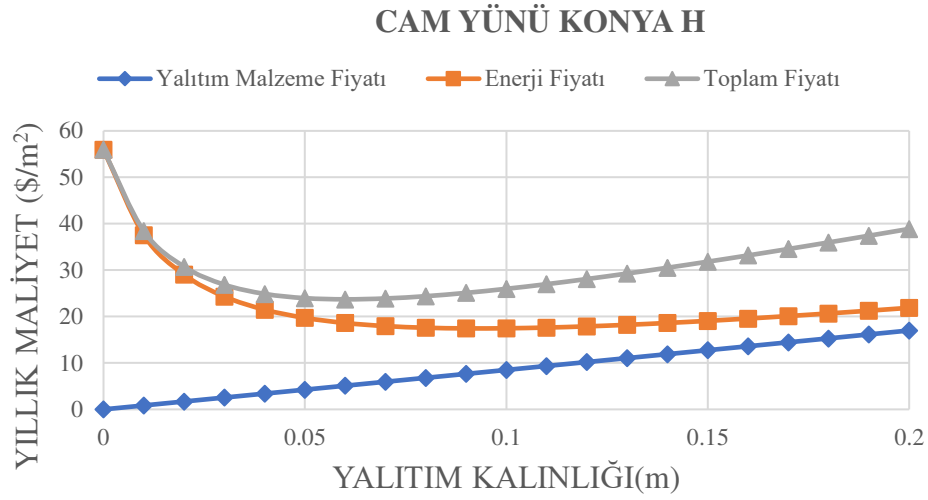
Şekil 5.3.41 Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.42)'de gösterilen Konya şehri için kömür ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.03 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 29.9 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



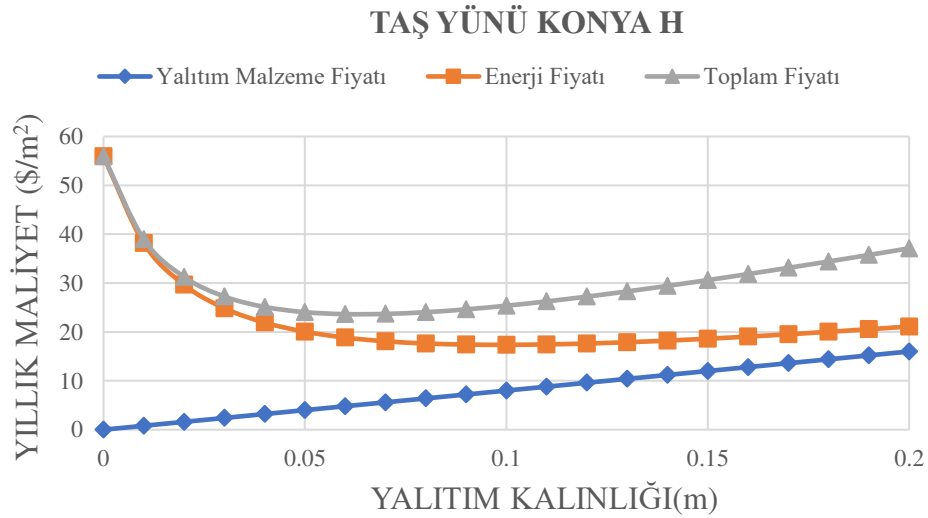
Şekil 5.3.42 Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.43)'de gösterilen Konya şehri için kömür ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.06 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 23.7 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



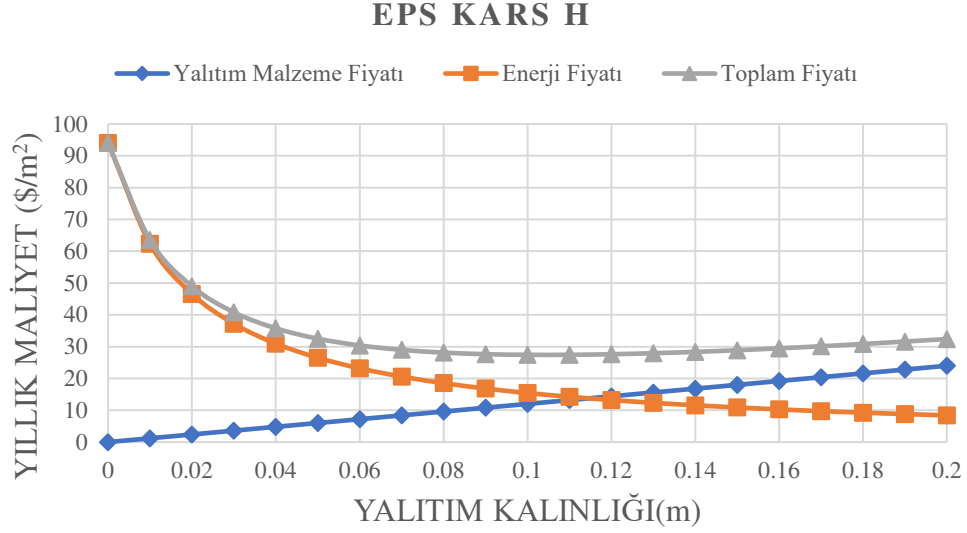
Şekil 5.3.43 Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.44)'de gösterilen Konya şehri için kömür ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.06 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 23.7 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



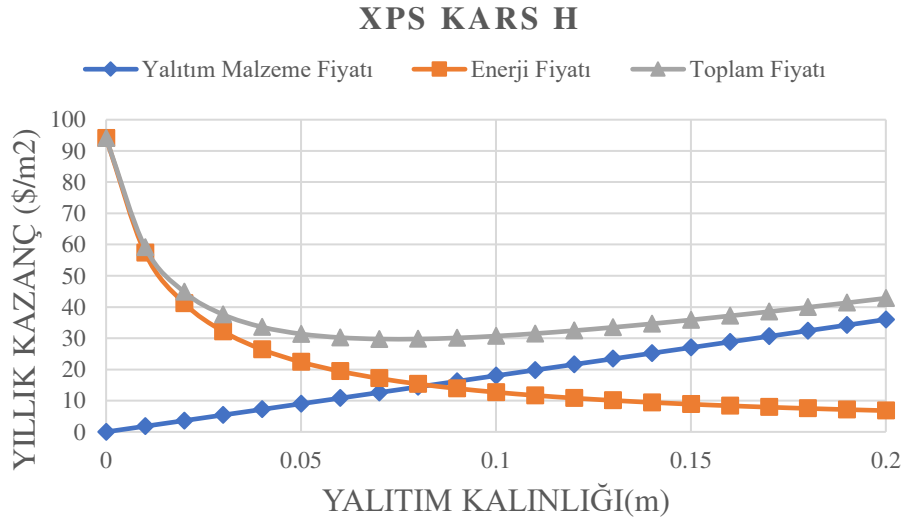
Şekil 5.3.44 Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.45)'de gösterilen Kars şehri için kömür ile ısıtmada EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.1 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 27.4 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



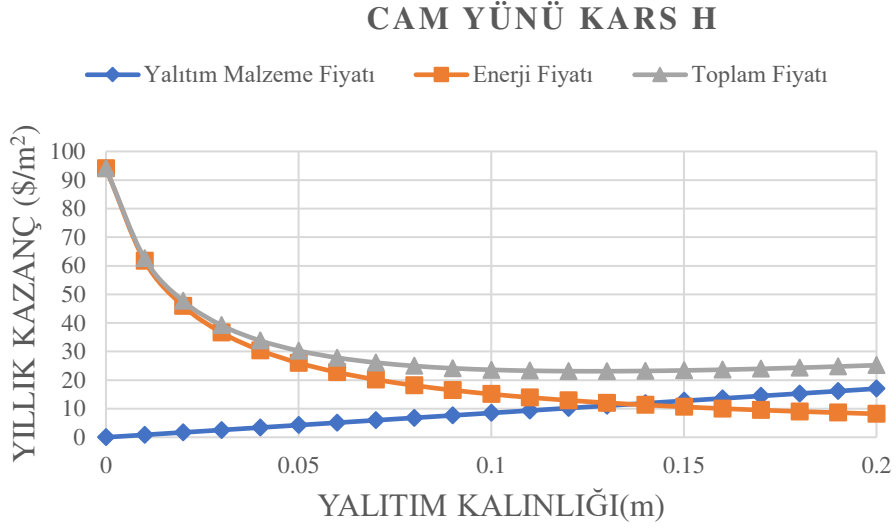
Şekil 5.3.45 Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.46)'da gösterilen Kars şehri için kömür ile ısıtmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.075 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 29.75 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



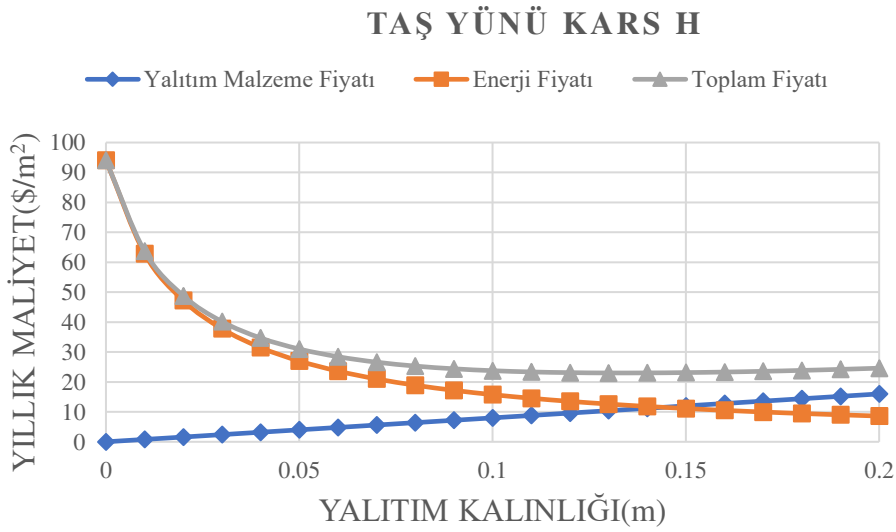
Şekil 5.3.46 Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

Şekil (5.3.47)'de gösterilen Kars şehri için kömür ile ısıtmada cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.12 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 23.1 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.47 Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

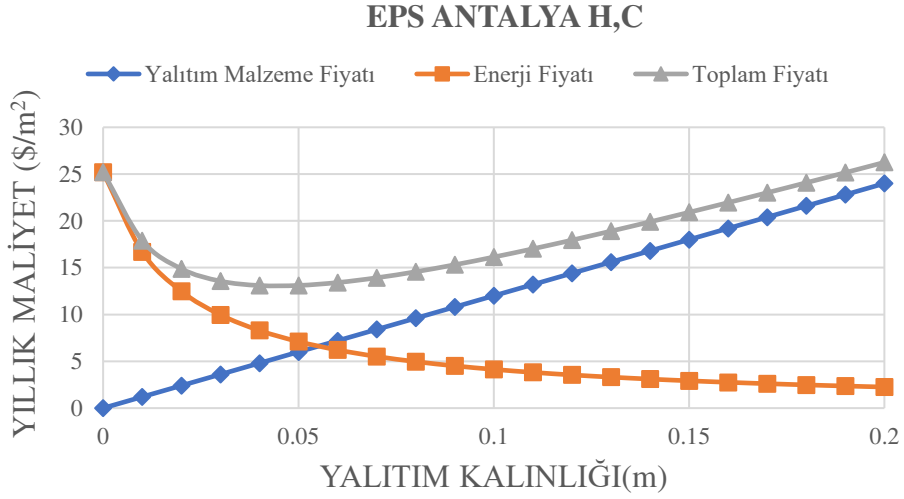
Şekil (5.3.48)'de gösterilen Kars şehri için kömür ile ısıtmada taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.13 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 23.1 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.48 Kars Taş Yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık ısıtma maliyeti

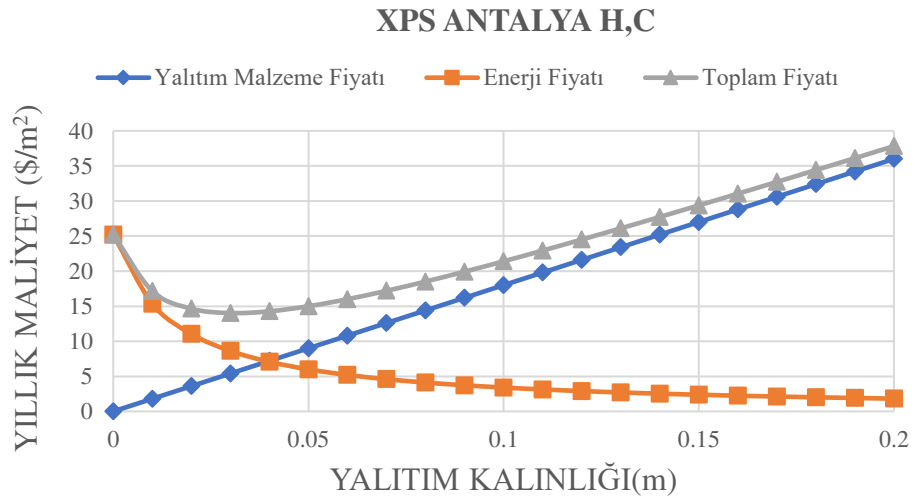
5.3.4 Isıtma (doğalgaz)-soğutma

Şekil (5.3.49)'da gösterilen Antalya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.044 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 13.1 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



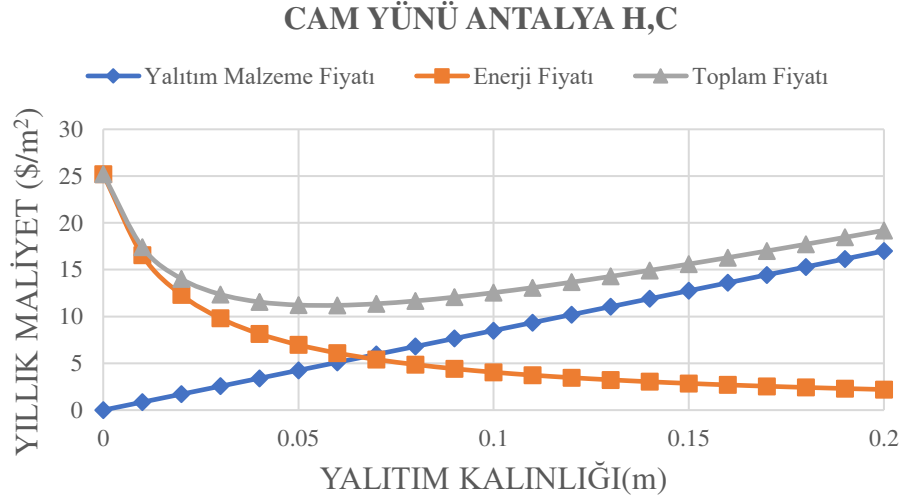
Şekil 5.3.49 Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.50)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.031 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 14 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



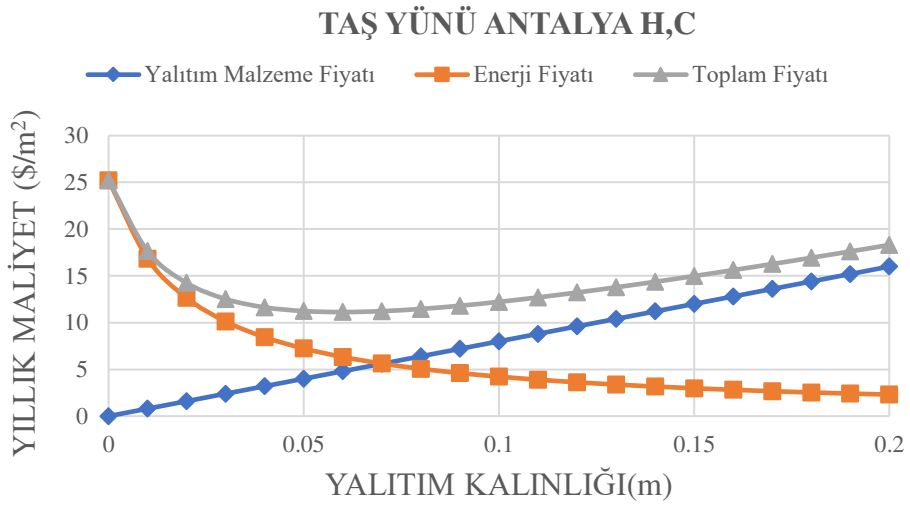
Şekil 5.3.50 Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.51)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.056 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 11.2 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



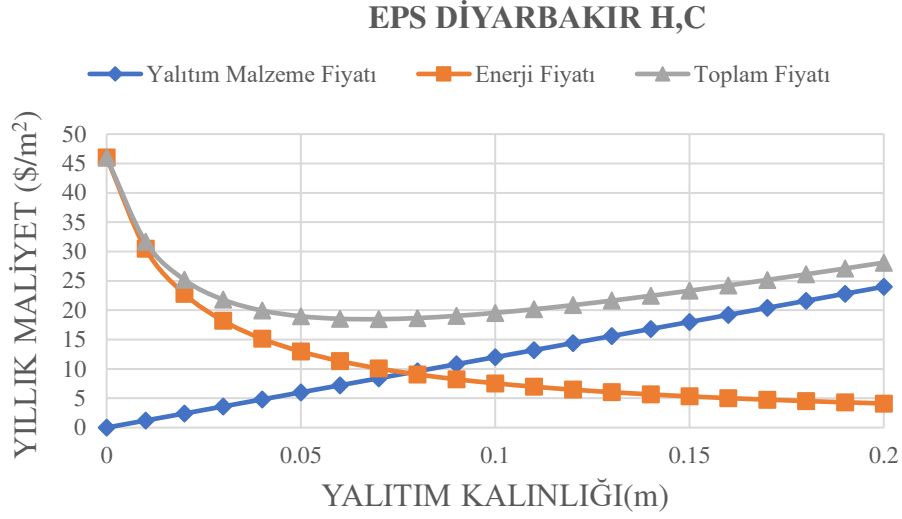
Şekil 5.3.51 Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.52)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.059 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 11.1 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



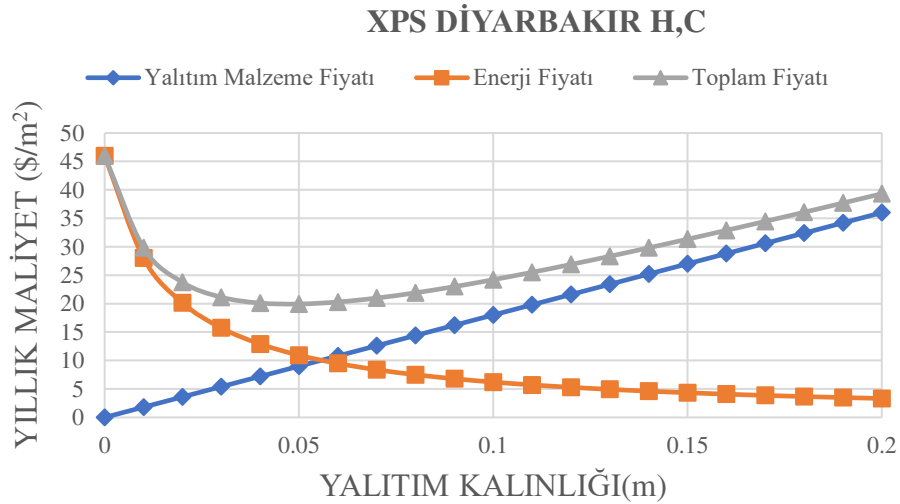
Şekil 5.3.52 Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.53)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.067 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 18.5 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



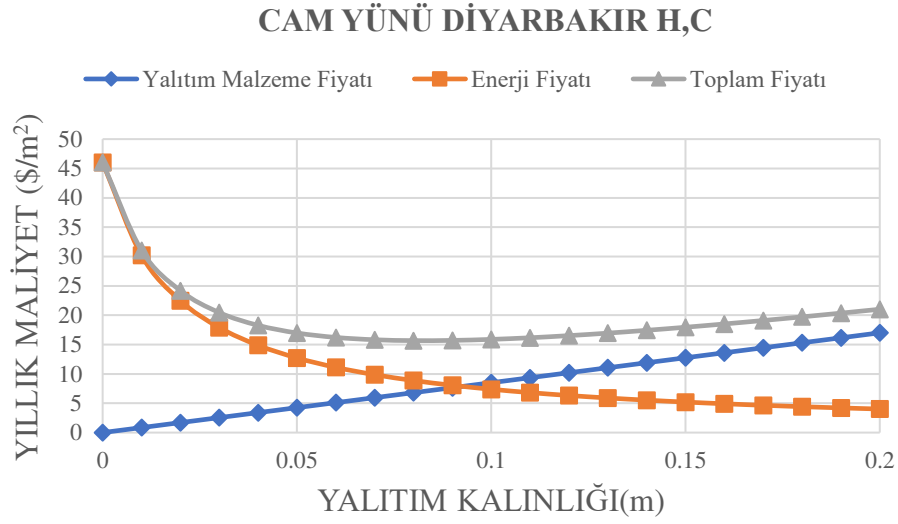
Şekil 5.3.53 Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç

Şekil (5.3.54)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.047 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 19.9 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



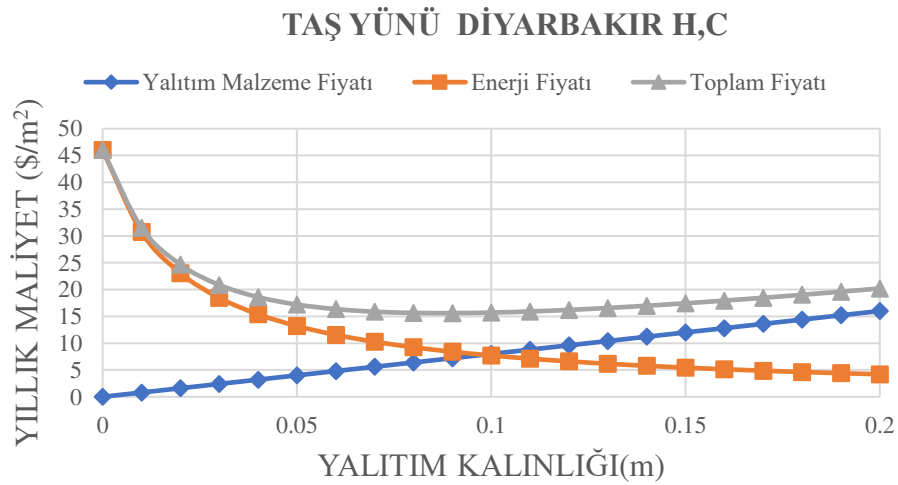
Şekil 5.3.54 Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.55)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.082 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 15.7 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



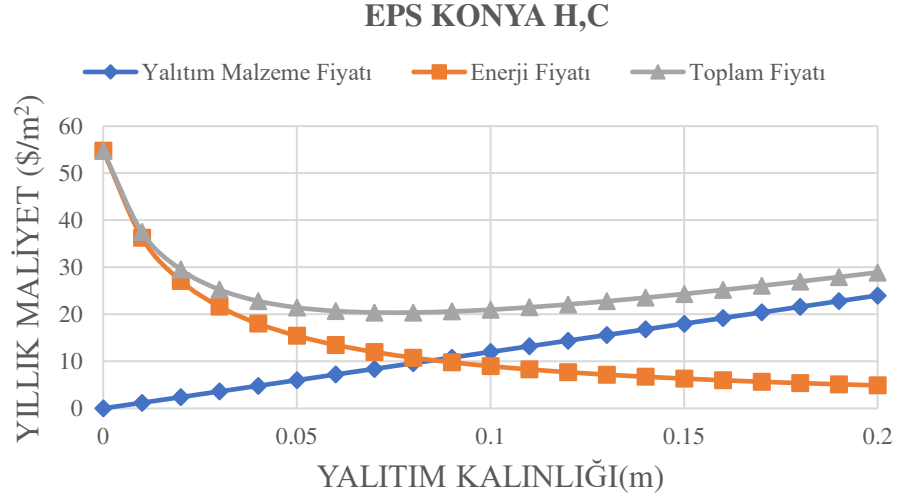
Şekil 5.3.55 Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.56)'da gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.087 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 15.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



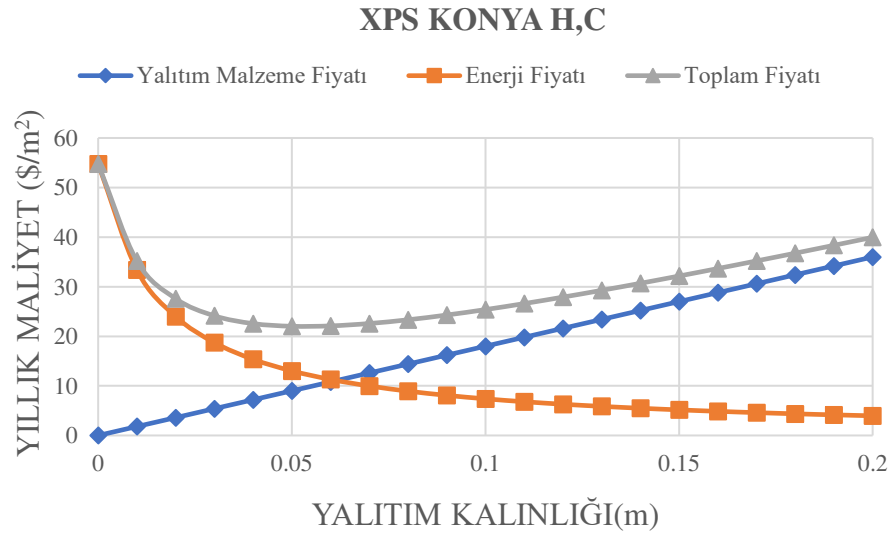
Şekil 5.3.56 Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.57)'de gösterilen Konya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.075 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 20.4 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



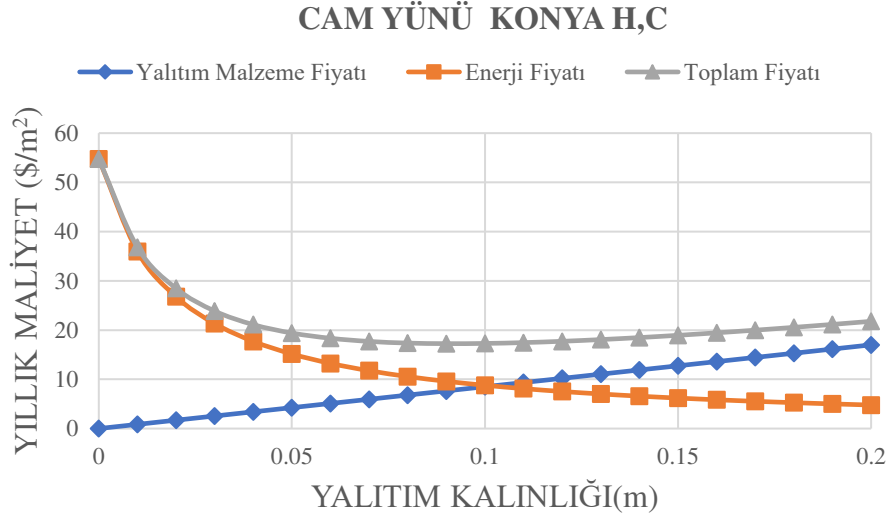
Şekil 5.3.57 Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.58)'de gösterilen Konya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.053 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 22 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



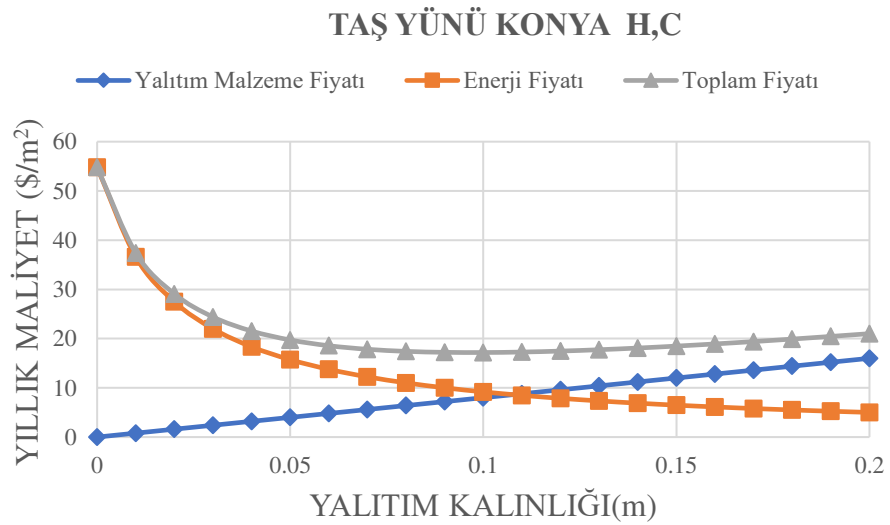
Şekil 5.3.58 Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.59)'da gösterilen Konya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.09 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 17.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



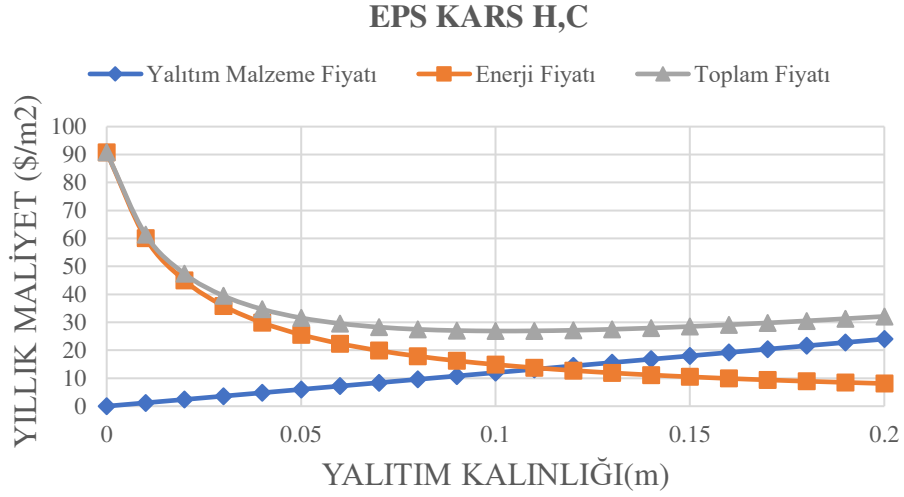
Şekil 5.3.59 Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.60)'da gösterilen Konya şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.097 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 17.2 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



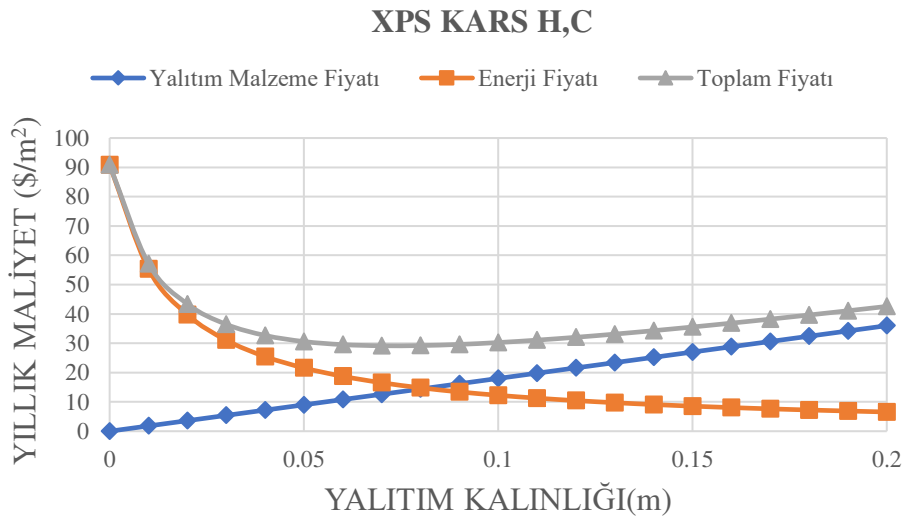
Şekil 5.3.60 Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.61)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.1 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 26.9 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



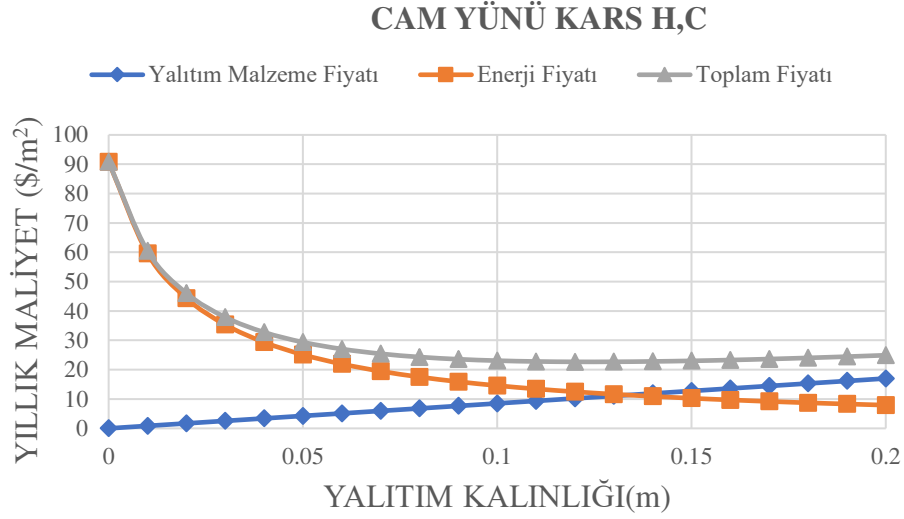
Şekil 5.3.61 Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.62)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.073 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 29.2 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



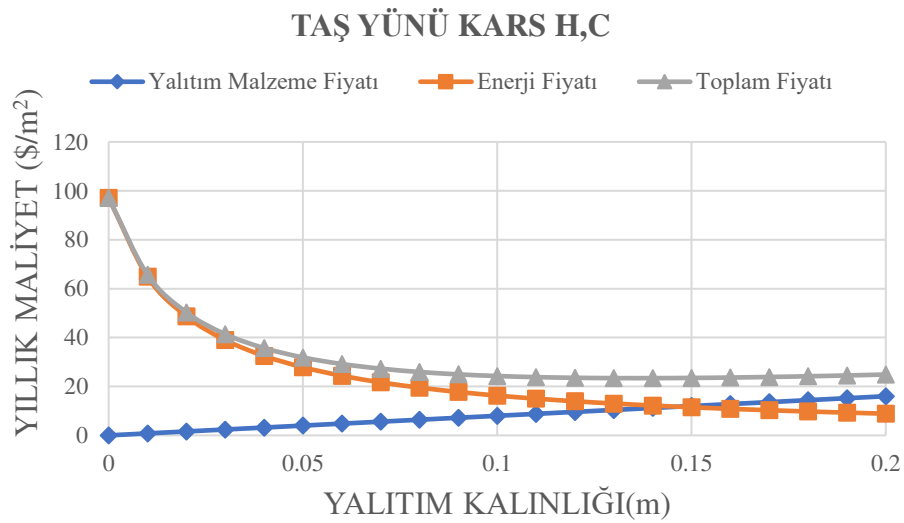
Şekil 5.3.62 Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.63)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.12 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 22.7 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.63 Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

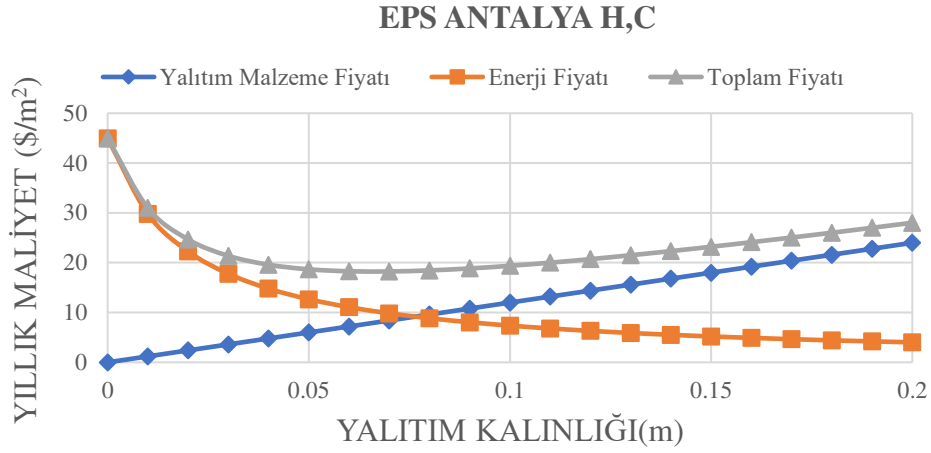
Şekil (5.3.64)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.14 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 23.4 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.64 Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

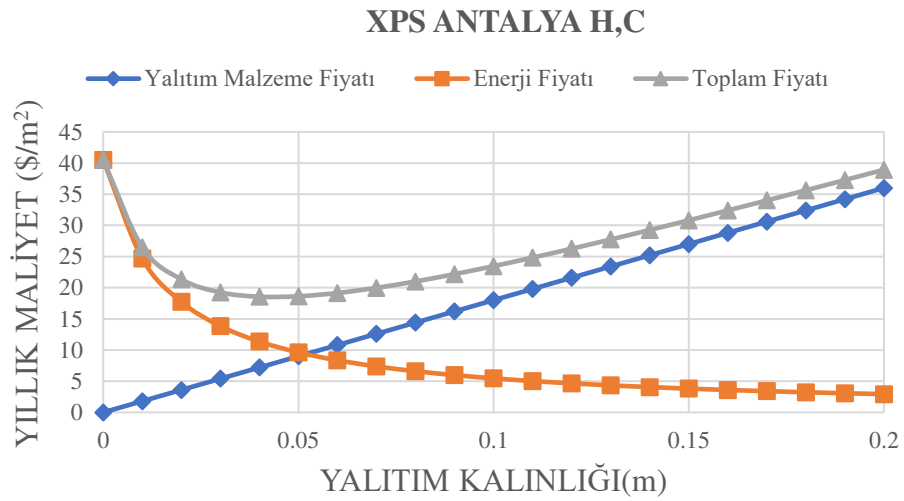
5.3.5 Isıtma (fuel-oil)-soğutma

Şekil (5.3.65)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.66 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 18.2 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



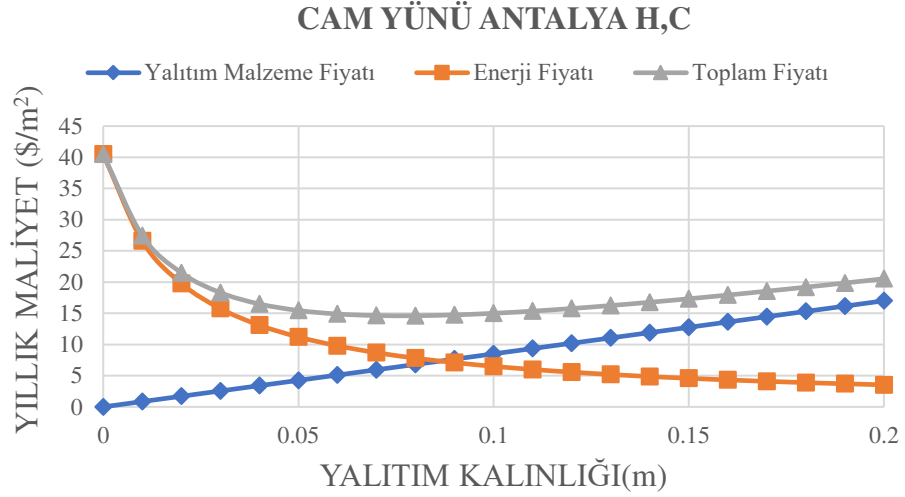
Şekil 5.3.65 Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.66)'da gösterilen Antalya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.46 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 18.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



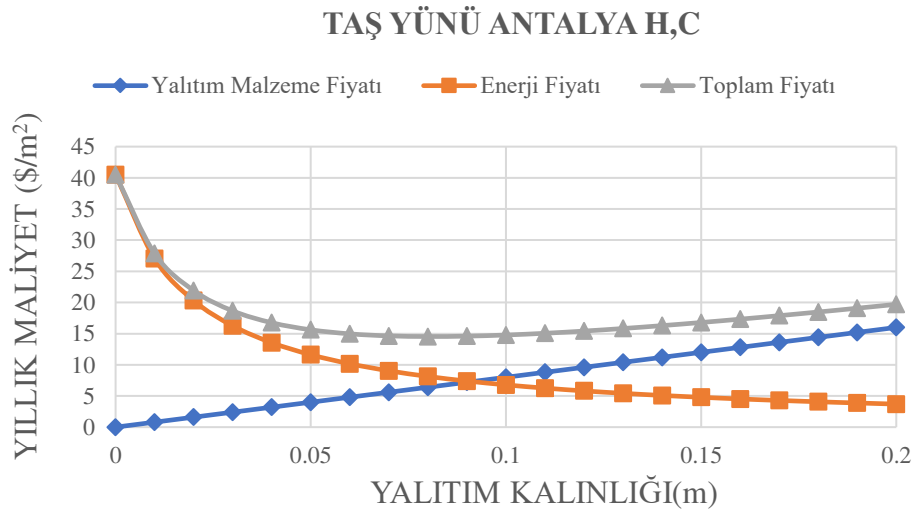
Şekil 5.3.66 Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.67)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 14.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



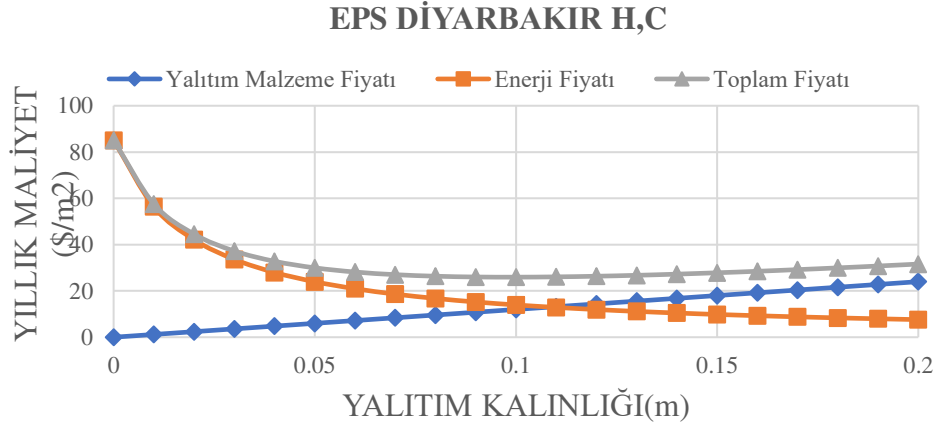
Şekil 5.3.67 Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.68)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.086 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 14.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



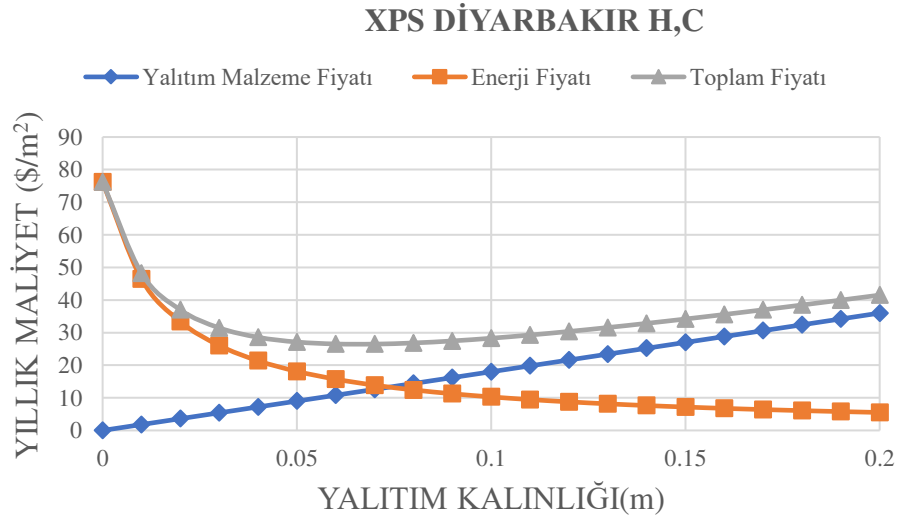
Şekil 5.3.68 Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.69)'da gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.098 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 26 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



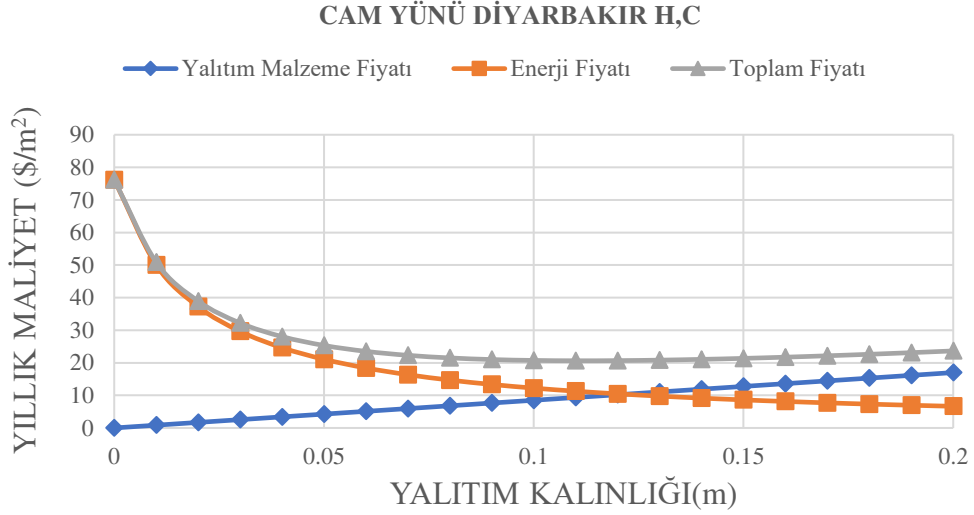
Şekil 5.3.69 Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.70)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.07 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 26.5 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



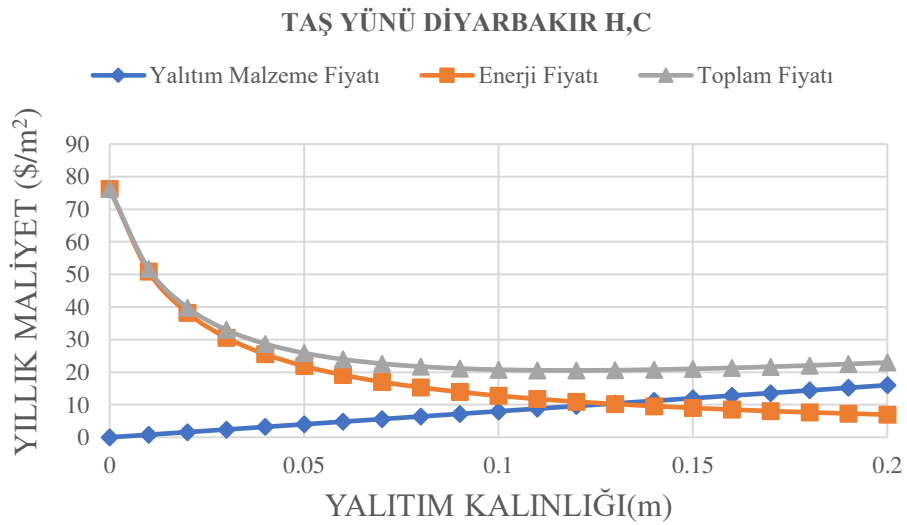
Şekil 5.3.70 Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.4.71)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.11 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 20.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



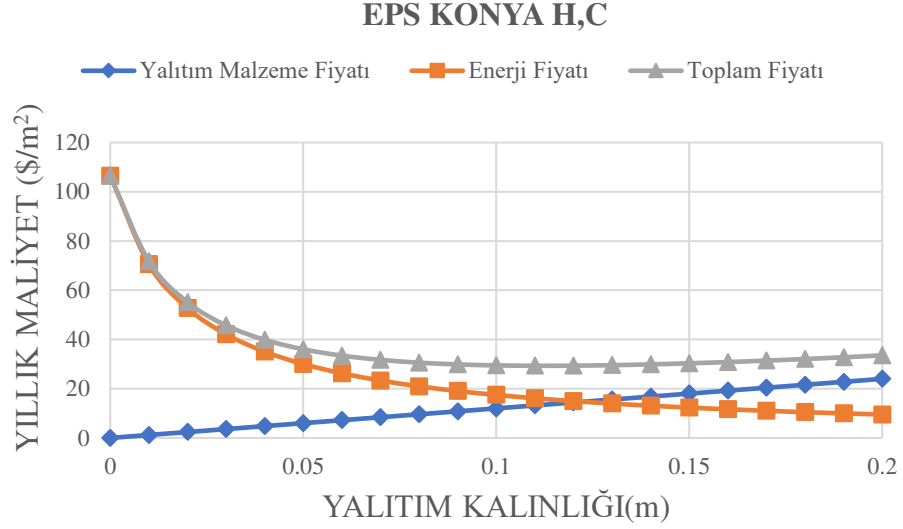
Şekil 5.3.71 Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.72)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.13 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 20.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



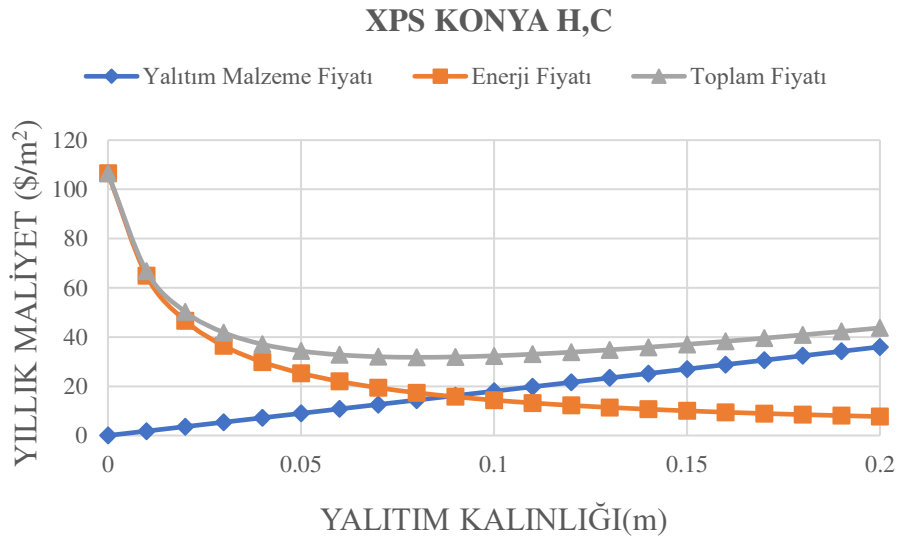
Şekil 5.3.72 Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.73)'de gösterilen Konya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.11 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 29.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



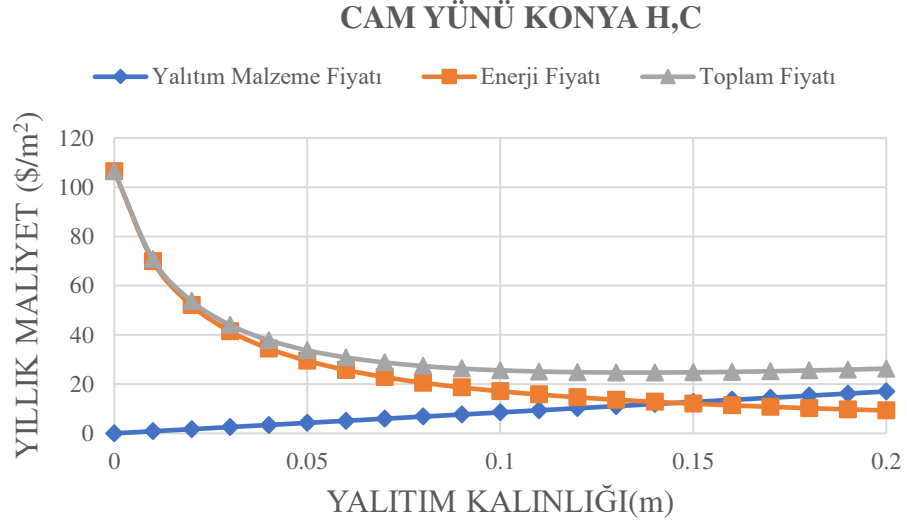
Şekil 5.3.73 Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.74)'de gösterilen Konya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.08 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 31.8 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



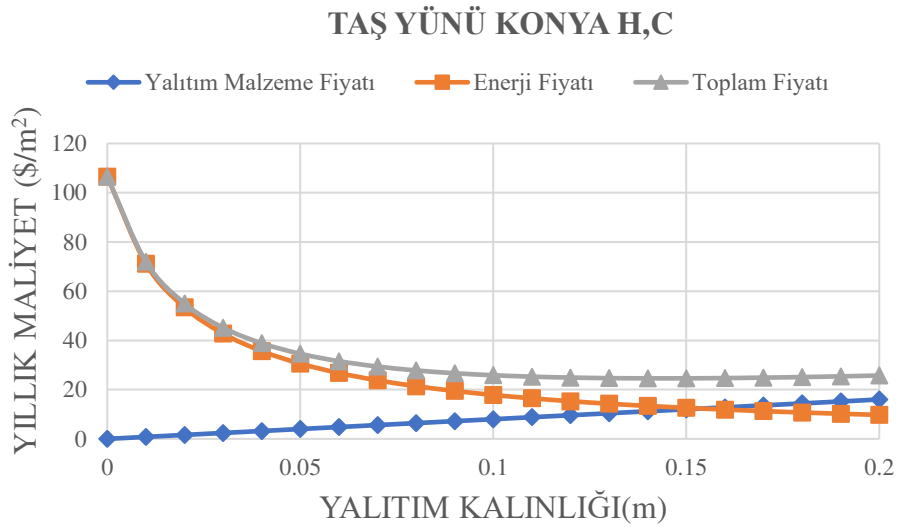
Şekil 5.3.74 Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.75)'de gösterilen Konya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.13 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 24.7 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



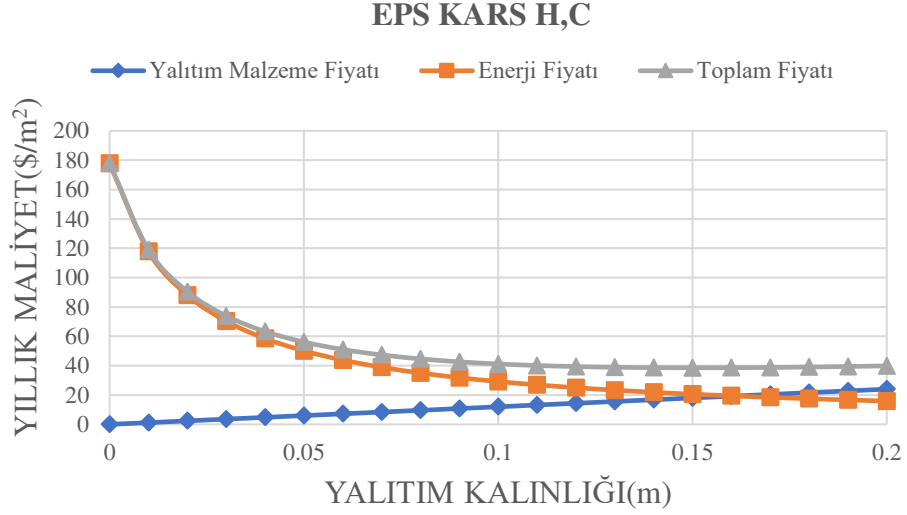
Şekil 5.3.75 Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.76)'da gösterilen Konya şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.14 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 24.6 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



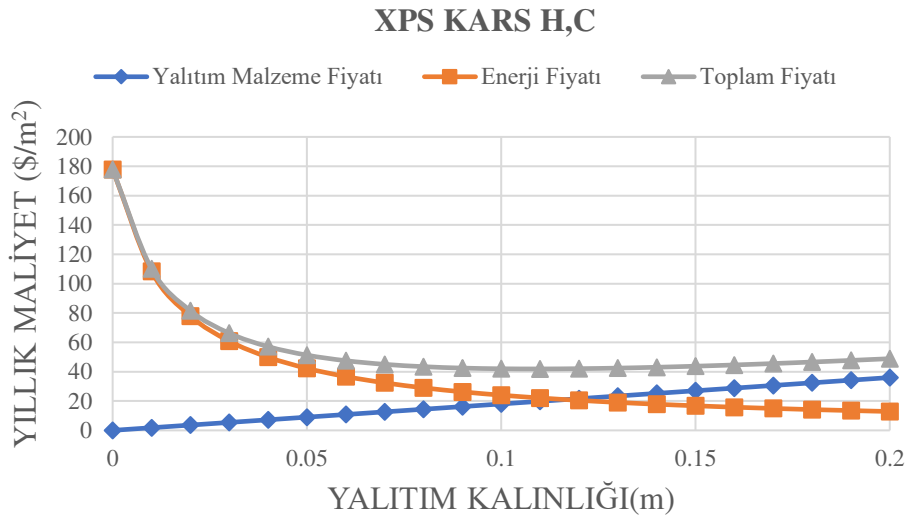
Şekil 5.3.76 Konya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.77)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.15 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 38.6 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



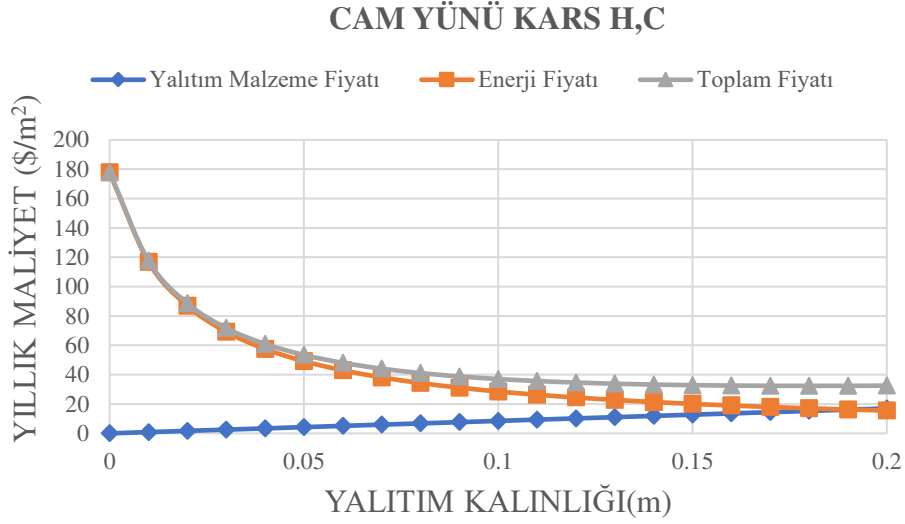
Şekil 5.3.77 Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.78)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.11 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 41.8 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



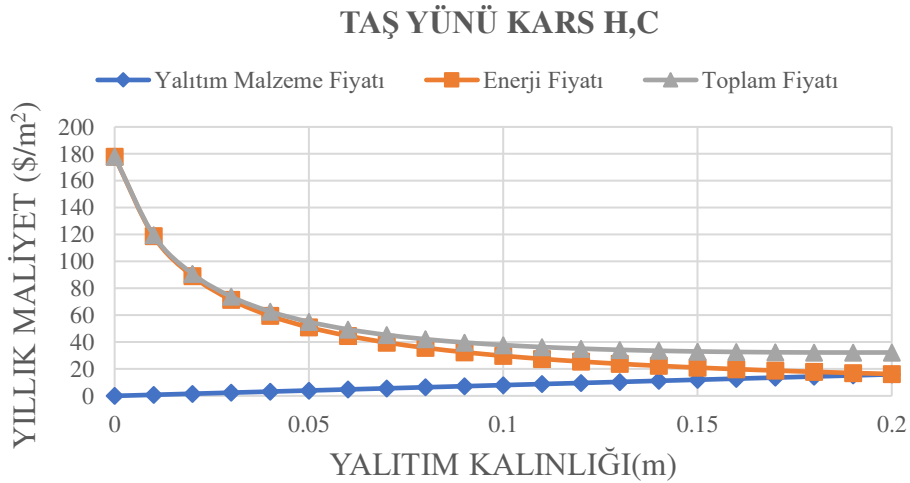
Şekil 5.3.78 Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.79)'da gösterilen Kars şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.18 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 32.4 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.79 Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

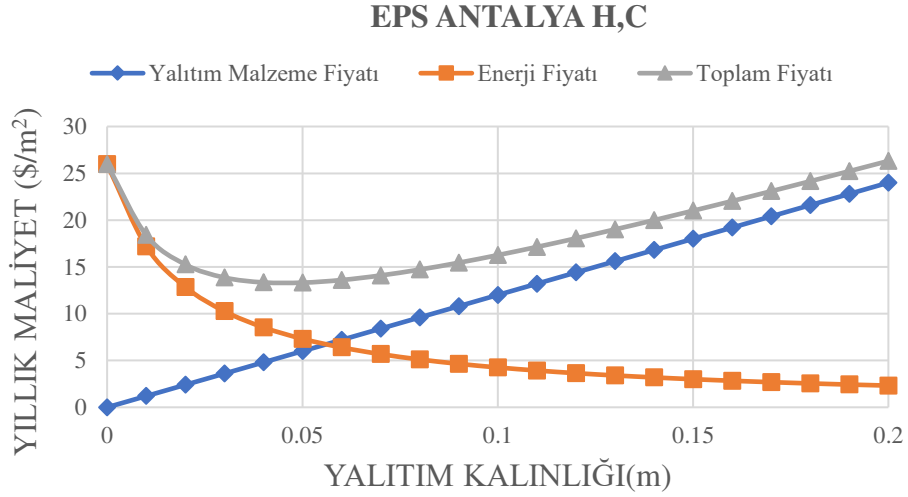
Şekil (5.3.80)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada fueloil soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.19 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 32.2 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.80 Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

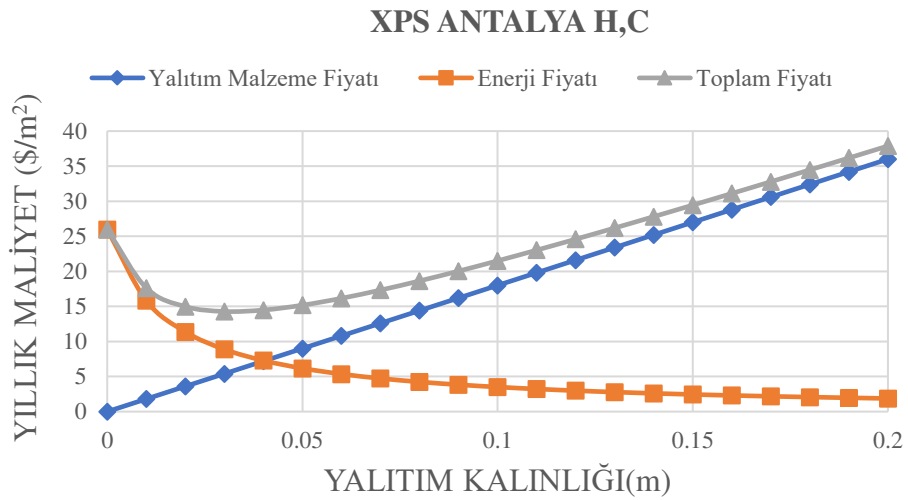
5.3.6 Isıtma (kömür)-soğutma

Şekil (5.3.81)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.045 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 13.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



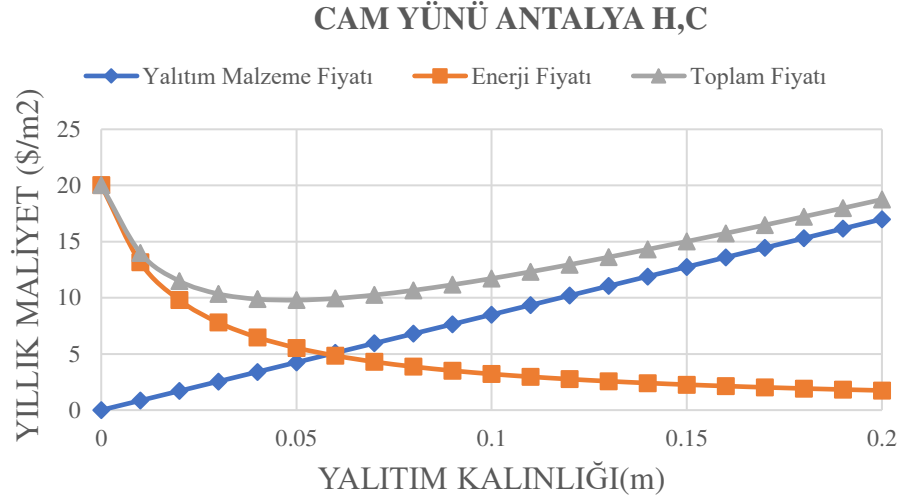
Şekil 5.3.81 Antalya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.82)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.031 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 14.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



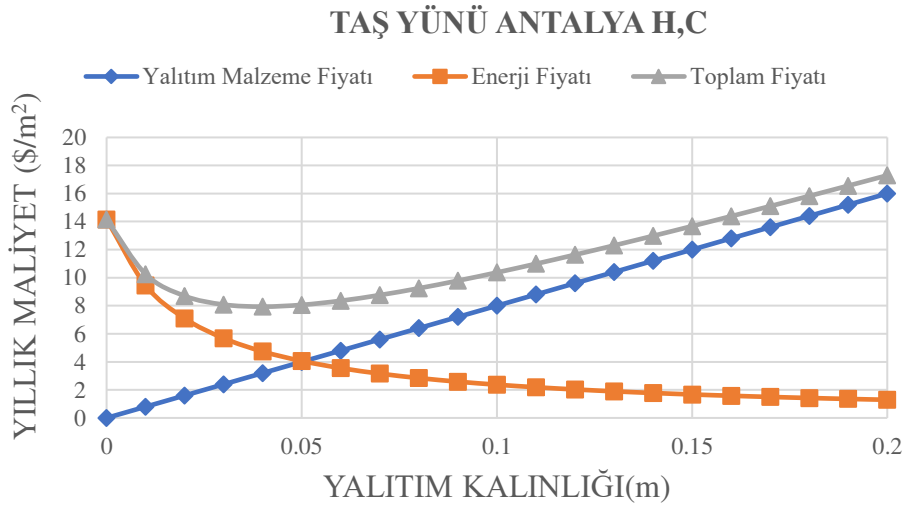
Şekil 5.3.82 Antalya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.83)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.05 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 9.8 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



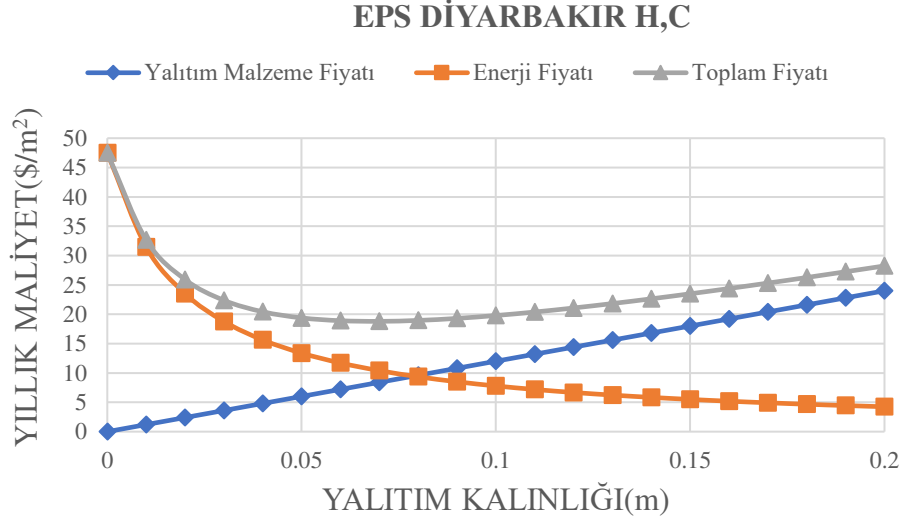
Şekil 5.3.83 Antalya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.84)'de gösterilen Antalya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.06 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 8.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



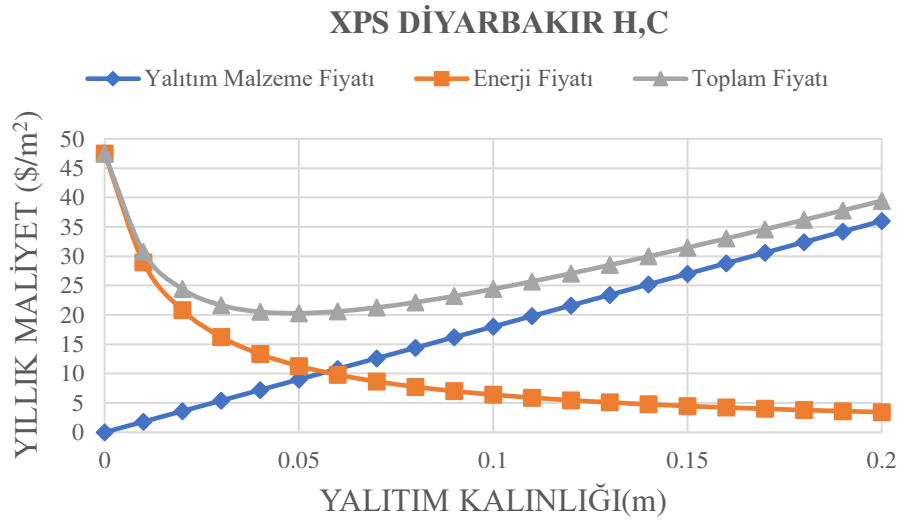
Şekil 5.3.84 Antalya taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.85)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.068 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 18.8 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.85 Diyarbakır EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

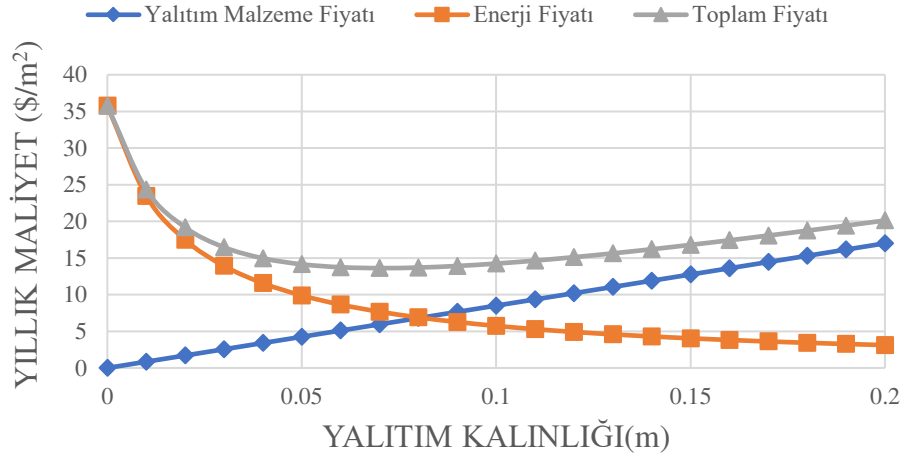
Şekil (5.3.86)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.048 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 20.3 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.86 Diyarbakır XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.87)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.084 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 13.7 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.

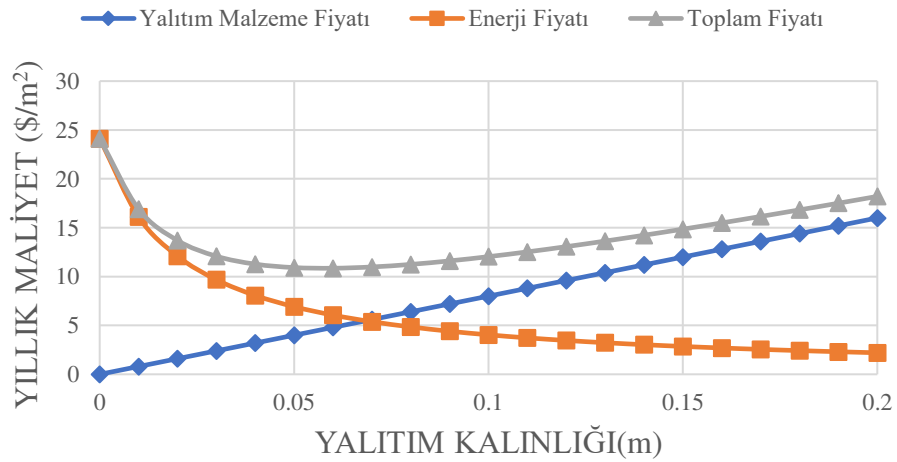
CAM YÜNÜ DİYARBAKIR H,C



Şekil 5.3.87 Diyarbakır cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

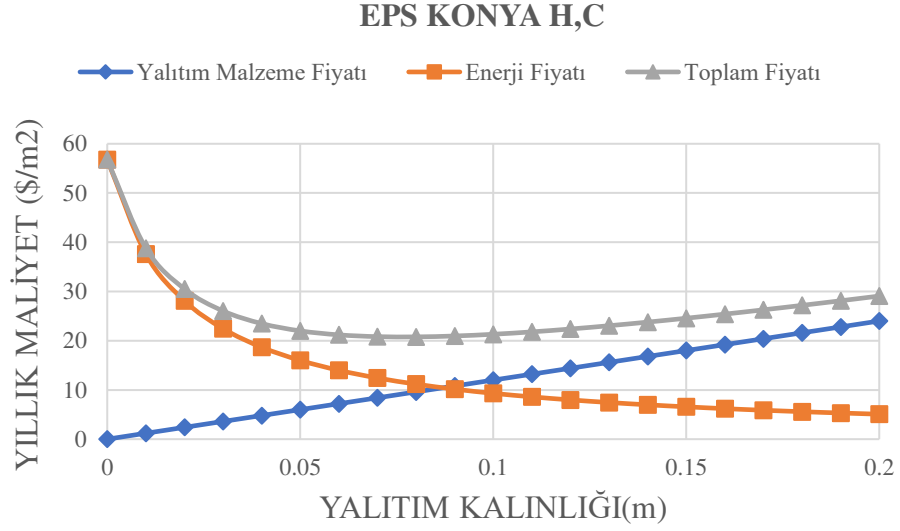
Şekil (5.3.88)'de gösterilen Diyarbakır şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.086 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 11.2 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.

TAŞ YÜNÜ DİYARBAKIR H,C



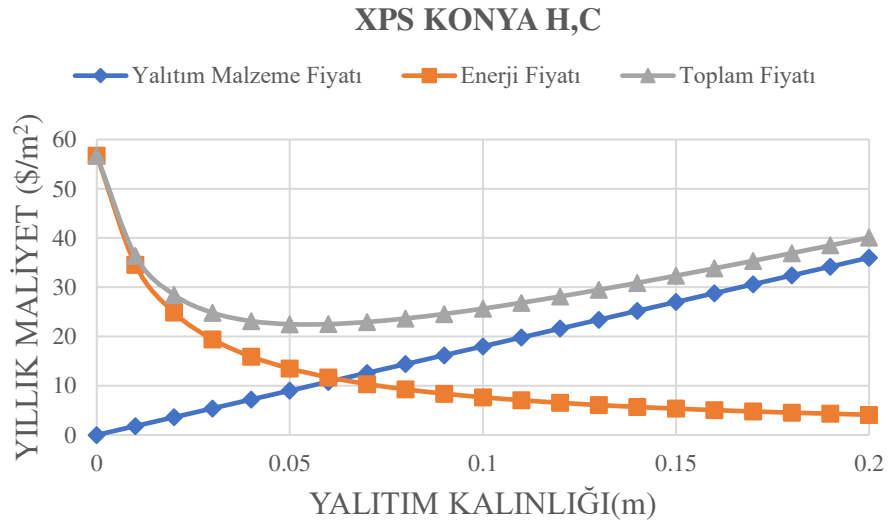
Şekil 5.3.88 Diyarbakır taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.4.89)'da gösterilen Konya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.076 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 20.7 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



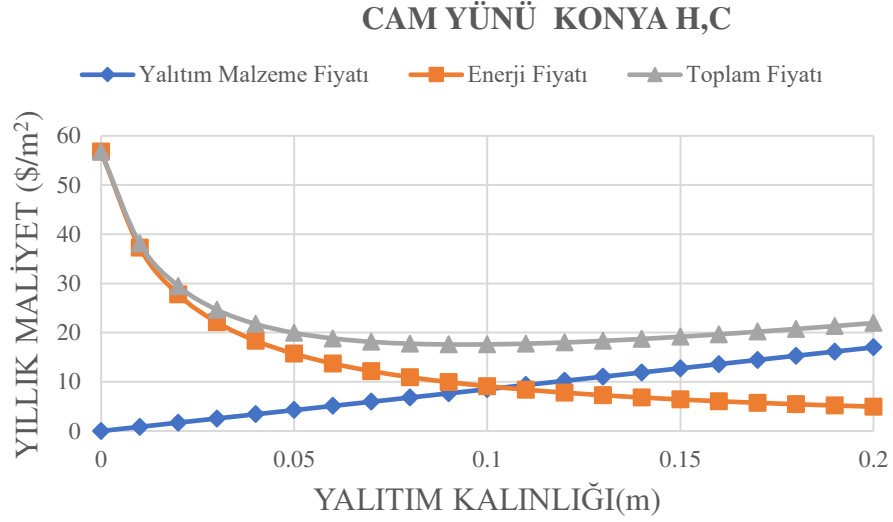
Şekil 5.3.89 Konya EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.90)'da gösterilen Konya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.054 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 22.5 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



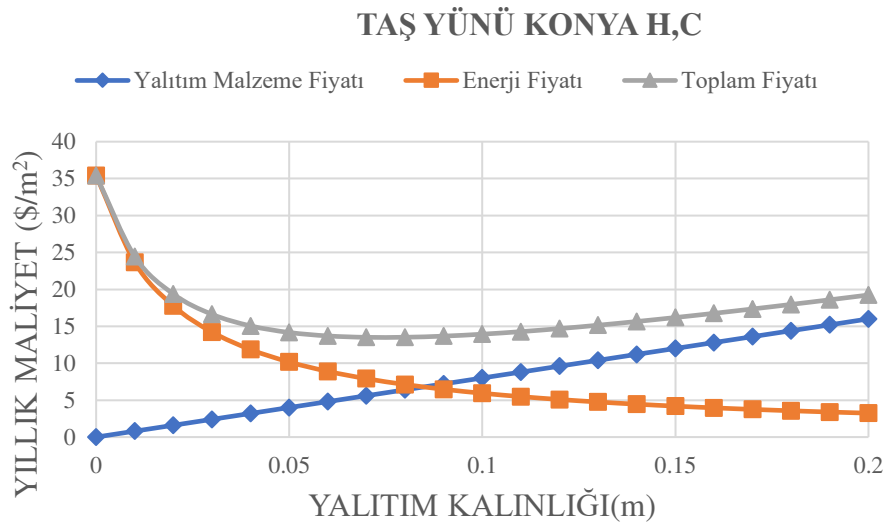
Şekil 5.3.90 Konya XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.91)'de gösterilen Konya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.09 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 17.6 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



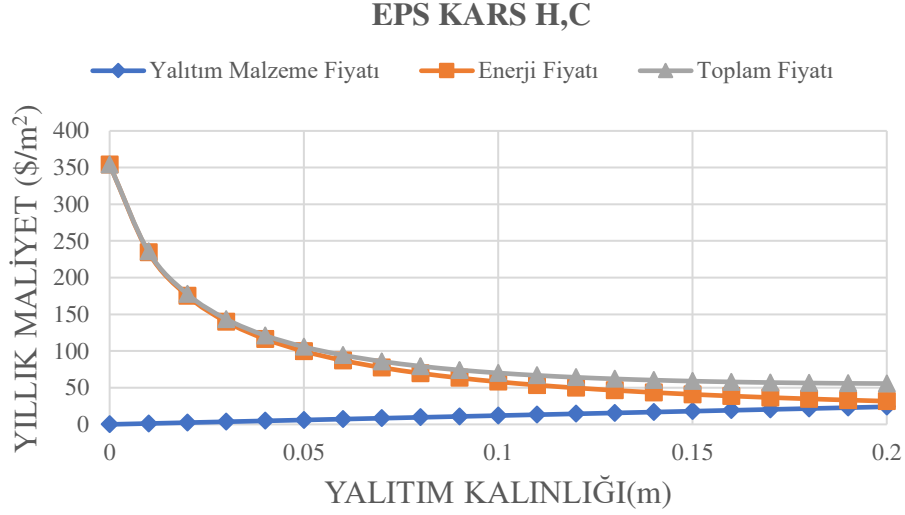
Şekil 5.3.91 Konya cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.92)'de gösterilen Konya şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.1 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 13.9 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



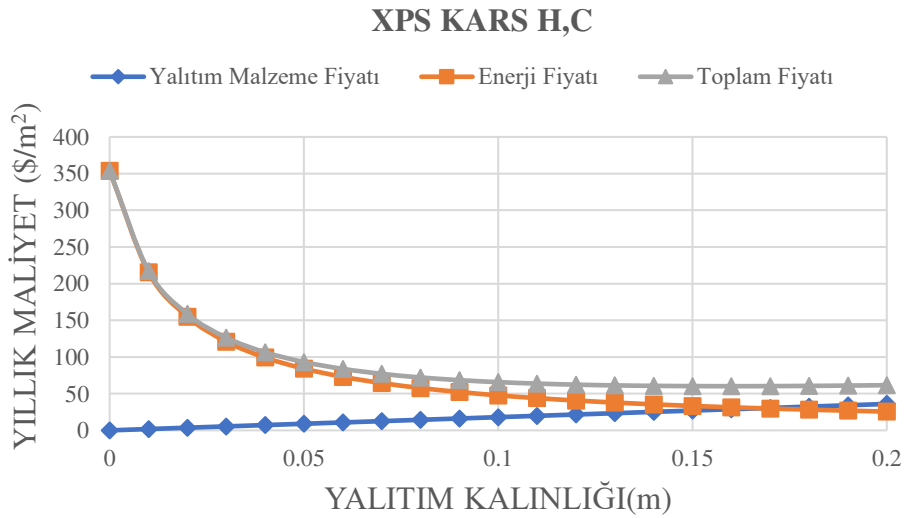
Şekil 5.3.92 Konya Taş Yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.93)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.2 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 55.6 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



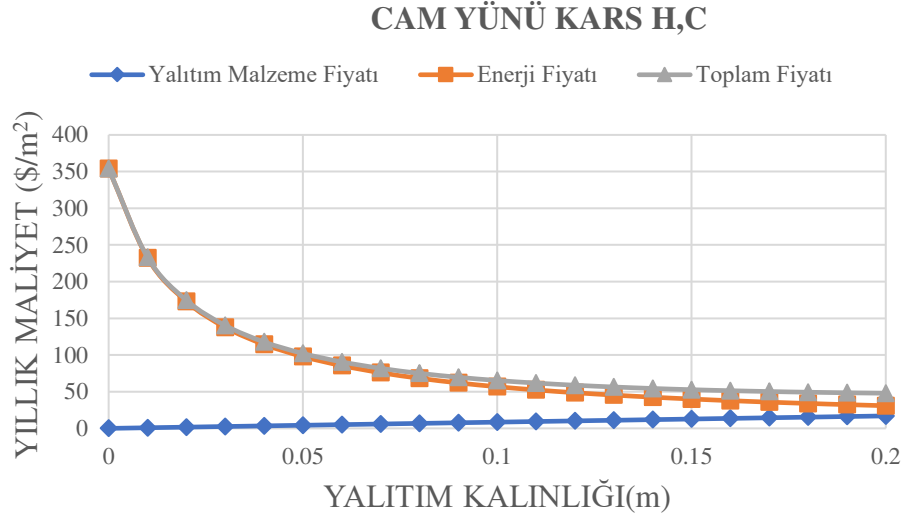
Şekil 5.3.93 Kars EPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.94)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.16 m civarında olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 60.2 $\$/m^2$ civarında olduğu gözlemlenmektedir.



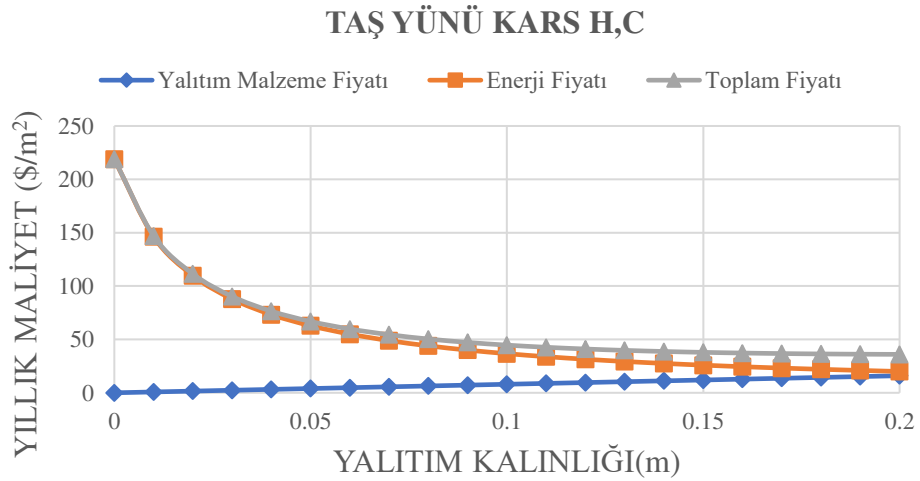
Şekil 5.3.94 Kars XPS için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.95)'de gösterilen Kars şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.2 metrenin üzerinde olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 50 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.95 Kars cam yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

Şekil (5.3.96)'da gösterilen Kars şehri için ısıtmada Kömür soğutmada elektrik enerjisi ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde optimum kalınlık değeri 0.2 metrenin üzerinde olduğu ve yıllık toplam maliyetin ise, 40 \$/m² civarında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3.96 Kars taş yünü için yalıtım kalınlıklarına göre yıllık maliyet

5.4 Çevresel Etki Değerleri

Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars şehirlerinde yakıt olarak ısıtmada doğalgaz, Fueloil ve kömür, soğutmada ise elektrik enerjisi kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak taş yünü, cam yünü, XPS ve EPS kullanılmış olup, üretim, paketlenme ve üretildiği yerden ilgili illere karayolu ile taşınması sonucunda açığa çıkan CO₂ eşdeğeri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada birim fonksiyon olarak 1 kWh alınmıştır. Tablo (5.1)'de Yalıtım malzemelerinin 1 kg üretim ve paketlenme sürecinde oluşan toplam CO₂ miktarının eşdeğeri belirtilmiştir.

Tablo 5.4.1 Yalıtım malzemelerinin üretim ve paketlenme kgCO₂ eşdeğeri

EPS	XPS	Cam Yünü	Taş Yünü
(kgCO₂)	(kgCO₂)	(kgCO₂)	(kgCO₂)
2.4	4.34	2.77	2.71

Tablo (5.2)'de Yalıtım malzemelerinin bir(1) kilogramının Gebze'de üretim ve paketlenme sürecinden sonra, Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars şehirlerine karayolu ile taşınmasındaki oluşan toplam CO₂ miktarının eşdeğeri belirtilmiştir.

Tablo 5.4.2 Yalıtım malzemelerinin üretim, paketlenme ve taşımadaki kgCO₂ eşdeğeri

Şehirler	EPS	XPS	Cam Yünü	Taş Yünü
	(kgCO₂)	(kgCO₂)	(kgCO₂)	(kgCO₂)
Antalya	2.54	4.48	2.91	2.85
Diyarbakır	2.70	4.64	3.07	3.01
Konya	2.54	4.48	2.91	2.85
Kars	2.70	4.64	3.07	3.01

Tablo 5.4.3 ile Tablo 5.4.14 arasında belirtilen tablolarda, küresel ısınma potansiyeli değeri Sima Pro yazılımı veri tabanında yer alan ve kullanılan her yakıt tipi için farklı katsayılar kullanılarak çalışmada belirtilen optimum yalıtım kalınlıklarındaki malzemelerin kilogram karşılığı değerleridir. Yine önlenen çevresel etki değerleri (Ö.Ç.E), yalıtım malzemesi uygulandığı durumda on yıllık süre boyunca elde edilen net kazancın Sima Pro yazılımı veri tabanında belirlenen katsayıyla çarpılıp, hesaplanması sonucunda elde edilmiştir. Çevresel geri ödeme süreleri ise küresel ısınma potansiyel değerinin önlenen çevresel etki değerine bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tablo 5.4.3 Doğalgaz-taş yünü çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	Ö.Ç.E _H	Ö.Ç.E _C	Ö.Ç.E _{H,C}	GWP H Etkisi	PP LCA _H	GWP C Etkisi	PP LCA _C	GWP H,C Etkisi	PP LCA _{H,C}
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.052	0.034	0.059	11.27	3.25	16.54	5.94	0.53	3.88	1.19	6.74	0.41
Diyarbakır	0.081	0.036	0.087	24.83	3.4	26.04	9.74	0.39	4.33	1.27	10.47	0.4
Konya	0.096	0.014	0.097	33.84	0.39	33.62	10.94	0.32	1.6	4.09	11.05	0.33
Kars	0.13	0.002	0.013	59.64	0.1	60.81	15.63	0.26	0.24	2.4	1.56	0.03

Tablo 5.4.4 Doğalgaz-cam yünü çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	Ö.Ç.E _H	Ö.Ç.E _C	Ö.Ç.E _{H,C}	GWP H Etkisi	PP LCA _H	GWP C Etkisi	PP LCA _C	GWP H,C Etkisi	PP LCA _{H,C}
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.049	0.032	0.056	11.24	2.54	14.38	3.43	0.3	2.24	0.88	3.92	0.27
Diyarbakır	0.076	0.034	0.082	24.01	4.45	30.7	5.6	0.23	2.5	0.56	6.04	0.2
Konya	0.09	0.01	0.09	33.76	0.4	34.73	6.28	0.19	0.7	1.75	6.28	0.18
Kars	0.12	0.001	0.12	59.41	0.1	60.58	8.83	0.15	0.07	0.74	8.83	0.15

Tablo 5.4.5 Doğalgaz-XPS çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_H$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_C$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_{H,C}$	GWP H Etkisi	PP LCA_H	GWP C Etkisi	PP LCA_C	GWP H,C Etkisi	PP $LCA_{H,C}$
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.026	0.02	0.031	9.77	3.67	15.94	3.26	0.33	2.51	0.68	3.89	0.24
Diyarbakır	0.043	0.021	0.047	22.69	4.17	28.03	5.58	0.25	2.73	0.65	6.1	0.22
Konya	0.052	0.008	0.053	31.49	0.46	32.56	6.52	0.21	1	2.18	6.65	0.2
Kars	0.073	0.001	0.073	56.75	0.1	57.92	9.47	0.17	0.13	1.3	9.47	0.16

Tablo 5.4.6 Doğalgaz-EPS çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_H$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_C$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_{H,C}$	GWP H Etkisi	PP LCA_H	GWP C Etkisi	PP LCA_C	GWP H,C Etkisi	PP $LCA_{H,C}$
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.038	0.027	0.044	10.31	3.29	15.32	1.55	0.15	1.1	0.33	1.79	0.12
Diyarbakır	0.062	0.029	0.067	23.48	2.94	29.72	2.68	0.11	1.25	0.43	2.89	0.1
Konya	0.074	0.01	0.075	32.35	0.78	33.27	3.01	0.09	0.41	0.52	3.05	0.09
Kars	0.1	0.001	0.1	57.58	0.1	58.74	4.31	0.07	0.04	0.43	4.31	0.07

Tablo 5.4.7 Fuel-oil- taş yünü çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_H$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_C$	$\ddot{O}.\ddot{C}.E_{H,C}$	GWP H Etkisi	PP LCA_H	GWP C Etkisi	PP LCA_C	GWP H,C Etkisi	PP $LCA_{H,C}$
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.08	0.034	0.086	17.09	3.91	22.66	9.13	0.53	3.88	0.99	9.82	0.43
Diyarbakır	0.12	0.03	0.13	36.22	4.45	43.06	14.44	0.4	3.61	0.81	15.64	0.36
Konya	0.14	0.014	0.14	48.96	0.39	49.99	15.95	0.33	1.6	0.04	15.95	0.32
Kars	0.19	0.012	0.19	85.21	0.1	86.37	22.84	0.27	1.44	14.43	22.84	0.26

Tablo 5.4.8 Fuel-oil- cam yünü çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	Ö.Ç.E _H	Ö.Ç.E _C	Ö.Ç.E _{H,C}	GWP H Etkisi	PP LCA _H	GWP C Etkisi	PP LCA _C	GWP H,C Etkisi	PP LCA _{H,C}
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.07	0.03	0.08	16.22	3.99	21.92	4.9	0.3	2.1	0.53	5.6	0.26
Diyarbakır	0.11	0.03	0.11	36.03	4.54	42.36	8.1	0.22	2.21	0.49	8.1	0.19
Konya	0.13	0.013	0.13	48.49	0.39	49.51	9.08	0.19	0.91	2.33	9.08	0.18
Kars	0.18	0.001	0.18	85.18	0.1	86.35	13.24	0.16	0.07	0.74	13.24	0.15

Tablo 5.4.9 Fuel-oil- XPS çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	Ö.Ç.E _H	Ö.Ç.E _C	Ö.Ç.E _{H,C}	GWP H Etkisi	PP LCA _H	GWP C Etkisi	PP LCA _C	GWP H,C Etkisi	PP LCA _{H,C}
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.044	0.02	0.046	15.79	3.67	20.94	5.52	0.35	2.51	0.68	5.78	0.28
Diyarbakır	0.067	0.021	0.07	34.31	4.17	40.67	8.7	0.25	2.73	0.65	9.09	0.22
Konya	0.08	0.008	0.08	46.86	0.46	47.84	10.03	0.21	1	2.18	10.03	0.21
Kars	0.11	0.001	0.11	82.53	0.1	83.7	14.28	0.17	0	0	14.28	0.17

Tablo 5.4.10 Fuel-oil- EPS çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	Ö.Ç.E _H	Ö.Ç.E _C	Ö.Ç.E _{H,C}	GWP H Etkisi	PP LCA _H	GWP C Etkisi	PP LCA _C	GWP H,C Etkisi	PP LCA _{H,C}
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.06	0.027	0.066	16.12	3.23	21.58	2.44	0.15	1.1	0.34	2.69	0.12
Diyarbakır	0.094	0.029	0.098	34.99	4.49	47.68	4.06	0.12	1.25	0.28	4.23	0.09
Konya	0.11	0.001	0.11	47.52	0.39	48.52	4.47	0.09	0.04	0.1	4.47	0.09
Kars	0.15	0.001	0.15	83.33	0.1	84.5	6.47	0.08	0.04	0.43	6.47	0.08

Tablo 5.4.11 Kömür- taş yünü çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	$\ddot{O}.Ç.E_H$	$\ddot{O}.Ç.E_C$	$\ddot{O}.Ç.E_{H,C}$	GWP H Etkisi	PP LCA_H	GWP C Etkisi	PP LCA_C	GWP H,C Etkisi	PP $LCA_{H,C}$
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.053	0.034	0.06	31.43	3.25	36.08	6.05	0.19	3.88	1.19	6.85	0.19
Diyarbakır	0.082	0.036	0.86	69.66	3.7	75.6	9.86	0.14	4.33	1.17	103.46	1.37
Konya	0.1	0.01	0.1	96.09	0.39	97.06	11.4	0.12	1.14	2.92	11.4	0.12
Kars	0.13	0.002	0.13	100.4	0.1	101.6	15.63	0.16	0.24	2.4	15.63	0.15

Tablo 5.4.12 Kömür- cam yünü çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	$\ddot{O}.Ç.E_H$	$\ddot{O}.Ç.E_C$	$\ddot{O}.Ç.E_{H,C}$	GWP H Etkisi	PP LCA_H	GWP C Etkisi	PP LCA_C	GWP H,C Etkisi	PP $LCA_{H,C}$
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.05	0.03	0.05	31.89	3.34	36.84	3.5	0.11	2.1	0.63	3.5	0.09
Diyarbakır	0.078	0.034	0.084	68.48	3.8	78.36	5.74	0.08	2.5	0.66	6.18	0.08
Konya	0.09	0.01	0.09	95.2	0.39	96.26	6.28	0.07	0.7	1.79	6.28	0.07
Kars	0.12	0.001	0.12	167.5	0.1	168.7	8.83	0.05	0.07	0.74	8.83	0.05

Tablo 5.4.13 Kömür- XPS çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	$\ddot{O}.Ç.E_H$	$\ddot{O}.Ç.E_C$	$\ddot{O}.Ç.E_{H,C}$	GWP H Etkisi	PP LCA_H	GWP C Etkisi	PP LCA_C	GWP H,C Etkisi	PP $LCA_{H,C}$
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.027	0.02	0.031	27.94	3.67	61.66	3.39	0.12	2.51	0.68	3.89	0.06
Diyarbakır	0.045	0.027	0.048	62.73	4.89	72.12	5.84	0.09	3.51	0.72	6.23	0.09
Konya	0.054	0.008	0.054	89.56	0.46	90.45	6.77	0.08	1	2.18	6.77	0.07
Kars	0.075	0.001	0.075	160.1	0.1	163.7	9.73	0.06	0.13	1.3	9.73	0.06

Tablo 5.4.14 Kömür- EPS çevresel etki değerleri

Şehirler	X_{optH}	X_{optC}	$X_{optH,C}$	$\ddot{O}.Ç.E_H$	$\ddot{O}.Ç.E_C$	$\ddot{O}.Ç.E_{H,C}$	GWP H Etkisi	PP LCA_H	GWP C Etkisi	PP LCA_C	GWP H,C Etkisi	PP $LCA_{H,C}$
	(m)	(m)	(m)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)	(kgCO ₂)	(Yıl)
Antalya	0.039	0.027	0.045	29.33	3.94	35.07	1.59	0.05	1.1	0.28	1.83	0.05
Diyarbakır	0.063	0.029	0.068	65.7	3.9	73.9	2.72	0.04	1.25	0.32	2.93	0.04
Konya	0.076	0.1	0.076	91.74	0.39	92.66	3.09	0.03	4.06	10.42	3.09	0.03
Kars	0.1	0.001	0.1	162.4	0.1	163.53	4.31	0.02	0.04	0.43	4.31	0.03

Tablo (5.1) ve tablo (5.4.3)'de belirtilen illerde ısınma için doğalgaz kullanılmıştır. Binalarda yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılması durumunda yapılan ekonomik analizde; Antalya ilinden sırasıyla Diyarbakır, Konya ve Kars illerine doğru gidildikçe yalıtımsız binalara karşın, binalarda yalıtımın uygulanması durumunda ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.8, %38.95 ve %52.43 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Yapılan çevresel analiz sonuçlarında ise; yalıtım malzemesinin üretim aşamasından transfer ve binalarda uygulama aşamasına kadar toplam küresel ısınmaya olan katkısı Antalya ilinden sırasıyla Diyarbakır, Konya ve Kars illerine doğru gidildikçe %64, %84 ve %163 oranında artmış olup, yalıtım uygulanması sonucunda hesaplanan enerji tasarrufundan kaynaklı önlemiş olduğumuz çevresel etki değerleri sırasıyla %120, %200 ve %429 oranında artmıştır. Ayrıca çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %27, %40 ve %51 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Tablo (5.2) ve tablo (5.4.4)'de ısınma için doğalgaz ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %29.1, %38.43 ve %52.61 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %63, %83 ve %157 oranında artmıştır. Önlenecek çevresel etki değerleri sırasıyla %113, %200 ve %428 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %24, %37 ve %50 oranında azalmıştır.

Tablo (5.3) ve tablo (5.4.5)'de ısınma için doğalgaz ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.57, %37.14 ve %52.28 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %71, %100 ve %190 oranında artmıştır. Önlenecek çevresel etki değerleri sırasıyla %132, %222 ve %480 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %24, %27 ve %49 oranında azalmıştır.

Tablo (5.4) ve tablo (5.4.6)'da ısınma için doğalgaz ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.43, %37.81 ve %52.18 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %73, %94 ve %178 oranında artmıştır. Önlenecek çevresel etki değerleri sırasıyla %128, %213 ve %458 oranında

artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %27, %40 ve %54 oranında azalmıştır.

Tablo (5.5) ve tablo (5.4.7)'de ısınma için fueloil ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.43, %37.81 ve %52.18 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %73, %94 ve %178 oranında artmıştır. Önlenebilir çevresel etki değerleri sırasıyla %128, %213 ve %458 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %27, %40 ve %54 oranında azalmıştır.

Tablo (5.6) ve tablo (5.4.8)'de ısınma için fueloil ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.79, %36.64 ve %52.87 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %65, %85 ve %170 oranında artmıştır. Önlenebilir çevresel etki değerleri sırasıyla %122, %198 ve %425 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %26.6, %36.6 ve %46.6 oranında azalmıştır.

Tablo (5.7) ve tablo (5.4.9)'da ısınma için fueloil ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.96, %38.49 ve %52.38 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %57, %81 ve %158 oranında artmıştır. Önlenebilir çevresel etki değerleri sırasıyla %117, %196 ve %422 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %28.57, %40 ve %51.42 oranında azalmıştır.

Tablo (5.8) ve tablo (5.4.10)'da ısınma için fueloil ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.69, %38.26 ve %52.17 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %66, %83 ve %165 oranında artmıştır. Önlenebilir çevresel etki değerleri sırasıyla %117, %194 ve %417 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %20, %40 ve %46.6 oranında azalmıştır.

Tablo (5.9) ve tablo (5.4.11)'de ısınma için kömür ve yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.69, %38.26 ve %52.17 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %63, %88 ve %158 oranında artmıştır. Önlenecek çevresel etki değerleri sırasıyla %121, %205 ve %434 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %26.3, %36.84 ve %47.36 oranında azalmıştır.

Tablo (5.10) ve tablo (5.4.12)'de ısınma için kömür ve yalıtım malzemesi olarak cam yünü kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %28.07, %37.69 ve %51.92 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %64, %79 ve %152 oranında artmıştır. Önlenecek çevresel etki değerleri sırasıyla %114, %198 ve %425 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %27.2, %36.3 ve %54.5 oranında azalmıştır.

Tablo (5.11) ve tablo (5.4.13)'de ısınma için kömür ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %26.47, %37.05 ve %51.76 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %72, %99 ve %187 oranında artmıştır. Önlenecek çevresel etki değerleri sırasıyla %124, %220 ve %473 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %25, %33.3 ve %50 oranında azalmıştır.

Tablo (5.12) ve tablo (5.4.14)'de ısınma için kömür ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımında ekonomik geri ödeme süreleri sırasıyla %27.41, %36.77 ve %50.96 oranında azalmış olup, küresel ısınmaya olan katkıları %71, %94 ve %171 oranında artmıştır. Önlenecek çevresel etki değerleri sırasıyla %124, %212 ve %453 oranında artmıştır. Çevresel geri ödeme süreleri ise sırasıyla %20, %40 ve %60 oranında azalmıştır. Bu oransal artışların tamamı sıcak iklim bölgelerinden soğuk iklim bölgelerine doğru gidildikçe binalarda yalıtım malzemesi kullanımının hem ekonomik hem de çevresel etkilerin faydalı bir şekilde arttığının sonucudur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada TS 825'e göre belirlenen Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars illeri için, Doğal gaz Fuel-oil ve Kömür yakıt türleri kullanılarak, taş yünü, cam yünü, XPS ve EPS yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanarak, ekonomik ve yaşam döngü değerlendirme analizleri yapılmıştır. Tüm şehirler için hem ekonomik analiz hem de çevresel analizler (LCA) sonuçlarına göre ısıtmada en uygun yakıt türünün doğal gaz olduğu belirlenmiştir. Doğal gaz kullanımında en uygun yalıtım malzemesinin Antalya ili için 0.052 m optimum yalıtım kalınlığına sahip taş yünüdür. Ekonomik geri ödeme süresi (PP_H) ve çevresel geri ödeme süresi (PP_{LCA}) sırasıyla 2.67 yıl ve 0.53 yıldır. Yalıtım malzemesinin üretim-transfer ve uygulama aşamalarında oluşan toplam GWP değeri 5.94 kgCO₂ eşdeğerindedir.

Isıtmada doğal gaz kullanımında Diyarbakır ili için 0.081 m optimum yalıtım kalınlığına sahip taş yünüdür. Ekonomik geri ödeme süresi (PP_H) ve çevresel geri ödeme süresi (PP_{LCA}) sırasıyla 1.9 yıl ve 0.39 yıldır. Yalıtım malzemesinin üretim-transfer ve uygulama aşamalarında oluşan toplam GWP değeri 9.74 kgCO₂ eşdeğerindedir.

Isıtmada doğal gaz kullanımında Konya ili için 0.096 m optimum yalıtım kalınlığına sahip taş yünüdür. Ekonomik geri ödeme süresi (PP_H) ve çevresel geri ödeme süresi (PP_{LCA}) sırasıyla 1.63 yıl ve 0.32 yıldır. Yalıtım malzemesinin üretim-transfer ve uygulama aşamalarında oluşan toplam GWP değeri 10.94 kgCO₂ eşdeğerindedir.

Isıtmada doğal gaz kullanımında Kars ili için 0.13 m optimum yalıtım kalınlığına sahip taş yünüdür. Ekonomik geri ödeme süresi (PP_H) ve çevresel geri ödeme süresi (PP_{LCA}) sırasıyla 1.27 yıl ve 0.26 yıldır. Yalıtım malzemesinin üretim-transfer ve uygulama aşamalarında oluşan toplam GWP değeri 15.63 kgCO₂ eşdeğerindedir.

Bu sonuçlar ışığında TS 825'e göre birinci bölgeden dördüncü bölgeye doğru gidildikçe bina duvarlarına uygulanan yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan ekonomik analizler neticesinde geri ödeme süreleri (PP_H) ve çevresel geri ödeme süreleri (PP_{LCA}) birinci bölgeden

dördüncü bölgeye doğru gidildikçe azalmıştır. Geri ödeme sürelerine ulaştıktan sonra malzemenin ömrü boyunca geri kalan süre ekonomik ve çevresel olarak kar sağlamıştır. Birinci bölgeden dördüncü bölgeye doğru gidildikçe optimum yalıtım kalınlıklarının artmasından kaynaklı yalıtım malzemesinin üretim-transfer ve uygulama aşamalarında oluşan GWP değerleri artmıştır. Bu sonuçlara göre, TS 825'e göre farklı bölgelerde bulunan Antalya, Diyarbakır, Konya ve Kars illeri için yapılan ekonomik ve çevresel geri ödeme süreleri bakımından ısıtmada dört il için en geç ekonomik geri ödeme süresini tamamlayan ve çevreye en fazla CO₂ salınımı yapan yakıt türünün kömür ve bu hedefe en geç ulaşan yalıtım malzemesinin XPS olmasına karşın, ekonomik geri ödeme süresine ulaşan en uygun yakıt tipinin doğal gaz, binayı ısıtmak için doğal gaz yakıtı kullanıldığında bina duvarı için yapılacak yalıtım uygulamalarında önerilebilecek en uygun yalıtım malzemesinin her dört il için de taş yünü olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Öztuna, S. ve Dereli, E., (2009). Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi, Trakya Univ J Sci, 10, 2, 139-147.
- [2] World Comission on Environment and Development, 1987, <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- [3] Kohler, N. (1999). “The relevance of Green Building Challenge: an Observer’s Perspective”, Building Research and Information, 27 (4/5): 309-320
- [4] European Commission, (2006). https://commission.europa.eu/index_en
- [5] Levin, H. (1997)., “Systematic evaluation and assessment of building environmental performance (SEABEP)”, Proceedings of Second International Conference Buildings and the Environment, Paris, 3-10
- [6] Ortiz, O., Bonnet, C., Bruno, J.C., Castells, F. (2009). “Sustainability based on LCM of residential dwellings: a case study in Catalonia, Spain”, Building and Environment, 44 (3): 584-594
- [7] Asif, M., Muneer, T., Kelley, R. (2007)., “Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland”, Building and Environment, 42: 1391-1394
- [8] Topçuoğlu, K., (2017). Yalıtım Teknolojisi, 2. basım, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- [9] Ertürk, M., (2016). Bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve hava boşluğu kullanımının, birim alandaki enerji tasarrufu ve kişi başı emisyon hesaplamalarında yeni bir yaklaşım, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31, 2, 395-406.
- [10] Liu, X., Chen, Y., Ge, H., Fazio, P. ve Chen, G., (2015). Determination of optimum insulation thickness of exterior wall with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China, Procedia Engineering, 121, 1008-1015.
- [11] Özel, M., (2011). “Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method”, Applied Energy, 88: 2429-2435.
- [12] Daouas, N., (2010). “A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads”, Applied Energy, 88: 156-164.

- [13] Kürekçi, A., Bardakçı, A., D., Çubuk, H. ve Emanet, Ö., (2012). “Türkiye’nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 131: 5-21.
- [14] Bolattürk, A., (2008). “Optimum Insulation Thickness for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey”, Building and Environment, 43: 1055-1064.
- [15] Mehmet Kadri AKYÜZ.(2020). The Effect of Optimum Insulation Thickness on Energy Saving and Global Warming Potential, Turkish Journal of Nature and Science, ORCID No: 0000-0003-0229-2943
- [16] Winther, M., (2008). “New national Emission inventory for navigation in Denmark”, Atmospheric Environment, 42, 4632-4655
- [17] Eray Bozkurt, (2007) Life Cycle Assessment (Lca) Based Home Rating Model For Izmir (Hrm-Izmir), A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor Of Philosophy in Architecture
- [18] Özge Babalık, (2022) Geri Dönüştürülmüş Agrega Kullanımının Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Yöntemi İle Değerlendirmesi Yüksek Lisans Tezi
- [19] Mehmet Kadri Akyüz, (2021) Determining economic and environmental impact of insulation by thermoeconomic and life cycle assessment analysis for different climate regions of Turkey, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 43:7, 829-851, DOI: 10.1080/15567036.2020.1813223
- [20] Demirer, G. (2011). Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve Uygulama Örnekleri. Çevre Alanında Kapasite Geliştirme Projesi Entegre Ürün Politikaları ve Sürdürülebilir Kaynak Yönetimi, Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye, İstanbul.
- [21] Canay Çamur, (2010) Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara Isı Yalıtım Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemiyle Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi Yükses Lisans Tezi.
- [22] Meral Özel,(2011) Department of Mechanical Engineering, Firat University, 23279 Elazığ, Turkey .Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials. Applied Thermal Engineering 31 (2011) 3854e3863.

- [23] T.M.I. Mahlia, A. Iqbal, (2010). Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls Maldives, *Energy* 35 ,2242e2250.
- [24] S.A. Al-Sanea, M.F. Zedan, S.A. Al-Ajlan, (2003). Heat transfer characteristics and optimum insulation thickness for cavity walls, *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 26 ,285e307.
- [25] Cenker Aktemur, Uğur Atikol,(2017) Optimum Insulation Thickness for the Exterior Walls of Buildings in Turkey Based on Different Materials, *Energy Sources and Climate Regions . International Journal Of Engineering Technologies-I jet* Cenker Aktemur et al., Vol.3, No.2, 2017.
- [26] N. Sisman, E. Kahya , N. Aras & H. Aras, "Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions", *Energy Policy*, vol. 35, pp. 5151-5155, 2007.
- [27] Ashrae, *Ashrae Handbook- Fundamentals (SI)*, (2001). Energy estimating and modeling methodschapter 31.
- [28] Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T.(2000), Türkiye'nin bazı illeri için derece-gün değerleri, 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, sayfa 107-112, Sakarya
- [29] Hüsamettin Bulut , Orhan Büyükalaca , Tuncay Yılmaz , Ulıbt'07 16. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran 2007, Kayseri Türkiye İçin Isıtma Ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri.
- [30] Özel, G., Açıkkalp, E., Karakoc, T.H., Hepbasli, A., (2014). Novel method for de-termining optimum insulation thickness of a piping system. In: 1th International Conference on Energy (ICOE 2014), Colombo, Sri Lanka.
- [31] Evin, D., and A. Ucar. (2019). Energy impact and eco-efficiency of the envelope insulation in residential buildings in Turkey. *Applied Thermal Engineering* 154:57384. doi:10.1016/j.applthermaleng. 2019.03.102.
- [32] Kallioğlu, M. A., U. Ercan, A. S. Avcı, C. Fidan, and H. Karakaya. (2020). Empirical modeling between degree days and optimum insulation thickness for external wall. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 42 (11):1314–34. doi:10.1080/15567036.2019.1651797.
- [33] TSE (Turkish Standards Institution). TS 825: Thermal Insulation in Buildings; 1998.

- [34] A. Aytac, U.T. Aksoy, (2006). Enerji Tasarrufu İçin Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi, J. Gazi Univ. Fac. Eng. Archit. 21 (2006) 753–758.
- [35] R.G. Oğulata, (2002). Sectoral energy consumption in Turkey, Renew. Sustainable Energy Rev. 6 (2002) 471–480.
- [36] Ertürk, M. 2017. A new model for exergetic optimum insulation thickness. International Journal of Exergy 22 (4):309–30. doi:10.1504/IJEX.2017.083945.
- [37] N. Daouas, Z. Hassen & H. B. Aissia,(2010). "Analytical period solution for the study of thermal performance and optimum insulation thickness of building walls in Tunisia", Appl Thermal Eng, vol. 30, pp. 319–326
- [38] A. Uçar & F. Balo,(2010). "Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls", Renewable Energy, vol. 35, pp. 88-94
- [39] Natural Gas Equipment Manufacturers and Businessmen Association, webpage,(<http://www.dosider.org>).
- [40] Aydın N, Biyikoğlu A. (2020). Determination of Optimum Insulation Thickness by Life-Cycle Cost Analysis for Residential Buildings in Turkey. Science and Technology for the Built Environment. (just-accepted), 2020;1-19.
- [41] K. Çomaklı & B. Yüksel, "Optimum insulation thickness of external walls for energy saving", Applied Thermal Engineering, vol. 23, pp. 473–479, 2003.
- [42] M. Gölcü, A. Dombaycı & S. Abalı, (2006). "Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları", Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak.Dergisi, vol. 21, pp. 639-644
- [43] Pusat Ş, Ekmekçi İ, DüNDAR AÇ, Ermiş K, Şen Y. (2014). İstanbul İçin Tipik Meteorolojik Yıl ve Derece-Saat Hesabı. 2.Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi Oct. 23-25 2014, Balıkesir, Turkey.
- [44] Nematchoua MK, Ricciardi P, Reiter S, Yvon A. (2017). A comparative study on optimum insulation thickness of walls and energy savings in equatorial and tropical climate. International Journal of Sustainable Built Environment 2017;6:170–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.02.001>
- [45] K. Kaygusuz, A. Kaygusuz, (2004). Energy and sustainable development part II: environmental impacts of energy use, Energy Sources 26 (2004) 1071–1082.

- [46] O. Kaynaklı, (2008). A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness, *Renew. Energy* 33 (2008) 1164–1172.
- [47] Khasreen, M. M., Banfill, P. F., & Menzies, G. F. (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674-701.
- [48] Curran, M.A., “Life cycle assesment: principles and practice (2006).”, EPA/600/R-06/060 U. S. Environmental Protection Agency, Ohio, 1-54
- [49] Hunt, R., Franklin, W.E., (1996). “LCA – How it came about. personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1 (1): 4-7 (1996).
- [50] Mehmet Kadri Akyüz, (2018), Havalimanlarında Sürdürülebilir Enerji Yönetim Modeli <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [51] Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T.,... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.
- [52] ISO. (2006). 14040: Environmental management–life cycle assessment-principles and framework. London: British Standards Institution.
- [53] Tuna Taygun, G. (2005). “Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi”, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 1-2, 25-34, 45-124
- [54] Nuray Benli Yıldız ,(2017),Cam elyaf takviyeli beton (GFRC) cephe panelleri için yaşam döngü değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle bir sürdürülebilirlik çerçevesi geliştirilmesi. *Doktora Tezi*.
- [55] Paulsen, J., (2001). “Life cycle assessment for building products - the significance of the usage phase”, *Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm*, 1-9 (2001).
- [56] Çevre yönetimi-Hayat boyu değerlendirme-İlkeler ve çerçeve, TS EN ISO 14040 Türkiye, 2006.
- [57] Jensen, A.A., Hoffman, L., Moller, B., Schmit, A., Christiansen, K., Elkington, J., Dijk, F.V., (1997). “Life cycle assessment, a guide to approaches, experiences and information sources” *European Environment Agency, Denmark*, 13-14, 51-71

- [58] Gültekin, A.B., (2006). “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-27 (2006).
- [59] Goedkoop, M. J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. V. Z. R., & Van Zelm, R. (2009). A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level—Report I: Characterisation. Den Haag.
- [60] Lamnatou, C., & Chemisana, D. (2015). Evaluation of photovoltaic-green and other roofing systems by means of ReCiPe and multiple life cycle-based environmental indicators. *Building and environment*, 93, 376-384.
- [61] M. E. Schoen, X. Xue, A. Wood, T. R. Hawkins, J. Garland, and N. J. Ashbolt, (2017). "Cost, energy, global warming, eutrophication and local human health impacts of community water and sanitation service options", *Water Research*, vol. 109, pp. 186–195,
- [62] G. Akın,(2006). "Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları", Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, vol. 2, pp. 29–43,
- [63] <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672&dil=1>
- [64] B. Hekimoğlu ve M. Altindeğer, "Küresel Isınma ve İklim Değişikliği", Samsun İl Tarım Müdürlüğü, Türkiye, Rap. 2008.
- [65] M. Türkeş, Ö. L. Şen, L. Kurnaz, Ö. Madra ve Ü. Şahin,(2013). "Değişikliğinde son gelişmeler : IPCC 2013 Raporu"
- [66] PE International, (2017, 23 Mart). "GaBi Paper Clip Tutorial", [Online]. Available:http://www.gabi-software.com/fileadmin/GaBi_Manual/GaBi_Paperclip_tutorial_Part1.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

YAMAN, Uğur

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2022
Lisans		
Lise		

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2010-2024	Dicle Üniversitesi	Teknik Supervisor

Yabancı Dil

Almanca, İngilizce

Yayınlar

1. Isı pompası kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve ekonomik analizi, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/88767/1547522>

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Uğur YAMAN		
Öğrenci No	22818003		
Ana Bilim Dalı			
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof.Dr. Atilla G.DEVECİOĞLU		
Tez Başlığı	Farklı Derece Gün Bölgelerindeki Yapıların Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Enerji ve Çevresel Etki Analizi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	122		
Raporlama Tarihi	17.01.2025		
Benzerlik Oranı (%)	%14		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 122 sayfalık kısmına ilişkin, 17/01/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 14 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Uğur YAMAN

Tarih:

İmza:

Danışman: Prof.Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU

İmza:

Tarih:

Ana Bilim Dalı Başkanı:Prof.Dr.Sedat BİNGÖL

İmza:

Tarih: