

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TÜRKİYE'DE TÜM İLLERDE OPTİMUM DUVAR VE YALITIM
MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak KARADEMİR

Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı

Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2023

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TÜRKİYE'DE TÜM İLLERDE OPTİMUM DUVAR VE YALITIM
MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak KARADEMİR

(200002003)

Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı

Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

HAZİRAN 2023



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Jüri Tez Onay Formu

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu çalışma 20 Haziran 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Savunma Teknolojisi Anabilim Dalı, Savunma Teknolojileri (Tezli Yüksek Lisans) Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Dr.Öğr.Üyesi Bülent İMAMOĞLU

Danışman
İstanbul Gedik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Parisa HEİDARNEJAD
Üye (İmza)
İstanbul Gedik Üniversitesi

Doç. Dr. Nuri Alpay KÜREKÇİ
Üye (İmza)
Yıldız Teknik Üniversitesi

Açıklamalar

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak sunduğum “Türkiye’de Tüm İllerde Optimum Duvar ve Yalıtım Malzemelerinin Belirlenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.



ÖNSÖZ

Başta beni bugünlere getiren, her zaman yanımda olan aileme, tez çalışmamda sonsuz desteğini her zaman arkamda hissettiğim eşime ve tez aşamasında desteklerini eksik etmeyen Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2023

Burak KARADEMİR

Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması.....	1
2. BİNALARDA ISI YALITIMI	11
2.1 Binalarda Isı Yalıtımın Önemi.....	11
2.2 Binalarda Isı Yalıtımıyla İlgili Mevzuatlar.....	14
2.3 Binalarda Sıkça Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri.....	16
2.3.1 Taş yünü.....	16
2.3.2 Cam yünü.....	17
2.3.3 Ekstrüde Polistiren Köpüğü (XPS).....	18
1.3.1 Genleştirilmiş Polistiren Köpüğü (EPS).....	18
1.3.1 Poliüretan (PUR).....	19
2.4 Binalarda Sıkça Kullanılan Duvar Dolgu Malzemeleri.....	19
2.4.1 Tuğla.....	20
2.4.2 Bims.....	20
2.4.3 Gazbeton.....	21
3. HESAPLAMALAR VE ARAŞTIRMA BİLGİLERİ	22
3.1 Derece-Gün (DG) Hesaplamaları.....	22
3.2 Isıl İletkenlik ve Isı Kaybı Hesaplamaları.....	26
3.2.1 Isı iletkenlik (U) değeri hesaplaması.....	28
3.2.2 Isı Kaybı Hesaplamaları.....	36
3.3 Optimum Duvar ve Isı Yalıtım Malzemeleri ve Maliyet Hesaplamaları.....	36
4. BULGULAR	40
4.1 1. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler.....	40
4.2 2. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler.....	41
4.3 3. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler.....	43
4.4 4. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler.....	44
4.5 5. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler.....	46

4.6 Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrilerinde Oluşan Değişimler	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	54
EKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	98



KISALTMALAR

- DG** : Derece-Gün
EPS : Expanded Polystyren Foam (Genleştirilmiş Polistiren Köpük)
XPS : Extruded Polystyrene Foam (Ekstrüde Polistiren Köpük)
U : Isıl Geçirgenlik Değeri
TEP : Ton Eşdeğer Petrol



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi (Bin Tep).....	12
Çizelge 3.1: Türkiye’de 81 İl İçin 2008-2022 Yılları Arasında Hesaplanan Ortalama Derece Gün Değerleri	25
Çizelge 3.2: Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.....	27
Çizelge 3.3: Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.....	27
Çizelge 3.4: Hesaplanmış yüzeysel ısıl direnç değerleri	28
Çizelge 3.5: Dolgu Duvar Malzemeleri Kalınlık ve Isı İletim Katsayıları.....	29
Çizelge 3.6: Isı Yalıtım Malzemeleri Isı İletim Katsayıları Tablosu.....	30
Çizelge 3.7: Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri İçin Hesaplanan Farklı Kalınlıklardaki U Değerleri (W/m ² .K).....	30
Çizelge 3.8: Türkiye’de 5 Derece-Gün Bölgesi İçin TS 825 Standardına Göre Hesaplanan U Değerleri Tablosu	32
Çizelge 3.9: İllere Göre Derece Gün Bölgeleri	34
Çizelge 3.10: Bugünkü Değer Hesaplamalarında Kullanılan Değerler.....	37
Çizelge 3.11: 2023 Ocak Ayı Doğalgaz Verileri (İgdaş, 26.03.2023).....	37
Çizelge 3.12: İzolasyon Malzemeleri Birim Fiyatları	38
Çizelge 3.13: Duvar Dolgu Malzemeleri Birim Fiyatları.....	38
Çizelge 3.14: Hesaplama da Kullanılan İzolasyon ve Duvar Maliyeti Toplamı	39
Çizelge 4.1: TS 825’e Göre 1. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları	40
Çizelge 4.2: TS 825’e Göre 2. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları	41
Çizelge 4.3: TS 825’e Göre 3. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları	43
Çizelge 4.4: TS 825’e Göre 4. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları	45
Çizelge 4.5: TS 825’e Göre 5. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları	46

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi (Mtep).....	12
Şekil 2.2: Türkiye’de Doğalgaz Tüketiminin Sektörlere Dağılımı	13
Şekil 2.3: Taş yünü	17
Şekil 2.4: Cam yünü	17
Şekil 2.5: Ekstrüde Polistiren Köpüğü (XPS)	18
Şekil 2.6: Genleştirilmiş Polistiren Köpüğü (EPS)	19
Şekil 2.7: Poliüretan (PUR)	19
Şekil 2.8: Tuğla.....	20
Şekil 2.9: Bims	21
Şekil 2.10: Gazbeton.....	21
Şekil 3.1: Türkiye’de 1971-2023 Yılları Arası Kış Mevsimi Ortalama Sıcaklık Sapması	23
Şekil 3.2: Türkiye’de 1971-2023 Yılları Arası Kış Mevsimi Ortalama Sıcaklık Sıralaması.....	24
Şekil 3.3: Derece gün bölgelerine göre illerimiz	26
Şekil 4.1: İzmir İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması	47
Şekil 4.2: İstanbul İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması	48
Şekil 4.3: Ankara İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması	48
Şekil 4.4: Erzincan İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması	48
Şekil 4.5: Erzurum İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması	49
Şekil A.1: Adana İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	57
Şekil A.2: Adıyaman İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	58
Şekil A.3: Afyon İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	58
Şekil A.4: Ağrı İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	59
Şekil A.5: Amasya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	59
Şekil A.6: Aksaray İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	60
Şekil A.7: Ankara İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	60
Şekil A.8: Antalya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	61
Şekil A.9: Ardahan İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	61
Şekil A.10: Artvin İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	62
Şekil A.11: Aydın İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	62
Şekil A.12: Balıkesir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	63
Şekil A.13: Bartın İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	63
Şekil A.14: Batman İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	64
Şekil A.15: Bayburt İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	64
Şekil A.16: Bilecik İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	65
Şekil A.17: Bingöl İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	65
Şekil A.18: Bitlis İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	66
Şekil A.19: Bolu İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	66
Şekil A.20: Burdur İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	67
Şekil A.21: Bursa İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	67
Şekil A.22: Çanakkale İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	68
Şekil A.23: Çankırı İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	68

Şekil A.24: Çorum İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	69
Şekil A.25: Denizli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	69
Şekil A.26: Diyarbakır İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	70
Şekil A.27: Düzce İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	70
Şekil A.28: Edirne İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	71
Şekil A.29: Elâzığ İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	71
Şekil A.30: Erzincan İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	72
Şekil A.31: Erzurum İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	72
Şekil A.32: Eskişehir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	73
Şekil A.33: Gaziantep İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	73
Şekil A.34: Giresun İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	74
Şekil A.35: Gümüşhane İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	74
Şekil A.36: Hakkâri İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	75
Şekil A.37: Hatay İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	75
Şekil A.38: Iğdır İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	76
Şekil A.39: Isparta İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	76
Şekil A.40: İstanbul İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	77
Şekil A.41: İzmir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	77
Şekil A.42: Kahramanmaraş İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	78
Şekil A.43: Karabük İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	78
Şekil A.44: Karaman İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	79
Şekil A.45: Kars İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	79
Şekil A.46: Kastamonu İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	80
Şekil A.47: Kayseri İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	80
Şekil A.48: Kırıkkale İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	81
Şekil A.49: Kırklareli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	81
Şekil A.50: Kırşehir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	82
Şekil A.51: Kilis İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	82
Şekil A.52: Kocaeli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	83
Şekil A.53: Konya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	83
Şekil A.54: Kütahya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	84
Şekil A.55: Malatya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	84
Şekil A.56: Manisa İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	85
Şekil A.57: Mardin İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	85
Şekil A.58: Mersin İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	86
Şekil A.59: Muğla İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	86
Şekil A.60: Muş İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	87
Şekil A.61: Nevşehir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	87
Şekil A.62: Niğde İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	88
Şekil A.63: Ordu İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	88
Şekil A.64: Osmaniye İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	89
Şekil A.65: Rize İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	89
Şekil A.66: Sakarya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	90
Şekil A.67: Samsun İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	90
Şekil A.68: Siirt İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	91
Şekil A.69: Sinop İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	91
Şekil A.70: Sivas İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	92
Şekil A.71: Şanlıurfa İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	92
Şekil A.72: Şırnak İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri	93

Şekil A.73: Tekirdağ İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	93
Şekil A.74: Tokat İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	94
Şekil A.75: Trabzon İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	94
Şekil A.76: Tunceli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	95
Şekil A.77: Uşak İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	95
Şekil A.78: Van İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	96
Şekil A.79: Yalova İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	96
Şekil A.80: Yozgat İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	97
Şekil A.81: Zonguldak İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri.....	97



TÜRKİYE’DE TÜM İLLERDE OPTİMUM DUVAR VE YALITIM MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Enerjinin verimli kullanılması günümüzün en önemli sorunlarından biridir. Dünyada kullanılan enerji kaynaklarının azalmasıyla verimli çalışan sistemler üzerinde araştırmalar artmıştır. Yaşamımızda her alanda kullandığımız konut, ofis, hastane vb. alanların tamamında ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji ülkenin harcadığı enerjinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Binalarımızda kullandığımız duvar malzemeleri ve ısı yalıtım malzemeleri binalarda harcanan enerjiyi büyük ölçüde azaltmaktadır. Doğru malzeme seçimiyle hem inşaat esnasında hem de işletme maliyetleri açısından ekonomiye büyük kazanç sağlamaktadır. Ülkemizde kışın ısıtma amacıyla çoğunlukla doğalgaz kullanılmaktadır. Harcanan doğalgaz yurtdışından temin edildiği için ülke ekonomisindeki temel harcamalardan biridir. Bu nedenle çalışmamda ısı kaynağı olarak doğalgaz seçilmiştir. Çalışmamın güncel verileri yakalaması için ısıtma derece-gün değerleri olarak 2008-2022 yılları arasında 15 yıllık ortalama derece-gün değerleri kullanılmıştır. Bu tezin ortaya çıkmasındaki temel amaçlardan biri ülkemizde 81 ilin tamamında yaşayan kişilerin bu tezden faydalanarak optimum malzeme seçimiyle hem kendi ekonomilerine hem ülke ekonomisine katkıda bulunmaktır.

Çalışmamda, Türkiye’de 81 il için hesaplamalar yapılarak optimum duvar ve yalıtım malzemelerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. İlk olarak meteoroloji verilerinden faydalanarak 2008-2022 tarihleri arasında 15 yıllık ortalama ısıtma derece-gün (DG) değeri hesaplanmıştır. Yapılarda en çok kullanılan tuğla, bims, gazbeton malzemelerinin üzerine yalıtım malzemesi olarak ekspande polistiren köpük (EPS), ekstrüde polistiren köpük (XPS) ve taş yünü farklı varyasyonlarda kullanılarak duvar ısı geçirgenlik değerleri (U) ve ısı kayıpları hesaplanmıştır. Yakıt olarak doğalgaz seçilmiş, faiz ve enflasyon oranları dikkate alınıp ömür maliyet analizi yapılarak bugünkü değerleri bulunmuştur. Ardından yıllık ısıtma giderleri üzerine farklı duvar ve yalıtım malzemelerinin maliyetleri de eklenerek ısınma için gerekli toplam maliyet bulunmuştur. Farklı duvar malzemeleri ve yalıtım kalınlıkları için maliyet eğrileri oluşturularak maliyetin en düşük olduğu optimum nokta belirlenmiştir. Hesaplamalar farklı duvar ve yalıtım malzemeleri kullanılarak 81 il için hesaplanmıştır.

81 ili değerlendirdiğimizde optimum ısı yalıtım malzemelerinde EPS’nin optimum ısı yalıtım malzemesi olduğu görülmüştür. EPS’nin birim fiyatının taş yününe göre yaklaşık %20, XPS’e göre yaklaşık %80 daha ucuz bir malzeme olmasının bu hesaplamalarda etkisinin büyük olduğu tespit edilmiştir. 81 ilin tamamında duvar dolgu malzemelerine bakıldığında ise optimum noktada bims karşımıza çıkmaktadır. Bimsin birim fiyatının tuğlaya göre %35, gazbetona göre ise %120 daha ucuz olması bimsin optimum noktada yer almasını sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İzolasyon, ısı yalıtımı, duvar dolgu malzemeleri, yalıtım çeşitleri, ömür maliyet analizi, optimum yalıtım kalınlığı

DETERMINATION OF OPTIMUM WALL AND INSULATION MATERIALS IN ALL PROVINCES IN TURKEY

ABSTRACT

Efficient use of energy is one of the most important problems of today. With the decrease in energy resources used in the world, researches on efficient systems have increased. Housing, office, hospital, etc. that we use in every area of our life. The energy used for heating and cooling in all areas constitutes a large part of the energy consumed by the country. The wall materials and heat insulation materials we use in our buildings greatly reduce the energy consumed in the buildings. With the right material selection, it provides a great benefit to the economy both during construction and in terms of operating costs. In our country, mostly natural gas is used for heating in winter. Since the spent natural gas is supplied from abroad, it is one of the main expenditures in the country's economy. For this reason, natural gas was chosen as the heat source in my study. In order for my study to capture current data, 15-year average degree-day values between 2008 and 2022 were used as heating degree-day values. One of the main purposes in the emergence of this thesis is to contribute to both their own economy and the country's economy by making use of this thesis by the people living in all 81 provinces in our country.

In my study, a study was conducted to determine the optimum wall and insulation materials by making calculations for 81 provinces in Turkey. Firstly, 15-year average heating degree-day (DG) value between 2008-2022 was calculated by using meteorological data. Wall thermal permeability values (U) and heat losses were calculated by using expanded polystyrene foam (EPS), extruded polystyrene foam (XPS) and rock wool as insulation materials on the most commonly used brick, pumice and gas concrete materials in buildings. Natural gas was chosen as the fuel, and its current values were found by taking into account the interest and inflation rates and making a life-cycle analysis. Then, the costs of different wall and insulation materials were added to the annual heating expenses and the total cost for heating was found. Cost curves were created for different wall materials and insulation thicknesses, and the optimum point with the lowest cost was determined. Calculations were calculated for 81 provinces using different wall and insulation materials.

When we evaluated 81 provinces, it was seen that EPS is the optimum thermal insulation material among the optimum thermal insulation materials. It has been determined that the unit price of EPS is 20% cheaper than rock wool and 80%

cheaper than XPS, which has a great effect on these calculations. When we look at the wall filling materials in all 81 provinces, pumice is seen at the optimum point. It has been seen that the unit price of pumice is 35% cheaper than brick and 120% cheaper than aerated concrete, which ensures that pumice is at the optimum point.

Keywords: Insulation, thermal insulation, wall filling materials, insulation types, life-cost analysis, optimum insulation thickness



1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde yükselen maliyetler karşısında bina yapımında optimum malzeme seçimi büyük önem kazanmıştır. Bina yapımında ve kullanım esnasında büyük öneme sahip olan duvar malzemeleri ve izolasyonlarının optimum olarak seçilmesi maliyetler açısından büyük değişiklikler oluşturmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye’de tüm iller için optimum yalıtım ve duvar malzemeleri belirlenerek ekonomik olarak en uygun birleşimin bulunması sağlanacaktır. Türkiye’de bu çalışmayı inceleyen herkesin günümüz fiyatlarıyla yapılan bu çalışmadan faydalanarak optimum malzeme seçimi yaparak kendi ekonomisi ve ülke ekonomisine fayda sağlamasını amaçlamaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

Çalışmalarında konutlarda ısıtma yükü altında optimum ısı yalıtım kalınlıklarını, yakıt tasarruflarını ve geri ödeme sürelerini belirlemişlerdir. Tavan, döşeme ve duvarlar için izolasyon kalınlıklarını hesaplamışlardır. İzolasyon kalınlıkları belirlenirken Türkiye’de dört farklı derece-gün bölgesi için 30 yıllık ömür süresi içerisinde maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken tavan için cam yünü, duvar için EPS, döşeme için XPS izolasyon malzemeleri kullanmış yakıt olarak doğalgazı seçmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 5 cm ile 26,8 cm arasında; yakıt tasarrufunun 26,32 \$/m² ile 92,59 \$/m² arasında değiştiğini; geri ödeme sürelerinin ise 10,2-3,6 yıl arasında değiştiğini belirlemişlerdir. TS 825 standardında verilen limit ısı iletim katsayısı değerlerinin çalışma sonucunda çıkan ısı iletim katsayılarından daha büyük olduğunu ve konutlarda bu sonuca bakarak enerji tasarrufunu arttırmak için ısı yalıtım kalınlıklarının artırılması gerektiğini söylemişlerdir (Aydın & Bıykoğlu 2019).

Çalışmalarında dört farklı duvar dolgu malzemesi (tuğla, izo-tuğla, bims, gaz beton), dört farklı yakıt türü (doğalgaz, kömür, fuel-oil, elektrik), iki farklı izolasyon (XPS,EPS) kullanarak hem ısıtma hem de soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları,

maliyet, enerji tasarrufu, geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Çalışmalarında çevresel etkilerin belirlenmesi için CO₂ ve SO₂ emisyonları da hesaplanmıştır. Hesaplamalar Batman ili için yapılmıştır. Çalışma sonucunda çevresel etkilerin değerlendirilmesinde yalıtım olmayan binaya göre CO₂ ve SO₂ emisyonlarının %77,3 oranında azaldığını tespit etmiştir. Geri ödeme sürelerini ise ısıtmada sırasıyla 2 yıl, 3,11 yıl, 1,54 yıl ve 5,88 yıl olurken soğutmada 3,03 yıl, 4,68 yıl, 2,30 yıl ve 8,79 yıl olarak bulmuştur. Optimum yalıtım kalınlıklarını ısıtma ve soğutmada sırasıyla tuğla duvar kullanımında yalıtım kalınlığı 0.0952 m, 0.0512 m olarak; izo-tuğla duvar kullanımında yalıtım kalınlığı 0.0818 m, 0.0379 m; bims kullanımında 0.1007 m, 0.0568 m; gaz beton kullanımında 0.0475 m, 0.0036 m olarak hesaplamıştır. Yapılan bu çalışmanın Batman ilinin 2. Bölgede olması nedeniyle diğer 2. Bölge illeri içinde kullanılabilceğini belirtmiştir (Karakaya, 2018).

Çalışmalarında farklı duvar tiplerinde optimum ısı yalıtım kalınlığını ve ekonomik analizlerini çalışmışlardır. Ankara ili için hesaplamalar yapmışlardır. Duvar dolgu malzemesi olarak tuğla ve gaz beton; izolasyon malzemesi olarak taş yünü ve cam yünü kullanmışlardır. Yakıt olarak doğalgaz düşünülmüş ve hesaplamalara dahil etmişlerdir. Hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlıklarını tuğla üzerine taş yünü yalıtım yapıldığında 0,051 m; gazbeton üzerine taş yünü yalıtım yapıldığında 0,045 m; tuğla üzerine cam yünü yalıtım yapıldığında 0,064 m; gazbeton üzerine cam yünü yalıtım yapıldığında 0,057 m olarak belirlemişlerdir. Enerji tasarrufunun 27,75 TL/m² ile 46,10 TL/m² arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Geri ödeme sürelerinin ise 3,77-4,9 yıl arasında değiştiğini hesaplamalar sonucu bulmuşlardır. Sonuç olarak her iki yalıtım malzemesinde de ısı iletkenlik değeri daha düşük olan gazbetonun kullanımında yalıtım kalınlığının düştüğünü tespit etmişlerdir. Yalıtım kalınlığının en düşük olduğu duvar tipinin gazbeton üzerine taş yünü ısı yalıtımının yapıldığı durumda ortaya çıktığını söylemişlerdir. Enerji tasarrufuna bakıldığında ise cam yünü-tuğla kullanımının enerji tasarrufunun en yüksek olduğu duvar tipi olduğunu bulmuşlardır (Kandemir, Bektaş & Açıkcalp 2019).

Çalışmalarında konut için dış duvarlarda ısıtma ve soğutma durumunda optimum yalıtım kalınlığını ve enerji tasarrufunu hesaplamışlardır. Çalışmada dıştan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar tiplerine EPS, XPS ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak ısıtma, soğutma, ısıtma-soğutma durumu için hesaplamalar yapmışlardır. Yakıt

olarak doğalgaz, kömür ve elektrik kullanmışlardır. Dıştan yalıtım yapılan duvarda optimum yalıtım kalınlığı XPS için 0,0587 m, EPS kullanıldığında ise 0,0740 m olduğunu; sandviç duvarda ise optimum yalıtım kalınlığının XPS için 0,0645 m, EPS için 0,0836 m olarak bulmuşlardır. Geri ödeme süresini ise dıştan yalıtımlı duvarda sandviç duvara göre %30 daha küçük olduğunu belirtmişlerdir (Uçar & Dumrul 2019).

Çalışmalarında izolasyon malzemelerinin kalınlıklarının enerji tasarrufu yönünden incelenmesi ve izolasyon maliyetinin geri ödeme sürelerini hesaplamayı amaçlamışlardır. Çalışmada Bolu ilinde bir bina seçilerek ısıtma ihtiyacı, enerji verimliliği, özgül ısı kaybı hesaplamaları yapmışlardır. Çalışma ile alternatif izolasyon malzemeleri kullanıldığında optimum ısı yalıtım kalınlıkları ve geri dönüş sürelerini hesaplamışlardır. Belirlenen binada termal kamera ile de binada ısı yalıtım esnasında yapılan doğru sayıda dübel kullanılmaması, yalıtım levhasının uygulama öncesi zarar görmüş olması, yapıştırma harcının uygun kullanılmaması, standart dışı malzeme kullanılması, doğru kalınlıkta izolasyon yapılamaması gibi yanlışlıkları tespit etmişlerdir. Binada EPS kullanıldığında XPS'e oranla %33,8 maliyetinin düşük olacağı ancak ısıtma için gerekli olan ısı ihtiyacının 14,74 kWh/m^3 'den 14,85 kWh/m^3 'e yükseldiğini belirlemişlerdir. Taş yünü ısı yalıtımının ise EPS'ye oranla %55,3 daha maliyetli olduğu ancak ısıtma için gerekli ısı ihtiyacının 14,64 kWh/m^3 ' e düştüğünü belirlemişlerdir. Binalarda taş yünü kullanımının hem ısı yalıtım açısından hem de yangın korunmasında daha üstün özelliklere sahip olduğu çıkarımında bulunmuşlardır (Tıkız, Pehlivan & Mermer 2018).

Çalışmalarında 7 katlı bir bina ve bu binaya bağlı matbaa binasının ısı merkezine yerleştirdikleri bir düzenek ile 1 yıl boyunca ısıtma ve soğutma sistemlerinde ölçümler yapmışlardır. Bu binanın ısıtma, soğutma, ısıtma-soğutma dönemleri için çatı, döşeme ve dış duvarlarına yapılacak optimum yalıtım kalınlıklarını, yakıt tüketimlerini hesaplamışlardır. İzolasyon malzemesi olarak XPS tercih etmişlerdir. Yakıt olarak ise ısıtma da doğalgaz soğutmada elektrik kullanımını baz almışlardır. Derece-gün ve ömür maliyet analizi kullanmışlardır. Isıtma için optimum yalıtım kalınlığı 0,075-0,143 m arasında hesaplanırken yakıt tüketiminin 0,901-1,511 m^2/m^3 yıl, yakıt tasarrufunun ise 1,209-3,306 m^2/m^3 yıl arasında olduğunu tespit

etmişlerdir. Soğutma döneminde ise optimum yalıtım kalınlığının 0,022-0,048 m arasında hesaplanırken yakıt tüketiminin 1,501-1,723 m²/m³yıl, yakıt tasarrufunun ise 0,500-1,681 m²/m³yıl arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Isıtma-Soğutma döneminin beraber değerlendirildiği durumda ise optimum yalıtım kalınlığının 0,100-0,164 m arasında hesaplanırken yakıt tüketiminin 0,756-1,378 m²/m³yıl, yakıt tasarrufunun ise 1,354-3,452 m²/m³yıl arasında olduğunu tespit etmişlerdir (Kon & Yüksel 2016).

Çalışmalarında sıcak ilkim bölgelerinde bulunan 6 il için hesaplamalar yapmışlardır. Öncelikle ısıtma ve soğutma yükleri hesaplamış ardından P1-P2 maliyet yöntemi ile optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Yapılan bu hesaplamalarda güneşten gelen radyasyon etkisini radyasyonsuz durumla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda sıcak illerde optimum yalıtım kalınlıklarının soğutma yüküne göre hesaplanmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Sıcak illerin bulunduğu 1. Bölge için TS 825 standardında yer alan limit U değerlerinin duvar ve çatılar için yetersiz kaldığını tespit etmişlerdir (Bolattürk & Dağdır 2013).

Çalışmalarında Elâzığ ilinde sık kullanılan izolasyon malzemelerini deney ortamı oluşturarak optimum izolasyon malzemesini belirlemişlerdir. İzolasyon malzemesi olarak EPS, XPS, Taş yünü kullanmışlardır. Birbirinin aynı 4 oda oluşturulmuş biri yalıtımsız diğerleri ise EPS, XPS ve taş yünü ile yalıtım yaparak eşit şekilde soğutmuşlardır. Oluşturulan bu odalardan iç ortam, dış ortam, iç yüzey, dış yüzey ve yalıtımlı profillerde yalıtım ile duvar arasında ölçüm alınmıştır ve ayrıca güneş ışınım şiddeti, nem miktarı ve rüzgâr hızını ölçmüşlerdir. Çalışmada ölçülen bu değerler ile optimum yalıtımın taş yünü olduğunu tespit etmişlerdir. Taş yünü kullanıldığında iç ortam sıcaklığının 9-12 °C olduğu belirlenirken, XPS kullanımında 13-15 °C, EPS kullanıldığında 15-17 °C arasında olduğunu belirlemişlerdir. Yalıtımın yapılmadığı odada ise sıcaklığın 26-29 °C arasında olduğunu ölçmüşlerdir (Dikici & Kocagül 2019).

Çalışmalarında çok konforlu durum şartında Türkiye'deki tüm iller için 65 yıllık sıcaklık ortalamaları alınarak optimum yalıtım kalınlığı nümerik olarak hesaplamışlardır. Türkiye için 3 cm, 4cm, 5cm, 6 cm yalıtım kalınlıklarının Türkiye

için yeterli olduğunu saptamışlardır. Bu kalınlıkların hangi illerde kaç cm olacağı bir harita ile göstermişlerdir. Çalışma sonucuna göre çok konforlu şarta ulaşabilmek için Türkiye’de minimum 3 cm yalıtım yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bir dairenin ara katta bulunması durumunda dış duvarlardan yapılacak yalıtımın yeterli olduğunu fakat daire altında veya üstüne 10 °C altında bir mahalın bulunması durumunda ısı köprülerinin oluşmaması için ısı yalıtım yapılması gerektiği belirtilmiştir. Yalıtım kalınlığı seçilirken iç ortam havasının bağıl nemi ve yoğuşma sıcaklığının da göz önünde bulundurulmasına dikkat çekmişlerdir (Türkan ve diğerleri 2017).

Çalışmalarında Türkiye’de her il için ısıtma ve soğutma durumunda optimum izolasyon kalınlıkları, tasarruf miktarlarını ve geri ödeme sürelerinin hesaplamıştır. Çalışmada enerji giderleri, malzeme giderleri ve işçilikte katılarak hesaplamalarına eklemiştir. Hesaplamalarını 20 yıllık bir ömür üzerinden yapmıştır. Hesaplama sonucunda ısıtma durumu göz önüne alındığında optimum izolasyon kalınlığının 4,7-16,6 cm arasında olduğunu; soğutma durumu ele alındığında optimum kalınlığın 0-3,8 cm arasında değiştiği; ısıtma ve soğutmanın beraber ele alındığı durumda ise optimum izolasyon kalınlığının 5,7-16,6 cm arasında olduğunu belirlemiştir. Geri ödeme sürelerini ise 3,85-16,25 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır (Kaynaklı 2013).

Çalışmada, soğuk hava deposu duvarlarında kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Derece gün değerleri farklı olan Türkiye'nin 5 ili (İzmir, İstanbul, Ankara, Sivas ve Erzurum) için hesaplamalar yapılmıştır. Duvarlarda yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren (XPS), Expanded polistiren (EPS), cam yünü, taş yünü, poliüretan seçilmiştir. İllerin ortalama dış hava sıcaklıkları ve soğuk depo sıcaklıkları (4, 0, -5, -10, -15, -20, -25 ve -30°C) kullanılarak seçilen illerin soğutma derece-gün değerleri hesaplanmıştır. Farklı soğuk depo sıcaklık değerleri için hesaplamalar tekrarlanmış ve her sıcaklık için kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlıkları bulunmuştur. Ayrıca optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri de hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda belirlenen iller dikkate alındığında tüm yalıtım malzemeleri için en ince yalıtım malzemesi Erzurum'da, en kalın yalıtım malzemesi İzmir'de kullanılmalıdır. Optimum yalıtım kalınlıkları EPS, cam yünü, taş yünü, XPS ve poliüretan için İzmir’de 0,126, 0,110, 0,075, 0,066, 0,028 m; İstanbul’da 0,109, 0,095, 0,064, 0,056, 0,023 m; Ankara’da 0,095, 0,084, 0,054, 0,048, 0,018 m; Sivas’ta 0,080, 0,070,

0,044, 0,039, 0,013 m; Erzurum'da 0,069, 0,061, 0,036, 0,032, 0,010 m olarak hesaplamıştır. Yıllık tasarrufa bakıldığında tasarrufun en yüksek olduğu il İzmir'de olurken en az tasarrufun Erzurum'da olduğunu belirlemiştir. Geri ödeme sürelerine bakıldığında en uzun geri ödeme süresi poliüretan olurken en kısa geri ödeme süresi cam yününde gerçekleştiğini belirtmiştir (Kürekci 2020).

Çalışmalarında Elâzığ ili için yakıt olarak kömür, doğalgaz, fuel oil, LPG, elektrik kullanılarak EPS ve taş yünü ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Hesaplamalar iki farklı duvar tipi (dıştan yalıtımlı duvar, sandviç duvar) için yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda yakıt olarak kömür ve doğalgazın optimum yakıt olduğunu belirtmişlerdir. Optimum noktada ise yakıt olarak kömür ve izolasyon malzemesinin EPS kullanıldığı durumda oluştuğunu belirtmişlerdir. Dıştan yalıtım yapıldığında geri dönüşüm süresinin 4,6 yıl olduğu ve yılda 16.359 \$/m² enerji tasarrufu yapıldığı; sandviç duvarda ise geri dönüşüm süresinin 4,2 yıl olduğu ve yılda 20,188 \$/m² enerji tasarrufu yapıldığı olduğunu bulmuşlardır (Aytaç & Aksoy 2006).

Çalışmalarında inşaatlarda mimarların ısı yalıtım malzemesi seçimlerinde dikkat ettiği hususlar ve binanın hangi bölümünde nasıl bir ısı yalıtım malzemesini tercih ettiklerini araştırmıştır. Bursa'da 46 konutluk bir şantiyede çatı, duş duvar, bodrum ve döşeme için seçilen ısı yalıtım tercihlerini incelemiştir. İncelenen yapıların %28'inde bodrum katlarda ısı yalıtımının yapılmadığını belirtmiştir. Bodrum kat duvarlarında genel olarak XPS kullanmanın daha doru olacağını söylemiştir. İncelemiş olduğu yapılarda döşemelerde yapılan izolasyonlarda %39 oranında XPS, %59 oranında EPS, %9 oranında taş yünü, %3 oranında poliüretan malzeme ile yapıldığını %15 oranında ise hiç yalıtım yapılmadığını tespit etmiştir. Binalarda yoğunlaşma, ısı köprülerinin oluşmaması ve ısı yalıtımla beraber enerji kaybının azaltılması için standartlara uygun ısı yalıtımının yapılması gerektiğini belirtmiştir (Şimşek 2019).

Çalışmalarında ısı yalıtımla ilgili literatür araştırması yapmışlardır. Isı yalıtım malzemeleriyle alakalı yapılmış olan araştırmaları inceleyerek hangi ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması gerektiğini ve hangi kalınlıkta kullanılması gerektiğini tablolarla belirtmişlerdir. Ömür-maliyet, termoekonomik optimizasyon ve TS 825

standardı gibi optimum yalıtım kalınlığının belirlendiği metotları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda TS 825'e uygun olarak hesaplanan optimum yalıtım kalınlığının diğer iki hesap yöntemine göre optimum yalıtım kalınlığının daha düşük çıktığını belirtmişlerdir. Optimum yalıtım kalınlığıyla ilgili literatürde bulunan çalışmalar arasında uyumsuzlukların olduğunu bu nedenle daha detaylı bir literatür incelemesiyle sahada bulunan kişilere faydalı olacağını söylemişlerdir (Ünver ve diğerleri 2020).

Çalışmalarında Türkiye'de belirlenen Aydın, Edirne, Malatya, Sivas illeri için ısıtma ve soğutma yüklerini hesaba katarak optimum yalıtım kalınlıklarını ve enerji tasarruflarını araştırmışlardır. Dış duvarlarda izolasyon malzemesi olarak XPS ve EPS kullanmış yakıt olarak ısıtmada doğalgaz soğutmada elektrik kullanmışlardır. Hesaplama sonuçlarında optimum izolasyon malzeme kalınlıklarının 0,036 ile 0,1 m arasında değiştiğini; enerji tasarrufunun ise 12,08 TL/m² ile 58,28 TL/ m² arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Geri ödeme sürelerinin ise 1,5 ile 2,52 yıl arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir (Gürel & Daşdemir 2011).

Çalışmalarında bina yapımında kullanılan yalıtım malzemelerine genel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarının ilk bölümünde ısı ve ses yalıtımıyla ilgili literatürde ne gibi çalışmalar yapıldığını ve mevcut durumdan bahsetmişlerdir. Diğer bölümlerde uluslararası standartlardan ısı ve ses yalıtımında olması gereken özelliklerden, mevcutta bulunan ısı ve ses yalıtım malzemelerinin özelliklerinden bahsetmişlerdir. Son bölümde ise mevcutta bulunan ısı ve ses yalıtım malzemelerinin özellikleri dikkate alınarak ileride ne gibi yapılacak çalışmaların yapılabileceğini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak ülkemizde kullanılan yalıtım malzemelerinde çoğunlukla dışa bağımlı olduğu uygun malzeme ve bağlayıcılar kullanarak yeni nesil yalıtım malzemelerinin üretilebileceğini söylemişlerdir (Arslan & Aktaş 2018).

Çalışmalarında yatay delikli tuğla ve gazbeton duvar dolgu malzemeleri kullanılarak dıştan yalıtım ve sandviç yalıtım yaparak duvar modeli oluşturup bu duvar tiplerinde optimum ısı yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Isı yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanmışlardır. Duvar dolgu malzemesi olarak tuğla kullanılan duvarda ısı yalıtım kalınlığının 0,05-0,132 m arasında değiştiğini; gaz

beton kullanılması durumunda 0,038-0,119 m arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Sandviç duvar kullanılması durumunda ise izolasyon kalınlığının 0,033-0,114 m arasında değiştiğini söylemişlerdir. Hesaplamalarında yıllık kazancın 6,41-189,7 TL/m² arasında değiştiğini, geri ödeme süresinin ise 1,31 yıl ile 4,5 yıl arasında değiştiğini hesaplamışlardır (Gürel 2011).

Çalışmalarında farklı iklim bölgelerinden seçilen dört farklı il için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Seçilen bu dört il için altı farklı yakıt ve izolasyon malzemesi kullanarak 15 yıllık bir ömür için ömür-maliyet analizi yaparak enerji tasarrufu, geri ödeme süreleri ve optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. İzolasyon malzemesi olarak XPS, EPS, cam yünü, taş yünü, poliizosiyanürat ve poliüretan kullanmış yakıt olarak ise motorin, doğalgaz, propan (LPG), elektrik, kömür (ithal) ve fuel-oil kullanarak hesaplamalar yapmışlardır. Hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 2,8-45,1 cm arasında değiştiğini, enerji tasarrufunun 16,4-479 TL/m² arasında değiştiğini geri ödeme süresinin ise 0,078-0,860 yıl arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Yalıtım malzemelerinin optimum kalınlıklarının XPS için 4,1-22,1 cm, EPS için 6-30,7 cm, PUR için 2,8-15,8 cm, PIR için 3,1-16,5 cm, RW için 9,7-45,1 cm ve RW için 7,6-37 cm arasında değiştiğini bulmuşlardır. Hesaplama da belirlenen bu dört il için enerji tasarrufunun en fazla olduğu yakıt türünün LPG olduğunu belirtmişlerdir (Aktemur & Atikol 2017).

Çalışmalarında Türkiye’de 81 il için optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarını stokastik bir yaklaşımla yaparak olasılıksal bir dağılım grafiği oluşturarak hesaplamaları yapmışlardır. Her il için hesaplamalarda kullanılan parametrelerle bir olasılık dağılım grafiği oluşturarak sonuca varmışlardır. Hesaplamalar sonucunda optimum ısı yalıtım kalınlığının en düşük Hatay’da 6,73 cm ile hesaplamışlardır. Isı yalıtım kalınlığının en yüksek olduğu il ise 14,25 cm ile Ardahan’da olduğunu söylemişlerdir. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarını kent merkezine göre yapıldığını fakat ilçeler arasında bunun değişebileceğini belirtmişlerdir. TS 825 standardının sadece ısıtmaya yönelik olduğunu fakat soğutmanın da önemli bir parametre olduğunu vurgulamışlardır (Çağlayan, Ozorhon & Kurnaz 2022).

Çalışmalarında Türkiye’de 81 il merkezi için optimum yalıtım kalınlıklarını

hesaplamıştır. Yakıt olarak doğalgaz, kömür, fuel oil ve sıvılaştırılmış petrol gazı kullanmış; yalıtım malzemesi olarak ise EPS, XPS, cam yünü, taş yünü ve poliüretan kullanarak hesaplamalar yapmıştır. Hesaplamalarında sadece soğutulan, sadece ısıtılan hem ısıtılan hem soğutulan binalar için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir. 5 farklı derece gün bölgesinde yer alan birer il için optimum yalıtım kalınlıkları, toplam net tasarruf miktarı, yakıt ve yalıtım malzemelerine göre geri ödeme süresi değişimi hesaplanmıştır. 81 il için bu hesaplamaları tekrarlamıştır. Aynı bölge ve aynı yakıt için en ince optimum yalıtım kalınlığına sahip yalıtım malzemesi poliüretandır. Poliüretanı sırasıyla XPS, EPS, taş yünü ve cam yünü takip etmektedir. Aynı bölge ve aynı yakıt için en ince optimum yalıtım kalınlığına sahip yalıtım malzemesi poliüretan olduğunu, poliüretanı sırasıyla XPS, EPS, taş yünü ve cam yünü takip ettiğini belirlemiştir. Hem ısıtılan hem soğutulan binalarda sadece ısıtılan binalara göre optimum yalıtım kalınlığının daha fazla olduğunu, net tasarruf miktarının daha yüksek olduğunu, geri ödeme sürelerinin ise daha düşük olduğunu söylemiştir. Sırasıyla doğalgaz, kömür, fuel-oil ve LPG için net tasarruf miktarı arttığını, geri ödeme sürelerinin ise kısaldığını belirtmiştir (Kürekçi 2022).

Çalışmalarında farklı derece gün bölgelerinde yer alan Antalya, Bursa, Ankara, Van illeri için hesaplamalar yapmışlardır. Yakıt olarak doğalgaz yalıtım malzemesi olarak ise EPS, XPS, cam yünü, taş yünü ve poliüretan kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve yıllık tasarruf miktarlarını hesaplamışlardır. Isıtma ve soğutma derece gün değerlerini 3 farklı yöntemle hesaplayarak derece gün değerlerinin optimum yalıtım kalınlığına etkisini incelemişlerdir. İllerin derece gün değerleri literatürde bulunanlar ve meteoroloji verileri kullanılarak karşılaştırmalarını yapmışlardır. Meteoroloji verilerini hem uzun dönem hem de son yılların ortalamasına göre alınarak karşılaştırmalarda bulunmuşlardır. Son yıllara bakıldığında ısıtma derece gün değerlerinin daha düşük, soğutma derece gün değerlerinin ise daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Sadece ısıtma yapılan binalar için optimum yalıtım kalınlığı literatürdeki derece gün değerlerine göre hesap edildiğinde en büyük değer olurken, meteorolojinin son yıllar ortalamasına göre en düşük değer olduğunu hesaplamışlardır. Sadece soğutma yapılan binalarda ise optimum yalıtım kalınlığı literatürdeki derece gün değerlerine göre hesap edildiğinde en düşük değer olurken, meteorolojinin son yıllar ortalamasına göre en

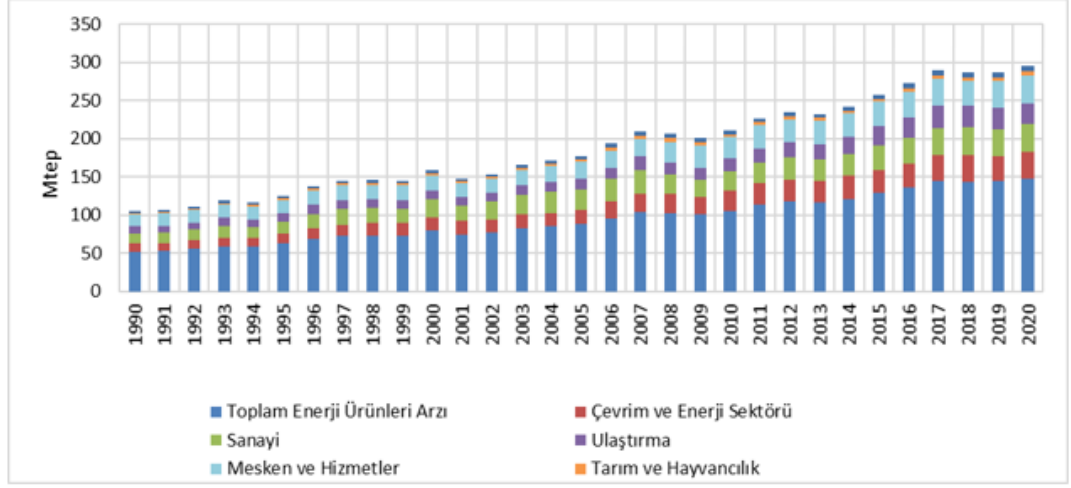
büyük değer olduğunu hesaplamışlardır. Hem ısıtma hem soğutma yapılan binalarda ise ısıtma yapılan binalara benze bir sonuç olduğunu söylemişlerdir. Literatürdeki derece gün değerlerine göre en kalın, meteorolojinin son yıllar ortalamasına göre en ince optimum yalıtım kalınlığı olduğunu bulmuşlardır (Kürekçi & Erdem 2019).

Çalışmalarında Ağrı ili için dört farklı duvar modeli olarak taş, tuğla, briket ve betonarme; yakıt olarak kömür, doğalgaz, Likit Propan Gaz (LPG), fuel oil ve elektrik kullanarak optimum yalıtım kalınlığı, yalıtım maliyeti, yakıt ve toplam maliyetler, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı değerleri hesaplamıştır. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak Genleştirilmiş Polistiren (EPS) kullanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının en yüksek, yakıt maliyeti ve toplam maliyet değerleri elektrik enerjisinin kullanıldığı durumda betonarme duvar modeli için belirlemiştir. Betonarme duvar modelinde elektrik enerjisi için optimum yalıtım kalınlığı 0.168 m, yakıt maliyeti 3,2392 \$/m² ve toplam maliyet 23,9826 \$/m² olarak tespit etmiştir. Betonarme duvar modeli için optimum yalıtım kalınlığı, yakıt maliyeti ve toplam maliyet diğer duvar türlerine göre daha yüksek değerler gösterse de geri ödeme süresi bakımından en verimli duvar modeli olduğu söylemiştir. Kullanılan yakıt çeşitleri arasında geri ödeme süresi bakımından en verimli olanının elektrik, kömür ve doğal gazın kendilerini en geç amorti edebilen iki yakıt çeşidi olduğu tespit etmiştir (Ünvar 2023).

2. BİNALARDA ISI YALITIMI

2.1 Binalarda Isı Yalıtımın Önemi

Ülkemizde ve dünyada enerji tüketimleri artan nüfus ve ihtiyaçlar nedeniyle her geçen yıl artmaktadır. Artan bu ihtiyacı karşılamaya yönelik devletler birçok alanlarda çalışmalar yapmaktadır. Enerji üretim maliyetlerinin artması ve kaynakların kısıtlı olması sebebiyle devletler enerji politikalarında enerji tasarrufunu ilk sıralara çıkarmaktadır. Ülkemizde Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı enerjinin doğru kullanılması ve enerji tasarrufuyla ilgili birçok çalışma yapmaktadır. Bu çalışmalarla ülkemizde kullanılan enerjiyi en doğru ve en tasarruflu olacak şekilde kullanmayı teşvik edici ve yasa, yönetmeliklerle zorunlu kılan uygulamalar hayata geçirilmiştir.



Şekil 2.1: Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi (Mtep)

Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr>, (2022)

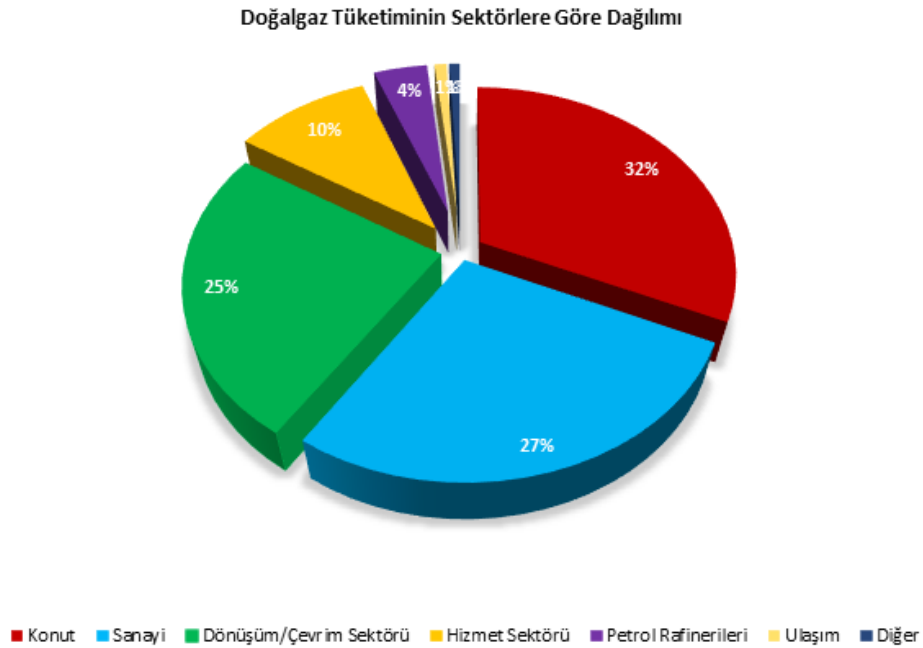
Çizelge 2.1: Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi (Bin Tep)

Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr>, (2022)

Yıllar	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enerji Ürünleri Arzı	52.465	62.968	79.428	88.672	105.888	129.139	136.229	145.305	143.666	144,21	147,17
Çevrim ve Enerji Sektörü	10.228	12.442	17.834	18.347	26.048	29.672	31.655	33.522	34.517	33,56	35,47
Sanayi	13.641	15.986	22.876	26.410	26.077	32.157	33.254	35.329	36.277	34,30	36,26
Ulaştırma	8.723	11.077	12.007	13.849	16.314	24.936	26.812	28.425	28.452	27,69	26,97
Mesken ve Hizmetler	15.356	17.514	19.557	22.285	27.762	32.329	33.222	36.013	33.074	35,61	37,23
Tarım ve Hayvancılık	1.956	2.556	3.073	3.359	3.736	3.932	4.056	4.273	4.381	4,71	4,98

Şekil 2.1 ve Çizelge 2.1’den de görüldüğü üzere ülkemizde de yıllar geçtikçe enerji tüketimi artmaktadır. Türkiye’nin birincil enerji tüketimi 1990 yılında 52,465 Mtep iken 2020 yılında 147,2 Mtep’e yükselmiştir. 1990 yılı itibarıyla, Türkiye’nin birincil enerji tüketiminde, katı yakıtların payı 30,2 % olmuştur. Petrol ve petrol ürünlerinin payı 46,1 % olurken, doğalgazın payı 5,4 % ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 18,4 % olmuştur. 2020 yılı itibarıyla ise Türkiye’nin birincil enerji tüketiminin, 27,6 % ’sı katı yakıtlardan karşılanmıştır. Petrol ve petrol ürünlerinin payı 28,7 % ’ye düşerken, doğalgazın payı 27 % ’ye yükselmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanan pay ise 16,7 % seviyesindedir (<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr> , 2022).

2020 yılı itibarıyla AB-27 ülkeleri birincil enerji tüketiminin 10,6 % ’sı katı yakıtlardan, 31,7 % ’si petrol ve petrol ürünlerinden, 24,7 % ’si doğalgazdan, 13,2 % ’si nükleer enerjiden, 18,1 % ’i yenilenebilir enerjiden ve 16 % ’sı diğer kaynaklardan karşılanmıştır (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances,2022>).



Şekil 2.2: Türkiye’de Doğalgaz Tüketiminin Sektörlere Dağılımı

Kaynak: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz> (2023)

Ülkemizde doğalgaz ısıtmada ve elektrik üretiminde çoğunlukla kullanılan en önemli yakıtlardan biridir. Kullandığımız doğalgazın büyük bir bölümü yurtdışından ithal edildiği için ülke ekonomisinde büyük yük oluşturmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu grafikten de görüleceği üzere harcanan doğalgazda en büyük pay konutlarda kullanılan doğalgazdır. Konutlarda ısıtmada kullandığımız doğalgaz miktarına ülkemizde tüm binalarda ısıtmak için kullanılan doğalgaz miktarını da eklediğimizde harcanan doğalgazın ne kadar yüksek olduğunu görmüş oluruz. Tüm binalarda uygulanacak doğru ısı yalıtımı ve duvar malzemesi seçildiğinde ısıtma için harcanan doğalgaz miktarını %40 ve daha fazla oranlarda düşürmemizi sağlayacaktır.

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'den de anlaşıldığı üzere ülkemizde artan enerji ihtiyacı ve artan doğalgaz miktarı ülke ekonomimize büyük yük oluşturmaktadır. Bu yükü hafifletmek doğalgaz ve enerji kullanımını azaltmak için binalarda enerji tasarrufu ön plana çıkmıştır. Binalarda enerji tasarrufunu yapabilmeyen en etkili yolu bina yapımında kullanılan duvar dolgu malzemelerinin ve ısı yalıtım malzemelerinin doğru seçimi ile mümkün olmaktadır. Artan fiyatlarla beraber bina yapımında kullanılan malzemelerin optimum olarak seçilmesi ön plana çıkmıştır. Bu çalışma da doğru duvar malzemesi ve doğru ısı yalıtım malzeme seçimiyle ülke ekonomisine ve işletme, yakıt giderlerinin düşmesiyle inşaların kendi ekonomilerine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2.2 Binalarda Isı Yalıtımıyla İlgili Mevzuatlar

Isı yalıtımı ile ilgili kullanılan temel standart TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardıdır. Tasarım ve projelendirmeyle alakalı kuralları belirlendiği bu standart ilk olarak tavsiye niteliğinde yayınlamıştır. Daha sonra bu standart 14 Haziran 1999 tarih ve 23725 sayılı resmî gazetede yayımlanmıştır. Bu standartla beraber hazırlanan Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nin 08 Mayıs 2000 tarih 24043 sayılı resmi gazetede yer alması ile TS 825 standardı 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren zorunlu olmuştur. İlgili standart ve yönetmeliğin yayınlanmasıyla 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren yapılan tüm binalar TS 825 standardına ve Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği koşullarına uyması zorunlu hale gelmiştir.

TS 825 standardı ve Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin ardından 2009 yılında "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik binalarda enerji ve enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması sağlayarak kayıp enerjinin önlenmesine çevrenin korunmasını amaçlamaktadır. Önceki yönetmelikten farklı olarak sadece ısıtma değil soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi enerji harcamalarını ve ısıtma-soğutma gibi binada kullanılan diğer sistemlerin verimlilikleri de dikkate alınmıştır. "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" kapsam olarak Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'ni de kapsadığından içeriğin tamamı Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'ne dahil edilmiştir.

Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nin uygulamaya girmesiyle beraber "Enerji Kimlik Belgesi" uygulaması hayata geçirilmiştir. Enerji Kimlik Belgesi; binanın toplam enerji tüketimi ve sera gazı salım miktarını elektrikli ev aletlerinde olduğu gibi A-G arasında sınıflandırılması sağlanmıştır. Bu belgeyle beraber kullanıcılar buldukları veya kiralamak istedikleri binaların enerji verimliliğini, işletme maliyetini çevreye olan etkilerini görme imkânı bulmuştur. Bu belge ile beraber enerji tasarrufu sağlayan binaların diğer binalardan farklarını ortaya koyma fırsatı çıkmıştır.

"Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" kapsam itibarı ile önemli yenilikler getirmiştir. Fakat Enerji tüketimlerinin azaltılması ile alakalı noktasında TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardında belirtilen değerlerden farklı bir sınır değer bulunmadığı için enerji tüketimlerinin azaltılması hususunda yeterli katkıyı sağlayamamıştır. Isıtma dışındaki binada kullanılan diğer enerji tüketimleriyle alakalı bir sınırlama getirmemekle beraber binanın toplam enerji tüketimi ve karbondioksit salınımları için bir sınırlandırma getirilmiştir. Yeni binaların en az C sınıfı olmaları zorunlu hale gelmiştir.

19 Şubat 2022 tarihinde Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) tanımı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne dahil edilmiştir. Bu değişiklikle beraber 1 Ocak 2023 tarihi itibarıyla bir parseldeki toplam inşaat alanı 5 bin metrekareden büyük olan tüm binaların enerji performans sınıfının en az 'B' olacak şekilde inşa edilmesi ve kullanılacak enerjinin en az yüzde 5'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından

karşılanması zorunlu olmuştur. Yönetmelikle 01 Ocak 2025'ten itibaren NSEB şartı bir parseldeki toplam inşaat alanı 2 bin metrekareden büyük tüm binalarda aranacak olup bu binalarda yenilenebilir enerji kullanım oranının en az %10 olmasının zorunlu tutulmuştur. Bu durum yalıtım kalınlıklarının cephelerde ve döşemelerde en az 2-3 cm, çatılarda ise 4-6 cm artmasını ve daha nitelikli kaplamalı yalıtım camı ünitelerinin kullanımını beraberinde getirmektedir (İzoder 2018).

2.3 Binalarda Sıkça Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri

Bina duvarlarında ısı yalıtım malzemesi olarak birçok farklı malzeme kullanılmaktadır. Uygulamada taş yünü, cam yünü, ekstrüde polistiren köpüğü (XPS), ekspande polistiren köpüğü (EPS) ve poliüretan (PUR) malzeme temininin kolaylığı, ekonomik olarak daha uygun olmaları gibi nedenlerle sıklıkla tercih edilen malzemelerdir. Binalarda duvar ısı yalıtımlarında ise genel olarak taş yünü, ekstrüde polistiren köpüğü (XPS), ekspande polistiren köpüğü (EPS) kullanılmaktadır.

2.3.1 Taş yünü

Taş yünü üretim olarak bazalt taşının ergitilerek elyaf haline dönüştürülmesi sonucu oluşur. Bu ergitme 1350 °C-1400 °C arasında gerçekleşir. Elyaf haline getirilen taş yünü çeşitli ebatlarda preslenerek levha veya boru şeklinde üretilmektedir. Binalarda ısı yalıtımı, ses yalıtımı ve yangın yalıtımında sıklıkla kullanılan bir malzemedir. Kullanım sıcaklığı -50 / +750°C arasındadır. Çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması sebebiyle birçok alanda kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Özellikle yüksek katlı binaların yapımında yangın yönetmeliğine uygun olması için uygulamada kendine önemli bir yer edinmiştir. A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir. Isıl iletkenlik değeri 0,035-0,050 W/m.K arasında kullanılan markaya ve malzemeye göre değişmektedir (İzoder, İnşaat teknolojisi, Isı Yalıtımı, 2013).

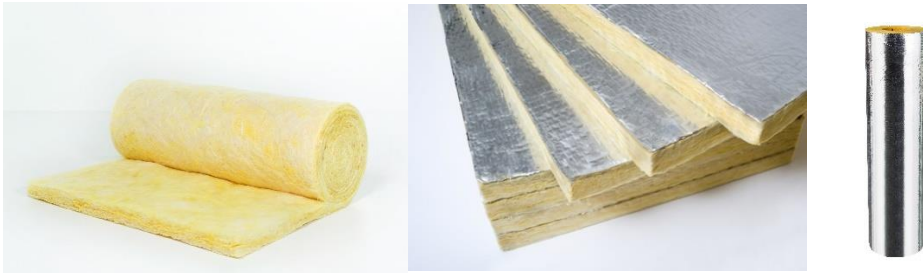


Şekil 2.3: Taş yünü

Kaynak: <https://www.izocam.com.tr> (2023)

2.3.2 Cam yünü

Cam yünü üretimi silis kumunun yüksek basınç altında ergitilerek elyaf haline getirilmesiyle oluşur. Ergitme 1200 C°- 1250 C° arasında gerçekleşir. Gözenekli bir yapıya sahiptir. Farklı yoğunluklarda üretimi mevcuttur. Boru, levha veya şilte halinde üretimi yapılmaktadır. Cam yünü üzerine farklı kaplamalarında bulunduğu çeşitler piyasada mevcuttur. Binalarda boru izolasyonlarında, çatı izolasyonlarında, bina kaplama altı izolasyonlarında ve dolgu duvarlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Ekonomik bir malzemedir. Bu nedenle inşaat sektöründe sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Kullanım sıcaklığı malzeme çeşidine göre -50 / +250 °C arasında değişmektedir. Güneşin zararlı ışınlarına karşı dayanıklıdır. Isıl iletkenlik değeri 0,035-0,050 W/m.K arasında kullanılan malzemeye ve kaplamaya göre değişmektedir. Yanmazlık sınıfı A1 veya A2'dir. Yanmaz sınıfta olması ve ekonomik olarak uygun olması sebebiyle inşaat sektöründe öne çıkan bir malzemedir (İzoder, İnşaat teknolojisi, Isı Yalıtımı, 2013).

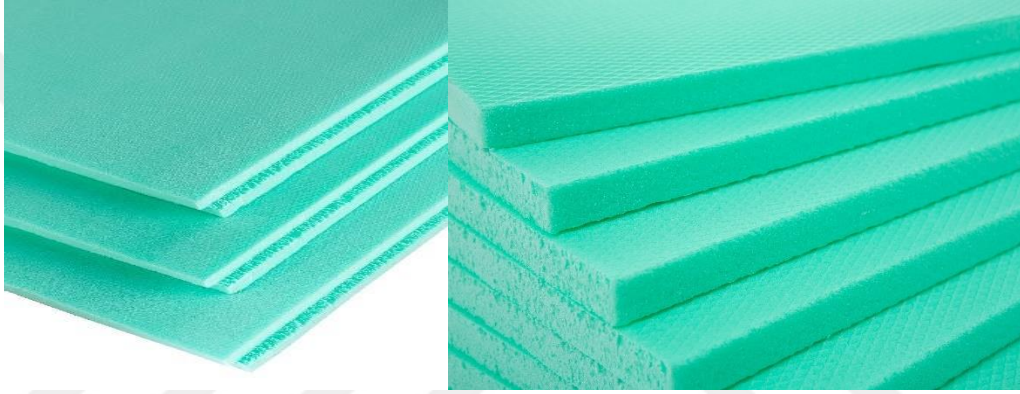


Şekil 2.4: Cam yünü

Kaynak: <https://www.ode.com.tr> (2023)

2.3.3 Ekstrüde Polistiren Köpüğü (XPS)

Polistiren hammaddesi kullanılarak imal edilirler. İmalatta polistiren hammaddesinin ekstürüzyon yapılarıyla elde edilir. Kullanım yerine göre farklı yoğunluklarda ve farklı boyutlarda üretilirler. Kullanım sıcaklığı $-50 / +80^{\circ}\text{C}$ arasında yoğunluğuna göre değişmektedir. Isıl iletkenlik değeri $0,030-0,040 \text{ W/m.K}$ arasında kullanılan malzemeye göre değişmektedir. Kapalı gözenekli bir yapıya sahip olması nedeniyle su geçirgenliği yoktur. Basma dayanımının yüksek olması nedeniyle üzerine kuvvetin etki ettiği yüzeylerde sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle duvar yalıtımında, teras çatı uygulamalarında, üzerinde yürünen ve iş yapılan zemin uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır (İzoder, İnşaat teknolojisi, Isı Yalıtımı, 2013).



Şekil 2.5: Ekstrüde Polistiren Köpüğü (XPS)

Kaynak: <https://www.ode.com.tr> (2023)

2.3.4 Genleştirilmiş Polistiren Köpüğü (EPS)

Polistiren hammaddesinin su buharıyla temas etmesiyle içerisinde bulunan pentan gazının genişmesiyle bloklar halinde elde edilirler. Sıcak tel ile kesilerek istenilen boyutlara getirilirler. Kalıp içerisinde şişirilmesiyle de elde edilen çeşitleri vardır. EPS levhalar ısı yalıtım amaçlı kullanılmak isteniyorsa yoğunluğunun en az 15kg/m^3 olması gerekir. Kullanım sıcaklığı $-50 / +80^{\circ}\text{C}$ arasında yoğunluğuna göre değişmektedir. Yangın dayanımı düşüktür. Isıl iletkenlik değeri $0,035-0,040 \text{ W/m.K}$ arasında kullanılan malzemeye göre değişmektedir. Üretim maliyetinin düşük olması sebebiyle binalarda izolasyon olarak kullanılan en ucuz malzemelerden biridir. Ucuz olması sebebiyle birçok bina izolasyonunda sıklıkla tercih edilmektedir. Eğilme dayanımı yüksek bir malzemedir. Genel olarak ısı ve ses yalıtımında kullanılırlar.

Binalarda duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, zemin yalıtımı gibi birçok noktada uygulamaları yapılmaktadır. Ekonomik olması, istenilen ebatlarda ve yoğunluklarda üretimi yapılması, ısı yalıtım performansının yüksek olması gibi nedenlerden dolayı tercih sebebi olmuştur (İzoder, İnşaat teknolojisi, Isı Yalıtımı, 2013).



Şekil 2.6: Genleştirilmiş Polistiren Köpüğü (EPS)

Kaynak: <https://www.ode.com.tr> (2023)

2.3.5 Poliüretan (PUR)

Poliol ve izosiyanat karıştırılmasıyla elde edilir. Bu iki malzeme karıştırılırken hava ile beraber malzemenin köpürüp sertleşmesiyle elde edilir. Genellikle levha halinde veya püskürtme yoluyla uygulamaları yapılmaktadır. Kullanım sıcaklığı $-200 / +110$ C aralığında değişmektedir. Yangın sınıfı D, E veya F'dir. Isıl iletkenlik değeri $0,025-0,040$ W/m.K arasında değişmektedir. Binalarda özellikle karmaşık yüzeylerde, çatılarda işçilikten ve zamandan kazanmak için tercih edilirler (İzoder, İnşaat teknolojisi, Isı Yalıtımı, 2013).



Şekil 2.7: Poliüretan (PUR)

Kaynak: <https://www.ode.com.tr> (2023)

2.4 Binalarda Sıkça Kullanılan Duvar Dolgu Malzemeleri

2.4.1 Tuğla

Tuğla üretiminde hammadde olarak kil kullanılır. Fabrikaya gelen hammaddeye gerekli nem ilavesi yapılarak şekillendirilir. Ardından doğal dış ortamda kurutulur. Gerekli kuruluğa ulaştıktan sonra tünel fırınlarda 800-1000 C arasında pişirilerek üretimi tamamlanmış olur. Genel olarak Yatay delikli ve düşey delikli olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Isıl iletkenlik değeri yatay delikli tuğlalarda 0,33-0,45 W/m.K , düşey delikli tuğlalarda 0,19-0,29 W/m.K'dir. Bina yapımında ekonomikliğı nedeniyle ülkemizde en çok kullanılan duvar dolgu malzemesidir. Malzeme fiyatı düşük olmasına rağmen işçiliğı yüksek bir üründür. Günümüzde izolasyonlu, izolasyonsuz, izolasyon boşluklu, taşıyıcı gibi çok farklı şekillerde ve farklı kalınlıklarda üretimleri mevcuttur. Hammaddesinin ve üretimin ülkemizde yapılması nedeniyle ekonomik bir üründür (TS 825, 2013).

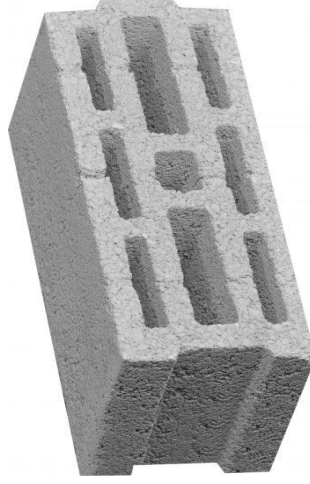


Şekil 2.8: Tuğla

Kaynak: <https://bloksan.com.tr> (2023)

2.4.2 Bims

Son yıllarda ülkemizde inşaat sektöründe sıkça kullanımı görülmektedir. Doğal ve hafif bir malzeme olan bims(ponza) kalıplarda şekiller verilerek üretimi yapılmaktadır. Gözenekli süngerimsi bir yapıya sahiptir. Isı ve ses yalıtımı sağlamaktadır. Hammaddesinin ve imalatının ülkemizde başlamasıyla son yıllarda sıkça kullanılan bir malzeme haline gelmiştir. Isıl iletim değeri ve işçiliğinin tuğladan daha avantajlı olması tercih sebebi olmuştur. Isıl iletkenlik değeri 0,28-0,74 W/m.K arasındadır. Fakat günümüzde farklı imalat şekilleri ile ısı iletim değerleri daha düşük olan bimslerde mevcuttur (TMMOB Kalorifer Tesisatı, 2012).



Şekil 2.9: Bims

Kaynak: <https://www.blokbims.com.tr/> (2023)

2.4.3 Gazbeton

Kuvarsit, çimento, kireç ve alçıtaşının öğütülerek içerisine su ve gözenek oluşturuçu alüminyum eklenerek kalıplarda imal edilir. Yalıtım özelliğinin yüksek olması, hafif olması ve işçiliğinin kolay olması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Tuğla ve bims göre fiyat olarak pahalı olmasına rağmen ağırlığının, işçiliğinin ve ısı iletim değerlerinin daha düşük olması sebebiyle inşaatlarda birçok noktada kullanılmaktadır. Isıl iletkenlik değeri 0,11-0,29 W/m.K arasındadır. Ülkemizde birçok firma tarafından üretimi yapılmaktadır. Özellikle bina tasarımlarında deprem dayanıklılığını arttırmak ve binayı hafifletmek için sıkça tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir. Isı yalıtım değerinin yüksek olması nedeniyle ülkemizde bazı bölgelerde ekstra yalıtıma ihtiyaç kalmaması, soğuk bölgelerde ise binaya uygulanacak yalıtımın kalınlığını düşürmesi sebebiyle avantajlı hale gelmeye başlamıştır.



Şekil 2.10: Gazbeton



3. HESAPLAMALAR VE ARAŞTIRMA BİLGİLERİ

3.1 Derece-Gün (DG) Hesaplamaları

Derece-gün, 24 saatlik periyotta günün ne kadarının soğuk ne kadarının sıcak geçtiğini anlamamızı sağlayan bir birimdir. Isıtma Derece-Gün (Heating Degree Days - HDD) bir günde ortalama dış ortam sıcaklığının ısıtmaya ihtiyaç duyulan derecenin ne kadar altında kaldığını gösterir. Soğutma Derece-Gün (Heating Degree Days - HDD) bir günde ortalama dış ortam sıcaklığının soğutmaya ihtiyaç duyulan derecenin ne kadar üzerinde kaldığını gösterir. Bu hesaplamalar günlük bazda yapılmaktadır. Daha sonra ihtiyaca göre aylık veya yıllık toplamlar bulunabilir. Birçok ülke ısıtma için farklı referans dereceler belirlemiştir. Ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü kendi internet sitesinde yayınlamış olduğu verilerde Avrupa Birliği

İstatistik Ofisi (Eurostat) 'ın ortak ve karşılaştırılabilir bir kullanım için yayınladığı değerleri baz alarak Derece-Gün değerlerini yayınlamaktadır. Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (Eurostat) HDD hesabı için aşağıdaki denklem 3.1'i kullanmaktadır.

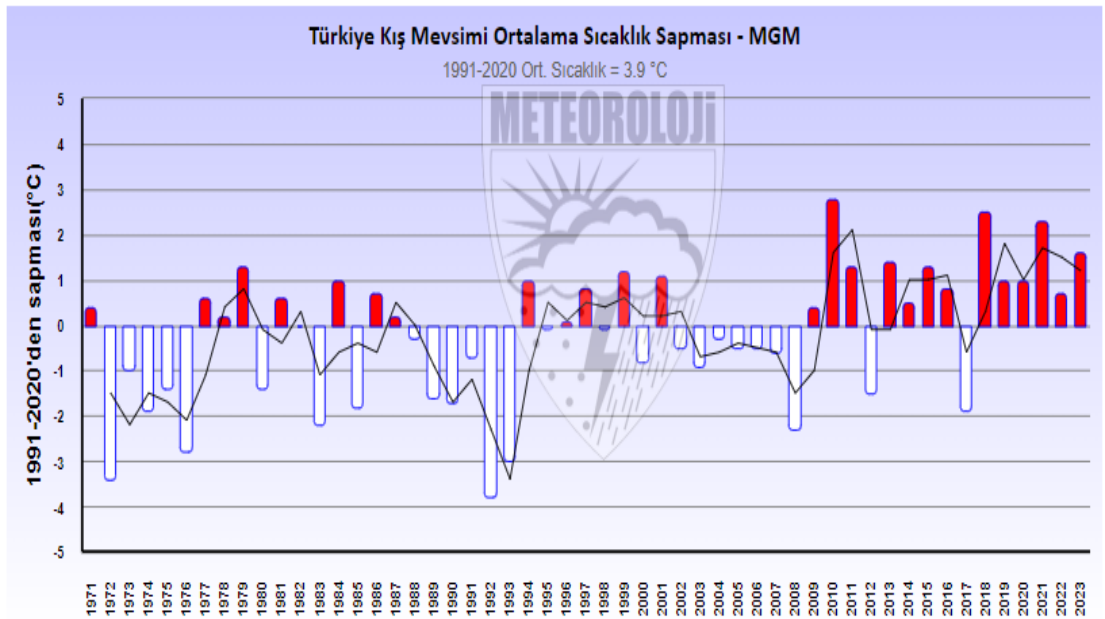
$$\text{HDD} = (18^{\circ}\text{C} - T_m) * d \quad (3.1)$$

Burada; T_m = Günlük ortalama sıcaklık

d = Isıtma yapılan gün sayısı

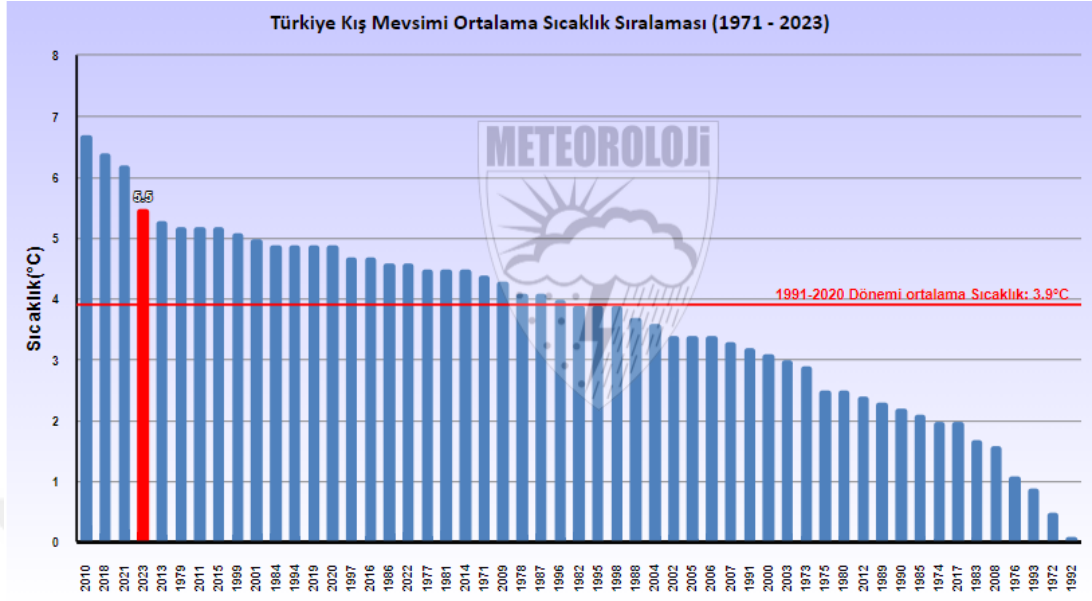
Eğer $T_m > 15^{\circ}\text{C}$ (ısıtma eşiği) ise $\text{HDD} = 0$ dır.

Derece gün değerlerinin bilinmesi ısıtma veya soğutma sistem tasarımı yapılmasında ön plana çıkmaktadır. Derece-gün değerlerinin yıllık bazda veya uzun yıllardaki değerlerin bilinmesiyle binanın işletme esnasında ne kadar enerji ihtiyacı olduğunun hesabı daha doğru bir yaklaşımla yapılmaktadır. Günümüzdeki tüm yatırımlarda temel amaç düşük yatırım maliyeti ve düşük işletme giderlerini oluşturabilmektir. Bu noktada her tasarımda optimumu yakalamak gerekmektedir. Dünyada ve ülkemizde küresel ısınmayla beraber ısıtma ihtiyaçlarında azalma soğutma ihtiyaçlarında artma görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmanın güncel değerleri yakalayabilmesi için son 15 yılın ısıtma derece-gün değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Türkiye’de 1971-2023 Yılları Arası Kış Mevsimi Ortalama Sıcaklık Sapması

Kaynak: <https://mgm.gov.tr> (2023)



Şekil 3.2: Türkiye’de 1971-2023 Yılları Arası Kış Mevsimi Ortalama Sıcaklık Sıralaması

Kaynak: <https://mgm.gov.tr> (2023)

Çalışmamda optimum ısı yalıtım ve duvar malzemelerinin belirlenmesi için ısıtma derece-gün değerleri kullanılmıştır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’den de anlaşıldığı üzere Türkiye’de 2008 yılından itibaren genel olarak kış mevsiminde ortalama sıcaklığın mevsim normalleri üzerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu yükselişe beraber kış dönemlerinde ülke genelinde ısıtmaya yönelik enerji ihtiyacı azalmaktadır. Çalışmanın doğruluğunu arttırmak için 2008-2022 yılları arasında 15 yıl için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün sitesinde yayınlamış olduğu ısıtma derece-gün değerlerinin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.1: Türkiye’de 81 İl İçin 2008-2022 Yılları Arasında Hesaplanan Ortalama Derece Gün Değerleri

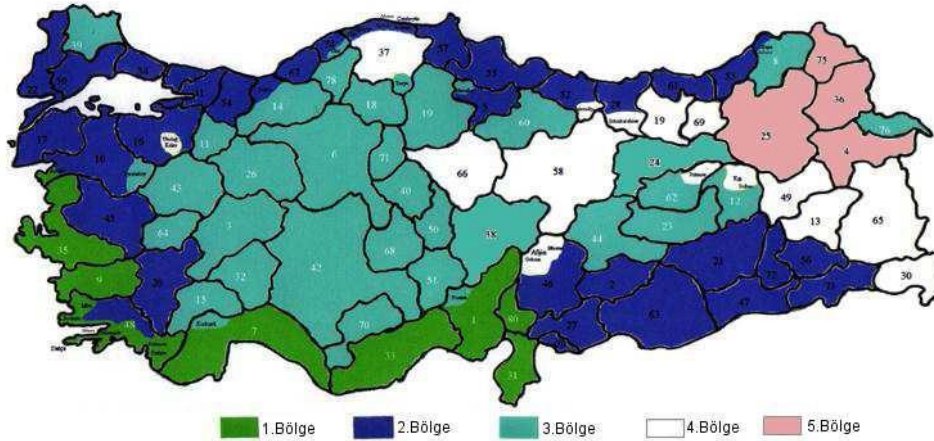
Kaynak: <https://mgm.gov.tr/>

Derece- Gün Bölgesi	İl	2008-2022 15 Yıllık Ortalama Isıtma Derece Gün Değerleri	Derece -Gün Bölgesi	İl	2008-2022 15 Yıllık Ortalama Isıtma Derece Gün Değerleri
1	ADANA	760	2	KAHRAMANMARAŞ	1396
2	ADYAMAN	1446	3	KARABÜK	2225
3	AFYON	2473	3	KARAMAN	2313
5	AĞRI	4086	5	KARS	4346
2	AMASYA	1955	4	KASTAMONU	2885
3	AKSARAY	2262	4	KAYSERİ	2707
3	ANKARA	2300	3	KIRIKKALE	2308
1	ANTALYA	796	3	KIRKLARELİ	1947
5	ARDAHAN	4628	3	KIRŞEHİR	2508
3	ARTVİN	2099	2	KİLİS	1280
2	AYDIN	1047	2	KOCAELİ	1422
2	BALIKESİR	1793	3	KONYA	2508
2	BARTIN	1985	3	KÜTAHYA	2530
2	BATMAN	1823	3	MALATYA	2115
4	BAYBURT	3597	2	MANİSA	1338

3	BİLECİK	2090	2	MARDİN	1672
3	BİNGÖL	2569	1	MERSİN	568
4	BİTLİS	3585	2	MUĞLA	1699
3	BOLU	2611	4	MUŞ	3120
3	BURDUR	2076	3	NEVŞEHİR	2609
2	BURSA	1601	3	NİĞDE	2509
2	ÇANAKKALE	1431	2	ORDU	1481
3	ÇANKIRI	2612	2	OSMANİYE	895
3	ÇORUM	2618	2	RİZE	1528
2	DENİZLİ	1350	2	SAKARYA	1416
2	DİYARBAKIR	1891	2	SAMSUN	1462
2	DÜZCE	1845	2	SİİRT	1700
2	EDİRNE	1874	2	SİNOP	1529
3	ELAZIĞ	2251	4	SİVAS	3032
4	ERZİNCAN	2692	2	ŞANLIURFA	1223
5	ERZURUM	4371	2	ŞIRNAK	1923
3	ESKİŞEHİR	2390	2	TEKİRDAĞ	1665
2	GAZİANTEP	1697	3	TOKAT	2146
2	GİRESUN	1427	2	TRABZON	1388
4	GÜMÜŞHANE	2890	3	TUNCELİ	2421
4	HAKKARİ	2989	3	UŞAK	2198
1	ANTAKYA	968	4	VAN	3017
3	IĞDIR	2448	2	YALOVA	1483
3	ISPARTA	2259	4	YOZGAT	3014
2	İSTANBUL	1427	2	ZONGULDAK	1646
1	İZMİR	934			

Araştırmada Çizelge 3.'de belirtilen ortalama ısıtma derece-gün değerleri kullanılmıştır.

3.2 Isıl İletkenlik ve Isı Kaybı Hesaplamaları



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

Şekil 3.3: Derece gün bölgelerine göre illerimiz

Kaynak: TS 825 (2013)

Isı kayıp hesaplamalarının ve ısı kayıp hesaplamalarında kullanılan ‘‘TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’’ standardının Aralık 2013’te revize edilmesiyle ülkemizde derece-gün bölgeleri 5 bölge olarak tanımlanmıştır. Daha önce 4. Bölgede bulunan Ağrı, Ardahan, Erzurum, Kars illeri ülkemizin en soğuk illeri olduğu için ısı yalıtımın daha iyi yapıp enerji tüketiminin azaltılması amacıyla 5. Bölge olarak ayrılmıştır. Standartta farklı bölgelerde yer alan diğer iller içinse ısı iletkenlik değeri düşürülerek ülke genelinde enerji tasarrufunun artırılması düşünülmektedir. Şekil 3.3’te 5 bölgedeki iller görülmektedir.

Çizelge 3.2: Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri

Kaynak: TS 825 (2013)

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

Çizelge 3.3: Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri

Kaynak: TS 825 (2008)

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_P^* (W/m ² K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’ten görüldüğü üzere duvar ısı iletim katsayıları düşürülerek Türkiye’de gelecek vizyonunda enerji tasarrufuna katkıda bulunmak için ilgili standartlarda değişiklikler yapılmıştır. Bu çalışmada belirlenen 1. Bölge için 0,66 W/m²K, 2. Bölge için 0,57 W/m²K, 3. Bölge için 0,48 W/m²K, 4. Bölge için 0,38 W/m²K, 5. Bölge için 0,36 W/m²K değerleri duvar ısı iletim katsayıları baz değerlendirilmeler yapılmıştır.

3.2.1 Isı iletkenlik (U) değeri hesaplaması

Çok tabakalı malzemelerin ısı iletkenlik değeri hesaplamasında genel olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R = \frac{d}{k} \quad (3.2)$$

Kullanılan bu denklemde:

R : Isıl geçirgenlik direnci ($m^2.K/W$),
d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m),
k: Isıl iletkenlik hesap değeri ($W/m.K$)'dir.

Çok tabakalı olan yapı bileşenlerinde:

$$R = \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \dots + \frac{d_n}{k_n} \quad (3.3)$$

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ yapı elemanlarının kalınlıkları ve $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ ısı iletkenlik değeri kullanılarak hesaplanır.

Toplam ısı iletkenlik değerinin hesaplanması için;

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_d \quad (3.3)$$

formülü kullanılır.

Kullanılan bu denklemde:

$\frac{1}{U}$: Yapı bileşeninin toplam ısı iletkenlik değeri ($m^2.K/W$),

R_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım ve ışıınım direnci ($m^2.K/W$),

R_d : Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım ve ışıınım direnci ($m^2.K/W$),

Bir yapıda toplam ısı iletim katsayısı (U) eşitlik x e göre hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_d} \quad (3.4)$$

U : Yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik katsayısı ($W/m^2.K$)

Hesaplamalarda R_i ve R_d değerleri Çizelge 3.4'ten alınır.

Çizelge 3.4: Hesaplanmış yüzeysel ısı direnç değerleri

Kaynak: TS 825 (2013)

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

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

Çalışmamda ısı iletkenlik değeri hesaplamalarında İZODER TS 825 Isı Yalıtım Hesap programından faydalanarak U değerleri hesaplanmıştır. Türkiye'de 81 il için duvar dolgu malzemesi olarak tuğla, bims ve gazbeton üzerine taş yünü, ekspande polistiren köpüğü (EPS), ekstrüde polistren köpüğü (XPS) ısı yalıtımı farklı varyasyonlarda kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplamalar için kullanılan R değerleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5: Dolgu Duvar Malzemeleri Kalınlık ve Isı İletim Katsayıları

Duvar Dolgu Malzemesi	Kalınlık (cm)	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Tuğla	13,5	0,36
Bims	15	0,24
Gazbeton	15	0,13

Dolgu duvar malzemeleri olarak inşaat sektöründe birçok farklı malzemeler kullanılmaktadır. Ülkemizde bina yapımında hem ekonomik hem de bulunabilirliği daha kolay olduğu için duvar dolgu malzemeleri olarak en çok kullanılan ürünler;

tuğla, bims ve gazbetondur. Bu nedenle çalışmamda en çok kullanılan bu üç malzeme kullanılarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan malzeme kalınlıkları da bina dış cephelerinde en çok tercih edilen kalınlıklar seçilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan ısı iletim katsayıları ve kalınlıkları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 3.6: Isı Yalıtım Malzemeleri Isı İletim Katsayıları Tablosu

Yalıtım Malzemeleri	U (W/m.K)
EPS	0,034
XPS	0,036
Taş Yünü	0,04

Bina yapımında ülkemizde en çok EPS, XPS, Taş yünü ve Cam yünü ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Diğer ısı yalıtım malzemelerine göre daha ekonomik olmaları nedeniyle tercih sebebi olmuşlardır. Cam yünü genel olarak çatı izolasyonunda ve boru izolasyonunda tercih edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada duvar ısı yalıtım malzemeleri olarak EPS, XPS ve Taş yünü kullanılmıştır.

Çizelge 3.7: Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri İçin Hesaplanan Farklı Kalınlıklardaki U Değerleri (W/m².K)

Isı Yalıtım Kalınlığı (Cm)	Tuğla			Bims			Gazbeton		
	EPS	XPS	Taş Yünü	EPS	XPS	Taş Yünü	EPS	XPS	Taş Yünü
0	1,669	1,669	1,669	1,177	1,177	1,177	0,726	0,726	0,726
1	1,107	1,127	1,164	0,867	0,879	0,901	0,594	0,6	0,61
2	0,835	0,858	0,901	0,691	0,707	0,736	0,506	0,514	0,53
3	0,67	0,693	0,736	0,574	0,591	0,621	0,44	0,45	0,468
4	0,56	0,581	0,621	0,491	0,508	0,538	0,39	0,4	0,419
5	0,481	0,5	0,538	0,429	0,445	0,474	0,35	0,36	0,379

6	0,421	0,439	0,474	0,381	0,396	0,424	0,317	0,327	0,346
7	0,375	0,392	0,424	0,343	0,357	0,383	0,29	0,3	0,319
8	0,338	0,353	0,383	0,311	0,325	0,35	0,267	0,277	0,295
9	0,307	0,322	0,35	0,285	0,298	0,322	0,248	0,257	0,275
10	0,282	0,295	0,322	0,263	0,275	0,298	0,231	0,24	0,257
11	0,26	0,273	0,298	0,244	0,255	0,277	0,216	0,225	0,242
12	0,242	0,254	0,277	0,228	0,239	0,259	0,203	0,212	0,228
13	0,226	0,237	0,259	0,214	0,224	0,243	0,192	0,2	0,216
14	0,212	0,222	0,243	0,201	0,211	0,229	0,182	0,19	0,205
15	0,199	0,209	0,229	0,19	0,199	0,217	0,172	0,18	0,195
16	0,188	0,198	0,217	0,18	0,189	0,206	0,164	0,171	0,186
17	0,178	0,188	0,206	0,171	0,179	0,196	0,157	0,164	0,177
18	0,169	0,178	0,196	0,163	0,171	0,187	0,15	0,157	0,17
19	0,161	0,17	0,187	0,155	0,163	0,178	0,143	0,15	0,163
20	0,154	0,162	0,178	0,148	0,156	0,171	0,138	0,144	0,157

Çalışmada ısı kaybı hesabı yapabilmek için öncelikle ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken tuğla, bims ve gazbeton üzerine 0-20 cm aralığında EPS, XPS ve Taş yünü uygulanarak tüm kalınlıklar için kullanılacak U değerleri İZODER TS825 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan U değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.8: Türkiye’de 5 Derece-Gün Bölgesi İçin TS 825 Standardına Göre Hesaplanan U Değerleri Tablosu

		1. Bölge(0,66)		2. Bölge(0,57)		3. Bölge(0,48)		4. Bölge(0,38)		5. Bölge(0,36)	
		Kalınlık	U	Kalınlık	U	Kalınlık	U	Kalınlık	U	Kalınlık	U
		(cm)	(W/m ² K)	(cm)	(W/m ² K)	(cm)	(W/m ² K)	(cm)	(W/m ² K)	k (cm)	(W/m ² K)
Tuğla	EPS	4	0,56	4	0,56	5	0,481	7	0,375	8	0,338
(13,5cm- 0,36	XPS	4	0,581	5	0,5	6	0,439	8	0,353	8	0,353
W/m ² K)	Taş Yünü	4	0,621	5	0,538	6	0,474	8	0,383	9	0,35
Bims	EPS	3	0,574	4	0,491	5	0,429	6	0,381	7	0,343
(15cm- 0,24	XPS	3	0,591	4	0,508	5	0,445	7	0,357	7	0,357
W/m ² K)	Taş Yünü	3	0,621	4	0,538	5	0,474	7	0,383	8	0,35
Gazbeton	EPS	1	0,594	2	0,506	3	0,44	5	0,35	5	0,35
(15 Cm-0,13	XPS	1	0,6	2	0,514	3	0,45	5	0,36	5	0,36
W/m ² K)	Taş Yünü	1	0,61	2	0,53	3	0,468	5	0,379	6	0,346

TS 825 standardında Türkiye 5 derece-gün bölgesine ayrılmıştır. Standartta bu beş bölge için dış duvarların ısı iletkenlik değerleri sınırlandırılmıştır. Yukarıdaki tabloda standartta belirtilen sınırlara göre yapılması gereken minimum izolasyon kalınlıkları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda standartta yer alan bu sınır değerlerinin ekonomik olarak ne kadar uygun olduğunun değerlendirilebilmesi amacıyla bu hesaplamalar yapılmıştır. TS 825'te illerin hangi bölgede yer aldığı Çizelge 3.9'da verilmiştir.



Çizelge 3.9: İllere Göre Derece Gün Bölgeleri

Kaynak: TS 825 (2013)



Ek D
İllere göre derece gün bölgeleri

1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
ADANA	HATAY	MERSİN		
ANTALYA	İZMİR			
İli 2. Bölgede olupda kendisi 1.Bölgede olan belediyeler				
BODRUM (Muğla)	DALAMAN (Muğla)	FETHİYE (Muğla)	MARMARİS(Muğla))	
GÖKOVA (Muğla)	DATÇA (Muğla)	KÖYCEĞİZ (Muğla)	MİLAS (Muğla)	
2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
AYDIN	BURSA	GİRESUN	KARAMAN	SİNOP
AYVALIK (Balıkesir)	ÇANAKKALE	İSTANBUL	MUĞLA	ŞİRNAK
ADIYAMAN	DENİZLİ	KİLİS	ORDU	ŞANLIURFA
AMASYA	DİYARBAKIR	KOCAELİ	RİZE	TEKİRDAĞ
BALIKESİR	DÜZCE	MARAŞ	SAMSUN	TRABZON
BARTIN	EDİRNE	MANİSA	SAKARYA	YALOVA
BATMAN	GAZİ ANTEP	MARDİN	SİİRT	ZONGULDAK
İli 3. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler				
HOPA (Artvin)	ARHAVİ (Artvin)			
İli 4. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler				
ABANA(Kastamonu)	BOZKURT (Kastamonu)	ÇATALZEYTİN (Kastamonu)		
İNEBOLU (Kastamonu)	CİDE (Kastamonu)	DOĞANYURT (Kastamonu)		
3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA	
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR	
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE	
ARTVİN	ÉLAZİĞ	KIRKLARELİ	TOKAT	
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KİRŞEHİR	TUNCELİ	
BİNGÖL	İĞDIR	KONYA	UŞAK	
BOLU	ISPARTA	KÜTAHYA		
İli 1. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler				
POZANTI (Adana)	KORKUTELİ (Antalya)			
İli 2. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler				
MERZİFON (Amasya)	DURSUNBEY (Balıkesir)	ULUS (Bartın)		
İli 4. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler				
TOSYA(Kastamonu)				
4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
BAYBURT	GÜMÜŞHANE	HAKKÂRİ	VAN	
BİTLİS	KASTAMONU	MUŞ	YOZGAT	
ERZİNCAN	KAYSERİ	SİVAS		
İli 2. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler				
KELES (Bursa)	ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun)	ELBİSTAN (K.Maraş)	MESUDİYE (Ordu)	
ULUDAĞ (Bursa)	AFŞİN (K.Maraş)	GÖKSUN (K.Maraş)		
İli 3. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler				
KIĞI (Bingöl)	PÜLÜMÜR (Tunceli)	SOLHAN (Bingöl)		
5. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
AĞRI	ARDAHAN	ERZURUM	KARS	

Not - Ek'te adı bulunmayan yerleşim birimleri, bağlı oldukları belediyenin bölgesinde sayılır.

3.2.2 Isı Kaybı Hesaplamaları

Dış duvar için ısı kaybı hesaplamaları yapılırken birim yüzeyden olan ısı kaybı,

$$Q = U.(T_1.T_2) \quad (3.5)$$

denklemiyle hesaplanabilir. Buradaki formüldeki U duvarın tüm katmanlarının eklendiği toplam ısı iletkenlik değeridir. T ise sıcaklık değeridir. Derece-Gün değeri kullanılarak hesaplama yapılmak istenirse

$$Q = 86400.DG.U \quad (3.6)$$

formülü kullanılarak duvarda oluşan yıllık enerji kaybı hesaplanır. Burada DG (Derece-Gün) yıl boyunca ısıtma gereken günlerin toplam derecesidir. Isıtma için kullanacağımız toplam enerji miktarı ise oluşan ısı kaybının kullanılan sistemin verimine bölünmesi ile elde edilir.

$$E_T = 86400.DG.U / \eta \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada E_T ısıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacıdır. η ise kullanılan sistem verimidir.

Çizelge 2 ve Çizelge 8' de hesaplanan değerler yardımıyla 81 ilin ısı kaybı hesaplanmıştır. Sistem verimi $\eta = \%93$ alınarak ısıtma için gerekli olan yıllık enerji miktarı hesaplanmıştır.

3.3 Optimum Duvar ve Isı Yalıtım Malzemeleri ve Maliyet Hesaplamaları

Maliyet hesaplamaları yapılırken birçok farklı metot kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise ömür maliyet analizi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Binada kullanılan tuğla, bims ve gazbetonun maliyetlerine EPS, XPS, taş yünü izolasyon malzemelerinin maliyetleri eklenip binayı ısıtmak için kullanılan enerji maliyetinin 10 yıllık süre içerisinde bugünkü değeri (PV) hesaba katılarak toplam maliyet hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken 1 m² duvar maliyeti baz alınmıştır. Bugünkü

değer belirlenen ömür süresine (LT), enflasyon oranına(g) ve faiz oranına(i) bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Eğer } i > g \text{ ise } r = \frac{i-g}{1+g}; \text{ eğer } i < g \text{ ise } r = \frac{g-i}{1+i} \quad (3.8)$$

Burada r gerçek faiz oranıdır.

$$PV = \frac{(1+r)^{LT}-1}{r(1+r)^{LT}} \quad (3.9)$$

Formülüyle Çizelge 3.10'daki değerler kullanılarak binayı ısıtmak için kullanmış olduğumuz yakıt maliyetinin bugünkü değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.10: Bugünkü Değer Hesaplamalarında Kullanılan Değerler

i	0,289
g	0,5768
r	0,223274
LT	10
PV	3,881872

Isıtma için yakıt olarak doğalgaz seçilmiştir. Doğalgazın maliyeti hesaplanırken İGDAŞ 2023 Ocak ayı verileri baz alınmıştır. Doğalgaz faturalandırması için kullanılan veriler Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11: 2023 Ocak Ayı Doğalgaz Verileri (İgdaş, 26.03.2023)

Kaynak: (İgdaş, 26.03.2023)

Düzeltilme Katsayısı(K)	1,033488
Üst Isıl Değer(Kwh/M ³)	10,935181
Doğalgaz Fiyatı(Tl/Kwh)	0,43085902
Doğalgaz Fiyatı(Tl/M ³)	5,7458
KDV %	1,18

Daha sonra Çizelge 3.11 kullanılarak daha önce hesaplanmış olan 81 ilde 1 m² duvardaki ısı kayıplarına karşılık harcanan doğalgazın yıllık maliyeti hesaplanmıştır.

Çizelge 3.12: İzolasyon Malzemeleri Birim Fiyatları

	İzolasyon Malzemesi Fiyatları(TL/m ²)
EPS 1 cm	9,56
XPS 1 cm	17,48
Taş Yünü 1 cm	11,63

İzolasyon malzeme fiyatları hesaplanırken izolasyon kalınlığı 0-20cm aralığında her santim için Çizelge 3.12'deki birim fiyatlar kullanılarak izolasyon maliyetleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.13: Duvar Dolgu Malzemeleri Birim Fiyatları

	Duvar Dolgu Malzemesi Fiyatları (TL/m ²)
Tuğla (13,5cm)	143
Bims (15cm)	106,25
Gazbeton (15cm)	233,1

Duvar dolgu malzeme fiyatları ve izolasyon fiyatları 2023 ocak ayında firmalardan KDV dahil olacak şekilde fiyatlar alınarak çalışmanın günceli yakalayarak geçerliliğini arttırmak amaçlanmıştır. Duvar dolgu malzeme fiyatları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.14: Hesaplama Kullarılan İzolasyon ve Duvar Maliyeti Toplamı

İzolasyon Kalınlığı (cm)	Tuğla (TL)			Bims (TL)			Gazbeton (TL)		
	EPS	XPS	Taş Yünü	EPS	XPS	Taş Yünü	EPS	XPS	Taş Yünü
0	143	143	143	106,25	106,25	106,25	233,1	233,1	233,1
1	152,56	160,48	154,63	115,81	123,73	117,88	242,66	250,58	244,73
2	162,12	177,96	166,26	125,37	141,21	129,51	252,22	268,06	256,36
3	171,68	195,44	177,89	134,93	158,69	141,14	261,78	285,54	267,99
4	181,24	212,92	189,52	144,49	176,17	152,77	271,34	303,02	279,62
5	190,8	230,4	201,15	154,05	193,65	164,4	280,9	320,5	291,25
6	200,36	247,88	212,78	163,61	211,13	176,03	290,46	337,98	302,88
7	209,92	265,36	224,41	173,17	228,61	187,66	300,02	355,46	314,51
8	219,48	282,84	236,04	182,73	246,09	199,29	309,58	372,94	326,14
9	229,04	300,32	247,67	192,29	263,57	210,92	319,14	390,42	337,77
10	238,6	317,8	259,3	201,85	281,05	222,55	328,7	407,9	349,4
11	248,16	335,28	270,93	211,41	298,53	234,18	338,26	425,38	361,03
12	257,72	352,76	282,56	220,97	316,01	245,81	347,82	442,86	372,66
13	267,28	370,24	294,19	230,53	333,49	257,44	357,38	460,34	384,29
14	276,84	387,72	305,82	240,09	350,97	269,07	366,94	477,82	395,92
15	286,4	405,2	317,45	249,65	368,45	280,7	376,5	495,3	407,55
16	295,96	422,68	329,08	259,21	385,93	292,33	386,06	512,78	419,18
17	305,52	440,16	340,71	268,77	403,41	303,96	395,62	530,26	430,81
18	315,08	457,64	352,34	278,33	420,89	315,59	405,18	547,74	442,44
19	324,64	475,12	363,97	287,89	438,37	327,22	414,74	565,22	454,07
20	334,2	492,6	375,6	297,45	455,85	338,85	424,3	582,7	465,7

Çizelge 3.14'te tuğla, bims ve gazbeton üzerine EPS, XPS ve taş yünü izolasyon yapıldığında hesaplamalarda kullanılan toplam izolasyon ve dolgu malzemesi fiyatları verilmiştir.

Duvar dolgu malzemeleri belirlenirken inşaatlarda günümüzde en çok tercih edilen tuğla, bims ve gazbeton kalınlıkları kullanılmıştır. Optimum duvar ve yalıtım malzemesi hesaplanırken duvar dolgu malzemeleri maliyetine izolasyon ve ısıtma için harcanan doğalgaz fiyatları eklenerek toplam maliyet bulunmuştur. Bu maliyetler 0-20 cm aralığında her santim için 81 ilde farklı izolasyon kalınlıklarında ve farklı dolgu malzemeleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama sonuçlarında 81 ilde tuğla, bims, gazbeton için ayrı ayrı ısı yalıtım kalınlığı- maliyet eğrileri çizilerek maliyetin minimum olduğu nokta olan optimum noktalar bulunmuştur.

4. BULGULAR

4.1 1. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler

Türkiye’de TS 825’e göre 1. bölgede 5 ilimiz yer almaktadır. Bu iller; Adana, Antalya, Hatay, İzmir ve Mersin illerimizdir. Bu iller Türkiye’deki en sıcak iklime sahip illerimizdir. Bu nedenle ısıtma için izolasyon yapıldığında izolasyon kalınlıkları en düşük çıkan illerdir.

Çizelge 4.1: TS 825’e Göre 1. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları

Isıl İletim Katsayıları		1. Bölge (0,66 W/m ² K)	
		Kalınlık (cm)	U Değeri (W/m ² K)
Tuğla (13,5 cm - 0,36 W/mK)	EPS	4	0,56
	XPS	4	0,581
	Taş Yünü	4	0,621
Bims (15 cm - 0,24 W/mK)	EPS	3	0,574
	XPS	3	0,591
	Taş Yünü	3	0,621
Gazbeton (15 cm - 0,13 W/mK)	EPS	1	0,594
	XPS	1	0,6
	Taş Yünü	1	0,61

TS 825’te belirtilen sınır değerine göre 1. Bölge için bu çalışmada seçmiş olduğumuz duvar ve izolasyon malzemeleriyle hesaplama yaptığımızda 1-4 cm arasında izolasyon kalınlıkları değişmektedir. Çizelge 4.1’de hesaplanan izolasyon kalınlıkları görülmektedir.

Çalışmada yapılan hesaplamalarda 1. Bölgede yer alan illerimizde yalıtım kalınlıkları 0-2 cm arasında değişmektedir. Bu iller kışın sıfır derecenin altına pek düşmediğinden ısıtma için izolasyon kalınlıkları çok düşük hatta bazı illerimizde sıfır çıkmaktadır. Bims ve gazbetonun ısıl iletkenlik değerleri tuğladan daha düşük olduğu için en yüksek izolasyon kalınlıkları tuğla kullanımında ortaya çıkmıştır. 1. Bölgede bulunan illerde maliyetin minimum olduğu optimum noktada tuğla kullanımında 0-2 cm; bims kullanımında 0-1 cm; gazbeton kullanımında ise 0 cm aralığında izolasyon kalınlıkları değişmektedir. İzolasyon malzemelerine baktığımızda EPS ve taş yünü kullanımının XPS kullanımından daha ekonomik olduğu görülmüştür. İzolasyon

malzemeleri ekonomiklik olarak sırasıyla EPS, taş yünü, XPS olarak hesaplamalarda görülmektedir.

Duvar dolgu malzemelerine baktığımızda bims kullanımının tuğla ve gazbetona göre daha ekonomik olduğu görülmüştür. Duvar dolgu malzemelerini ekonomik olandan ekonomik olmayana sıralamak gerekirse sırasıyla bims, tuğla, gazbeton olduğu görülmüştür.

Hesaplamalarda 1. Bölgede yer alan 5 ilin tamamında optimum izolasyon ve duvar dolgu malzemelerine baktığımızda ekonomiklik olarak en uygun duvar malzemesinin bims; izolasyon malzemesinin ise EPS olduğu görülmüştür.

4.2 2. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler

Türkiye’de TS 825’e göre 2. bölgede 34 ilimiz yer almaktadır. Bu iller; Aydın, Adıyaman, Amasya, Balıkesir, Bartın, Batman, Bursa, Çanakkale, Denizli, Diyarbakır, Düzce, Edirne, Gaziantep, Giresun, İstanbul, Kilis, Kocaeli, Kahramanmaraş, Manisa, Mardin, Muğla, Osmaniye, Ordu, Rize, Samsun, Sakarya, Siirt, Sinop, Şırnak, Şanlıurfa, Tekirdağ, Trabzon, Yalova, Zonguldak illerimizdir. Bu iller Türkiye’de ılıman iklime sahip genel olarak deniz kenarı veya güney bölgelerinde yer alan illerdir. Bu nedenle kışlar genellikle daha sıcak geçer. TS 825’te belirtilen sınır değerine göre duvar için belirlenen maksimum ısı iletim katsayısı 0,57 W/m²K’dir.

Çizelge 4.2: TS 825’e Göre 2. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları

Isıl İletim Katsayıları		2. Bölge (0,57 W/m ² K)	
		Kalınlık (cm)	U Değeri (W/m ² K)
Tuğla (13,5cm - 0,36 W/mK)	EPS	4	0,56
	XPS	5	0,5
	Taş Yünü	5	0,538
Bims (15cm - 0,24 W/mK)	EPS	4	0,491
	XPS	4	0,508
	Taş Yünü	4	0,538
Gazbeton (15cm - 0,13 W/mK)	EPS	2	0,506
	XPS	2	0,514
	Taş Yünü	2	0,53

Çalışmada değerlendirme ve karşılaştırma yapabilmek için belirlenen bu sınır değerlerini sağlayacak şekilde belirlenen malzemeler ve U değerlerine göre hesaplamalar yapılmış ve uyulması gereken minimum izolasyon kalınlıkları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama göre 2. Bölge için yapılması gereken izolasyon kalınlıkları 2cm ile 5cm arasında kullanılan duvar dolgu malzemesi ve izolasyon malzemesine göre değişmektedir. Çizelge 4.2’de hesaplanan izolasyon kalınlıkları görülmektedir. Gazbeton kullanımında 2 cm yalıtım yeterli olurken , bims kullanımında bu yalıtım kalınlığının 4cm olduğu, tuğla kullanımında ise 4-5 cm olduğu görülmüştür.

Optimum malzemeleri bulmak için yaptığım bu çalışmada 2. Bölgede yer alan illerimizde ısı yalıtım kalınlıklarının tercih edilen malzeme cinsine göre 0 cm ile 4 cm arasında değiştiği görülmektedir. İklimin çok soğuk olmaması nedeniyle ısıtma için hesaplama yaptığım çalışmada maliyetin yüksek olduğu malzemelerde izolasyon yapmanın ekonomik olmadığı görülmüştür. Doğalgaz fiyatlarına oranla malzeme fiyatlarının daha fazla artması da bu sonucu almamıza neden olmuştur. Bu sonucu doğru değerlendirmek için illerde sadece ısıtma değil soğutmada göz önünde bulundurularak başka bir çalışmada araştırılabilir.

Optimum izolasyon kalınlığı ve izolasyon malzemesine baktığımızda 2. Bölge için tuğla kullanımında bims ve gazbetona kıyasla daha kalın izolasyon yapılması gerektiği görülmüştür. 2. Bölgede bulunan bu illerde tuğla kullanımında 1-4 cm; bims kullanımında 0-3 cm ; gazbeton kullanımında ise 0-1 cm aralığında izolasyon kalınlıkları değişmektedir. İzolasyon malzemeleri karşılaştırıldığında en ekonomik malzemenin EPS olduğu ardından taş yünü ve XPS geldiği gözlemlenmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre ısı yalıtım malzemesi olarak 2. Bölge illeri için en ekonomik malzeme EPS olmuştur. Sıralama olarak bakıldığında en ekonomikten ekonomik olmaya doğru EPS, Taş Yünü, XPS sıralaması oluşmuştur.

Duvar dolgu malzemeleri değerlendirildiğinde bimsin, gazbeton ve tuğlaya kıyasla daha ekonomik olduğu görülmüştür. Optimum noktaya baktığımızda bimsin gazbetona göre %40-60 arasında; bimsin tuğlaya göre %25-30 arasında daha maliyetli olduğu hesaplamalardan çıkmaktadır. Yapılan hesaplamalarda 2. Bölgede Optimum duvar malzemesinin bims olduğu görülmüştür. Duvar dolgu malzemelerini

ekonomik olandan ekonomik olmayana sıralamak gerekirse sırasıyla bims, tuğla, gazbeton olduğu görülmüştür.

Hesaplamalarda 2. Bölgede yer alan 34 ilde optimum izolasyon ve duvar dolgu malzemelerine baktığımızda ekonomiklik olarak en uygun duvar malzemesinin bims; izolasyon malzemesinin ise EPS olduğu görülmüştür.

4.3 3. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler

Türkiye’de TS 825’e göre 3. bölgede 27 ilimiz yer almaktadır. Bu iller; Afyon, Aksaray, Ankara, Artvin, Bilecik, Bingöl, Bolu, Burdur, Çankırı, Çorum, Elazığ, Eskişehir, Iğdır, Isparta, Karabük, Karaman, Kırıkkale, Kırklareli, Kırşehir, Konya, Kütahya, Malatya, Nevşehir, Niğde, Tokat, Tunceli, Uşak illerimizdir. Bu iller Türkiye’de genel olarak karasal iklimin yaşandığı kışların soğuk geçtiği illerdir. TS 825’te belirtilen sınır değerine göre duvar için belirlenen maksimum ısı iletim katsayısı 0,48 W/m²K’dir.

Çizelge 4.3: TS 825’e Göre 3. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları

Isıl İletim Katsayıları		3. Bölge(0,48 W/m ² K)	
		Kalınlık (cm)	U Değeri (W/m ² K)
Tuğla (13,5cm - 0,36 W/mK)	EPS	5	0,481
	XPS	6	0,439
	Taş Yünü	6	0,474
Bims (15cm - 0,24 W/mK)	EPS	5	0,429
	XPS	5	0,445
	Taş Yünü	5	0,474
Gazbeton (15cm - 0,13 W/mK)	EPS	3	0,44
	XPS	3	0,45
	Taş Yünü	3	0,468

Çizelge 18 de 3. Bölge illeri için TS 825 standardına uygun olması için gereken izolasyon kalınlıkları gereken minimum izolasyon kalınlıkları hesaplanmıştır. Çizelge 4.3’te hesaplanan izolasyon kalınlıkları görülmektedir. Yapılan hesaplama göre çalışma için seçtiğimiz izolasyon ve duvar malzemeleri kullanıldığında izolasyon kalınlıkları 3cm ile 6 cm arasında değişmektedir. Tuğla kullanımında 5-6

cm kalınlıkta izolasyon kullanmak gerekirken bims kullanımında 5cm, gazbeton kullanımında 3 cm yalıtım kalınlığının yeterli olduğu görülmüştür.

3. bölgede yer alan illerimizde optimum izolasyon malzemelerine baktığımızda EPS'nin taş yünü ve Xps e göre daha ekonomik olduğu görülmüştür. EPS kullandığımızda izolasyon kalınlıklarının diğer izolasyon malzemelerinden daha kalın bir izolasyon kullanmamız gerektiği tespit edilmiştir. Buna rağmen EPS kullanımının taş yünü ve XPS'e göre daha ekonomik olduğu hesaplamalardan görülmektedir. Maliyetin minimum olduğu optimum noktada EPS izolasyon malzemesi kullanıldığında izolasyon kalınlığı 2 cm ile 5 cm arasında; taş yünü kullanıldığında 1 cm ile 4 cm arasında; XPS kullanıldığında 0 ile 3 cm arasında değişmiştir.

Duvar dolgu malzemelerine göre kıyaslama yaptığımızda ise tuğla kullanımında izolasyon kalınlığı 3 cm ile 5cm; bims kullanımında 2 cm ile 4 cm; gazbeton kullanımında ise 0 cm ile 2 cm arasında değişmiştir. Yine hesaplamalara bakıldığında bims kullanımının tuğla ve gazbetona kıyasla daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Bimsin hem metrekare için kullanılan adet sayısının hemde metrekare maliyetinin tuğlaya göre daha düşük olması nedeniyle tuğladan daha avantajlı hale gelmiştir. Gazbeton kullanımında metrekarede kullanılan adet sayısı bims'e göre daha düşüktür. Fakat gazbeton metrekare fiyatı bimsin metrekare fiyatının yaklaşık iki katı olması sebebiyle ekonomiklik olarak bims gazbetondan daha ekonomik çıkmıştır.

3. bölgede bulunan iller için optimum duvar ve yalıtım malzemelerini birlikte değerlendirdiğimizde duvar dolgu malzemesi olarak bims, izolasyon malzemesi olarak EPS'nin optimum malzemeler olduğu görülmüştür.

4.4 4. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler

Türkiye'de TS 825'e göre 4. bölgede 11 ilimiz yer almaktadır. Bu iller; Bayburt, Bitlis, Erzincan, Gümüşhane, Kastamonu, Kayseri, Hakkâri, Muş, Sivas, Van ve Yozgat illerimizdir. Genel olarak iç Anadolu ve doğu Anadolu bölgesinde yer alan bu iller Türkiye'de kışların çok soğuk geçtiği illerdir. TS 825 standardının daha önceki versiyonlarında 4. Bölge en soğuk bölgeydi. Standartta yapılan revizyonla 4. Bölgede yer alan 4 ille yeni bir bölge oluşturulmuştur. Böylece 4. Bölge en soğuk ikinci bölge

haline gelmiştir. TS 825'te belirtilen sınır değerine göre duvar için belirlenen maksimum ısı iletim katsayısı 0,38 W/m²K'dir.

Çizelge 4.4: TS 825'e Göre 4. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları

Isıl İletim Katsayıları		4. Bölge(0,38 W/m ² K)	
		Kalınlık (cm)	U Değeri (W/m ² K)
Tuğla (13,5cm - 0,36 W/mK)	EPS	7	0,375
	XPS	8	0,353
	Taş Yünü	8	0,383
Bims (15cm - 0,24 W/mK)	EPS	6	0,381
	XPS	7	0,357
	Taş Yünü	7	0,383
Gazbeton (15cm - 0,13 W/mK)	EPS	5	0,35
	XPS	5	0,36
	Taş Yünü	5	0,379

Yapılan hesaplamalara göre 4. Bölge illeri için izolasyon kalınlıkları 5cm ile 8 cm arasında kullanılan malzemelere göre değişmektedir. Tuğla kullanımında 7-8 cm kalınlıkta izolasyon kullanmak gerekirken bims kullanımında 6-7 cm, gazbeton kullanımında 5 cm yalıtım kalınlığının yeterli olacağı hesaplanmıştır. Çizelge 4.4'de hesaplanan izolasyon kalınlıkları görülmektedir.

4. bölgede bulunan illerde hesaplanmış olduğum optimum yalıtım malzemelerine baktığımızda EPS izolasyon malzemesi kullanmanın ekonomiklik açısından en uygun malzeme olduğu görülmüştür. Diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslama yaptığımızda maliyetin minimum olduğu optimum noktada EPS kullanımında 2 ile 6 cm arasında yalıtım kalınlığı gerekirken taş yünü kullanımında 1 cm ile 5 cm arasında, XPS kullanımında ise 1cm ile 4 cm arasında izolasyonun kullanıldığı hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda duvar dolgu malzemelerine baktığımızda bims kullanımının diğer duvar dolgu malzemelerine göre ekonomik olarak daha avantajlı çıkmıştır. Duvar dolgu malzemelerine göre optimum izolasyon kalınlıkları tuğla için 3 cm ile 6cm arasında, bims için 2 cm ile 5 cm arasında, gazbeton için 1cm ile 3 cm arasında değişmektedir. Kullandığım üç izolasyon türünde de bims ekonomik olarak üstün çıkmıştır.

İzolasyon ve duvar dolgu malzemelerini 4. Bölge için beraber değerlendirdiğimizde duvar dolgu malzemesi olarak bims kullanmanın; izolasyon olarak ise EPS kullanmanın optimum nokta olduğu görülmektedir.

4.5 5. Bölgede Yer Alan İller İçin Değerlendirmeler

Aralık 2013'te yayınlanan revizyonla eskiden 16 ilin yer aldığı 4. Bölge den daha soğuk olan 4 il ayrılmış ve yeni bir bölge olan 5. Bölge oluşturulmuştur. Bu iller; Ağrı, Ardahan, Erzurum, Kars illeridir. Bu iller Türkiye'de kışların en sert geçtiği ve kışları en düşük sıcaklıkların görüldüğü illerdir. TS 825'te belirtilen sınır değerine göre duvar için belirlenen maksimum ısı iletim katsayısı 0,36 W/m²K'dir.

Çizelge 4.5: TS 825'e Göre 5. Bölge İçin Hesaplanan U Değerleri ve İzolasyon Kalınlıkları

Isıl İletim Katsayıları		5. Bölge(0,36 W/m ² K)	
		Kalınlık (cm)	U Değeri (W/m ² K)
Tuğla (13,5cm - 0,36 W/m ² K)	EPS	8	0,338
	XPS	8	0,353
	Taş Yünü	9	0,35
Bims (15cm - 0,24 W/m ² K)	EPS	7	0,343
	XPS	7	0,357
	Taş Yünü	8	0,35
Gazbeton (15cm - 0,13 W/m ² K)	EPS	5	0,35
	XPS	5	0,36
	Taş Yünü	6	0,346

TS 825'e uygun yapılan hesaplamalarda izolasyon kalınlıkları 5 cm ile 9 cm arasında değişmektedir. Tuğla kullanımında 8-9 cm kalınlıkta izolasyon kullanmak gerekirken bims kullanımında 7-8 cm, gazbeton kullanımında 5-6 cm yalıtım kalınlığının yeterli olacağı hesaplanmıştır. Çizelge 4.5'de hesaplanan izolasyon kalınlıkları görülmektedir.

5. bölgede yer alan iller için yapılan hesaplamalarda tüm duvar dolgu malzemelerinde de optimum yalıtım malzemesinin EPS olduğu görülmüştür. Maliyetin minimum olduğu optimum noktada EPS kullanımında 4 cm ile 7 cm

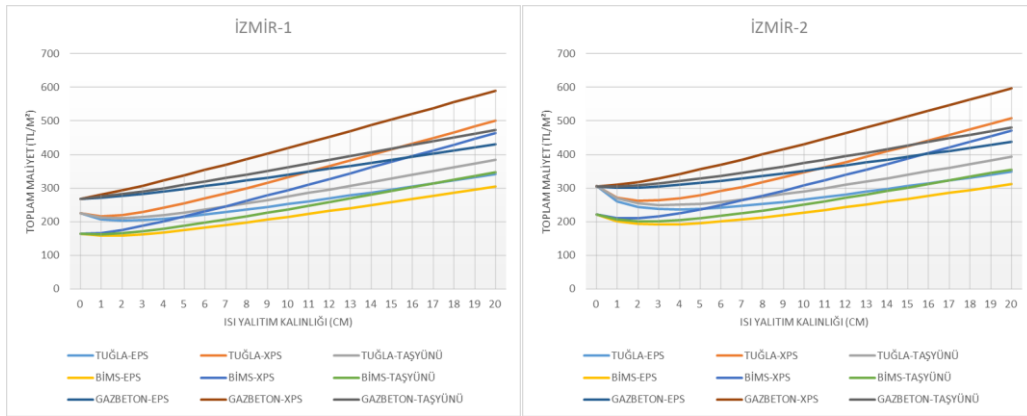
arasında yalıtım kalınlığı gerekirken taş yünü kullanımında 3 cm ile 7 cm arasında, XPS kullanımında ise 2 cm ile 5 cm arasında izolasyonun kullanıldığı hesaplanmıştır.

Optimum duvar malzemelerine baktığımızda ise bims kullanmanın tuğla ve gazbetona göre daha ekonomik olduğu görülmüştür. Duvar dolgu malzemelerine göre optimum izolasyon kalınlıkları tuğla için 4 cm ile 7 cm arasında, bims için 4 cm ile 6 cm arasında, gazbeton için 2 cm ile 5 cm arasında değişmektedir. EPS, taş yünü, XPS malzemelerinin kullanımında üç yalıtım malzemesi içinde bims kullanımının maliyetinin en düşük olduğu nokta olduğu görülmektedir.

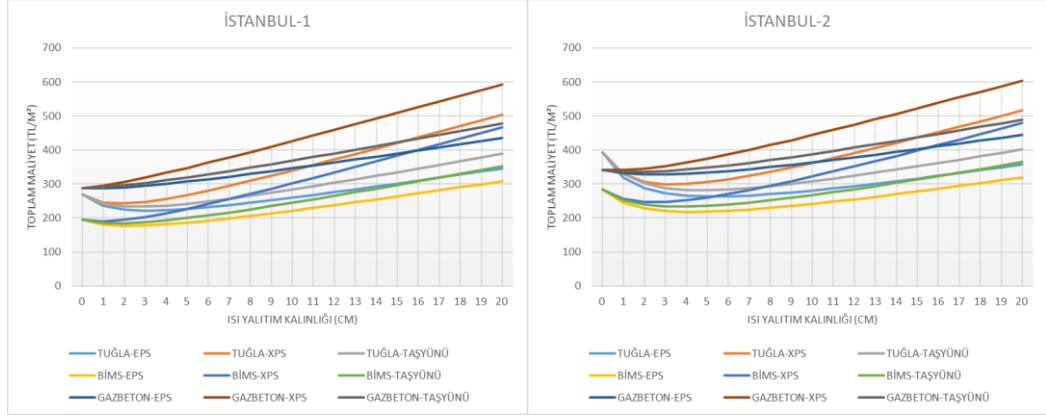
5. Bölgedeki illerin tamamında yapılan hesaplamalarda izolasyon ve duvar dolgu malzemelerinde maliyetin en düşük olduğu optimum noktada duvar malzemesi olarak Bims izolasyon olarak EPS kullanımının en ekonomik çözüm olduğu tespit edilmiştir.

4.6 Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrilerinde Oluşan Değişimler

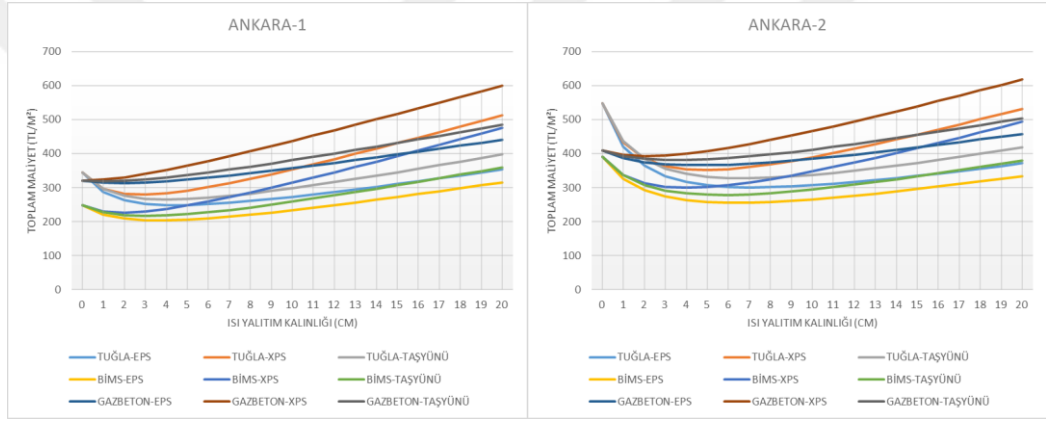
Günümüzde artan maliyetlerin etkisinin anlaşılabilmesi için 5 ayrı bölgede yer alan İzmir, İstanbul, Ankara, Erzincan, Erzurum illeri için 2023 ocak ayı doğalgaz fiyatlarıyla hesaplanan bu çalışmada yakıt maliyetlerinin etkisinin görülebilmesi amacıyla 5 il için doğalgaz maliyetinin %100 artması durumu için hesaplamalar yapılmış grafikleri çizilmiştir.



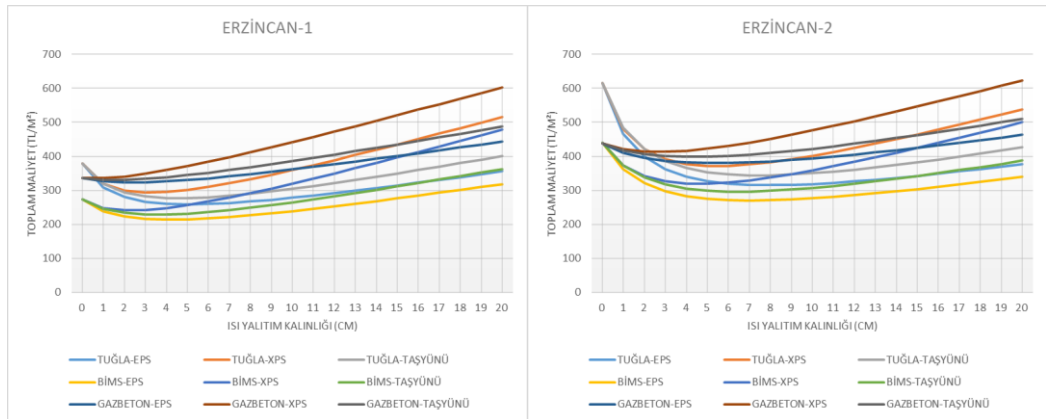
Şekil 4.1: İzmir İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması



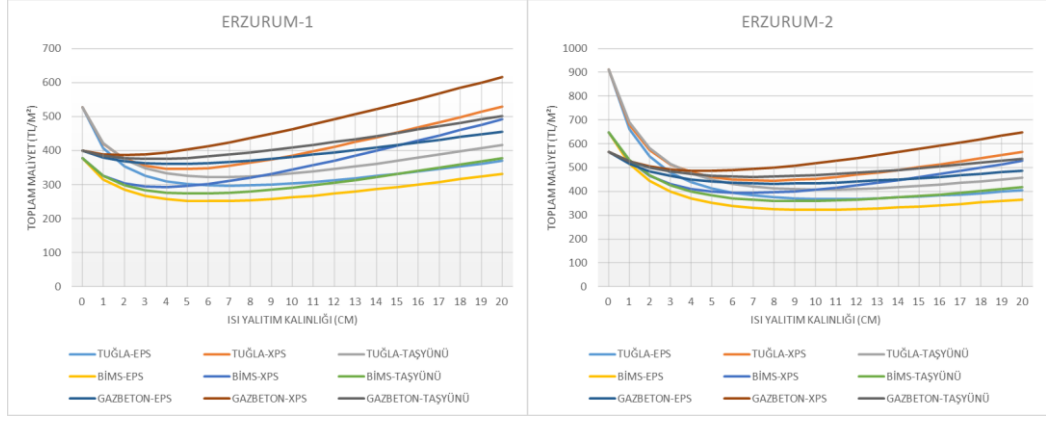
Şekil 4.2: İstanbul İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması



Şekil 4.3: Ankara İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması



Şekil 4.4: Erzurum İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması



Şekil 4.5: Erzurum İli İçin Doğalgaz Fiyatının %100 Artması Durumunda Maliyet Eğrileri Karşılaştırması

İzmir, İstanbul, Ankara, Erzincan, Erzurum illerine bakıldığında doğalgaz fiyatının %100 artması durumunda optimum noktadaki maliyetin %11-%25 arasında arttığı tespit edilmiştir. Optimum noktadaki izolasyon kalınlıklarının ise 1cm ile 4 cm arasında arttığı görülmüştür. Optimum noktada ise ısı yalıtım malzemesi olarak EPS, duvar dolgu malzemesi olarak Bims olduğu grafiklerden belirlenmiştir. Doğalgaz maliyetinin iki katına çıkmasının optimum noktadaki ısı yalıtım ve duvar dolgu malzemelerini değiştirmedeği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde tüm dünyada enerji verimliliği, enerjinin doğru kullanılması enerji tasarrufu, enerji kaynaklarının azalması gibi terimler ön plana çıkmaya başlamıştır. Artan nüfusla beraber tüketilen enerjinin de hızla artmasıyla dünyada ülkeler enerjinin sürdürülebilirliği konusunda araştırmalar yapmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda ortaya çıkan ortak kanı enerjinin özellikle fosil yakıtlardan sağlanan enerjinin bu kullanım hızıyla artması sonucu gelecekte büyük enerji problemleriyle karşılaşabileceğimizi göstermiştir. Bu nedenle harcanan enerjiyi azaltmak için her ülke kendi standartlarında güncellemeler yaparak veya yeni standartlar koyarak enerji kullanımını azaltmak ve enerji tasarrufunu arttırmak istemektedirler. Türkiye’de de enerji tasarrufunu ve enerji verimliliğini arttırmak için birçok standartta değişiklikler yapılmıştır.

Türkiye’de harcanan enerjinin büyük bir bölümü doğalgazdan sağlanmaktadır. Elektrik üretimi ve ısıtma sistemlerinde büyük ölçüde doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgaz büyük ölçüde diğer ülkelerden temin edilmekte ve ülke ekonomisinde büyük bir paya sahip olmaktadır. Bu nedende doğalgaz tüketimini azaltmak ülke ekonomisi açısından büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde Enerji Bakanlığının yayınlamış olduğu verilere bakıldığında doğalgaz en çok konut sektöründe kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışmamda ısıtma amaçlı kullanılan yakıt olarak doğalgaz seçilmiştir. Konut sektöründe ısıtma amaçlı kullanılan doğalgazın payının en yüksek olması binalarda enerji tasarrufunu ön plana çıkarmıştır.

Türkiye’de binalarda enerji tasarrufu sağlayabilmek için standartlar konulmuştur. Bu standartlardan en önemlilerinden birisi TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardıdır. Bu çalışmada TS 825 standardında belirtilen kurallara göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu standart 2013 yılında revize görmüş uyulması gereken minimum ısı iletim katsayısı değerleri düşürülmüştür.

Çalışmamın temel amacı Türkiye’de 81 ilde bulunan insanların bu çalışmadan faydalanarak buldukları ilde sıfırdan bina yapımında veya ısı yalıtım yapılmasında hangi malzemeyi kullanmalarının daha ekonomik olacağını belirlemektir. Birçok çalışmada optimum ısı yalıtım kalınlıkları hesaplamaları yapılmıştır. Fakat ısı yalıtım malzemeleriyle beraber duvar dolgu malzemelerinin de hesaba katıldığı araştırma sayısı çok düşüktür. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye’de 81 il için dolgu duvarlarda

kullanılan tuğla, bims ve gazbeton malzemeler üzerine ısı yalıtımı olarak EPS, taş yünü ve XPS yalıtım malzemeleri tüm varyasyonlarda uygulanarak optimum değerler bulunmuştur.

Hesaplama sonuçlarına göre 1.Bölgede yer alan 5 ile bakıldığında optimum duvar dolgu malzemesi olarak bims kullanımının; ısı yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımının bina yapımında ekonomiklik olarak optimum noktada olduğu tespit edilmiştir. Duvar dolgu malzemelerinde bimsden sonra ekonomiklik olarak en uygun malzemenin tuğla olduğu görülmüştür. Gazbeton ise duvar dolgu malzemesi olarak en pahalı malzeme olmuştur. Isı yalıtım malzemelerine baktığımızda ise EPS'nin en uygun ısı yalıtım malzemesi olduğu, ikinci sırada ise taş yününün, üçüncü sırada ise XPS'in geldiği görülmüştür. 1. Bölgedeki illerde optimum noktalardaki maliyetlere bakıldığında kullanılan üç yalıtım malzemesinde gazbeton kullanımının bims kullanımından yaklaşık %65-80 aralığında daha maliyetli olduğu; tuğla kullanımının ise bims kullanımından yaklaşık %30-35 daha maliyetli olduğu görülmüştür.

2. Bölgede yer alan 34 ile bakıldığında ise optimum duvar dolgu malzemesi bims; optimum ısı yalıtım malzemesi ise EPS olmuştur. Isı yalıtım malzemelerinde taş yünü ikinci sırada XPS üçüncü sırada yer almaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin tamamında duvar dolgu malzemesi olarak bims kullanımının optimum nokta olduğu, tuğla kullanımının ikinci sırada gazbeton kullanımının üçüncü sırada yer aldığı belirlenmiştir. 2. Bölgedeki illerde optimum noktalardaki maliyetlere bakıldığında kullanılan üç yalıtım malzemesinde gazbeton kullanımının bims kullanımından yaklaşık %45-60 aralığında daha maliyetli olduğu; tuğla kullanımının ise bims kullanımından yaklaşık %25-30 daha maliyetli olduğu görülmüştür.

3.Bölgede yer alan 27 ile bakıldığında optimum yalıtım malzemesinin EPS; optimum duvar dolgu malzemesinin ise bims olduğu görülmüştür. Isı yalıtım malzemelerine baktığımızda maliyeti düşük olandan yüksek olana doğru sırasıyla EPS, Taş yünü, XPS şeklindedir. 3. Bölgedeki illerde optimum noktalardaki maliyetlere bakıldığında kullanılan üç yalıtım malzemesinde gazbeton kullanımının bims kullanımından yaklaşık %40-55 aralığında daha maliyetli olduğu; tuğla kullanımının ise bims kullanımından yaklaşık %20-25 daha maliyetli olduğu görülmüştür.

4.Bölgede yer alan 11 ilde ise optimum noktada duvar dolgu malzemesi olarak bims, ısı yalıtım malzemesi olarak EPS kullanımının maliyetin en düşük olduğu nokta

olduğu görülmüştür. Isı yalıtım malzemeleri kendi içlerinde sıralandığında EPS'nin ardından ikinci sırada taş yünü, üçüncü sırada XPS gelmektedir. Duvar dolgu malzemelerinde ise bims kullanımının en düşük maliyetli olduğu ikinci sırada tuğla, üçüncü sırada gazbetonun geldiği görülmüştür. 4. Bölgedeki illerde optimum noktalardaki maliyetlere bakıldığında kullanılan üç yalıtım malzemesinde gazbeton kullanımının bims kullanımından yaklaşık %35-50 aralığında daha maliyetli olduğu; tuğla kullanımının ise bims kullanımından yaklaşık %20-22 daha maliyetli olduğu görülmüştür.

5. Bölgedeki 4 ilde ise ısı yalıtım ve duvar malzemesi için optimum noktaya bakıldığında ısı yalıtım malzemesi olarak EPS, duvar dolgu malzemesi olarak bimsin olduğu belirlenmiştir. Isı yalıtım malzemelerini optimum olandan olmayana doğru sıraladığımızda EPS, Taş yünü, XPS şeklinde sıralanmıştır. Duvar dolgu malzemelerinde ise bu sıralama bims, tuğla, gazbeton şeklindedir. 5. Bölgedeki illerde optimum noktalardaki maliyetlere bakıldığında kullanılan üç yalıtım malzemesinde gazbeton kullanımının bims kullanımından yaklaşık %30-45 aralığında daha maliyetli olduğu; tuğla kullanımının ise bims kullanımından yaklaşık %17-18 daha maliyetli olduğu görülmüştür.

81 ili değerlendirdiğimizde optimum ısı yalıtım malzemelerinde EPS'nin optimum ısı yalıtım malzemesi olduğu görülmüştür. EPS'nin birim fiyatının taş yününe göre yaklaşık %20, XPS'e göre yaklaşık %80 daha ucuz bir malzeme olmasının bu hesaplamalarda etkisinin büyük olduğu tespit edilmiştir. 81 ilin tamamında duvar dolgu malzemelerine bakıldığında ise optimum noktada bims karşımıza çıkmaktadır. Bimsin birim fiyatının tuğlaya göre %35, gazbetona göre ise %120 daha ucuz olması bimsin optimum noktada yer almasını sağladığı görülmüştür.

Çalışmada hesaplamalar sonucunda tespit edilen diğer önemli tespit ise duvar dolgu malzemesinin ısı yalıtım malzemesine göre toplam maliyete etkisinin daha büyük olduğu görülmüştür. Isı yalıtım malzemesinin değiştirilmesinin toplam maliyeti %2-%17 aralığında değiştirirken; duvar malzemelerinin değiştirilmesinin toplam maliyeti yaklaşık %20 ile %60 aralığında etkilediği hesaplamalarda bulunmuştur.

Yakıt olarak kullanılan doğalgazın fiyat artışı binada kullanılan malzemelerin fiyat artışının altında kaldığı için yakıt maliyetinin optimum hesaplamalarda etkisinin azaldığı görülmektedir. Bunun sonucu olarak hesaplamalarda kışın sıcak geçtiği bazı

illerde ısı yalıtım yapmanın ekonomik olarak uygun olmadığı sonucu çıkmıştır. Bu çalışmada binaları ısıtma amaçlı hesaplamalar yapıldığı için bu sonuç beklenen bir durumdur. Bu sonucu daha doğru değerlendirebilmek için bu tezde yapılan çalışmaya soğutma hesaplamaları, işçilik ve sarf malzeme giderleri eklenerek başka bir araştırma da çalışılabilir. Çalışmamda hesaplarını yapmış olduğum 81 il için toplam maliyet-yalıtım kalınlığı grafikleri EK-1’de verilmiştir. Yapmış olduğum grafiklerden faydalanarak 81 il için ısı yalıtım malzemelerinin ve duvar dolgu malzemelerinin bina yapımında hangi malzeme kullanılacaksa maliyet açısından hangi ikilinin uygun olacağı belirlenebilir hale gelmiştir.



KAYNAKLAR

- Aktemur C. ve Atikol U.**, (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-Ijet*, Vol.3, No.2.
- Arslan M. A. ve Aktaş M.**, (2018) ‘‘İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi’’, *Politeknik Dergisi*, 21(2): 299-320.
- Aydın N. ve Bıykoğlu A.**, (2019) ‘‘Türkiye’de konut tipi binaların ısıtma yükü altında ömür maliyet analizi yöntemi ile optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi’’, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 901-911.
- Aytaç, A. ve Aksoy, U. T.** (2006) ‘‘ Enerji Tasarrufu İçin Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Isıtma Maliyeti İlişkisi’’ *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 21, No 4, 753-758.
- Bolattürk, A. ve Dağıdır, C.** (2013) ‘‘ Güneş Radyasyonu Dikkate Alınarak Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi’’, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33, 1, 87-99.
- Cağlayan, S., Ozorhon, B. Ve Kurnaz, L.**, (2022) ‘‘Optimum Duvar Yalıtımı Kalınlıklarının Ülke Çapında Haritalanması: Stokastik Yaklaşım’’ , *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*,42, 2, 169-202.
- Dikici, A. ve Kocagül M.**, (2019) ‘‘ Isı Yalıtımında Kullanılan Eps, Xps Ve Taş Yünü İzolasyon Malzemelerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması’’ *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* 31(1), 129-136.
- Gürel E. ve Cingiz Z.** (2011) ‘‘ Farklı Dış Duvar Yapıları İçin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığı Tespitinin Ekonomik Analizi’’ *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 15. Cilt, 1. Sayı, s.75-81.
- Gürel E. ve Daşdemir A.**, (2011)‘‘Türkiye’nin Dört Farklı İklim Bölgesinde Isıtma Ve Soğutma Yükleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi’’, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4): 346-352.
- Kandemir, S. Y., Bektaş, V. ve Açıkkalp, E.** ‘‘Dıştan yalıtım uygulamalarında farklı duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve ekonomik analizleri’’, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 10:1 (2019) : 275-288.

- Karakaya, H.**, (2018) “Farklı Duvar ve Yakıt Tiplerinde Optimum Yalıtım Kalınlığının Isıtma ve Soğutmada Tespiti ve Çevresel Etkileri”, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 30(2), 193-202.
- Kaynaklı, Ö.**, (2013) “ Türkiye’de Bina Duvarları İçin Optimum Isıl Yalıtım Kalınlıkları ve Geri Ödeme Süreleri” *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33, 2, 45-55.
- Kon, O. ve Yüksel, B.**, (2016) “ Farklı Amaçlarla Kullanılan Binaların Çatı, Döşeme Ve Dış Duvarları İçin Ölçülerek Hesaplanan Optimum Yalıtım Kalınlıkları” *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 36, 1, 17-27.
- Kürekci, N. A.**, (2020) “Optimum Insulation Thickness For Cold Storage Walls: Case Study For Turkey” *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 6, No. 5, pp. 873-887.
- Şimşek, Z.**, (2019) ‘Konut Yapılarında Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin İncelenmesi” *Technological Applied Sciences*.
- Tıkız, İ., Pehlivan, H. Ve Mermer, M.** (2018) “Bina Isı Yalıtım Sistemlerinin İncelenmesi ve Optimizasyonu” *Electronic Journal of Vocational Colleges*
- Türkan, B., Canbolat, A. S., Etemoğlu, A. B., Kaynaklı, Ö.**, (2018) “Türkiye’deki Tüm İller İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Nümerik İncelenmesi” *Technological Applied Sciences*.
- Uçar, A. & Dumrul, M. U.** (2019). “Bir Konutun Dış Duvarları İçin Isıtma ve Soğutma Yüklerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Tespiti ve Enerji Tasarrufu Analizi”. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 740-749.
- Ünver, Ü., Adıgüzel, E., Adıgüzel, E., Çivi, S., Roshanaei, K.**, (2020) “Türkiye’deki İklim Bölgelerine Göre Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları” *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 171-187.
- Kürekçi, N.A.**, (2016) “ Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial centers” *Energy and Buildings* 118 (2016) 197–213.
- Kürekci, N. A. & Erdem, S.** (2019). "Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerlerinin Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisi." *Tesisat Mühendisliği*, sa.172, ss.7-20.
- Ünvar S.**, (2023) “Ağrı ilinde farklı yakıtlar ve duvar bileşenleri için optimum yalıtım kalınlıkları kullanılarak enerji maliyetlerinin analizi”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 1011-1023.

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

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.

TMMOB Kalorifer Tesisatı Kitabı, Yayın No: MMO/357/2 2012.

İzoder, İnşaat teknolojisi, Isı Yalıtımı, 2013

İnternet Kaynakları

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari,2022>. Alındığı tarih: 27.03.2023

AB-27 Enerji Denge Tabloları <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances,2022>. Alındığı tarih:28.03.2023

<https://cevresehgostergeler.csb.gov.tr/yakita-gore-birincil-enerji-tuketimi-i-85801>
Alındığı tarih: 21.03.2023

<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz>, Alındığı tarih: 28.02.2023

<https://www.izoder.org.tr/sayfa/32/teknik-ve-detayli-bilgi-almak-istiyorum> Alındığı tarih: 12.04.2023

<https://www.izocam.com.tr/tr/urun-grubu/tasyunu> ,Alındığı tarih: 15.05.2023

<https://www.ode.com.tr/urun-gorselleri> , Alındığı tarih:15.05.2023

<https://bloksan.com.tr/category/tuglalar/> , Alındığı tarih:15.05.2023

https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler//26_tugla---k-rem-t-uretim--20200103075115.pdf , Alındığı tarih: 17.05.2023

<https://www.blokbims.com.tr/urunler/blg-15-15lik-bims-blok/> , Alındığı tarih:15.05.2023

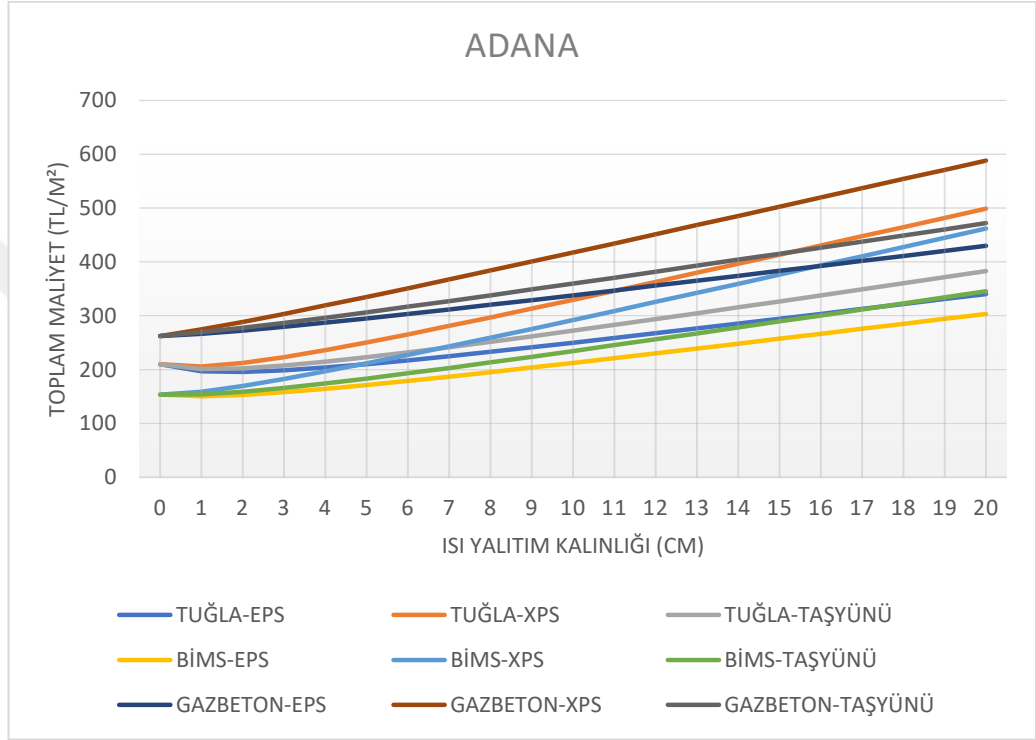
<https://ytong.com.tr/ytong-blok.asp>, Alındığı tarih:15.05.2023

<https://mgm.gov.tr/> , Alındığı tarih: 01.05.2023

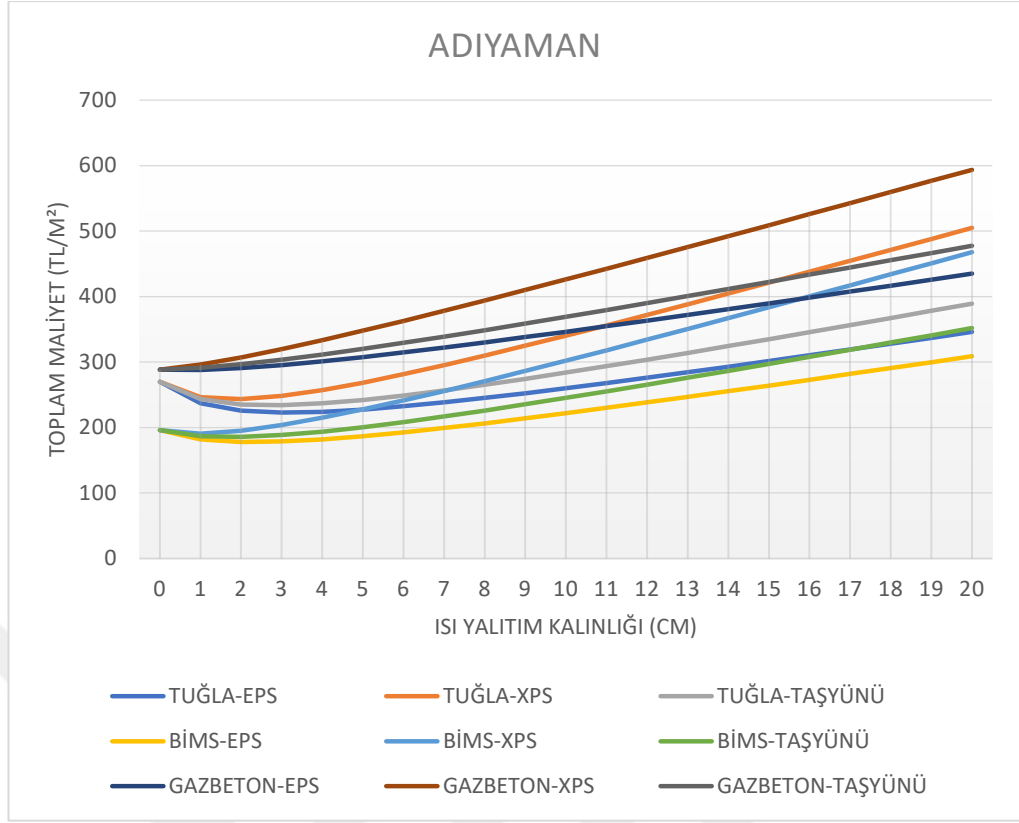
<https://www.igdas.istanbul/perakende-satis/> , Alındığı tarih: 28.04.2023

EKLER

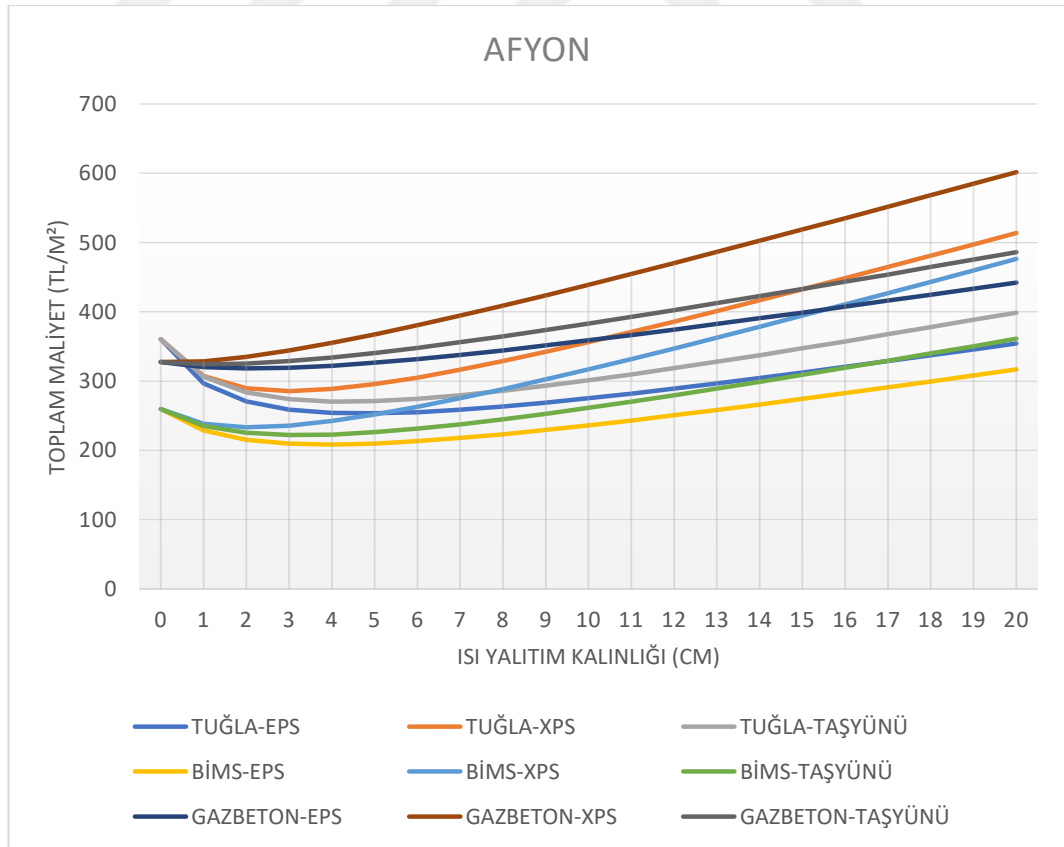
Ek-A



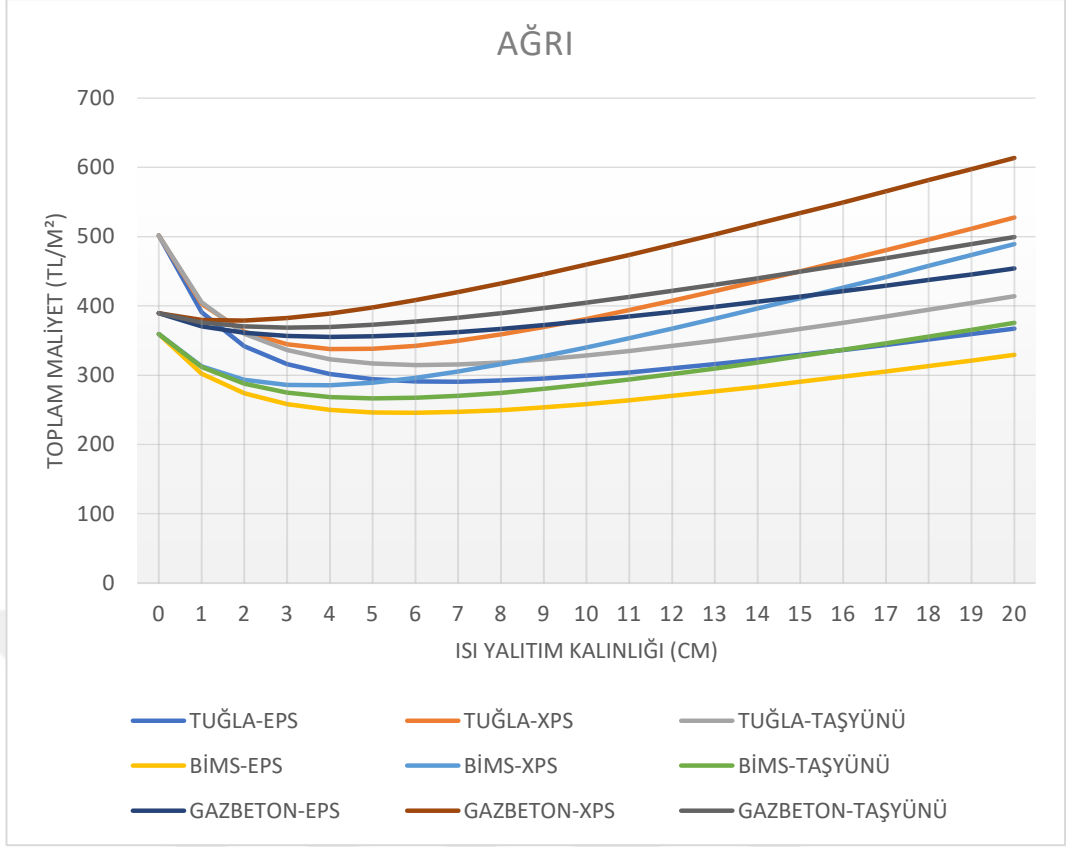
Şekil A.1: Adana İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



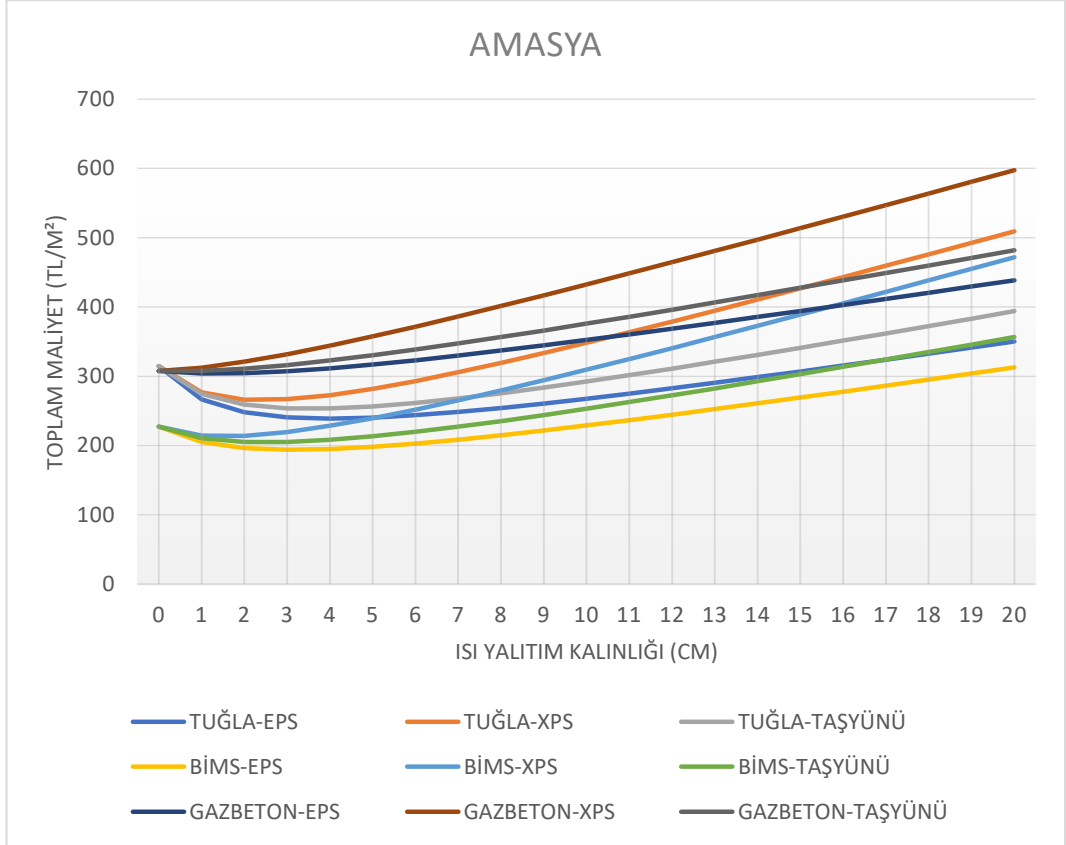
Şekil A.2: Adıyaman İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



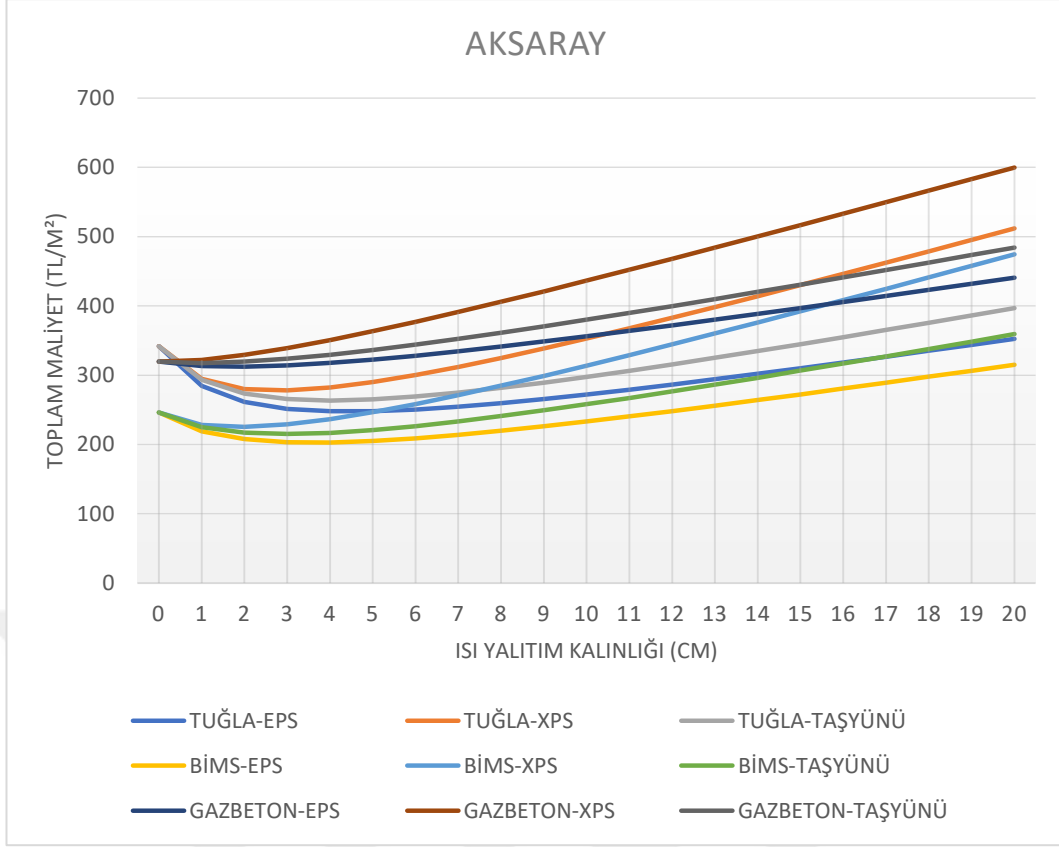
Şekil A.3: Afyon İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



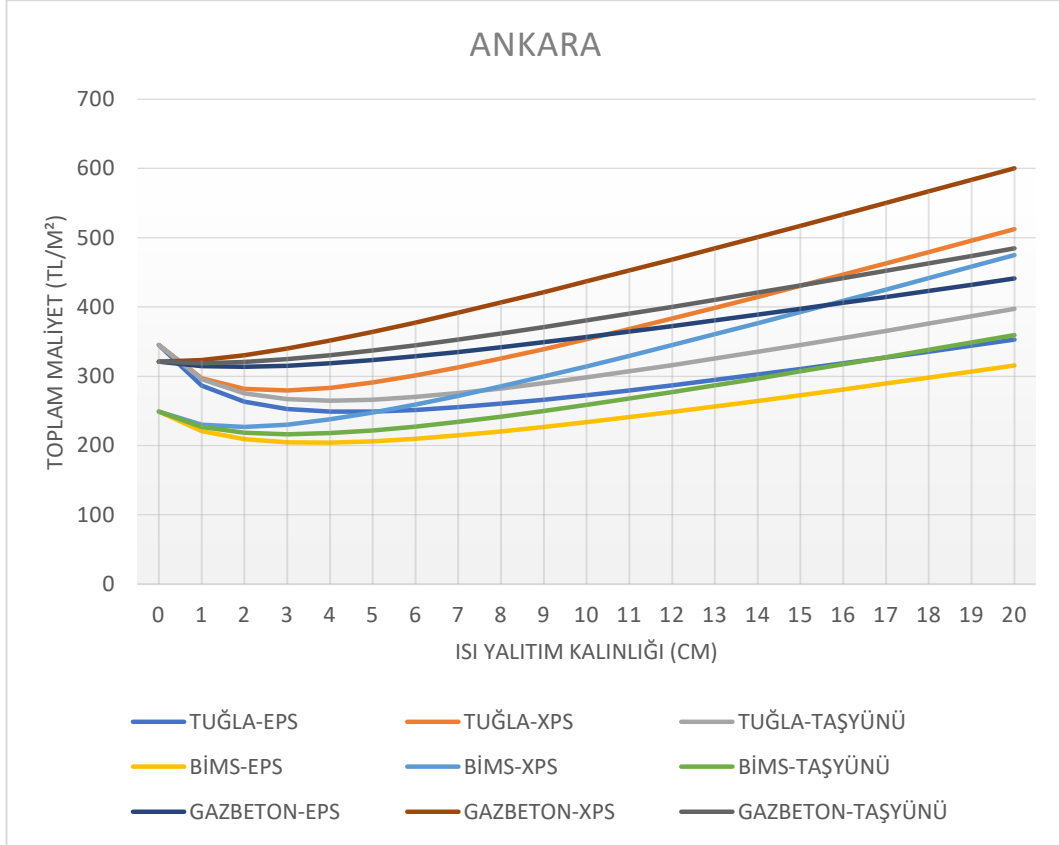
Şekil A.4: Ağrı İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



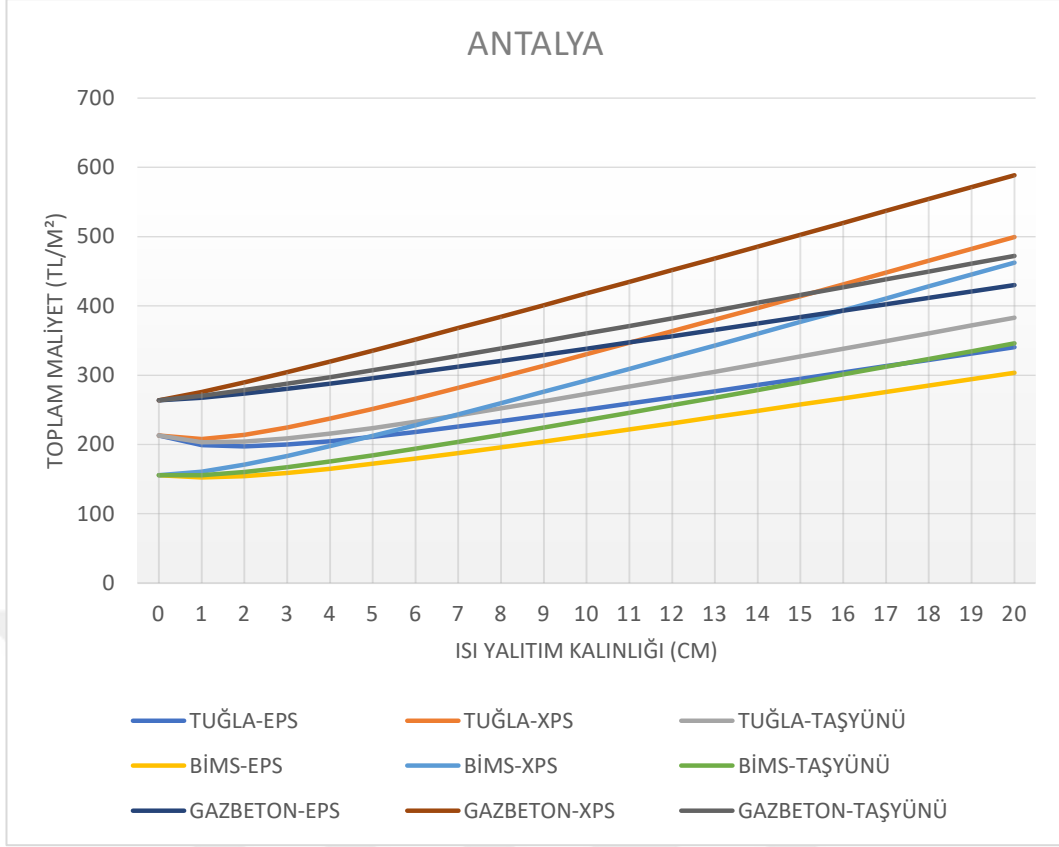
Şekil A.5: Amasya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



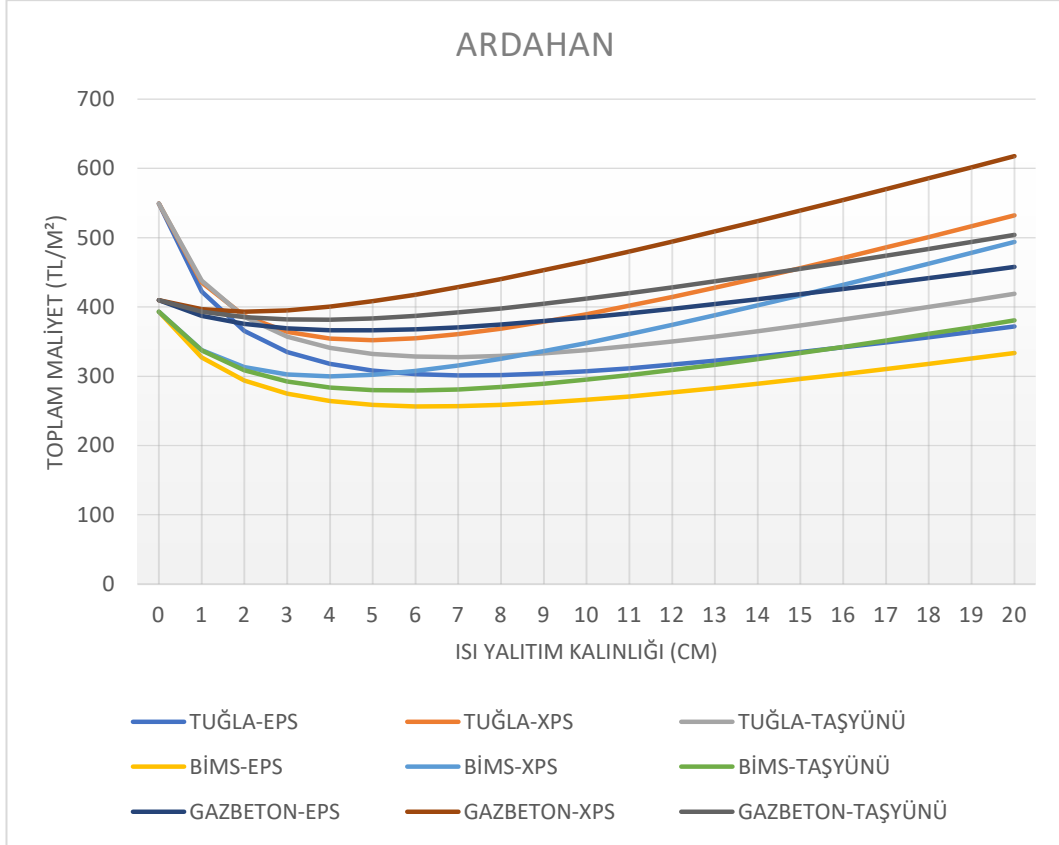
Şekil A.6: Aksaray İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



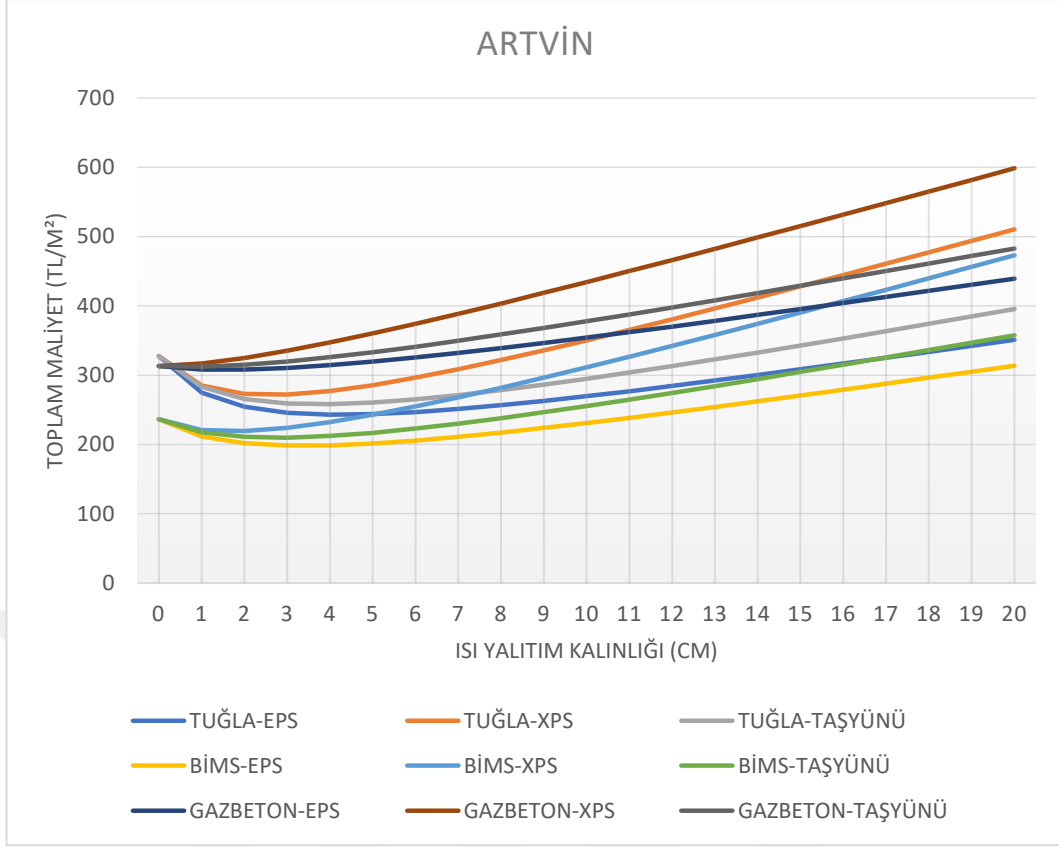
Şekil A.7: Ankara İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



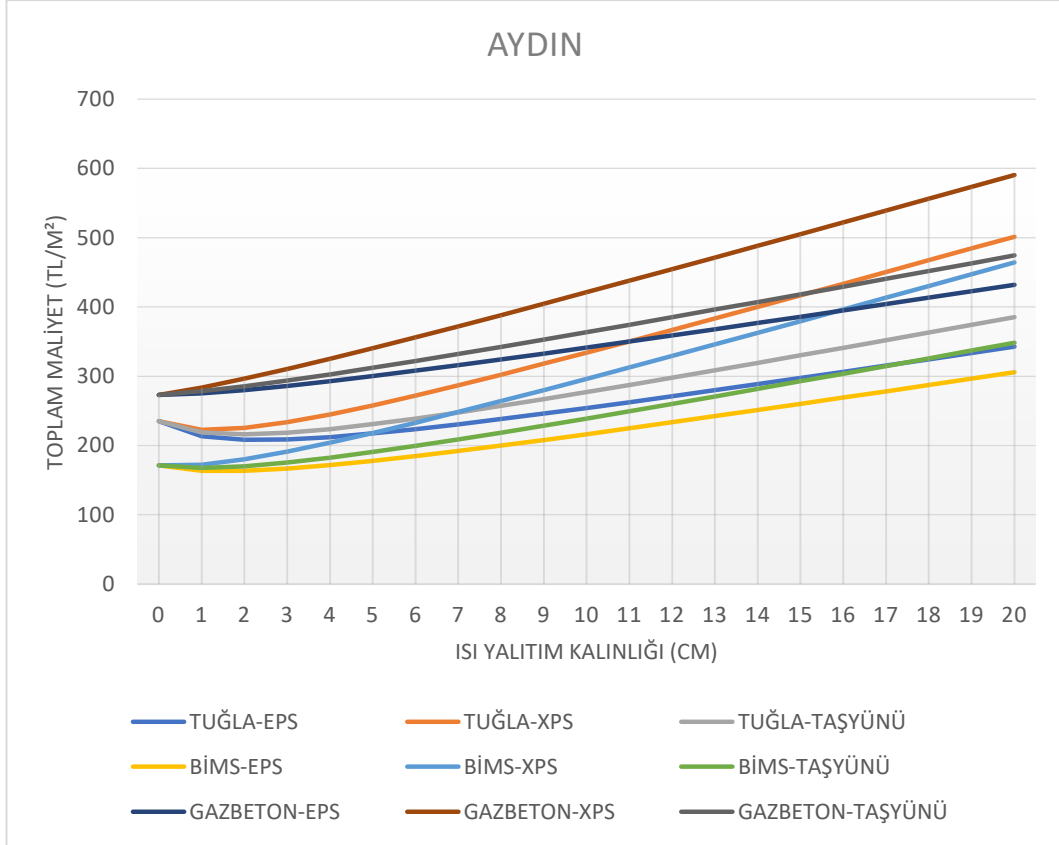
Şekil A.8: Antalya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



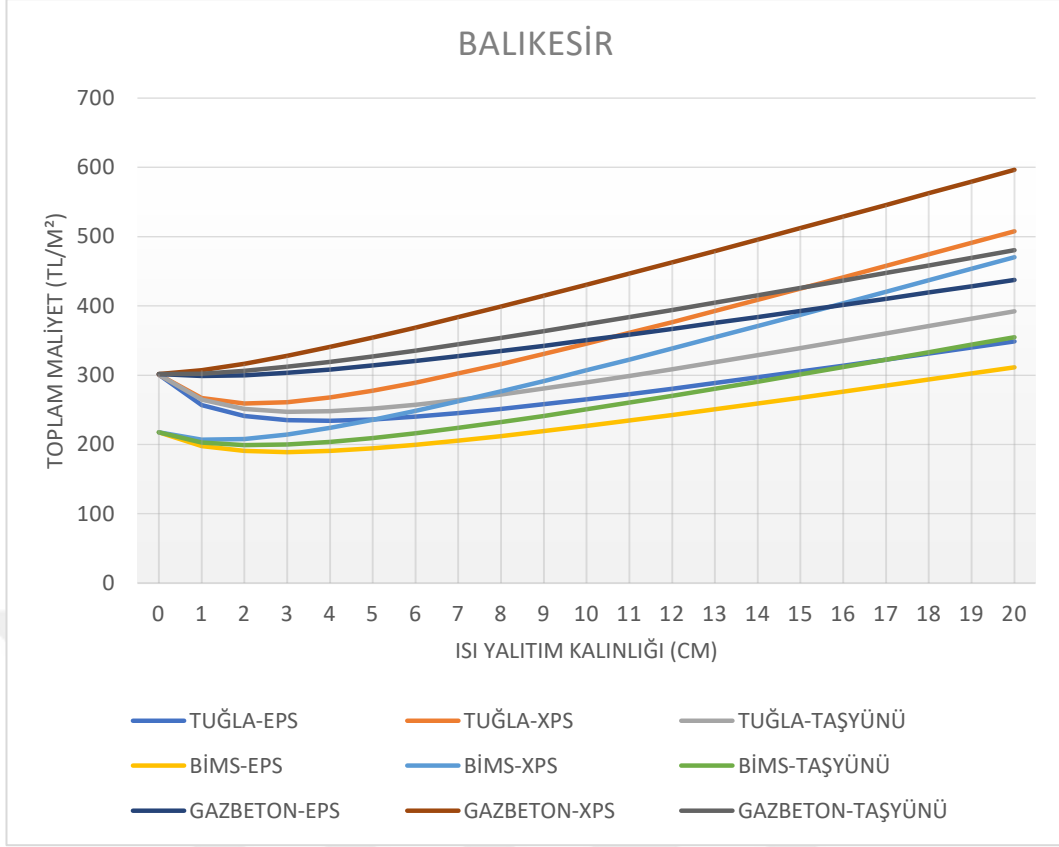
Şekil A.9: Ardahan İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



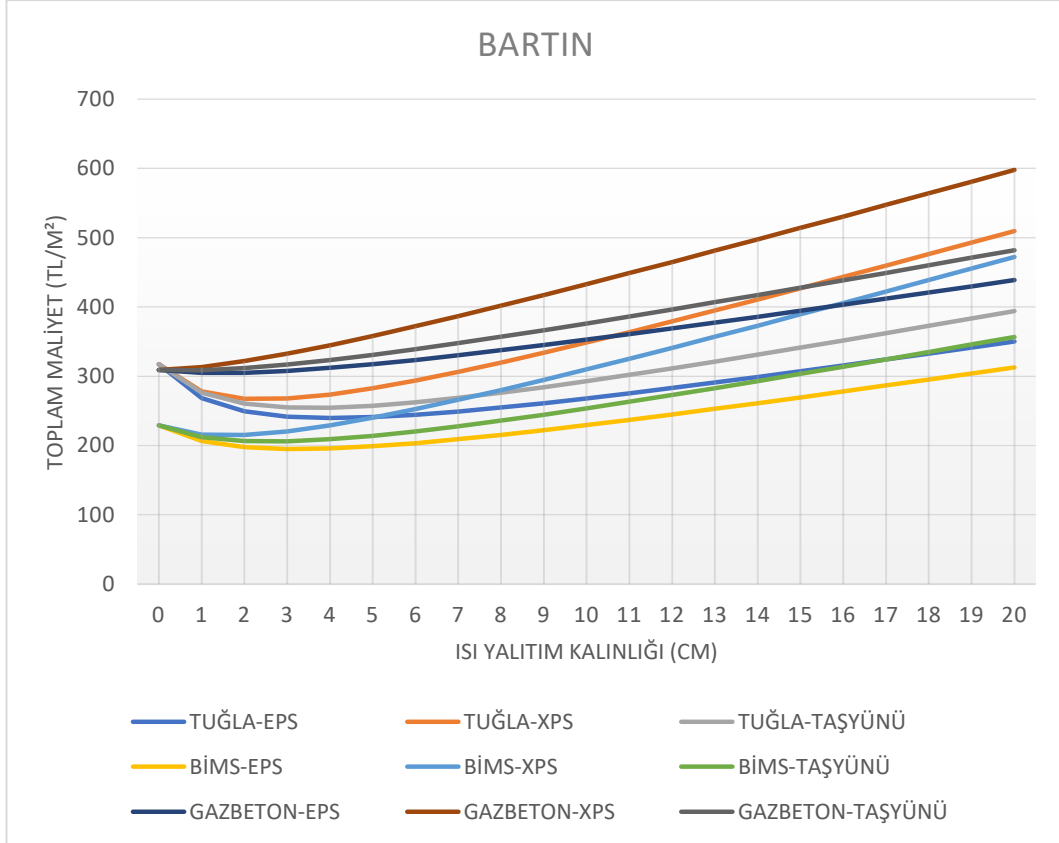
Şekil A.10: Artvin İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



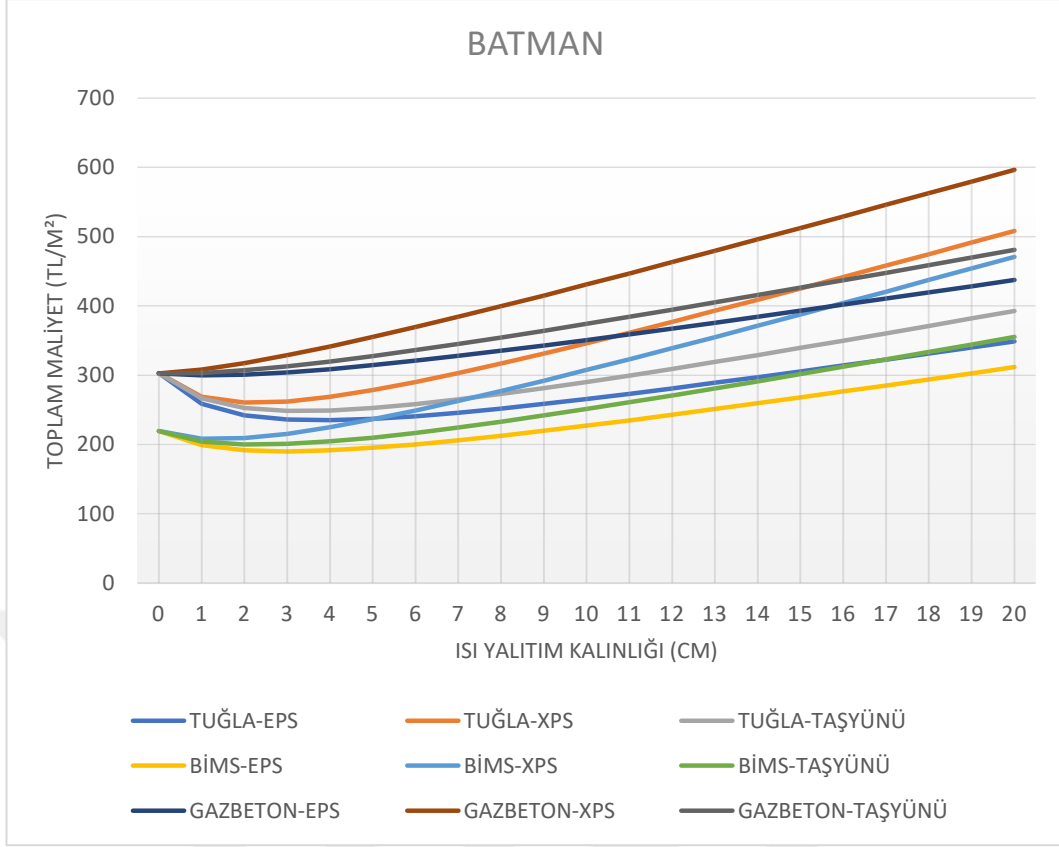
Şekil A.11: Aydın İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



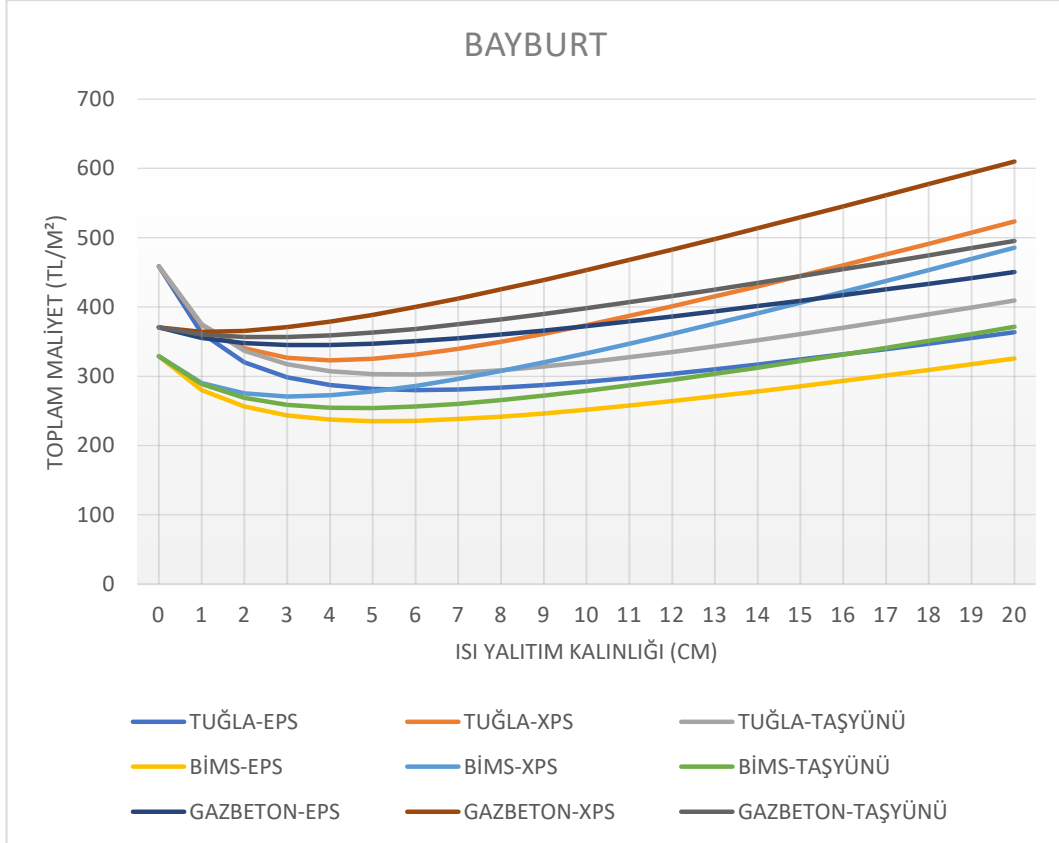
Şekil A.12: Balıkesir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



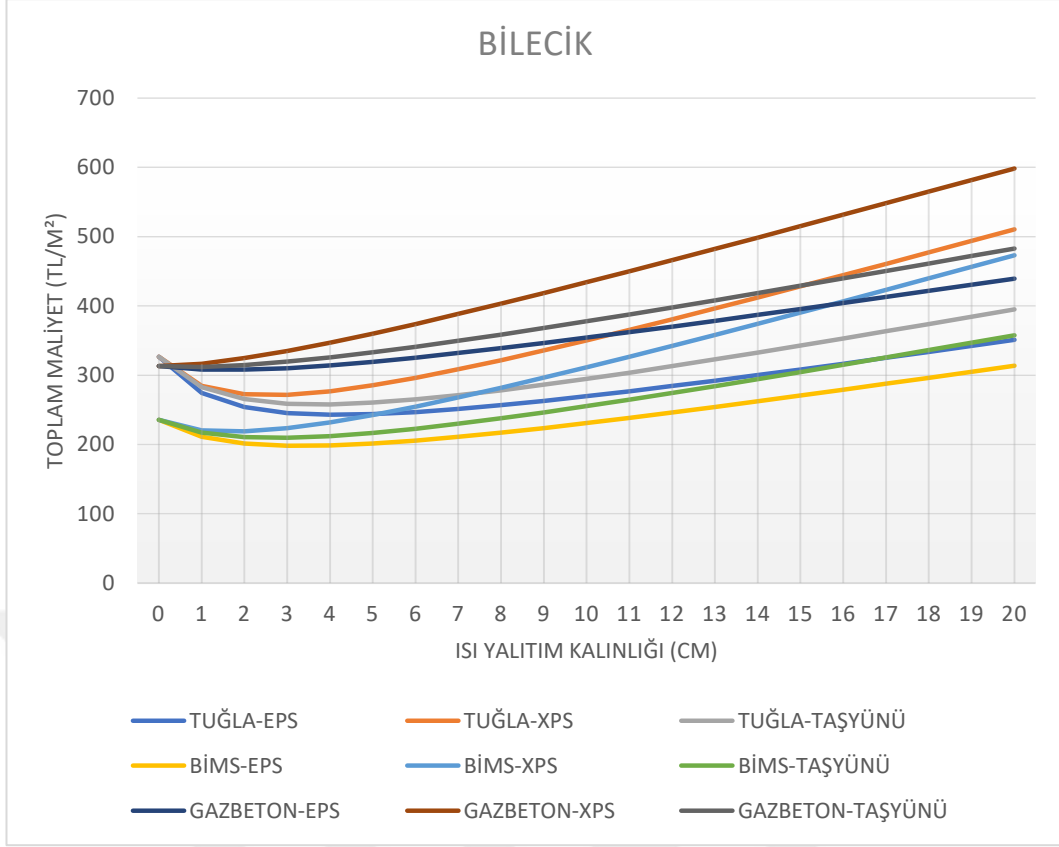
Şekil A.13: Bartın İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



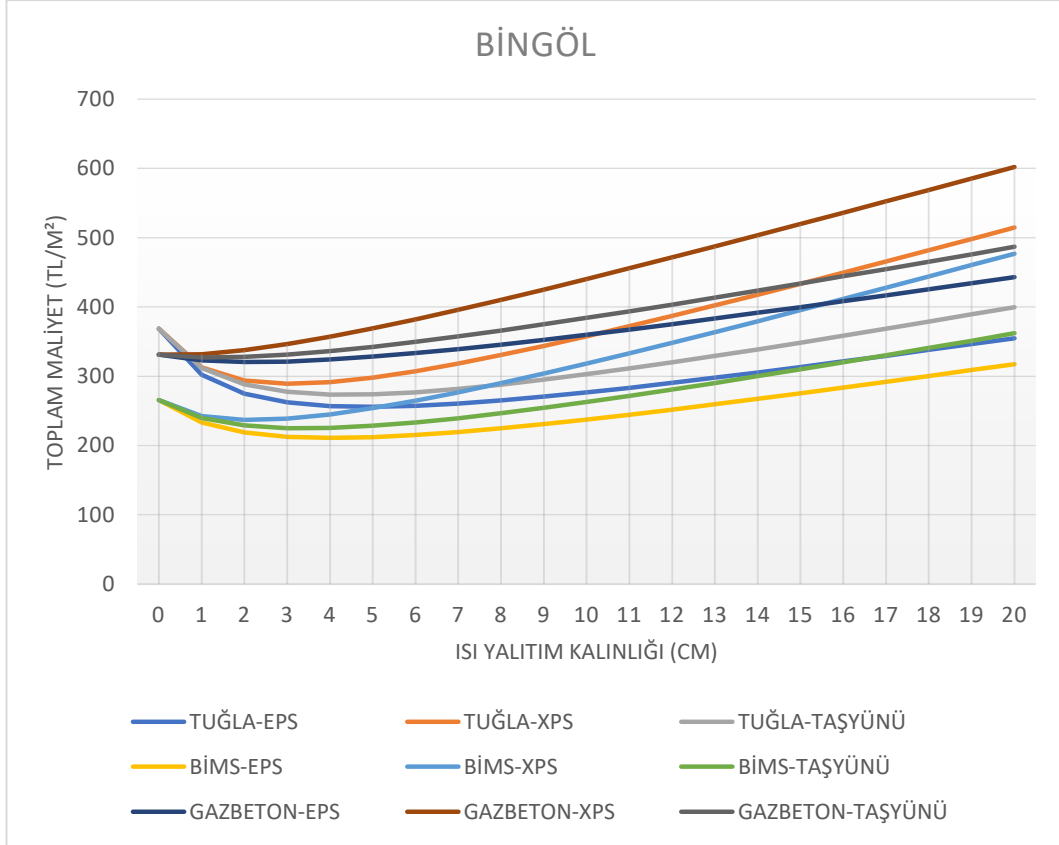
Şekil A.14: Batman İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



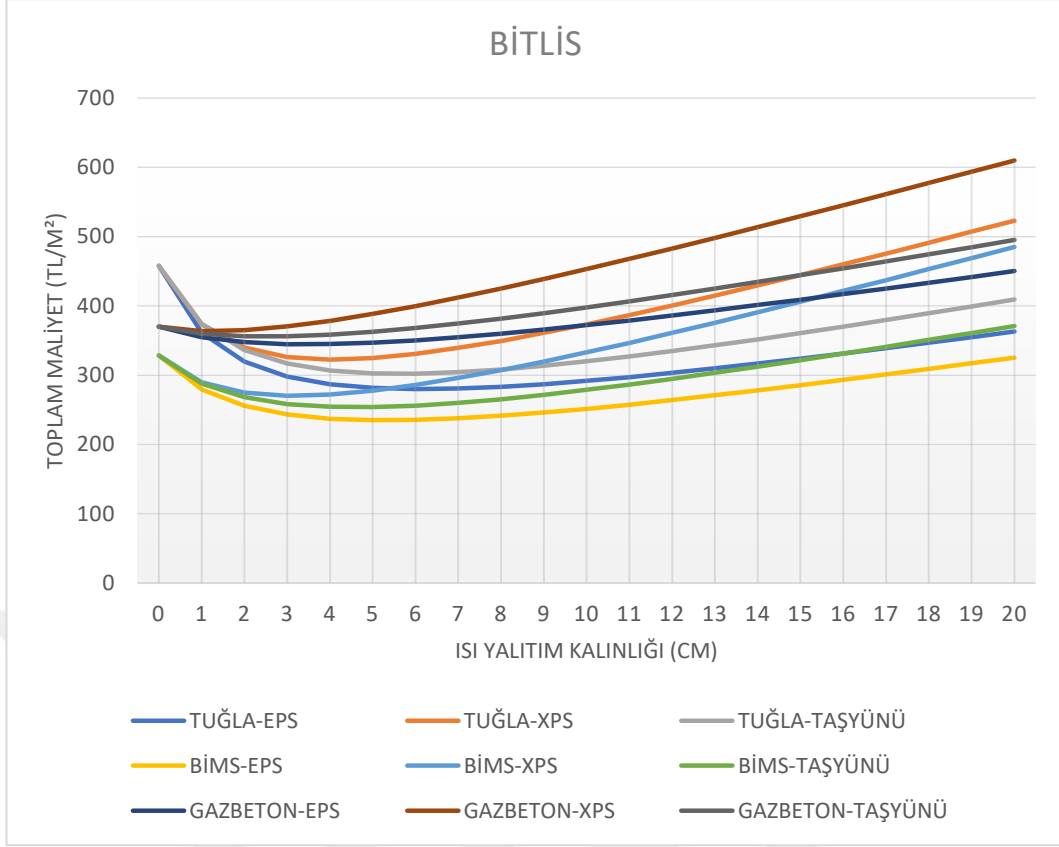
Şekil A.15: Bayburt İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



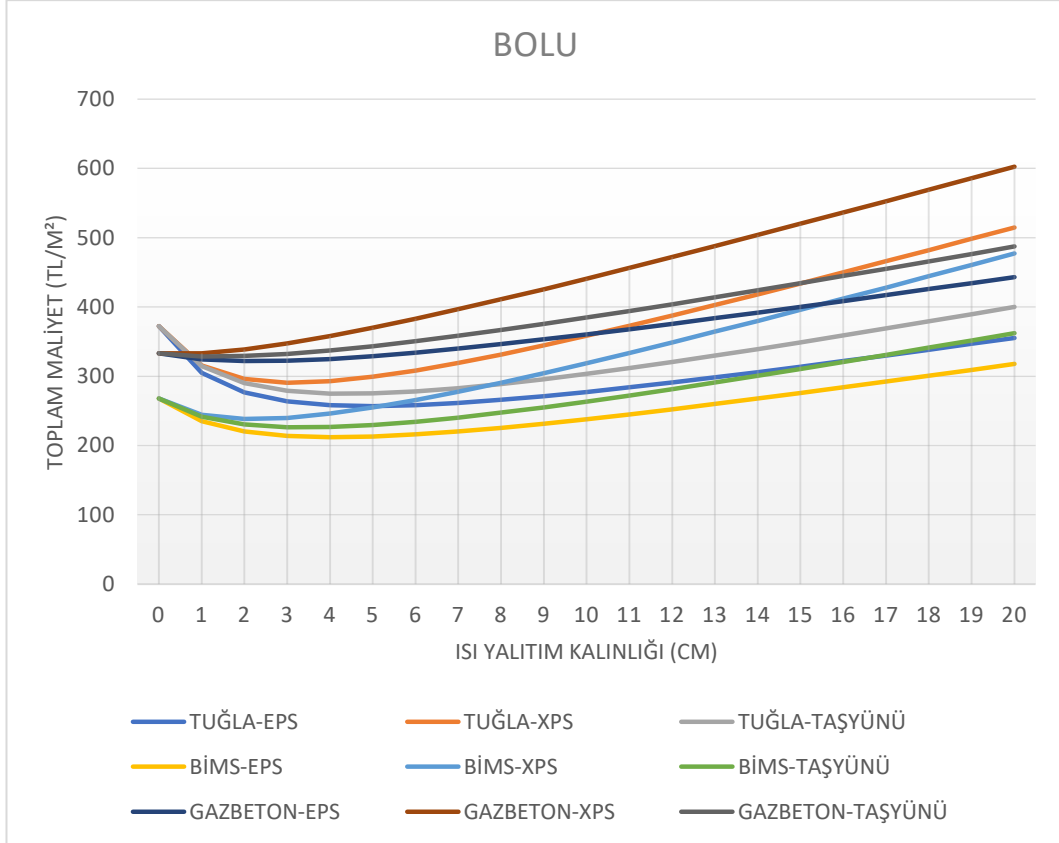
Şekil A.16: Bilecik İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



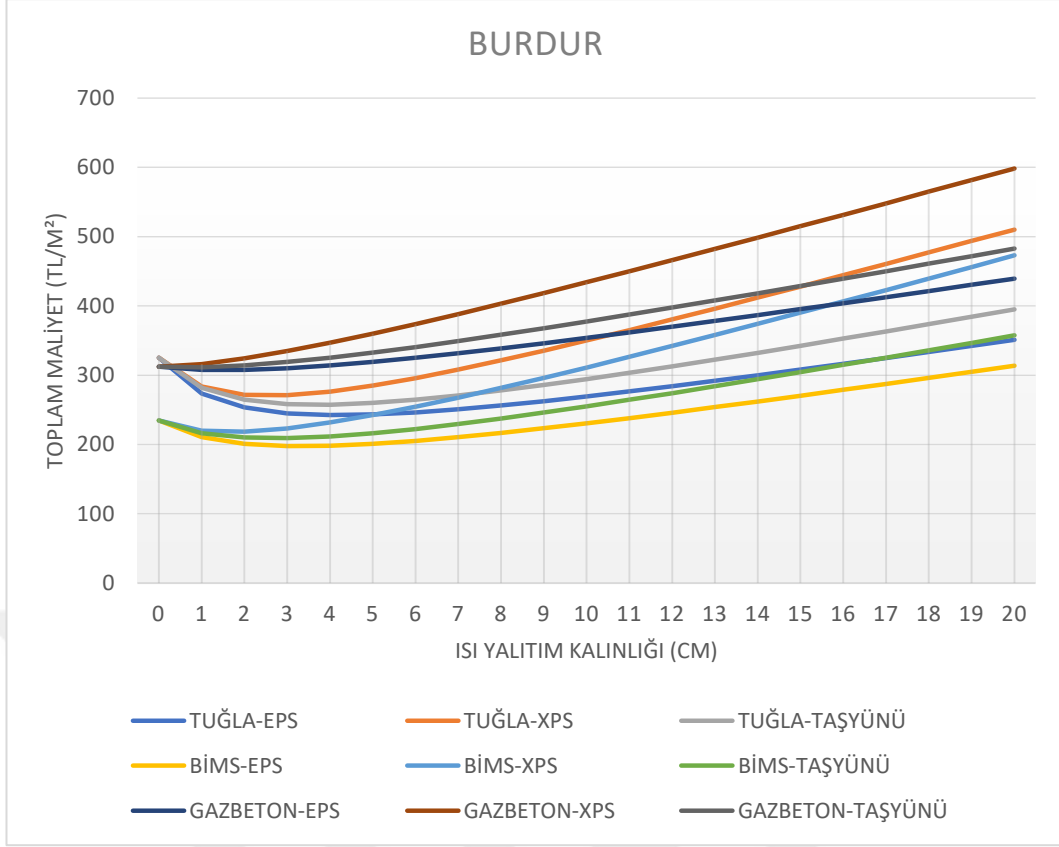
Şekil A.17: Bingöl İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



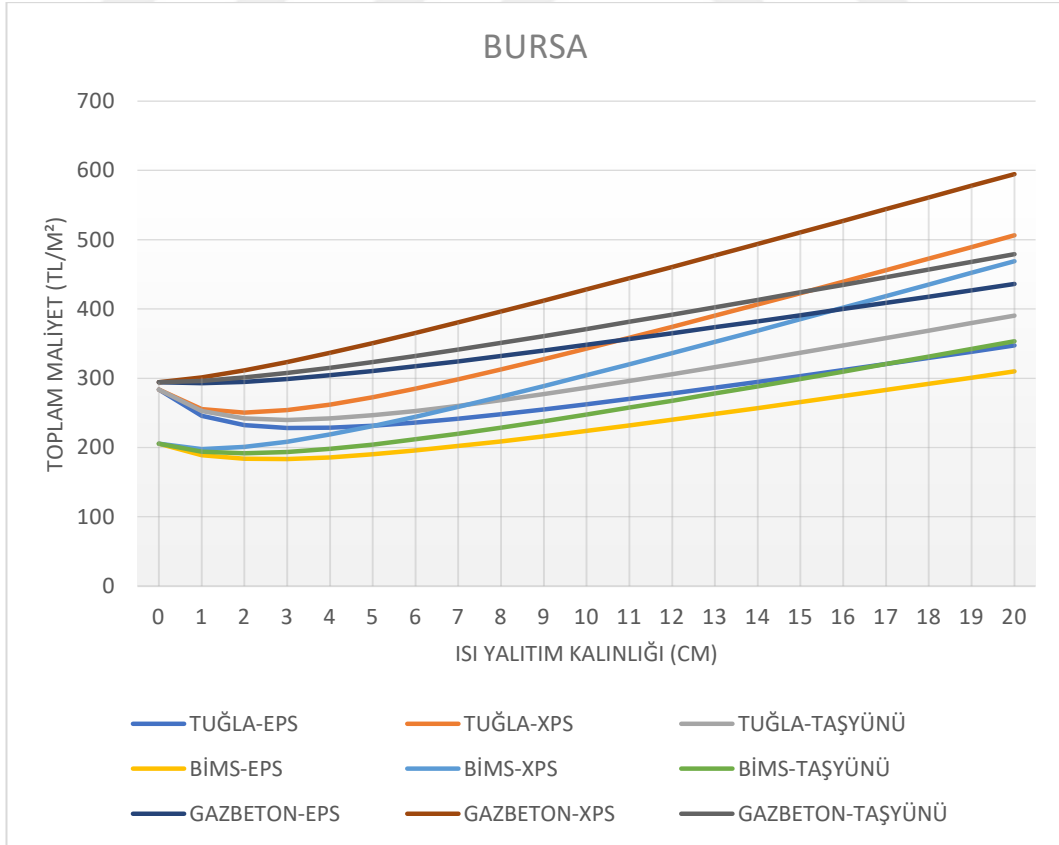
Şekil A.18: Bitlis İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



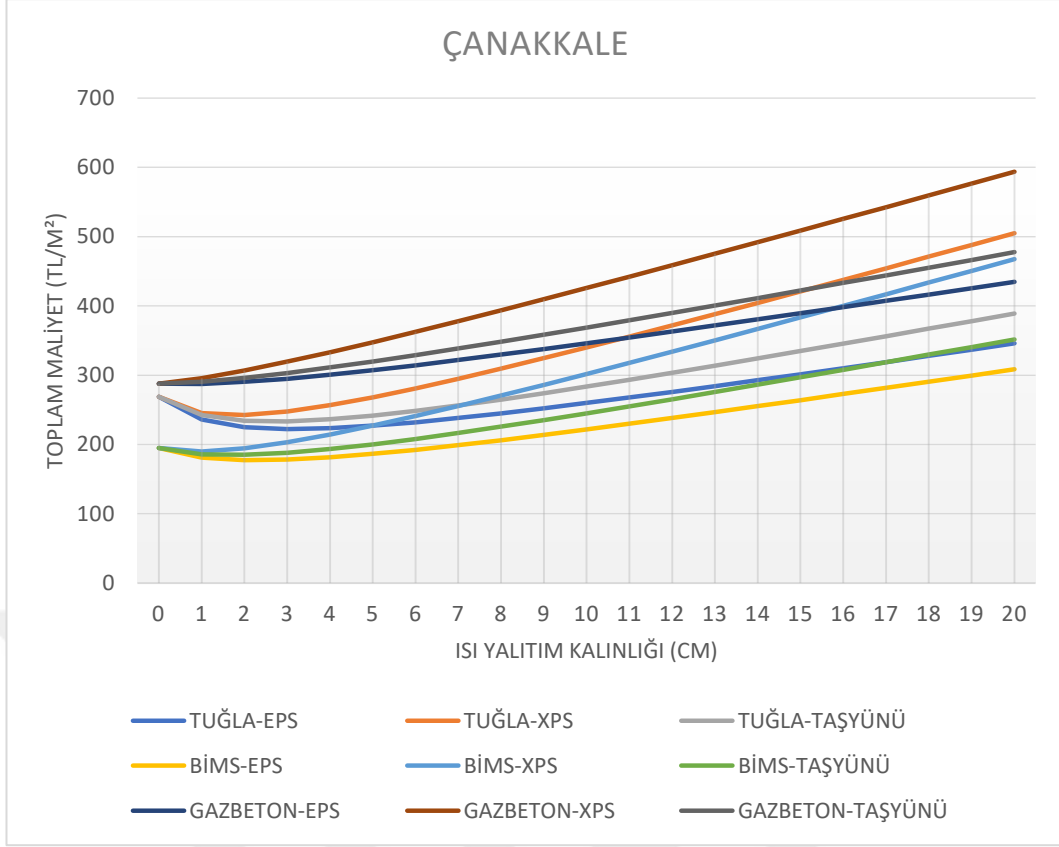
Şekil A.19: Bolu İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



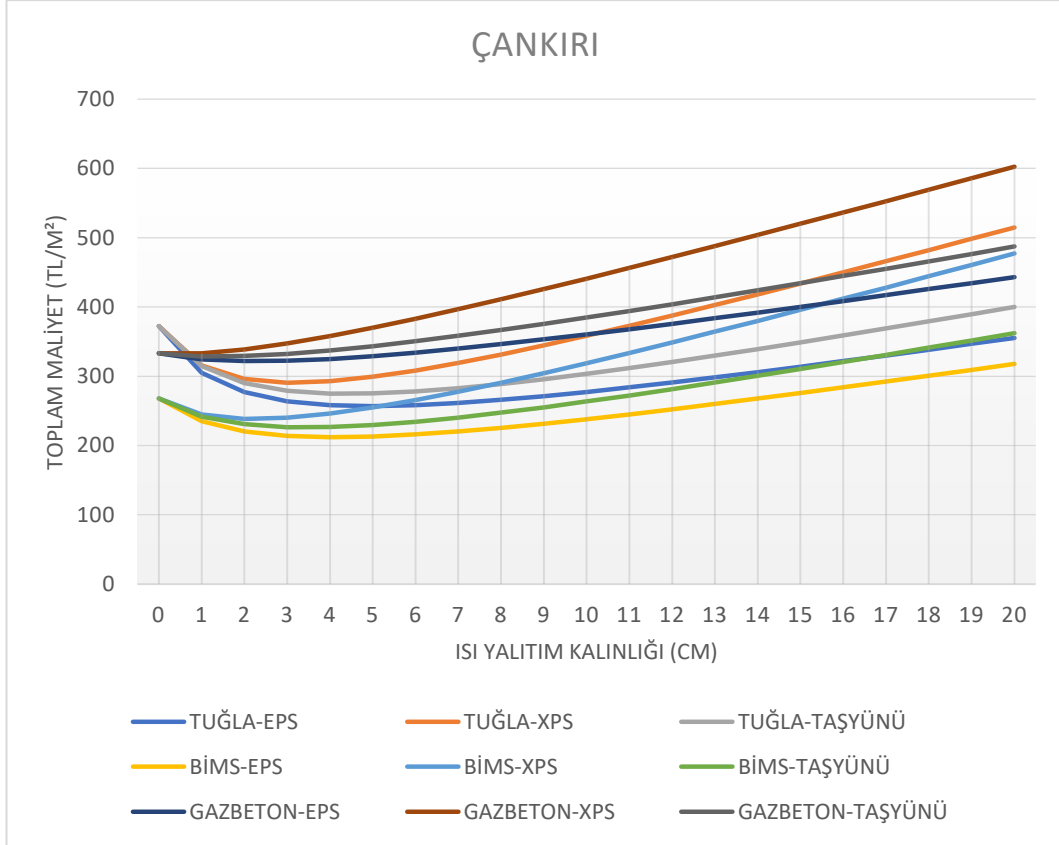
Şekil A.20: Burdur İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



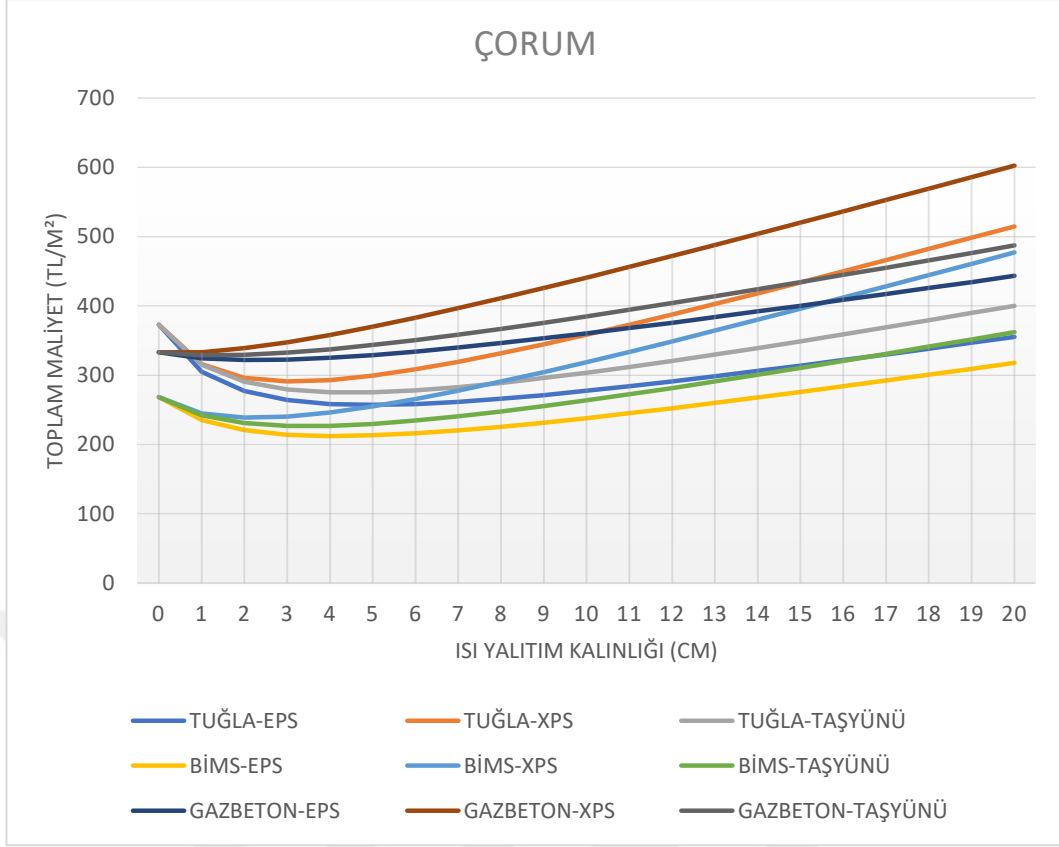
Şekil A.21: Bursa İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



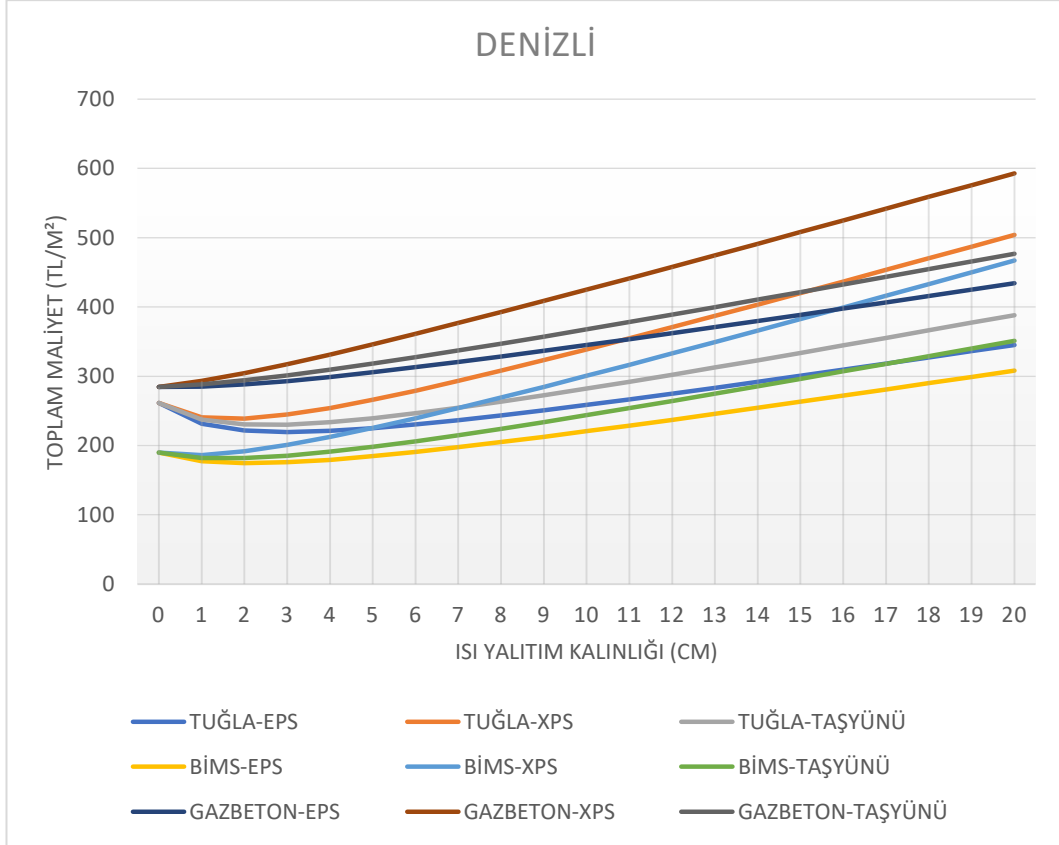
Şekil A.22: Çanakkale İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



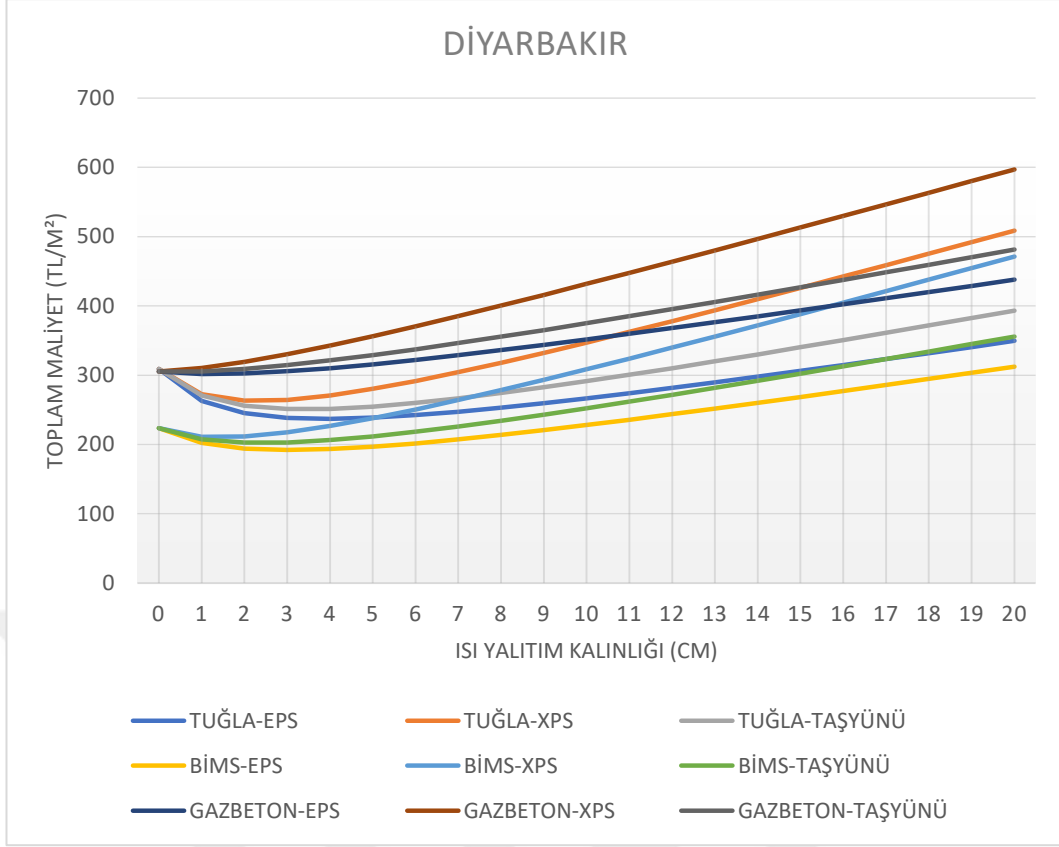
Şekil A.23: Çankırı İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



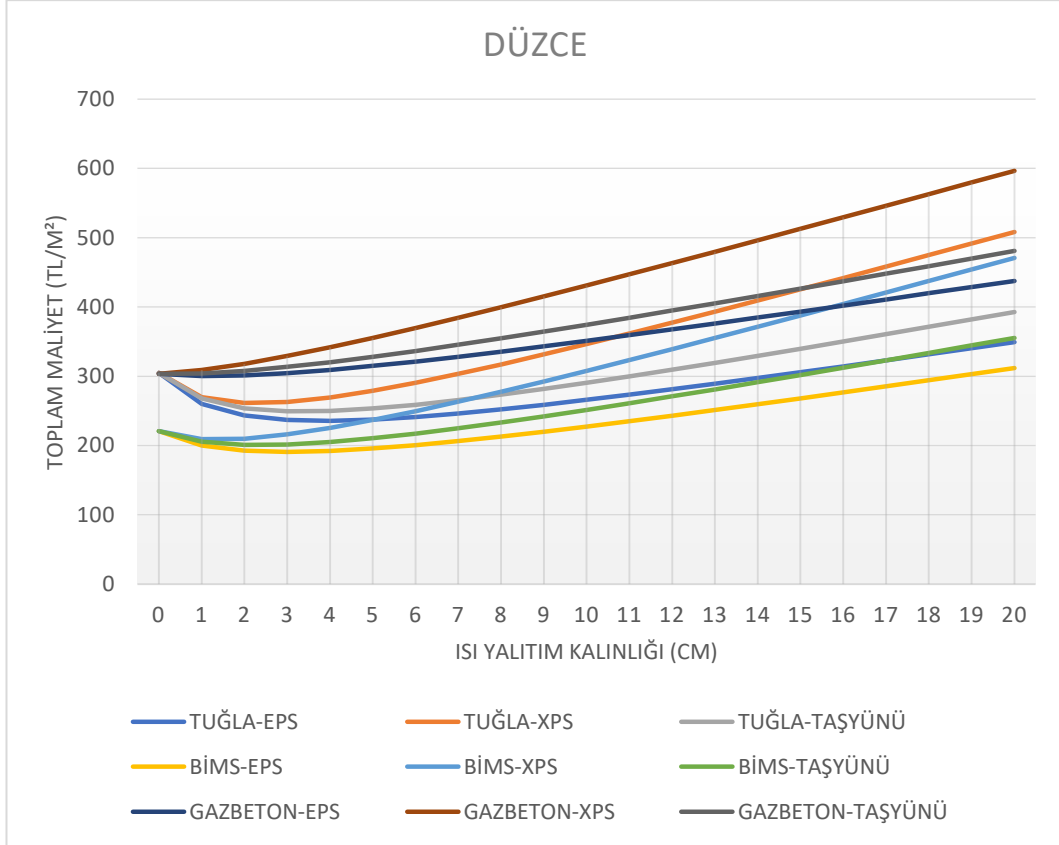
Şekil A.24: Çorum İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



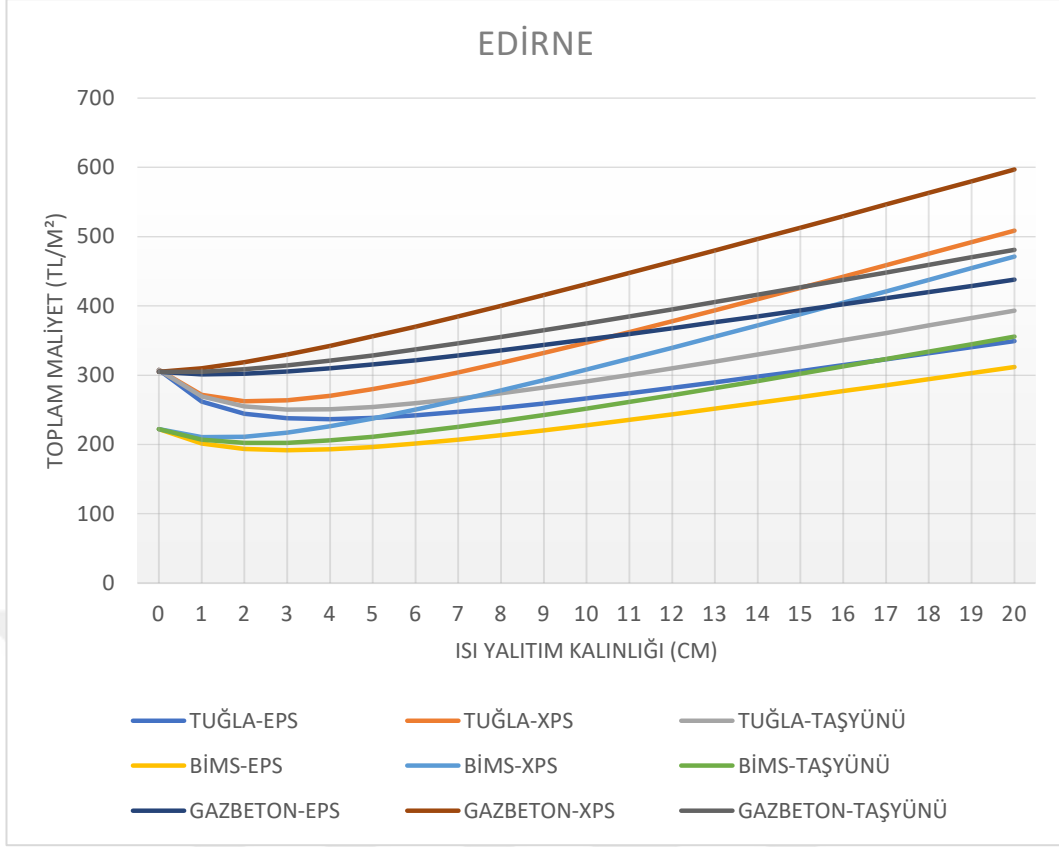
Şekil A.25: Denizli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



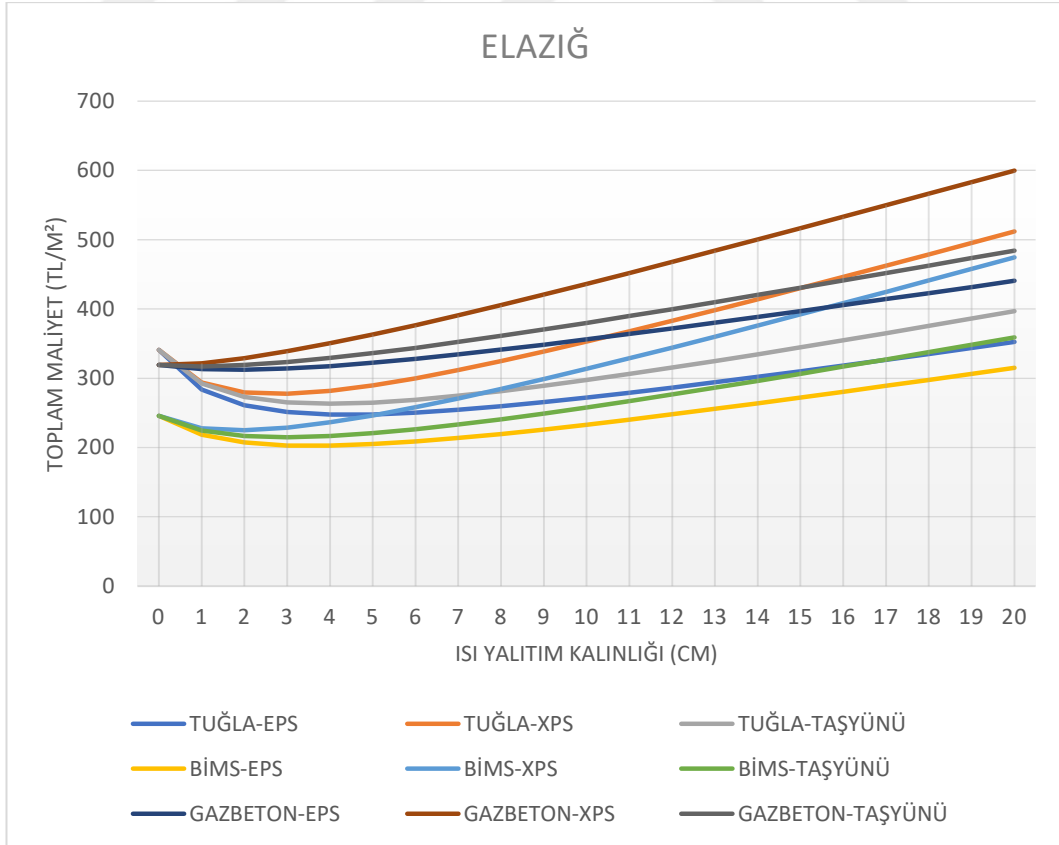
Şekil A.26: Diyarbakır İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



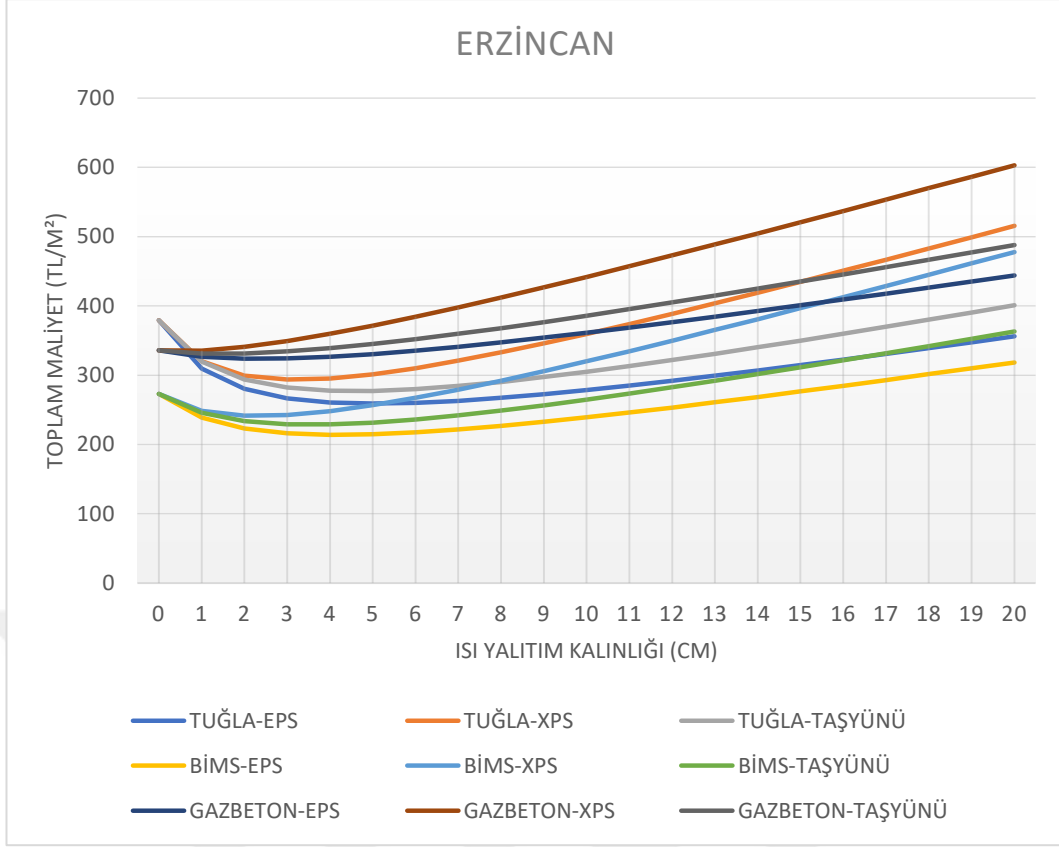
Şekil A.27: Düzce İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



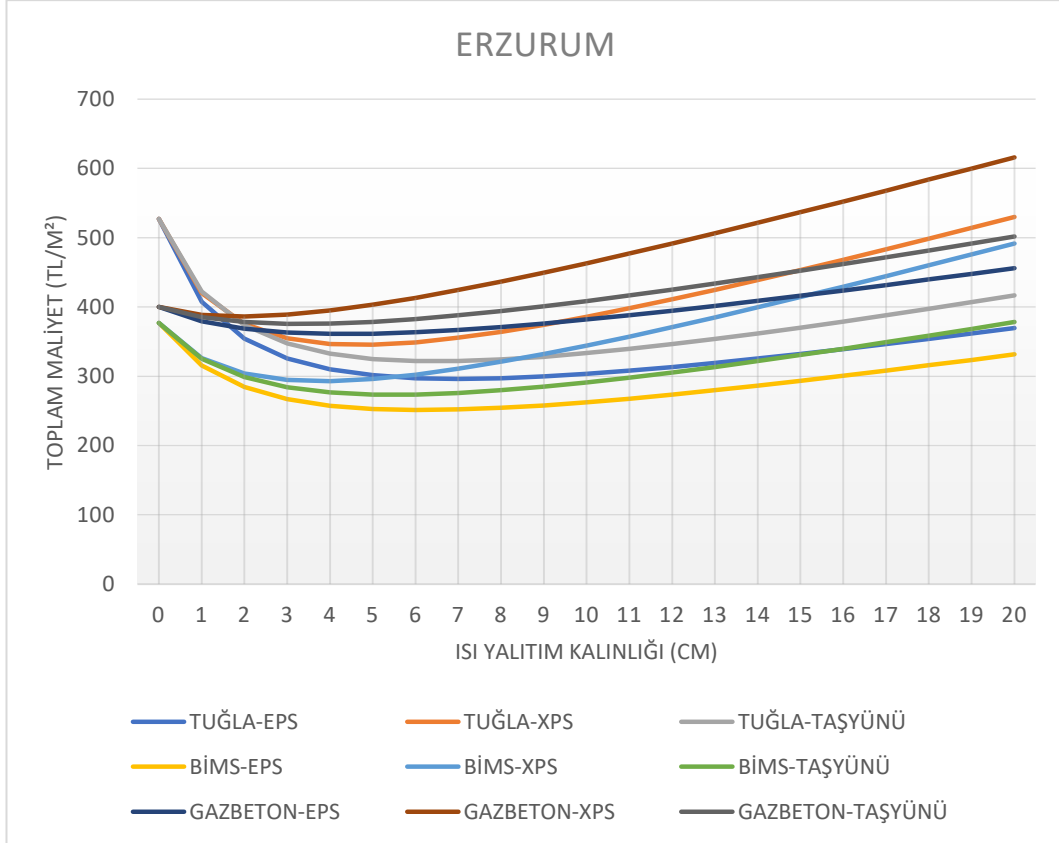
Şekil A.28: Edirne İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



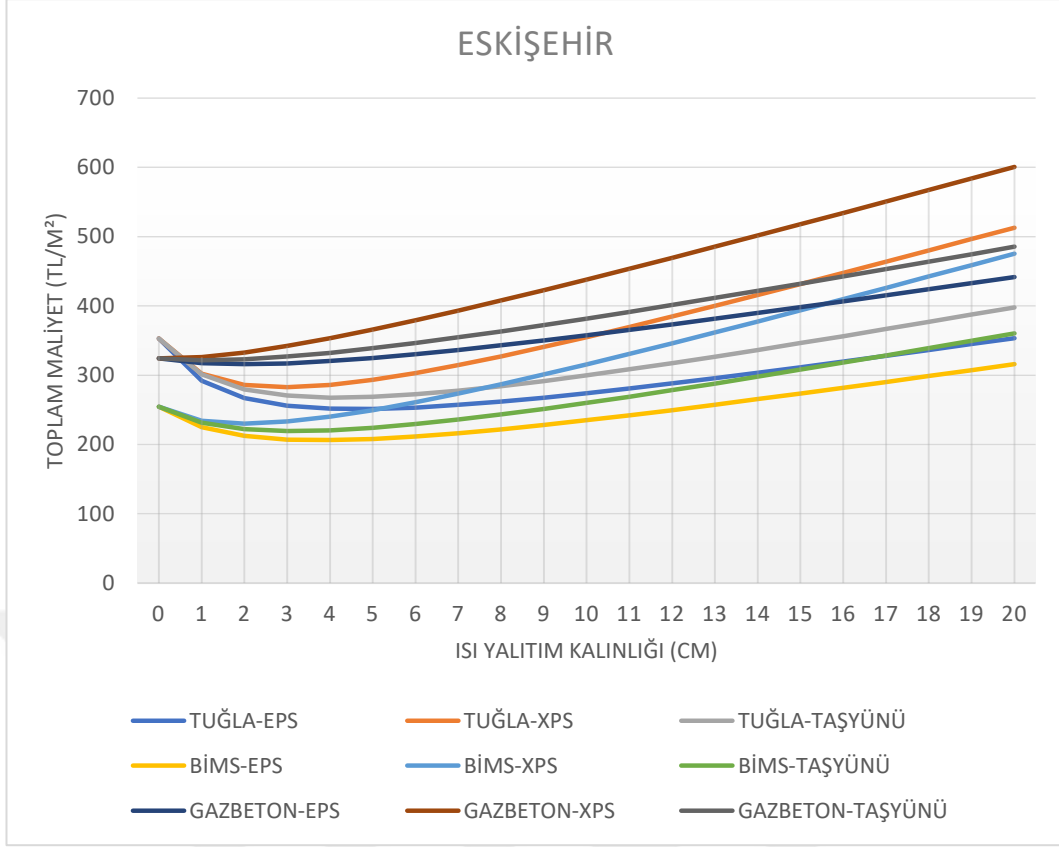
Şekil A.29: Elâzığ İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



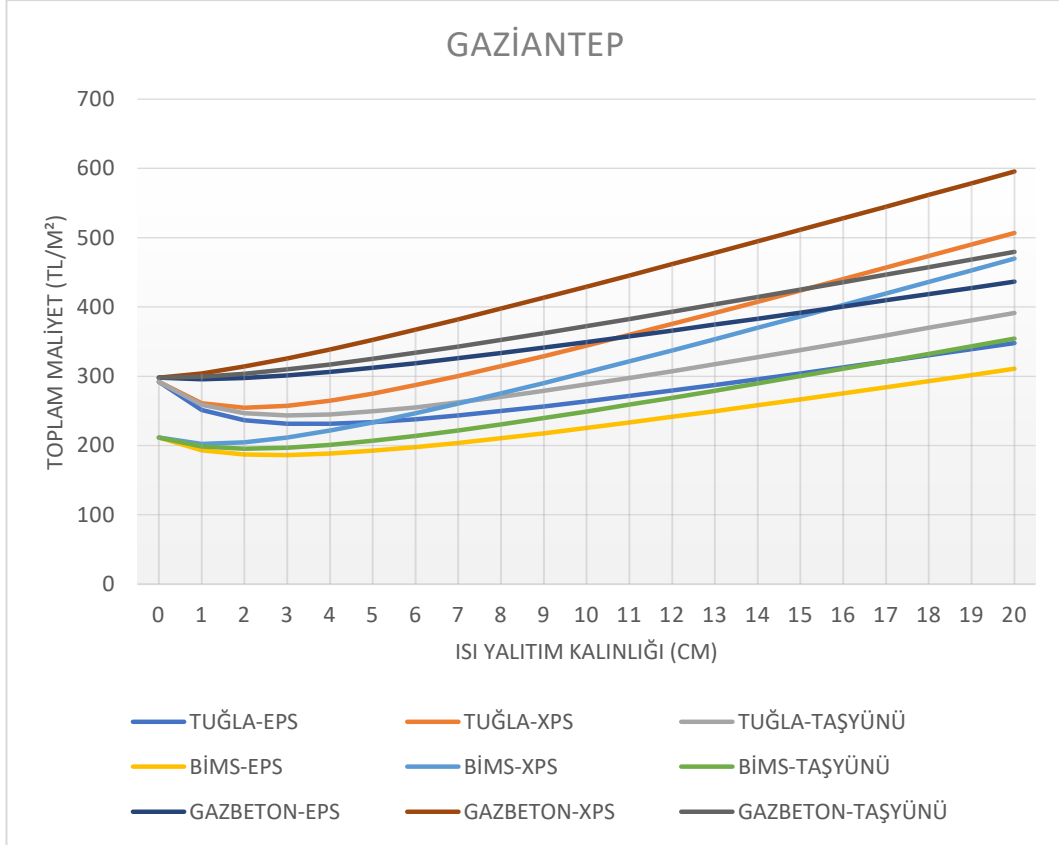
Şekil A.30: Erzincan İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



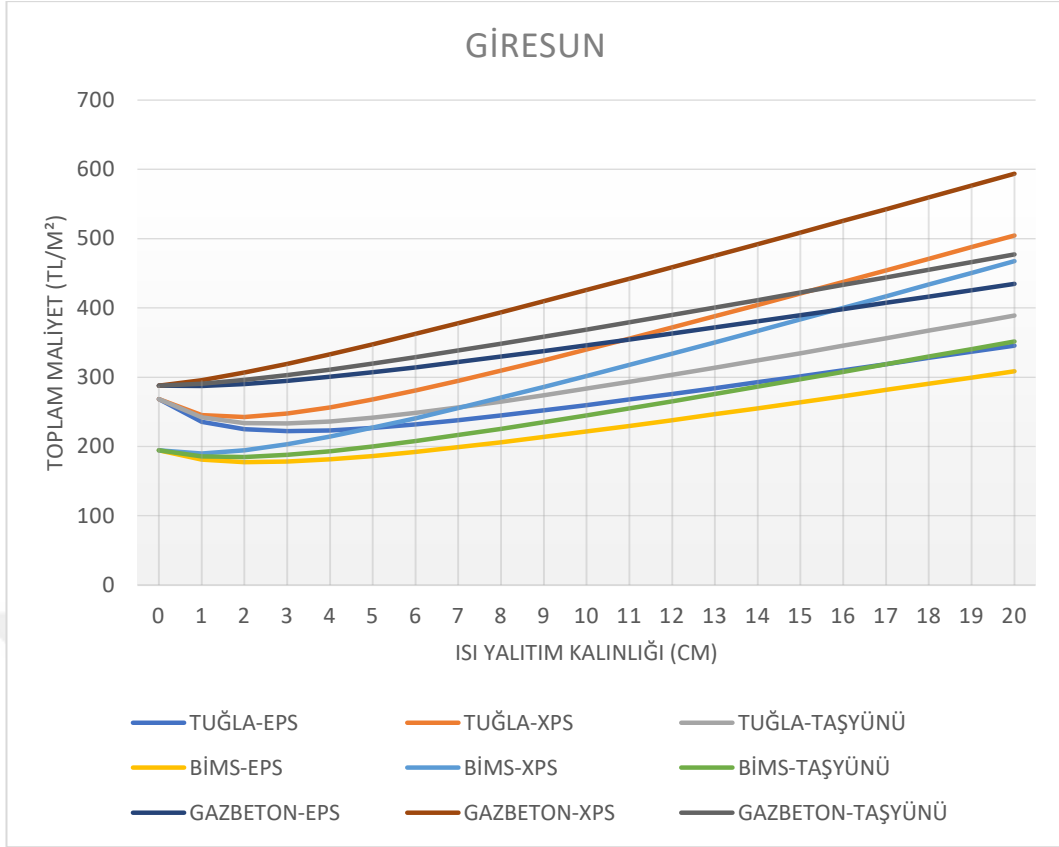
Şekil A.31: Erzurum İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



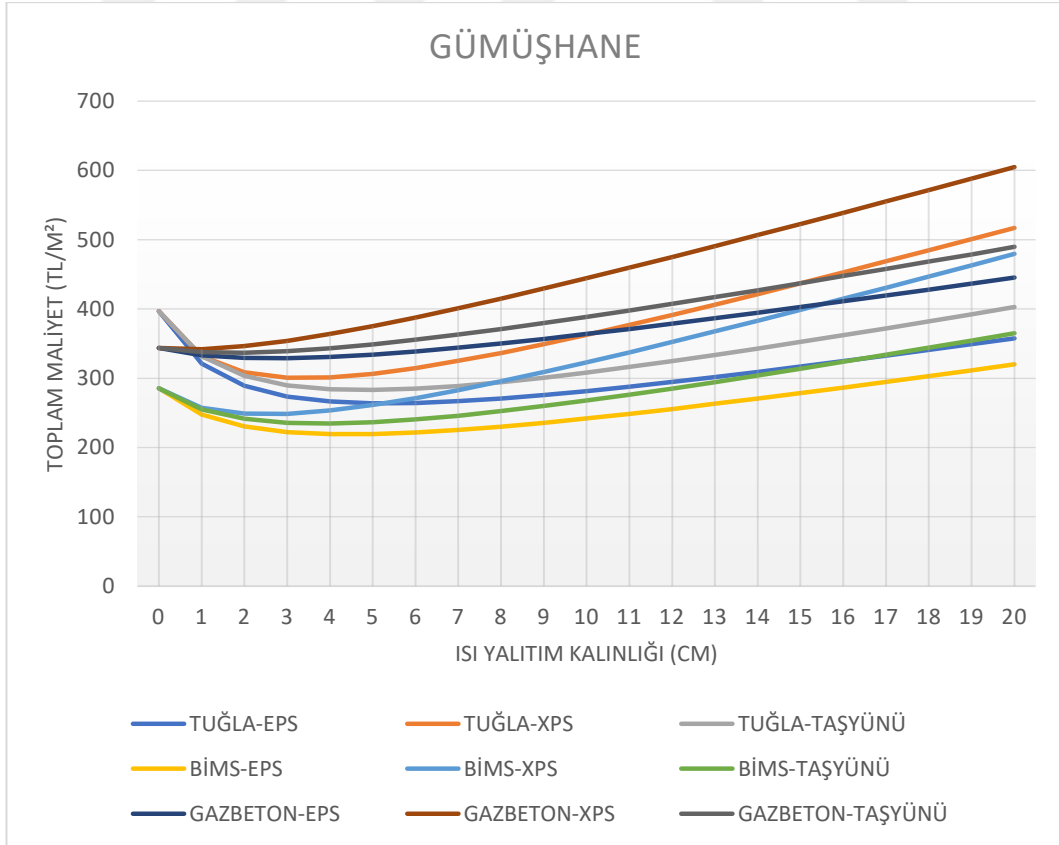
Şekil A.32: Eskişehir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



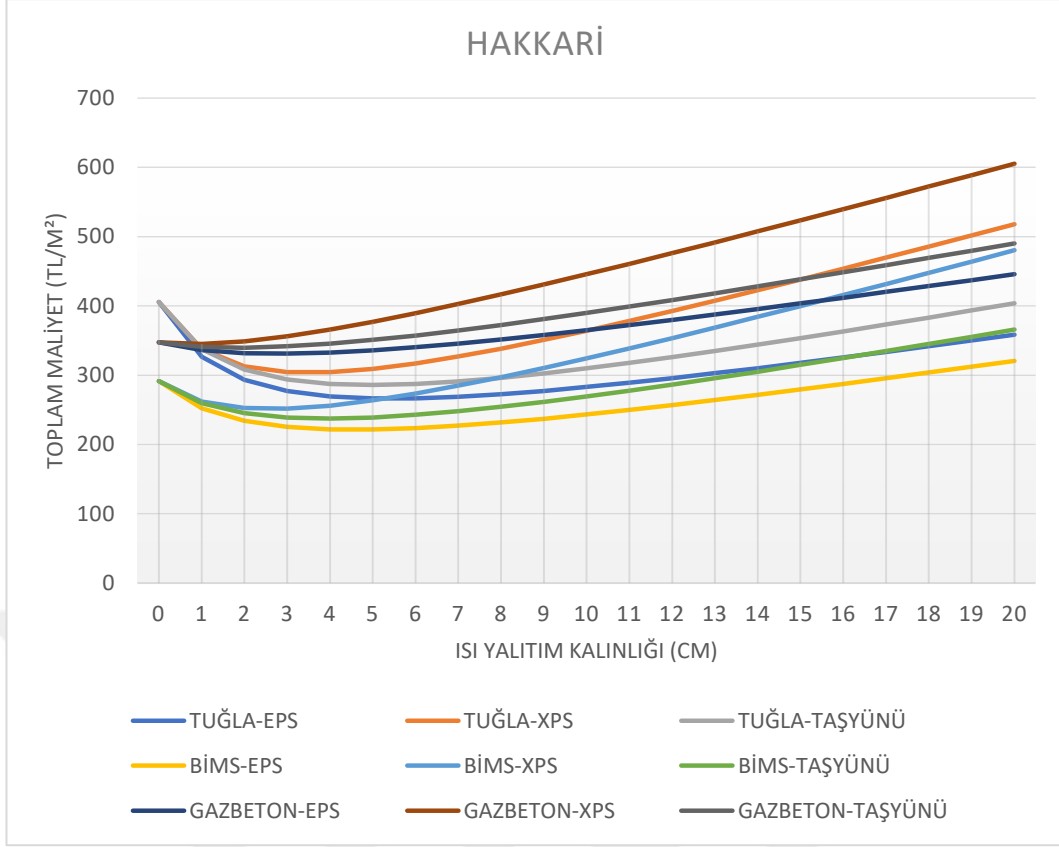
Şekil A.33: Gaziantep İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



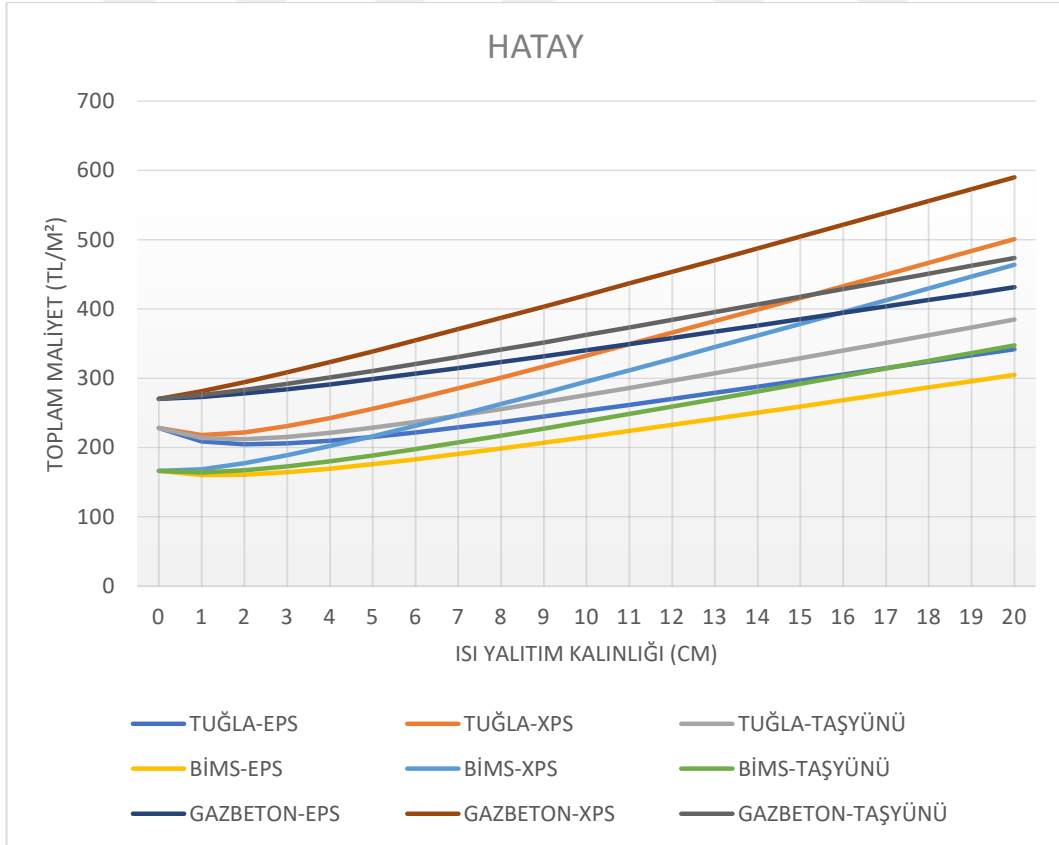
Şekil A.34: Giresun İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



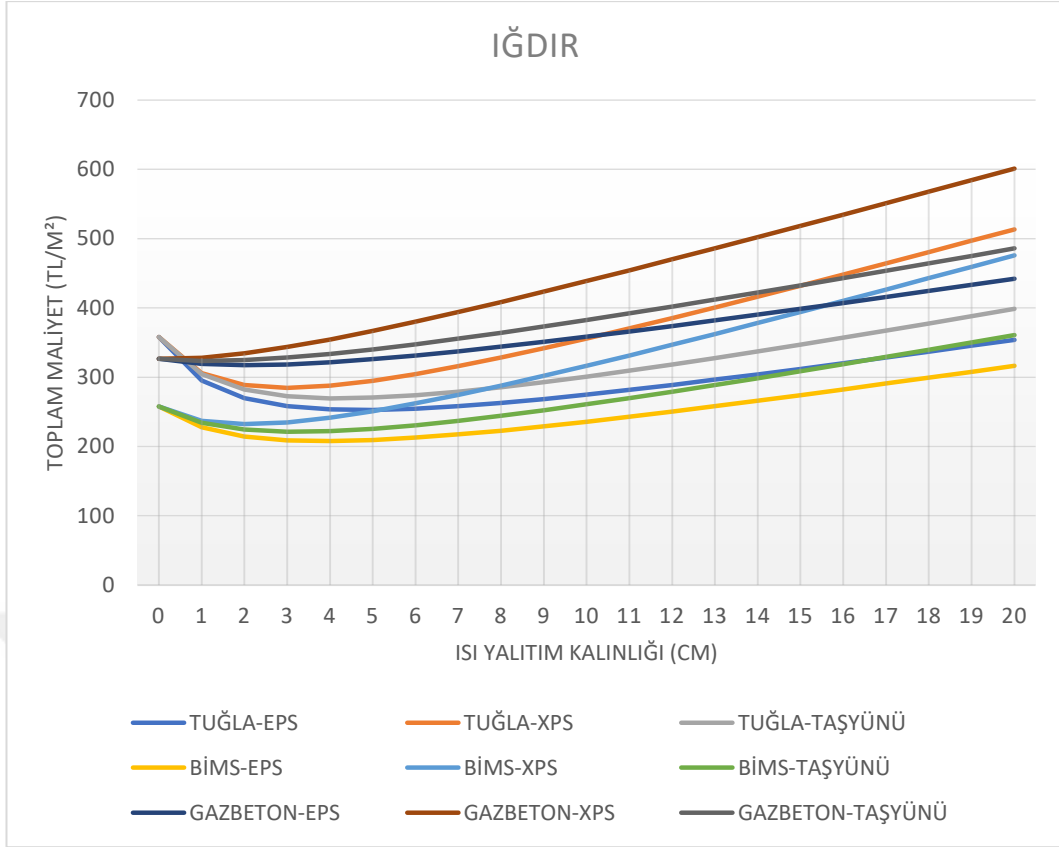
Şekil A.35: Gümüşhane İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



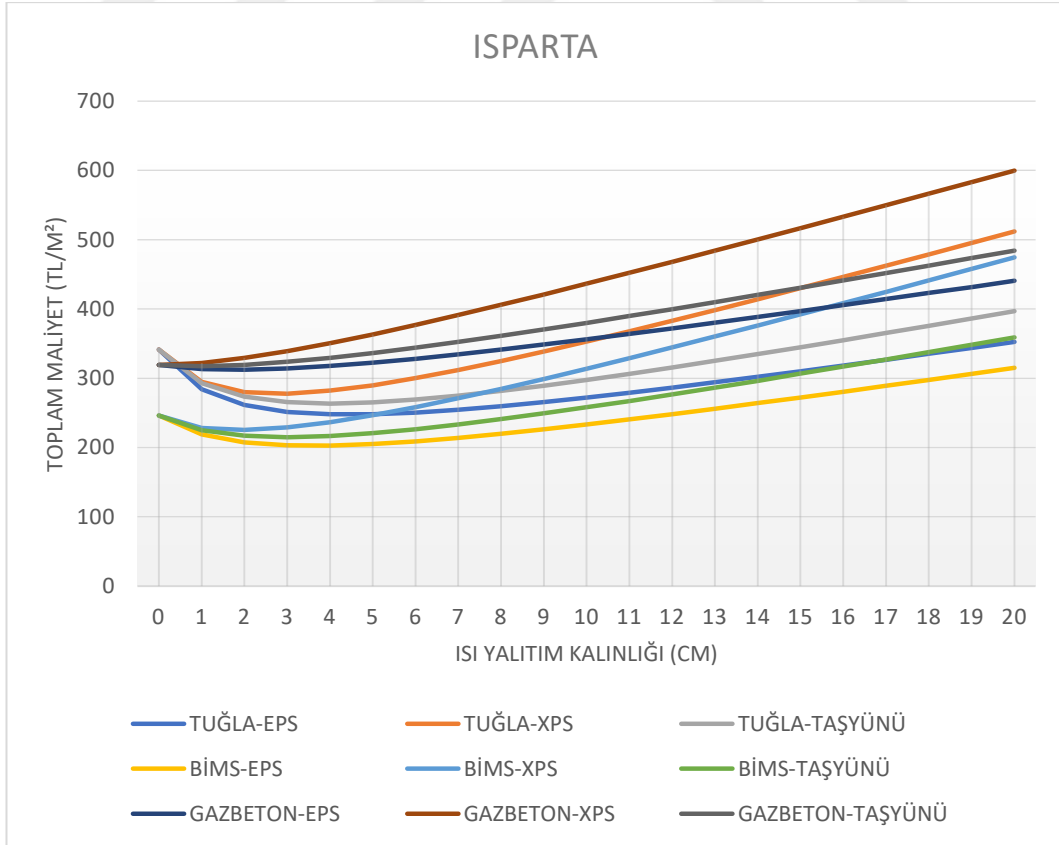
Şekil A.36: Hakkârî İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



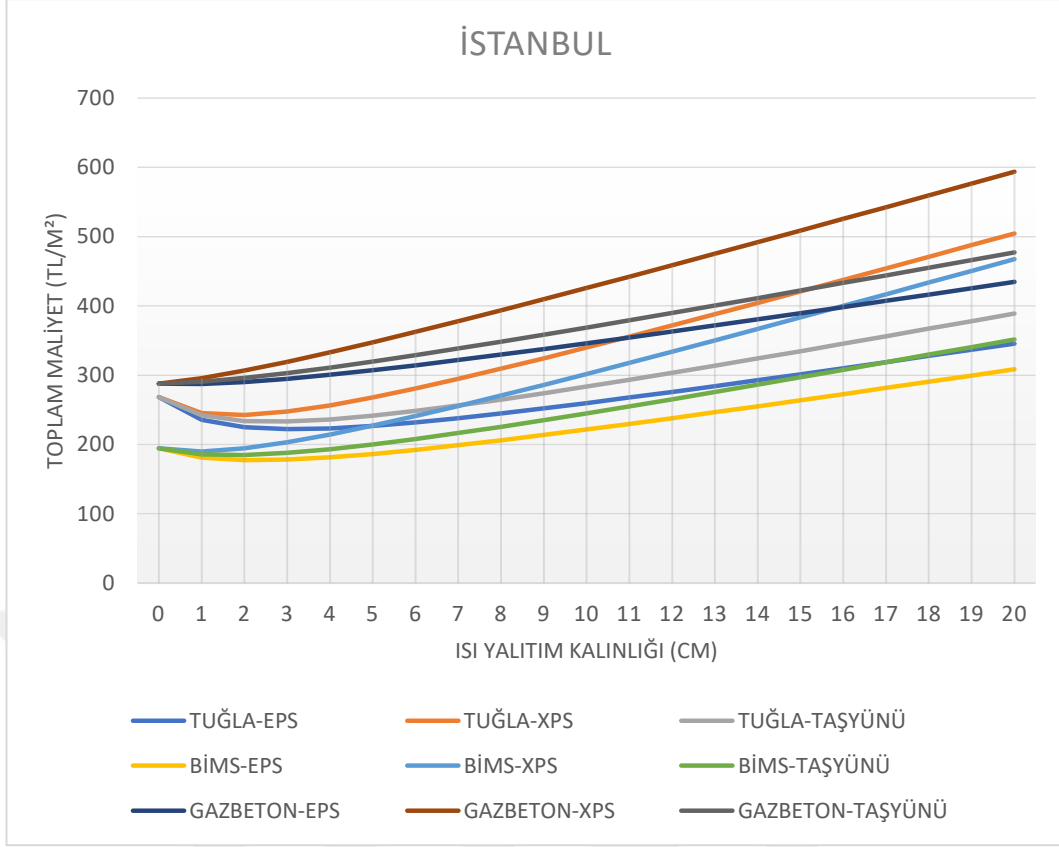
Şekil A.37: Hatay İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



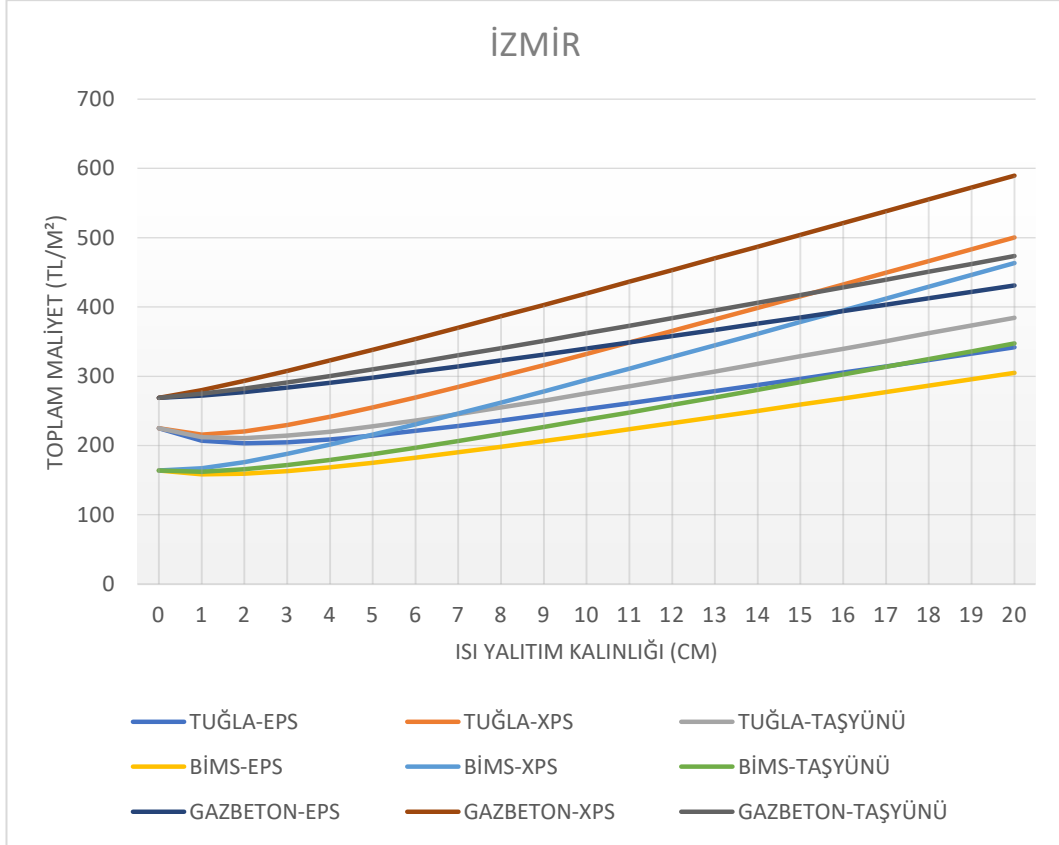
Şekil A.38: Iğdır İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



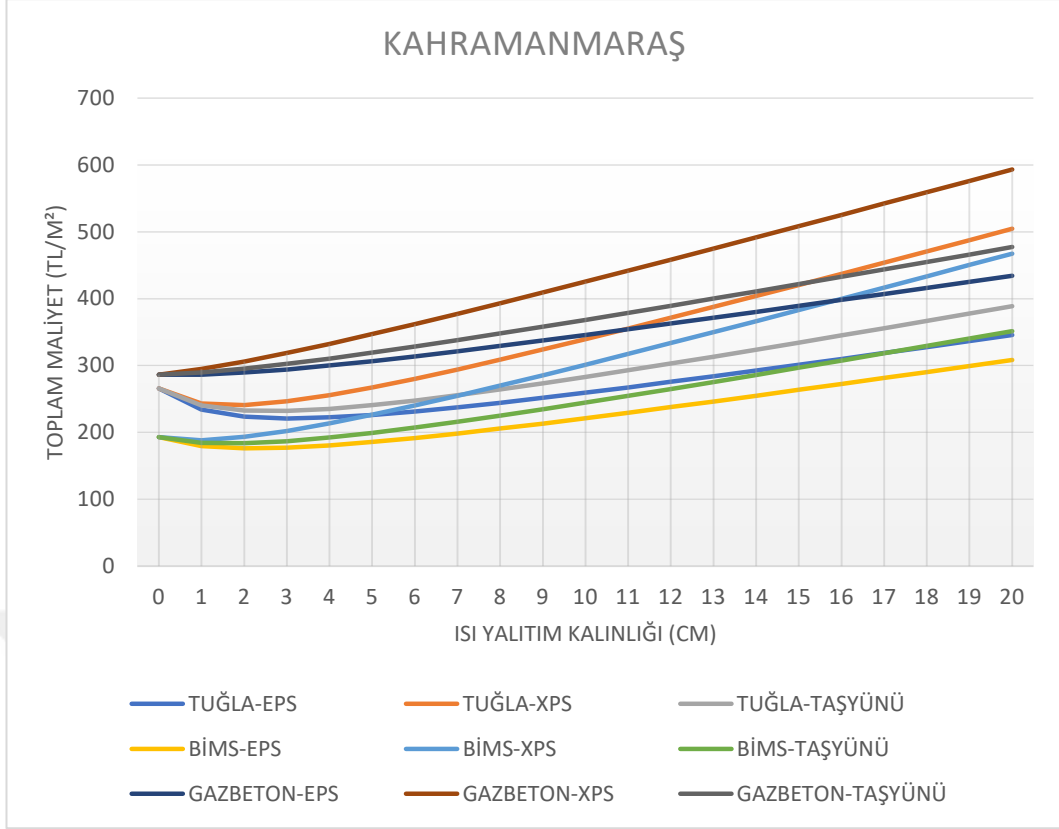
Şekil A.39: Isparta İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



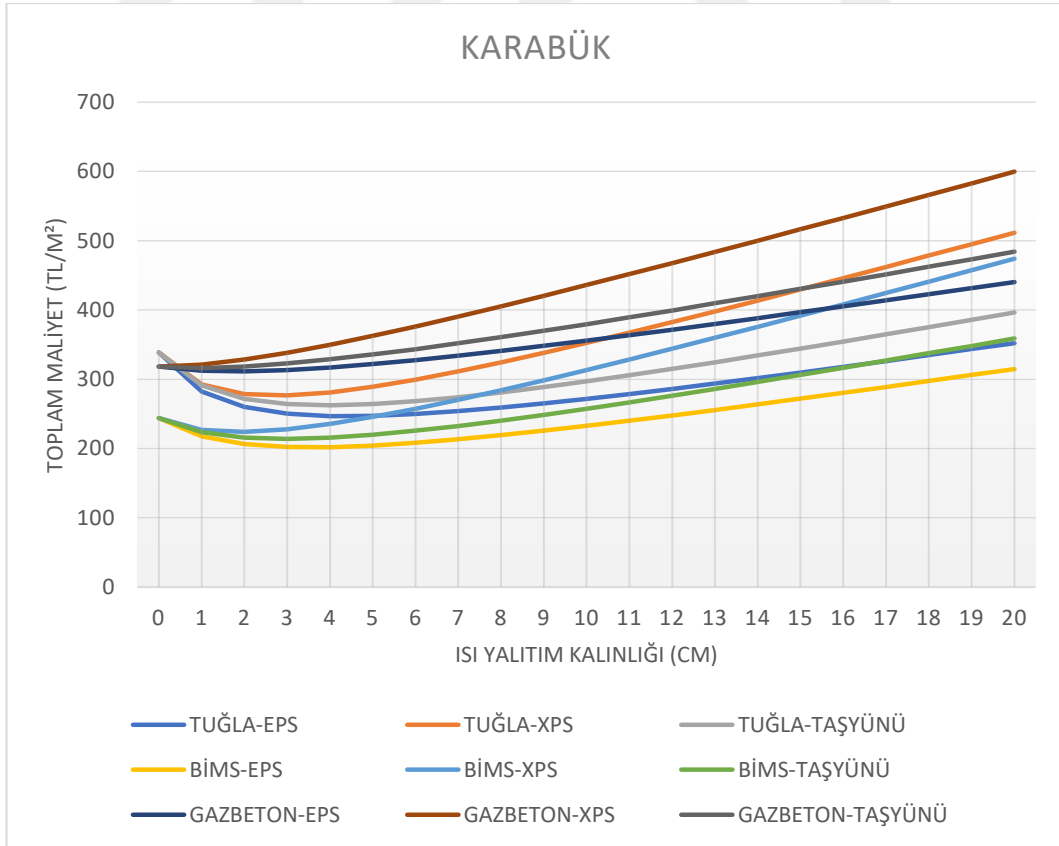
Şekil A.40: İstanbul İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



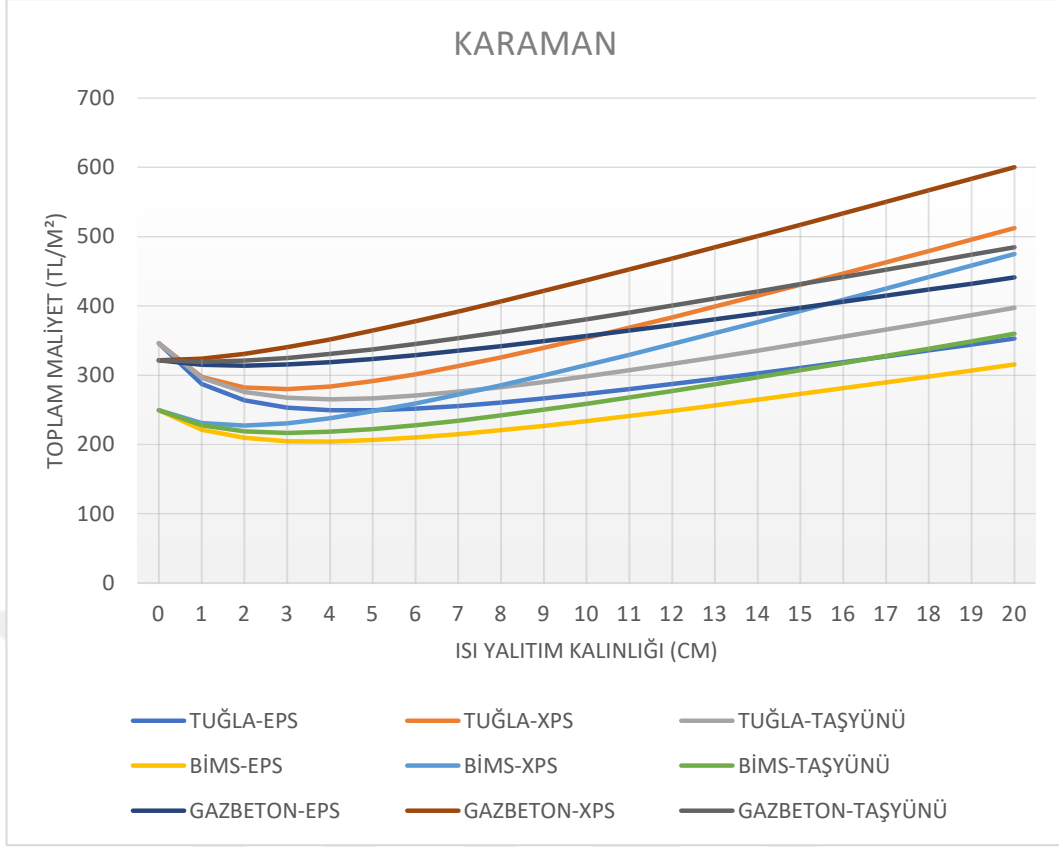
Şekil A.41: İzmir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



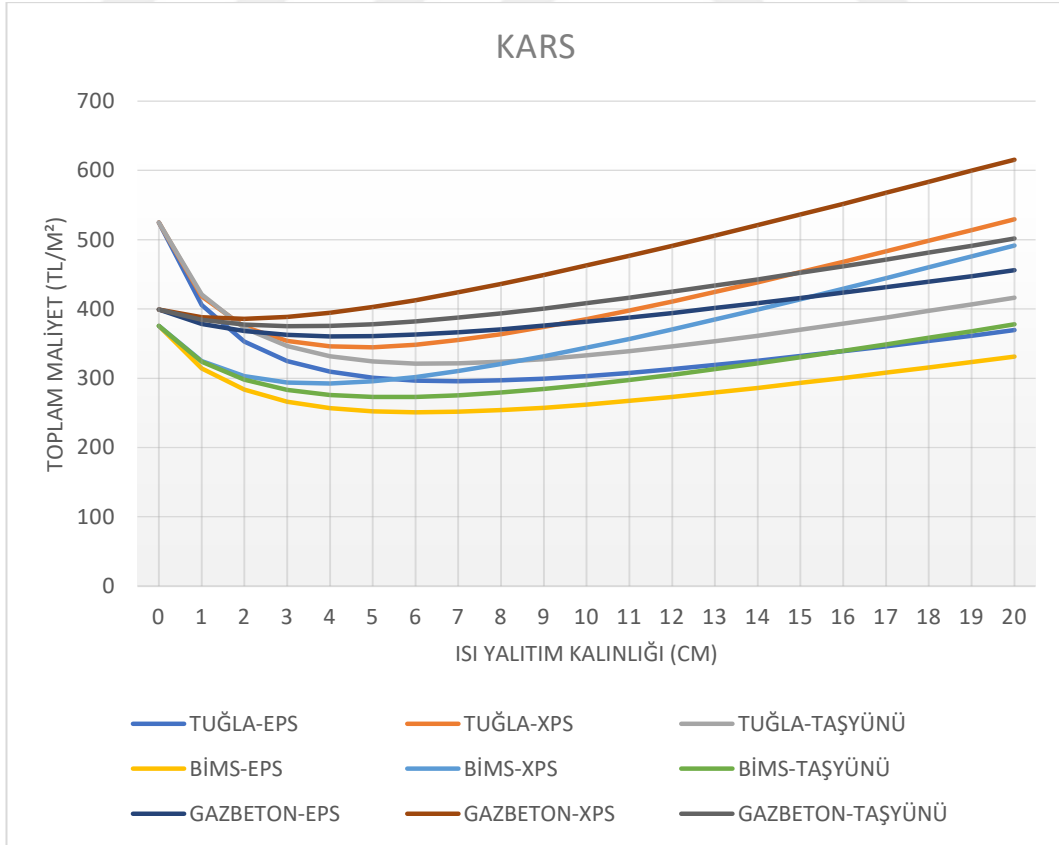
Şekil A.42: Kahramanmaraş İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



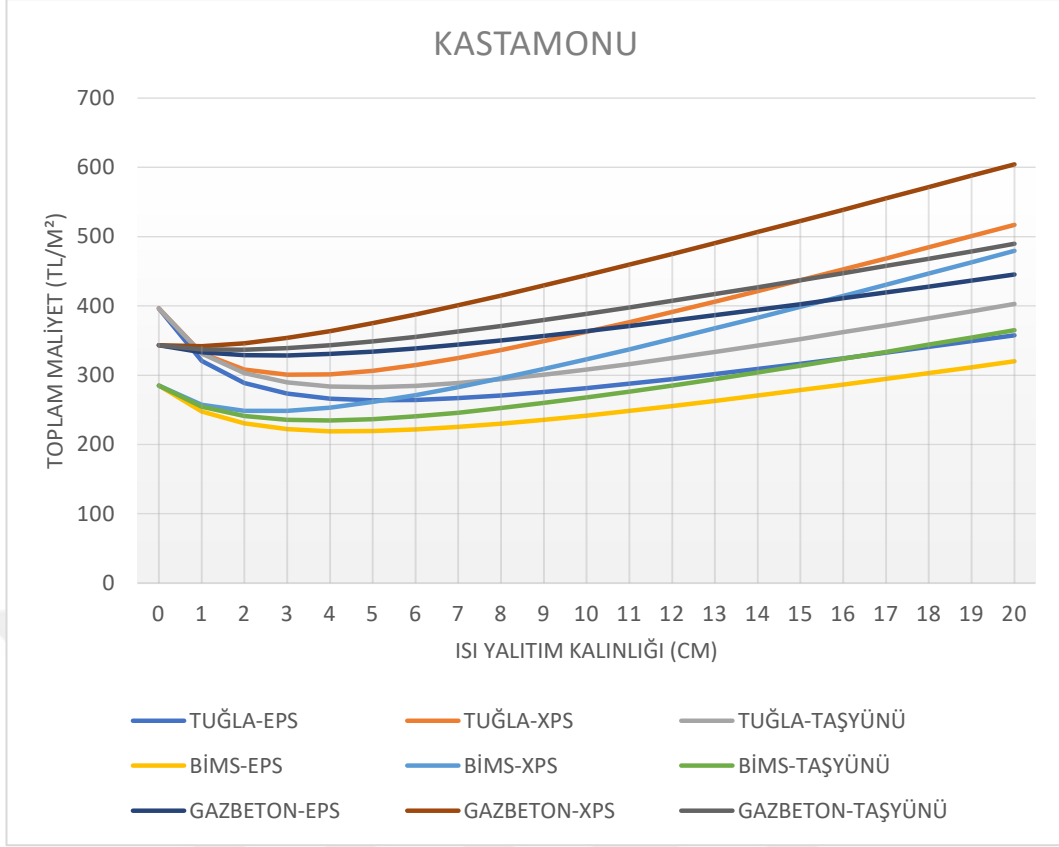
Şekil A.43: Karabük İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



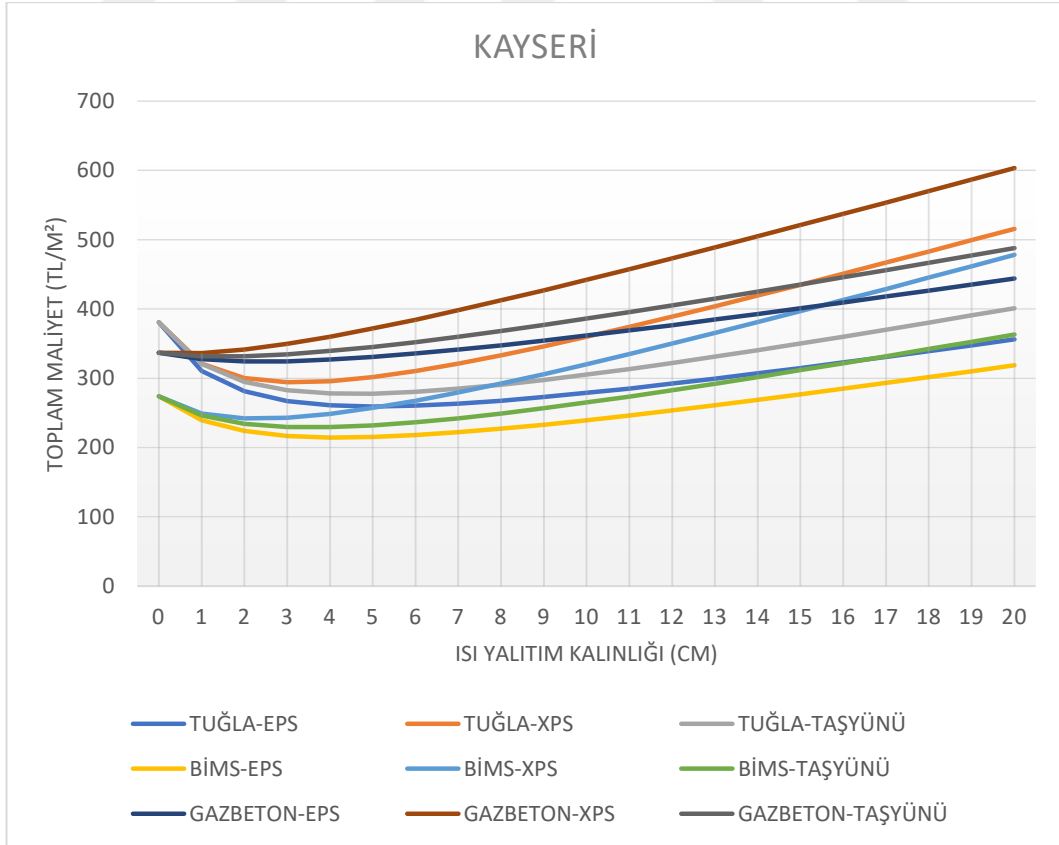
Şekil A.44: Karaman İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



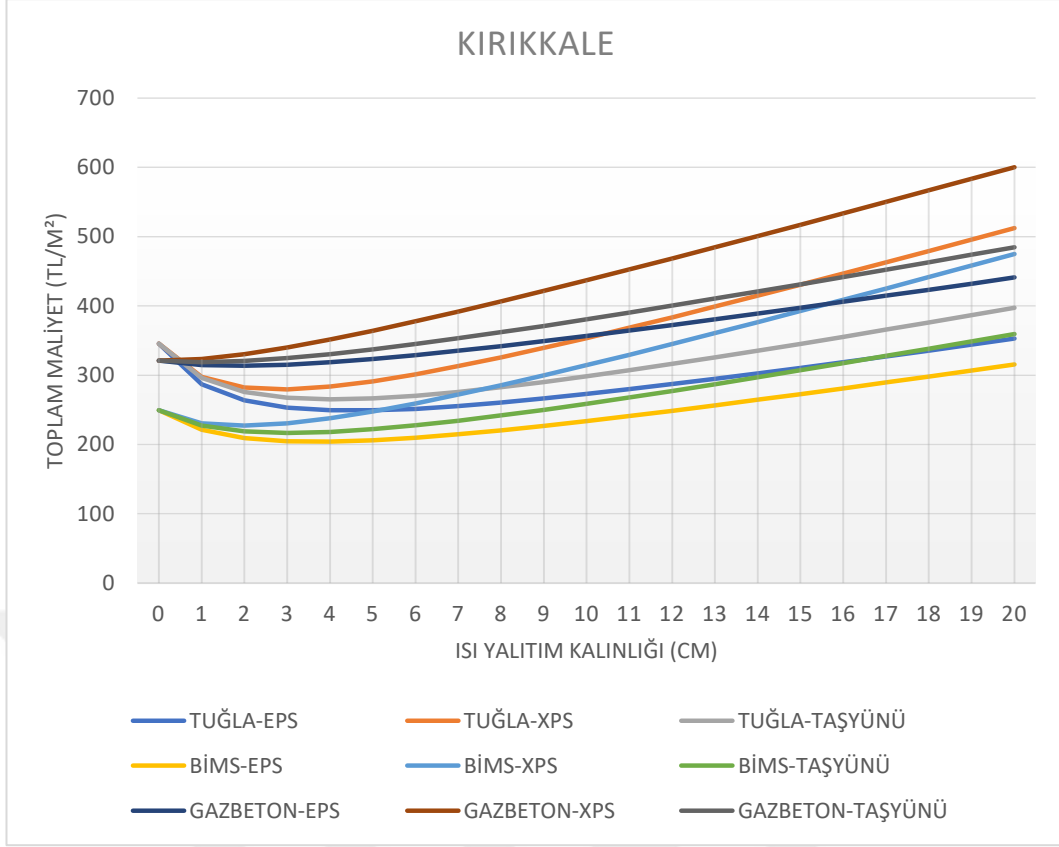
Şekil A.45: Kars İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



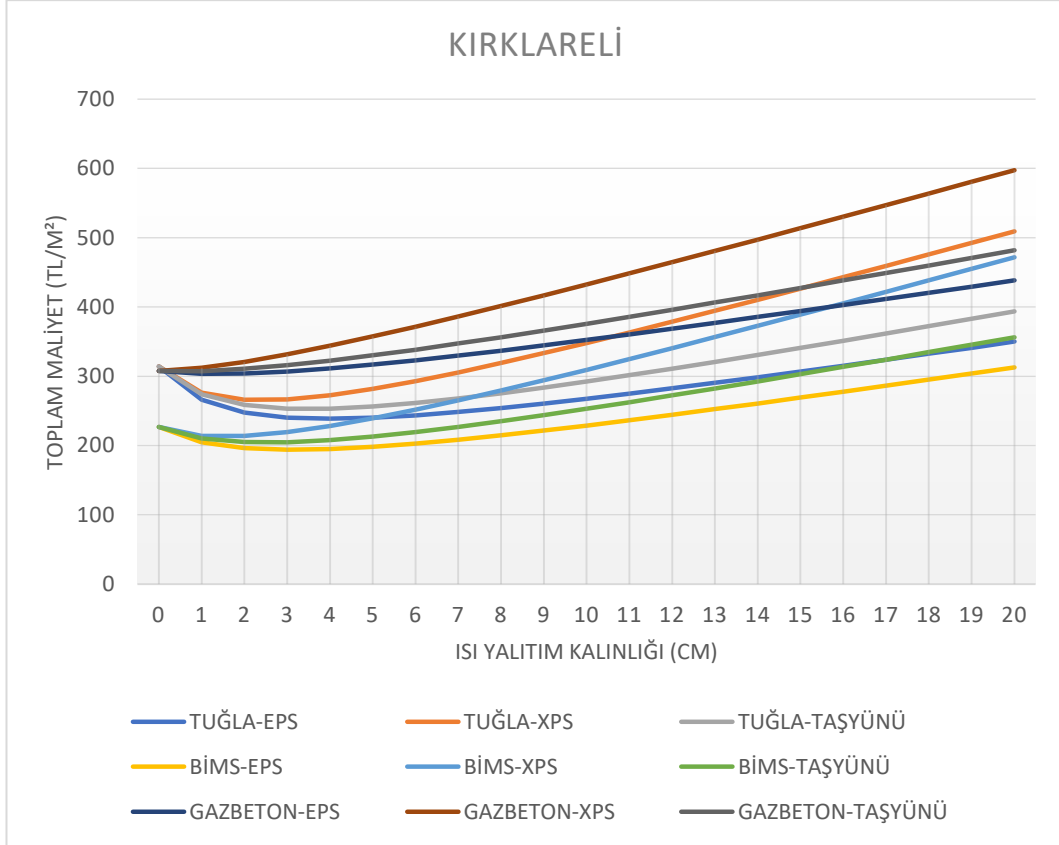
Şekil A.46: Kastamonu İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



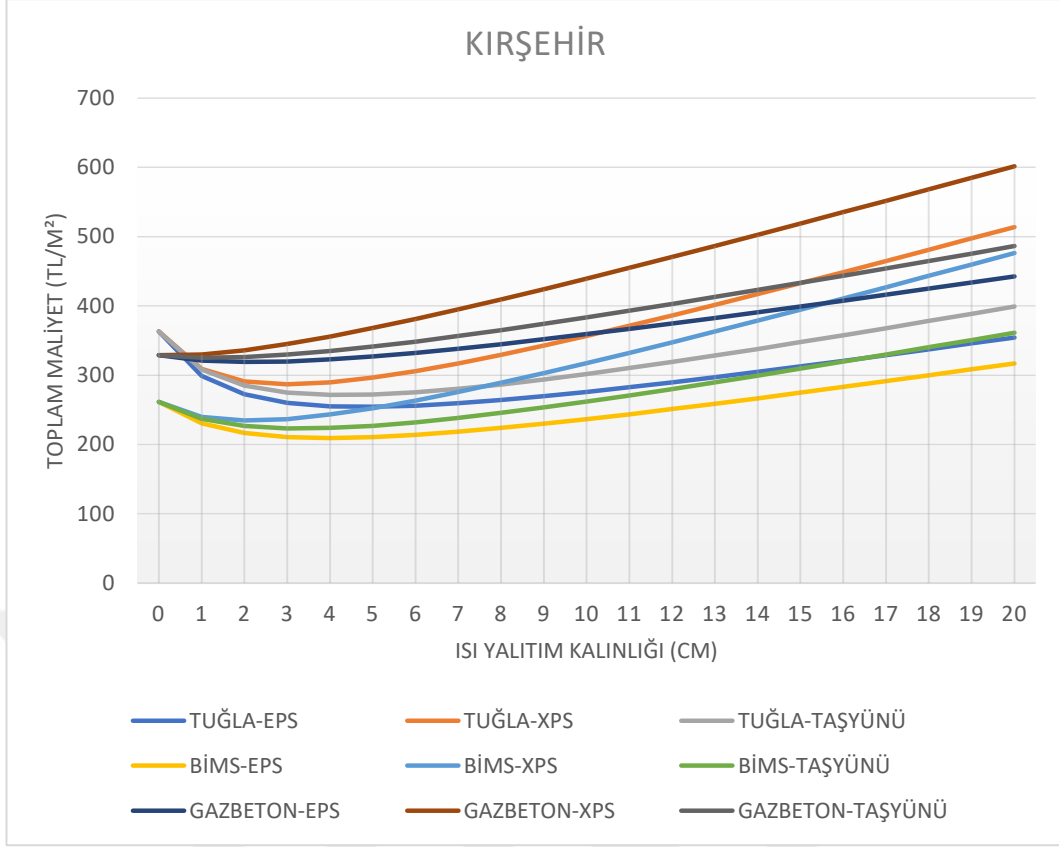
Şekil A.47: Kayseri İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



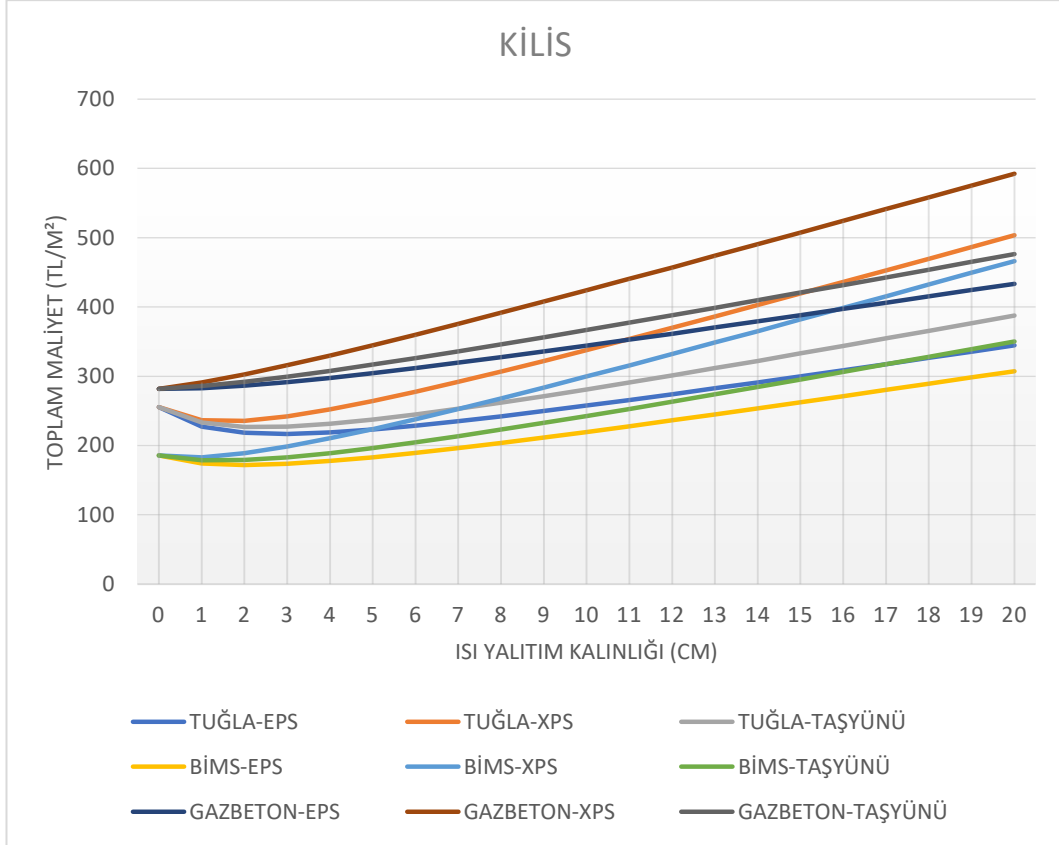
Şekil A.48: Kırıkkale İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



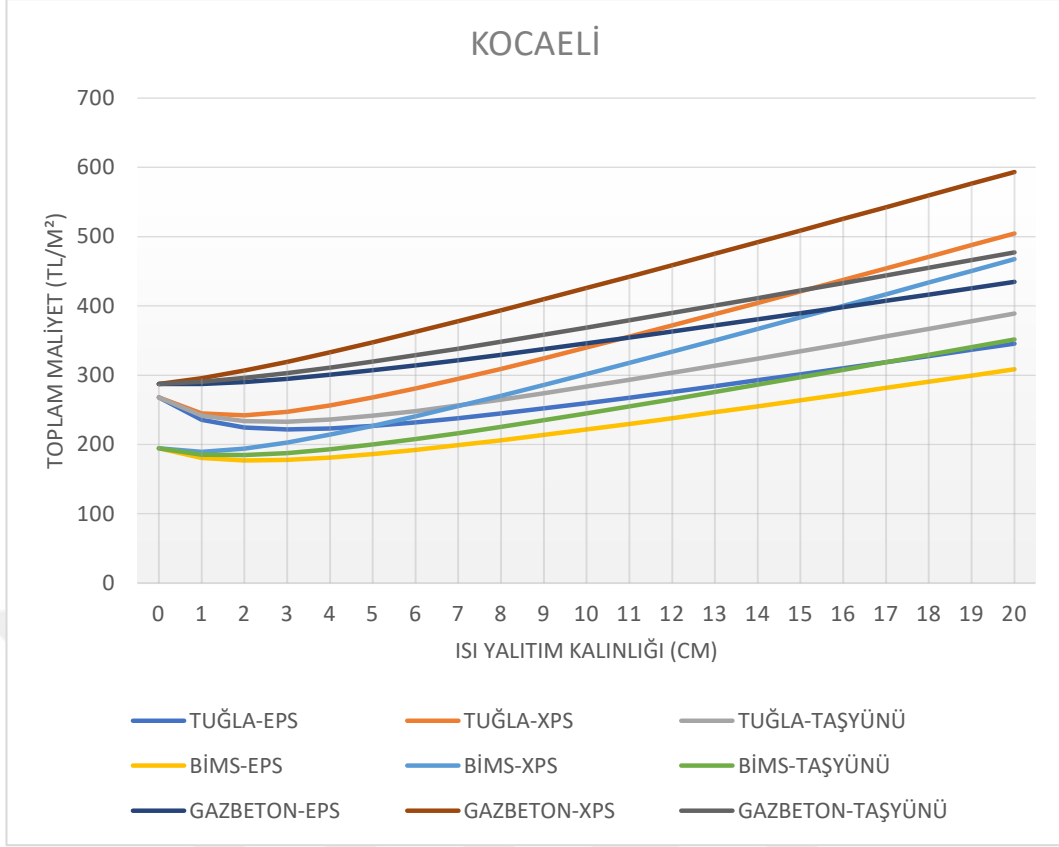
Şekil A.49: Kırklareli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



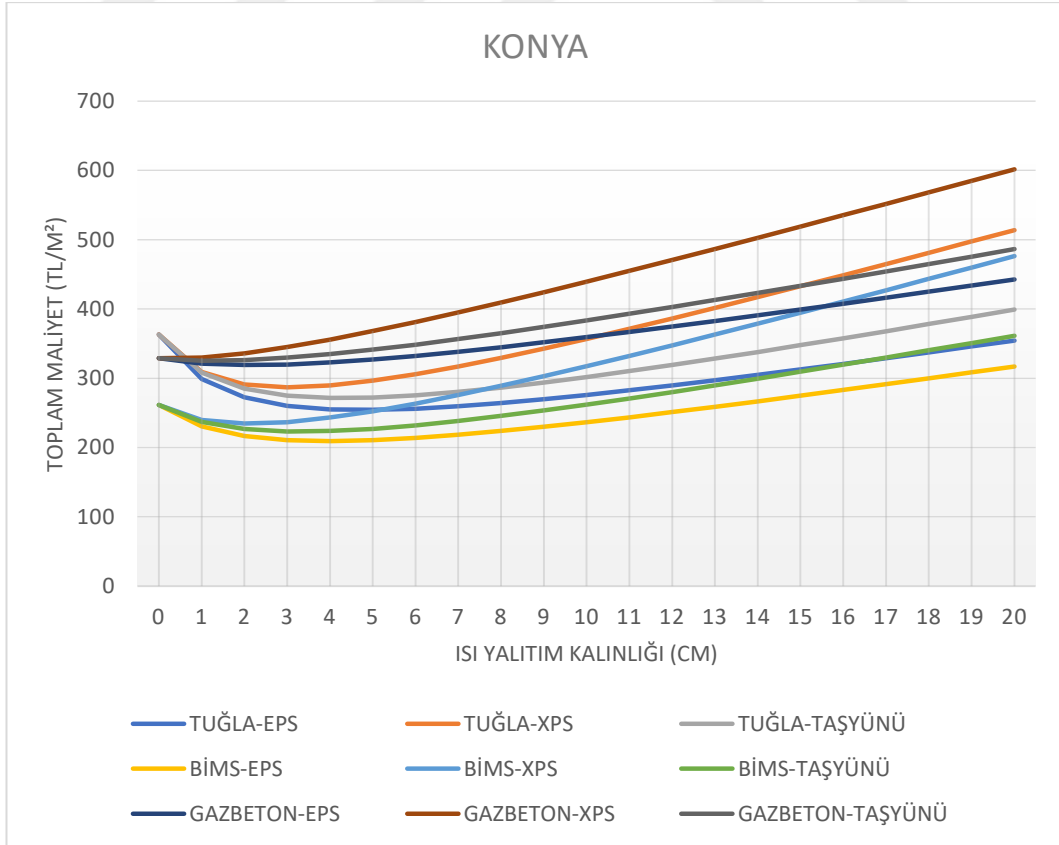
Şekil A.50: Kırşehir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



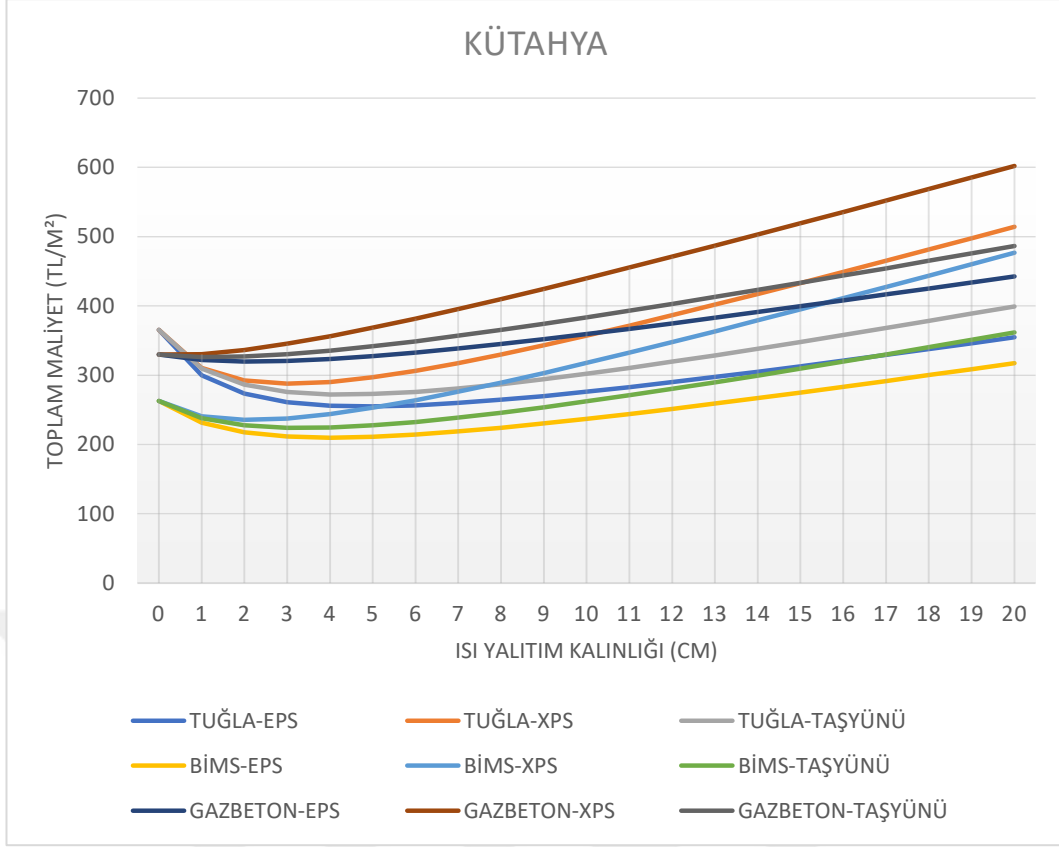
Şekil A.51: Kilis İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



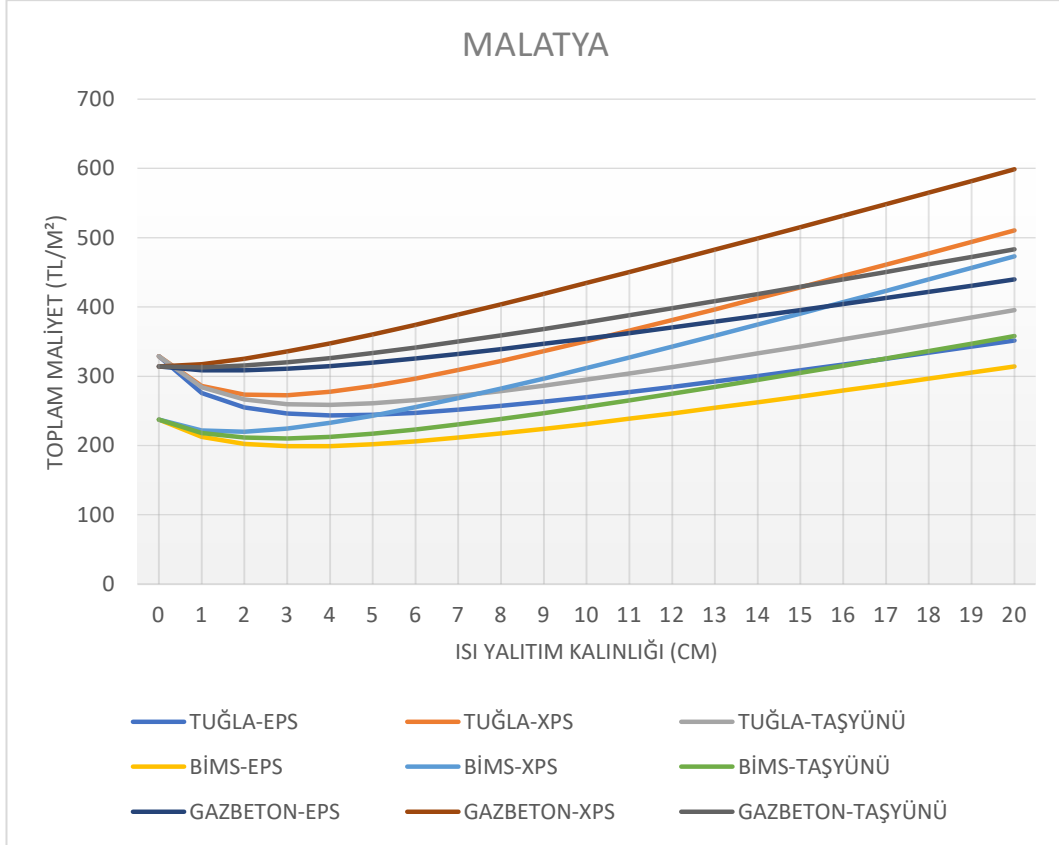
Şekil A.52: Kocaeli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



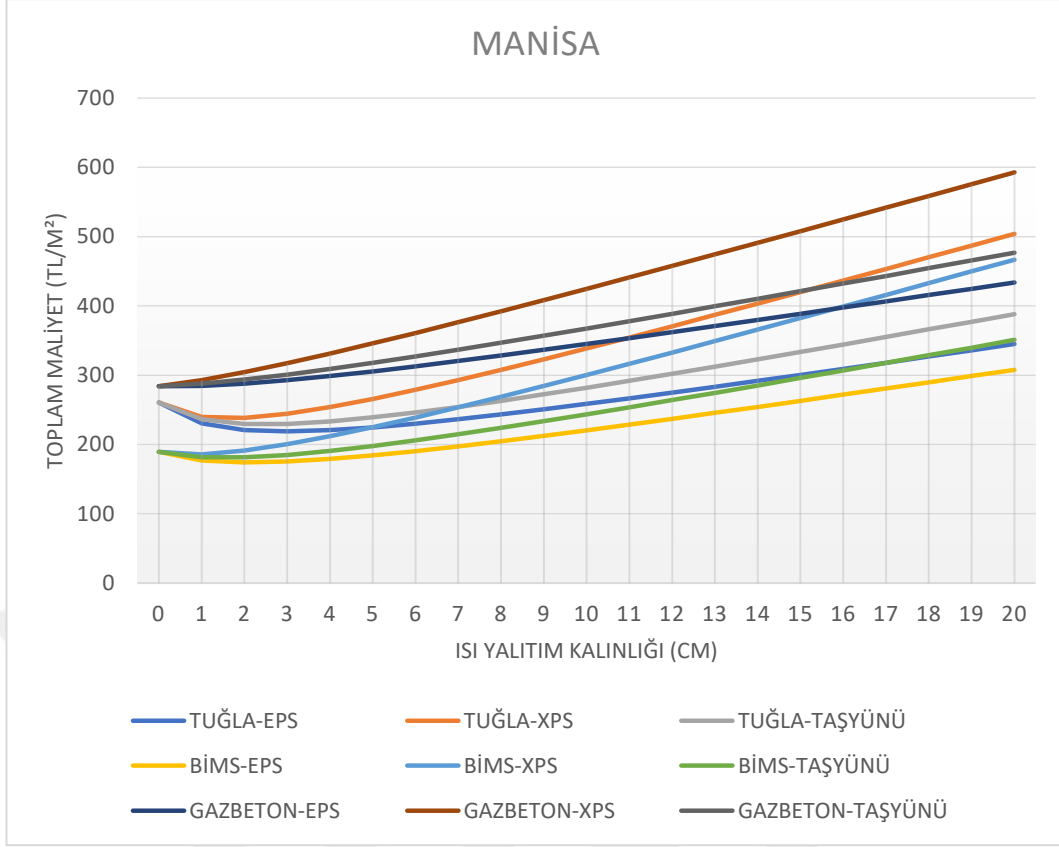
Şekil A.53: Konya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



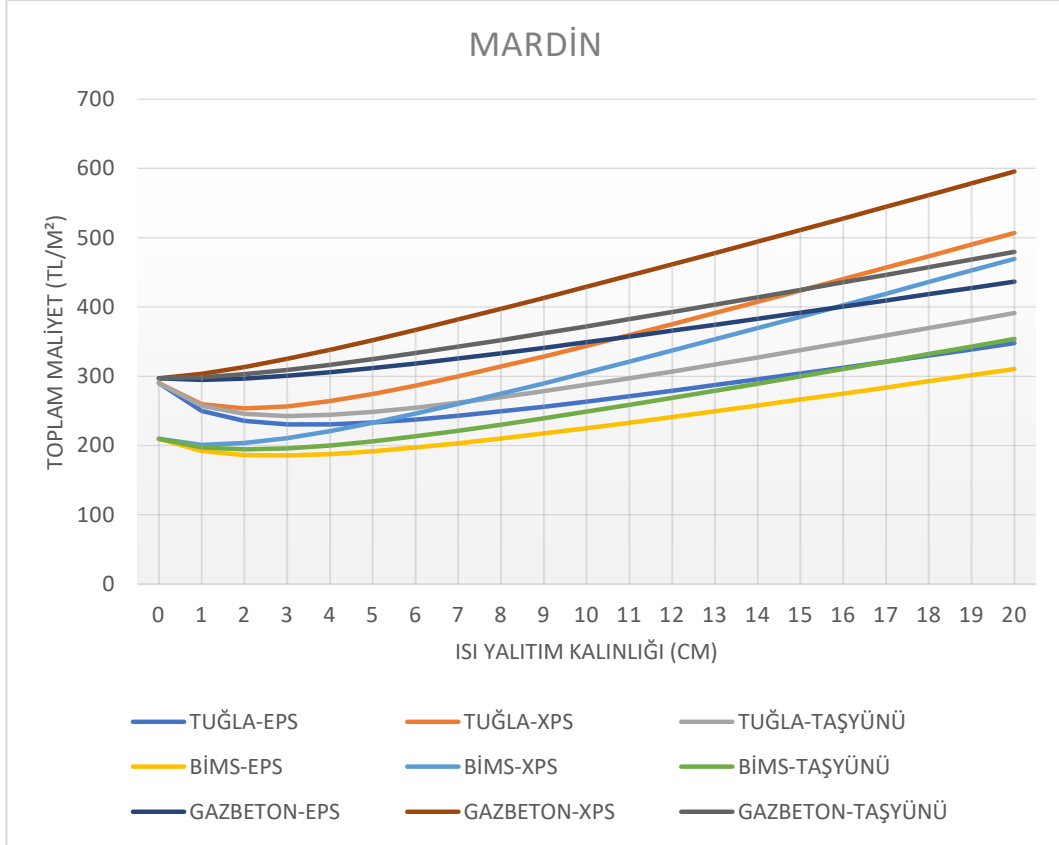
Şekil A.54: Kütahya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



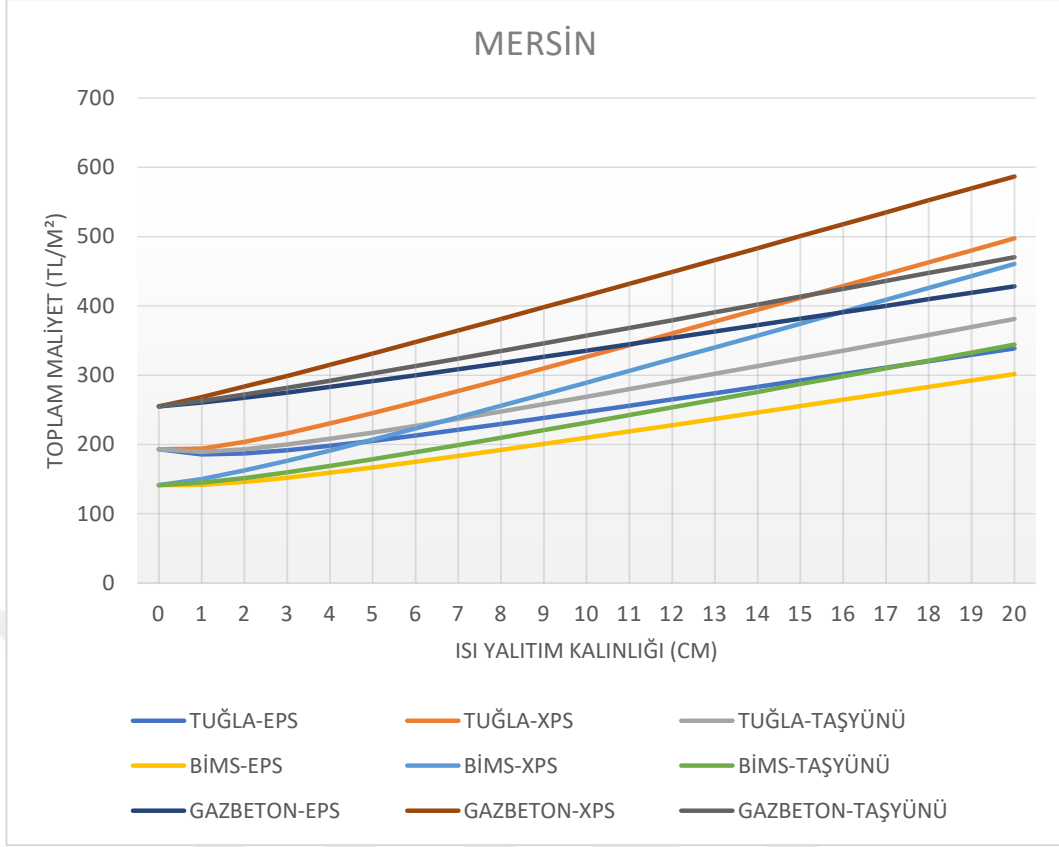
Şekil A.55: Malatya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



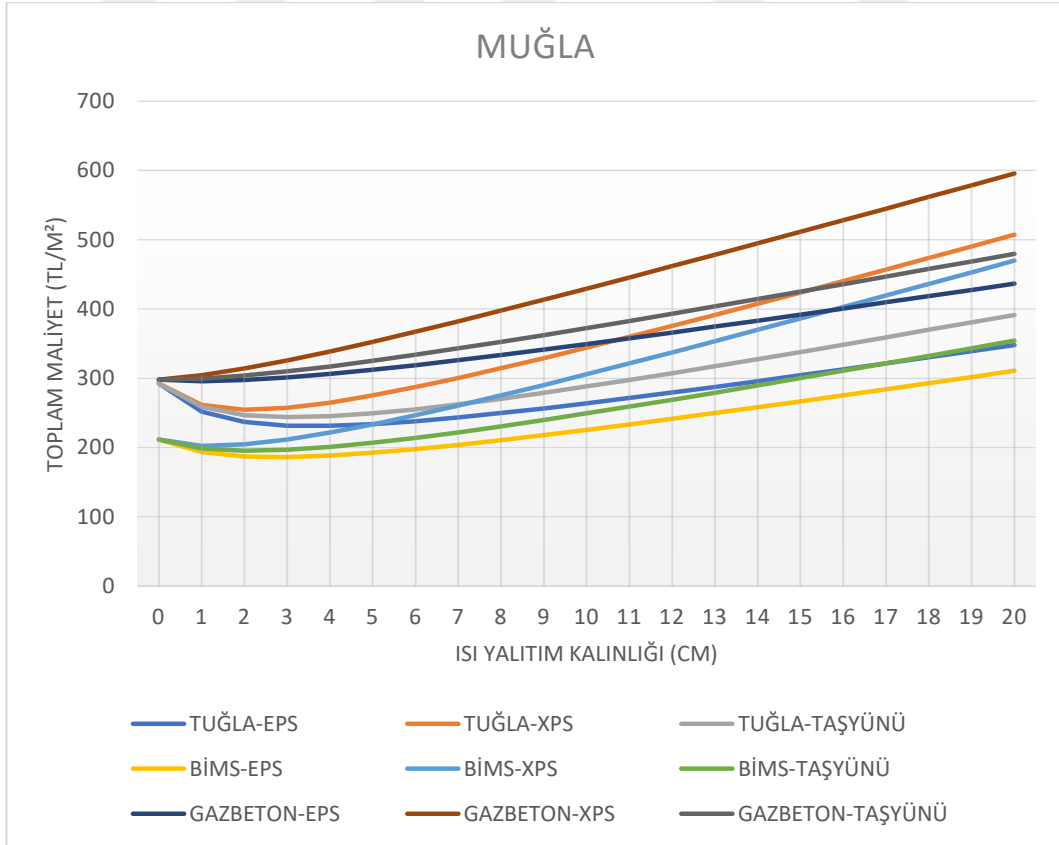
Şekil A.56: Manisa İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



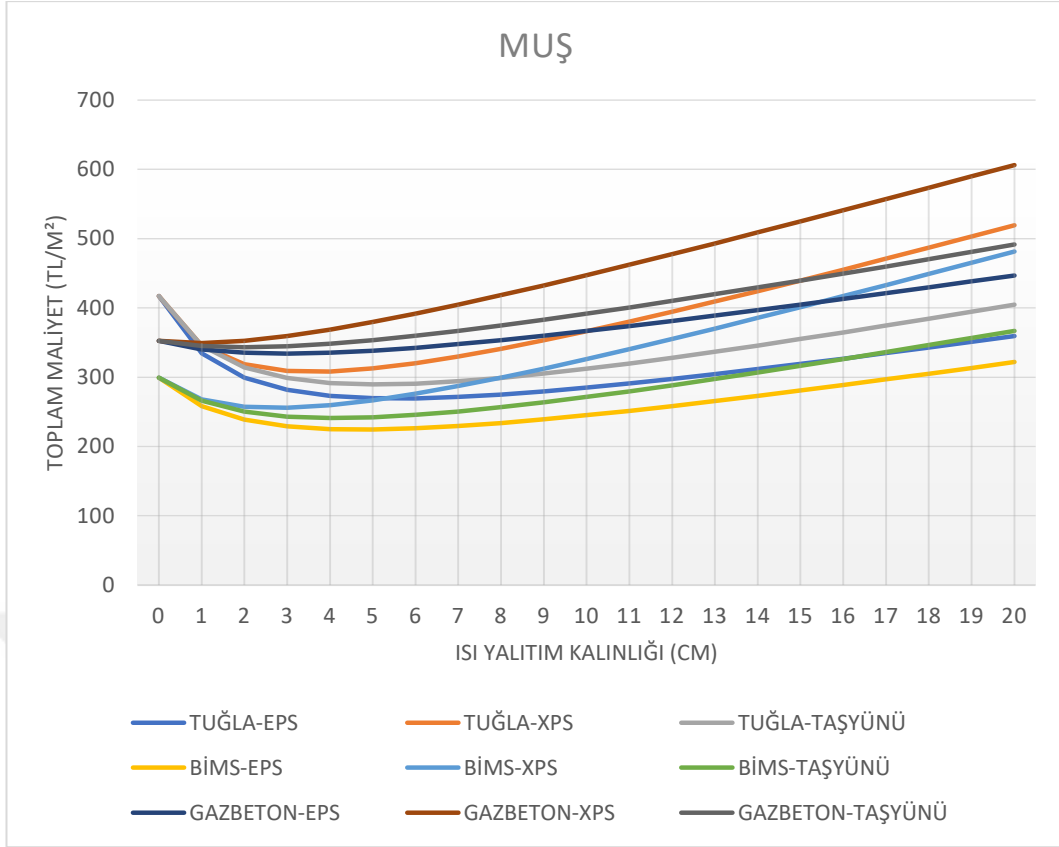
Şekil A.57: Mardin İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



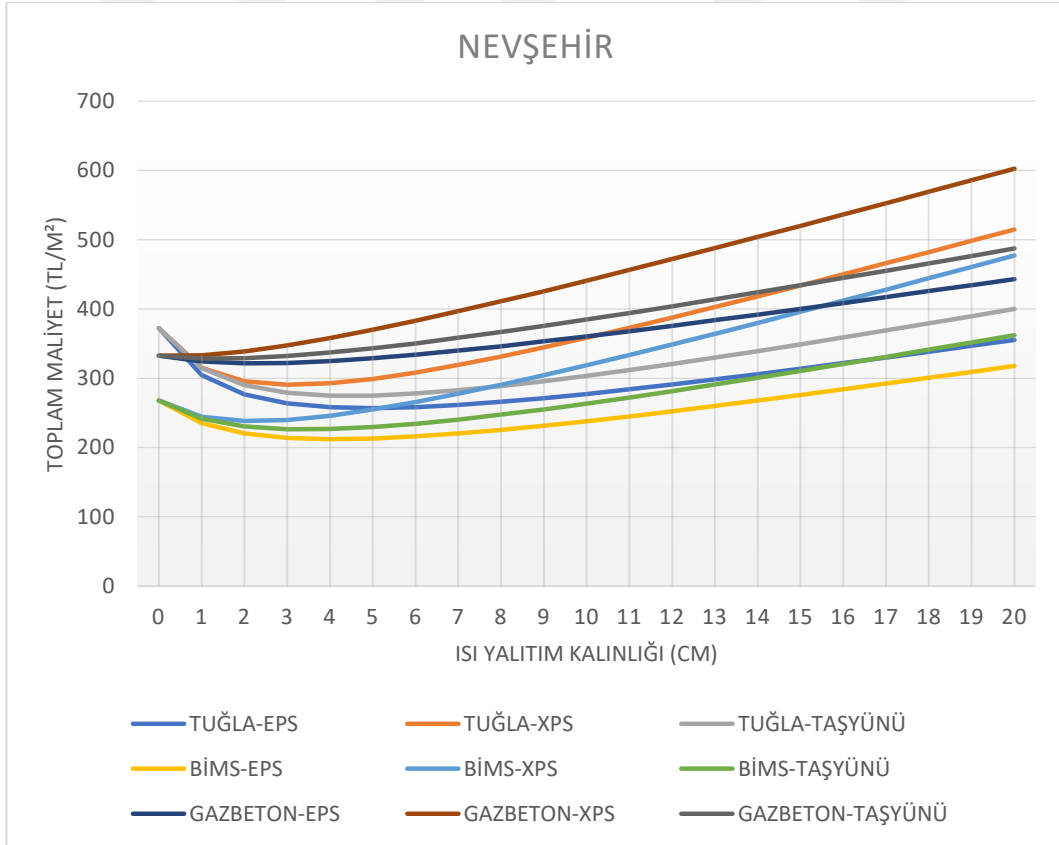
Şekil A.58: Mersin İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



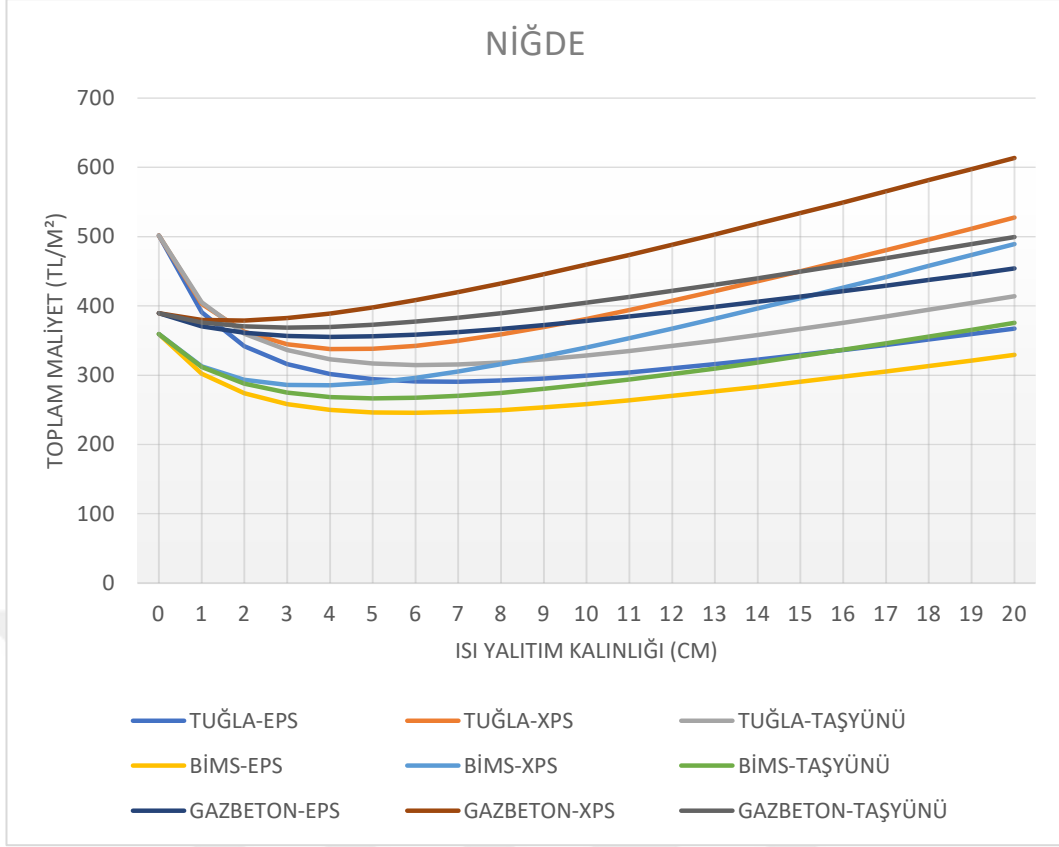
Şekil A.59: Muğla İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



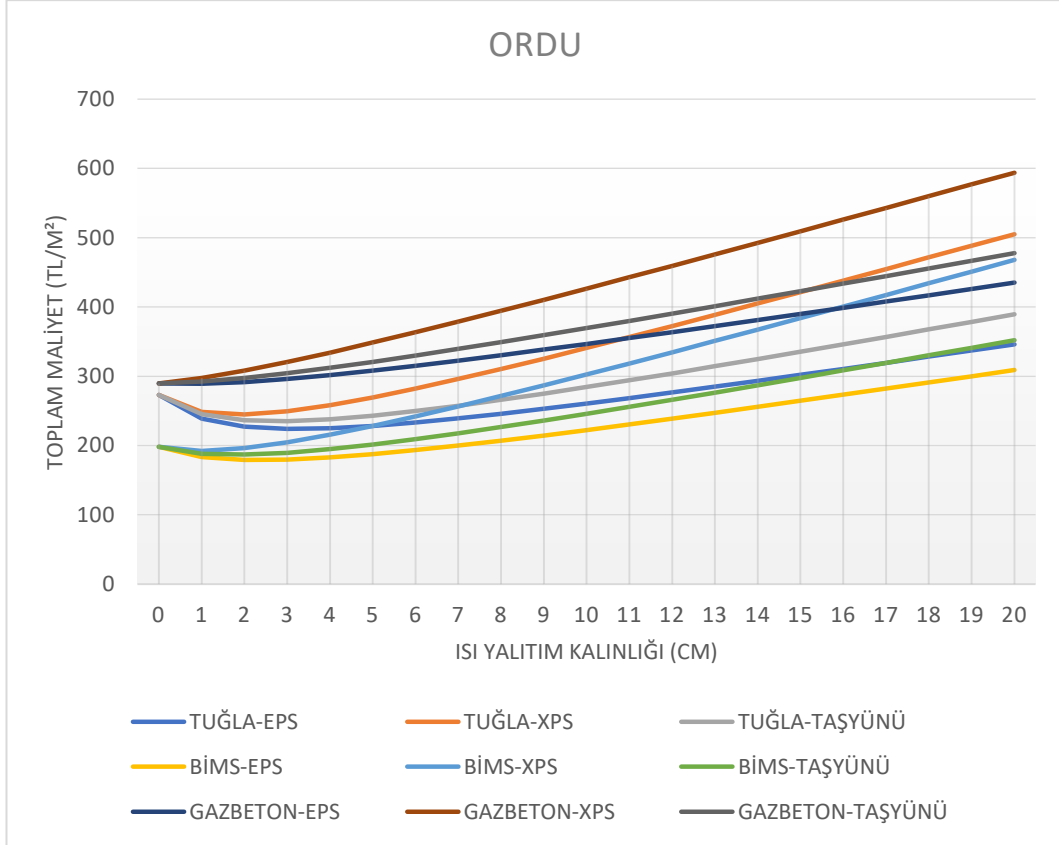
Şekil A.60: Muş İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



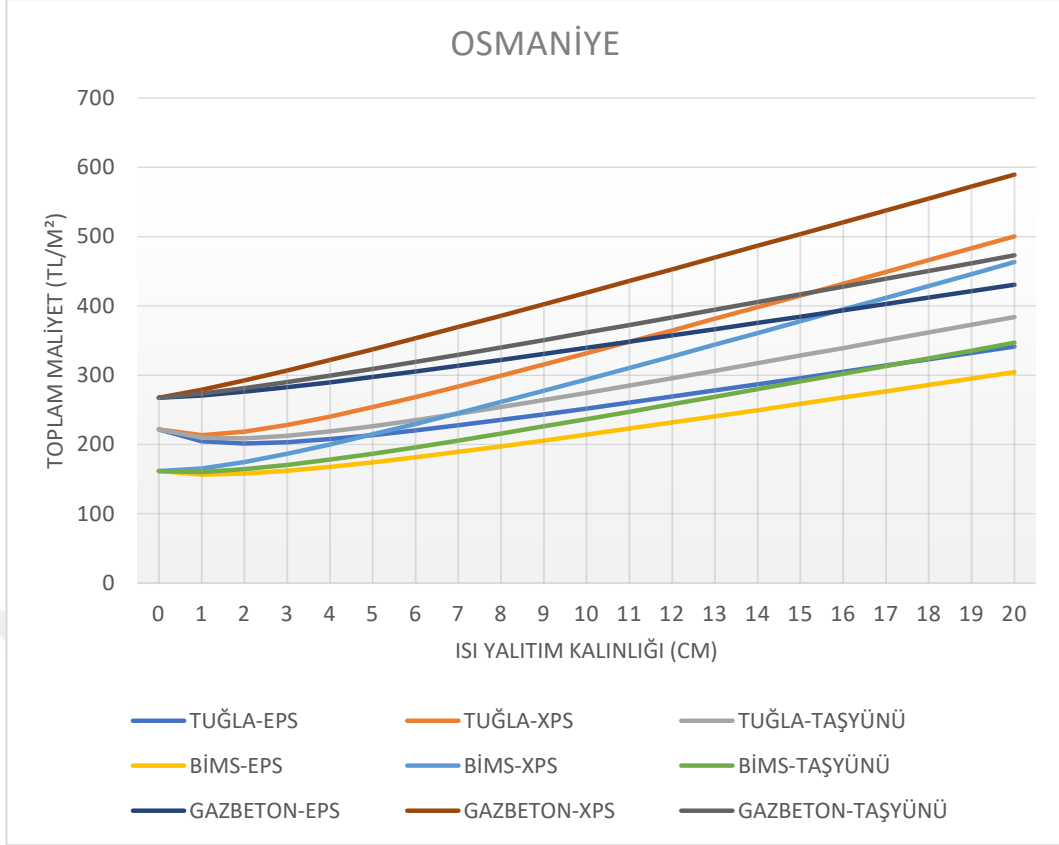
Şekil A.61: Nevşehir İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



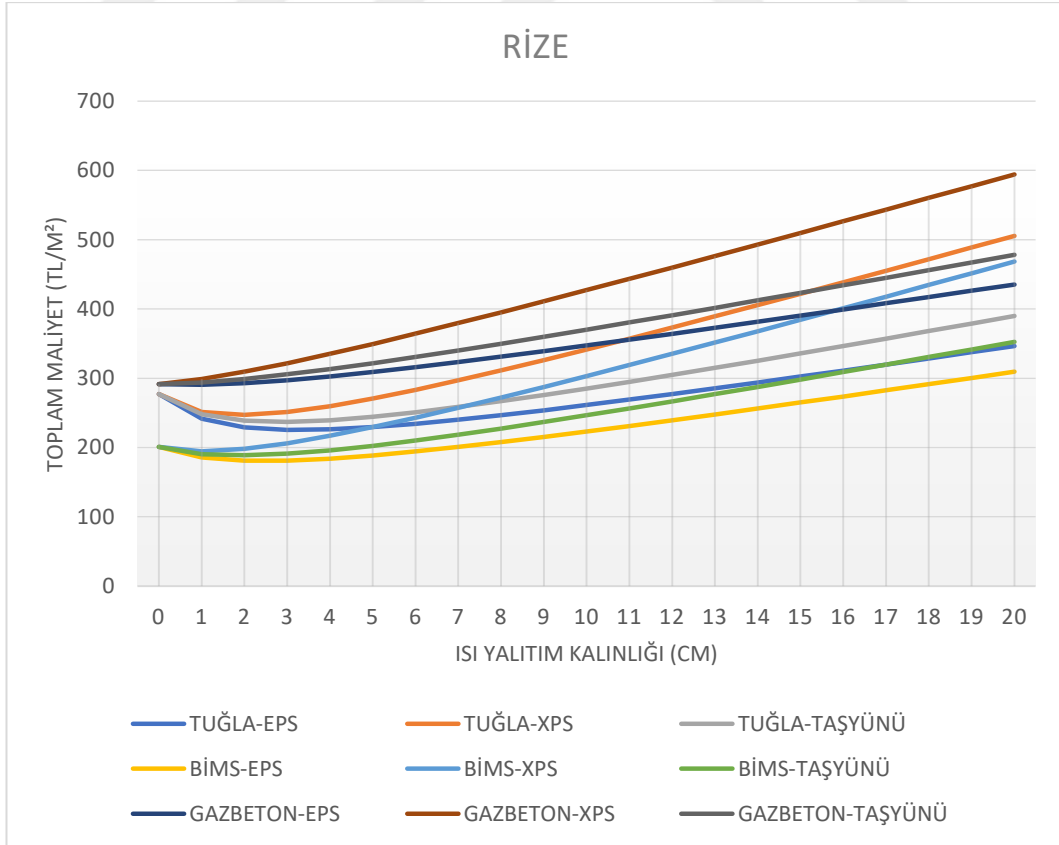
Şekil A.62: Niğde İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



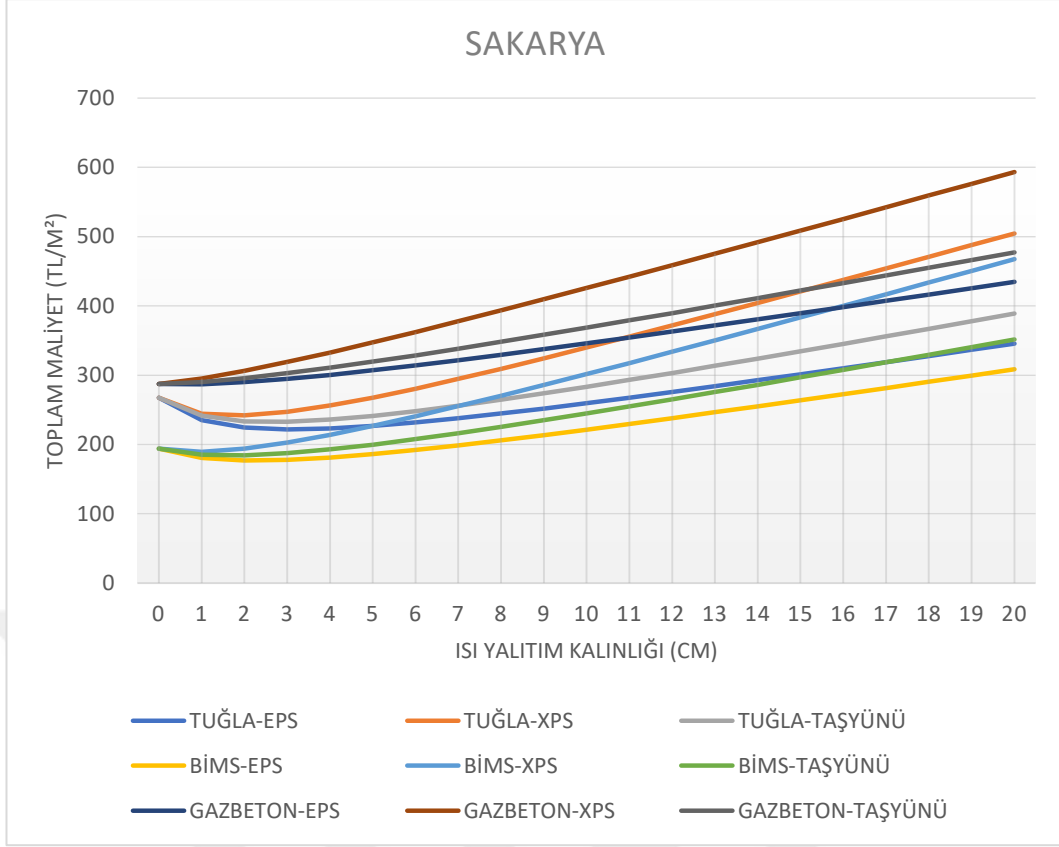
Şekil A.63: Ordu İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



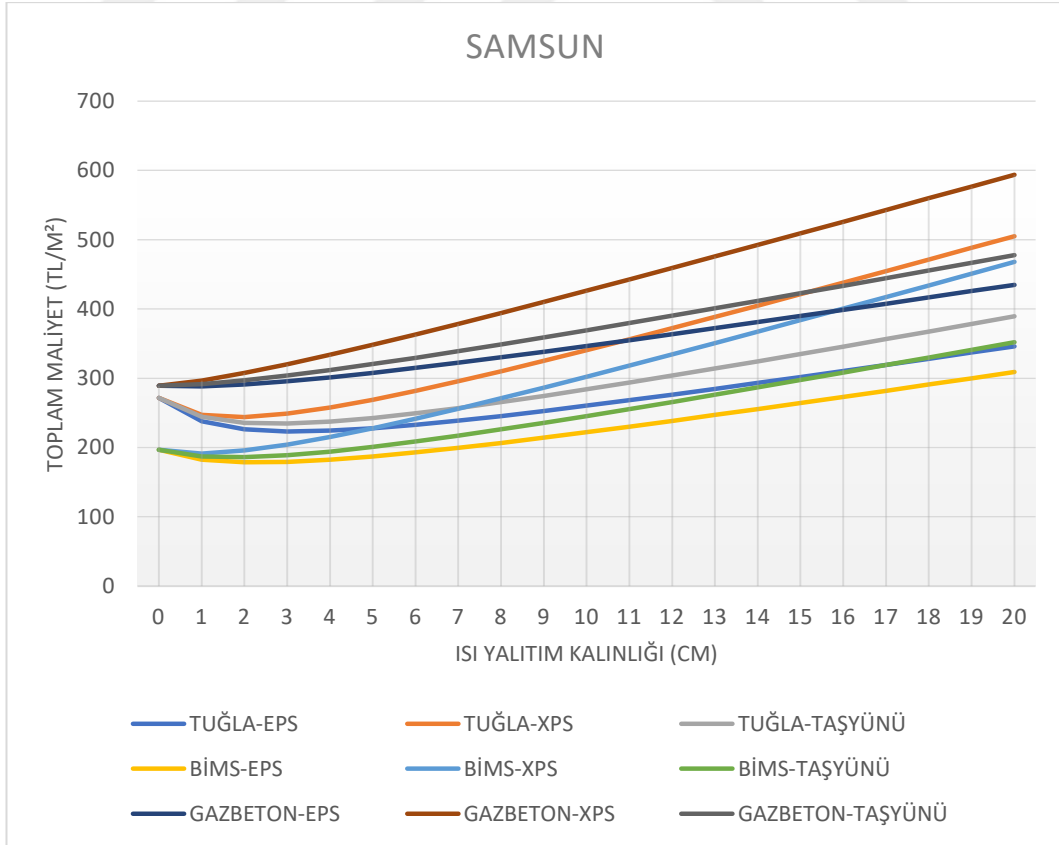
Şekil A.64: Osmaniye İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



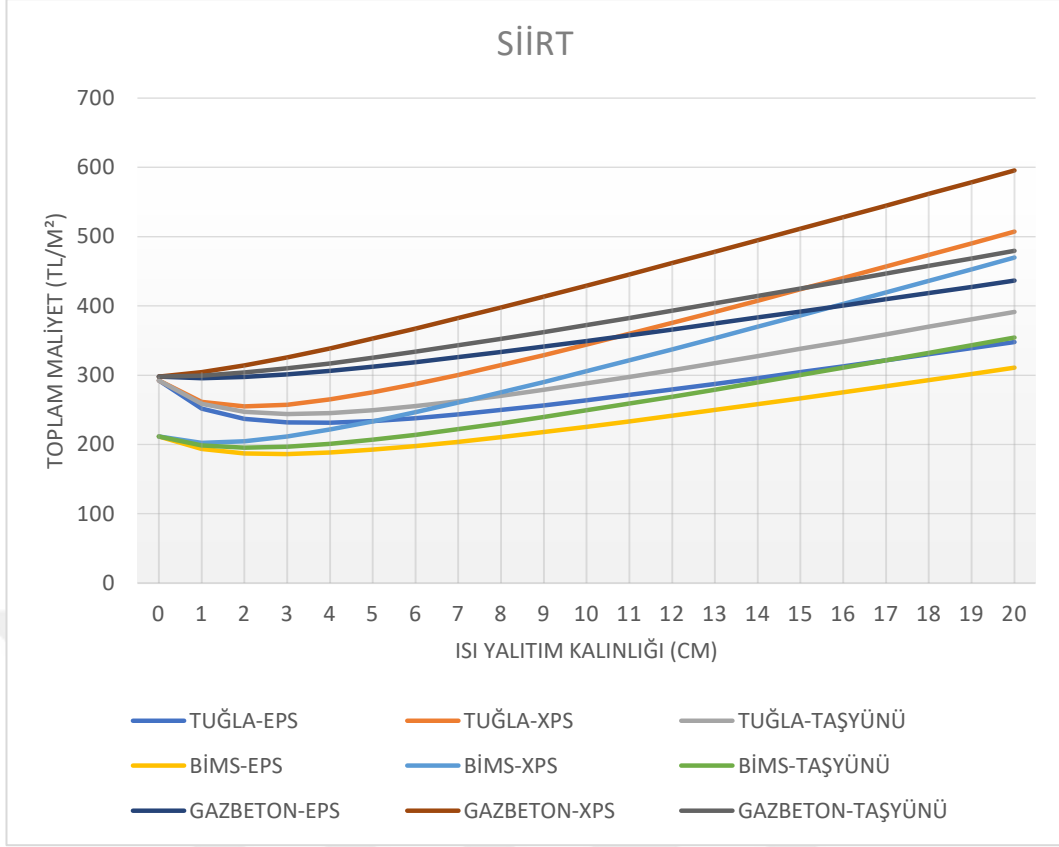
Şekil A.65: Rize İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



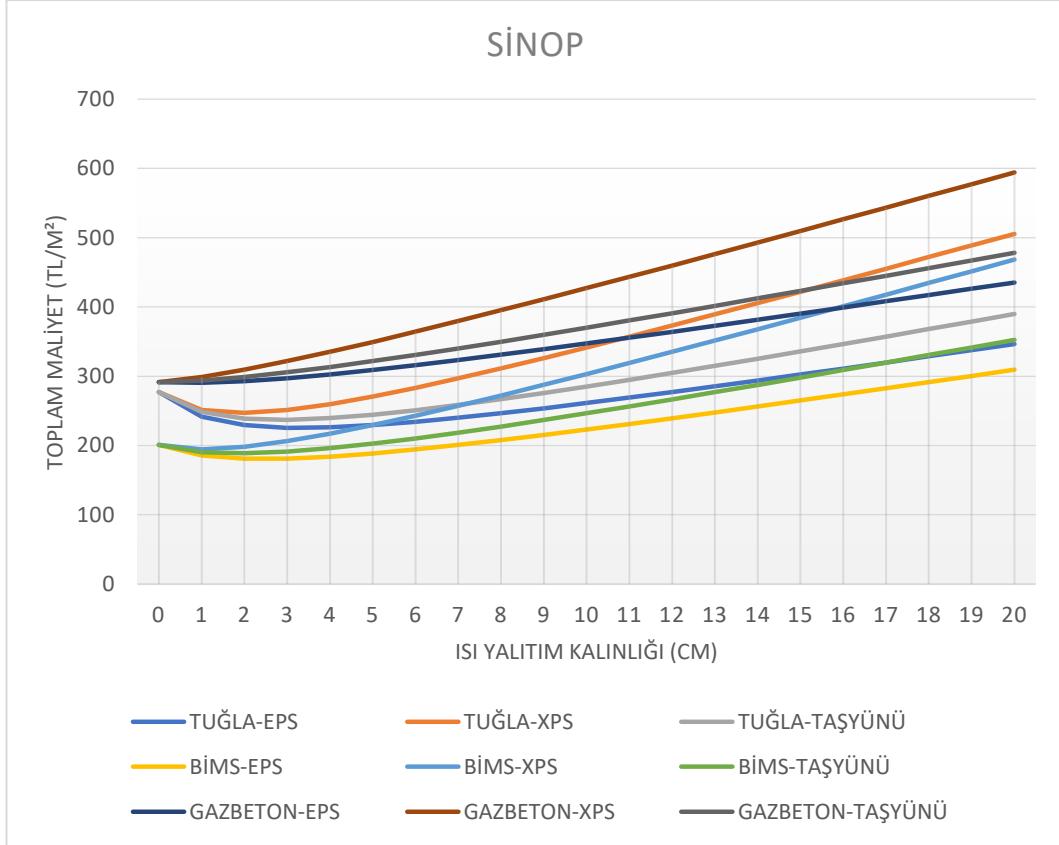
Şekil A.66: Sakarya İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



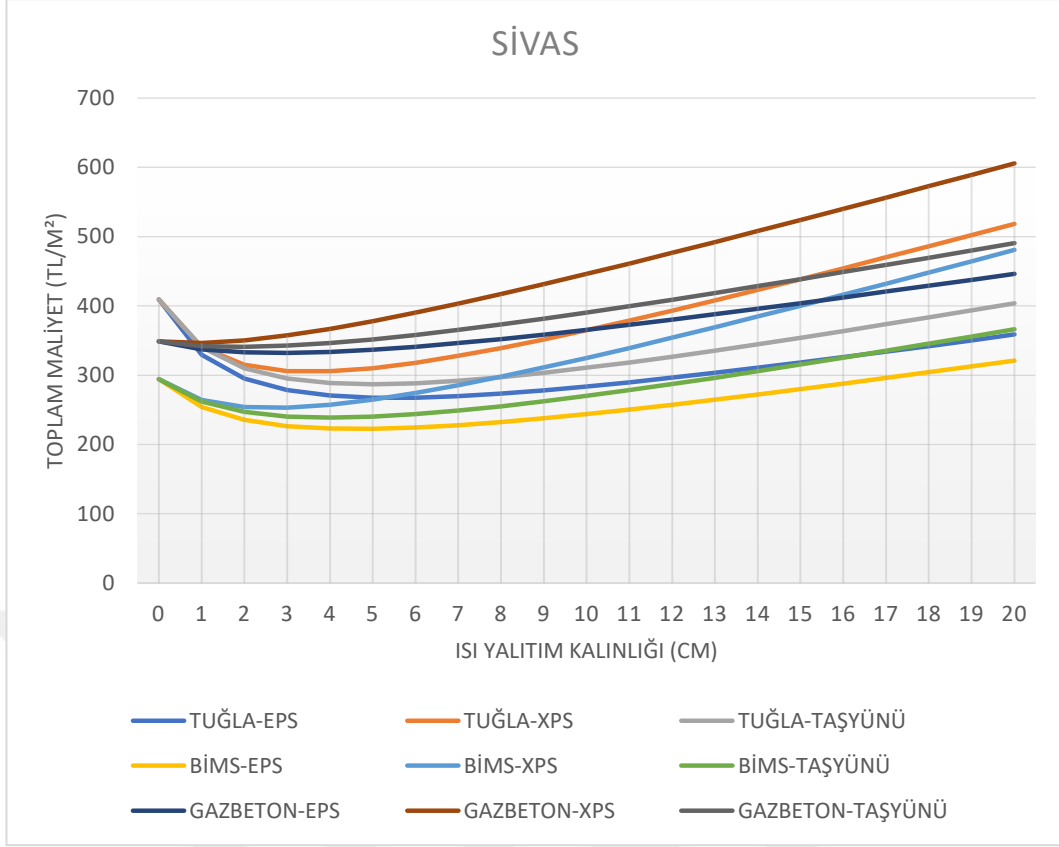
Şekil A.67: Samsun İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



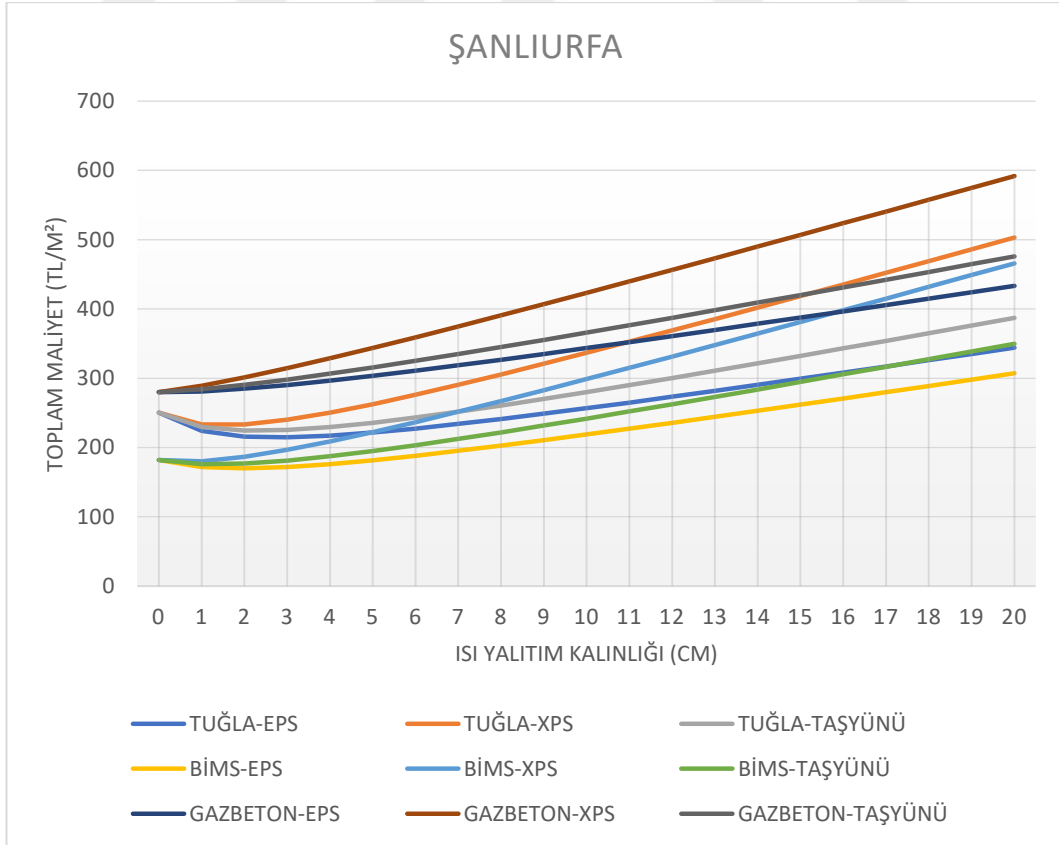
Şekil A.68: Siirt İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



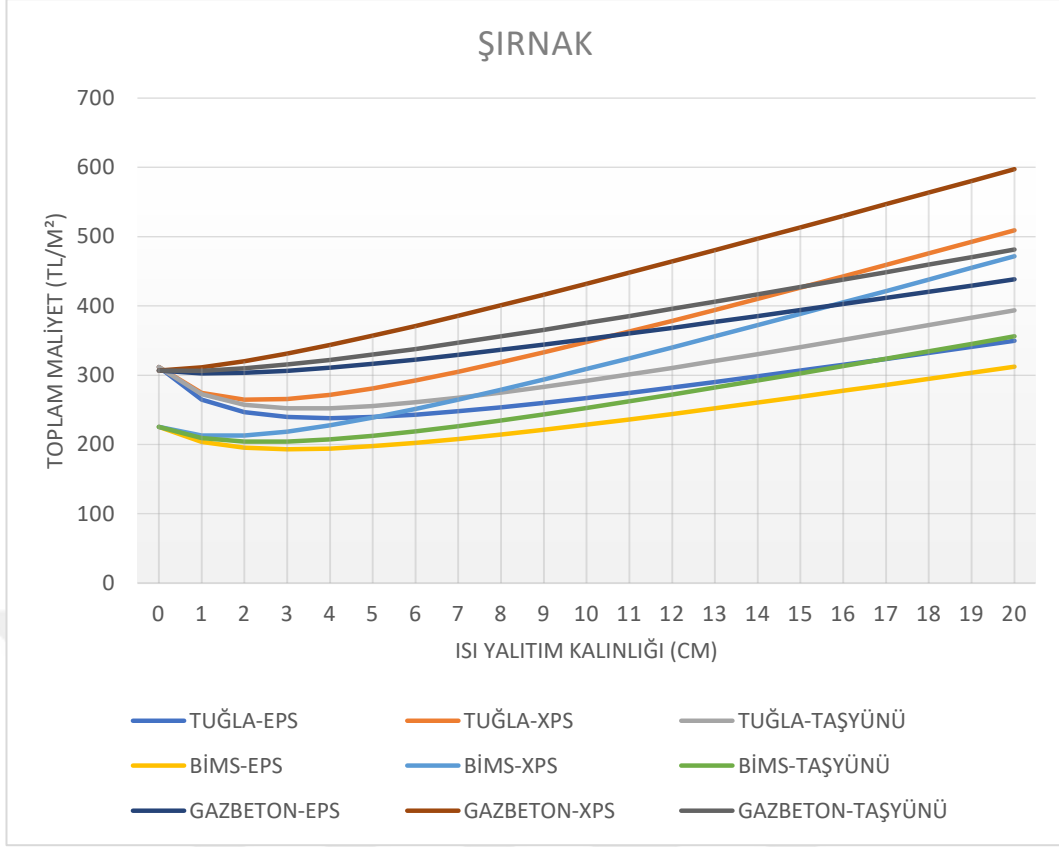
Şekil A.69: Sinop İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



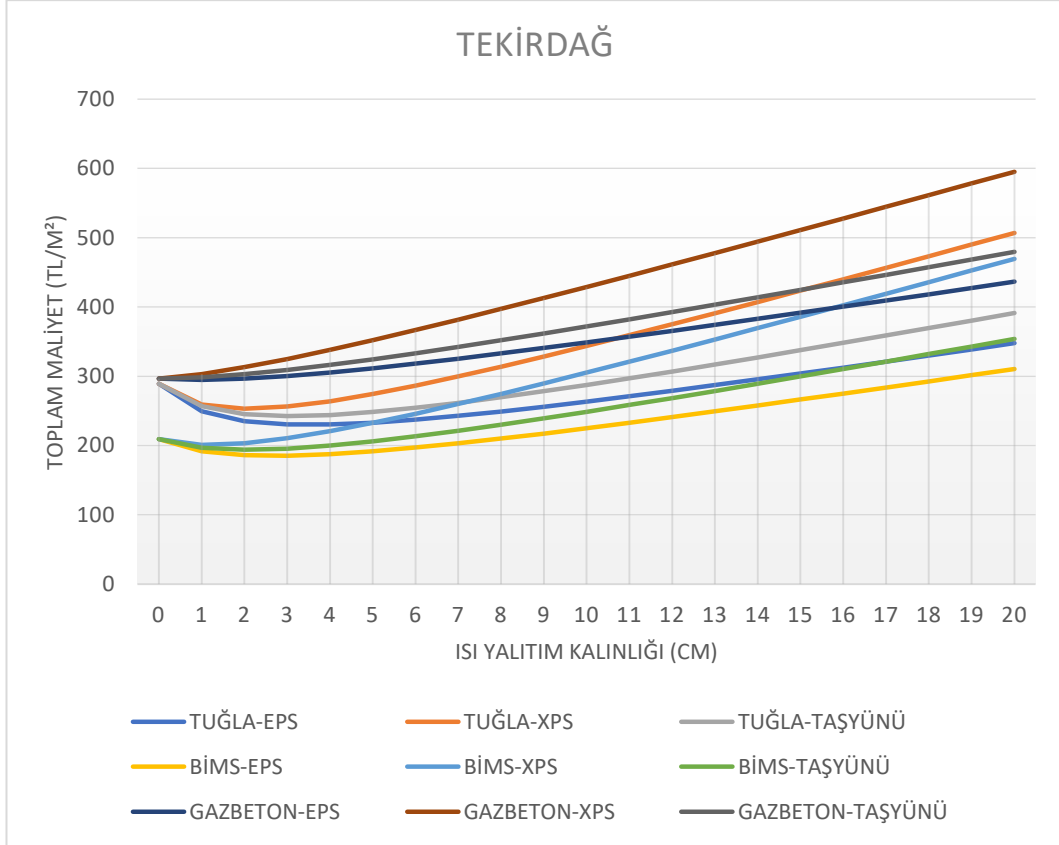
Şekil A.70: Sivas İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



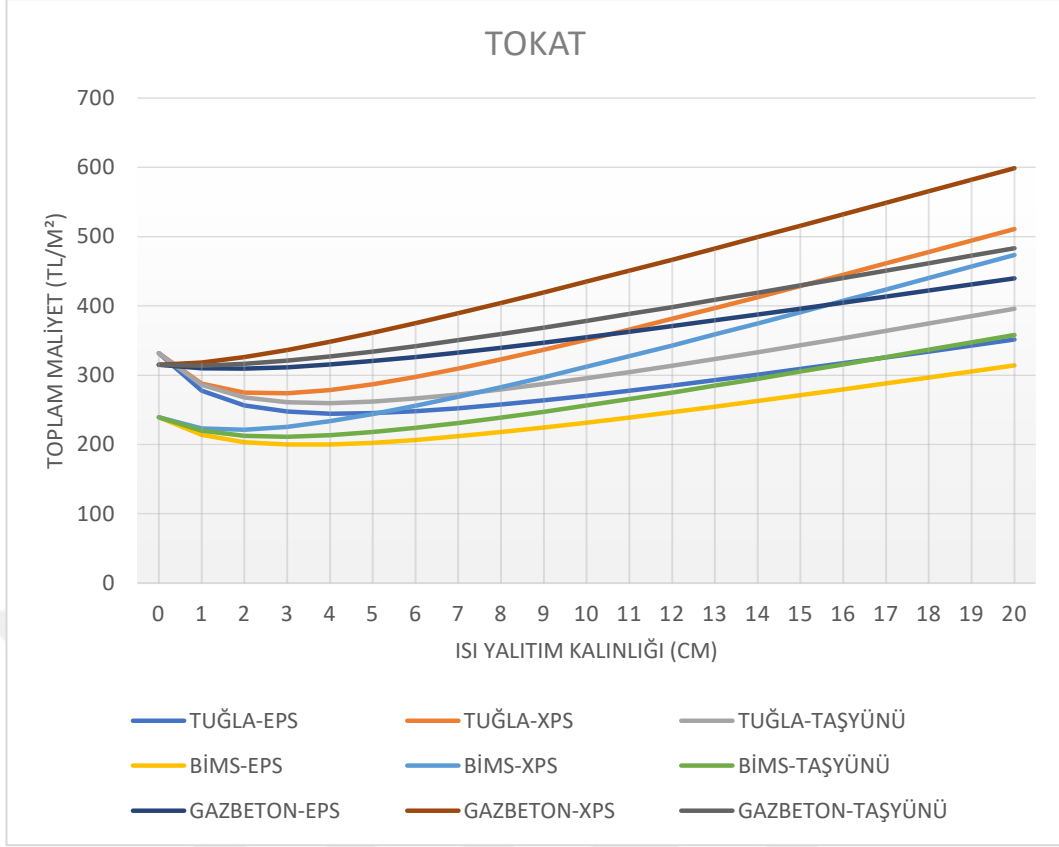
Şekil A.71: Şanlıurfa İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



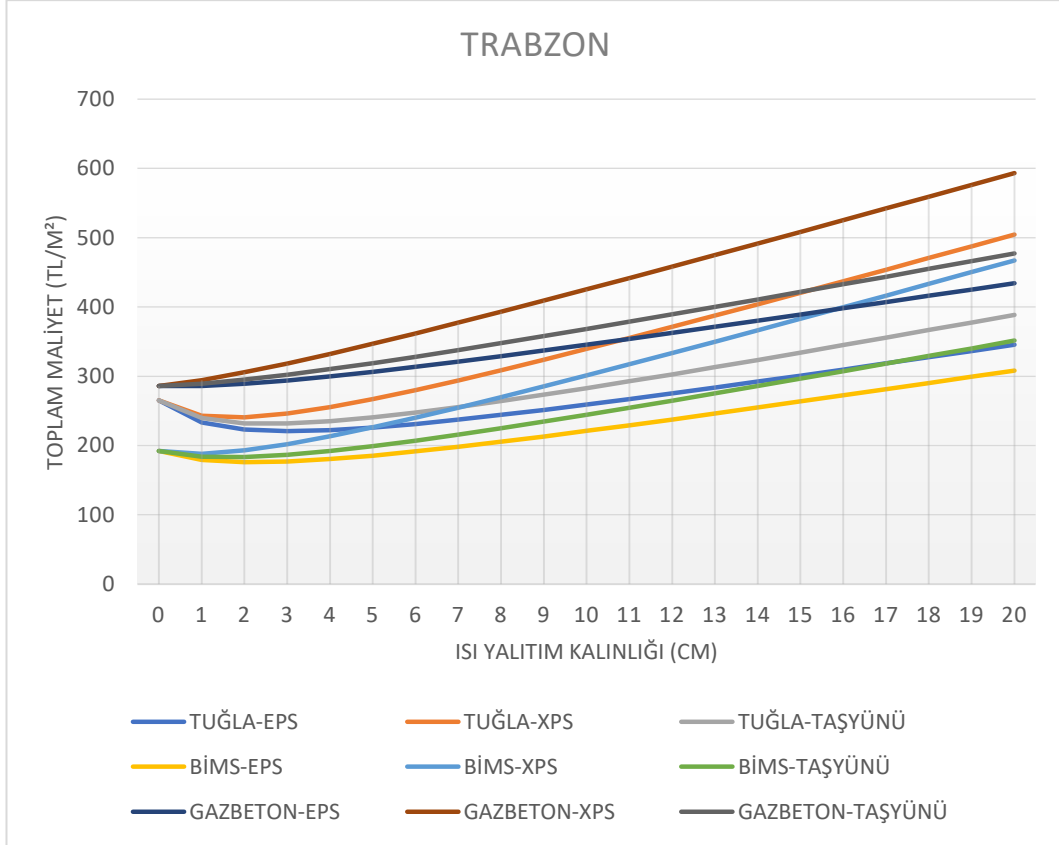
Şekil A.72: Şirnak İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



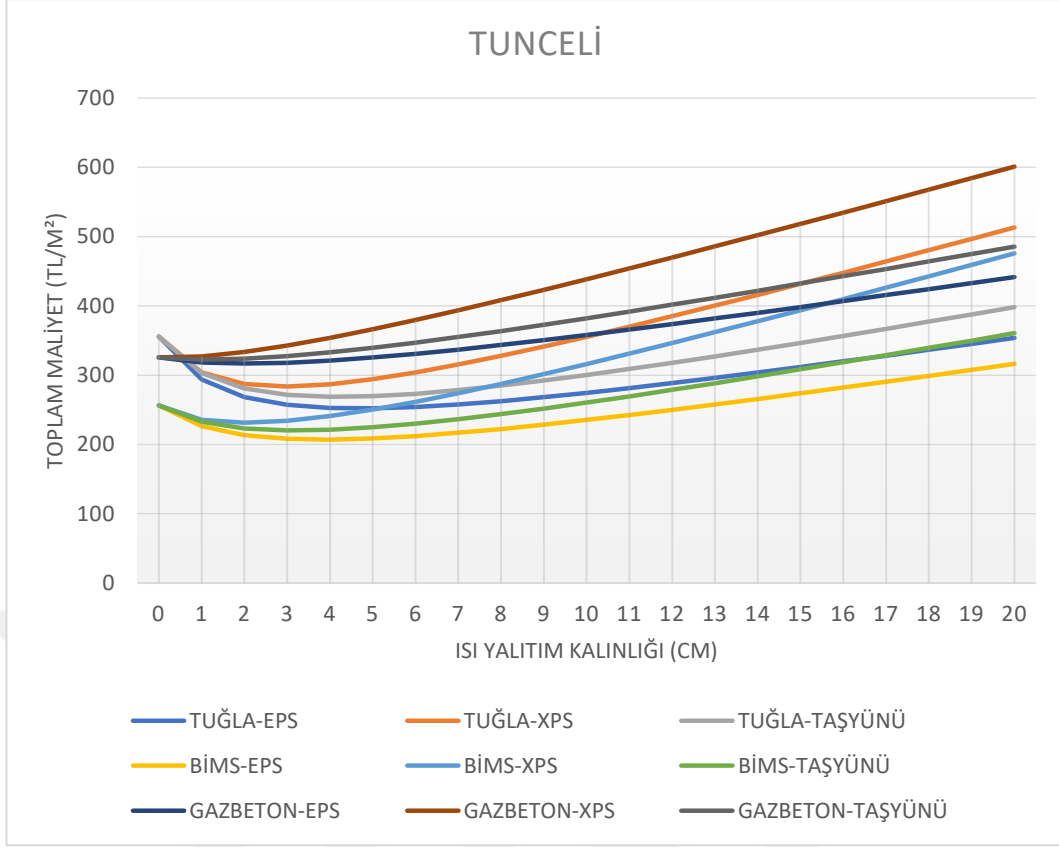
Şekil A.73: Tekirdağ İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



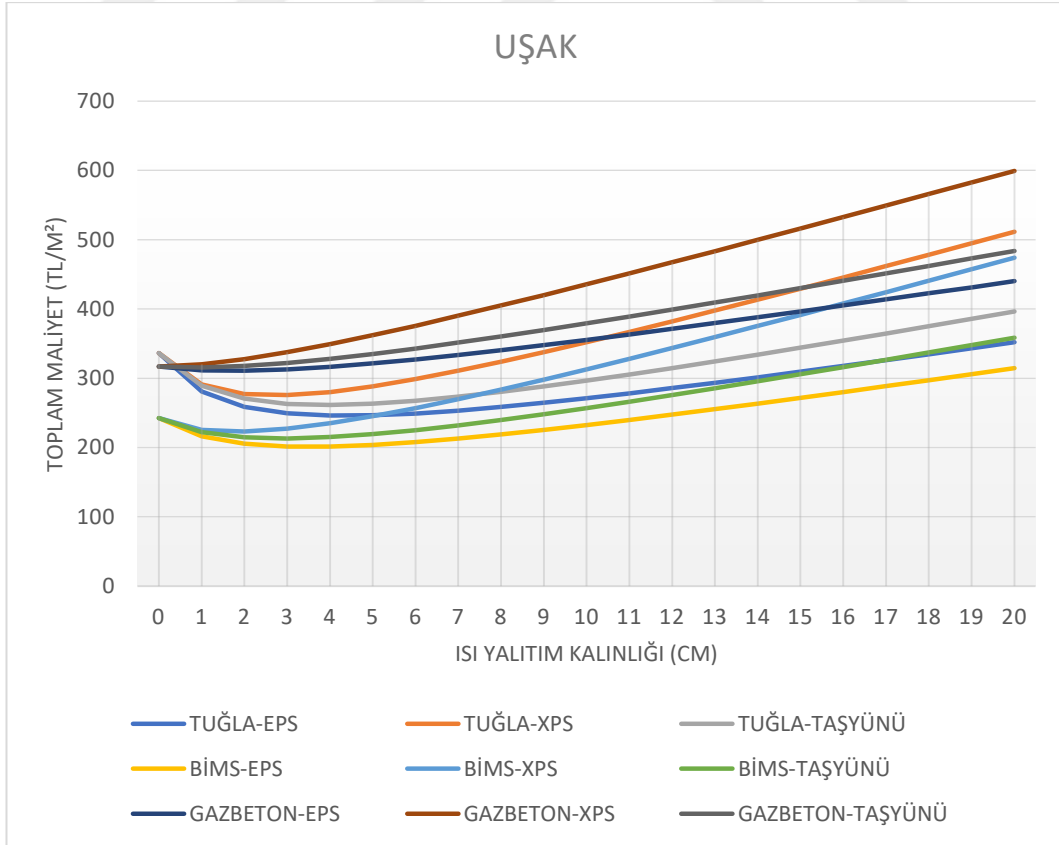
Şekil A.74: Tokat İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



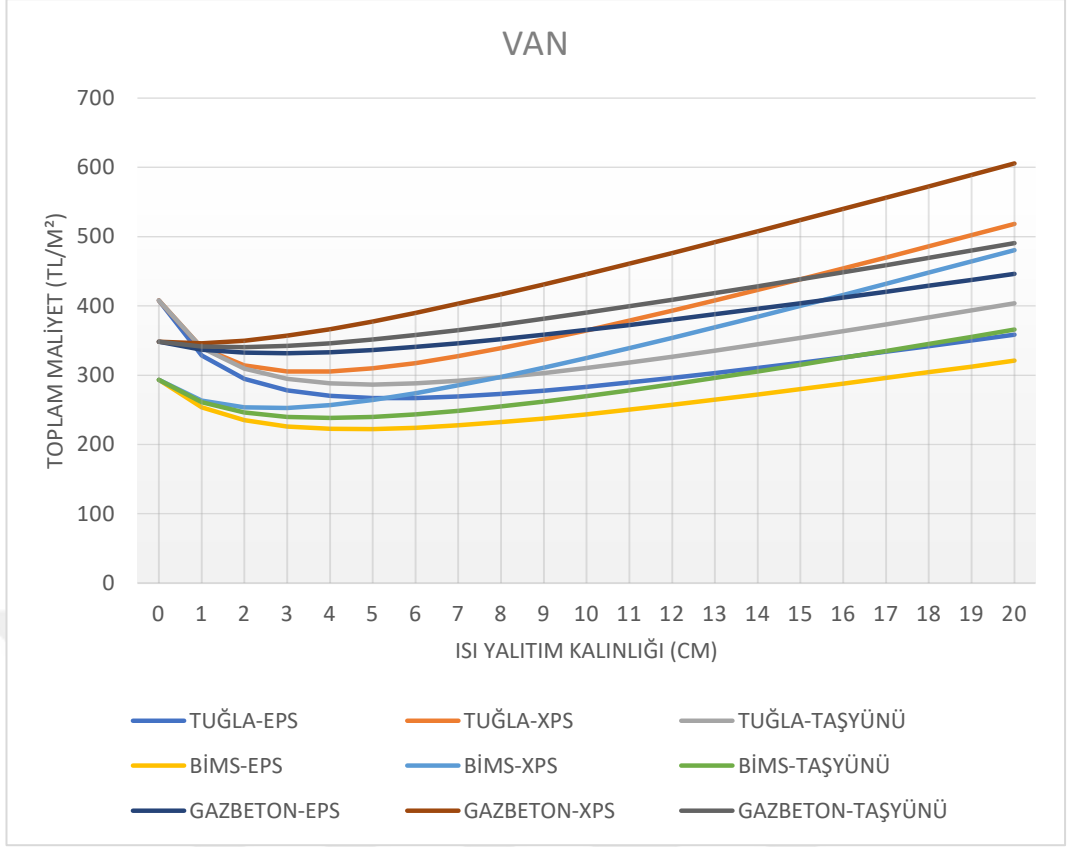
Şekil A.75: Trabzon İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



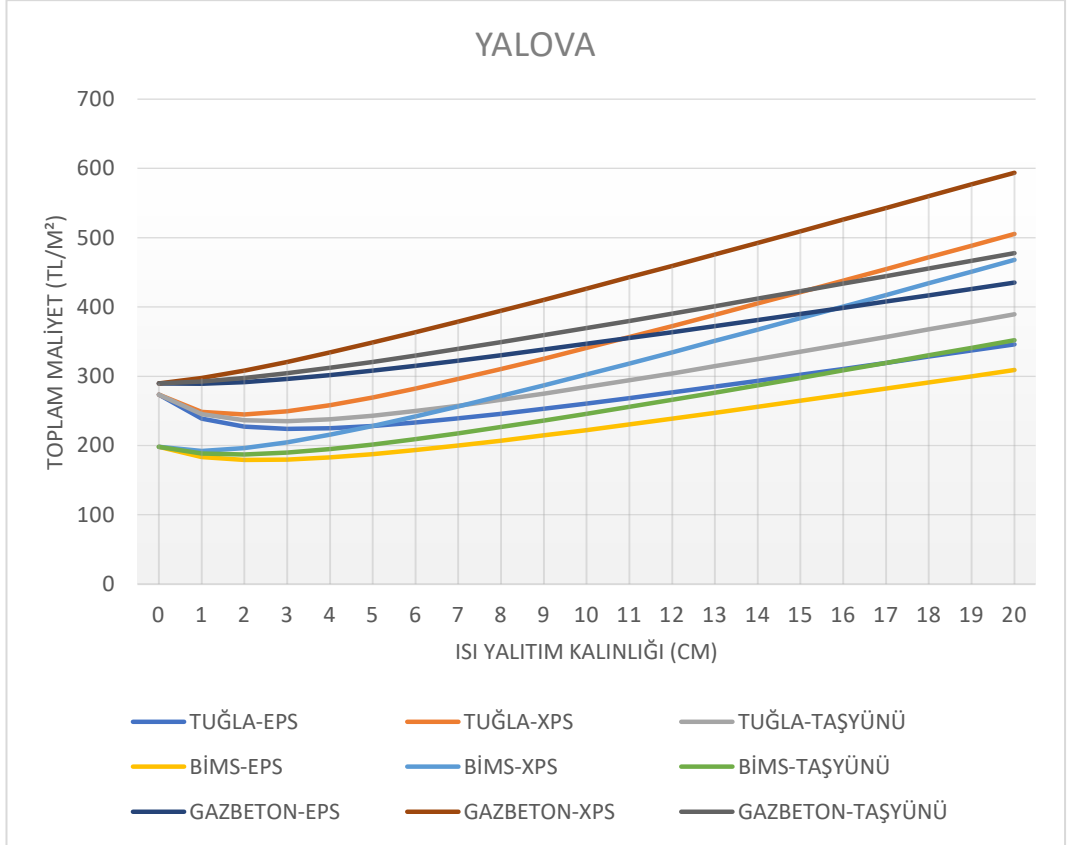
Şekil A.76: Tunceli İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



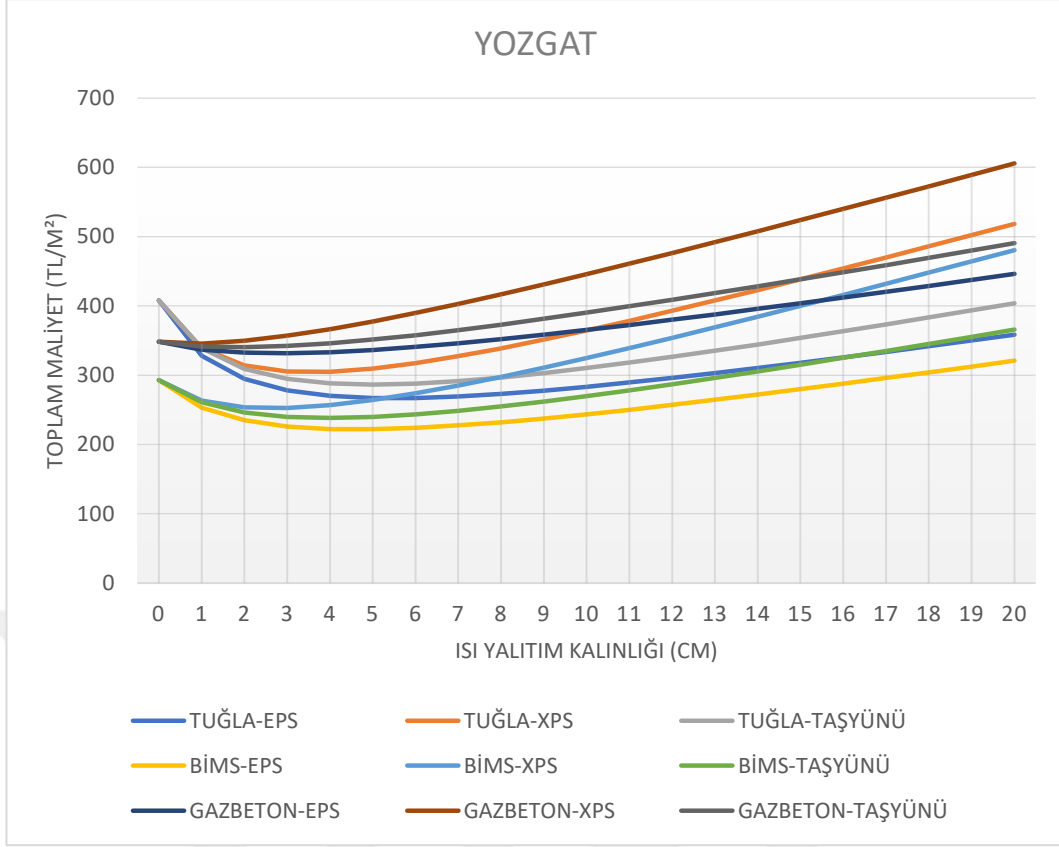
Şekil A.77: Uşak İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



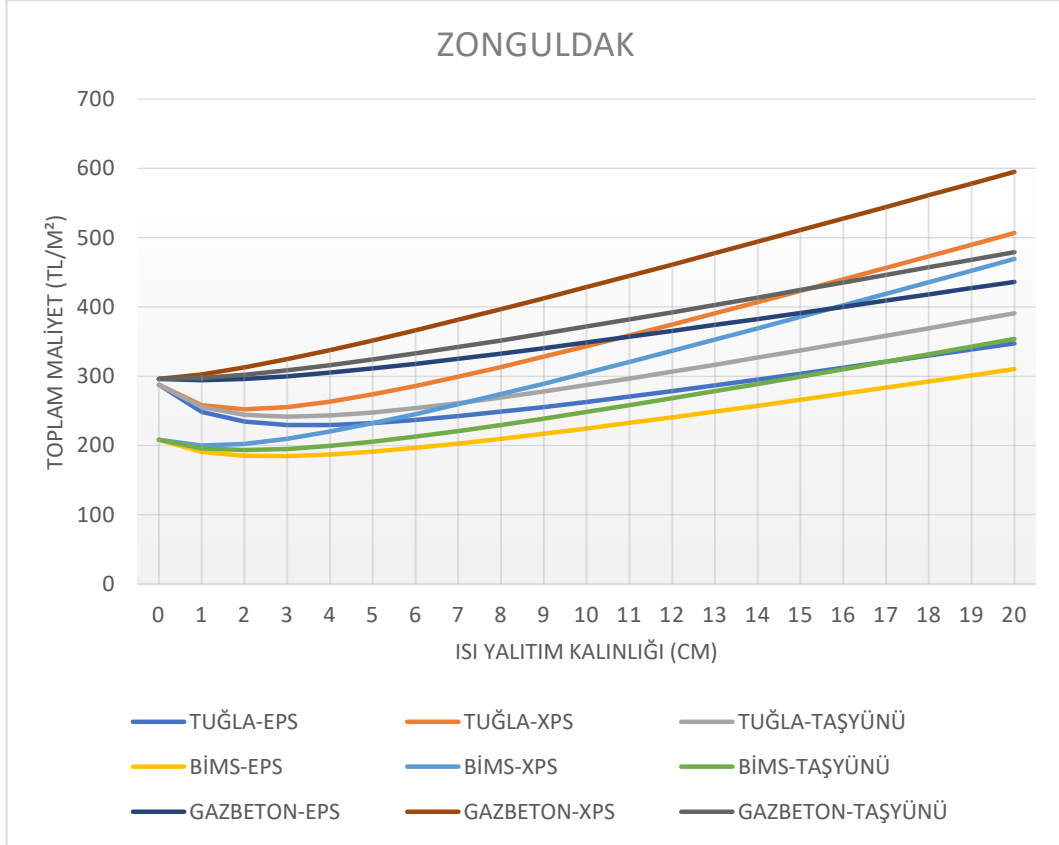
Şekil A.78: Van İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



Şekil A.79: Yalova İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



Şekil A.80: Yozgat İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



Şekil A.81: Zonguldak İli İçin Toplam Maliyet – Isı Yalıtım Kalınlığı Eğrileri



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Burak KARADEMİR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2023, İstanbul Gedik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı .

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **2014-2015** : MOSKAY Mühendislik, Proje Mühendisi
- **2016-2017** : SOEM Mühendislik, Proje Mühendisi
- **2017-2018** : VARMEK Mühendislik, Şantiye Şefi

- **2018-2020** : Regbar Construction, Operasyon Müdürü
- **2020-2023** : MSB 41. Bakım Fabrika Müdürlüğü, Bölüm Amiri

