T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZALTILARDA OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Savaş DURMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Proses Programı

Danışman

Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Eş Danışman

Doç. Dr. Andaç Batur ÇOLAK

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZALTILARDA OPTİMUM YALITIM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Savaş DURMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Proses Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Assoc. Prof. Dr. Andaç Batur ÇOLAK
Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Özgen AÇIKGÖZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Ali CELEN, Üye
Erzincan Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Denizaltılarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Savaş DURMAZ

İmza

Aileme

Ve

Sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Denizaltılarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi konusunda hazırlamış olduğum bu yüksek lisans bitirme tezimde her zaman destekçim olan sevgili aileme, bana rehberlik eden, bilgisini, desteğini ve tecrübesini hiçbir zaman eksik etmeyen danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ'a, tez sürecimde çalışmalarıma katkı sunan eş danışmanım Doç. Dr. Andaç Batur ÇOLAK, gerek ders dönemimde gerekse tez hazırlık sürecimde bana hep kolaylık ve destek sağlayan B/S/H/ Çerkezköy Fırın Geliştirme Ekibinden alan yöneticim Sezer İŞBİLEN başta olmak üzerek tüm ekip arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Savaş DURMAZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 2

1.2 Tezin Amacı ... 28

1.3 Hipotez ... 28

2 ISI YALITIM TEKNOLOJİSİ 29

2.1 Isı Yalıtımının Faydaları ... 30

2.2 Yalıtım Malzemesi Seçim Kriterleri ... 31

2.3 Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri ... 31

2.3.1 Cam Yünü ... 32

2.3.2 Taş Yünü ... 32

2.3.3 Genişletilmiş Polistiren Köpüğü (EPS) ... 33

2.3.4 Poliüretan Köpük ... 34

2.3.5 Cam Köpüğü ... 35

2.3.6 Cam Elyaf ... 35

2.4 Düzlemsel Duvarlarda Yoğuşma ... 36

2.4.1 Yoğuşmaya etki eden parametreler ... 37

2.5 Konfor Şartları ... 38

3 DENİZALTILAR VE TARİHSEL GELİŞİMİ 41

3.1 Denizaltıların Çalışma Prensibi ... 43

3.2 Denizaltılarda Tahrik Sistemleri ... 44

3.2.1 Konvansiyonel denizaltılar ... 44

3.2.2 Nükleer denizaltılar ... 48

3.3 Denizaltılarda Kullanılan Batarya Sistemi ... 50

3.4 Yön Bulma Sistemi ... 50

3.5 Denizaltı İçinde Hayat ... 51

4 HESAP YÖNTEMİ **55**
4.1 İklimsel Özellikler 55
4.2 Duvar Yapısı 58
4.3 Duvar İçin Isıtma Yükü 61
4.3.1 Yıllık Enerji Gereksinimleri 61
4.3.2 Yıllık Enerji Tüketimleri 61
4.4 Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması 62
4.4.1 Yıllık Enerji Maliyeti 62
4.4.2 Yıllık Toplam Maliyeti 62
4.4.3 Yıllık Kazanç Miktarı 62
4.4.4 Geri Ödeme Süresi 63
4.4.5 Optimum Yalıtım Kalınlığı 63
4.5 Şimdiki Değer Faktörü (PWF) Hesabı 63
4.6 Hesap Metodolojisinin Doğrulanması 65
5 BULGULAR VE TARTIŞMA **66**
5.1 Optimum Yalıtım Kalınlığı 66
5.2 Yıllık Kazanç Miktarı 80
5.3 Yıllık Yalıtımlı Enerji Maliyeti 88
5.4 Yıllık Kazanç Miktarı (%) 97
5.5 Geri Ödeme Süresi 106
6 SONUÇ VE ÖNERİLER **116**
KAYNAKÇA **118**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **123**

SİMGE LİSTESİ

Φ	Bağıl nem, %
T_b	Denge sıcaklığı, °C
R_o	Dış yüzey ısı iletim direnci, m^2K/W
α	Duvar dış yüzeyinin güneş emiciliği
g	Enflasyon oranı, %
i	Faiz oranı, %
h	Isı taşınım katsayısı, W/m^2K
$C_{yalıtım}$	Yalıtım malzemesi fiyatı, $\$/m^3$
k	Isıl iletkenlik katsayısı, W/mK
η	Isıtma sisteminin verimi, %
R_i	İç yüzey ısı iletim direnci, m^2K/W
$x_{opt.}$	Optimum yalıtım kalınlığı, m
T_m	Ortalama dış hava sıcaklığı, °C
μ	Su buharı difüzyon direnç katsayısı
S_d	Su buharı difüzyon-eşdeğer hava tabakası kalınlığı, m
$\sum_{gün}$	Toplam gün sayısı
U	Toplam ısı transferi katsayısı, W/m^2K
$C_{yakıt}$	Yakıt fiyatı, \$/kg
$R_{w,t}$	Yalıtım hariç toplam duvar direnci. m^2K/W
x	Yalıtım malzemesinin kalınlığı, m
$R_{yalıtım}$	Yalıtım tabakasının ısıl direnci, m^2K/W
N	Yıllık kullanım ömrü, yıl
R_w	Yalıtımsız duvar malzemelerinin toplam ısıl direnci, m^2K/W

KISALTMA LİSTESİ

CDD	Soğutma derece gün sayısı
CEEM	Çevresel ve ekonomik yaklaşım yöntemi
COP	Performans katsayısı
DD	Derece gün sayısı
EPS	Genişletilmiş polistiren köpüğü
HDD	Isıtma derece gün sayısı
LCCA	Yaşam döngüsü maliyet analizi
LHV	Yakıtın alt ısıl değeri
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
PWF	Şimdiki değer faktörü
SONAR	Sesli navigasyon ve menzil
XPS	Ekstrüde Polistiren

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Çeşitli yalıtım malzemeleri ve yakıt türleri için optimum yalıtım kalınlığı 3

Şekil 1.2 Akabe'de elektrik, yalıtım ve toplam maliyetler ile poliüretan kalınlığı .4

Şekil 1.3 EPS yalıtım malzemesinin farklı konumlara göre yıllık kazanç miktarları 5

Şekil 1.4 Optimum yalıtım kalınlığı grafiği 6

Şekil 1.5 Soğutma döneminde duvarda kullanılan EPS ve XPS malzemeleri için maliyet-kalınlık ilişkisi 7

Şekil 1.6 Farklı şehirlerde çeşitli yakıtlarda geri ödeme süreleri 8

Şekil 1.7 Yalıtım kalınlığının farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufuna etkisi 8

Şekil 1.8 Erzurum şehri için üç farklı ortam sıcaklığında (a) 18 °C, (b) 20 °C, (c) 25 °C yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi 10

Şekil 1.9 Antalya şehri için üç farklı ortam sıcaklığında (a) 18 °C, (b) 20 °C, (c) 25 °C yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi 11

Şekil 1.10 Farklı yalıtım malzemeleri için toplam maliyet ve yalıtım kalınlıkları .12

Şekil 1.11 Erzurum için yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi 13

Şekil 1.12 Yalıtım kalınlığının yıllık kazanca etkisi 13

Şekil 1.13 Derece gün sayısının optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresine etkileri 13

Şekil 1.14 Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı 15

Şekil 1.15 Yalıtım kalınlığına göre (a) CO_2 emisyonu, (b) SO_2 emisyonu, (c) yakıt tüketimi 15

Şekil 1.16 Yalıtım kalınlığına göre farklı iller için toplam net kazanç miktarı 16

Şekil 1.17 Yıllık soğutma ve ısıtma iletim yüklerinin yalıtım kalınlığına göre 0 ile 1 arasında değişen güneş emiciliğine göre değişimi, (a) Soğutma iletim yükleri, (b) Isıtma iletim yükleri 17

Şekil 1.18 Maliyetin yalıtım kalınlığına göre değişimi, (a) güneye bakan bir duvar için ve (b) tüm duvar yönelimleri için.....18

Şekil 1.19 Tüm duvar yönelimleri için enerji tasarrufunun yalıtım kalınlığına göre değişimi 19

Şekil 1.20 Tuğla duvar ve yakıt olarak benzin kullanılması sonucu illerdeki yalıtım malzemelerine göre enerji tasarrufu değerleri (a) Antalya (b) İstanbul (c) Elazığ (d) Kayseri 20

Şekil 1.21 Doğuya/batıya bakan duvar için toplam maliyet ve yalıtım kalınlığının gölge seviyesine göre değişimi 21

Şekil 1.22 Yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufunun gölge seviyesine göredeğişimi 22

Şekil 1.23 EPS yalıtım malzemesi kullanarak illere göre yalıtım kalınlığı ve toplam kazancın değişimi 23

Şekil 1.24 EPS yalıtım malzemesi kullanarak yalıtım kalınlığı ve toplam net kazancın yakıt ile değişimi 24

Şekil 1.25 Farklı boru tipleri için yalıtım malzemelerine göre enerji tasarrufu ve yalıtım kalınlığı (a) çelik, (b) plastik, (c) bakır 26

Şekil 1.26 Farklı yakıt türleri için taş yünü yalıtım malzemesine göre enerji tasarrufu ve yalıtım kalınlığı (a) çelik, (b) plastik, (c) bakır.....27

Şekil 2.1 Cam yünü yalıtım malzemesi 32

Şekil 2.2 Taş yünü yalıtım malzemesi.....33

Şekil 2.3 Genişletilmiş polistiren köpüğü yalıtım malzemesi.....34

Şekil 2.4 Poliüretan köpük yalıtım malzemesi 34

Şekil 2.5 Cam köpüğü yalıtım malzemesi 35

Şekil 2.6 Cam elyaf yalıtım malzemesi 36

Şekil 2.7 Standartlara göre konfor şartları.....38

Şekil 3.1 Modern günümüzden bir denizaltı.....41

Şekil 3.2 David Bushnell tarafından icat edilen tek kişilik denizaltı 42

Şekil 3.3 Abdulhamit denizaltısı (1886) 42

Şekil 3.4 Denizaltının batma ve su yüzeyine çıkması durumu.....44

Şekil 3.5 Dizel-elektrik denizaltı 45

Şekil 3.6 Denizaltılarda nükleer reaktör sistem şeması 49

Şekil 3.7 Denizaltının bazı iç bölümleri 53

Şekil 4.1 Yıllık ortalama su sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi, (a) Marmara, (b) Karadeniz, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu .57

Şekil 5.1 Isıtma dönemi cam yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu .68

Şekil 5.2 Soğutma dönemi cam yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz.....69

Şekil 5.3 Isıtma dönemi taş yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu.....70

Şekil 5.4 Soğutma dönemi taş yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz.....71

Şekil 5.5 Isıtma dönemi poliüretan yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu .72

Şekil 5.6 Soğutma dönemi poliüretan yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz.....73

Şekil 5.7 Isıtma dönemi gen. polistiren yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu .74

Şekil 5.8 Soğutma dönemi genişletilmiş polistiren yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz.....75

Şekil 5.9 Isıtma dönemi cam elyaf yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu.....76

Şekil 5.10 Soğutma dönemi cam elyaf yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz.....77

Şekil 5.11 Isıtma dönemi cam köpüğü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Pasifik Okyanusu 78

Şekil 5.12 Soğutma dönemi cam köpüğü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Pasifik Okyanusu 79

Şekil 5.13 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 80

Şekil 5.14 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 81

Şekil 5.15 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 82

Şekil 5.16 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 83

Şekil 5.17 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı...84

Şekil 5.18 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı.....85

Şekil 5.19 Soğutma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 86

Şekil 5.20 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı.....87

Şekil 5.21 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı.....88

Şekil 5.22 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 89

Şekil 5.23 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 90

Şekil 5.24 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 91

Şekil 5.25 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 92

Şekil 5.26 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 93

Şekil 5.27 Soğutma döneminde Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 94

Şekil 5.28 Soğutma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı.....95

Şekil 5.29 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 96

Şekil 5.30 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı 97
Şekil 5.31 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 98
Şekil 5.32 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 99
Şekil 5.33 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 100
Şekil 5.34 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı 101
Şekil 5.35 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı .102
Şekil 5.36 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı.....103
Şekil 5.37 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı.....104
Şekil 5.38 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı.....105
Şekil 5.39 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı.....106
Şekil 5.40 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri 107
Şekil 5.41 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri.....108
Şekil 5.42 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri 109
Şekil 5.43 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri.....110
Şekil 5.44 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri ..111
Şekil 5.45 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesine ait geri ödeme süreleri 112
Şekil 5.46 Soğutma dönemi Marmara Bölgesine ait geri ödeme süreleri 113
Şekil 5.47 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri 114
Şekil 5.48 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri 115

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Bölgelere göre HDD ve CDD değerleri....58
Tablo 4.2 Denizaltı duvar yapısı....58
Tablo 4.3 Yalıtım malzemelerinin özellikleri....59
Tablo 4.4 Hesaplamalarda göz önüne alınan dış ortama ait ortalama ısı taşınım direnci....60
Tablo 4.5 PWF hesabı....64
Tablo 4.6 Yakıt özellikleri....65
Tablo 4.7 Hesap Metodolojisi Doğrulaması....65

ÖZET

Denizaltılarda Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi

Savaş DURMAZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Eş-Danışman: Doç. Dr. Andaç Batur ÇOLAK

Isı yalıtımı, soğutma ve ısıtma uygulamaları için en verimli enerji tasarruf yöntemlerinden biridir. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi pek çok mühendislik çalışmasının ana konusudur. Bu çalışmanın amacı, farklı yerlerde seyir eden denizaltıların dış yapıları için gerekli olan ideal yalıtım kalınlığının belirlenmesidir. Denizaltıların dış ortamının su olması nedeniyle dünyanın 5 farklı deniz suyu sıcaklığı için durumlar incelenmiştir. Bunlardan dördü Akdeniz, Marmara, Ege ve Karadeniz, sonuncusu ise Kuzey Pasifik Okyanusu'nda bulunan, Rusya'nın en büyük adası olan ve dünyanın en soğuk deniz suyu sıcaklığına sahip olması sebebiyle Sakhalin'dir. Farklı bölgelerdeki denizaltıların yıllık soğutma ve ısıtma gereksinimleri, derece-gün kavramı ile belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan optimizasyon yöntemi yaşam döngüsü maliyet analizine dayanır. Öncelikle kullanılan hesap metodolojisi literatürdeki bir çalışmanın sonuçları ile doğrulanmıştır. Sonrasında ise akaryakıtın dizel ve yalıtım malzemesinin taş yünü, cam yünü, poliüretan, genişletilmiş polistiren, cam elyaf ve cam köpüğü olarak değerlendirilmesiyle çok sayıda analiz yapılmıştır. Sonuçlar, optimum yalıtım kalınlıklarının 2 ile 12 cm, enerji tasarrufunun % 8,5 ile % 90, geri ödeme

sürelerinin deniz suyu sıcaklıklarına ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak 1,1 ile 10 yıl arasında değiştiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtımı, yaşam döngüsü maliyet analizi, enerji tasarrufu, denizaltı, optimum yalıtım kalınlığı

ABSTRACT

Determination of Optimum Insulation Thickness in Submarines

Savaş DURMAZ

Department of Mechanical Engineering

Master Degree Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Andaç Btur ÇOLAK

Thermal insulation is one of the most efficient energy saving methods for the cooling and heating applications. For this reason, the determination of the optimum insulation thickness is the main subject of many publications. The aim of this study is to research the ideal insulation thickness required for the external structure of submarine sailing in different places. Because of the external environment of submarine is seawater, the cases in 5 different sea water temperatures of the world have been examined. Four of them are Mediterranean, Marmara, Aegean, Black Sea and the last one is Sakhalin, located in the North Pacific Ocean, having the coldest seawater temperature in the world. The annual cooling and heating requirements of submarine in different regions have been calculated by the concept of degree-days. Optimization has been achieved based on life cycle cost analysis. Initially, the used calculation methodology has been validated by a study's results in the literature. Then, multiple calculations such as optimum insulation thickness, annual saving value, annual energy cost and payback period have been made by considering the use of rock wool, glass wool,

polyurethane, expanded polystyrene, fiberglass, foam glass as insulation material and fuel oil in order to operate the generator. The results show that the optimum insulation thicknesses vary between 2 and 12 cm, energy savings between 8.5 % and 90 %, and payback periods between 1,1 and 10 years depending on seawater temperatures and insulation materials.

Keywords: Thermal insulation, life-cycle cost analysis, energy saving, submarine, optimum insulation thickness

1
GİRİŞ

Doğa her zaman denge haline ulaşmayı hedefler. Bir yüzeye uygulanan kuvvetin aynı şekilde size de aynı şiddette tepki kuvvetini uygulamasını açıklayan etki-tepki kanunu gibi veya bir bardak soğuk suyun ortam ile ısı transferi yaparak zamanla alınan verilen ısıların eşitlenip aynı sıcaklığa ulaşması gibi örnekler bu durumu açıklamak için yeterli olmaktadır.

İnsanoğlu geçmişten bugüne yaşadığı koşullara uyum sağlayacak tarzda yaşamlarını sürdürmüşlerdir ve bu gelenek böyle devam edecektir. Sıcak günlerde ince açık renkli eşyalar giyerek ortam ile olan ısı transferini arttırarak ferahlama yoluna gitmiştir veya yaşadıkları mahallerde ortamdaki fazla ısının dışarı atılmasını sağlayacak sistemler kullanılmaktadır. Kış aylarındaki soğuk günlerde ise giydikleri eşyaların kalınlığını arttırarak bir nevi vücutlarına yalıtım uygulayarak dış ortam ile olan ısı transferini azaltarak ısı kaybını önlemişlerdir veya yaşadıkları mahallerde de tıpkı giydikleri kalın eşyalar gibi yaşadıkları yerlere yalıtım uygulayarak ortamdaki enerji kayıplarını azaltarak konfor şartlarını sağlamayı hedeflemişlerdir. Burada yapılan işlemlerin tümü doğanın kanunu olan yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa olan ısı transferini olabildiğince azaltmaktır.

Hayatımızı devam ettirebilmemiz için gerekli olan en önemli şeylerden biri de enerjidir. Dünya nüfusunun her geçen yıl daha da artmasında kaynaklanan kullanım fazlalığı ve insanoğlunun yarınını düşünmeden gereksiz yere harcadığı suyun, oksijenin, vb. olduğu gibi enerjinin de bir sonu vardır. Bu yüzden mahallerde yapılan ısıtma ve soğutma için gerekli olan enerjinin en etkin ve verimli bir şekilde kullanılması için ısı yalıtımının önemi büyüktür.

Dünya enerjisinin % 60'ından fazlası fosil yakıtlardan elde edilmektedir ve bu durum küresel ısınmaya neden olmaktadır. Ülkeler, geleceği güvence altına almak ve gelecek nesillere daha temiz hava bırakmak için yalıtım malzemelerinin kullanımına ilişkin zorunlu düzenlemeler ile fosil yakıt tüketimini kısıtlayarak olumsuz etkilerini azaltabilirler. Bu nedenle yalıtım malzemelerinin kullanımının

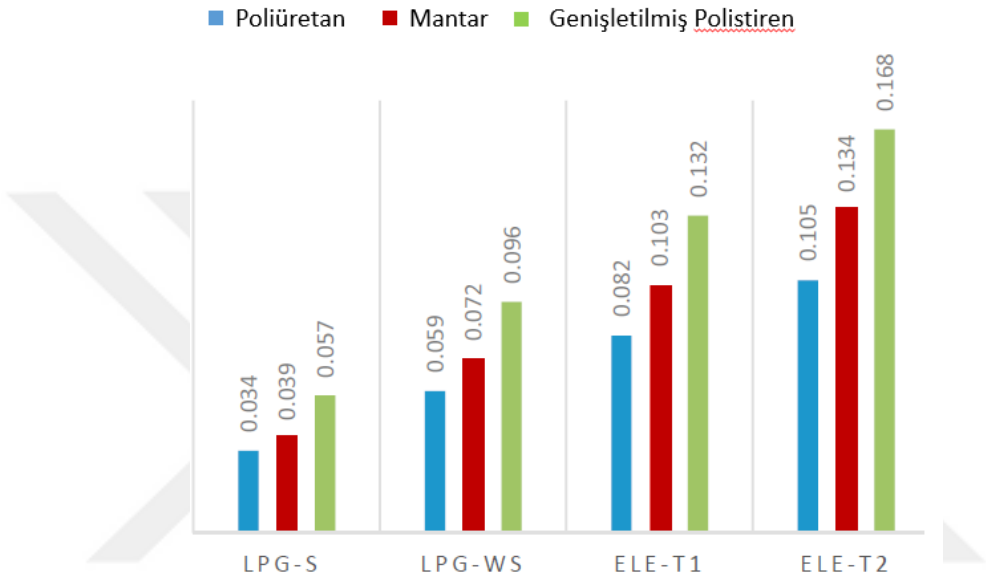
önemi her geçen gün artmaktadır. Yalıtım malzemelerinin kullanımı ile ısı kaybı azaltılır ve bu durumun bir sonucu olarak enerji, gerekenden fazla harcanmaz. Elde edilen enerji tasarrufu sayesinde fosil yakıt tüketimi ile kışın küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyon salımı azalır. Ayrıca yaz aylarında klimalarda ozon tabakasının tahribatına neden olan soğutucu akışkanların kullanımının azalması beklenir.

Dünya nüfusunun her geçen yıl artması ve bu durumun daha fazla enerji kullanımına neden olması nedeniyle enerji kaynakları giderek azalmaktadır. Enerji kaynaklarının gereksiz ve aşırı kullanımı, enerji verimliliğinin düşmesine ve birim enerji maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yaşam alanlarının ısıtılması ve soğutulması için gereken enerjinin mümkün olabildiğince azaltılması için ısı yalıtımı büyük önem taşımaktadır. Birçok evsel ve endüstriyel sistem için çeşitli özelliklere sahip ısı yalıtım malzemeleri gereklidir. Örneğin, mevcut ısı yalıtım ürünleri genellikle gözenekli, aerojel battaniye form, sert, doğal form ve yansıtıcı bir yapı içeren çeşitli yöntemlerle üretilen inorganik, organik, kombine ve gelişmiş materyaller içeren dört genel gruba ayrılır [1]. İnorganik malzemeler (cam yünü ve taş yünü) pazarın % 60'ını oluştururken, organik malzemeler % 27'sini oluşturmaktadır. Poliüretan, poliizosiyanürat, ekstrüde polistiren, genleşmiş polistiren gibi geleneksel ısı yalıtım malzemeleri düşük ısı iletkenliği ve düşük maliyeti nedeniyle çok sayıda binada ve termal enerji depolama sistemlerinde tercih edilmektedir [2]. Aşağıda kronolojik olarak sıralanmış konu ile ilgili önde gelen çalışmalar özetlenmiştir. Bu çalışmaların tamamı bina için olup, mevcut çalışmanın konusu olan denizaltılarda optimum yalıtım kalınlığının tayinini içeren açık kaynaklarda bir çalışma bulunamamıştır.

1.1 Literatür Özeti

Isı yalıtımının öneminin artmasının önde gelen sebeplerinden birisi enerji tasarrufudur. Bu nedenle insanlar, binalarda yaz-kış aylarında enerji ve para tasarruf yapabilmek için ısı yalıtımına yönelmişleridir. Bu doğrultuda literatürde binaların optimum yalıtım kalınlığının belirlenebilmesi için gerekli adımların anlatıldığı çok sayıda makale mevcuttur. Bu bölümde yapılmış çalışmalar anlatılacaktır.

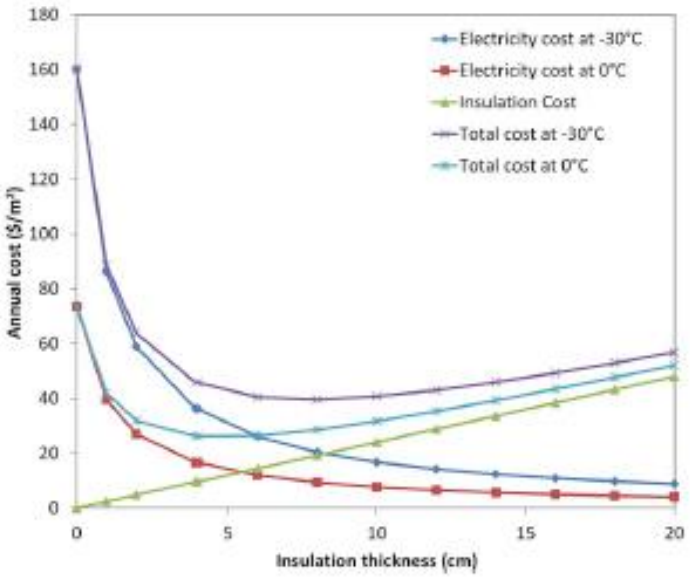
Idchabani, R. vd. [3] yaşam döngüsü maliyet analizini kullanarak Fas'ın soğuk iklim bölgelerinde binalar için optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Yalıtım malzemesi olarak genişletilmiş polistiren, poliüretan ve mantar kauçuk kullanmıştır. Idchabani, R. vd. optimum yalıtım kalınlığının yalıtım malzemesi, yalıtım malzemesi fiyatı ve ısıtma-soğutma için gerekli enerji maliyeti gibi birçok farklı parametreye bağlı olduğu ve optimum yalıtım kalınlığının 3,4 mm ile 16,8 mm arasında değişiklik gösterdiği sonucuna varmışlardır.



Şekil 1.1 Çeşitli yalıtım malzemeleri ve yakıt türleri için optimum yalıtım kalınlığı [3]

Optimum yalıtım kalınlığı malzemeye, enerji kaynağına ve maliyetlere göre değişiklik gösterir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi LPG ve elektrik kullanımına bağlı olarak gerekli yalıtım kalınlıkları verilmiştir. Kullanılan enerji kaynakları, LPG-S, sübvanse edilmiş, LPG-WS, sübvanse edilmemiş sıvılaştırılmış gaz, ELE-T1, tüketimin 500 kWh değerinden düşük olması durumu, ELE-T2, tüketimin 500 kWh değerinden büyük olması durumuna göre fiyat farklılıklarının meydana gelmesinden dolayı ayrılmıştır. En düşük optimum yalıtım kalınlığı değerleri tüm yalıtım malzemeleri için sübvanse edilmiş sıvılaştırılmış gaz kullanıldığında meydana gelmiştir. Isıtma için elektrik kullanıldığında ise maliyeti LPG'ye göre daha fazla olduğundan optimum yalıtım kalınlık değerleri daha yüksektir.

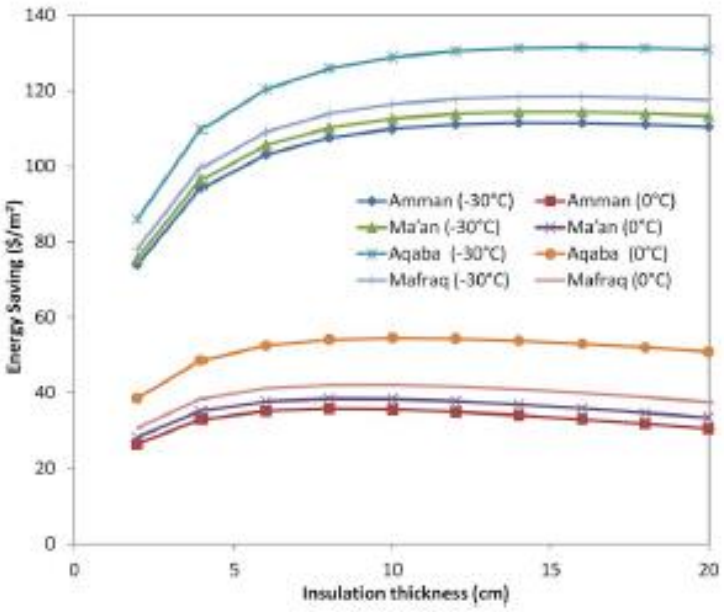
Batiha M. A. vd. [4] Ürdün'ün Amman, Mafrak, Ma'an ve Akabe illerinde kurulacak olan soğuk depoların enerji tasarrufu ve geri ödeme süresini belirlemek amacıyla yaşam döngüsü maliyet analizini kullanarak optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapmışlardır. Yalıtım malzemesi olarak taş yünü, polistiren (EPS) ve poliüretan, enerji kaynağı olarak ise elektriği belirlemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, sağladığı enerji tasarrufu ve geri ödeme süresinin kısalığı ile en iyi sonucu EPS'in verdiği sonucuna varmıştır.



Şekil 1.2 Akabe'de elektrik, yalıtım ve toplam maliyetler ile poliüretan kalınlığı [4]

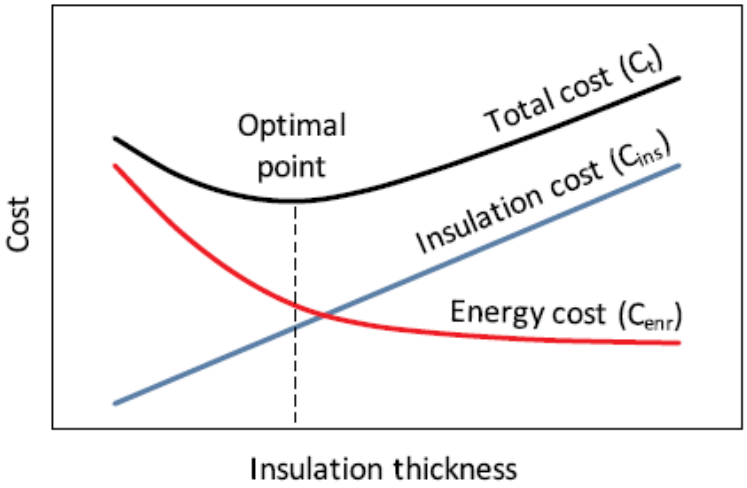
Şekil 1.2'de Akabe ili için 0 °C ve -30 °C soğuk hava deposu referans sıcaklıkları için elektrik, yalıtım ve toplam maliyetler farklı poliüretan kalınlıklarında gösterilmiştir. Yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtım maliyeti normal olarak artar, ancak soğutma maliyeti bir başka ifadeyle soğutma sisteminin çalışması için gerekli elektrik enerjisi maliyeti azalır. Yalıtım kalınlığının sıfır olduğu düzeyde soğutma ve yalıtım maliyetlerinin toplamı olan toplam maliyet maksimum düzeydedir. Yalıtım kalınlığı değeri optimuma ulaşana kadar toplam maliyet değeri azalış gösterir, optimum kalınlık değerini aştığında ise tekrardan artış gösterir. Yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça soğutma maliyeti bir miktar azalma gösterir ancak yalıtım malzemesi maliyetini büyük oranda arttıracağından toplamda negatif etki gösterir.

Şekil 1.3'te EPS yalıtım malzemesi için Ürdün'ün dört farklı şehirlerinde 0 ve 30 referans sıcaklıklarındaki soğuk hava deposu duvarlarına uygulanan optimum yalıtım kalınlığına göre elde edilen tasarruf miktarları gösterilmiştir. Yıllık enerji tasarrufu yalıtımsız duvarda soğutma maliyetinin, yalıtımlı duvarda soğutma maliyeti ve yalıtım maliyetinin toplamından çıkarılması ile elde edilir. Şekilden de anlaşılacağı gibi yıllık enerji tasarrufu değeri optimum yalıtım kalınlığında en yüksek değerindedir. Optimum kalınlıktan uzaklaştıkça enerji tasarrufu azalır.



Şekil 1.3 EPS yalıtım malzemesinin farklı konumlara göre yıllık kazanç miktarları [4]

Rosti B. vd. [5] İran'da tüm iklim bölgelerini dikkate alarak hesap yapabilmek için sekiz farklı ilde, binalarda dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve enerji tasarrufunu belirlemek için çalışma yapmışlardır. Yaşam döngüsü maliyet analizi kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan optimum değer diğer ülkeler için yapılan hesaplamalar ile karşılaştırıldığında İran'da bulunan optimum yalıtım kalınlığı değeri çok daha düşüktür. Bunun sebebi olarak ise, ülkedeki ekonomik yapı ve kullanılan enerji maliyetlerinin düşük olmasından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığında ülkelere ait ekonomik olanakların da son derece öneli olduğunu göstermektedir.

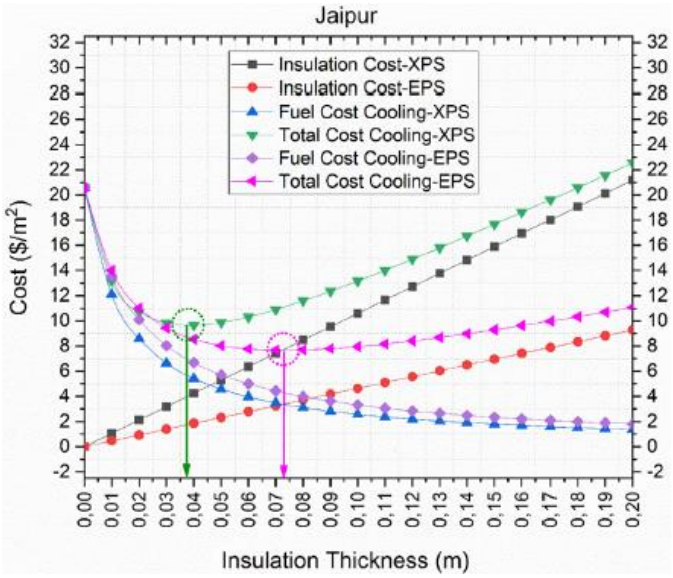


Şekil 1.4 Optimum yalıtım kalınlığı grafiği [5]

Şekil 1.4'te optimum yalıtım kalınlığının belirleyen süreci gösterilmektedir. Yalıtımın kalınlaşmasının sonucunda doğal olarak yalıtım maliyetleri artar, harcanan enerji maliyeti azalır. Bu yüzden en uygun bir başka ifadeyle optimum yalıtım kalınlığı ifadesi toplam maliyeti en aza indiren değerdir.

Açıkkalp E. ve Kandemir S. Y. [6] binalarda optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için farklı yöntemler kullanmışlardır. Bilecik ili hava koşullarına göre çevresel yaklaşım yöntemi, ekonomik yaklaşım yöntemi ve bunların birlikte dikkate alındığı çevresel ve ekonomik yaklaşım yöntemini (CEEM) ve taş yünü ve cam yünü yalıtım malzemelerini kullanarak optimum yalıtım hesabı yapmışlardır. Bu hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlıkları, taş yünü için 0.176 m, 0.133 m, 0.227 m, cam yünü için ise 0.185 m, 0.140 m, 0.467 m olarak bulmuşlardır.

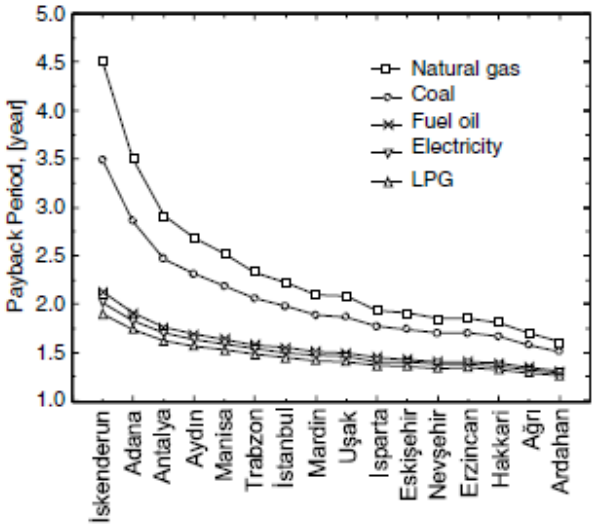
Kallioğlu M. A. vd. [7] Hindistan'ın Jaipur eyaletinde binalarda maksimum verimi minimum yakıt maliyetini ifade edecek yalıtım kalınlığını bulmayı amaçlamışlardır. XPS ve EPS yalıtım malzemeleri için sırasıyla optimum yalıtım kalınlığı 0.0383- 0.0731m, geri ödeme süresi 2.35-1.79 yıl ve yıllık getiri oranını % 46.84-37.25 olarak bulmuşlardır.



Şekil 1.5 Soğutma döneminde duvarda kullanılan EPS ve XPS malzemeleri için maliyet-kalınlık ilişkisi [7]

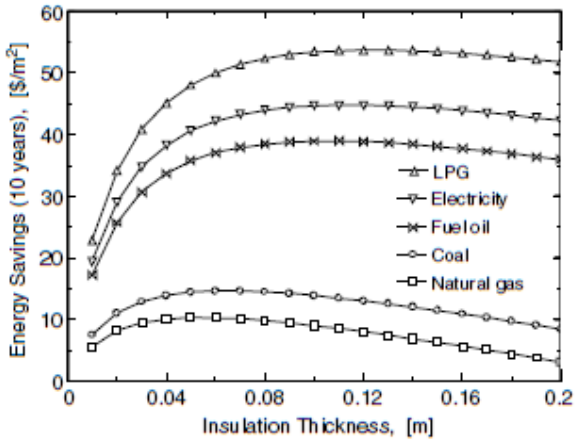
Toplam maliyetin minimum olduğu değer, hem yalıtım malzemesi hem de yakıt tüketim değerlerini dikkate alarak bize optimum kalınlığı verir. Bu değeri izleyen gereksiz yalıtım kalınlığı, karşılanmayan ısı yükü nedeniyle toplam maliyeti artırır. Şekil 1.5'te EPS ve XPS malzemeleri için toplam maliyetin minimum olduğu kalınlıklar gösterilmiştir. Bu kalınlıklar sırasıyla 0,0383 ve 0,0731'dir. Optimum noktadan her iki yöne doğru da uzaklaştıkça toplam maliyette artış gözükür.

Bolattürk A. [8] Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden 16 farklı şehir seçerek yaşam döngüsü maliyet analizi metodunu kullanarak binalardaki optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Yalıtım malzemesini sadece polistiren alıp, enerji olarak kömür, doğalgaz, benzin, LPG ve elektrik kullanarak farklı kaynakların yalıtım kalınlığına etkisini araştırmıştır. İşlemler sonucunda şehre ve yakıt türüne bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığının 2 ile 17cm, geri ödeme süresinin ise 1.3 ile 4.5 yıl arasında değiştiğini göstermektedir.



Şekil 1.6 Farklı şehirlerde çeşitli yakıtlarda geri ödeme süreleri [8]

Şekil 1.6'da farklı enerji türleri için yalıtımın geri ödeme süreleri gösterilmektedir. Geri ödeme süreleri, derece gün sayısına ve yakıt türüne bağlı olarak 1,3 ile 5 yıl arasında değişiklik göstermektedir. Ardahan, Ağrı, Hakkari gibi soğuk bölgelerde geri ödeme sürelerinin diğerlerine oranla daha kısa olduğunu görüyoruz. Bu durum soğuk iklimlerde yalıtımın sıcak iklimlere göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.



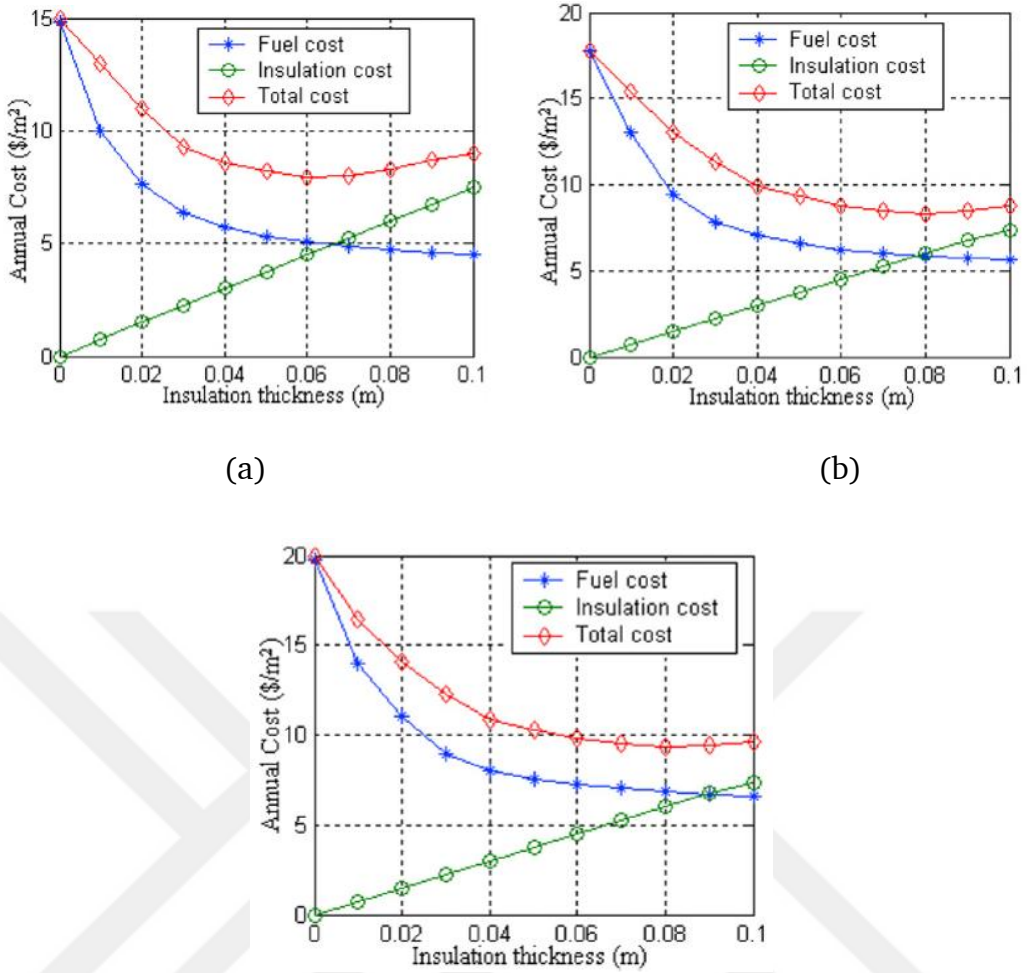
Şekil 1.7 Yalıtım kalınlığının farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufuna etkisi [8]

Şekil 1.7'de farklı enerji türlerine göre enerji tasarrufu değerleri gösterilmiştir. Enerji tasarrufu tüm enerjiler için belirli bir noktaya çıkmakta ve sonrasında azalma eğilimi göstermektedir. Çıkmış olduğu en yüksek değer kullanılan enerji türünde optimum yalıtım kalınlığını vermektedir.

Uçar A. [9] Türkiye'nin dört farklı iklimine sahip Antalya, İstanbul, Elazığ ve Erzurum'da bina dış duvarlarına uygulanması gereken optimum yalıtım kalınlığını bularak enerji tasarrufu değerlerini ortaya koymuştur. Antalya, İstanbul, Elazığ ve Erzurum için optimum yalıtım kalınlığı 20 °C iç ortam sıcaklığında sırasıyla 0,038, 0,046, 0,057 ve 0,0739 m olarak elde edilmektedir. Sonuçlar, Erzurum ili için 18 ve 22 °C iç ortam sıcaklığında optimum yalıtım kalınlığının sırasıyla 0.0663 ve 0.0816 m olarak belirlendiğini göstermektedir. Optimum yalıtım uygulandığında Erzurum şehri için enerji tasarrufu 18 °C iç ortam sıcaklığı için % 77.2, 20 °C iç ortam sıcaklığı için % 79.0 ve 22 °C iç ortam sıcaklığı için % 80.6 olarak belirlenmiştir.

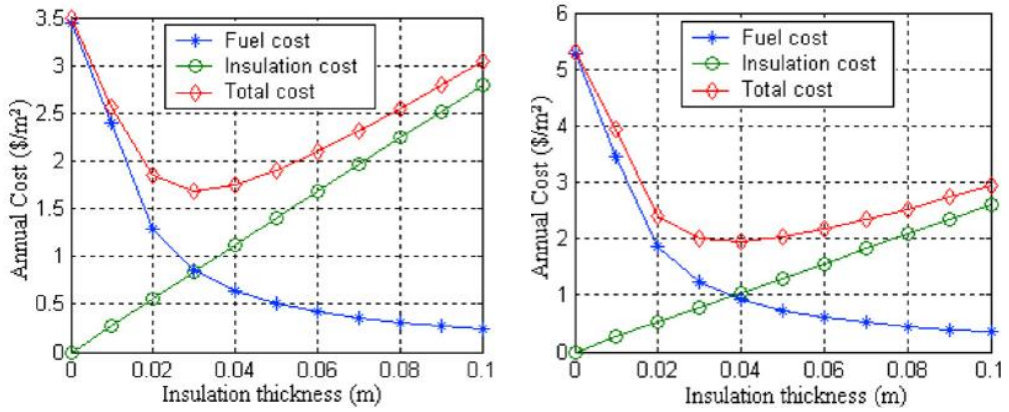
Şekil 1.8'de Erzurum ili için farklı sıcaklıklarda yalıtım kalınlığının yakıt maliyeti, yalıtım maliyeti ve toplam maliyete etkisi gösterilmiştir. Üç farklı sıcaklık değerleri için de yalıtım kalınlığının belli bir noktaya kadar artması yakıt maliyetinin azalmasını sağlamaktadır. Yalıtım kalınlığının artması sonucu yalıtım maliyetinin doğrusal olarak artması beklenen bir durumdur. Toplam maliyetin minimum olduğu kalınlık optimum yalıtım kalınlığıdır. Optimum yalıtım kalınlığının sırasıyla 18, 20 ve 22 °C iç ortam sıcaklığında 0.0663, 0.0739 ve 0.0816 m olarak elde edildiği görülmektedir.

Şekil 1.9'da Antalya ili için farklı sıcaklıklarda yalıtım kalınlığının yakıt maliyeti, yalıtım maliyeti ve toplam maliyete etkisi gösterilmiştir. Dış ortam sıcaklığının yüksek olması yalıtım kalınlığının soğuk bölgelere göre çok daha az olmasına sebep olur. Antalya gibi sıcak bölgelerde optimum yalıtım kalınlıkları diğer şehirlere göre daha düşüktür. Ayrıca ısıtma ihtiyacı pek olmadığı için yıllık toplam maliyet değerleri de diğerlerine kıyasla daha düşüktür.

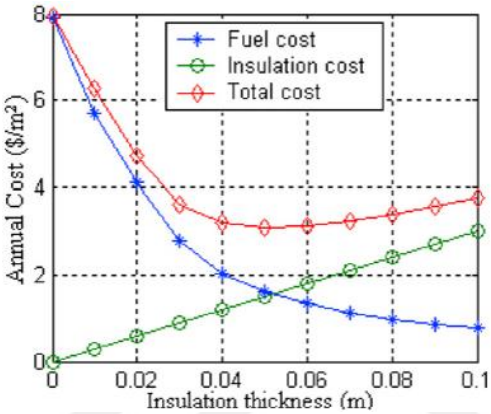


Şekil 1.8 Erzurum şehri için üç farklı ortam sıcaklığında (a) 18 °C, (b) 20 °C, (c) 25 °C yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi [9]

Rad E. A. ve Fallahi E. [10] yalıtım üretmenin enerji, çevre ve ekonomik maliyetlerinin de dikkate alındığı enerji, çevre ve ekonomi kriterlerine dayalı kapsamlı bir analiz yapılmışlardır. Bina dış duvarlarında enerji, çevre ve ekonomi açısından en uygun yalıtım malzemesi kalınlıkları poliüretan için 8 cm, EPS için 20 cm ve taş yünü yalıtım malzemesi için de 7 cm olarak bulunmuştur. Bu yapılanın dışında enerji, çevre ve ekonomik koşulları göz önüne alarak yeni bir yöntemle analiz yapılmış ve mineral yün yalıtım malzemesi için de 11 cm kalınlığında optimum yalıtım kalınlığı bulunmuştur.



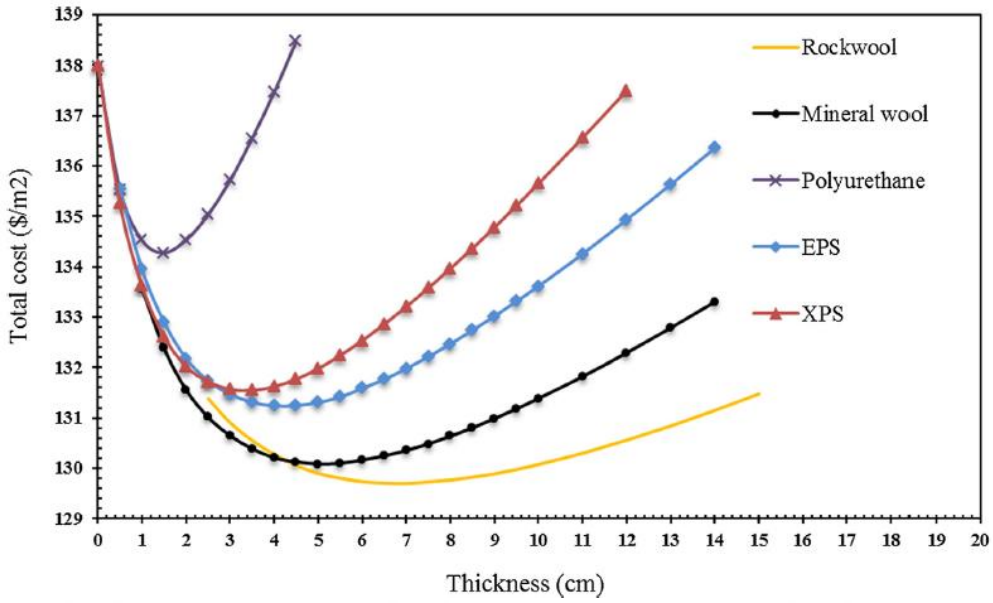
(a) (b)



(c)

Şekil 1.9 Antalya şehri için üç farklı ortam sıcaklığında (a) 18 °C, (b) 20 °C, (c) 25 °C yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi [9]

Şekil 1.10'da farklı yalıtım malzemeleri ve kalınlıklarının toplam maliyete etkisi gösterilmiştir. Tüm yalıtım malzemeleri bir dip noktaya sahiptir ve öncesi ile sonrasında toplam maliyet değeri artmaktadır. Grafiğin oluşturduğu dip nokta malzemeler için optimum yalıtım kalınlıklarını göstermektedir. Ekonomik analiz sonuçlarına göre, XPS, EPS, poliüretan, mineral yün ve taş yünü dahil olmak üzere çeşitli yalıtımlar için optimum kalınlık sırasıyla 3.5, 4, 1.5, 5 ve 7 cm'dir. Toplam maliyetin en düşük değerine göre en ekonomik durum 7 cm kalınlığındaki taş yünü yalıtımıdır.

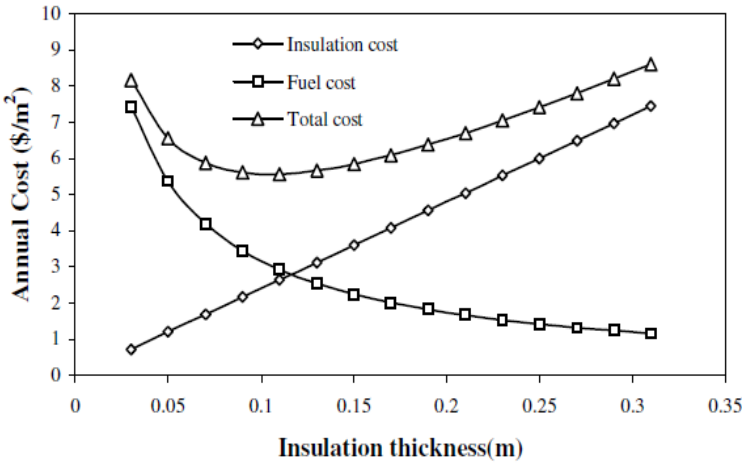


Şekil 1.10 Farklı yalıtım malzemeleri için toplam maliyet ve yalıtım kalınlıkları [10]

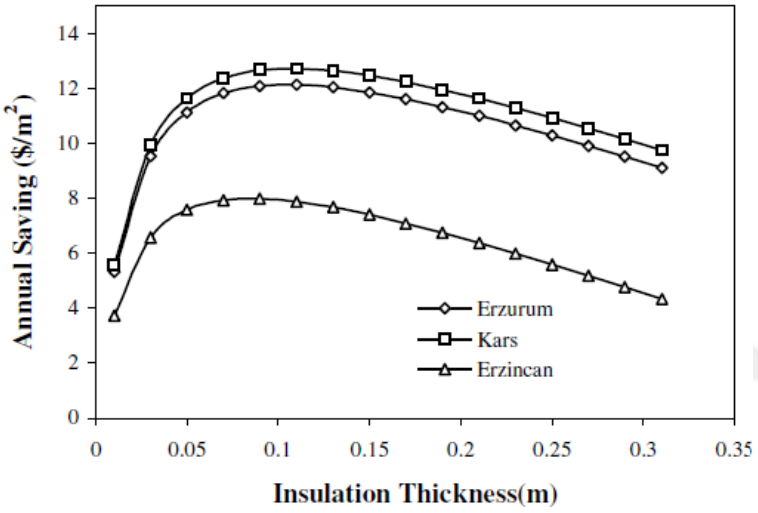
Li, Y. F. ve Chow, W. K. [11] su borularının soğuk bölgelerde donmaya karşı, ısı yalıtım malzemesi ile korunmasına yönelik yöntemler üzerinde çalışmışlardır. Yaşam döngüsü maliyet analiz yöntemi (LCCA) kullanılarak farklı ebatlardaki borular için optimum yalıtım kalınlığı cebirsel formülle uygulanmıştır.

Çomaklı, K. Ve Yüksel, B. [12] LCCA yöntemine dayanarak Türkiye'nin en soğuk şehirleri olan Erzurum, Erzincan ve Kars için binalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin optimum kalınlıkları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç ve geri ödeme süreleri sırasıyla Erzurum için 0,1048 m, 12,1378 $\$/m^2$, 1,457 yıl, Kars için 0,10737 m, 12,7207 $\$/m^2$, 1,446 yıl, Erzincan için ise 0,0852 m, 7,9924 $\$/m^2$, 1,576 yıl olarak bulunmuştur.

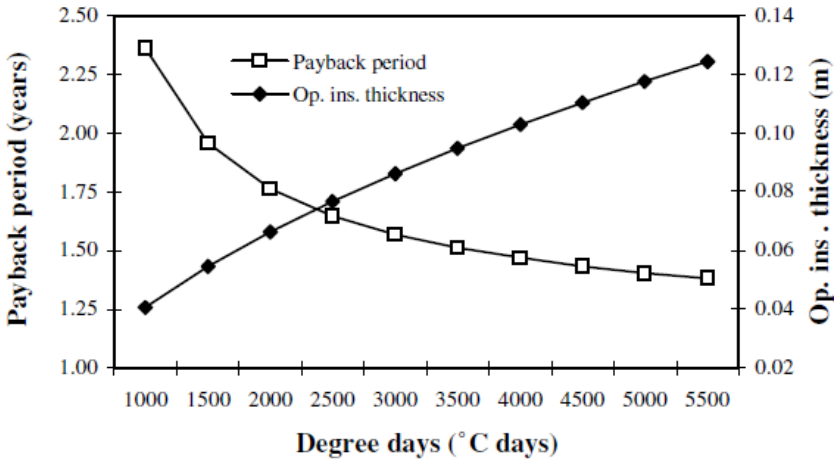
Toplam maliyet, yalıtım kalınlığının belirli bir değerine kadar azalmaktadır. Bu değerin ötesinde yalıtımın kalınlığının artması da toplam maliyeti arttırır. Erzurum için yalıtım maliyeti eğrisi Şekil 1.11'de verilmiştir. Optimum kalınlığın yıllık tasarruflara göre değişimi Şekil 1.12'de analiz edilen üç şehir için gösterilmiştir ve buradan da anlaşılacağı gibi optimum değer dışında bir kalınlık değeri seçmek toplam maliyeti artıracaktır. Bu nedenle binalara optimum yalıtım kalınlığı uygulanmalıdır.



Şekil 1.11 Erzurum için yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi [12]



Şekil 1.12 Yalıtım kalınlığının yıllık kazanca etkisi [12]



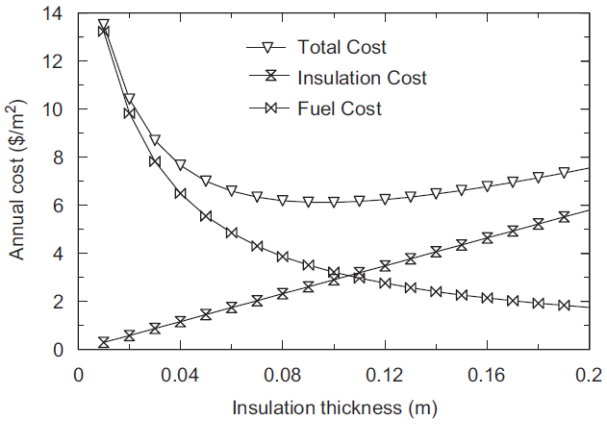
Şekil 1.13 Derece gün sayısının optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresine etkileri [12]

Derece gün sayısının optimum yalıtım kalınlığına etkisi Şekil 1.13'te gösterilmiştir. Daha yüksek dereceli günlere sahip daha soğuk iklimler daha büyük yalıtım kalınlığı gerektirir, ancak daha düşük dereceli günlere sahip daha sıcak iklimler daha az yalıtım kalınlığı gerektirir. Bu nedenle Erzincan için en uygun yalıtım kalınlığı, soğuk gün sayısı az olduğu için en düşük olur.

Uçar A. ve Balo F. [13] Türkiye'nin dört iklim bölgesinden dört şehir için 10 yıllık kullanım ömrü boyunca dış duvarların optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri, beş farklı enerji türü ve dört farklı yalıtım malzemesi için hesaplamışlardır. Enerji maliyeti tasarrufunun şehre ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak 4,2 $/m^2 ile 9,5 $/m^2 arasında değiştiğini göstermektedir. Enerji kaynağı olarak LPG kullanılarak optimum yalıtım kalınlıklarının en yüksek değerine ulaşılırken, enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanılarak en düşük optimum yalıtım kalınlığına ulaşılır. En yüksek geri ödeme süresi değeri Mersin'de 2,25 yıl ile ısıtma için enerji kaynağı olarak doğalgaz kullanılırken, en düşük değere sahip Bitlis'te enerji kaynağı olarak LPG kullanılmıştır.

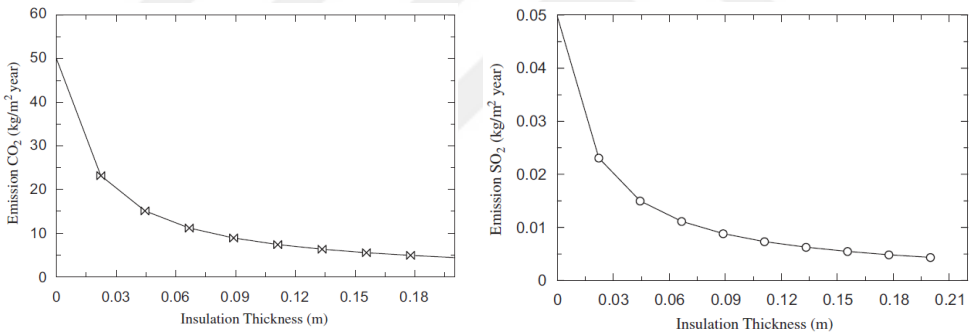
Isıtma yükü için enerji tasarrufunun 2,6 ile 20,4 $/m^2 arasında değiştiğini ve soğutma yükü için enerji tasarrufunun 1,7 ile 17 $/m^2 arasında değiştiğini göstermektedir. Optimum yalıtım kalınlıkları şehre bağlı olarak 4 ila 10 cm arasında değişmektedir. 11.8 $/m^2 ile en yüksek enerji tasarrufunun enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanılarak elde edildiği, en düşük enerjinin ise 2.7 $/m^2 ile elde edildiği görülmektedir.

Dombaycı Ö. A. [14] Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığının dış duvarlardaki çevresel etkilerini araştırmıştır. Isıtma döneminde binaların ısı yalıtımı, enerji kullanımını en aza indirmede ve emisyonu azaltmada çok önemlidir. Hesaplamalarda yakıt kaynağı olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak ise genişletilmiş polistiren kullanılmış. Optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında enerji tüketiminin % 46,6 oranında azaldığını ve CO_2 ile SO_2 emisyonlarının ise % 41,53 oranında azaldığını kanıtlamıştır.

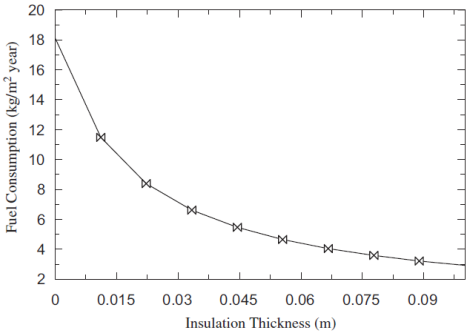


Şekil 1.14 Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı [14]

Şekil 1.14'te Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı gösterilmiştir. Artan yalıtım malzemesi kalınlığı sonucu yalıtım maliyeti artar. Yakıt ve yalıtım maliyetlerinin toplamı olan toplam maliyet, minimum değeri optimum yalıtım kalınlığı tarafından üretilen dışbükey bir fonksiyondan oluşur ve bu değer 0,095 m olarak ifade edilmiştir.



(a) (b)

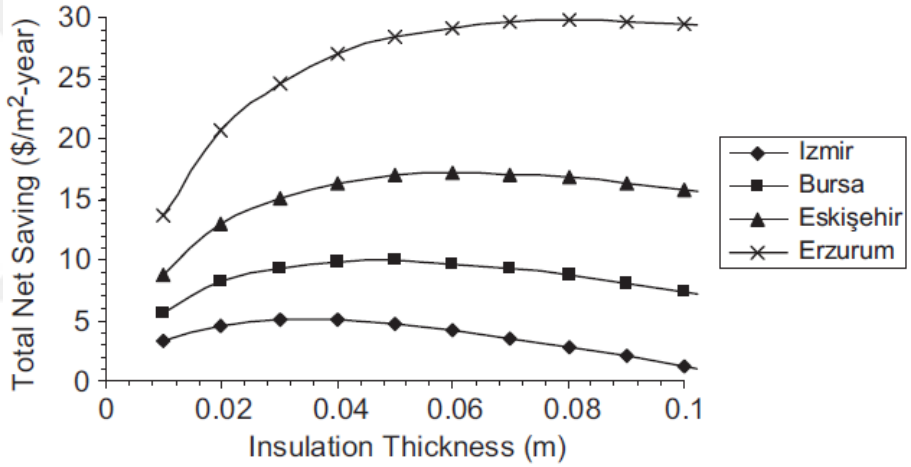


(c)

Şekil 1.15 Yalıtım kalınlığına göre (a) CO_2 emisyonu, (b) SO_2 emisyonu, (c) yakıt tüketimi [14]

Yakıt olarak kömür kullanıldığında 1 m^2 dış duvarlardan meydana gelen CO_2 ve SO_2 emisyonlarının ve yakıt tüketimlerinin yalıtım kalınlığına göre değişimleri Şekil 1.15'te gösterilmiştir. Denizli'de binalarda yalıtım kalınlığı yaklaşık 0,0225 m'dir. Bunun yerine optimum yalıtım kalınlığı olan 0,095 m kullanılması durumunda emisyon oranları % 41,53, enerji tüketiminde ise % 46,6'lık tasarruf sağlanacaktır.

Şişman, N. [15] Türkiye'nin farklı derece-gün (DD) sayısına sahip bölgeleri, yani İzmir (DD: 1450), Bursa (DD: 2203), Eskişehir (DD: 3215) ve Erzurum (DD: 4856) için optimum yalıtım kalınlıkları, yalıtılmış dış duvarlar için yıllık enerji tasarrufunun bugünkü değerini en üst düzeye çıkararak, ömür boyu N yıl olarak belirlenmiştir.



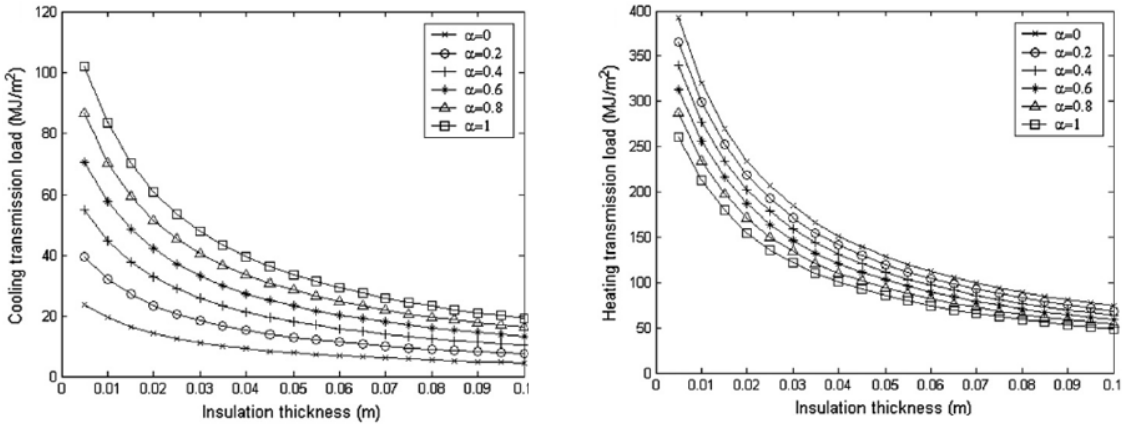
Şekil 1.16 Yalıtım kalınlığına göre farklı iller için toplam net kazanç miktarı [15]

Şekil 1.16'da net kazanç miktarları gösterilmiştir. Bu doğrultuda optimum yalıtım kalınlıkları İzmir, Bursa, Eskişehir ve Erzurum için sırasıyla, 0,033, 0,047, 0,061 ve 0,080 m'dir. Ayrıca geri ödeme süreleri de sırasıyla, 1.28, 2.21, 3.5, 5.67 yıldır.

Ozel, M. [16] dinamik termal koşullar altında dış yüzey güneş absorptivitesinin ısı özellikleri ve optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sabit periyodik koşullar altında örtülü bir sonlu fark yöntemine dayanan sayısal model, yıllık soğutma ve ısıtma iletim yükleri, yıllık ortalama zaman gecikmesi ve azaltma faktörü gibi termal özellikleri belirlemek için kullanılır. Araştırma Elazığ ili iklim koşullarında güneye bakan bir duvar için yapılmış ve yalıtım malzemesi olarak

ekstrüde polistiren kullanılmıştır. Dış yüzeyin güneş absorpsiyonunun 0,2'lik artışlar ile 0 ile 1 arasında değiştiği varsayılmaktadır.

Soğurma arttıkça ısıtma ve toplam iletim yükleri azalırken soğutma iletim yükü artar. Soğutma yükündeki artış oranının % 66.25 ile % 331.28 arasında değiştiği, ısıtma ve toplam yüklerdeki artış azalma oranlarının ise sırasıyla % 6.72 ile % 33.65 ve % 2.57 ile % 12,9 arasında değiştiği görülmektedir. Sonuçlar yalıtılmamış ve yalıtılmış duvarlar için, güneş absorpsiyonunun yıllık iletim yükleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu, yıllık ortalama zaman gecikmesi üzerinde ise küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca güneş emiciliğinin optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi üzerinde çok küçük bir etkiye sahip olduğunu, ancak enerji tasarrufu üzerinde çok daha önemli bir etkiye sahip olduğunu kanıtlamaktadır.



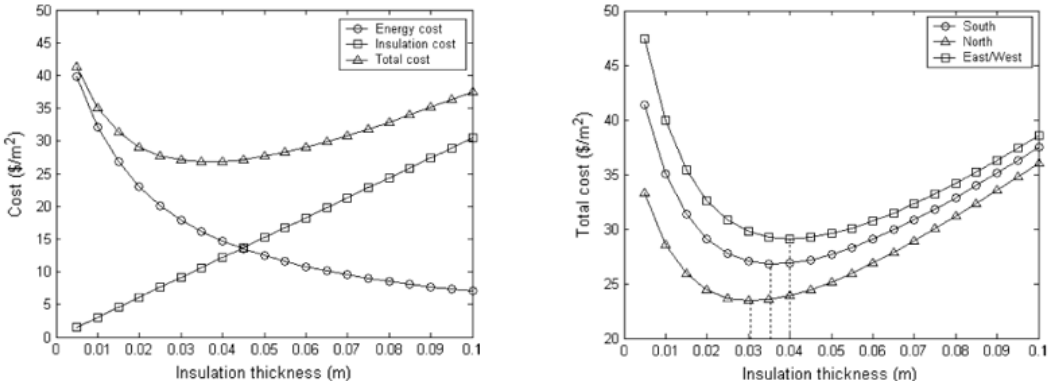
(a) (b)

Şekil 1.17 Yıllık soğutma ve ısıtma iletim yüklerinin yalıtım kalınlığına göre 0 ile 1 arasında değişen güneş emiciliğine göre değişimi, (a) Soğutma iletim yükleri, (b) Isıtma iletim yükleri [16]

Şekil 1.17 farklı güneş absorbsiyon değerlerine göre yıllık soğutma ve ısıtma iletim yüklerinin yalıtım kalınlığına göre değiştiğini gösterir. Güneş emiciliğinin minimum değeri (α= 0) en düşük soğutma ve en yüksek ısıtma iletim yükünü verirken, maksimum değeri (α= 1) en yüksek soğutma ve en düşük ısıtma yükünü verir. Güneş emiciliği 0'dan 1'e yükseldikçe, ısıtma iletim yükü azalırken soğutma iletim yükü artar. Yalıtım kalınlığı arttıkça, tüm güneş absorptivite değerleri için

iletim yüklerinin daha da yaklaştığı görülmektedir. Isıtma iletim yükünün soğutma iletim yükünden daha büyük olduğu belirtilmektedir. Ancak, güneş absorptivitesinin ısıtma yükü üzerindeki etkisi soğutmadan daha küçüktür, yani yaz aylarında güneş absorptivitesinin etkisi daha büyük olur.

Ozel, M. [17] bu çalışmada, sıcak iklimde binaların soğutma gereksinimlerine göre optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesini amaçlamıştır. Araştırma, Antalya'da yaz döneminde farklı duvar yönelimleri için sabit dönemsel koşullar altında örtülü bir sonlu fark yöntemi kullanılarak yürütülmektedir. Bu amaçla Matlab'da geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılmaktadır. İlk olarak, soğutma iletim yükü, zaman gecikmesi ve azaltma faktörü gibi termal özellikler hesaplanır. Daha sonra, tüm duvar yönelimleri için optimum yalıtım kalınlıkları, binanın 20 yıllık ömrü boyunca bir maliyet analizi kullanılarak belirlenir. Soğutma mevsimi için minimum soğutma yüküne sahip kuzeye bakan duvar için optimum yalıtım kalınlığının en düşük değeri, maksimum soğutma yükünü sağlayan doğu ve batı duvarları için ise en yüksek kalınlığın elde edildiği görülmektedir. Sonuçlar, soğutma mevsimi için en ekonomik yönelimin, optimum yalıtım kalınlığı 3,1 cm olan kuzey olduğunu göstermektedir.

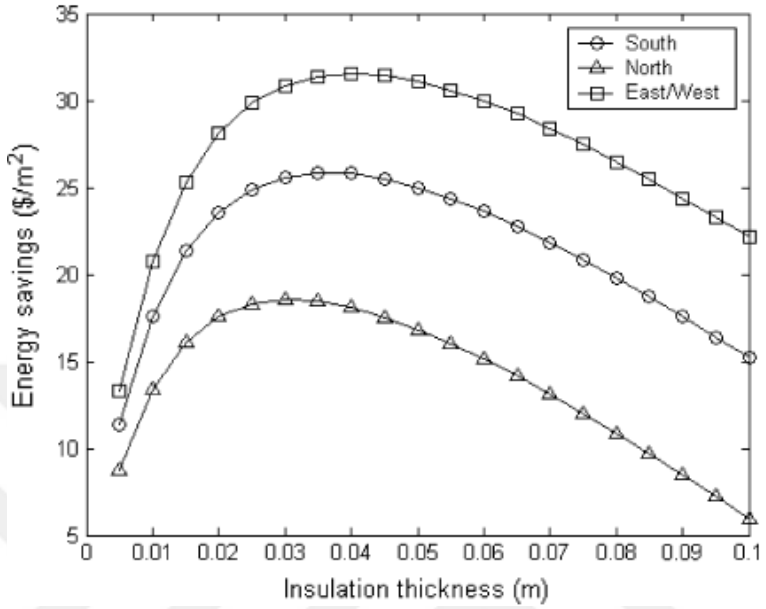


(a) (b)

Şekil 1.18 Maliyetin yalıtım kalınlığına göre değişimi, (a) güneye bakan bir duvar için ve (b) tüm duvar yönelimleri için [17]

Şekil 1.18 (a) güneye yönlendirilmiş bir duvar için yalıtım kalınlığına göre maliyet değişimini gösterir. Yalıtım kalınlığı arttıkça enerji maliyeti azalırken, yalıtım maliyeti doğrusal olarak artar. Şekil 1.18 (b)'de gösterildiği gibi yalıtım maliyeti

ile enerji maliyetinin toplamı olan toplam maliyetin minimum olduğu yalıtım kalınlığı, optimum yalıtım kalınlığı olarak ifade edilir. Güney, kuzey, doğu ve batı yönleri için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 3.6, 3.1, 4 ve 4 cm olarak elde edilir.

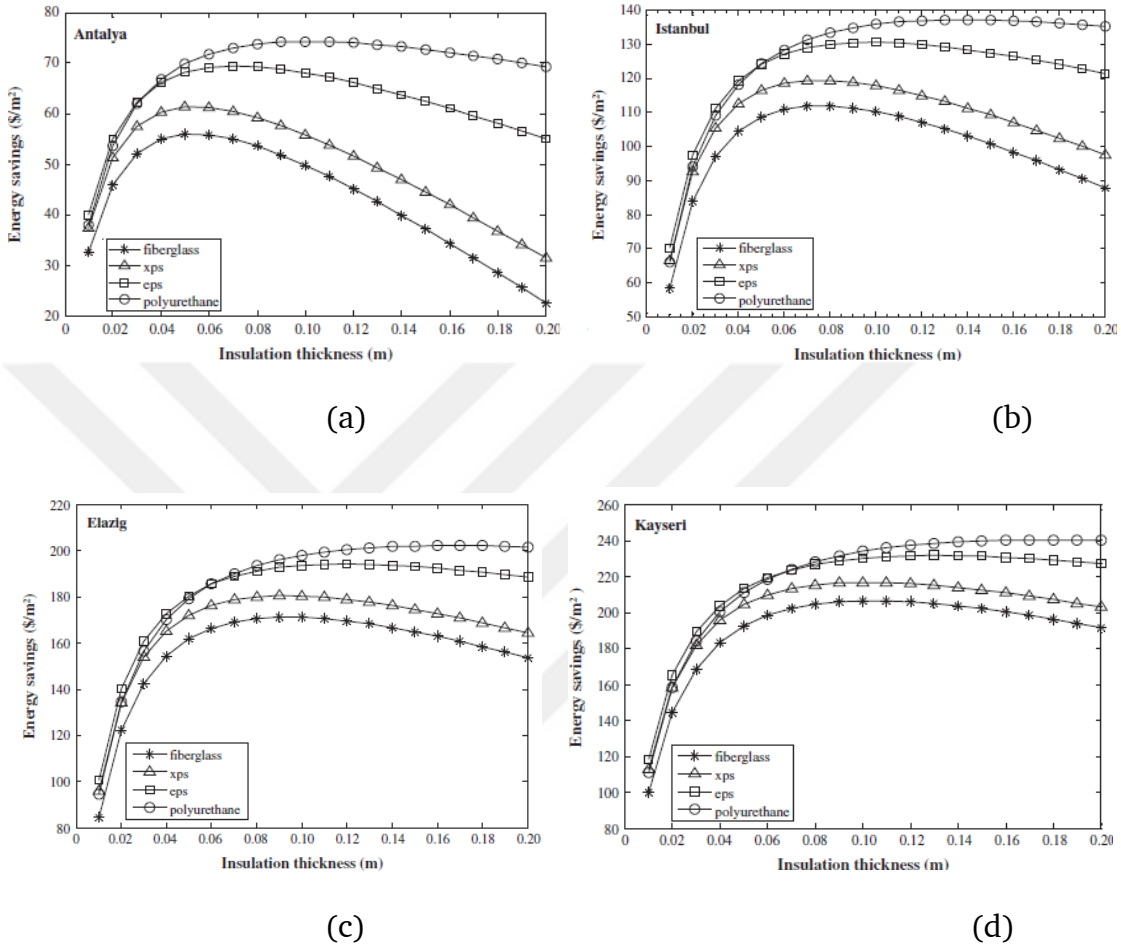


Şekil 1.19 Tüm duvar yönelimleri için enerji tasarrufunun yalıtım kalınlığına göre değişimi [17]

Şekil 1.19'da yalıtım kalınlığının tüm duvar yönelimlerine göre enerji tasarrufu üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Soğutma mevsimi için kuzeye bakan duvar için en düşük enerji tasarrufu değerinin elde edildiği, doğu ve batı duvarları için ise en yüksek enerji tasarrufunun elde edildiği görülmektedir.

Ekici, B. B. vd. [18] Türkiye'de bina yapımında yaygın olarak kullanılan taş, tuğla ve beton olmak üzere farklı duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamayı amaçlamaktadırlar. Türk Isı Yalıtım Standardı (TS 825) tarafından belirlenen farklı iklim bölgelerinden dört şehir; Analiz için Antalya (1. bölge), İstanbul (2. bölge), Elazığ (3. bölge) ve Kayseri (4. bölge) seçilmiş ve her biri için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Cam elyaf, ekstrüde polistiren, genişletilmiş polistiren ve poliüretan yalıtım malzemesi olarak seçilmiştir. Hesaplamalar kömür, LPG, elektrik, akaryakıt ve doğal gaz olmak üzere beş farklı enerji türü ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar optimum yalıtım kalınlığının 0,2 cm ile 18,6 cm

arasında değiştiğini, enerji tasarrufunun 0,038 $/m2 ile 250.415 $/m2 arasında değiştiğini ve şehre, duvar tipine, yalıtım malzemesine ve yakıt maliyetine bağlı olarak geri ödeme sürelerinin 0,714 ile 9,104 yıl arasında değiştiğini göstermektedir.

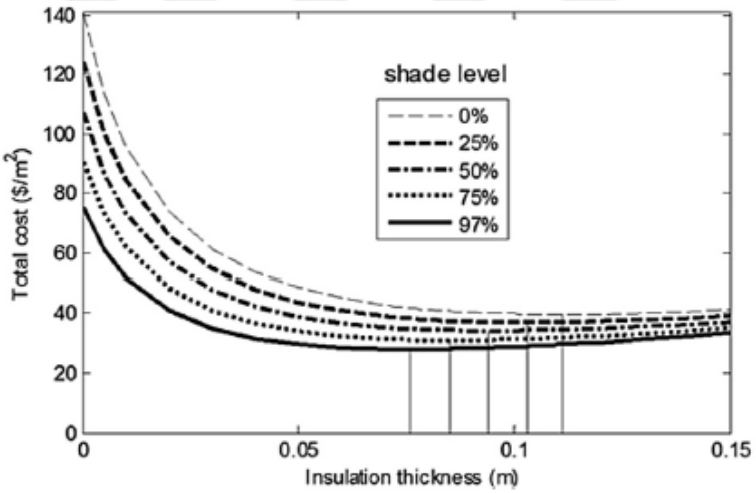


Şekil 1.20 Tuğla duvar ve yakıt olarak benzin kullanılması sonucu illerdeki yalıtım malzemelerine göre enerji tasarrufu değerleri (a) Antalya (b) İstanbul (c) Elazığ (d) Kayseri [18]

Enerji tasarrufu, bölgenin iklim koşullarıyla doğru orantılıdır ve seçilen şehirlerdeki tuğla duvarlar için enerji tasarrufu Şekil 1.20'de gösterilmiştir. Metrekare duvar alanı başına enerji tasarrufu, yalıtımsız ve yalıtılmış durumların enerji ihtiyacı arasındaki fark olarak tanımlanır ve enerji tasarrufu optimum yalıtım kalınlığında maksimum değerine ulaşır. Bununla birlikte, yalıtım malzemelerinin her biri için optimum kalınlık farklı bir değerdir. Bunu göstermek

için Antalya şehrinde poliüretan ile elde edilen enerji tasarrufu 74.278 $/m^2 iken, fiberglas ile sadece 49.804 $/m^2'dir.

Wati E. vd. [19] tropikal bir bölgede sürekli kullanılan binanın dış duvarlarındaki yalıtım tabakalarının kalınlıklarının gölge seviyesine göre optimize edilmesini amaçlamışlardır. Yalıtım malzemesi olarak genişletilmiş polistiren kullanılmış ve şantiyenin gölge seviyesinin % 25 veya % 2'lik bir artışla % 0 ila % 97 arasında değiştiği varsayılmıştır. Gölge seviyesi arttıkça optimum yalıtım kalınlığının sırasıyla güney, kuzey ve doğu/batı yönelimli duvarlar için bloke edilen güneş radyasyonu yüzdesi başına ortalama 0,035 cm, 0,029 cm ve 0,036 cm oranında azaldığı görülmüştür. Sonuçlar ayrıca enerji tasarrufunun 46.89 $/m^2 ile 101.29 $/m^2 arasında değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin gölge seviyesine ve duvar yönüne bağlı olarak 3.56 yıl ile 4.97 yıl arasında değiştiğini göstermektedir.

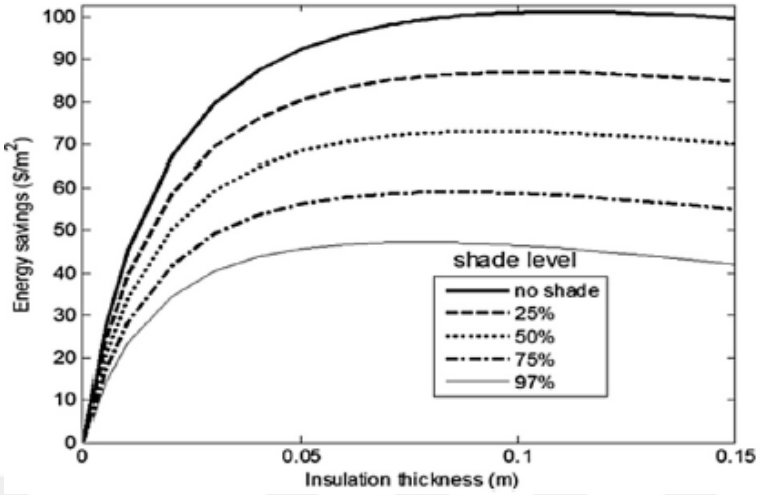


Şekil 1.21 Doğuya/batıya bakan duvar için toplam maliyet ve yalıtım kalınlığının gölge seviyesine göre değişimi [19]

Şekil 1.21 doğu / batı duvar oryantasyonu için toplam maliyetin yalıtım kalınlığına göre gölge seviyesine göre değişimini göstermektedir. Tüm yalıtım kalınlıklarında gölge seviyesinin artmasıyla toplam maliyetin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, yıllık soğutma iletim yükü ile orantılı olan enerji maliyetinin gölge seviyesinin artmasıyla azalmasıdır.

Şekil 1.22'de doğu/ batı duvar yönelimleri için gölge düzeyi açısından enerji tasarrufu varyasyonlarına karşı yalıtım kalınlığı verilmiştir. Tüm yalıtım kalınlıklarında gölge seviyesi artırıldığında enerji tasarrufunun azaldığı

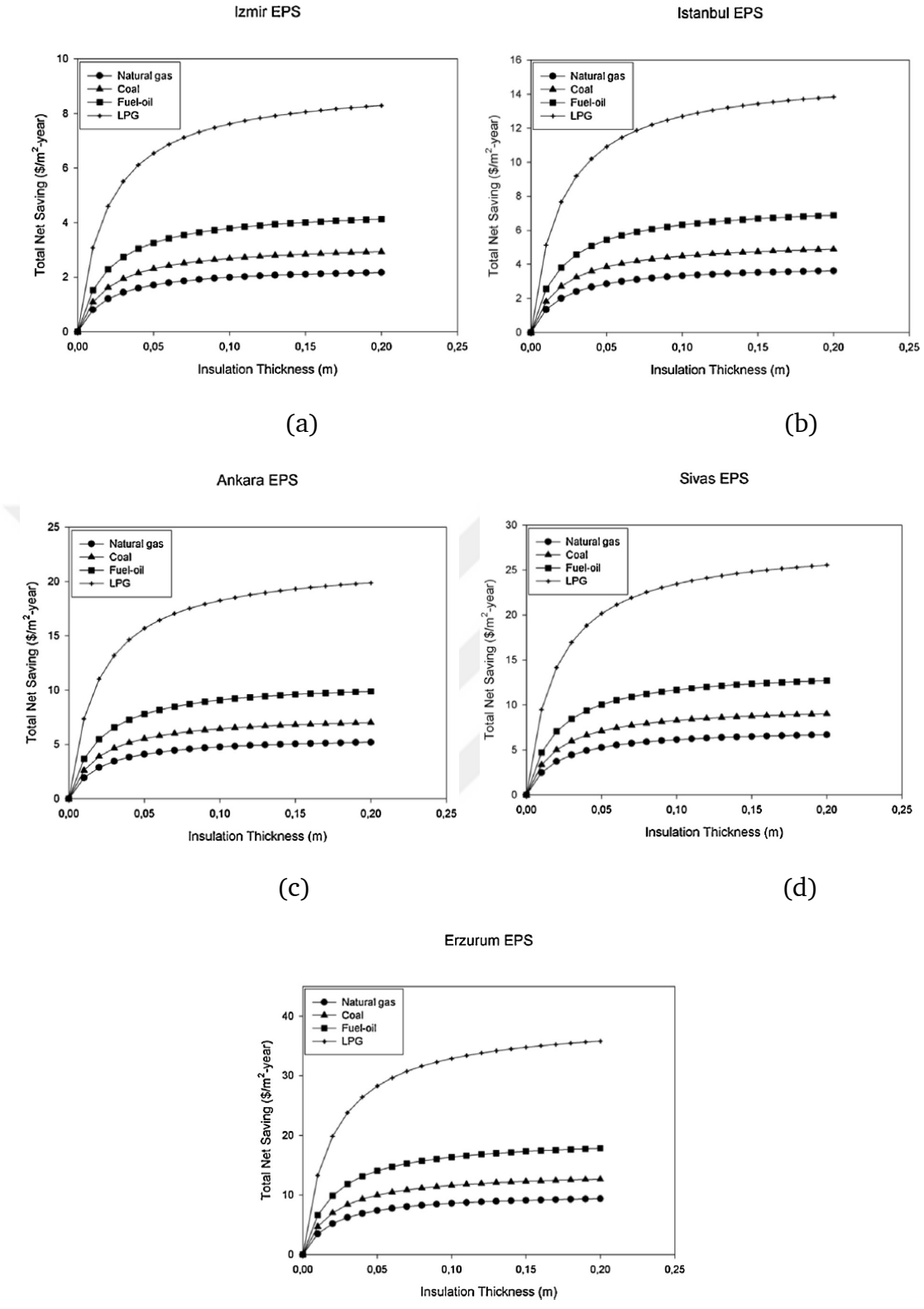
görülmektedir. Tüm gölge seviyelerinde optimum yalıtım kalınlığı için en yüksek enerji tasarrufu değeri elde edilir.



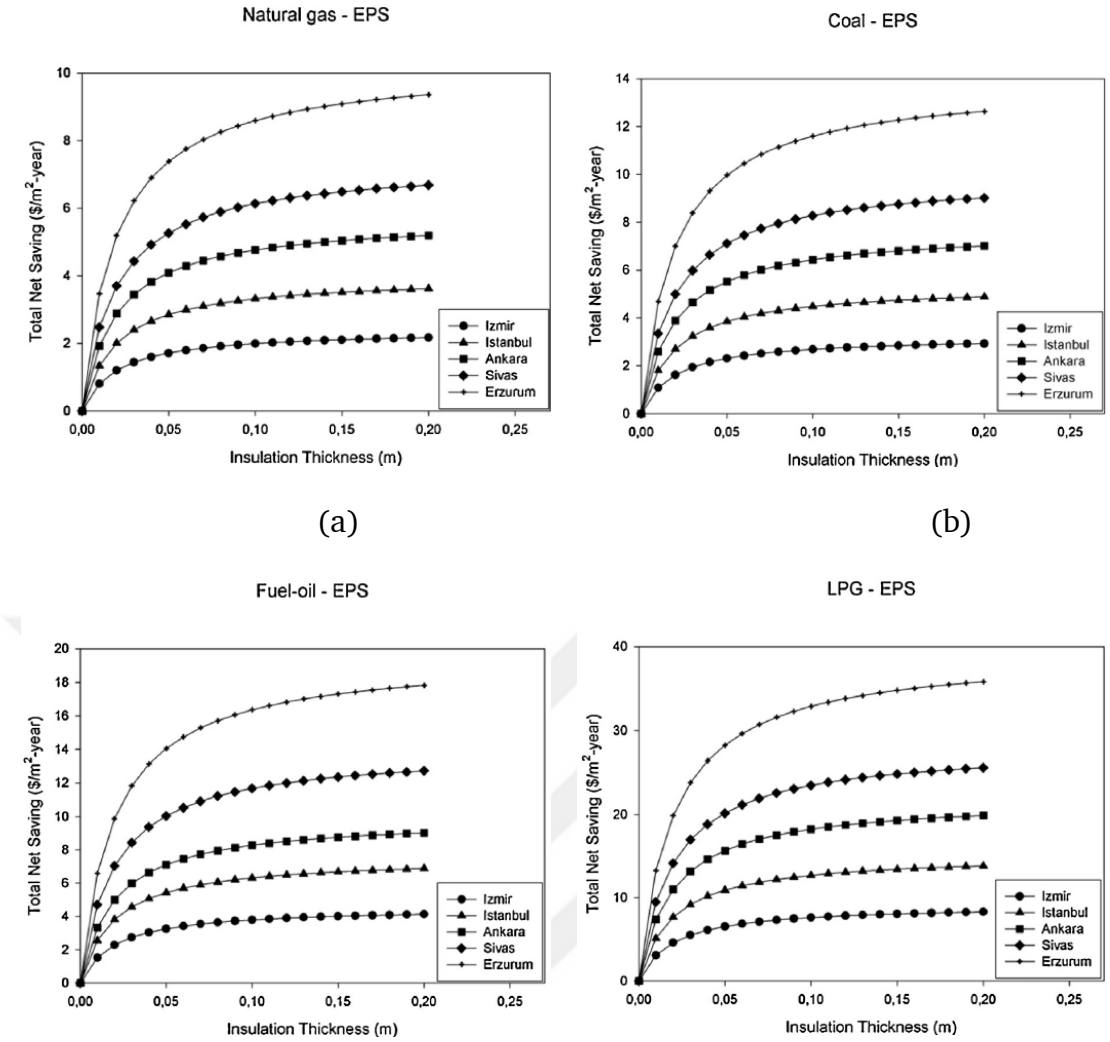
Şekil 1.22 Yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufunun gölge seviyesine göre değişimi [19]

Kurekci, N. A. [20] Türkiye'deki 81 il merkezlerinde gerekli optimum yalıtım kalınlıklarını belirlenmiştir. Hesaplamaları dört farklı yakıt (doğal gaz, kömür, akaryakıt ve sıvılaştırılmış petrol gazı) ve 5 farklı yalıtım malzemesi (ekstrüde polistiren, genişletilmiş polistiren, cam yünü, taş yünü ve poliüretan) bazında yapmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları, toplam net tasarruf tutarı, yakıt ve yalıtım malzemelerine göre geri ödeme süresi değişimi, derece/gün değerlerine göre seçilen 5 farklı il merkezinin (İzmir, İstanbul, Ankara, Sivas ve Erzurum) bazında hesaplanmaktadır.

Şekil 1.23'de görüldüğü üzere, tüm iller kıyaslandığında hepsi için aynı grafik eğrisi oluşmakta ancak kazanç değerleri birbirlerinden farklıdır. Kullanılan yalıtımın kalınlığı arttıkça toplam net tasarruf miktarı artar, yalıtım kalınlığının artmasına rağmen değişim azalır ve eğri yatay bir şekil alır. Aynı yalıtım kalınlığı için net tasarruf miktarı karşılaştırıldığında en yüksek değer sırasıyla LPG, ardından akaryakıt, kömür ve doğalgazdır. Bu sıralama, Türkiye'de doğalgazın diğer yakıtlara göre daha uygun fiyatlı olmasına karşın, LPG'nin seçilen diğer yakıtlara göre en pahalı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.23 EPS yalıtım malzemesi kullanarak illere göre yalıtım kalınlığı ve toplam kazancın değişimi [20]



Şekil 1.24 EPS yalıtım malzemesi kullanarak yalıtım kalınlığı ve toplam net kazancın yakıt ile değişimi [20]

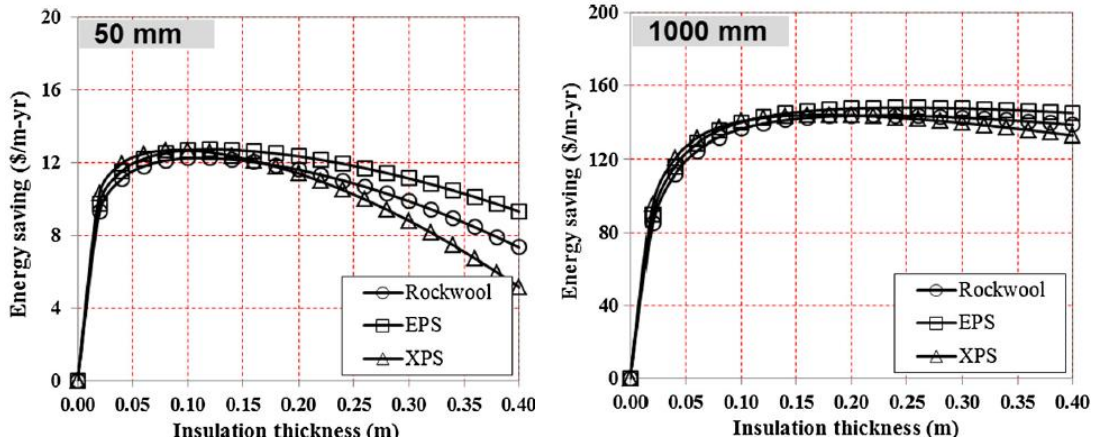
Şekil 1.24 dört yakıt için ayrı ayrı kullanılacak EPS yalıtkan kalınlığının değişimini ve EPS yalıtkan kullanılması durumunda toplam net tasarruf değerini gösterir. Net tasarruf miktarı aynı yalıtım kalınlığına göre karşılaştırıldığında sırasıyla Erzurum ili, ardından Sivas, Ankara, İstanbul ve diğer iller en yüksek seviyededir.

Daşdemir, A vd. [21], HVAC boru uygulamaları için farklı malzemelerden yapılmış borulardaki yalıtım tabakasının kalınlığını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Kullanılan borular çelik, plastik ve bakırdan yapılmıştır. Örnek çalışma olarak Afyonkarahisar'ın iklim koşullarına göre bazı yakıt türleri ve çeşitli yalıtım malzemelerinin kullanılması durumunda, farklı çaplardaki borulara yapılan yalıtım uygulamalarına ilişkin yıllık toplam maliyet, enerji tasarrufu ve geri ödeme

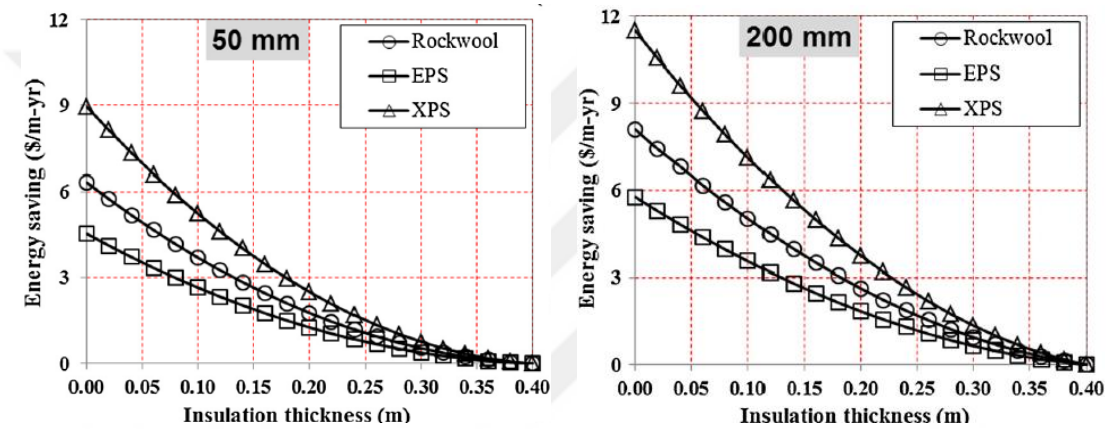
süresi değerlendirilmektedir. Optimizasyon işlemi için, ısıtma derecesi günlerine dayalı LCCA yöntemi kullanılır. Sonuçlar öncelikle en fazla tasarruf sağlayan yakıt ve yalıtım malzemesinin sırasıyla benzin ve taş yünü olduğunu göstermiştir. Boru malzemeleri için yalıtım önceliği sırasıyla; bakır, çelik ve plastiktir. Plastik borular düşük ısı iletim katsayısına sahip olduklarından optimum yalıtım kalınlığını belirlemek için en uygun yöntem bu değildir. Analizdeki tüm değişken parametreler dikkate alındığında, çelik ve bakır borular için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 5 ila 16 cm ve 5-12 cm arasında değişmiştir. Sonuç olarak, büyük çaplı çelik ve bakır borularda sabit bir yalıtım kalınlığı kullanılabilmektedir.

Şekil 1.25'de farklı boru malzemeleri ve çeşitli yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına göre enerji tasarrufunun değişimi gösterilmiştir. Şekil 1.25 (a), çelik borular için en büyük enerji tasarrufu EPS yalıtımı kullanılarak elde edilir sonrasında ise sırasıyla XPS ve taş yünü gelmektedir. EPS, XPS ve taş yünü kullanan 50 mm'lik bir çelik boru için enerji tasarrufu sırasıyla 11.39, 11.25 ve 10.72 $/m-yıl iken, 1000 mm'lik bir boru için bu değerler 160.59, 151.54 ve 163.17 $/m- yıldır. Şekil 1.25 (b), plastik borular için en büyükten en az enerji tasarrufu sırasıyla XPS, taş yünü ve EPS yalıtımları ile sağlanmıştır. Şekil 1.25 (c), bakır borular için ise aynı şekilde sırasıyla EPS, XPS ve taş yünü ile sağlanmıştır. Bununla birlikte, tüm yalıtım malzemeleri için değerler birbirlerine yakındır. Örneğin; 200 mm'lik bir bakır boru için EPS için enerji tasarrufu 159.22 iken, bu XPS için 158.70 ve taş yünü için 157.91 $/m- yıldır.

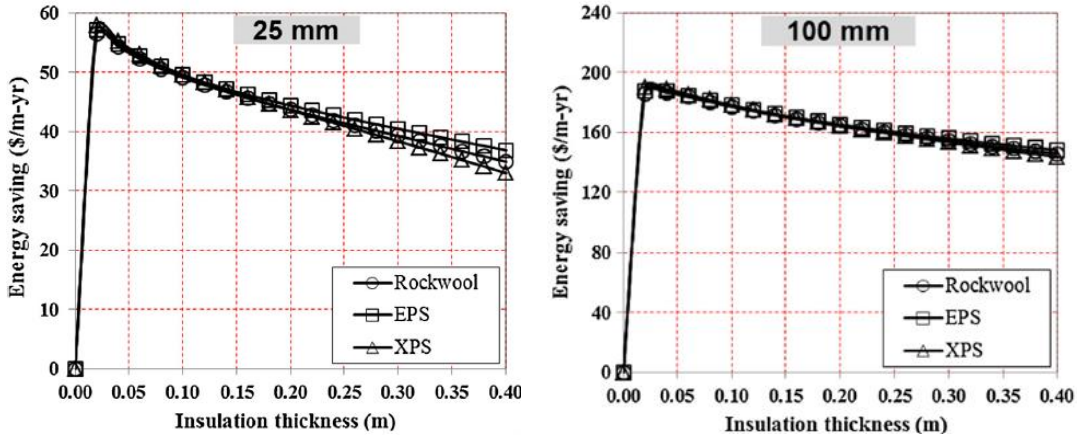
Şekil 1.26'da çelik, plastik ve bakır malzemeler için en küçük ve en büyük boru çaplarında yalıtım ile enerji tasarrufu değişimine göre yakıt tiplerinin karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 1.26 (a)'da görüldüğü gibi çelik borular için yakıtlar arasında en yüksek enerji tasarrufu sağlayan benzindir ve bunu sırasıyla kömür ile doğalgaz takip ediyor. Boru çapı 50 m'den 1000 mm'ye yükseldiğinde enerji tasarrufu yaklaşık 12 kat artmaktadır. Plastik borular için (şek. 1.26 (b)), tüm yakıt türleri için enerji tasarrufu değerleri aynıdır. Bununla birlikte, bu değerler sırasıyla 50 mm ve 200 mm boru çapları için 6-7 ila 8-8,5 $/m-yıl arasındadır. Şekil 1.26 (c)'de gösterilen bakır borular için enerji tasarrufu eğrileri çelik borular için elde edilen eğrilere benzemektedir.



(a)

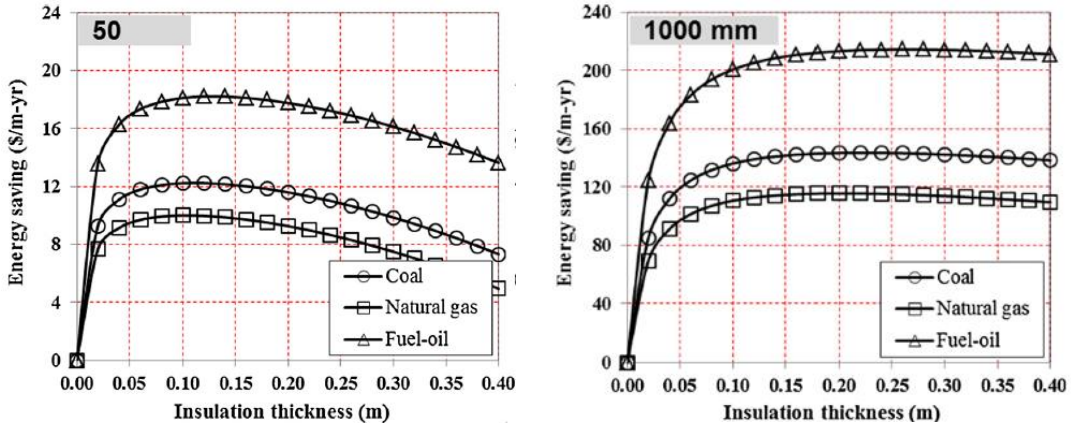


(b)

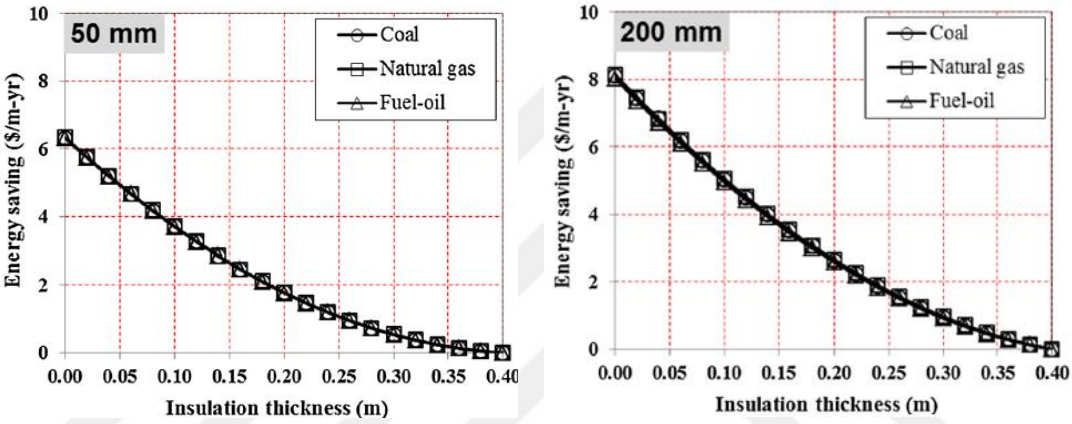


(c)

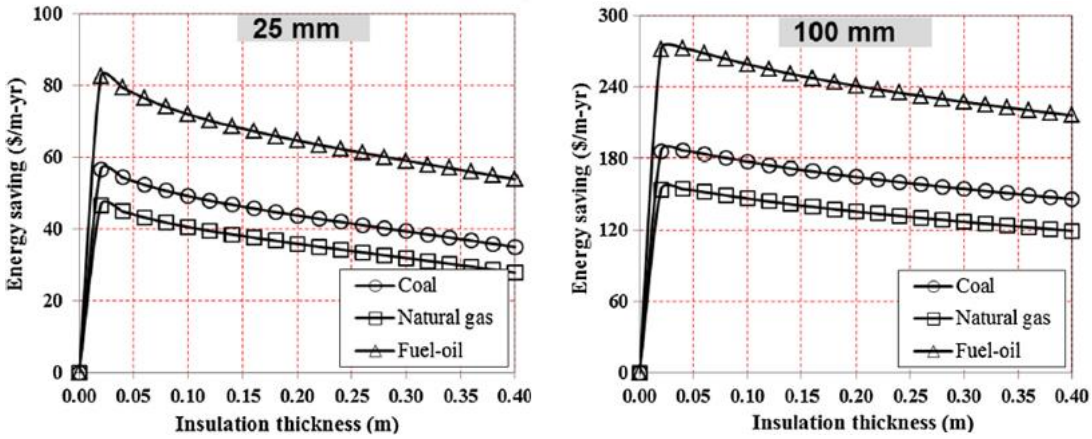
Şekil 1.25 Farklı boru tipleri için yalıtım malzemelerine göre enerji tasarrufu ve yalıtım kalınlığı (a) çelik, (b) plastik, (c) bakır [21]



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.26 Farklı yakıt türleri için taş yünü yalıtım malzemesine göre enerji tasarrufu ve yalıtım kalınlığı (a) çelik, (b) plastik, (c) bakır [21]

Benzer sonuçlara ek olarak, enerji tasarrufu değerleri çok yüksektir. Örneğin; 25 mm'lik bir boru üzerinde 2 cm yalıtım kalınlığı ve kömür için optimum değer ile enerji tasarrufu 82.45 $/m-yıl ve 60.06 $/m-yıl iken, 100 mm'lik bir boru için bu değerler sırasıyla 272.53 $/m-yıl ve 231.80 $/m-yıldır.

1.2 Tezin Amacı

Isı yalıtımı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, yapılmış olan bütün çalışmaların bina ısı yalıtımı üzerine yoğunlaştığı, deniz araçlarının ısı yalıtımları üzerine yapılmış bir çalışmanın literatürde yer almadığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı literatürde çok sayıda mevcut olan binalarda optimum yalıtım kalınlığı hesaplama metodolojisinin Karadeniz, Marmara, Ege, Akdeniz ve Pasifik Okyanusu bölgelerinde seyredecek denizaltılara uyarlanmasıdır. Yalıtım malzemesi olarak cam yünü, taş yünü, poliüretan, genleşmiş polistiren, cam elyaf ve cam köpüğü göz önüne alınmıştır. Bu doğrultuda en yüksek enerji verimliliği ve tasarrufu ile en düşük yakıt maliyetini sağlayan optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapılmıştır. Böylece dış ortamı su olan bir denizaltı yapısı için optimum yalıtım kalınlığının, yıllık tasarruf miktarının ve geri ödeme sürelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Isı yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlanarak daha az yakıt tüketilmekte, böylece çevreye yayılan CO_2 azaltılarak binalarda ilk yatırım ve işletme maliyetleri de azaltılmış olunur. Ek olarak, yalıtım insan sağlığına zararlı olan küf, mantar vb. oluşumları önler. Isı yalıtımının önemi hem ısıl konfor şartlarına verilen değerin artması hem de sürekli azalan enerji kaynakları nedeniyle her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada binalar, yapılar için yapılan yalıtım kalınlığı hesaplarına başka bir boyut kazandırarak denizaltılara uygulanmıştır. Böylece dış ortamı su olan bir yapı için optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç miktarı, geri ödeme sürelerini belirlemek hedeflenmiştir.

2
ISI YALITIM TEKNOLOJİSİ

Teknolojik gelişmeler geçmişten günümüze gelerek insan hayatının değişmesinde önemli rol oynamıştır. Bu doğrultuda bu gelişmeler yalıtım alanında da ilerlemiştir. Geçmişte yapılan ve günümüzde hala mevcut olan binaların çoğu ısı yalıtımı dikkate alınmadan yapılmıştır. Yalıtımın olmaması daha fazla enerji harcanmasına sebep olarak dünyada giderek azalan doğal kaynakların israfına, soğutma veya ısıtma maliyetlerinin yalıtımlı binalara göre gereğinden fazla olmasına sebebiyet vermektedir [22].

Isı yalıtım malzemeleri binalarda, yapılarda ısı kazancını sağlayıp ısı kaybını önleyerek enerji tüketimini azaltan bir teknolojik gelişmenin ürünüdür. Isı iletim katsayısı 0.065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi, bunun dışında kalanlar ise yapı malzemesi olarak ifade edilmektedir. Yalıtım malzemeleri duvar, zemin, çatı vb. yapılara uygulanarak enerji tasarrufu, mahal konfor şartlarını sağlayarak hem insanların sağlığı açısında gerekli olan ortam şartlarını sağlama da hem de enerji kaynaklarının korunmasında önemli bir paya sahiptir.

Isı yalıtım ürünleri genel olarak mineral elyaf, hücresel plastik ve bitkisel veya hayvansal kaynaklı olmak üzere üç gruba ayrılır.

Mineral elyaf ürünleri, geri dönüştürülebilen atıklardan elde edilir. Bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda eritilir, lif haline getirilir ve daha sonra sert levhalar ve yalıtım çubukları oluşturmak için bir bağlayıcı madde eklenir. Uygun koşullarda çıkarılırsa, mineral lif ömrü sonunda tekrar kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir. Örnek olarak taş yünü, cam yünü verilebilir.

Hücresel plastik ürünler yağ türevlidir ve sert poliüretan, fenik, genişletilmiş polistiren ve ekstrüde polistiren içerir. Ürünler gevşek dolgu, sert levhalar ve köpük olarak mevcuttur. Hücresel plastik ürünler geri dönüştürülebilir, ancak

hantal bir işlemdir. Hücresel plastik ürünlerin ömrünün sonunda enerji geri kazanımı için yakılması daha uygundur.

Bitkisel / hayvansal kaynaklı ürünler arasında selüloz lifi, koyunyünü, pamuk ve keten bulunur. Malzemeler yenilenebilir hammaddelerden elde edilebildiğinden, bu ürünler düşük somutlaşmış enerjiye sahiptir. Ürünler lif, çubuk veya sıkıştırılmış tahta şeklindedir. Üretimleri, yangına dayanıklılık ve haşarat istilası olmaması gibi uygun özellikleri sağlamak için kimyasal arıtımı içerir Bu nedenle, yaşamın sonunda, yakma yoluyla enerji geri kazanımı için kullanılması zordur [23].

2.1 Isı Yalıtımının Faydaları

Isı yalıtımının çevreye, ekonomiye, insan sağlığına, konfor şartlarına, yakıt tasarrufu sağlamasına kadar daha birçok olumlu etkileri mevcuttur. Isı yalıtımının başlıca faydalarını ifade etmek gerekirse,

- Büyük miktarda enerji tasarrufu sağlar ve böylece toplam enerji tüketimini azaltarak dünyada var olan ve giderek azalan kaynakların korunmasını sağlar.
- Enerji tüketiminden kaynaklanan ve çevreyi olumsuz etkileyen SO_2 ve CO_2 ve diğer emisyonların salınımını azaltarak çevre kirliliğinin önüne geçer.
- Isı yalıtımlı binalarda ısıtma ve soğutmaya ihtiyaç daha az olacağı nedeniyle ilk kurulum esnasındaki yatırım maliyetleri azalır.
- Ortamda dengeli bir ısı dağılımı oluşturarak insan sağlığı için önemli olan konfor şartlarının oluşmasını sağlar.
- Duvarların iç yüzeylerinde terleme sonucu oluşan küf ve siyah lekeler ortaya çıkmaz ayrıca, sıva veya boya kabarması ihtimali azaltılmış olur.
- Yaşam alanının dış yüzeyinde koruma sağlayarak yapının daha uzun ömürlü olmasını sağlar.
- Zararlı maddelerin çevreye yayılmasını önleyerek çevreyi korur.
- Binalarda yoğuşma oluşumunu engelleyerek korozyonun oluşmasına izin vermez.
- Soğuk iklim koşullarıyla karşılaşan tesisatlardaki suyun donmasını önleyerek tesisat sistemini korur.

2.2 Yalıtım Malzemesi Seçim Kriterleri

- Isıl iletkenlik katsayısı (k) düşük olmalı.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı (μ) düşük olmalıdır.
- Yalıtım malzemesinin yanması durumunda açığa zehirli gazlar çıkarmamalı.
- Yalıtım malzemeleri uygun olan sıcaklık aralıklarında kullanılmalıdır. Yalıtım malzemesinin değişime uğramaya başladığı sıcaklık maksimum kullanım sıcaklığı, alt sınır ise minimum kullanım sıcaklığıdır.
- Kullanma sıcaklık aralığı dışında kullanılan yalıtım malzemelerinde, kalınlık azalması, elyaf yapısında bozulma, şekil bozuklukları, ısıl direnci azaltıcı değişiklikler meydana gelir.
- Tesisat borularında yalıtım yapılırken boru içerisinden geçecek akışkan sıcaklığına göre yalıtım malzemesi seçilmeli. Akışkan sıcaklığına göre,
    - soğuk devreler; Akışkan Sıcaklığı= $T \leq 6$ °C
    - ılık devreler; 6 °C $< T < 100$ °C
    - sıcak devreler; $T \geq 100$ °C

  olarak 3'e ayrılır.
- Yalıtım malzemesi çürümeye, küflenmeye ve korozyona karşı dayanıklı olmalıdır.
- Yalıtım malzemesi nötr olmalı, malzemenin suda çözülebilen klorür, florür, silikat ve sodyum iyonlarının artıkları ve pH değerleri standartlara uygun olmalı. DIN1988.7 ' ye göre çelik borularda klorür miktarı % 0.05'i, bakır borularda nitrat ve amonyak miktarının ise % 0.2'yi geçmemesi gerekmektedir [24].
- Yalıtım malzemesi ekonomik olmalı.

2.3 Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri

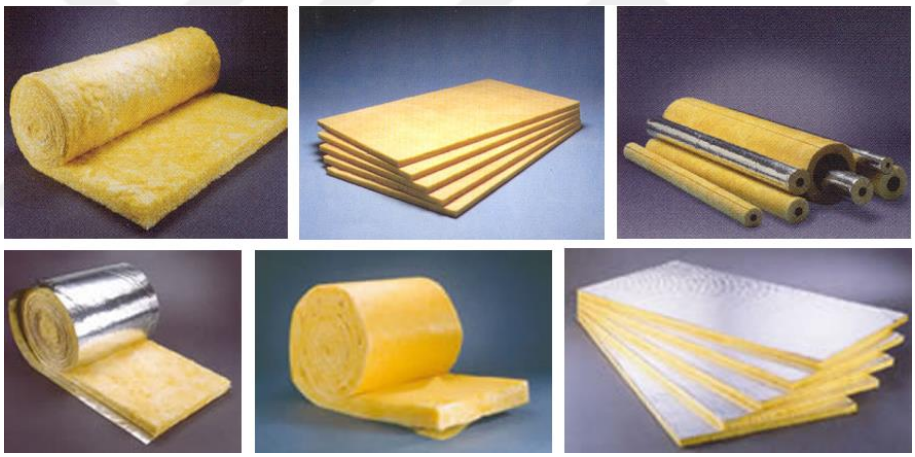
Yapılarda ortam şartlarının korunumu, konfor şartları vb. olanakları sağlamak için çeşitli yalıtım malzemeleri mevcuttur. Gelişen teknoloji sayesinde her alanda olduğu gibi yalıtım malzemelerinde de yeni ve kullanışlı malzeme çeşitliliği

artmaya devam edecektir. Bu çalışma özelinde kullanılan yalıtım malzemeleri de dikkate alınarak malzemelerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.3.1 Cam Yünü

Şekil 2.1'de gösterilen cam yünü, inorganik bir hammadde olan silis kumunun, yüksek basınç altında 1200 – 1250 °C sıcaklıkta ergitilerek, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir.

- Kullanım sıcaklığı -50 ile +250 °C aralığında değişmektedir.
- Yanmazlık sınıfı A1 ve A2 olan bir malzemedir.
- Isıl iletkenlik katsayısı 0,035 – 0,050 W/mK aralığındadır.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 1$'dir.
- Hacimce su emme değeri % 3 - 10 aralığındadır.
- Güneşin yaydığı mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



Şekil 2.1 Cam yünü yalıtım malzemesi [25]

2.3.2 Taş Yünü

Şekil 2.2'de gösterilen taş yünü, inorganik bir hammadde olan bazalt ve diyabaz taşlarının 1350 – 1400 °C sıcaklıklarında, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir.

- Kullanım sıcaklığı -50 / +650 ~ +750 °C aralığındadır.
- Yanmazlık sınıfı A1 ve A2 olan bir malzemedir.
- Isıl iletkenlik katsayısı 0,035 – 0,050 W/mK aralığındadır.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = 1$'dir.

- Hacimce su emme değeri % 2,5 – 10 aralığındadır.
- Basma dayanımı 0,5 ile 500 kPa arasında değişmektedir.
- Güneşin yaydığı mor ötesi ışınlarından etkilenmez.

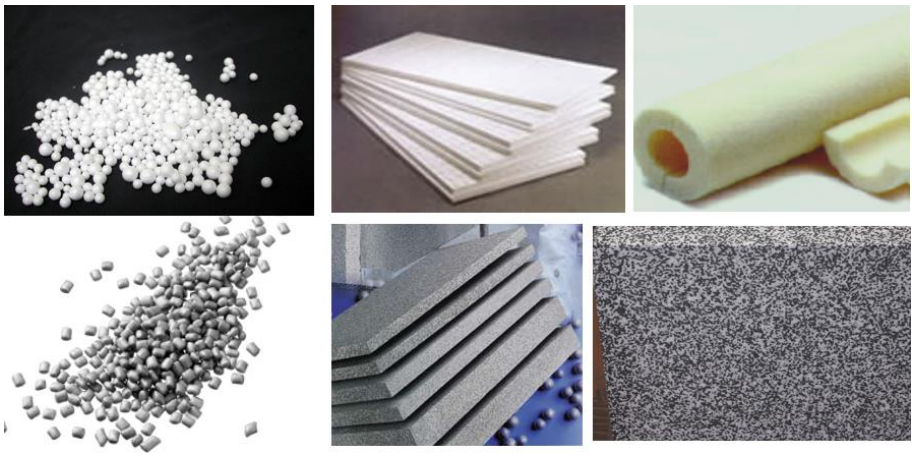


Şekil 2.2 Taş yünü yalıtım malzemesi [25]

2.3.3 Genişletilmiş Polistiren Köpüğü (EPS)

Şekil 2.3'te gösterilen genişletilmiş polistiren köpüğü, polistiren hammaddesinin su buharı ile teması etmesi ile birlikte, hammaddesinde bulunan pentan gazının genleşip büyük bloklar halinde şişirildikten sonra sıcak tel ile kesilmesi sonucu üretilmektedirler. EPS levhalarının ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az 15 kg/m^3 olması gerekmektedir.

- Kullanım sıcaklığı olarak -50 ile +75 ~ +80 °C arasında değişmektedir.
- Yangına tepki sınıfı D veya E'dir.
- Isıl iletkenlik katsayısı 0,035 – 0,040 W/mK aralığındadır.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı μ=20 – 100 aralığında değişir.
- Hacimce su emme değeri % 1,5'dir.
- Basma dayanımı 30 ile 500 kPa arasındadır.
- Güneşin yaydığı mor ötesi ışınlarına karşı oldukça hassastır.

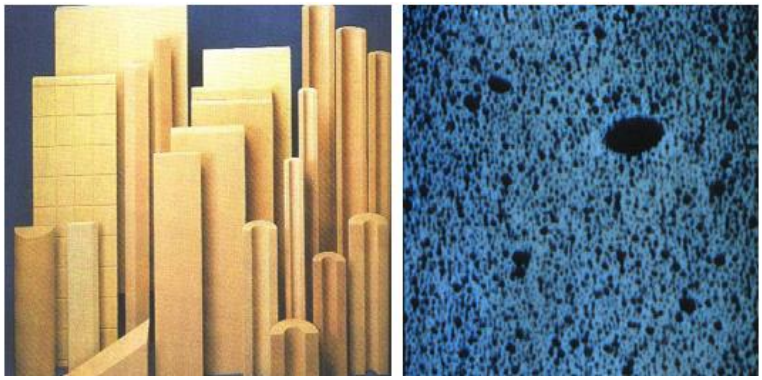


Şekil 2.3 Genişletilmiş polistiren köpüğü yalıtım malzemesi [25]

2.3.4 Poliüretan Köpük

Şekil 2.4'de gösterilen poliüretan köpük, iki ayrı kimyasal bileşenin bir araya getirilmesi ile elde edilir. Bu karışım daha sonra kalıba dökülerek kapatılır. Kimyasal reaksiyon sonucunda genleşerek kalıbı tamamen kaplar ve sıvı halden katı hale geçer. Farklı yoğunluklarda (≥ 30 kg/m^3) levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir.

- Kullanım sıcaklığı olarak -200 ile +110 °C ifade edilebilir.
- Yangına tepki sınıfı E veya F'dir.
- Isıl iletkenlik katsayısı 0,025 – 0,040 W/mK aralığındadır.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı μ = 30 – 100 aralığında değişir.
- Hacimce su emme değeri % 3,5'dir.
- Basma dayanımı 25 ile 800 kPa arasındadır.
- Güneşin yaydığı mor ötesi ışınlarına karşı oldukça hassastır.



Şekil 2.4 Poliüretan köpük yalıtım malzemesi [26]

2.3.5 Cam Köpüğü

Şekil 2.5'te gösterilen cam köpüğü yalıtım malzemesi, hücresel dolgu malzemesi ile birleştirilen atık cam kırıklarından oluşmaktadır. Bu iki bileşen bir kalıpta toplanarak takribi 510 °C'ye kadar ısıtılır ve ısıtma işlemi boyunca kırılmış cam taneciklerinin eriyip sıvı hale geçmesi sağlanmaktadır. Bileşenlerden biri olan hücresel dolgu malzemesinin ayrışması ile birlikte karışım genleşip kalıbı doldurur. Karışımın çok sayıda birbirine bağlı, üniform ve kapalı hücreler oluşturmasıyla yoğunlukları değişen (100 – 150 kg/m^3) cam köpüğü yalıtım malzemesi elde edilmiş olur.

- Kullanım sıcaklığı -260 / +430 °C aralığındadır.
- A sınıf yanmazlık derecesine sahiptir.
- Isıl iletkenlik katsayısı 0,045 – 0,060 W/mK aralığındadır.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu = \infty$ 'dur.
- Hacimce su emme değeri % 0'dır.
- Basma dayanımı 430 ile 8800 kPa arasında değişmektedir.
- Kimyasal maddelere karşı dayanımı yüksektir.
- Güneşin yaydığı mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



Şekil 2.5 Cam köpüğü yalıtım malzemesi [26]

2.3.6 Cam Elyaf

Şekil 2.6'da gösterilen cam elyaf, eritilmiş haldeki camın çok küçük deliklerden akıtılıp daha sonrasında sertleştirilmesi ile üretilir. Cam elyaf, özelliklerin

iyileştirilmesi için takviye elemanları ile harmanlandıktan sonra 1400 °C'ye çıkan fırında eritilir. Eritme işleminde sonra elyaf haline getirilen cam elyafa çeşitli kimyasal kaplamalar uygulanarak aşınma ve kopma direnci arttırılır.

- A sınıfı yanmazdır.
- Elektriği iletmez.
- Esnek, çekme, gerilmeye dayanıklıdır.
- Korozyona, çizilmeye ve bozulmaya karşı dirençlidir.
- Yağış ve sıcaklık değişiklikleri etkisi altında deforme olmaz.



Şekil 2.6 Cam elyaf yalıtım malzemesi [27]

2.4 Düzlemsel Duvarlarda Yoğuşma

Su buharının difüzyonu sonucu oluşan yoğuşma, yapı malzemelerindeki ısı transferini olumsuz yönde etkiler. Yoğuşma, ortam havası ile temasta bulunan bir yüzey, cisim veya maddenin sıcaklığı, bulunduğu ortam havasının çiğ noktası sıcaklığının altında ise oluşur. Yapı elamanı üzerinde yoğuşan su buharı yüzeyde terleme meydana getirir ve bunun sonucunda su buharının bir miktarı da malzemenin içine girer. Yapı malzemesinin içine giren su buharı kısmi basıncı, duvar yapısını oluşturan diğer katmanlarda herhangi bir yüzey sıcaklığındaki su buharı doyma basıncına eşit olduğunda iç yüzeyde yoğuşma başlar. Yapı içinde yoğuşan suyun bulunduğu bölge sıcaklığı 0 °C'nin altında kalırsa yoğuşma sonucu oluşan su donar, yoğuşmayan su buharı ise yapı elemanını terk eder ve dış ortama ulaşır [28].

Yapı elemanı yüzeyinde meydana gelen yoğuşma, küflenme, korozyon, çürüme ve bunların oluşturduğu kötü kokular insan sağlığına ve ortam konfor şartlarına ciddi zararlar verirken yapı malzemesinde de hasara sebep olur. Yapı elemanı arasında meydana gelen yoğuşma ise, yapı kolonlarında paslanma ve dayanımın zamanla azalması sonucu bina ömrü azalmasına ve deprem dayanımının olumsuz yönde

etkilenmesine sebep olur. Bu nedenle yoğuşma kontrolü son derece önemlidir. Yalıtım malzemesi veya genellemek gerekirse yapı elemanlarının iç kısımlarında oluşan su birikintileri belli bir süre ile dışarı atılabiliyorsa yapıya herhangi bir zararı olmaz. Ancak gereğinden fazla (1 kg/m^2) meydana gelen ve zamanla buharlaşıp yok olmayan yoğuşma malzemenin yalıtım özelliğini kaybetmesine sebep olur [10].

2.4.1 Yoğuşmaya etki eden parametreler

- Ortam sıcaklığı (T_a), mahal sıcaklığını ifade eder.
- Bağıl nem (Φ), havadaki su buharı kısmi basıncının, aynı sıcaklıkta doymuş havadaki su buharı kısmi basıncına oranıdır.
- Malzemenin hücre yapısı, açık gözenekli ise fazla su emer ve ıslanma gerçekleşir, kapalı gözenekli ise su emme durumu ihmal edilir ve ıslanma gerçekleşmez şeklinde ifade edilebilir.
- Isıl iletkenlik katsayısı (λ), malzemelerin ısıyı ne kadar ilettiğini ifade eder.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı (μ), malzemelerin su buharı geçişine karşı gösterdikleri direncin, havanın su buharı difüzyon direncine oranıdır. μ'nın küçük değeri alması yalıtım malzemesi yapısının açık gözenekli olduğunu, büyük değerde olması ise kapalı gözenekli olduğunu ifade eder. Su buharı difüzyon direnci 1 ile +∞ (sonsuz) arasında değerlenir. ∞ (sonsuz) değerini alması malzemenin su buharını hiç geçirmediği anlamını taşır. (Örneğin; çelik, alüminyum, bakır vb. metaller). Su buharı difüzyon direncinin 1 değerini alması ise malzemenin su buharını tamamıyla geçirdiğini ifade eder.
- Malzemelerin su buharı difüzyonuna karşı gösterdiği direnç, μ ve x ile doğru orantılıdır. S_d değeri malzemelerin su buharı geçişine karşı gösterdiği dirence eşdeğer direnci gösteren hareketsiz hava tabakasının kalınlığı olmakla beraber,

  $$S_d = \mu \cdot x \qquad (2.4.1)$$

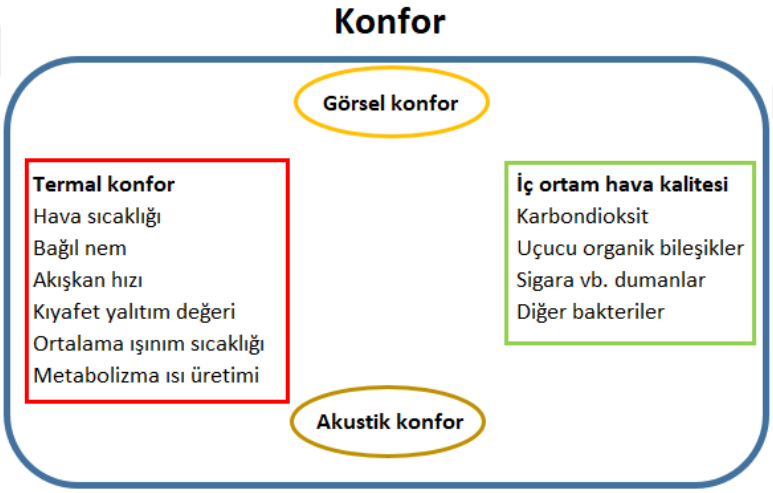
  ile ifade edilmektedir.

Binalarda, tesisatta meydana gelebilecek yoğuşma ısı yalıtımı uygulamaları ile önlenebilir. Her yalıtım malzemesi yoğuşmayı önlemeyeceği için şartlara uygun

malzeme seçiminin önemi kritiktir. Seçilen malzeme yeterli su buharı difüzyon direncine sahip olmalıdır veya düşük değerdeki yalıtım malzemesinin kullanımı zorunlu ise üzeri su buharı geçişine karşı yüksek dirençte olan kaplamalar ile tamamen kaplanması gerekmektedir. Bunun dışında doğru yalıtım malzemesi ve yeterli kalınlık uygulanmalıdır [29].

2.5 Konfor Şartları

Isıtma-soğutma uygulamalarında insanların konforlu bir şekilde yaşayacakları ortamı oluşturmak en dikkat edilmesi gereken şartlardan bir tanesidir. Şekil 2.7'de de gösterildiği gibi konfor ifadesi, insanın psikolojik, fizyolojik, kültürel ve sosyal olarak kabul edilebilir memnuniyet durumunda olması şeklinde ifade edilebilir. Isıl konforun en önemli ve birinci şartı insan vücudu ile çevre arasında ısıl dengenin olması durumudur Isıl konfor şartları için iki farklı standart kabul görmektedir. Bunlar, Avrupa'da ISO 7730 ve Amerika'da ise ASHRAE Standart 55'dir [30].



Şekil 2.7 Standartlara göre konfor şartları [30]

Konfora etki eden çevresel parametreler; sıcaklık, nem, hava hızı, ortalama ışıma sıcaklığı, hava temizliği, aydınlatma, ses seviyesi gibi birçok etkenken, kişisel faktörler ise metabolik sıcaklık ve giyim tarzıdır. Bu ifadelerden bazıları hakkında kısa bir bilgilendirme yapılacak olursa:

- Sıcaklık, ısıtma sezonunda 20–24 °C, soğutma sezonunda ise 23–26 °C aralığında olmalıdır. Yaz aylarında dış ortam ile iç ortam arasındaki sıcaklık

farkı da insan konforunda önemlidir. Bu nedenledir ki büyük mekanlarda ortam şartlandırması yapılırken sıcaklıklar belli bir kademe ile düşürülerek gerçekleştirilir. Sıcak bir yaz gününde dış ortamdan bir mahale girildiğinde sıcaklık farkı maksimum 8 derece olacak şekilde ayarlanır. Sonrasında mahal içerinde ilerledikçe bu 8 derecelik farklar ile sıcaklık düşürülmesi devam eder. Böylece ani bir sıcaklık değişimi, izin verilen maksimum sıcaklık farkı olan 8 derecenin üzerinde, esnasında insan vücudunun göstereceği kan basıncı düşmesi, ani üşüme vb. gibi hislerin oluşmasını engeller.

- Nem, havada bulunan su buharı oranıdır. Konfor şartlarının sağlanabilmesi için ortamdaki nem miktarı % 45-55 oranında olmalıdır. İç ortamda havanın nemi kışın ısıtma sezonunda düşük, yazın ısıtma sezonunda yüksektir. Ortamdaki nem miktarı gereğinden az olursa, ciltte kurumaya, öksürüğe, nefes darlığına yol açar. Nemin gereğinden fazla olduğu durumunda ise, nefes alıp verirken zorlanmaya, bunalmaya ve duvarlarda küf oluşumuna sebep olabilir.
- İç ortamdaki hava hareketleri ısıl konforu sağlamada önemli bir parametredir. İnsan vücudundan ısı kayıp hızının kontrol edilmesi ortamdaki hava hızına bağlıdır. Mahallerdeki hava hızı 0.1 ile 0.35 m/s arasında olmalıdır. Hava hızı kış aylarında ısıtma şartları sağlanırken yüksek, yaz aylarında soğutma şartları sağlanırken düşük olmalıdır.
- Ortalama ışıma sıcaklığı, insanlarla çevre yüzeyler arasında ışınım (radyasyon) yoluyla meydana gelen ısı transferini bildirmek üzere, çevre yüzeylerin sıcaklıklarının birleşik etkisini ifade eden bir sıcaklıktır. İnsanın mahaldeki bulunduğu yere, duruş tarzına ve çevre yüzeylerin sahip olduğu sıcaklığına bağlıdır.
- Mahal duvarlarının ortalama iç yüzey sıcaklığı konforu etkileyen önemli parametrelerdendir. Bu sıcaklık, insan vücudundan çevreye ışınım yoluyla olan ısı kaybıyla ilintidir. Konfor şartlarına göre, yapının duvar yüzeylerinin ortalama sıcaklığı, iç ortam sıcaklığında yaz koşullarında en fazla 2–3 °C yüksek, kış koşullarında en fazla 2–3 °C düşük olmalıdır [29]. Bu değerlerin sağlanıp insanların yaşayabileceği konfor şartları ve mahalin her

noktasında homojen bir sıcaklık dağılımının oluşturulması ancak yalıtım yoluyla mümkün olabilir.

- İnsanlar yaptıkların işin çeşidine, temposuna, iş yapış şekillerine, yaptıkların işin zorluğuna göre farklı miktarlarda oksijen tüketirler. Oksijen tüketmenin sonucu karbondioksit üretmektedir. Ortamda bulunan karbondioksit insanlar açısından zehirleyici değildir ancak bu fazlalık ortamda yetersiz havalandırmanın olduğunun ispatıdır. Bu nedenle konfor şartlarını sağlamak amacıyla ortamının taze hava ile havalandırılması ile birlikte hem oksijen seviyesinin arttırılması hem de ortamdaki toz, koku, mikrop gibi yabancı maddelerin dışarı atılması sağlamış olur [31].

3
DENİZALTILAR VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Denizaltılar (Şekil 3.1), su altında ve üzerinde hareket edebilen inanılmaz bir teknolojik altyapıya sahip deniz araçlarıdır [32]. Deniz yüzeyinde hareket edebildiği gibi denizaltında da rahatça hareket edebilen ve su altında iken yönlerini pusula ile bulan bu devasa ve heybetli gemiler ilk başta denizin dibini keşfedebilmek, canlı yaşamını araştırmak amacıyla tasarlanan araçlar sonrasında askeri alanda önem kazanmış ve savaşlarda denizlerin güvenliği denizaltılar ile sağlanmıştır.



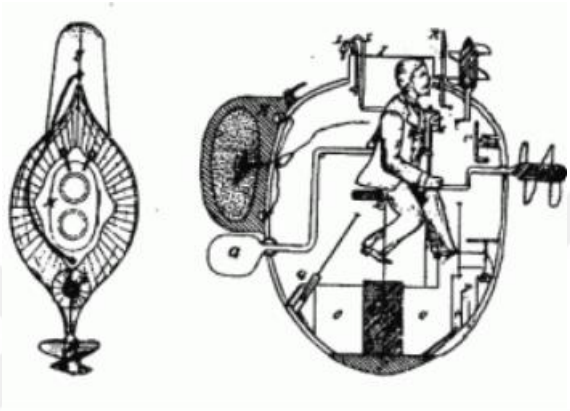
Şekil 3.1 Modern günümüzden bir denizaltı [33]

Denizaltıların tarihi çok eskilere yaklaşık 16.yüzyıla kadar dayanan ve günümüze ulaşan geniş bir çerçeveye ulaşmaktadır. İlk tasarıma ait kanıtlar Leonardo Da Vinci'nin 1500'lü yıllarda yaptığı çizimlere dayanmaktadır.

William Bourne tarafından 16. Yüzyılın sonlarına doğru yapılan çalışmalar sonucunda denizaltının su yüzeyine batıp çıkabilmesi için günümüzde de kullanılan safra tanklarını ortaya koymuştur. Denizaltılar su altına dalabilmesi için safra tanklarını doldurması, su yüzeyine çıkabilmesi için ise safra tanklarını boşaltılmasını gerektiğini öngörerek günümüz yapılarına ışık tutmuştur. Bu tarihe kadar yapılan çalışmaların hiçbiri kağıt üzerinden ileriye gidememiştir. İlk olarak ortaya somut bir şekilde çıkan denizaltı Hollandalı mucit Cornelius Drebbel

tarafından icat edilmiştir. Ahşap bir kayığının dış yüzeyini deri ile kaplayarak oluşturduğu bu tasarım ile denizin altına yaklaşık 4-5 metre inebilmeyi başarmıştır.

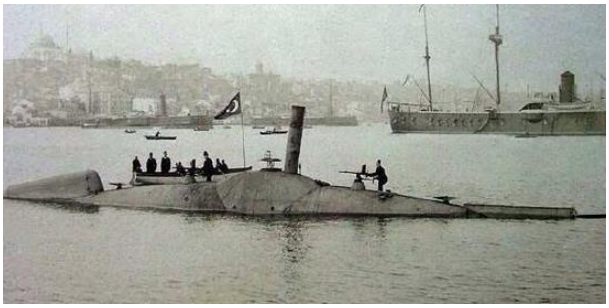
Askeri amaçla tasarlanıp kullanılan ilk denizaltı ise Amerikalı David Bushnell tarafından icat edilmiştir (Şekil 3.2). Günümüzdeki görüntüsünden çok yuvarlak ve tek kişilik tasarlanan bu denizaltı mekanik bir yapısı olmadan el ile döndürülen pervaneler ile çalışmakta idi.



Şekil 3.2 David Bushnell tarafından icat edilen tek kişilik denizaltı [34]

Denizaltılara gösterilen ilgi onların geliştirilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Bu amaçla Amerikalı John Holland 1881 yılında bir tasarım geliştirerek şimdiye kadar yapılan çalışmaları bir adım öteye götürmüştür. Holland, su yüzeyinde iken benzinli bir motor ile, suyun altına indiğinde ise elektrikli motor ile çalışıp, hareket eden bir denizaltı icat etmiştir (Şekil 3.3). Bu yapı birçok ülke tarafından beğenilmiş ve ürettirilmiştir.

Geçmişten, yaklaşık 1500'lü yıllardan günümüze kadar git gide gelişerek gelen denizaltılar artık suyun altında bir aya kadar kalmaktadırlar [35].



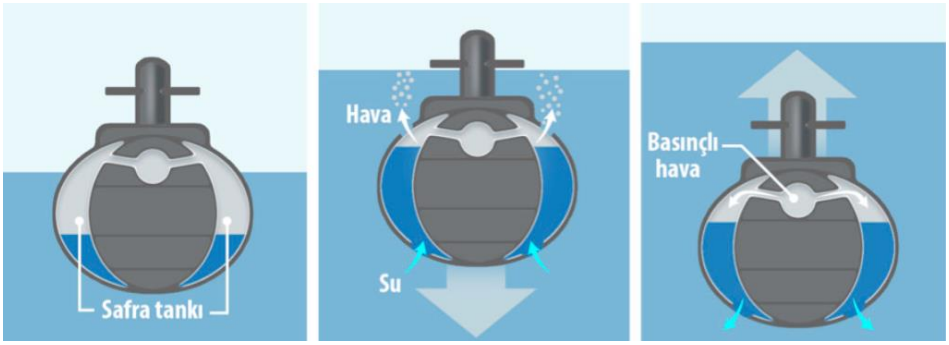
Şekil 3.3 Abdulhamit denizaltısı (1886) [36]

3.1 Denizaltıların Çalışma Prensibi

Sıvı içerisine bırakılan bir cisim sıvıda yüzer, askıda kalır veya batar. Bu durum, cisim ile içine bırakıldığı sıvının yoğunluğu ile ilişkilidir. Sıvının hacmi, derinliği veya cismin ağırlığı, kütle ve şeklinin bir cismin suda yüzmesinde, batmasında veya askıda kalmasında herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun durum sadece, cismin ve sıvının yoğunluk farklarından kaynaklanmaktadır.

Sıvı içerisine bırakılan cisimlerin sıvının yüzeyinde yüzmesi cismin sahip olduğu yoğunluğun sıvınınkinden küçük olması sebebiyledir. Cismin sıvı içerisinde askıda kalma durumu ise cismin yoğunluğunun sıvının yoğunluğuna eşit olması halinde gerçekleşir. Askıda kalma durumu cismin tamamen sıvı içerinde, sıvı yüzeyi ile tabanı arasında bulunması halidir. Hem yüzme hem de askıda kalma durumlarında cisme uygulanan kaldırma kuvveti cimin ağırlığına eşit ve sistem dengededir. Cismin yoğunluğunun, sıvının yoğunluğundan büyük olması durumunda ise batma olayı gerçekleşir. Cismin yoğunluğu daha fazla olduğundan dolayı suyun kaldırma kuvveti cismin ağırlığından düşüktür ve böylece cisim tabana oturur.

Denizaltıların da batma ve yüzme olayları yukarıda belirtilen fizik kurallarına göre gerçekleşir. Şekil 3.4'te de gösterildiği gibi denizaltıların sudaki konumu yoğunluk ayarını gerçekleştiren safra tankları sayesinde belirlenmektedir. Bu tanklar denizaltıların su yüzeyine çıkma ve su içerisine dalma durumlarına göre hava veya su ile doludur. Denizaltı suya dalmak istediğinde safra tanklarında bulunan üst ve alt kapaklar açılır. Üst kapaktan tank içerisinde bulunan hava dışarı atılırken, alt kapaktan tankların içine su dolar. Tank içerisindeki su miktarı arttıkça denizaltı suyun derinliklerine iner. Denizaltının yüzeye çıkması için de tanklardaki suyun bir kısmı basınçlı hava veya elektrikli pompalar ile dışarı atılır. Safra tanları hava ile dolan denizaltının yoğunluğu sıvının yoğunluğundan daha düşük hale gelerek önce yukarıya doğru yükselmeye başlar sonrasında ise su yüzeyinde kalır [37].



Şekil 3.4 Denizaltının batma ve su yüzeyine çıkması durumu [37]

3.2 Denizaltılarda Tahrik Sistemleri

Denizaltılar amacı gereği uzun süreler sualtında kalmasıdır ve ilk dönemlerde kullanılan mekanik tahrikli motorların çalışabilmesi için oksijen gibi yanıcı bir gaza gereksinimleri vardır. Bu nedenle denizaltılar belirli aralıklar ile su yüzeyine çıkıp gerekli olan oksijeni alması gerekmektedir. Ancak su üstüne çıkma mecburiyeti denizaltıların en önemli özelliği olan gizlilik için çok büyük riskler oluşturmuştur. Bu nedenle yeni ve denizaltıların var olma amacına uygun tahrik sisteminin geliştirilmesi gerekliliği ciddi önem kazanmıştır. 1950'ler ile birlikte dıştan yanmalı bir Stirling Motoru sayesinde denizaltı gibi su taşıtlarının sualtında daha uzun süre görevini yerine getirebilmesini sağlamak için geliştirilen güç üretme sistemi olan 'Havadan Bağımsız Sistemler' denizaltıların sorunlarına çözüm olmuştur [38].

3.2.1 Konvansiyonel denizaltılar

Nükleer güç sistemlerine sahip olmayan dizel elektrik tahrikli denizaltılar genel olarak konvansiyonel denizaltılar olarak ifade edilmektedir. Nükleer varyasyonlu denizaltı türlerine göre daha kısa süre sualtında kalabilen konvansiyonel denizaltılar daha küçük çapta ve yüksek gizlilik gerektiren operasyonlarda son derece kullanışlıdırlar.

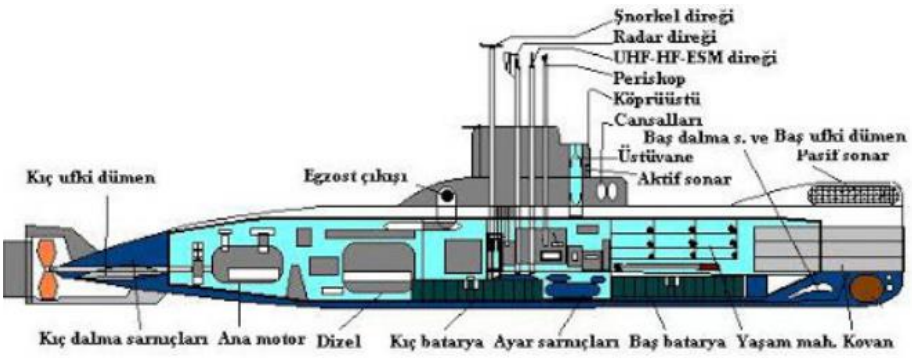
3.2.1.1 Dizel-elektrik sistemli denizaltılar

Dizel-elektrik güç tekniği en basit tahrik sistemine sahip denizaltılardır. Küçük boyutları, yüksek manevra kabiliyetleri ve sessiz olmaları en büyük avantajlarındandır. Otomobil, kamyonlar vb. için kullanılan benzinli ve dizel motorlar çalışmaları için havadaki oksijene ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle

denizaltının tamamen sualtında bulunduğu bir başka deyişle havanın olmadığı durumlarda dizel veya benzinli motoru kullanması mümkün değildir [39].

Dizel-Elektrik denizaltılarda içten yanmalı dizel motorlar vasıtasıyla güç üretilmektedir. Dizel motorlar havadaki oksijeni motorin ile yakarak enerji üretir. Elde edilen bu dönme enerjisi ise alternatörler ile elektrik enerjisine çevrilir. Dizel motorların sağladığı elektrik enerjisi denizaltı pervanesine döndürerek denizaltının hareket etmesini sağlar. Ayrıca elde edilen enerji denizaltıları bir hafta kadar su altında görev yapabilmesini sağlayan bataryaların şarj edilmesinde kullanılır. Dizel-elektrik denizaltılarda batarya olarak genellikle kurşun-asit bataryalar kullanılsa da gelişmiş ve modern olanlarda diğerine kıyasla daha hafif ve düşük şarja sahip olduğu durumlarda bile yüksek güç çıkışı sunabilen lityum-iyon bataryalar kullanılmaktadır.

Dizel motorların çalışması için gerekli oksijen denizaltı su üzerinde veya su altında bulunduğu durumlarda şnorkel ile alınmaktadır. Ancak denizaltının su altında seyir ettiği dönemde şnorkel ile su üzerinden hava çekmeye çalışması, denizaltı konumunun rahatlıkla tespit edilebilmesine sebep olur. Bu nedenle denizaltılar yerlerinin tespit edilmemesi için su altındayken su üzeri ile olan bağlantısını keser. Bağlantı kesildiğinde ise dizel motorların çalışması için gerekli olan hava-oksijen sağlanamamış olur. Dizel motorun direkt kullanılamadığı bu gibi durumlarda denizaltılar dizel motorlar tarafından daha önce şarj edilen bataryalar sayesinde hareket eder. Bataryalar denizaltının hareketini sağlamasının dışında gerekli diğer sistemlere de elektrik sağlamaktadır. Dizel motor bataryaları tamamen şarj ettikten sonra, denizaltı motorunu kapatabilir ve tamamen batarya gücüne dayanarak sualtında gidebilir [40].



Şekil 3.5 Dizel-elektrik denizaltı [40]

3.2.1.2 Havadan bağımsız tahrikli dizel-elektrik sistemli denizaltılar

Havadan bağımsız tahrik sistemi, yalnız başına bir denizaltı tahrik sistemi olarak ifade edilmez. Dizel-elektrik tahrik sistemine ek olarak denizaltının su üstü ile ilişiğini keserek sualtında daha uzun süre seyir edebilmesine olanak sağlar. Su üstünde iken dizel veya benzinle çalışarak denizaltıya bütünleşmiş bataryaları şarj eden içten yanmalı motor sistemi sualtında devre dışı kalarak bataryalarda depolanan enerjiyle elektrikli ana tahrik motorlarını çalıştırarak sevke devam etmektedir.

Havadan bağımsız tahrikli dizel-elektrik sistemli denizaltılarda yakıt pili sistemi kullanılır. Bu sistemde kimyasal tepkime ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Ayrı ayrı depolanan hidrojen ve oksijen gazları tepkimeye girebilmesi için aynı ortama alınır. Gerçekleşen tepkime sonucu ortaya elektrik enerjisi, ısı ve su çıkmaktadır. Böylece elde edilen elektrik enerjisi hareketi sağlayacak pervanenin motoruna iletilir ve denizaltının ilerlemesi gerçekleştirilmiş olur.

Tepkimenin gerçekleşmesi için gerekli olan hidrojen ve oksijen gazlarının depolandığı tanklar denizaltılarda ciddi bir yere sahiptirler. Bu durum hem denizaltının ağırlığının artmasına hem de yaşam ortamının daha da azalmasına sebep olur. Bu sebeple havadan bağımsız tahrikli dizel-elektrik denizaltılar standart dizel-elektrik denizaltılardan daha ağır, daha büyük ve de daha pahalıdırlar. Ancak bunun yanında yakıt hücrelerinin ürettiği ek elektrik enerjisi sayesinde standart dizel-elektrik denizaltılara kıyasla çok daha uzun bir süre boyunca su altında konumlanabilirler.

Dizel-elektrik denizaltılar dış ortam ile ilişki kurmadan bir haftaya yakın bir süre kadar su altında bulunabilirken, havadan bağımsız tahrike sahip dizel-elektrik denizaltılar takribi yirmi gün boyunca su altında dış ortam ile temas kurmadan kalabilmektedir. Arada bulunan ortalama 14 günlük fark havadan bağımsız tahrikli dizel-elektrik denizaltıya sahada çok büyük operasyonel avantaj sağlamaktadır. Avantajları ifade etmek gerekirse, gürültüsüz çalıştığı için sessiz hareket eder ve oksijen almak için dış ortama ihtiyaç azalacağı için yer tespiti diğerine göre zorlaşır ve denizaltıların asıl amacı olan görünmezlik sağlanarak savaş durumlarında fark edilmesi zorlaşır. Bu sebeplerle havadan bağımsız tahrikli

dizel-elektrik denizaltılar, nükleer denizaltılara sahip olamayan ancak yeterli bütçeye sahip olan donanmaların gözdesi durumundadır [41-42].

3.2.1.3 Stirling motoru

Stirling motoru havadan bağımsız tahrik sisteminde sahip dıştan yanmalı bir motor çeşididir. Motorun pistonlarına dışarıdan ısı verilir. Genleşen ve sonrasında soğuyan hava etkisiyle pistonlar hareket ettirilir ve elektrik enerjisi üretilir. Ortaya çıkan elektrik ile denizaltı pervanesi döndürülür ve denizaltının hareketi sağlanmış olur.

Stirling motoru dizel yakıtın oksijen ile yakılması sonucu elde edilen ısıyı kullanmaktadır. Dizel-elektrik denizaltılardan farklı olarak gerekli olan oksijen hava yerine sıvı oksijen tanklarından sağlanmaktadır. Dizel-elektrik denizaltılara kıyasla Stirling motoruna sahip denizaltılar yaklaşık bir hafta daha fazla bir süre su altında konumlanabilirler.

Stirling motorlu havadan bağımsız tahrik sistemi, yakıt hücreli havadan bağımsız tahrik sistemi ile kıyaslandığında sistem ekipmanları daha az yer kaplar, ağırlığı düşük, çok daha hafif, ucuz ve sistemi basittir. Ancak bunların yanında çevreye daha fazla gürültü ve titreşim yaydığı için yerleri kolay tespit edilebilir [43].

3.2.1.4 Kapalı devre buhar türbini

Kapalı devre buhar türbin sisteminde, oksijen ile etanolün yakılıp su buharının oluşturulması ile birlikte ortaya çıkan buharın da türbinden geçirilerek tahrik sağlaması amaçlanmaktadır. Buhar türbinlerinin çalışabilmesi için enerjiye gereksinim vardır ve bu enerji suyun ısıtılıp buhara dönüştürülmesiyle elde edilmektedir. Isıtma işleminin gerçekleştirilmesi için ek bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Nükleer enerjili denizaltılarda suyun buhara dönüştürülmesi işlemi reaktörlerden sağlanan ısı ile gerçekleştirilmektedir. Kapalı çevrim buhar türbinine sahip denizaltılarda ise buharlaştırma işlemi için gereken enerji Fransız MESMA (Otonom Denizaltı Enerji Modülü) ile sağlanmaktadır. MESMA enerji kaynağı olarak etanol ve oksijeni kullanmaktadır. Türbinde kullanılan akışkan, oksijen ve etanolün yanması sonucu ortaya çıkan buhardır. Böylece kullanılan tertibat sayesinde yüksek basınçlı yanma ile ortaya çıkan atık karbondioksit kompresör kullanmadan denize atılmış olur [43].

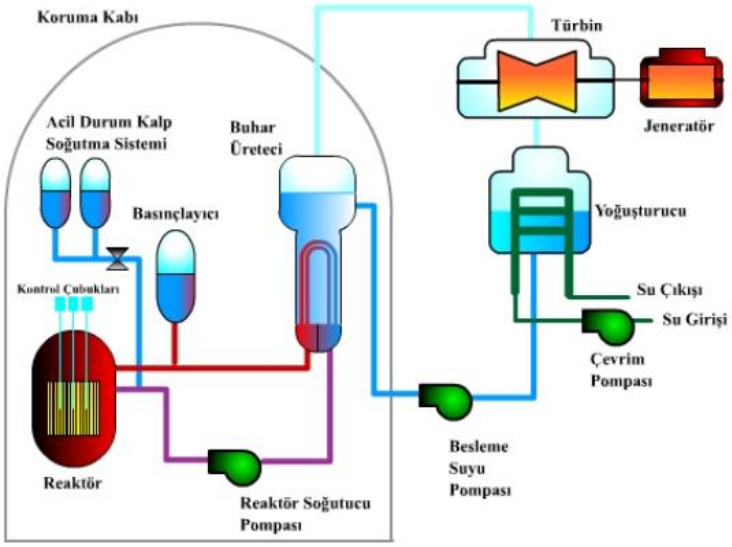
3.2.2 Nükleer denizaltılar

Nükleer tahrikli denizaltılar dünyanın en büyük denizaltıları olarak bilinmektedir. Diğer tahrik sistemlerine sahip denizaltıların üretebildiği gücün verimi düşünüldüğünde büyüklük ve ağırlıkların fazla olması onların elverişli olmasını engellemektedir. Nükleer denizaltılarda ise sınırsız denebilecek miktarda güç üretimi sağlandığı için onları en büyük yapmaktadır [44].

Okyanuslarda uzun süre görev alabilecek modern askeri denizaltıların çok büyük bir kısmı dış dünya ile bağlantılarını koparmak için nükleer enerjiyle çalışmaktadır. Nükleer santraller gibi, denizaltıların da küçük nükleer reaktörleri vardır ve çalışması için havaya ihtiyaç duymadıkları için, ister yüzeyde ister derin su altında olsun, elektrik motorlarını ve pervaneleri döndürmek için güç üretebilirler.

Belirtilen sistem nükleer reaktörler sayesinde ortaya çıkan ısı enerjisinden buhar türbinlerini çalıştıracak düzeyde yüksek basınçlı buharın elde edilmesi ve pervanelerin döndürülmesiyle çalışmaktadır. Ayrıca denizaltılardaki diğer sistemlere gerekli olan elektrik enerjisi de aynı yöntem ile sağlanabilmektedir. Denizaltıdaki reaktörler yaklaşık % 20 gibi çok yüksek bir oranda nükleer yakıt kullanmaktadır. Böylece karadaki versiyonlarına göre daha küçük boyuta sahip bir reaktörden uzun süre ikmal gerekmeksizin enerji tedarik edilebilmektedir. Bu tür denizaltılar sahip oldukları nükleer yakıtlarını zarar görmeden çok uzun yıllar boyunca taşıyabilmektedir.

Nükleer denizaltıların boyutları ve ağırlıkları sahip oldukları reaktörün ürettiği muazzam güç nedeniyle oldukça büyüktür. Büyük boyutları sebebiyle devasa olarak tabir edilebilecek nitelikteki balistik füzelerden onlarca taşıyabilmeleri ve ayrıca aylarca su üzerine çıkmadan görev alabilmeleri nükleer denizaltıları tam bir savaş makinası yapmaktadır [45].



Şekil 3.6 Denizaltılarda nükleer reaktör sistem şeması [38]

Nükleer denizaltıların avantajları,

- 20 yıla varan yakıt ömrüne sahiptir.
- Rakipsiz silah taşıma kapasitesine sahiptir.
- Su altındayken diğer denizaltılara kıyasla çok daha hızlı seyredebilen denizaltılar bu konuda rakipsizdir. Ayrıca diğer denizaltılara kıyasla çok daha derine dalabilirler.
- Nükleer denizaltılar sahip olduğu oksijen ve temiz su üretim sistemleri sayesinde ek bir su ve oksijen depolama sistemine gerek duymaz ve böylece iç hacimde azalma sağlanmış olur.
- Nükleer denizaltıların dezavantajları ise,
- Nükleer denizaltıların motorları hiçbir zaman duramaz. Diğer denizaltılar gibi herhangi bir tehdit algılandığında tespit edilmemek amacıyla motoru kapatıp sessizlik sağlayamaz. Çünkü nükleer reaktör sürekli soğutmaya ihtiyaç duyar ve yaydığı ısı zaman zaman suya salınarak soğutma sağlanır. Salınan ısı, denizaltının çevresinde bir sıcak alan oluşur ve bunun sonucunda yer tespitinin kolaylıkla sağlanabilmesine olanak vermektedir. Termal uydu görüntüleri ve hava araçlarıyla kolaylıkla tespit edilebilmeleri büyük bir risk unsurudur.

- Nükleer tahrikli denizaltılar epeyce gürültülü çalışmaktadırlar. Bunun yanı sıra reaktörün buhar türbinlerinin de sürekli gürültüsü nedeniyle sonarlar ile kolayca tespit edilebilmektedir.
- Büyük gövdeye sahip olmaları nedeniyle diğerlerine kıyasla yerlerinin tespiti daha kolay yapılabilmektedir.
- Oldukça pahalı, üretimi ve bakımı son derece zordur [38-45].

3.3 Denizaltılarda Kullanılan Batarya Sistemi

Denizaltılarda ilk zamanlarda kurşun asitten yapılan bataryalar kullanılmıştır. Sonrasında onların yerini lityum-iyon bataryaları almıştır. Lityum-iyon bataryalar yerini aldığı batarya çeşidine göre hem daha hafif hem de daha fazla enerji depolayabilmektedirler. Ayrıca şarjları az olduğu durumlarda bile yüksek güç çıkışı sağlayabilmektedir. İlk yatırım maliyeti kurşun aside kıyasla nispeten daha fazla olsa da bakım ihtiyacı ve döngü maliyeti daha düşüktür [46].

Lityum-iyon bataryaların birçok alanda kullanım imkânı vardır. Denizaltılarla birlikte insansız sualtı araçları ve diğer sistemlerde kullanılan lityum-iyon bataryaların gelişimi devam ettiği sürece kullanım alanlarının da genişlemesi beklenmektedir. Daha uzun süre kullanım imkânı, düşük servis ihtiyacı ve döngü maliyetleri ile yüksek enerji kapasiteleri sualtı araçları için yeni imkânlar yaratmaktadır. Lityum-iyon bataryalara sahip bir denizaltı daha fazla su altı dayanıklılığına sahiptir ve kurşun asit bataryaları olan benzer bir gemiden daha hızlı çalışabilir.

Tüm bunlarında yanında lityum-iyon bataryaların da risk teşkil edeceği durumlar bulunmaktadır. Bataryanın herhangi bir yangın veya patlama anında ortaya çıkaracağı zehirli gazlar ve yüksek ısı olumsuz durumlara sebebiyet verebilmektedir [47].

3.4 Yön Bulma Sistemi

Işık okyanusa çok fazla nüfuz etmez, bu nedenle denizaltılar suyun içinde neredeyse kör bir şekilde seyir etmek durumundadırlar. Bununla birlikte, denizaltılar seyir çizelgeleri ve çok gelişmiş seyir ekipmanları ile donatılmıştır. Yüzeydeyken, gelişmiş bir küresel konumlandırma sistemi (GPS) enlem ve

boylamı doğru bir şekilde belirler, ancak denizaltı suya batırıldığında bu sistem çalışamaz.

Su altında, denizaltı, jiroskop kullanarak geminin hareketini sabit bir başlangıç noktasından izleyen atalet yönlendirme sistemlerini (elektrik, mekanik) kullanır. Atalet yönlendirme sistemleri 150 saatlik çalışma süresine kadar doğrudur ve diğer yüzeye bağlı seyir sistemleri (GPS, radyo, radar, uydu) tarafından yeniden hizalanmalıdır. Gemideki bu sistemlerle, bir denizaltı doğru bir şekilde gezilebilir ve amaçlanan rotasından yüz metre uzakta olabilir.

Denizaltılar jiroskop denilen alet ile yönlerini bulurlar. Jiroskop, çalışma prensibi ve 3 boyutlu yön tayini ile pusuladan ayrılmaktadır. Aradaki farkı ifade etmek gerekirse, pusula manyetik alanı kullanarak 2 boyutlu bir düzlem boyunca yön tayin ederken jiroskop açısal momentumun korunumu ilkesini kullanarak 3 boyutta yön göstermektedir.

Bir hedefi bulmak için, bir denizaltı aktif ve pasif SONAR sistemini kullanır (sesli navigasyon ve menzil). Sonar, ses dalgalarını kullanarak cismin boyut, uzaklık ve diğer verileri görmemize yarayan alettir. Bir başka deyişle, sesin su altında yayılmasını kullanarak su altında veya üzerinde gezmeyi, haberleşmeyi ve diğer cisimleri tespit etmeyi sağlayan bir tekniktir. Aktif sonar, suyun içinden geçen, hedeften yansıyan ve gemiye geri dönen ses dalgalarının darbelerini yayar. Sudaki sesin hızı ile ses dalgasının hedefe ve geriye gitme zamanını bilerek, bilgisayar programları yardımıyla denizaltı ile hedef arasındaki mesafeyi hızlı bir şekilde hesaplayabilir. Balinalar, yunuslar ve yarasalar da avlarını bulmak için aynı tekniği kullanırlar (ekolokasyon). Pasif sonar ise, hedef tarafından üretilen sesleri dinlemeyi içerir [48].

3.5 Denizaltı İçinde Hayat

Denizaltılarda karadaki gibi normal yaşam sürmek neredeyse imkânsızdır. Oldukça sıkışık ve askeri teçhizat ile dolu olan bu alana alışmak zor olabilir. Zamanlarını 6'şar saatten üç parçaya bölerek geçirirler. Bu bölümleri uyumak, nöbet tutmak ve serbest vakit geçirecekleri şekilde ifade etmek doğru olacaktır. Yaşam saatleri belli olduğu için denizaltılarda herkes için ayrı bir yatak yoktur.

Altı saatlik uyku zamanı sonrası değişim ile birlikte yatak, bir başka kişiye devredilir.

Denizaltılar limandan çıktıktan sonra, 6 aya kadar uzayabilen, uzun zaman geri boyunca geri dönemden görevlerini yerine getirirler. Görev süresinin neredeyse tamamını denizin altında geçiren denizaltının içinde bulunanlar güneş ışığını uzunca bir süre göremezler ve bu durum zaman kavramının bir süre sonra yok olmasına sebebiyet verir. Denizaltılar sahip olduğu sensörleri sayesinde dış çevredeki çoğu şeyi bilirler. Bulunan suyun derinliği, tuz oranı, en yakın gemi tipini ve hatta gövde numarası bile bilmek mümkündür.

Denizaltında iken dış dünya ile iletişim kurmak çok zordur. İnsanların aileleri ve sevdikleri ile haberleşememesi psikolojik bir bozukluğa sebep olsa da buna mecburlardır. Çünkü denizaltılarda en temel özelliklerden biri sessiz ve görünmez olmalarıdır. Dış dünya ile herhangi bir haberleşme durumu olduğunda ise yer tespiti olabileceğinden buna müsaade edilmez.

Denizaltılarda oksijen seviyesi oluşabilecek yangın durumlarında yayılmayı önleme gerekçesiyle düşük tutulur. Bu durum insanlar açısından olumsuz durumlara sebep olabilir. Oksijen insan hayatının, hücrelerin yenilenmesi vb. yaşamsal döngüler için gerekli en önemli ihtiyaçlardan biridir. Düşük oksijen insanlarda sinir bozukluğu, depresyon vb. gibi ruhsal sorunlar oluştururken, yaralanma durumlarında iyileşme sürecinin uzamasına sebep olur [49].

Bir denizaltındaki havanın sağlıklı olması için gereken üç şeyi ifade etmek gerekirse:

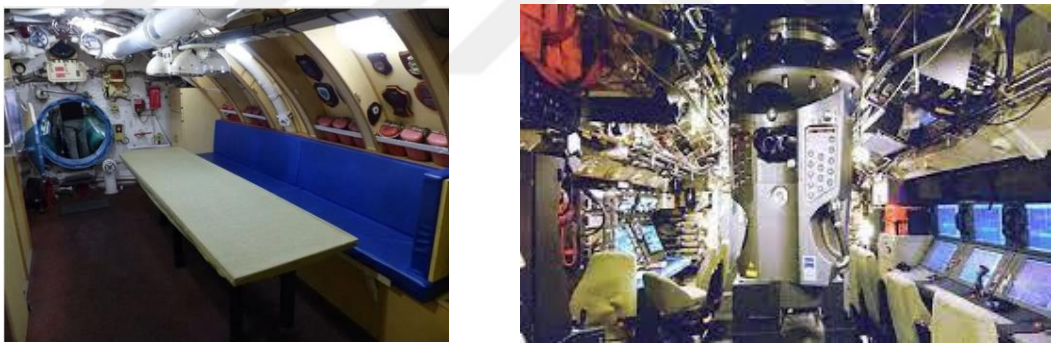
- Oksijen tüketildiği gibi yenilenmelidir. Havadaki oksijen yüzdesi çok düşerse, bir kişi boğulur.
- Karbondioksit havadan uzaklaştırılmalıdır. Karbondioksit konsantrasyonu arttıkça, bir toksin haline gelir.
- Nefesinize verdiğimiz nem giderilmelidir.

Şekil 3.5'te iç ortamın gösterildiği denizaltılar tamamen kapalı, sıkışık, penceresiz ve dış dünya ile etkileşimleri çok az olduğundan dolayı ortam havasının ferah, temiz ve mikroptan arınmış bir şekilde olmasını sağlamak imkânsıza yakındır. Ortamdaki oksijen ve karbondioksit miktarları dikkatli bir şekilde kontrol edilir.

Karbondioksit, yıkayıcı adı verilen cihazlarda soda kireci (sodyum hidroksit ve kalsiyum hidroksit) kullanılarak kimyasal olarak havadan uzaklaştırılabilir. Karbondioksit, kimyasal bir reaksiyonla soda kirecine hapsedilir ve havadan uzaklaştırılır. [50].

Denizaltılarda insan yaşamı için gerekli olan oksijenin ortama sağlanması gerekir. Oksijen, basınçlı tanklardan, bir oksijen jeneratöründen (suyun elektrolizinden oksijen oluşturabilen) veya çok sıcak bir kimyasal reaksiyonla oksijeni serbest bırakan bir çeşit "oksijen kabı" ndan sağlanır. Oksijen, havadaki oksijen yüzdesini algılayan bilgisayarlı bir sistem tarafından sürekli olarak salınır veya gün boyunca periyodik olarak gruplar halinde salınır.

Nem, bir nem giderici veya kimyasallarla giderilebilir. Bu, geminin içindeki duvarlarda ve ekipmanlarda yoğunlaşmasını önler. Ek olarak, ekipman ve sigara dumanı tarafından üretilen karbon monoksit veya hidrojen gibi diğer gazlar brülörlerle giderilebilir. Son olarak, havadaki partikülleri, kiri ve tozu temizlemek için filtreler kullanılır.



Şekil 3.7 Denizaltının bazı iç bölümleri [50]

Temiz suyun sağlanması insan yaşamı için oldukça önemlidir. Çoğu denizaltı, deniz suyunu alabilen ve tatlı su üretebilen bir damıtma aparatına sahiptir. Damıtma tesisi, deniz suyunu su buharına ısıtır, bu da tuzları giderir ve daha sonra su buharını bir tatlı su toplama tankına soğutur. Bazı denizaltılardaki damıtma tesisi günde 10.000 ila 40.000 galon (38.000 - 150.000 litre) tatlı su üretebilir. Bu su içme, yemek pişirme ve kişisel hijyen vb. ihtiyaçların yanında elektronik ekipmanları (bilgisayar ve navigasyon ekipmanı gibi) soğutmak için kullanılır.

Denizaltıyı çevreleyen okyanusun sıcaklığı bölgelere göre 0 ila 20 santigrat derece arasında değişiklikler gösterir. Denizaltı içerisindeki sıcaklığı korumak için denizaltıların elektrikle ısıtılması gerekir. Isıtıcıların elektrik gücü nükleer reaktörden, dizel motor ile çalışan jeneratörlerden veya akülerden (acil durum) gelir [51].

4
HESAP YÖNTEMİ

4.1 İklimsel Özellikler

Isıtma ve soğutma için gereken enerji miktarını hesaplamak için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Derece Gün Sayısı (DD) yöntemidir. Isıtma Gün Sayısı (HDD) ısıtma gün sayısı, Soğutma Gün Sayısı (CDD) soğutma gün sayısıdır. DD değeri belirli bir denge sıcaklık (T_b) referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ısınımı vs.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Bu nedenle binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ısınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DD değerinin belirlenmesini etkilemektedir [52], Bu çalışmada yaz ve kış şartları için T_b sırasıyla 18 °C ve 24 °C olarak referans [53] alınmıştır.

$$HDD = \sum_{gün}(T_b - T_m) \qquad (T_m > T_b) \tag{4.1}$$

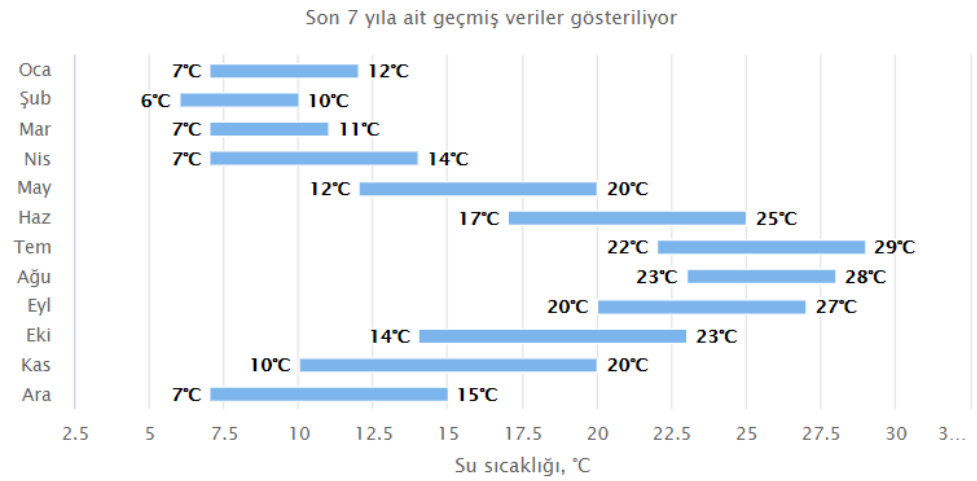
T_m ortalama dış hava sıcaklığıdır. Eğer $T_m < T_b$ ise HDD=0

$$CDD = \sum_{gün}(T_m - T_b) \qquad (T_m > T_b) \tag{4.2}$$

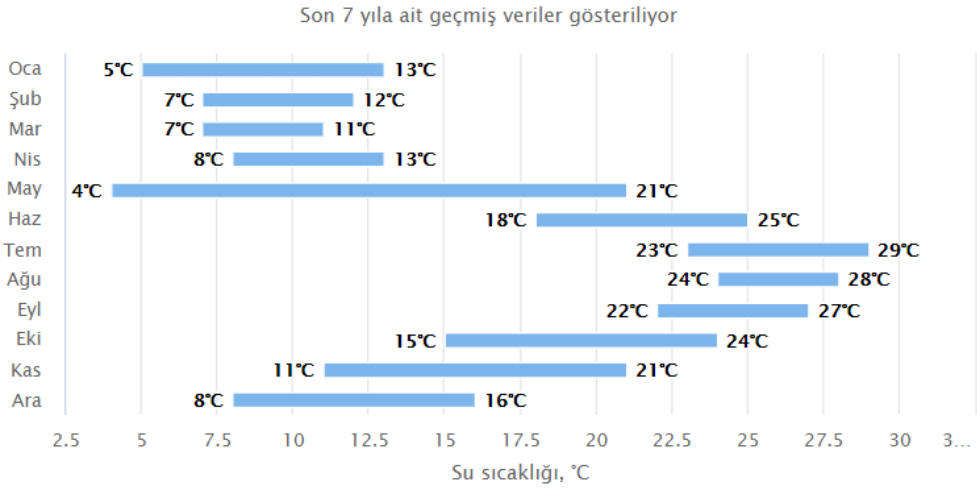
Eğer $T_m < T_b$ ise CDD=0

Denizaltılarda ortalama dış ortam sıcaklık değerleri, denizaltının bulunacağı deniz suyu sıcaklığı değerine göre hesaplanmalıdır. Bu çalışmada Marmara, Karadeniz, Ege, Akdeniz ve Pasifik Okyanusu için ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla Şekil 4.1'de verilmiştir [54].

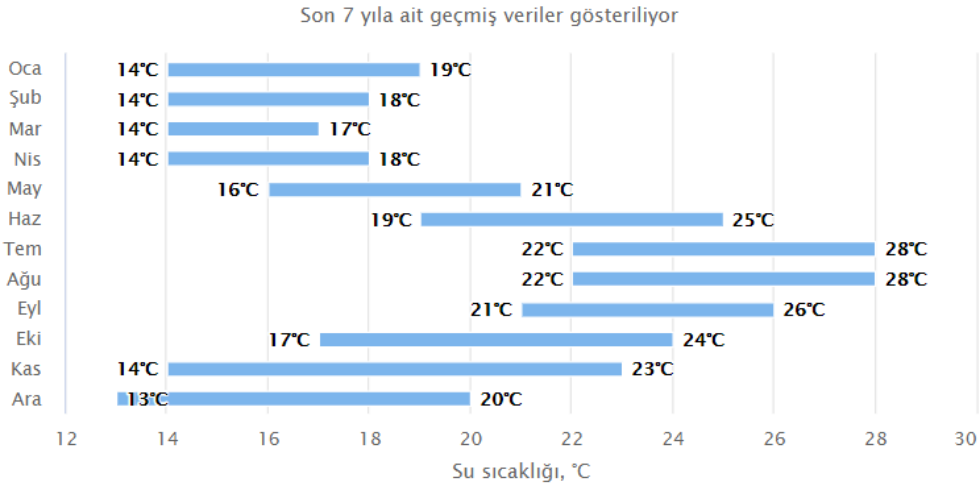
Tabloda her ay için aralık bir değer verildiğinde hesaplamalar için bu aralık değerlerinin ortalaması alınarak hesap yapılmıştır. Örneğin, Marmara Bölgesi'nde Ocak ayı için 7-12 °C arasında verilen değer hesaplamalarda 9.5 °C olarak alınmıştır.


Son 7 yıla ait geçmiş veriler gösteriliyor
Oca 7°C 12°C
Şub 6°C 10°C
Mar 7°C 11°C
Nis 7°C 14°C
May 12°C 20°C
Haz 17°C 25°C
Tem 22°C 29°C
Ağu 23°C 28°C
Eyl 20°C 27°C
Eki 14°C 23°C
Kas 10°C 20°C
Ara 7°C 15°C
2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25 27.5 30 3...
Su sıcaklığı, °C

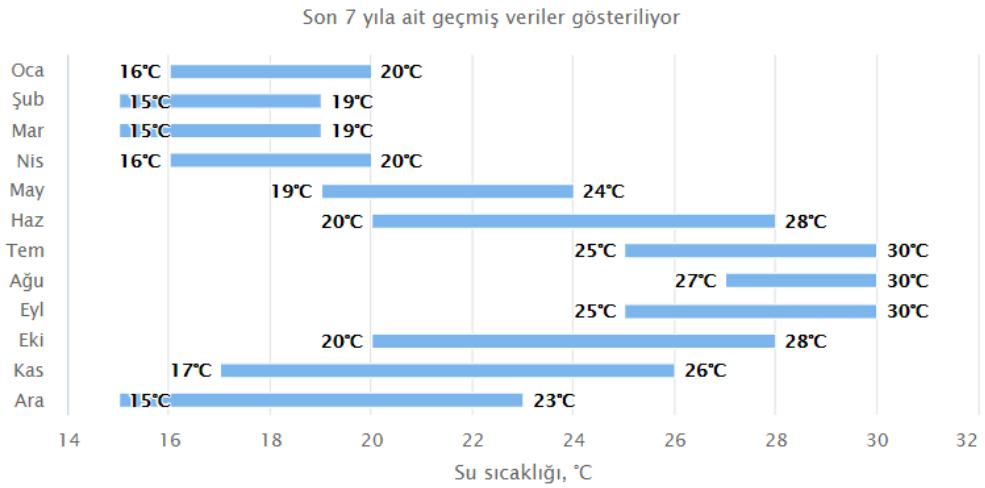
(a)


Son 7 yıla ait geçmiş veriler gösteriliyor
Oca 5°C 13°C
Şub 7°C 12°C
Mar 7°C 11°C
Nis 8°C 13°C
May 4°C 21°C
Haz 18°C 25°C
Tem 23°C 29°C
Ağu 24°C 28°C
Eyl 22°C 27°C
Eki 15°C 24°C
Kas 11°C 21°C
Ara 8°C 16°C
2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25 27.5 30 3...
Su sıcaklığı, °C

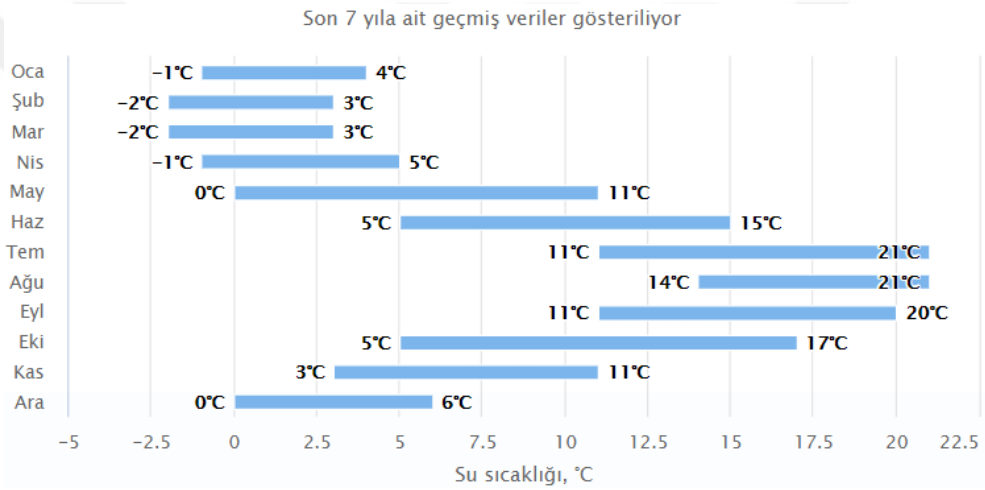
(b)


Son 7 yıla ait geçmiş veriler gösteriliyor
Oca 14°C 19°C
Şub 14°C 18°C
Mar 14°C 17°C
Nis 14°C 18°C
May 16°C 21°C
Haz 19°C 25°C
Tem 22°C 28°C
Ağu 22°C 28°C
Eyl 21°C 26°C
Eki 17°C 24°C
Kas 14°C 23°C
Ara 13°C 20°C
12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
Su sıcaklığı, °C

(c)



(d)



(e)

Şekil 4.1 Yıllık ortalama su sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi, (a) Marmara, (b) Karadeniz, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu [54]

Hesaplamaları yapılan bölgelerin derece gün sayıları ısıtma ve soğutma için Tablo 4.1'de verilmiştir. Dikkat edileceği üzere Pasifik Okyanusu'nda soğutma gün sayısı sıfır olarak hesaplanmıştır ($T_m < T_b$). Bunun anlamı herhangi soğutma işlemine gerek olmadığı için yalıtım hesabına gerek olmadığıdır. Bu yüzden o bölgede sadece ısıtma sistemi için gerekli optimum yalıtım kalınlığı değeri bulunacaktır.

Tablo 4.1 Bölgelere göre HDD ve CDD değerleri

Bölge	HDD	CDD
Marmara	1410	345
Ege	285	345
Akdeniz	60	795
Karadeniz	1410	450
Pasifik Okyanusu	3780	0

4.2 Duvar Yapısı

Hesaplamalarda kullanılmak üzere yalıtımsız denizaltının yapısı en dışta 2 cm çelik, denizaltının derine inme (batma) ve yüzeye çıkmasını sağlayacak 1 cm boşluk (Suya ait ısı iletim katsayısı havanınkinden daha yüksek olduğu için suya ait olan değer hesaplamalarda göz önüne alınmıştır.), 1.5 cm çelik ve en iç kısımda 1 cm alüminyum olacak şekilde oluşturulmuş ve değerler Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Denizaltı duvar yapısı [55]

Malzeme	Kalınlık	Isı İlet. Kats.
	x (cm)	k (W/mK)
Çelik	2	0,78
Su-hava	1	0,65
Çelik	1,5	0,78
Alüminyum	1	117

Yalıtım malzemesi olarak taş yünü, cam yünü, poliüretan, genişletilmiş polyester, fiberglas ve cam köpüğü gibi birçok farklı malzeme kullanılarak çözümler çeşitlendirilmiştir. Yalıtım malzemelerine ait fiyat ve ısı iletim katsayısı değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir [56].

Tablo 4.3 Yalıtım malzemelerinin özellikleri [56]

Yalıtım Malzemesi	**k (W/mK)**	**Fiyat ($/m^3)**
Genişletilmiş Polistiren	0,038	154,6
Poliüretan	0,028	346,1
Taş Yünü	0,04	132
Cam Yünü	0,032	102
Cam Elyaf	0,042	75
Cam Köpüğü	0,036	710

Yalıtım tabakası içeren tipik bir duvar için toplam ısı transfer katsayısı U,

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{yalıtım} + R_o} \tag{4.3}$$

Şekilde ifade edilir. Burada, R_i ve R_o sırasıyla iç ve dış ortama ait ısı taşınım dirençleri, R_w, yalıtımsız duvar malzemelerinin toplam ısıl direnci ve $R_{yalıtım}$, yalıtım tabakasının ısıl direncidir.

$$R_{yalıtım} = \frac{x}{k} \tag{4.4}$$

Burada x ve k sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletkenliğidir. Yalıtım direnci hariç Eş.4.3'te geri kalan dirençlerin toplamı $R_{w,t}$ ile ifade edilirse, toplam ısı transfer katsayısı U aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$U = \frac{1}{R_{w,t}+R_{yalıtım}} \quad (4.5)$$

TS 825'e göre R_i değeri 0.13 m^2K/W olarak alınır, ancak çalışılan konu göz önüne alındığında dış ortama ait ısı taşınım direnci olan R_o 0.04 m^2K/W değerini almak doğru olmayacaktır. Bunun nedeni TS 825'te binalar için yapılan hesaplamalarda dış ortamın hava olmasıdır. Denizaltıların dış ortamı su olduğundan dolayı dış ortama ait ısı taşınım direnci hesabı,

$$h = 10886{,}8 + 61{,}2888 \,.\, T_1 \quad (4.6)$$

$$R_o = {}^{1}/_{h} \quad (4.7)$$

olarak yapılır [57]. Burada T_1 aylık ortalama dış ortam (deniz suyu) sıcaklığıdır. R_o hesabı tüm aylar ve çalışılan bölgeler olan Marmara, Ege, Akdeniz, Karadeniz, Pasifik Okyanus'u için yapılmıştır. Bulunan sonuçlar çok küçük ve birbirine çok yakın olduğundan dolayı aşağıdaki tabloda ortalamaları alınıp tek bir değer ile hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 4.4'te yıl boyunca yapılan hesaplamaların ortalama değerlerin tekrar ortalamaları alınarak hesaba katılmıştır.

Tablo 4.4 Hesaplamalarda göz önüne alınan dış ortama ait ortalama ısı taşınım direnci

Bölge	**Ortalama R_o m^2K/W**
Karadeniz	0,000084
Marmara	0,000084
Akdeniz	0,000082
Ege	0,000083
Pasifik Okyanusu	0,000088
$R_{ortalama}$	0,0000842

Yalıtımsız duvarın toplam ısıl direnci,

$$R_{w,t} = R_i + \frac{x_1}{k1} + \frac{x2}{k2} + \frac{x3}{k3} + \frac{x4}{k4} + R_O \quad (4.8)$$

$$R_{w,t} = 0{,}13 + \frac{0{,}02}{0{,}78} + \frac{0{,}01}{0{,}68} + \frac{0{,}015}{0{,}78} + \frac{0{,}01}{117} + 0{,}0000842$$

$$\rightarrow R_{w,t} = 0{,}1904\ m^2K/W$$

olarak bulunur.

4.3 Duvar İçin Isıtma Yükü

4.3.1 Yıllık Enerji Gereksinimleri

Isıtma için,

$$\text{Yıllık Enerji Gereksinimi} = \frac{86400\ HDD\ U}{\eta} \quad (4.9)$$

Burada η ısıtma sisteminin verimidir.

Soğutma için,

$$\text{Yıllık Enerji Gereksinimi} = \frac{86400\ CDD\ U}{COP} \quad (4.10)$$

COP soğutma sisteminin performans katsayısıdır.

4.3.2 Yıllık Enerji Tüketimleri

Isıtma için,

$$\text{Yıllık Enerji Tüketimi} = \frac{86400\ HDD}{\left(R_{w,t} + \frac{x}{k}\right) LHV\ \eta} \quad (4.11)$$

x/k ifadesi yapıda kullanılacak olan yalıtımın kalınlık ve ısıl iletim katsayısı değerleridir. LHV yakıtın alt ısıl değerini ifade etmektedir. LHV, yakıt türüne bağlı olarak genellikle J/kg, J/m^3 veya J/kWh cinsinden verilir.

Soğutma için,

$$\text{Yıllık Enerji Tüketimi} = \frac{86400\ CDD}{\left(R_{w,t} + \frac{x}{k}\right) COP} \quad (4.12)$$

ifadesi kullanılır.

4.4 Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

4.4.1 Yıllık Enerji Maliyeti

Isıtma için,

$$\text{Yalıtımlı Yıllık Isıtma Maliyeti} = \frac{86400\ \text{HDD}\ C_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}+\frac{x}{k}\right)\text{LHV}\ \eta} \quad (4.13)$$

$C_{yakıt}$, yakıt türüne bağlı olarak \$/kg, \$/m^3 veya \$/kWh cinsinden yakıt maliyetidir. PWF ise şimdiki değer faktörüdür.

$$\text{Yalıtımsız Yıllık Isıtma Maliyeti} = \frac{86400\ \text{HDD}\ C_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}\right)\text{LHV}\ \eta} \quad (4.14)$$

Soğutma için,

$$\text{Yalıtımlı Yıllık Soğutma Maliyeti} = \frac{86400\ \text{CDD}\ C_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}+\frac{x}{k}\right)\text{COP}\ (3{,}6x10^6)} \quad (4.15)$$

$$\text{Yalıtımsız Yıllık Soğutma Maliyeti} = \frac{86400\ \text{CDD}\ Cf_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}\right)\text{COP}\ (3{,}6x10^6)} \quad (4.16)$$

şeklinde hesaplanır

4.4.2 Yıllık Toplam Maliyeti

Isıtma için,

$$\text{Yalıtımlı Yıllık Toplam Maliyet} = \frac{86400\ \text{HDD}\ C_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}+\frac{x}{k}\right)\text{LHV}\ \eta} + C_{yalıtım}.x \quad (4.17)$$

$C_{yalıtım}$ yalıtım malzemesinin fiyatıdır ve birimi \$/m^3, x ise hesaplamalarda bulunan optimum yalıtım kalınlığıdır.

Soğutma için,

$$\text{Yalıtımlı Yıllık Toplam Maliyet} = \frac{86400\ \text{CDD}\ C_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}+\frac{x}{k}\right)\text{COP}\ (3{,}6x10^6)} + C_{yalıtım}.x \quad (4.18)$$

şeklinde hesaplanır.

4.4.3 Yıllık Kazanç Miktarı

Isıtma için,

$$\text{Yıllık Kazanç} = \frac{86400\ \text{HDD}\ C_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}\right)\text{LHV}\ \eta} - \left(\frac{86400\ \text{HDD}\ C_{yakıt}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}+\frac{x}{k}\right)} + C_{yalıtım}.x\right) \quad (4.19)$$

Soğutma için,

$$\text{Yıllık Kazanç} = \frac{86400\ \text{CDD}\ C_{\text{yakıt}}\ \text{PWF}}{(R_{w,t})\ \text{COP}\ (3{,}6\text{x}10^6)} - \left(\frac{86400\ \text{CDD}\ C_{\text{yakıt}}\ \text{PWF}}{\left(R_{w,t}+\frac{x}{k}\right)\ \text{COP}\ (3{,}6\text{x}10^6)} + C_{\text{yalıtım}}.x\right) \quad (4.20)$$

şeklinde bulunur. Buradaki formülü açıklamak gerekirse, yıllık kazanç hesabı yapılırken yalıtım olmadan ısıtma veya soğutma için harcanan paranın, yalıtım olduğu zamanki yalıtım maliyeti dahil toplam fiyatından çıkarılması ile bulunur.

4.4.4 Geri Ödeme Süresi

$$\text{Geri Ödeme} = \frac{\text{Yalıtımlı Enerji Maliyeti Maliyeti}}{\text{Yıllık Kazanç}} \quad (4.21)$$

olarak hesaplanır.

4.4.5 Optimum Yalıtım Kalınlığı

Verilen bu maliyetleri minimize eden yalıtım kalınlığı (x) degeri en uygun yalıtım kalınlığını (optimum yalıtım kalınlıgını, x_{opt}) vermektedir.

Isıtma için,

$$X_{opt} = 293.94\sqrt{\frac{\text{HDD}\ C_{\text{yakıt}}\ k\ \text{PWF}}{\text{LHV}\ C_{\text{yalıtım}}\ \eta}} - k.R_{w,t} \quad (4.22)$$

Soğutma için,

$$X_{opt} = 293.94\sqrt{\frac{\text{CDD}\ C_{\text{yakıt}}\ k\ \text{PWF}}{C_{\text{yalıtım}}\ \text{COP}\ (3{,}6\text{x}10^6)}} - k.R_{w,t} \quad (4.23)$$

4.5 Şimdiki Değer Faktörü (PWF) Hesabı

Yaşam döngüsü maliyet analizi, bir sistemin veya bir bileşenin tüm ömrü boyunca maliyetlerinin analizini içerir. Bu çalışmada kullanılan yaşam döngüsü maliyet analizi, binanın ömrü boyunca toplam ısıtma maliyetini hesaplamaktadır. N yıllık kullanım ömrü boyunca toplam ısıtma maliyeti, bugünkü değer PWF ile çarpılarak bugünkü değere dönüştürülür. Faiz oranı ‘i’ ve enflasyon oranı ‘g'yi içeren PWF değeri,

i= faiz oranı

g= enflasyon oranı

Eğer, $i > g$ ise

$$r = \frac{i-g}{1+g} \tag{4.24}$$

eğer, $i < g$ ise

$$r = \frac{g-i}{1+i} \tag{4.25}$$

ve

$$PWF = \frac{(1+r)^N-1}{r\,(1+r)^N} \tag{4.26}$$

N, ömür süresi ve 10 yıl olarak kabul edilmiştir.

eğer $i = g$ ise

$$PWF = \frac{N}{1+i} \tag{4.27}$$

olarak hesaplanır [8].

Enflasyon ve faiz oranına göre hesaplanan PWF değeri Tablo 4.5'de gösterilmiştir [58-59].

Tablo 4.5 PWF hesabı [58-59]

N	10
Enflasyon	% 12
Faiz	% 20
PWF	6,98

Denizaltının ana güç kaynağı dizel jeneratörlerdir. Dizel jeneratörler çalışırken bataryaları şarj eder ve elektrik motoruna güç sağlar. Dizel jeneratör denizaltı su üstüyle temas halindeyken çalışır. Bu nedenle yakıt olarak dizel kullanılmıştır. Yakıt için gerekli olan değerler Tablo 4.6'da verilmiştir [60]. Ayrıca soğutma için COP değeri 2,5, yakıt verimi ise %80 olarak kabul alınmıştır.

Tablo 4.6 Yakıt özellikleri [60]

Yakıt	Fiyat ($/kg)	LHV	η (%)	COP
Dizel	0,754	40483000	0,8	2,5

4.6 Hesap Metodolojisinin Doğrulanması

Optimum yalıtım kalınlığı modelinin farklı denizlerde seyir etmesi planlanan bir denizaltıya uygulanmasından önce, bulunan sonuçların doğrulanması amacıyla literatürde aynı modeli kullanan bir çalışma [8] göz önüne alınmıştır. Literatürden alınan verilerle bu çalışmada yapılan hesaplamalar arasındaki ortalama sapmanın % 0,05'ten küçük olduğu sonucuna ulaşılmış ve Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Hesap metodolojisi doğrulaması

	Optimum Yalıt. Kalın. (m)		Enerji Kazancı ($ / m^2)		Geri Ödeme Süresi (yıl)	
	Elektrik		Elektrik		Elektrik	
	Tez	Makale	Tez	Makale	Tez	Makale
İskenderun	0,051	0,05	49,309	49,33	2,028	2,02
Adana	0,061	0,06	54,476	54,5	1,836	1,83
Antalya	0,071	0,07	58,788	58,81	1,701	1,7
Aydın	0,077	0,076	60,980	61	1,640	1,64
İstanbul	0,094	0,094	66,342	66,36	1,507	1,5
Trabzon	0,089	0,089	64,927	64,95	1,540	1,54

5
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Marmara, Karadeniz, Ege, Akdeniz, Pasifik Okyanusu gibi farklı bölgelerde seyir eden denizaltılar için çeşitli yalıtım malzemeleri incelenerek optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılmıştır. Toplam yıllık enerji gereksinimleri DD yöntemine göre hesaplanmış ve optimum yalıtım kalınlığı için de LCCA yöntemi kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma ihtiyaçları için enerji kaynağı olarak dizel yakıt kullanılmaktadır. Hesaplamalar için kullanılan parametreler ve formüller bir önceki bölümde verilmiştir.

5.1 Optimum Yalıtım Kalınlığı

Şekil 5.1'de HDD, şekil 5.2'de CDD için yalıtım malzemesi olarak cam yünü malzemesinin kullanıldığı ve bölgelere göre değişiklik gösteren grafikler gösterilmiştir. Şekil 5.1 (a)'da da görüldüğü gibi Karadeniz Bölgesi için optimum yalıtım kalınlığı olan 0,071 m'de yıllık kazanç miktarı maksimum, yıllık yalıtımlı enerji maliyeti ve geri kazanım süresi minimum değerdedir. Optimum noktadan uzaklaşıldığında ise değerler olumsuz yönde değişmektedir. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesabının tasarruf açısından önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Şekil 5.3'te HDD, şekil 5.4'te CDD için yalıtım malzemesi olarak taş yünü malzemesinin kullanıldığı ve bölgelere göre değişiklik gösteren grafikler gösterilmiştir. Şekil 5.3 (b)'de Marmara Bölgesi için optimum yalıtım kalınlığı 0,069 m ve yıllık kazanç miktarı 81,3 $\$/m^2$ olarak okunur. Şekil 5.4 (b)'de ise optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç miktarı sırasıyla 0,064 m ve 70,76 $\$/m^2$'dir.

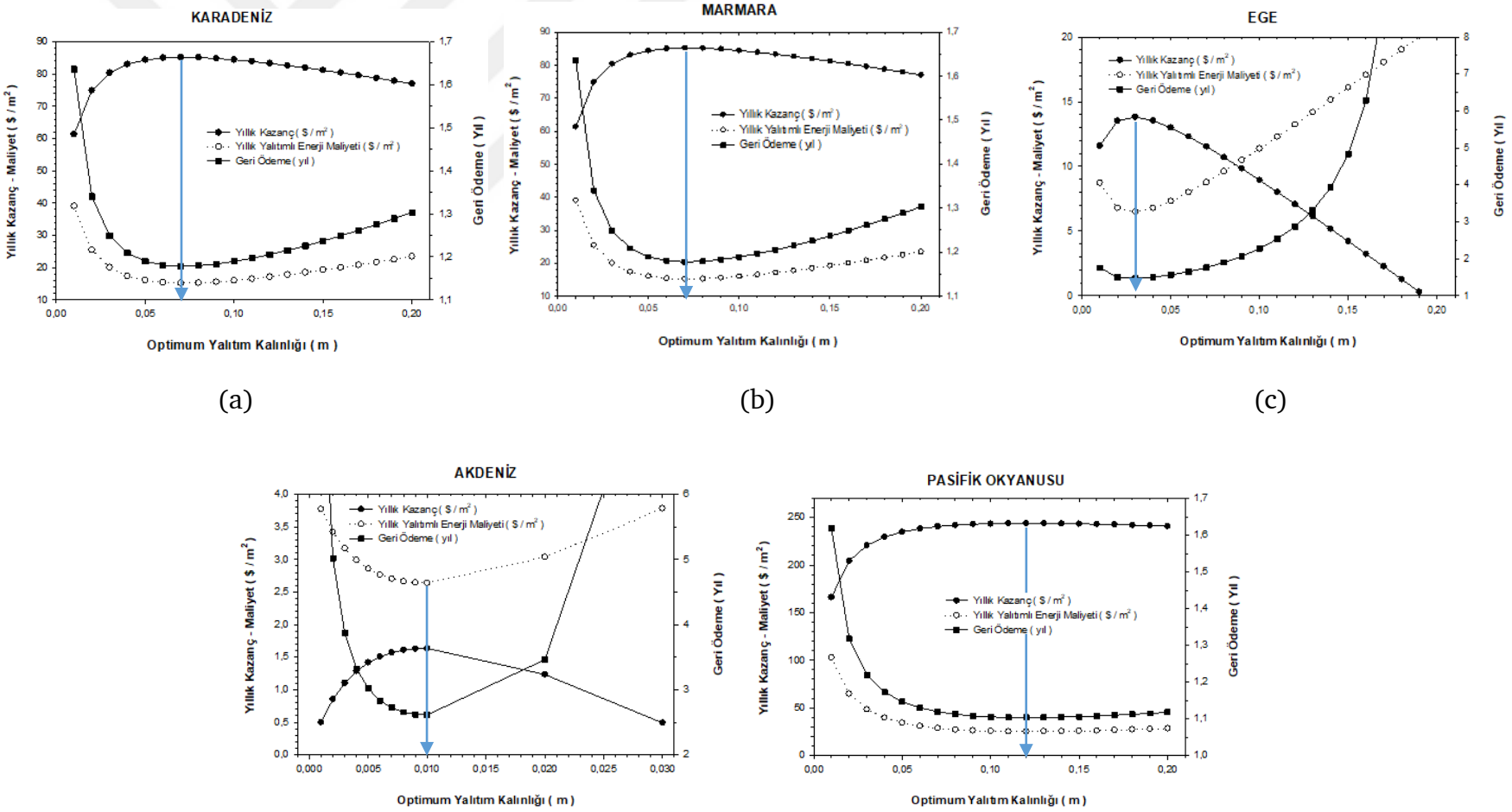
Şekil 5.5'te HDD, şekil 5.6'da CDD için yalıtım malzemesi olarak poliüretan malzemesinin kullanıldığı ve bölgelere göre değişiklik gösteren grafikler gösterilmiştir. Şekil 5.5 (c)'de Ege bölgesi için optimum yalıtım kalınlığı 0,012 m ve yıllık kazanç miktarı 9,89 $\$/m^2$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.6 (c)'de ise optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç miktarı sırasıyla 0,032 m ve 64,9

$/m^2'dir. Ege bölgesi için soğutma ihtiyacı, ısıtmaya olan ihtiyaçtan daha fazla olduğundan dolayı yalıtım kalınlığına etkisi yaklaşık üç kattır.

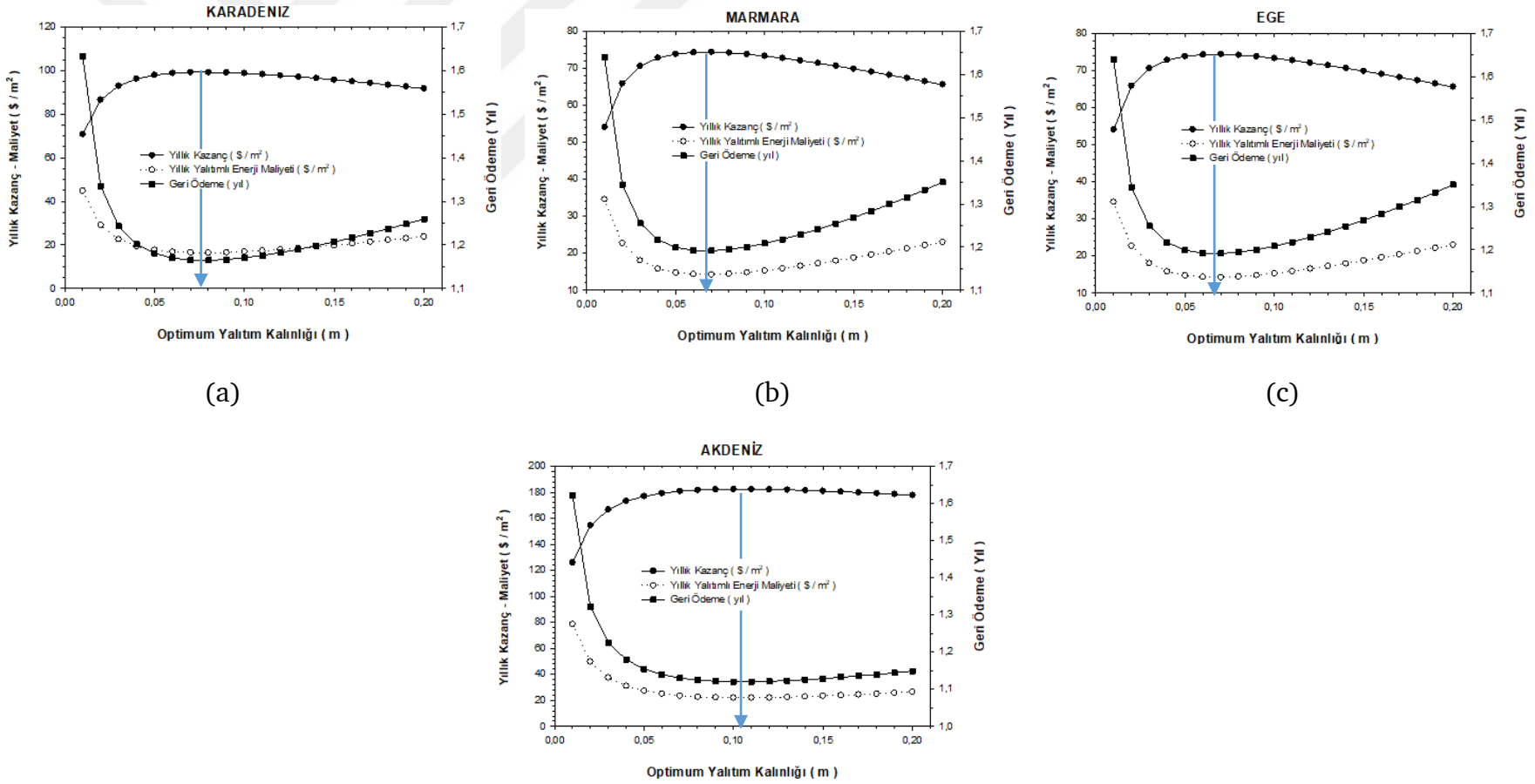
Şekil 5.7'de HDD, şekil 5.8'de CDD için yalıtım malzemesi olarak genişletilmiş polistiren malzemesinin kullanıldığı ve bölgelere göre değişiklik gösteren grafikler gösterilmiştir. Şekil 5.7 (d)'de Akdeniz Bölgesi için optimum yalıtım kalınlığı 0,0069 m ve yıllık kazanç miktarı 1,12 $/m^2 olarak okunur. Şekil 5.8 (d)' de ise optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç miktarı sırasıyla 0,09 m ve 175,13 $/m^2'dir. Akdeniz bölgesinin de Ege'de ki gibi ılıman iklime sahip olması ısıtma ve soğutma dönemlerdeki farkı açıkça ortaya koymaktadır. Isıtma ihtiyacının çok az olması hem yalıtım kalınlığında hem de yıllık kazançta yok denecek kadar az bir etkiye sebep olur.

Şekil 5.9'da HDD, şekil 5.10'da CDD için yalıtım malzemesi olarak cam elyaf malzemesinin kullanıldığı ve bölgelere göre değişiklik gösteren grafikler gösterilmiştir. Şekil 5.9 (e)'de Pasifik Okyanusu için optimum yalıtım kalınlığı 0,16 m ve yıllık kazanç miktarı 244,32 $/m^2 olarak okunur. Pasifik Okyanusu için soğutma grafiğinde herhangi bir değer yoktur. Bunun nedeni bölgenin sahip olduğu düşük sıcaklıklardan ötürü herhangi bir soğutmaya ihtiyaç duymamasından kaynaklanmaktadır.

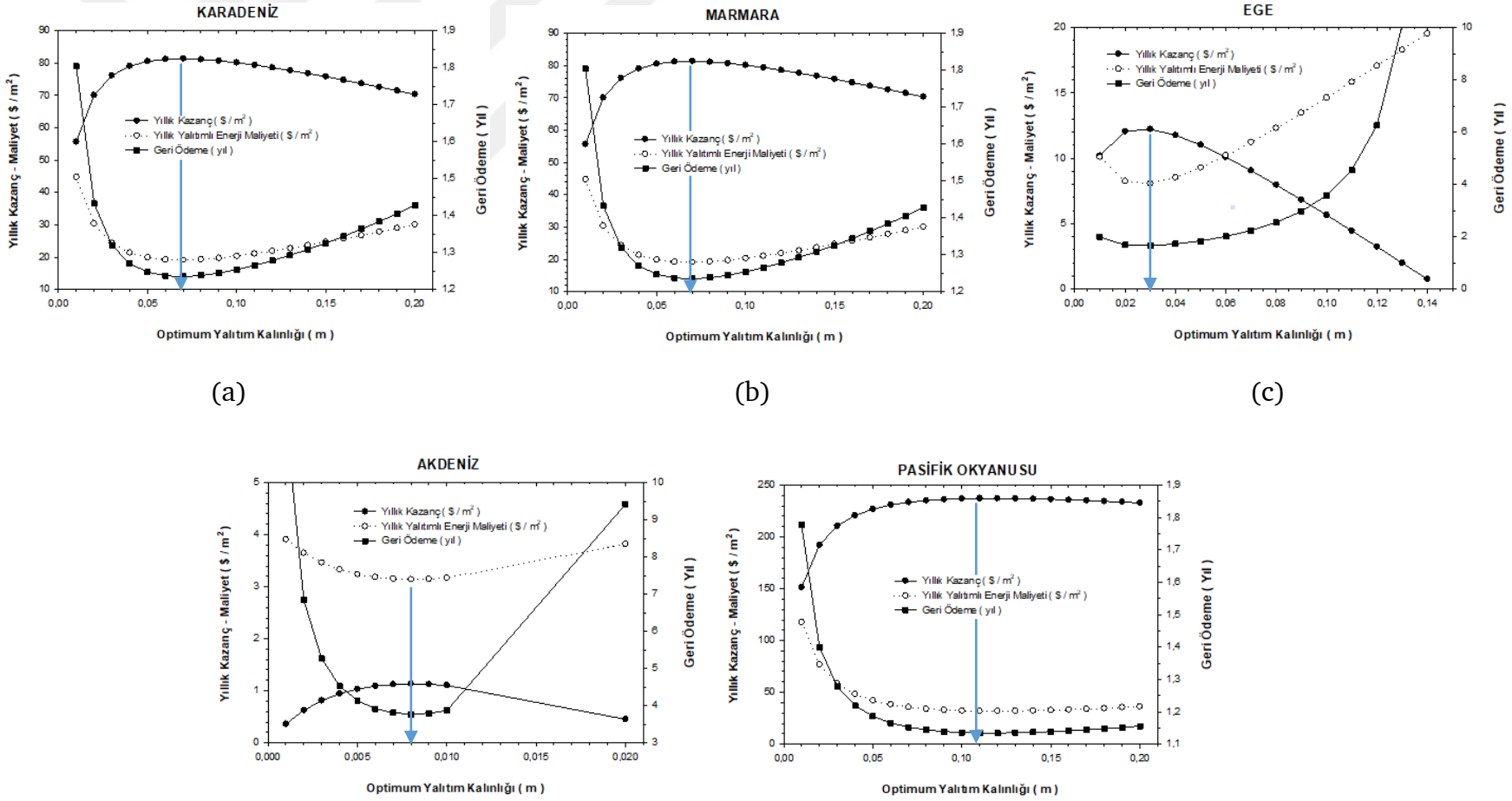
Şekil 5.11'de HDD, şekil 5.12'de CDD için yalıtım malzemesi olarak cam köpüğü malzemesinin kullanıldığı ve bölgelere göre değişiklik gösteren grafikler gösterilmiştir. Cam köpüğü diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha yüksek ısıl iletkenlik katsayısına sahip olduğundan dolayı tüm bölgelerde en verimsiz değerler hesaplamalar sonucu bulunmuştur.



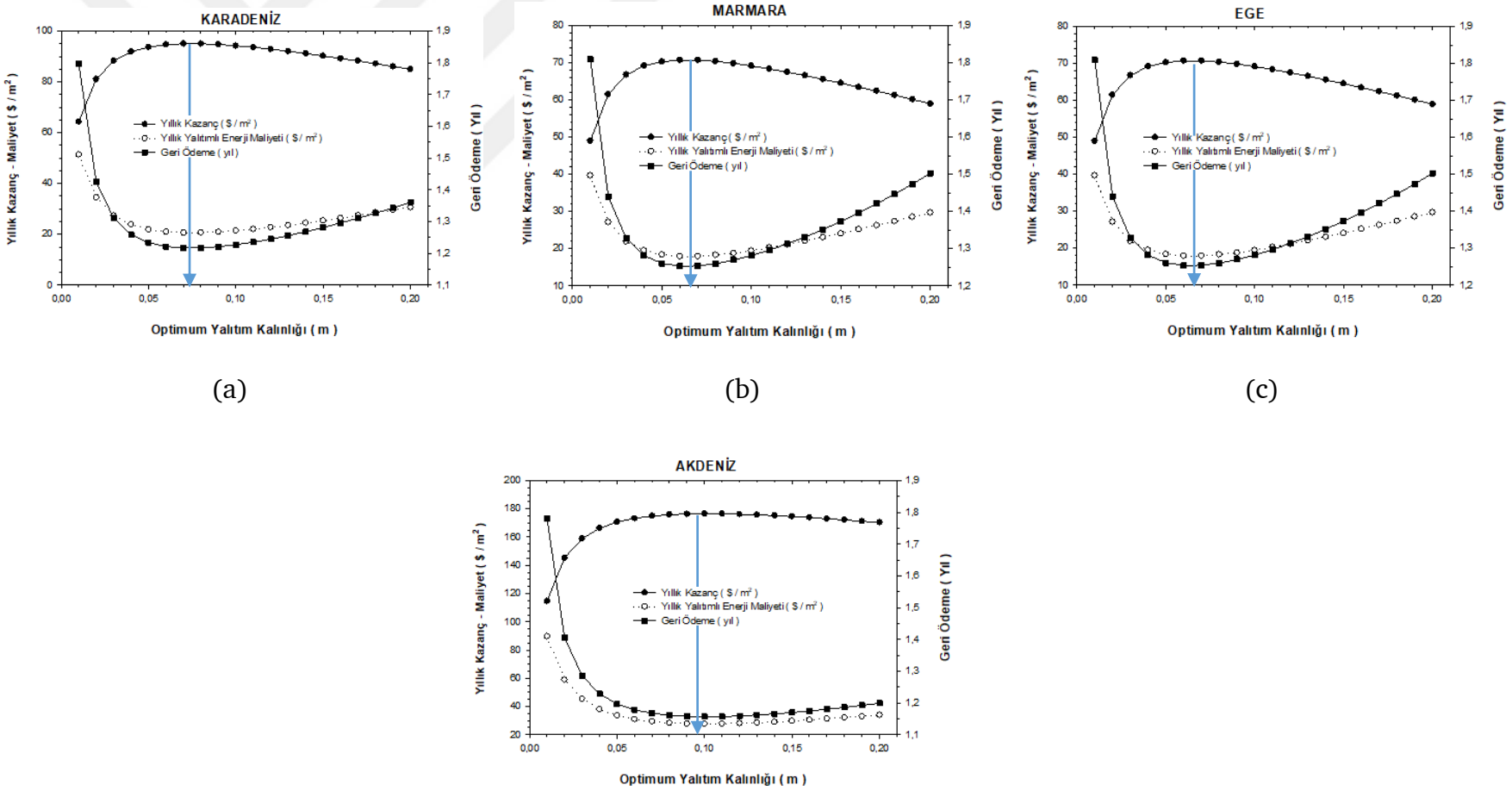
Şekil 5.1 HDD cam yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu



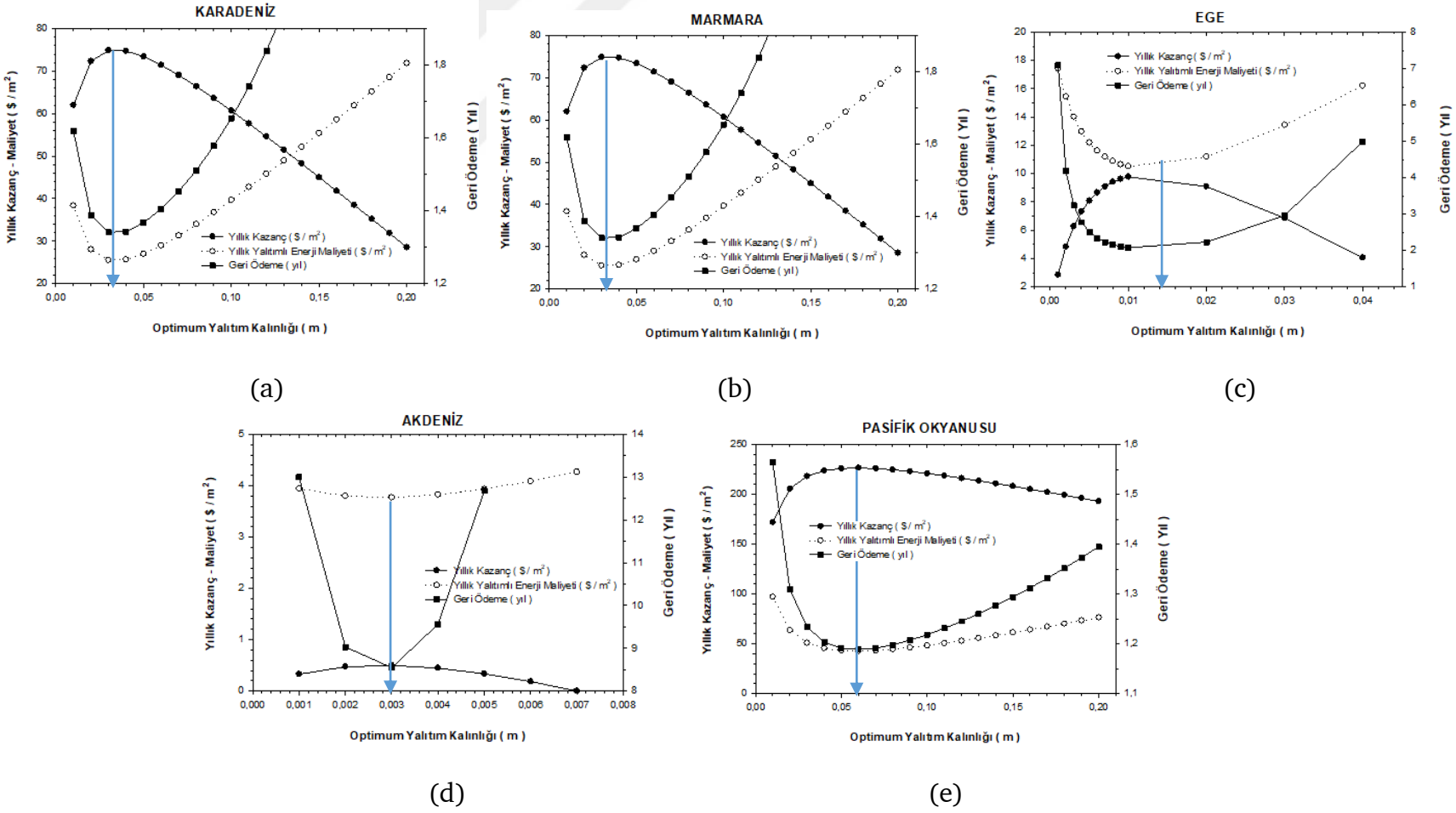
Şekil 5.2 CDD cam yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz



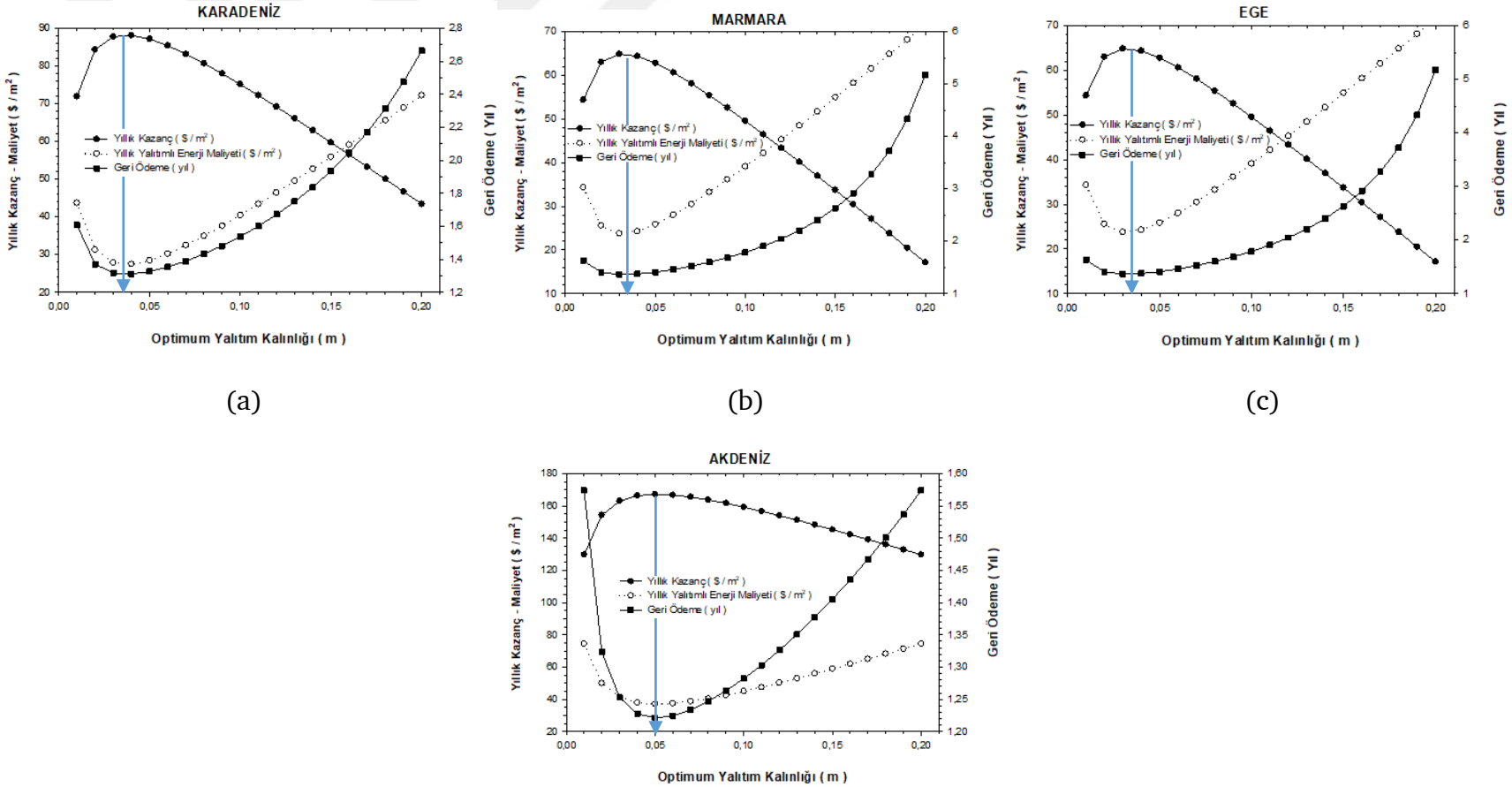
Şekil 5.3 HDD taş yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu



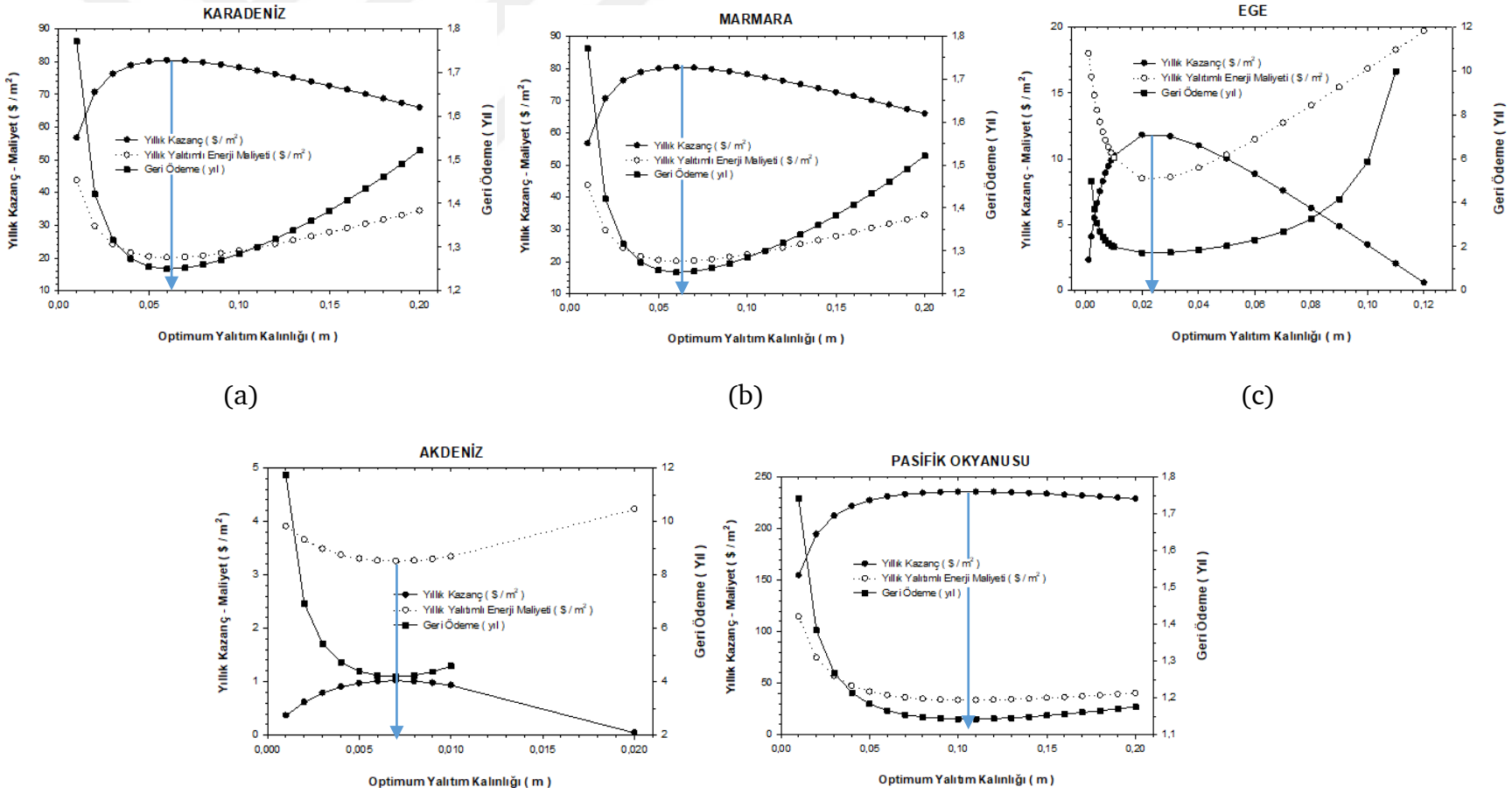
Şekil 5.4 CDD taş yünü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz



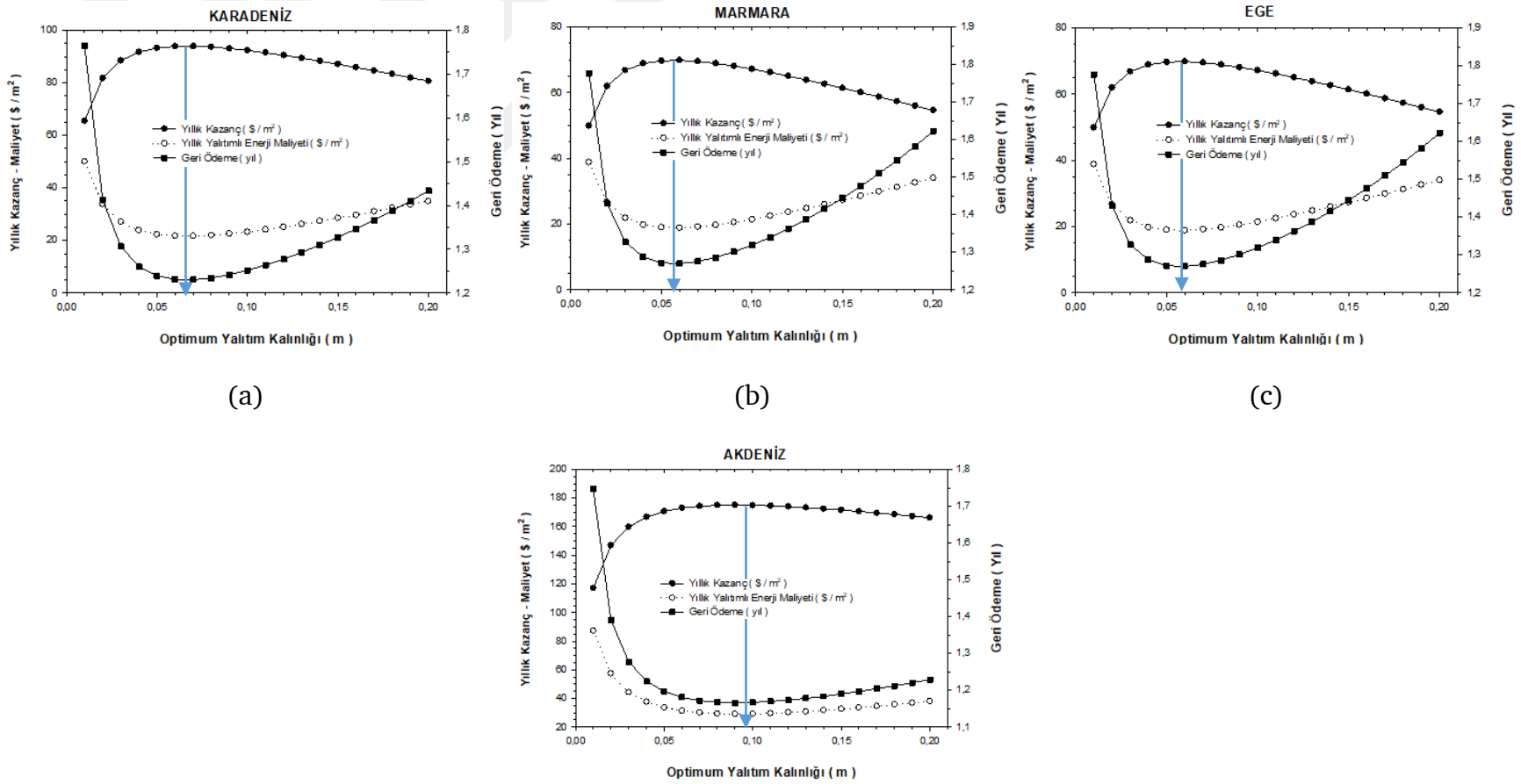
Şekil 5.5 HDD poliüretan yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu



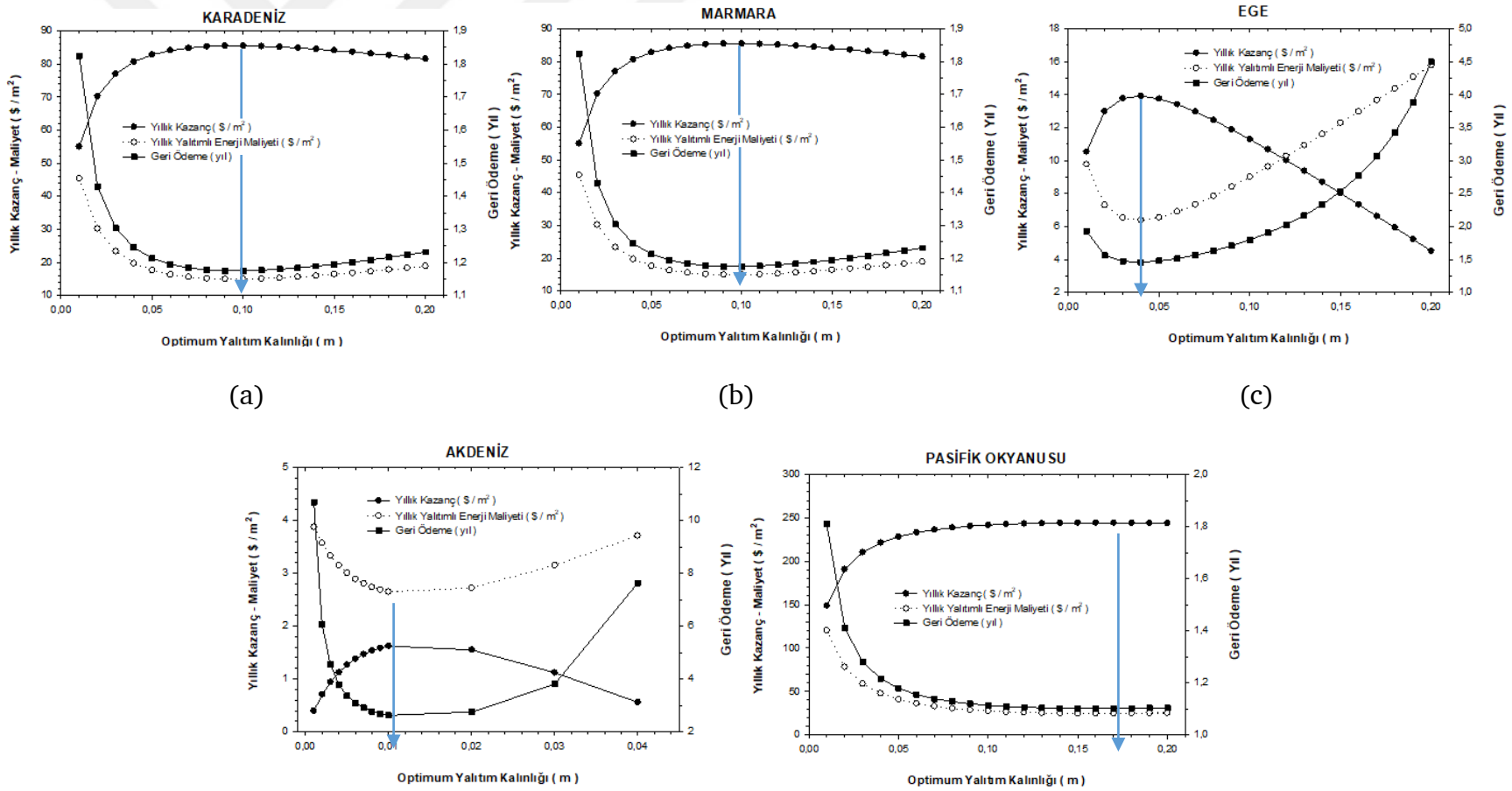
Şekil 5.6 CDD poliüretan yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz



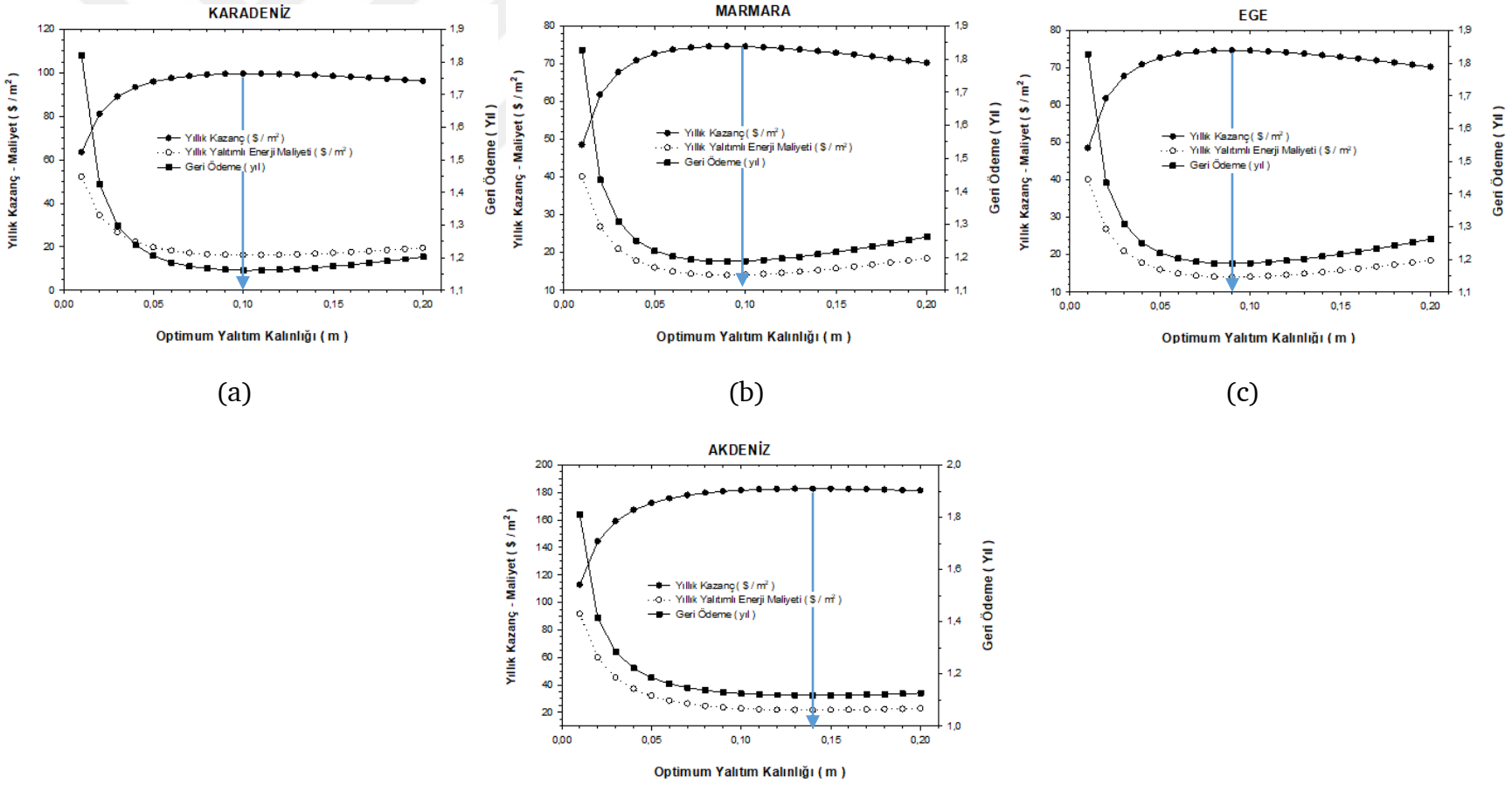
Şekil 5.7 HDD gen. polistiren yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu



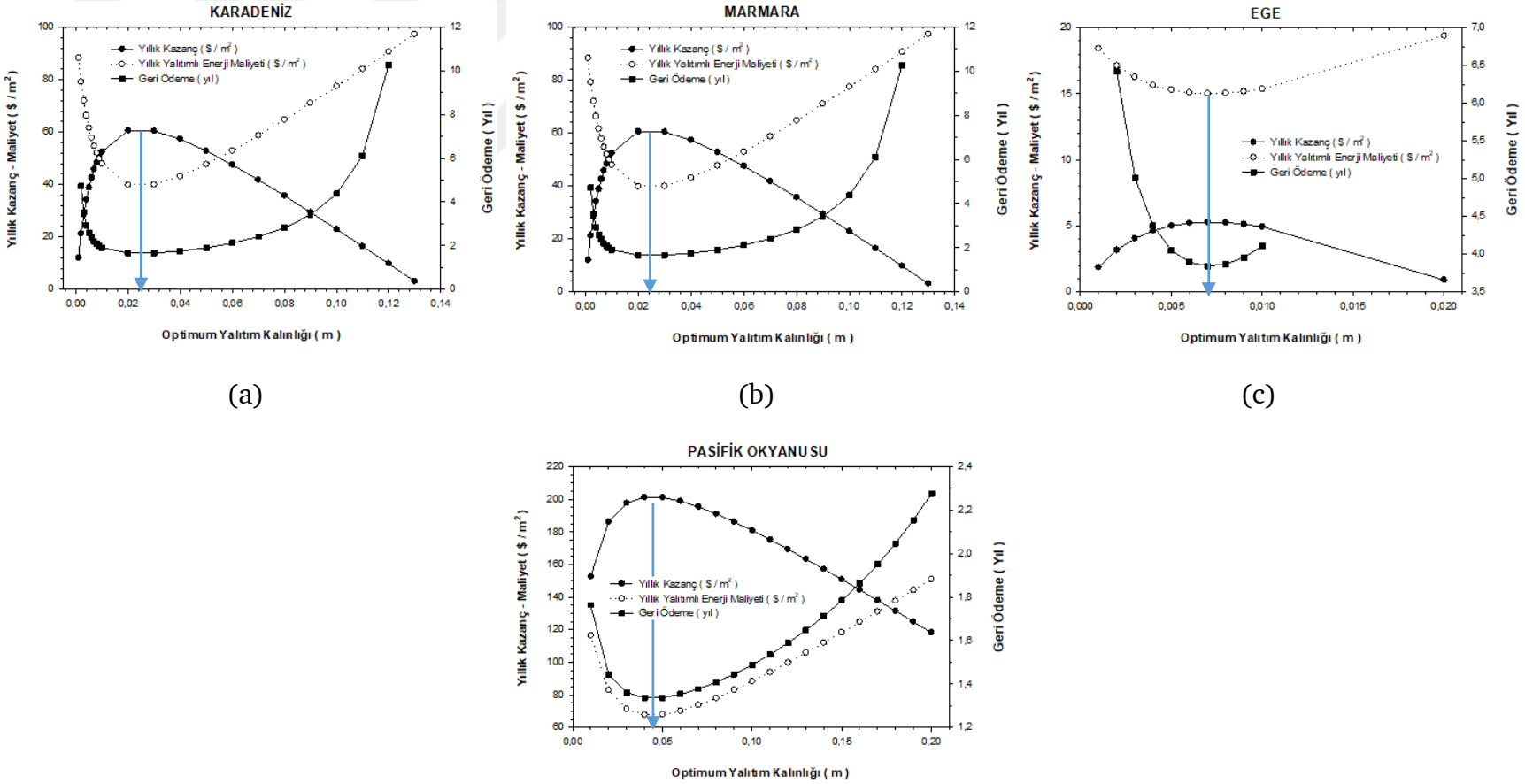
Şekil 5.8 CDD genişletilmiş polistiren yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz



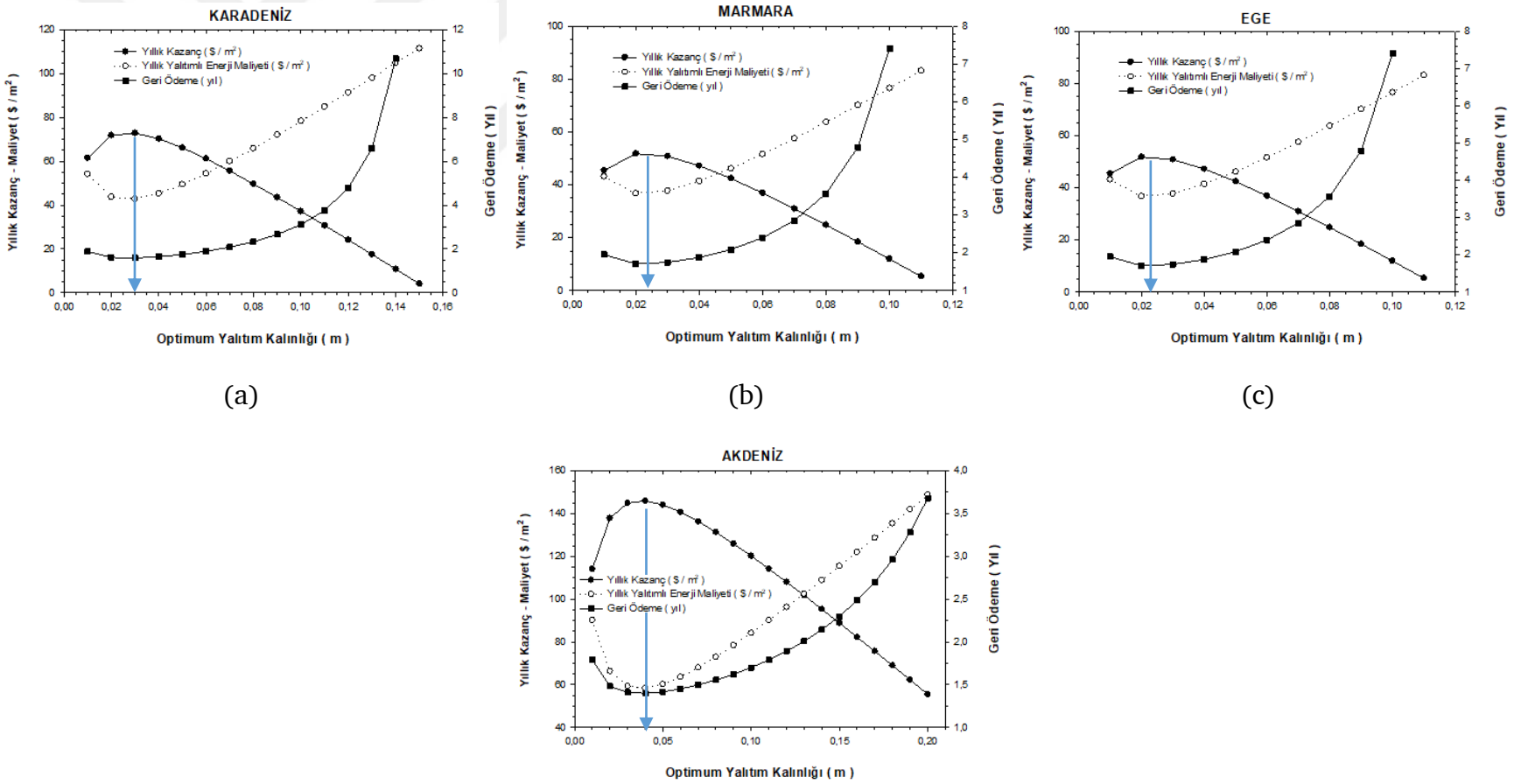
Şekil 5.9 HDD cam elyaf yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz, (e) Pasifik Okyanusu



Şekil 5.10 CDD cam elyaf yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Akdeniz



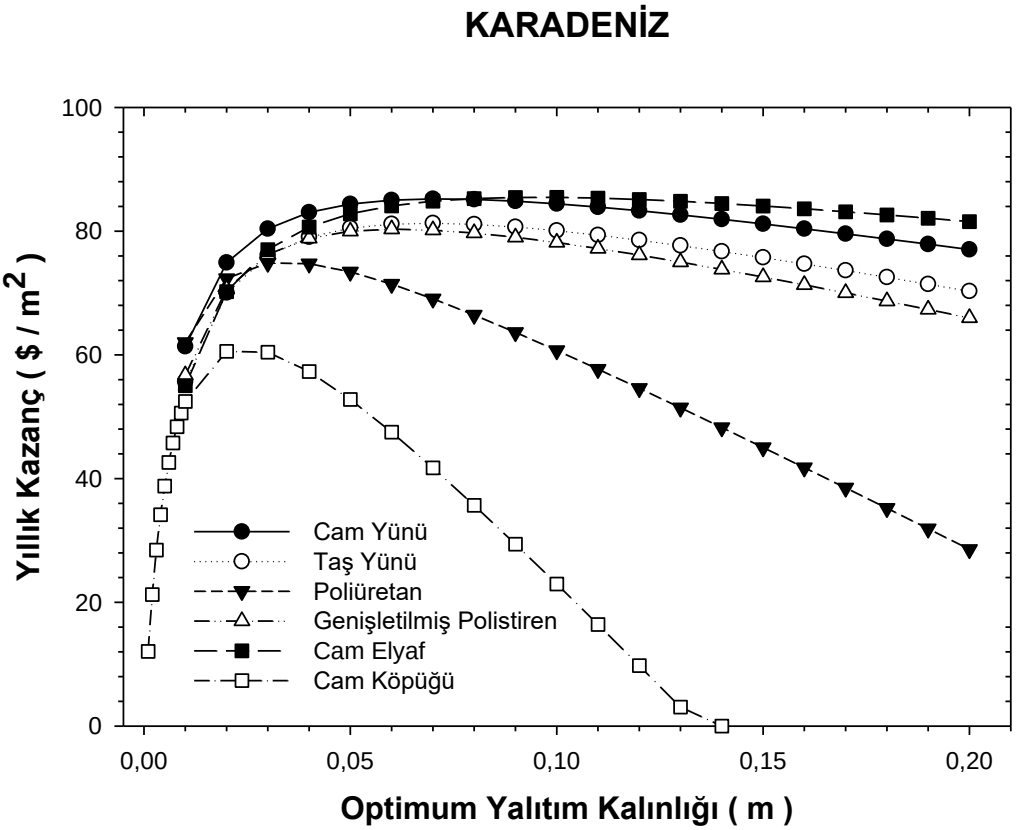
Şekil 5.11 HDD cam köpüğü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Pasifik Okyanusu



Şekil 5.12 CDD cam köpüğü yalıtım malzemesine ait sonuçlar (a) Karadeniz, (b) Marmara, (c) Ege, (d) Pasifik Okyanusu

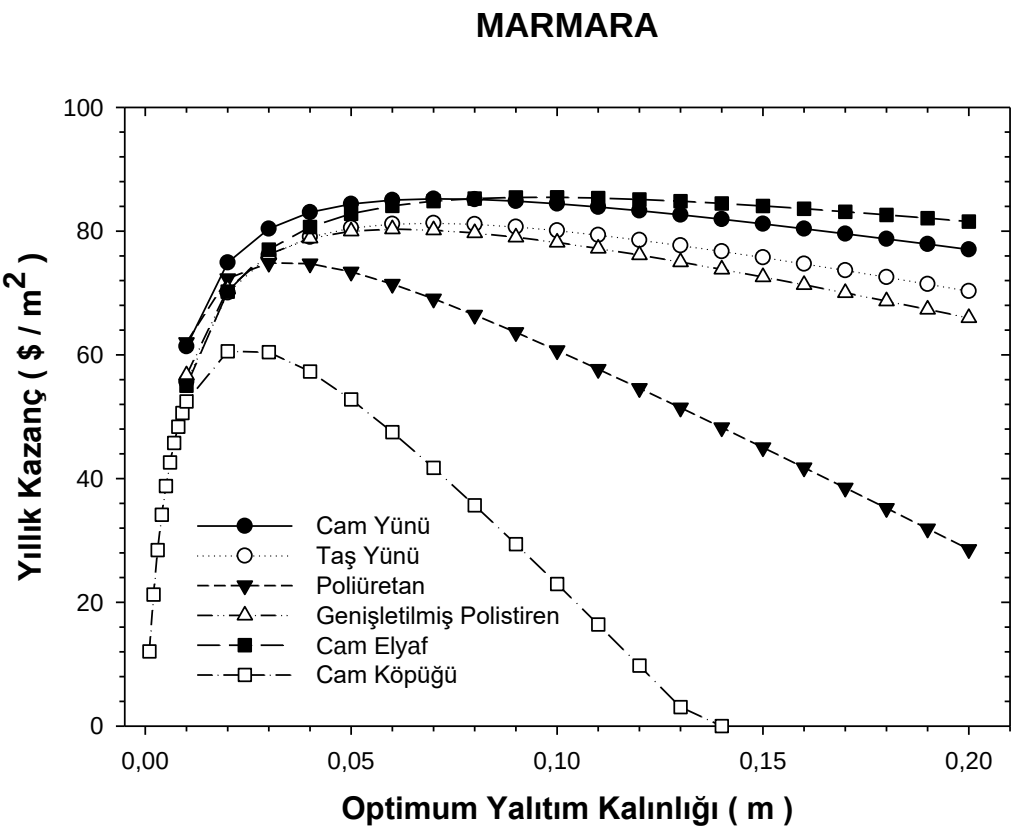
5.2 Yıllık Kazanç Miktarı

Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 HDD, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 ise CDD için her bölgeye ait yıllık kazanç miktarları gösterilmektedir. Yıllık kazanç miktarı tüm yalıtım malzemeleri için farklı olsa da hepsinde aynı grafiksel eğri mevcuttur. Optimum yalıtım kalınlığına kadar olan bölgede yıllık kazanç artış gösterirken optimum değerden sonraki her kalınlık artışında kazanç değerleri düşmektedir.



Şekil 5.13 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

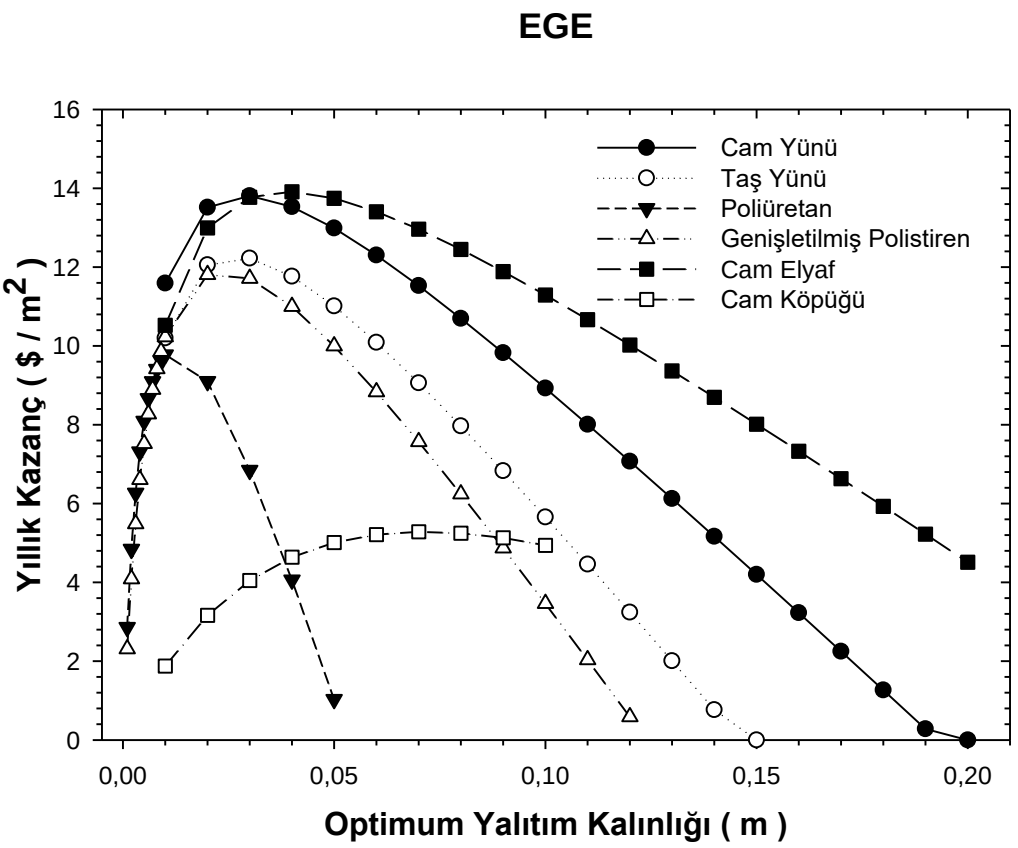
Şekil 5.13 Karadeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,071 m ve 85,21 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,069 m ve 81,3 $/m^2, poliüretan için 0,034 m ve 75,01 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,061 m ve 80,3 $/m^2, cam elyaf için 0,095 m ve 85,4 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,024 m ve 61,05 $/m^2 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.14 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

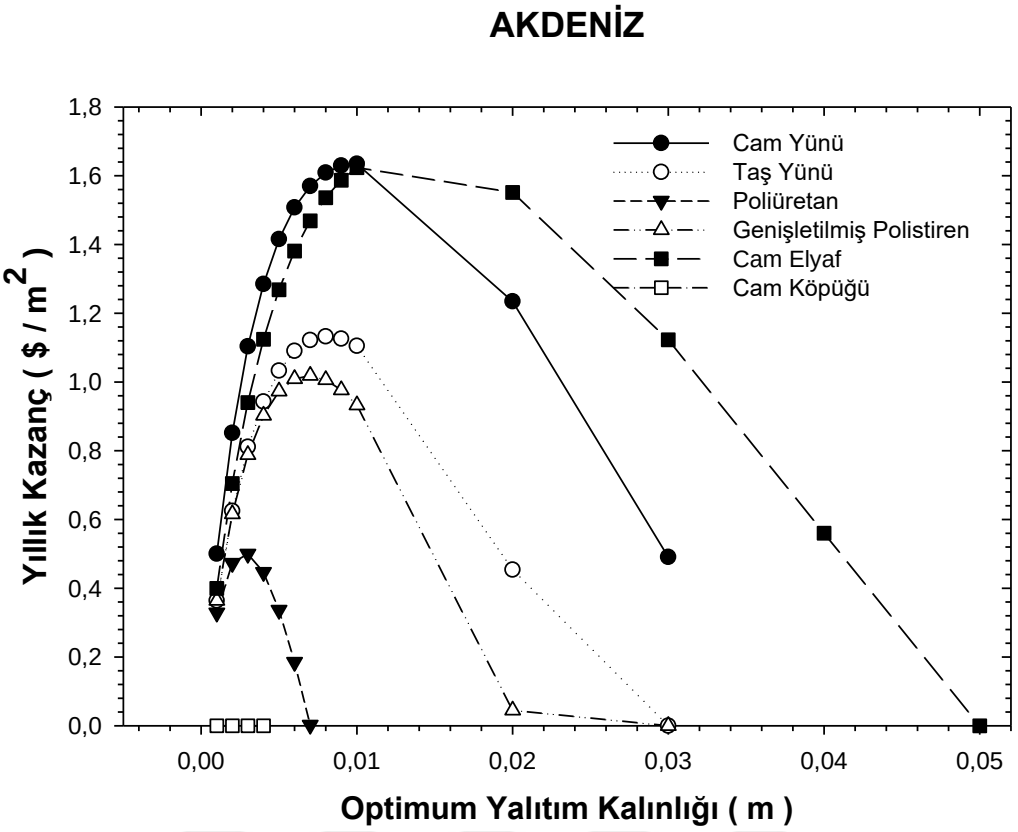
HDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Karadeniz ve Marmara bölgeleri için gerekli ısıtma gün sayıları (HDD=1410) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.

Şekil 5.14 Marmara Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,071 m ve 85,21 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,069 m ve 81,3 $/m^2, poliüretan için 0,034 m ve 75,01 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,061 m ve 80,3 $/m^2, cam elyaf için 0,095 m ve 85,4 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,024 m ve 61,05 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.15 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

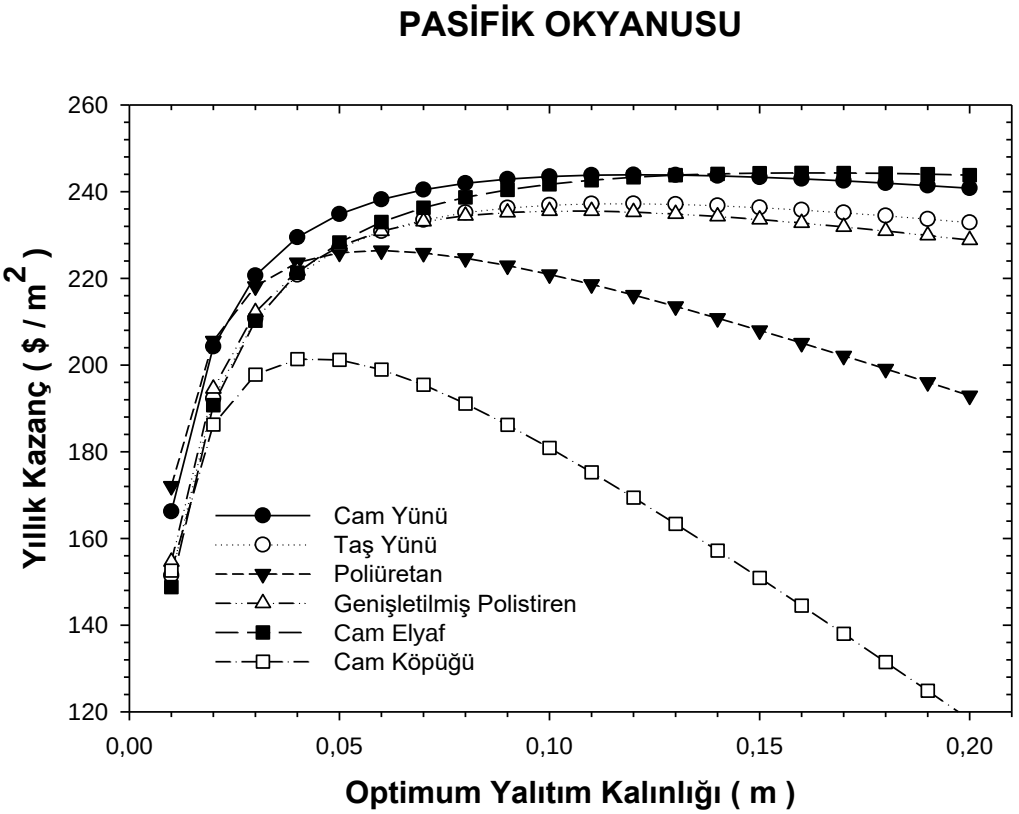
Şekil 5.15 Ege Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,029 m ve 13,81 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,026 m ve 12,26 $/m^2, poliüretan için 0,012 m ve 9,89 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,023 m ve 11,88 $/m^2, cam elyaf için 0,039 m ve 13,91 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,0071 m ve 5,28 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.16 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

Şekil 5.16 Akdeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,01 m ve 1,63 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,008 m ve 1,13 $/m^2, poliüretan için 0,0028 m ve 0,5 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,0069 m ve 1,02 $/m^2, cam elyaf için 0,013 m ve 1,67 $/m^2, cam köpüğü yalıtım malzemesi için Akdeniz Bölgesi'ndeki hesaplamalarda uygun yıllık kazanç miktarı elde edilemediğinden bu yalıtım malzemesi için kalınlık belirtilmemiştir.

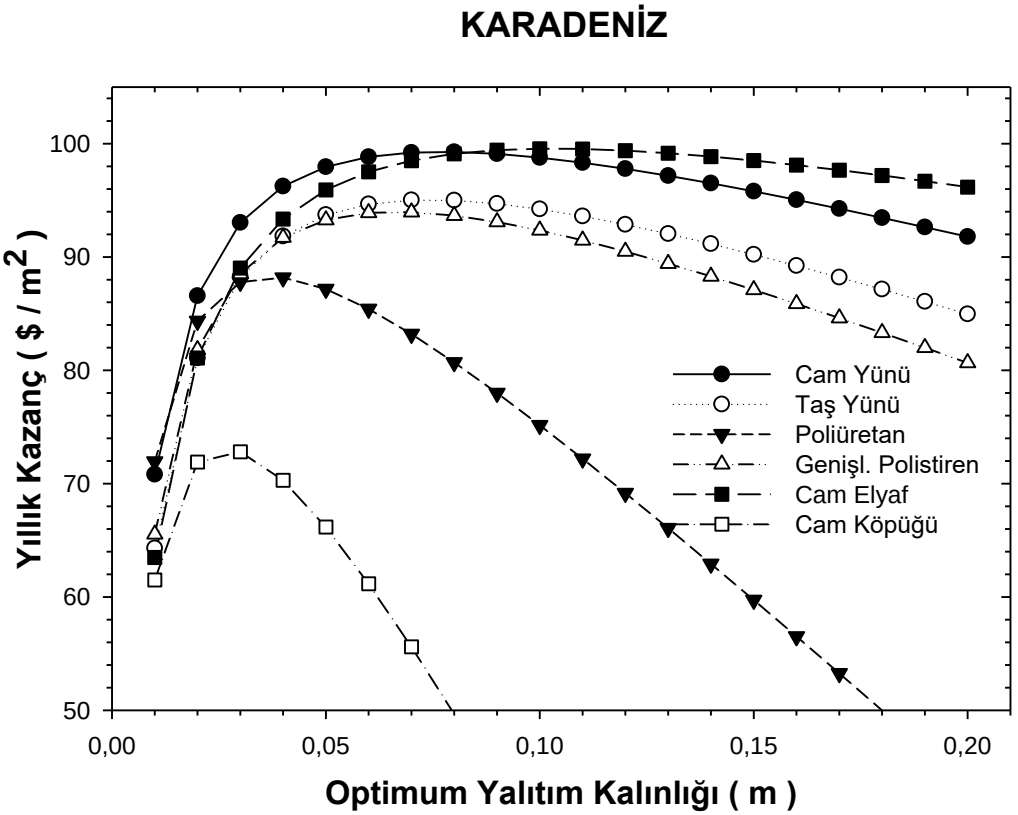
Ege ve özellikle Akdeniz'de yüksek deniz sıcaklıklarından dolayı buralarda çok fazla ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle yıllık kazanç miktarları diğer bölgelere kıyasla oldukça düşüktür.



Şekil 5.17 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

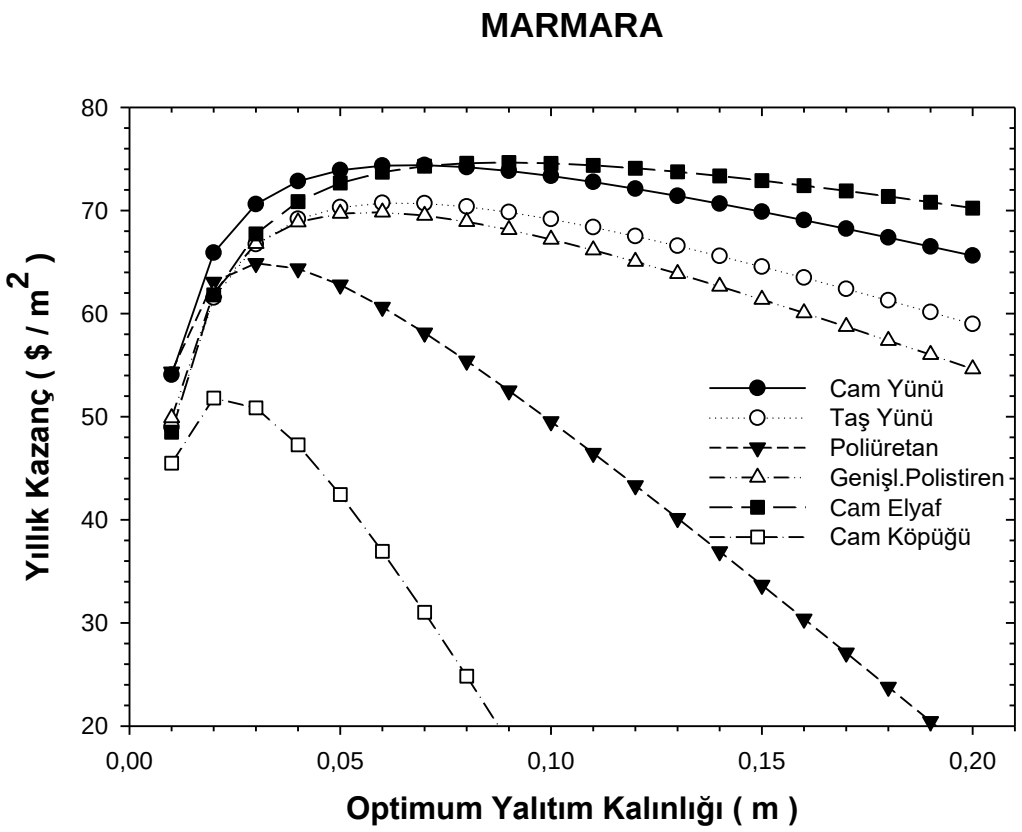
Şekil 5.17 Pasifik Okyanusu Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,12 m ve 243,89 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,11 m ve 237,24 $/m^2, poliüretan için 0,059 m ve 226,4 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,105 m ve 235,54 $/m^2, cam elyaf için 0,16 m ve 244,32 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,045 m ve 201,64 $/m^2 olarak bulunur.

Pasifik Okyanusu'nda deniz sıcaklıkları çok düşük olduğu için, ortamdaki ısı kaybını önleyebilmek ısı iletim direnci yüksek olan yalıtım malzemeleri ile mümkün olmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre yeterli direnç sağlandığında yıllık kazanç miktarının oldukça yüksek olduğu bulunmuştur.



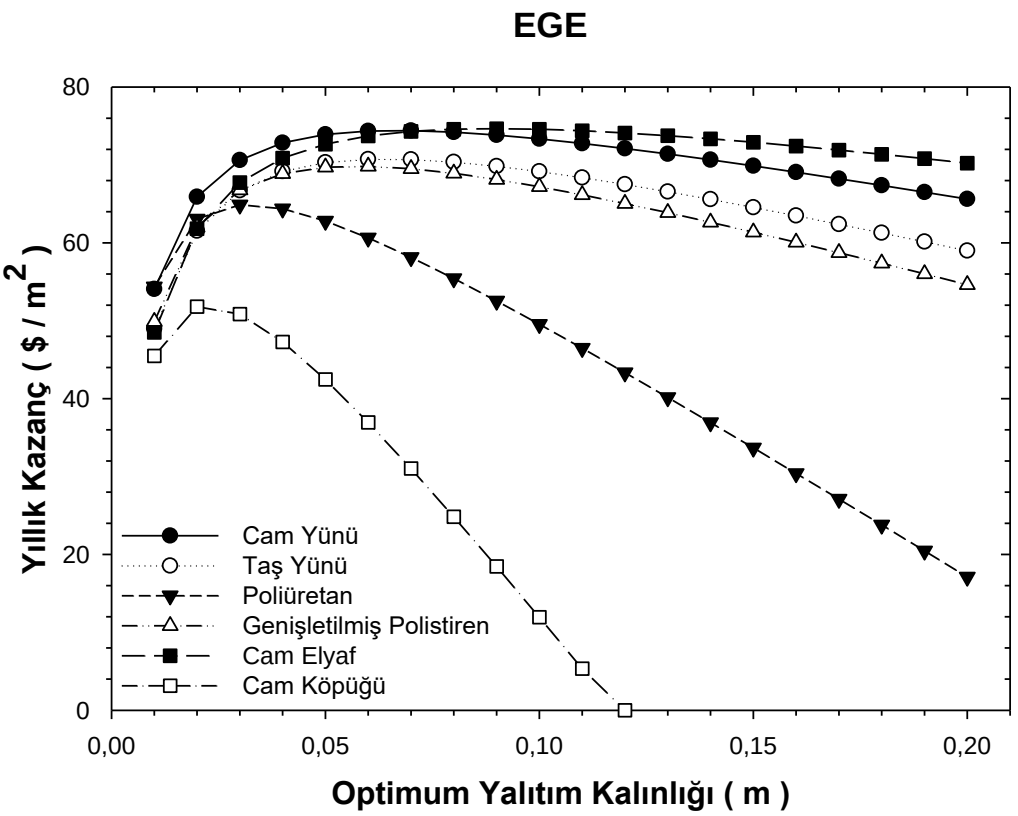
Şekil 5.18 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

Şekil 5.18 Karadeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,077 m ve 99,28 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,074 m ve 95,05 $/m^2, poliüretan için 0,037 m ve 88,24 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,066 m ve 93,98 $/m^2, cam elyaf için 0,10 m ve 99,55 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,027 m ve 73,04 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.19 Soğutma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

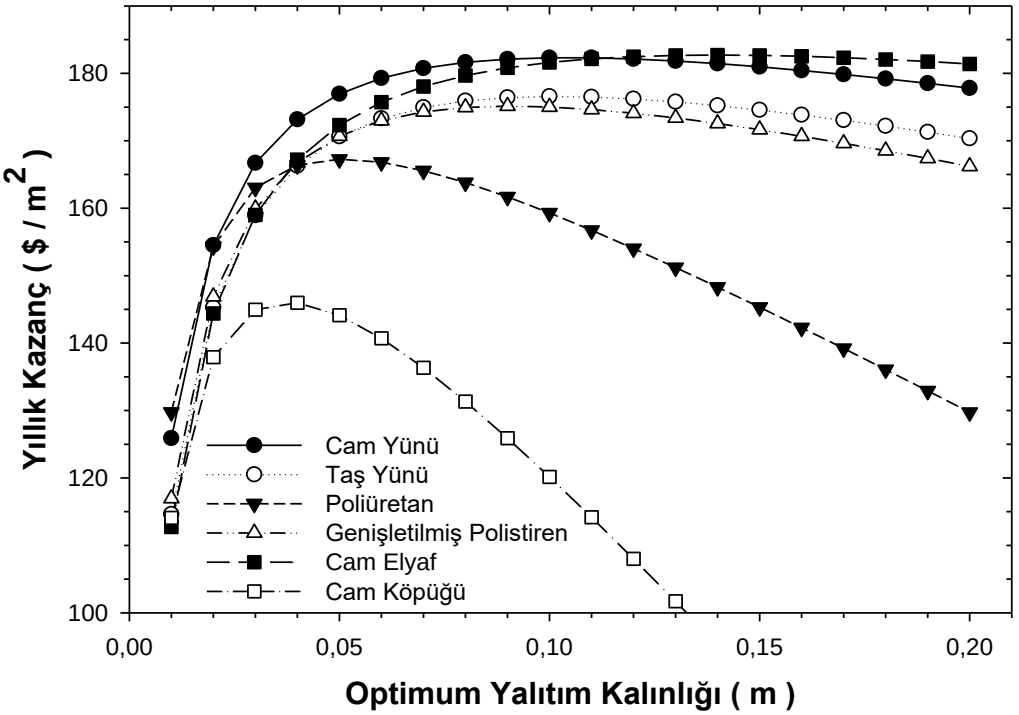
Şekil 5.19 Marmara Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,067 m ve 74,41 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,064 m ve 70,76 $/m^2, poliüretan için 0,032 m ve 64,9 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 69,84 $/m^2, cam elyaf için 0,089 m ve 74,65 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,022 m ve 51,96 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.20 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

CDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Marmara ve Ege Bölgeleri için gerekli soğutma gün sayıları (CDD=345) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.

Şekil 5.20 Ege Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,067 m ve 74,41 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,064 m ve 70,76 $/m^2, poliüretan için 0,032 m ve 64,9 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 69,84 $/m^2, cam elyaf için 0,089 m ve 74,65 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,022 m ve 51,96 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.21 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı ($/m^2)

Şekil 5.21 Akdeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,104 m ve 182,3 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,1 m ve 176,59 $/m^2, poliüretan için 0,05 m ve 167,26 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,09 m ve 175,13 $/m^2, cam elyaf için 0,14 m ve 182,71 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,038 m ve 146,05 $/m^2 olarak bulunur.

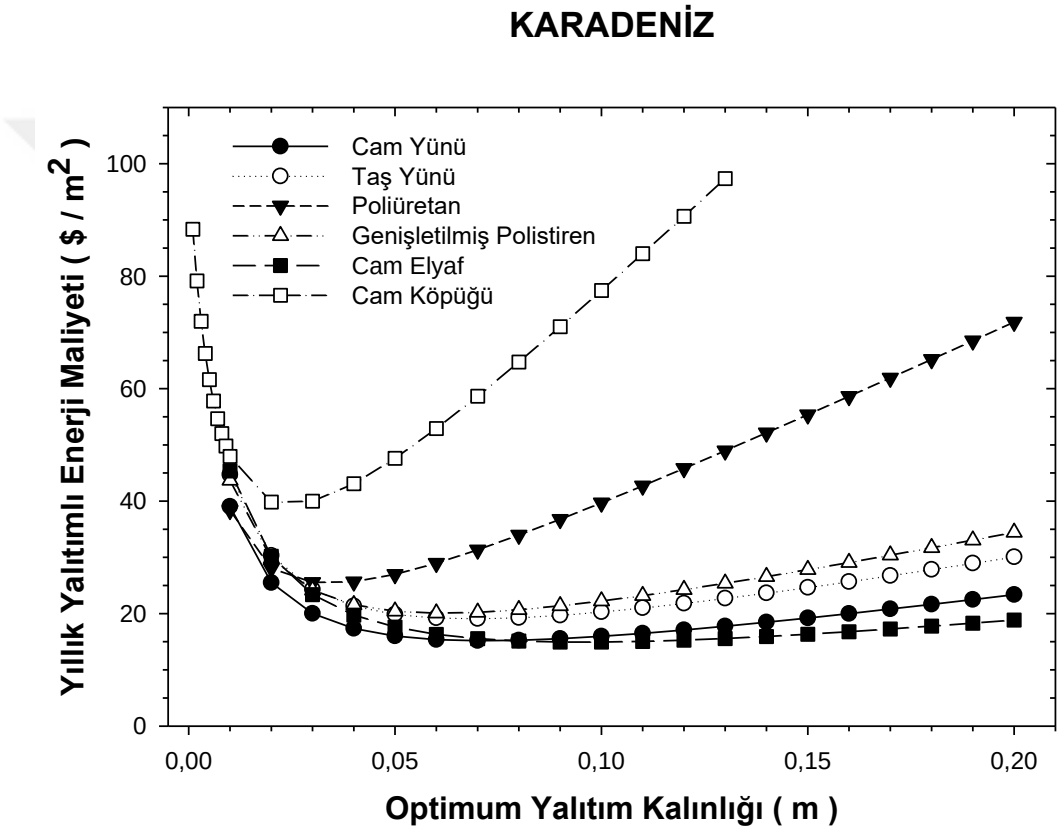
Pasifik okyanusu deniz sıcaklıkları çok düşük olduğundan dolayı ilaveten bir soğutmaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

5.3 Yıllık Yalıtımlı Enerji Maliyeti

Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, ve Şekil 5.26'da HDD, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, ve Şekil 5.30'da ise CDD için yıllık enerji maliyeti yalıtımlı olarak ifade edilmiştir. Grafiksel eğriler beklendiği gibi bir minimum nokta

içermekte ve sola- sağa doğru gidildikçe başka bir deyişle yalıtım kalınlığı optimumdan uzaklaştıkça yıllık maliyet artmaktadır.

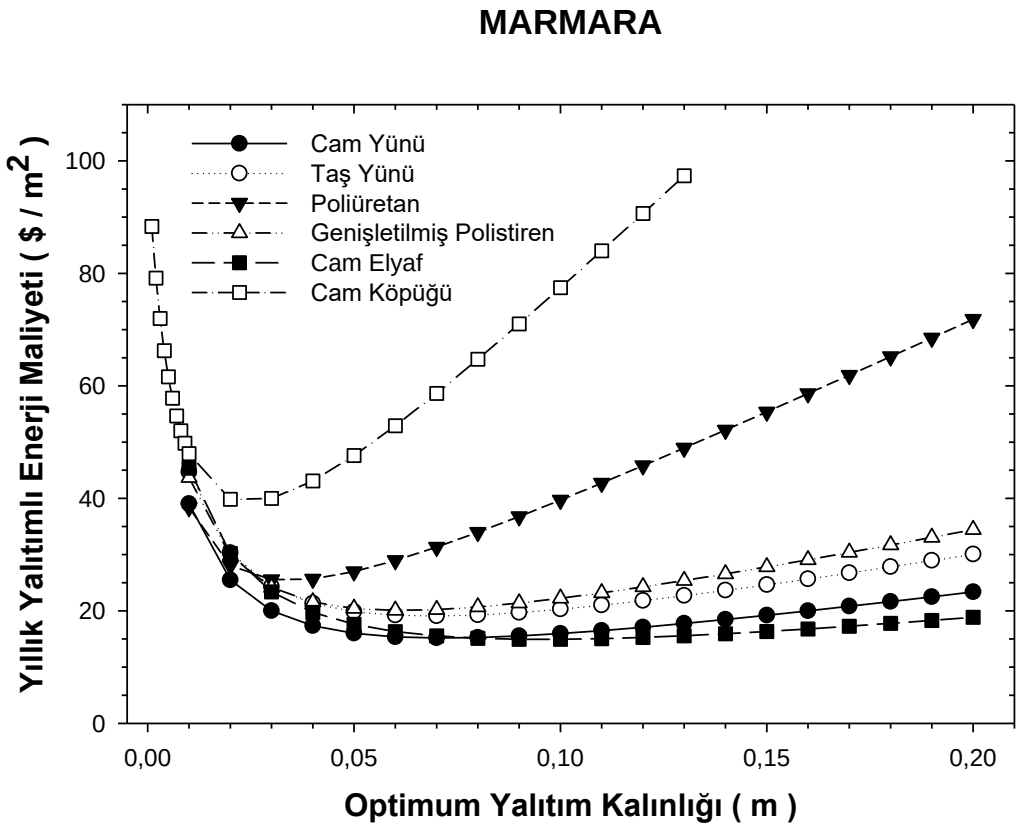
Optimum yalıtım kalınlığı değerine ulaşana kadar enerji maliyeti yüksektir. Bu durum ortamın ısıtılması veya soğutulması esnasında daha fazla enerji harcanmasından kaynaklanmaktadır. Optimum kalınlıktan sonra yıllık enerji maliyetinin artması ise, her ne kadar kalınlık arttıkça ısı transferi azalıp, harcanan enerji azalsa da kalınlık arttığından dolayı yalıtım malzemesi fiyatlarının artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.22 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

Şekil 5.22 Karadeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,071 m ve 15,18 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,069 m

ve 19,09 $/m^2, poliüretan için 0,034 m ve 25,38 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,061 m ve 20,08 $/m^2, cam elyaf için 0,095m ve 14,92 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,024 m ve 39,34 $/m^2 olarak bulunur.

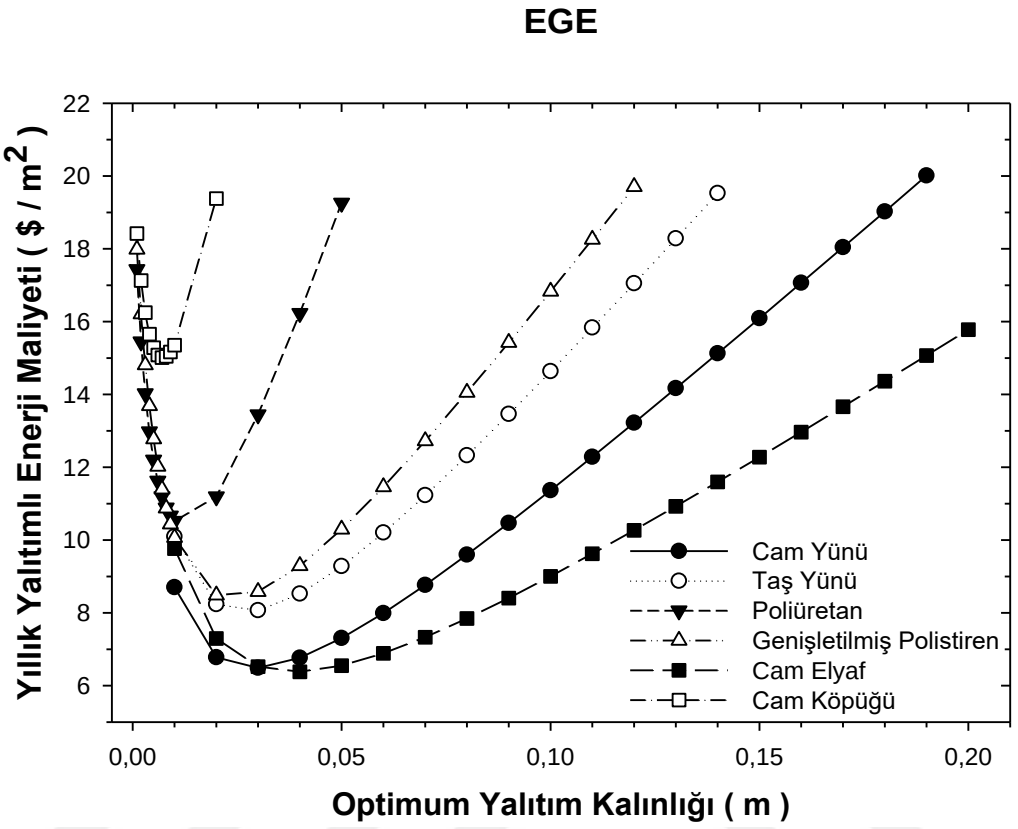


Şekil 5.23 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

HDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Karadeniz ve Marmara bölgeleri için gerekli ısıtma gün sayıları (HDD=1410) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.

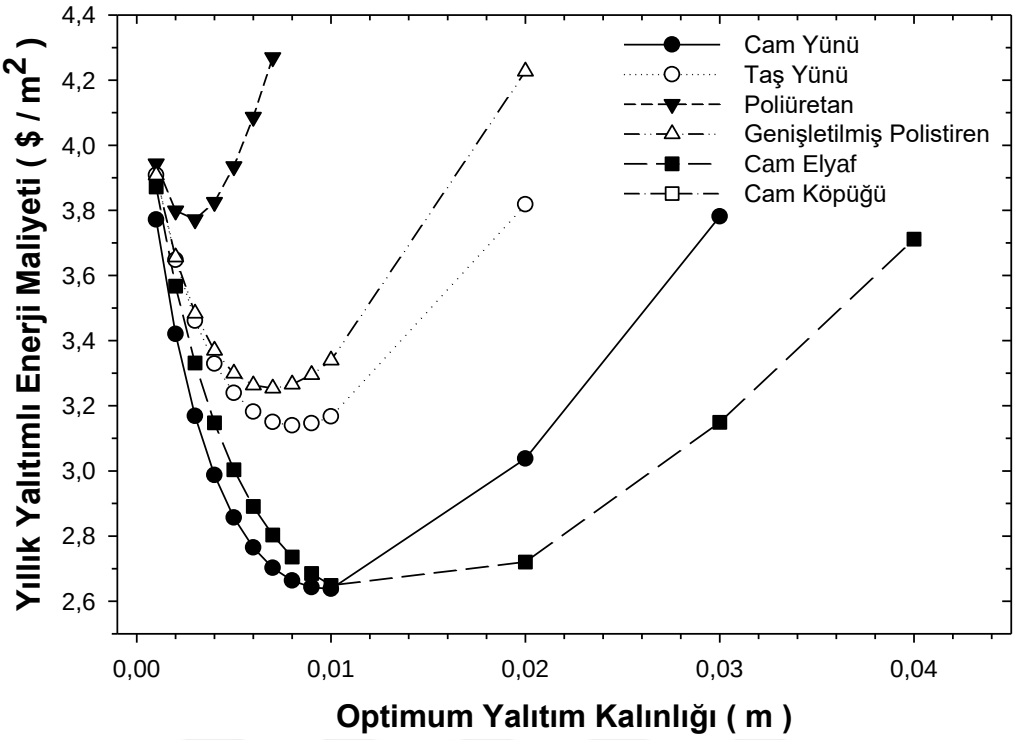
Şekil 5.23 Marmara Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,071 m ve 15,18 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,069 m ve 19,09 $/m^2, poliüretan için 0,034 m ve 25,38 $/m^2, genişletilmiş polistiren için

0,061 m ve 20,08 $/m^2, cam elyaf için 0,095m ve 14,92 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,024 m ve 39,34 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.24 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

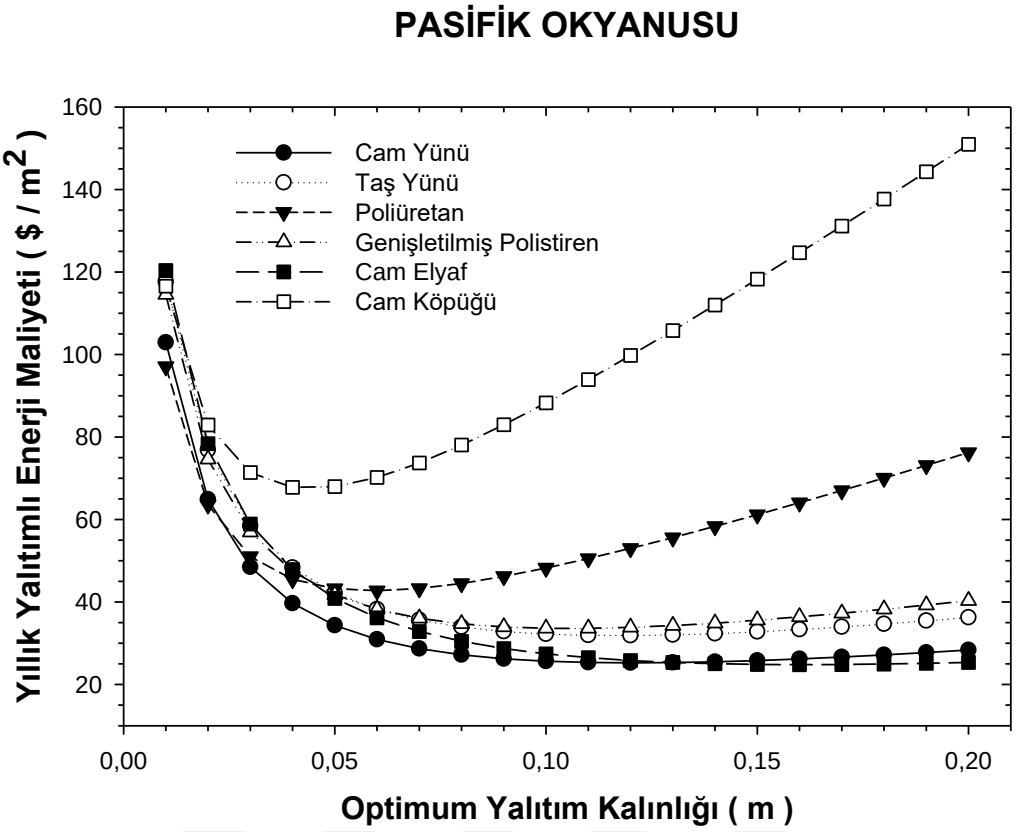
Şekil 5.24 Ege Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,029 m ve 6,48 $/m^2"dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,026 m ve 8,02 $/m^2, poliüretan için 0,012 m ve 10,39 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,023 m ve 8,41 $/m^2, cam elyaf için 0,039 m ve 6,38 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,0071 m ve 15 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.25 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

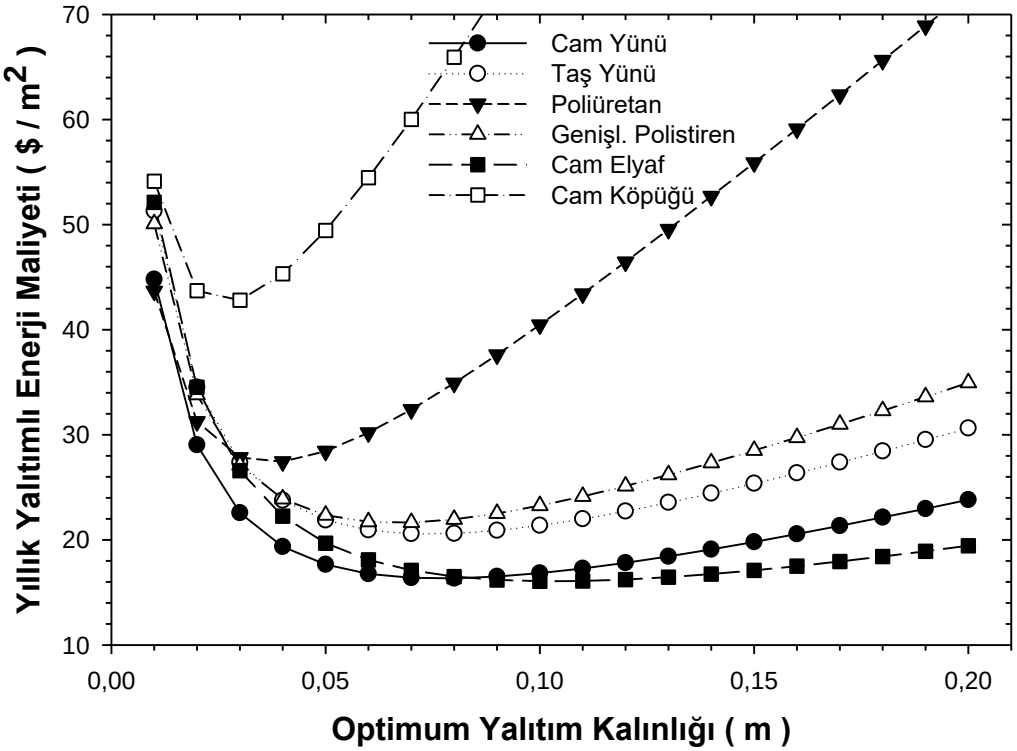
Şekil 5.25 Akdeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,01 m ve 2,64 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,008 m ve 3,14 $/m^2, poliüretan için 0,0028 m ve 3,77 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,0069 m ve 3,25 $/m^2, cam elyaf için 0,013 m ve 2,6 $/m^2, cam köpüğü ise Akdeniz bölgesinin şartlarına uygun bir yalıtım malzemesi değildir.

Ege ve özellikle Akdeniz bölgelerinde deniz sıcaklıkları yüksek olduğu için buralarda çok fazla ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarları diğer bölgelere kıyasla oldukça düşüktür.



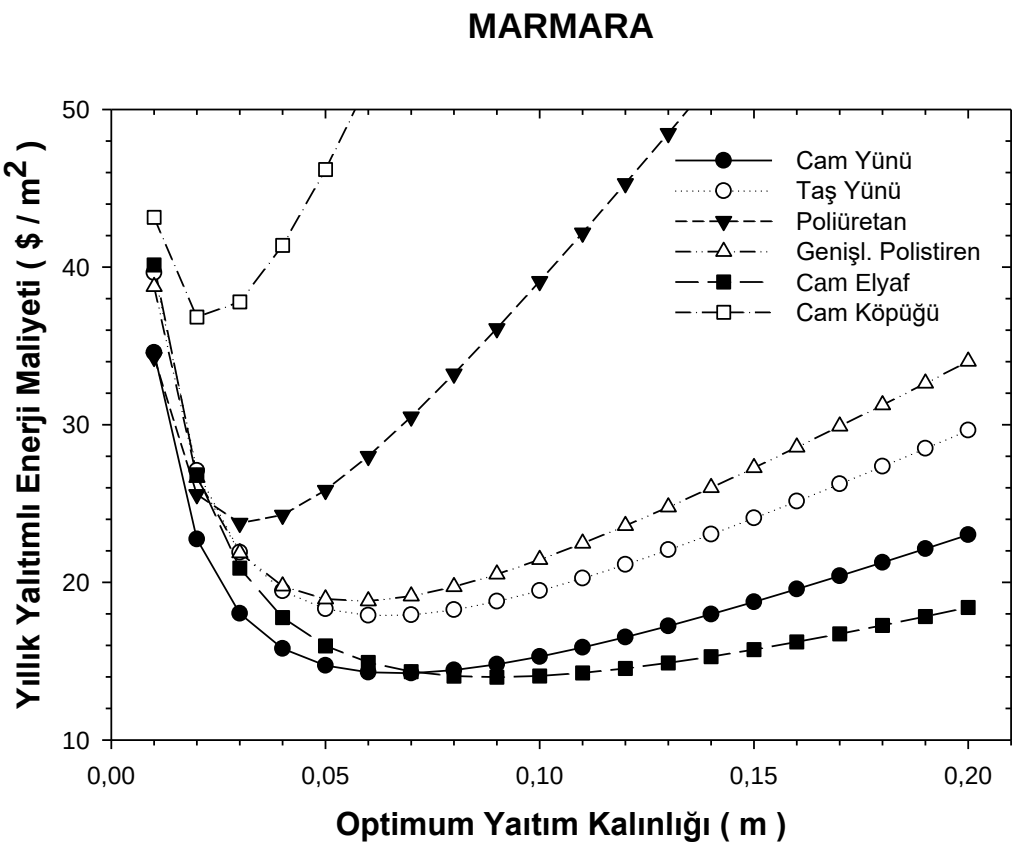
Şekil 5.26 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

Şekil 5.26 Pasifik Okyanusu Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,12 m ve 25,25 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,11 m ve 31,89 $/m^2, poliüretan için 0,059 m ve 42,73 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,105 m ve 33,58 $/m^2, cam elyaf için 0,16 m ve 24,81 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,045 m ve 67,52 $/m^2 olarak bulunur.



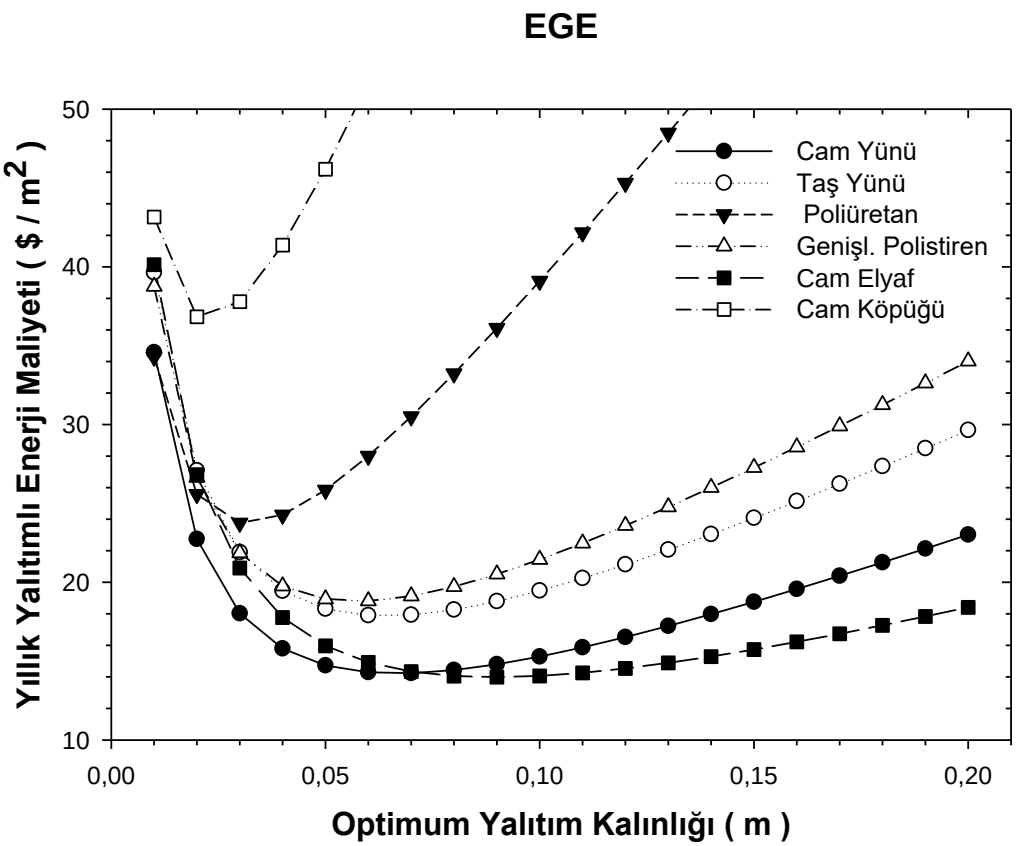
Şekil 5.27 Soğutma döneminde Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

Şekil 5.27 Karadeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,077 m ve 16,33 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,074 m ve 20,56 $/m^2, poliüretan için 0,037 m ve 27,38 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,066 m ve 21,63 $/m^2, cam elyaf için 0,10 m ve 16,05 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,027 m ve 42,58 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.28 Soğutma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

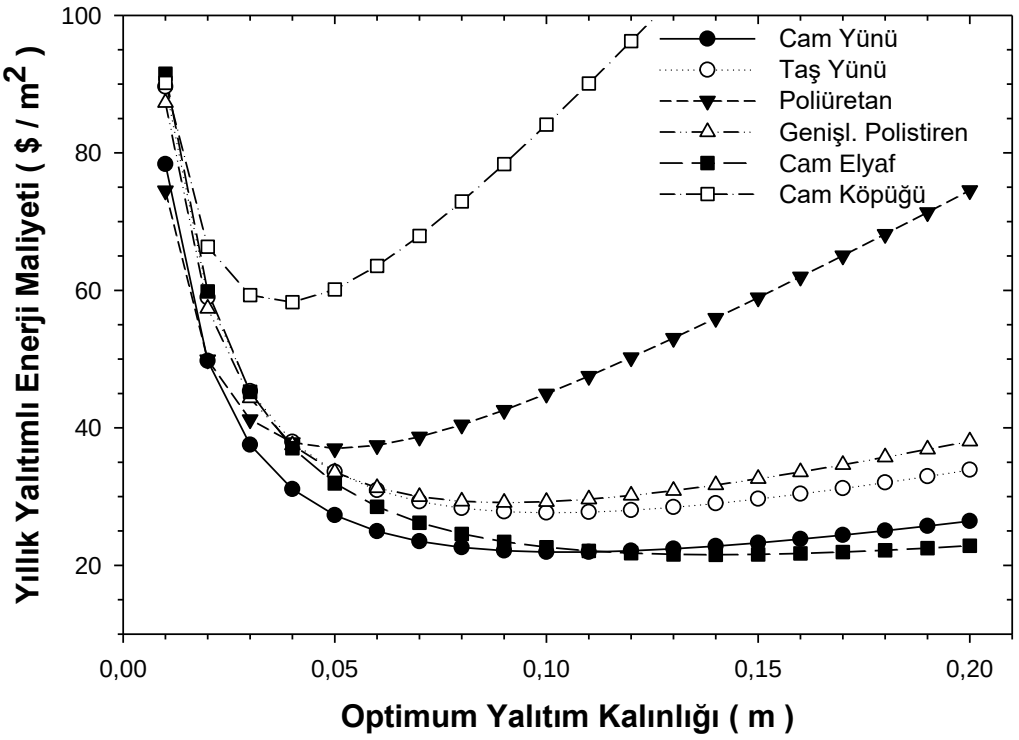
Şekil 5.28 Marmara Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,067 m ve 14,22 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,064 m ve 17,88 $/m^2, poliüretan için 0,032 m ve 23,73 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 18,8 $/m^2, cam elyaf için 0,089 m ve 13,98 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,022 m ve 36,67 $/m^2 olarak bulunur.



Şekil 5.29 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

Şekil 5.29 Ege Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,067 m ve 14,22 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,064 m ve 17,88 $/m^2, poliüretan için 0,032 m ve 23,73 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 18,8 $/m^2, cam elyaf için 0,089 m ve 13,98 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,022 m ve 36,67 $/m^2 olarak bulunur.

CDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Marmara ve Ege bölgeleri için gerekli soğutma gün sayıları (CDD=345) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.



Şekil 5.30 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarı ($/m^2)

Şekil 5.30 Akdeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yalıtımlı enerji maliyeti miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,104 m ve 21,91 $/m^2'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık yalıtımlı enerji maliyeti sırasıyla, 0,1 m ve 27,66 $/m^2, poliüretan için 0,05 m ve 36,98 $/m^2, genişletilmiş polistiren için 0,09 m ve 29,11 $/m^2, cam elyaf için 0,14 m ve 21,54 $/m^2, cam köpüğü için ise 0,038 m ve 58,19 $/m^2 olarak bulunur.

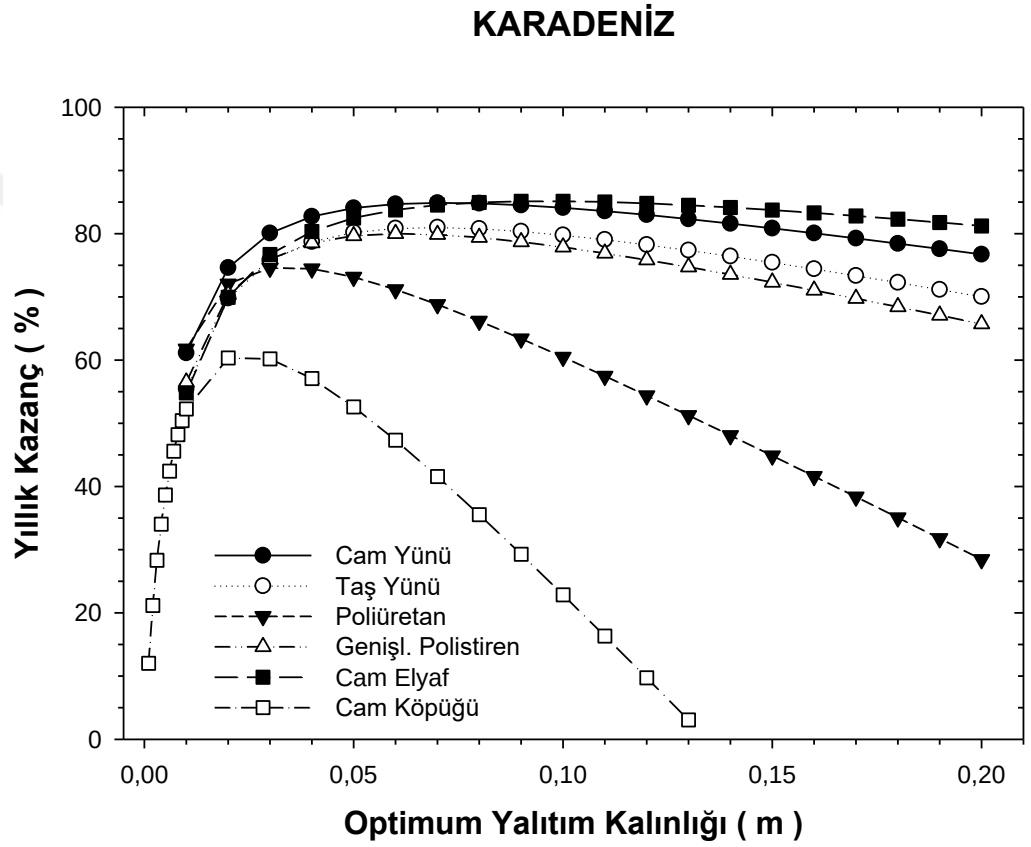
Pasifik okyanusu deniz sıcaklıkları çok düşük olduğundan dolayı ilaveten bir soğutmaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

5.4 Yıllık Kazanç Miktarı (%)

Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'de HDD, Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'da ise CDD için yıllık kazançların yüzdesel olarak

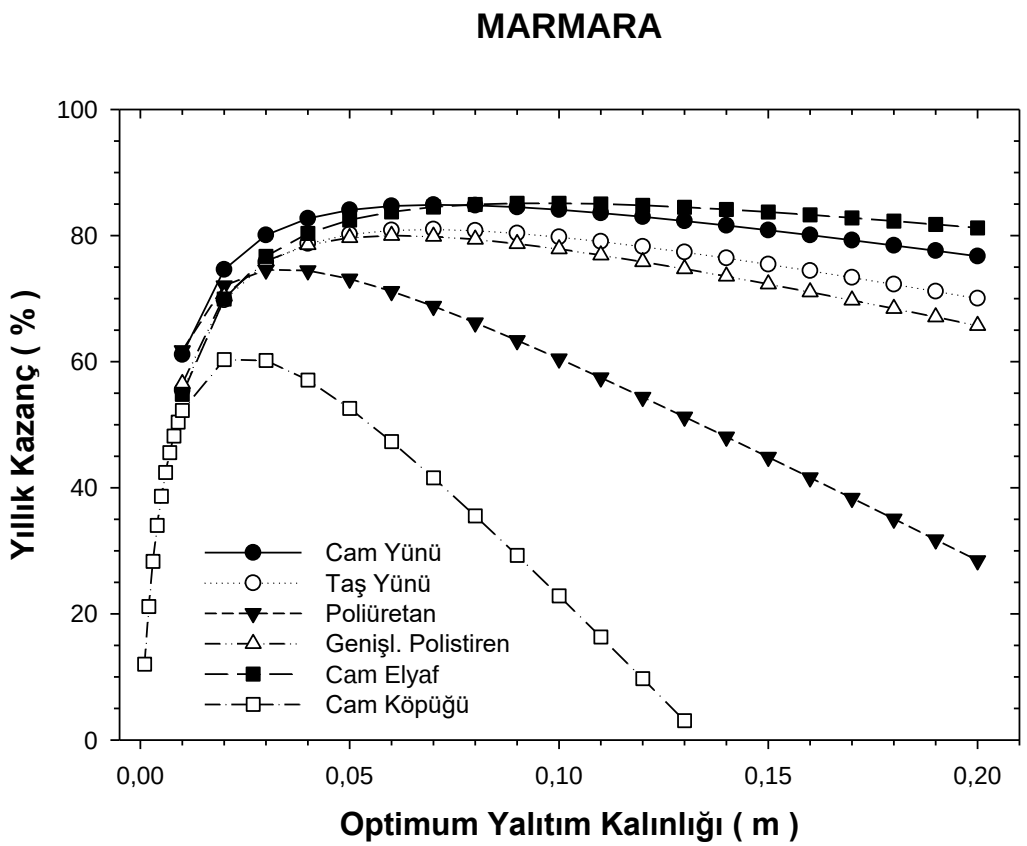
gösterimleri bulunmaktadır. Kazanç miktarları, bölgelerdeki sıcaklıklara, yalıtım malzemelerinin ısıl iletkenlik katsayısına ve fiyatlarına bağlı olarak değişmektedir.

Diğer bölgelere kıyasla Akdeniz'de yıllık kazanç yüzdesi düşüktür. Bunun nedeni Akdeniz ikliminin genelde sıcak olmasından kaynaklanmaktadır. Sıcak bölgelerde ısıtma ihtiyacı çok olmadığı için kazançların düşük olması normaldir. Karadeniz gibi soğuk ve ısıtma ihtiyacı olan yerlerde ise şekil 5.17 (a)'dan da anlaşılacağı gibi yıllık kazanç miktarı ortalama % 80'lere kadar çıkmaktadır.



Şekil 5.31 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

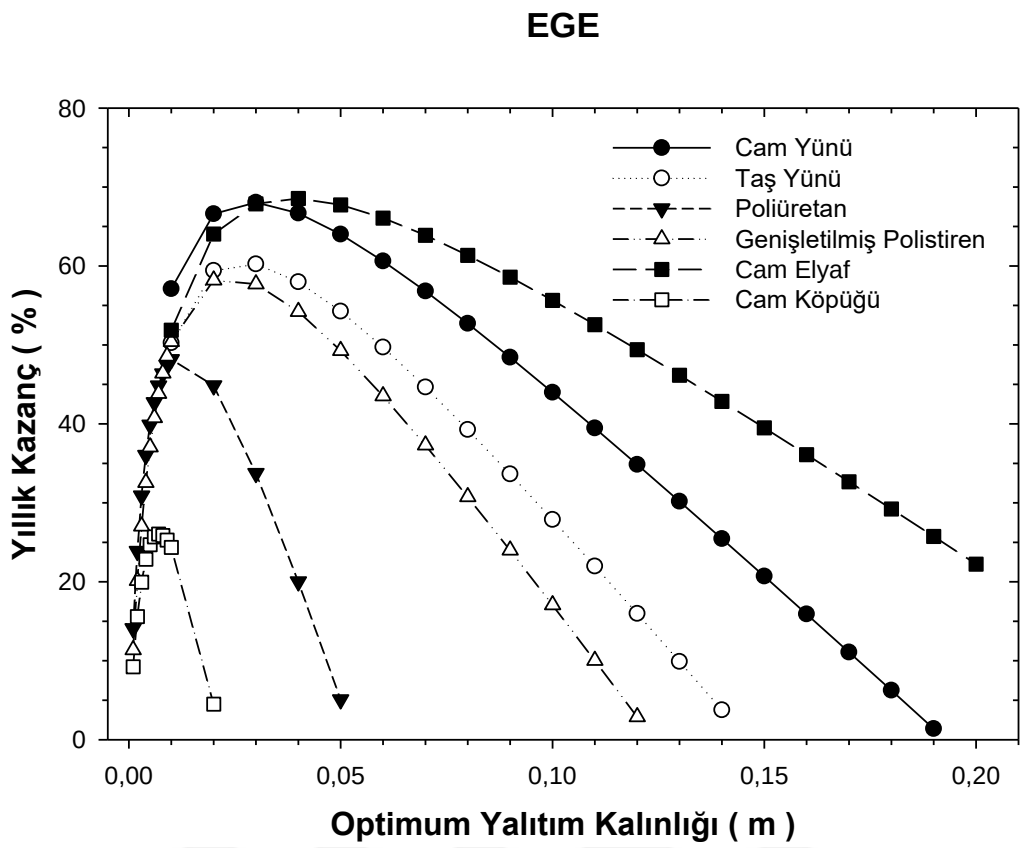
Şekil 5.31 Karadeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,071 m ve 84,88 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,069 m ve 80,99 % , poliüretan için 0,034 m ve 74,72 %, genişletilmiş polistiren için 0,061 m ve 80 % , cam elyaf için 0,095m ve 85,13 % , cam köpüğü için ise 0,024 m ve 60,81 % olarak bulunur.



Şekil 5.32 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

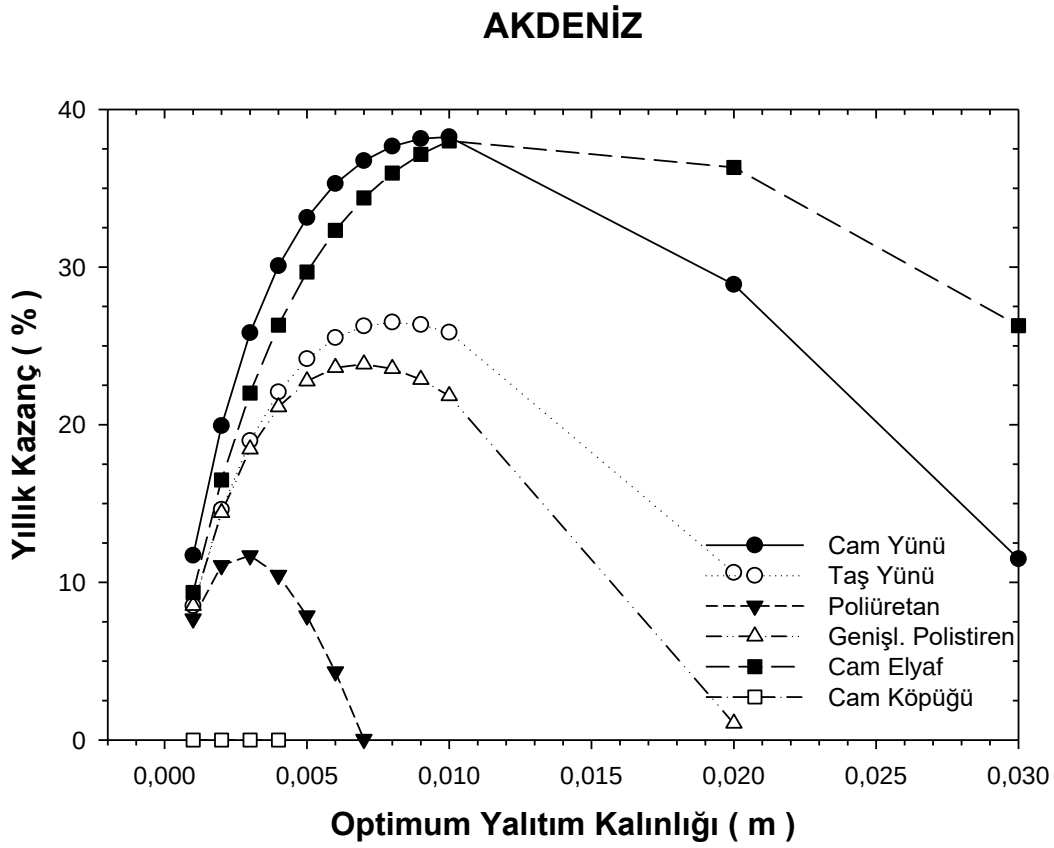
HDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Karadeniz ve Marmara bölgeleri için gerekli ısıtma gün sayıları (HDD=1410) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.

Şekil 5.32 Marmara Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,071 m ve 84,88 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,069 m ve 80,99 %, poliüretan için 0,034 m ve 74,72 %, genişletilmiş polistiren için 0,061 m ve 80 %, cam elyaf için 0,095 m ve 85,13 %, cam köpüğü için ise 0,024 m ve 60,81 % olarak bulunur.



Şekil 5.33 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

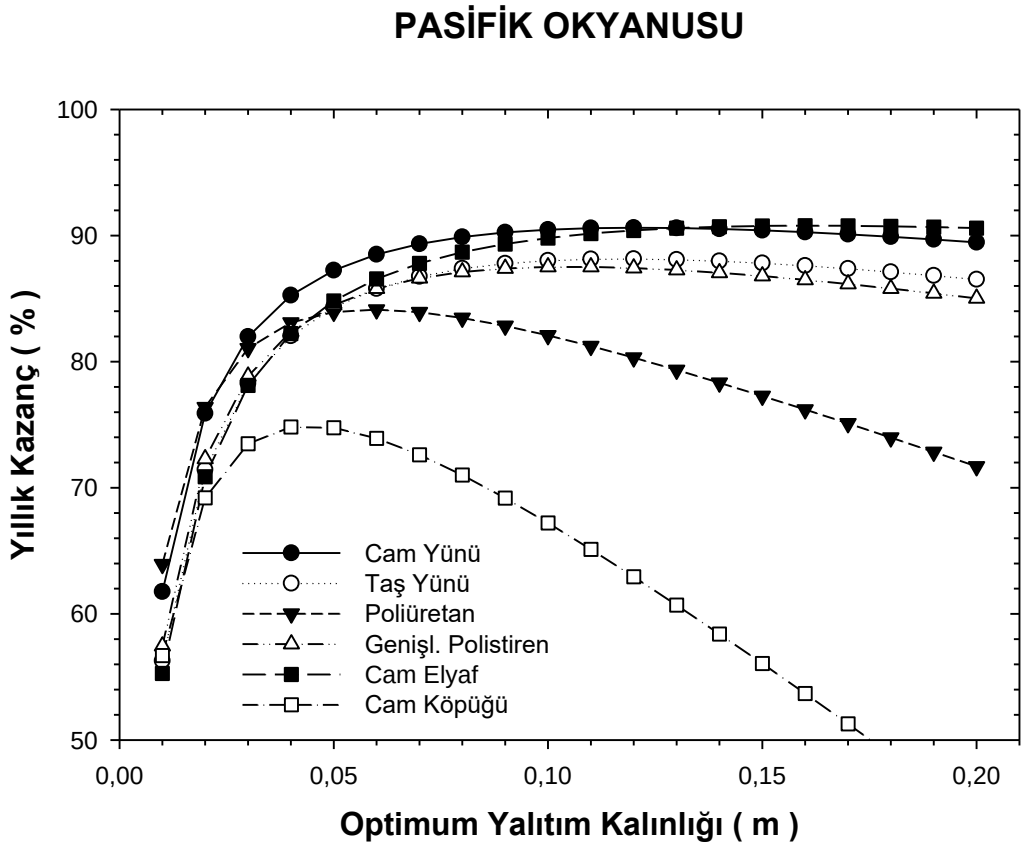
Şekil 5.33 Ege Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,029 m ve 68,06 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,026 m ve 60,44 %, poliüretan için 0,012 m ve 48,78 %, genişletilmiş polistiren için 0,023 m ve 58,55 % , cam elyaf için 0,039 m ve 68,57 %, cam köpüğü için ise 0,0071 m ve 26,03 % olarak bulunur.



Şekil 5.34 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

Şekil 5.34 Akdeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,01 m ve 38,26 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,008 m ve 26,51 %, poliüretan için 0,0028 m ve 11,75 %, genişletilmiş polistiren için 0,0069 m ve 23,84 %, cam elyaf için 0,013 m ve 39,1 %, cam köpüğü ise Akdeniz bölgesinin şartlarına uygun bir yalıtım malzemesi değildir.

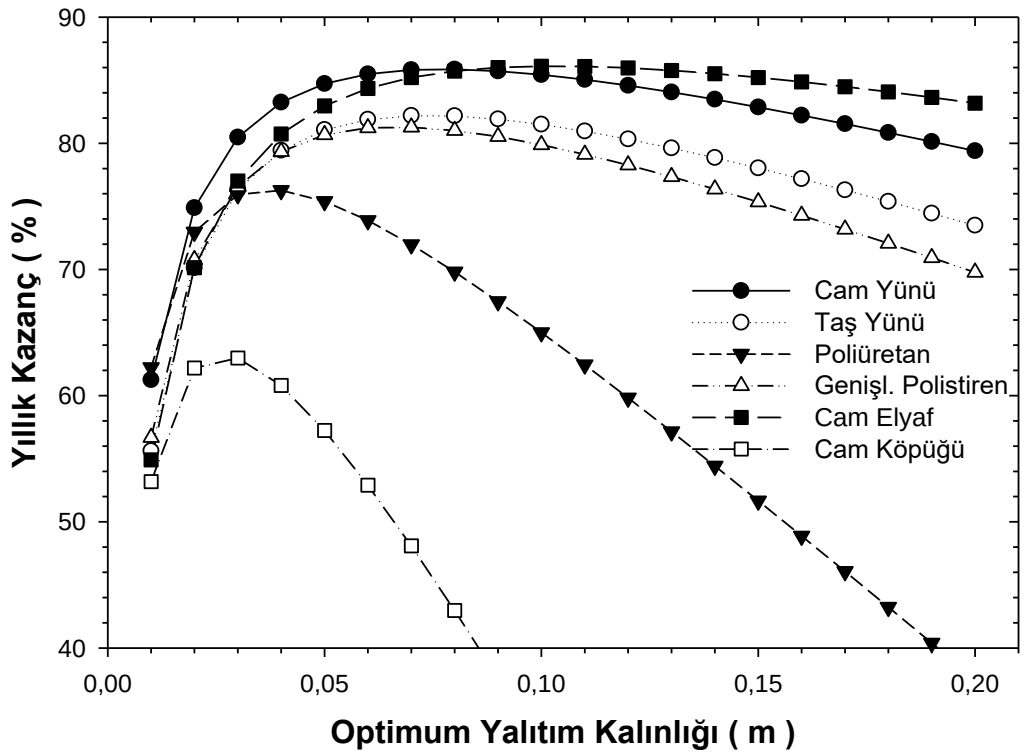
Ege ve özellikle Akdeniz bölgelerinde deniz sıcaklıkları yüksek olduğu için buralarda çok fazla ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle yıllık kazanç miktarları diğer bölgelere kıyasla oldukça düşüktür.



Şekil 5.35 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

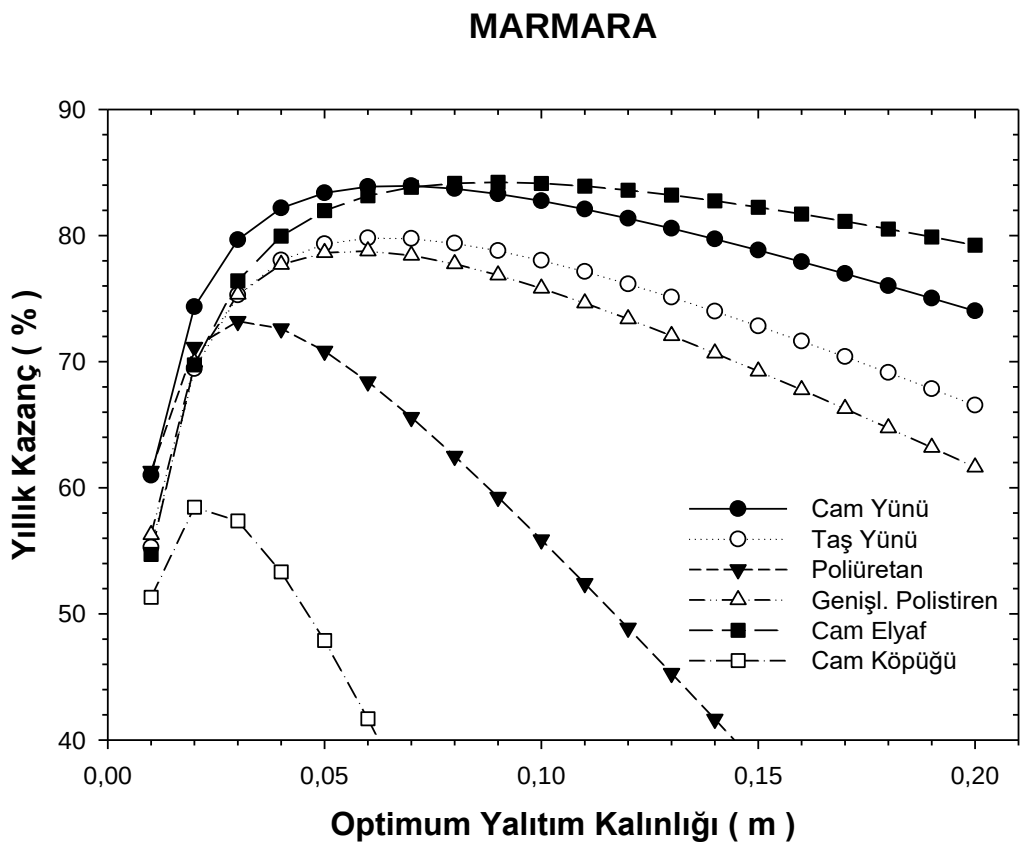
Şekil 5.35 Pasifik Okyanusu bölgesinde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,12 m ve 89 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,11 m ve 88,15 %, poliüretan için 0,059 m ve 84,12 %, genişletilmiş polistiren için 0,105 m ve 87,52 %, cam elyaf için 0,16 m ve 90,7 %, cam köpüğü için ise 0,045 m ve 74,91 % olarak bulunur.

Pasifik Okyanusu'nda deniz sıcaklıkları çok düşük olduğu için, ortamdaki ısı kaybını önleyebilmek ısı iletim direnci yüksek olan yalıtım malzemeleri ile mümkün olmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre yeterli direnç sağlandığında yıllık kazanç oranının oldukça yüksek olduğu bulunmuştur.



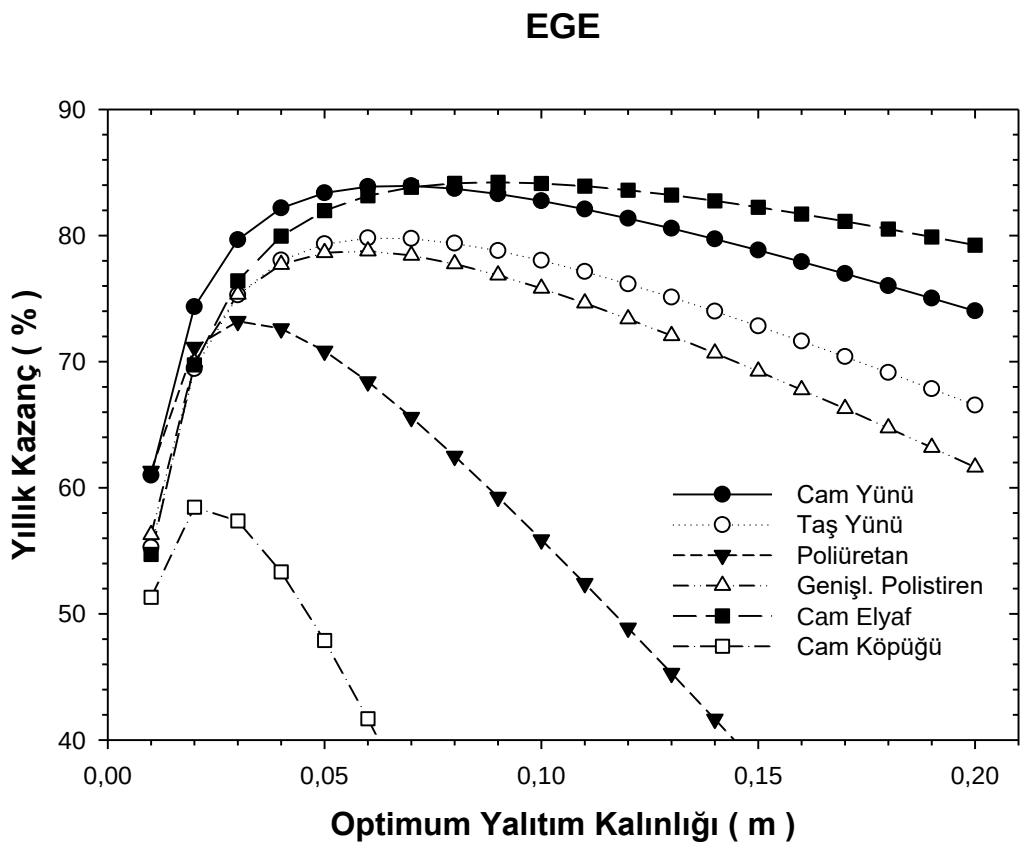
Şekil 5.36 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

Şekil 5.36 Karadeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,077 m ve 85,87 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,074 m ve 82,22 %, poliüretan için 0,037 m ve 76,33 %, genişletilmiş polistiren için 0,066 m ve 81,29 %, cam elyaf için 0,10 m ve 86,11 %, cam köpüğü için ise 0,027 m ve 63,17 % olarak bulunur.



Şekil 5.37 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

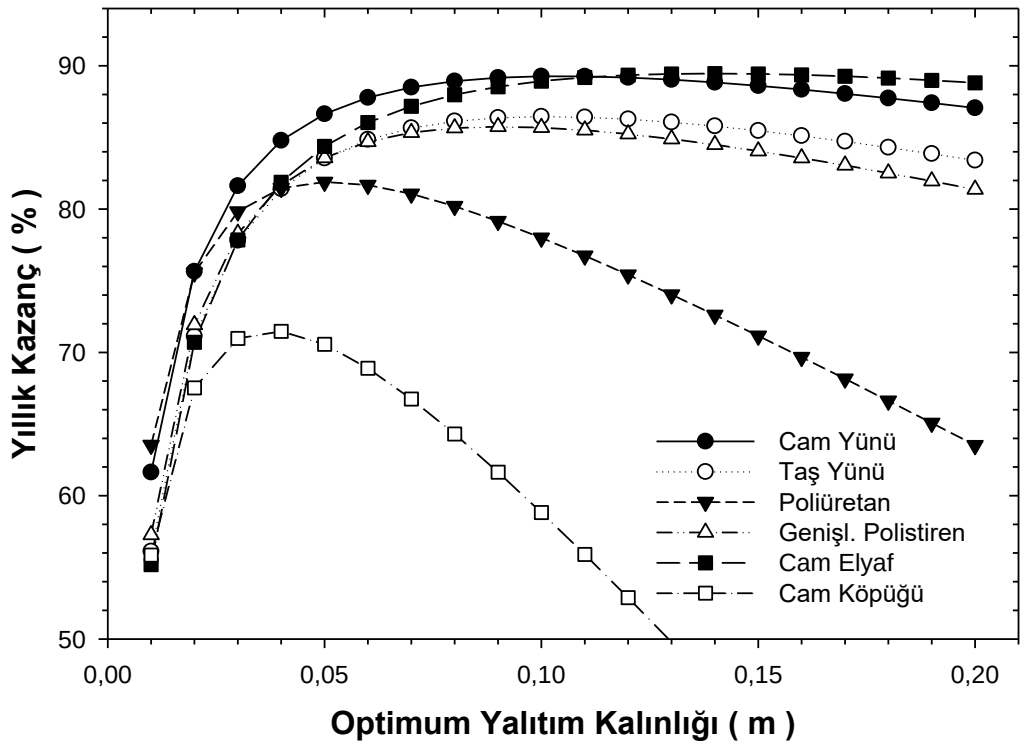
Şekil 5.37 Marmara Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,067 m ve 83,95 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,064 m ve 79,83 %, poliüretan için 0,032 m ve 73,22 %, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 78,79 %, cam elyaf için 0,089 m ve 84,22 % , cam köpüğü için ise 0,022 m ve 58,62 % olarak bulunur.



Şekil 5.38 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

Şekil 5.38 Ege Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,067 m ve 83,95 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,064 m ve 79,83 %, poliüretan için 0,032 m ve 73,22 %, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 78,79 %, cam elyaf için 0,089 m ve 84,22 %, cam köpüğü için ise 0,022 m ve 58,62 % olarak bulunur.

CDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Marmara ve Ege bölgeleri için gerekli soğutma gün sayıları (CDD=345) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.



Şekil 5.39 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait yıllık kazanç miktarı (%)

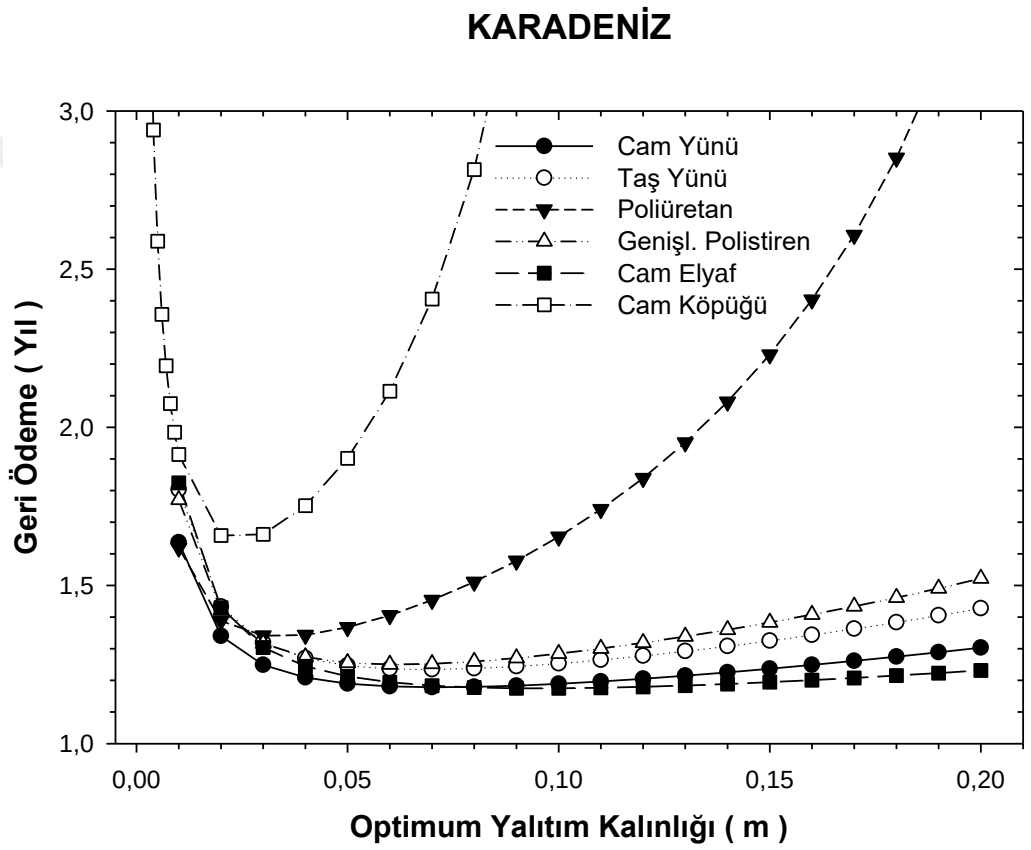
Şekil 5.39 Akdeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre yıllık kazanç miktarlarını göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,104 m ve 89,27 %'dir. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık kazanç sırasıyla, 0,1 m ve 86,46 %, poliüretan için 0,05 m ve 81,89 %, genişletilmiş polistiren için 0,09 m ve 85,75 %, cam elyaf için 0,14 m ve 89,45 %, cam köpüğü için ise 0,038 m ve 71,51 % olarak bulunur.

Pasifik okyanusu deniz sıcaklıkları çok düşük olduğundan dolayı ilaveten bir soğutmaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

5.5 Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi bu uygulamada yapılan yatırım maliyetinin ne kadar sürede kendini amorti edeceğini ifade etmektedir. Önemli bir ifade olan geri ödeme süresi, yalıtım malzemelerinin maliyeti için de hesaplanmıştır. Bununla ilgili

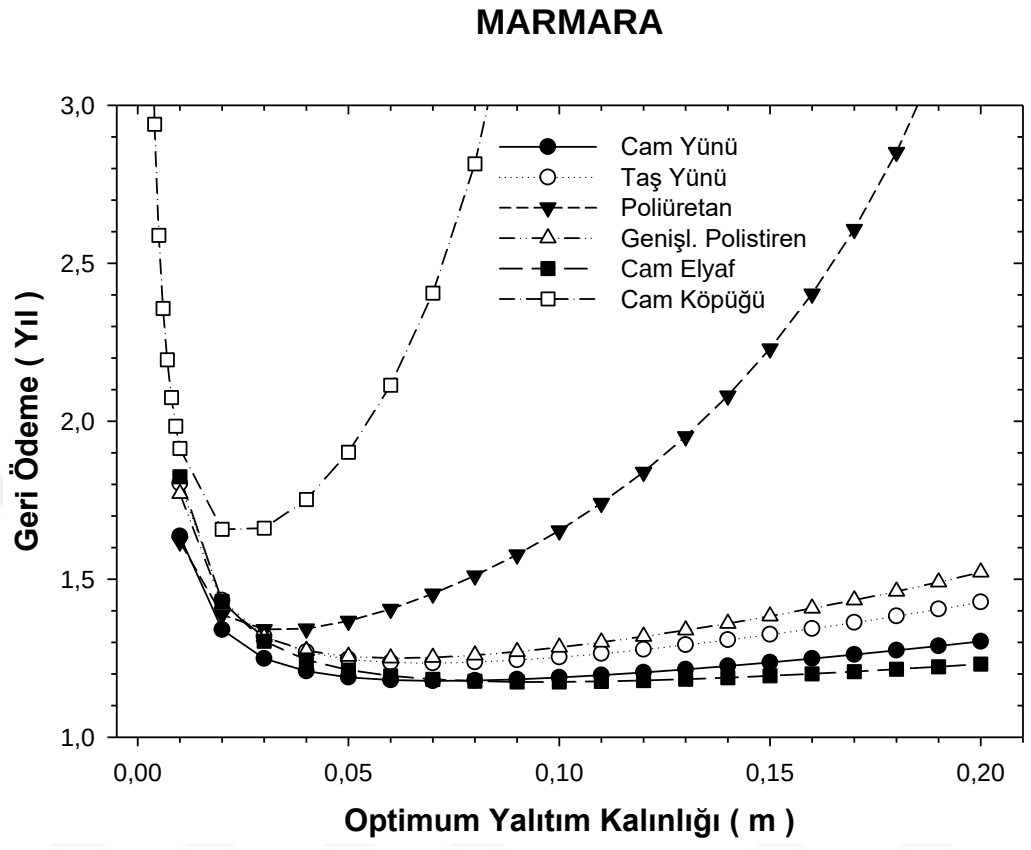
olarak ısıtma döneminde farklı yalıtım malzemeleri için yapılan hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlıklarında ortalama geri ödeme süreleri 1,5 - 4 yıl aralığında bulunmuştur. Buna ek olarak soğutma dönemi için yapılan hesaplamalara göre ortalama geri ödeme süreleri 1,25 - 2 yıl aralığında bulunmuştur. Bir başka deyişle, soğutma dönemi için yapılan harcamaların, ısıtma dönemine göre daha kısa sürede kendisini amorti edeceği hesaplanmıştır. Bu durum soğuk bölgelerde yapılacak yalıtımların ne kadar önemli ve gerekli olduğunun ispatı niteliğindedir.



Şekil 5.40 Isıtma dönemi Karadeniz Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri (yıl)

Şekil 5.40 Karadeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,071 m ve 1,18 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,069 m ve 1,23 yıl, poliüretan için 0,034 m ve 1,34

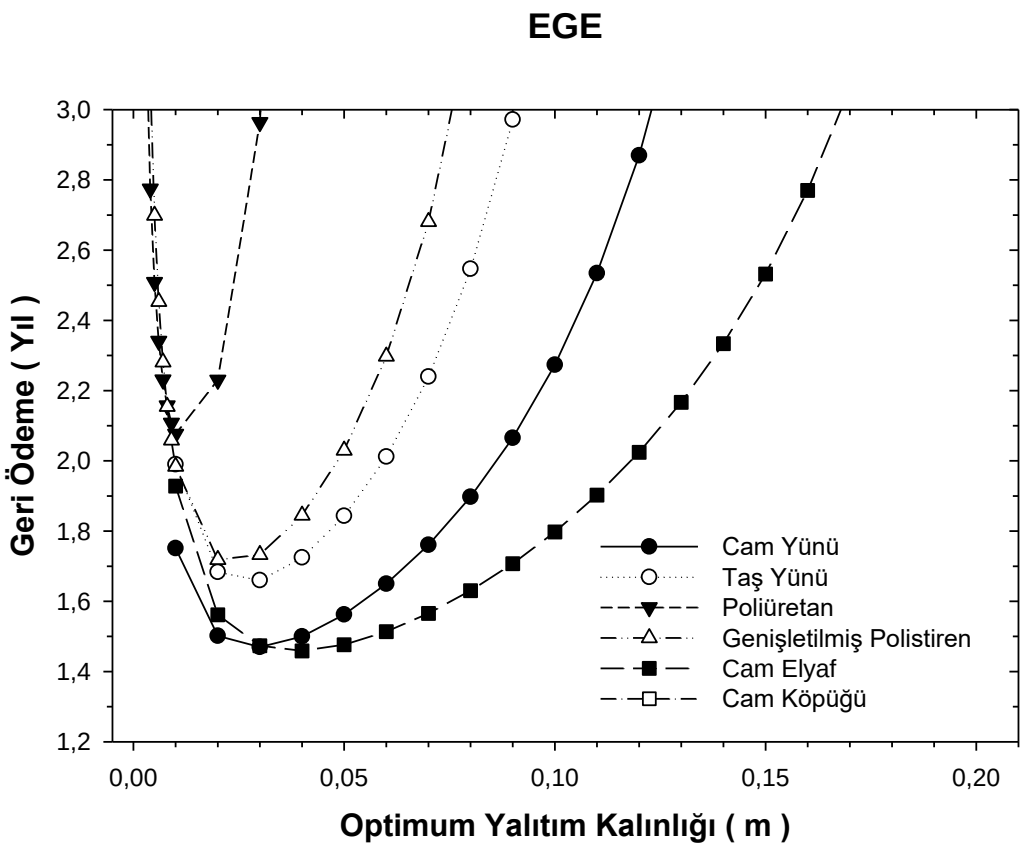
yıl, genişletilmiş polistiren için 0,061 m ve 1,25 yıl, cam elyaf için 0,095 m ve 1,18 yıl, cam köpüğü için ise 0,024 m ve 1,65 yıl olarak bulunur.



Şekil 5.41 Isıtma dönemi Marmara Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri (yıl)

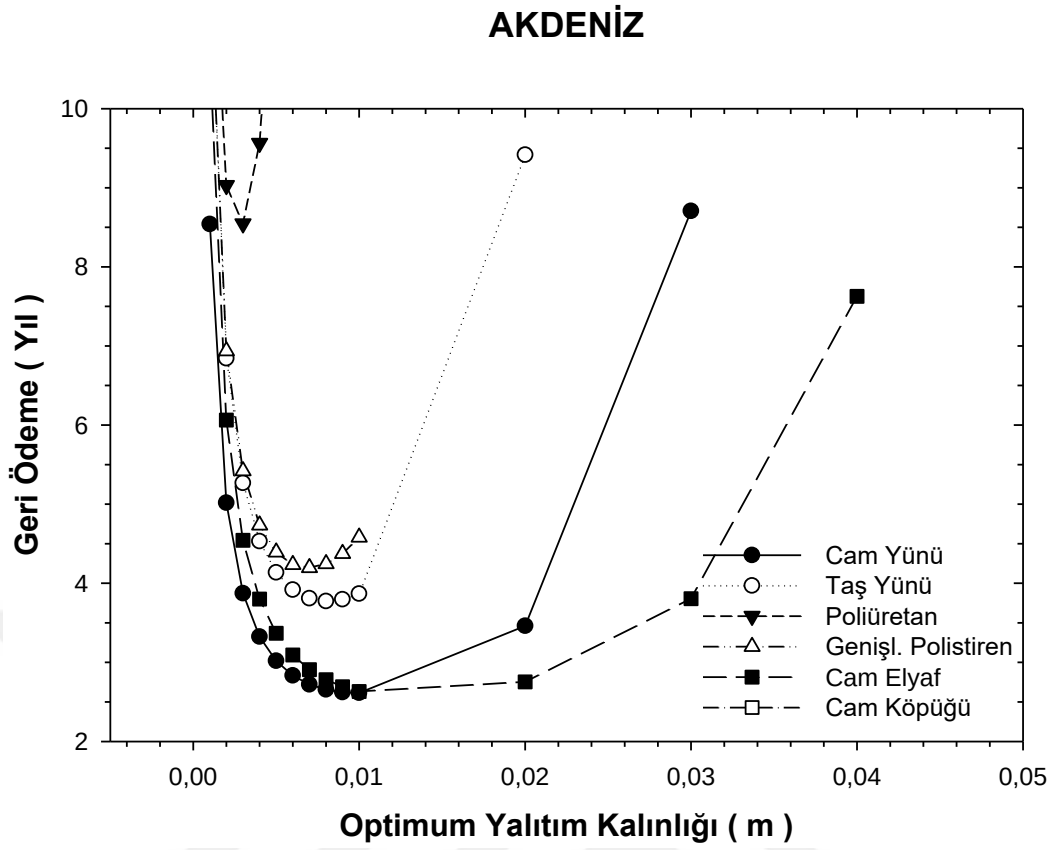
Şekil 5.41 Marmara Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,071 m ve 1,18 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,069 m ve 1,23 yıl, poliüretan için 0,034 m ve 1,34 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,061 m ve 1,25 yıl, cam elyaf için 0,095 m ve 1,18 yıl, cam köpüğü için ise 0,024 m ve 1,65 yıl olarak bulunur.

HDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Karadeniz ve Marmara bölgeleri için gerekli ısıtma gün sayıları (HDD=1410) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.



Şekil 5.42 Isıtma dönemi Ege Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri (yıl)

Şekil 5.42 Ege Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,029 m ve 1,47 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,026 m ve 1,65 yıl, poliüretan için 0,012 m ve 2,05 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,023 m ve 1,71 yıl, cam elyaf için 0,039 m ve 1,46 yıl, cam köpüğü için ise 0,0071 m ve 3,85 yıl olarak bulunur.

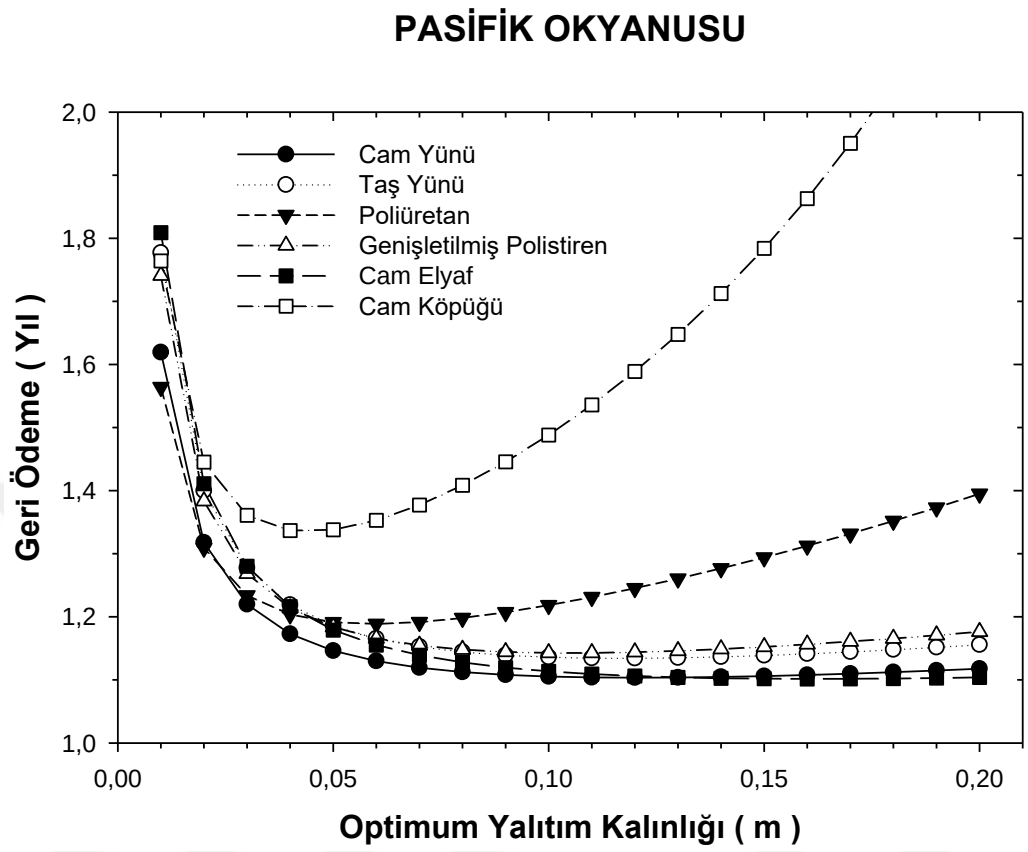


Şekil 5.43 Isıtma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri (yıl)

Şekil 5.43 Akdeniz Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,01 m ve 2,61 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,008 m ve 3,77 yıl, poliüretan için 0,028 m ve 8,51 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,069 m ve 4,19 yıl, cam elyaf için 0,013 m ve 2,56 yıldır.

Yapılan hesaplamalara göre cam köpüğü malzemesinin Akdeniz Bölgesi'nin şartlarına uygun bir yalıtım malzemesi olmadığı anlaşılmıştır. Ege ve özellikle Akdeniz bölgelerinde deniz sıcaklıkları yüksek olduğu için buralarda ısıtma ihtiyacı daha azdır. Bu nedenle yapılan yatırımın geri kazanım süreleri diğer bölgelere kıyasla daha uzundur. Ayrıca Soğutma Gün Sayısına göre yapılan işlemler sonucunda Marmara ve Ege bölgeleri için gerekli soğutma gün sayıları

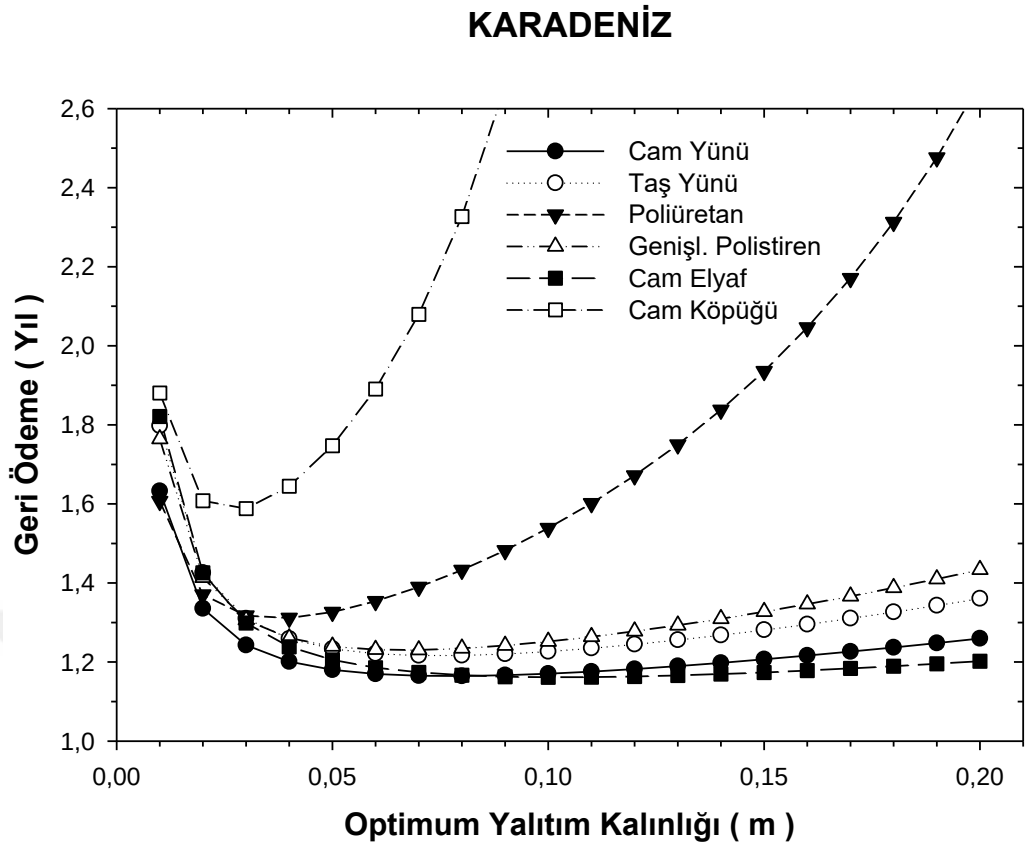
(CDD=345) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.



Şekil 5.44 Isıtma dönemi Pasifik Okyanusu Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri (yıl)

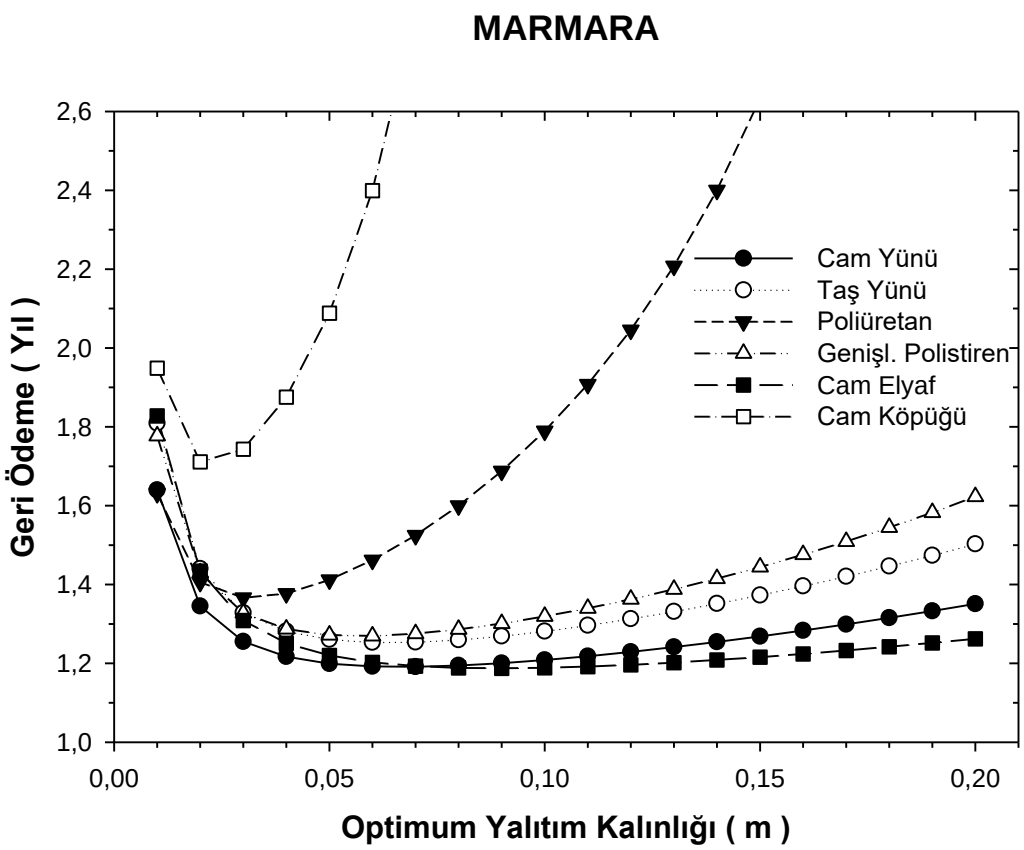
Şekil 5.44 Pasifik Okyanusu Bölgesi'nde ısıtma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,12 m ve 1,10 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,11 m ve 1,14 yıl, poliüretan için 0,059 m ve 1,19 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,105 m ve 1,14 yıl, cam elyaf için 0,16 m ve 1,10 yıl, cam köpüğü için ise 0,045 m ve 1,33 yıl olarak bulunur.

Pasifik Okyanusu'nda deniz sıcaklıkları çok düşük olduğu için, ortamdaki ısı kaybını önleyebilmek ısı iletim direnci yüksek olan yalıtım malzemeleri ile mümkün olmaktadır. Yeterli direnç sağlandığında ise geri kazanım süresi oldukça kısadır.



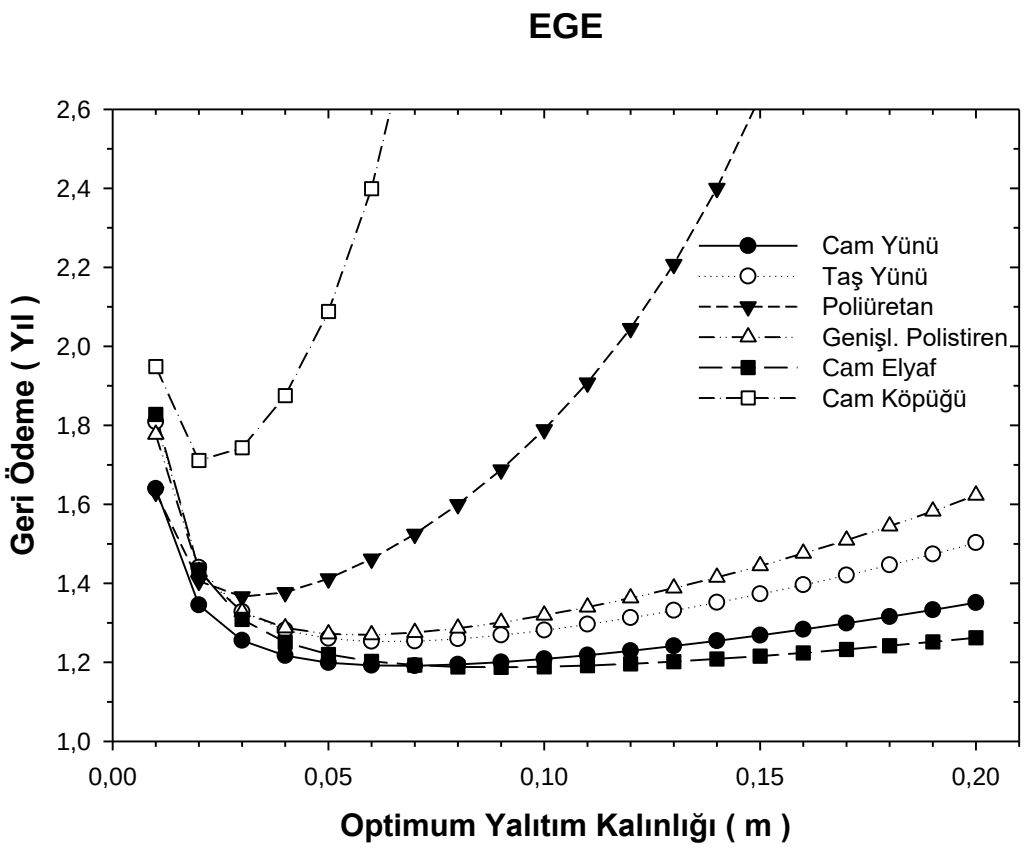
Şekil 5.45 Soğutma dönemi Karadeniz Bölgesine ait geri ödeme süreleri (yıl)

Şekil 5.45 Karadeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,077 m ve 1,16 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,074 m ve 1,22 yıl, poliüretan için 0,037 m ve 1,31 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,066 m ve 1,23 yıl, cam elyaf için 0,10 m ve 1,16 yıl, cam köpüğü için ise 0,027 m ve 1,58 yıl olarak bulunur.



Şekil 5.46 Soğutma dönemi Marmara Bölgesine ait geri ödeme süreleri (yıl)

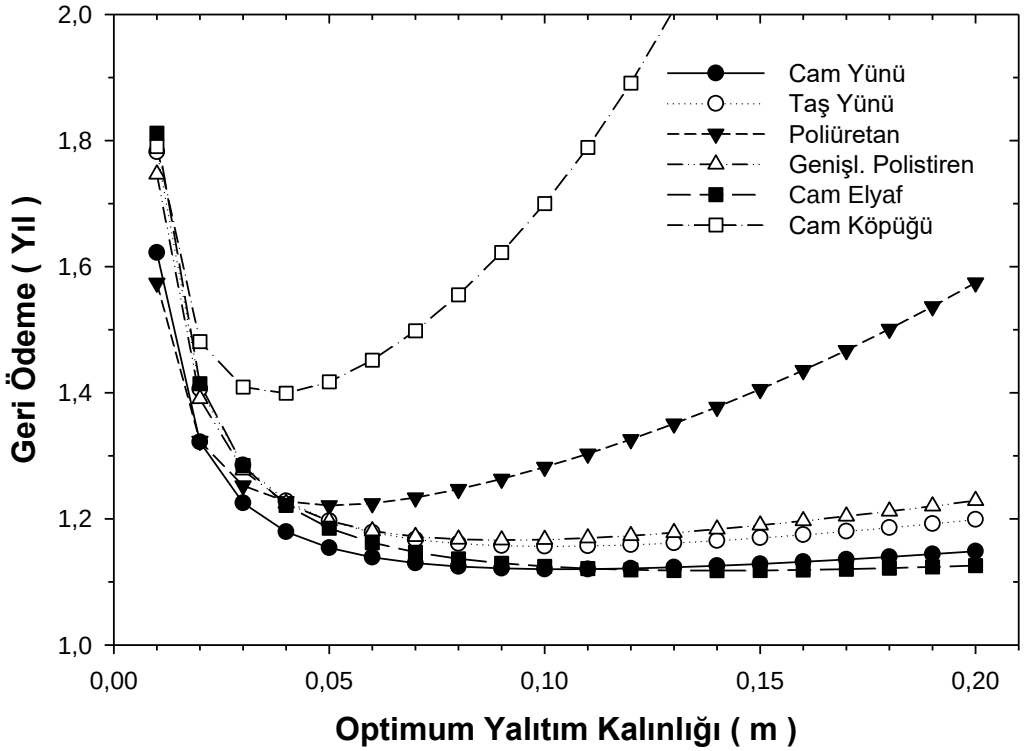
Şekil 5.46 Marmara Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,067 m ve 1,19 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,064 m ve 1,25 yıl, poliüretan için 0,032 m ve 1,37 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 1,27 yıl, cam elyaf için 0,089 m ve 1,19 yıl, cam köpüğü için ise 0,022 m ve 1,71 yıl olarak bulunur.



Şekil 5.47 Soğutma dönemi Ege Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri (yıl)

Şekil 5.47 Ege Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,067 m ve 1,19 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,064 m ve 1,25 yıl, poliüretan için 0,032 m ve 1,37 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,057 m ve 1,27 yıl, cam elyaf için 0,089 m ve 1,19 yıl, cam köpüğü için ise 0,022 m ve 1,71 yıl olarak bulunur.

CDD'ye göre yapılan işlemler sonucunda Marmara ve Ege bölgeleri için gerekli soğutma gün sayıları (CDD=345) aynı değerde oldukları için bu iki bölgede bulunan sonuçlar birbirleriyle aynıdır.



Şekil 5.48 Soğutma dönemi Akdeniz Bölgesi'ne ait geri ödeme süreleri (yıl)

Şekil 5.48 Akdeniz Bölgesi'nde soğutma ihtiyacı olan döneme ait farklı yalıtım malzemelerindeki yalıtım kalınlıklarına göre geri ödeme sürelerini göstermektedir. Buna göre, cam yünü için değerler incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,104 m ve 1,12 yıldır. Diğer yalıtım malzemeleri için de ifade etmek gerekirse; taş yünü için optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresi sırasıyla, 0,1 m ve 1,16 yıl, poliüretan için 0,05 m ve 1,22 yıl, genişletilmiş polistiren için 0,09 m ve 1,16 yıl, cam elyaf için 0,14 m ve 1,12 yıl, cam köpüğü için ise 0,037 m ve 1,4 yıl olarak bulunur.

Pasifik okyanusu deniz sıcaklıkları çok düşük olduğundan dolayı ilaveten bir soğutmaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

6
SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde binalar, yapılar, borular için optimum yalıtım kalınlığının bulunmasına dair çok sayıda çalışma mevcuttur. Buna karşın yapılan literatür araştırmasına göre denizaltılarda daha önce böyle bir çalışmanın yapılmadığı saptanmıştır. Bu amaçla hesap metodolojisi literatürdeki binalarda yapılan çalışmalara ait sonuçlar ile doğrulandıktan sonra denizaltılar için optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç miktarı, yıllık yalıtımlı enerji maliyeti ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Denizaltılar okyanuslarda, denizlerde hareket ederek görevlerini yerine getirirler. Dünyada okyanus sıcaklıkları bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Bu nedenle denizaltıların yapım aşamasında bölgelere özel bir şekilde üretim gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada Karadeniz, Akdeniz, Marmara, Ege bölgelerinde ve ayrıca en zor şartları temsilen dünyanın en soğuk bölgesi olan Sakhalin/Pasifik Okyanusu Bölgesi'nde görevlendirilecek denizaltılar için hesaplamalar yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak taş yünü, cam yünü, genişletilmiş polistiren, poliüretan köpük, cam elyaf ve cam köpüğü gibi çok sayıda malzeme seçilerek çeşitlilik sağlanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda tüm bölgeler için en çok tasarruf sağlayan yalıtım malzemeleri en aza doğru sırasıyla cam yünü, cam elyaf, taş yünü, genişletilmiş polistiren, poliüretan ve cam köpüğü olarak sıralanır. Bu doğrultuda en iyi yalıtım malzemesi olan cam yünü dikkate alınırsa ısıtma dönemi için optimum yalıtım kalınlığı, yıllık kazanç ve geri ödeme süresi en zor koşulları simüle eden Pasifik Okyanusu için sırasıyla 0,12 m, 243,89 $\$/m^2$ ve 1,10 yıl olarak bulunmuştur.

Sonuçlardan da görüleceği üzere düşük dış ortam sıcaklığı durumlarında, yalıtım malzemesi kullanılması ile birlikte ortamdan ısı kaybı azalmış olur ve bunun sonucu olarak hem yıllık kazanç miktarı hem de geri ödeme sürelerinde olumlu yönde gelişmeler olmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda enerji kaynaklarını verimli

kullanıp, emisyonların çevreye olan olumsuz etkisini azaltmak, maliyetleri düşürmek ve insanların yaşadığı ortamlardaki konfor şartlarını sağlayabilmek için yalıtımın kullanılmasının önemi bir kez daha ortaya konulmuştur.

KAYNAKÇA

[1] Yüksel, N. (2016). The review of some commonly used methods and techniques to measure the thermal conductivity of insulation materials. In Insulation materials in context of sustainability. IntechOpen.

[2] Villasmil, W., Fischer, L. J., & Worlitschek, J. (2019). A review and evaluation of thermal insulation materials and methods for thermal energy storage systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 103, 71-84.

[3] Idchabani, R., Khyad, A., & El Ganaoui, M. (2017). Optimizing insulation thickness of external walls in cold region of Morocco based on life cycle cost analysis. Energy Procedia, 139, 117-121.

[4] Batiha, M. A., Marachli, A. A., Rawadieh, S. E., Altarawneh, I. S., Al-Makhadmeh, L. A., & Batiha, M. M. (2019). A study on optimum insulation thickness of cold storage walls in all climate zones of Jordan. Case Studies in Thermal Engineering, 15, 100538.

[5] Rosti, B., Omidvar, A., & Monghasemi, N. (2020). Optimal insulation thickness of common classic and modern exterior walls in different climate zones of Iran. Journal of Building Engineering, 27, 100954.

[6] Açıkkalp, E., & Kandemir, S. Y. (2019). A method for determining optimum insulation thickness: Combined economic and environmental method. Thermal Science and Engineering Progress, 11, 249-253.

[7] Kallioğlu, M. A., Sharma, A., Chinnasamy, V., Chauhan, R., & Singh, T. (2021). Optimum insulation thickness assessment of different insulation materials for mid-latitude steppe and desert climate (BSH) region of India. Materials Today: Proceedings, 44, 4421-4424.

[8] Bolattürk, A. (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. Applied thermal engineering, 26(11-12), 1301-1309.

[9] Ucar, A. (2010). Thermoeconomic analysis method for optimization of insulation thickness for the four different climatic regions of Turkey. Energy, 35(4), 1854-1864.

[10] Rad, E. A., & Fallahi, E. (2019). Optimizing the insulation thickness of external wall by a novel 3E (energy, environmental, economic) method. Construction and Building Materials, 205, 196-212.

[11] Li, Y. F., & Chow, W. K. (2005). Optimum insulation-thickness for thermal and freezing protection. Applied Energy, 80(1), 23-33.

[12] Çomaklı, K., & Yüksel, B. (2003). Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. Applied thermal engineering, 23(4), 473-479.

[13] Ucar, A., & Balo, F. (2010). Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. Renewable Energy, 35(1), 88-94.

[14] Dombaycı, Ö. A. (2007). The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. Building and Environment, 42(11), 3855-3859.

[15] Sisman, N., Kahya, E., Aras, N., & Aras, H. (2007). Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions. Energy Policy, 35(10), 5151-5155.

[16] Ozel, M. (2012). The influence of exterior surface solar absorptivity on thermal characteristics and optimum insulation thickness. Renewable energy, 39(1), 347-355.

[17] Ozel, M. (2013). Determination of optimum insulation thickness based on cooling transmission load for building walls in a hot climate. Energy Conversion and Management, 66, 106-114.

[18] Ekici, B. B., Gulten, A. A., & Aksoy, U. T. (2012). A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey. Applied Energy, 92, 211-217.

[19] Wati, E., Meukam, P., & Nematchoua, M. K. (2015). Influence of external shading on optimum insulation thickness of building walls in a tropical region. Applied Thermal Engineering, 90, 754-762.

[20] Kurekci, N. A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. Energy and Buildings, 118, 197-213.

[21] Daşdemir, A., Ural, T., Ertürk, M., & Keçebaş, A. (2017). Optimal economic thickness of pipe insulation considering different pipe materials for HVAC pipe applications. Applied Thermal Engineering, 121, 242-254.

[22] Internet: Ennomotive, Thermal insulation technologies for energy efficient buildings,https://www.ennomotive.com/thermal-insulation-technologies/, 26.12.2021

[23] Internet: Connectıng countrıes to clımate technology solutıons, Building envelope thermal insulation, https://www.ctc-n.org/technologies/building-envelope-thermal-insulation, 26.12.2021

[24] Internet: İzoder yalıtım, TESKON 2015 / yalitim semineri tesisat yalıtımında uygun malzeme seçimi, https://www.izoder.org.tr/dosyalar/teskon-seminerleri/tesisat-yalitiminda-uygun-malzeme-secimi.pdf , 14.10.2021

[25] Internet: Mühendistan, Isı yalıtımı nedir? Isı yalıtım malzemeleri nelerdir?, https://muhendistan.com/isi-yalitimi-nedir-isi-yalitim-malzemeleri-nelerdir/

[26] Internet: Arge yapı izolasyon, Yalıtım malzemeleri, Isı yalıtım malzemeleri, https://www.argeyapiizolasyon.com/isi-yalitim-malzemeleri , 14.10.2021

[27] Internet: Erlas, Cam elyafı nedir?, https://erlas.com.tr/fiberglass-endustriyel-urun-imalati/fiberglass-nedir, 14.10.2021

[28] HEPERKAN, H. A., BİRCAN, M. M., & SEVİNDİR, M. K. (2001). Yapi Malzemelerinde Buhar Difüzyonu ve Yoğuşma. In V. National HVAC and Sanitary Engineering Conference; Efes Convention Centre, İzmir, TURKEY (pp. 461-470).

[29] Internet: Bengül Böke, "Yüzeyde yoğuşma problemi," TESKON 2015/ Yalıtım Semineri, https://www.izoder.org.tr/dosyalar/teskon-seminerleri/yuzeyde-yogusma-problemi.pdf 18.10.2021

[30] Internet: Alkazar, Konfor şartları - İç ortam termal konfor, https://alkazar.com.tr/hizmetlerimiz/ic-ortam-termal-konfor/ ,12.10.2021

[31] Internet: Enventus, Recuperator, Güvenli havalandırma - ekonomik çözüm, Havalandırma nedir?, http://www.immak.com.tr/webpdf/IAQ.1.pdf , 26.12.2021

[32] Internet: Submarine, https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine, 06.12.2021

[33] Internet: Mühendis beyinler, Geçmişin teknolojisinin geleceğe imzası, Bilim, Modern denizaltıları, https://www.muhendisbeyinler.net/modern-denizaltilari/, 06.12.2021

[34] Internet: Bilgi Ustam, İcatlar, Denizaltı nedir denizaltıların icadı ve tarihçesi, https://www.bilgiustam.com/denizaltinin-icadi-ve-tarihcesi/, 06.12.2021

[35] Internet: Britannica, https://www.britannica.com/technology/submarine-naval-vessel, 06.12.2021

[36] Internet: Abdulhamit denizaltı, Türk donanmasında ait bir denizaltı, https://tr.wikipedia.org/wiki/Abd%C3%BClhamid_(denizalt%C4%B1), 06.12.2021

[37] Internet: Tubitak, Fizik-Kimya-Matematik, Denizaltılar suyun içine nasıl dalar?, https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/denizaltilar-suyun-icine-nasil-dalar, 06.12.2021

[38] Internet: Çeyrek mühendis, Denizaltıların sahip olduğu tahrik sistemleri, https://www.ceyrekmuhendis.com/denizaltilarda-tahrik-sistemleri/, 02.01.2022

[39] Internet: Submarines, https://www.explainthatstuff.com/submarines.html, 02.01.2022

[40] Internet: Mavi vatan, Denizaltılar ve tahrik sistemleri-1,Dizel-elektrik denizaltılar, https://mavivatan.net/denizaltilar-ve-tahrik-sistemleri-1-dizel-elektrik-denizaltilar/ 02.01.2022

[41] Internet: Special brandstoffen, Alternative Power Sources for Submarines, https://www.rhmarine.com/media/129298/alternative-power-sources-for-submarines-rh-marine.pdf, 02.01.2022

[42] Internet: Mavi vatan, Denizaltılar ve tahrik sistemleri-2, Dizel-elektrik denizaltılar, https://mavivatan.net/denizaltilar-ve-tahrik-sistemleri-2-havadan-bagimsiz-tahrikli-dizel-elektrik-denizaltilar/, 02.01.2022

[43] Internet: Wikipedia,Air-independent propulsion – history – types, https://en.wikipedia.org/wiki/Air-independent_propulsion, 02.01.2022

[44] Internet: Wikipedia, Nuclear submarine – history - technology, https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_submarine, 02.01.2022

[45] Internet: Mavi vatan, Denizaltılar ve tahrik sistemleri-3, Nükleer tahrikli denizaltılar, https://mavivatan.net/denizaltilar-ve-tahrik-sistemleri-3-nukleer-tahrikli-denizaltilar/, 02.01.2022

[46] Internet: AZO materials, Lithium-ion Batteries in Underwater Applications, https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19664, 02.01.2022

[47] Internet: The week, Why is Indian Navy eyeing lithium-ion batteries for its submarines?, https://www.theweek.in/news/india/2020/10/30/why-is-indian-navy-eyeing-lithium-ion-batteries-for-its-submarines.html, 02.01.2022

[48] Internet: How stuff Works, Science, How submarine Work?, Power supply, https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/submarine3.htm, 02.01.2022

[49] Internet: 19 Things You Didn't Know About Living on a Submarine, https://www.ranker.com/list/what-its-like-to-live-on-a-submarine /jacobybancroft , 06.12.2021

[50] Internet: Technology.org, Science&Technology news, Submarines spend months submerged, https://www.technology.org/2019/02/04/submarines-spend-months-submerged-where-do-they-get-oxygen-and-drinking-water-from/, 06.12.2021

[51] Internet:How stuff Works, Science, How submarine Work?, Life support, https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/submarine2.htm, erişim tarihi 01.09.2021

[52] Ömer Kaynakli, Muhsin Kiliç, Recep Yaman Karadeniz,“Determination of optimum insulation thickness for heating and cooling seasons,” TTMD, Ocak-Şubat,2010

[53] Internet: Degree Days Calculated Accurately for Locations Worldwide, http://www.degreedays.net, 01.09.2021

[54] Internet: Sea temperature, https://tr.seatemperature.net/current/, 01.09.2021

[55] Rules for Classification Ships. https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/ru-ship/2017-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch3.pdf, 01.09.2021

[56] Internet: Benz24, https://benz24.de/ , 01.07.2021

[57] Yurtseven, A. (2012). Gemi ıslak alanının ısı değiştirici olarak kullanılmasına yönelik sayısal ve analitik inceleme.

[58] Internet: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası. https://www.tcmb.gov.tr/, 01.07.2021

[59] Internet: Türkiye İstatistik Kurumu. https://www.tuik.gov.tr/ 2020 yılı ortalama değeri

[60] Internet: Doğal Gaz Cihazları Sanayicileri ve İş Adamlar Derneği. https://www.dosider.org/, 01.07.2021

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

Durmaz, S., Dalkılıç, A.S., Çolak, A.B., Wongwises, S. (2021). Optimum Insulation Thickness in Submarines, 6th International Conference on Advances in Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey.