

**ZEMİNLE TEMAS EDEN YAPI KABUĞU İÇİN
EKONOMİK ISIL YALITIM KALINLIĞININ SEÇİLMESİNDE
KULLANILABİLECEK BİR MODEL**

İsmail AĞa GÖNÜL

**DOKTORA TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2008
ANKARA**

İsmail Ağa GÖNÜL tarafından hazırlanan ZEMİNLE TEMAS EDEN YAPI KABUĞU İÇİN EKONOMİK ISIL YALITIM KALINLIĞININ SEÇİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR MODEL adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ
Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mimarlık Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU
Makina Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ
Mimarlık Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Ziya UTKUTUĞ
Mimarlık Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Cemil YAMALI
Makina Müh. Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Doç. Dr. Soofia Tahira Elias ÖZKAN
Mimarlık Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Tarih: 23 / 01 / 2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İsmail Ağa GÖNÜL

**ZEMİNLE TEMAS EDEN YAPI KABUĞU İÇİN EKONOMİK ISIL
YALITIM KALINLIĞININ SEÇİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR
MODEL
(Doktora Tezi)**

İsmail Ağa GÖNÜL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2008**

ÖZET

Bu çalışmada, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesinde kullanılabilecek ve;

- zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilen esneklikte olacak,**
- zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanıyacak,**
- pratik olarak kullanılabildiğini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç verecek**

bir optimizasyon modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, öncelikle geliştirilecek optimizasyon modelinde kullanılabilecek ne tür ısı yalıtım konfigürasyonları, optimizasyon prosedürleri ve hesaplama yöntemleri bulunduğu araştırılmış, daha sonra, bunlardan amaçlanan özelliklere sahip olanları belirlenerek yeni bir optimizasyon modeli için bir araya getirilmiştir.

Türkiye’de zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme

bileşenlerinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıklarının ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yararın;

- **zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özelliklerine,**
- **iklim koşullarına ve**
- **yakıt türlerine**

göre nasıl bir değişiklik gösterdiği de araştırılmış ve geliştirilen modelin kullanılması ile şu sonuçlar elde edilmiştir: Duvar ve döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıkları ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar; yapının zeminle temas eden döşemesinin zemin yüzeyine göre derinlik değeri azaldıkça, iklim koşulları sertleştikçe ve toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan bir yakıt türü kullanıldığı zaman kademeli olarak artmaktadır. Yapının döşeme alanı azaldıkça ve yapı için daha büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açacak bir form kullanıldığında ise sadece döşemenin değerlerinde kademeli bir artış olmaktadır. Elde edilen sonuçların, literatürde yer alan çalışmalarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 804.1.040
Anahtar Kelimeler : Zemin, yapı kabuğu, ısı yalıtım, optimizasyon modeli, ekonomik analiz
Sayfa Adedi : 209
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ

**A MODEL WHICH CAN BE USED FOR SELECTING ECONOMIC
THERMAL INSULATION THICKNESS FOR THE BUILDING ENVELOPE
THAT CONTACTS THE GROUND
(Ph. D. Thesis)**

İsmail Ağa GÖNÜL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2008**

ABSTRACT

In this study, it was aimed to develop an optimization model which can be used for determining the most appropriate thermal insulation thickness alternative in terms of economic benefit for the building envelope that contacts the ground and which will

- have flexibility that offer calculation opportunity for all building envelope geometry that contacts the ground,**
- allow to select the most appropriate alternative in terms of economic benefit among the thermal insulation thickness alternatives that are acceptable according to product standardization for the building envelope that contacts the ground,**
- give accurate and reliable results in a short time that will make the model useful in practical terms.**

In this context, first, thermal insulation configuration, optimization procedure and calculation method alternatives were investigated, then the ones that had the desired features were merged to form a new optimization model.

It was also investigated that how the insulation thicknesses that must be used at

the wall and floor components of the building envelope that contacts the ground and the economic benefit obtained by using this thermal insulation thicknesses varying according to;

- **the geometric features of the building envelope that contacts the ground,**
- **climatic conditions and**
- **the fuel type**

in Turkey and these results were obtained by using the model that was developed: The insulation thicknesses that must be used at the wall and floor components of the building envelope that contacts the ground and the economic benefit which will be obtained by using this thermal insulation thicknesses increase gradually when the depth of the building's floor that contacts the ground decreases according to the surface of the ground, the climatic conditions become severe and a more costly fuel type is used. Only the floor's values increase gradually when the building's floor area decreases and a building form that causes higher perimeter values is used. It was determined that the results match with the studies in literature.

Science Code : 804.1.040

Key Words : Ground, building envelope, thermal insulation, optimization model, economic analysis

Page Number: 209

Adviser : Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ'ye, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Doç. Dr. Cemil YAMALI ve Prof. Dr. Mecit SIVRİOĞLU'na , manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eőim Hatice GÖNÖL'e ve Enstitü ile ilgili tüm resmi işlemlerde yardımını esirgemeyen başta Emine TÖTÖNCÖ olmak üzere tüm Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teőekkörü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
HARİTALARIN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	12
2.1. Zemin ve Isıl Özellikleri	12
2.2. Isıl Yalıtım Konfigürasyonları	20
2.3. Optimizasyon Prosedürleri	22
2.3.1. Hesap yöntemleri	24
2.3.2. Arama yöntemleri	24
2.3.3. Dinamik programlama	25
2.3.4. Geometrik programlama	25
2.3.5. Doğrusal programlama	26
2.4. Maliyet Hesaplama Yöntemleri	27
2.5. Yapılardan Zemin Yolu ile Gerçekleşen Toplam Isı Transferini Hesaplama Yöntemleri	28
2.5.1. Analitik ve yarı analitik yöntemler	29
2.5.2. Nümerik yöntemler	32

	Sayfa
2.5.3. Basitleştirilmiş yöntemler	35
2.5.4. Doğrulama çalışmaları	38
3. OPTİMİZASYON MODELİ	40
3.1. Isıl Yalıtım Kalınlık Seçenekleri.....	41
3.2. Optimizasyon Prosedürü	44
3.3. Toplam Isıtma Maliyetini Hesaplama Yöntemi	47
3.4. Yapılardan Zemin Yolu ile Gerçekleşen Toplam Isı Transferini Hesaplama Yöntemi	49
3.4.1. Kararlı hal ve periyodik ısıl bağlaşım katsayılarının hesaplanması.....	51
3.4.2. Toplam ısı transferinin hesaplanması.....	58
3.5. Bilgisayar Programı	60
4. ÖRNEK ALAN UYGULAMASI OLARAK TÜRKİYE ÖRNEĞİ.....	67
4.1. Hesaplamalarda Kullanılan Değerler	67
4.1.1. Zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özellikleri	67
4.1.2. İklimsel koşullar	68
4.1.3. Yakıt ile ilgili özellikler	72
4.1.4. Zeminin ısıl özellikleri	73
4.1.5. Kabuk bileşenlerinin ısıl özellikleri	74
4.1.6. Isıl yalıtım birim maliyeti	80
4.2. Ekonomik Yarar Açısından En Uygun Isıl Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar	81
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	84
5.1. Bulgular.....	84

	Sayfa
5.1.1. Duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ile ilgili bulgular	96
5.1.2. Döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ile ilgili bulgular	100
5.1.3. Ekonomik yarar ile ilgili bulgular	107
5.2. Tartışma.....	110
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR	121
EKLER.....	130
EK-1 Antalya ili ile ilgili bulgular	131
EK-2 D.Bakır ili ile ilgili bulgular	142
EK-3 Zonguldak ili ile ilgili bulgular.....	153
EK-4 Bolu ili ile ilgili bulgular	164
EK-5 Ankara ili ile ilgili bulgular	175
EK-6 Van ili ile ilgili bulgular	186
EK-7 Erzurum ili ile ilgili bulgular.....	197
ÖZGEÇMİŞ	208

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Türkiye’de enerji tüketiminin yıllara göre sektörel dağılımı.....	2
Çizelge 1.2. Çengel’e göre yapılarda enerji tüketimi dağılımı	3
Çizelge 2.1. Zemin çeşitleri ve tane boyutları.....	12
Çizelge 3.1. Geliştirilen modelde, bodrum katlı ve bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğu için sınılanması gereken ısı yalıtım kalınlık seçenekleri	43
Çizelge 3.2. Geliştirilen modelde kullanılan optimizasyon prosedürü	45
Çizelge 4.1. Çalışma için seçilen farklı döşeme çevre uzunluklarına yol açan yapı formları	68
Çizelge 4.2. Çalışma kapsamındaki iller için kullanılan iklimsel koşullar	71
Çizelge 4.3. Çalışma için seçilen yakıt türleri ve özellikleri.....	72
Çizelge 4.4. Zemin çeşitleri ve ısı özellikleri.....	74
Çizelge 4.5. Duvar kaplamaları ve ısı özellikleri.....	75
Çizelge 4.6. Döşeme kaplamaları ve ısı özellikleri.....	76
Çizelge 4.7. Isı yalıtım malzemeleri ve ısı özellikleri	77
Çizelge 4.8. Çalışmada kullanılan kabuk bileşenleri ve ısı özellikleri	78
Çizelge 4.9. Çalışmada ısı yalıtım kalınlığına bağlı olarak kullanılan birim maliyetler	80
Çizelge 4.10. Çalışmanın kapsadığı her bir il için yapılan hesaplamalar	82

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Maliyet ve ısı yalıtım kalınlığı ilişkisi	5
Şekil 2.1. Zeminlerde etkin olan ısı transferi yolları.....	13
Şekil 2.2. Yeraltı suyu seviyesinin zemin ısı iletkenlik konturlarına etkisi.....	16
Şekil 2.3. Çakıl örneklerinin teorik ve ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	16
Şekil 2.4. Aylık ortalama zemin sıcaklığının derinliğe bağlı olarak değişimi	18
Şekil 2.5. Zemin ve hava sıcaklığındaki değişimler	18
Şekil 2.6. Yeraltı suyu seviyesinin zemin sıcaklık konturlarına etkisi	19
Şekil 2.7. Isı yalıtım konfigürasyonları.....	21
Şekil 3.1. Yapıların, zeminle temas eden döşemelerinin, zemin yüzeyine göre konumuna bağlı olarak sınıflandırılması.....	41
Şekil 3.2. Bodrum katlı yapıların şematik diyagramı	52
Şekil 3.3. Bodrum katı olmayan yapıların şematik diyagramı.....	56
Şekil 3.4. Geliştirilen model için akış şeması	61
Şekil 3.5. Bilgisayar programında kullanıcı arayüzü.....	63
Şekil 3.6. Bilgisayar programında hesaplamaların yapıldığı sayfanın ilk bölümünden bir görünüş	65
Şekil 3.7. Bilgisayar programında hesaplamaların yapıldığı sayfanın ikinci bölümünden bir görünüş	65
Şekil 3.8. Bilgisayar programında hesaplamaların yapıldığı sayfanın üçüncü bölümünden bir görünüş	66
Şekil 5.1. İzmir ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları.....	86
Şekil 5.2. İzmir ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları	88

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. İzmir ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları.....	88
Şekil 5.4. İzmir ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları.....	89
Şekil 5.5. İzmir ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları.....	91
Şekil 5.6. İzmir ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları.....	91
Şekil 5.7. İzmir ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları.....	92
Şekil 5.8. İzmir ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları.....	94
Şekil 5.9. İzmir ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları.....	94
Şekil 5.10. İzmir ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar.....	95
Şekil 5.11. Döşeme derinliği (z) değeri 0,1 m olan yapıların duvarı için illere ve yakıt türlerine bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları.....	98
Şekil 5.12. Tüm yapı döşeme alanı değerleri için illere ve yakıt türlerine bağlı olarak duvarda ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri.....	98
Şekil 5.13. Döşeme alanı (A) değeri 50 m ² ve döşeme derinliği (z) değeri 0 m olan yapıların döşemesi için illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları.....	102
Şekil 5.14. Döşeme alanı (A) değeri 50 m ² olan yapılar için illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri.....	103

Şekil	Sayfa
Şekil 5.15. Döşeme derinliği (z) değeri 0 m olan yapılar için illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu döşeme alanı aralığı değerleri	104
Şekil 5.16. İllere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak, döşeme alanı (A) değeri 50 m ² olan yapılarda elde edilecek ekonomik yarar değerleri	109
Şekil 5.17. Bodrum katı olmayan bir yapının zeminle temas eden döşemesi üzerinden gerçekleşen ısı akışının, yapı dış kenarından uzaklığa bağlı olarak değişimi	111
Şekil 5.18. Bodrum katı olmayan bir yapının zeminle temas eden döşemesi üzerinden gerçekleşen ısı akışının, döşeme merkezinden uzaklığa bağlı olarak değişimi	112
Şekil 5.19. Bodrum katlı bir yapının duvarları üzerinden gerçekleşen ısı kaybının derinliğe göre değişimi.....	112

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Çalışma için seçilen Türkiye illeri	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Döşeme alanı, m^2
B'	Döşemenin karakteristik boyutu, m
C_f	Birim yakıt maliyeti, \$/kg, \$/m ³ , \$/kW h
C_i	Isıl yalıtım malz. ve uygu. birim maliyeti, \$/m ³
C_{tf}	Toplam yakıt maliyeti, \$
C_{th}	Toplam ısıtma maliyeti, \$
C_{ti}	Toplam ısı yalıtım maliyeti, \$
C_{tif}	Döşeme için toplam ısı yalıtım maliyeti, \$
C_{tiw}	Duvar için toplam ısı yalıtım maliyeti, \$
c	Donmamış zemin spesifik ısı kapasitesi, J/(kg K)
d_{if}	Döşemede kullanılan ısı yalıtım kalınlığı, m
d_{iw}	Duvarda kullanılan ısı yalıtım kalınlığı, m
d_t	Döşeme eş değer kalınlığı, m
d_w	Bodrum kat duvarı eş değer kalınlığı, m
g	Enflasyon oranı, %
i	Faiz oranı, %
L_{pe}	Dış periyodik ısıl bağlaşım katsayısı, W/K
L_{pi}	İç periyodik ısıl bağlaşım katsayısı, W/K
L_s	Kararlı hal ısıl bağlaşım katsayısı, W/K
LHV	En düşük yakıt ısıl değeri, J/kg, J/m ³ , J/kW h
m	Yapının kullanım ömrü
N	Isıtma sezonundaki toplam gün sayısı
n	Isıtma sezonundaki ay sayısı
P	Döşemenin çevre uzunluğu, m

Simgeler**Açıklama**

PWF	Bugünkü değer faktörü
Q	Toplam ısı transferi, J
R	Isıl geçirgenlik direnci, m ² K/W
R_f	Döş. ısı geçirgenlik direnci (yal. hariç), m ² K/W
R_{if}	Döş. yalıtımının ısı geçirgenlik direnci, m ² K/W
R_{iw}	Duv. yalıtımının ısı geçirgenlik direnci, m ² K/W
R_{sif}	Döşeme için iç yüzey ısı iletim direnci, m ² K/W
R_{siw}	Duvar için iç yüzey ısı iletim direnci, m ² K/W
R_w	Duv. ısı geçirgenlik direnci (yal. hariç), m ² K/W
r	İndirgeme oranı
\bar{T}_i	Yıllık ortalama iç sıcaklık, °C
\hat{T}_i	Aylık ort. iç sıcaklıklardaki değişim miktarı, K
\bar{T}_e	Yıllık ortalama dış sıcaklık, °C
\hat{T}_e	Aylık ort. dış sıcaklıklardaki değişim miktarı, K
U_{bf}	Bodrum döşemesinin ısı geçirgenliği, W/(m ² K)
U_{bw}	Bodrum duvarının ısı geçirgenliği, W/(m ² K)
U_{sf}	Bod. olmayan döş. ısı geçirgenliği, W/(m ² K)
w	Zemin yüzeyindeki duvar toplam kalınlığı, m
z	Döşemenin zemin yüzeyine göre derinliği, m
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
δ	Periyodik etki derinliği, m
π	Pi sayısı
μ	Su buharı difüzyon direnç faktörü
$\bar{\Phi}$	Ortalama ısı akış oranı, W
η_s	Isıtma sisteminin verimi
λ_g	Donmamış zeminin ısı iletkenliği, W/(mK)
λ	Isıl iletkenlik hesap değeri, W/(mK)
γ	Isıtma sezonunun süresine bağlı olan bir katsayı

Kısaltmalar**Açıklama****DOSİDER**

Doğal Gaz Cihazları San. ve İşadamları Derneği

TKİ

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu

EPDK

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

TCMB

T.C. Merkez Bankası

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu

TÜFE

Tüketici Fiyatları Endeksi

1. GİRİŞ

Küresel çevre problemleri, son yıllarda insanlığı ve doğayı tehdit eder hale gelmiştir. Küresel ısınma en önemli çevresel problemlerden biridir. Atmosferdeki sera gazları, dünya yüzeyinden yayılan ısının hapsolmesine yol açarak dünyanın yüzey sıcaklığını arttırmaktadırlar [1]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)'in üçüncü görüş raporunda, 1990-2100 yılları arasında dünya yüzey sıcaklığında 1,4-5,8 °C arasında bir artış olacağı tahmin edilmektedir [2]. Smith ise, ortalama küresel sıcaklıkların 21. yüzyıl sonuna kadar 4,8-6,8 °C arasında artacağını tahmin etmektedir. Bu miktardaki artışların ise yıkıcı etkileri olacaktır [3].

Kyoto Protokolü ile ilk adımda sera etkisi yapan altı gazın (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs and SF₆) emisyonlarında bir azalma gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Üzerinde anlaşılan hedefler doğrultusunda, gelişmiş ülkelerde sera etkisi yapan gazların toplam emisyonu, ilk periyotta (2008-2012 yılları arasında), 1990 yılındaki seviyelerinin en az %5 altına düşmüş olması gerekmektedir [4].

Bu bağlamda, yapılarda alınacak önlemlerin de önemli bir etkisi olacaktır. Özellikle enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanıldığı yapıların, çevresel bozulmaya önemli bir katkıları bulunmaktadır. CO₂ emisyonları küresel ısınmaya, SO₂ ve N₂O emisyonları ise su, hava ve toprağın bozulmasına yol açmaktadır [5]. Bu bağlamda, CO₂ emisyonlarının %35'i, SO₂ emisyonlarının %50'si, N₂O emisyonlarının %22'si ve partikül halindeki emisyonların %10'u yapılardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, yapılar çevreye zararlı emisyonların azaltılması çabalarında önemli bir sektör olarak görülmektedir [4].

Yapılarda tüketilen enerji miktarı, ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. EC Green Paper'da yer alan bir araştırmaya göre, Avrupa Birliği'ne üye onbeş ülkedeki 164 milyon yapıda tüketilen enerji miktarının, tüm sektörlerde tüketilen toplam enerji miktarına oranı yaklaşık %40'dır [4]. Ministry of Energy and Mineral Resources'ın 1999 yılına ait raporuna göre, Ürdün'de bu oran %23,6'dır [6]. WEC-TNC (World Energy Council- Turkish National Committee)'ye göre Türkiye'de toplam enerji

ihtiyacının sektörlere göre dağılımı ise Çizelge 1.1’de verilmiştir. Çizelge’de yapı sektörünün endüstriyel sektörden sonraki en büyük enerji tüketen sektör olduğu görülmektedir [7]. Dağsöz ve arkadaşlarına göre ise, Türkiye’de enerji tüketiminin %35’i konutlarda olup sanayideki idari ve sosyal binalarla birlikte üretim yapılan binaların ısıtma kayıpları da gözönüne alındığında bu oran %40’a ulaşmaktadır [8].

Çizelge 1.1. Türkiye’de enerji tüketiminin yıllara göre sektörel dağılımı, % [7]

YIL	ENDÜSTRİ	YAPILAR	TAŞIMA	TARIM	DİĞER
1995	35,80	34,41	21,32	5,49	2,98
1999	38,96	33,75	19,82	5,11	2,36
2003	42,24	31,44	19,22	5,08	2,02
2007	45,47	29,25	18,55	4,99	1,74

Chwieduk, “Towards sustainable-energy buildings” adlı makalesinde, yapılarda kullanılan enerji miktarının; yaşam ve konfor standartları, gelir durumu, doğal kaynaklar ve mevcut enerji altyapı sistemine bağlı olarak ülkeden ülkeye değişiklik gösterdiğini belirtmektedir. Genelde, gelişmiş ülkelerde kullanılan enerji gelişmekte olan ülkelere daha fazladır [4].

Yapılar için kullanılan enerjinin önemli bir bölümü ise yapıların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Avrupa’daki konutlarda kullanılan enerjinin %57’si [4], Filistin’de %60’tan fazlası [9], Ürdün’de ise %61’i [6, 10] konutların ısıtılması için kullanılmaktadır. Türkiye’de ise yapılarda kullanılan enerjinin %45’i yapıların ısıtılmasında kullanılmaktadır [11]. Tülbentçi’ye göre, gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında, Türkiye’de kişi başına tüketilen enerji miktarı 1/3 oranında olmasına karşın, ısınma için kullanılan enerji %100 daha fazladır. Türkiye’de birim hacmi ısıtmak için harcanan enerji Fransa’dan %46, İsveç’ten %230 daha fazladır [12]. Çizelge 1.2’de ise Çengel’e göre birçok ülkedeki yapılarda enerji tüketimi dağılımı verilmiştir.

Çizelge 1.2. Çengel'e göre yapılarda enerji tüketimi dağılımı [7]

	HACİM ISITILMASI	SU ISITILMASI	İKLİMLENDİRME HAVALANDIRMA	AYDINLATMA	SOĞUTMA DONDURMA	DİĞER
Konut	40	17	7	7	12	17
Ticari	32	5	22	25	-	16

Yapıda kullanılan enerjinin azaltılmasını amaçlayan ulusal standartlar geçmiş yüzyıldan bu yana kullanılmaktadır. Bu standartlar, kullanılan enerjiyi azaltmak için farklı kısıtlamalar getirmektedir. World Energy Council'e göre ulusal standartların yaklaşımları dört ana grupta toplanmaktadır. Bunlar: (a) Her bir yapı elemanı (duvar, döşeme gibi) ve/veya tüm kabuk için maksimum ısı geçirgenlik değerleri belirleyen yaklaşımlar; (b) Birim döşeme alanı veya hacmi için; havalandırmadan kaynaklanan kayıp/kazançları, pasif solar kazançları ve iç ortam kazançlarını da dikkate alarak maksimum ısıtma/soğutma ihtiyacı değerleri belirleyen yaklaşımlar; (c) Birim döşeme alanı veya hacmi için; havalandırma, sıcak su üretimi, asansörler ve iklimlendirme sistemleri için kullanılacak enerji ve solar enerjiden (solar kollektörler gibi) elde edilecek diğer kazançları da dikkate alarak maksimum yıllık enerji tüketimi değerleri belirleyen yaklaşımlar; (d) yapı enerji performansının yanı sıra yapım için gerekli olan araçların ve kullanılacak yapı malzemesinin ham madde halinde iken elde edilmesi, işlenmesi, üretilmesi ve şantiye alanına taşınması için kullanılacak enerji ile bu malzeme, bileşen veya sistemlerinin yapının kullanım ömrü süresince bakımı, onarımı ve değiştirilmesi için kullanılacak enerjinin de dikkate alındığı yaklaşımlar [4].

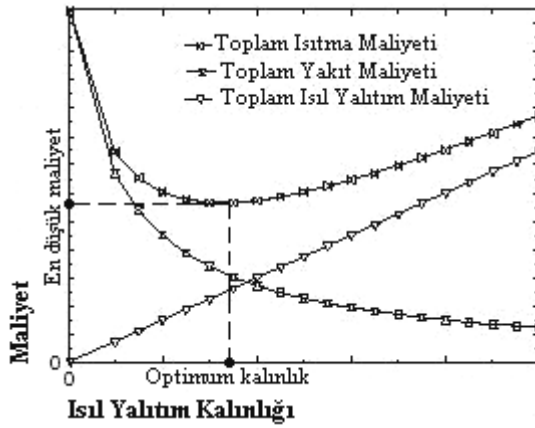
Bu yaklaşımlara uygun olarak, herhangi bir yapıda aktif (mekanik ve elektrik) sistemlerle sağlanan ısıtma enerjisini azaltmanın iki yolu vardır:

1. Birincisi doğal ısı kazancı ile ilgili olup, yapı tipi ve çevre verilerine en uygun pasif ısıtma tekniklerinin uygulanması ve öncelikli olarak doğal enerji kaynaklarının kullanılmasının sağlanmasıdır.
2. İkincisi ise ısı korunumu ile ilgili olup, pasif veya aktif yollarla elde edilen ısının yapıda daha uzun süre kalmasını sağlamaktır.

Yılmaz'a göre, yapı kullanıcılarının iç ortam konfor koşulları, yapıda herhangi bir aktif ısıtma sistemi kullanılmadan sağlanıyorsa, bu yapı tamamen pasif ısıtma sistemli bir yapı olarak kabul edilebilir. Ancak, iç ortam konfor koşulları, yılın belirli sürelerinde sadece pasif ısıtma sistemleri ile sağlanamıyorsa, bu durumda aktif ısıtma sistemlerinin kullanılması bir zorunluluk haline gelir [13]. Pasif veya aktif yollarla elde edilen ısıнын korunumu kapsamında yapılarda ısıtma enerjisini azaltmak için dış ortam ile iç ortamı ayıran yapı kabuğunun yalıtım kalitesini arttırmak gerekmektedir. Herhangi bir kabuk için sabit yüzey alan ve sabit sıcak farkları düşünüldüğünde, kabuk üzerinden ısı transferini azaltmak sadece kabuğun ısı geçirgenlik direncini (R) arttırmak ile mümkündür. Isıl geçirgenlik direncinin artırılması, kabuk kalınlığının büyütülmesini veya ısı iletkenlik değerinin küçültülmesini gerektirmektedir. Kabuğun gereğinden fazla kalın yapılması; temele aşırı yük getireceği gibi işçilikten, malzeme maliyetine kadar artışın yanında, kapalı alanlarda daha az hacime de yol açacağından günümüzde tercih edilmemektedir. Bu nedenle kabuğun ısı yalıtım değerini arttırmak gerektiğinde ısı iletkenlik değeri çok düşük olan ısı yalıtım malzemeleri ile takviye edilmesi yoluna gidilmektedir [14].

Bu bağlamda, yapılarda kullanılan ısıtma enerjisini azaltmak için, yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığını arttırmak genellikle başvurulan bir yöntemdir. Yapı kabuğunda hangi kalınlıkta ısı yalıtım kullanılmasının en uygun çözüm olacağı ise; yapılarda kullanılan ısıtma enerjisinin hangi amaçla azaltılmak istendiğine bağlıdır. Çevresel yarar açısından bakıldığında, ısı yalıtımın üretiminden uygulanmasına kadarki süreçten kaynaklanan çevreye zararlı emisyonlar ile yapının ısıtılması için kullanılacak yakıttan kaynaklanan emisyonların toplamının en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlığı en uygunu olacaktır. Ancak, yüklenici ve yapı kullanıcıları ısı yalıtımı da bir yatırım olarak değerlendirdikleri için bu kalınlığın ekonomik yarar açısından da uygun olması gerekmektedir. Bu durumda, yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığının, yapının toplam ısıtma maliyeti (toplam yakıt maliyeti + toplam ısı yalıtım maliyeti) ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Şöyle ki, yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığı arttıkça, iç ortamda belli bir iç sıcaklığı sağlamak için ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gereken ısı enerjisi düşeceği için “ toplam yakıt maliyeti” de düşecektir.

Ancak, yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığı arttığı için bu kez “toplam ısı yalıtım maliyeti” artacaktır. Bu nedenle, değişen koşullara göre yapının toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak belirli bir ısı yalıtım kalınlığı bulunmaktadır (Şekil 1.1). Yapı kabuğunda bu kalınlıktan daha az veya daha fazla ısı yalıtım kullanılması ekonomik yarar açısından uygun olmayacaktır. Ekonomik yarar açısından en uygun olacak bu ısı yalıtım kalınlığı ise ancak bir optimizasyon modeli ile belirlenebilir. Bu şekilde elde edilecek ısı yalıtım kalınlığı, belki de çevresel yarar açısından en üst düzeyde katkı sağlamayacaktır. Ancak, ekonomik yarar açısından en uygun olan ısı yalıtım kalınlıklarının günümüz koşullarında uygulanma olasılığının yüksekliği dikkate alındığında çevresel yarar açısından da önemli kazanımlar elde edileceği düşünülmektedir.



Şekil 1.1. Maliyet ve ısı yalıtım kalınlığı ilişkisi [7]

Yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığının ekonomik yarar ile ilişkilendirildiği birçok çalışma yapılmıştır [7, 9, 15-24]. Bunların çoğu, hava ile temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Oysa ki, özellikle il merkezlerinde arsa fiyatlarının yüksek olması, arsadan daha fazla yararlanmayı zorunlu kılmakta, bunun sonucu yapılar daha yükseklere tırmanırken yeraltına doğru gelişme eğilimi de artmaktadır. Günümüzde insanların sürekli buldukları çarşı, sinema gibi mekanların zemin yüzeyi altındaki yapı kesiminde yer aldığı sık görülmektedir [25]. Zeminle temas eden ısıtılan mekan sayısı ise sürekli artmaktadır. Bu tür mekanların

zeminle temas eden kabuğu için de ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğini etkileyen değişkenler ise şu ana başlıklar altında sınıflandırılabilir:

- yapının zeminle temas eden kabuğunun geometrik özellikleri,
- yapının bulunduğu yerin iklimsel koşulları,
- yapıda kullanılacak yakıt ile ilgili özellikler,
- yapının temas ettiği zeminin ısı özellikleri,
- yapının zeminle temas eden kabuk bileşenlerinin ısı özellikleri ve
- yapıda kullanılacak ısı yalıtımının birim maliyeti

Değişken sayısının çokluğu, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi amacı ile kullanılacak optimizasyon modellerinin daha kompleks bir yapıda olmalarını gerektirmektedir.

Zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için çeşitli optimizasyon modelleri geliştirilmiştir [22-24]. Bu modellerin olumsuz yönleri şunlardır:

- Zeminin ısı ortamı havadan farklıdır. Zemin yüzeyi, ısı olarak hava sıcaklığı ve solar radyasyondan etkilenmekte ve bu etki zeminin belirli bir derinliğine kadar görülebilmektedir. Zemin yüzeyi sıcaklığının, hava ve güneşten etkilenmesi ve bu sıcaklığın zemin içine transfer edilmesine rağmen, zeminin ısı depolama özelliği zemin içindeki bu sıcaklık transferinin gecikmesine neden olmaktadır. Bu olaya, zaman gecikmesi etkisi (time lag effect) denmektedir. Bu nedenle, zemin sıcaklığı yaz aylarında derinlik arttıkça azalmakta, kış aylarında ise artmaktadır. Hem yaz hem de kış aylarında, belirli bir derinlikten sonra zemin sıcaklığı sabit kalmaktadır [26].

Zeminin bu özelliğinden dolayı, zeminle temas eden yapı kabuğu üzerinden gerçekleşen ısı transferi miktarı, zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik (boyut ve biçim) özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Bu durum, bir modelin zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilmesi için zeminle temas eden yapı kabuğunun hem duvar hem de döşeme bileşenleri için aynı anda hesaplama yapabilecek kompleks yapıda bir hesaplama yöntemine sahip olmasını gerektirir.

İncelenen modeller, sadece belirli sayıda zeminle temas eden yapı kabuğu geometrisi konfigürasyonu için kullanılacak modellerdir. Örneğin, Carmody vd. [22] tarafından geliştirilen model, bodrum katı olmayan yapılar ile sadece tam bodrum katlı yapılar (bu terim modelde, %25'inden fazlası zemin yüzeyi üzerinde kalmayan 7 ile 10 ft arasında yükseklikteki bodrum kat duvarına sahip yapıları tanımlamada kullanılmıştır) için hesaplama olanağı sunmaktadır.

- Optimizasyon modellerinin kullanılması ile zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde hangi kalınlıklarda ısı yalıtım kullanılmasının ekonomik yarar açısından en uygun olacağı belirlenir. İncelenen modellerin hiçbiri, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlıklarını dikkate almamaktadır. Bu nedenle, bu modellerin kullanılması ile elde edilecek ısı yalıtım kalınlıkları, sektörde hiçbir üretici firma tarafından üretilmeyen veya üretilmesi standardizasyon açısından uygun olmayan kalınlıklar olabilecektir.
- Bir optimizasyon modelinden pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilmesi, bu modelde kullanılan optimizasyon prosedürüne ve hesaplama yöntemlerine bağlıdır.

Modelde kullanılan optimizasyon prosedürü, ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneği belirlenirken, modelde dikkate alınan ısı yalıtım konfigürasyonları kapsamındaki tüm olası ısı yalıtım kalınlık seçeneklerini dikkate almalıdır. Optimizasyon prosedürü, olası tüm ısı yalıtım kalınlık seçeneklerini değil

de belirli sayıda ısı yalıtım kalınlık seçeneğini dikkate alıyorsa, modelin en uygun olarak belirleyeceği ısı yalıtım kalınlık seçeneği sadece sınıranan belirli sayıdaki seçeneğin en uygunu olacaktır. Bu şekilde elde edilecek ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin optimum seçenek olduğu iddia edilemez. İncelenen modellerde kullanılan optimizasyon prosedürleri olası tüm ısı yalıtım kalınlık seçeneklerini dikkate almadıklarından, optimum ısı yalıtım kalınlık seçeneği belirlenmemektedir. Örneğin, DOE (The Department of Energy) için hazırlanan ve ZIP-Code adı verilen model [23-24], bodrum katlı bir yapı için sadece ısı geçirgenlik direnci (R) 4, 5, 8, 10, 12 ve 15 olan ısı yalıtım seçenekleri içinden en uygununun seçilebilmesine olanak tanımaktadır.

Modelden pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilmesi, modelde kullanılacak hesaplama yöntemlerine de bağlıdır. Hesaplama yöntemleri, öncelikle yapıdan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferi miktarının, daha sonra bu miktara ve diğer maliyet değişkenlerine bağlı olarak toplam ısıtma maliyetinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Hesaplama yöntemlerinde modellenen değişken sayısı, elde edilecek sonuçların doğruluğunu ve bu sonuçların elde edilme sürelerini etkilemektedir. Modellenen değişken sayısındaki azalış, hesaplama yöntemlerinden elde edilecek sonuçların gerçek sonuçlardan sapma miktarını arttıracak, ancak daha kısa sürede sonuç alınmasını sağlayacaktır. Gerçek koşullar dikkate alınarak hesaplama yöntemlerinde yer alan değişken sayısı artırıldığında, daha doğru sonuçları daha uzun sürede almak mümkün olmaktadır.

Bu bağlamda, çok kompleks hesaplama yöntemleri bilgisayarların yardımı ile dahi saatlerce süren hesaplama süreleri gerektirdikleri ve kullanımları kolay olmadığı için pratik olarak uygulanabilir değildir. Çok basit hesaplama yöntemlerinden ise doğruluğu ve güvenilirliği sorgulanan sonuçlar alınacaktır [21, 27-29].

İncelenen modellerde kullanılan hesaplama yöntemleri ile, bu modellerin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede sonuç alınabilmektedir. Ancak, yapının temas ettiği zeminin ısı özellikleri ile yapının zeminle temas eden kabuk bileşenlerinin ısı özellikleri kapsamındaki değişkenleri hesaplama

yöntemlerinde doğru bir şekilde modellenememiştir. Zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğini etkileyecek bu değişkenlerin zemin türü ve kabuk bileşeni farkı gözetilmeden sabit kabul edilmesi, bu modellerin kullanılması ile elde edilecek sonuçların doğruluk ve güvenilirliğini önemli ölçüde düşürmektedir.

Bu bağlamda, hem;

- zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilen esneklikte olacak,
- zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanıyacak,
- pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınacak

bir optimizasyon modeline gereksinim bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı da, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için belirtilen tüm bu özelliklere sahip bir optimizasyon modeli geliştirmektir.

Bir optimizasyon modelinin belirtilen tüm bu özelliklere sahip olabilmesi için şu özelliklerde dört bileşeni olmalıdır:

1. Isı yalıtım kalınlık seçenekleri: Modelin, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlıklarının, zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenleri için tüm olası eşleşmelerini kapsayacak “ısı yalıtım kalınlık seçenekleri” olmalıdır.

2. Optimizasyon prosedürü: Modelin, modele özgü olan ısı yalıtım kalınlık

seçenekleri içinden hangisinin, bir yapının yaşam dönemi süresince zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacağını hızlı ve doğru bir şekilde belirleyecek bir optimizasyon prosedürü olmalıdır.

3. Toplam ısıtma maliyetini hesaplama yöntemi: Gerekli olan toplam ısıtma maliyeti hesaplarında kullanılmak üzere, modelin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilecek bir hesaplama yöntemi olmalıdır.

4. Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferini hesaplama yöntemi: Toplam ısıtma maliyeti, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferine de bağlıdır. Bu nedenle, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılabilir bir hesaplama yöntemi de gerekmektedir. Bu bağlamda, modelin; yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılmak üzere;

- zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunabilen esneklikte olacak ve
- modelin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınacak

bir hesaplama yöntemi olmalıdır.

Bu nedenle, öncelikle geliştirilecek optimizasyon modelinde kullanılabilir ne tür ısı yalıtım konfigürasyonları, optimizasyon prosedürleri ve hesaplama yöntemleri bulunduğu araştırılmış ve elde edilen bulgular Bölüm 2’de verilmiştir. Daha sonra, bunlardan yukarıda belirtilen özelliklere sahip olanları belirlenerek yeni bir optimizasyon modeli için bir araya getirilmiş ve geliştirilen bu optimizasyon modeli Bölüm 3’de tanıtılmıştır.

Türkiye’de zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıklarının ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının

kullanılması ile elde edilecek ekonomik yararın;

- zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özelliklerine,
- iklim koşullarına ve
- yakıt türlerine

göre nasıl bir değişiklik gösterdiği de araştırılmıştır.

Bu amaçla, geliştirilen optimizasyon modeli kullanılarak, her iklim bölgesinden iki il olmak üzere toplam sekiz ilde üç farklı yakıt türüne göre, zeminle temas eden farklı geometrik özellikleri olan yapı kabuklarının duvar ve döşeme bileşenleri için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan değerler ve bu amaçla yapılan hesaplamalar Bölüm 4’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen bulgular ise Bölüm 5’de verilmiştir.

Bir optimizasyon modelinin, problem çözümüne önemli bir katkı yapması için şu iki kritere uygun olması gerektiği düşünülmektedir:

1. Konu ile ilgili tasarımcılar tarafından tercih edilmesine neden olacak özellikleri bulunmalıdır.
2. Bu optimizasyon modelinin kullanılması ile, yüklenici ve yapı kullanıcılarının ekonomik yararına olacak sonuçlar elde edilmelidir.

Bu bağlamda, geliştirilen optimizasyon modelinin bu iki kritere de uygun olduğu düşünüldüğünden uygulamada kullanılma olasılığının artacağı ve böylece problem çözümüne önemli bir katkı sağlaması umulmaktadır. Ayrıca, Türkiye’de zeminle temas eden yapı kabuğu için daha önce bu amaçla yapılan bir çalışmaya rastlanılmadığı için, Türkiye için elde edilen bulguların bu anlamda bir yol gösterici olması beklenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, literatür taraması sonucu elde edilen bilgilere dayanılarak, bir optimizasyon modelinde kullanılabilir ısı yalıtım konfigürasyonları, optimizasyon prosedürleri ve hesaplama yöntemleri tanıtılmıştır. Ancak, daha önce, ısı yalıtım konfigürasyonları ve hesaplama yöntemlerinin mantığının anlaşılabilmesi için zemin ve ısı özelliklerinin tanıtılması daha uygun görülmüştür.

2.1. Zemin ve Isıl Özellikleri

Yapıların temas ettiği zemin, ISO 14688-1’de, mekanik yollar ile kolayca ayrılabilen ve içinde çeşitli miktarlarda su ve hava (bazen de diğer gazlar) bulunduran, mineral tane ve/veya organik malzeme topluluğu olarak tanımlanmıştır [30]. Zeminler kayaların çevre koşulları altında ayrışması ve parçalanması sonucu meydana gelmişlerdir. Zemin çeşitleri ve tane boyutları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Zemin çeşitleri ve tane boyutları [30]

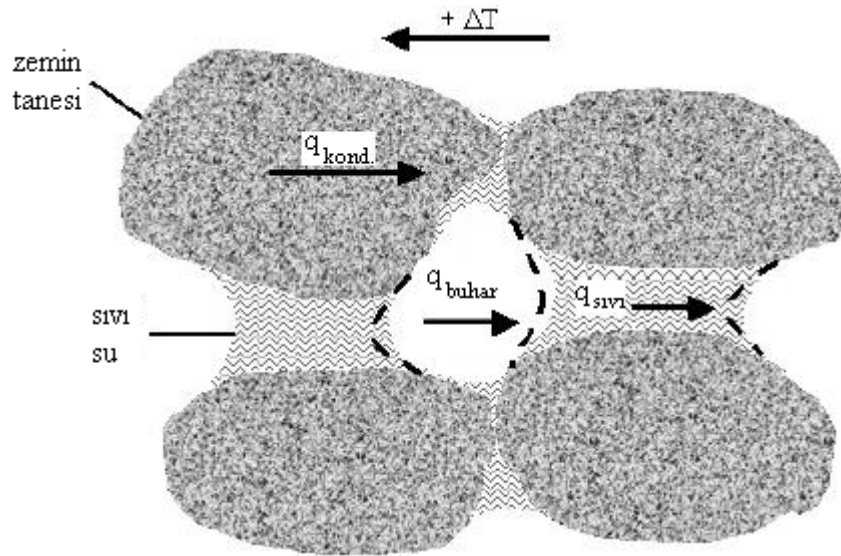
ZEMİN ÇEŞİTLERİ		TANE BOYUTLARI (mm)
Çok iri taneli zemin	Çok iri kaya parçası	> 630
	İri kaya parçası	> 200 ≤ 630
	Kaya parçası	> 63 ≤ 200
İri taneli zemin	ÇAKIL	> 2,0 ≤ 63
	İri çakıl	> 20 ≤ 63
	Orta büyüklükte çakıl	> 6,3 ≤ 20
	İnce çakıl	> 2,0 ≤ 6,3
	KUM	> 0,063 ≤ 2,0
	İri kum	> 0,63 ≤ 2,0
	Orta büyüklükte kum	> 0,2 ≤ 0,63
	İnce kum	> 0,063 ≤ 0,2
İnce taneli zemin	SİLT	> 0,002 ≤ 0,063
	İri silt	> 0,02 ≤ 0,063
	Orta büyüklükte silt	> 0,0063 ≤ 0,02
	İnce silt	> 0,002 ≤ 0,0063
	KİL	≤ 0,002

Zeminlerde ısı transferi

Zeminlerde ısı transferi, çeşitli yollarla gerçekleşmektedir [28]:

- Kondüksiyon yolu ile,
- Buharlaştırma-yoğuşma döngülerinden kaynaklanan gizil ısı transferi yolu ile,
- Buhar ve sıvı difüzyonu ile konveksiyondan kaynaklanan algılanabilir ısı transferi yolu ile ve
- Gaz dolu gözeneklerde radyasyon yolu ile.

Isı transferi miktarı, zemin kompozisyonu, yapısı, sıcaklığı ve nem içeriğine bağlı olarak değişmektedir [28]. Zeminlerde etkin olan ısı transferi yolları, Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Zeminlerde etkin olan ısı transferi yolları [28]

Kondüksiyon yolu ile ısı transferi, daha sıcak olan nesneden daha soğuk olan nesneye direkt temas sonucu gerçekleşir [31]. Bu durumda ısı enerjisi molekülden moleküle geçmektedir [32]. De Vries'e göre, zemin taneleri üzerinden kondüksiyon yolu ile gerçekleşen ısı transferi, birçok durumda en etkin olan ısı transfer yoludur. Zeminin kuru yoğunluğu arttığı zaman, zemin taneleri arasındaki temas artacak ve

daha fazla ısı transferi gerçekleşecektir [28].

Gizil ısı (latent heat), maddenin faz dönüşümü esnasında bünyesine aldığı veya bünyesinden açığa çıkardığı ısı enerjisidir. Maddenin sıcaklığı bu devrede sabit kalır [33]. Farouki'ye göre, kuru bir zemin nemlendiğinde, temas noktaları çevresinde başka bir ısı transfer yoluna neden olacak sıvı bölgeler oluşmaktadır. Philip ve De Vries'e göre, tam doyumluğa ulaşmamış gazla dolu gözeneklerde, sıvı su, sıcak tarafta buharlaşarak, buharlaşmadan kaynaklanan gizil ısıyı absorbe etmekte ve menisküsün yarıçapını azaltmaktadır (Şekil 2.1'deki kesik çizgiler). Bu durum, buhar basıncı farkından dolayı buhar difüzyonuna yol açmakta ve buhar, gözenğin diğer tarafında yoğunlaşarak gizil ısıyı bırakmakta ve diğer menisküs yarıçapını arttırmaktadır. Kararlı halde, menisküs yarıçapları arasındaki dengesizlik, buhar akışını dengelemek için zemin taneleri arasındaki kapiler sıvı akışına yol açmaktadır. [28].

Algılanabilir ısı (sensible heat), maddenin sıcaklığını değiştiren türdeki ısı enerjisidir. Bu tür ısı enerjisi maddeye ilave edilince maddenin sıcaklığı yükselir, çekilince ise maddenin sıcaklığı düşer [33]. Buharın düşük birim hacim ısı kapasitesi nedeni ile buhar konveksiyonu veya difüzyonundan kaynaklanan algılanabilir ısı transferi ihmal edilebilecek düzeydedir. Yüzey ve yeraltı sularının konveksiyonundan kaynaklanan ısı transferi ise dikkate alınmalıdır [28].

Radyasyon ise, ısı enerjisinin elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılması sonucu gerçekleşir. Zeminlerde, radyasyon yolu ile gerçekleşen ısı transferi ihmal edilebilecek düzeydedir. Radyasyon yolu ile gerçekleşen ısı transferi, atmosferik sıcaklıklarda kumlarda gerçekleşen toplam ısı transferinin %1'inden daha azına neden olmaktadır [32].

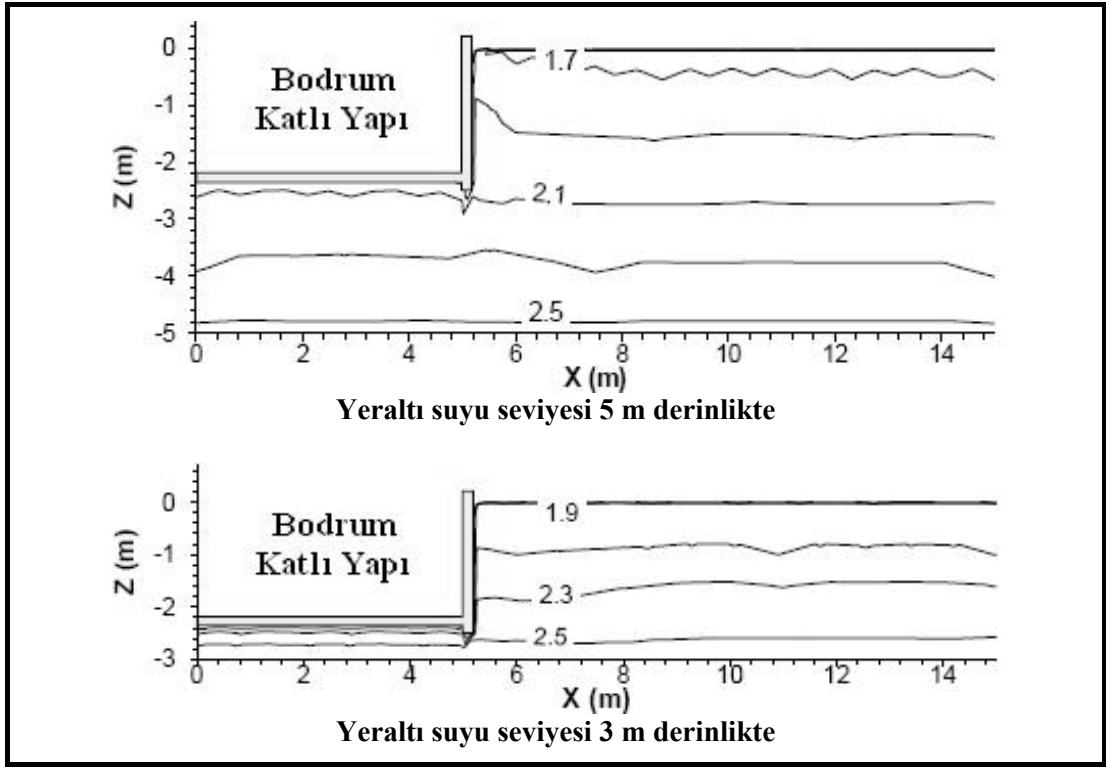
Zeminlerin ısı iletkenliği

Adjali vd. tarafından yapılan bir alansal araştırmadan elde edilen verilere göre, zeminle temas eden yapı kabuğunun ısı davranışının simülasyonundan doğru sonuç

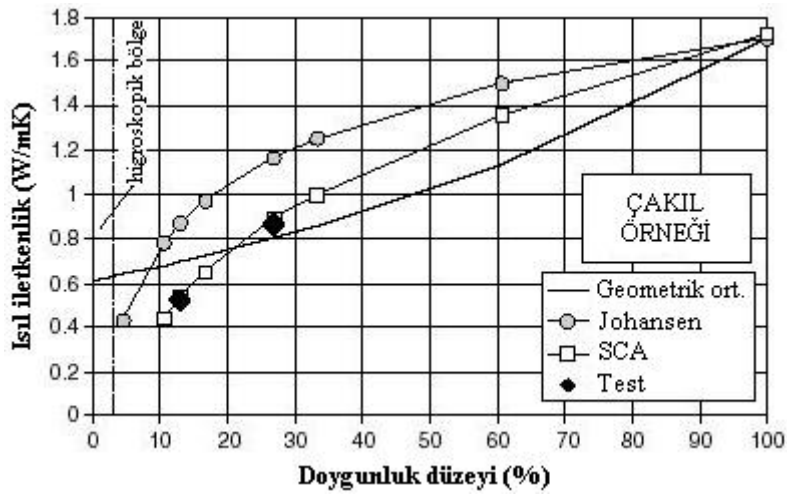
alınabilmesi için zeminin ısı iletkenlik değerinin, m¼mk¼n olan en doğru Şekilde belirlenmesinin gerekli olduğu tespit edilmiştir [34]. Benzer Şekilde, Rock tarafından yapılan bir sim¼lasyon çalıŐması, zeminin ısı iletkenliğinin, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi miktarına ¼nemli bir etkisi olduğunu g¼stermektedir [35].

Zeminin ısı iletkenliğini doğru bir Şekilde tahmin etmek zor bir iŐlemdir. Zeminin ısı iletkenliği; zemin çeşidine, zeminin nem içeriğine ve zemin sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir [36-37]. Zeminin ısı iletkenliğinin, b¼nyesinde bulundurduğu su miktarı ile kuvvetli bir ilişkisi vardır [38]. Daha ¼nce belirtildiği gibi, zemin, birbirleri ile k¼çük temas y¼zeyleri bulunan tanelerden ve bu taneler arasındaki g¼zeneklerden meydana gelmektedir. Kuru bir ortamda bu g¼zenekler hava ile doludurlar. Havanın ısı iletkenliği, tanelerin ısı iletkenliğinden daha d¼Ő¼k olduğu için zemindeki ısı transferinin b¼y¼k çoğunluğu taneler ¼zerinden gerçekleşmektedir. Bu durumda zeminin ısı iletkenliği oldukça d¼Ő¼kt¼r. Zeminin su içeriği arttığında, su molek¼lleri tanelerin y¼zeyine yapıŐarak tanelerin temas y¼zeyini arttıırırlar. Suyun ısı iletkenliği, havanın ısı iletkenliğinden daha y¼ksek olduğu için, zeminin ısı iletkenliği ve dolayısıyla zemindeki ısı transferi artar. Normal sıcaklıklarda ($T \leq 20^\circ\text{C}$), zeminin maksimum ısı iletkenliği, zeminin g¼zenekleri tamamen su ile dolu olduğunda elde edilmektedir [39]. Farouki'ye g¼re, zeminin nem içeriği %0 - %30 aralığında olduğu zaman, ısı iletkenliği en fazla %100 değişmektedir [40]. Ayrıca, zemindeki su donduğunda veya eridiğinde de, zeminin birim hacim ısı kapasitesi ve ısı iletkenliği değerleri değişmektedir [41]. Şekil 2.2'de, yeraltı suyu seviyesinin zeminin ısı iletkenlik konturlarına etkisi verilmiştir.

Zeminin ısı iletkenliği, yerinde yapılan ¼l¼mlerle veya teorik y¼ntemlerle belirlenebilir [42]. Literat¼rde, zeminin ısı iletkenliğinin belirlenebilmesi için çok sayıda analitik, ampirik ve yarı ampirik y¼ntemler bulunmaktadır. Geometrik ortalama iletkenliği ve De Vries modeli, analitik y¼ntemlerdir. Kersten eşitliği, Johansen y¼ntemi ve Sundberg tarafından geliştirilen SCA y¼ntemi ise ampirik ve yarı ampirik y¼ntemlerdir.



Şekil 2.2. Yeraltı suyu seviyesinin zemin ısı iletkenlik konturlarına etkisi [28]



Şekil 2.3. Çakıl örneklerinin teorik ve ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması [39]

Şekil 2.3'de, kuru yoğunluğu 1775 kg/m^3 ve boşluk oranı %33 olan çakıl için teorik yöntemler ve laboratuvar testleri ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu örnekte laboratuvar ölçümleri ile SCA yönteminden elde edilen veriler uyumlu olmakla beraber aynı çalışmada farklı bir zemin çeşidi için yapılan ölçümlerde ise Johansen

metodunun, laboratuvar ölçümleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir [39]. Değişik yöntemlerle farklı sonuçlar alınmasına rağmen, tüm yöntemlerde zeminin su içeriği arttıkça ısı iletkenliğinin de arttığı görülmektedir.

Zeminlerde sıcaklık dağılımı

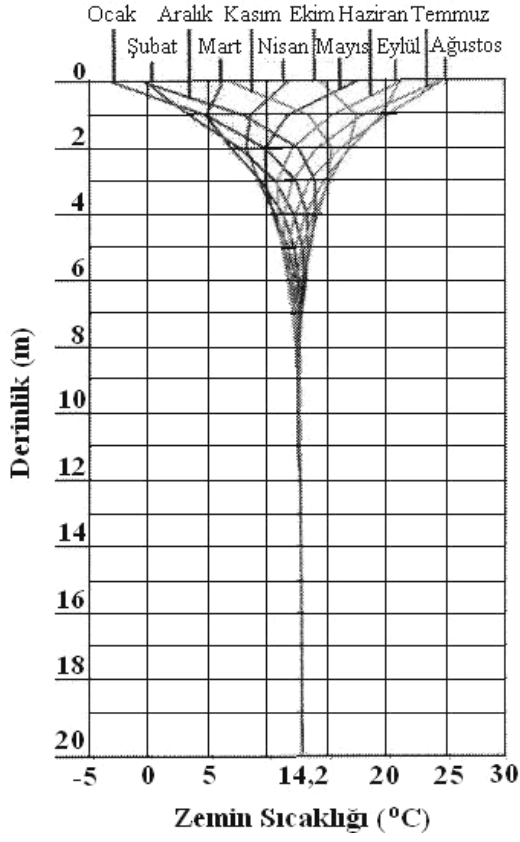
Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi, kompleks bir süreçtir ve birçok parametreyi içermektedir. Zemindeki sıcaklık dağılımı da, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi için önemli bir parametredir. Zemindeki sıcaklık dağılımı, aşağıda belirtilen faktörlerden etkilenmektedir:

- zeminin yapısı ve fiziksel özellikleri
- zemin yüzeyi örtüsü (çim kaplı, kar kaplı gibi)
- hava sıcaklığı, rüzgar, solar radyasyon, nem ve yağış durumunun belirlediği iklimsel etkileşim (sınır koşulları) [43].

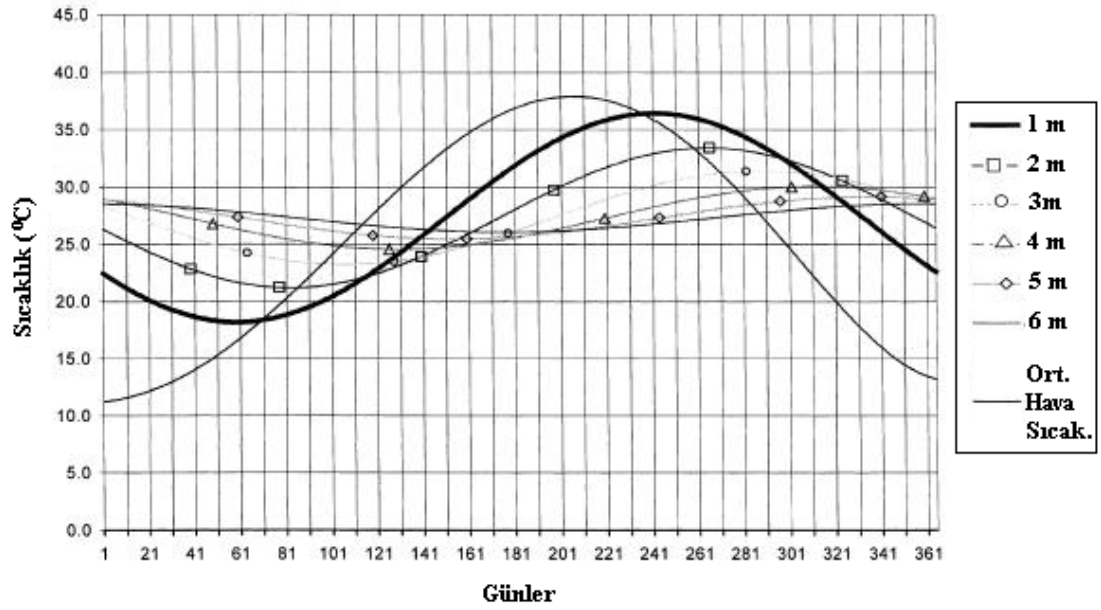
Zemindeki sıcaklık dağılımının, derinliğe, mevsimlere ve zemin özelliklerine göre nasıl değiştiğinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, genellikle saha ölçümlerinin analizine veya Fourier analizine dayanmaktadır [44-45].

Popiel vd. göre, sıcaklık dağılımı açısından, zemin üç bölgeden oluşmaktadır [43]:

- *Yüzey bölgesi:* Zemin sıcaklığının, kısa süreli hava koşullarındaki değişime karşı duyarlı olduğu ve yaklaşık 1m derinliğe kadar olan zemin bölgesidir.
- *Sığ bölge:* Zemin sıcaklığının, neredeyse sabit kaldığı ve ortalama yıllık hava sıcaklığına yakın olduğu zemin bölgesidir. Bu bölge, kuru ve hafif zeminler için 1-8 m, nemli ve ağır kumlu zeminler için 1-20 m arası derinliklere karşılık gelmektedir. Bu bölgedeki sıcaklık değişimleri, hava koşullarının mevsimsel döngülerine bağlıdır.
- *Derin bölge:* Zemin sıcaklığının, pratikte sabit kabul edildiği ve 8 veya 20 m'nin altındaki derinliklere karşılık gelen zemin bölgesidir.



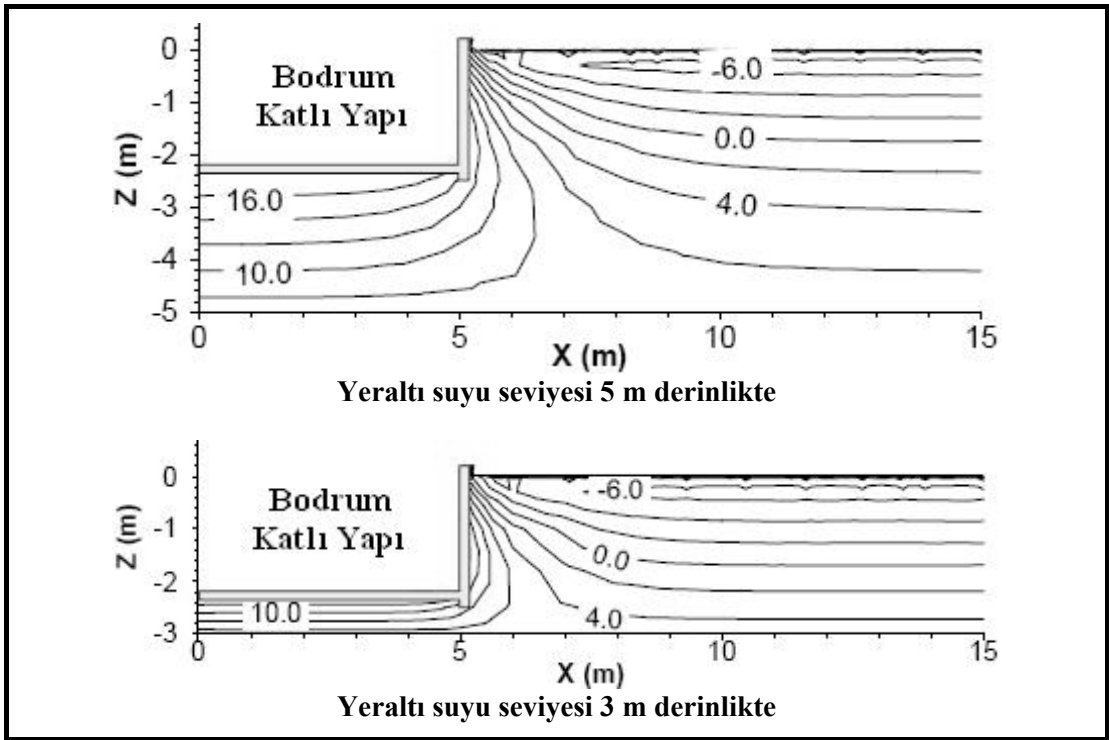
Şekil 2.4. Aylık ortalama zemin sıcaklığının derinliğe bağlı olarak değişimi [26]



Şekil 2.5. Zemin ve hava sıcaklığındaki değişimler [46]

Şekil 2.4’de, Seul’da aylık ortalama zemin sıcaklığının derinliğe bağlı olarak nasıl değiştiği verilmiştir. Zeminin ısı depolama özelliğinden dolayı, zemin sıcaklığı, yaz aylarında derinlik arttıkça azalmakta, kış aylarında ise artmaktadır. Zemin sıcaklığı, 9 m derinlikten sonra 14,2°C değerinde sabitlenmektedir. Şekil 2.5’de ise, Kuveyt’in hava sıcaklığı değerleri ile 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 m derinliklerdeki zemin sıcaklığı değerleri karşılaştırılmıştır.

Her iki şekilde de görüldüğü gibi, zemin, atmosfer için etkili bir ısıl kütle gibi davranmaktadır. Zeminin ısı kapasitesinin (ısı depolama yeteneği) yüksek oluşu, zemin içindeki ısı transferinin gecikmesine neden olmaktadır. Zeminin neden olduğu zaman gecikmesi; zemin çeşidine, difüzyon özelliğine, derinliğe, yeraltı su koşullarına ve iklimsel özelliklere bağlı olarak değişmektedir. En küçük zemin sıcaklığı dalgalanmaları; kuru zeminlerde, daha derin bölgelerde ve yıllık hava sıcaklığı değişimlerinin düşük olduğu koşullarda gerçekleşmektedir [47]. Şekil 2.6’da ise, yeraltı suyu seviyesinin zemin sıcaklık konturlarına etkisi verilmiştir.



Şekil 2.6. Yeraltı suyu seviyesinin zemin sıcaklık konturlarına etkisi [28]

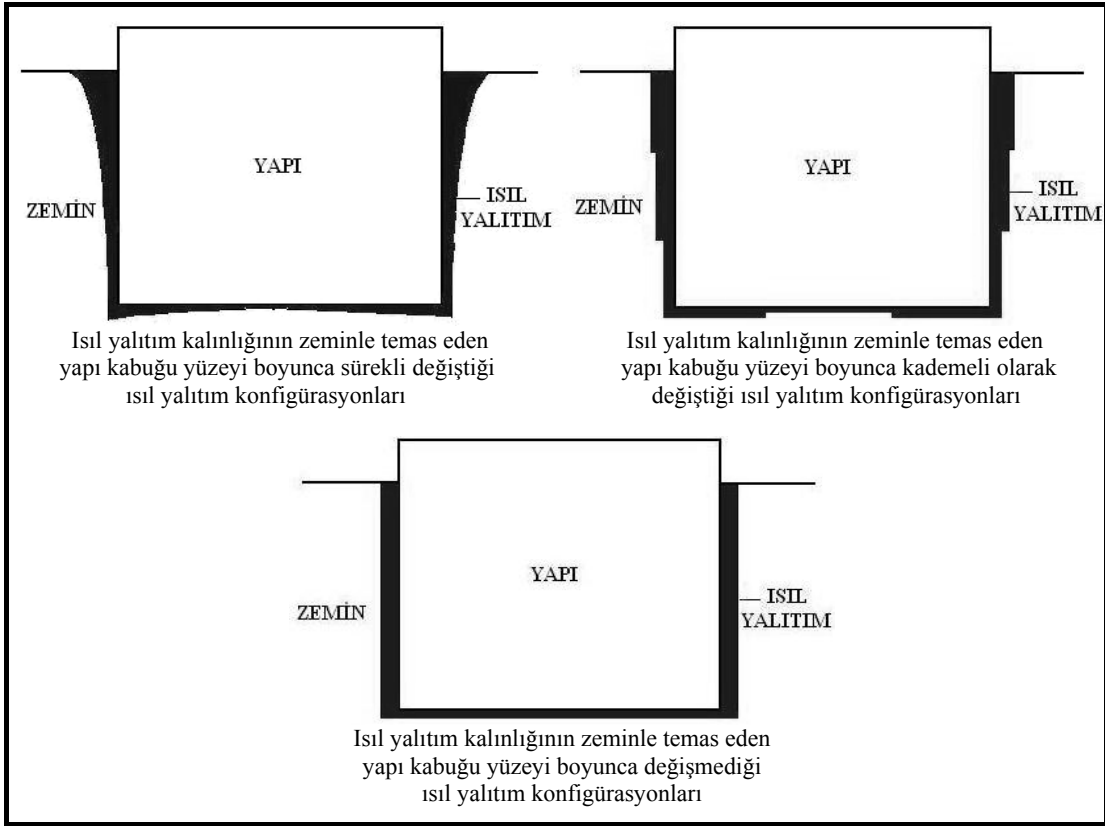
Claesson ve Hagentoft, yeraltı su seviyesinin yapıya çok yakın olmaması durumunda çok az bir etkisinin olduğunu, benzer şekilde zemindeki donma olaylarının da etkisinin az olduğu fakat zemin yüzeyindeki kar tabakasının ısı yalıtım etkisi nedeni ile dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir [28].

2.2. Isıl Yalıtım Konfigürasyonları

Birçok çalışmada, çözümü basitleştirmek için, yapı kabuğunun ısı iletkenliğinin zemin ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Yuan vd., yapı malzemelerinin, yapı kabuğu üzerinden gerçekleşen ısı transferini nasıl etkilediğini belirlemek için farklı yapı malzemeleri ile yapılmış üç yapı kabuğu için ayrı ısı transferini hesaplamışlardır. Hesaplamalarda ITPE (Interzone Temperature Profile Estimation) adı verilen ısı transferi hesaplama yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, %27,8'e varan farklar olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi miktarına, yapı malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerinin önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir [48]. Bu nedenle, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi miktarını azaltmak için, zeminle temas eden yapı kabuğunda ısı iletkenlik değeri düşük olan ısı yalıtım kullanılması yoluna gidilmektedir.

Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi en çok zemin-atmosfer ara yüzeyine yakın yapı kabuğu kesimi üzerinden gerçekleşmektedir [26, 49-51].

Hava ile temas eden yapı kabuğunda, ısı yalıtım, kabuk yüzeyi boyunca sabit kalınlıkta uygulanmaktadır. Zeminle temas eden yapı kabuğunda ise, zemindeki sıcaklık dağılımının farklı olması, ısı kaybının en az olması için ısı yalıtımın zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca nasıl uygulanması gerektiğini belirleme sürecini daha kompleks hale getirmektedir [52]. Şekil 2.7'de, zeminle temas eden yapı kabuğu için kullanılabilir ısı yalıtım konfigürasyonları verilmiştir.



Şekil 2.7. Isıl yalıtım konfigürasyonları

Isıl yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca sürekli değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonlarında, zemin sıcaklığının derinlik artışıyla artması dolayısıyla, zeminle temas eden duvarda kullanılan ısı yalıtım kalınlığı derinlik arttıkça sürekli azalmaktadır. Zeminle temas eden döşemede ise, köşeler zemin yüzeyine daha yakın olduğu için, döşemede kullanılan ısı yalıtım kalınlığı köşelerden ortaya doğru gidildikçe sürekli azalmaktadır. Choi ve Krarti'ye [52] göre, aynı miktardaki ısı yalıtım, ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları yerine bu tür konfigürasyonlarda kullanılır ise, zemin yolu ile gerçekleşen ısı kaybı miktarında %10 ile %20 arasında değişen oranlarda azalma sağlanabilmektedir.

Isıl yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca kademeli olarak değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonları, ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca sürekli değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonlarının

uygulama zorluğu ve yüksek maliyeti nedeni ile kullanılabilir alternatif bir yaklaşımdır. Labs tarafından önerilen bu tür konfigürasyonlarda, zemin sıcaklığına bağlı olarak ısı yalıtım kalınlığında sürekli değil de kademeli bir değişim gerçekleşmektedir [52].

Isıl yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları ise, uygulamada en fazla kullanılan konfigürasyonlardır. Bu tür konfigürasyonlarda, zeminle temas eden duvar ve döşemede farklı ısı yalıtım kalınlıkları kullanılabilen ve zemin yüzeyine göre derinlik ile döşeme alanı arttıkça ısı yalıtım kalınlıkları azaltılabilmektedir.

Isıl yalıtım, zeminle temas eden yapı kabuğunun dış kısmına, iç kısmına veya kabuğun ortasına uygulanabilir. Yapı kabuğunun dış kısmına yapılan uygulamalar genellikle daha uygundur. Bu şekilde, dış yalıtım, ısı köprülerini azaltabilmekte, su yalıtımı için koruma sağlayabilmekte ve zemindeki donma-erime döngülerinin temele zarar vermesini önleyebilmektedir [53]. Zeminle temas eden yapı kabuğunda kullanılabilir ısı yalıtım çeşitleri ile tasarım ve uygulama esasları hakkında literatürde yer alan çeşitli kaynaklara [22-23, 49, 53-74] başvurulabilir.

2.3. Optimizasyon Prosedürleri

Optimizasyon, bir fonksiyonun en yüksek veya en düşük olmasını sağlayacak koşulları bulma sürecidir. Herhangi bir optimizasyon sürecinin temeli, hangi kriterin optimize edileceği kararının verilmesidir [75].

Bir optimizasyon çalışmasından amaçlanan yararın sağlanması için, problemin matematiksel açıdan doğru formüle edilmesi ve probleme uygun bir optimizasyon prosedürünün kullanılması gerekir [76].

Wetter'e göre, bir optimizasyon problemi şunlardan oluşmaktadır [77]:

1. Bir bağımsız değişkenler grubu (bağımsız parametreler veya tasarım

parametreleri olarak da adlandırılmaktadır)

2. Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenlerin etki alanını belirleyen bazı sınırlayıcılar (constraints)
3. Bağımsız değişkenlere bağlı olan bir amaç fonksiyonu (maksimize veya minimize edilecek fonksiyon)

Optimizasyon probleminin matematiksel olarak ifade edilebilmesi için, amaç ve sınırlayıcı fonksiyonların bağımsız değişkenlere göre formüle edilmesi gerekir. Örnek olarak, optimize edilecek fonksiyon “C” ile, bağımsız değişkenler ise “x ve y” ile sembolize edildiğinde, amaç fonksiyonu Eş. 2.1’deki, sınırlayıcı fonksiyon ise Eş. 2.2’deki şekilde elde edilmiş olabilir:

$$C=800+1200x^3+220xy \quad (2.1)$$

$$50\pi x^2 y=100 \quad (2.2)$$

Bu örnekte, Eş. 2.1’de yer alan “C” fonksiyonunun en düşük olmasını, Eş. 2.2’de verilen sınırlayıcı koşula bağlı olarak hangi “x” ve “y” değerlerinin sağlayacağı veya örneğin “x” bağımsız değişkeni sabit alınıp sadece hangi “y” değerinin, “C” fonksiyonunun en düşük olmasını sağlayacağı araştırılabilir. Eş. 2.2’de örnek olarak verilen sınırlayıcı fonksiyon, eşitliğe dayalı bir fonksiyondur. Sınırlayıcı fonksiyonlar, Eş. 2.3’de verildiği gibi eşitsizliğe de dayalı olabilir. Ayrıca, probleme bağlı olarak birden fazla sınırlayıcı fonksiyon da bulunabilir.

$$50\pi x^2 y \leq 100 \quad (2.3)$$

Bu çalışmada, minimize edilmek istenen fonksiyon, toplam ısıtma maliyeti fonksiyonudur. Bir yapının toplam ısıtma maliyetini etkileyen diğer bağımsız değişkenlerin sabit olduğu düşünülerek, bu yapının zeminle temas eden kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde hangi kalınlıklarda ısı yalıtım kullanıldığında, toplam ısıtma maliyetinin en düşük olacağı belirlenmeye çalışılmaktadır.

Toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık

seçeneğinin belirlenmesinde kullanılabilir çeşitli optimizasyon prosedürleri bulunmaktadır. Stoecker [75], bu prosedürleri beş ana başlık altında sınıflandırmıştır:

2.3.1. Hesap yöntemleri

Klasik optimizasyon yöntemleri, hesaba dayalı yöntemlerdir ve bir fonksiyonun optimum değerini bulmak için “türev”den yararlanmaktadırlar. Eş. 2.1’de verilen örnekte, “C” fonksiyonunun en düşük olmasını sağlayacak “x” bağımsız değişkeninin değeri belirlenmek istendiğinde, C’nin x’e göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir ve bu eşitlik yardımıyla x’in optimum değeri bulunur.

Bu tür yöntemlerin kullanılabilmesi için, fonksiyonun diferansiyel bir fonksiyon olması ve sınırlayıcı fonksiyonların da eşitliğe dayalı türden olması gerekmektedir. Eşitsizliğe dayalı sınırlayıcı fonksiyonlar için, doğrusal programlama gibi diğer bir optimizasyon yönteminin kullanılması gerekmektedir.

Ayrıca, fonksiyon sürekli olmayıp da parametrelerin sadece belirli değerleri için hesaplanabildiği koşullarda da bu tür yöntemler kullanılamamaktadır. Bu gibi durumlarda arama yöntemleri tercih edilmektedir. Diğer yandan, bu tür yöntemler sınırlılıkları dahilinde pratik çözümler sunabilmektedir.

2.3.2. Arama yöntemleri

Arama yöntemleri, bağımsız değişken değerlerinin belirli sayıda kombinasyonu için fonksiyonun ne değer alacağını ayrı olarak hesaplanıp, elde edilen fonksiyon değerlerini karşılaştırarak optimum değişken kombinasyonunun belirlenmesini gerektirmektedir.

Bu yöntemler, sürekli bir fonksiyon için kullanıldıklarında, sadece denenen kombinasyonlar içinden optimumu belirleyecekleri için ancak gerçek optimum değerine yakın bir değere ulaşılabilir. Diğer yandan, fonksiyon, bağımsız değişkenlerin belirli aralıktaki değerleri için hesaplanıyor ise, bu tür yöntemler hesap

yöntemlerinden daha etkilidirler.

Bu yöntemler, bazı problemler için tek alternatif olabilmektedir. Bu yöntemlerin tek bir sistematik prosedürü olmadığı için literatürde bu yöntemlere özgü birçok teknik bulunmaktadır.

2.3.3. Dinamik programlama

Başlıkta ve bu bölümde kullanılan “programlama” kelimesinin, bilgisayar programlama ile direkt bir ilişkisi bulunmamakta, optimizasyon anlamında kullanılmaktadır. Bu yöntemden elde edilen sonuç optimum bir değer değil, optimum bir fonksiyondur. Diğer tüm optimizasyon yöntemlerinden elde edilen sonuç, amaç fonksiyonunun optimum değerinde olabilmelerini sağlayacak bağımsız değişkenlerin sayısal değerlerine aittir. Dinamik programlamadan elde edilen sonuç ise, çeşitli değişkenlere bağlı bir fonksiyondur.

Dinamik programlama, aşamalı süreçler sonunda tahmin edilebilen fonksiyonlar için kullanılan bir optimizasyon metodudur. Dinamik programlama gerektiren bir problem, genellikle hesap yöntemleri veya doğrusal programlama gerektiren problemlerden farklıdır. Bu nedenle, dinamik programlama diğer optimizasyon yöntemlerinin bir alternatifi değildir.

2.3.4. Geometrik programlama

Geometrik programlama, en yeni optimizasyon yöntemlerinden biridir. Sınırlayıcıların olmadığı optimizasyon problemlerinde, geometrik ve aritmetik ortalamaların önemini ilk tespit eden kişi Clarence Zener olmuştur. Daha sonra diğer araştırmacılar tarafından geliştirilerek daha genel optimizasyon problemlerinde kullanılabilir hale getirilmiştir.

Geometrik programlama, amaç ve sınırlayıcı fonksiyonlarda polinomların bulunduğu problemler için kullanılmaktadır. Bu polinomlar, pozitif veya negatif üslerin

kombinasyonundan oluşabilir. Aşağıda verilen sınırlayıcıların olmadığı amaç fonksiyonları geometrik programlama ile çözülebilmektedir:

$$C = 5x + \frac{10}{\sqrt{x}} \quad (2.4)$$

$$C = 6 + 3x - x^{1.8} \quad (2.5)$$

$$C = 2x_1x_2^2 + \frac{5}{\sqrt{x_1x_2}} + 10x_1^{0.8} - 4x_2 \quad (2.6)$$

Geometrik programlamanın bir özelliği de, çözümün ilk aşamasında fonksiyonun optimum değeri bulunmakta, daha sonra fonksiyonun optimum olmasını sağlayacak bağımsız değişkenlerin değerleri belirlenmektedir. Bu nedenle, sadece fonksiyonun optimum değerinin bulunmak istendiği problemlerde, bağımsız değişkenlerin değerlerinin belirlenmesi için herhangi bir işlem yapılmasına gerek kalmamaktadır.

Ayrıca, geometrik programlama ile amaç fonksiyonu ve bağımsız değişkenlerin değerleri dışında toplam maliyetin çeşitli değişkenler arasında nasıl bir dağılım gösterdiği de belirlenebilmektedir.

2.3.5. Doğrusal programlama

Doğrusal programlama, amaç ve sınırlayıcı fonksiyonların, değişkenlerin doğrusal kombinasyonları şeklinde ifade edilebildiği durumlarda kullanılabilen bir optimizasyon yöntemidir. Sınırlayıcı fonksiyonlar, eşitliğe veya eşitsizliğe dayanan fonksiyonlar olabilirler.

Doğrusal programlama, fonksiyonlardaki tüm eşitliklerin doğrusal olduğu problemler için sıkça kullanılan ve tercih edilen bir optimizasyon yöntemidir. Doğrusal programlama ile binlerce değişkenin yer aldığı optimizasyon problemleri çözülebilmektedir.

Herhangi bir problem için etkili çözüm olanağı sunacak bir optimizasyon prosedürü gereksinimi, yukarıda örnekleri verilen birçok optimizasyon yönteminin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Ancak, tüm problemler için uygun olabilecek tek bir optimizasyon prosedürü bulunmamaktadır [77].

Optimizasyon prosedürünün seçiminde, aşağıda verilen probleme özgü kriterler dikkate alınarak bir seçim yapılmalıdır [77]:

- Fonksiyonun yapısı (doğrusal, doğrusal olmayan, konveks, sürekli vb.)
- Bir ve ikinci dereceden türevlerinin varlığı
- Problemin boyutu (bağımsız değişkenlerin sayısı)
- Problem sınırlayıcıları

2.4. Maliyet hesaplama yöntemleri

Amaç, toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenmesi olduğu için, modelde toplam ısıtma maliyetinin hesaplanmasında kullanılacak bir hesaplama yöntemi gerekmektedir. Literatür taraması sonucu elde edilen bilgilere göre, yaşam dönemi maliyeti (life cycle costing) adı verilen hesaplama yöntemi, bu amaçla kullanılabilir tek hesaplama yöntemidir.

Yaşam dönemi maliyeti, bir sistemin veya bileşenin tüm yaşam dönemi süresince oluşacak maliyetlerinin analizi için doğru ve güvenilir sonuçlar alınabilecek bir hesaplama yöntemidir [78].

ISO 15686-1'e göre, yaşam dönemi maliyeti, yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri kapsamındaki tüm ekonomik faktörleri dikkate alarak, belirli bir zaman periyodu için maliyet analizi yapılmasına olanak tanıyan bir yöntemdir [79].

Royal Institute of Chartered Surveyors'a göre ise, yaşam dönemi maliyeti hesaplama

yöntemi, yatırım seçeneklerini daha etkin değerlendirmek ve sadece yatırım maliyetlerinin değil tüm maliyetlerin etkisini belirlemek için de kullanılmaktadır [78].

Yaşam dönemi maliyetinde iki temel maliyet dikkate alınmaktadır:

- Yatırım maliyeti
- İşletme maliyeti

Toplam maliyet, yatırım maliyeti ve işletme maliyetinin toplamından oluşmaktadır. Ancak, gelecekte farklı dönemlerde farklı miktarlarda maliyet değerleri oluşacaktır. Yaşam dönemi maliyeti hesaplama yönteminde, bu maliyetlerin parasal değerlerinde zaman bakımından oluşan farkları ortadan kaldırmak ve bu değerleri eşdeğer hale getirmek için, genellikle eşdeğerlik kavramına dayalı yöntemlerden bugünkü değer yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile, bu tür maliyetlerin bugünkü değerde karşılığı bulunarak toplam maliyete etkisi belirlenebilmektedir. Bu amaçla “bugünkü değer faktörü (present worth factor)” denilen bir katsayı kullanılmaktadır.

Bugünkü değer faktörü, indirgeme oranı (discount rate) ve analizin gelecekteki ne kadar bir süre için yapıldığına bağlıdır. İndirgeme oranı ise, faiz oranı ve enflasyon oranının bir fonksiyonudur.

Yaşam dönemi maliyeti hesaplama yönteminde, işletme maliyetinin belirlenebilmesi için bazı varsayımlarda ve tahminlerde bulunmak gerekmektedir. Geçmiş verilerden ve istatistiksel yöntemlerden yararlanmak, bu tür varsayımların ve tahminlerin isabet oranını arttıracaktır.

2.5. Yapılardan Zemin Yolu ile Gerçekleşen Toplam Isı Transferini Hesaplama Yöntemleri

Toplam ısıtma maliyeti, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu nedenle, modelde, yapılardan zemin yolu ile

gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılabilir bir hesaplama yöntemi de gerekmektedir.

Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinin belirlenebilmesi için günümüze kadar birçok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmaların çoğunluğu, temel ısı akış yolları ve mekanizmaları ile ilgili varsayımlara dayanmaktadır. Örneğin, birçok analiz, problem gerçekte üç boyutlu olmasına rağmen, problemin bir veya iki boyutlu olduğu varsayımına dayanmaktadır. Davies vd.'nin yaptığı çalışma, çok boyutlu ısı akış modellemesinin önemini vurgulamaktadır. Bu çalışmada, üç simülasyon modu (bir, iki, üç boyutlu), yapının zemin üstünde kalan bölümünün yıllık ısıtma yükünün belirlenmesinde kullanılmıştır. İki ve üç boyutlu simülasyonlar arasında %22, bir ve üç boyutlu simülasyonlar arasında ise %41 oranında farklar olduğu tespit edilmiştir [32].

Hesaplama yöntemlerinde, genellikle kararlı haldeki (steady state) ısı transferinin dikkate alındığı görülmektedir. Ancak, zeminin yüksek ısı kapasitesi, hava sıcaklıklarındaki değişimin zemine yansımını geciktirmektedir. Bu gibi durumlarda, ısı transferinin gerçek koşullara daha uygun olabilmesi için, zamana bağlı (transient) analizlerin de yapılması gerekmektedir [32].

Daha doğru hesaplama yapabilecek yöntem talebi, bu alanda birçok çalışma yapılmasına yol açmıştır. Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinin belirlenebilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Aşağıda, geliştirilen bu yöntemlerden bahsedilmiştir.

2.5.1. Analitik ve yarı analitik yöntemler

Isı transfer eşitliklerinin analitik çözümleri, var olan ilk çözümlerdir ve genellikle problemde bazı basitleştirmeleri içermektedirler. Ancak, bazı durumlarda (basit konfigürasyonların analizi gibi) bu yöntemler hızlı ve doğru çözüm imkanı sundukları için tercih edilebilmektedirler. Yarı analitik yöntemler de, kullandıkları matematiksel yaklaşımlar açısından analitik yöntemlerle benzer özellikler

taşımaktadır fakat genellikle geliştirilmeleri için bilgisayara dayalı çözümler gerektirmektedirler [32].

Houghten vd. 1942 yılında bodrum kat duvar ve döşemelerinden ısı kaybı üzerine ilk yazılı ölçümleri yayımlamışlardır [80]. Zemin sıcaklıklarını ve yapının duvar ve döşemesi üzerinden gerçekleşen ısı akışını bir yıldan daha fazla bir süre ölçmüşlerdir. Bu ölçümler, o zaman kullanılan kondüksiyona dayalı hesaplama yöntemlerinin zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi miktarını fazla ölçtüğünü ispatlamıştır [28].

1945 yılında Dill vd., 1948 yılında Bareither vd. zemin yüzeyindeki döşemeler üzerine ölçümlerini sunmuşlardır. Bu tarihten sonraki çalışmalar, zemin yüzeyindeki ısı yalıtımsız döşemeler üzerinden kararlı hal koşullarında gerçekleşen ısı kaybı üzerine yoğunlaşmıştır. Simülasyon olanakları sınırlı olduğu için çoğu araştırmacı problemi analitik olarak çalışmıştır. Macey'in 1949 yılındaki analizi bu konudaki ilk ve en büyük katkıyı sağlamıştır. Macey, ısı yalıtımsız sonsuz uzunluktaki bir döşemenin ısı geçirgenliğini analitik olarak ifade etmiştir. Geliştirdiği eşitliği, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinde önemli olan değişkenleri ortaya koymuştur: zeminin ısı iletkenliği, yapının biçimi ve sınırlayıcı duvarların genişliği. Billington ise 1952 yılında, zemin yüzeyindeki döşeme üzerinden zamana bağlı olarak gerçekleşen ısı transferini analiz eden ilk kişi olmuştur [80].

Homojen ve sonlu/yarısı sonlu bir zemindeki sıcaklık bölgeleri, kararlı hal/periodyk/zamana bağlı sınır koşulları altında Fourier veya Green teoremlerinin uygulanması ile analitik olarak belirlenebilmektedir. 1957 yılında Lachenbruch, 1960 yılında Vuorelainen, 1977 yılında Muncey ve Spencer, 1982 yılında Kusuda vd. ve 1983 yılında Delsante vd. gibi birçok araştırmacı, ısı yalıtımsız, kısmi yalıtımlı veya tamamen yalıtımlı döşemelerden ısı transferi için (yarı-)analitik çıkarımlar elde etmek için bu çözüm tekniklerini kullanmışlardır. Bu çalışmalarda hem iki boyutlu hem de üç boyutlu analizler yapılmasına rağmen, elde edilen sonuçlar matematiksel zorluklardan dolayı iki boyutlu ile sınırlı kalmıştır. Ayrıca, sadece Krarti ve Claridge'in 1983 yılında geliştirdikleri yarı analitik yöntem bodrum katlı yapılara

uygulanmış, diğer çalışmaların çoğu zemin yüzeyinde yer alan döşemeler ile sınırlı kalmıştır [80]. Lachenbruch'un geliştirdiği çözüm yöntemi, daha sonra yapı enerji simülasyon programlarından olan DOE-2 ve BLAST'da kullanılan aylık ısı kaybı değerleri ve zemin sıcaklığı verilerini hesaplayan bir bilgisayar programı için temel teşkil etmiştir [28].

Delsante 1983 yılında, kararlı haldeki ısı transferinin üç boyutlu, periyodik ısı transferinin iki boyutlu ele alındığı analitik bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemin en önemli sınırlılığı, sadece zemin yüzeyinde yer alan dikdörtgen şeklindeki döşemeler için kullanılabilmesidir [32].

Kusuda ve Bean 1984 yılında, ısı transferinin iki boyutlu ve zamana bağlı olarak ele alındığı yarı analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, sadece zemin yüzeyinde yer alan döşemeler için kullanılabilmekte ve döşeme ısı yalıtımlı ise yaklaşık bir sonuç verebilmektedir [32].

Anderson 1991 yılında yaptığı çalışma ile, dikdörtgen döşemelerden üç boyutlu ısı kaybının belirlenmesinde kullanılacak bir eşitlik geliştirmiştir. Muncey ve Spencer, daha önce aynı prensibin dikdörtgen olmayan döşemeler için de uygulanabileceğini göstermişlerdir. Nümerik çalışmalardan elde edilen veriler, Anderson'ın yaklaşımını doğrulamıştır. Bu yaklaşıma göre, farklı biçimlerdeki tüm döşemeler üzerinden gerçekleşen kararlı haldeki ısı transferi, döşemenin çevre-alan oranı ile ilişkilidir [80].

Krarti 1988 yılında, iki boyutlu ve zamana bağlı ısı transferi problemini çözmek için ITPE (Interzone Temperature Profile Estimation) adı verilen prosedüre dayalı yarı analitik bir yöntem geliştirmiştir. Bu prosedüre göre, zemin, döşeme veya bodrum, dikdörtgen biçiminde çeşitli bölgelere ayrılmakta ve her bir bölge için ısı transferi eşitliği kolayca çözülebilmektedir [32]. Bu prosedürün sınırlılıkları ise şunlardır: bölgeler arasındaki sıcaklık profillerinin tahmin edilmesi gerektiği, sabit zemin özellikleri ve zemin yüzeyindeki sınır koşullarının basitleştirilmesi [28]. Krarti'nin kullandığı ITPE prosedürü daha sonra birçok çalışmada kullanılmıştır.

Choi ve Krarti 1997 yılında, tamamı zemin yüzeyi altında kalan yapılar için basitleştirilmiş bir ısı transferi hesaplama yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem, Krarti'nin ITPE prosedürüne dayalı asıl yönteminden elde edilen sonuçlara dayanılarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Basitleştirilmiş bu yöntem, tamamı zemin yüzeyi altında kalan yapılar ile zemin arasında gerçekleşen aylık toplam ısı transferinin hesaplanmasında, yapı boyutu, ısı yalıtım konfigürasyonu ve zeminin ısı özellikleri gibi parametreleri dikkate almaktadır. Basitleştirilmiş bu yöntemin kullanılması ile elde edilen sonuçlar, asıl yöntemden elde edilenlerle karşılaştırılmış ve aradaki farkın %10'u geçmediği belirlenmiştir [81].

Ayrıca, Krarti vd. 2001 yılında, yapı enerji simülasyon programı olan EnergyPlus'ta kullanılmak üzere, hem bodrum katı olmayan hem de bodrum katlı yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferini hesaplayacak bir modül geliştirmişlerdir [82].

Hagentoft 2002 yılında, zemin yüzeyinde yer alan ve sadece çevre kısmında ısı yalıtım bulunan döşemeler üzerinden gerçekleşen kararlı haldeki ısı transferinin hesaplanmasında kullanılabilecek iki boyutlu analitik bir yöntem geliştirmiştir. Hagentoft, geliştirdiği bu yöntemi kullanarak, ısı transferini en aza indirmek için, döşeme çevresinde yer alan ısı yalıtımın genişliğine bağlı olarak zemin yüzeyine göre hangi açı ile yerleştirilmesi gerektiğini belirlemiştir. Geliştirdiği yöntemin en büyük sınırlılığı, sadece çevre kısmında ısı yalıtım bulunan döşemeler için hesaplama olanağı sunmasıdır [83].

Hagentoft aynı yıl, bu defa da zemin yüzeyinde yer alan ısı yalıtımsız döşemeler üzerinden gerçekleşen periyodik ısı transferinin hesaplanmasında kullanılabilecek analitik bir yöntem geliştirmiştir [84].

2.5.2. Nümerik yöntemler

Bir problem güvenilir bir şekilde basitleştirilebiliyor ise, analitik yöntemlerin kullanılması daha yararlıdır. Ancak, daha kompleks problemler için nümerik yöntemler daha esnek bir yaklaşım sunmaktadırlar [32]. Nümerik yöntemlerin en

büyük dezavantajı, bilgisayarların yardımı ile dahi saatlerce süren hesaplama süreleri gerektirmeleri ve oldukça kompleks olmalarıdır [85]. Nümerik yöntemlerin çoğu, sonlu farklar yöntemini (FDM - finite difference method) veya sonlu elemanlar yöntemini (FEM - finite element method) kullanmaktadır [28]. FDM, döşeme üzerinden gerçekleşen ısı transferinin simülasyonunda sıkça kullanılan bir yöntemdir. Düzenli geometrilerle ilgili ısı transferi problemlerinde, FDM'nin oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır. Ancak, problemin geometrisi düzensiz ve daha kompleks malzeme ve sınır koşulları var ise FEM daha etkilidir. İki boyutlu ısı transferi problemlerinde, birçok araştırmacı FEM'i kullanmıştır [38].

Literatürde yer alan ilk yöntemlerden biri olan ve üç boyutlu FDM'nin kullanıldığı nümerik yöntem, 1963 yılında Kusuda ve Achenbach tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, yeraltında yer alan barınaklarda, sıcaklığın, nemin ve ısı transferinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Program, zemin yüzeyindeki solar radyasyon ve konveksiyona dayalı ısı transferini de dikkate almıştır [32].

Walton 1987 yılında, bilgisayar programlarının hesaplama sürelerinde azalma sağlamak için, iki boyutlu hesaplamaları kullanarak üç boyutlu ısı akışını tahmin edebilme olasılığını araştırmıştır [80]. Geliştirdiği yöntem, hesaplama süresinde azalma sağlamıştır fakat sadece belirli zemin yüzeyindeki döşeme konfigürasyonu için geçerli bir yöntemdir [28].

Bahnfleth 1989 yılında, zemin yüzeyindeki döşemeler üzerinden gerçekleşen ısı transferinin hesaplanabilmesi için üç boyutlu FDM'nin kullanıldığı bir yöntem geliştirmiştir. Bahnfleth, zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinde hakim olan etkenleri belirlemek için birçok örnek çalışma yapmıştır. Zemin yüzeyi sıcaklıklarını etkileyen iklimsel koşulların, döşemenin çevre-alan oranının, zeminin ısı iletkenliğinin ve ısı yalıtım konfigürasyonunun, ısı transfer miktarını belirleyen esas faktörler olduğunu ileri sürmüştür. Bahnfleth'in geliştirdiği bu yöntem iyi bir yöntem olmasına rağmen bazı zayıf yönleri de bulunmaktadır: Yöntem; farklı zemin tabakalarının hesaplamalara dahil edilmesine, farklı nem etkilerinin değerlendirilmesine olanak tanımayan, zeminin ısı özelliklerinin sabit olduğu

varsayımına dayanmaktadır. Diğer bir sınırlılığı ise, döşemelerde kısmi ısı yalıtım konfigürasyonları için hesaplama olanağı sunmamaktadır. Bahnfleth vd. 1998 yılındaki diğer bir çalışma ile bu yöntemi bodrum katlı yapılar için de değerlendirme imkanı sunan bir hale getirmişlerdir. Bu yeni model, ısı yalıtım konfigürasyonları için daha esnek hale getirilmiştir [28].

Deru 2001 yılında tamamladığı doktora tezinde [28], iki boyutlu FEM'in kullanıldığı ısı ve nem transferi programı (GHAMT) ve iki boyutlu ısı transferi programı (GHT2D) geliştirmiştir. Modellerde, atmosferik sınır koşulları da dikkate alınmıştır. GHT2D, bodrum katlı yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinin hesaplanmasında kullanılan Mitalas yöntemi ve ASHRAE yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Duvar üzerinden gerçekleşen ısı transferi bağlamında, Mitalas yöntemi %13-45, ASHRAE yöntemi %68 oranlarında daha fazla sonuç vermiştir. GHAMT kullanılarak, bodrum katlı ve bodrum katı olmayan yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferine, zemin yüzey neminin ve yeraltı suyunun etkisi araştırılmıştır. Isıl yalıtımsız döşeme ve duvarlarda zemin yüzeyi nemi artışının daha büyük etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bodrum kat duvarlarının, yaz aylarında zemin yüzeyindeki koşullara daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Kış aylarında ise çok az etkilenmiştir. Bodrum kat döşemelerinin ise zemin yüzeyindeki kısa süreli değişimlerden etkilenmediği, sadece yeraltı suyu durumundan etkilendiği tespit edilmiştir. Deru vd. daha sonra, GHT2D'nin üç boyutlu versiyonunu (GHT) geliştirmişlerdir [86]. Bu model, uzun hesaplama süreleri (Pentium 950 MHz işlemci ile iki ile beş saat arasında) gerektirdiği için pratik olarak kullanılabilir bir model değildir.

Santos ve Mendes 2006 yılında, zemindeki ısı ve nem transferinin üç boyutlu ele alındığı bir model ile yapı kabuğu üzerinden ısı transferinin tek boyutlu ele alındığı bir modeli bir araya getirmişlerdir. Zemindeki ısı ve nem transferinin belirlenmesinde kullanılan model, Philip ve De Vries teorisine dayanmaktadır. Yapı kabuğu üzerinden gerçekleşen ısı transferi ise Fourier kanunu kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu model kullanılarak, zemin neminin; ısı transferine ve yapı hacminin hava sıcaklığı ile nemlilik oranına etkisi incelenmiştir [87].

2.5.3. Basitleştirilmiş yöntemler

Basitleştirilmiş yöntemler, problemlerin, komplike matematiksel eşitlikler veya bilgisayar programları gerekmeden çözülmesi için geliştirilmiş yöntemlerdir. Bu yöntemler, genellikle analitik, nümerik veya deneysel çalışmalardan türetilmişlerdir [88].

İki boyutlu FDM'nin kullanıldığı böyle bir model, Shipp vd. tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntem, çeşitli konfigürasyonlar için, yıllık ısıtma ve soğutma sezonları için ısı akışlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Yöntemde kullanılan eşitlik, farklı konfigürasyonlar için bazı sabit katsayıların eklenmesi ile basitleştirilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkinin geliştirilebilmesi için, belirli sayıda sabit zemin ısı özelliği değerleri ile sabit bir iç ortam sıcaklığı kullanılması, bu yöntemin sınırlılıkları arasındadır [32].

Akridge ve Poulos 1983 yılında, DAGT (Decremental Average Ground Temperature) adı verilen bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinin, zemin sıcaklığındaki değişime etkisini de dikkate almıştır. Bir FDM programı kullanılarak, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar yeni bir eşitliğin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Bu eşitlikte ise, zeminin ısı iletkenliği ve duvarın ısı direncinin fonksiyonları olan katsayılar yer almıştır. Bu yöntem, sadece zemin altında kalan duvarlar için uygulanabilmekte, döşemeler için kullanılamamaktadır [32].

Başka bir yöntem de, Mitalas tarafından 1982 ve 1987 yıllarındaki çalışmaları sonucu geliştirilmiştir. Bu yöntem, FEM kullanılarak yüzlerce iki ve üç boyutlu simülasyonlar yapılarak elde edilen sonuçlardan türetilmiştir. Bu yöntemde, çeşitli yapı geometrik konfigürasyonları, ısı yalıtım konfigürasyonları ve zemin ısı özellikleri için aylık ısı transferi değerlerini belirleyebilmek için BHLF (Basement Heat Loss Factors) denilen biçim faktörleri kullanılmıştır. Basitleştirilmiş bu yöntem, az sayıda yapı geometrik konfigürasyonu, ısı yalıtım konfigürasyonu, zemin ısı

iletkenlik değerleri ve derece gün sayısı için hesaplama olanağı sunmaktadır [28].

Huang vd. ile Shen vd.'nin 1988 yılında yaptığı alışmalar, DOE-2 adındaki yapı enerji simülasyon programının zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferi hesaplamalarını geliştirmek için kullanılmıştır. Shen vd., 13 Amerika Birleşik Devleti Őhrinde, 88 değişik yapı geometrik konfigürasyonu için, zemin yolu ile gerçekleşen yıllık ısı transferinin nümerik analizini yapmışlardır. Huang vd., bu çalışmadan elde edilen sonuçları, tüm yapı simülasyonun bir parçası olarak, zeminle temas eden yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtımın yeri ve miktarı ile ilgili hesaplama yapacak Şekilde DOE-2.1C'le birleştirmişlerdir [28].

Krarti ve Choi, 1996 yılında, daha önce bahsedilen ITPE prosedürünü kullanarak, bodrum katı olmayan ve bodrum katlı yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinin hesaplanmasında kullanılabilir basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde ise üç katsayı kullanılmıştır. Bu katsayılar; zemin özellikleri, yapı boyutları, ısı yalıtım U değerleri ve konfigürasyonları, iç ortam hava sıcaklığı ve zemin yüzeyi sıcaklığının fonksiyonları olarak alınmıştır. Bu katsayılar, 2000 farklı yapı geometrik konfigürasyonu kullanılarak belirlenmiştir [32].

Zhong ve Braun 2007 yılında, bir FEM programından yararlanarak, zemin yüzeyinde yer alan döşemeler üzerinden gerçekleşen zamana bağlı ısı transferinin hesaplanabilmesi için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmişlerdir. Döşeme çevresinden gerçekleşen ısı kaybı, "ısı kaybı faktörü (heat loss factor)" ile karakterize edilmiştir. Basitleştirilmiş bu yöntemden elde edilen sonuçlar ile FEM programından elde edilen sonuçların oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Yöntem, bodrum katlı yapılar için kullanılamamaktadır [89].

Bu kategoriye çeşitli standartlarda ve kılavuzlarda yer alan hesaplama yöntemleri de girmektedir. Bunlardan biri, 1997 tarihli ASHRAE Handbook Fundamentals adlı yayında yer alan ve bodrum katı olmayan ile bodrum katlı yapılar için kullanılabilir yöntemdir. Zemin yüzeyinde yer alan döşemeler üzerinden gerçekleşen ısı transferi, döşeme evre uzunluğu, i ve dış ortam arasındaki sıcaklık

farkı ve bir ısı kaybı katsayısının fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Isı kaybı katsayıları, Wang'ın 1979 yılında, üç iklim bölgesinde, ısı yalıtımlı ve yalıtımsız dört temel çeşidi için, iki boyutlu FEM programı kullanarak elde ettiği sonuçların kullanılması ile belirlenmiştir [28]. Bodrum katlı yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinin hesaplanmasında da, duvarlar için sadece derinliğe, döşemeler için ise hem derinliğe hem de döşeme genişliğine bağlı olarak değişen ısı kaybı katsayılarından yararlanılmaktadır [90]. Bodrum katlı yapılar için kullanılan yöntem, duvarlarda düşey yönde gerçekleşen ısı akışını dikkate almamaktadır. Her iki yöntem de, zeminin tek bir ısı iletkenlik değeri ($1,38 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) olduğu varsayımına dayanmaktadır. Yöntemler, sadece modellenen yapı geometrileri için geçerlidirler [28].

İngiltere'de 1986 tarihli CIBSE kılavuzunda yer alan yöntem ise, sadece zemin yüzeyinde yer alan ısı yalıtımsız, dikdörtgen şeklindeki döşemeler için kullanılabilir [32].

Bir diğer yöntem de, Hagentoft ve Anderson'un çalışmalarının bir araya getirildiği, "ISO 13370: Thermal performance of buildings- Heat transfer via the ground- Calculation Methods" adlı standartta yer alan hesaplama yöntemidir. ISO 13370, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunmaktadır. Ancak, ISO 13370, bir kısmında bodrum kat, diğer kısmında bodrum kat olmayan yapıları kapsamamaktadır. Buna rağmen, bu tür geometrik konfigürasyonlar için, ISO 13370 kullanılarak yaklaşık bir değerlendirme yapılabilir. ISO 13370, sadece ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları için hesap olanağı sunmaktadır. Hem kararlı haldeki hem de periyodik ısı akışlarını dikkate alan ISO 13370, üç boyutlu simülasyon moduna sahiptir. ISO 13370, zeminin ısı iletkenliğinin ve ısı kapasitesinin tüm zemin bölgesinde aynı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ayrıca, nenden kaynaklanan ısı transfer mekanizmalarını dikkate almamakta, sadece birçok durumda zeminde en etkin olan ısı transfer mekanizması olan konduksiyon yolu ile gerçekleşen ısı transferini hesaplamaktadır [91].

2.5.4. Doğrulama çalışmaları

Bir hesaplama yönteminin doğruluğunun belirlenebilmesi için en etkili yol, bu hesaplama yönteminden elde edilen sonuçların, alan çalışmalarından elde edilen gerçek sonuçlarla karşılaştırılmasıdır. Bu bölümde, bu tür doğrulama (validation) çalışmalarından örnekler verilmiştir.

Trethowen ve Delsante 1998 yılında Yeni Zelanda'da, iki konut için dört yıl süre ile ısı akışlarını, sıcaklıkları ve zeminin ısı iletkenliklerini ölçmüşlerdir. İki konutun da zemin yüzeyinde yer alan ve ısı yalıtımsız döşemeleri bulunmakta ve 0,4 ile 1 m arasında değişen yeraltı su seviyesi nedeni ile yıl boyunca yüksek nem içeriğine sahip zeminle temas etmekteymiş. Trethowen ve Delsante, döşemelerin ısı geçirgenlik dirençlerini hesaplamışlar ve elde ettikleri sonuçları, ASHRAE, CIBSE, Delsante ve Davies'in yöntemlerinin kullanılması ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuçlar arasında, bir konut için %50, diğer konut için %25'lere varan farklar tespit etmişlerdir [28].

Adjali vd. 1998 yılında, APACHE denilen yapı enerji simülasyon programına ekledikleri yöntemlerinden elde ettikleri sonuçları, Minnesota Üniversitesi'ndeki bir test odasından elde ettikleri veriler ile karşılaştırmışlardır. Yaz sezonu için elde edilen sonuçların uyumlu olduğu, ancak kış sezonu için elde edilen sonuçlar arasında farklar bulunduğu belirlenmiştir [28].

Thomas ve Rees 1999 yılında, modern bir ticari yapının bulunduğu alanda 1,5 yıl süre boyunca, yapı döşemesi üzerinden gerçekleşen ısı akışı, hava sıcaklığı, zemin sıcaklığı ve zemin nem içeriği değişimleri ile ilgili ölçüm yapmışlardır. Çoğu ölçüm aletinden 30 dakikada bir sonuç aldıkları için, sistemin hem günlük hem de mevsimsel tepkisini belirlemişlerdir. Yaz ve kış sezonu ısı transferi süreçlerinde önemli farklar bulunduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, yapının dış duvarına yakın zemin bölgesinde önemli ısı ve nem değişiklikleri olduğunu, döşeme altındaki zeminde ise bu değişimlerinin oldukça düşük olduğunu belirlemişlerdir. Elde ettikleri verileri biri normal diğeri hafif olan iki beton döşemenin ısı geçirgenliklerini

belirlemede kullanmışlardır. Bu değerleri, CIBSE ve ISO 13370'deki hesaplama yöntemlerinin kullanılması ile elde ettikleri değerler ile karşılaştırmışlardır. CIBSE yönteminden normal beton için elde edilen değer, ölçüm değeri ile oldukça uyumlu olmasına rağmen, hafif beton için elde edilen değer ölçüm değerinden çok saptığı belirlenmiştir. ISO 13370'deki yöntemden hem normal beton hem de hafif beton için elde edilen değerlerin, ölçüm değerleri ile oldukça uyumlu olduğu, hatta hafif beton için elde edilen değer birebir aynı olduğu tespit edilmiştir [92].

Chuangchid ve Krarti 2001 yılında, zemin yüzeyinde yer alan yerden ısıtılan döşemeler üzerinden gerçekleşen ısı transferinin hesaplanmasında kullanılabilecek yarı analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem ITPE prosedürü kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yöntemin kullanılması ile elde edilen sonuçlar, Harris ve Sartain'in alan çalışmasından elde edilen gerçek ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbirleri ile oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Özellikle, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkının daha yüksek olduğu koşullarda, daha yüksek düzeyde bir uyumluluk olduğu tespit edilmiştir [93].

Zhou vd. 2002 yılında, geliştirdikleri iki boyutlu nümerik yöntemden elde ettikleri sonuçlar ile Japonya'daki Tohoku Üniversitesi'ndeki bir alan çalışmasından elde edilen gerçek sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Sonuçların oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Geliştirdikleri nümerik yöntem, sadece kondüksiyona dayalı ısı transfer mekanizmasını dikkate aldığı için, yazarlar sadece bu tür bir ısı transfer mekanizmasını dikkate alan bir ısı transferi hesaplama yönteminin kabul edilebilir doğrulukta sonuç alınabilmesi için yeterli olacağını iddia etmişlerdir [94].

Literatür taraması sonucunda, bir optimizasyon modelinde kullanılabilecek çeşitli sayıda ve özellikte ısı yalıtım konfigürasyonu, optimizasyon prosedürü ve hesaplama yöntemi olduğu görülmüştür. Bunlardan hangilerinin geliştirilen optimizasyon modeli için seçildiği, nedenleri ile bir sonraki bölümün ilgili başlıklarında verilmiştir.

3. OPTİMİZASYON MODELİ

Ekonomik yarar açısından bakıldığında, bir yapının zeminle temas eden kabuğunda ısı yalıtım kullanılmasının amacı, kabuğun ısı performansını artırarak toplam yakıt maliyetini düşürmek ve böylece toplam ısıtma maliyetini düşürmektir. Ancak, ısı yalıtımın da bir maliyeti vardır ve amaç toplam ısıtma maliyetini düşürmek olduğu için bu maliyet de toplam ısıtma maliyetine eklenmelidir. Bu durumda, bir yapının zeminle temas eden kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım kalınlığı arttırıldıkça, toplam yakıt maliyeti düşeceği için toplam ısıtma maliyeti düşecek, toplam ısı yalıtım maliyeti artacağı için ise artacaktır. Bu nedenle, birçok ısı yalıtım kalınlık seçeneği içinden sadece biri, bu yapı için zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin (toplam yakıt maliyeti + toplam ısı yalıtım maliyeti) en düşük olmasını sağlayacaktır. Ekonomik yarar açısından en uygun olacak bu ısı yalıtım kalınlık seçeneği ise ancak bir optimizasyon modeli ile belirlenebilir.

Bu bölümde, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için geliştirilen optimizasyon modeli tanıtılmıştır.

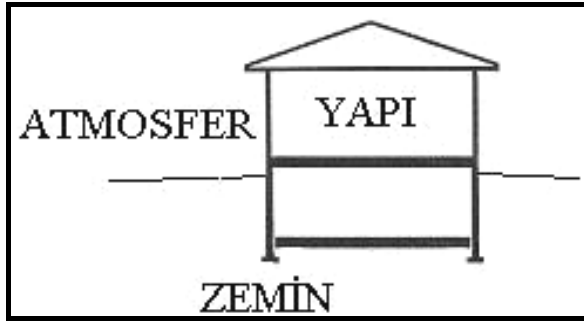
Yapılar, zeminle temas eden döşemelerinin, zemin yüzeyine göre konumuna bağlı olarak iki temel gruba ayrılmaktadır (Şekil 3.1):

1. Zeminle temas eden döşemesi zemin yüzeyi altında kalan yapılar
2. Zeminle temas eden döşemesi zemin yüzeyinde veya üzerinde kalan yapılar

Zeminle temas eden döşemenin zemin yüzeyine göre derinliği “z” ile gösterilirse, birinci grup yapılarda $z > 0$, ikinci grup yapılarda ise $z = 0$ 'dır. Bu çalışmada, z değeri 0'dan büyük olan yapılar, “bodrum katlı yapılar”, z değeri 0 olan yapılar ise “bodrum katı olmayan yapılar” olarak adlandırılmıştır.

Geliştirilen model, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunmaktadır. Bir

kısımında bodrum kat, diğer kısmında bodrum kat olmayan yapılar için ise yaklaşık bir değerlendirme olanağı sunmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.1. Yapıların, zeminle temas eden döşemelerinin, zemin yüzeyine göre konumuna bağlı olarak sınıflandırılması
 a) zeminle temas eden döşemesi zemin yüzeyi altında kalan yapılar
 b) zeminle temas eden döşemesi zemin yüzeyinde veya üzerinde kalan yapılar

3.1. Isıl Yalıtım Kalınlık Seçenekleri

Hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğu için farklı ısı yalıtım konfigürasyonları bulunmaktadır (Bkz. Bölüm 2.2). Isıl yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca sürekli değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonları ile yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferinde daha büyük oranlarda azalma sağlanabilir. Ancak, bu tür konfigürasyonlar, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçeneklerine sahip olan konfigürasyonlar değildir. Ayrıca, özel üretimden dolayı ısı yalıtım maliyetleri çok yüksek olacağı için ekonomik açıdan da uygun olmayacaklardır. Isıl yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu

yüzeyi boyunca kademeli olarak değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonları ise oldukça kompleks hesaplama yöntemleri gerektirdikleri ve oldukça kompleks bu hesaplama yöntemlerinin modelde kullanılması durumunda, modelde bulunması amaçlanan özellikler elde edilemeyeceği için bu konfigürasyonlar kapsam dışı tutulmuştur. Bu nedenle, geliştirilen model, sadece ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonlarını dikkate almaktadır.

Isı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonlarında, zeminle temas eden yapı kabuğu için çok sayıda ısı yalıtım kalınlık seğeneği bulunmaktadır. Zeminle temas eden yapı kabuğu için, bu seğeneklerden örneğin duvarda 0,0473 m, döşemede ise 0,0268 m kalınlıklardaki ısı yalıtımın kullanılması gereken seçenek en uygunu olabilecektir. Sektörde hiçbir üretici firma bu kalınlıklarda ısı yalıtım üretmemektedir. Genellikle, 0,01 m aralıklı kalınlıklarda ısı yalıtım üretildiği gözlenmektedir. En küçük kalınlık aralığı dikkate alındığında her kalınlıkta ısı yalıtım üretilmesi mümkün de değildir. Bu durumda, mevcutlar içinden bu kalınlıklara en yakın kalınlıklardaki ısı yalıtımın seğilmesi yoluna gidilmektedir. Bu nedenle, standart hale gelmiş 0,01 m aralıklı ısı yalıtım kalınlıklarının dikkate alınması daha uygun görölmektedir. Çok olumsuz koşullar düşünülerek üst kalınlık sınırı olarak da 0,20 m seğilmiştir. Bu nedenle, ekonomik değerlendirme için, 0,01 m aralıklı 0,01-0,20 m arası tüm ısı yalıtım kalınlıklarının dikkate alınması yeterli görölmektedir.

Bu durumda, geliştirilen modelde, bodrum katlı yapıların zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece duvar veya sadece döşemede ısı yalıtımın kullanılacağı konfigürasyonlar ile hem duvar hem de döşemede aynı anda ısı yalıtımın kullanılacağı veya kullanılmayacağı konfigürasyonlar kapsamında toplam 441 adet ısı yalıtım kalınlık seğeneğinin sınanması gerekmektedir. Bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden yapı kabuğu için ise, sadece döşeme bileşeni olmasından dolayı döşemede ısı yalıtımın kullanılacağı veya kullanılmayacağı konfigürasyonlar kapsamında toplam 21 adet ısı yalıtım kalınlık seğeneğinin sınanması gerekmektedir (Çizelge 3.1).

3.2. Optimizasyon Prosedürü

Bodrum katlı veya bodrum katı olmayan bir yapının zeminle temas eden kabuğunda, bu yapının yaşam dönemi süresince zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin (toplam yakıt maliyeti + toplam ısı yalıtım maliyeti) en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin kullanılması ekonomik yarar açısından en uygun çözümdür.

Bölüm 3.1’de verilen ısı yalıtım kalınlık seçeneklerinden hangisinin, bir yapının yaşam dönemi süresince zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacağını belirlemek için bir optimizasyon prosedürüne gereksinim vardır. Bir optimizasyon modelinde kullanılacak birçok optimizasyon prosedürü bulunmaktadır (Bkz. Bölüm 2.3). Geliştirilen modelde kullanılan amaç fonksiyonundaki (toplam ısıtma maliyeti fonksiyonu) eşitlikler, sürekli ve doğrusal olmadığı için bazı optimizasyon yöntemleri uygun olmamıştır.

Örneğin, optimize edilecek toplam ısıtma maliyeti fonksiyonu sürekli olmadığı için süreksizlik noktalarında fonksiyonun türevi de olmayacağından, optimizasyon yöntemlerinden “hesap yöntemleri” kullanılamamıştır. Benzer şekilde, toplam ısıtma maliyeti fonksiyonundaki eşitlikler doğrusal olmadığı için, “doğrusal programlama” yöntemi de uygun olmamıştır. Dinamik programlama yönteminden elde edilecek sonuç ise optimum bir değer değil, optimum bir fonksiyon olacağı için değerlendirmeye alınmamıştır. Bu durumda, “arama yöntemleri” ve “geometrik programlama” arasından bir tercih yapılmak zorunda kalınmıştır. Modelde sadece sonlu ve belirli sayıda ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin sınanması amaçlanmıştır. Bu nedenle, “arama yöntemleri”ne özgü bir tekniğin kullanılması daha pratik bulunduğundan, geliştirilen modelde bu optimizasyon prosedürü kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Geliştirilen modelde kullanılan optimizasyon prosedürü

KONF ¹	ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEKLERİ ¹		TOPLAM ISITMA MALİYETLERİ	KONF ¹	ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEKLERİ ¹		TOPLAM ISITMA MALİYETLERİ
	d_{iw}^2 (m)	d_{if}^2 (m)			d_{iw}^2 (m)	d_{if}^2 (m)	
A	0,01	0,00	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 1...	B	0,01	0,06	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 121...
	·	·	↓		·	·	↓
·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...20	·		·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...140	
0,20	0,00	↓	0,20		0,06	↓	
0,01	0,01	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 21...	0,01		0,07	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 141...	
·	·	↓	·		·	↓	
·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...40	·		·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...160	
0,20	0,01	↓	0,20		0,07	↓	
0,01	0,02	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 41...	0,01		0,08	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 161...	
·	·	↓	·		·	↓	
·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...60	·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...180		
0,20	0,02	↓	0,20	0,08	↓		
0,01	0,03	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 61...	0,01	0,09	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 181...		
·	·	↓	·	·	↓		
·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...80	·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...200		
0,20	0,03	↓	0,20	0,09	↓		
0,01	0,04	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 81...	0,01	0,10	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 201...		
·	·	↓	·	·	↓		
·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...100	·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...220		
0,20	0,04	↓	0,20	0,10	↓		
0,01	0,05	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 101...	0,01	0,11	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 221...		
·	·	↓	·	·	↓		
·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...120	·	·	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...240		
0,20	0,05	→	0,20	0,11	↓		

Çizelge 3.2. (Devam) Geliştirilen modelde kullanılan optimizasyon prosedürü

KONF ¹	ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEKLERİ ¹		TOPLAM ISITMA MALİYETLERİ	KONF ¹	ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEKLERİ ¹		TOPLAM ISITMA MALİYETLERİ
	d_{iw}^2 (m)	d_{if}^2 (m)			d_{iw}^2 (m)	d_{if}^2 (m)	
B	0,01	0,12	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 241... ↓	B	0,01	0,18	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 361... ↓
	·	·	↓		·	·	↓
	·	·	↓		·	·	↓
	0,20	0,12	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...260 ↓		0,20	0,18	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...380 ↓
	·	·	↓		·	·	↓
	·	·	↓		·	·	↓
	0,01	0,13	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 261... ↓	C	0,01	0,19	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 381... ↓
	·	·	↓		·	·	↓
	·	·	↓		·	·	↓
	0,20	0,13	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...280 ↓		0,20	0,19	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...400 ↓
	·	·	↓		·	·	↓
	·	·	↓		·	·	↓
0,01	0,14	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 281... ↓	D	0,01	0,20	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 401... ↓	
·	·	↓		·	·	↓	
·	·	↓		·	·	↓	
0,20	0,14	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...300 ↓		0,20	0,20	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...420 ↓	
·	·	↓		·	·	↓	
·	·	↓		·	·	↓	
0,01	0,15	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 301... ↓	D	0,00	0,00	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 421 ↓	
·	·	↓		·	·	↓	
·	·	↓		·	·	↓	
0,20	0,15	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...320 ↓		0,00	0,01	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 422... ↓	
·	·	↓		·	·	↓	
·	·	↓		·	·	↓	
0,01	0,16	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 321... ↓	D	0,00	0,20	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...441 ↓	
·	·	↓		·	·	↓	
·	·	↓		·	·	↓	
0,20	0,16	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...340 ↓		0,00	0,20	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...441 ↓	
·	·	↓		·	·	↓	
·	·	↓		·	·	↓	
0,01	0,17	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 341... ↓	D	0,00	0,20	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...441 ↓	
·	·	↓		0,00	0,20	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...441 ↓	
·	·	↓					
0,20	0,17	TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...360 →					
·	·	↓					
·	·	↓					

NOT: Bir yapının yaşam dönemi süresince zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneği, bu yapının zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun seçenektir.

¹) Konfigürasyon ve ısı yalıtım kalınlık seçenekleri için Çizelge 3.1'e bakınız.

²) d_{iw} duvarda kullanılacak, d_{if} ise döşemede kullanılacak ısı yalıtımın metre cinsinden kalınlığıdır.

Bir yapının yaşam dönemi süresince zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneğini belirlemek için; bodrum katlı yapıların zeminle temas eden kabuğunun hem duvar hem de döşeme bileşeni olduğu için, A,B,C ve D konfigürasyonlarındaki 441 adet, bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun duvar bileşeni olmadığı için, sadece C ve D konfigürasyonlarındaki 21 adet ısı yalıtım kalınlık seçeneği için ayrı toplam ısıtma maliyeti hesabı yapılması gerekmektedir.

Geliştirilen modelde kullanılan prosedür, en düşük toplam ısıtma maliyetini sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için, bodrum katlı yapılarda 441 adet, bodrum katı olmayan yapılarda ise 21 adet ısı yalıtım kalınlık seçeneği için ayrı toplam ısıtma maliyeti hesabı yapılmasını gerektirmektedir. Her bir ısı yalıtım kalınlık seçeneği zeminle temas eden duvar ve döşemenin ısı geçirgenlik direnci değerlerini değiştireceğinden, her bir ısı yalıtım kalınlık seçeneği, bodrum katlı yapılarda 441 adet, bodrum katı olmayan yapılarda ise 21 adet farklı toplam ısıtma maliyeti değeri oluşmasına yol açacaktır. Bodrum katlı veya bodrum katı olmayan bir yapı için en düşük toplam ısıtma maliyetini sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneği, ekonomik yarar açısından en uygun seçenek olacaktır (Çizelge 3.2).

3.3. Toplam Isıtma Maliyetini Hesaplama Yöntemi

Geliştirilen model, gerekli olan toplam ısıtma maliyeti hesaplarında, “yaşam dönemi maliyeti (life cycle costing)” hesaplama yöntemini kullanmaktadır.

Bu hesaplama yöntemine göre, toplam ısıtma maliyeti (C_{th}), Eş. 3.1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_{th} = C_{i} + C_{if} \quad (3.1)$$

C_{th} ; toplam ısı yalıtım maliyeti (C_{i}) ve toplam yakıt maliyetinin (C_{if}) toplamına eşittir.

C_{i} ise; Eş. 3.2, Eş. 3.3 ve Eş. 3.4 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$C_{i} = C_{tiw} + C_{tif} \quad (3.2)$$

$$C_{tiw} = C_i z P d_{iw} \quad (3.3)$$

$$C_{tif} = C_i A d_{if} \quad (3.4)$$

Eşitliklerde yer alan C_{tiw} , duvar için toplam ısı yalıtım maliyeti; C_{tif} , döşeme için toplam ısı yalıtım maliyeti; d_{iw} , duvarda kullanılan ısı yalıtım kalınlığı, d_{if} , döşemede kullanılan ısı yalıtım kalınlığı ve C_i ise ısı yalıtım malzeme ve uygulama birim maliyetidir.

Farklı kalınlıktaki ısı yalıtım için farklı ısı yalıtım malzeme ve uygulama birim maliyetleri olabilmektedir. Duvar ve döşemede, ısı yalıtım malzeme ve uygulama birim maliyetleri farklı olan kalınlıklarda ısı yalıtım kullanılması durumu dikkate alınarak, geliştirilen modelde C_{ti} 'nin duvar ve döşeme için ayrı hesaplanması tercih edilmiştir.

Toplam yakıt maliyeti (C_{if}) ise, yapının yaşam dönemi süresince tüketilecek toplam yakıt maliyetidir. Yakıt maliyeti her yıl için değişmekte ve ödemeler de yıllara dağılmaktadır. Isı yalıtım maliyeti için böyle bir durum söz konusu değildir. Geliştirilen model, yakıt maliyetlerinin parasal değerlerinde zaman bakımından oluşan farkları ortadan kaldırmak ve bu değerleri eşdeğer hale getirmek için, eşdeğerlik kavramına dayalı yöntemlerden bugünkü değer yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem ile, yapının yaşam dönemi süresince gerçekleşecek farklı yakıt maliyetlerinin bugünkü değerde karşılığı bulunarak toplam ısıtma maliyetine etkisi belirlenebilmektedir. Bu amaçla, toplam yakıt maliyetini bulmak için öncelikle bugünkü maliyetler üzerinden bir yıllık yakıt maliyeti hesaplanmakta, daha sonra bu değer; "bugünkü değer faktörü" ile çarpılmaktadır.

$$C_{if} = \frac{Q C_f}{\eta_s LHV} PWF \quad (3.5)$$

Eşitlikte yer alan Q , yapıdan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferi; C_f , yapıda kullanılacak yakıtın birim yakıt maliyeti; η_s , bu yakıt için kullanılacak ısıtma sisteminin verimi; LHV , bu yakıtın en düşük yakıt ısı değeri ve PWF ise bugünkü değer faktörüdür.

PWF; indirgeme oranı (r) ve yapının kullanım ömrü (m) ile ilişkilidir. r ise; faiz oranı (i) ve enflasyon oranı (g) ile ilişkilidir ve Eş. 3.6 veya Eş. 3.7 kullanılarak hesaplanmaktadır:

Eğer; $i > g$ ise:

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (3.6)$$

Eğer; $i < g$ ise:

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (3.7)$$

PWF ise, Eş. 3.8 veya Eş. 3.9 kullanılarak hesaplanmaktadır:

Eğer; $i > g$ veya $i < g$ ise:

$$PWF = \frac{(1 + r)^m - 1}{r(1 + r)^m} \quad (3.8)$$

Eğer; $i = g$ ise:

$$PWF = \frac{m}{1 + i} \quad (3.9)$$

Eş. 3.5’de görüldüğü gibi, toplam yakıt maliyeti (C_{tf}), yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferine (Q) de bağlıdır. Bu nedenle, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin de hesaplanması gerekmektedir.

3.4. Yapılardan Zemin Yolu ile Gerçekleşen Toplam Isı Transferini Hesaplama Yöntemi

Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanması için birçok yöntem geliştirilmiştir (Bkz. Bölüm 2.5). Geliştirilen model, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında, “ISO 13370: Thermal performance of buildings- Heat transfer via the ground- Calculation Methods” [91] adlı standartta verilen hesaplama yöntemini kullanmaktadır. Bu hesaplama yöntemi,

Bölüm 1’de belirtilen özelliklere sahip olduğu için seçilmiştir. Bunlar:

1. ISO 13370, zeminle temas eden yapı kabuğunun tüm geometrik özellikleri için ve modelde kullanılan “ısı yalıtım kalınlık seçenekleri” için hesap olanağı sunmaktadır. Hesaplama yöntemlerini birbirinden ayıran en önemli özelliklerden biri de hangi sınırlılıklar dahilinde kullanılabilirleridir. Örneğin, sadece bodrum katı olmayan yapılar için geliştirilmiş bir hesaplama yöntemi, bodrum katlı yapılar için kullanılamaz veya sadece ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları için hesap olanağı sunan bir hesaplama yöntemi ile ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca sürekli değiştiği ısı yalıtım konfigürasyonları değerlendirilemez.

ISO 13370, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunmaktadır. Ancak, ISO 13370, bir kısmında bodrum kat, diğer kısmında bodrum kat olmayan yapıları kapsamamaktadır. Literatürde de, bu tür geometrik konfigürasyonların henüz yeterince çalışılmadığı görülmektedir [80]. Buna rağmen, bu tür geometrik konfigürasyonlar için, ISO 13370 kullanılarak yaklaşık bir değerlendirme yapılabilmektedir (Bkz. Bölüm 3.4.1). ISO 13370’in diğer bir sınırlılığı ise, sadece ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları için hesap olanağı sunmasıdır. Ancak, geliştirilen modelde dikkate alınan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri, sadece bu tür konfigürasyonlara ait olduğu için, bu bağlamda bir engel teşkil etmemiştir.

2. ISO 13370’den, modelin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilmektedir. ISO 13370, üç boyutlu simülasyon moduna sahip olması, hem kararlı haldeki hem de periyodik ısı akışlarını dikkate alması gibi elde edilecek sonuçların doğruluk düzeyini arttıracak önemli özellikleri olan bir hesaplama yöntemidir. Ayrıca, modelin pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede sonuç alınabilmektedir. Hesaplama yöntemlerinde bazı parametrelerin etkileri dikkate alınmadığı zaman bazı varsayımlarda bulunmuş olmaktadır. Yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam

ısı transferini belirlemek için geliştirilen çoğu hesaplama yönteminde bazı varsayımlarda bulunmaktadır. ISO 13370'de de bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlardan bazıları şunlardır: ISO 13370, zeminin ısı iletkenliğinin ve ısı kapasitesinin tüm zemin bölgesinde aynı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Ayrıca, nemden kaynaklanan ısı transfer mekanizmalarını dikkate almamakta, sadece birçok durumda zeminde en etkin olan ısı transfer mekanizması olan kondüksiyon yolu ile gerçekleşen ısı transferini hesaplamaktadır. ISO 13370'deki bu varsayımların dikkate alındığı bir çalışmada [95], ısı ve nem transferinin birlikte ele alındığı dinamik bir nümerik hesaplama yöntemi ile iki boyutlu hesaplamalar için dahi iki günlük bir bilgisayar hesaplama süresi gerekmektedir. Böyle bir hesaplama yönteminin pratik olarak kullanılma olasılığı yoktur. Ayrıca, benzer bir çalışmadan elde edilen verilere göre, zemin yüzeyindeki nem içeriğinin artmasının, hem bodrum katı olmayan hem de bodrum katlı yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen ısı transferine etkisinin kış mevsiminde çok düşük olduğu görülmektedir [28]. Bu durumda, bir yapının ısıtma enerjisi ihtiyacının belirlenmesinde kullanılacak bir hesaplama yönteminde, bu parametrenin modellenmesinin, elde edilecek sonuçlara önemli bir etkisi olmayacaktır.

Bir hesaplama yönteminin doğruluğunun belirlenebilmesi için en etkili yol, bu hesaplama yönteminden elde edilen sonuçların, alan çalışmalarından elde edilen gerçek sonuçlarla karşılaştırılmasıdır. ISO 13370, böyle bir alan çalışmasından elde edilen gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Bkz. Bölüm 2.4.4). Sonuçların oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, ISO 13370, doğrulaması (validation) yapılmış bir hesaplama yöntemidir.

ISO 13370'e göre, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanabilmesi için öncelikle kararlı hal ve periyodik ısı ılaşım katsayılarının hesaplanması gerekmektedir.

3.4.1. Kararlı hal ve periyodik ısı ılaşım katsayılarının hesaplanması

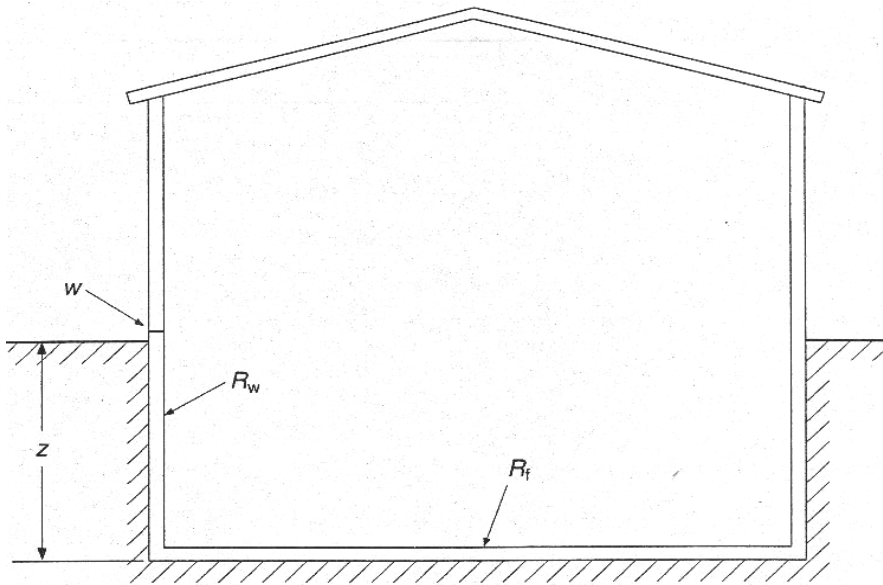
Isıtma sezonundaki ortalama ısı akışı belirlenirken kararlı hal koşullarındaki ısı

akışından genellikle yaklaşık bir bilgi edinilse de, kararlı haldekinin yanı sıra zeminin ısı kapasitesi ve ısı iletkenliği ve de aylık ortalama sıcaklıklardaki değişim miktarı ile ilişkili olan periyodik ısı akışı ile daha detaylı bir bilgi edinilebilmektedir. Zeminin yüksek ısı ataleti, zeminle temas eden duvar ve döşemeler için periyodik ısı akışına yol açtığı için, hem kararlı haldeki hem de periyodik ısı akışı dikkate alınmalıdır. Bunun için, ISO 13370 [91], kararlı hal ve periyodik ısı bağlaşım katsayılarından (steady-state and periodic thermal coupling coefficients) yararlanmaktadır. Kararlı hal ve periyodik ısı bağlaşım katsayıları, yapının zeminle temas eden kabuğunun ısı ve geometrik (boyut ve biçim) özellikleri ile zeminin ısı özelliklerinin göstergesi olan fonksiyonlardır [96].

Kararlı hal ısı bağlaşım katsayısının hesaplanması

Bodrum katlı ve bodrum katı olmayan yapılar için kararlı hal ısı bağlaşım katsayısı ayrı hesaplanmaktadır.

Bodrum katlı yapılar için: Bodrum katlı yapıların şematik diyagramı Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Bodrum katlı yapıların şematik diyagramı [91]

Bodrum katlı yapılar için kararlı hal ısııl bağlaşım katsayısı Eş. 3.10 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$L_s = AU_{bf} + zPU_{bw} \quad (3.10)$$

Kararlı hal ısııl bağlaşım katsayısının (L_s), zeminle temas eden döşemenin alanı (A), çevre uzunluğu (P) ve zemin yüzeyine göre derinlik değeri (z) ve bodrum kat döşeme ve duvarının ısııl geçirgenliği (U_{bf} ve U_{bw}) ile doğrusal bir ilişkisi vardır.

Eğimli arazilerde olduğu gibi, z değeri yapı çevresinde değışkenlik gösteriyor ise, bu durumda z değeri çevre derinliklerinin ortalaması alınarak bulunmalıdır. Bu hesaplama yöntemi, bir kısmında bodrum kat, diğer kısmında bodrum kat olmayan yapıları kapsamamaktadır. Buna rağmen, z değeri olarak bodrum kat olarak nitelendirilen kısmın derinliğinin yarısı alınarak yaklaşık bir değerlendirme yapılabilir.

Eş. 3.10'da yer alan U_{bf} ve U_{bw} 'nin hesaplanabilmesi için ise; döşemenin karakteristik boyutunun ve döşeme ile duvar eş değeri kalınlıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

Döşemenin karakteristik boyutu: Bu hesaplama yöntemindeki eşitlikler, zemindeki ısı akışının üç boyutlu doğasına uygunluk açısından döşemenin karakteristik boyutu (B') ile ilişkili olarak ifade edilmiştir. B' , döşeme alanının çevre uzunluğunun yarısına bölünmesi ile elde edilmektedir:

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} \quad (3.11)$$

Eş değeri kalınlık: “Eş değeri kalınlık” kavramı, ısııl bağlaşım katsayılarının ifadelerini basitleştirmek için geliştirilmiş bir kavramdır. Bir ısııl direnç, kendisi ile aynı ısııl dirence sahip zemin kalınlığı ile ifade edilmiştir. Bu hesaplama yönteminde:

- d_t , döşeme eş değer kalınlığı;
- d_w , bodrum kat duvarı eş değer kalınlığıdır ve Eş. 3.12 ve Eş. 3.13 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$d_t = w + \lambda_g (R_{sif} + R_f + R_{if}) \quad (3.12)$$

$$d_w = \lambda_g (R_{siw} + R_w + R_{iw}) \quad (3.13)$$

Eşitliklerde yer alan w , zemin yüzeyindeki duvarların tüm katmanlarını içeren toplam kalınlığı; λ_g , donmamış zeminin ısı iletkenliği; R_{sif} döşeme için, R_{siw} duvar için iç yüzey ısı iletim direnci; R_f döşemenin, R_w duvarın ısı geçirgenlik direnci (ısı ıyıtım hariç); R_{if} döşemede R_{iw} ise duvarda kullanılan ısı ıyıtımın ısı geçirgenlik direncidir.

Eşitliklerde görüldüğü gibi, zeminin ısı iletkenliği arttığında döşeme veya duvarın aynı toplam ısı geçirgenlik direncine karşılık gelen zemin kalınlığı da artacağı için, ısı iletkenliği daha yüksek bir zeminde yer alacak döşeme veya duvarın eş değer kalınlık değeri de daha yüksek olacaktır. Diğer yönden belirli bir zemin ısı iletkenliği için, eş değer kalınlık sadece döşeme veya duvarın toplam ısı geçirgenlik direnci arttığında veya döşeme için ayrıca w değeri arttığında artmaktadır.

R_f ve R_w belirlenirken ısı ıyıtım dışında döşemenin ve duvarın tüm katmanları hesaba dahil edilmelidir. Blokaj ise zeminle aynı ısı iletkenliğe sahip olduğu varsayılarak hesaplarda kullanılmamaktadır. Ayrıca, dış ortam zemin olduğu için dış yüzey ısı iletim direnci “0” olmakta ve eşitlikte yer almamaktadır.

Zemin yolu ile gerçekteşen ısı transferi, hava yolu ile gerçekteşen ısı transferinden farklıdır. Bu nedenle hesaplamalarda farklı parametreler geçerli olmaktadır. Hava ile temas edilen durumdan farklı olarak, ısı geçirgenliği (U) hesaplarında, yapının zeminle temas eden kabuğunun boyut ve biçimi ile zeminin ısı iletkenliği de dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda, zemindeki ısı akışının üç boyutlu doğasına uygunluk

açısından zeminle temas eden döşemenin boyut ve biçimi, B' ile; zeminle temas eden duvarın boyut ve biçimi ise, z ve P ile tanımlanmıştır. Ayrıca, bu hesaplama yönteminde U değeri ile doğrudan bir ilişkisi olan döşeme ve duvarın toplam ısı geçirgenlik direnci değerleri, hesaplarda kolaylık sağlanması amacı ile kendisi ile aynı ısı dirence sahip zemin kalınlığı ile ifade edilmiştir. Eş değer kalınlık kavramı bu nedenle kullanılmaktadır. Bundan dolayı, U hesaplarında döşeme veya duvarın toplam ısı geçirgenlik direnci değerleri, d_t ve d_w aracılığı ile yer almaktadırlar. U değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle bu parametreler hesaplanmaktadır.

Daha sonra bu parametrelerden yararlanarak, bodrum kat döşemesinin ısı geçirgenliği (U_{br}), döşemenin ısı yalıtım değerine bağlı olarak Eş. 3.14 veya Eş. 3.15 kullanılarak hesaplanmaktadır.

Eğer; $(d_t + \frac{1}{2}z) < B'$ ise (ısı yalıtımsız veya düşük oranda yalıtımlı döşemeler):

$$U_{br} = \frac{2\lambda_g}{\pi B' + d_t + \frac{1}{2}z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + \frac{1}{2}z} + 1 \right) \quad (3.14)$$

Eğer; $(d_t + \frac{1}{2}z) \geq B'$ ise (yüksek oranda yalıtımlı döşemeler):

$$U_{br} = \frac{\lambda_g}{0,457B' + d_t + \frac{1}{2}z} \quad (3.15)$$

Bodrum kat duvarının ısı geçirgenliği (U_{bw}) ise Eş. 3.16 veya Eş. 3.17 kullanılarak hesaplanmaktadır.

Eğer; $d_w \geq d_t$ ise:

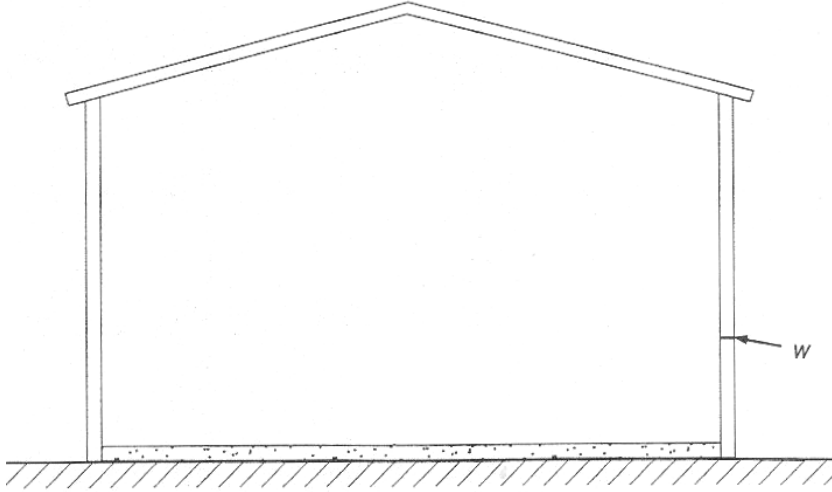
$$U_{bw} = \frac{2\lambda_g}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (3.16)$$

Eğer; $d_w < d_t$ ise:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda_g}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_w}{d_w + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (3.17)$$

Eşitliklerde yer alan π , pi sayısıdır ve 3,142 değerindedir.

Bodrum katı olmayan yapılar için: Bodrum katı olmayan yapıların şematik diyagramı Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Bodrum katı olmayan yapıların şematik diyagramı [91]

Bodrum katı olmayan yapılar, zeminle temas eden döşemesi zemin yüzeyinde veya üzerinde olan yapıdır. Bir diğer ifade ile, z değerleri 0'dır. Bu durumda bodrum katlı yapılar için verilen eşitliklerde z=0 alındığında bodrum katı olmayan yapılar için kullanılan bağıntılar elde edilmiş olur.

Bodrum katı olmayan yapılar için kararlı hal ısııl bağlaşım katsayısı Eş. 3.18 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$L_s = AU_{sf} \quad (3.18)$$

U_{sf} , bodrum katı olmayan yapı döşemesinin ısııl geçirgenliğidir. U_{sf} 'nin belirlenebilmesi için, Eş. 3.11 kullanılarak B' , Eş. 3.12 kullanılarak d_t hesaplanmaktadır. U_{sf} ise, döşemenin ısııl yalıtım değerine bağılı olarak Eş. 3.19 veya Eş. 3.20 kullanılarak hesaplanmaktadır.

Eğer; $d_t < B'$ ise (ısı yalıtımsız veya düşük oranda yalıtımlı döşemeler):

$$U_{sf} = \frac{2\lambda_g}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad (3.19)$$

Eğer; $d_t \geq B'$ ise (yüksek oranda yalıtımlı döşemeler):

$$U_{sf} = \frac{\lambda_g}{0,457B' + d_t} \quad (3.20)$$

Periyodik ısı bağlaşım katsayısının hesaplanması

Yapılardan kararlı hal koşullarındaki ısı akışı için kararlı hal ısı bağlaşım katsayısı (L_s) belirlendikten sonra periyodik ısı akışı için de periyodik ısı bağlaşım katsayısının belirlenmesi gerekmektedir. İki tür periyodik ısı bağlaşım katsayısı vardır. Biri iç ortam sıcaklığı değişiminden kaynaklanırken diğeri dış ortam sıcaklığı değişiminden kaynaklanır. İç ve dış ortam sıcaklığı değişiminden kaynaklanan periyodik ısı bağlaşım katsayıları, bodrum katlı ve bodrum katı olmayan yapılar için ayrı hesaplanmaktadır.

Bodrum katlı yapılar için, bir yıllık döngü içindeki iç ve dış ortam sıcaklığı değişiminden kaynaklanan periyodik ısı bağlaşım katsayılarının, biri bodrum kat duvarları diğeri bodrum kat döşemesi ile ilişkili iki boyutu vardır. Bodrum katı olmayan yapılarda ise sadece döşeme ile ilişkili boyutu vardır:

Bodrum katlı yapılar için:

$$L_{pi} = A \frac{\lambda_g}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} + zP \frac{\lambda_g}{d_w} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_w)^2 + 1}} \quad (3.21)$$

$$L_{pe} = 0,37P\lambda_g \left[2(1 - e^{-z/\delta}) \ln\left(\frac{\delta}{d_w} + 1\right) + e^{-z/\delta} \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \right] \quad (3.22)$$

Bodrum katı olmayan yapılar için:

$$L_{pi} = A \frac{\lambda_g}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} \quad (3.23)$$

$$L_{pe} = 0,37P\lambda_g \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \quad (3.24)$$

Eşitliklerde yer alan L_{pi} , iç periyodik ısıl bağlaşım katsayısı; L_{pe} , dış periyodik ısıl bağlaşım katsayısı ve δ ise periyodik etki derinliğidir. Periyodik ısıl bağlaşım katsayıları, sadece kararlı hal ısıl bağlaşım katsayısı ile ilişkili olan U değeri aracılığı ile etkili olan parametreler dışında, periyodik ısıl bağlaşım katsayılarına özgü bir parametre olan δ 'ne bağlı olarak da değişmektedir. δ , sıcaklığın, zemin yüzey sıcaklığının $1/e$ ($e=2,718281828$ 'dir) oranı kadarına düştüğü zemin derinliğidir. δ , Eş. 3.25 ile hesaplanmaktadır:

$$\delta = \sqrt{\frac{3,15 \times 10^7 \lambda_g}{\pi \rho c}} \quad (3.25)$$

Eşitlikte yer alan ρ , donmamış zeminin yoğunluğu; c , donmamış zeminin spesifik ısı kapasitesi ve $3,15 \times 10^7$ değeri, bir yıldaki saniye sayısıdır.

3.4.2. Toplam ısı transferinin hesaplanması

Kararlı hal ve periyodik ısıl bağlaşım katsayıları hesaplandıktan sonra, yapıdan zemin yolu ile ısıtma sezonu (heating season) süresince gerçekleşecek toplam ısı transferi (Q), iklimsel koşullara bağlı olarak belirlenmektedir. Bu amaçla öncelikle ortalama ısı akış hızının ($\bar{\Phi}$) hesaplanması gerekmektedir. Hem kararlı haldeki hem de periyodik ısı akışlarını kapsayan $\bar{\Phi}$ 'nin hesaplanmasında Eş. 3.26 kullanılmaktadır.

$$\bar{\Phi} = L_s (\bar{T}_i - \bar{T}_e) - \gamma L_{pi} \hat{T}_i + \gamma L_{pe} \hat{T}_e \quad (3.26)$$

Kararlı hal koşullarındaki ısı akışı; L_s (kararlı hal ısıl bağlaşım katsayısı), \bar{T}_i (yıllık ortalama iç sıcaklık) ve \bar{T}_e (yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklığı) değerlerine

bağlıdır. L_s , Bölüm 3.4.1.1'de belirtilen şekilde hesaplanmaktadır. \bar{T}_i , aylık ortalama iç sıcaklık değerleri toplamının, \bar{T}_e ise aylık ortalama zemin yüzeyi sıcaklık değerleri toplamının 12'ye bölünmesi ile bulunmaktadır.

Periyodik ısı akışı ise; L_{pi} (iç periyodik ısıl bağlaşım katsayısı), L_{pe} (dış periyodik ısıl bağlaşım katsayısı), \hat{T}_i (aylık ortalama iç sıcaklıklardaki değişim miktarı), \hat{T}_e (aylık ortalama zemin yüzeyi sıcaklıklarındaki değişim miktarı) ve γ (ısıtma sezonunun süresine bağlı olan bir katsayı) değerlerine bağlıdır. L_{pi} ve L_{pe} , Bölüm 3.4.1.2'de belirtilen şekilde hesaplanmaktadır. \hat{T}_i , en yüksek aylık ortalama iç sıcaklık değeri ile en düşük aylık ortalama iç sıcaklık değeri arasındaki farkın; \hat{T}_e , en yüksek aylık ortalama zemin yüzeyi sıcaklık değeri ile en düşük aylık ortalama zemin yüzeyi sıcaklık değeri arasındaki farkın 2'ye bölünmesi ile bulunmaktadır. γ ise ısıtma sezonunun süresine bağlı olarak Eş. 3.27 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\gamma = \frac{12}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{12}\right) \quad (3.27)$$

Eşitlikte yer alan n , ısıtma sezonundaki ay sayısıdır. Trigonometrik ifadede π 'nin 180° değeri kullanılmalıdır.

Eş. 3.26'da, T_i değerinin, kış aylarında yaz aylarından daha düşük olacağı varsayılmıştır. Tersi bir durum olacağı düşünülüyorsa, \hat{T}_i 'nin işareti negatif alınmalıdır. İç sıcaklığın sabit olacağı varsayımına dayalı hesaplamalarda ise $\hat{T}_i = 0$ olacağı için, L_{pi} 'nin değerlendirmeye alınmasına gerek kalmamaktadır.

Isı akış hızı ($\bar{\Phi}$) hesaplandıktan sonra, ısıtma sezonu süresince yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferi (Q), Eş. 3.28 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q = 86\,400 N \bar{\Phi} \quad (3.28)$$

Eşitlikte yer alan N , ısıtma sezonundaki toplam gün sayısı ve 86 400 değeri bir gündeki toplam saniye sayısıdır.

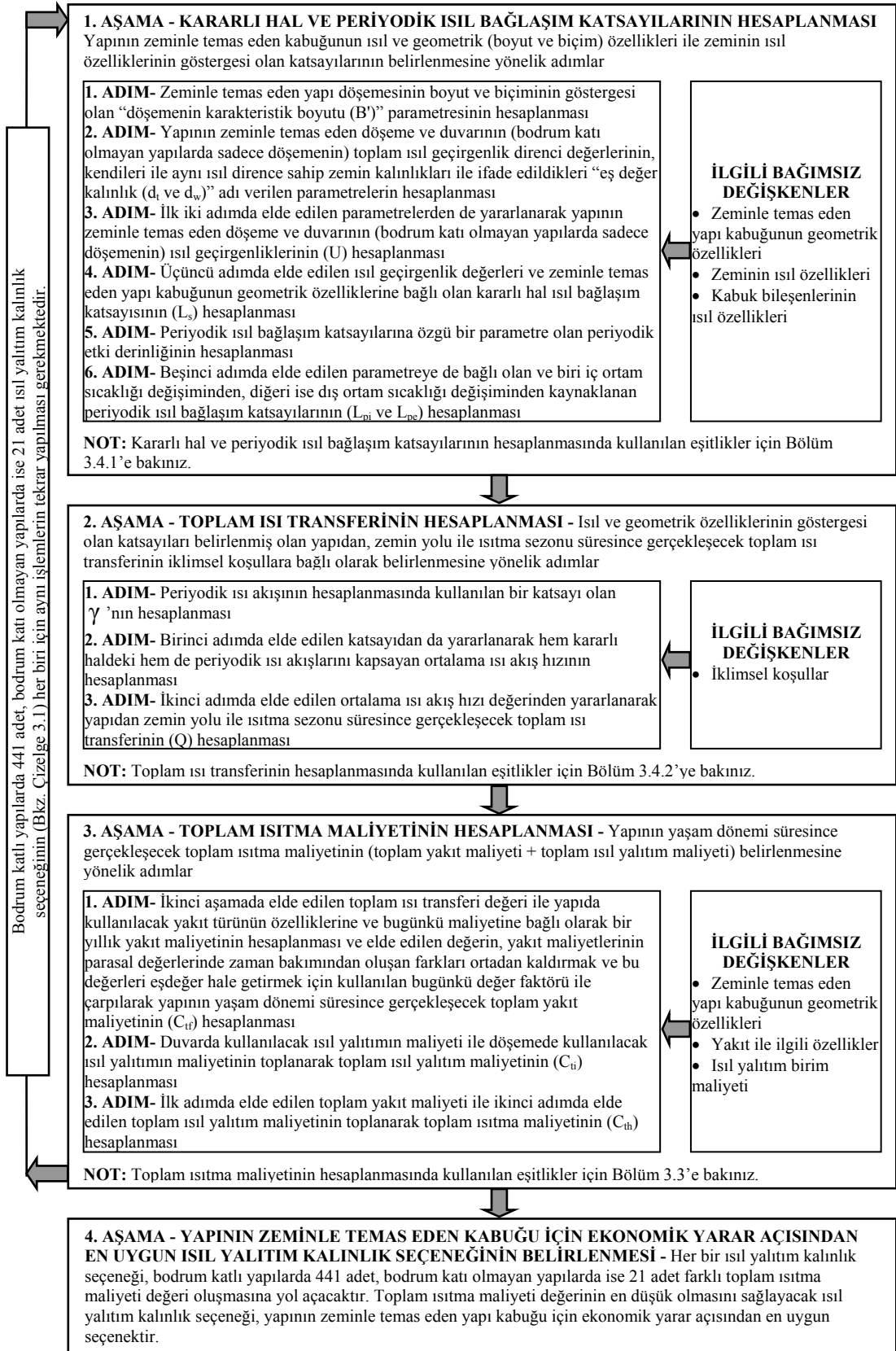
3.5. Bilgisayar Programı

Önceki bölümlerde verilen bilgiler doğrultusunda, geliştirilen model için akış şeması Şekil 3.4’de verildiği gibidir.

Şekil 3.4’de verilen akış şemasında görüldüğü gibi, geliştirilen modelde kullanılan optimizasyon prosedürü, bir yapının zeminle temas eden kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için, her bir ısı yalıtım kalınlık seçeneği için ayrı toplam ısıtma maliyeti hesabı yapılarak, bu yapı için en düşük toplam ısıtma maliyetini sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin tespit edilmesini gerektirmektedir. Bu durumda, değerlendirmesi yapılacak yapı bodrum katlı bir yapı ise 441 adet, bodrum katı olmayan bir yapı ise 21 adet ısı yalıtım kalınlık seçeneği için ayrı toplam ısıtma maliyeti hesabı yapılması gerekmektedir.

Tüm bu hesaplamaları, klasik bir el hesap makinesi kullanarak yapmak mümkündür. Ancak, bu yöntemle sonuç alınması uzun sürecektir. Bu nedenle, hızlı bir şekilde sonuç alınabilmesi için, modelin bir bilgisayar programı versiyonu geliştirilmiştir. Bu amaçla, modelde dikkate alınan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri, kullanılan optimizasyon prosedürü ve hesaplama yöntemleri, Microsoft Excel’de kurulmuştur.

Bilgisayar programı, iki Microsoft Excel sayfasından oluşmaktadır. İlk sayfa kullanıcı arayüzü olarak dizayn edilmiştir. Bu sayfa, girdilerin ve çıktılarının yer aldığı iki ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.4. Geliştirilen model için akış şeması

Girdiler bölümünde hesaplama yöntemlerinin bağımsız değişkenleri altı ana başlık altında yer almaktadır (Şekil 3.5):

1. Zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özellikleri

A (döşeme alanı, m^2)

P (döşemenin çevre uzunluğu, m)

z (zeminle temas eden döşemenin zemin yüzeyine göre derinliği, m)

2. İklimsel koşullar

\bar{T}_i (yıllık ortalama iç sıcaklık, $^{\circ}C$)

\bar{T}_e (yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklığı, $^{\circ}C$)

\hat{T}_i (aylık ortalama iç sıcaklıklardaki değişim miktarı, K)

\hat{T}_e (aylık ortalama zemin yüzeyi sıcaklıklarındaki değişim miktarı, K)

n (ısıtma sezonundaki ay sayısı)

N (ısıtma sezonundaki toplam gün sayısı)

3. Yakıt ile ilgili özellikler

C_f (birim yakıt maliyeti, yakıt türüne bağlı olarak $\$/kg$, $\$/m^3$, $\$/kW h$)

η_s (ısıtma sistemi verimi)

LHV (en düşük yakıt ısı değeri, yakıt türüne bağlı olarak J/kg , J/m^3 , $J/kW h$)

PWF (bugünkü değer faktörü)

4. Zeminin ısı özellikleri

λ_g (donmamış zeminin ısı iletkenliği, $W/(mK)$)

ρc (birim hacim için ısı kapasitesi, $J/(m^3K)$)

5. Kabuk bileşenlerinin ısı özellikleri

R_w (duvarın ısı geçirgenlik direnci (ısı yalıtım hariç), m^2K/W)

R_f (döşemenin ısı geçirgenlik direnci (ısı yalıtım hariç), m^2K/W)

w (zemin yüzeyindeki duvarların tüm katmanlarını içeren toplam kalınlığı, m)

λ_i (ısıl yalıtımın ısı iletkenliği, W/(mK))

R_{siv} (duvar için iç yüzey ısı iletim direnci, m²K/W)

R_{sif} (döşeme için iç yüzey ısı iletim direnci, m²K/W)

6. Isıl yalıtım birim maliyeti

C_i (ısı ıalıtım malzeme ve uygulama birim maliyeti, \$/m³) – Isıl yalıtımın kalınlığına göre birim maliyet farkları olması durumu göz önüne alınarak üç farklı birim maliyet verisine göre düzenlenmiştir.

ZEMİNLE TEMAS EDEN YAPI KABUĞUNUN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ			İKLİMSEL KOŞULLAR				ZEMİNİN ISIL ÖZELLİKLERİ	
A	P	z	T _i	T _e	Yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklığı (°C)	n	N	
2500	200	3	20	12,2		8	243	
GİRDİLER			YAKIT İLE İLGİLİ				ZEMİNİN ISIL ÖZELLİKLERİ	
C _f	η _s	LHV	PWF	λ _f	ρ c			
1,063	0,8	41344630	12,71	2	2000000			
KABUK BİLEŞENLERİNİN ISIL ÖZELLİKLERİ				ISIL YALITIM BİRİM MALİYETİ				
R _w	R _f	w	λ _i	R _{siv}	R _{sif}	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
0,168	0,112	0,3	0,03	0,13	0,17	157	150	178
EN UYGUN ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEĞİ		TOPLAM ISIL YALITIM MALİYETİ (\$)	TOPLAM YAKIT MALİYETİ (\$)	TOPLAM ISITMA MALİYETİ (\$)	EKONOMİK YARAR (%)			
DUVAR İÇİN	DÖŞEME İÇİN							
0,06	0	5400	45972	51372	35			

Şekil 3.5. Bilgisayar programında kullanıcı arayüzü

Çıktılar bölümünde ise, bilgisayar programının kullanılması ile elde edilecek sonuçlar beş ana başlık altında yer almaktadır (Şekil 3.5):

1. En uygun ısı ıalıtım kalınlık seçeneği (duvar ve döşeme için, m)
2. Toplam ısı ıalıtım maliyeti, \$
3. Toplam yakıt maliyeti, \$

4. Toplam ısıtma maliyeti, \$
5. Ekonomik yarar, %

Bilgisayar programından sonuç alınabilmesi için, sadece girdiler bölümünde yer alan bağımsız değişkenler ile ilgili değerlerin girilmesi yeterli olmaktadır.

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi, programda değişkenler sadece sembolleri ile yer almıştır fakat mouse, sembolün yer aldığı hücreye getirildiğinde simgenin açıklaması ve birimi görülebilmektedir.

İkinci sayfa ise, hesaplamaların yapıldığı sayfadır (Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8). Bu sayfa, boş sütunlarla birbirinden ayrılmış olan üç ana bölümden oluşturulmuştur. İlk bölümde, hesaplama yöntemlerinin bağımsız değişkenleri (kullanıcı arayüzündekiler ile aynı), ikinci bölümde hesaplama yöntemlerinin bağımlı değişkenleri, üçüncü bölümde ise ısı yalıtım kalınlık seçenekleri ile sonuç bilgileri (kullanıcı arayüzündekiler ile aynı) yer almaktadır.

Bu sayfada, 441 adet ısı yalıtım kalınlık seçeneği alt alta sıralanmıştır. Kullanıcı arayüzünün girdiler bölümünde yer alan bağımsız değişkenler ile ilgili değerler girildiğinde, bu değerler bu sayfanın ilk bölümüne iletilmekte ve bu yapı bodrum katlı bir yapı ise ısı yalıtım kalınlık seçeneklerinden 441’i için de, bodrum katı olmayan bir yapı ise, sadece 21’i için ayrı hesap yapılmakta ve elde edilen sonuçlar, bu sayfanın üçüncü bölümü aracılığı ile kullanıcı arayüzünün çıktılar bölümüne iletilmektedir. Bu bağlamda, kullanıcı arayüzü ile bağlantı, bu sayfanın bir ve üçüncü bölümleri aracılığı ile sağlanmaktadır.

4. ÖRNEK ALAN UYGULAMASI OLARAK TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Bu bölümde, Türkiye’de zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıklarının ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yararın;

- zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özelliklerine,
- iklim koşullarına ve
- yakıt türlerine

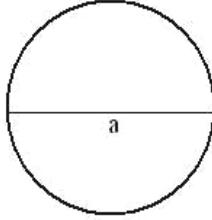
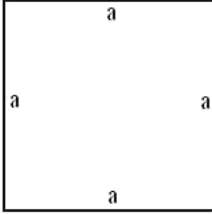
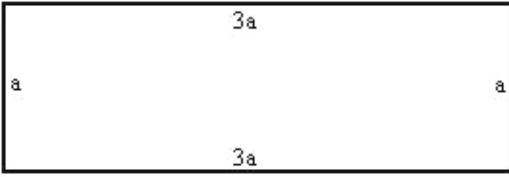
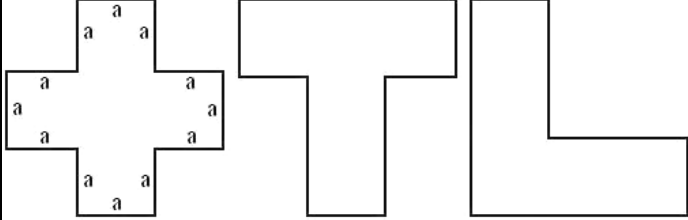
göre nasıl bir değişiklik gösterdiğinin belirlenmesi amacı ile yapılan hesaplamalar ve hesaplamalarda kullanılan değerler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

4.1. Hesaplamalarda Kullanılan Değerler

4.1.1. Zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özellikleri

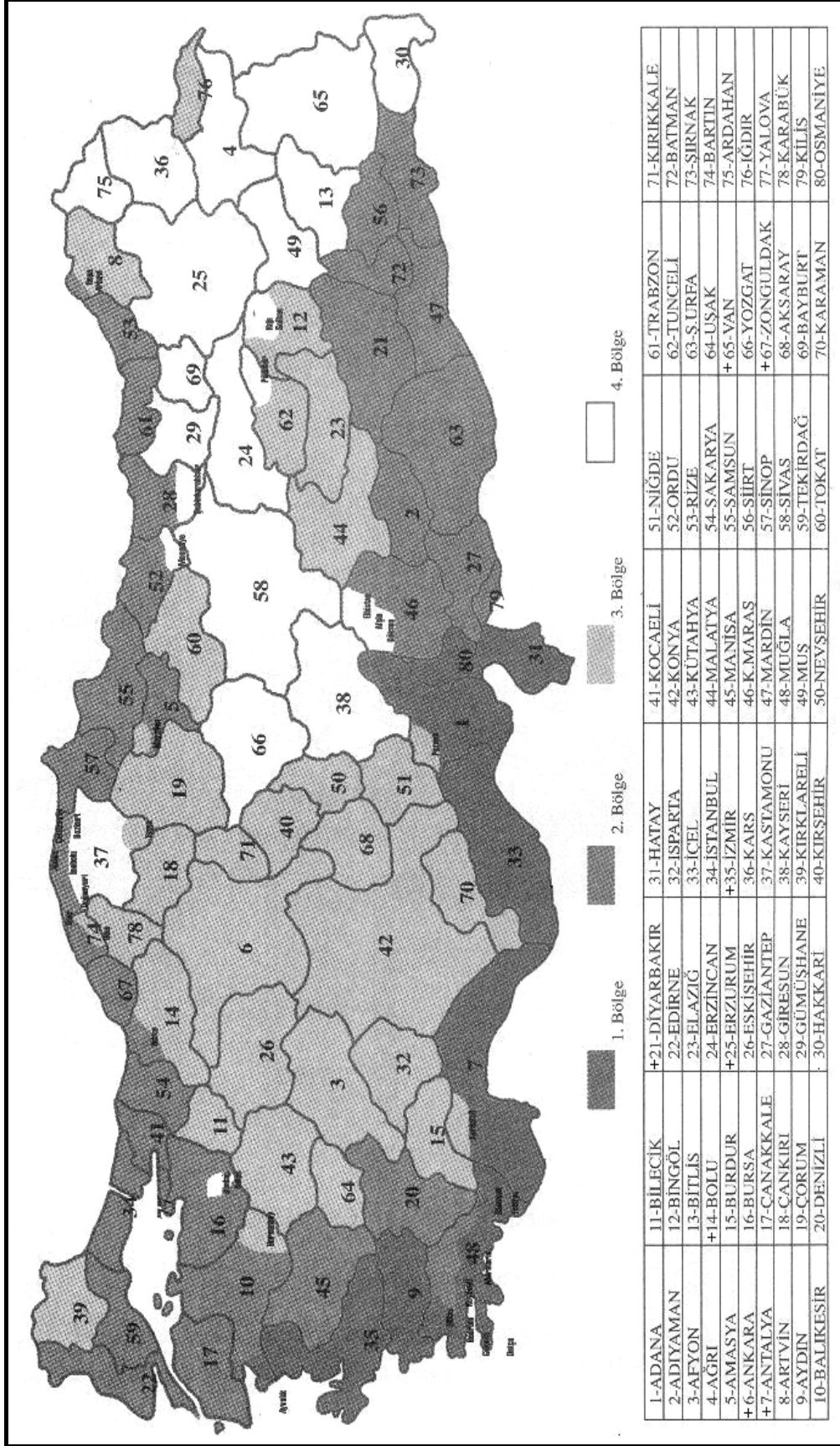
Zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıklarının ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yararın, zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özelliklerine göre nasıl bir değişiklik gösterdiğinin belirlenebilmesi için, döşemede ısı yalıtım kullanılmasının ekonomik yarar sağlamayacağı derinliğe kadar her bir metre derinlikte, bu derinlikten duvarda ısı yalıtım kullanılmasının ekonomik yarar sağlamayacağı derinliğe kadar tüm derinliklerde, farklı döşeme çevre uzunluklarına yol açan dört yapı formu (Çizelge 4.1) için ayrı olmak üzere hangi döşeme alanı aralığında hangi kalınlıkta ısı yalıtım kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca, her bir yapı formu için, 0, 0,1, 3, 6, 9, 18 ve 27 m derinliklerde, 50, 550, 2050, 4050, 6050, 8050, 10050 m² ve bodrum katı olmayan yapılarda ısı yalıtımın gerekmediği sınır değerlerde döşeme alanı olan yapıların zeminle temas eden kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması sonucu yüzde olarak ne kadar ekonomik yarar sağlanacağı da belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma için seçilen farklı döşeme çevre uzunluklarına yol açan yapı formları

KONFİGÜRASYON			ALAN	ÇEVRE
P1	DAİRE		$\pi(a/2)^2 = \pi a^2/4 = 0,7855a^2$	$2\pi a/2 = \pi a = 3,142a$
P2	KARE		a^2	$4a$
P3	DİKDÖRTGEN		$3a^2$	$8a$
P4	+,T,L		$5a^2$	$12a$

4.1.2. İklimsel koşullar

Yapılardaki ısı kayıplarının azaltılması, enerji tasarrufu sağlanması amacıyla 2000 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından hazırlanan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği”ne [97] göre Türkiye yapılar da ısı yalıtımı uygulamaları bakımından dört ısı bölgesine ayrılmıştır. Zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıklarının ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yararın, iklimsel koşullara göre nasıl bir değişiklik gösterdiğinin belirlenebilmesi için, her ısı bölgesinden iki il olmak üzere toplam sekiz il için ayrı hesaplama yapılmıştır. Çalışma için seçilen Türkiye illeri (Harita 4.1) ise şunlardır:



Harita 4.1. Çalışma için seçilen Türkiye illeri [97]

1. BÖLGE: Antalya, İzmir;
2. BÖLGE: Diyarbakır, Zonguldak;
3. BÖLGE: Bolu, Ankara;
4. BÖLGE: Van, Erzurum

Çalışma kapsamındaki iller için kullanılan iklimsel koşullar ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Türkiye için toprak termometreleriyle 0,05 - 0,10 – 0,20 – 0,50 ve 1.00 m derinliklerde ölçülen ortalama zemin sıcaklıkları ile ortalama dış hava sıcaklıklarına ait veriler bulunmasına rağmen ortalama zemin yüzeyi sıcaklıkları ile ilgili veri bulunmamaktadır. Watson ve Labs’a göre, yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklıkları, yıllık ortalama dış hava sıcaklığına 1,7°C eklenmesi ile yaklaşık olarak bulunabilmektedir [46]. Bu çalışmada, genel kabul gören bu eşitlikten yararlanılarak elde edilen aylık ve yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Aylık ve yıllık ortalama dış hava sıcaklık değerleri olarak ise WeatherOnline Ltd.’in, 1997-2005 yılları arasındaki ölçüm değerlerinin ortalaması kullanılmıştır [98].

Çalışma zeminle temas eden ısıtılan hacimleri kapsadığından konfor koşullarına uygun olarak iç ortamda aylık ve yıllık ortalama sıcaklığın 20°C olacağı kabul edilmiştir. Bu durumda $\hat{T}_i = 0$ olacağı için, iç periyodik ısıl bağlaşım katsayısının (L_{pi}) değerlendirmeye alınmasına gerek kalmamıştır.

Türkiye’de ısıtma sezonuna her ilin “Mahalli Çevre Kurulu” karar vermektedir. Mahalli Çevre Kurulları’nın çalışma usul ve esasları, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı’nın 15.04.2004’te hazırladığı yönetmelik ile belirlenmiştir [99]. Her ilin Mahalli Çevre Kurulu, ısıtma sezonu ile ilgili olarak, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 27 Nisan 2004’te yayımlanan “Hava Kirliliği Kontrolü Genelgesi”ne uygun olarak karar vermek zorundadır. Bu genelgeye göre, dış ortam sıcaklığının gece ve gündüz 15°C’ın üzerinde olduğu günlerde kalorifer ve sobaların yakılmaması gerekmektedir [100]. Bu nedenle, bu çalışmanın kapsamındaki her bir ilin ısıtma sezonundaki ay sayısı, ortalama dış hava sıcaklığının 15°C’ın altında olduğu ayların sayısı hesaplanarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışma kapsamındaki iller için kullanılan iklimsel koşullar

İKLİMSEL KOŞULLAR		1. İKLİM BÖLGESİ		2. İKLİM BÖLGESİ		3. İKLİM BÖLGESİ		4. İKLİM BÖLGESİ	
		Antalya	İzmir	Diyarbakır	Zonguldak	Bolu	Ankara	Van	Erzurum
Aylık Ortalama Dış Hava Sıcaklığı ¹ (°C)	Ocak	11	7,9	3,2	6,7	2,5	-0,3	-1,3	-8,9
	Şubat	11,3	7,9	3,8	6,5	2,8	0,6	-1	-8
	Mart	13,3	10,4	8,2	7,9	5,4	4,3	2,3	-2,9
	Nisan	16,5	14,2	13,2	11,8	10,7	9,7	7,8	5,5
	Mayıs	21,5	19,6	18,7	15,6	15,2	14,2	12,7	10,1
	Haziran	26,4	25	25,5	19,6	18	17,9	17,2	14
	Temmuz	29,5	28,2	30,2	22,8	21,3	22	21,3	18,1
	Ağustos	28,9	27,8	29,6	22,5	21,2	21,7	20,9	18,3
	Eylül	25,5	23	24	19,3	17,4	16,7	16,5	13,2
	Ekim	21,6	18,4	18	15,7	13,1	12	11,9	8,3
	Kasım	16,4	12,9	10,1	12,2	8,2	5,9	5,5	1,2
Aralık	12,2	8,9	4,7	8,4	3,7	1,3	0,9	-6,2	
Yıllık Ortalama Dış Hava Sıcaklığı ¹ , (°C)		19,5	17	15,8	14,1	11,6	10,5	9,6	5,2
Yıllık Ortalama Zemin Yüzeysel Sıcaklığı ² , \bar{T}_e (°C)		21,2	18,7	17,5	15,8	13,3	12,2	11,3	6,9
Aylık Ortalama Zemin Yüzeysel Sıcaklıklarındaki Değişim Miktarı ² , \hat{T}_e (K)		9,25	10,15	13,5	8,15	9,4	11,15	11,3	13,6
Yıllık Ortalama İç Sıcaklık, \bar{T}_i (°C)		20	20	20	20	20	20	20	20
Aylık Ortalama İç Sıcaklıklardaki Değişim Miktarı, \hat{T}_i (K)		0	0	0	0	0	0	0	0
Isıtma Sezonundaki Ay Sayısı ³ , n		4	6	6	6	7	8	8	10
Isıtma Sezonundaki Toplam Gün Sayısı, N		121	181	181	181	212	243	243	303

¹)Veriler, WeatherOnline Ltd.'in, 1997-2005 yılları arasındaki ölçüm değerlerinin ortalamasıdır [98].

²)Aylık ortalama dış hava sıcaklıklarına 1,7°C eklenmesi ile elde edilen değerlere göre hesaplanmıştır.

³)Ortalama dış hava sıcaklığının 15°C'ın altında olduğu ayların sayısıdır.

4.1.3. Yakıt ile ilgili özellikler

Zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıklarının, ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yararın, yakıt türlerine göre nasıl bir değişiklik gösterdiğinin belirlenebilmesi için, üç yakıt türü için ayrı hesaplama yapılmıştır. Çalışma için seçilen yakıt türleri ve özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çalışma için seçilen yakıt türleri ve özellikleri ¹

YAKIT TÜRÜ	BİRİM YAKIT MALİYETİ- C_f	EN DÜŞÜK YAKIT ISIL DEĞERİ-LHV	ISITMA SİSTEMİ VERİMİ- η_s
Fuel-oil (No:4)	1,063 \$/kg	41 344 650 J/kg	0,80
Kömür (Linyit)	0,171 \$/kg	20 575 330 J/kg	0,60
Doğalgaz	0,378 \$/m ³	34 541 100 J/m ³	0,924

¹) Veriler, Doğal Gaz Cihazları Sanayicileri ve İşadamları Derneği (DOSİDER)'nin, Nisan 2006'da yayımladığı verilerden yararlanılarak elde edilmiştir [101].

Çizelge 4.3'deki yakıt türleri ile ilgili veriler, Doğal Gaz Cihazları Sanayicileri ve İşadamları Derneği (DOSİDER)'nin, Nisan 2006'da yayımladığı verilerden yararlanılarak elde edilmiştir [101]. Fuel-oil (no:4) ile ilgili veriler, İzmit, Bursa, İstanbul-Avrupa yakası, Ankara ve Eskişehir fuel-oil (no:4) verilerinin ortalaması alınarak; kömür ile ilgili veriler, ithal Sibiryaya linyit kömür (İstanbul), Muğla-Yatağan (Soma Fındık, torbalı 10-18 mm) linyit kömürü ve Manisa Soma (Kısrakdere, yıkanmış, torbalı + 18 mm) yerli linyit kömürü verilerinin ortalaması alınarak; doğalgaz ile ilgili veriler ise, Bursa-BURSAGAZ, Eskişehir-ESGAZ, Ankara-EGO, İzmit-İZGAZ ve İstanbul-İGDAŞ doğalgaz verilerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. DOSİDER'in yayımladığı verilerden akaryakıt fiyatları, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından açıklanmış Petrol Ofisi A.Ş. tarafından tavsiye edilen mahalli akaryakıt satış fiyatlarından alınmış, yerli linyit kömür fiyatları ise Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ)'nin satış fiyatları listesinden alınmış olup, Nakliyeciler Kooperatifi'nin 43 YTL/ton olan nakliye bedeli de eklenmiştir.

Yakıt türlerinin birim yakıt maliyetleri, parite 1,33735 alınarak Yeni Türk Lirası (YTL) karşılığı dolar (\$)’a çevrilmiştir. \$/YTL paritesi, T.C. Merkez Bankası (TCMB)’nın Nisan 2006’ya ait günlük “dolar satış” kurlarının ortalaması alınarak belirlenmiştir [102].

Yapının kullanım ömrü süresince oluşacak yakıt maliyetlerini bugünkü değere çevirmek için “bugünkü değer faktörü (PWF)” nün hesaplanması gerekmektedir. Bugünkü değer faktörü; enflasyon oranı (g), faiz oranı (i) ve yapının kullanım ömrüne (m) bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’nun verilerine göre, Nisan 2006’da Tüketici Fiyatları Endeksi (TÜFE)’nde yıllık değişim %8,83 olarak gerçekleşmiştir [103]. Enflasyon oranı (g) değeri olarak bu değer kullanılmıştır.

Faiz oranı (i) değeri olarak, T.C. Merkez Bankası’nın hazırladığı “2000 Yılı Haziran Ayından İtibaren Bankalarca Türk Lirası/Yeni Türk Lirası Üzerinden Açılan Mevduat Ağırlıklı Ortalama Faiz Oranları” adlı çizelgedeki Nisan 2006 dönemine ait yıllık %16,19 faiz oranı kullanılmıştır [102]. Bu çizelgedeki ağırlıklı ortalama faiz oranları, ilgili ay sonuna kadar açılmış olan stok mevduat tutarlarının, müşteri bazındaki her bir mevduat türü ve vade dilimine uygulanan faiz oranları ile ilişkilendirilmesi ve yıl bazına getirilmesi suretiyle hesaplanmaktadır.

Yapının kullanım ömrünün (m) ise, 30 yıl olacağı varsayılmıştır.

Bu çalışmada, PWF olarak, %8,83 enflasyon oranı, %16,19 faiz oranı ve 30 yıllık yapı kullanım ömrü değerlerine göre yapılan hesaplama sonucu elde edilen 12,71 değeri kullanılmıştır.

4.1.4. Zeminin ısı özellikleri

ISO 13370, zeminin ısı özellikleri olarak eğer yapının yapılacağı alana özgü ölçme sonuçları varsa bu değerlerin kullanılmasını, yoksa Çizelge 4.4’de verilen değerlerin

kullanılabileceğini belirtmektedir [91].

Çizelge 4.4. Zemin çeşitleri ve ısı özellikleri [91]

SINIF	ÇEŞİT	ISIL İLETKENLİK- λ_g (W/(mK))	BİRİM HACİM İÇİN ISI KAPASİTESİ- ρc (J/(m ³ K))
1	Kil veya silt	1,5	3,0x10 ⁶
2	Kum veya çakıl	2,0	2,0x10 ⁶
3	Homojen kaya	3,5	2,0x10 ⁶

Eğer zemin çeşidi de bilinmiyorsa, λ_g için 2,0 W/(mK), ρc için 2,0x10⁶ değerlerinin kullanılabileceğini belirtmektedir [91]. Bu çalışmada zeminin ısı özellikleri olarak en son belirtilen değerler kullanılmıştır.

4.1.5. Kabuk bileşenlerinin ısı özellikleri

Zeminle temas eden yapı kabuğu tasarımı, zemin üstündeki yapı kabuğu tasarımından farklıdır. Hava yerine zeminle temas edilmesi dışarıdan görsel algılamayı engellediğinden değişik mimari yaklaşımlarda savunulan değerlere göre zemin üstü kabuk tasarımında sahip olunan konstrüksiyon ve malzeme zenginliği yapının bu kesimi için söz konusu değildir. Zeminin yapı kabuğuna uyguladığı basınç, sürekli nemli bir ortamla temas edilmesi, herhangi bir nedenle kabukta ıslanma gerçekleşirse kurumanın sadece iç ortama doğru olabilmesi, temas edilen zeminin sıcaklığının derinliğe göre değişmesi sonucu aynı kabuk üzerinde derinliğe bağlı olarak farklı etkilerin olabilmesi, kabuk tasarımında dikkate alınması gereken diğer faktörlerdir. Değerlendirilecek kabuk seçiminde genel tasarım ilkelerine uygunluk dikkate alınmıştır.

Duvar ve döşeme ana gövdesi: Zeminle temas eden duvar üzerinde derinlikle artan bir toprak basıncı, zeminle temas eden döşeme üzerinde ise sabit bir toprak basıncı söz konusudur. Duvar ve döşemenin bu basıncı karşılayacak dayanımda tasarlanmaları gerekmektedir. Duvar ve döşeme ana gövdesi olarak fazla sayıda

olmasa da malzeme alternatifleri olmasına rağmen genellikle beton(arme) tercih edilmektedir. Bu çalışmada da, duvar ana gövdesi olarak betonarme, döşeme ana gövdesi olarak grobeton seçilmiştir.

Duvar ve döşeme kaplaması: Duvar ve döşeme kaplama malzemesi olarak çok sayıda seçenek bulunmaktadır. Bazı duvar kaplamaları ve ısı özellikleri Çizelge 4.5’de, bazı döşeme kaplamaları ve ısı özellikleri ise Çizelge 4.6’da verilmiştir. Duvar ve döşeme kaplamaları çok ince olduğundan kabuğun ısı yalıtım değerine katkıları ihmal edilecek kadar düşüktür. Herhangi bir nedenle kabukta ıslanma gerçekleşirse kurumunun sadece iç ortama doğru olabilmesi nedeniyle “su buharı difüzyon direnç faktörleri” dikkate alınmalıdır. Kaplama olarak seramik gibi su buharı difüzyon direnç faktörü yüksek malzemeler kullanıldığında iç ortama doğru tek yönde gerçekleşebilecek kuruma olayı da engellenecektir. Bu nedenle, duvar ve döşeme kaplaması olarak su buharı difüzyon direnç faktörü düşük malzemeler kullanmak daha doğru olacaktır. Bu çalışmada, duvar kaplaması olarak sıvanın, döşeme kaplaması olarak ise linolyumun ısı hesap değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Duvar kaplamaları ve ısı özellikleri

DUVAR KAPLAMALARI		ISIL ÖZELLİKLER				
		Yoğunluk- ρ (kg/m ³) ¹	Kalınlık-d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri- λ (W/(mK)) ¹	Isıl Geçirgenlik Direnci-R $R=d/\lambda$ (m ² K/W)	Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü- μ (-) ¹
Sıva (Kireç Harçlı)		1600	0,02	0,80	0,025	10
Mermer Kaplama	Mermer	2800	0,025	3,5	0,007	10 000
	Çimento Harcı	1800	0,025	1	0,025	10
Seramik Kaplama	Seramik	2300	0,003	1,3	0,002	1 000 000
	Çimento Harcı	1800	0,025	1	0,025	10
Ahşap Kaplama	Ahşap	700	0,02	0,17	0,118	220
	Hava Boşluğu	1,23	0,05	0,025	2	1

¹) Değerler EN 12524’den alınmıştır [104].

Çizelge 4.6. Döşeme kaplamaları ve ısı özellikleri

DÖŞEME KAPLAMALARI		ISIL ÖZELLİKLER				
		Yoğunluk- ρ (kg/m ³) ¹	Kalınlık-d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri- λ (W/(mK)) ¹	Isıl Geçirgenlik Direnci-R $R=d/\lambda$ (m ² K/W)	Su Buharı Difüzyon Direnci Faktörü- μ (-) ¹
Linolyum Kaplama	Linolyum	1200	0,002	0,17	0,012	1 000
	Yapıştırıcı	-	-	-	-	-
Mermer Kaplama	Mermer	2800	0,03	3,5	0,009	10 000
	Çimento Harcı	1800	0,025	1	0,025	10
Seramik Kaplama	Seramik	2300	0,008	1,3	0,006	1 000 000
	Çimento Harcı	1800	0,025	1	0,025	10
Ahşap Kaplama	Ahşap	700	0,02	0,17	0,118	220
	Yapıştırıcı	-	-	-	-	-
Plastik Kaplama	Plastik	1700	0,003	0,25	0,012	10 000
	Yapıştırıcı	-	-	-	-	-
Kauçuk Kaplama	Kauçuk	1200	0,004	0,17	0,023	10 000
	Yapıştırıcı	-	-	-	-	-
Mantar Kaplama	Mantar	>400	0,006	0,065	0,092	40
	Yapıştırıcı	-	-	-	-	-

¹) Değerler EN 12524'den alınmıştır [104].

Su yalıtım malzemesi: Yapı kabuğunun temas ettiği zeminde sürekli bulunan nem yeterli önlem alınmazsa ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle zeminle temas eden kabukta zemin nemine karşı sürekli bir engel oluşturulması gerekmektedir. Bu engel, duvar veya döşeme ana gövdesine katılan katkılar ile bünyesel olarak sağlanabileceği gibi, bir su yalıtım malzemesinin kabuğun zeminle temas eden tarafına (pozitif uygulama) veya kabuğun iç ortam ile temas eden tarafına (negatif uygulama) uygulanması ile de sağlanabilir. Her uygulamanın kendine özgü avantaj ve dezavantajları olmasına rağmen, sağladıkları yararların daha fazla ve daha önemli olması nedeniyle pozitif taraftan uygulamalar zemin nemine karşı her durumda uygulanabilen en uygun çözümdür [105].

Su yalıtım malzemelerinin kalınlıkları çok az olduğu için kabuğun ısı yalıtım değerine önemli bir katkıları olmaz. Bu çalışmada kabukta pozitif taraftan uygulanan ve ısı iletkenlik hesap değeri (λ) 0,23 W/(mK) olan bitümlü örtü şeklindeki bir su yalıtım malzemesi kullanıldığı kabul edilmiştir.

Isıl yalıtım malzemesi: Isıl yalıtım amacı ile üretilmiş çeşitli ısı yalıtım malzemeleri bulunmaktadır. Kabuğun zeminle temas eden tarafında kullanılacak ısı yalıtım malzemesinin kapalı gözenekli, nemden etkilenmeyen nitelikte olması gerekmektedir. Kabuğun iç ortam ile temas eden tarafında kullanılacak ısı yalıtım malzemesi için daha fazla alternatif bulunmaktadır.

Avrupa ülkelerinde yapılan bir araştırmaya göre camyünü ve taşıyününün pazar payları %60, ekstrude polistiren (XPS), genişletilmiş polistiren (EPS) ve daha az oranda olmak üzere poliüretanın toplam pazar payları %27, diğer tüm ısı yalıtım malzemelerinin toplam pazar payları ise %13'tür [54]. En çok tercih edilen ısı yalıtım malzemelerinden taşıyünü, ekstrude polistiren, genişletilmiş polistiren ve poliüretan zeminle temas eden yapı kabuğunun hem zemin hem de iç ortam tarafında kullanılabilirler. Çizelge 4.7'de bu malzemelerin ısı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Isıl yalıtım malzemeleri ve ısı özellikleri

ISIL YALITIM MALZEMELERİ	ISIL ÖZELLİKLER ¹					
	Yoğunluk- ρ (kg/m ³)		Isıl İletkenlik Hesap Değeri- λ (W/(mK))		Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü- μ (-)	
	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.
Taşıyünü	30	180	0,033	0,045	<1	1
Ekstrude Polistiren	20	80	0,025	0,035	80	200
Genleştirilmiş Polistiren	18	50	0,029	0,041	25	200
Poliüretan	30	80	0,020	0,027	50	>100

¹) Değerler [54] nolu kaynaktan alınmıştır.

Çizelge 4.7'de görüldüğü gibi, ısı yalıtım malzemelerinin ısı özellikleri büyük bir aralık içinde değişmektedir. Bu çalışmada, kabukta yoğunluğu minimum 30 kg/m³ ve ısı iletkenlik hesap değeri 0,030 W/(mK) olan ekstrude polistiren ısı yalıtım malzemesi kullanıldığı kabul edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kabuk bileşenleri ve ısı özellikleri ise Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Çalışmada kullanılan kabuk bileşenleri ve ısı özellikleri

KONFIGÜRASYON	KABUK BİLEŞENLERİ		ISIL ÖZELLİKLER			
			Yoğunluk- ρ (kg/m^3) ¹	Kalınlık-d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri- λ ($\text{W}/(\text{mK})$) ¹	Isıl Geçirgenlik Direnci-R $R=d/\lambda$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
A	DUVAR	Duvar Kaplaması (Sıva)	1600	0,02	0,80	0,025
		Duvar (Betonarme)	2400	0,30	2,5	0,120
		Düzeltilme Sıvası	1800	0,01	1,00	0,010
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
		Isıl Yalıtım Malzemesi (Ekstrude Polistiren)	30	d_{iw}	0,030	R_{iw}
	Toplam= $0,168+R_{iw}$					
	DÖŞEME	Döşeme Kaplaması (Linolyum)	1200	0,002	0,17	0,012
		Düzeltilme Betonu	1800	0,03	1,15	0,026
		Döşeme (Grobeton)	2200	0,10	1,65	0,061
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
Toplam= $0,112$						
B	DUVAR	Duvar Kaplaması (Sıva)	1600	0,02	0,80	0,025
		Duvar (Betonarme)	2400	0,30	2,5	0,120
		Düzeltilme Sıvası	1800	0,01	1,00	0,010
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
		Isıl Yalıtım Malzemesi (Ekstrude Polistiren)	30	d_{iw}	0,030	R_{iw}
	Toplam= $0,168+R_{iw}$					
	DÖŞEME	Döşeme Kaplaması (Linolyum)	1200	0,002	0,17	0,012
		Düzeltilme Betonu	1800	0,03	1,15	0,026
		Döşeme (Grobeton)	2200	0,10	1,65	0,061
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
Isıl Yalıtım Malzemesi (Ekstrude Polistiren)		30	d_{if}	0,030	R_{if}	
Toplam= $0,112+R_{if}$						

Çizelge 4.8. (Devam) Çalışmada kullanılan kabuk bileşenleri ve ısı özellikleri

KONFIGÜRASYON	KABUK BİLEŞENLERİ		ISIL ÖZELLİKLER			
			Yoğunluk- ρ (kg/m^3) ¹	Kalınlık-d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri- λ (W/(mK)) ¹	Isıl Geçirgenlik Direnci-R $R=d/\lambda$ ($\text{m}^2\text{K/W}$)
C	DUVAR	Duvar Kaplaması (Sıva)	1600	0,02	0,80	0,025
		Duvar (Betonarme)	2400	0,30	2,5	0,120
		Düzeltilme Sıvası	1800	0,01	1,00	0,010
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
	Toplam=0,168					
	DÖŞEME	Döşeme Kaplaması (Linolyum)	1200	0,002	0,17	0,012
		Düzeltilme Beton	1800	0,03	1,15	0,026
		Döşeme (Grobeton)	2200	0,10	1,65	0,061
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
	Toplam=0,112					
D	DUVAR	Duvar Kaplaması (Sıva)	1600	0,02	0,80	0,025
		Duvar (Betonarme)	2400	0,30	2,5	0,120
		Düzeltilme Sıvası	1800	0,01	1,00	0,010
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
	Toplam=0,168					
	DÖŞEME	Döşeme Kaplaması (Linolyum)	1200	0,002	0,17	0,012
		Düzeltilme Beton	1800	0,03	1,15	0,026
		Döşeme (Grobeton)	2200	0,10	1,65	0,061
		Su Yalıtım Malzemesi (Bitümlü Örtü)	1100	0,003	0,23	0,013
		Isıl Yalıtım Malzemesi (Ekstrude Polistiren)	30	d_{if}	0,030	R_{if}
Toplam=0,112+ R_{if}						

¹) Isıl yalıtım malzemesi değerleri [54] nolu kaynaktan, diğer tüm değerler EN 12524 [104]'den alınmıştır.

Bu çalışmada, zemin yüzeyindeki duvarların tüm katmanlarını içeren toplam kalınlığının (w), 0,30 m olduğu varsayılmıştır.

Bu çalışmada, yüzeysel ısı iletim direnç değerleri olarak ise ISO 13370 [91]'de verilen şu değerler kullanılmıştır:

- Döşeme için iç yüzey ısı iletim direnci; R_{sif} : 0,17 m²K/W
- Duvar için iç yüzey ısı iletim direnci; R_{siw} : 0,13 m²K/W

4.1.6. Isıl yalıtım birim maliyeti

Bu çalışmada, 0,02 ile 0,10 m arası kalınlıktaki ısı yalıtım için, İzocam A.Ş.'nin zeminle temas eden yapı kabuğunda kullanılmak üzere önerdiği ve “Foamboard 1500 Düz” diye adlandırdığı ekstrude polistiren türünün Nisan 2006 dönemine ait birim maliyet değerleri kullanılmıştır. İzocam A.Ş., 0,02 m ile 0,07-0,10 m arası kalınlıktaki ısı yalıtımı özel üretim olarak adlandırılmakta ve farklı ücretlendirmektedir. Buna göre, 0,02 ile 0,10 m arası kalınlıktaki ısı yalıtım için üç farklı birim maliyet kullanılmıştır. Türkiye’de 0,01 m ile 0,11-0,20 m arası kalınlıktaki ısı yalıtım isteğe bağlı olarak üretilmekte ve talep miktarına göre ücretlendirildiği için satış listelerinde yer almamaktadır. Bu çalışmada, 0,01 m kalınlıktaki ısı yalıtımın birim maliyetinin 0,02 m kalınlıktaki ısı yalıtım ile; 0,11-0,20 m arası kalınlıktaki ısı yalıtımın birim maliyetinin ise 0,07-0,10 m arası kalınlıktaki ısı yalıtım ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Buna göre, çalışmada ısı yalıtım kalınlığına bağlı olarak kullanılan birim maliyetler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Çalışmada ısı yalıtım kalınlığına bağlı olarak kullanılan birim maliyetler

	ISIL YALITIM KALINLIĞI (m)		
	0,01-0,02	0,03-0,06	0,07-0,20
BİRİM MALİYET (\$/m ³)	157	150	178

Isıl yalıtım birim maliyetleri, parite 1,33735 alınarak Yeni Türk Lirası (YTL) karşılığı dolar (\$)’a çevrilmiştir. \$/YTL paritesi, TCMB’nin Nisan 2006’ya ait günlük “dolar satış” kurlarının ortalaması alınarak belirlenmiştir [102].

4.2. Ekonomik Yarar Açısından En Uygun Isıl Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

Bölüm 4.1’de belirtildiği gibi, her iklim bölgesinden iki il olmak üzere toplam sekiz ilde üç farklı yakıt türüne göre, zeminle temas eden farklı geometrik özellikleri olan yapı kabuklarının (Bkz. Bölüm 4.1.1) duvar ve döşeme bileşenleri için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Bu amaçla çalışmanın kapsadığı her bir il için yapılan hesaplamalar Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10’da görüldüğü gibi, çalışmanın kapsadığı her bir il ve yakıt türü kombinasyonu için, geliştirilen model kullanılarak çalışmanın kapsadığı A, P ve z değeri kombinasyonlarına bağlı olarak en düşük toplam ısıtma maliyetini sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçenekleri belirlenmiştir. Böylece, örneğin İzmir’de yakıt türü olarak doğalgaz kullanılacak bir yapının çalışmanın kapsadığı A, P ve z değeri kombinasyonlarına bağlı olarak zeminle temas eden duvar ve döşemesinde ekonomik yarar açısından hangi kalınlıklarda ısı yalıtım kullanılması gerektiği bulunmuştur. Elde edilen bulgular bir sonraki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.10. Çalışmanın kapsadığı her bir il için yapılan hesaplamalar

İL (ÖRNEĞİN İZMİR)					
KONF ¹	ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEKLERİ ¹		YAKIT TÜRÜ		
	d_{iw}^2 (m)	d_{if}^2 (m)	FUEL-OIL	KÖMÜR	DOĞALGAZ
A	0,01 . .	0,00 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 1 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 1 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 1 ↓
	. . 0,20	. . 0,00	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 20... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 20... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 20... ↓
B	0,01 . .	0,01 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 21... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 21... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 21... ↓
	. . 0,20	. . 0,01	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...40 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...40 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...40 ↓
	0,01 . .	0,02 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 41... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 41... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 41... ↓
	. . 0,20	. . 0,02	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...60 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...60 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...60 ↓
	0,01 . .	0,03 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 61... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 61... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 61... ↓
	. . 0,20	. . 0,03	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...80 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...80 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...80 ↓
	0,01 . .	0,04 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 81... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 81... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 81... ↓
	. . 0,20	. . 0,04	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...100 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...100 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...100 ↓
	0,01 . .	0,05 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 101... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 101... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 101... ↓
	. . 0,20	. . 0,05	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...120 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...120 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...120 ↓

Çizelge 4.10. (Devam) Çalışmanın kapsadığı her bir il için yapılan hesaplamalar

İL (ÖRNEĞİN İZMİR)					
KONF ¹	ISIL YALITIM KALINLIK SEÇENEKLERİ ¹		YAKIT TÜRÜ		
	d_{iw}^2 (m)	d_{if}^2 (m)	FUEL-OIL	KÖMÜR	DOĞALGAZ
B	0,01 . .	0,06 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 121... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 121... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 121... ↓
	. 0,20	. 0,06	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...140 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...140 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...140 ↓

	0,01 . .	0,19 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 381... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 381... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 381... ↓
	. 0,20	. 0,19	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...400 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...400 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...400 ↓
	0,01 . .	0,20 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 401... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 401... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 401... ↓
	. 0,20	. 0,20	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...420 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...420 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...420 ↓
C	0,00	0,00	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 421 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 421 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 421 ↓
D	0,00 . .	0,01 . .	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 422... ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 422... ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – 422... ↓
	. 0,00	. 0,20	FUEL-OIL İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...441 ↓	KÖMÜR İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...441 ↓	DOĞALGAZ İÇİN TOPLAM ISITMA MALİYETİ – ...441 ↓
			Her bir yapı A,P ve z değeri kombinasyonu için ayrı hesap yapılmıştır	Her bir yapı A,P ve z değeri kombinasyonu için ayrı hesap yapılmıştır	Her bir yapı A,P ve z değeri kombinasyonu için ayrı hesap yapılmıştır

NOT: Her bir yakıt türü sütununda yapının yaşam dönemi süresince zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacak ısı yalıtım kalınlık seçeneği, o sütunda belirtilen yakıt türü için ekonomik yarar açısından en uygun seçenektir.

¹) Konfigürasyon ve ısı yalıtım kalınlık seçenekleri için Çizelge 3.1 ve 4.8'e bakınız.

²) d_{iw} duvarda kullanılacak, d_{if} ise döşemede kullanılacak ısı yalıtımın metre cinsinden kalınlığıdır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Bulgular

Çalışmanın kapsadığı her bir il için kullanılacak yakıt türüne göre, geliştirilen model kullanılarak elde edilen bulgular (İzmir ili ile ilgili bulgular Şekil 5.1 – Şekil 5.10’da, diğer illerle ilgili bulgular ise EK-1 – EK-7’de verilmiştir) şu şekilde gruplandırılmıştır:

- Kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları (İzmir ili örneğinde, yakıt türü fuel-oil olan yapıları Şekil 5.1’de, yakıt türü kömür olan yapıları Şekil 5.4’de, yakıt türü doğalgaz olan yapıları Şekil 5.7’de verilmiştir)
- Döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları (İzmir ili örneğinde, yakıt türü fuel-oil olan yapıları Şekil 5.2’de, yakıt türü kömür olan yapıları Şekil 5.5’de, yakıt türü doğalgaz olan yapıları Şekil 5.8’de verilmiştir)
- Döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları (İzmir ili örneğinde, yakıt türü fuel-oil olan yapıları Şekil 5.3’de, yakıt türü kömür olan yapıları Şekil 5.6’da, yakıt türü doğalgaz olan yapıları Şekil 5.9’da verilmiştir)
- Kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar (İzmir ili örneğinde tüm yakıt türlerini kapsayacak şekilde Şekil 5.10’da verilmiştir)

Kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları ile ilgili bulguların yer aldığı şekillerde, döşemede ısı yalıtım kullanmanın ekonomik yarar sağlamayacağı derinliğe kadar her bir metre derinlikte, bu derinlikten duvarda ısı yalıtım kullanmanın ekonomik yarar sağlamayacağı derinliğe kadar tüm derinliklerde, farklı döşeme çevre uzunluklarına yol açan dört yapı formu (Bkz. Çizelge 4.1) için ayrı olmak üzere hangi döşeme alanı aralığında hangi kalınlıkta ısı yalıtım kullanılması gerektiği verilmiştir. Bu şekillerdeki grafiklerden nasıl

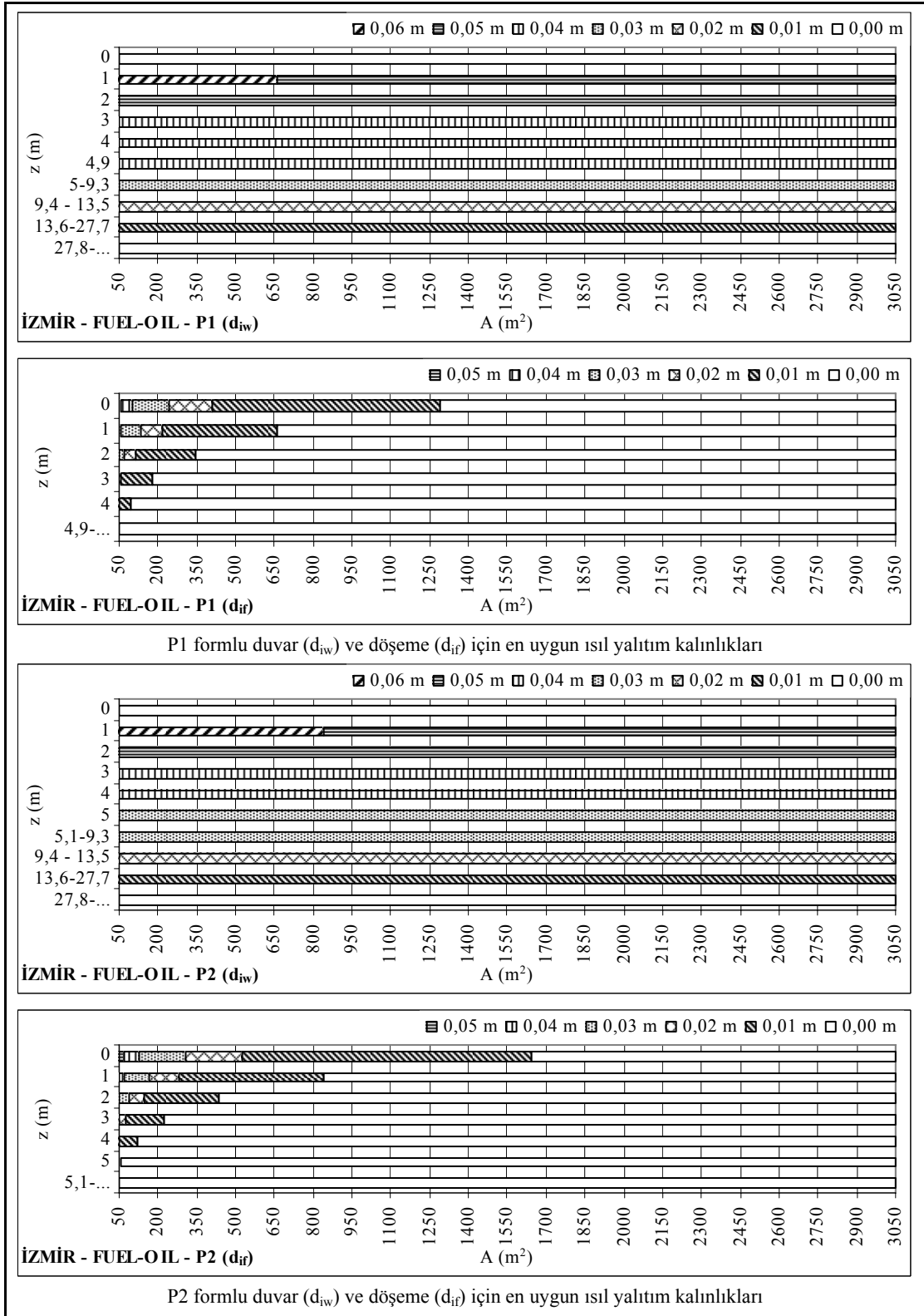
yararlanılacağı aşağıdaki örnekte gösterilmiştir:

- Yapının bulunduğu il: İzmir
- Yapıda kullanılacak yakıt türü: Fuel-oil
- Yapı formu: P2
- Yapının döşeme alanı (A): 500 m²
- Yapının zeminle temas eden döşemesinin derinliği (z): 1 m

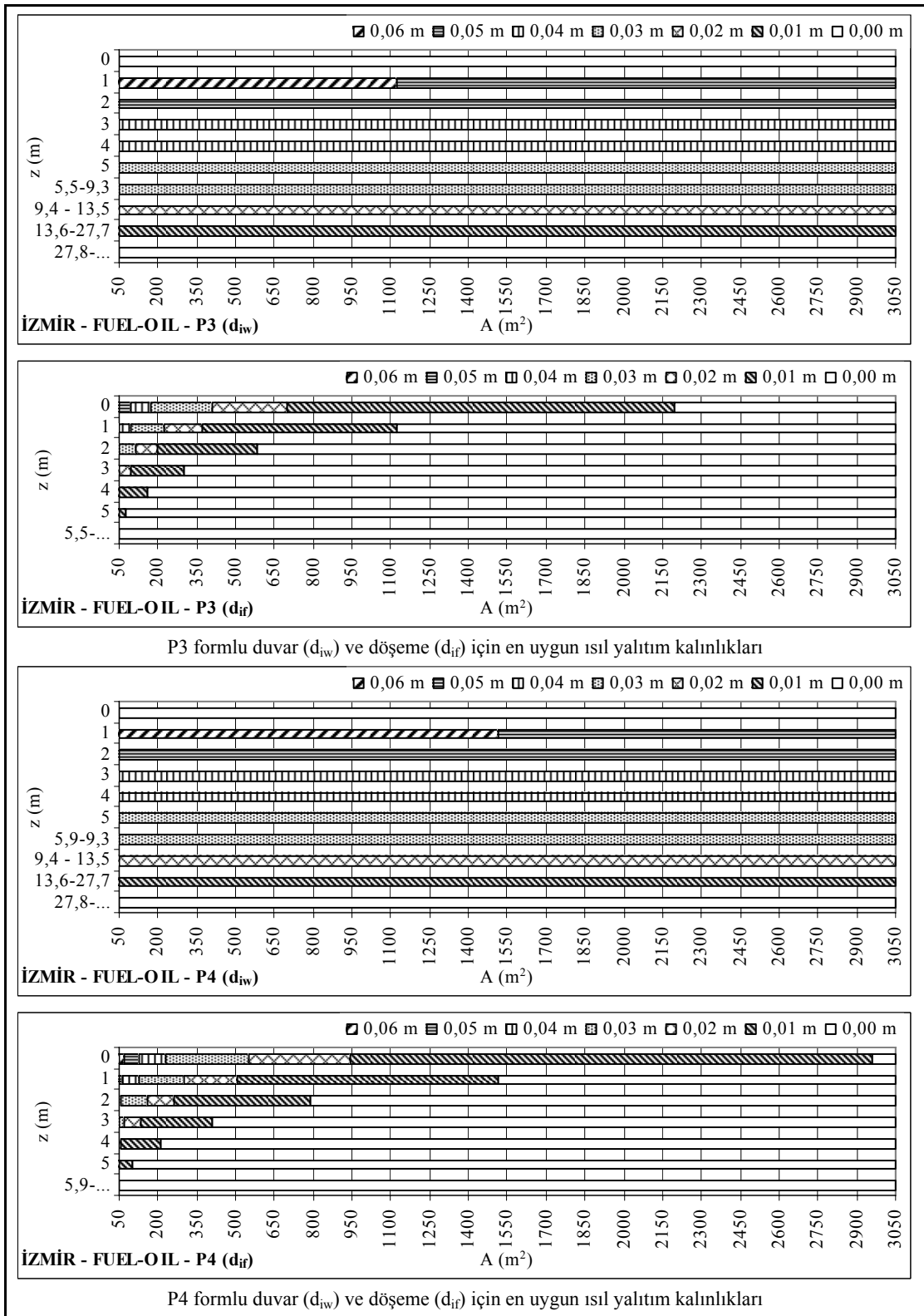
Belirtilen özelliklere sahip bir yapının zeminle temas eden duvar ve döşemesinde hangi kalınlıklarda ısı yalıtım kullanılması gerektiğini bulmak için öncelikle ilgili grafiklerin belirlenmesi gerekmektedir. İl İzmir, yakıt türü fuel-oil ve yapı formu P2 olduğu için Şekil 5.1'deki P2 formuna ait iki grafikten yararlanılmalıdır. Üstteki grafikte duvarda, alttaki grafikte ise döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıkları ile ilgili veriler bulunmaktadır. Her iki grafikte de yatay ekseninde döşeme alanı değerleri (A), dikey ekseninde ise döşeme derinliği değerleri (z) bulunmaktadır. Yapının A değeri 500 m², z değeri ise 1 m olduğu için her iki grafikte de bu iki değer kesiştiği çubuklardaki desen tanımladığı kalınlık değerleri en uygun ısı yalıtım kalınlıklarıdır. Bu yapı için zeminle temas eden duvarda 0,06 m, döşemede ise 0,01 m kalınlığında ısı yalıtım kullanılması en uygun çözümdür.

Döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğu (P) ile döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıklarının yer aldığı şekillerde ise ilgili ilde yakıt türüne bağlı olarak her bir yapı formu için duvar ve döşemede olabilecek maksimum ısı yalıtım kalınlıkları verilmiştir. Maksimum ısı yalıtım kalınlıkları, her bir yapı formu için tüm A ve z değerleri taranarak tespit edilmiştir.

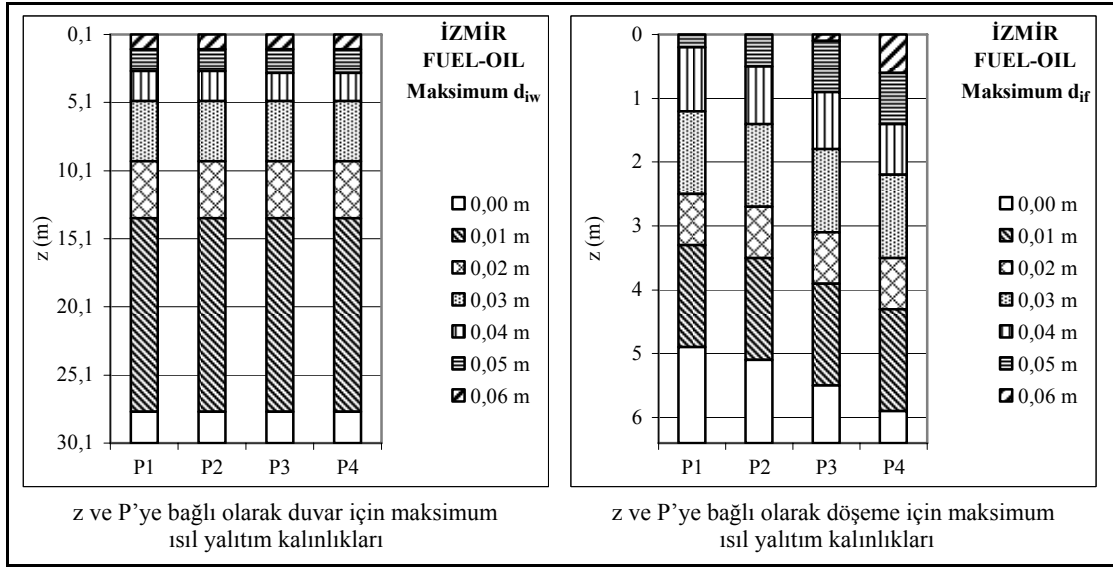
Kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar ile ilgili bulguların yer aldığı şekillerde ise ilgili ilde yakıt türüne bağlı olarak Bölüm 4.1.1'de verilen geometrik özelliklere sahip yapı kabuğu için en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması sonucu yüzde olarak ne kadar ekonomik yarar elde edilebileceği ile ilgili bulgulara yer verilmiştir.



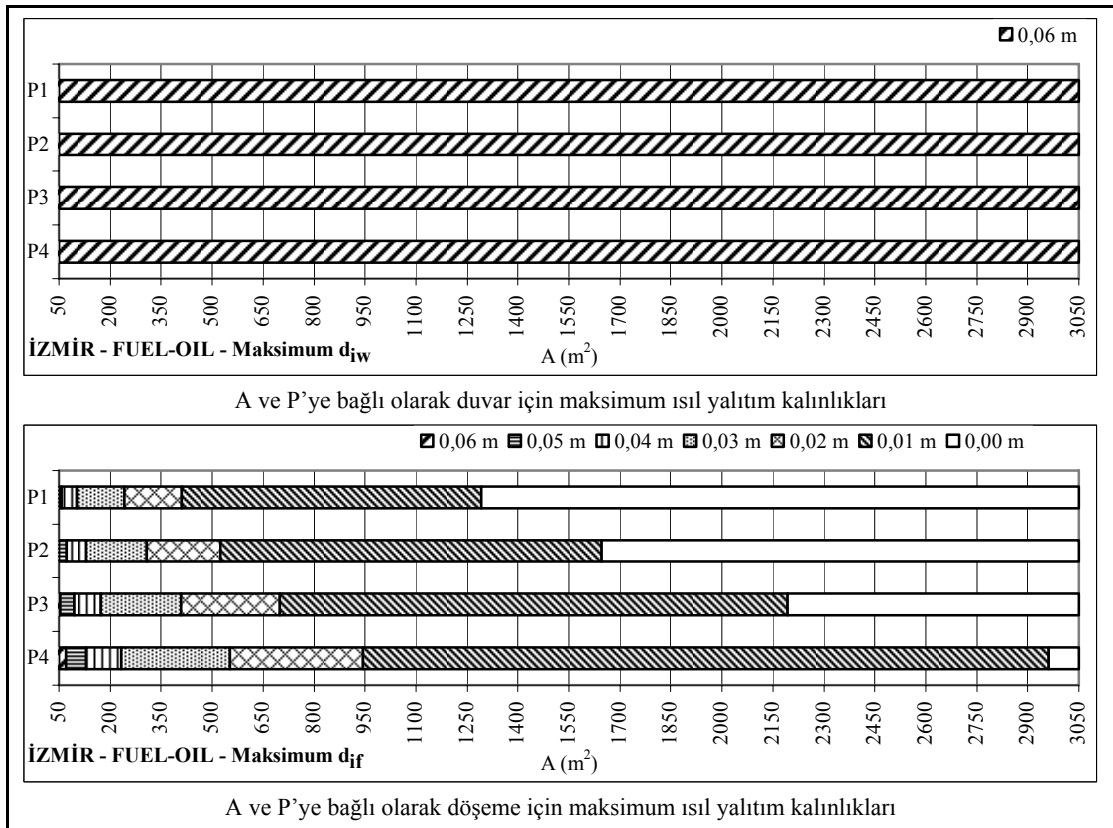
Şekil 5.1. İzmir ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A , P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



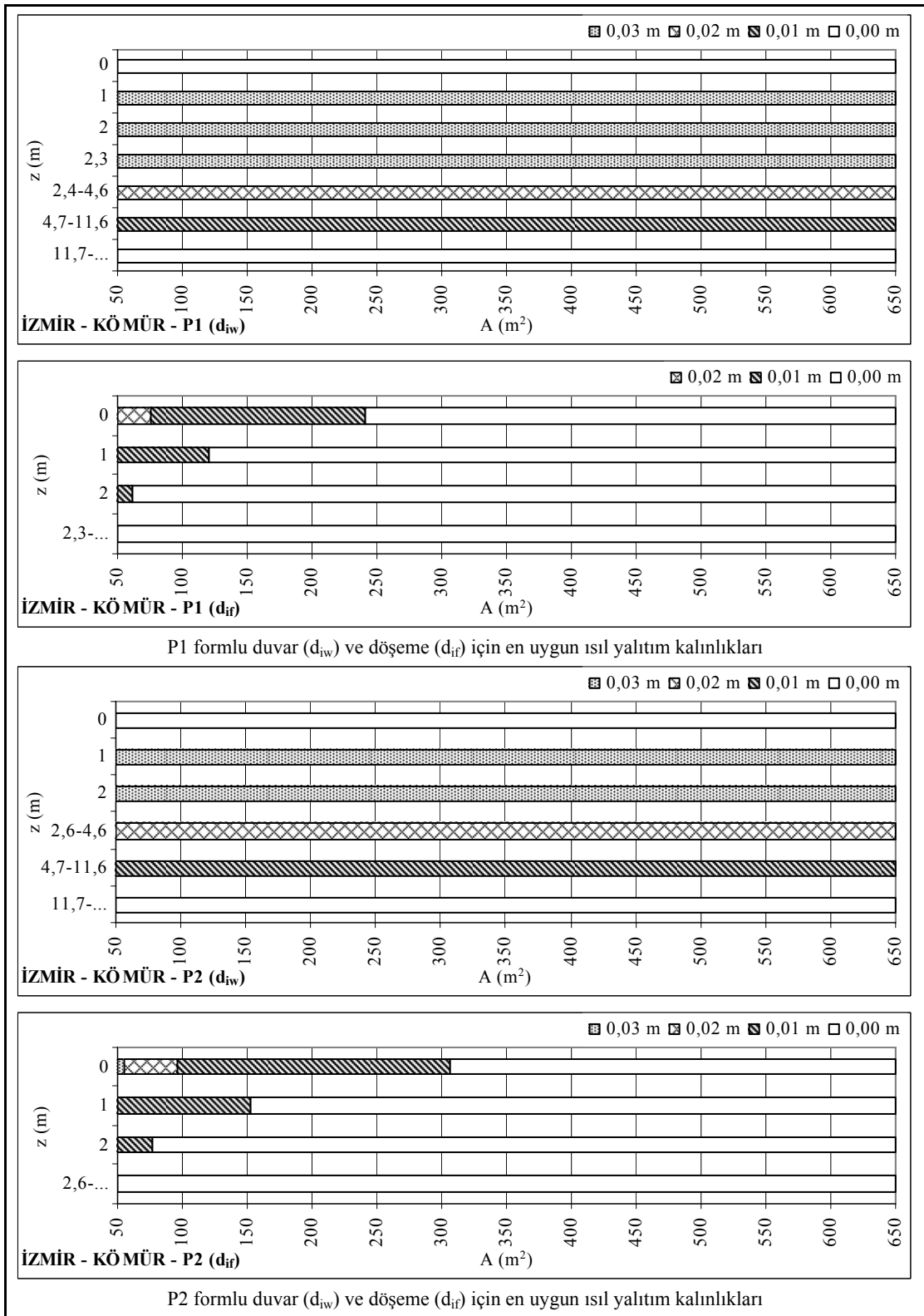
Şekil 5.1. (Devam) İzmir ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



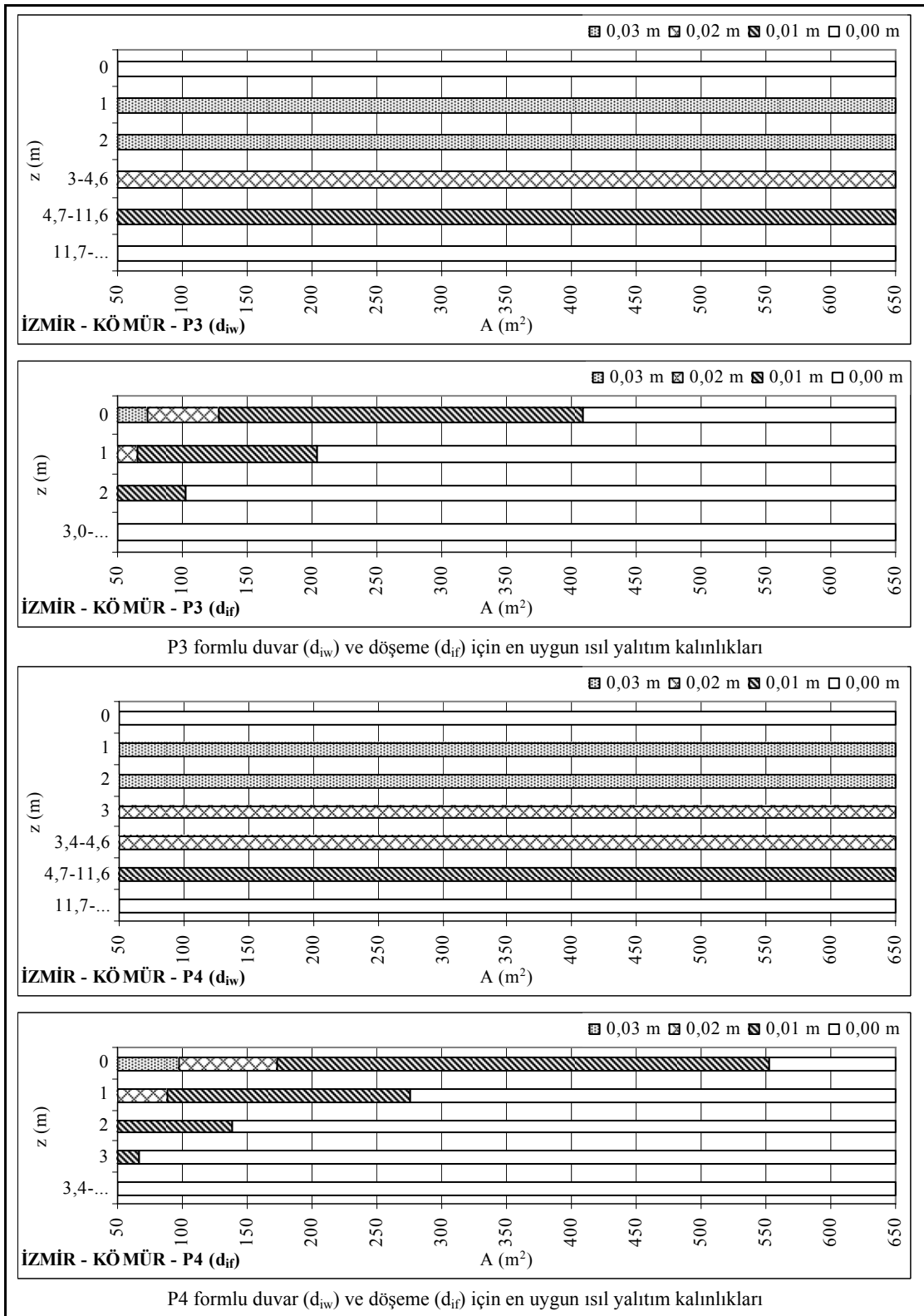
Şekil 5.2. İzmir ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



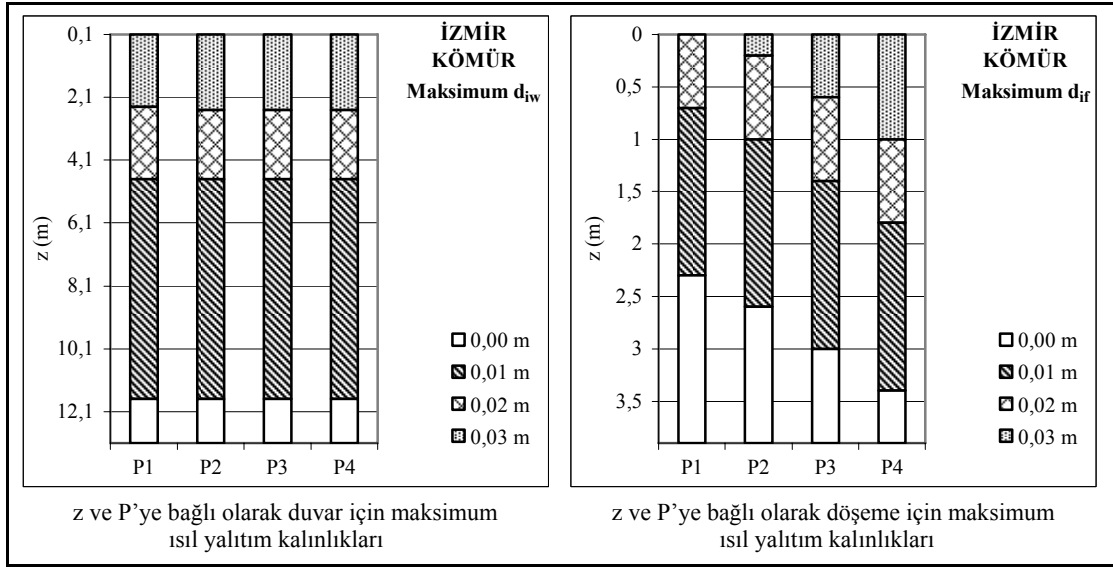
Şekil 5.3. İzmir ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



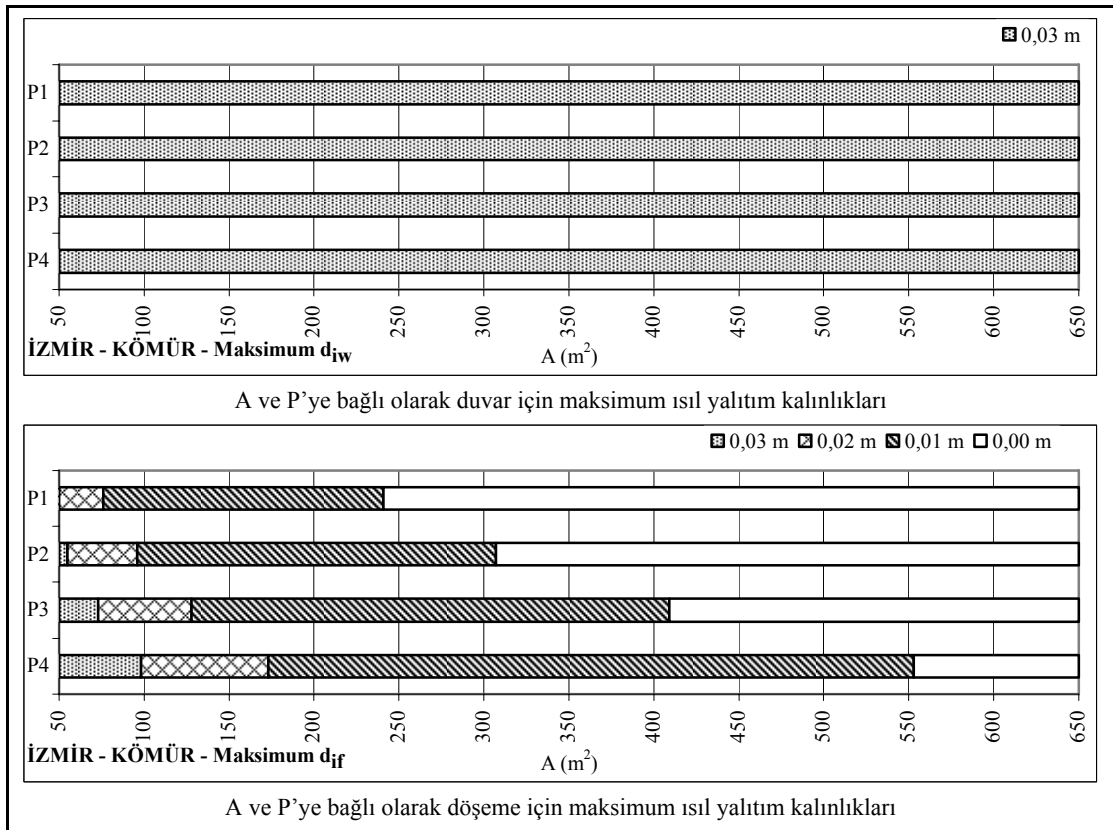
Şekil 5.4. İzmir ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



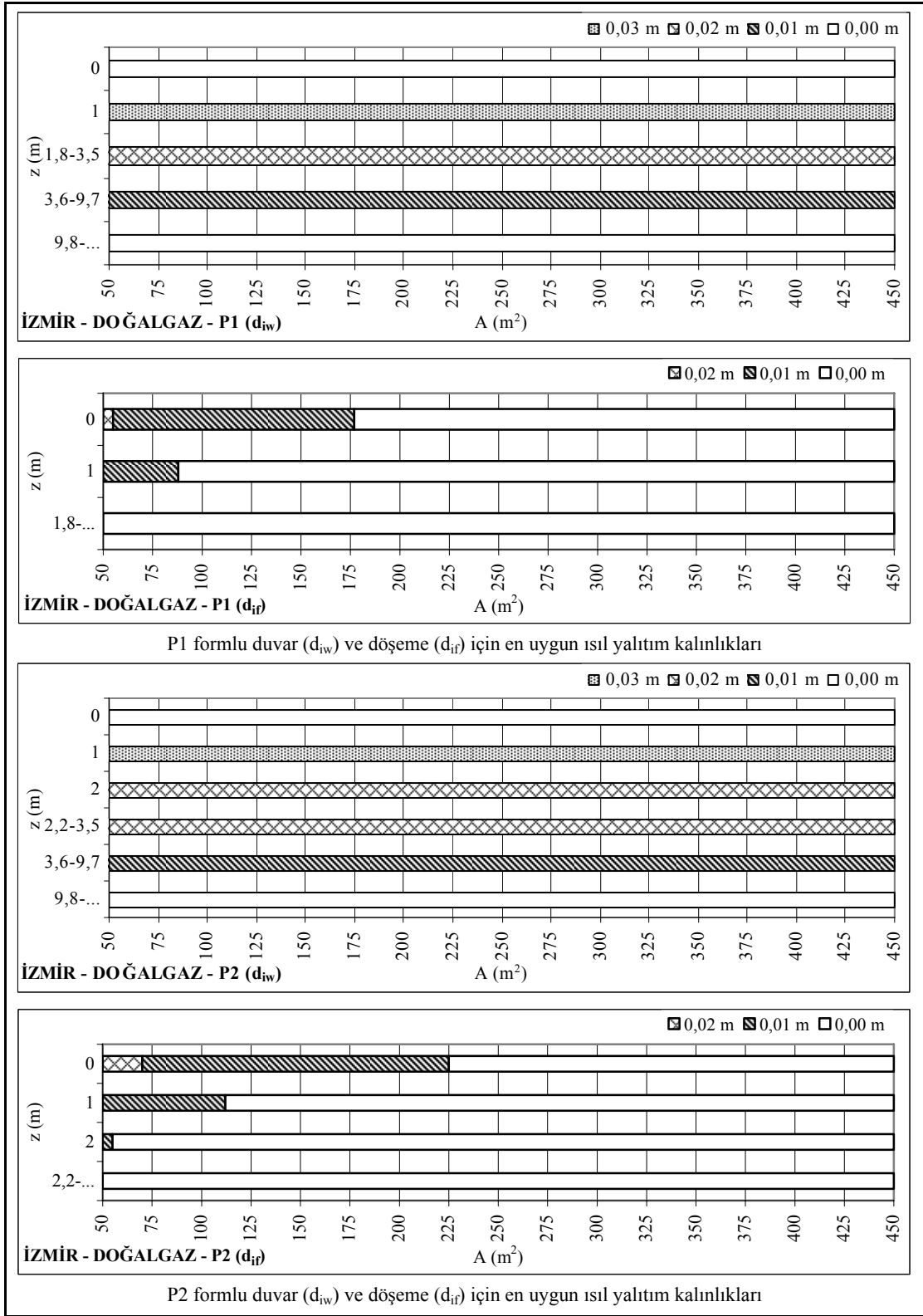
Şekil 5.4. (Devam) İzmir ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



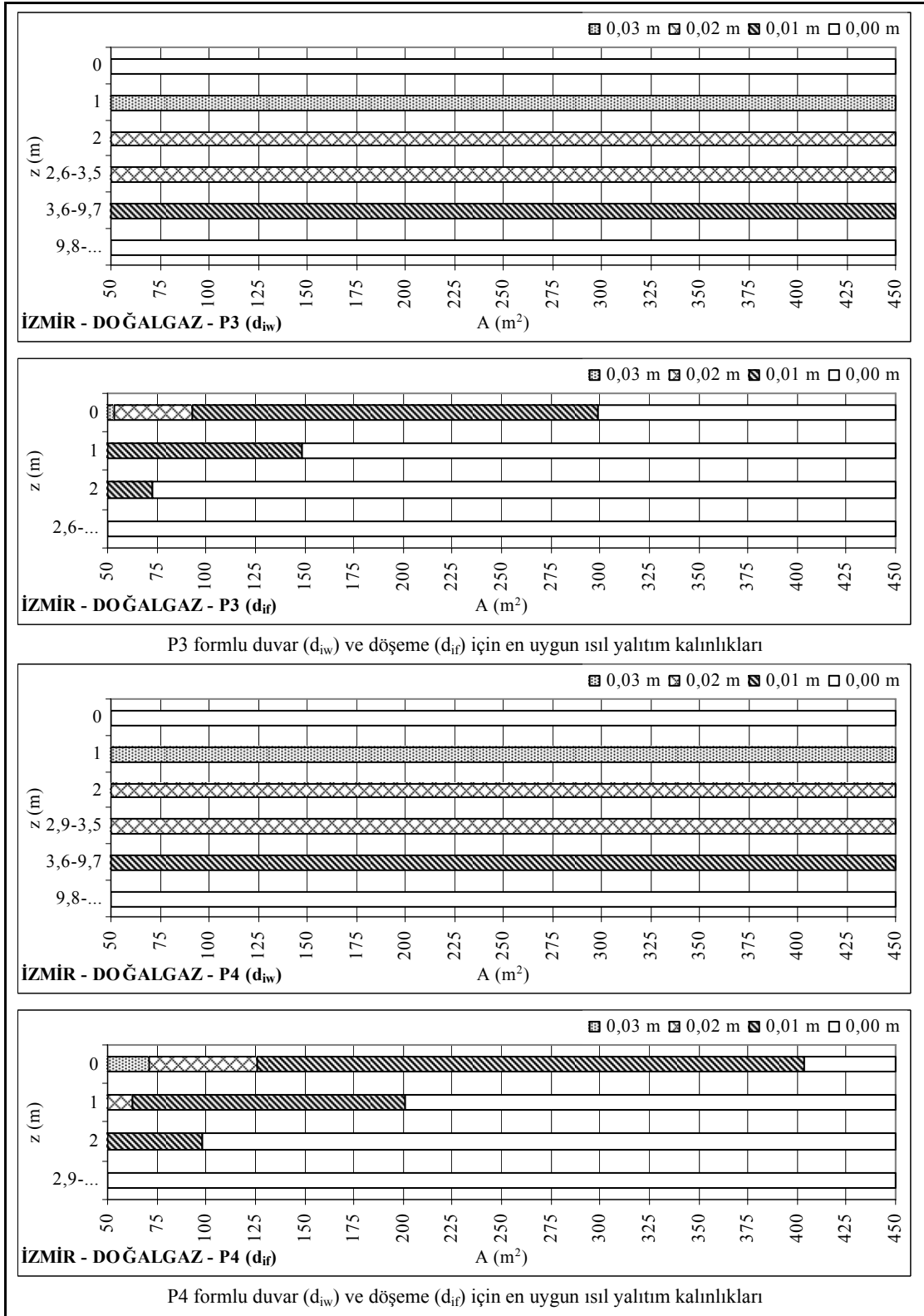
Şekil 5.5. İzmir ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



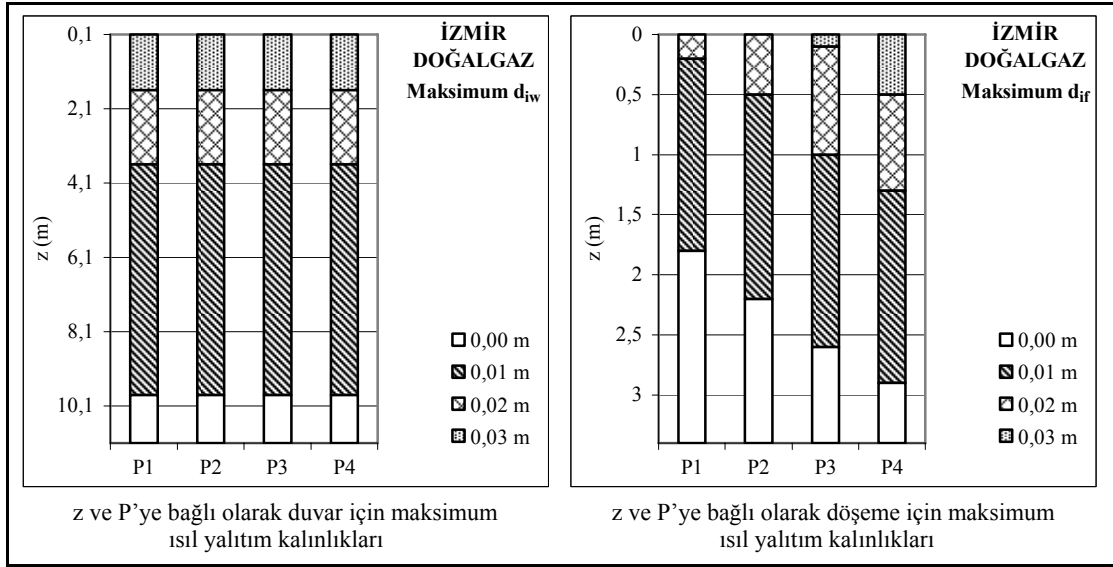
Şekil 5.6. İzmir ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



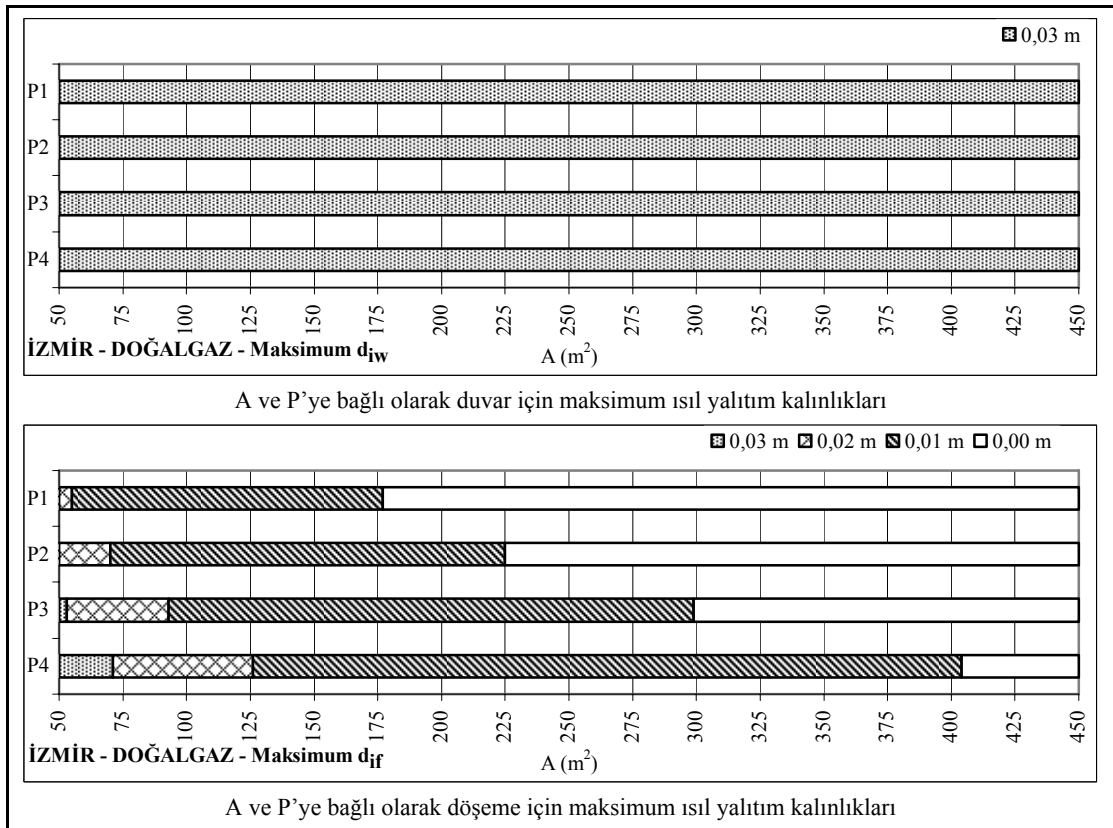
Şekil 5.7. İzmir ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



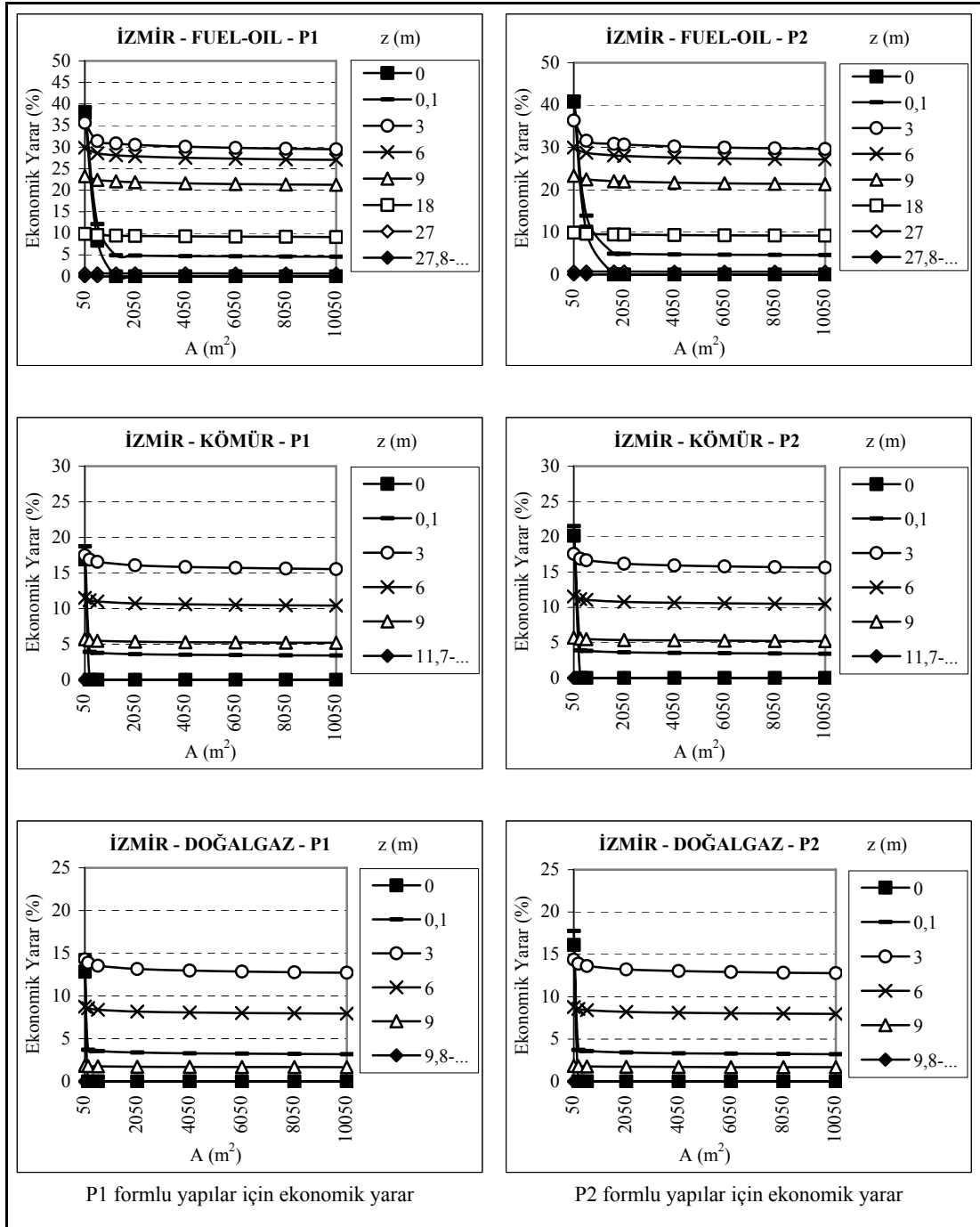
Şekil 5.7. (Devam) İzmir ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



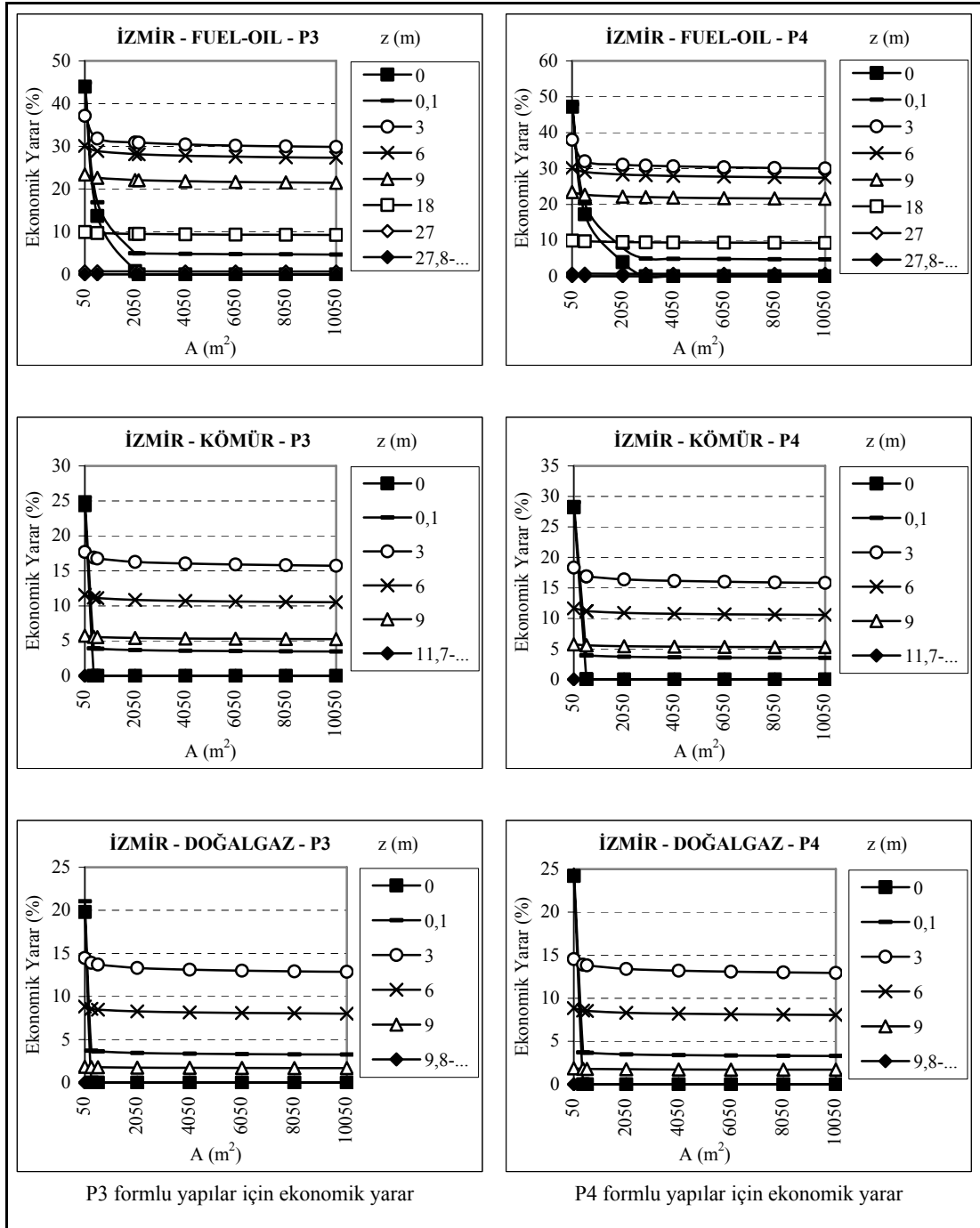
Şekil 5.8. İzmir ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.9. İzmir ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.10. İzmir ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar



Şekil 5.10. (Devam) İzmir ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

5.1.1. Duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ile ilgili bulgular

Şekillerde görüldüğü gibi, duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı, yapının z değeri arttıkça kademeli olarak azalmakta ve belirli derinlik değerlerinden sonra

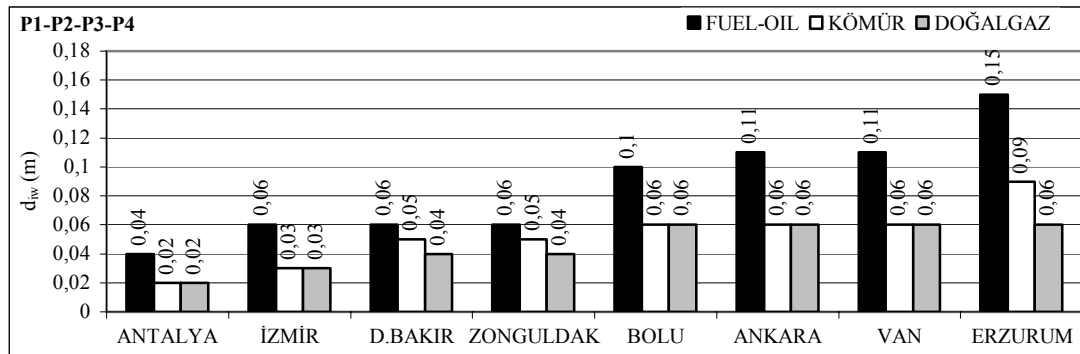
duvarda ısıtım kullanılmaması ekonomik yarar açısından en uygun çözüm olmaktadır. Isıtım kalınlığındaki azalmanın gerçekleştiği derinlik aralıklarının eşit büyüklükte olmadığı, 0,01m kalınlığındaki ısıtımın en uygun olduğu derinlik aralığının, diğerlerine oranla çok daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca, duvar için 0,07 m ve 0,08 m kalınlığındaki ısıtımın en uygun olduğu hiçbir derinlik aralığı olmadığı da tespit edilmiştir.

Ayrıca, şekillerde görüldüğü gibi, illere ve yakıt türlerine göre değişen sayıda özel durumu olan derinlikler dışında yapının A ve P değerlerinin, duvarda kullanılması gereken ısıtım kalınlığına bir etkisi olmamaktadır. Bu özel durumu olan derinliklerde, belirli bir A değerinden sonra duvarda kullanılması gereken ısıtım kalınlığında sadece 0,01 m değerinde bir azalma gerçekleşmekte ve sonraki tüm A değerleri için bu ısıtım kalınlığı geçerli olmaktadır. Duvarda kullanılması gereken ısıtım kalınlığında 0,01 m değerinde azalmanın gerçekleştiği döşeme alanı değeri, yapının P değeri arttıkça artmaktadır. Bu durum, bazı döşeme alanı değerleri için, ısıtım kalınlığındaki azalmanın gerçekleştiği derinlik aralığı değerlerinin en fazla 0,01 m kadar farklı olmasına yol açmaktadır.

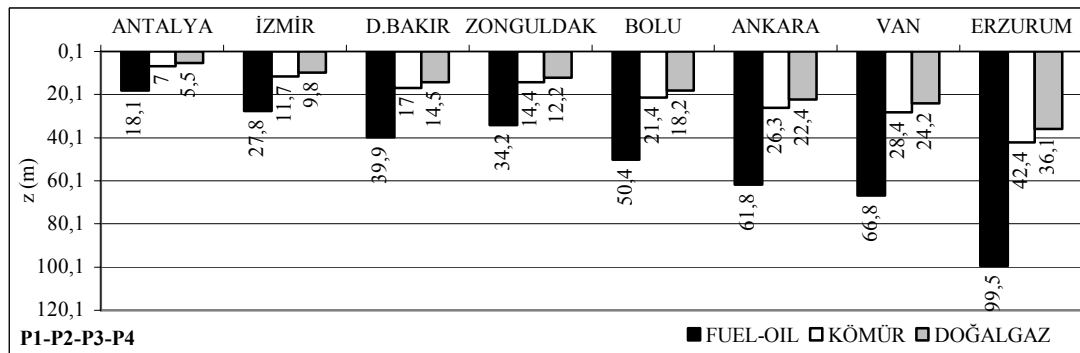
Antalya ili dışında tüm illerde yakıt türlerine göre değişen sayıda özel durumu olan derinlikler bulunmaktadır. Örneğin, İzmir ilinde tüm derinliklerde 0,1 m aralıklarla yapılan hesaplamalardan elde edilen verilere göre, yakıt türü fuel-oil olan yapılar için sadece 1 m, 1,1 m, 2,7 m ve 2,8 m derinliklerde, yakıt türü kömür olan yapılar için sadece 2,4 m derinliğinde, yakıt türü doğalgaz olan yapılar için sadece 1,5 m derinliğinde özel bir durum bulunmaktadır. En fazla özel durumu olan derinlik sayısının (59), iklim koşulları en sert il olan Erzurum'daki yakıt türü fuel-oil olan yapılar için olduğu tespit edilmiştir. Bu özel durumu olan derinlikler, tüm derinlikler dikkate alındığında sayıca çok az olduğu için, yapıların A ve P değerlerinin duvarda kullanılması gereken ısıtım kalınlığına bir etkisinin olmadığı genellemesi yapılabilir.

Duvarda kullanılması gereken ısıtım kalınlığı ve duvarda ısıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri, iklimsel koşullara ve yakıt

türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değerlerin, belirtilen değişkenlere bağlı olarak nasıl bir değişiklik gösterdiği Şekil 5.11 – 5.12’deki örnek hesaplamalarla ortaya konmuştur. Şekil 5.11’de verilen duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı değerleri, z değeri 0,1 m olan yapılara ait olduğu için, bu değerler aynı zamanda çalışma kapsamında duvarda olabilecek maksimum ısı yalıtım kalınlığı değerleridir. 0,1 m derinliği, Van ilindeki yakıt türü fuel-oil olan yapılar için özel durumu olan bir derinlik olduğu için elde edilen iki (0,12 ve 0,11 m) ısı yalıtım kalınlığı değerinden 0,12 m değeri, tüm döşeme alanı değerleri dikkate alındığında çok küçük bir döşeme alanı aralığı için geçerli olduğundan, Van ilindeki yakıt türü fuel-oil olan yapılar için ısı yalıtım kalınlığı değeri olarak 0,11 m değeri kullanılmıştır.



Şekil 5.11. Döşeme derinliği (z) değeri 0,1 m olan yapıların duvarı için illere ve yakıt türlerine bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.12. Tüm yapı döşeme alanı değerleri için illere ve yakıt türlerine bağlı olarak duvarda ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri

Şekil 5.11 – 5.12’de iller, yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklığına bağlı olarak en yüksek değere sahip olandan en düşük değere sahip olana doğru sıralanmıştır. İklim koşulları sertleştikçe; duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığında kademeli olarak, duvarda ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu derinlik aralığı değerlerinde sürekli bir artış gerçekleşmektedir. D.Bakır ilinin yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklığının, Zonguldak iline göre daha fazla olmasına rağmen duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığının bazı koşullarda, duvarda ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu derinlik aralığı değerlerinin ise her koşulda daha yüksek olmasının nedeni, D.Bakır ilindeki aylık ortalama zemin yüzeyi sıcaklıklarındaki değişim miktarının Zonguldak ilindekinden çok daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda, D.Bakır ilindeki yapılardan kararlı hal koşullarındaki ısı transferi daha düşük olmasına rağmen periyodik ısı transfer miktarındaki fazlalık, toplam ısı transfer miktarının Zonguldak ilindeki yapılardan fazla olmasına yol açmıştır. Bu nedenle, iklimsel koşullar değerlendirilirken sadece yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklıklarının dikkate alındığı bir değerlendirme yapılmamalı, diğer iklimsel parametreler de dikkate alınmalıdır.

İklim koşullarının sertliği açısından birbirine zıt iki uçta yer alan Antalya ile Erzurum illerindeki yapıların değerleri arasında, yakıt türüne bağlı olarak; duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı bağlamında %200 - %350, duvarda ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu derinlik aralığı değerleri bağlamında ise %450 - %556 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Aynı iklim bölgesinde yer alan illerdeki (Antalya-İzmir, D.Bakır-Zonguldak, Bolu-Ankara, Van-Erzurum) yapıların değerleri arasında da önemli farklar olduğu gözlemlenmektedir. Aynı iklim bölgesinde yer alan illerdeki yapıların değerleri arasında ise yakıt türüne bağlı olarak; duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı bağlamında %0 - %50, duvarda ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu derinlik aralığı değerleri bağlamında ise %17 - %78 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Şekil 5.11 – 5.12’de görüldüğü gibi, duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım

kalınlığı ile duvarda ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri, yakıt türüne göre de önemli oranda değişmektedir. Birim yakıt maliyeti, en düşük yakıt ısı değeri ve ısıtma sistemi verimi gibi yakıt özellikleri dikkate alındığında “toplam yakıt maliyeti” en yüksek olan yakıt türü fuel-oildir. Toplam yakıt maliyeti yüksek olan ikinci yakıt türü kömür, en düşük olan ise doğalgazdır. Yakıt türü fuel-oil olan yapılar için, duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı değerleri daha yüksektir. Yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapılar için duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ise, bazı koşullarda birbirine eşit, bazı koşullarda ise yakıt türü kömür olan yapılar için daha fazladır. İklimsel koşullara bağlı olarak duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı bağlamında; yakıt türü fuel-oil ve kömür olan yapılar arasında %20 - %100, yakıt türü fuel-oil ve doğalgaz olan yapılar arasında %50 - %150, yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapılar arasında ise %0 - %50 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan yakıt türünün kullanıldığı yapılar için duvarda ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri de artmaktadır. Duvarda ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri bağlamında, iklimsel koşullara bağlı olarak; yakıt türü fuel-oil ve kömür olan yapılar arasında %135 - %159, yakıt türü fuel-oil ve doğalgaz olan yapılar arasında %175 - %229, yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapılar arasında ise %17 - %27 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır. İklim koşulları sertleştikçe yakıt türleri arasındaki yüzdelik fark bazı istisnalar dışında azalmaktadır.

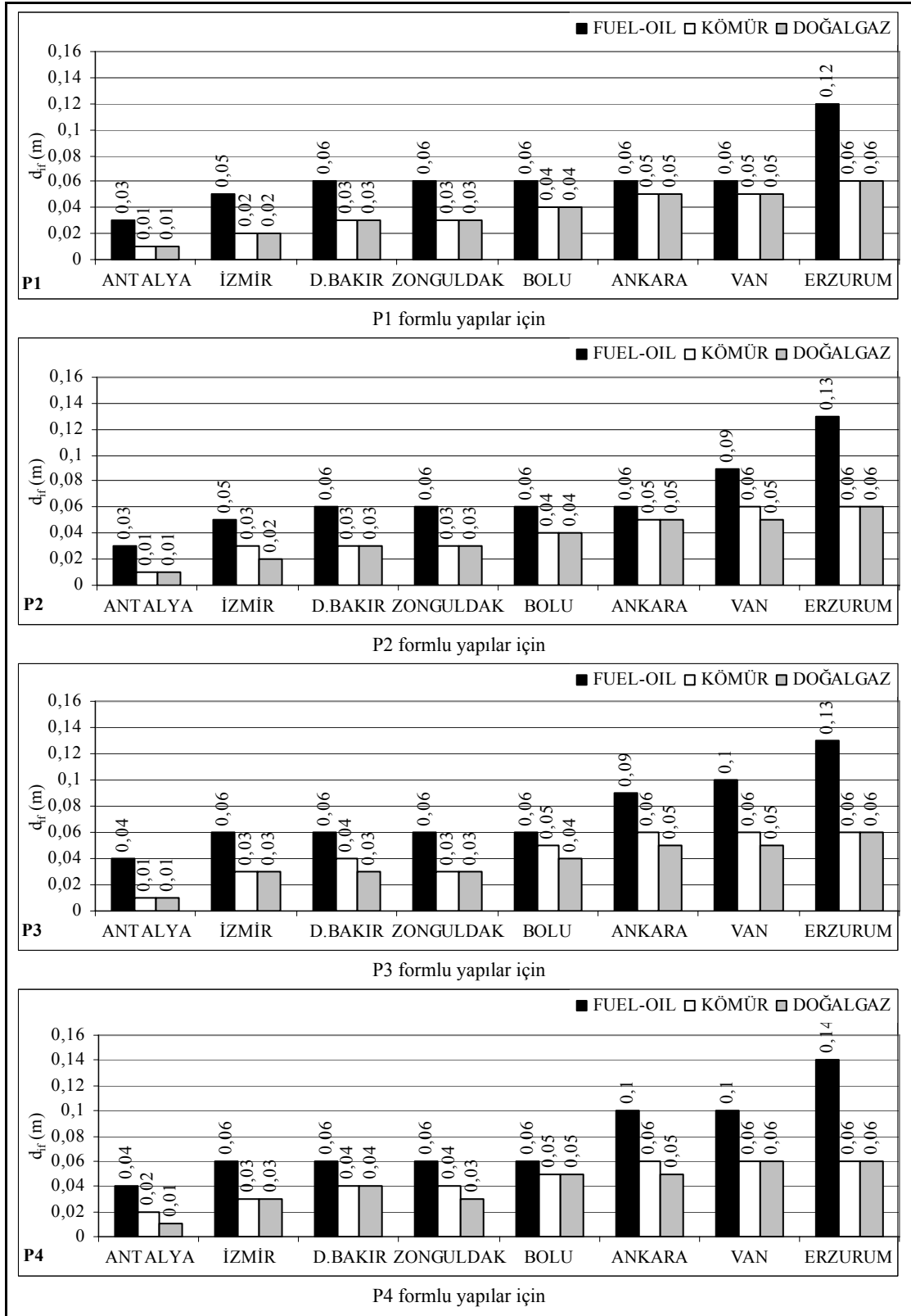
Kömür ile doğalgazın toplam yakıt maliyetleri birbirine yakın olduğu için bu iki yakıt türünün kullanıldığı yapılar için elde edilen değerler de birbirine yakındır. Fuel-oil kullanılan yapılar için elde edilen değerlerin bu iki yakıt türünün kullanıldığı yapılarınkine göre önemli oranda yüksek olduğu görülmektedir.

5.1.2. Döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ile ilgili bulgular

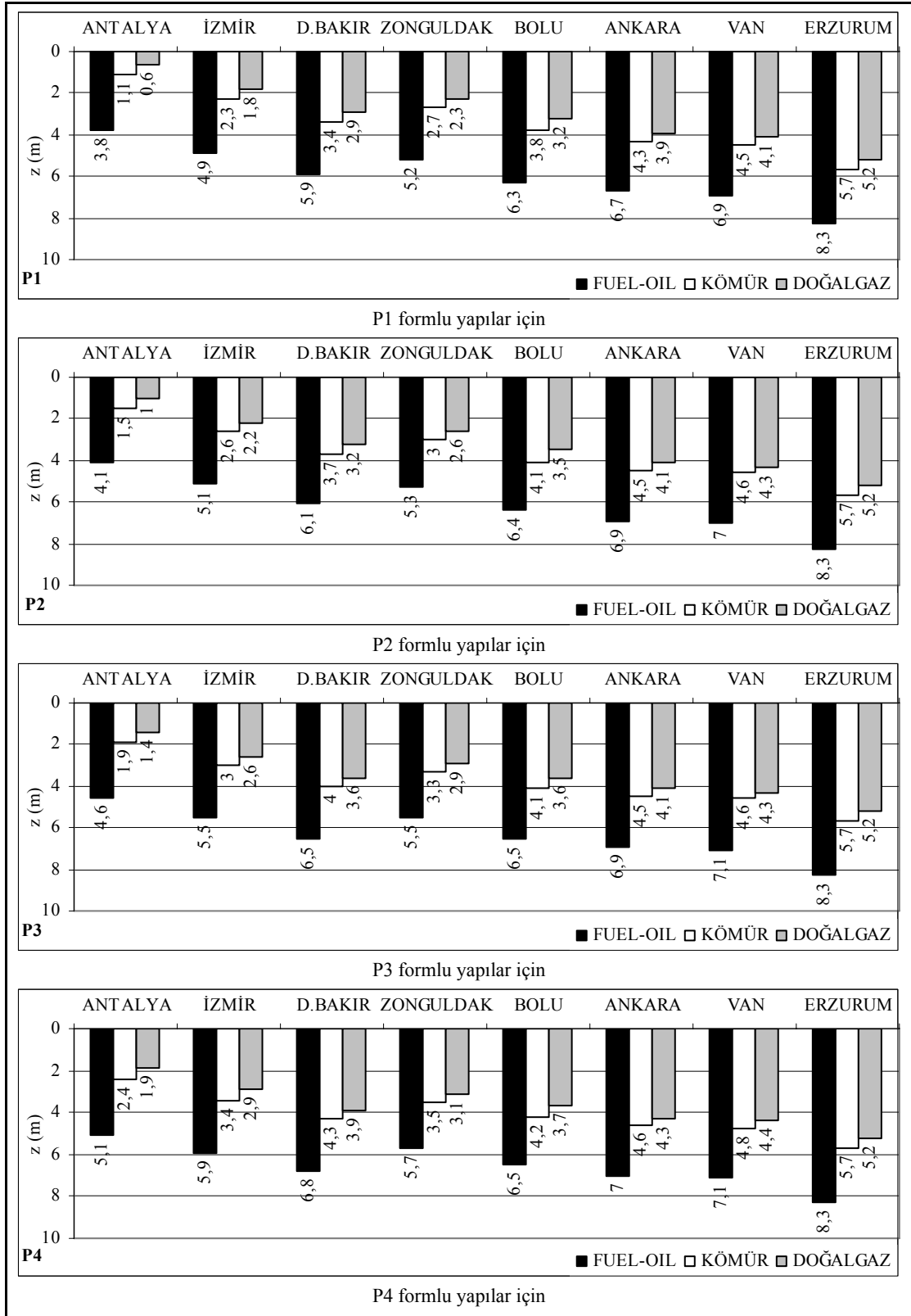
Döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ise, yapının hem A hem de z değeri arttıkça kademeli olarak azalmakta (Erzurum ilinde yakıt türü fuel-oil olan

yapıların çok küçük bir değer aralığı dışında) ve belirli döşeme alanı ve derinlik değerlerinden sonra döşemede ısı yalıtım kullanılmaması ekonomik yarar açısından en uygun çözümdür. Döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu döşeme alanı aralığı, derinlik arttıkça azalmakta ve belirli bir derinlik değerinden sonra hiçbir döşeme alanı değeri için ısı yalıtım kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Benzer şekilde, döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı ise döşeme alanı büyüdükçe kademeli olarak azalmakta ve belirli bir döşeme alanı değerinden sonra hiçbir derinlik değeri için ısı yalıtım kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Isı yalıtım kalınlığındaki azalmanın gerçekleştiği döşeme alanı aralıklarının eşit büyüklükte olmadığı, 0,01 m kalınlığındaki ısı yalıtımın en uygun olduğu döşeme alanı aralıklarının, diğerlerine oranla daha büyük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, ısı yalıtım kalınlığındaki azalmanın gerçekleştiği derinlik aralıkları da eşit büyüklükte değildir. Ancak, herhangi bir kalınlıktaki ısı yalıtımın en uygun olduğu derinlik aralığının her koşulda diğerlerine oranla daha büyük olduğu bir durum söz konusu değildir. Ayrıca, duvar için olduğu gibi döşeme için de 0,07 m ve 0,08 m kalınlığındaki ısı yalıtımın en uygun olduğu hiçbir döşeme alanı ve derinlik aralığı olmadığı tespit edilmiştir.

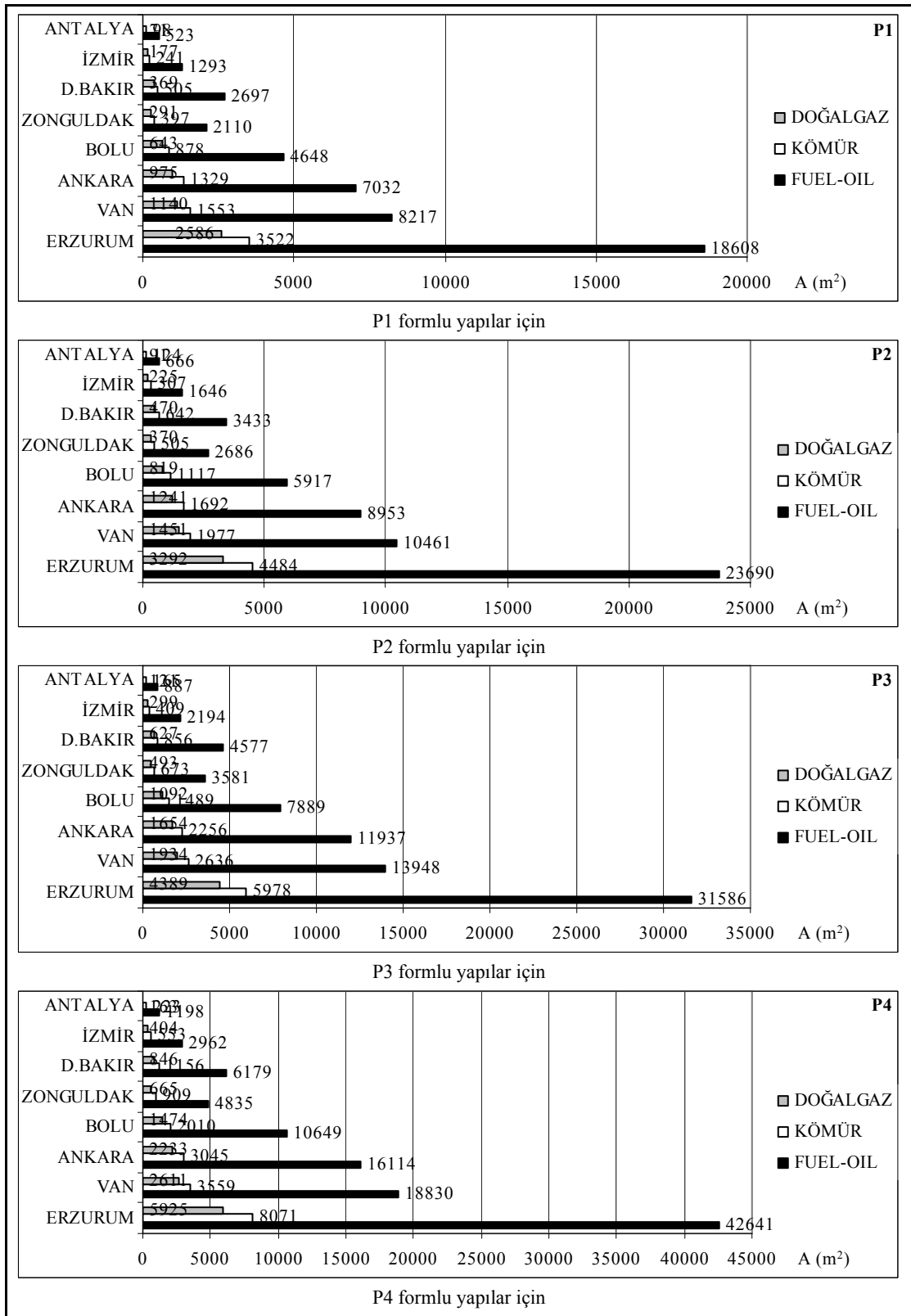
Döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ve döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerleri, iklimsel koşullara, yakıt türüne ve yapı formuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değerlerin, belirtilen değişkenlere bağlı olarak nasıl bir değişiklik gösterdiği Şekil 5.13 – 5.15’deki örnek hesaplamalarla ortaya konmuştur. Elde edilen değerler, A değeri 50 m² ve z değeri 0 m olan yapılara ait olduğu için, bu değerler aynı zamanda çalışma kapsamında döşemede olabilecek maksimum değerlerdir.



Şekil 5.13. Döşeme alanı (A) değeri 50 m^2 ve döşeme derinliği (z) değeri 0 m olan yapıların döşemesi için illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları



Şekil 5.14. Döşeme alanı (A) değeri 50 m^2 olan yapılar için illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri



Şekil 5.15. Döşeme derinliği (z) değeri 0 m olan yapılar için illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu döşeme alanı aralığı değerleri

Şekil 5.13 - 5.15’de görüldüğü gibi, döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı, iklim koşulları sertleştikçe kademeli olarak artmaktadır. Ayrıca, iklim koşullarının sertleşmesi ile birlikte döşemede ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerlerinde sürekli bir artış gerçekleşmektedir. D.Bakır ilinin yıllık ortalama zemin yüzeyi sıcaklığının, Zonguldak iline göre daha fazla olmasına rağmen döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığının bazı koşullarda, döşemede ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerlerinin ise her koşulda daha yüksek olmasının nedeni daha önce açıklanmıştır (Bkz. Şekil 5.11 - 5.12’nin değerlendirmesi).

İklim koşullarının sertliği açısından birbirine zıt iki uçta yer alan Antalya ile Erzurum illerindeki yapıların değerleri arasında, yakıt türüne ve yapı formuna bağlı olarak; döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı bağlamında %225 - %500, döşemede ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu derinlik aralığı değerleri bağlamında %63 - %767 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır. Döşemede ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu döşeme alanı aralığı değerleri bağlamında ise, her koşulda yaklaşık olarak %3500 oranında bir fark bulunmaktadır.

Aynı iklim bölgesinde yer alan illerdeki (Antalya-İzmir, D.Bakır-Zonguldak, Bolu-Ankara, Van-Erzurum) yapıların değerleri arasında da önemli farklar olduğu gözlemlenmektedir. Aynı iklim bölgesinde yer alan illerdeki yapıların değerleri arasında ise yakıt türüne ve yapı formuna bağlı olarak; döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı bağlamında %0 - %200, döşemede ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu derinlik aralığı değerleri bağlamında %6 - %200 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır. Döşemede ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu döşeme alanı aralığı değerleri bağlamında ise, iklim bölgesine bağlı olarak %27 - %147 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Şekil 5.13 - 5.15’de görüldüğü gibi, döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ile döşemede ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerleri, yakıt türüne göre de önemli oranda değişmektedir.

Toplam yakıt maliyeti en yüksek yakıt türü olan fuel-oilin kullanıldığı yapılar için döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı, toplam yakıt maliyeti yüksek ikinci yakıt türü olan kömür ve en düşük olan doğalgazın kullanıldığı yapılarınkine göre daha yüksektir. Yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapılar için döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ise, bazı koşullarda birbirine eşit, bazı koşullarda ise yakıt türü kömür olan yapılar için daha fazladır. İklimsel koşullara ve yapı formuna bağlı olarak döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı bağlamında; yakıt türü fuel-oil ve kömür olan yapılar arasında %20 - %300, yakıt türü fuel-oil ve doğalgaz olan yapılar arasında %20 - %300, yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapılar arasında ise %0 - %100 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan yakıt türünün kullanıldığı yapılar için döşemede ısı yalıtım kullanılması gereken hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerleri de artmaktadır. Döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri bağlamında, iklim koşulları ve yapı formuna bağlı olarak; yakıt türü fuel-oil ve kömür olan yapılar arasında %46 - %245, yakıt türü fuel-oil ve doğalgaz olan yapılar arasında %60 - %533, yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapılar arasında ise %7 - %83 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır. İklim koşulları sertleştikçe ve yapının “P” değeri arttıkça yakıt türleri arasındaki yüzdelik fark bazı istisnalar dışında azalmaktadır. Döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu döşeme aralığı değerleri bağlamında ise, yakıt türü fuel-oil ve kömür olan yapılar arasında %428 - %438, yakıt türü fuel-oil ve doğalgaz olan yapılar arasında %620 - %637, yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapılar arasında ise %36 - %38 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Kömür ile doğalgazın toplam yakıt maliyetleri birbirine yakın olduğu için bu iki yakıt türünün kullanıldığı yapılar için elde edilen değerler de birbirine yakındır. Fuel-oil kullanılan yapılar için elde edilen değerlerin bu iki yakıt türünün kullanıldığı yapılarınkine göre önemli oranda yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 5.13 - 5.15’de görüldüğü gibi, yapının P değerinin de döşemede kullanılması

gereken ısı yalıtım kalınlığı ile döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerlerine önemli bir etkisi vardır. Yapının P değeri arttıkça genellikle yapının döşemesinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı da kademeli olarak artmaktadır. P değerinin artması bu yapı için daha büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açan yapı formları tercih edilmesiyle gerçekleşir. Bu bağlamda, en küçük döşeme çevre uzunluğuna yol açan P1 formu yapılar ile en büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açan P4 formu yapılar karşılaştırıldığında, P4 formu yapıların döşemesinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığının genellikle P1 formu yapıların döşemesinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığından daha fazla olduğu görülmektedir. Döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı bağlamında, P1 ve P4 formu yapıların değerleri arasında, iklim koşullarına ve yakıt türüne bağlı olarak %0 - %100 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Ayrıca, daha büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açan yapı formları için döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerleri artmaktadır. Döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerleri bağlamında, P1 ve P4 formu yapıların değerleri arasında iklim koşullarına ve yakıt türüne bağlı olarak %0 - %217 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır. İklim koşulları sertleştikçe P1 ile P4 formu yapılar arasındaki yüzdeler azalmaktadır. Benzer şekilde, toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan yakıt türleri için de P1 ile P4 formu yapılar arasındaki yüzdeler daha küçüktür. İklim koşulları en sert il olan Erzurum'daki yapıların formu ve bu yapılarda kullanılacak yakıt türü, döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerlerini etkilememektedir. Bu bağlamda, bu konuda Erzurum ilinin özel bir durumu vardır. Döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu döşeme alanı aralığı değerleri bağlamında ise, P1 ve P4 formu yapıların değerleri arasında her koşulda yaklaşık olarak %129 oranında bir fark bulunmaktadır.

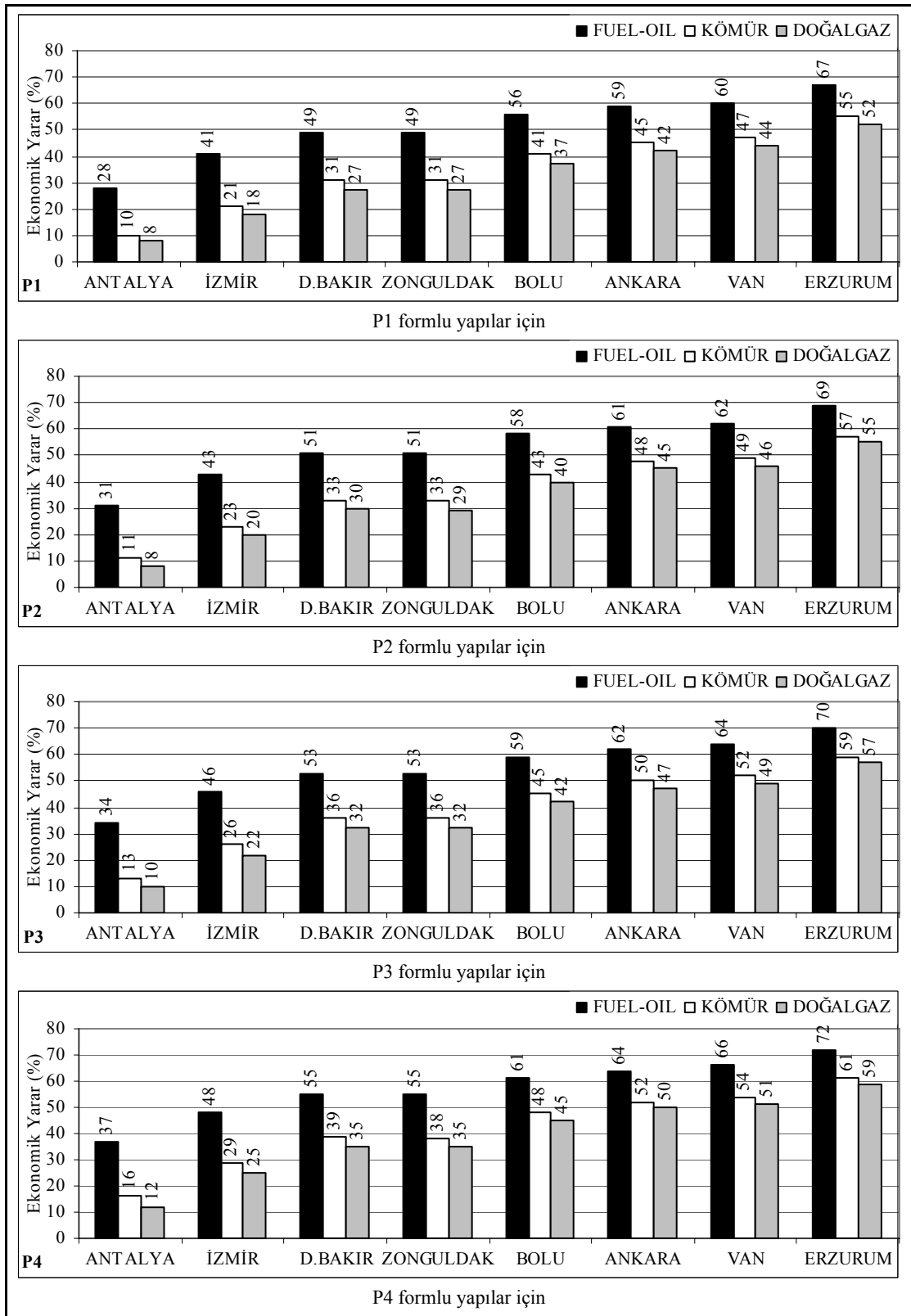
5.1.3. Ekonomik yarar ile ilgili bulgular

Yapıların zeminle temas eden duvar ve döşemesinde kullanılacak en uygun ısı

yalıtım kalınlıkları ile elde edilecek ekonomik yarar ise, farklılıklar göstermektedir. Bodrum katlı yapılarda ($z>0$), duvarda ısı yalıtım kullanılmamasının ekonomik yarar açısından en uygun çözüm olduğu derinlik değerine kadar her bir derinlik değerinde döşeme alanı değeri arttıkça elde edilecek ekonomik yarar kademeli olarak düşmesine rağmen hiçbir döşeme alanı değeri için sıfır değerine kadar düşmemektedir. Döşeme alanı değeri arttıkça, ekonomik yarardaki düşüş miktarı azalmakta, düşüşün gerçekleştiği döşeme alanı aralığı değerleri ise artmaktadır. Döşemenin bulunduğu derinlik değeri arttıkça bu olayın daha etkin olarak gerçekleştiği gözlenmektedir. Bodrum katı olmayan yapılarda ($z=0$) elde edilecek ekonomik yarar ise döşemede ısı yalıtım kullanılmamasının ekonomik yarar açısından en uygun çözüm olduğu döşeme alanı değerine kadar kademeli olarak azalarak sıfır değerine düşmektedir. Bu farklılık, bodrum katı olmayan yapılarda duvar yalıtımının olmamasından kaynaklanmaktadır.

Her bir derinlikteki en yüksek ekonomik yarar değeri, minimum döşeme alanı olarak seçilen 50 m^2 değerinde elde edilmektedir. Her bir döşeme alanı değeri için en yüksek ekonomik yararın elde edildiği derinlik değeri ise değişebilmektedir. Ekonomik yarar, her bir döşeme alanı değerine göre değişebilen bir derinlik değerine kadar artmakta, bu derinlik değerinden duvarda ısı yalıtım kullanılmamasının ekonomik yarar açısından en uygun çözüm olduğu derinlik değerine kadar kademeli olarak azalarak sıfır değerine düşmektedir.

Şekil 5.16'da, illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak, döşeme alanı değeri 50 m^2 olan yapılarda elde edilecek en yüksek ekonomik yarar değerleri verilmiştir. Böylece, elde edilecek ekonomik yararın; illere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak nasıl değiştiği de görülebilmektedir. Elde edilen değerler, A değeri 50 m^2 olan yapılara ait olduğu için, bu değerler aynı zamanda çalışma kapsamındaki yapılarda olabilecek en yüksek değerlerdir.



Şekil 5.16. İllere, yakıt türlerine ve yapı formlarına bağlı olarak, döşeme alanı (A) değeri 50 m² olan yapılarda elde edilecek ekonomik yarar değerleri

Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, iklim koşulları daha sert olan illerdeki yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar daha fazla olmaktadır. İklim koşullarının sertliği açısından birbirine zıt iki uçta yer alan Antalya ile Erzurum illerindeki yapıların değerleri arasında, yakıt türüne ve yapı formuna bağlı olarak %35 - %47; aynı iklim bölgesinde yer alan illerdeki yapıların değerleri arasında ise yakıt türüne ve yapı formuna bağlı olarak %0 - %13 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan yakıt türünün kullanıldığı yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar da daha fazla olmaktadır. Bu bağlamda, iklim koşulları ve yapı formuna bağlı olarak; yakıt türü fuel-oil ve kömür olan yapıların değerleri arasında %11 - %21, yakıt türü fuel-oil ve doğalgaz olan yapıların değerleri arasında %13 - %25, yakıt türü kömür ve doğalgaz olan yapıların değerleri arasında ise %2 - %4 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır. Toplam yakıt maliyeti en yüksek yakıt türü olan fuel-oilin kullanıldığı yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar daha fazla olmaktadır. Kömür ile doğalgazın toplam yakıt maliyetleri birbirine yakın olduğu için bu iki yakıt türünün kullanıldığı yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar değerlerinin ise birbirine yakın olduğu görülmektedir.

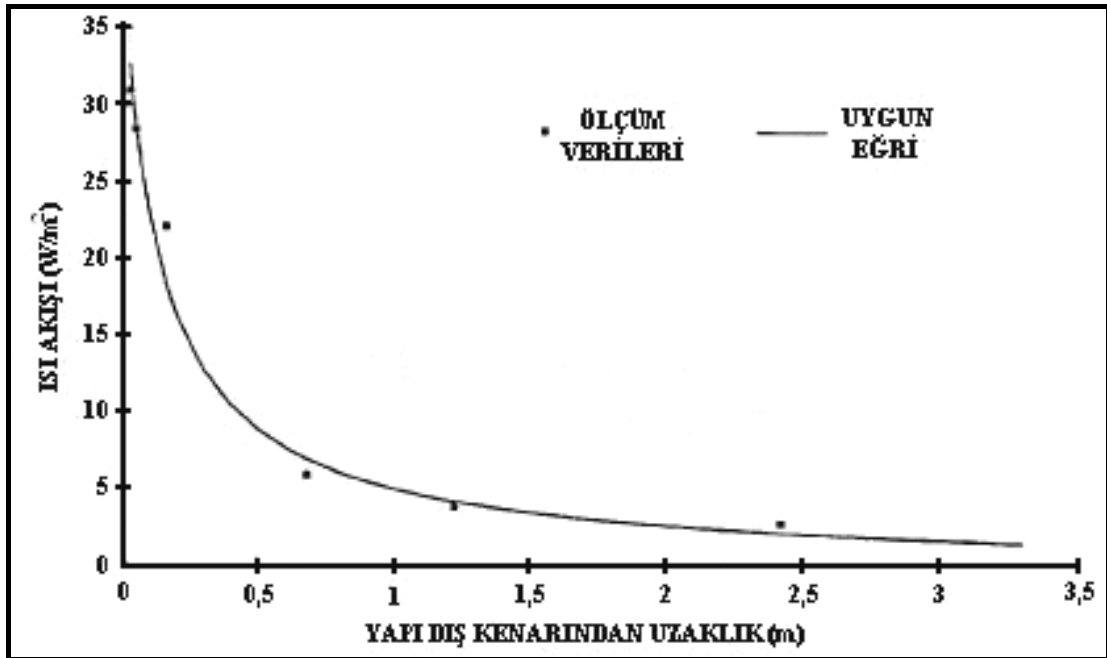
Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, daha büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açan formlara sahip yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar da daha fazla olmaktadır. Bu bağlamda, en küçük döşeme çevre uzunluğuna yol açan P1 formlu yapılar ile en büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açan P4 formlu yapıların değerleri arasında, iklim koşulları ve yakıt türüne bağlı olarak %4 - %9 arasında değişen oranlarda farklar bulunmaktadır.

5.2. Tartışma

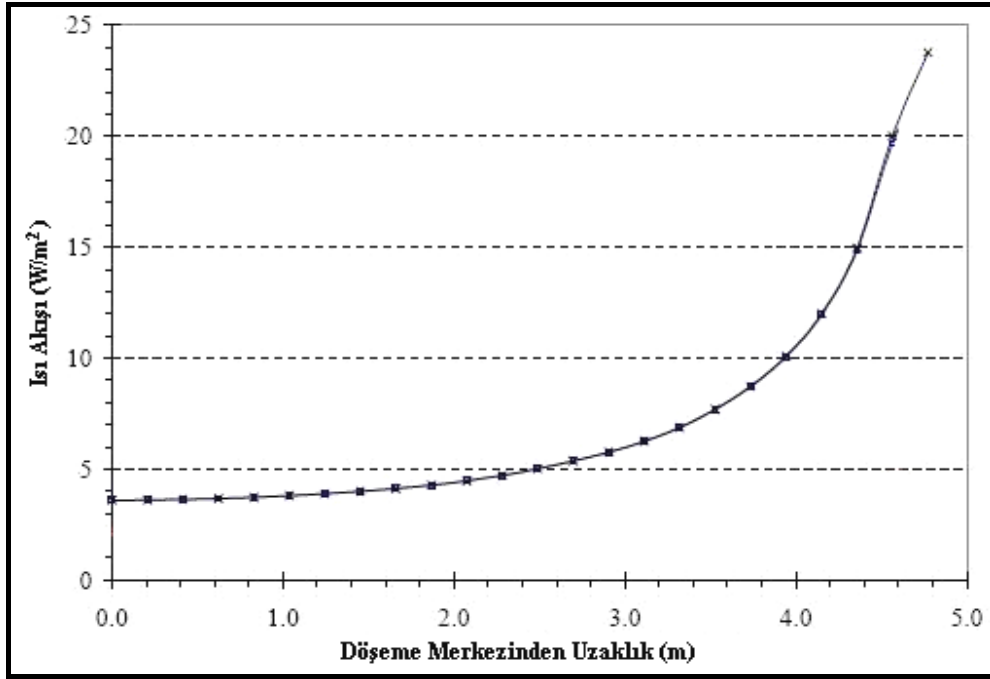
Türkiye'de zeminle temas eden yapı kabuğu için daha önce bu amaçla yapılan bir

çalışmaya rastlanılmadığı için, geliştirilen modelin kullanılması ile elde edilen sonuçları Türkiye'deki diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak mümkün olmamıştır. Ancak, çalışmada ele alınan değişkenlere (zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özellikleri, iklim koşulları, yakıt türü) göre elde edilen sonuçların, literatürde yer alan diğer çalışmalarla uyumluluğu kontrol edilmiştir.

Zeminle temas eden yapı kabuğu üzerinden gerçekleşen ısı transferinin, zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özelliklerine göre nasıl değiştiği ile ilgili literatürde yer alan üç çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 5.17 – Şekil 5.19'da verilmiştir. Şekil 5.17'de, bodrum katı olmayan bir yapının zeminle temas eden döşemesi üzerinden gerçekleşen ısı akışının, yapı dış kenarından uzaklığa bağlı olarak, Şekil 5.18'de ise döşeme merkezinden uzaklığa bağlı olarak nasıl değiştiği verilmiştir. Şekil 5.17'de verilen değerler, bir alan çalışmasından elde edilen gerçek ölçümlerdir. Şekil 5.18'de verilen değerler ise doğrulaması (validation) yapılmış bir ısı ve nem transferi hesaplama yönteminden elde edilen değerlerdir.

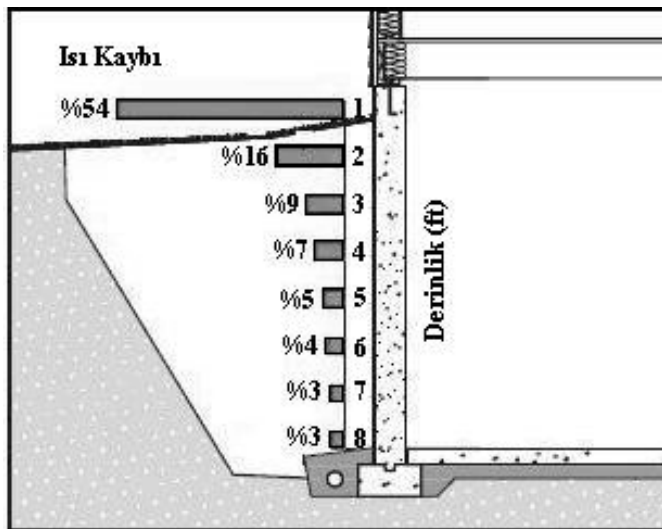


Şekil 5.17. Bodrum katı olmayan bir yapının zeminle temas eden döşemesi üzerinden gerçekleşen ısı akışının, yapı dış kenarından uzaklığa bağlı olarak değişimi [92]



Şekil 5.18. Bodrum katı olmayan bir yapının zeminle temas eden döşemesi üzerinden gerçekleşen ısı akışının, döşeme merkezinden uzaklığa bağlı olarak değişimi [28]

Şekil 5.19'da ise, bodrum katlı bir yapının duvarları üzerinden gerçekleşen ısı kaybının derinliğe göre nasıl değiştiği verilmiştir. Şekilde verilen değerler, Kansas'ta yapılan alan çalışmalarından elde edilen gerçek ölçümlerdir.



Şekil 5.19. Bodrum katlı bir yapının duvarları üzerinden gerçekleşen ısı kaybının derinliğe göre değişimi [49]

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de görüldüğü gibi, zeminle temas eden döşemelerin yapı dış kenarına yakın olan kısımları üzerinden gerçekleşen ısı akışı ile merkeze yakın olan kısımları üzerinden gerçekleşen ısı akışı arasında çok büyük farklar bulunmaktadır. Döşeme üzerinden gerçekleşen ısı akışı, yapı dış kenarından merkeze doğru gidildikçe azalmaktadır. Zeminle temas eden döşeme alanı (A) büyüdükçe, ısı akışındaki artış miktarı azalmaktadır. Bu nedenle, döşeme alanı büyüdükçe, ekonomik yarar açısından döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığının azalması gerekmektedir.

Şekil 5.19’da ise, zeminle temas eden duvarların zemin yüzeyine yakın kısımları üzerinden gerçekleşen ısı kaybı ile zemin yüzeyinden uzak kısımları üzerinden gerçekleşen ısı kaybı arasında önemli farklar olduğu görülmektedir. Duvarlar üzerinden gerçekleşen ısı kaybı, derinlik arttıkça azalmaktadır. Yapının zeminle temas eden döşemesinin zemin yüzeyine göre derinliği (z) arttıkça, ısı kaybındaki artış miktarı azalmaktadır. Bu nedenle, z değeri arttıkça, ekonomik yarar açısından duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığının azalması gerekmektedir. Aynı durum zeminle temas eden döşemeler için de geçerlidir.

Bu verilerden şu sonuç da çıkmaktadır: Yapı için daha büyük döşeme çevre uzunluğuna (P) yol açan bir form kullanıldığında, döşeme alanı değişmemesine rağmen yapı dış kenarına yakın olan döşeme kısmı artacağı için, döşemeden daha fazla ısı kaybı gerçekleşecek ve böylece ekonomik yarar açısından döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı da artacaktır.

İklim koşulları sertleştikçe veya yapıda toplam yakıt maliyeti daha yüksek bir yakıt türü kullanıldığında, yapı kabuğunda daha kalın ısı yalıtım kullanılması gerektiği ve bu koşullarda elde edilecek ekonomik yararın daha fazla olacağı literatürdeki birçok çalışmada yer almaktadır [7, 9, 15-16, 19, 22-24].

Bu bağlamda, geliştirilen modelin kullanılması ile elde edilen sonuçların (Bkz. Bölüm 5.1), literatürde yer alan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

Geliştirilen model, ısı yalıtımın;

- yapının zeminle temas eden kabuğunun geometrik özellikleri,
- yapının bulunduğu yerin iklimsel koşulları,
- yapıda kullanılacak yakıt ile ilgili özellikler,
- yapının temas ettiği zeminin ısı özellikleri,
- yapının zeminle temas eden kabuk bileşenlerinin ısı özellikleri ve
- yapıda kullanılacak ısı yalıtımının birim maliyetine

bağlı olarak bu yapının zeminle temas eden kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde hangi kalınlıklarda kullanılmasının ekonomik yarar açısından en uygun olacağını (diğer bir ifade ile yapının zeminden kaynaklanan toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayacağını) belirlenmesinde kullanılabilecek bir optimizasyon modelidir.

Model, zeminle temas eden yapı kabuğu için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlık seçeneğinin belirlenebilmesi için geliştirilmesine rağmen aşağıda belirtilen amaçlar için de kullanılabilir:

1. Tasarımcı, yapının zeminle temas eden kabuğu için belirlediği alternatif geometriler içinden toplam ısıtma maliyeti açısından en uygun olan geometriyi belirlemek için modeli kullanabilir. Bu amaçla her bir alternatif kabuk geometrisinin kullanılması ile gerçekleşecek toplam ısıtma maliyeti değerleri model kullanılarak belirlenir. Toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayan kabuk geometrisi, alternatif kabuk geometrileri içinden en uygunu olacaktır.

2. Zeminle temas eden yapı kabuğu için farklı konstrüksiyon seçenekleri bulunmaktadır. Tasarımcı, modeli kullanarak alternatif konstrüksiyonlar içinden toplam ısıtma maliyeti açısından en uygun olan konstrüksiyonu belirleyebilir. Bu bağlamda, farklı ısı yalıtım malzemelerinin kullanıldığı konstrüksiyonlar da sınanabilir. Bu amaçla her bir alternatif konstrüksiyonun kullanılması ile gerçekleşecek toplam ısıtma maliyeti değerleri belirlenir. Toplam ısıtma maliyetinin en düşük olmasını sağlayan konstrüksiyon, alternatif konstrüksiyonlar içinden en uygunu olacaktır.

Geliştirilen modelin özellikleri ise şunlardır:

- Model, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunmaktadır. Bu amaçla, modelde, hem bodrum katlı hem de bodrum katı olmayan yapıların zeminle temas eden kabuğunun tüm geometrik özellikleri için hesap olanağı sunan bir hesaplama yöntemi (ISO 13370) kullanılmaktadır. Ancak, model, bir kısmında bodrum kat, diğer kısmında bodrum kat olmayan yapıları kapsamamaktadır. Literatürde de, bu tür geometrik konfigürasyonların henüz yeterince çalışılmadığı görülmektedir. Buna rağmen, bu tür geometrik konfigürasyonlar için, model kullanılarak yaklaşık bir değerlendirme yapılabilmektedir (Bkz. Bölüm 3.4.1).
- Model, zeminle temas eden yapı kabuğu için, sadece ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlık seçenekleri içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, modelin, ürün standardizasyonu açısından kabul edilebilirliği olan ısı yalıtım kalınlıklarının (0,01 m aralıklı 0,01-0,20 m arası tüm ısı yalıtım kalınlıklarının), zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenleri için, ısı yalıtım kalınlığının zeminle temas eden yapı kabuğu yüzeyi boyunca değişmediği ısı yalıtım konfigürasyonları kapsamındaki tüm olası eşleşmelerini kapsayan “ısı yalıtım kalınlık seçenekleri” bulunmaktadır.

Modelde, zeminle temas eden yapı kabuğu için, bu ısı yalıtım kalınlık seçenekleri

içinden ekonomik yarar açısından en uygununun seçilebilmesine olanak tanıyan bir optimizasyon prosedürü (optimizasyon prosedürlerinden “arama yöntemleri”ne özgü bir prosedür) kullanılmaktadır. Bu nedenle, modelin kullanılması ile elde edilecek ısı yalıtım kalınlıkları, piyasada bulunan veya üretimi standardizasyon açısından kabul edilebilir kalınlıklardır. Bu özellik, daha önce geliştirilen hiçbir optimizasyon modelinde bulunmamaktadır.

- Modelden pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede, doğru ve güvenilir sonuç alınabilmektedir.

Modelde, toplam ısıtma maliyetinin hesaplanmasında kullanılan hesaplama yöntemi (yaşam dönemi maliyeti), bir sistemin veya bileşenin tüm yaşam dönemi süresince oluşacak maliyetlerinin analizi için doğru ve güvenilir sonuçlar alınabilecek bir hesaplama yöntemidir. Modelde, yapılardan zemin yolu ile gerçekleşen toplam ısı transferinin hesaplanmasında kullanılan hesaplama yöntemi (ISO 13370) ise, üç boyutlu simülasyon moduna sahip olması, hem kararlı haldeki hem de periyodik ısı akışlarını dikkate alması gibi elde edilecek sonuçların doğruluk düzeyini arttıracak önemli özellikleri olan bir hesaplama yöntemidir. Bir hesaplama yönteminin doğruluğunun belirlenebilmesi için, bu hesaplama yönteminden elde edilen sonuçların, alan çalışmalarından elde edilen gerçek sonuçlarla karşılaştırılması gerekir. ISO 13370, böyle bir alan çalışmasından elde edilen gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Bkz. Bölüm 2.5.4). Sonuçların oldukça uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, ISO 13370, doğrulaması (validation) yapılmış bir hesaplama yöntemidir.

Modelden pratik olarak kullanılabilmesini sağlayacak kadar kısa sürede sonuç alınabilmektedir. Modelde kullanılan hesaplama yöntemleri, kısa sürede sonuç alınmasına olanak tanımaktadır. Ancak, modelde kullanılan optimizasyon prosedürü, her bir ısı yalıtım seçeneği için ayrı hesaplama yapılmasını gerektirdiği için, bu şekilde sonuç alınması uzun sürebilmektedir. Bu nedenle, hızlı bir şekilde sonuç alınabilmesi için, modelin bir bilgisayar programı versiyonu geliştirilmiştir. Bilgisayar programına, hesaplama yöntemlerinin bağımsız değişkenleri ile ilgili

değerler girildikten hemen sonra sonuç alınabilmektedir. Tüm hesaplamalar, optimizasyon prosedürüne uygun olarak program tarafından yapılmaktadır.

Literatürde, tüm bu özelliklere aynı anda sahip olan bir optimizasyon modeline rastlanılmamıştır. Geliştirilen modelin bu anlamda önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Ayrıca, Türkiye’de zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıklarının ve bu ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yararın; zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özelliklerine, iklim koşullarına ve yakıt türlerine göre nasıl bir değişiklik gösterdiği de araştırılmıştır.

Bu amaçla, model kullanılarak, her iklim bölgesinden iki il olmak üzere toplam sekiz ilde üç farklı yakıt türüne göre, zeminle temas eden farklı geometrik özellikleri olan yapı kabuklarının duvar ve döşeme bileşenleri için ekonomik yarar açısından en uygun ısı yalıtım kalınlıkları belirlenmiş ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı, yapı döşemesinin zemin yüzeyine göre derinlik değeri (z) arttıkça kademeli olarak azalmakta ve belirli derinlik değerlerinden sonra duvarda ısı yalıtım kullanılmaması ekonomik yarar açısından en uygun çözüm olmaktadır. Yapıların döşeme alanı (A) değerlerinin duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığına bir etkisi olmamıştır. Döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ise, yapının hem A hem de z değeri arttıkça kademeli olarak azalmakta ve belirli döşeme alanı ve derinlik değerlerinden sonra döşemede ısı yalıtım kullanılmaması ekonomik yarar açısından en uygun çözüm olmaktadır.

Yapı formu, duvarda kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ve duvarda ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu derinlik aralığı değerlerini etkilememiştir. Ancak, döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlığı ile döşemede ısı yalıtım kullanılmasının gerekli olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerlerini

önemli oranda etkilemiştir. Daha büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açan yapı formları için, belirtilen değerlerin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Daha küçük döşeme alanı değerine sahip yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar daha fazla olmaktadır. Her bir döşeme alanı değeri için en yüksek ekonomik yararın elde edildiği derinlik değeri ise değişebilmektedir. Ekonomik yarar, her bir döşeme alanı değerine göre değişebilen bir derinlik değerine kadar artmakta, bu derinlik değerinden duvarda ısı yalıtım kullanılmamasının ekonomik yarar açısından en uygun çözüm olduğu derinlik değerine kadar kademeli olarak azalarak sıfır değerine düşmektedir. Ayrıca, daha büyük döşeme çevre uzunluğuna yol açan formlara sahip yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar da daha fazla olmaktadır.

- Hem duvarda hem de döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıkları, iklim koşulları sertleştikçe kademeli olarak artmaktadır. Ayrıca, iklim koşullarının sertleşmesi ile birlikte ısı yalıtım kullanılması gerektiği olduğu hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerlerinde sürekli bir artış gerçekleşmektedir. İklim koşulları daha sert olan illerdeki yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar ise daha fazla olmaktadır.
- Toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan yakıt türünün kullanıldığı yapılar için hem duvarda hem de döşemede kullanılması gereken ısı yalıtım kalınlıkları genellikle daha yüksektir. Toplam yakıt maliyeti birbirine yakın olan yakıt türleri için bu değerler bazı durumlarda aynı olabilmektedir. Ayrıca, toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan yakıt türünün kullanıldığı yapılar için ısı yalıtım kullanılması gereken hem döşeme alanı hem de derinlik aralığı değerleri de artmaktadır. Toplam yakıt maliyeti daha yüksek olan yakıt türünün kullanıldığı yapılarda en uygun ısı yalıtım kalınlıklarının kullanılması ile elde edilecek ekonomik yarar da daha fazla olmaktadır.

Türkiye’de zeminle temas eden yapı kabuğu için daha önce bu amaçla yapılan bir çalışmaya rastlanılmadığı için, geliştirilen modelin kullanılması ile elde edilen

sonuçları Türkiye'deki diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak mümkün olmamıştır. Ancak, çalışmada ele alınan değişkenlere (zeminle temas eden yapı kabuğunun geometrik özellikleri, iklim koşulları, yakıt türü) göre elde edilen sonuçların, literatürde yer alan diğer çalışmalarla uyumluluğu kontrol edilmiştir. Geliştirilen modelin kullanılması ile elde edilen sonuçların, literatürde yer alan çalışmalarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 5.2).

Bu konu ile ilgili çalışma yapacak kişilere ve ısı yalıtım sektöründeki üretici ve tasarımcılara ise şu önerilerde bulunulabilir:

- Zeminle temas eden yapı kabuğunun duvar ve döşeme bileşenlerinde hangi kalınlıklarda ısı yalıtım kullanılmasının en uygun çözüm olacağı yapılarda kullanılan ısıtma enerjisinin hangi amaçla azaltılmak istendiğine bağlıdır. Bu çalışmada öncelikli amaç ekonomik yarar olarak belirlenmiştir. Ekonomik yarar açısından en uygun olan ısı yalıtım kalınlıkları aynı zamanda mutlaka çevresel yarar da sağlayacaktır. Ancak, öncelikli amacın çevresel yarar olacağı çalışmalar da yapılabilir. Bu durumda, ölçüt olarak maliyet yerine çevreye zararlı emisyonlar alınabilir.

Ayrıca, strüktürel gerekler ve zemin nemine karşı alınacak önlemler gibi zeminle temas eden yapı kabuğunun uygun tasarımı için dikkat edilmesi gereken diğer faktörleri, ısı yalıtım önlemleri ile birlikte ele alarak optimize edecek ve yapıya özgü koşullara bağlı olarak tasarımcıya alternatif kabuk sistemleri ve detayları sunacak daha kompleks bir model de geliştirilebilir.

- Türkiye ile ilgili elde edilen bulgulara göre, aynı iklim bölgesinde yer alan illerdeki (Antalya-İzmir, D.Bakır-Zonguldak, Bolu-Ankara, Van-Erzurum) yapıların değerleri arasında da önemli farklar olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, değerlendirilmesi yapılacak iller aynı iklim bölgesinde de olsa hesaplamaların il bazında yapılması önerilmektedir. Ayrıca, hem duvar hem de döşeme için 0,07 m ve 0,08 m kalınlığındaki ısı yalıtımın en uygun olduğu hiçbir döşeme alanı ve derinlik aralığı olmadığı, 0,01 m kalınlığındaki ısı yalıtımın en uygun olduğu döşeme alanı

ve/veya derinlik aralıklarının ise, diğerlerine oranla çok daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Sektördeki üretici firmaların, üretim planlamalarında bu durumu dikkate alması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Çomaklı, K. and Yüksel, B., “Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings”, *Applied Thermal Engineering*, 24: 933-934 (2004).
2. Frank, T., “Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland”, *Energy and Buildings*, 37: 1175 (2005).
3. Gaterell, M.R. and McEvoy, M.E., “The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings”, *Energy and Buildings*, 37: 983 (2005).
4. Balaras, C.A., Drousa, K., Dascalaki, E. and Kontoyiannidis, S., “Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings”, *Energy and Buildings*, 37: 429-430, 432-433 (2005).
5. Fay, R., Treloar, G. and Iyer-Raniga, U., “Life-cycle energy analysis of buildings: a case study”, *Building Research and Information*, 28 (1): 31 (2000).
6. Jaber, J.O., “Prospects of energy savings in residential space heating”, *Energy and Buildings*, 34: 311-312 (2002).
7. Bolattürk, A., “Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey”, *Applied Thermal Engineering*, 26: 1301-1302, 1306 (2006).
8. Dağsöz, A.K., Bayraktar, K. ve Ünveren, H., “Enerji Tasarrufu Yönünden Standartların Yetersizliği”, *Mühendis ve Makina*, 506: 1 (2002).
9. Hasan, A., “Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost”, *Applied Energy*, 63: 116 (1999).
10. Mohsen, M.S. and Akash, B.A., “Some prospects of energy savings in buildings”, *Energy Conversion and Management*, 42: 1307 (2001).
11. Utlu, Z. and Hepbaşlı, A., “Analysis of energy and exergy use of the Turkish residential-commercial sector”, *Building and Environment*, 40: 645 (2005).
12. Ekinci, C.E., “Isı yalıtımı ve enerji tasarrufu ilişkisi üzerine bir inceleme”, *Yalıtım 97 Sempozyumu*, Elazığ, 324 (1997).
13. Manioğlu, G. and Yılmaz, Z., “Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort”, *Energy and Buildings*, 38: 266 (2006).

14. Dağsöz, A.K., Işikel, K. ve Bayraktar, K.G., “Yapılarda sıcak etkisinin getirdiği problemlerin ısı yalıtımı ile çözümü ve enerji tasarrufu”, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 330 (1999).
15. Çomaklı, K. and Yüksel, B., “Optimum insulation thickness of external walls for energy saving”, *Applied Thermal Engineering*, 23: 473-479 (2003).
16. Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M. and Pancar, Y., “Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources”, *Applied Energy*, 83: 921-928 (2006).
17. İslamoğlu, Y., “Düz duvarlarda optimum izolasyon kalınlığının hesaplanması”, *Yalıtım 97 Sempozyumu*, Elazığ, 246-253 (1997).
18. Mahlia, T.M.I., Taufiq, B.N., Ismail and Masjuki, H.H., “Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall”, *Energy and Buildings*, 39: 182-187 (2007).
19. Kalema, T., “Optimisation of the thermal performance of buildings- The OPTIX program”, *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2: 1-22 (2001).
20. Arslan, O. and Köse, R., “Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings”, *Energy and Buildings*, 38: 1400-1408 (2006).
21. Al-Sanea, S.A., Zedan, M.F. and Al-Ajlan, S.A., “Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model”, *Applied Energy*, 82: 316 (2005).
22. Carmody, J., Christian, J. and Labs, K., “Builder’s foundation handbook”, *U.S. Department of Energy*, USA, 1-112 (1991).
23. Oak Ridge National Laboratory, “Insulation fact sheet”, *U.S. Department of Energy Report DOE/CE-0180/with Addendum 1*, USA, 1-19 (2002).
24. Oak Ridge National Laboratory, “Supporting documentation for the 1997 revision to the DOE insulation fact sheet”, *U.S. Department of Energy Report*, USA, 1-39 (1997).
25. Erten, E., “Higro-Termik davranışlar açısından zeminle sınırlı duvar”, Doktora Tezi, *Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 1 (1984).
26. Kim, B.S. and Kim, K., “Analyses on thermal insulation performance of earth-covered wall for residential underground space by using a numerical simulation program”, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 3 (2): 260, 266 (2004).

27. Beausoleil-Morrison, I. and Mitalas, G., "BASESIMP: A residential-foundation heat-loss algorithm for incorporating into whole-building energy-analysis programs", *Building Simulation '97 Conference*, Prague, 1 (1997).
28. Deru, M., "A model for ground-coupled heat and moisture transfer from buildings", Doktora Tezi, *Colorado State University*, USA, 2, 4-10, 13-15, 70, 80-81, 92 (2001).
29. Ellis, M.W. and Mathews, E.H., "A new simplified design tool for architects", *Building and Environment*, 36: 1009 (2001).
30. The International Organization for Standardization, "Geotechnical investigation and testing- identification and classification of soil- Part 1: identification and description", *ISO-ISO 14688-1*, Switzerland, 1, 4 (2002).
31. Watson, D. and Milne, M., "Bioclimatic design", Time-Saver Standards for Architectural Design Data Seventh Edition, Edited by Watson, D., Crosbie, M. J. and Callender, J. H., *McGraw Hill*, USA, 25 (1997).
32. Rees, S.W., Adjali, M.H., Zhou, Z., Davies, M. and Thomas, H.R., "Ground heat transfer effects on the thermal performance of earth-contact structures" *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 4: 218-221, 230, 232-235, 237-240 (2000).
33. Utkutuğ, G., "Control of physical environment", *GÜMMF Dept. of Architecture Text Book*, Ankara, 50 (2000).
34. Adjali, M.H., Davies, M. and Littler, J., "Three-dimensional earth-contact heat flows: a comparison of simulated and measured data for a buried structure", *Renewable Energy*, 15: 359 (1998).
35. Rock, B. A., "Sensitivity study of slab-on-grade transient heat transfer model parameters", *ASHRAE Transactions*, 110: 183 (2004).
36. Deru, M.P. and Kirkpatrick, A.T., "Ground-coupled heat and moisture transfer from buildings, Part 1- Analysis and modeling", *NREL Report, CP-550-29693, Washington*, 3 (2001).
37. Deru, M.P. and Kirkpatrick, A.T., "Ground-coupled heat and moisture transfer from buildings, Part 2- Application", *NREL Report, CP-550-29694, Washington*, 1 (2001).
38. Rees, S.W., Zhou, Z. and Thomas, H.R., "The influence of soil moisture content variations on heat losses from earth-contact structures: an initial assessment", *Building and Environment*, 36: 157-158 (2001).

39. Rantala, J. and Leivo, V., "Thermal and moisture parameters of a dry coarse-grained fill or drainage layer", *Construction and Building Materials*, 21: 1729-1730 (2007).
40. Adjali, M.H., Davies, M., Rees, S.W. and Littler, J., "Temperatures in and under a slab-on-ground floor: two- and three-dimensional numerical simulations and comparison with experimental data", *Building and Environment*, 35: 659 (2000).
41. The International Organization for Standardization, "Thermal performance of buildings- thermal design of foundations to avoid frost heave", *ISO-ISO 13793*, Switzerland, 31 (2001).
42. Overduin, P.P., Kane D.L. and Van Loon, W.K.P., "Measuring thermal conductivity in freezing and thawing soil using the soil temperature response to heating", *Cold Regions Science and Technology*, 45: 9 (2006).
43. Popiel, C.O., Wojtkowiak, J. and Biernacka, B., "Measurements of temperature distribution in ground", *Experimental Thermal and Fluid Sciencet*, 25: 301 (2001).
44. Mihalakakou, G., "On estimating soil surface temperature profiles", *Energy and Buildings*, 34: 251 (2002).
45. Mihalakakou, G., Santamouris, M., Lewis, J.O. and Asimakopoulos, D.N., "On the application of the energy balance equation to predict ground temperature profiles", *Solar Energy*, 60(3/4): 181 (1997).
46. Al-Temeemi, A.A. and Harris, D.J., "The generation of subsurface temperature profiles for Kuwait", *Energy and Buildings*, 33: 838-839 (2001).
47. Haglund, B. and Rathmann, K., "Thermal mass in passive solar and energy-conserving buildings", *Vital Signs Project*, USA, 5 (1995).
48. Yuan, Y., Cheng, B., Mao, J. and Du, Y., "Effect of the thermal conductivity of building materials on the steady-state thermal behaviour of underground building envelopes", *Building and Environment*, 41: 330-335 (2006).
49. King, J.E. and Meyer, G., "A builder's guide to residential foundation insulation", *Kansas Corporation Commission Energy Programs Report*, USA, 1 (1999).
50. Mughal, M.P. and Chattha, J.A., "An examination of procedures for predicting heat losses from underground structures", *Building Service Engineering Research and Technology*, 23 (2): 74 (2002).

51. Al-Temeemi, A.A. and Harris, D.J., "The effect of earth-contact on heat transfer through a wall in Kuwait", *Energy and Buildings*, 35: 399 (2003).
52. Choi, S. and Krarti, M., "Thermally optimal insulation distribution for underground structures", *Energy and Buildings*, 32: 251, 264-265 (2000).
53. Bynum, R., "Insulation handbook", *McGraw Hill*, USA, 54 (2001).
54. Papadopoulos, A.M., "State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments", *Energy and Buildings*, 37: 79, 81 (2005).
55. Chiras, D., "All about insulation", *Mother Earth News*, 195: 62-70 (2003).
56. Building Science Corporation, "Basement insulation systems", *Building Science Corporation Report*, USA, 1-20 (2002).
57. Huelman, P. H. and Cheple, M., "Hygrothermal performance of basement foundation systems", *Conference proceedings National Science Foundation Housing Research Forum*, Orlando, Florida, 192-199 (2003).
58. Swinton, M. C., Bomberg, M. T., Kumaran, M. K., Maref, W., Normandin, N. and Marchand, R. G., "In-Situ performance evaluation of exterior insulation basement systems (EIBS) - Spray polyurethane foam : Summary report", *National Research Council Canada Report 820*, Canada, 1-13 (2000).
59. Swinton, M. C., Bomberg, M. T., Kumaran, M. W., Normandin, N. and Maref, W., "Performance of thermal insulation on the exterior of basement walls", *National Research Council Canada*, Canada, 1-8 (1999).
60. Kansas State University, "Residential foundation insulation", *Kansas State University*, USA, 1-4 (2000).
61. NAHB Research Center, "Revised builder's guide to frost protected shallow foundations", *NAHB Research Center*, USA, 1-26 (2004).
62. The International Organization for Standardization, "Hygrothermal performance of building components and building elements- internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation- calculation methods", *ISO-ISO 13788*, Switzerland, 1-31 (2001).
63. Jones, P., "Thermal environment", Metric Handbook- Planning and Design Data Second Edition, Edited by Adler, D., *Architectural Press*, Oxford, 1-33 (2002).
64. Nashed, F., "Time-saver details for exterior wall design", *McGraw Hill*, USA, 20-27 (1995).

65. Carmody, J. and Lstiburek, J., "Residential foundation design", Time-Saver Standards for Architectural Design Data Seventh Edition, Edited by Watson, D., Crosbie, M. J. and Callender, J. H., **McGraw Hill**, USA, 19-34 (1997).
66. Baerman, D., "Thermal insulation", Time-Saver Standards for Architectural Design Data Seventh Edition, Edited by Watson, D., Crosbie, M. J. and Callender, J. H., **McGraw Hill**, USA, 143-154 (1997).
67. Langlais, C., Silberstein, A. and Sandberg, P.I., "Effects of moisture on the thermal performance of insulating materials", Moisture Control in Buildings, ASTM Manuel Series: MNL 18, Edited by Trechsel, H.R., **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, 54-71 (1994).
68. Wolde, A.T., "Design tools", Moisture Control in Buildings, ASTM Manuel Series: MNL 18, Edited by Trechsel, H.R., **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, 208-215 (1994).
69. Jiranek, M. and Hulka, J., "Applicability of various insulating materials for radon barriers", **The Science of the Total Environment**, 272: 79-84 (2001).
70. Al-Homoud, M.S., "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials", **Building and Environment**, 40: 353-366 (2005).
71. Cook, G.K. and Hinks, A.J., "Appraising building defects: perspectives on stability and hygrothermal performance", **Longman Group UK Limited**, England, 443-462 (1992).
72. Megri, A.C., Achard, G. and Haghghat, F., "Using plastic waste as thermal insulation for the slab-on-grade floor and basement of a building", **Building and Environment**, 33: 97-104 (1998).
73. European Committee for Standardization, "Thermal insulation- classification of building materials according to their thermal insulation properties", **CEN-CR 245**, Brussels, 1-65 (1986).
74. Türk Standartları Enstitüsü, "Binalarda ısı yalıtım kuralları", **TSE-TS 825**, Ankara, 12-69 (1998).
75. Stoecker, W.F., "Design of thermal systems 3rd ed.", **McGraw Hill**, USA, 143, 147-148, 186-187, 214, 240-241, 260-261 (1989).
76. Al-Homoud, M.S., "Computer-aided building energy analysis techniques", **Building and Environment**, 36: 430 (2001).

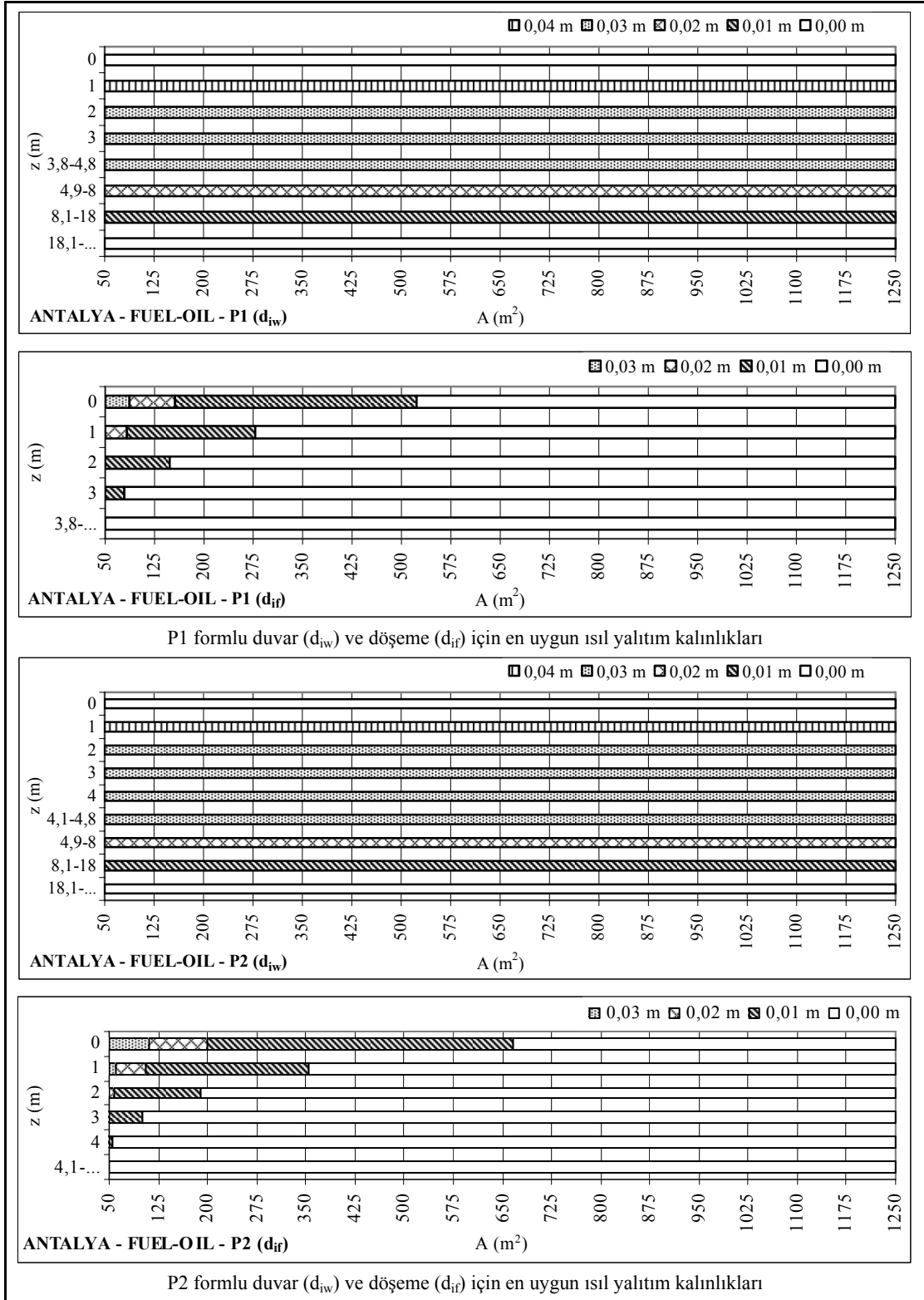
77. Holst, J.N., "Using whole building simulation models and optimizing procedures to optimize building envelope design with respect to energy consumption and indoor environment", *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, 508 (2003).
78. Woodward, D.G., "Life cycle costing--theory, information acquisition and application", *International Journal of Project Management*, 15 (6): 335, 337 (1997).
79. The International Organization for Standardization, "Buildings and constructed assets- service life planning- Part 1: General principles", *ISO-ISO 15686-1*, Switzerland, 28 (2000).
80. Janssen, H., "The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground", Doktora Tezi, *Katholieke Universiteit Leuven*, Belçika, 12-13, 16 (2002).
81. Choi, S. and Krarti, M., "Simplified method for underground heat transfer calculation", *Proceedings of Building Simulation 97*, 1-8 (1997).
82. Krarti, M., Chuangchid, P. and Ihm, P., "Foundation heat transfer module for ENERGYPLUS program", *Building Simulation Conference*, Rio de Janeiro, 931-938 (2001).
83. Hagentoft, C.E., "Steady-state heat loss for an edge-insulated slab: Part I", *Building and Environment*, 37: 19-25 (2002).
84. Hagentoft, C-E., "Periodic heat loss for an edge insulated slab: Part II A mixed boundary value problem", *Building and Environment*, 37: 27-34 (2002).
85. Sodha, M.S., "Simulation of dynamic heat transfer between ground and underground structures", *International Journal of Energy Research*, 25: 1391-1394 (2001).
86. Deru, M., Judkoff, R. and Neymark, J., "Whole-Building energy simulation with a three-dimensional ground-coupled heat transfer model", *NREL Report, CP-550-32690, Washington*, 1-18 (2002).
87. Santos, G.H. and Mendes, N., "Simultaneous heat and moisture transfer in soils combined with building simulation", *Energy and Buildings*, 38: 303-314 (2006).
88. Rantala, J., "A new method to estimate the periodic temperature distribution underneath a slab-on-ground structure", *Building and Environment*, 40: 832 (2005).

89. Zhong, Z. and Braun, J.E., “A simple method for estimating transient heat transfer in slab-on-ground floors”, *Building and Environment*, 42: 1071-1080 (2007).
90. Khalifa, A.N., “Heat loss from below ground basements: validation of some available methods”, *Energy Conversion and Management*, 40: 1975 (1999).
91. The International Organization for Standardization, “Thermal performance of buildings- Heat transfer via the ground- Calculation Methods”, *ISO-ISO 13370*, Switzerland, 1-30 (1998).
92. Thomas, H.R. and Rees, S.W., “The thermal performance of ground floor slabs- a full scale in-situ experiment”, *Building and Environment*, 34: 139-164 (1999).
93. Chuangchid, P. and Krarti, M., “Foundation heat loss from heated concrete slab-on-grade floors”, *Building and Environment*, 36: 637-655 (2001).
94. Zhou, Z., Rees, S.W. and Thomas, H.R., “A numerical and experimental investigation of ground heat transfer including edge insulation effects”, *Building and Environment*, 37: 67-78 (2002).
95. Janssen, H., Carmeliet, J. and Hens, H., “The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground”, *Building and Environment*, 39: 825-836 (2004).
96. Medved, S. and Cerne, B., “A simplified method for calculating heat losses to the ground according to the EN ISO 13370 standard”, *Energy and Buildings*, 34: 524 (2002).
97. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, “Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliği”, *T.C. Resmi Gazete 24043, Türkiye*, 2, 9 (2000).
98. WeatherOnline Ltd., “Climatic data”, *WeatherOnline Ltd. Guide, Great Britain*, 1 (2006).
99. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, “Çevre ve Orman Bakanlığı Mahalli Çevre Kurulları Çalışma Usul ve Esasları Yönetmeliği”, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, 1-2 (2004).
100. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, “Hava Kirliliği Kontrolü Genelgesi”, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*, Ankara, 8 (2004).
101. Doğal Gaz Cihazları Sanayicileri ve İşadamları Derneği, “Yakıt fiyatları karşılaştırmaları”, *DOSİDER Kılavuzu, İstanbul*, 1 (2006).

102. İnternet: T.C. Merkez Bankası “Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Günlük Döviz Kurları” <http://www.tcmb.gov.tr/kurlar/200604/Apr.html> (2006).
103. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu “Tüketici Fiyatları Endeksi ve Değişim Oranı” http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1916&tb_id=3 (2006).
104. European Committee for Standardization, “Building materials and products- hygrothermal properties- tabulated design values”, *CEN-EN 12524*, Brussels, 5-7 (2000).
105. Gönül, İ.A., “Yapılarda zeminden kaynaklanan nemlenmeyi önleme yöntemlerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 76 (2000).

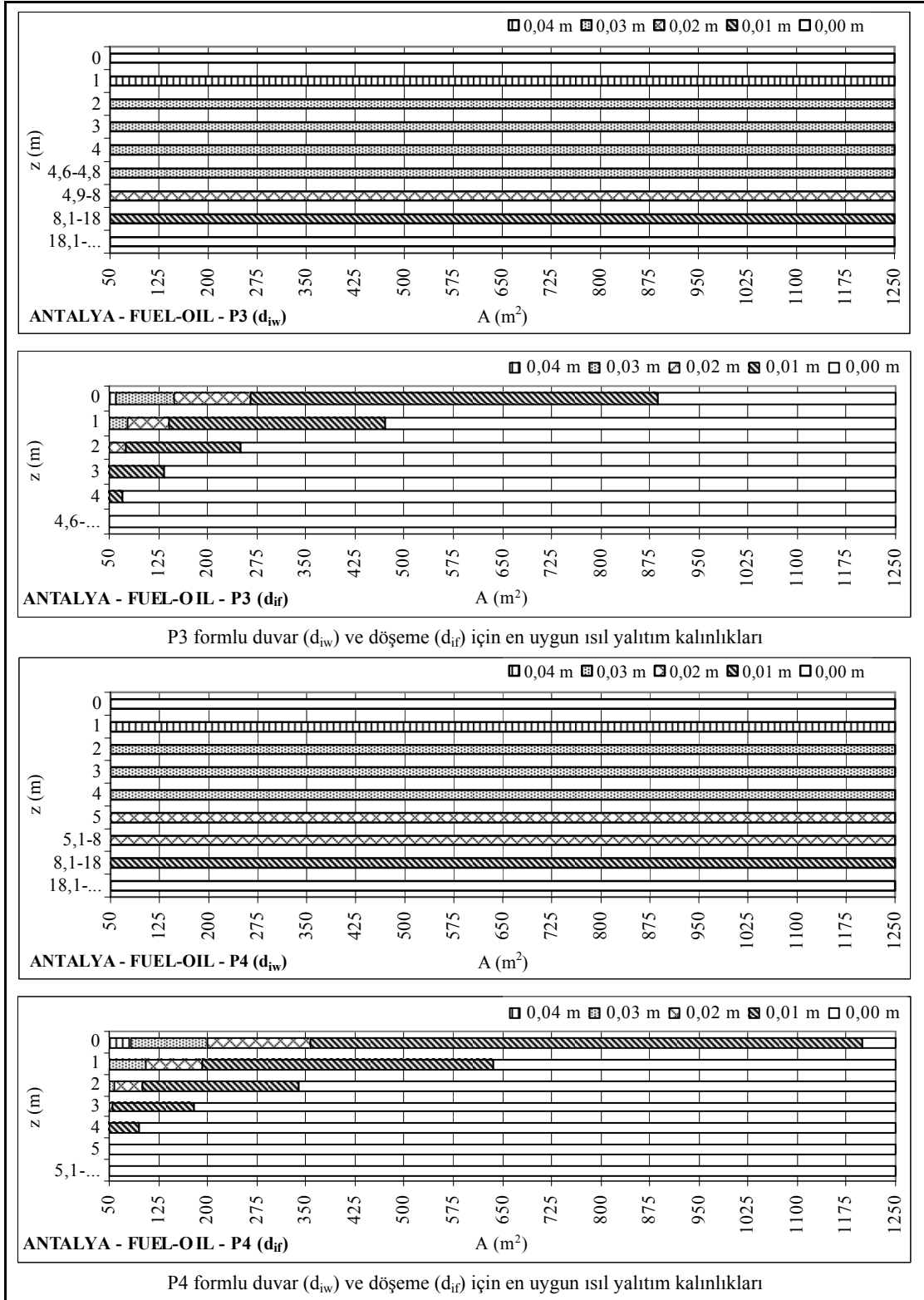
EKLER

EK-1 Antalya ili ile ilgili bulgular



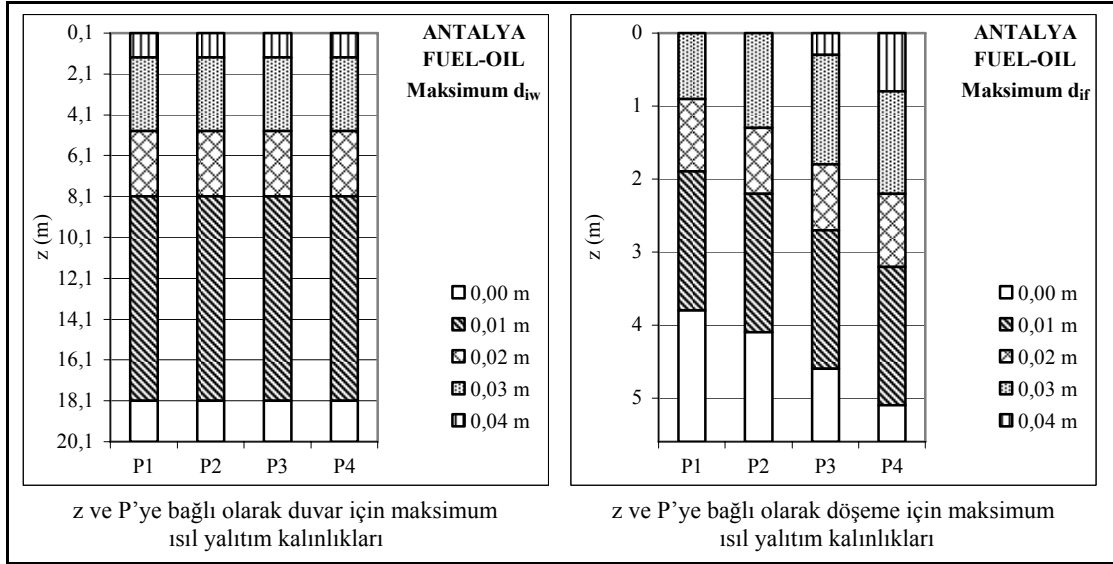
Şekil 1.1. Antalya ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular

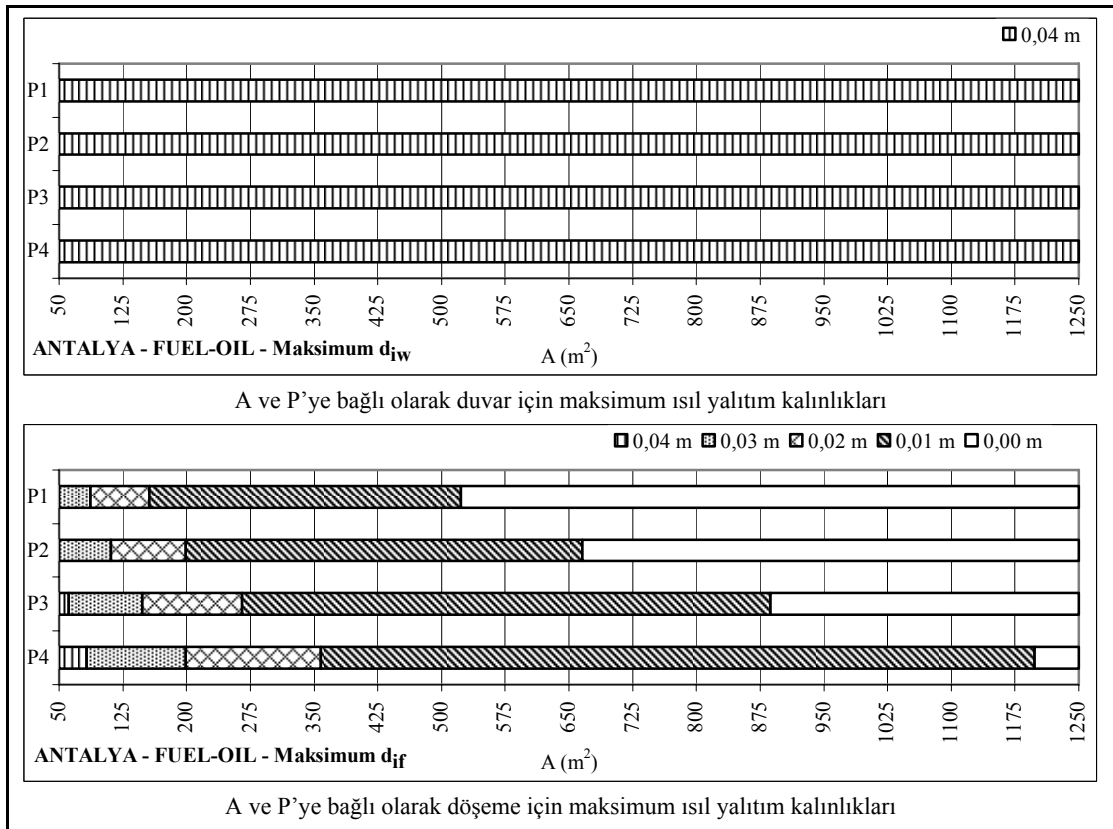


Şekil 1.1. (Devam) Antalya ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular

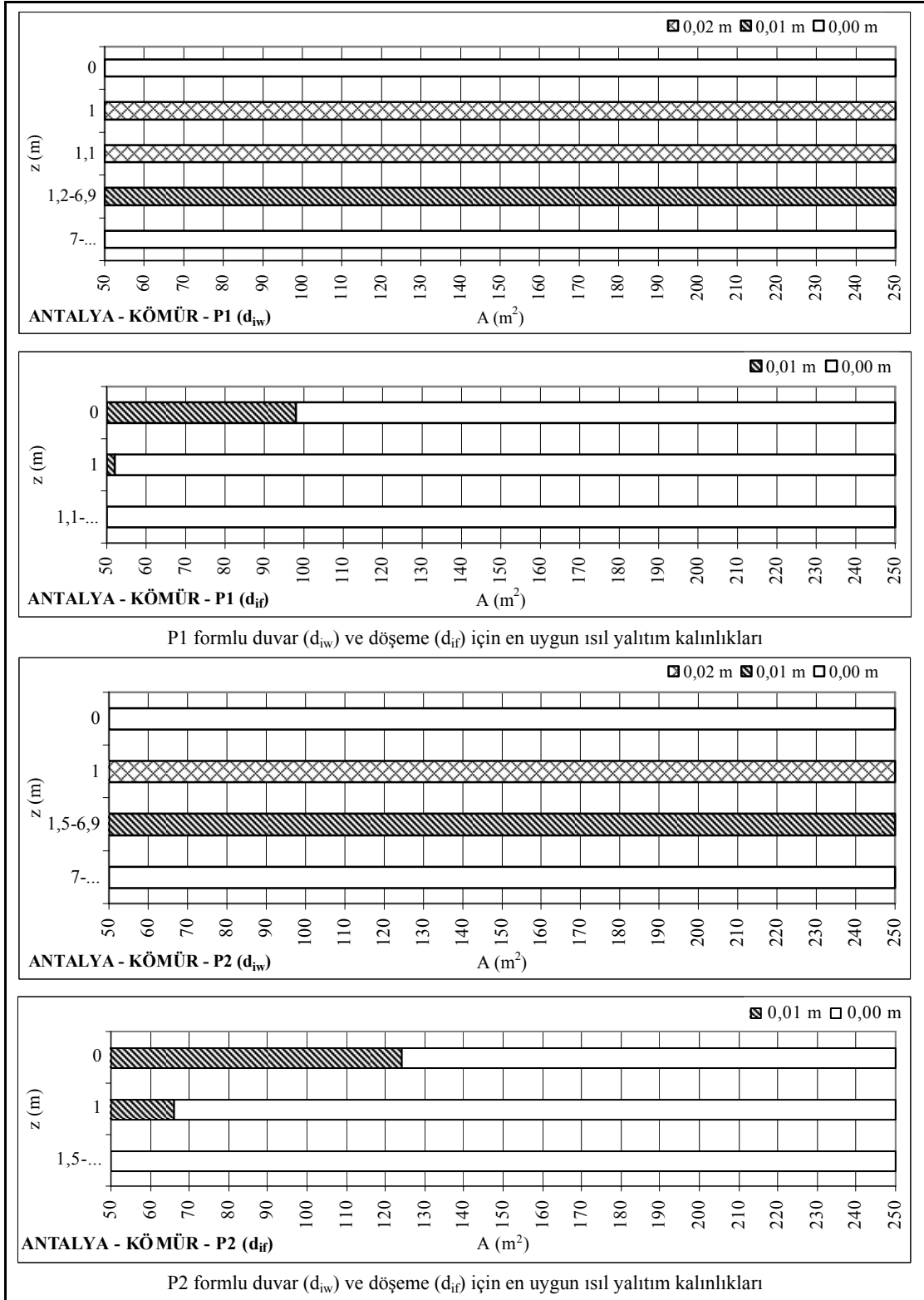


Şekil 1.2. Antalya ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



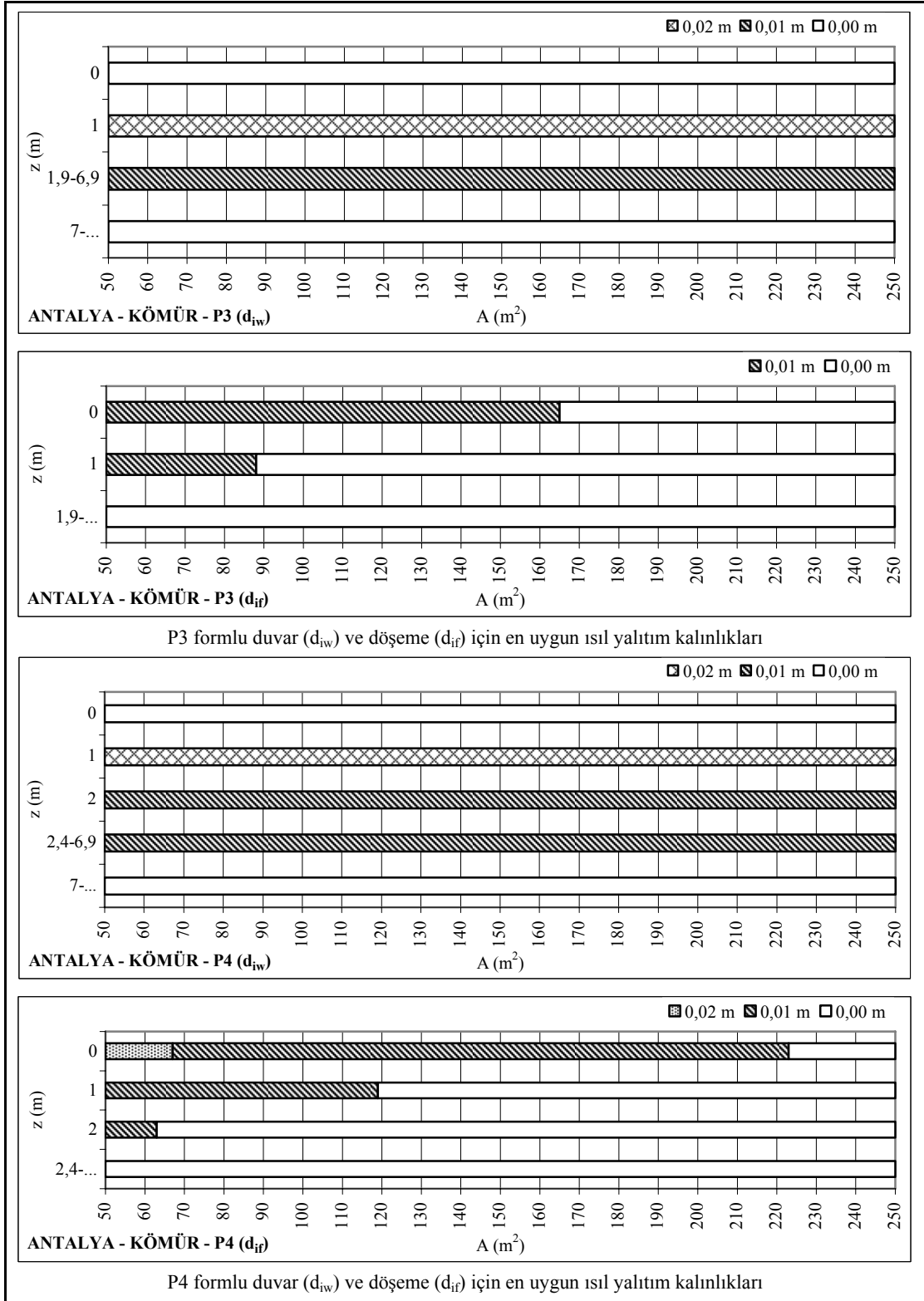
Şekil 1.3. Antalya ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular



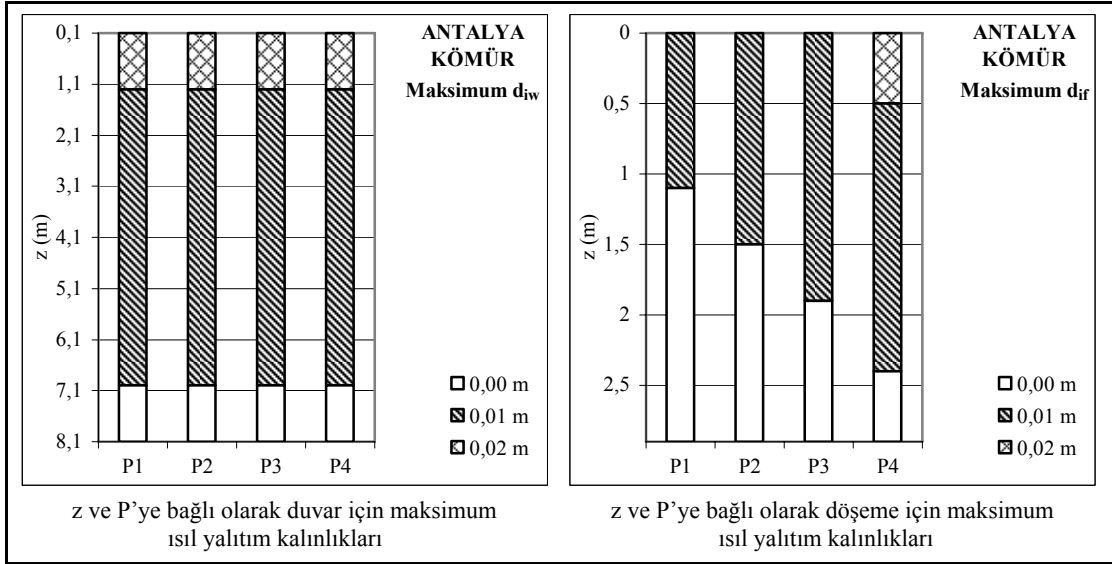
Şekil 1.4. Antalya ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular

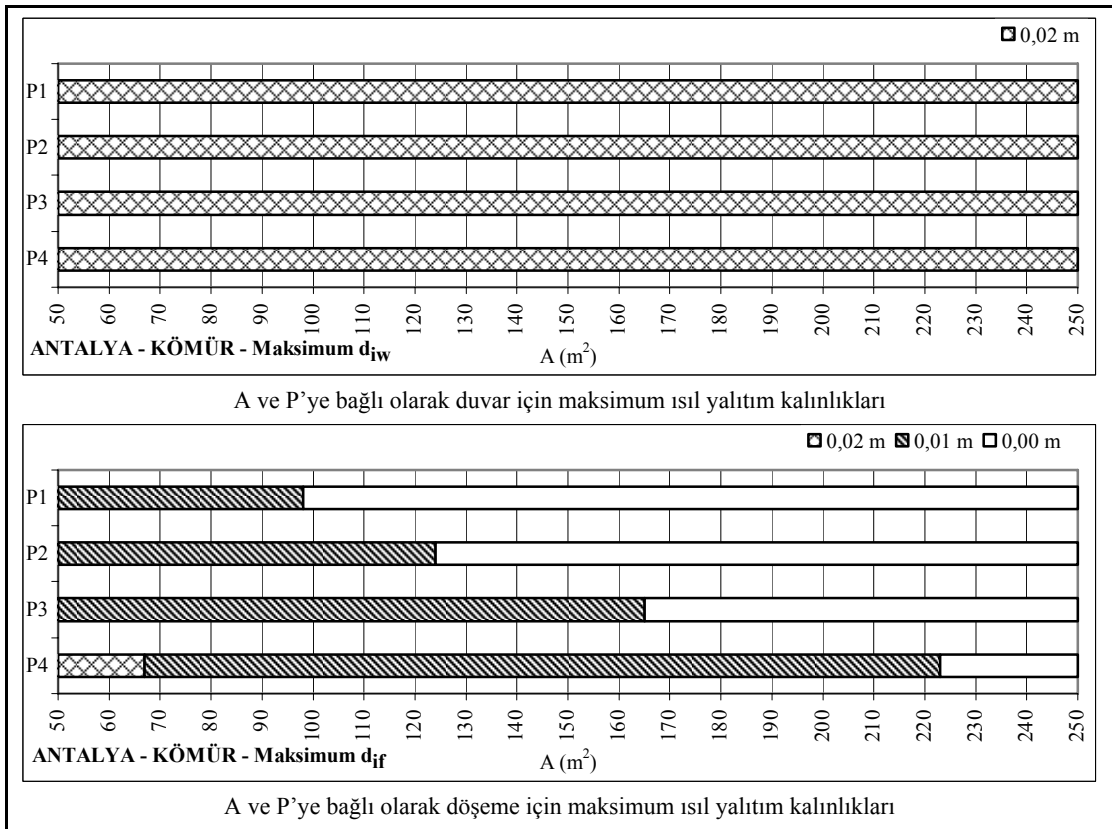


Şekil 1.4. (Devam) Antalya ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular

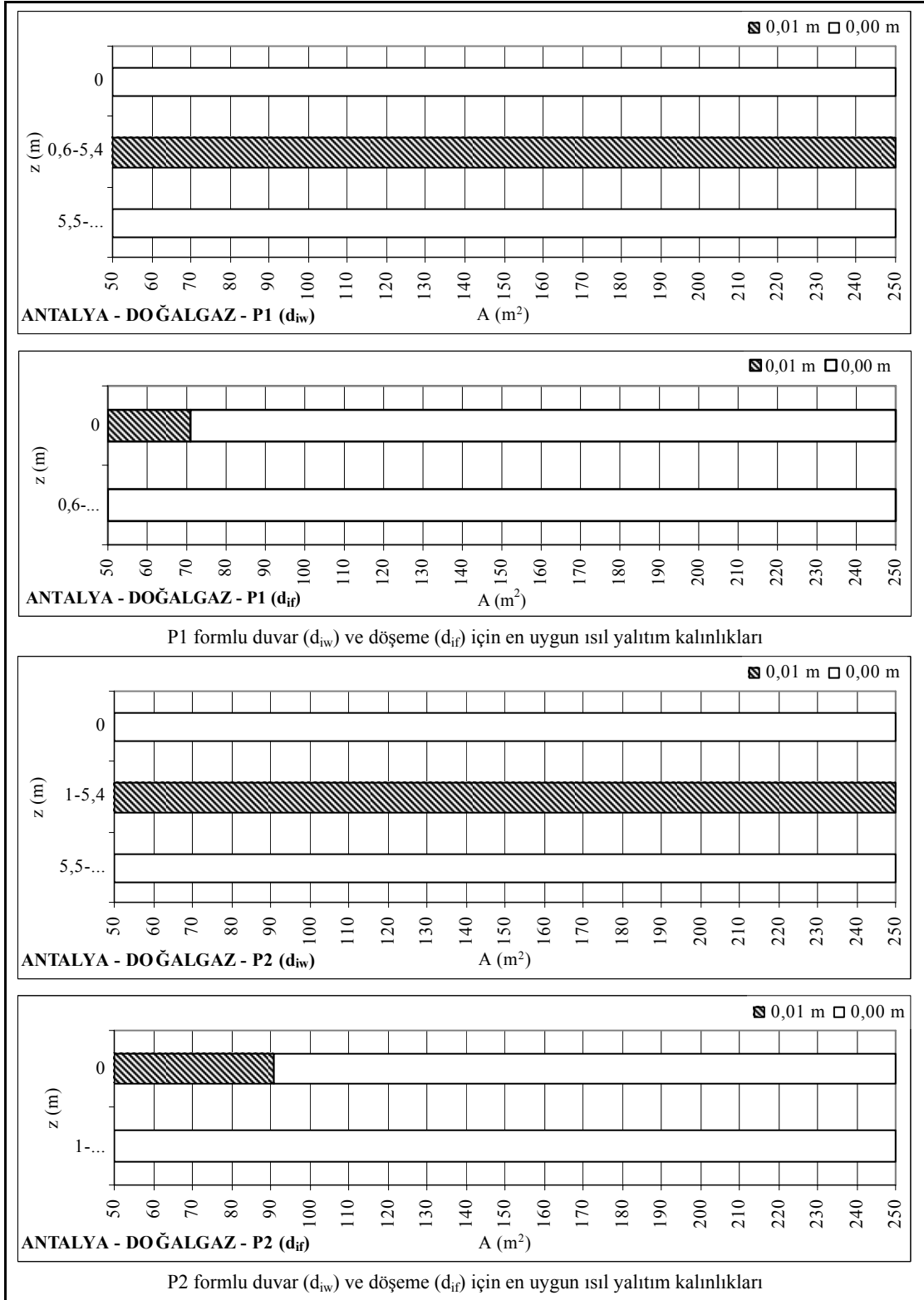


Şekil 1.5. Antalya ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



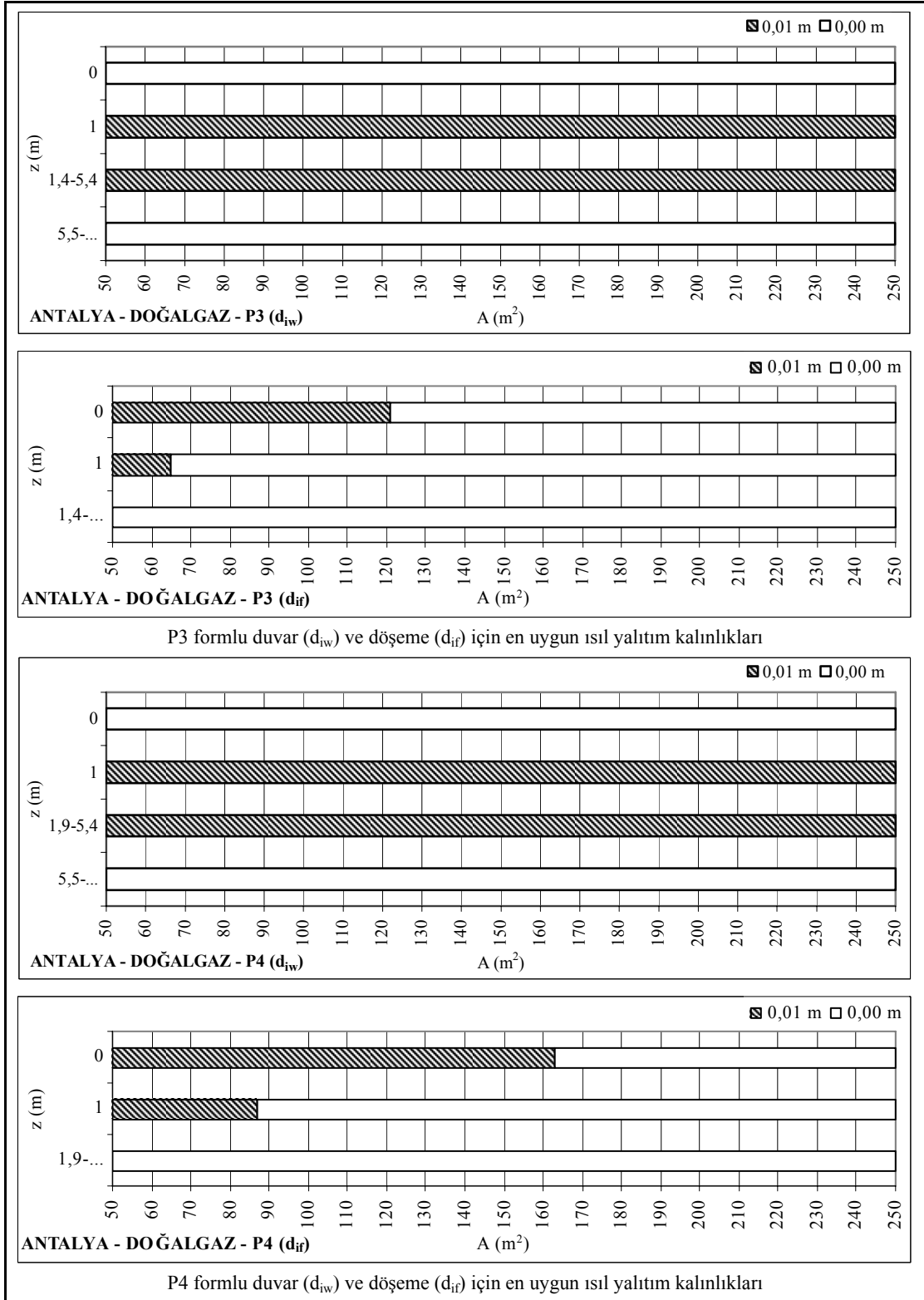
Şekil 1.6. Antalya ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular



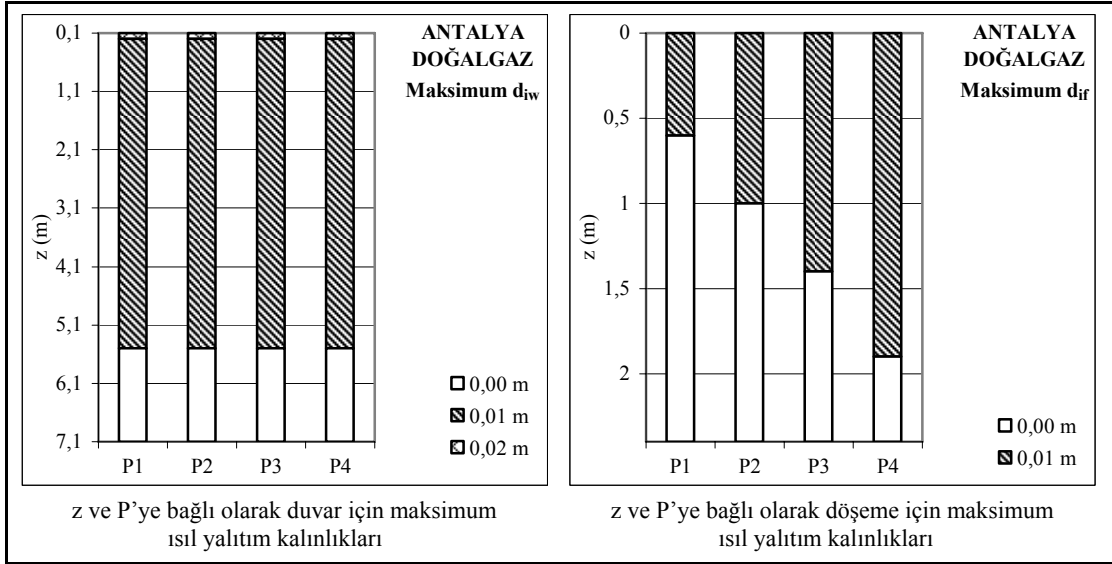
Şekil 1.7. Antalya ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A , P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular

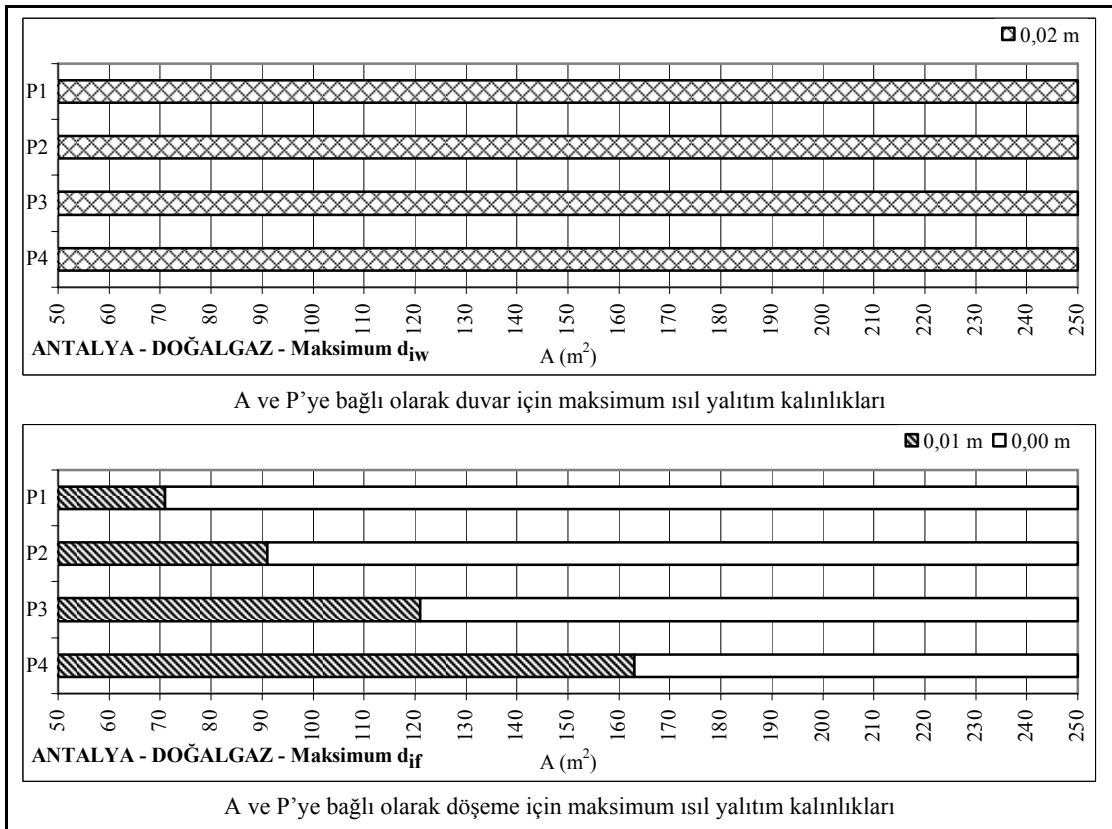


Şekil 1.7. (Devam) Antalya ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular

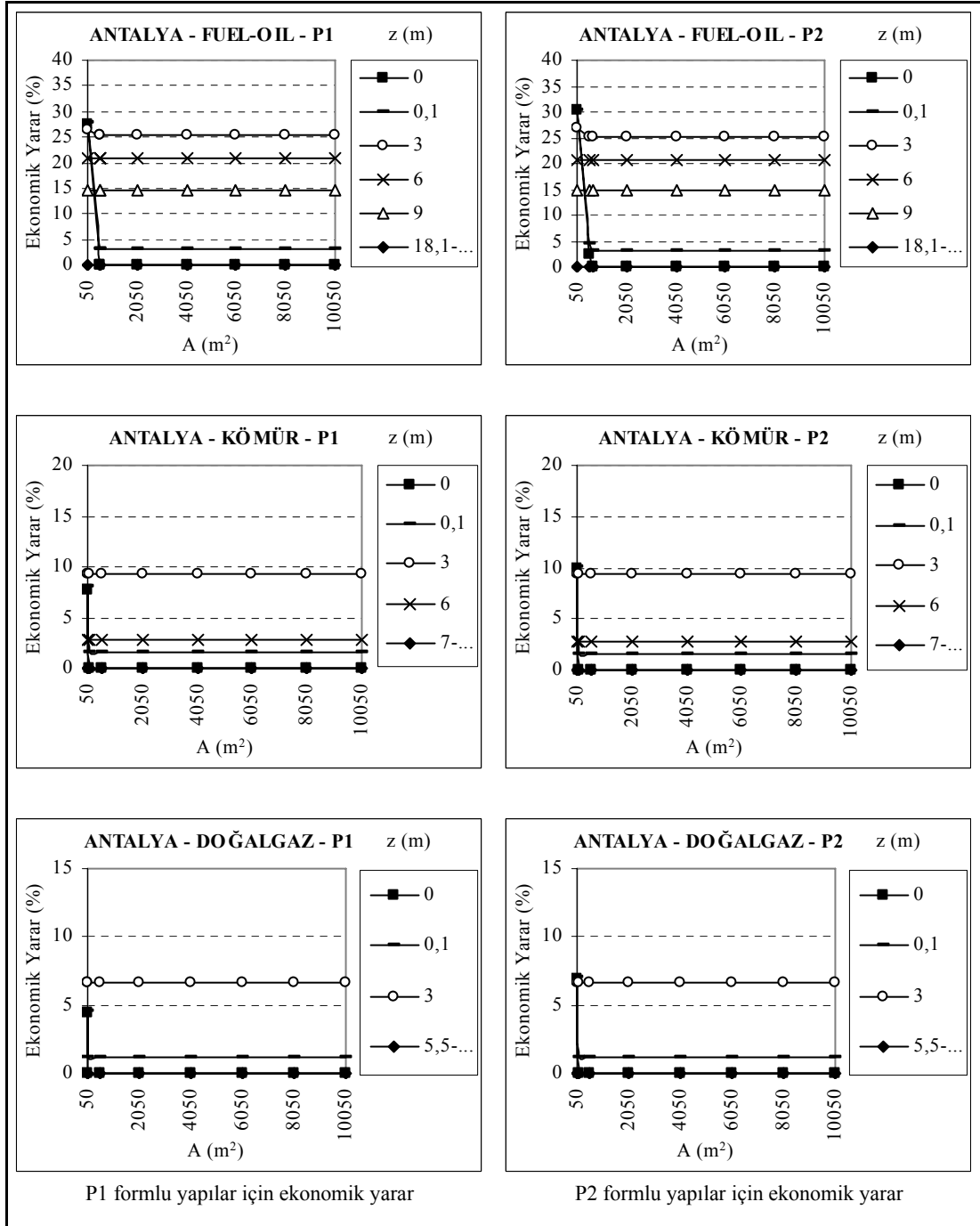


Şekil 1.8. Antalya ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



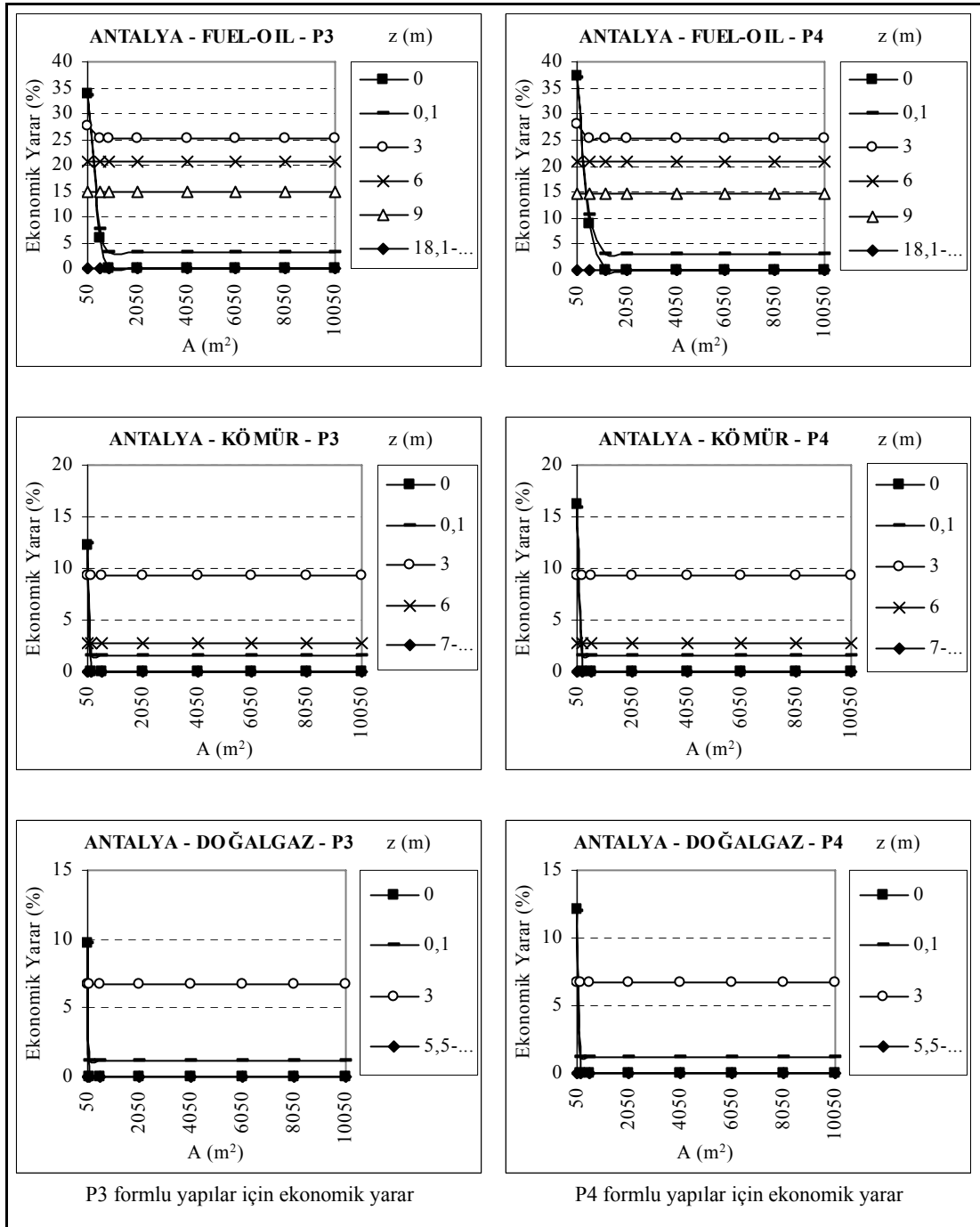
Şekil 1.9. Antalya ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular



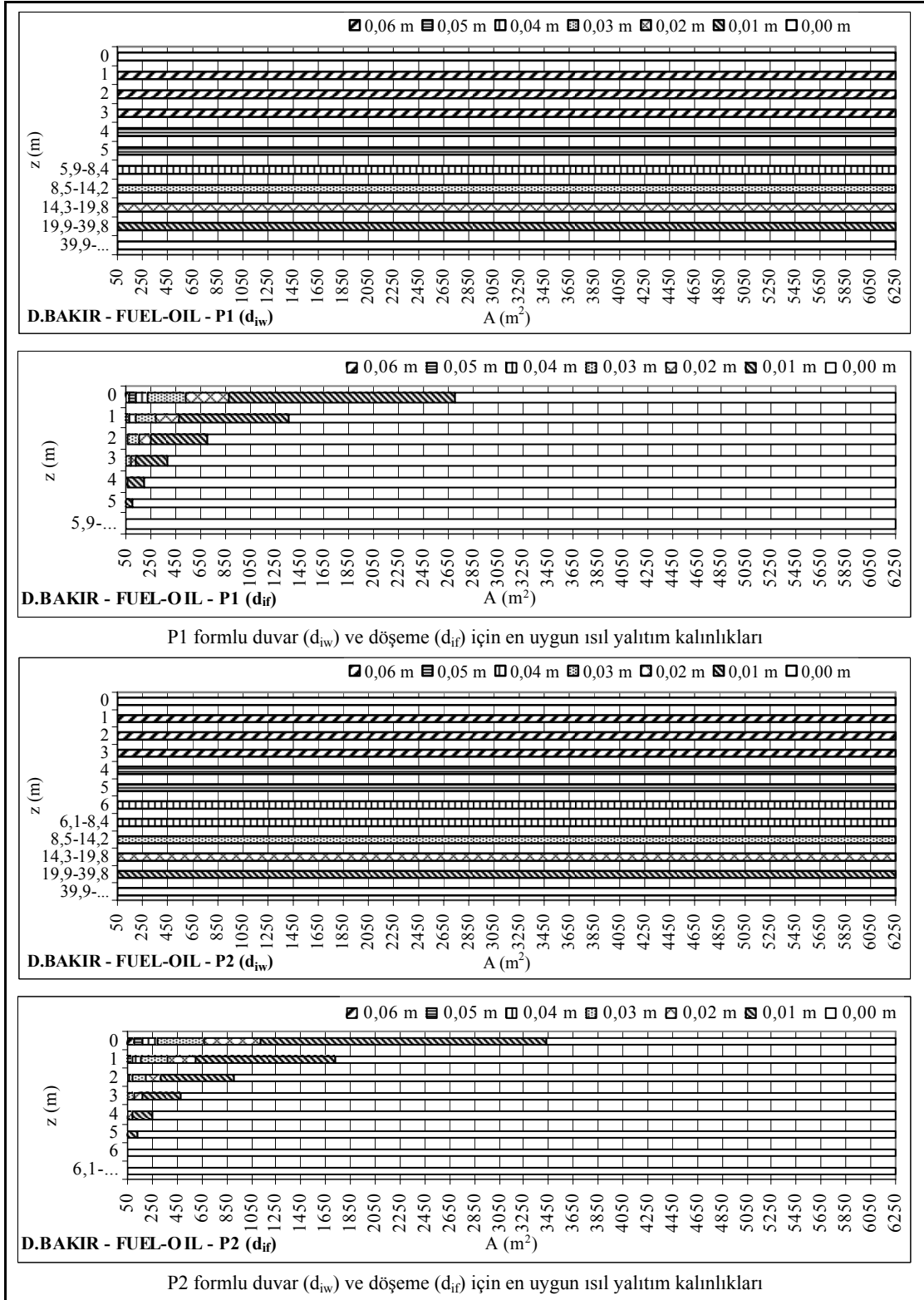
Şekil 1.10. Antalya ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-1 (Devam) Antalya ili ile ilgili bulgular



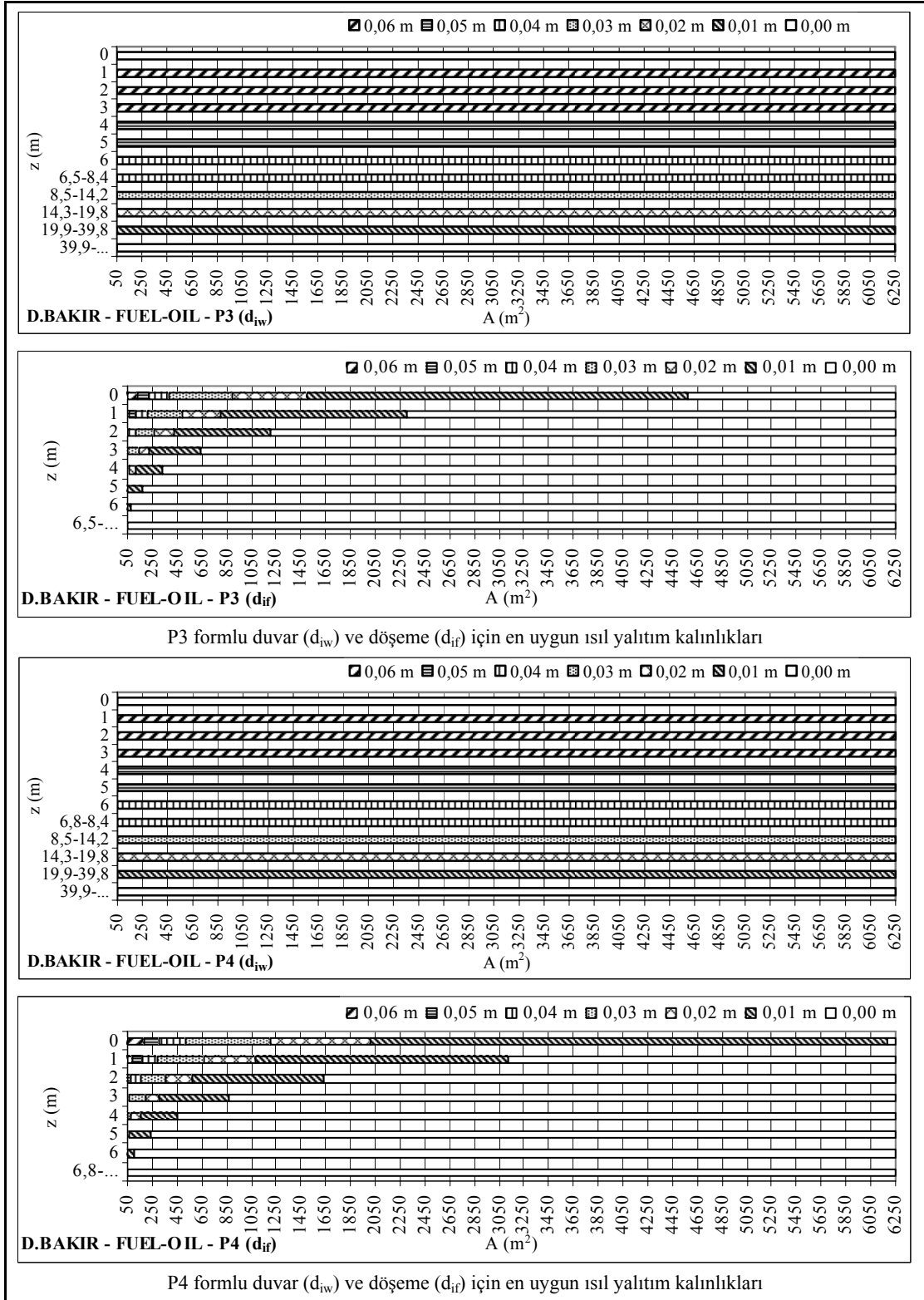
Şekil 1.10. (Devam) Antalya ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-2 D.Bakır ili ile ilgili bulgular



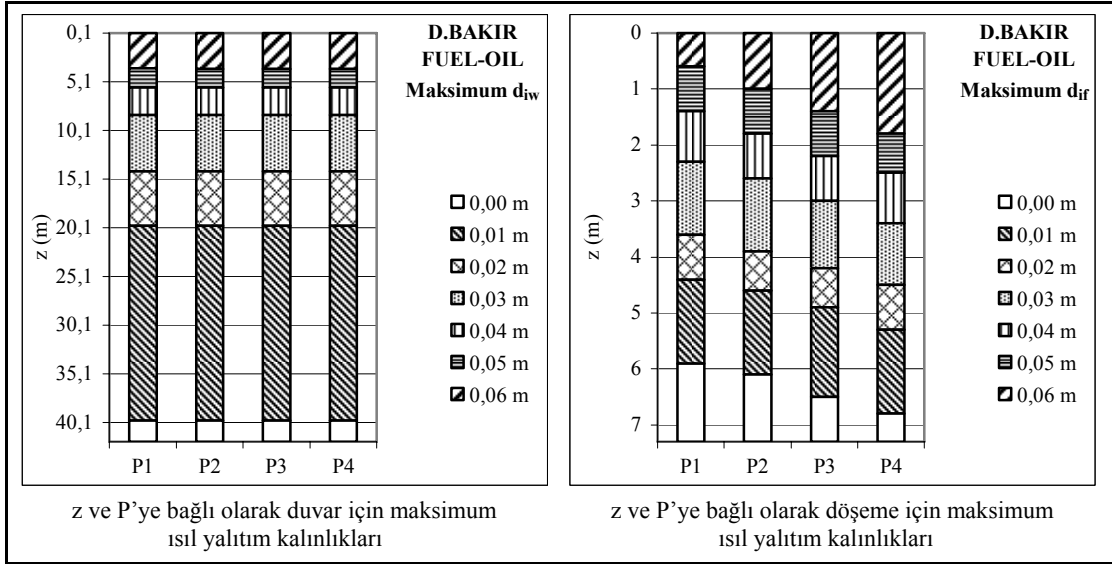
Şekil 2.1. D.Bakır ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular

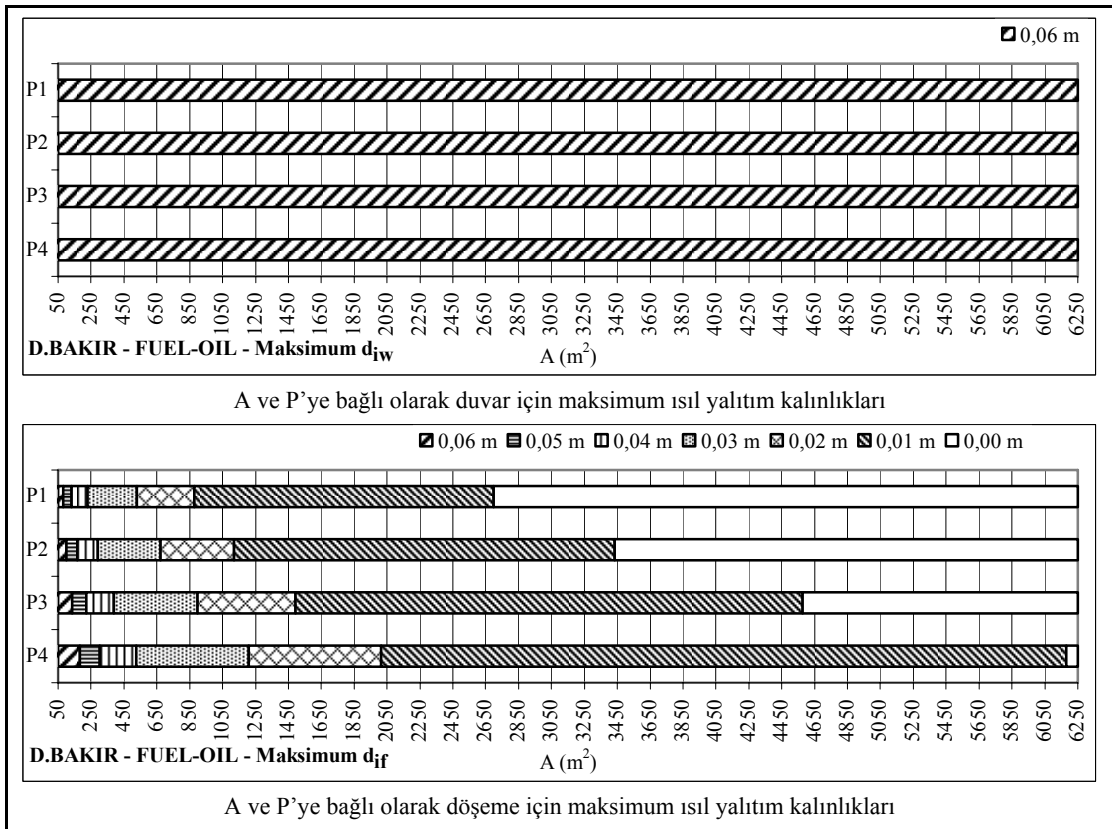


Şekil 2.1. (Devam) D.Bakır ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular

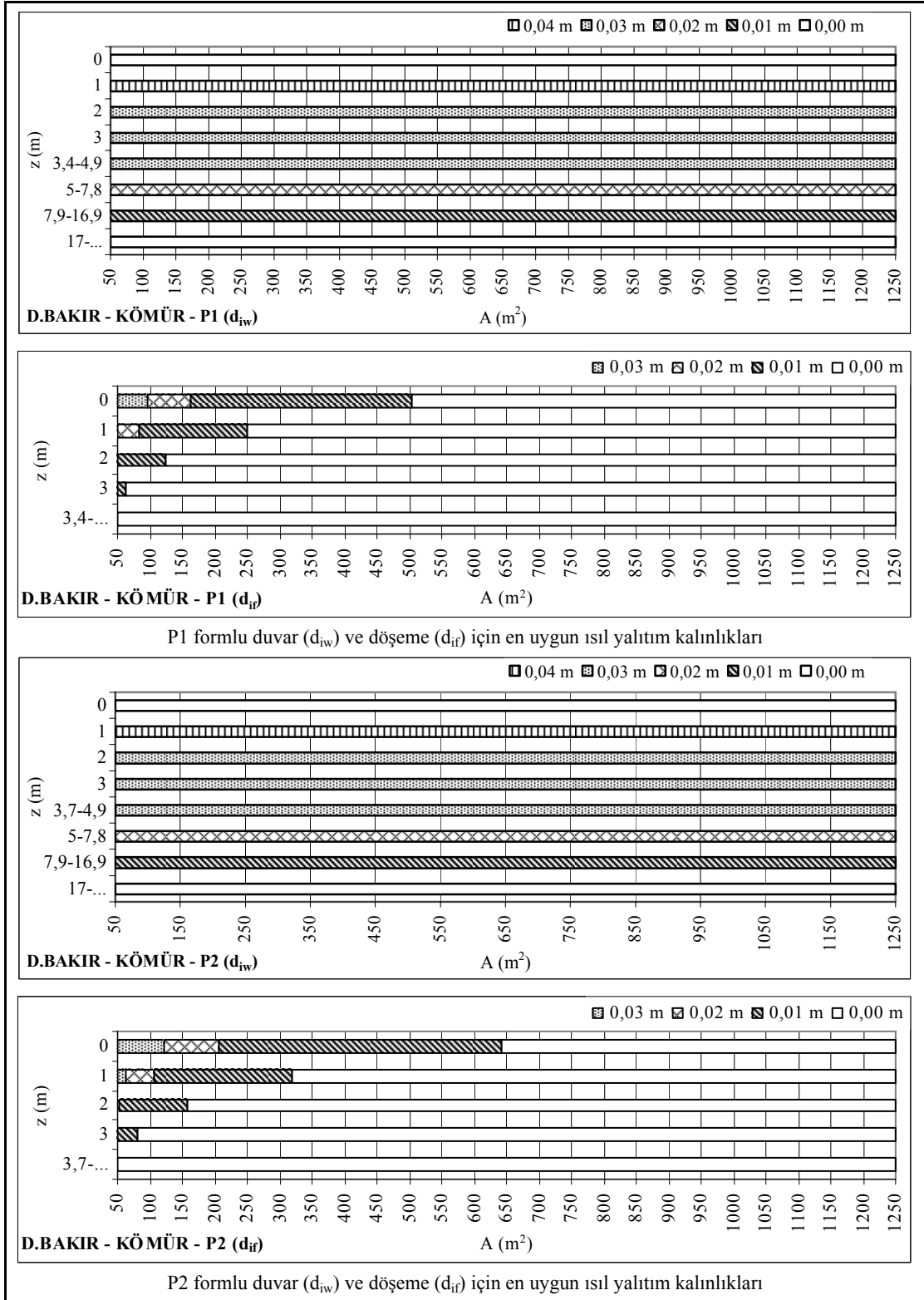


Şekil 2.2. D.Bakır ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



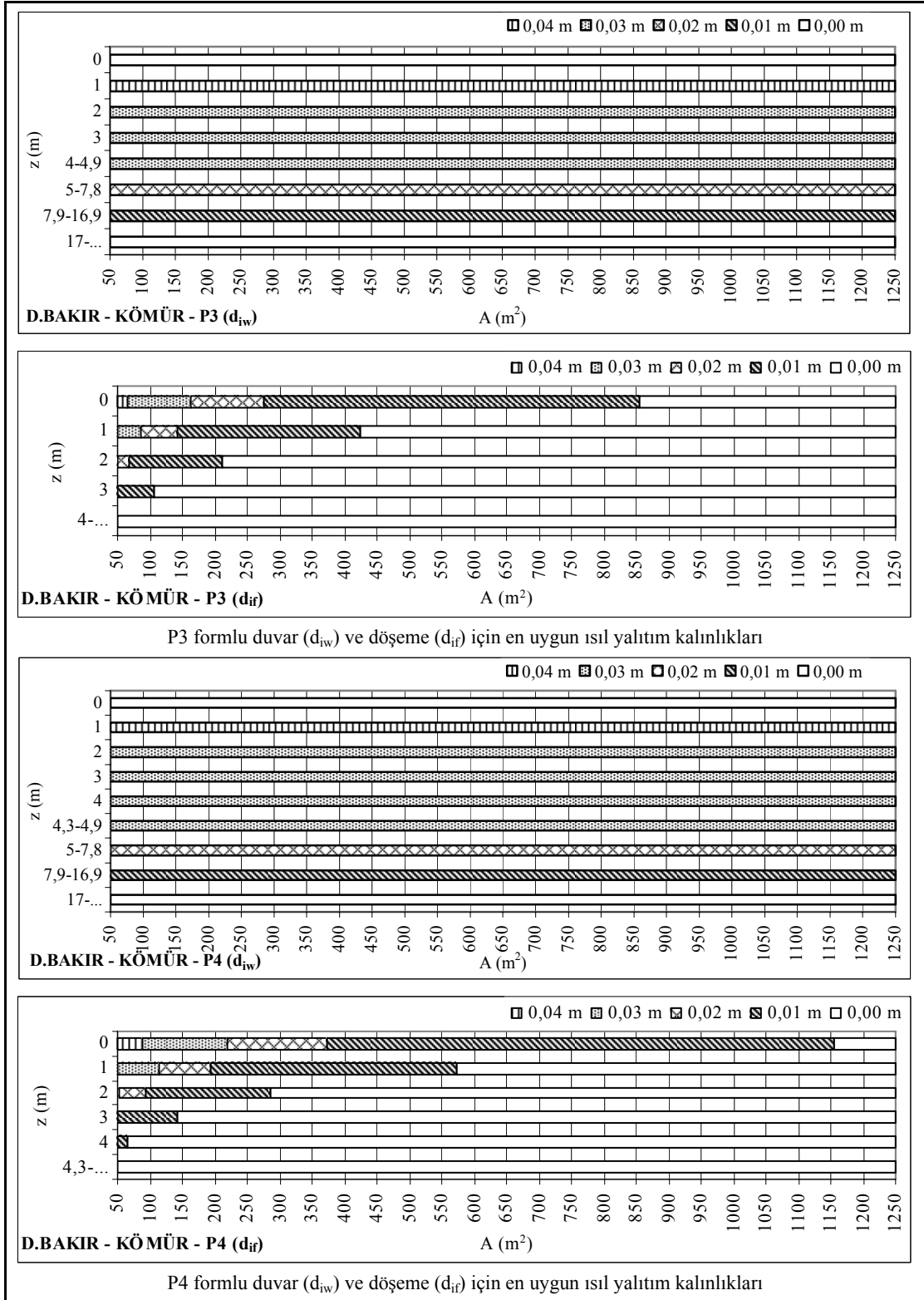
Şekil 2.3. D.Bakır ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular



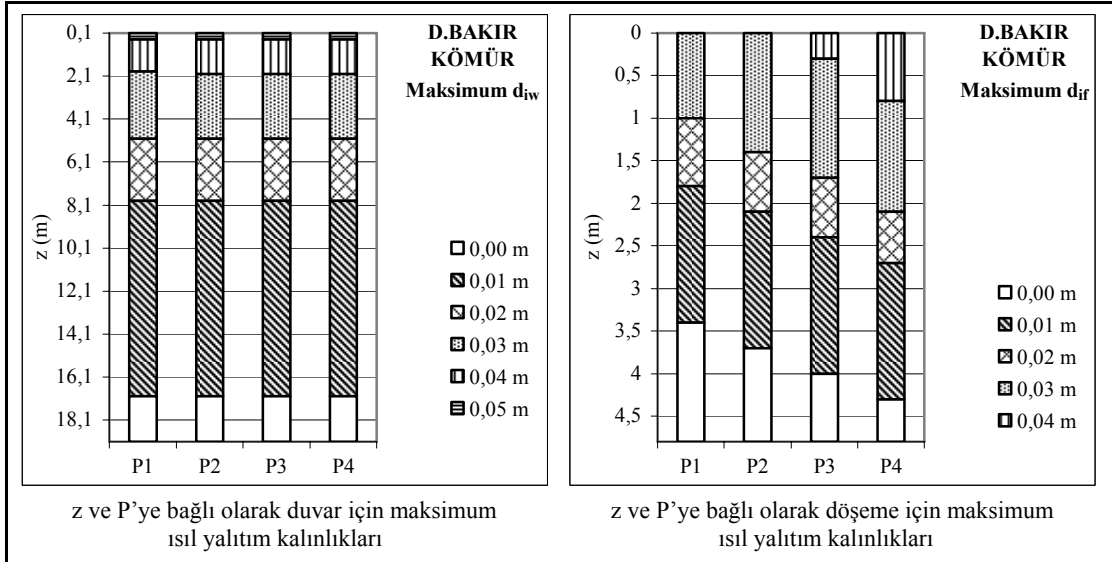
Şekil 2.4. D.Bakır ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular

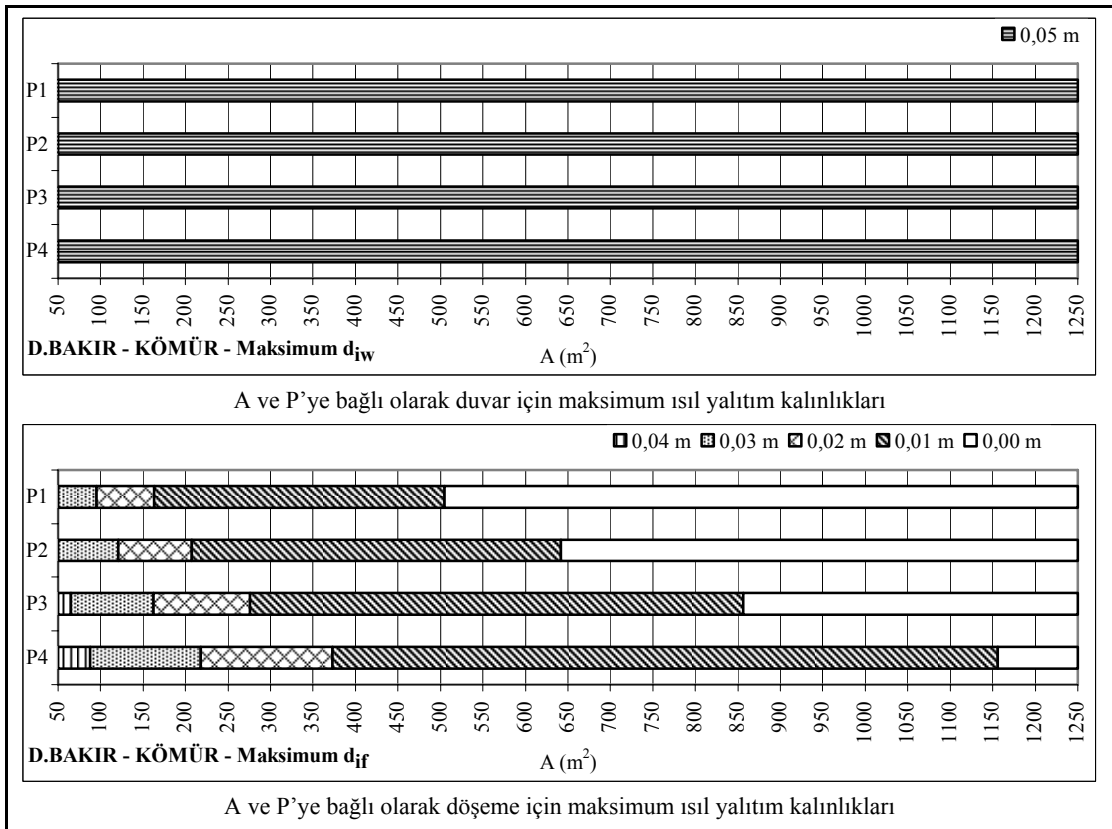


Şekil 2.4. (Devam) D.Bakır ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular

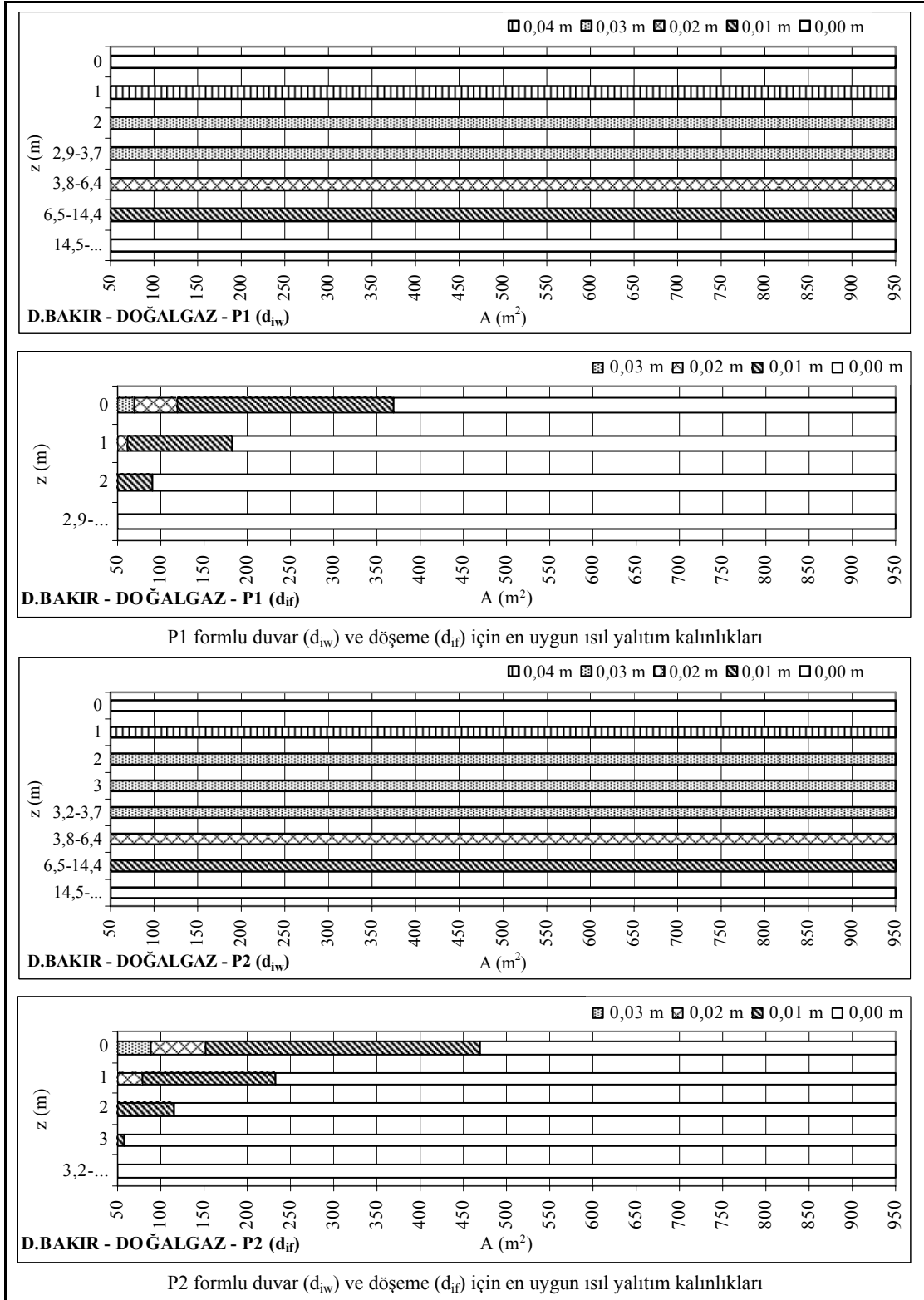


Şekil 2.5. D.Bakır ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



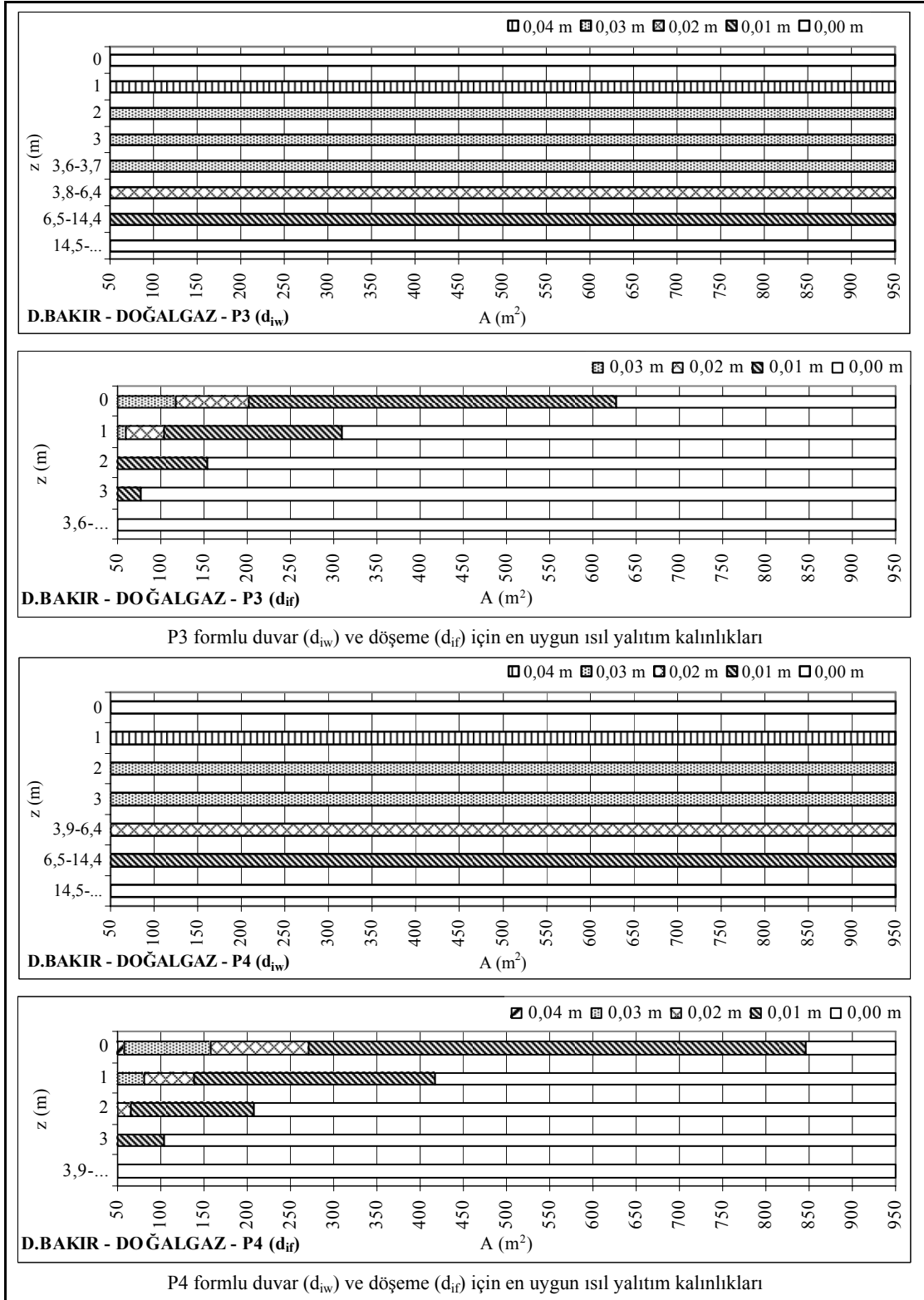
Şekil 2.6. D.Bakır ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular



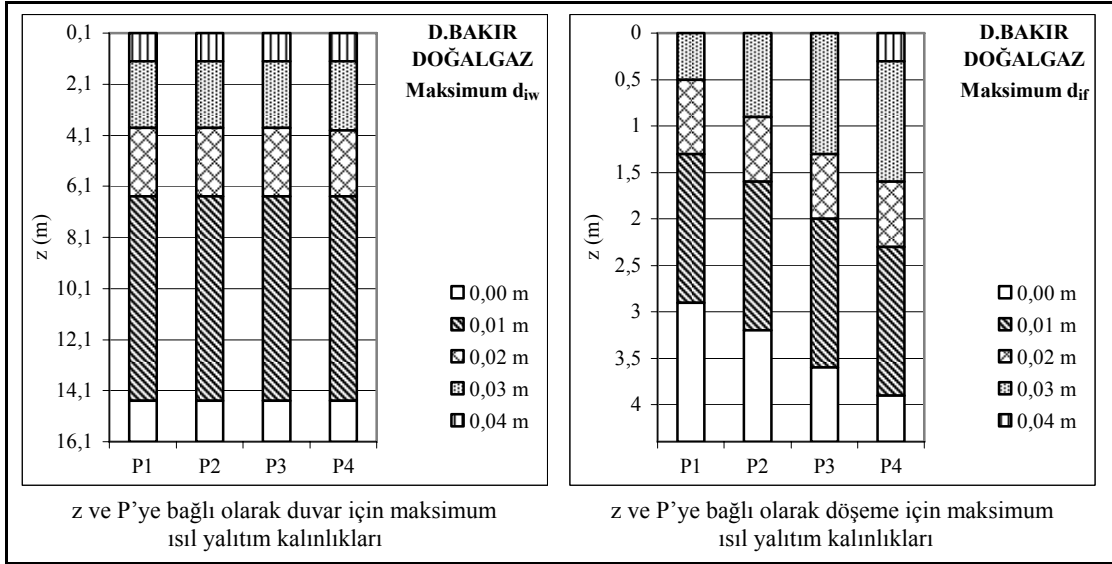
Şekil 2.7. D.Bakır ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular

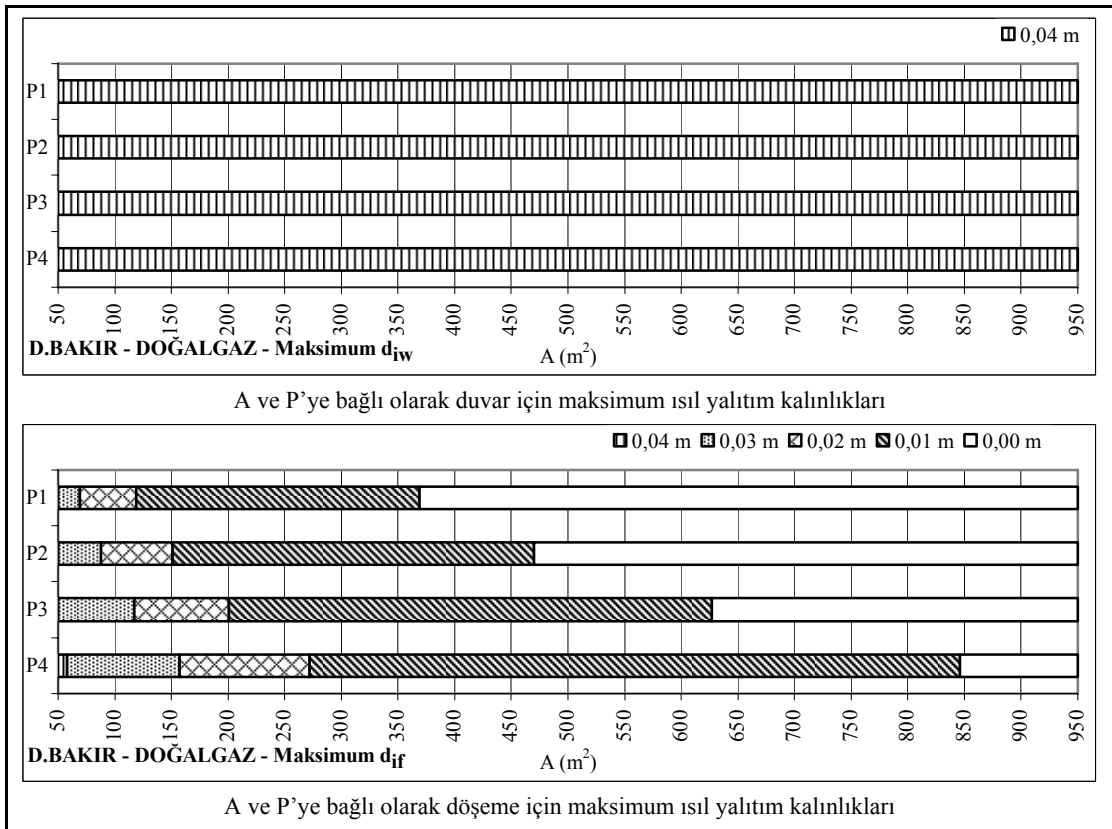


Şekil 2.7. (Devam) D.Bakır ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular

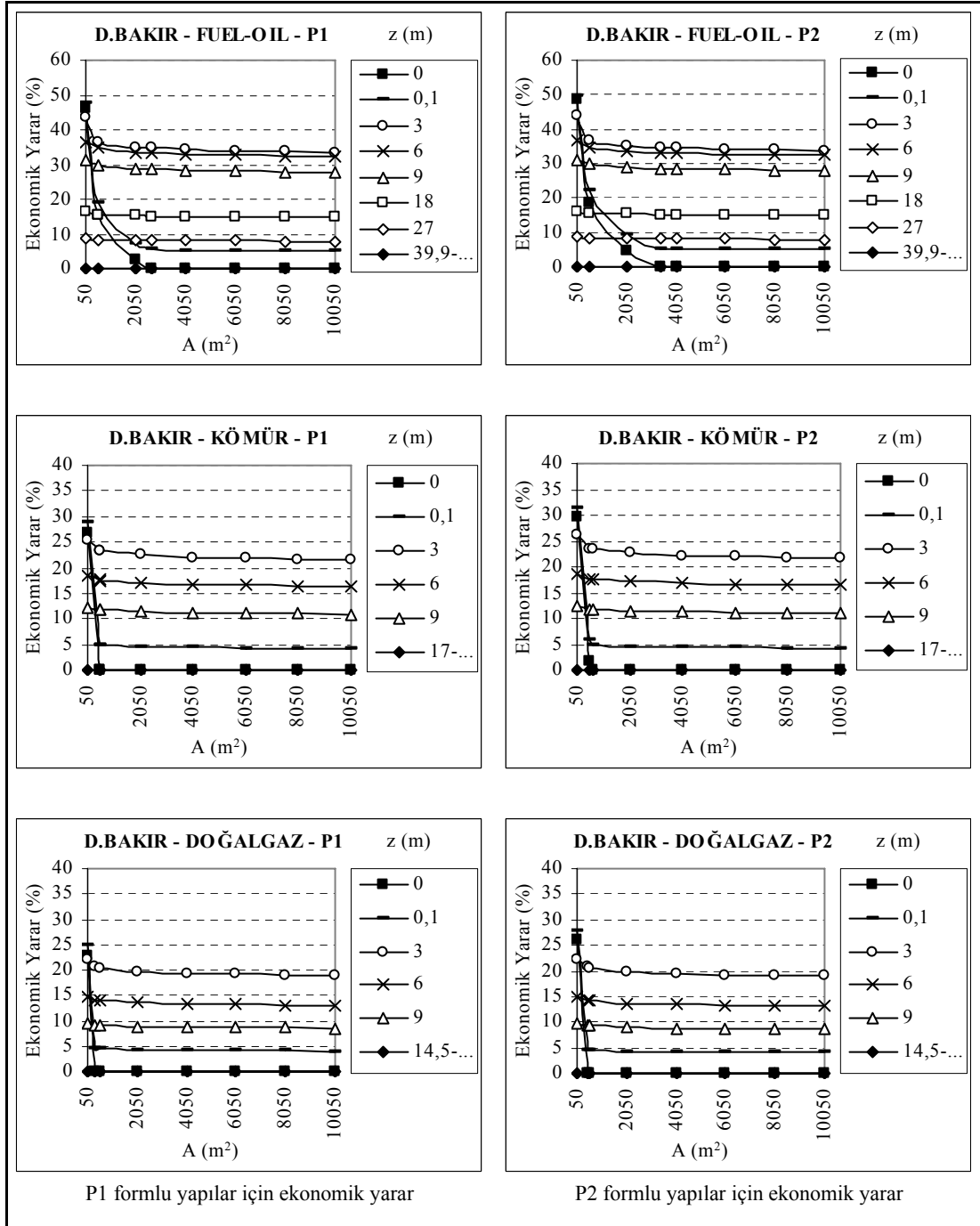


Şekil 2.8. D.Bakır ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



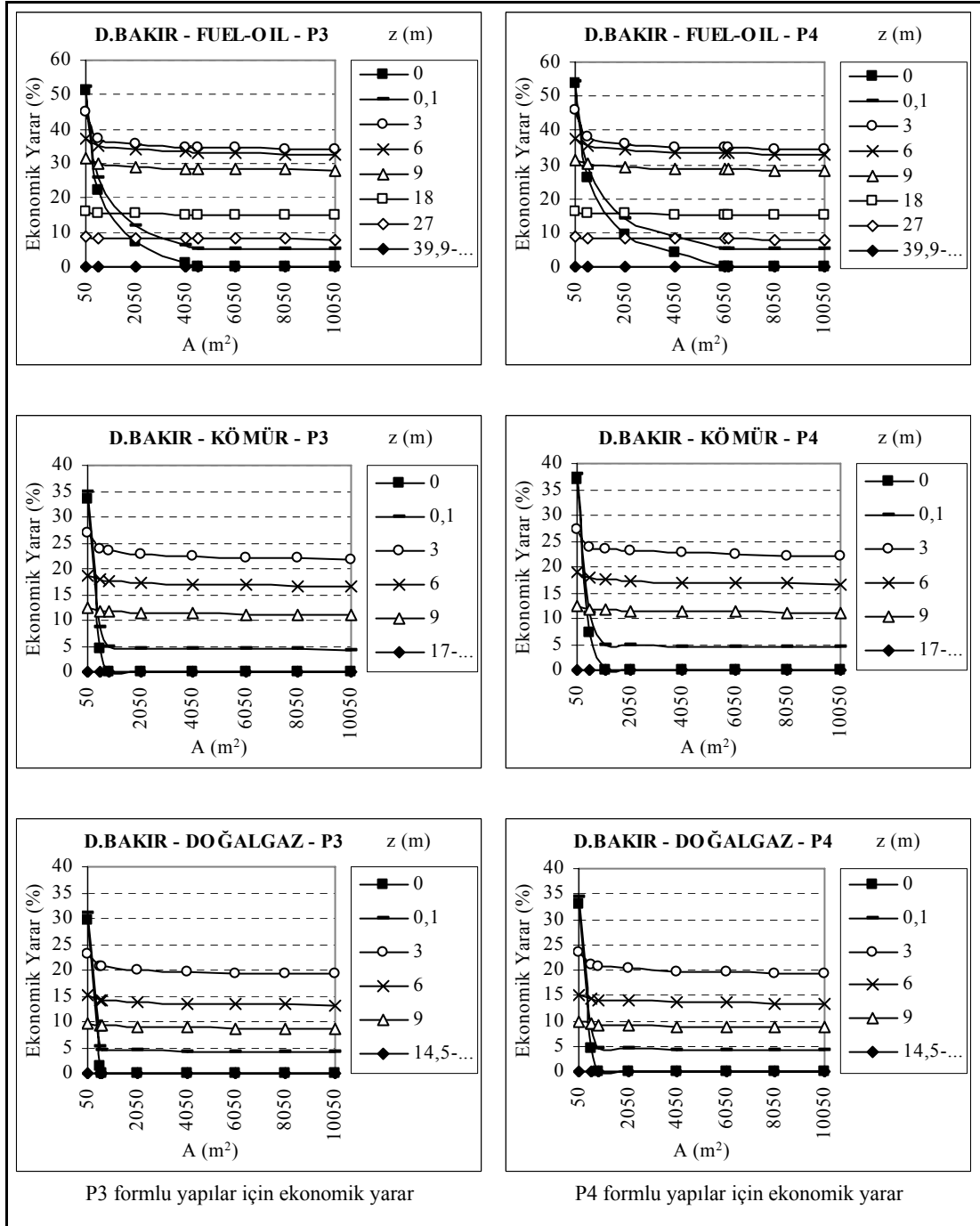
Şekil 2.9. D.Bakır ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular



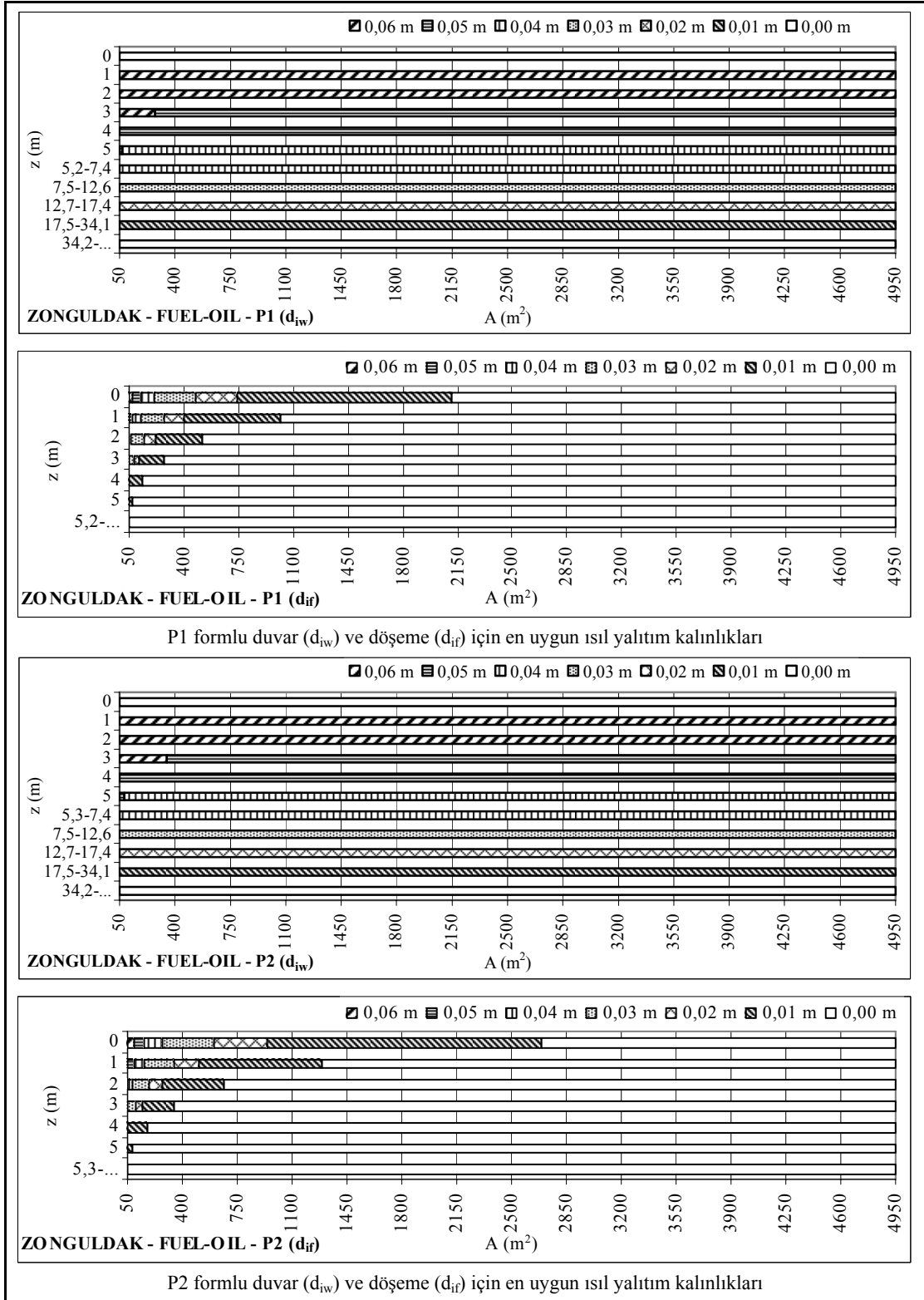
Şekil 2.10. D.Bakır ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-2 (Devam) D.Bakır ili ile ilgili bulgular



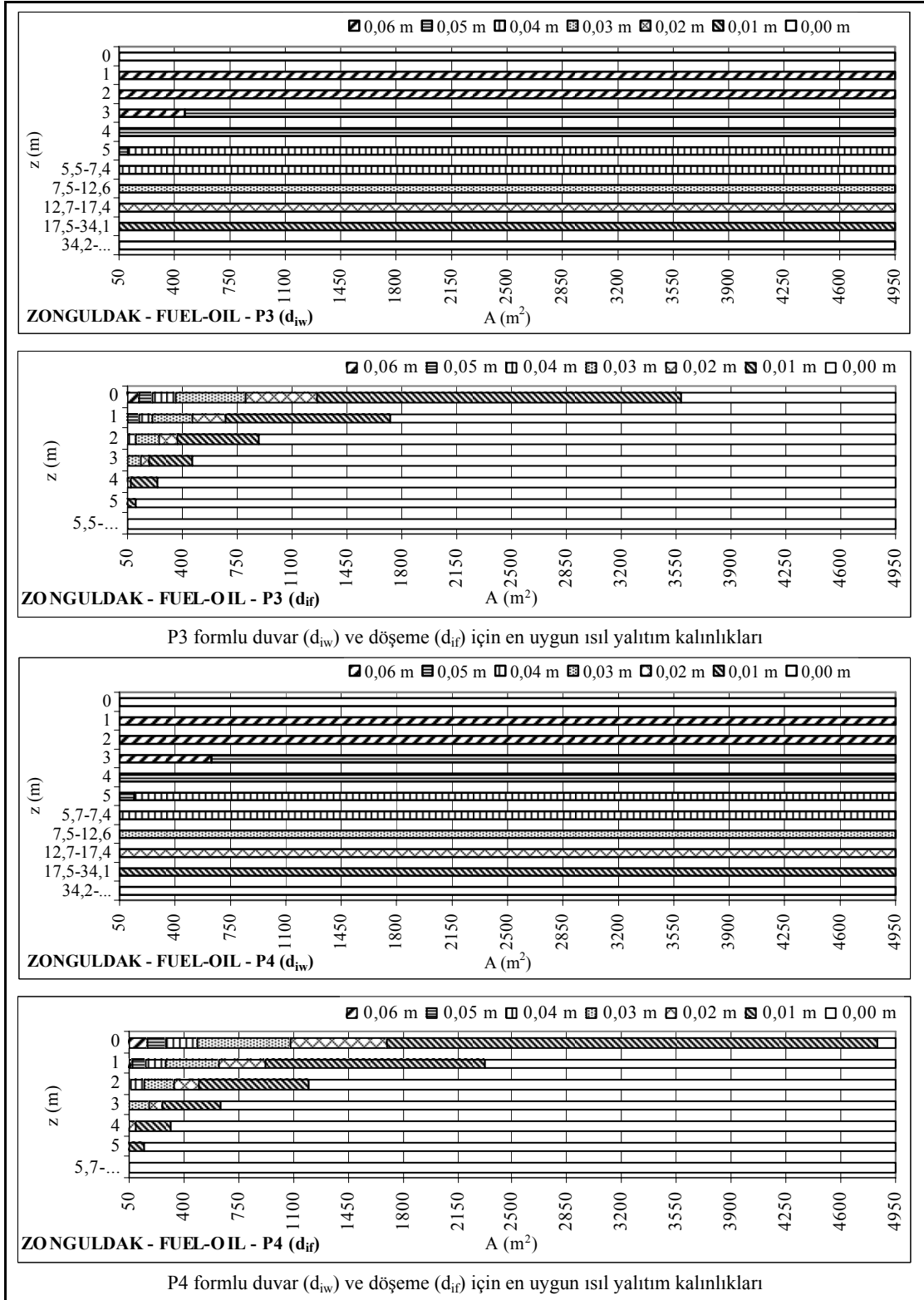
Şekil 2.10. (Devam) D.Bakır ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-3 Zonguldak ili ile ilgili bulgular



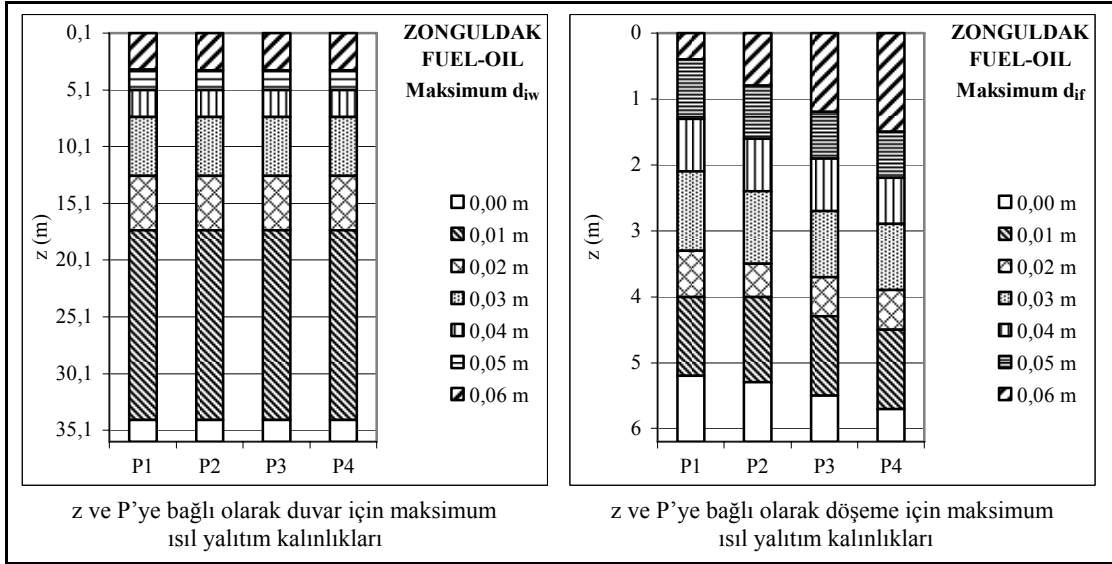
Şekil 3.1. Zonguldak ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular

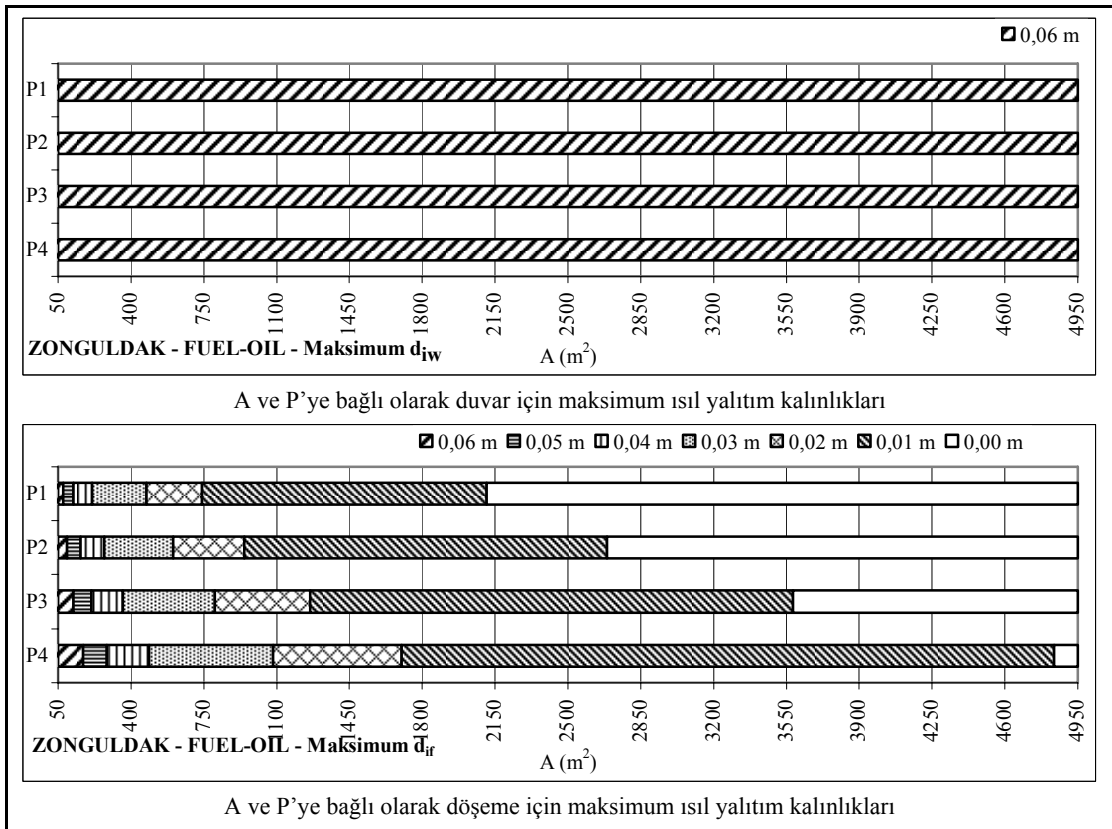


Şekil 3.1. (Devam) Zonguldak ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular

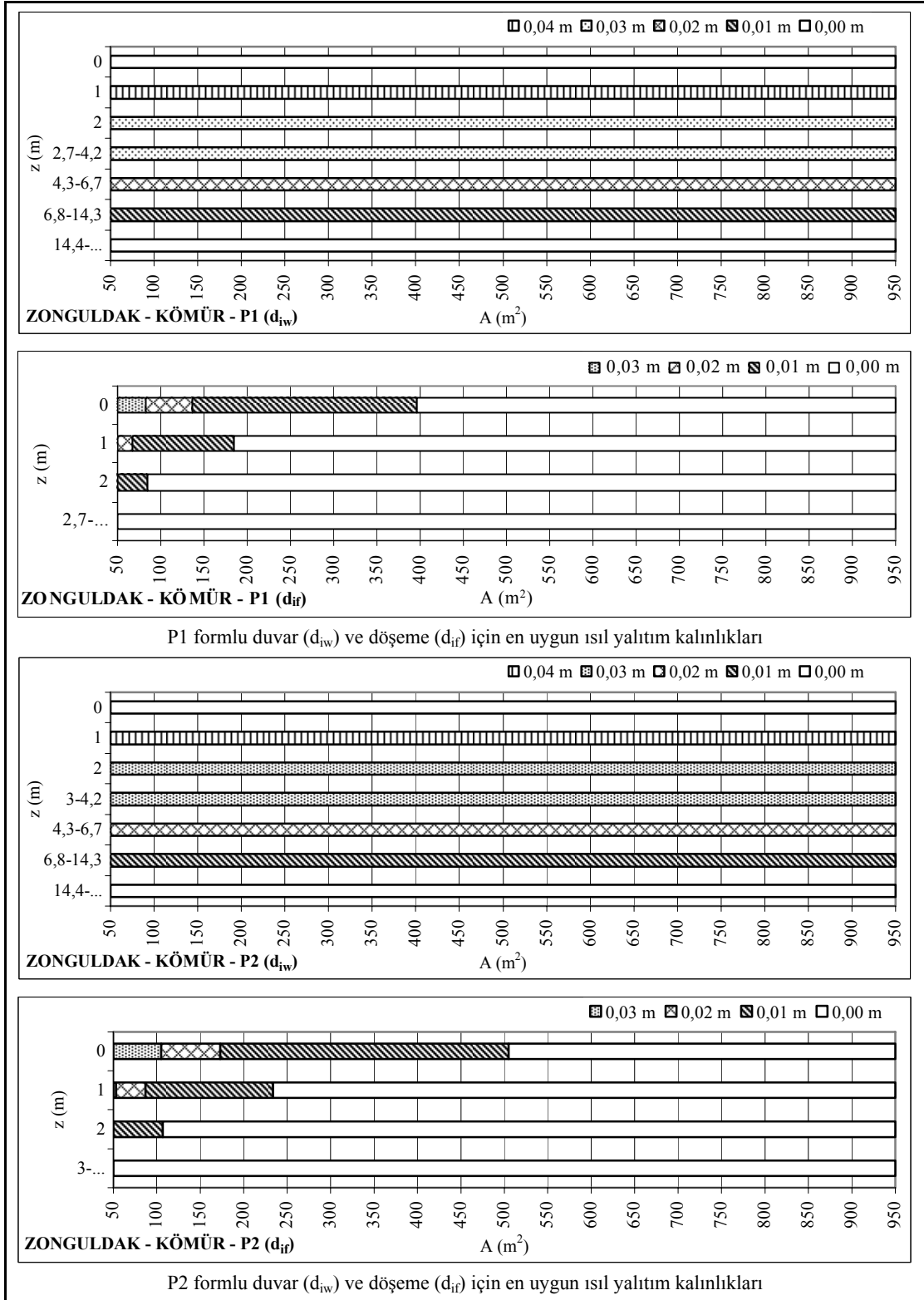


Şekil 3.2. Zonguldak ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



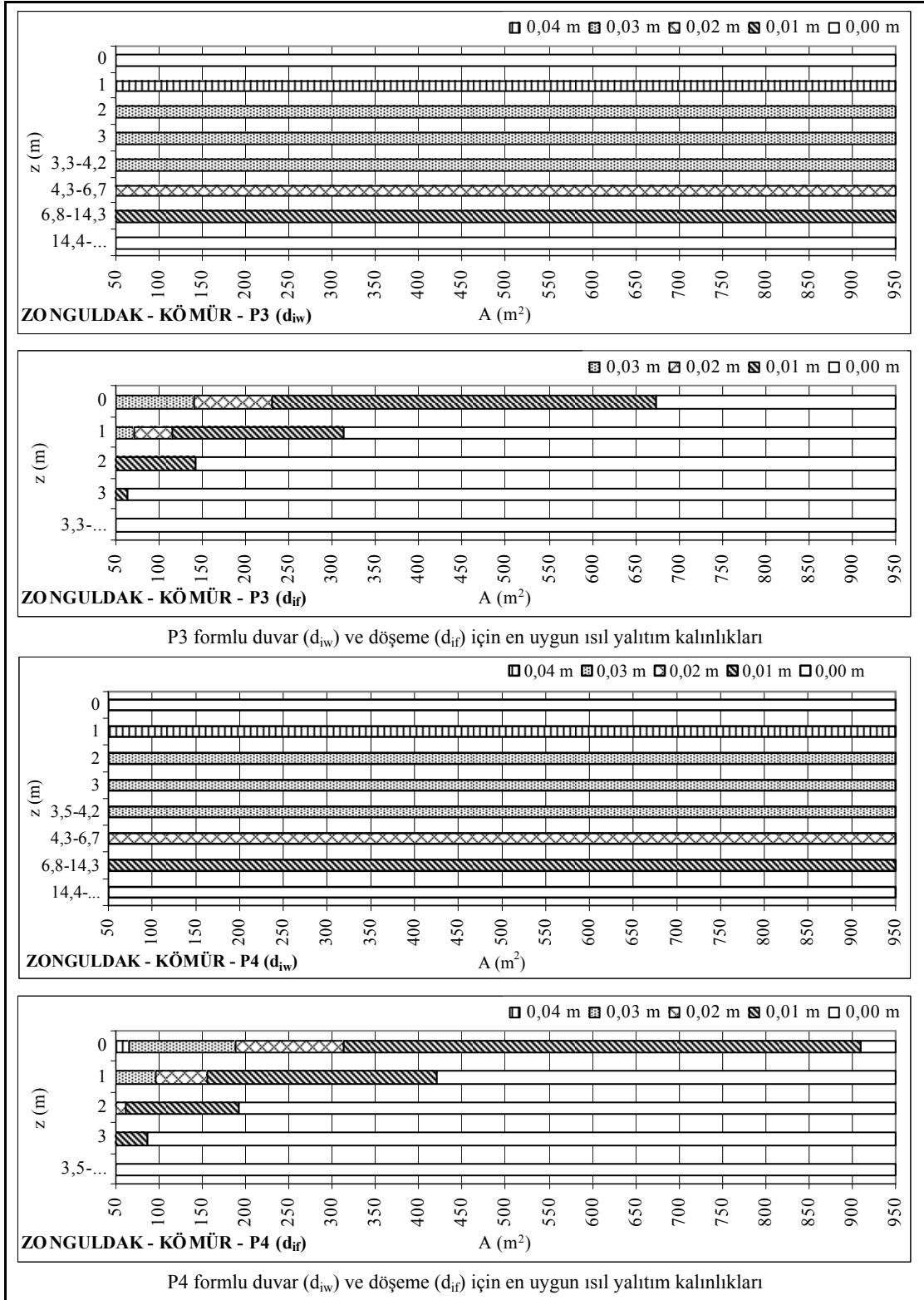
Şekil 3.3. Zonguldak ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular



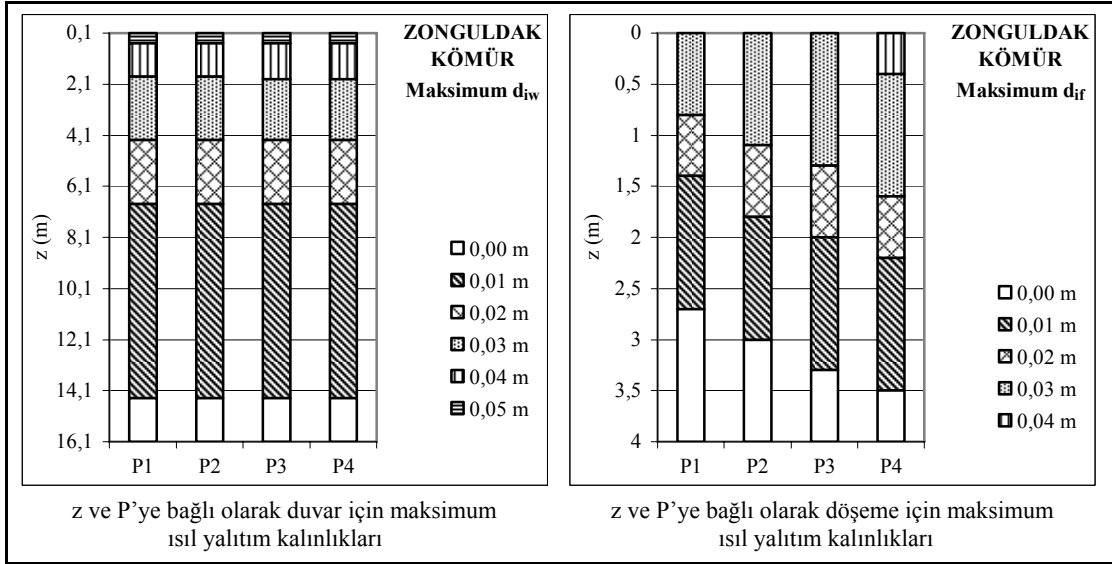
Şekil 3.4. Zonguldak ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular

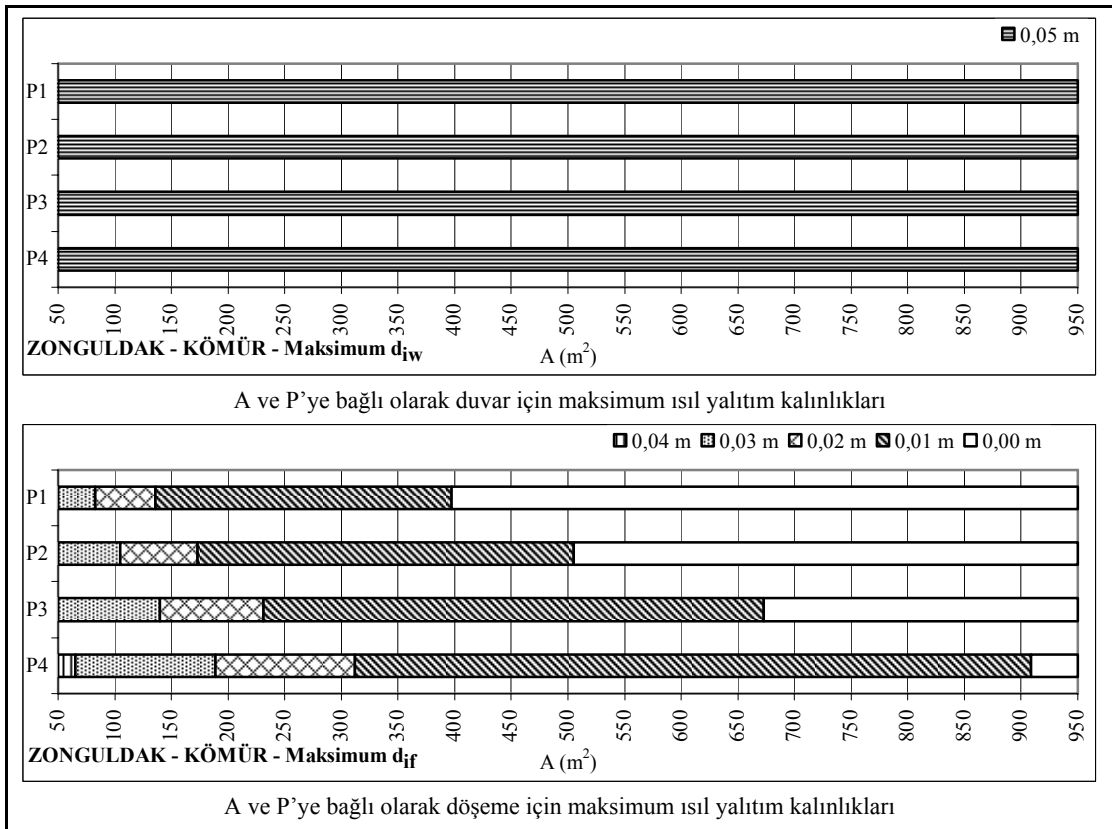


Şekil 3.4. (Devam) Zonguldak ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular

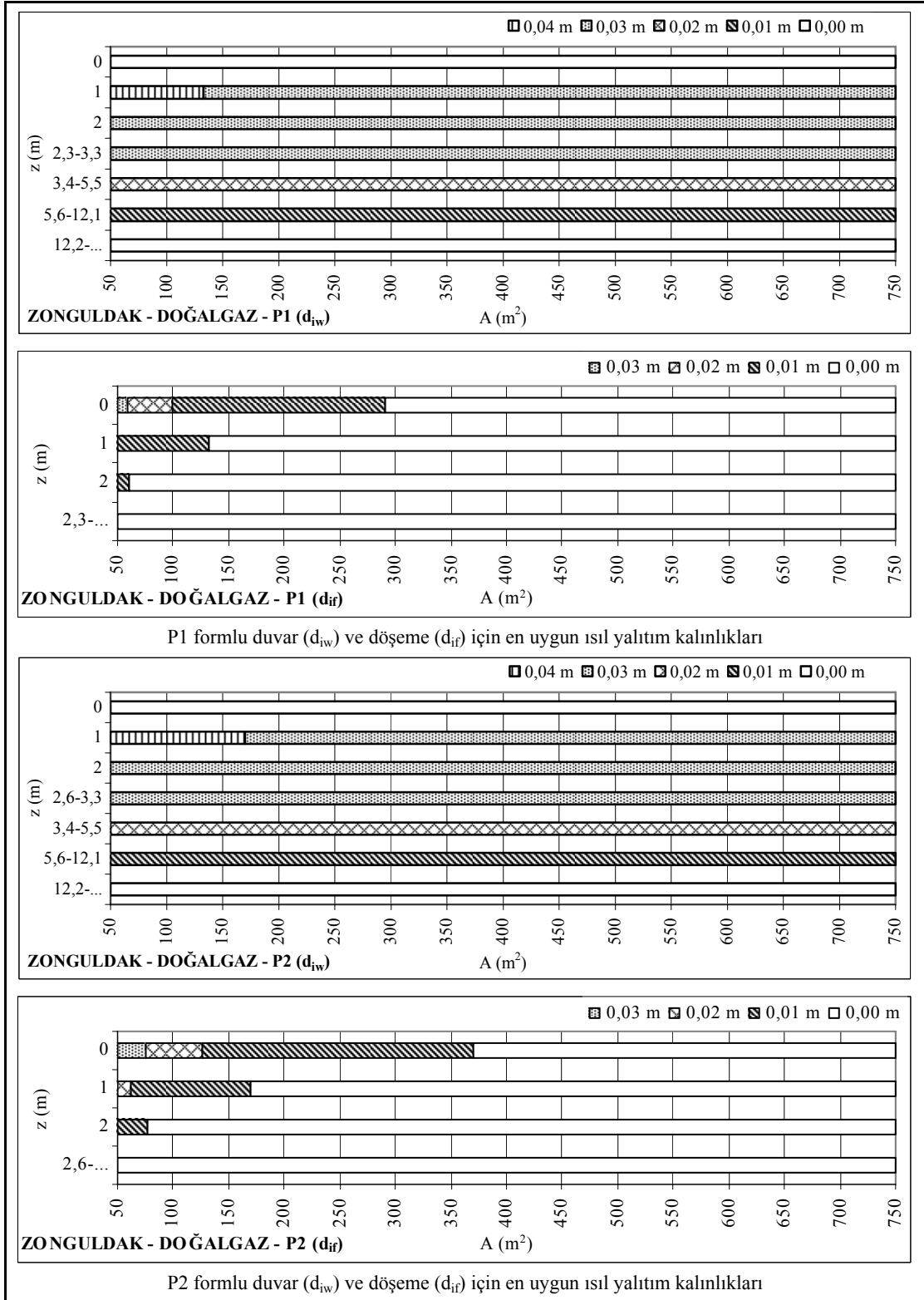


Şekil 3.5. Zonguldak ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



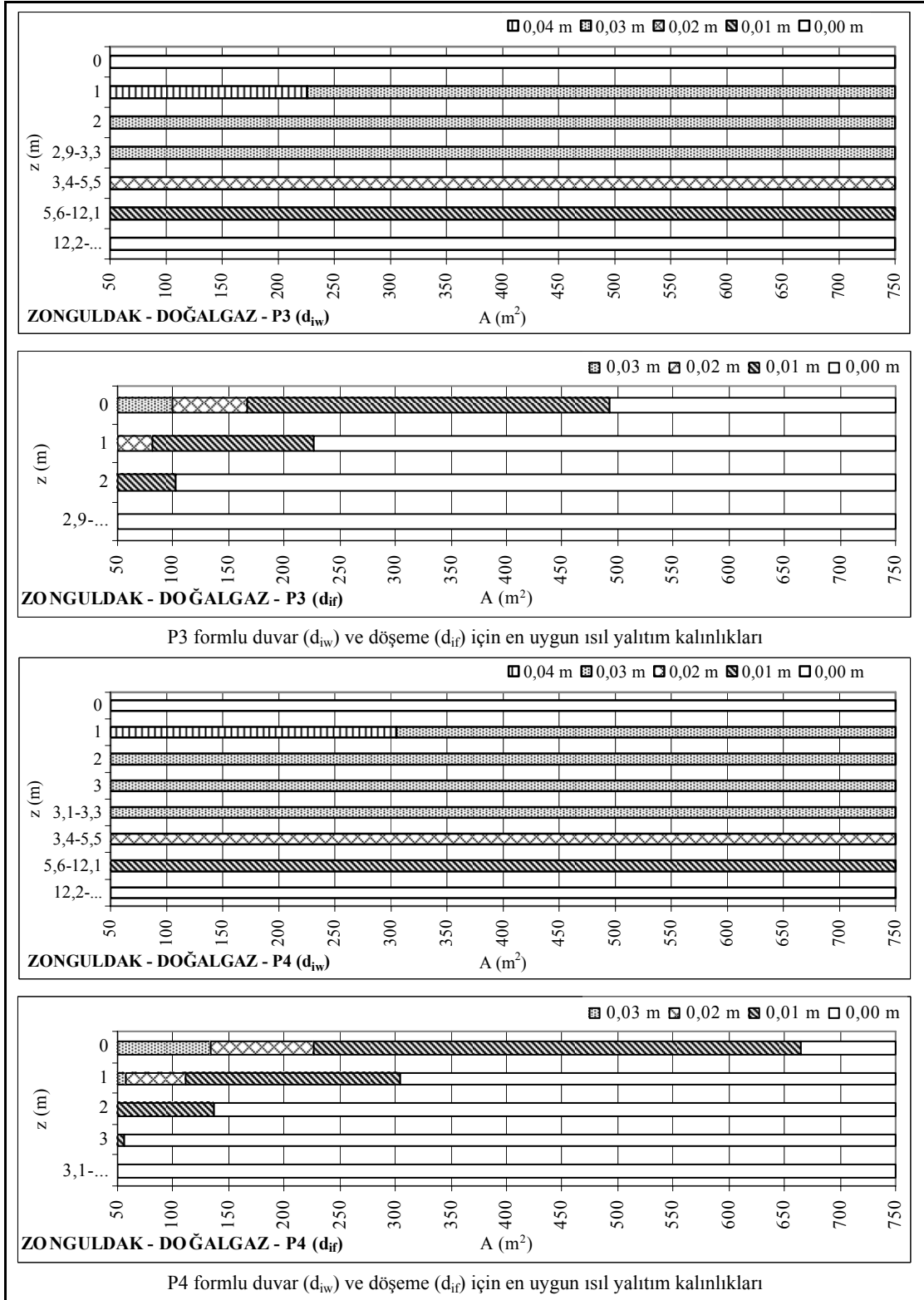
Şekil 3.6. Zonguldak ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular



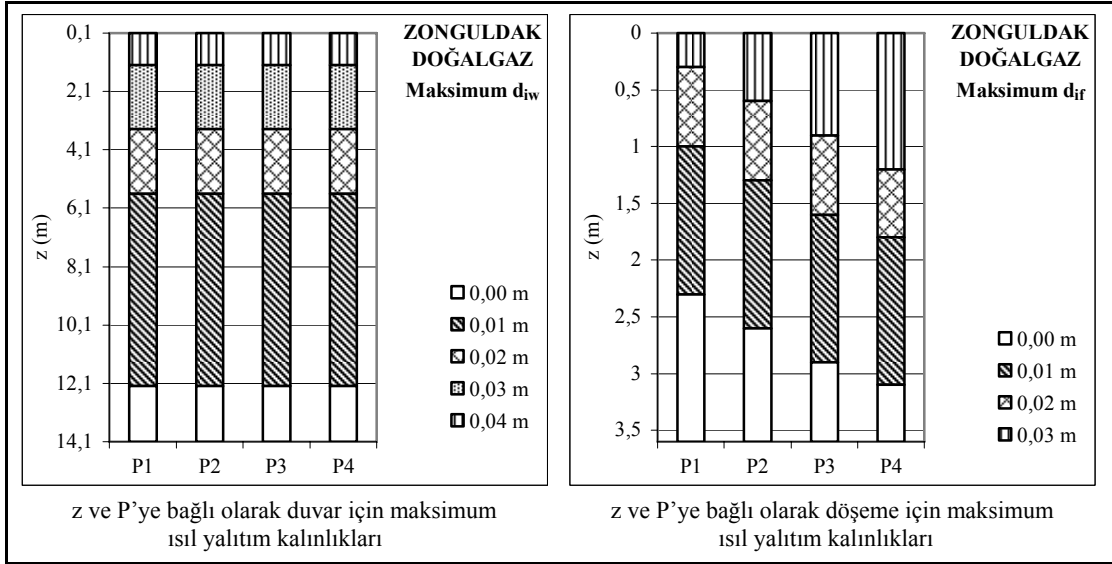
Şekil 3.7. Zonguldak ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular

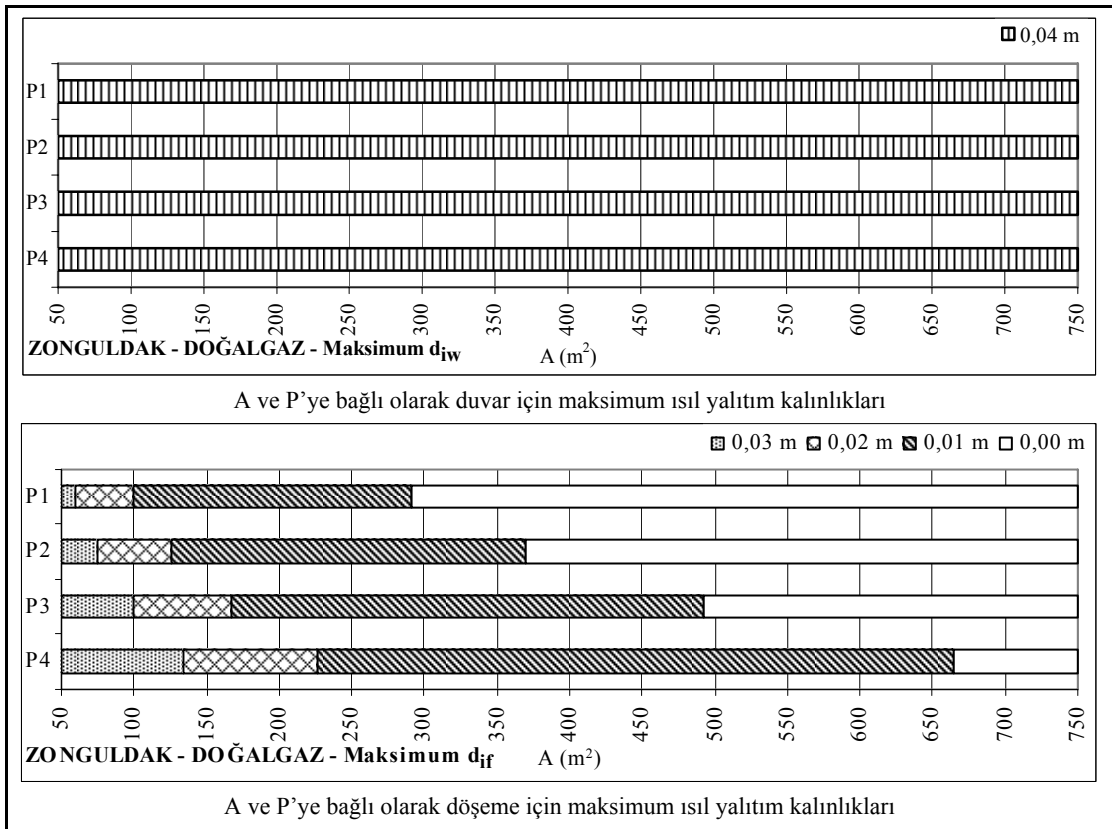


Şekil 3.7. (Devam) Zonguldak ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular

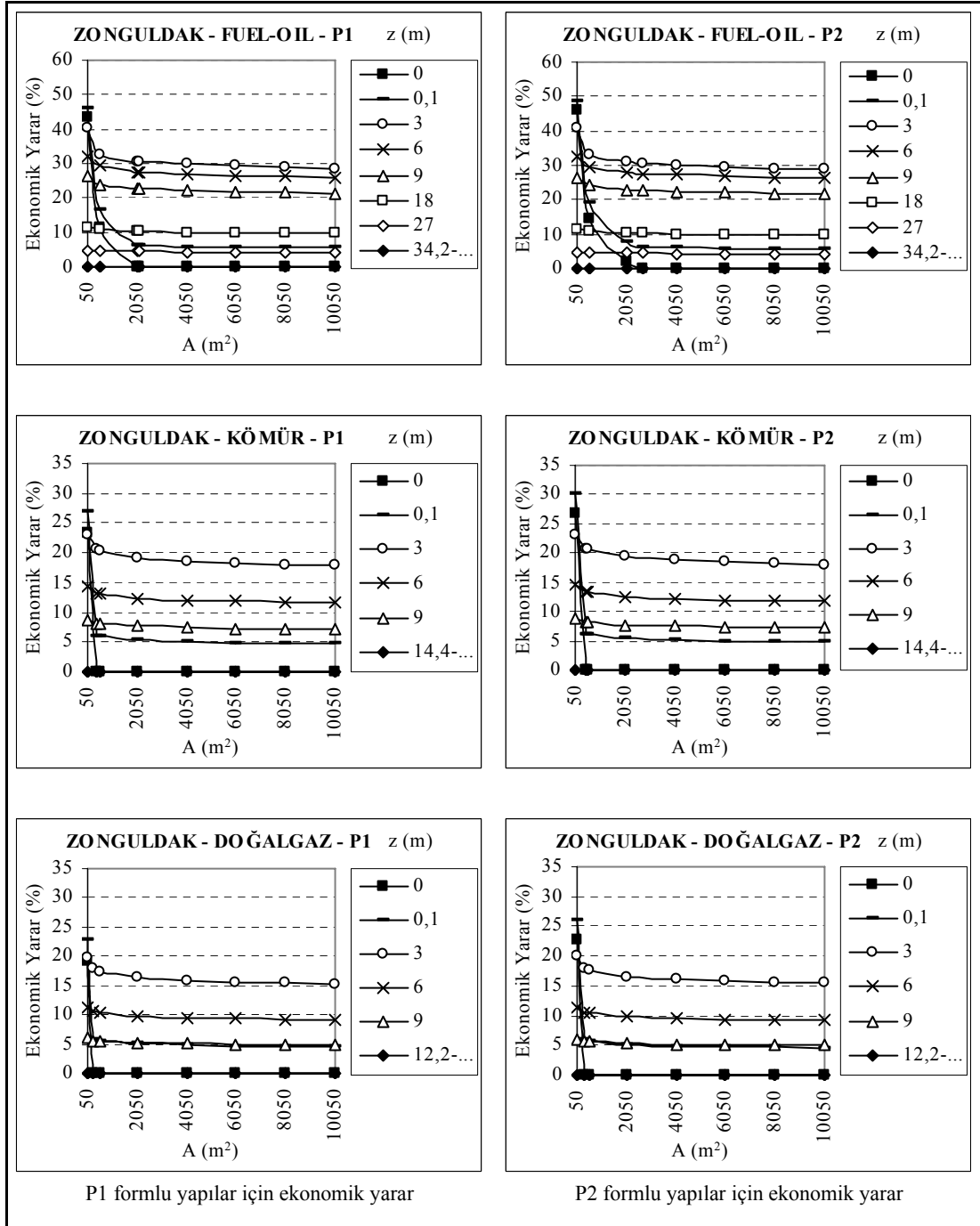


Şekil 3.8. Zonguldak ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



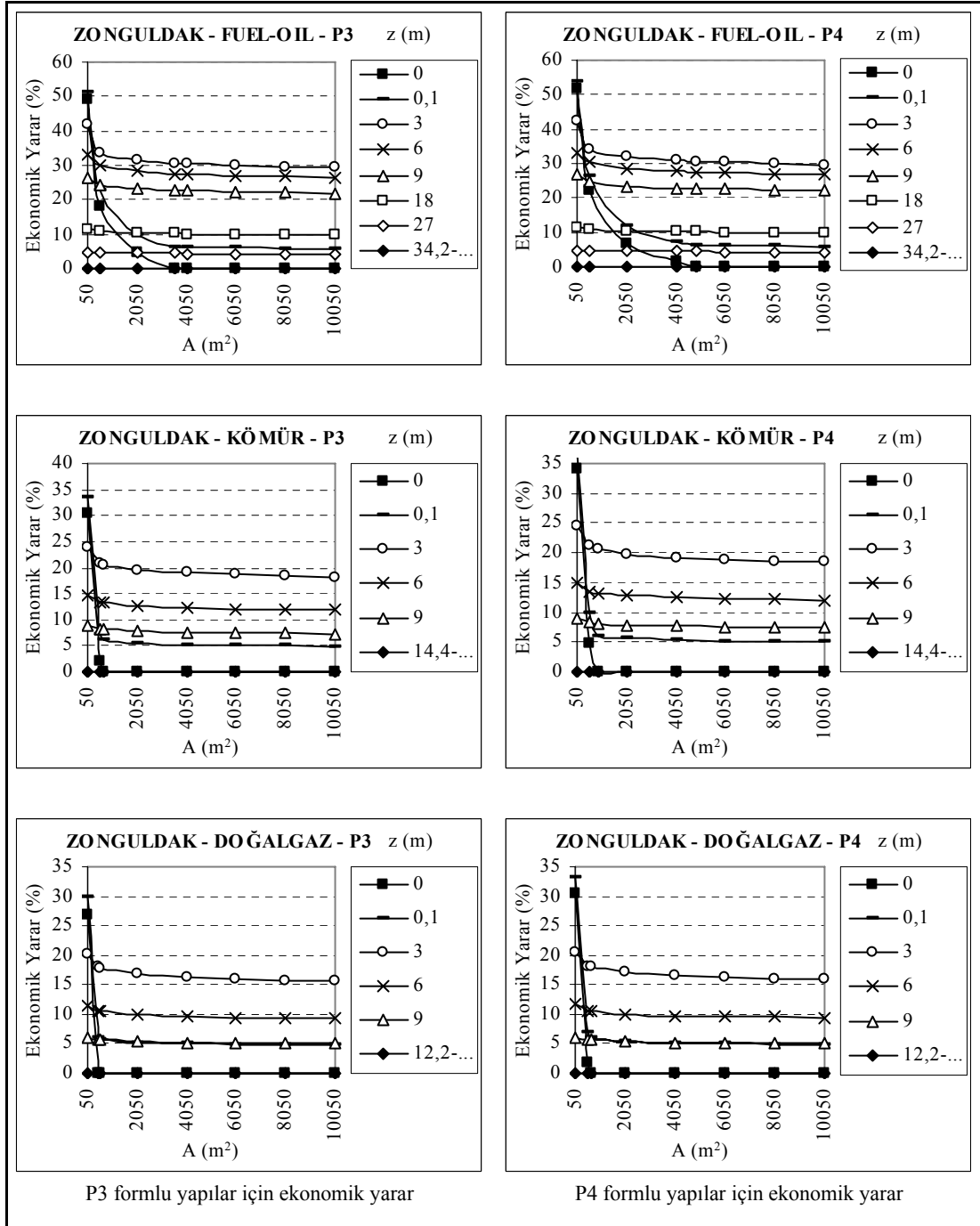
Şekil 3.9. Zonguldak ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular



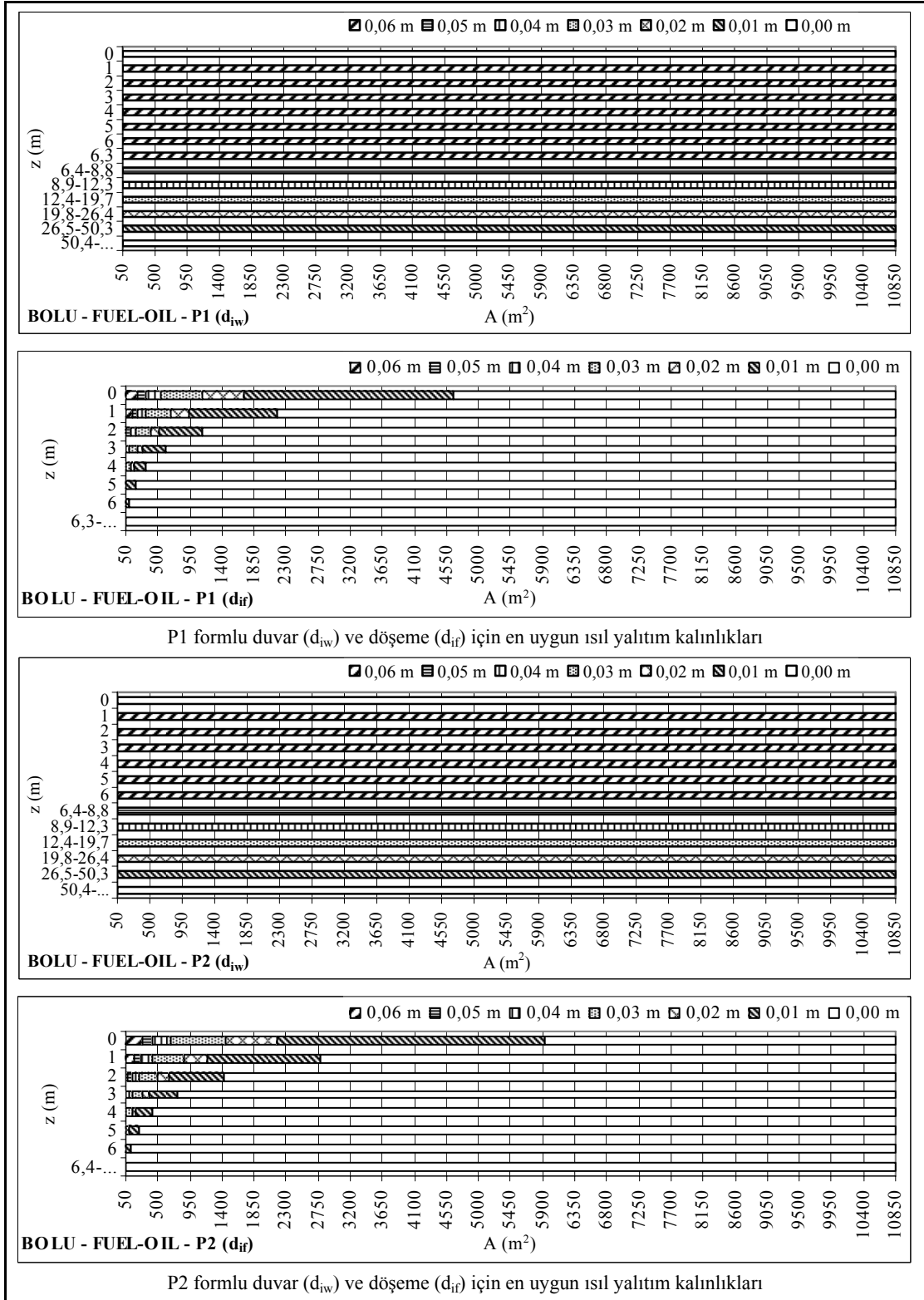
Şekil 3.10. Zonguldak ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-3 (Devam) Zonguldak ili ile ilgili bulgular



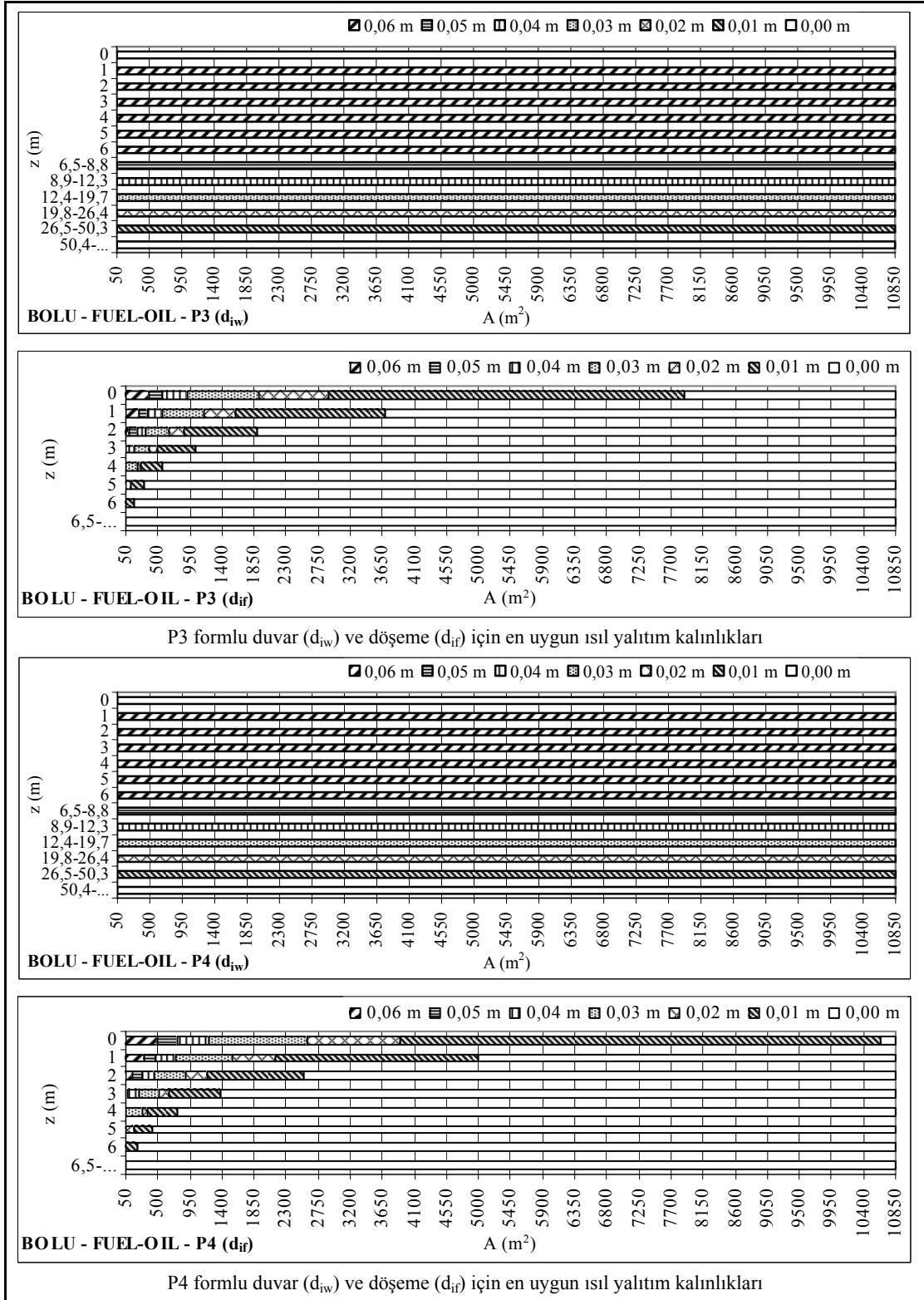
Şekil 3.10. (Devam) Zonguldak ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-4 Bolu ili ile ilgili bulgular



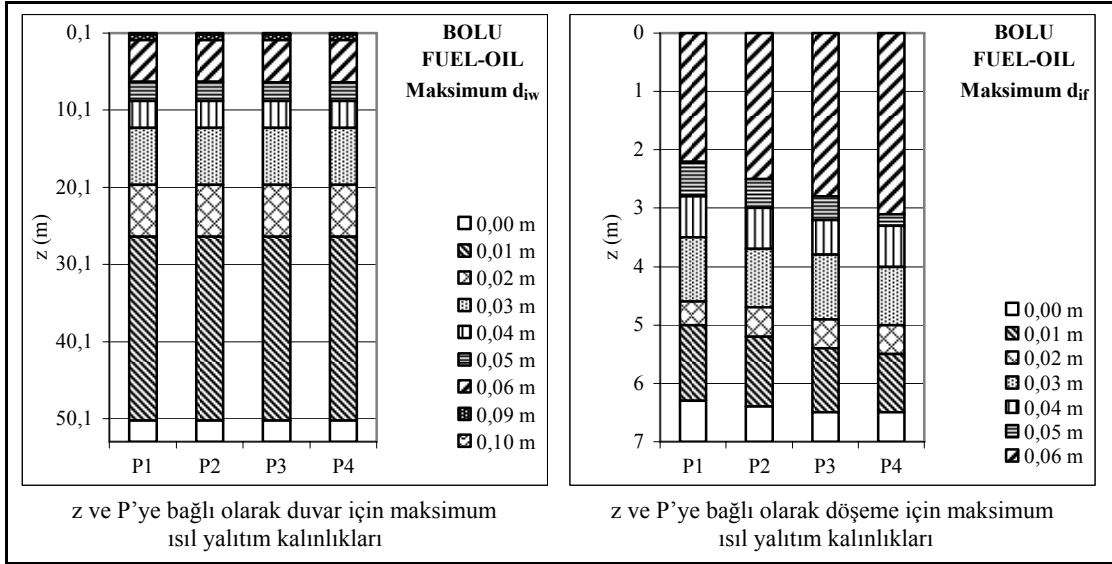
Şekil 4.1. Bolu ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular

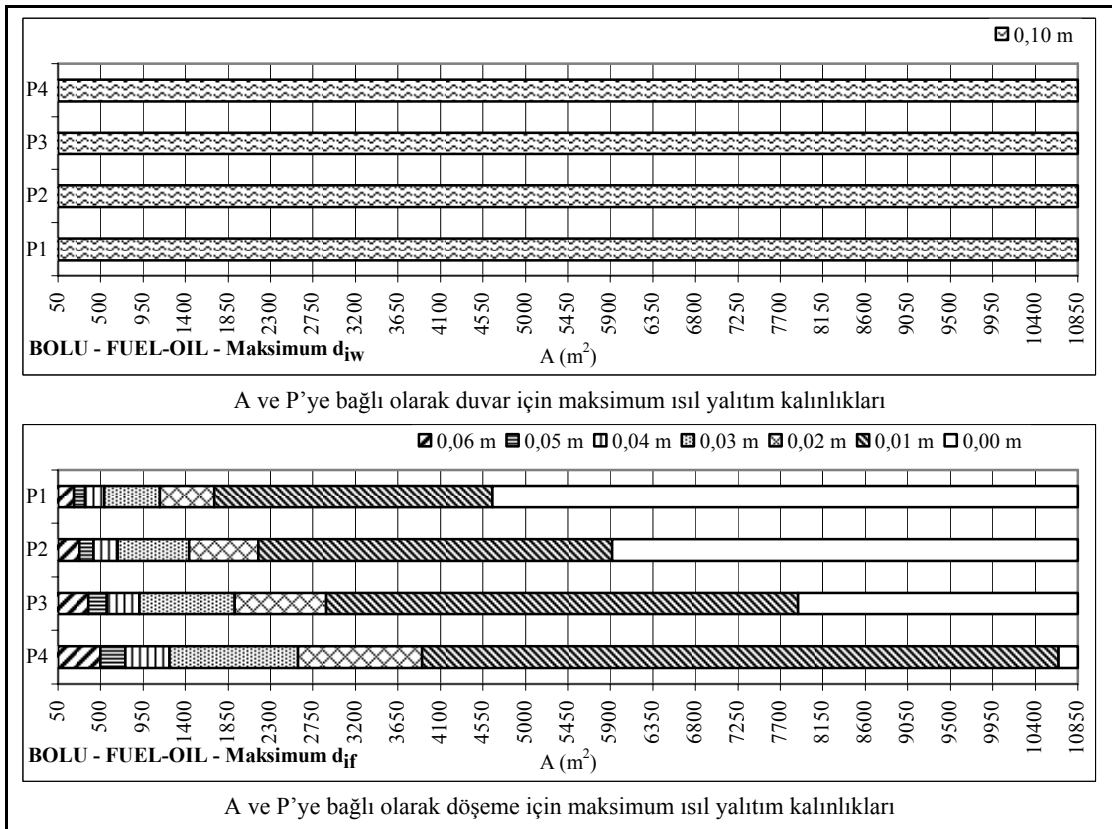


Şekil 4.1. (Devam) Bolu ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular

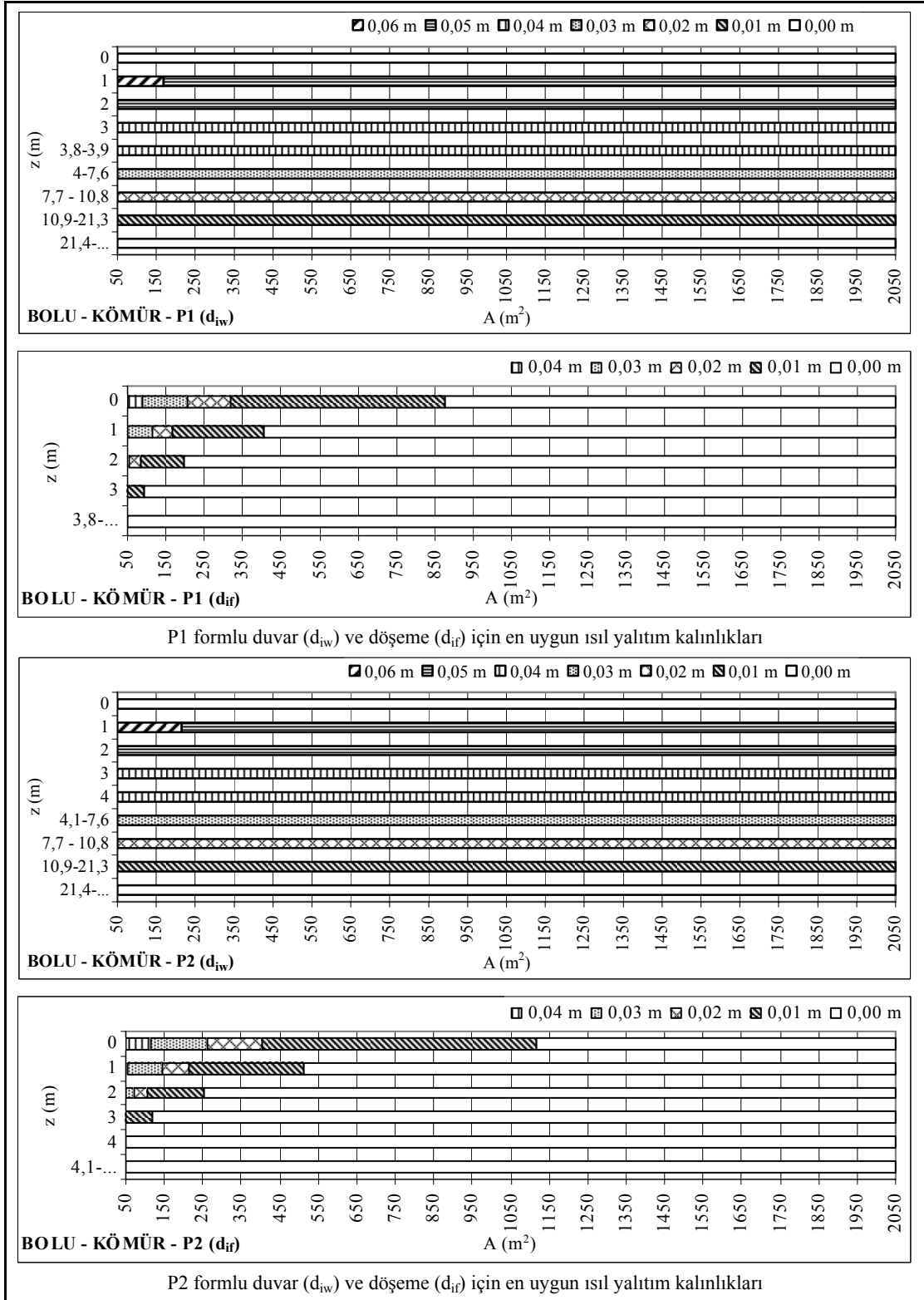


Şekil 4.2. Bolu ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



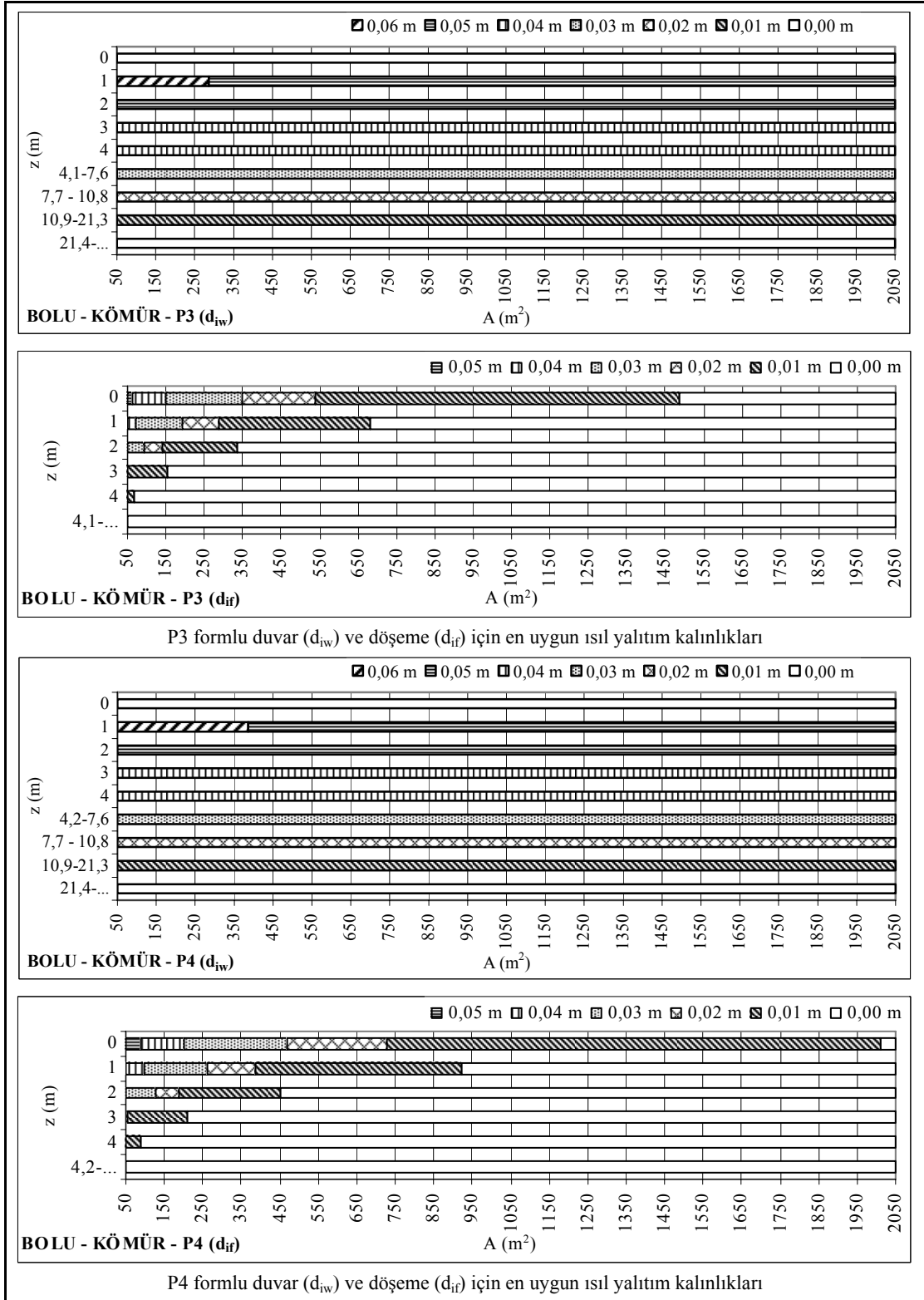
Şekil 4.3. Bolu ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular



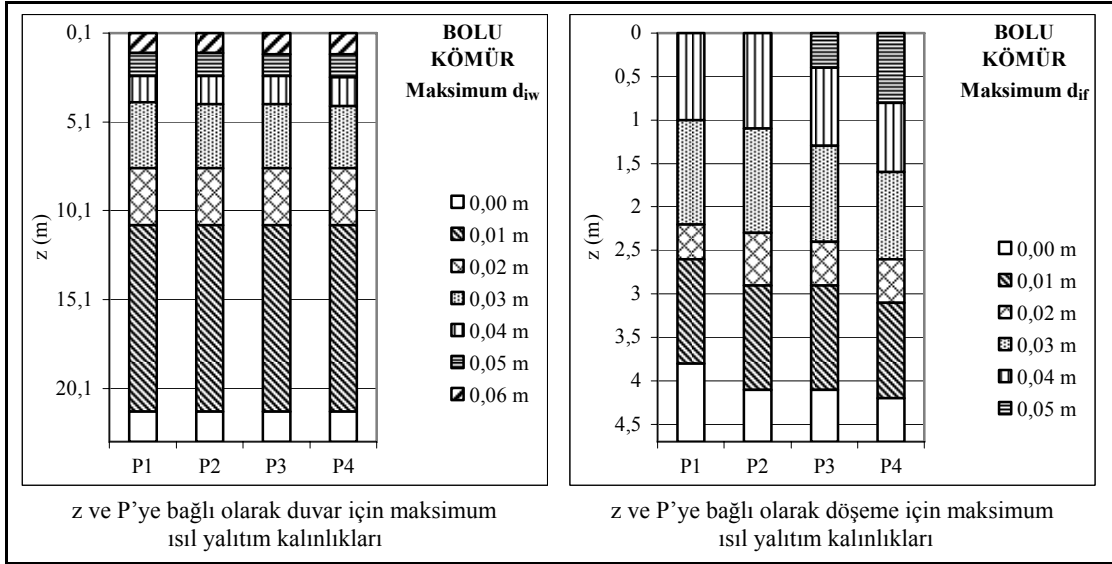
Şekil 4.4. Bolu ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular

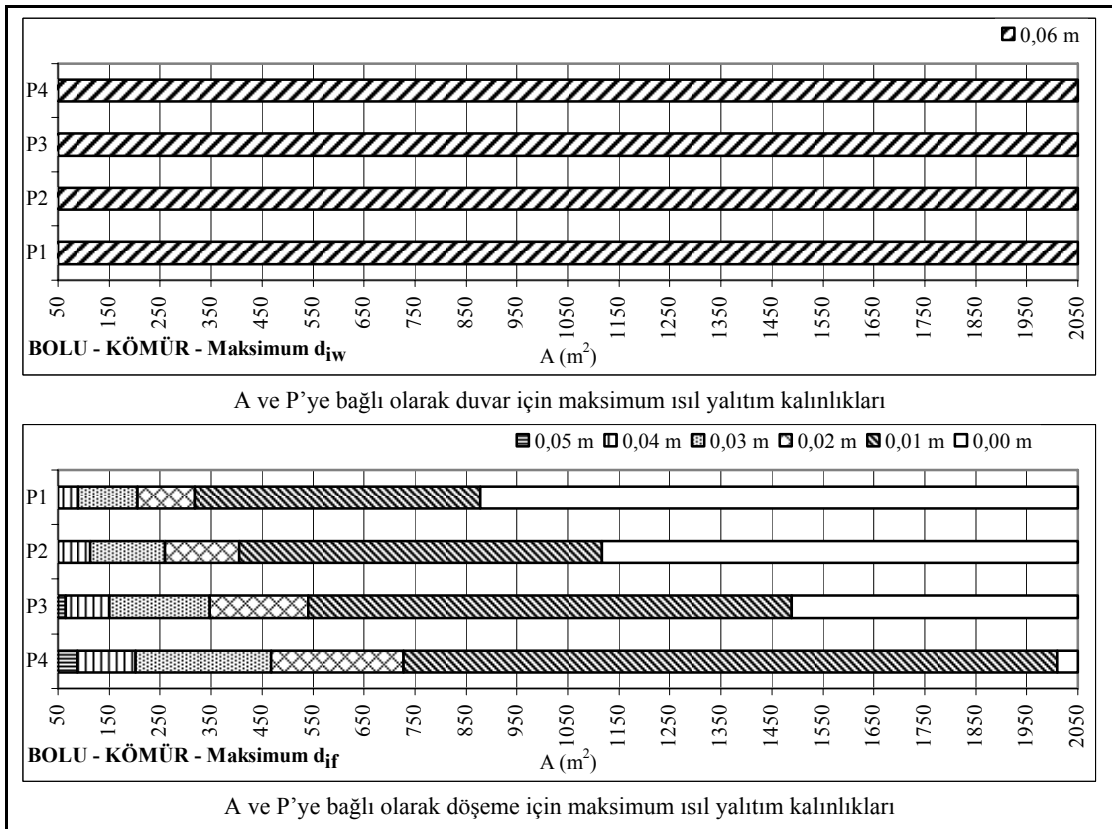


Şekil 4.4. (Devam) Bolu ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular

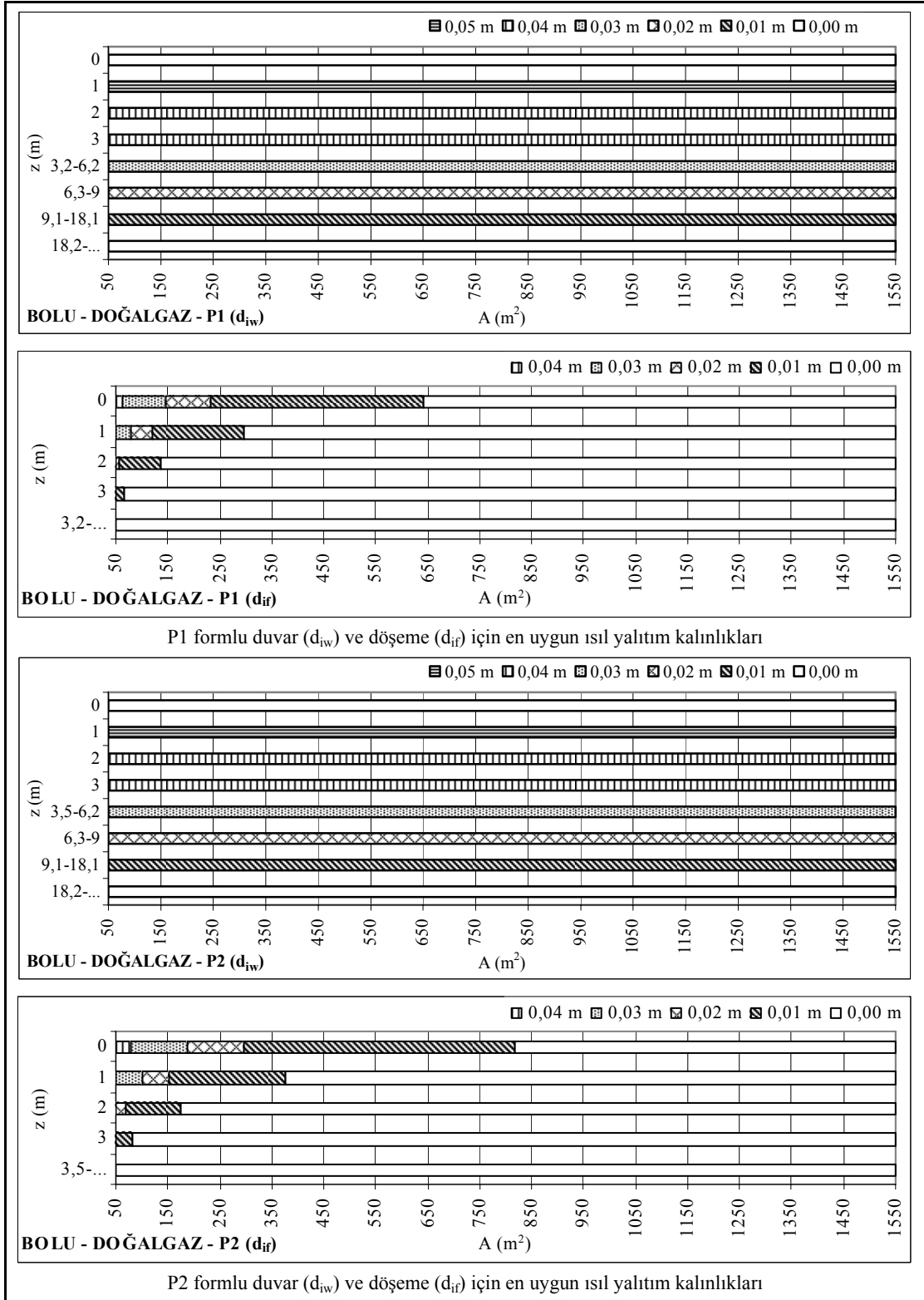


Şekil 4.5. Bolu ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



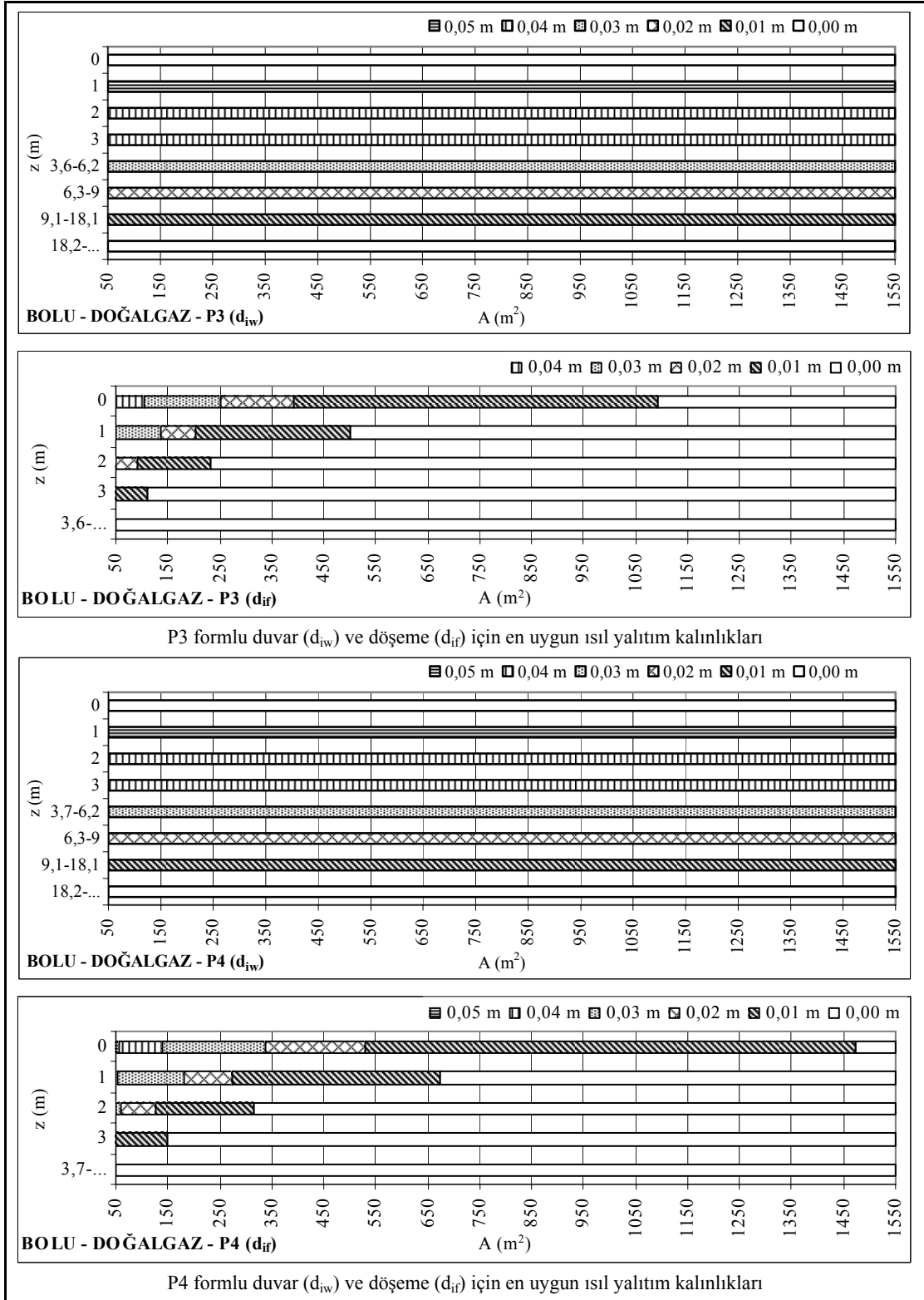
Şekil 4.6. Bolu ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular



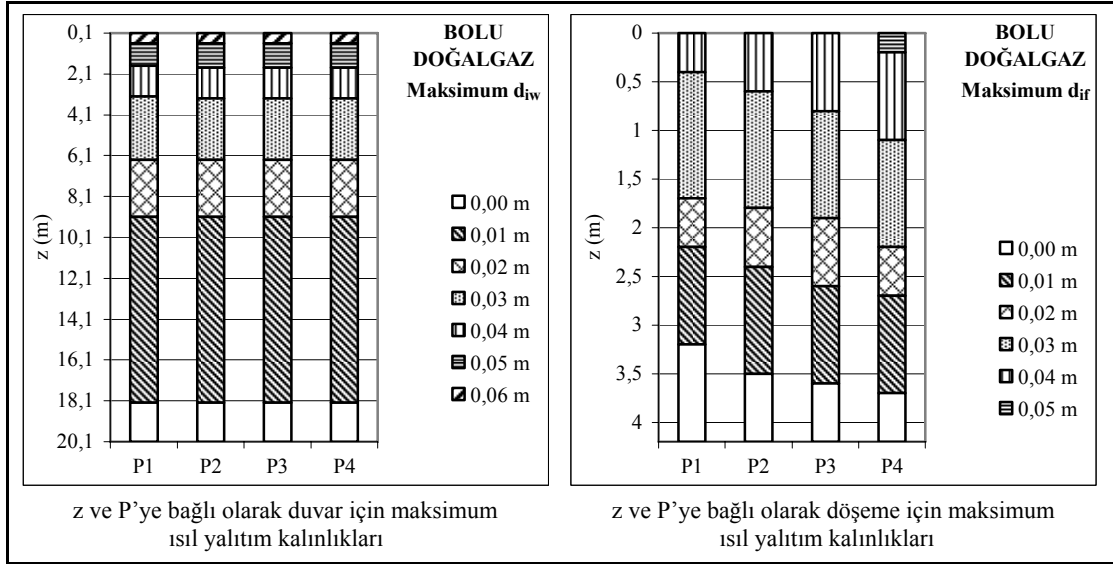
Şekil 4.7. Bolu ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular

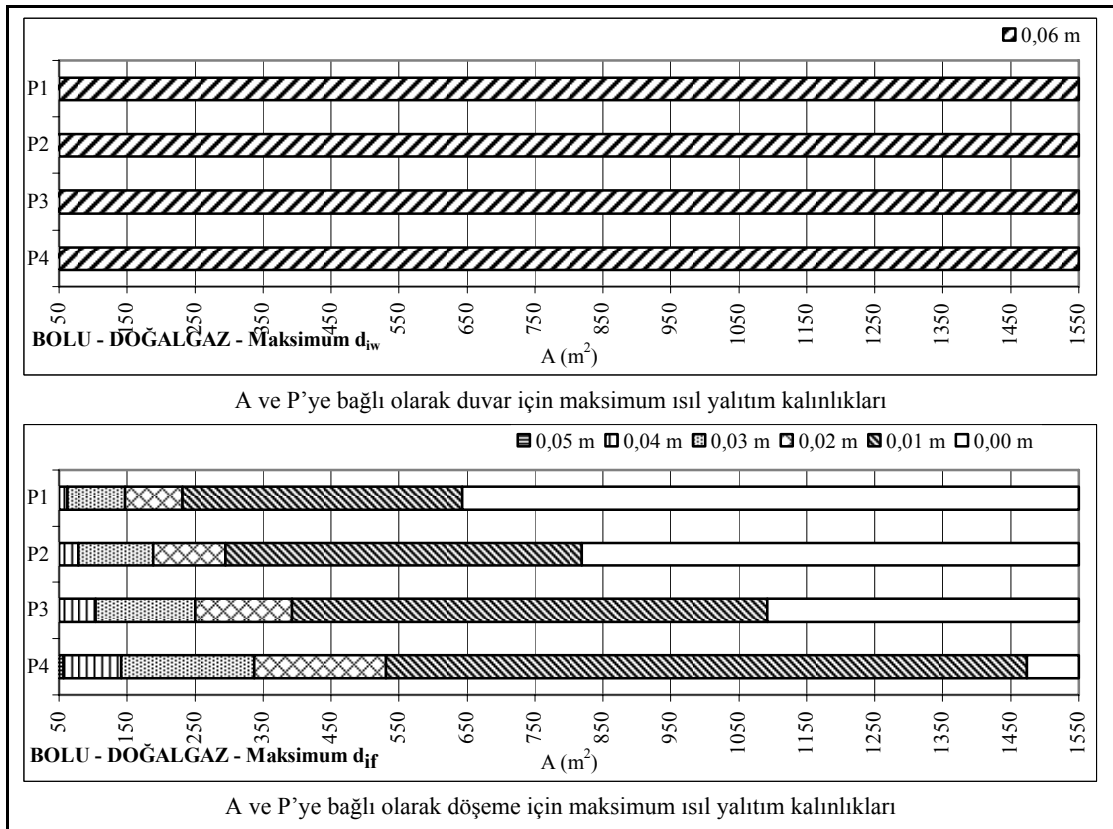


Şekil 4.7. (Devam) Bolu ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular

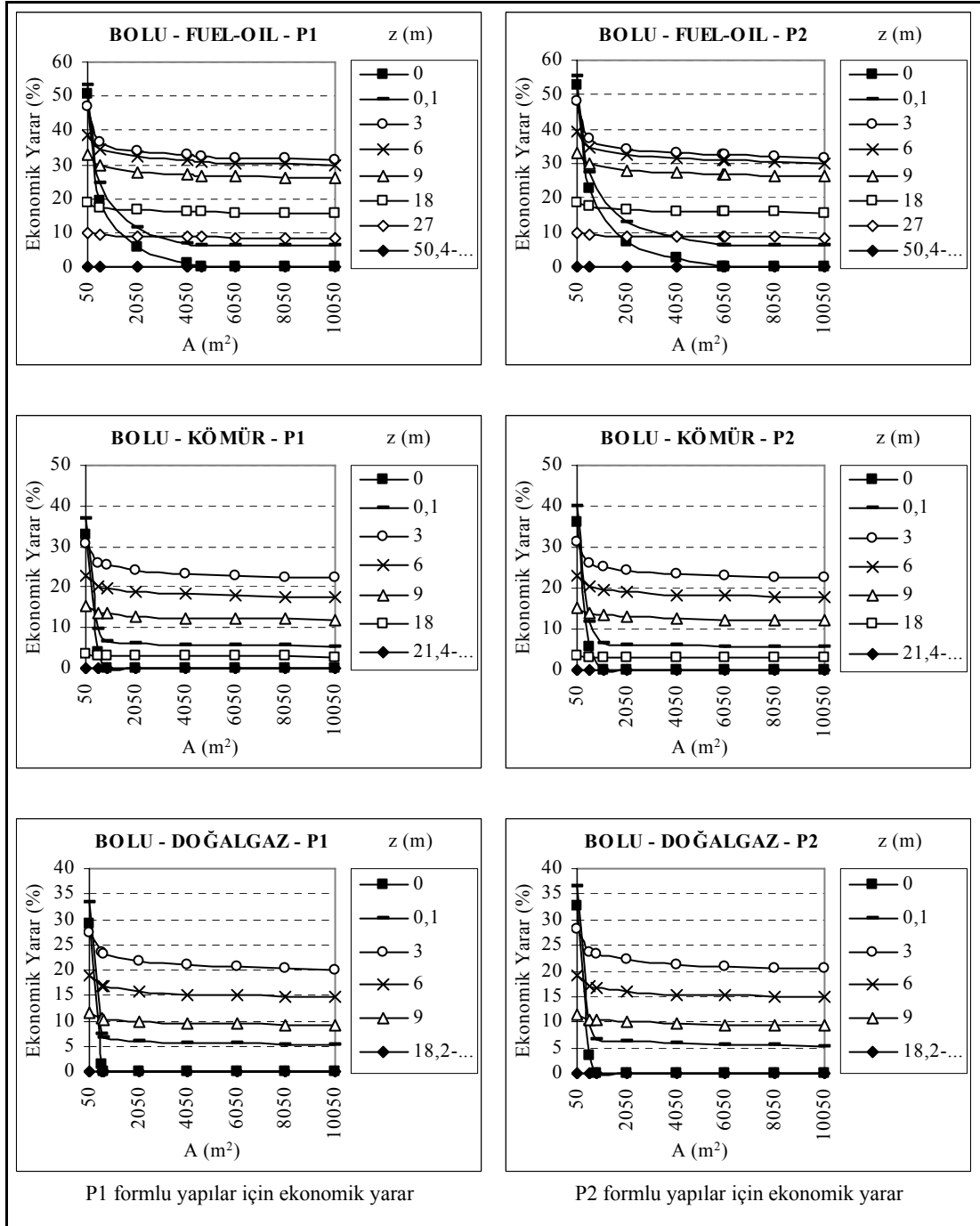


Şekil 4.8. Bolu ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



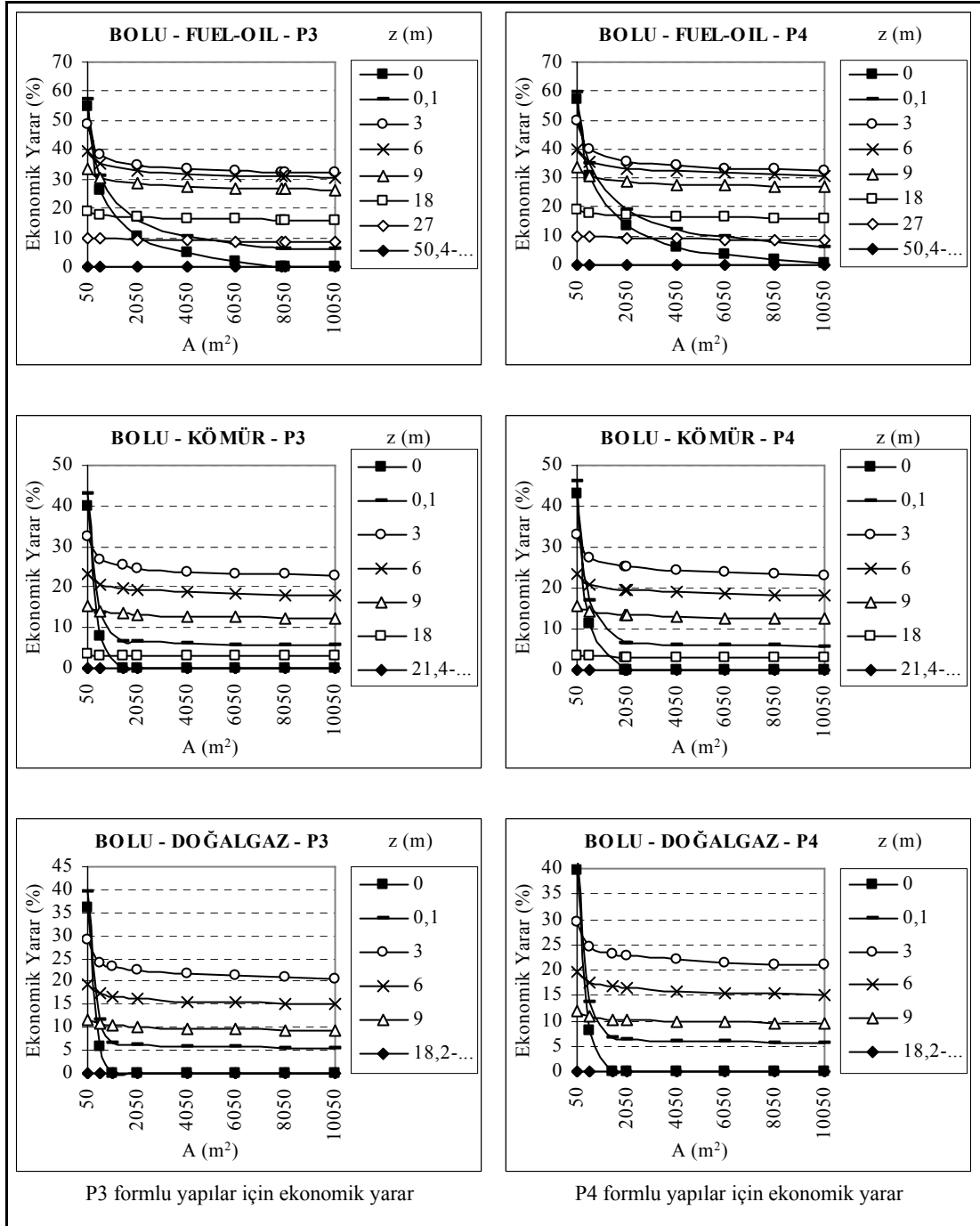
Şekil 4.9. Bolu ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular



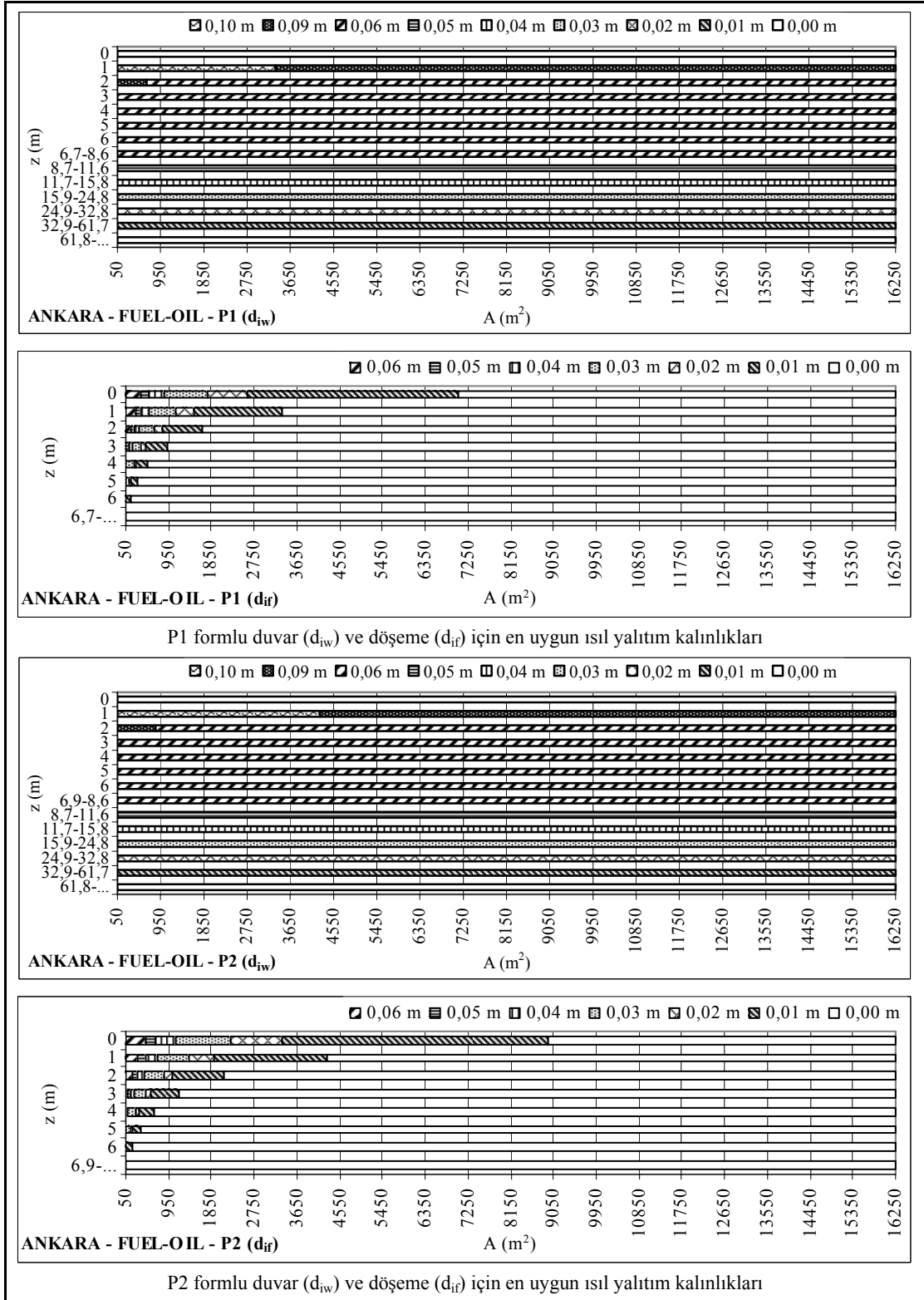
Şekil 4.10. Bolu ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-4 (Devam) Bolu ili ile ilgili bulgular



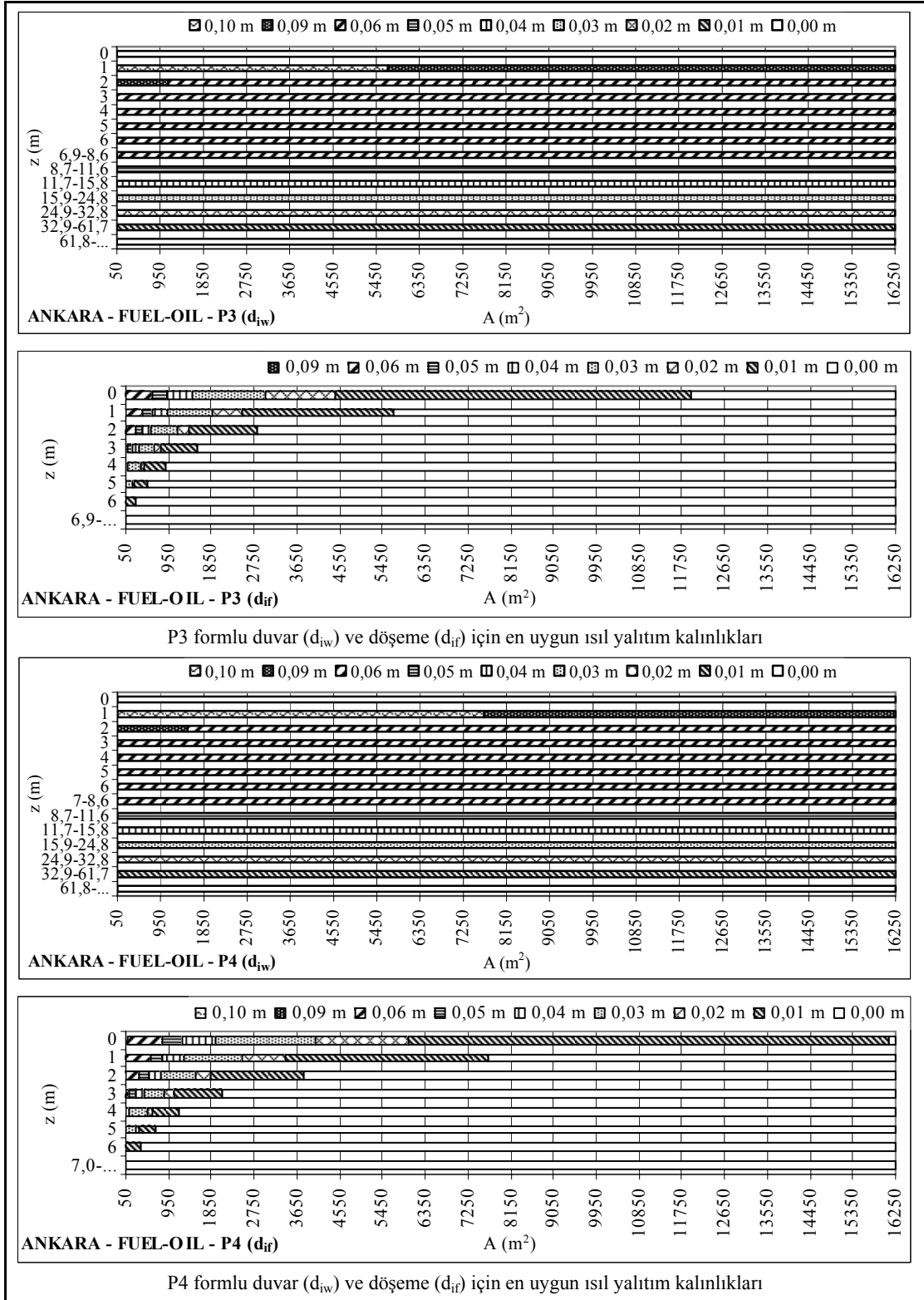
Şekil 4.10. (Devam) Bolu ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-5 Ankara ili ile ilgili bulgular



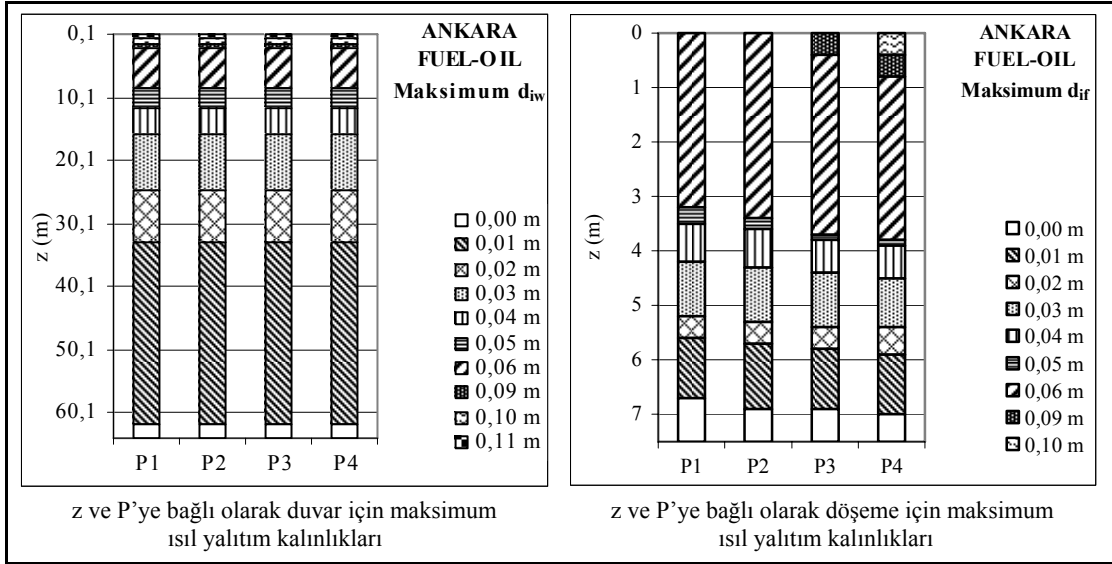
Şekil 5.1. Ankara ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular

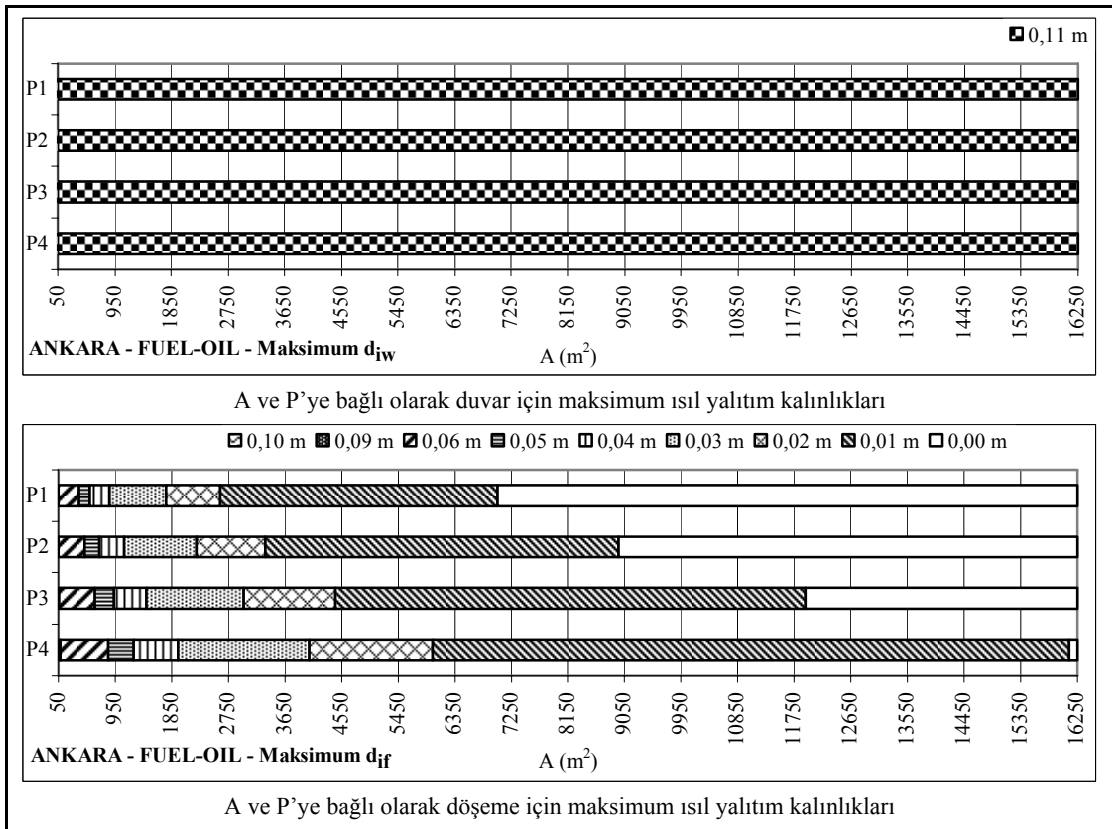


Şekil 5.1. (Devam) Ankara ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular

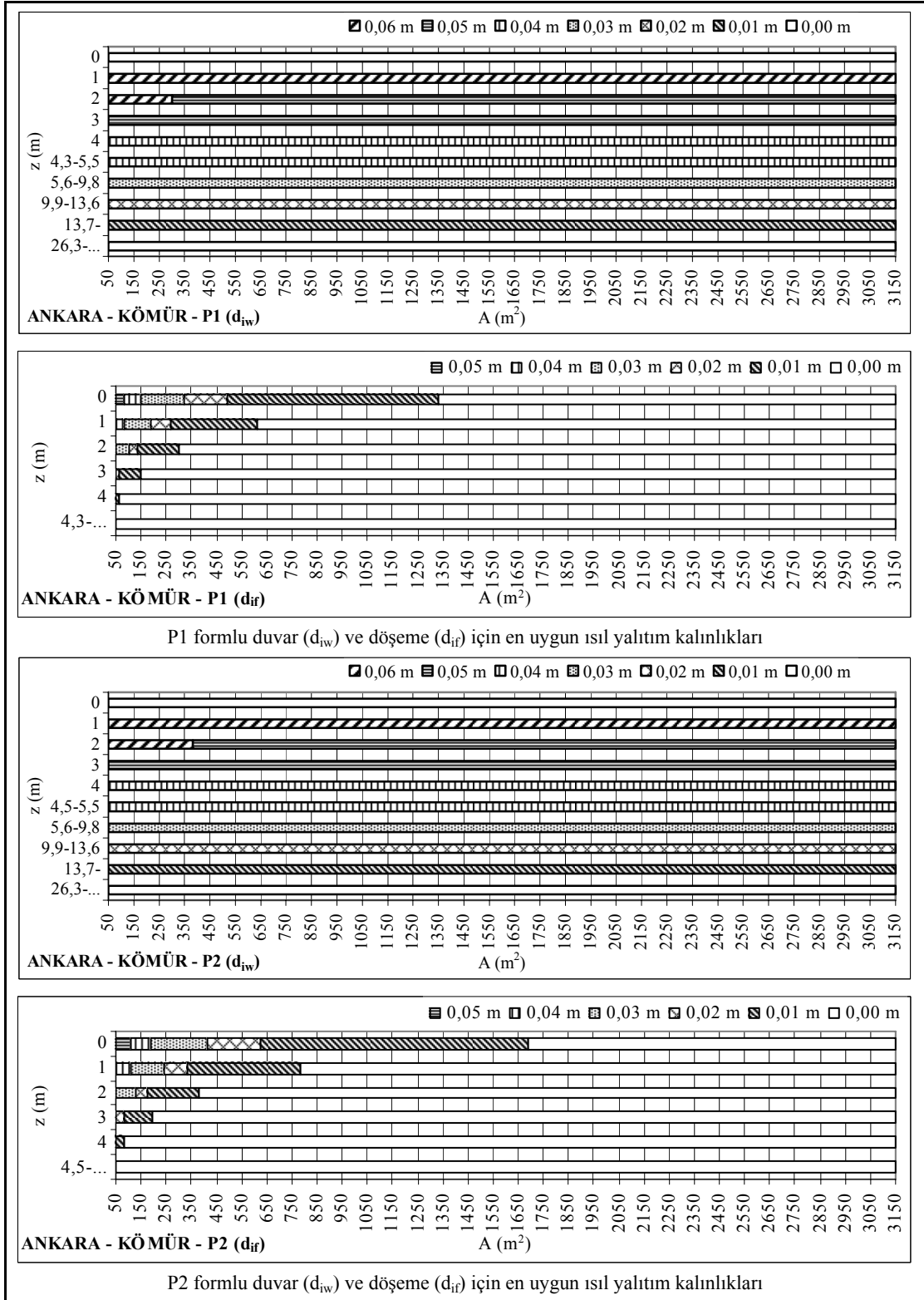


Şekil 5.2. Ankara ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



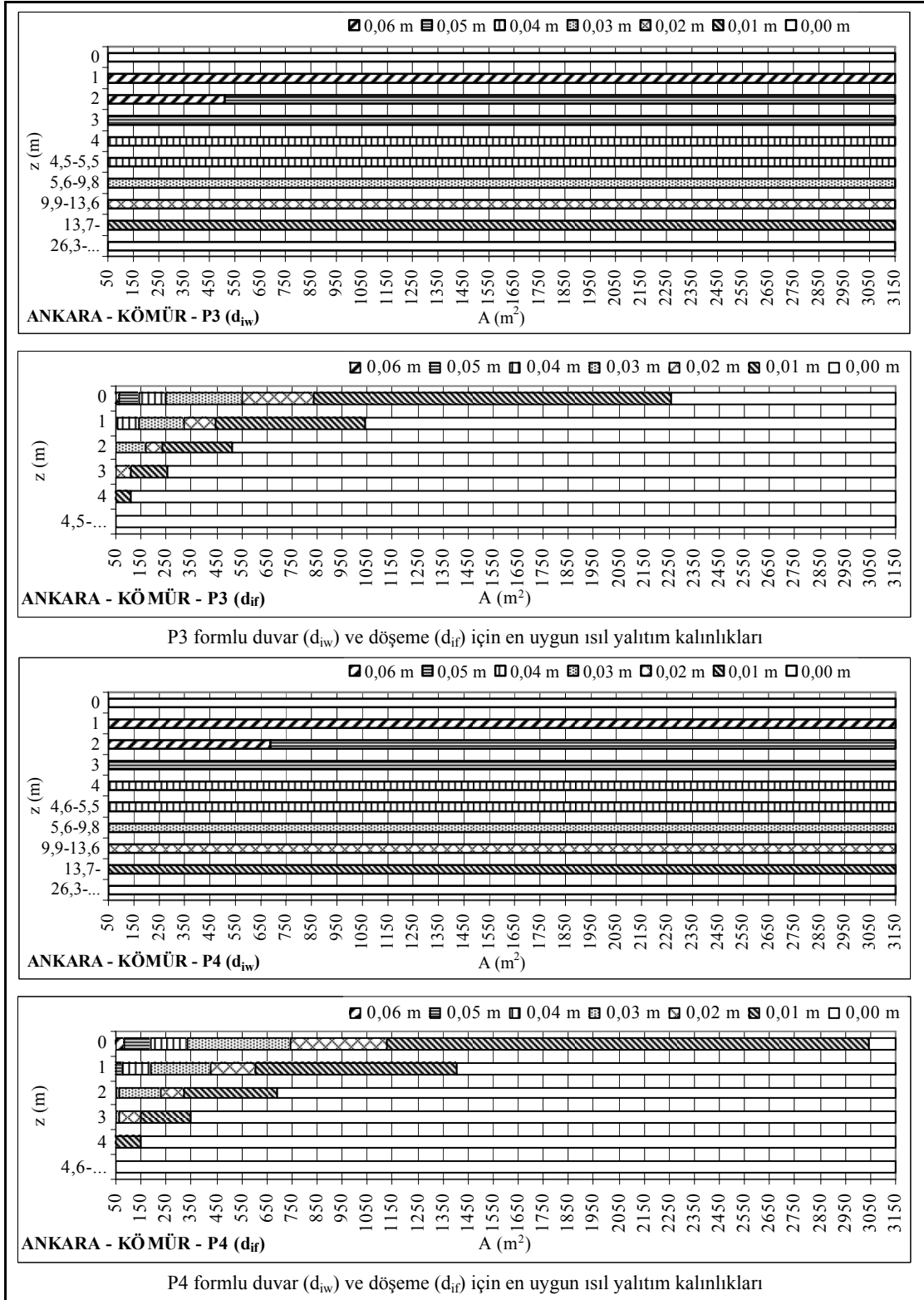
Şekil 5.3. Ankara ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular



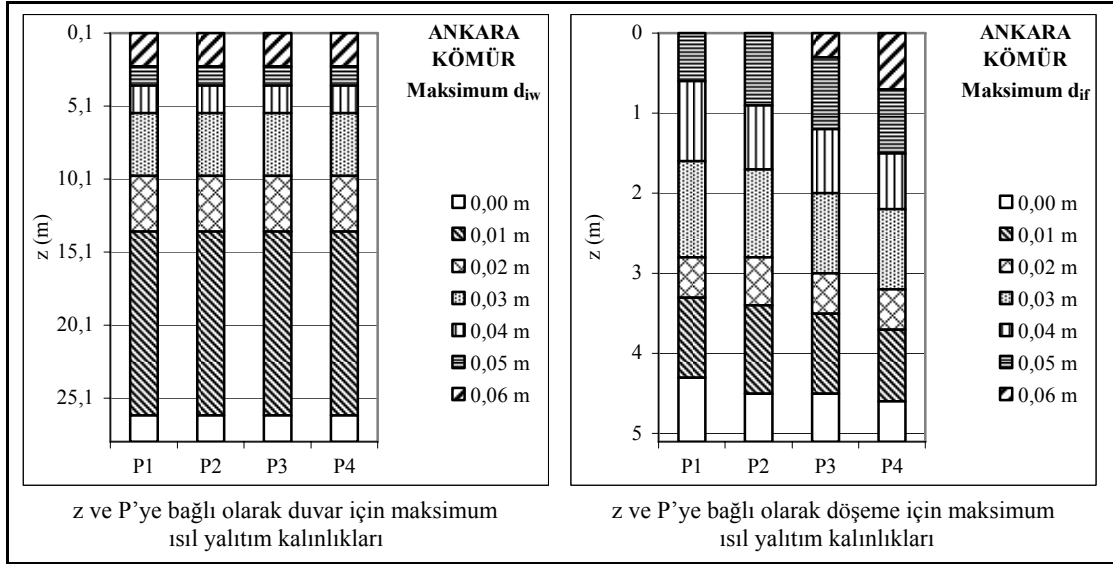
Şekil 5.4. Ankara ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular

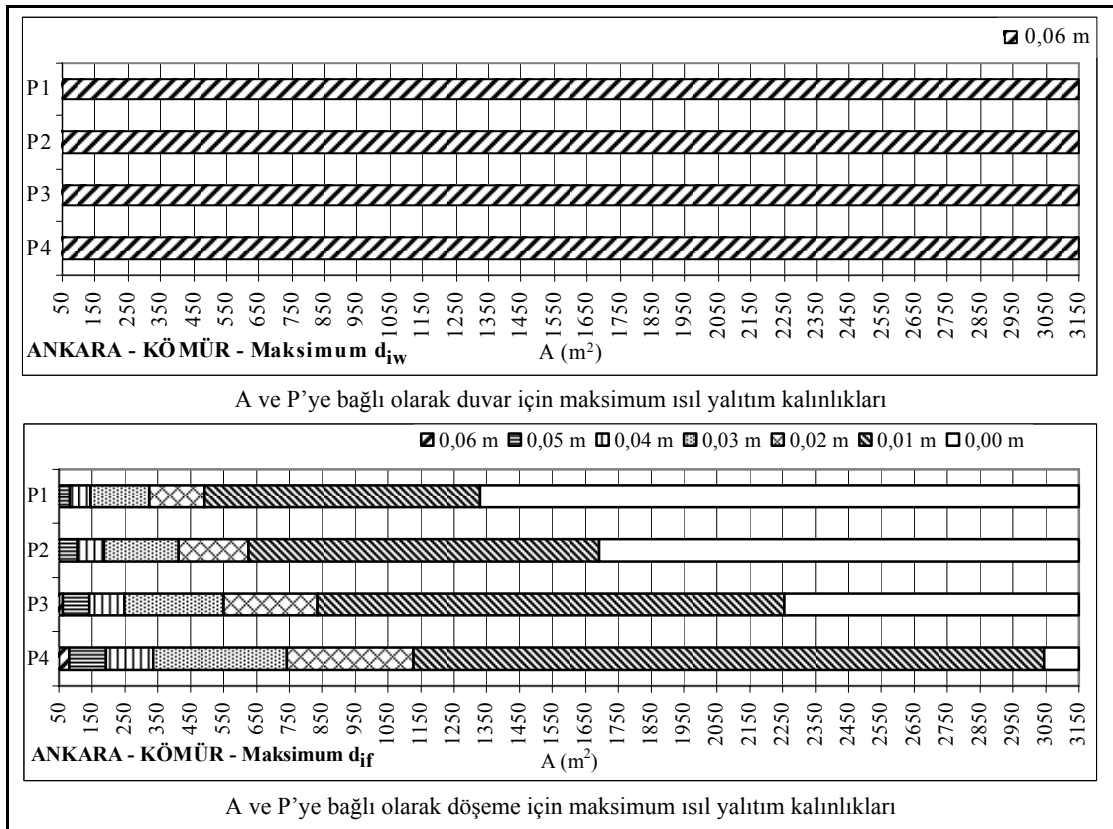


Şekil 5.4. (Devam) Ankara ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular

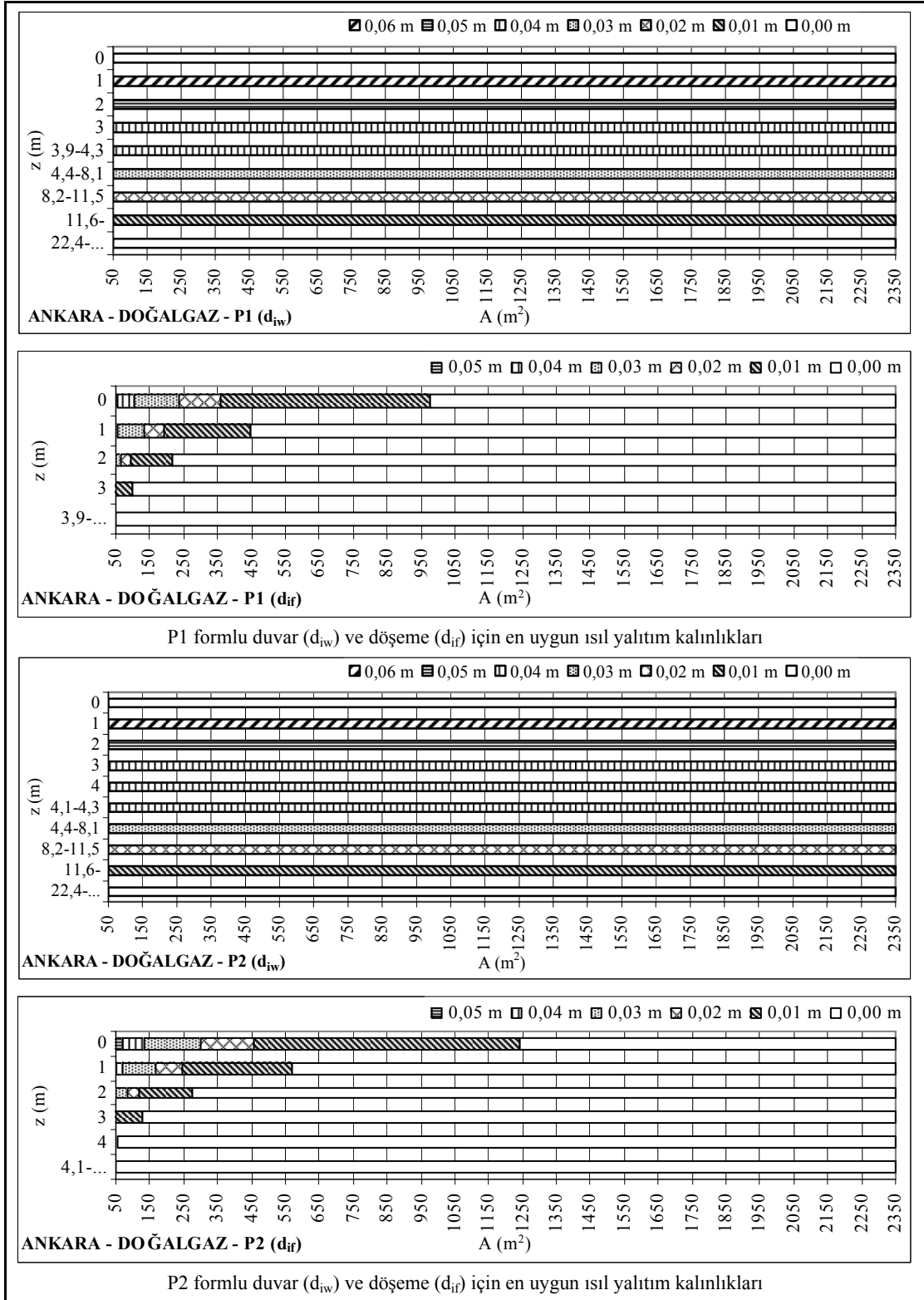


Şekil 5.5. Ankara ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



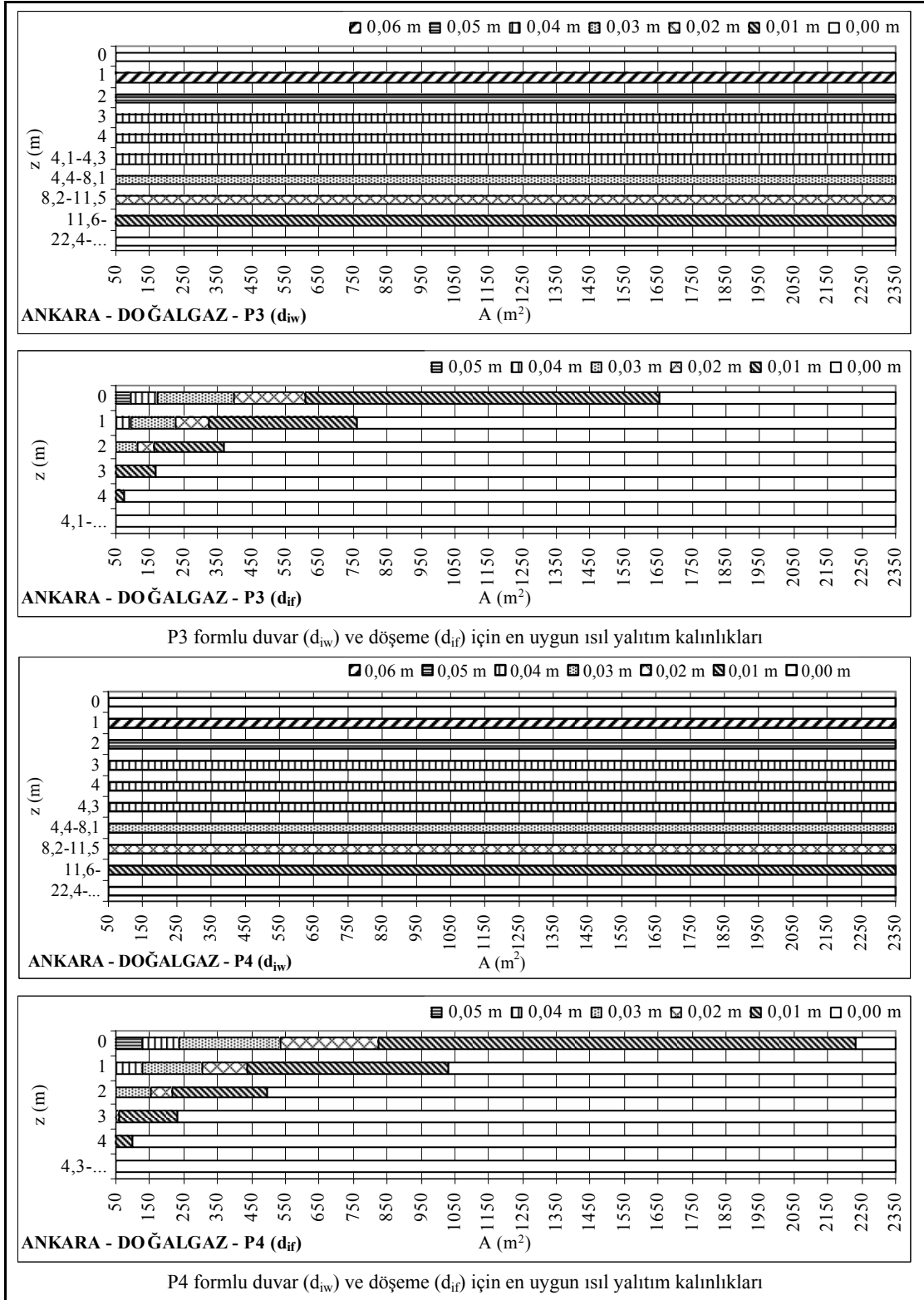
Şekil 5.6. Ankara ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular



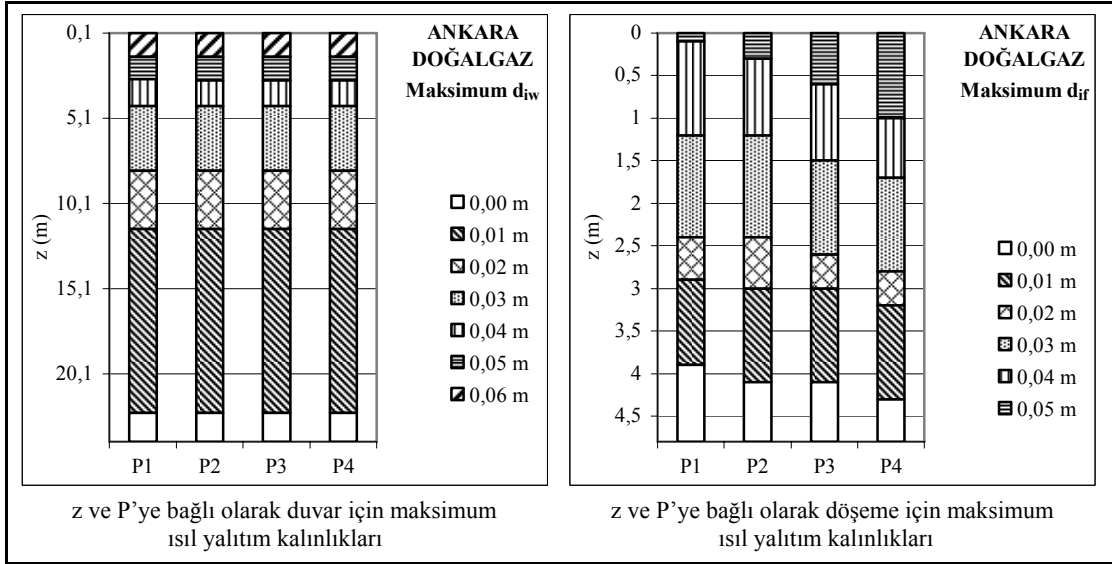
Şekil 5.7. Ankara ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular

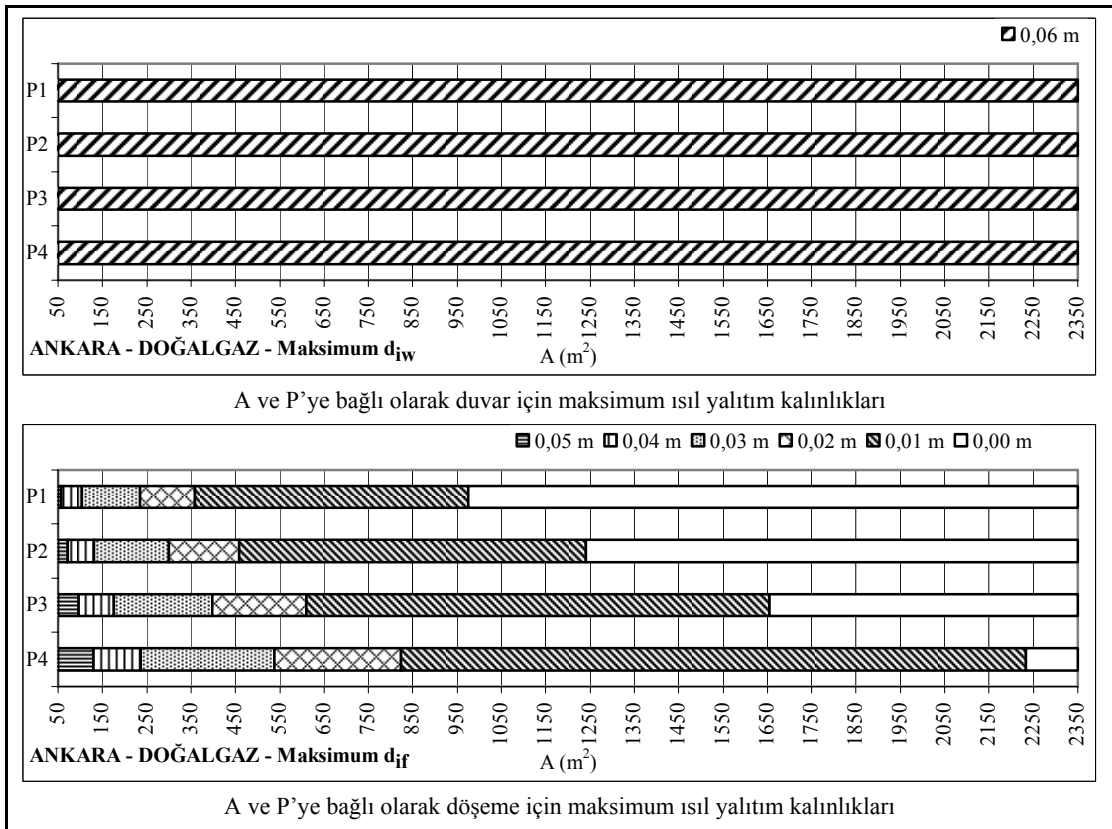


Şekil 5.7. (Devam) Ankara ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular

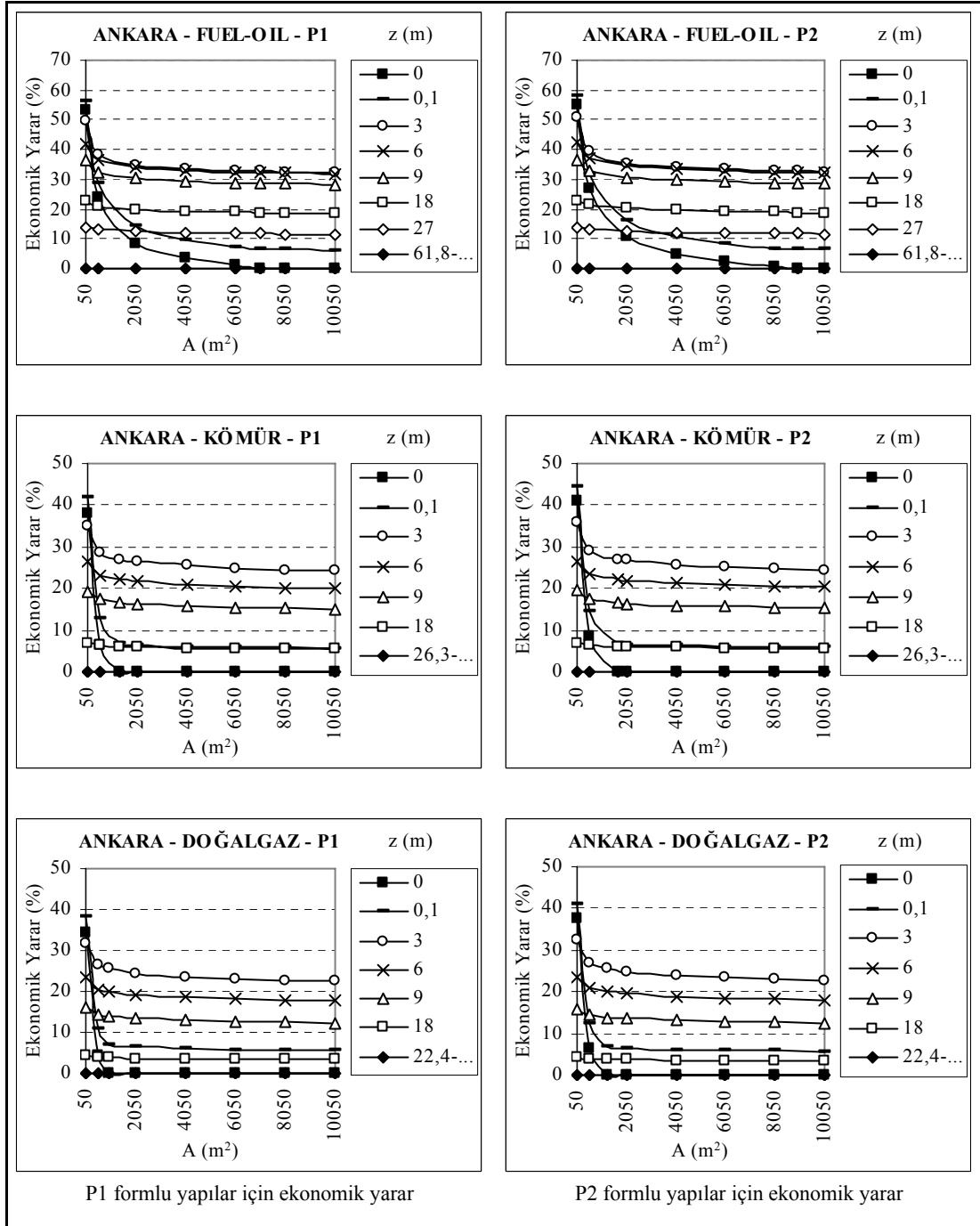


Şekil 5.8. Ankara ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



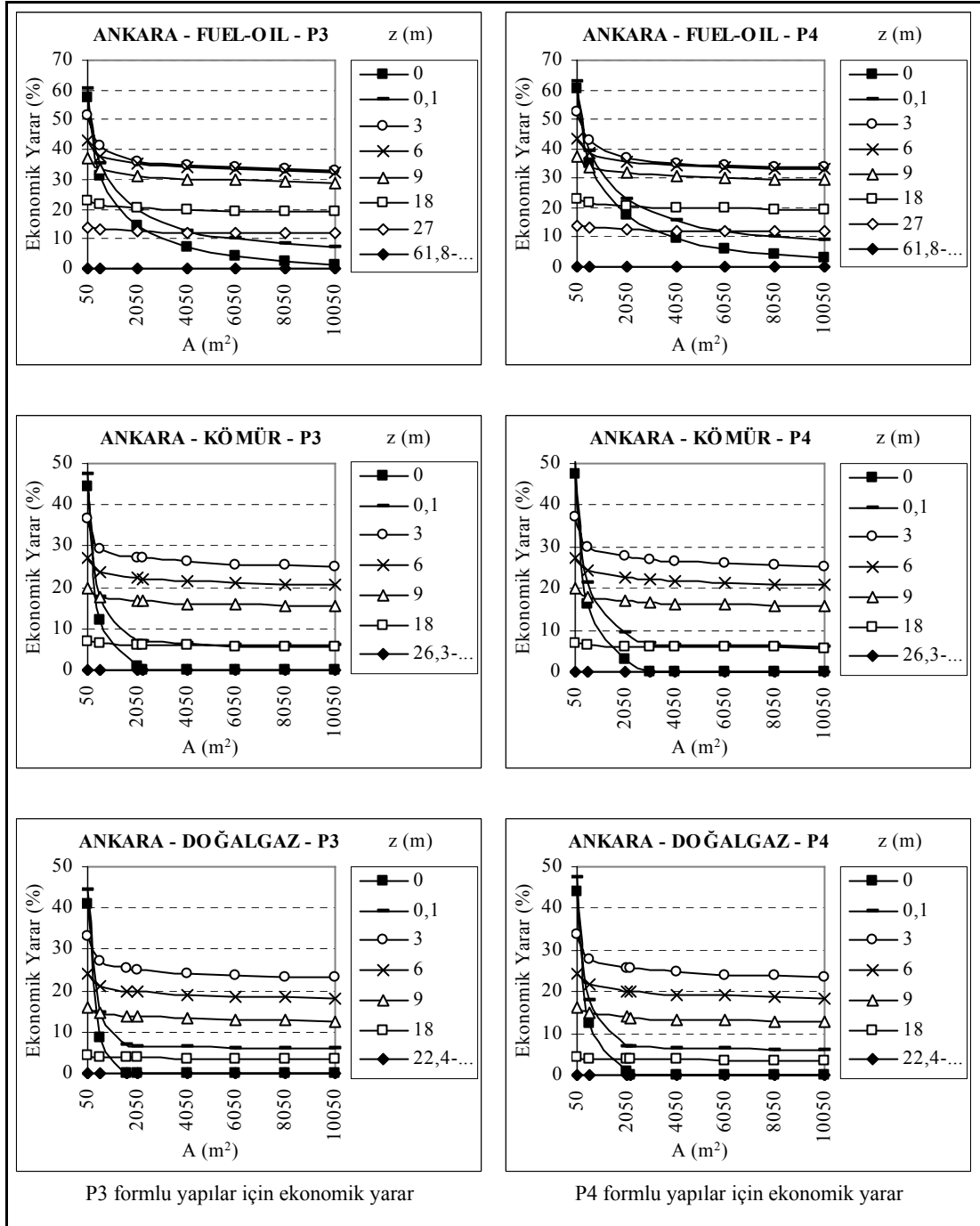
Şekil 5.9. Ankara ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular



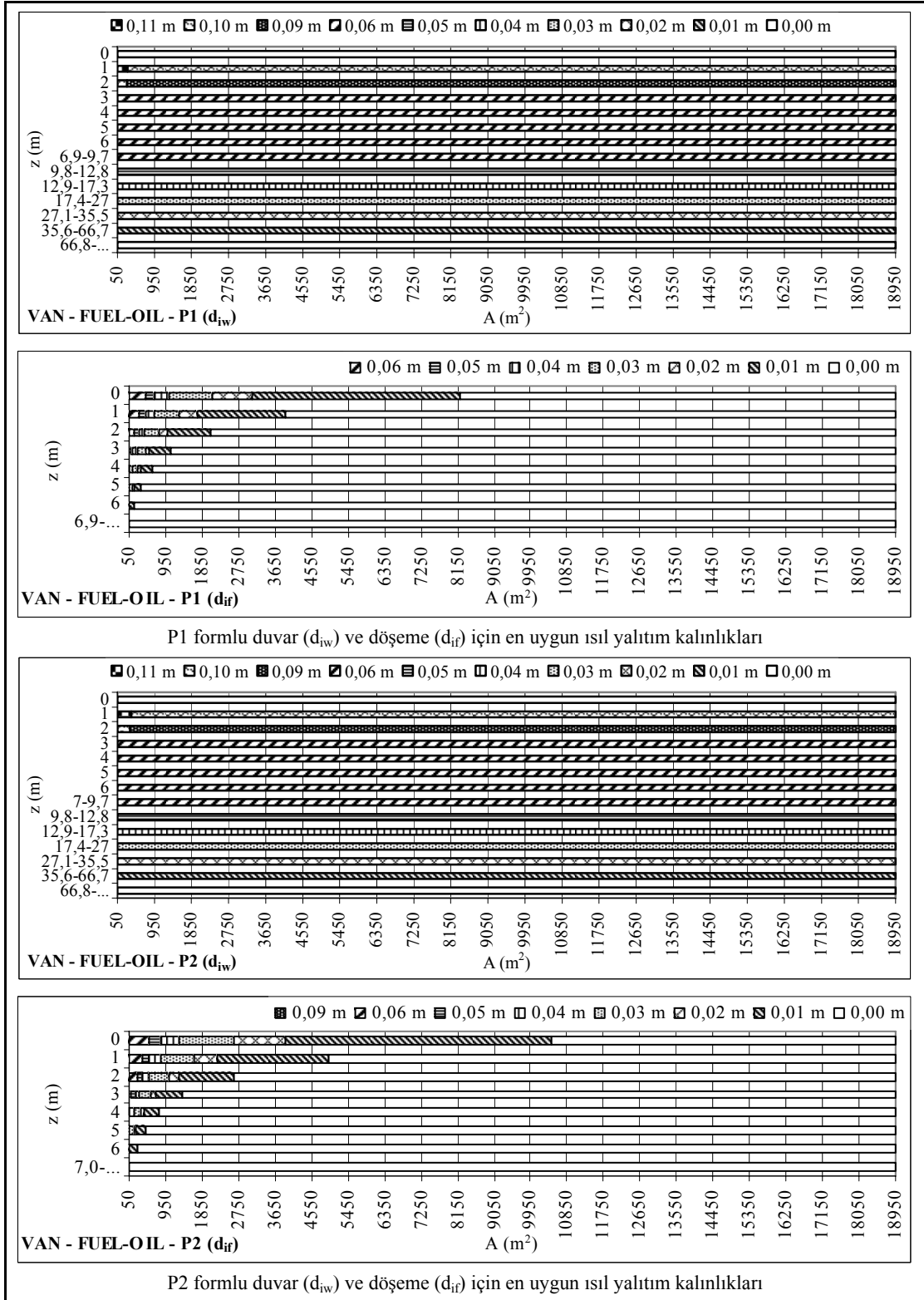
Şekil 5.10. Ankara ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-5 (Devam) Ankara ili ile ilgili bulgular



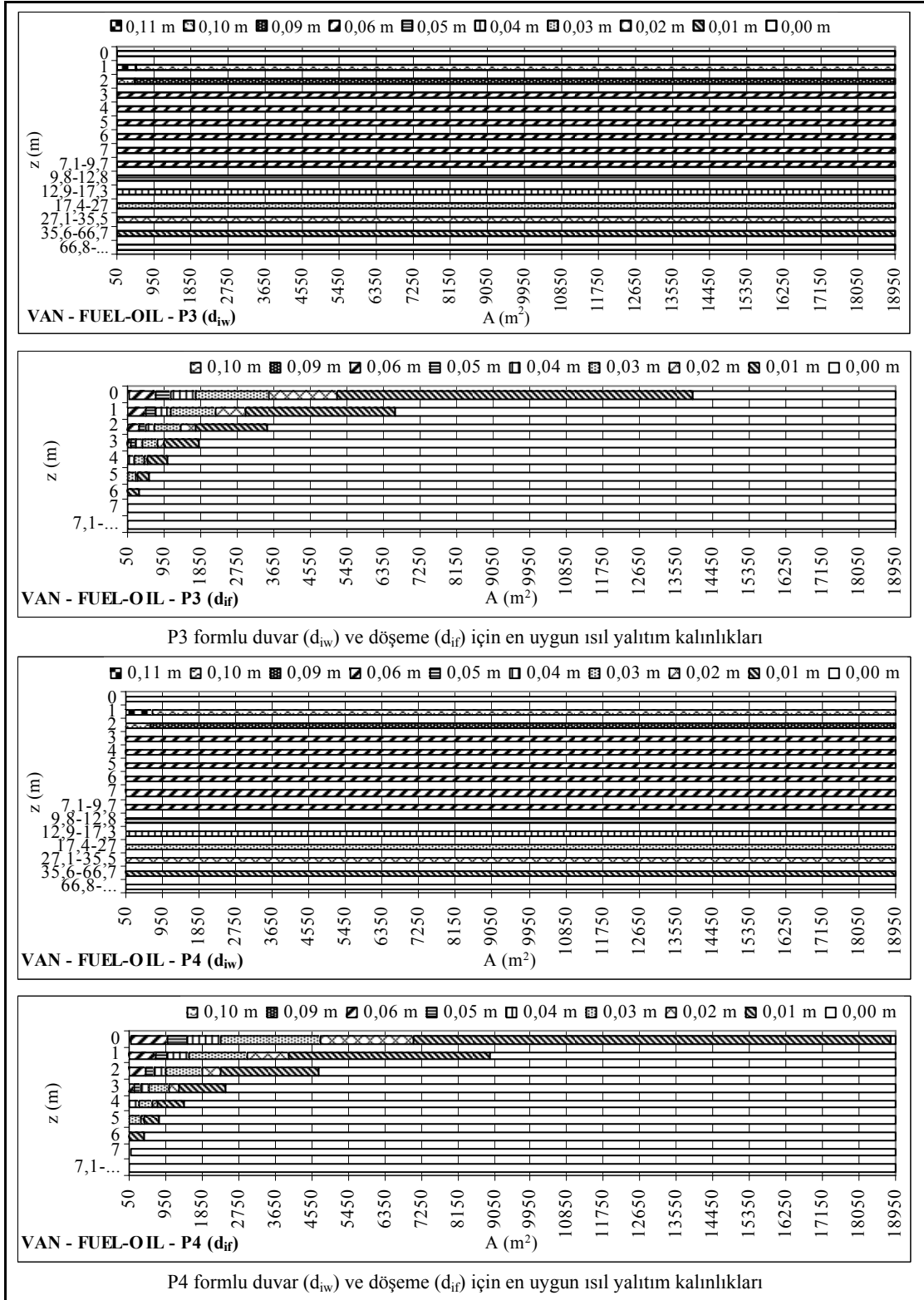
Şekil 5.10. (Devam) Ankara ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-6 Van ili ile ilgili bulgular



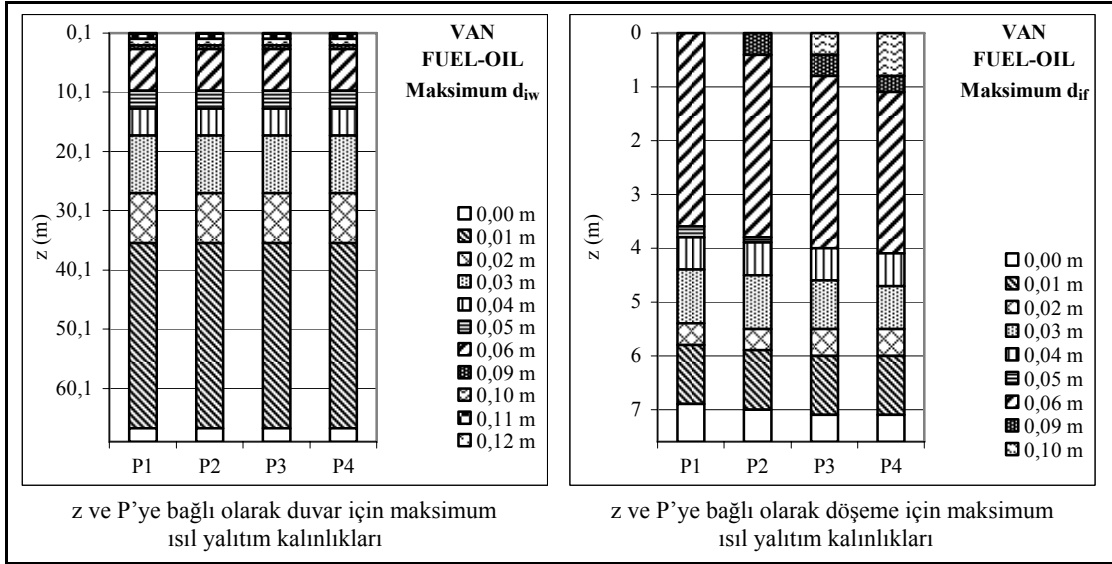
Şekil 6.1. Van ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular

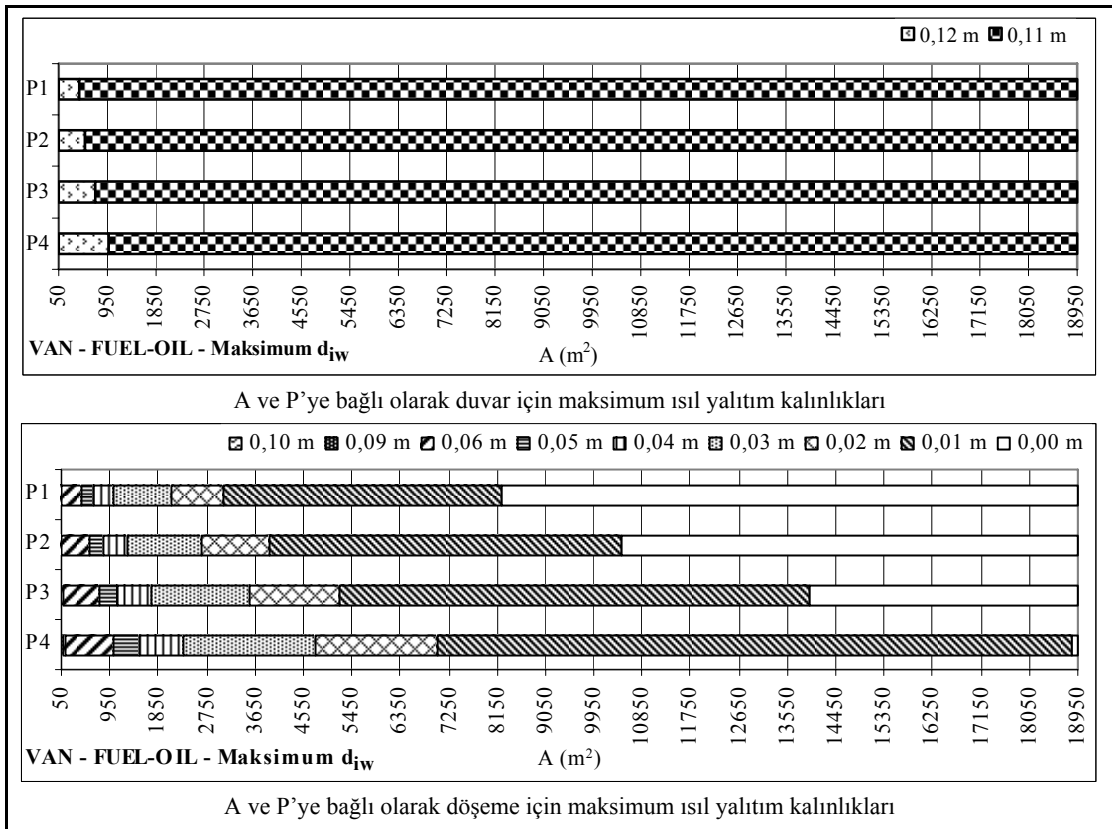


Şekil 6.1. (Devam) Van ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular

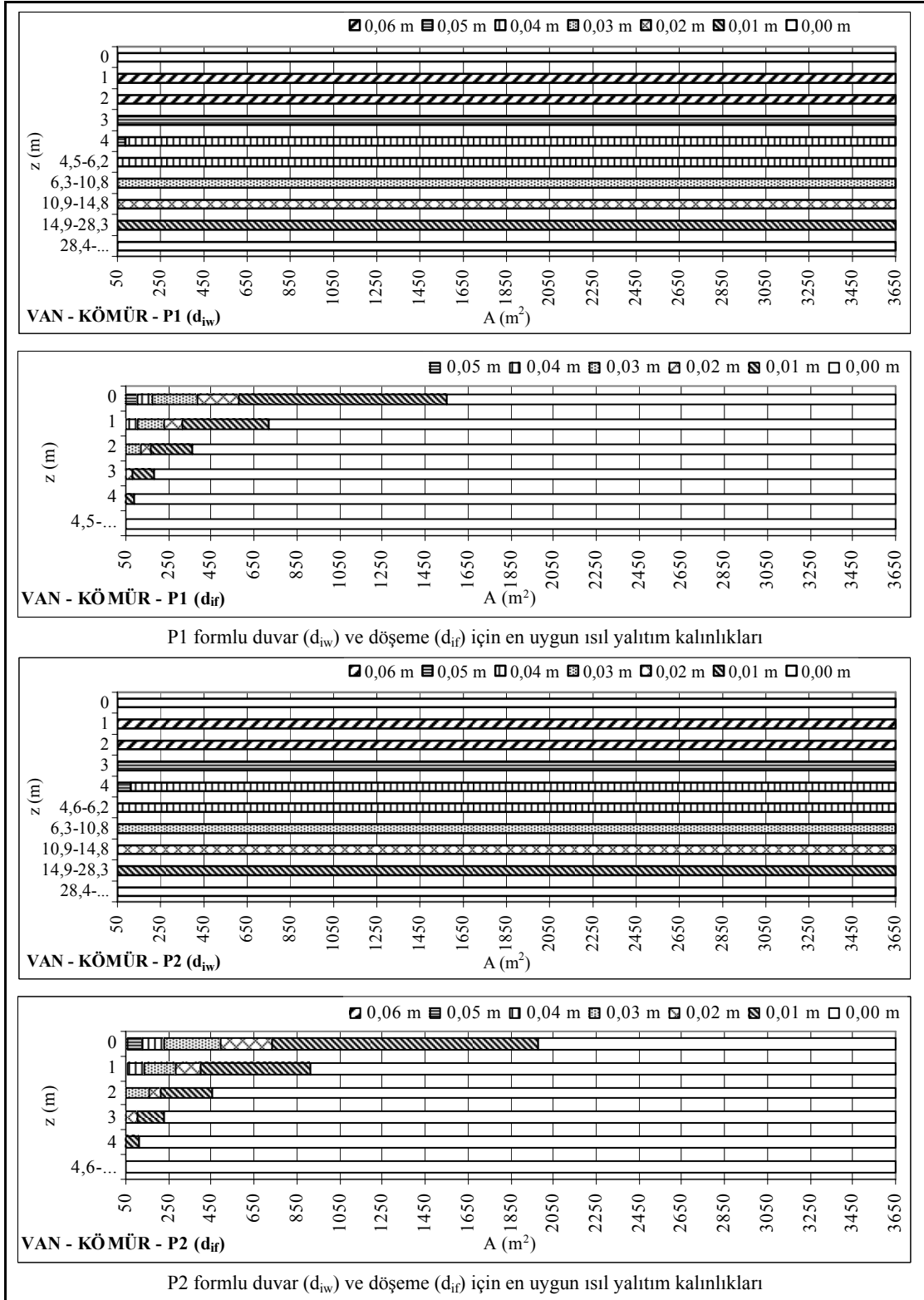


Şekil 6.2. Van ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



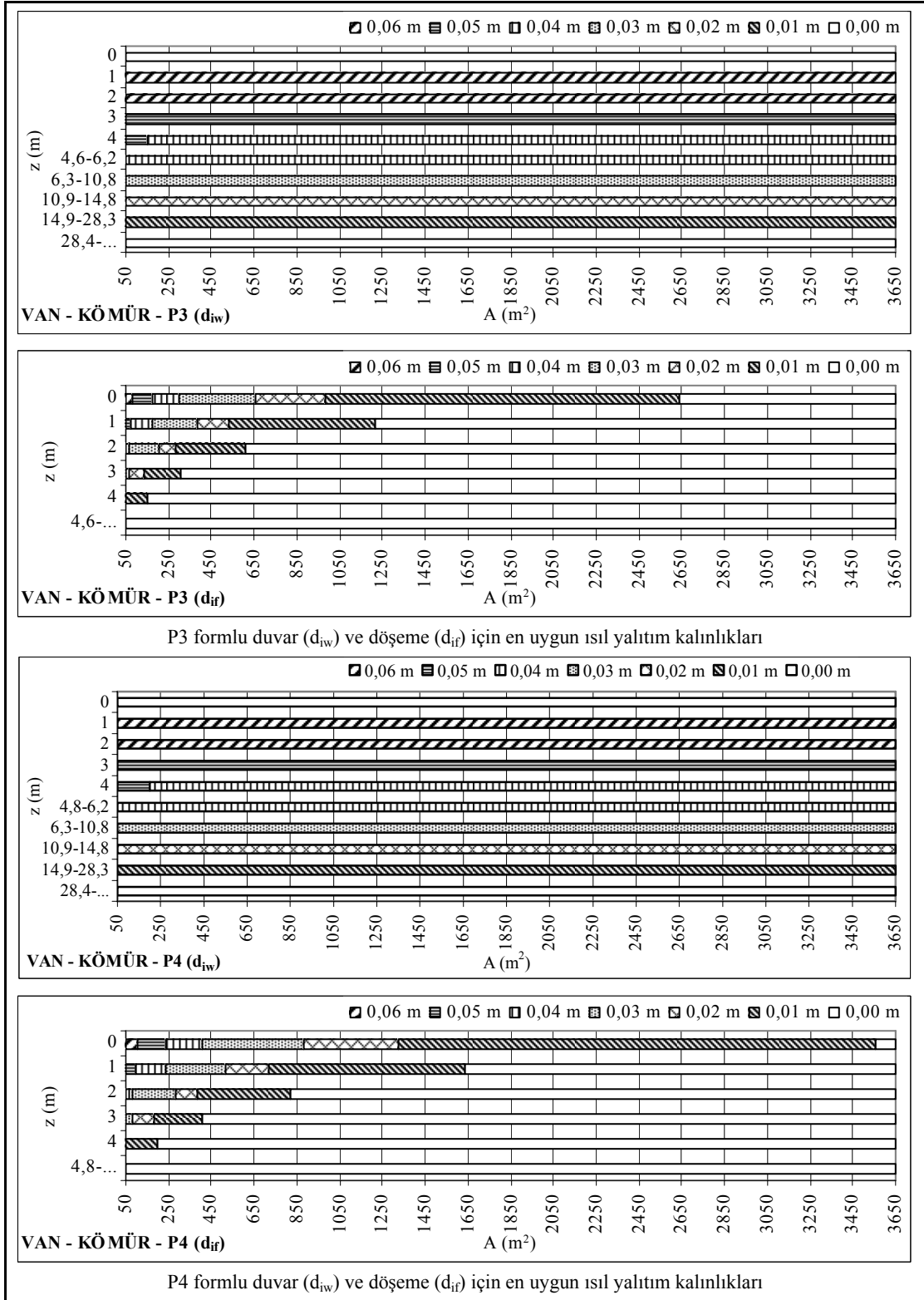
Şekil 6.3. Van ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular



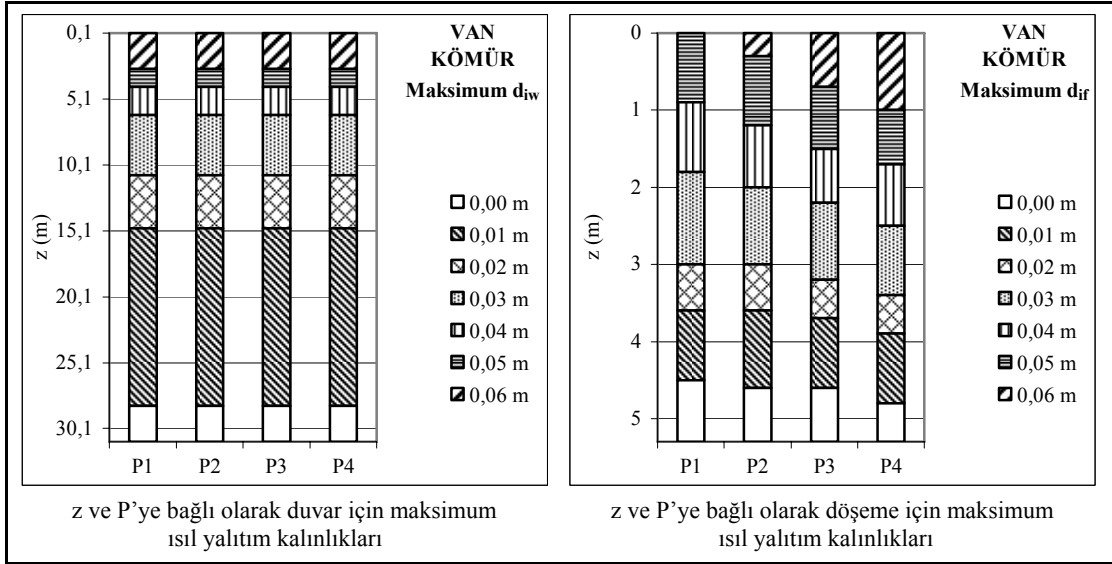
Şekil 6.4. Van ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular

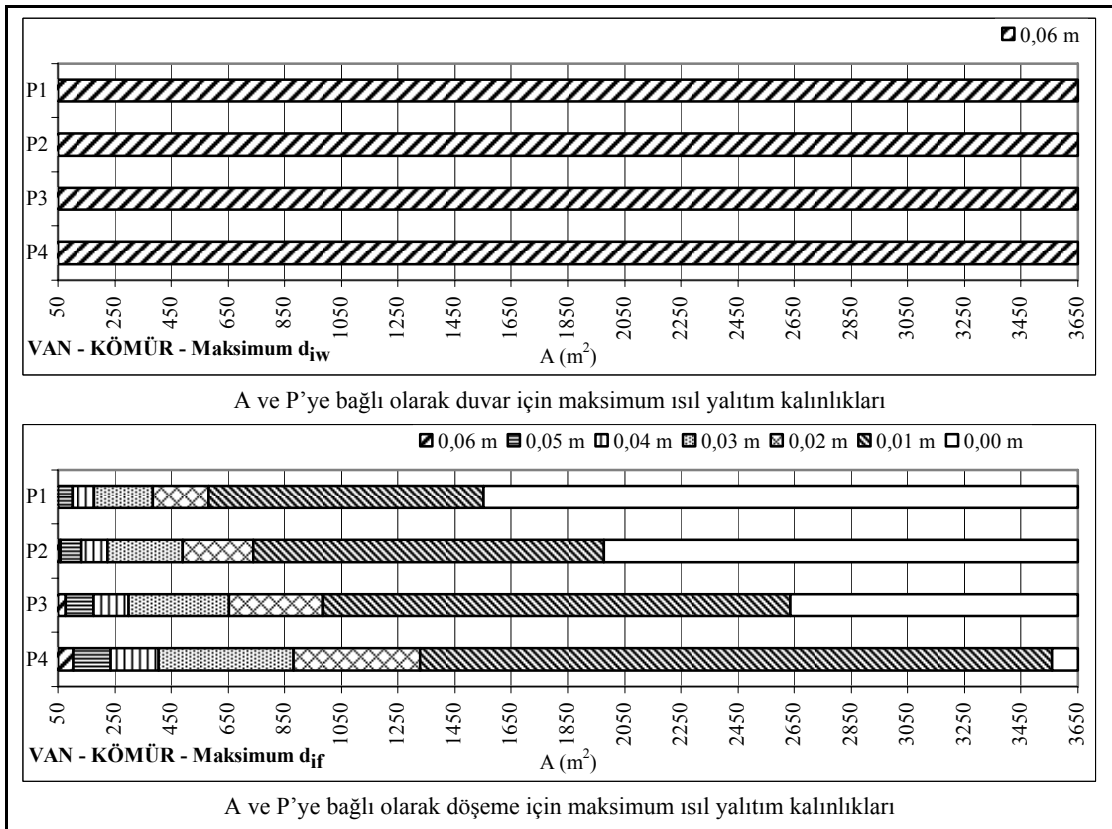


Şekil 6.4. (Devam) Van ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular

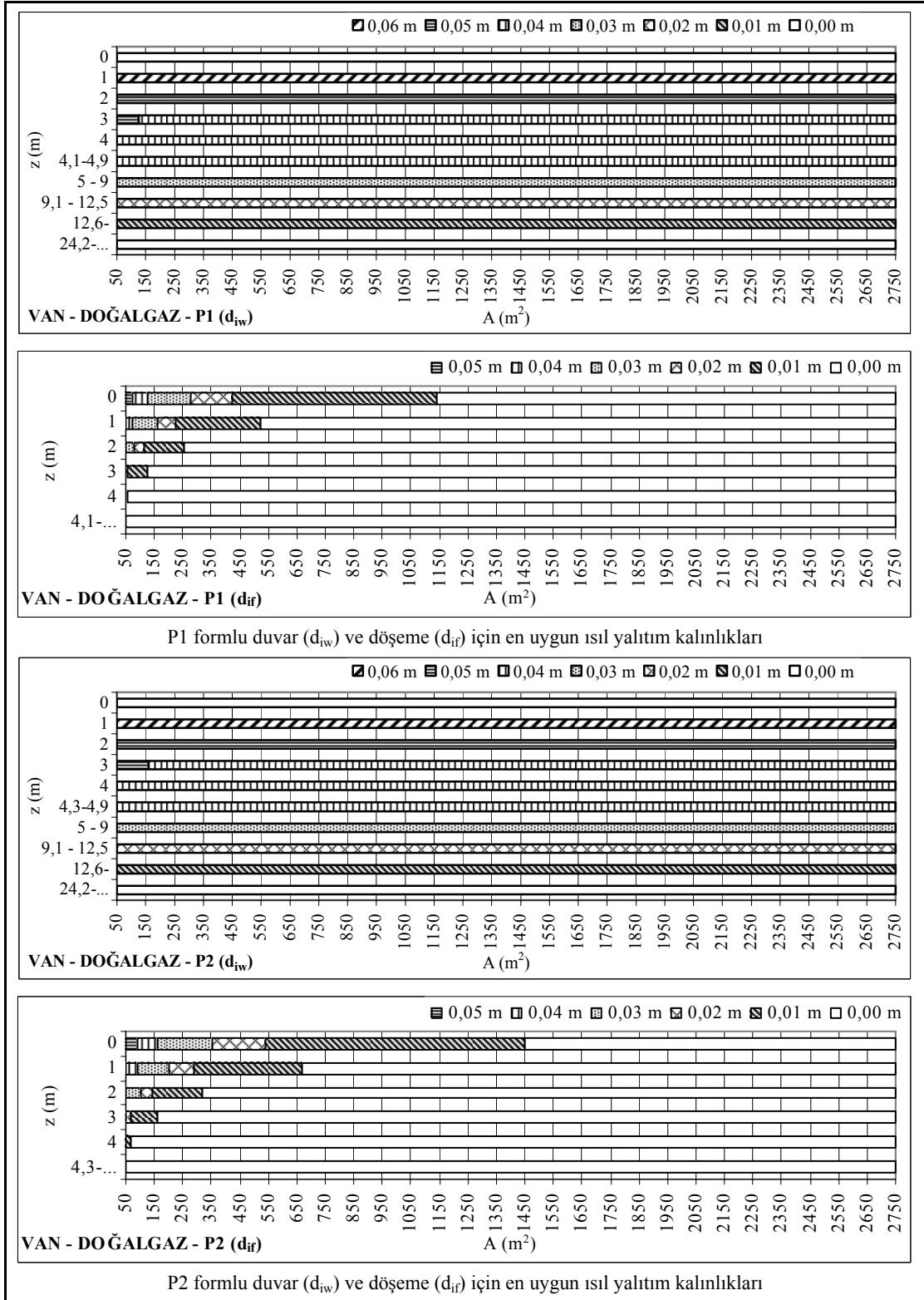


Şekil 6.5. Van ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



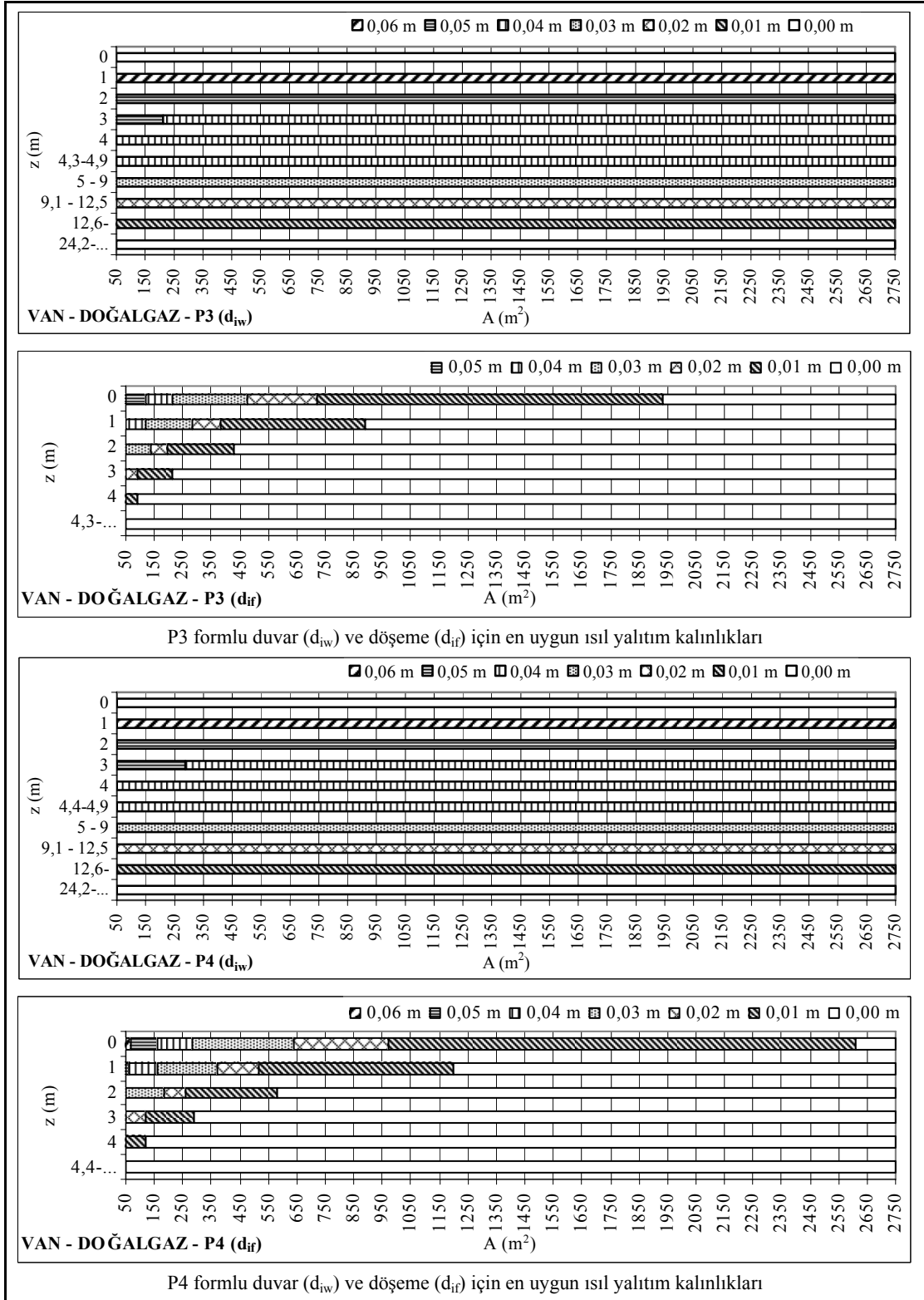
Şekil 6.6. Van ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular



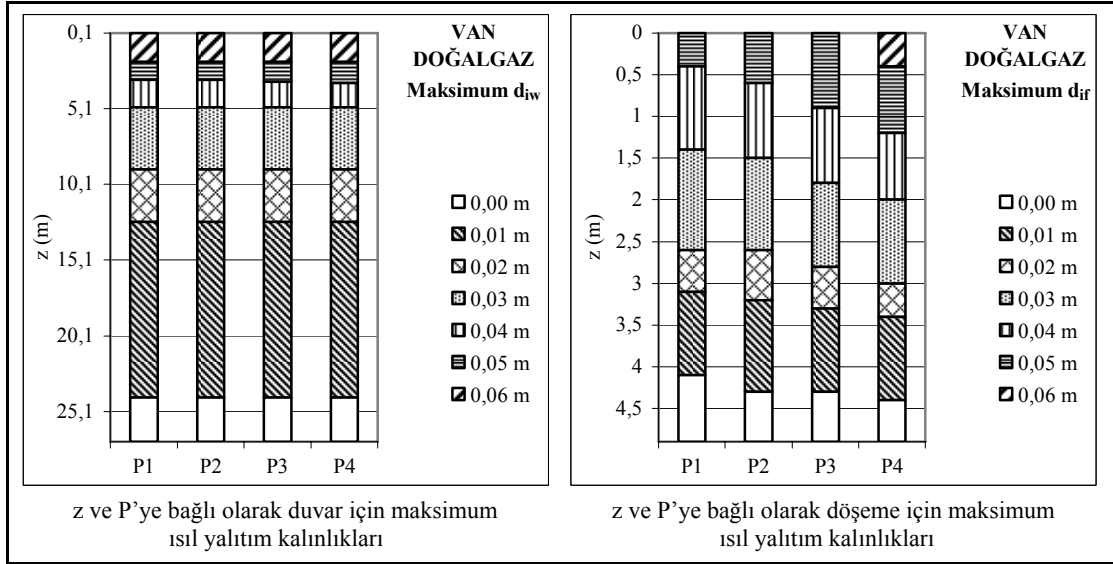
Şekil 6.7. Van ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular

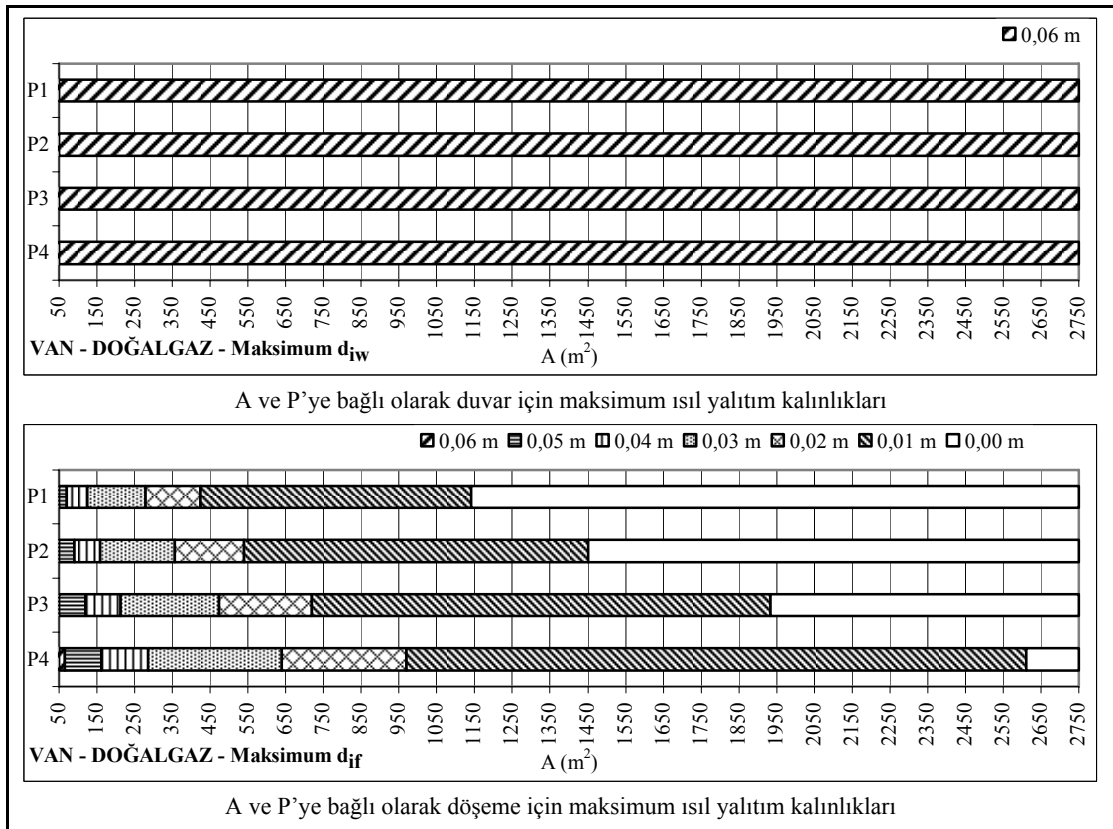


Şekil 6.7. (Devam)Van ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular

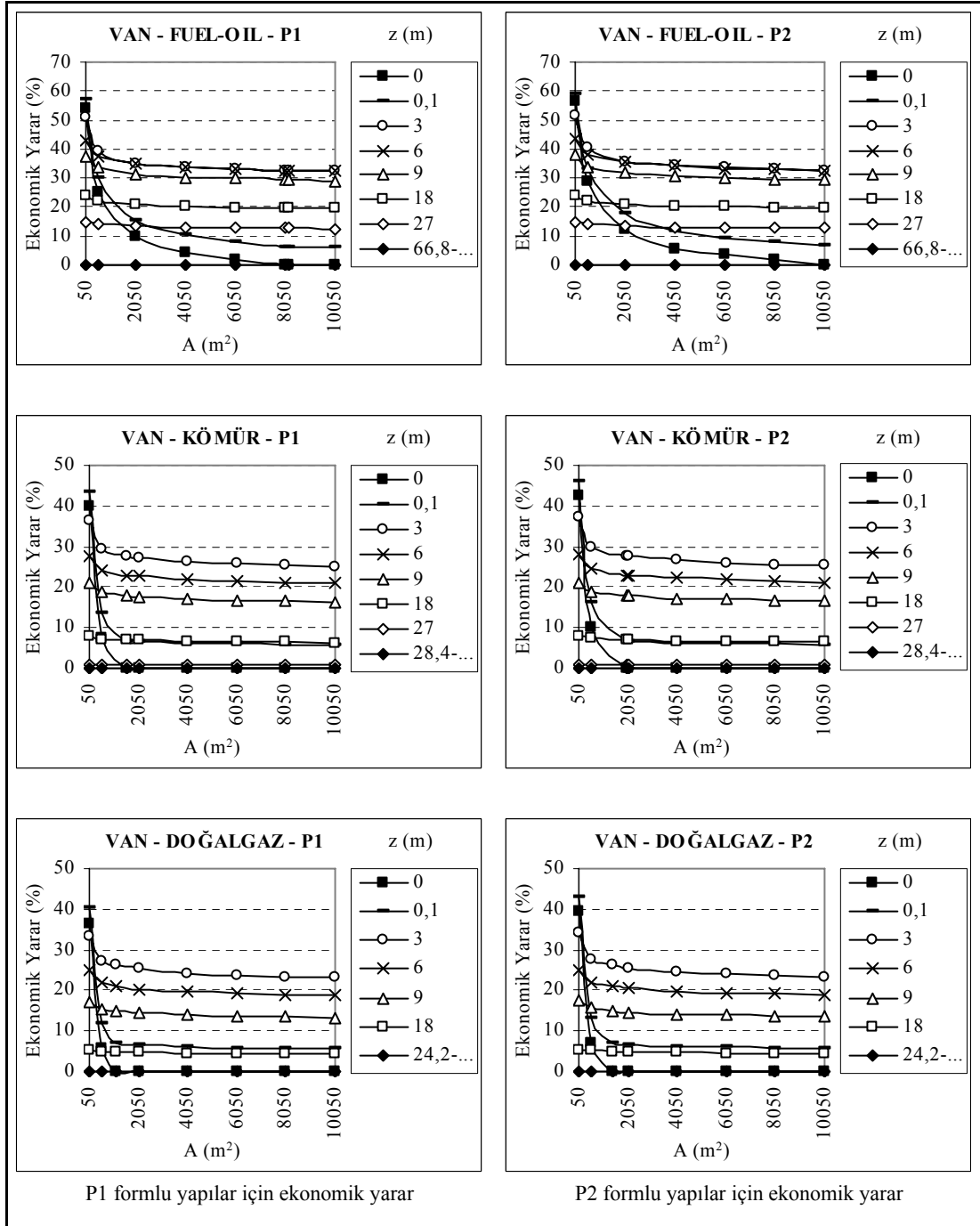


Şekil 6.8. Van ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



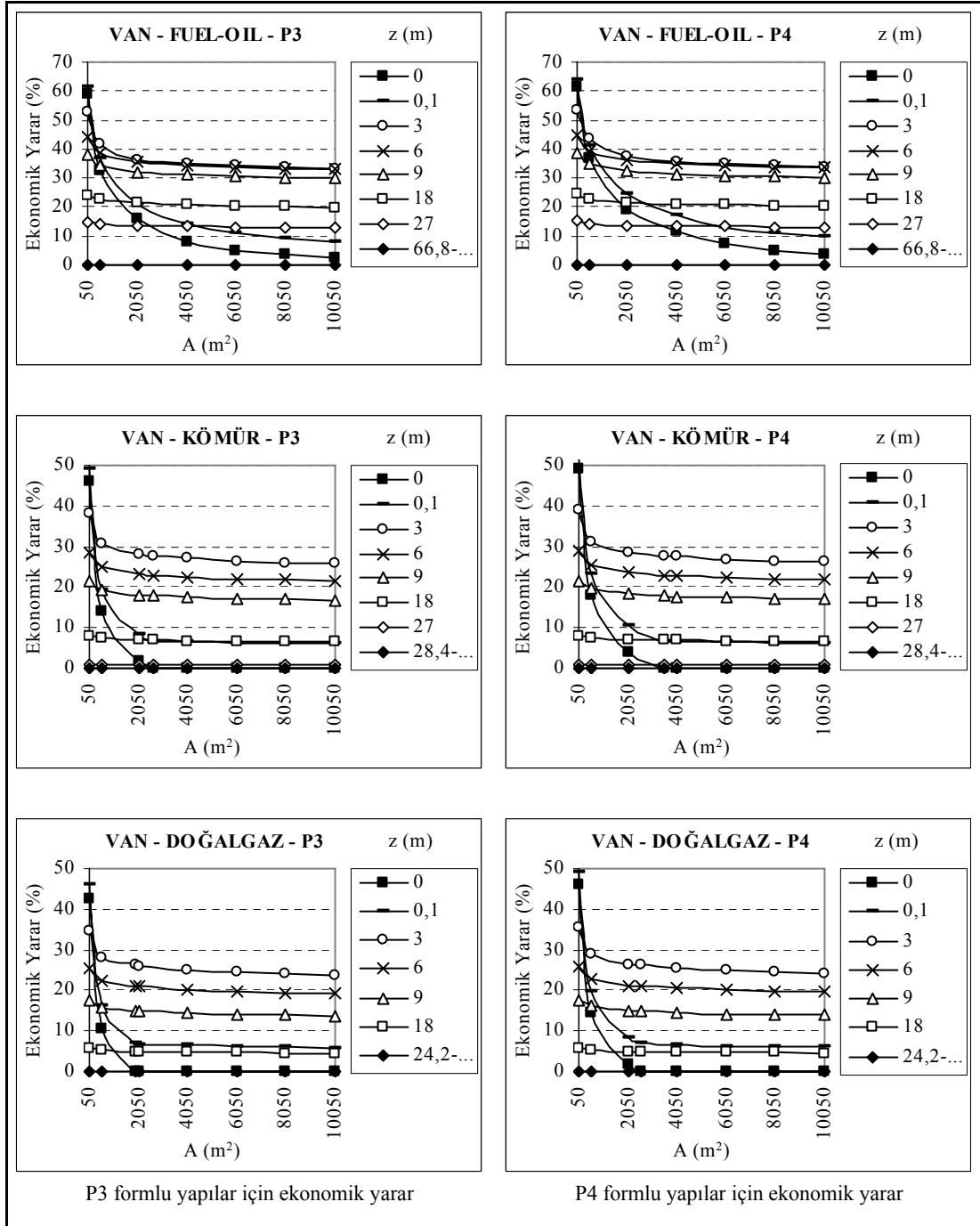
Şekil 6.9. Van ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular



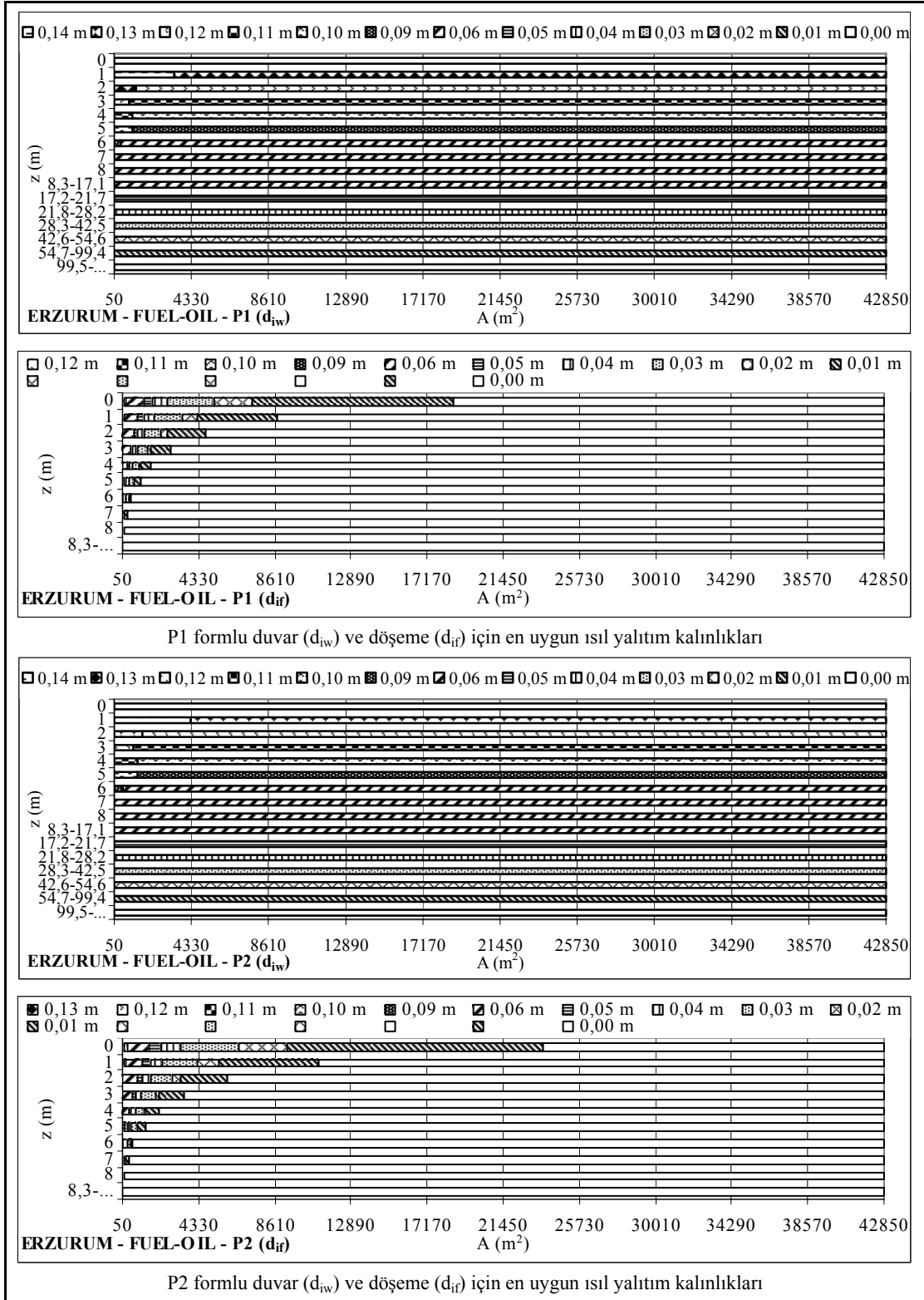
Şekil 6.10. Van ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-6 (Devam) Van ili ile ilgili bulgular



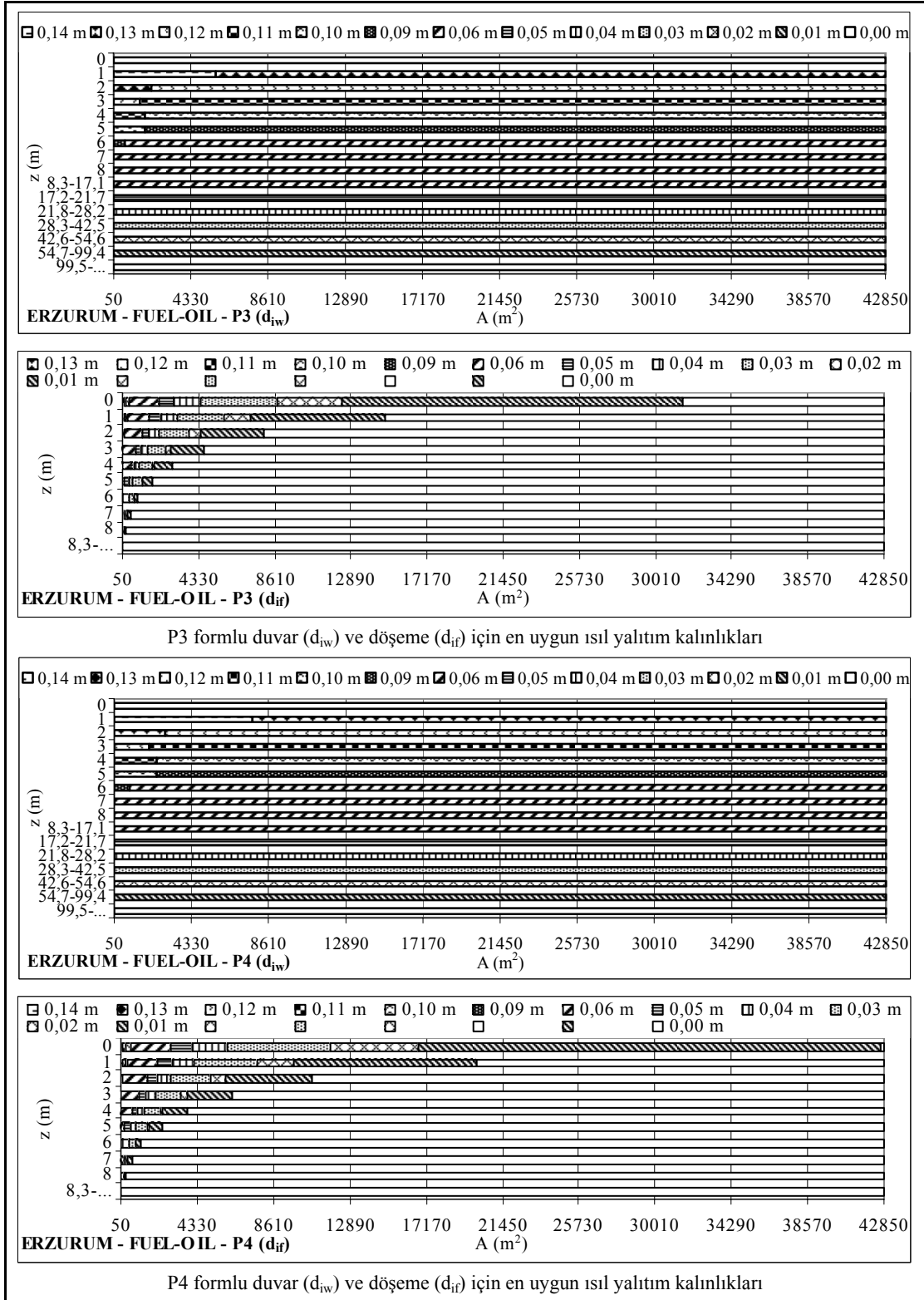
Şekil 6.10. (Devam) Van ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-7 Erzurum ili ile ilgili bulgular



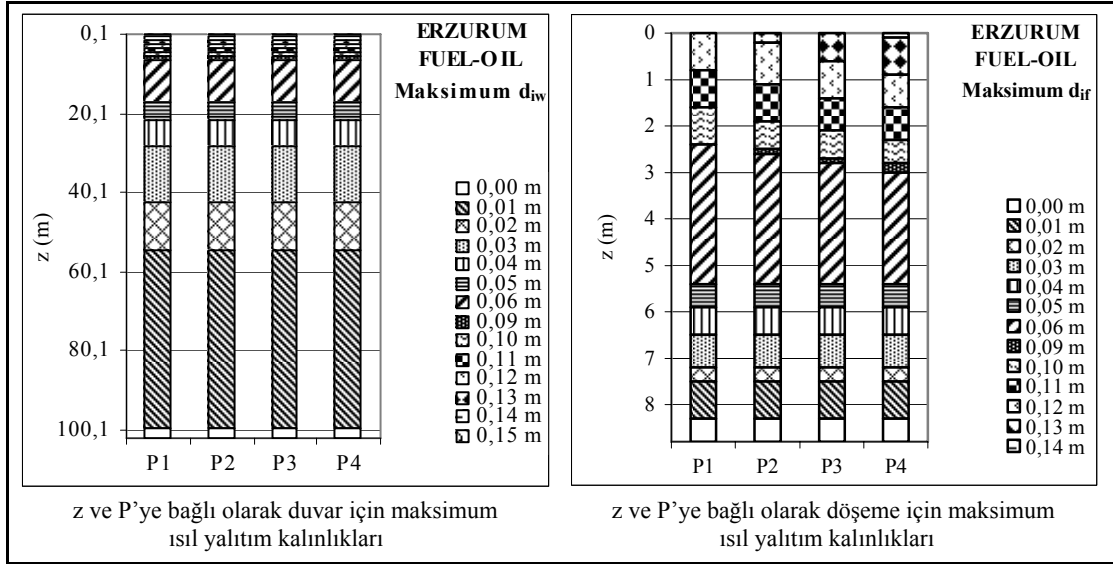
Şekil 7.1. Erzurum ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular

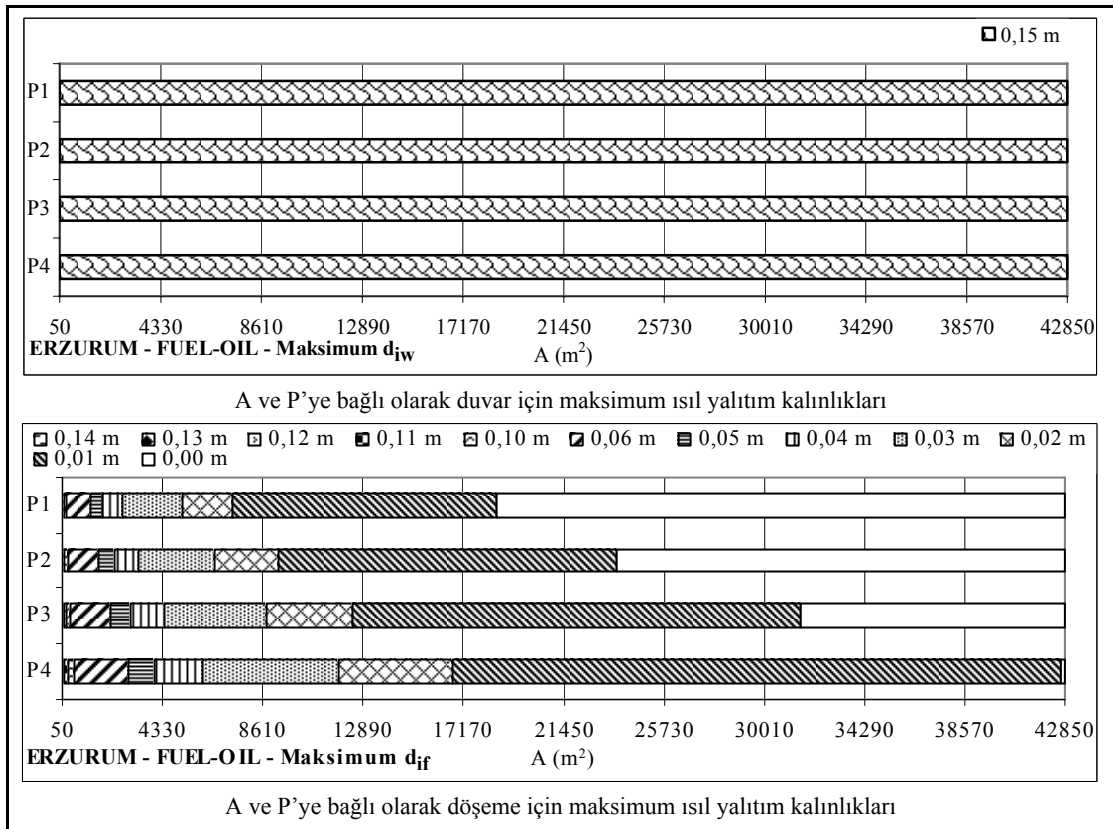


Şekil 7.1. (Devam) Erzurum ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular

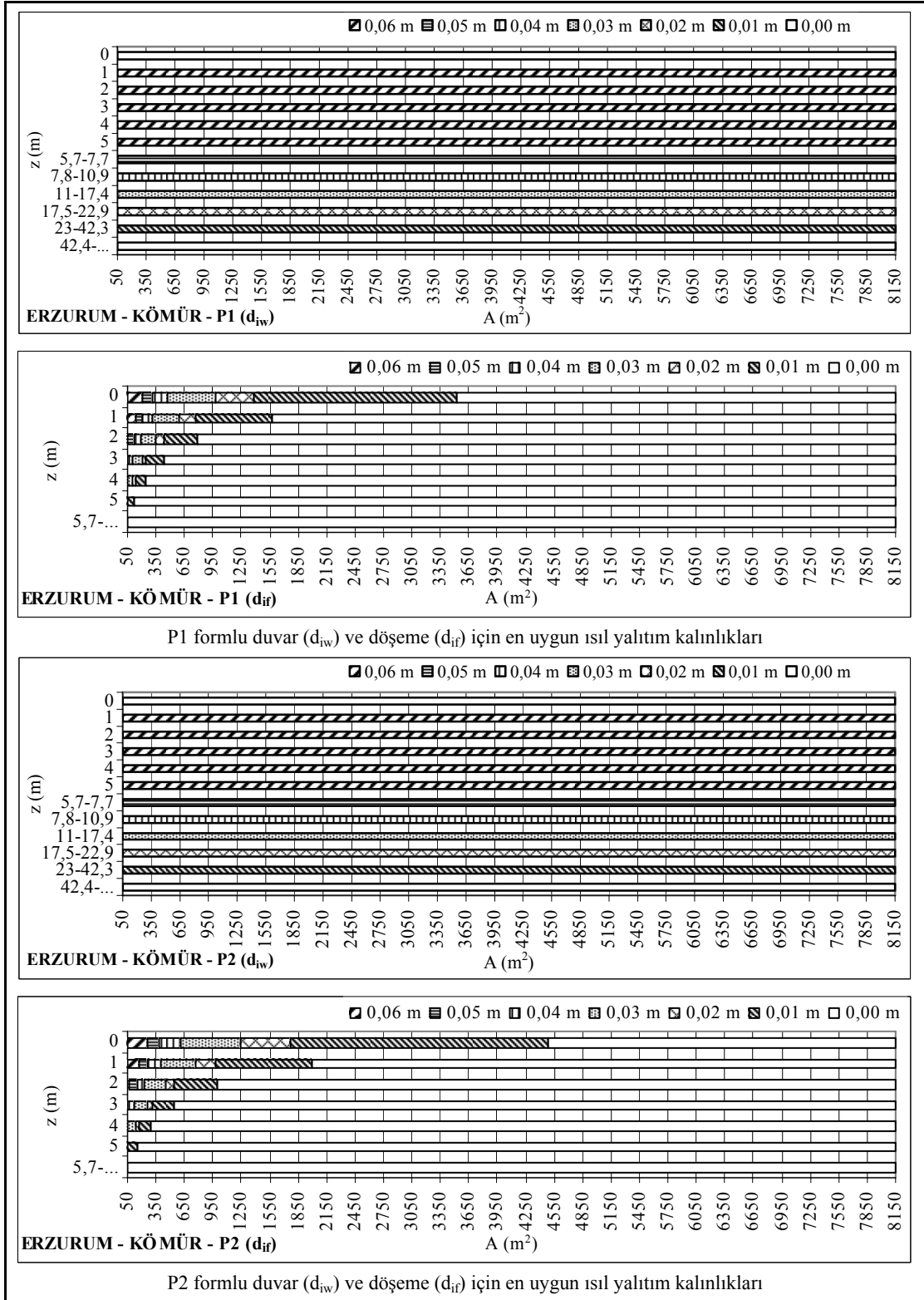


Şekil 7.2. Erzurum ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



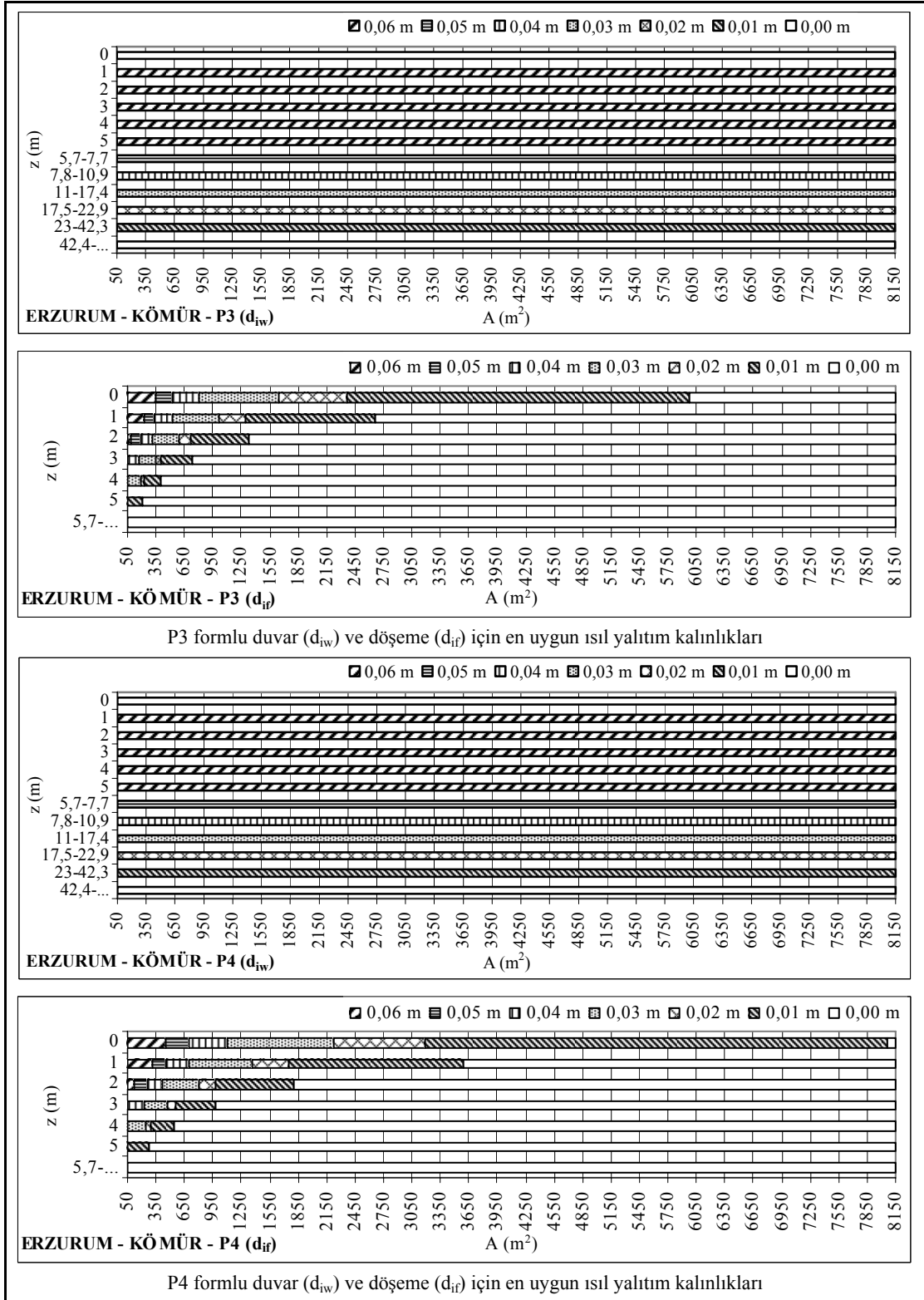
Şekil 7.3. Erzurum ilinde yakıt türü fuel-oil olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular



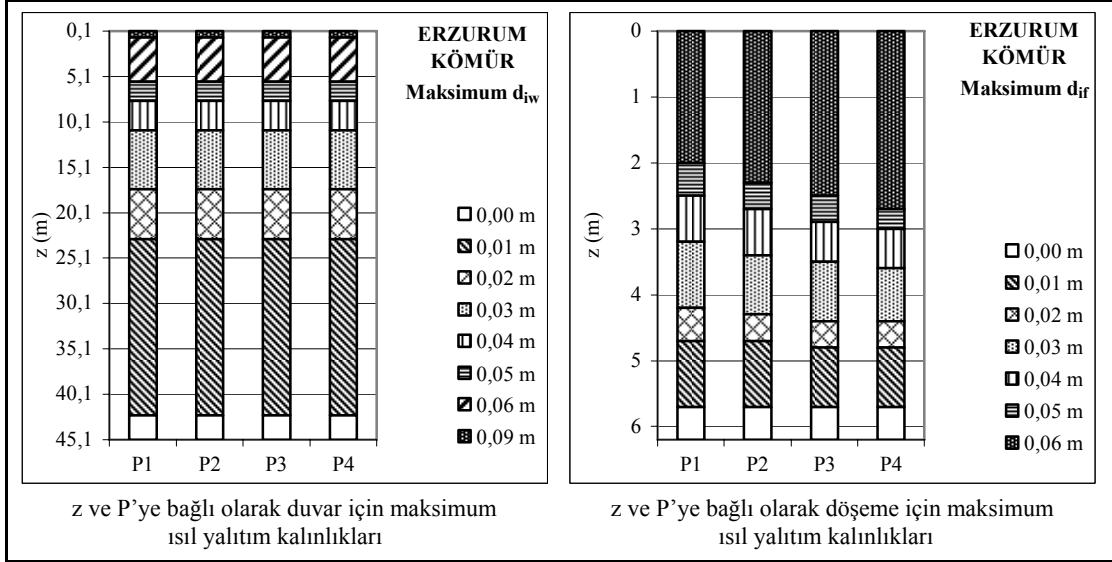
Şekil 7.4. Erzurum ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular

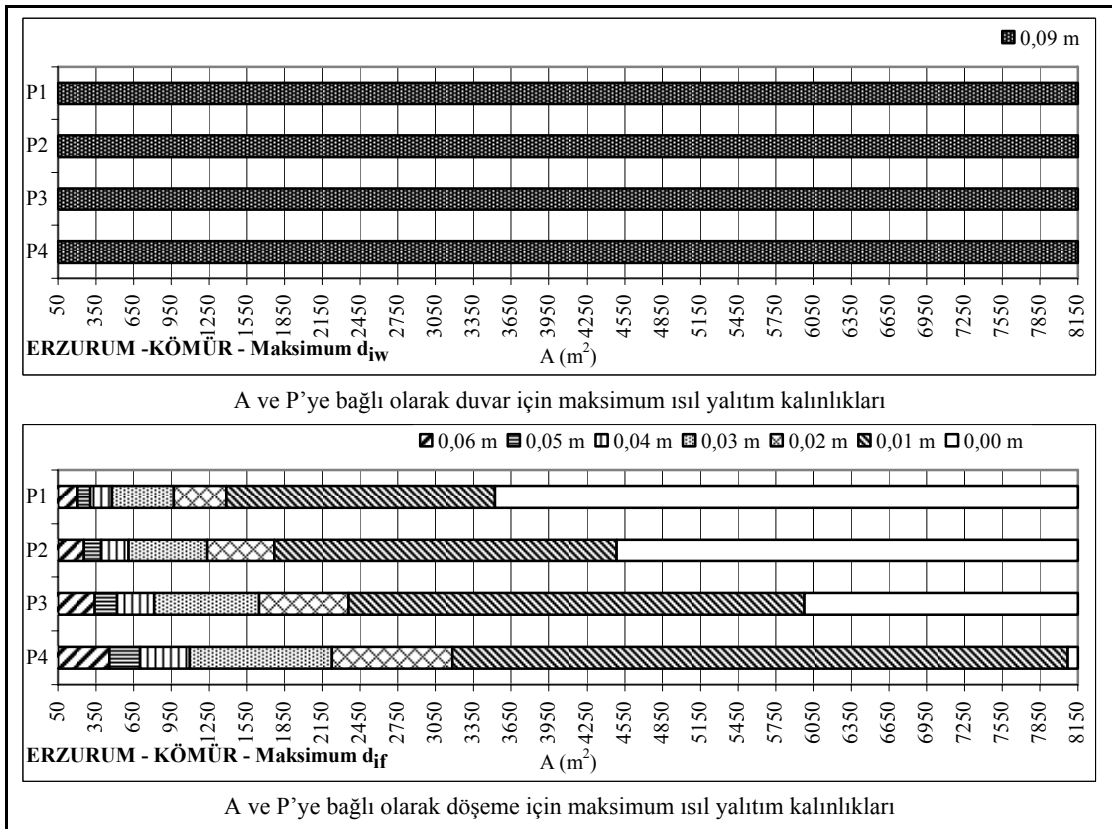


Şekil 7.4. (Devam) Erzurum ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular

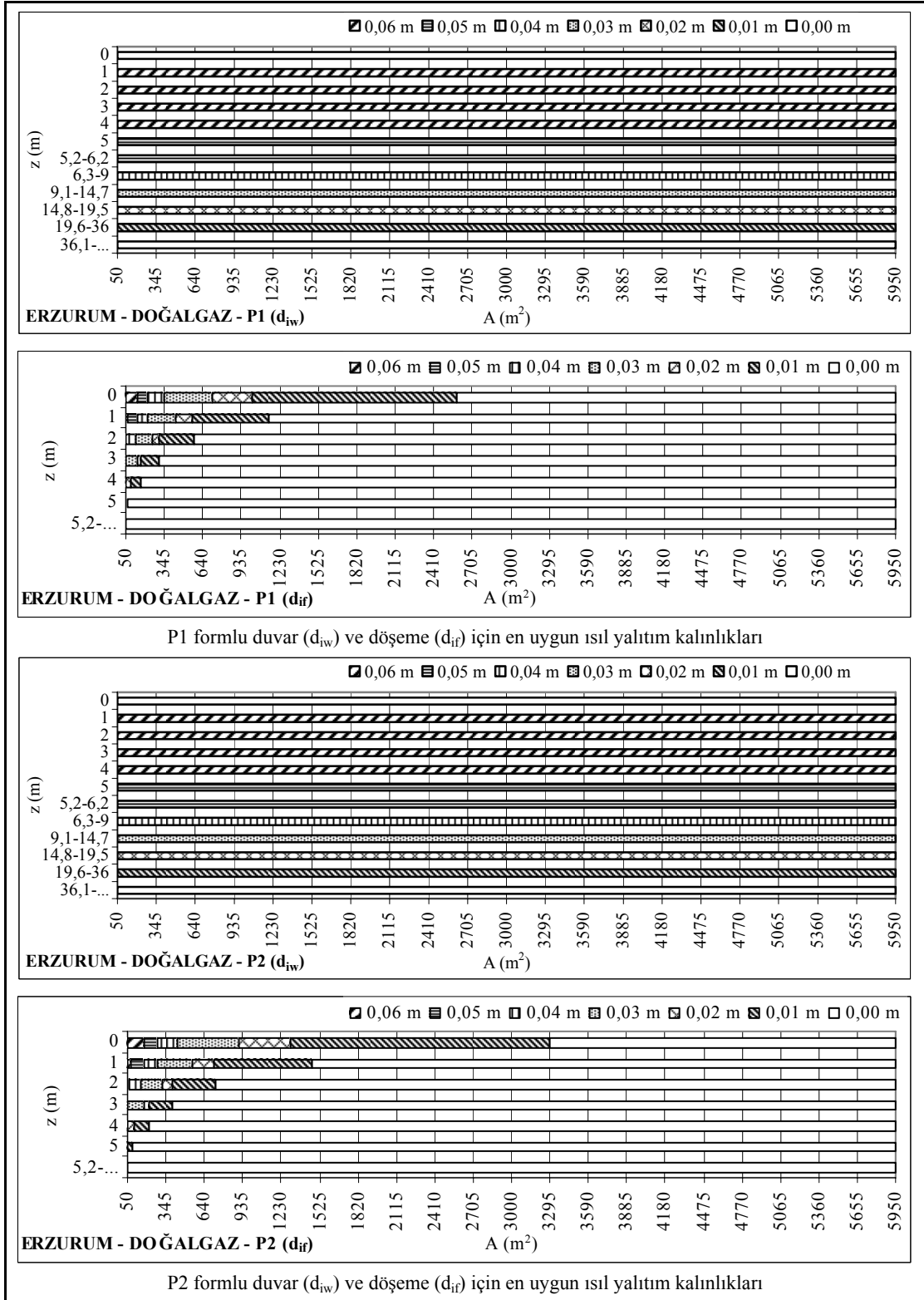


Şekil 7.5. Erzurum ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



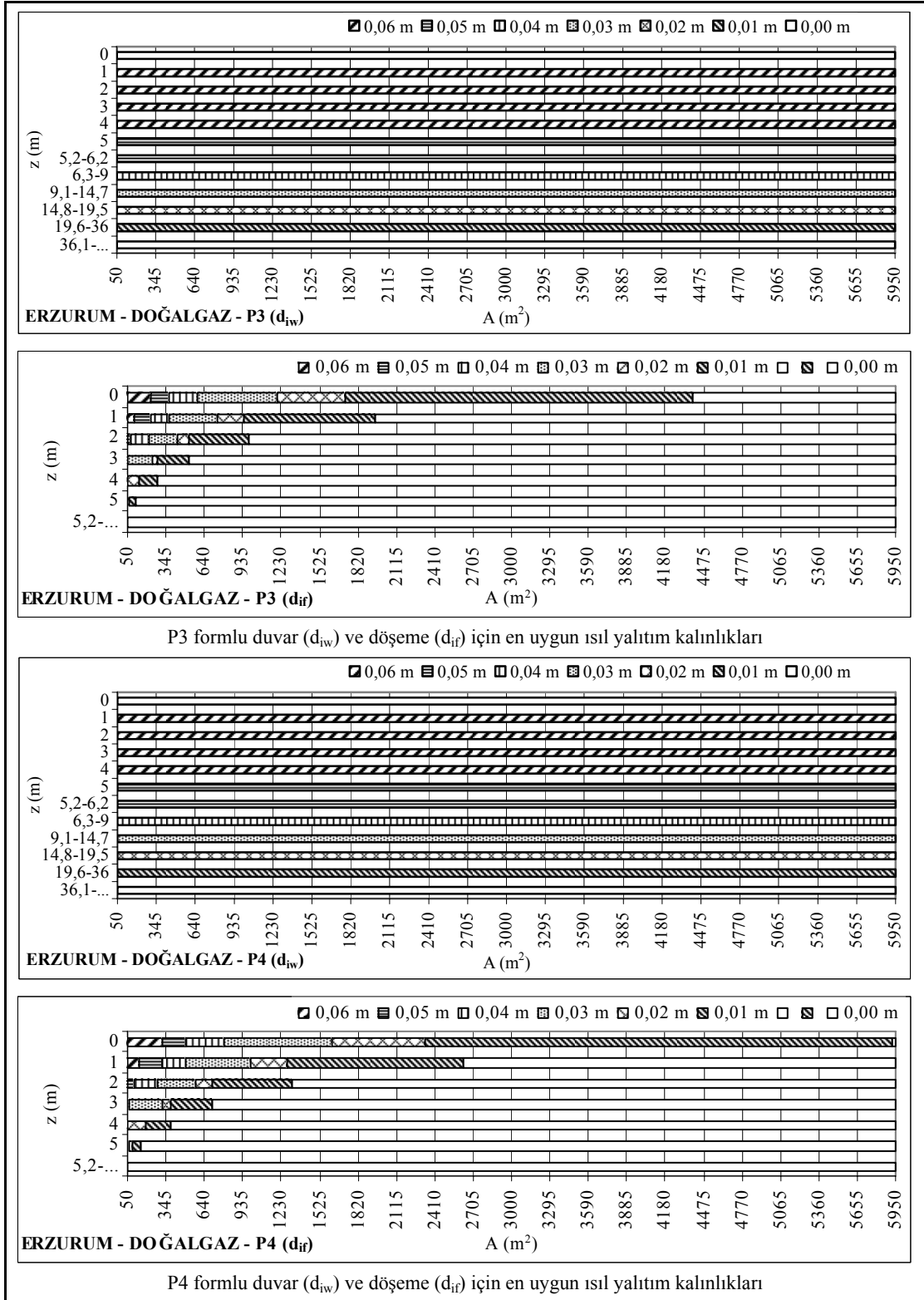
Şekil 7.6. Erzurum ilinde yakıt türü kömür olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular



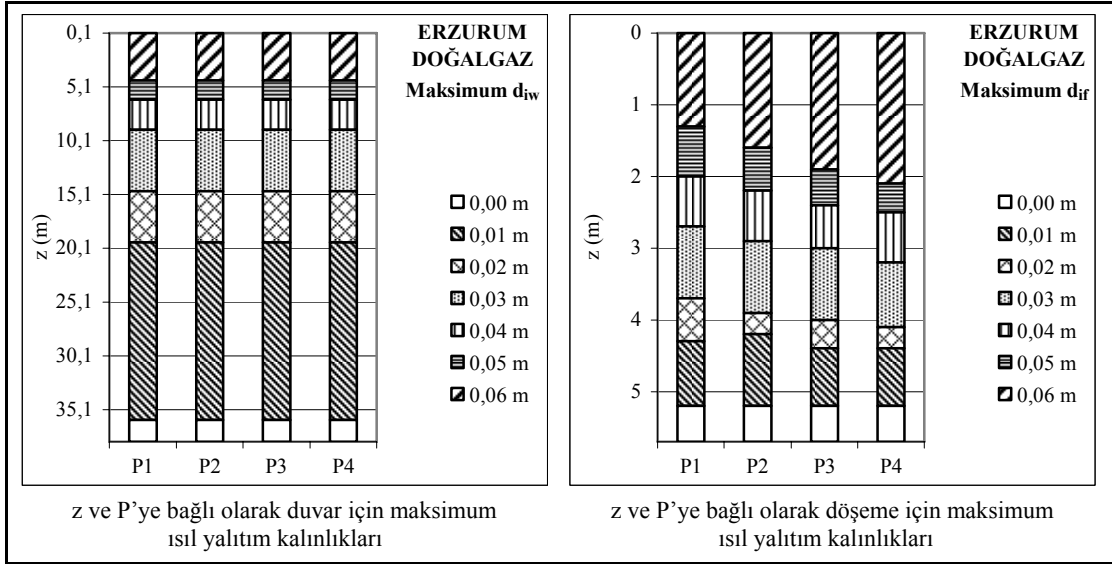
Şekil 7.7. Erzurum ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular

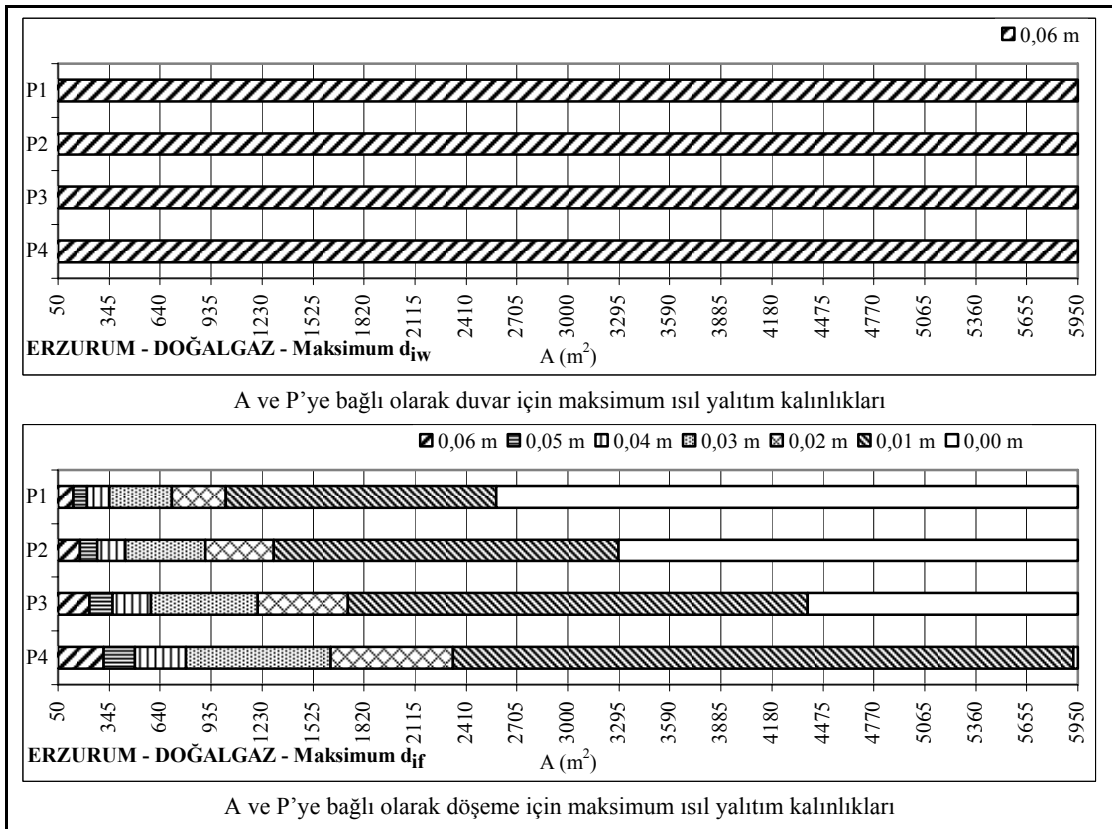


Şekil 7.7. (Devam) Erzurum ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak en uygun ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular

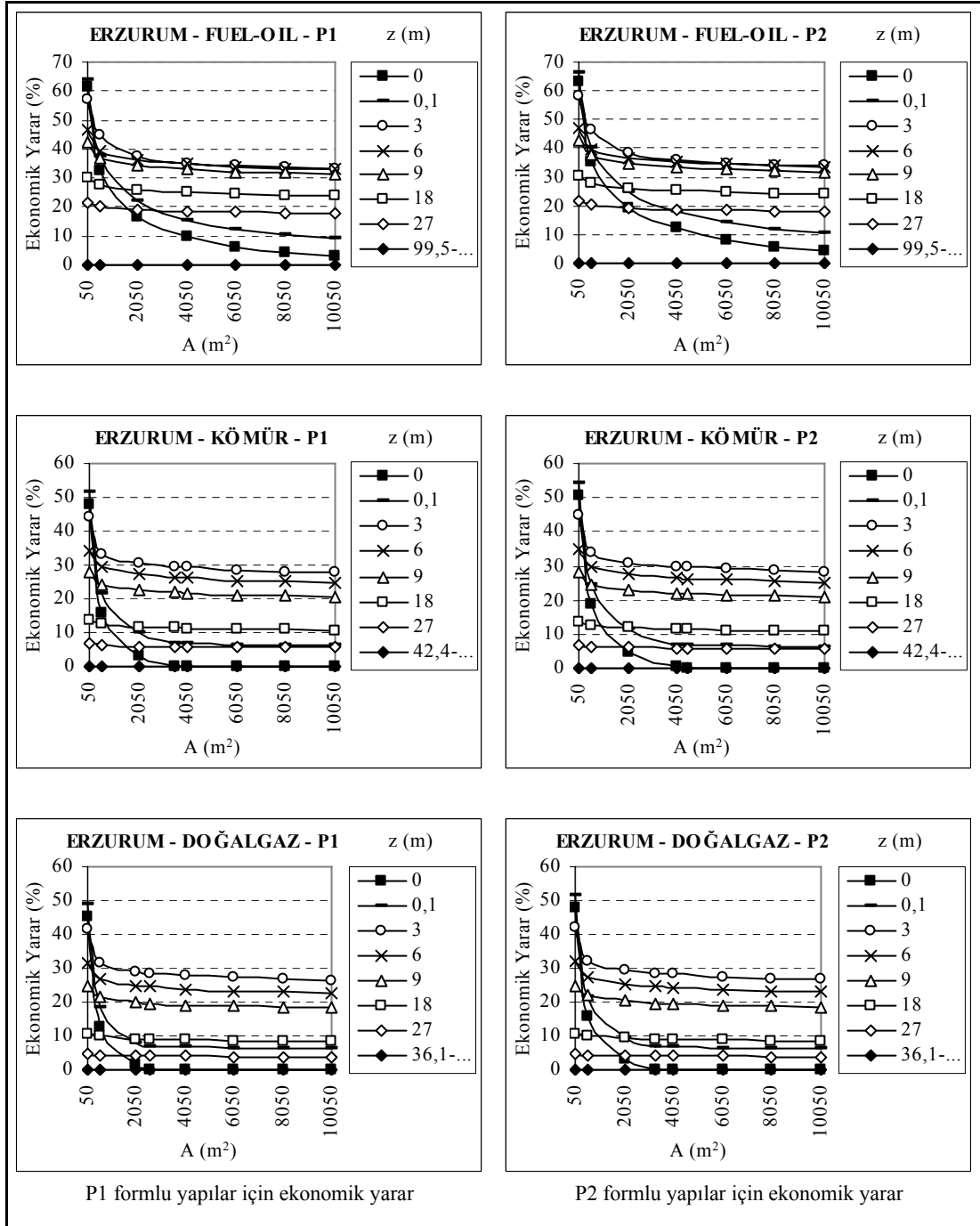


Şekil 7.8. Erzurum ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme derinliği (z) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları



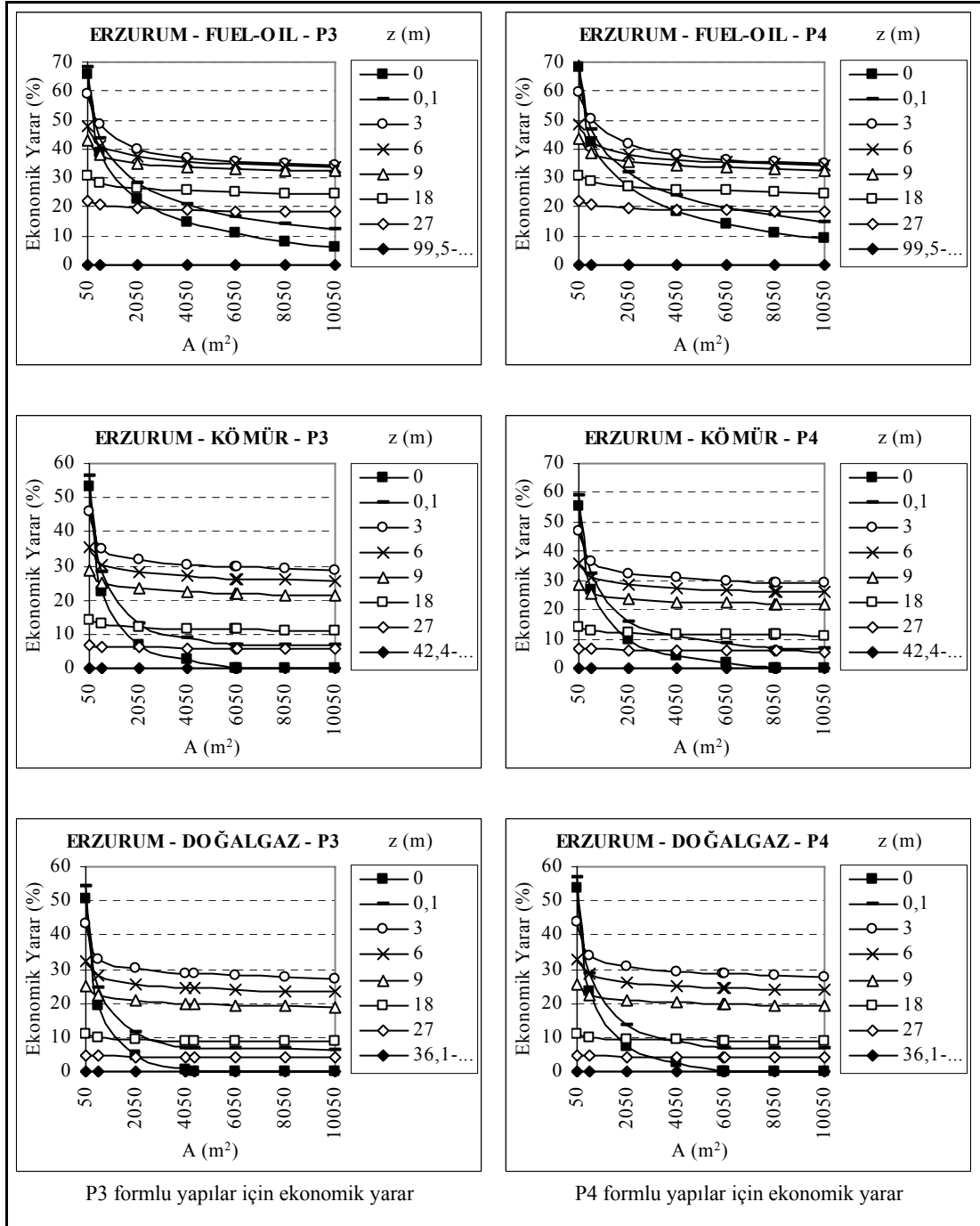
Şekil 7.9. Erzurum ilinde yakıt türü doğalgaz olan yapılar için döşeme alanı (A) ve çevre uzunluğuna (P) bağlı olarak maksimum ısı yalıtım kalınlıkları

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular



Şekil 7.10. Erzurum ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

EK-7 (Devam) Erzurum ili ile ilgili bulgular



Şekil 7.10. (Devam) Erzurum ilinde yakıt türü ve kabuk geometrisine (A, P ve z) bağlı olarak elde edilecek ekonomik yarar

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖNÜL, İsmail Ağa
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 29.03.1971 Çermik
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (533) 653 25 52
 Faks : 0 (412) 248 84 04
 e-mail : agagonul@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ Mimarlık Bölümü	2000
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Mimarlık Bölümü	1995
Lise	Diyarbakır Anadolu Lisesi	1989

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1996-2008	Dicle Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Özdeniz, M.B., Bekleyen, A., Gönül, İ.A., Gönül, H., Sarıgöl, H., Dalkılıç, N., Yıldırım, M. ve İlter, T., “Geçmişten geleceğe Harran yöresel mimarisi”, Yapı, 198: 94-101, 1998.
- Özdeniz, M.B., Bekleyen, A., Gönül, İ.A., Gönül, H., Sarıgöl, H., İlter, T., Dalkılıç, N. ve Yıldırım, M., “Vernacular domed houses of Harran”, Habitat International, 22 (4): 477-485, 1998.

3. Demirel, F. ve Gönül, İ.A., “Türkiye’de ve Avrupa’da prefabrik beton bileşenler ile yapı üretiminde gözlenen değişimler”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16 (1): 189-203, 2003.
4. Gönül, İ.A. ve Çelebi, G., “Binalarda zeminden kaynaklanan nemlenmeyi önleme yöntemleri”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18 (4): 109-122, 2003.
5. Gönül, İ.A. ve Çelebi, G., “Zeminle ilişkili olan yapı elemanlarında nemin neden olduğu olumsuz etkiler”, İzolasyon Dünyası, 57: 57-61, 2006.
6. Özdeniz, M.B., Bekleyen, A., Gönül, İ.A., Gönül, H., Sarıgöl, H., İlter, T., Dalkılıç, N. ve Yıldırım, M., “Toprağın sırrı- veya Harran yöresel mimarisi”, GAP Bölgesinde Kültür Varlıklarının Korunması, Yaşatılması ve Tanıtılması Sempozyumu, Ş.Urfa, 203-212, 1998.

Hobiler

Sinema, Bilgisayar teknolojileri, Spor