

T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YALITIM KALIPLI DONATILI BETON DUVARLI BİNALARIN
YAPIMSAL ve EKONOMİK UYGULANABİLİRLİĞİ

BURAK ÖZŞAHİN
İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ

DOKTORA TEZİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

TEZ YÖNETİCİSİ: PROF. DR. ABDURRAHMAN GÜNER

2011
EDİRNE

T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YALITIM KALIPLI DONATILI BETON DUVARLI BİNALARIN
YAPIMSAL ve EKONOMİK UYGULANABİLİRLİĞİ

BURAK ÖZŞAHİN
İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ

DOKTORA TEZİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

Bu tez 22/04/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER
Tez Yöneticisi

Prof. Dr. Kadir GÜLER
Üye

Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE
Üye

Yard. Doç. Dr Esmâ MIHLAYANLAR
Üye

Yard. Doç. Dr. Zekeriya AYDIN
Üye

YALITIM KALIPLI DONATILI BETON DUVARLI BİNALARIN
YAPIMSAL ve EKONOMİK UYGULANABİLİRLİĞİ
BURAK ÖZŞAHİN
DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
TEZ YÖNETİCİSİ: PROF. DR. ABDURRAHMAN GÜNER
EDİRNE - 2011

ÖZET

Tezin Cinsi: Doktora

Tezin Adı: Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği

Üniversite: Trakya Üniversitesi

Enstitü: Fen Bilimleri Enstitüsü

Anabilim Dalı: Mimarlık

Bu çalışmada Türkiye’de yakın zamanda tanınıp, uygulanmaya başlanan, diğer ülkelerde ise geniş kullanım alanı olan yalıtım kalıplı donatılı beton duvarlı binaların yapımsal ve ekonomik uygulanabilirliği incelendi. “EPS” ifadesi ulusal ve uluslararası yayın ve standartlarda “genleştirilmiş polistiren köpük” anlamında kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında Giriş bölümünü takiben 2. Bölüm’de EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı (EPS YKDBT) Duvar Sistemi ve yapım yöntemi anlatıldı. EPS YKDBT Duvar Sistemi, EPS kalıplar içine yerleştirilen donatılı betondan oluşmaktadır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde EPS YKDBT Duvar Sistemi’nde kullanılan malzemeler tanıtıldı. EPS YKDBT Duvar Sistemi’nde hem yalıtım ve hem de kalıp görevi gören EPS ile donatılı beton kullanılmaktadır. EPS YKDBT Duvar Sistemi’nde EPS kalıplar arasına beton yerleştirilirken genellikle vibratör kullanılmadığı için sistem özelliklerine uygun bir beton karışımı oluşturularak, sistemde kullanılması önerilen beton karışımının uygunluğu, sistemi oluşturan taşıyıcı duvar elemanlarında denenerek değerlendirildi.

Dördüncü bölümde kış konforu ve yaz konforu ile ilgili bilgiler verildi. EPS YKDBT Duvar Sistemi ve geleneksel ısı yalıtım sistemleri için kış ve yaz konforu ile ilgili hesaplamalar örnek bir yapı için yapıldı. Örnek yapı için EPS YKDBT Duvar Sistemi ile geleneksel ısı yalıtım sistemlerinin kullanıldığı duvar kesitlerinin ısı performansları karşılaştırıldı.

Beşinci bölümde EPS YKDBT Duvar Sistemi’ni oluşturan taşıyıcı sistem elemanları tanıtıldı. EPS YKDBT Duvar Sistemi’ni oluşturan taşıyıcı sistem elemanları irdelendi. EPS kalıpların beton dökümü sırasında ve sonrasında şekillerini koruyabilmeleri için kalıpların iç yüzeylerinde EPS (kalıp malzemesinden), plastik, metal vb. malzemedan yapılmış bağlantı köprüleri vardır. Taşıyıcı duvar gövdesinde bağlantı köprülerinden dolayı oluşan boşlukların mekanik hesaplarda dikkate alınması gerekmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan donatılı beton duvar elemanların sonlu eleman modelleri oluşturularak yatay yük etkisinde mekaniksel davranışları incelendi.

Altıncı bölümde EPS YKDBT Duvar Sistemi ile eşdeğer ısı performansına sahip diğer yapı sistemlerinin yapım maliyetleri örnek konut projeleri için hesaplanarak, yapım maliyeti karşılaştırılması yapıldı.

Çalışmanın yedinci bölümde ise genel sonuçlar ve değerlendirmeler açıklandı.

Yılı: 2011

Sayfa: 287

Anahtar Kelimeler: EPS, EPS Yalıtım Kalıbı, Isıl Performans, Yalıtım, Beton, Yapım Maliyeti

SUMMARY

Thesis Type: Postgraduate

Thesis Name: Constructive and Economic Applicability of Insulating Concrete Form Wall Buildings

University: Trakya University

Institute: Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department: Architecture

This paper studies constructive and economic applicability of Insulating Concrete Form (ICF) wall buildings recently introduced in Turkey, which has wide usage in other countries. EPS stands for Expanded Polystyrene Foam in the national and international publications and standards.

Within the scope of this study, following the introductory part, EPS ICF wall system and design methodology is presented. EPS ICF wall system is composed of the insulating concrete form filled with reinforced concrete.

Chapter 3 introduces the materials used in EPS ICF wall system. EPS ICF wall system makes use of EPS for insulation but also formwork and reinforced concrete. In EPS ICF wall system, generally vibration is not used for concrete placement, for this reason a concrete mixture is designed for the system and suitability of the concrete mixture is assessed on the wall elements of the system.

Chapter 4 discusses winter comfort and summer comfort. Winter and summer comfort calculations for EPS ICF wall system and the conventional heat insulation systems are performed on a sample residence. For the residence, the thermal performance of the wall sections used in EPS ICF wall system and the conventional heat insulation systems are compared.

Chapter 5 EPS ICF wall system's structural elements are introduced. The structural elements of EPS ICF wall system are analyzed. There are ties made of EPS (insulation material), plastic, metal etc. in the forms to protect the forms of EPS members during and after the concrete pour. The holes in the wall section due to ties should be taken into consideration in performing mechanical calculations. The wall elements used in EPS ICF wall system is modeled with finite elements methods and their behavior under horizontal load is examined.

In Chapter 6, construction costs of EPS ICF wall system and the other construction systems with a thermal performance equivalent to EPS ICF wall system are calculated on sample residence projects and the construction costs are compared.

Chapter 7 presents overall findings and evaluation.

Year: 2011

Page: 287

Key Words: EPS, EPS Insulating Form, Thermal Performance, Insulation, Concrete, Construction Costs

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora eğitimime başladığım andan itibaren her zaman daha iyiye ulaşmam için beni destekleyen, yardımlarını esirgemeyen ve bilimsel ufkumu genişleten Sayın Prof. Dr. Abdurrahman GÜNER'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Doktora eğitimim sırasında benden güler yüzünü ve her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Kadir GÜLER'e ve Sayın Yard. Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışma esnasında yaptıkları katkı ve yardımlarından dolayı İSORAST Yapı Elemanları Sanayi ve Ticaret A.Ş ve AKÇANSA Çimento Sanayi ve Ticaret A. Ş. çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca İSORAST Yapı Elemanları Sanayi ve Ticaret A.Ş Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Haşmet TAŞCIOĞLU'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde maddî ve manevî desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen aileme ise özel olarak teşekkürlerimi sunmayı ulvi bir borç sayarım.

Burak ÖZŞAHİN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER LİSTESİ	ix
TABLoların LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xviii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xxi
1 GİRİŞ-EPS YALITIM KALIPLI TAŞIYICI DUVAR	1
2 YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI (EPS YKDBT) DUVAR SİSTEMİ	3
2.1 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi İle İlgili Literatür Özeti.....	3
2.2 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi.....	7
2.3 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sisteminin Yapım Yöntemi.....	10
3 EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİ BİLEŞENLERİ	21
3.1 Kalıp (Yalıtım) Malzemesi.....	21
3.1.1 EPS (Expanded Polystyrene Foam-Genleştirilmiş Polistren Köpük).....	21
3.2 Donatı (Betonarme Çeliği).....	23
3.3 Beton.....	25
3.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Özellikleri.....	27
3.3.1.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton Tanımı.....	27

3.3.1.2 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşimi.....	28
3.3.1.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Malzemeler.....	29
3.3.2 Betonun Taze Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler.....	33
3.3.2.1 Taze Beton Deneyleri.....	33
3.3.2.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	46
3.3.3 Deneysel Çalışma.....	51
3.3.3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	52
3.3.3.2 Karışım Oranları.....	57
3.3.3.3 EPS YKDBT Duvar Sistemi İçin Tasarlanan Beton Bileşiminin Uygunluğunun Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler.....	58
3.3.3.3.1 Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Taze Beton Deneyleri.....	59
3.3.3.3.2 Taze Beton Deney Sonuçları.....	65
3.3.3.3.3 EPS YKDBT Duvar Sistemi İçin Tasarlanan Beton Bileşiminin Uygunluğunun Taşıyıcı Sistem Elemanları Üzerinde Denenmesi.....	67
3.3.3.3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	74
3.3.3.3.5 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	82
4 EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİNİN ISIL PERFORMANSI	90
4.1 Genel Bilgiler.....	90
4.2 Kış Konforu ve TS 825.....	92
4.3 Yaz Konforu ve ISO 13786.....	98
4.3.1 ISO 13786’da Verilen Tarifler.....	99
4.3.1.1 Herhangi Bir Bileşen İçin Geçerli Tarifler.....	99
4.3.1.2 Tek Boyutlu Isı Akışı İçin Geçerli Tarifler.....	100
4.3.2 Çok Tabakalı Eleman İletim Matrislerinin Hesaplanması.....	103
4.3.3 Periyodik Isıl Karakteristiklerin Hesabı.....	105

4.4 Isıl Performans Hesapları.....	108
4.4.1 Örnek Yapı ve Kış Konforu Hesapları.....	108
4.4.1.1 Örnek Yapıda EPS YKDBT Duvar Sistemi Uygulandığında Oluşan Kesitler.....	109
4.4.1.2 Örnek Yapıda Geleneksel Yalıtım Sistemleri Uygulandığında Oluşan Kesitler.....	114
4.4.2 TS 825 Kış Konforu Hesapları.....	118
4.4.2.1 Örnek Yapıda EPS YKDBT Duvar Sistemi Uygulandığında Kış Konforu Hesaplamaları.....	118
4.4.2.2 Örnek Yapıda Geleneksel Yalıtım Sistemleri Uygulandığında Kış Konforu Hesaplamaları.....	129
4.4.3 Yaz Konforu ile İlgili Hesaplamalar.....	139
4.4.3.1 Örnek Yapıda EPS YKDBT Duvar Sistemi Uygulandığında Yaz Konforu ile İlgili Hesaplamalar.....	139
4.4.3.2 Örnek Yapıda Geleneksel Yalıtım Sistemleri Uygulandığında Yaz Konforu ile İlgili Hesaplamalar.....	144
4.5 Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	154
4.5.1 Kış Konforu ile İlgili Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	154
4.5.2 Yaz Konforu ile İlgili Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	156
5. EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİ TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARI.....	165
5.1 Temel Sistemi.....	165
5.2 Duvar Sistemi.....	168
5.2.1 EPS Yalıtım Kalıp Elemanlarının Şekline Göre Sınıflandırma.....	169
5.2.2 Duvar Bitiminde Kalıp İçinde Oluşan Betonun Şekline Göre Sınıflandırma.....	170
5.3 Döşeme Sistemi.....	174

5.4 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemini Oluşturan Duvar Elemanlarının Mekaniksel Davranışı.....	177
5.4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Betonarme Elemanların Modellenmesi.....	177
5.4.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Betonarme Elemanların Modellenmesi ile İlgili Literatür Özeti.....	178
5.4.3 ATENA Sonlu Elemanlar Programı İle Sonlu Eleman Analizi.....	183
5.4.3.1 ATENA Sonlu Elemanlar Programı İle Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması.....	185
5.4.4 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemini Oluşturan Duvarların Sonlu Eleman Modelleri.....	194
5.4.4.1 Duvar Modellerine Ait Özellikler.....	194
5.5 Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	201
6 EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİNİN MALİYET ANALİZİ.....	207
6.1 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi ile Eşdeğer Isıl Performansa Sahip Diğer Yapı Tiplerinin Maliyet Bakımından Karşılaştırılması.....	207
6.2 Maliyet Karşılaştırılmasında Kullanılan Örnek Konut Projeleri Hakkında Genel Bilgiler.....	209
6.3 Örnek Konut Projeleri için Kaba Yapım Maliyet Hesabı Sonuçları.....	213
7 SONUÇ ve DEĞERLENDİRME.....	220
KAYNAKLAR.....	223
EKLER.....	229
EK A EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sisteminin Isıl Performans Hesapları ve Maliyet Analizinde Kullanılan 1 Nolu Örnek Konut Projesi	229
EK B EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi Duvar Sonlu Eleman Modelleri Analiz Sonuçları.....	240
EK C EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sisteminin Maliyet Analizinde Kullanılan 2 Nolu Örnek Konut Projesi.....	255

EK D EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemini Maliyet Analizinde Kullanılan 2011 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri.....	268
---	-----

SİMGELER LİSTESİ

α	: Boşluk Oranı
α_t	: Isıl genleşme katsayısı
δ	: Periyodik nüfuziyet derinliği
Δ_t	: Zaman ötelemesi
ΔL	: Ölçü boyunda kısalma
ε	: Silindir numune boyuna şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Minimum kopma uzaması
λ_h	: Isı iletkenlik hesap değeri
ρ	: Havanın yoğunluğu, Yoğunluk
ρ_w	: Suyun yoğunluğu
κ	: Isıl Kapasite
φ	: Faz farkı
\emptyset	: Donatı Çapı
ω	: Değişimlerin açısal frekansı
σ_{10}	: EPS %10 deformasyondaki basınç gerilmesi
σ_e	: EPS eğilme dayanımı
σ_φ	: EPS yüzeye dik çekme dayanımı
$\sigma_{z,em}$: Zemin emniyet gerilmesi
μ	: Su buharı difüzyon direnç faktörü, Poisson oranı
ξ	: Isı köprüsüne bağlı bir faktör
η_{ay}	: Aylık ortalama iç kazanç kullanım faktörü
$\phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı
$\phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç ısı kazancı
$\theta_{i,ay}$: Aylık ortalama iç sıcaklık
$\theta_{s,ay}$: Aylık ortalama dış sıcaklık
$\bar{\theta}_n$: Sıcaklığın ortalama değeri
$\bar{\phi}_n$: Isı akısının ortalama değeri
$ \hat{\theta}_n $: Sıcaklık değişimlerinin genliği

$ \hat{\phi}_n $: Isı akısı değişimlerinin genliği
A	: Bina bileşeni alanı
A_c	: Numune enkesit alanı
A_{EPS}	: Birim hücrede EPS iç yüzey alanı
A_n	: Bina net kullanım alanı
A_S	: Birim hücrede donatı dış yüzey alanı
A_T	: Birim hücrede betonla temas eden toplam yüzey alanı, Tavan Alanı
A_i	: i yönündeki toplam pencere alanı
A_D	: Dış duvar alanı
A_d	: Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı
A_{dsic}	: Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elamanlarının alanı
A_P	: Pencere alanı
A_0	: Etkin yer ivme katsayısı
A_t	: Zemine oturan taban/döşeme alanı
A_{top}	: Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı
b	: Isı köprüsü genişliği
C_m	: Toplam ısı kapasitesi
c_H	: Havanın özgül ısısı
d	: Çökmede yayılma çapı, Katman kalınlığı, Numune seçilen enkesit boyutu
D	: Taze beton yoğunluğu, Numune yoğunluğu
e	: Doğal logaritma tabanı
E	: Elastisite modülü
E_d	: Dinamik elastisite modülü
f	: Azaltma faktörü
f_c	: Basma dayanımı
f_{ct}	: Yarmada çekme dayanımı
f_{yk}	: Minimum akma dayanımı
f_{su}	: Minimum kopma dayanımı
F	: En büyük yük
G	: Kayma modülü
H_1, H_2	: L-kutusu deney aletinde beton yüksekliği

$g_{i,ay}$: i yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü
g_{\perp}	: Güneş enerjisi geçirme faktörü
H	: Bina özgül ısı kaybı
H_T	: İletimle ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı
H_V	: Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı
I	: Bina önem katsayısı
$I_{i,ay}$: i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınım şiddeti
K_0	: Zemin yatak katsayısı
KKO_{ay}	: Kazanç/kayıp oranı
L	: Kalıp ortalama çapı, Numunenin yükleme parçasına temas ettiği çizgi boyu
L_0	: Ölçü boyu
L_{mn}	: Periyodik ısı geçirgenlik
l	: Isı köprüsü uzunluğu
m	: Numunenin bağıl kütlesi
m_1	: Kabın kütlesi
m_2	: Toplam kütle
m_a	: Numunenin havadaki kütlesi
m_{st}	: Kefenin su içindeki görünür kütlesi
m_w	: Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi
n_h	: Hava değişim katsayısı
$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı
Q_{ay}	: Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı
R_e	: Dış yüzey ısı iletim direnci
R_i	: İç yüzey ısı iletim direnci
R	: Isıl geçirgenlik direnci, Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$r_{i,ay}$: i yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü
S_h	: Su emme oranı, hacimce
s^1	: Dinamik sertlik
t	: Zaman, Ultrases geçiş süresi
t_v	: Betonun V-henisinden akış süresi
T	: Isıl değişimlerin periyodu
U	: Yapı elemanı ısı geçirgenliği

U_1	: Isı köprüsünün doğrusal geçirgenliği
U_{1k}	: Isı köprüsünün U değeri
V	: Birim hücre hacmi, Hacim, Ultrases geçiş hızı
$V_{brüt}$: Dış ölçülerle brüt hacim
V_h	: Havalandırılan hacim
V^I	: Hacimce hava değişim debisi
Y_{mm}	: Isıl Kabul
Z	: Isı iletim matrisi
Z_{oo}	: Ortamdan ortama iletim matrisi
Z_{yy}	: Yüzeyden yüzeye iletim matrisi
Z_s	: Sınır tabakası aktarma matrisi

KISALTMALAR

ÇDY	: Çift Duvararası Yalıtım
DY	: Dışarıdan Yalıtım
İY	: İçeriden Yalıtım
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EPS YKDBT	: EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı
GK01	: Geleneksel Beton 01 nolu Küp Numune
KK01	: Kendiliğinden Yerleşen Beton 01 nolu Küp Numune
GS01	: Geleneksel Beton 01 nolu Silindir Numune
KS01	: Kendiliğinden Yerleşen Beton 01 nolu Silindir Numune
GS1	: Geleneksel Beton Sağ Uçtan 1. Seviyeden Kesilerek Alınan Prizmatik Numune
GO1	: Geleneksel Beton Ortadan 1. Seviyeden Kesilerek Alınan Prizmatik Numune
GSL1	: Geleneksel Beton Sol Uçtan 1. Seviyeden Kesilerek Alınan Prizmatik Numune
KS1	: Kendiliğinden Yerleşen Beton Sağ Uçtan 1. Seviyeden Kesilerek Alınan Prizmatik Numune
KO1	: Kendiliğinden Yerleşen Beton Ortadan 1. Seviyeden Kesilerek Alınan Prizmatik Numune
KSL1	: Kendiliğinden Yerleşen Beton Sol Uçtan 1. Seviyeden Kesilerek Alınan Prizmatik Numune
S	: Sağ
O	: Orta
SL	: Sol
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
L1H3B0	: Boyu 1 metre Yüksekliği 3 metre Boşluk Oranı 0 Olan Duvar Modeli

TABLOLARIN LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1 EPS Teknik Özellikler.....	23
Tablo 3.2 Betonarme Donatı Çeliği Sınıfları ve Özellikler.....	24
Tablo 3.3 Taze Haldeki Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Yöntemleri.....	34
Tablo 3.4 Taze Haldeki Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneyleri İçin Önerilen Değer Aralıkları.....	34
Tablo 3.5 Kendiliğinden Yerleşen Beton Sınıfları.....	35
Tablo 3.6 0–4 mm Doğal Kum ve 4–12 mm Agrega Özellikleri.....	54
Tablo 3.7 Kullanılan TS EN 197–1 CEM I 42,5 R Çimentonun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri.....	56
Tablo 3.8 Süperakışkanlaştırıcının Özellikleri.....	57
Tablo 3.9 EPS YKDBT Duvar Sistemi için Tasarlanan Beton Bileşimleri.....	58
Tablo 3.10 Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Deneyler.....	59
Tablo 3.11 Taze Beton Deney Sonuçları.....	65
Tablo 3.12 Küp Numune Beton Basma Deney Sonuçları ve Birim Hacim Kütleleri.....	82
Tablo 3.13 Silindir Numune Beton Basma Deneyi Sonuçları.....	83
Tablo 3.14 Küp Numune Yarmada Çekme Deneyi Sonuçları ve Birim Hacim Kütleleri.....	83

	Sayfa No
Tablo 3.15 Silindir Numune Yarmada Çekme Deneyi Sonuçları.....	84
Tablo 3.16 Silindir Numune Elastisite Modülü Sonuçları.....	84
Tablo 3.17 Duvar Örneklerinden Kesilerek Elde Edilen Prizmatik Numunelerin Basma Dayanımı Deney Sonuçları.....	85
Tablo 3.18 Duvar Örneklerinden Kesilerek Elde Edilen Prizmatik Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları.....	86
Tablo 4.1 Yıllık Net Isıtma Enerjisi İhtiyacı ($Q_{yıl}$) için İzin Verilen En Büyük Değerler.....	97
Tablo 4.2 Örnek Yapıya Ait Özellikler.....	108
Tablo 4.3 EPS YKDBT Duvar Sistemi Özgül Isı Kaybı (Kalıp Kalınlığı 250 mm)..	123
Tablo 4.4 EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (Kalıp Kalınlığı 250 mm–1.DG).....	125
Tablo 4.5 EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (Kalıp Kalınlığı 250 mm–2.DG).....	126
Tablo 4.6 EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (Kalıp Kalınlığı 250 mm–3.DG).....	127
Tablo 4.7 EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (Kalıp Kalınlığı 250 mm–4.DG).....	128
Tablo 4.8 Dışarıdan Yalıtımlı Geleneksel Yapı Sistemi Özgül Isı Kaybı.....	130
Tablo 4.9 Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (1.DG).....	132

Tablo 4.10 Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (2.DG).....	133
	Sayfa No
Tablo 4.11 Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (3.DG).....	134
Tablo 4.12 Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (4.DG).....	135
Tablo 4.13 Dışarıdan Yalıtımlı Geleneksel Yapı Sistemi Özgül Isı Kaybı (Yalıtım Kalınlığı 70 mm).....	136
Tablo 4.14 Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (4.DG) (Yalıtım Kalınlığı 70 mm).....	138
Tablo 4.15 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Oluşan Kesitlerin Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri (Kalınlık 250 mm).....	140
Tablo 4.16 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Oluşan Kesitlerin Matris Değerleri (Kalınlık 250 mm).....	142
Tablo 4.17 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri (Kalınlık 250 mm).....	143
Tablo 4.18 Yaz Konforunun İncelendiği Duvar Kesitleri ve Özellikleri.....	144
Tablo 4.19 Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri.....	146
Tablo 4.20 Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Matris Değerleri.....	148
Tablo 4.21 Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Kullanılan Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri.....	149
Tablo 4.22 Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri (Yalıtım Kalınlığı 70 mm).....	150
Tablo 4.23 Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Matris Değerleri (Yalıtım Kalınlığı 70 mm).....	152

Tablo 4.24 Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Kullanılan Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri (Yalıtım Kalınlığı 70 mm).....	153
Tablo 4.25 Kış Konforu ile İlgili Hesap Sonuçları.....	155
	Sayfa No
Tablo 4.26 EPS YKDBT Duvar Sistemi ve Geleneksel Yalıtım Sistemlerini Oluşturan Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri.....	158
Tablo 5.1 EPS YKDBT Duvar Sistemi Duvar Sonlu Eleman Modelleri.....	200
Tablo 5.2 Duvar Sonlu Eleman Modellerinin Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları.....	201
Tablo 6.1 1 nolu Örnek Konut Projesi Tasarım Parametreleri.....	210
Tablo 6.2 2 nolu Örnek Konut Projesi Tasarım Parametreleri.....	210
Tablo 6.3 1 nolu Örnek Konut Projesi için Eşdeğer Isıl Performansa Sahip Yapı Tiplerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırması.....	216
Tablo 6.4 2 nolu Örnek Konut Projesi için Eşdeğer Isıl Performansa Sahip Yapı Tiplerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırması.....	218

RESİMLERİN LİSTESİ

	Sayfa No
Resim 2.1 EPS YKDBT Duvar Sisteminin Uygulanışı.....	7
Resim 2.2 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvarların Oluşturulması.....	8
Resim 2.3 EPS Kalıbın Sökülmesi Halinde Kalıp İçindeki Taşıyıcı Eleman.....	9
Resim 3.1 EPS Hammaddesi Polistiren.....	21
Resim 3.2 Beton Yayılma Çapının Ölçülmesi.....	37
Resim 3.3 J-Halkasında Yayılmanın Ölçülmesi.....	41
Resim 3.4 Elek Ayrışma Deneyi ve Deney Aparatları.....	44
Resim 3.5 Çökme (Slump) Deneyinin Yapılışı.....	59
Resim 3.6 Çökme Yayılma Deneyinde Yayılma Çapının Ölçülmesi.....	60
Resim 3.7 V-Hunisi Deneyinin Yapılışı.....	61
Resim 3.8 L-Kutusu Deneyinin Yapılışı.....	62
Resim 3.9 J-Halkası Deneyinin Yapılışı.....	63
Resim 3.10 Taze Beton Yoğunluğunun Belirlenmesi.....	64
Resim 3.11 Taze Haldeki Betonun Hava İçeriğinin Ölçülmesi.....	64

	Sayfa No
Resim 3.12 Deneysel Çalışmada Kullanılan Donatılı ve Donatısız Duvar Numuneleri EPS Kalıpları.....	68
Resim 3.13 Duvar Numunelerine Betonun Dökülmesi.....	68
Resim 3.14 Beton Dökümünden Sonra Duvar Numuneleri.....	69
Resim 3.15 Yüzeyindeki EPS Kalıpları Soyulmuş Duvar Numuneleri.....	69
Resim 3.16 EPS Kalıp Söküldükten Sonra Kendiliğinden Yerleşen Beton Yüzeyi...	70
Resim 3.17 EPS Kalıp Söküldükten Sonra Geleneksel Beton Yüzeyi.....	70
Resim 3.18 EPS Kalıp Söküldükten Sonra Geleneksel Betonda Gözlenen Ayrışma.....	71
Resim 3.19 Duvar Numunelerinin Hidrolik Beton Kesme Makinesi İle Kesilmesi.....	72
Resim 3.20 Duvar Numunelerinden Kesilerek Beton Numune Alınması.....	72
Resim 3.21 Duvar Numunelerinden Kesilerek Çıkarılmış Prizmatik Beton Numuneler.....	73
Resim 3.22 Silindir Numunelere Sarsma Tablası ile Sıkıştırma Uygulanması.....	74
Resim 3.23 Standard Silindir ve Küp Numuneler.....	75
Resim 3.24 Beton Basma Deneyinin Yapıldığı ELE 3000 Beton Basma Deney Aleti.....	76
Resim 3.25 Başlık Yapılmış Silindir Numuneler.....	76
Resim 3.26 Küp ve Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Deneyinden Sonraki Görünüşleri.....	77

Sayfa No

Resim 3.27 Silindir Numunelerde Gerilme Şekil Değişirme Ölçme Düzeneği.....	78
Resim 6.1 Maliyet Hesabında Kullanılan EPS Bağlantı Köprülü EPS Kalıplar.....	208
Resim 6.2 Maliyet Hesabında Kullanılan Tel (Metal) Bağlantı Köprülü EPS Kalıplar.....	208

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Kalıplar ve Bağlantı Köprüsü.....	9
Şekil 2.2 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Zemin Altı Duvarlarında Su Yalıtımı ve Drenaj Uygulanması.....	14
Şekil 2.3 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Boşluk Kalıbı.....	15
Şekil 2.4 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Boşluk Üstü Duvar Kalıbı.....	16
Şekil 2.5 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kalıpların Şaşırtmalı Olarak Dizilerek Duvarların Oluşturulması.....	17
Şekil 2.6 EPS YKDBT Duvar Sisteminin Şematik Gösterimi.....	18
Şekil 2.7 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Donatıların Şematik Gösterimi.....	19
Şekil 2.8 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan İskele Sistemi.....	20
Şekil 3.1 Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Betonun Karşılaştırılması...	29
Şekil 3.2 Agregaların Kemerlenme Oluşturma Mekanizması.....	30
Şekil 3.3 V-Hunisi.....	38
Şekil 3.4 Orimet Deney Düzeneği ve Deneyin Yapılışı.....	39
Şekil 3.5 L-Kutusu Deney Aleti ve Boyutları.....	40
Şekil 3.6 U-Kutusu Deney Aleti.....	41
Şekil 3.7 Doldurma Kutusu Deney Aleti Ölçüleri.....	43

	Sayfa No
Şekil 3.8 Penetrasyon Deney Aleti.....	44
Şekil 3.9 Gövdesi Boşluklu Duvar Sistemi İçin Birim Hücre (EPS Bağlantı Köprülü).....	53
Şekil 3.10 Gövdesi Dolu Duvar Sistemi İçin Birim Hücre (Plastik veya Metal Bağlantı Köprülü).....	53
Şekil 3.11 Geleneksel Beton Bileşimi Agregâ Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisi.....	55
Şekil 3.12 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşimi Agregâ Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisi.....	55
Şekil 3.13 Deneysel Çalışmada Kullanılan Duvar Numuneleri ve Boyutları.....	67
Şekil 3.14 Duvar Numunelerinin Kesim Planı.....	71
Şekil 3.15 Beton Gerilme Şekil Değişirme Diyagramı.....	79
Şekil 3.16 Beton Numunelerin Gerilme Şekil Değişirme Diyagramları	80
Şekil 3.17 Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Küp Basma Dayanımları.....	87
Şekil 3.18 Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Silindir Basma Dayanımları.....	87
Şekil 3.19 Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Yarmada Çekme Dayanımları.....	88
Şekil 3.20 Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Farklı Duvar Seviyelerinde Beton Basma Dayanımları.....	89
Şekil 3.21 Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Ultrases Okumaları.....	89
Şekil 4.1 Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 250 mm).....	110

Sayfa No

Şekil 4.2 Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (EPS YKDBT Duvar Sistemi).....	110
Şekil 4.3 Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas) (EPS YKDBT Duvar Sistemi).....	111
Şekil 4.4 Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 310 mm).....	111
Şekil 4.5 Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 370 mm).....	112
Şekil 4.6 Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 430 mm).....	113
Şekil 4.7 Duvar Kesiti (Dışarıdan Yalıtımlı Sistem).....	114
Şekil 4.8 Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (Dışarıdan Yalıtımlı Sistem).....	115
Şekil 4.9 Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas) (Dışarıdan Yalıtımlı Sistem)...	115
Şekil 4.10 Duvar Kesiti (Dış Ortam) (İçeriden Yalıtımlı Sistem).....	115
Şekil 4.11 Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (İçeriden Yalıtımlı Sistem).....	116
Şekil 4.12 Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas) (İçeriden Yalıtımlı Sistem)...	116
Şekil 4.13 Duvar Kesiti (Çift Duvar Arası Yalıtımlı Sistem).....	117
Şekil 4.14 Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (Çift Duvar Arası Yalıtımlı Sistem)..	117
Şekil 4.15 Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas) (Çift Duvar Arası Yalıtımlı Sistem).....	118
Şekil 4.16 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı (EPS YKDBT) Duvar.....	119

	Sayfa No
Şekil 4.17 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Kesiti ve Ölçüleri.....	120
Şekil 4.18 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Kesiti.....	121
Şekil 5.1 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Altı Temel Uygulaması.....	166
Şekil 5.2 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Altı Temel Sistemi.....	166
Şekil 5.3 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Radye Temel Sistemi.....	167
Şekil 5.4 EPS Kalıplarda Kullanılan Bağlantı Köprüleri.....	168
Şekil 5.5 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Kalıp Tipleri.....	169
Şekil 5.6 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Bitiminde Kalıp İçinde Oluşan Beton Şekilleri.....	171
Şekil 5.7 Düz (Flat) Duvar Sistemi.....	171
Şekil 5.8 Boşluksuz Izgara (Waffle Grid) Duvar Sistemi.....	172
Şekil 5.9 Boşluklu Izgara (Screen Grid) Duvar Sistemi.....	173
Şekil 5.10 Dikme-Kiriş (Post and Beam) Duvar Sistemi.....	173
Şekil 5.11 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Plak Döşeme Sistemi.....	175
Şekil 5.12 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Yerinde Dökme Nervürlü Döşeme Sistemi.....	175
Şekil 5.13 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Yerinde Dökme Nervürlü Döşeme Sistemi ile Duvar Birleşimi.....	176

	Sayfa No
Şekil 5.14 EPS YKDBT Duvar Sisteminde Çelik Kirişli (Nervürlü) Döşeme Sistemi.....	176
Şekil 5.15 Kendi Yükünü Taşıyabilen EPS Dolgu Bloğu.....	176
Şekil 5.16 ATENA Sonlu Elemanlar Program Penceresi.....	183
Şekil 5.17 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Malzeme Tanımlanması.....	185
Şekil 5.18 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Geometrik Model Oluşturulması.....	186
Şekil 5.19 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Geometrik Modeli Oluşturulan Katı Objeler Arasındaki Bağ (Contact).....	186
Şekil 5.20 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Geometrik Modelin Elemanlara Bölünmesi (Mesh).....	187
Şekil 5.21 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Donatının Ayrık Modellenmesi.....	188
Şekil 5.22 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Yükleme Durumları.....	189
Şekil 5.23 ATENA Sonlu Elemanlar Programı Çözüm Parametreleri.....	190
Şekil 5.24 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Analiz Adımları.....	191
Şekil 5.25 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Görüntüleme Noktaları.....	191
Şekil 5.26 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Doğrusal Olmayan Analiz Sürecini Görüntüleme Sayfası.....	192
Şekil 5.27 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Sonuçların Görüntülediği Post-Processing Penceresi.....	193
Şekil 5.28 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Oluşturulan Duvar Modeli.....	195

	Sayfa No
Şekil 5.29 Duvar Modelinde Yükün Uygulanması İçin Oluşturulan Yükleme Plakası.....	196
Şekil 5.30 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Yükleme Plakası Malzeme Modeli.....	196
Şekil 5.31 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Donatı Malzeme Modeli.....	197
Şekil 5.32 ATENA Sonlu Elemanlar Programında Beton Malzeme Modeli.....	198
Şekil 5.33 Elemanlara Bölme (Mesh) İşlemi Uygulanmış Duvar Modeli.....	199
Şekil 5.34 Duvar Modelinde Tanımlanan Donatılar.....	199
Şekil 5.35 1000 mm Boya Sahip Duvar Modeli Yatay Yük Deplasman Grafiği.....	203
Şekil 5.36 2000 mm Boya Sahip Duvar Modeli Yatay Yük Deplasman Grafiği.....	203
Şekil 5.37 3000 mm Boya Sahip Duvar Modeli Yatay Yük Deplasman Grafiği.....	203
Şekil 6.1 1 nolu Örnek Konut Yapısının Farklı Yapı Sistemleri İçin Yapım Maliyeti.....	213
Şekil 6.2 2 nolu Örnek Konut Yapısının Farklı Yapı Sistemleri İçin Yapım Maliyeti.....	214

1. BÖLÜM

GİRİŞ - EPS YALITIM KALIPLI TAŞIYICI DUVAR

Konut ihtiyacını gidermek amacıyla Türkiye koşullarını da dikkate alarak yeni, enerji verimli, düşük maliyetli konut yapım sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Diğer ülkelerde uygulanan konut sistemlerinin aynen alınıp Türkiye’de kullanılması farklı depremsellik ve iklim şartları sebebiyle mümkün olmamaktadır. Bu sebeple ya yeni konut sistemlerinin geliştirilmesi ya da diğer ülkelerde uygulanan sistemlerin değerlendirilip, Türkiye şartlarına uyarlanıp geliştirilmesi gerekmektedir (Özşahin, 2004).

Türkiye’de kullanılacak yapı sistemlerinin taşıması gereken bazı şartlar vardır. Türkiye gelişen sanayisi, artan nüfusu, ayrıca yetersiz enerji üretiminden dolayı kendi enerji ihtiyacını kendi kaynakları ile karşılayamayan bir ülkedir. Diğer yandan enerji tüketiminin önemli bir bölümünü, binaların ısıtılması için sarf edilen enerji oluşturmaktadır. Ülkemizin bulunduğu coğrafya nedeniyle binaların büyük bir kısmı yılın yaklaşık olarak 4–9 ayı ısıtılmaktadır.

Isıtma amaçlı enerji tüketimini azaltabilmek için inşa edilen binaların duvar, zemin ve çatı gibi dış ortam ile temas eden elemanlarında ısı iletiminin en aza indirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla Türkiye için önerilecek yapı sistemlerinde kullanılacak elemanlarda ısı yalıtımının olması gerekmektedir. Isı yalıtımıyla hem enerji tasarrufu sağlanacak ve hem de konutların ısıtılması sırasında tüketilen yakıttan atmosfere karışan zararlı gazlar azaltılacaktır.

Diğer yandan Türkiye bir deprem kuşağı ülkesi olduğu için, konut sistemlerinin depreme dayanıklı olmaları gerekmektedir. İnşa edilen konutlarda seçilen yapı sisteminin bir deprem sırasında, içinde barınan insanlara zarar vermeyecek şekilde tasarlanması gerekir. Bu yüzden önerilecek yapı sistemlerinin depreme dayanıklılığının en azından hesapla kanıtlanmış olması önemli bir şarttır.

EPS YKDBT Duvar Sistemi eğer Türkiye koşullarında deprem güvenliği, yeterli ısıı performans, hızlı yapım imkânı ve ekonomi sağlıyorsa, kullanımını uygun olacaktır. Doğru ve geręekęi bir karşılaştıra seğeneklerin faydalı kullanım ömürleri (konut binaları için yaklaşık 60 yıl) boyunca işletme, bakım ve onarım toplam maliyetleri karşılaştırılarak yapılabilir. Bu çalışmada Türkiye şartlarında ulusal yönetmelikler esas alınarak, EPS YKDBT duvar sistemi elemanlarının taşıma gücü güvenlikleri, sistemde kullanılan malzemeler, yapım yöntemi, sistemin ısıı özellikleri ve yapım maliyeti incelendi. Böylece, Türkiye'deki konut ihtiyacına çözüm bulunmasına katkı sağlayacak bir sistemin olabirliğinin çeşitli yönlerinin bilimsel açıdan irdelenmesi için bir başlangıç oluşturuldu.

2. BÖLÜM

EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI (EPS YKDBT) DUVAR SİSTEMİ

2.1 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi İle İlgili Literatür Özeti

EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı (EPS YKDBT) Duvar Sistemi ile ilgili olarak Türkiye ve diğer ülkelerde yapılan çalışmalar aşağıda özet olarak verilmiştir.

ÖZŞAHİN (2004), “EPS Bloklü Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi” isimli çalışmasında, EPS Bloklü Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi ve sistemde kullanılan malzemeleri tanıtmıştır. Ayrıca EPS Bloklü Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1997 Bölüm 10 Yığma Kârgir Binalar için Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları açısından incelenmiş ve sistemin yığma yapı olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmada EPS Bloklü Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi, betonarme yapılarla ilgili yönetmelik kuralları açısından incelenmiştir. EPS Bloklü Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi için geliştirilen bir eşdeğer perde modeli ile taşıyıcı sistem elemanları temsil edilmeye çalışılmıştır.

CİHAN (2004), “EPS-Bloklü, Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvarlı Binanın Isıl Performansı” isimli çalışmasında, Türkiye’de geleneksel ısı yalıtım sistemlerine alternatif olarak sunulan EPS-Bloklü Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi’nin örnek bir bina için ısıl performansı ilgili standartlara (kış konforu, TS 825; yaz konforu, ISO 13786) göre incelenmiş ve geleneksel ısı yalıtım sistemleri ile karşılaştırılmıştır.

UYGUN (2005), “Konut Üretiminde Kalıcı Yalıtım-Kalıplı Yapım Sistemleri ve Ülkemiz Açısından Önemi” isimli çalışmasında, Türkiye’de konut üretimi, konut üretiminde kullanılan yapım sistemleri ve yapım sistemlerinde karşılaşılan sorunları ortaya koymuştur. Türkiye’de uygulanmakta olan yapım sistemlerine alternatif olan

Kalıcı Yalıtım-Kalıplı Sistemlerin tanımı, kullanılan malzeme çeşitleri, sistem çeşitleri, tarihçesi ve uygulamalarını ele almıştır. Kalıcı Yalıtım-Kalıplı Sistemlerin mevcut diğer sistemlere göre avantaj ve dezavantajları üzerinde durmuştur. Kalıcı Yalıtım-Kalıplı Yapım Sisteminin Türkiye’de konut üretiminde kullanılmasının yararlarını ortaya koymuştur.

SAVAŞIR (2007), “Deprem Sonrası Kalıcı Konut Üretimi için Hızlı ve Ekonomik Bir Yapım Sistemi Önerisi” isimli çalışmasında, deprem sonrasında acil barınmadan hemen sonra afetzedelerin geçici olarak yerleşeceği, zaman içinde eklentiler yapılarak geliştirilip, büyütülerek kalıcı konut özeliği kazandırılacak konutların taşıyıcı sisteminin belirlenmesine çalışmıştır. Çalışmada oluşturulan tip projeler kapsamında 1999 Kocaeli Depremi sonrasında bölgede uygulanmış olan alışlagelmiş yapım sistemi ile polistiren sert köpükten (EPS) kalıp kullanılarak üretilmiş (içerisinde donatılı beton bulunan duvar ve döşeme elemanlarının kullanıldığı) yapım sistemi, yapım hızı, nitelikli işçi ihtiyacı, ısı konfor şartlarının sağlanması ve yapım maliyeti açısından birbiri ile kıyaslanmıştır.

VanderWerf ve Munsell (1996), “Insulating Concrete Forms, Construction Manual” isimli çalışmalarında duvar sistemini, sistemde kullanılan kalıp türleri ve malzemeleri tanıtmışlardır. Çalışmada duvar sistemi ile konut türü bina inşasında kullanılan araçlar, sistemde kullanılan beton malzemesi ve betonun kalıplara yerleştirilmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Çalışmada ayrıca sistemde kullanılan kalıplar ile duvarların oluşturulması, duvar döşeme ve duvar çatı birleşimlerinin oluşturulması, tesisat sistemi, duvar kaplamaları ile ilgili bilgiler yardımcı şekil ve çizimlerle anlatılmıştır.

Panushev ve VanderWerf (2004), “Insulating Concrete Forms Construction; Demand, Evaluation and Technical Practice” isimli çalışmalarında sistemin avantajları, imalatçılara faydaları, pazar payı, sistemde kullanılan kalıp elemanları ve malzemeler hakkında teknik bilgiler vermişlerdir. Çalışmada sistemin yapım yöntemi ve uygulama ayrıntıları çizim ve şekillerle desteklenerek anlatılmış, sistem uygulamalarından örnekler verilmiştir. Duvar birleşimleri, duvar döşeme/çatı birleşim detayları gösterilmiştir. Gelecekte sistem uygulamaları ile ilgili olarak değerlendirmeler yapılmıştır.

International Residential Code 2009 (IRC 2009) 6. bölümünde sistem ile ilgili teknik bilgiler verilmiştir. Sistemde kullanılan kalıp türleri tanıtılmış, sistemde kullanılan malzemeler hakkında teknik bilgi verilmiştir. Sistem uygulamalarında kullanılan betonun taze ve sertleşmiş halde taşınması gereken özellikler, en büyük agrega boyutu, betonun kalıplara yerleştirilmesi ve taşınması hakkında bilgiler verilmiştir. Sistemde kullanılan donatının özellikleri, sistemi oluşturan taşıyıcı duvar elemanlarında kullanılacak en az yatay ve düşey donatı miktarı, taşıyıcı sistem elemanlarında donatının düzenlenmesi, taşıyıcı duvar döşeme birleşim detayları verilmiştir. Sistemde kapı ve pencere üstlerinde kullanılan lentolarla ilgili sınırlar belirtilmiştir. ICF sistemi kullanılarak rüzgâra dayanıklı yapı tasarımı için duvar gövdelerinde bırakılacak boşluk boyutları, desteklenmemiş duvar uzunluğu, boşluk çevresinde düzenlenecek donatı ile ilgili sınır değerler verilmiştir.

U. S. Department of Housing and Urban Development (HUD), Portland Cement Association (PCA) ve NAHB Research Center için hazırlanmış “Prescriptive Method for Insulating Concrete Forms in Residential Construction -Second Edition” isimli teknik raporda (2002), EPS Yalıtım Kalıplı Duvar (ICF Wall) Sistemi tanıtılmış ve sistemde kullanılan duvar tipleri sınıflandırılmıştır. EPS Yalıtım Kalıplı (ICF) Duvar Sisteminde kullanılan malzeme özellikleri, sistemin kullanım sınırları, temel sistemi, duvarlar, duvarlarda bırakılacak boşluk boyutları ile ilgili sınırlar, sistemde kullanılan lentolar ile ilgili teknik bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmada duvar döşeme, duvar çatı birleşim ayrıntıları, sıhî ve elektrik tesisatı hakkında özet bilgiler bulunmaktadır. Çalışmanın Ek A kısmında örnek bir konut binası üzerinde uygulama verilmiştir.

U. S. Department of Housing and Urban Development (HUD), Portland Cement Association (PCA) ve NAHB (National Association of Home Builders) Research Center için hazırlanmış “In-Plane Shear Resistance of Insulating Concrete Form Walls” isimli teknik raporda (2001), EPS Yalıtım Kalıplı (ICF) Duvar Sisteminde yaygın kullanıma sahip üç farklı duvar sistemini oluşturan taşıyıcı duvar elemanlarının düzlemi içerisinde yatay yükler etkisinde kesme performansları değerlendirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada EPS Yalıtım Kalıplı (ICF) Duvar Sisteminde taşıyıcı duvarların kesme dayanımlarına, yükseklik-boy oranı, kapı ve pencere boşluklarının ve sistem için izin verilen en az donatı miktarı kullanımının etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada

EPS Yalıtım Kalıplı (ICF) Duvar Sistemini oluşturan taşıyıcı duvarların yük-deplasman grafikleri ve çatlak haritaları elde edilmiştir. EPS Yalıtım Kalıplı (ICF) Duvar Sisteminde yaygın kullanıma sahip duvar tiplerinin yatay yük etkisindeki davranışları birbiri ile kıyaslanmıştır.

U. S. Department of Housing and Urban Development (HUD), Portland Cement Association (PCA) ve NAHB Research Center için hazırlanmış “Lintel Testing for Reduced Shear Reinforcement in Insulating Concrete Form Systems” isimli teknik raporda (1998), EPS Yalıtım Kalıplı (ICF) Duvar Sistemi’nde yaygın kullanıma sahip üç farklı duvar türünde kullanılan lentolar tanıtılmaktadır. Çalışmanın temel amacı kesme donatısı olmayan veya azaltılmış lentoların düşey yük kapasitelerinin belirlenmesidir.

U. S. Department of Housing and Urban Development (HUD) için hazırlanmış “HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) Sizing Methodology for Insulating Concrete Homes” isimli teknik raporda sistemin ısıtma, soğutma ve havalandırılması ile ilgili teknik bilgiler verilmiştir. Sistem ile ilgili kısa bir literatür özetinden sonra ısıtma, soğutma ve havalandırılma ile ilgili kavramlar anlatılmıştır. Raporun ek kısmında sistemin ısı performans hesapları için yazarlar tarafından geliştirilmiş Excel tabanlı bir bilgisayar programı tanıtılmıştır.

2.2 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi

EPS yalıtım kalıplı donatılı beton taşıyıcı (EPS YKDBT) duvar sistemi yurt dışı uygulamalarında “ICF (Insulating Concrete Form) Walls” olarak tanınmaktadır (HUD, 1998 ve NAHB, 2000). EPS YKDBT duvar sisteminde iki tarafta EPS’den oluşan yalıtım malzemesi ve iç kısımda donatılı beton taşıyıcı çekirdek bulunmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde EPS elemanlar hem yalıtım ve hem de kalıp vazifesi görecektir şekilde levha veya blok olarak kullanılmakta ve aralarına donatı yerleştirilerek, beton doldurulmaktadır (Resim 2.1).



Resim 2.1. EPS YKDBT Duvar Sisteminin Uygulanışı (Web 1)

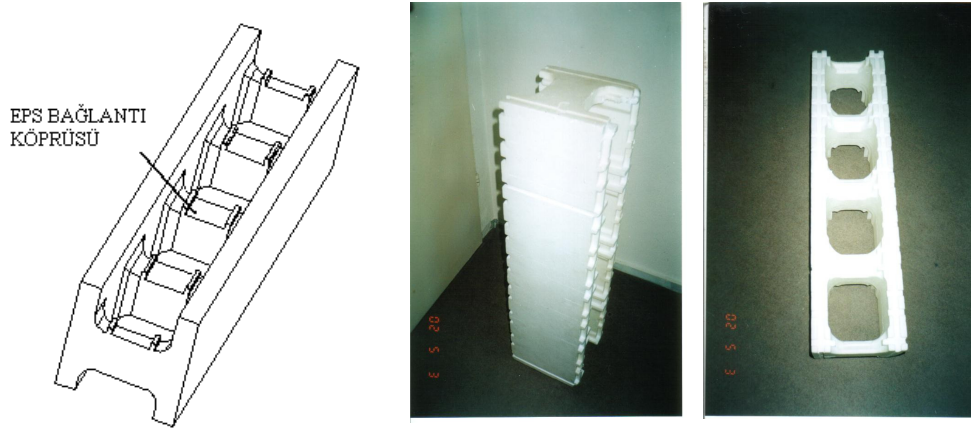
Sistemde EPS levha veya bloklar kullanılarak kalıp ve işçilik maliyetinin düşürülmesi, inşaat süresinin kısaltılması, binada kesintisiz bir yalıtım sağlanarak enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir. Üretim aşamasında EPS malzemesinin yoğunluğu artırılarak dış etkilere karşı mukavemetli kalıp elemanları elde edilebilmektedir. EPS kalıplarda beton karışımına, beton karışımında da EPS kalıplara zararlı bir madde bulunmaması iki malzemenin rahatlıkla birlikte kullanılmasını sağlamaktadır. Sistem uygulamalarında çeşitli yoğunluklu EPS levha veya bloklar yapıya etkimesi muhtemel yüklere ve istenilen ısıl konfora bağlı olarak belirlenen duvar kalınlığına uygun şekilde üst üste ve yan yana dizilerek duvarlar oluşturulur. Çeşitli tiplerde üretilen EPS blok veya levhaların üzerinde, birbirine geçme yaparak üst üste ve yan yana dizilmelerini sağlamak ve dizilme anında tam ve sağlam bir kenetlenme oluşturmak için dişler (geçmeler) vardır (Resim 2.2).



Resim 2.2. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvarların Oluşturulması (Web 2)

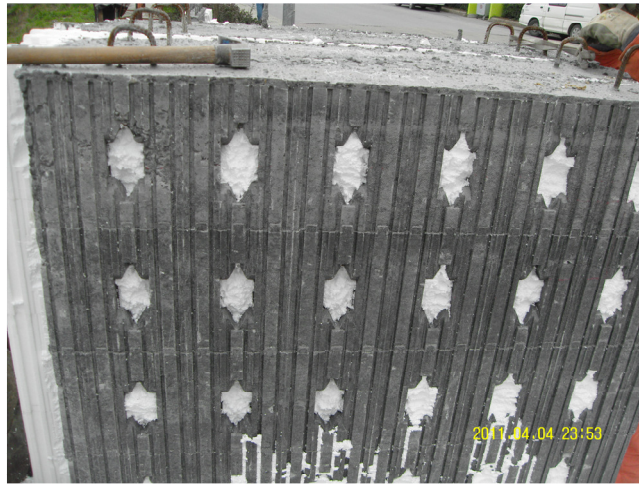
Bu dişler vasıtasıyla EPS kalıplar, üst üste ve yan yana dizilip kenetlenerek herhangi bir yapıştırma işlemine gerek kalmaksızın duvar sistemi oluşturulur. Duvar sisteminin oluşturulması, çocukların lego oyuncakları ile bina yapmasına benzetilebilir. Bu dişler birbirine uyumlu olduğu için blok veya levhalar arasında iyi bir kenetlenme sağlanır. Böylece beton yerleştirilmesi sırasında meydana gelecek yanal kuvvetlerden dolayı duvar sistemini oluşturan kalıpların pozisyonlarının bozulması ve kalıpların arasından betonun akması önlenmiş olur. EPS kalıpların iç yüzeylerinde boyutları sistemden sisteme değişen belirli aralıklarla oluklar vardır. Kalıp iç yüzeyindeki bu oluklar, EPS kalıp ile beton çekirdek arasındaki mekaniksel bağlantının dübel yada vida kullanılmaya gerek kalmaksızın oluşmasını sağlar (İsorast Avrupa Teknik Onayı). Resim 2.3’de deneme amaçlı olarak EPS kalıbı sökülen bir duvar parçasında kalıp iç yüzeyindeki olukların duvarda oluşturdukları izler ve bağlantı köprülerinden dolayı duvar gövdesinde oluşan boşluklar görülmektedir.

Betonun yerleştirilmesi sırasında EPS kalıpların şekillerini korumaları için kalıpların içinde iç yüzeye dik doğrultuda EPS, metal, plastik vb. malzemelerden yapılmış bağlantı köprüleri vardır (Şekil 2.1). Çeşitli malzemelerden, çeşitli biçim ve boyutlarda imal edilen bağlantı köprülerinin bazı türleri fabrikasyon olarak imal edilirken, bazı türleri ise kalıplara şantiyede monte edilmektedir. Bağlantı köprüleri beton dökümü sırasında betonun kalıba uyguladığı yanal kuvvetleri karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır.



Şekil 2.1. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Kalıplar ve Bağlantı Köprüsü
(Özşahin, 2004)

Bu sebeple EPS vb. kalıp malzemesinden üretilen bağlantı köprülerinin boyutları mekaniksel özelliklerinden (düşük çekme dayanımına sahip olmalarından) dolayı plastik, metal vb. malzemeden üretilenlere göre daha büyük boyutlu olmaktadır. Bağlantı köprülerinden dolayı EPS kalıplar arasında oluşturulan donatılı beton duvar gövdesinde, düzenli boşluklar oluşmaktadır. Beton sertleştikten sonra EPS yalıtım (kalıp) malzemesinin sökülmesi halinde taşıyıcı duvarın görünüşü Resim 2.3’de verilmiştir. Gerçekte EPS ara ve yüzey parçaları (EPS yalıtım kalıbı) olduğu gibi bırakılır. Böylece donatılı betonun her iki yüzeyinde EPS ısı yalıtımı sağlanmış olur.



Resim 2.3. EPS Kalıbın Sökülmesi Halinde Kalıp İçindeki Taşıyıcı Eleman

2.3 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi Yapım Yöntemi

EPS YKDBT duvar sisteminin yapım adımları aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Yapısal hesap sonucu tasarlanan temel sistemine ve boyutlarına bağlı olarak temel kazısı yapılır. EPS YKDBT duvar sisteminde duvar altı temel sistemi veya radye (yayılı) temel sistemi uygulanır. Blokaj ve grobetonun ardından hesap sonucu bulunan donatının montajı yapılır ve beton dökülür. Taşıyıcı duvarların temel ile bağlantısının yapılabilmesi için temelde filizler bırakılır. Filiz boyu TS 500'e göre belirlenir.
- 2) EPS YKDBT duvar sisteminde yapının kullanım amacına ve ihtiyaca bağlı olarak bodrum kat oluşturulabilir. Yapıda bodrum kat olmaması durumunda dahi temeller sağlam zemine oturmalı, temel derinliği zemin özellikleri ve yerel don derinliği dikkate alınarak belirlenmelidir. Zemin ile temas eden duvarlarda zemin özellikleri ve yer altı su seviyesi dikkate alınarak, basınçlı veya basınçsız suya karşı su yalıtımı uygulanmalıdır. Su yalıtımında oluşabilecek hasarları önlemek amacıyla yalıtım malzemesi darbeye karşı dayanıklı bir koruyucu tabaka ile kaplanmalıdır. Yer altı su seviyesine bağlı olarak temel çevresinde drenaj uygulanmalıdır (Şekil 2.2).
- 3) Oluşturulan temel bloğu üzerinde projeye uygun olarak taşıyıcı duvarlar oluşturulur. Bu amaçla EPS malzemedan yapılmış kalıplar, yapı boyutlarına göre bir sıra yerleştirilir. Kapı, pencere vb. boşluklarının olduğu kısımlarda kalıplar yerleştirilmez. Boşlukların olduğu yerlerde özel olarak imal edilmiş kapalı uçlu kalıplar kullanılır. Bu bölgelerde beton dökümü sırasında patlama olmaması için boşluk boyutlarına uygun, özel olarak hazırlanmış ahşap vb. malzemedan yapılmış kalıplar kullanılır (tünel kalıp sistemindeki kapı ve pencere rezervasyonlarına benzer şekilde) (Şekil 2.3). Boşlukların çevresinde deprem vb. bir etkide oluşabilecek gerilme yığılmalarını karşılamak üzere donatı miktarı ve çapları artırılabilir (Şekil 2.7).
- 4) EPS YKDBT duvar sisteminde kapı ve pencere oluşturmak üzere duvar gövdesinde boşluklar oluşturulmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde kapı ve pencere boşluklarının üzerinde özel olarak üretilmiş hatıl (boşluk üstü) kalıpları kullanılmaktadır. Hatıl kalıplarının şekil ve boyutları EPS YKDBT duvar sistemine ve uygulanan döşeme sistemine göre farklılık göstermektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde kapı ve pencere üzerlerinde düzenlenen hatıllar kendi öz ağırlıklarının dışında, döşemelerden gelen yükler ile üzerlerindeki duvar yüklerini taşırlar (Şekil 2.4).

- 5) Kalıpların boyutları (kalınlık, yükseklik ve boy) fabrikasyon olup, tam sayıda kalıp elemanı ile oluşturulamayan duvarlarda, kalıplar kesilerek istenilen duvar boyu elde edilir. Kalıplar EPS malzemeden yapıldıklarından dolayı kesilmeleri, taşınmaları ve yerleştirilmeleri işçiler tarafından kolaylıkla yapılabilir.
- 6) EPS YKDBT duvar sisteminde, kalıpların birbirine daha iyi kenetlenmesi için kalıplar yerleştirilirken bağlantı köprüleri üst üste gelecek şekilde şaşırtılarak dizilir (Şekil 2.5).
- 7) İlk sıra kalıplar yerleştirildikten sonra ikinci sıra kalıpların yerleştirilmesinden önce, hesap sonucu bulunan düşey ve yatay donatılar yerleştirilir. Yatay donatılar, düşey donatıların dışında kalacak şekilde, imalat sırasında bağlantı köprülerinin üzerinde oluşturulan yuvalara yerleştirilir. Donatı miktarı ve donatının yerleştirme yöntemi sistemde kullanılan kalıp çeşidine göre değişmektedir. Her ne kadar donatı miktarı ve donatı yerleştirme yöntemi değişse de Türkiye’de sistemi oluşturan taşıyıcı duvarlarda düşeyde ve yatayda çift sıra donatı düzenlenir (Şekil 2.6, Şekil 2.7).
- 8) Donatıların yerleştirilmesinden sonra özel bağlantı aparatları yardımı ile ikinci sıra kalıplar yerleştirilir. Üçüncü sıra kalıplar yerleştirilmeden önce yatay donatılar yerleştirilir. Yatay donatılar duvar bitiminde ve duvar köşelerinde gönnye (90° kıvrılarak karşı uçta 135° kanca) yapılır. Gönnye yapılmaması durumunda duvar ucunda yatay donatı ile aynı çapta \cap biçiminde donatılar yerleştirilir. Betonarme duvarlarda olduğu gibi EPS YKDBT duvar sisteminde de, duvarların her iki ucunda duvar uç bölgesi oluşturulabilir (Şekil 2.7).
- 9) Bu işlemler yukarıda anlatıldığı şekilde 4–6 sıra devam ettirilir. 4–6. sıra bitiminde, beton dökümü sırasında kalıpların pozisyonlarının bozulmaması ve devrilmemeleri için, ayrıca işçilerin duvarın yüksekliği arttığında donatı montajını ve sonrasında beton dökümünü yapabilmeleri için yapı içinde iskeleler 2–3 metre ara ile yerleştirilir. İskeleler nivo yardımıyla duvarlar şakulüne gelecek şekilde yerleştirildikten sonra temele (normal katlarda döşemeye) ve EPS kalıplara özel aparatları ile sabitlenir. Ayrıca beton dökümü sırasında betonun kaçmasını önlemek için ilk sıra kalıp elemanı ile temel arasındaki boşluklar köpük yardımıyla kapatılır (Şekil 2.8).
- 10) Bodrum katta oluşturulan duvar kalıplarının dıştan desteklenmesine genellikle ihtiyaç olmaz. EPS YKDBT duvar sisteminde tüm katlarda beton dökümü sırasında en riskli bölgeler duvar köşeleridir. Duvar köşelerinde EPS köşe kalıpları kullanılabilir. Beton dökümü sırasında duvar köşelerinde açılma olmaması için önlemler (dıştan

destekleme vb.) alınması gerekir. Dıştan destekleme amacıyla klasik dış iskele kurulabilir. Kurulan dış iskele aynı zamanda yapının dış sıvası için gereklidir.

11) Yapı içinde özel iskele oluşturulduktan sonra duvarın kalan bölümünün kalıpları bağlantı aparatları yardımıyla dizilir ve yatay donatılar bağlantı köprüleri üzerindeki yuvalara yerleştirilir. Bu şekilde duvar sistemi oluşturulur (Şekil 2.6).

12) EPS YKDBT duvar sisteminde taşıyıcı duvar gövdesinde tesisat kanal ve borularının düzenlenmesinden kaçınılmalıdır. EPS YKDBT duvar sisteminde tesisat kanal ve borularının duvar boyunca yatay olarak düzenlenmesine onay verilmez (ISORAST Avrupa Teknik Onayı). Tesisat kanal ve borularının duvar gövdesinde düşey olarak düzenlenmesi durumunda, tesisat kanal ve borularının kesitine bağlı olarak, taşıyıcı yapısal hesaplarda kesitte meydana gelen zayıflama dikkate alınmalıdır.

13) EPS duvar kalıpları, kiriş/hatıl alt kotuna kadar dizilir ve beton dökümüne geçilir. Beton dökümü sırasında kalıpların patlamaması için genellikle vibratör kullanılmaz. Sistem uygulamalarında genellikle kendiliğinden yerleşen beton tercih edilmektedir. Sistem uygulamalarında ince malzeme miktarı fazla, yayılma ve yerleşme özelliği yüksek sistem için özel olarak tasarlanmış çok akıcı (TS EN 206-1'de tanımlı S4, S5) kıvamda geleneksel betonlar da kullanılmaktadır. EPS YKDBT duvar sistemi için vibrasyona uygun EPS kalıplar imal edilmektedir. Vibrasyonun uygulanması durumunda beton dökümü sırasında oluşabilecek sorunları engellemek için, sisteme uygun bir vibratör (meselâ, frekans = 12 000 devir/dakika, çap = 25 mm dalıcı vibratör) seçilmesi önemlidir. Beton dökümü sırasında kalıplarda patlamayı önlemek için beton dökümü kademeli olarak yapılır. Kat yüksekliğine bağlı olarak ilk önce duvarların 1.00–1.50 m'lik bölümlerine beton dökülür. Yapıyı oluşturan tüm duvarlarda ilk sıra beton dökümünden sonra kalan kısmın betonu dökülür.

14) EPS YKDBT duvar sisteminde plak döşeme ve yerinde dökme nervürlü döşeme kullanılması halinde, döşeme ile taşıyıcı duvar birleşim bölgesinde özel olarak imal edilmiş kalıp elemanları kullanılır. Döşeme ile taşıyıcı duvar birleşim bölgelerinde oluşturulan kirişlere/hatıllara döşeme donatıları ankre edilir. Döşeme donatıları ile duvar donatılarının bağlantılarının tamamlanmasından sonra döşeme ile kiriş/hatıl betonu birlikte dökülür.

15) EPS YKDBT duvar sisteminde yapıyı oluşturan katlar yukarıda anlatıldığı şekilde oluşturulur. Yapının içinde destekleme amacıyla kullanılan özel iskeleler bir kattan

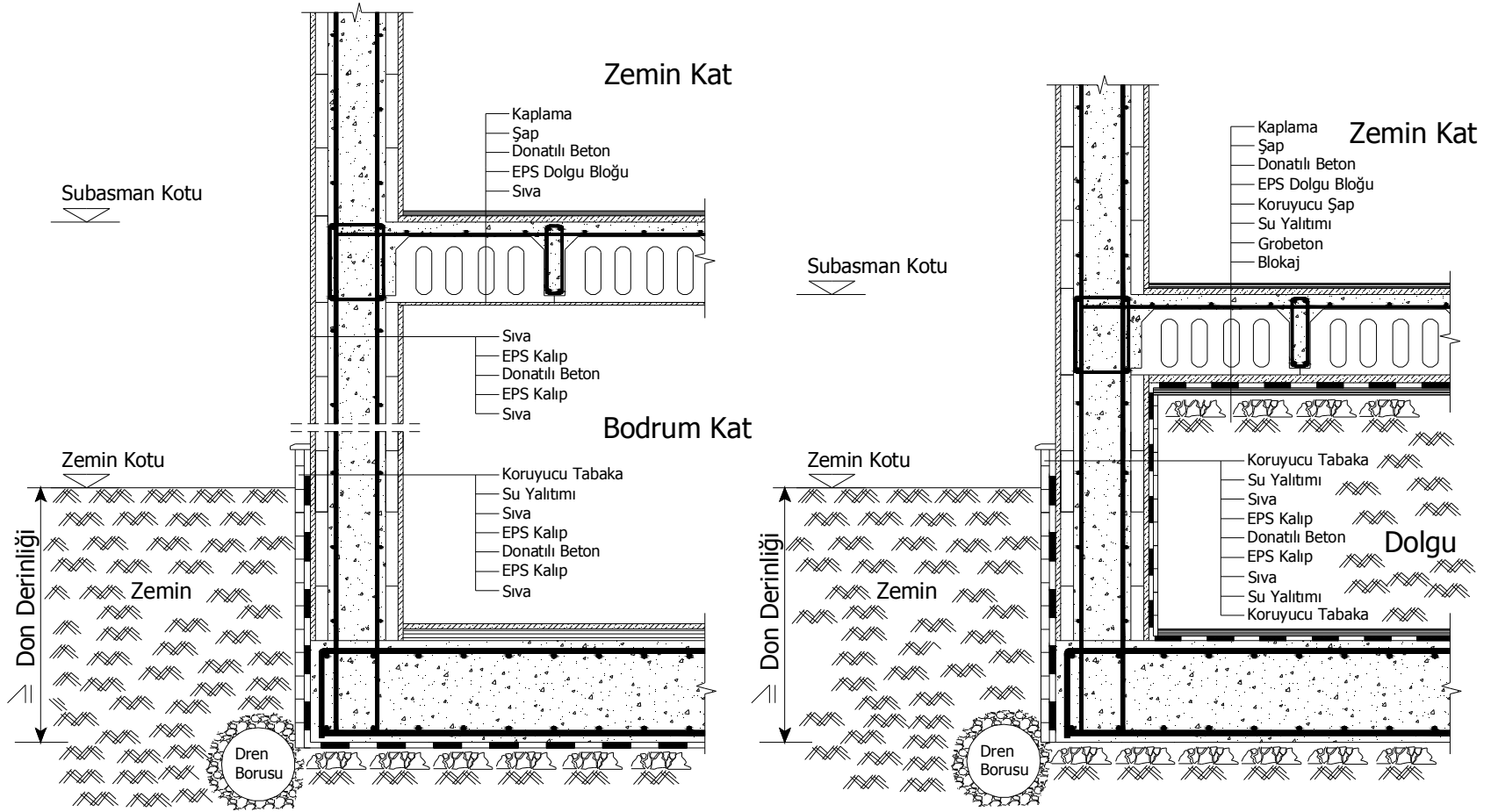
diğerine taşınarak montajları yapılır. Dış iskele katlarla birlikte yükselebilir veya en son aşamasında da yapılabilir.

16) Düşey sirkülasyon elemanları; asansör ve merdivenler konvansiyonel betonarme karkas yapılardakine benzer şekilde betonarme, çelik veya ahşap vb. malzemedен tasarlanabilir.

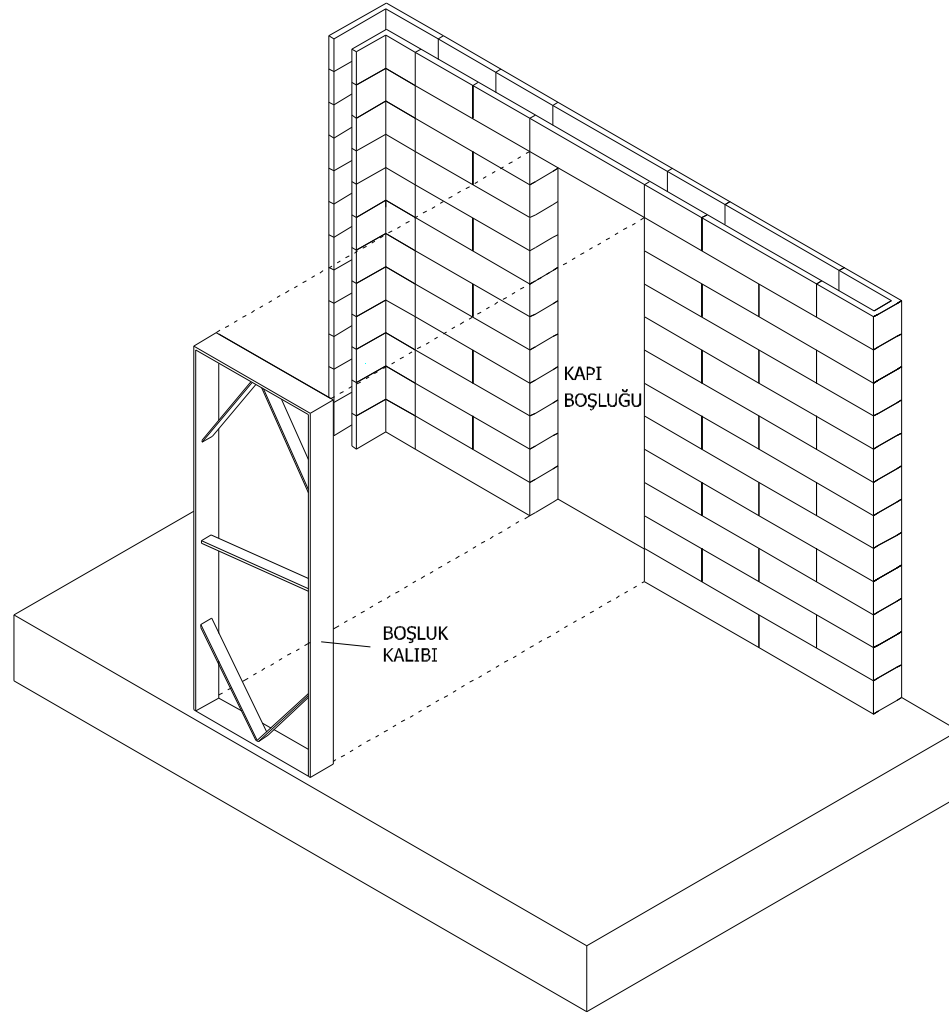
17) EPS YKDBT duvar sisteminde konvansiyonel betonarme karkas yapılardakine benzer şekilde ahşap, çelik çatı veya teras uygulaması yapılabileceği gibi sistem için özel olarak hazırlanmış EPS çatı dolgu bloklarının kullanıldığı çatı sistemleri uygulanabilir.

18) Taşıyıcı olmayan iç duvarlar, tuğla, gaz beton vb. malzemedен yapılabileceği gibi çeşitli malzemelerden panel olarak yapılabilir.

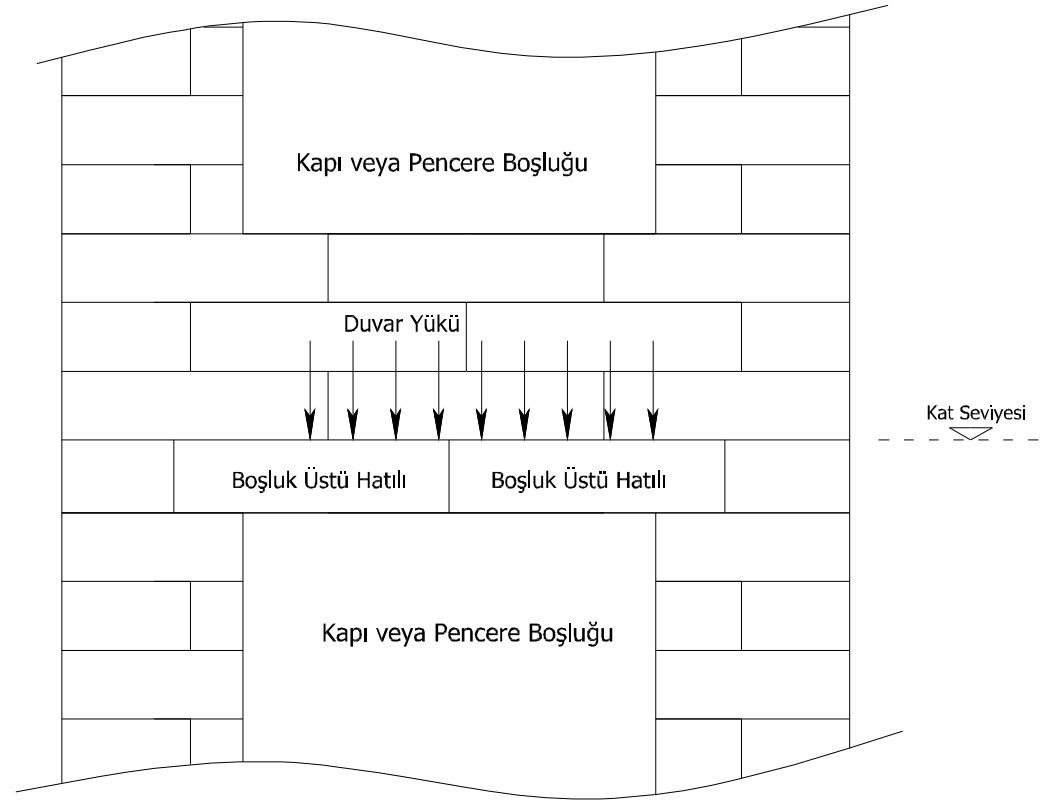
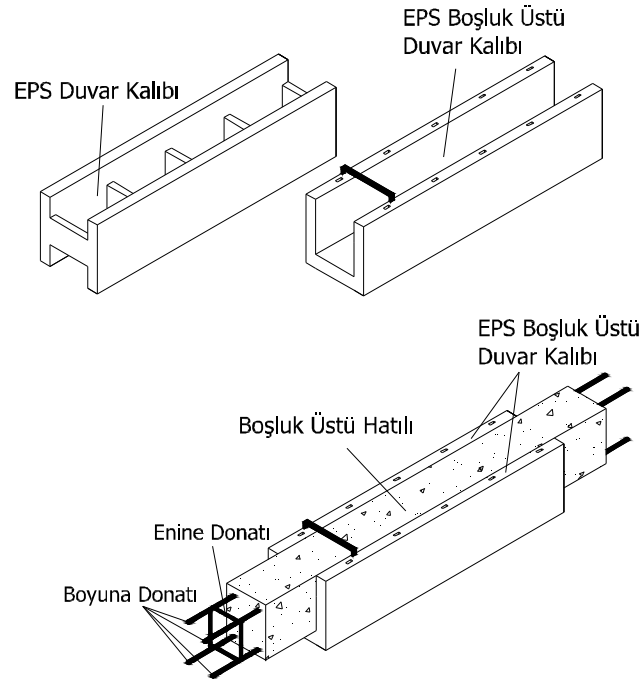
19) Ahşap veya PVC doğramaların montajından sonra dış iskeleler yardımıyla dış sıva yapılır. EPS kalıplarda 1. kat ısı yalıtım sıvası yapıldıktan sonra üzerine sıva filesi yerleştirilerek 2. kat ısı yalıtım sıvası yapılır. Dış sıva üzerine akrilik son kat boyası veya çeşitli kaplamalar yapılabilir. Yapı katlarının oluşturulması aşamasında iç sıva yapılabildiği gibi yapının tamamı bittikten sonra da iç sıva yapılabilir. Islak hacimlerde yüzeyler fayans vb. ile kaplanabilir. Islak hacimlerde döşeme cinsine göre düşük döşeme uygulaması yapılabilir; ancak tercih edilen klasik döşeme ve asma tavan uygulamasıdır.



Şekil 2.2. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Zemin Altı Duvarlarında Su Yalıtımı ve Drenaj Uygulanması (*Döşeme sistemi değişebilir)

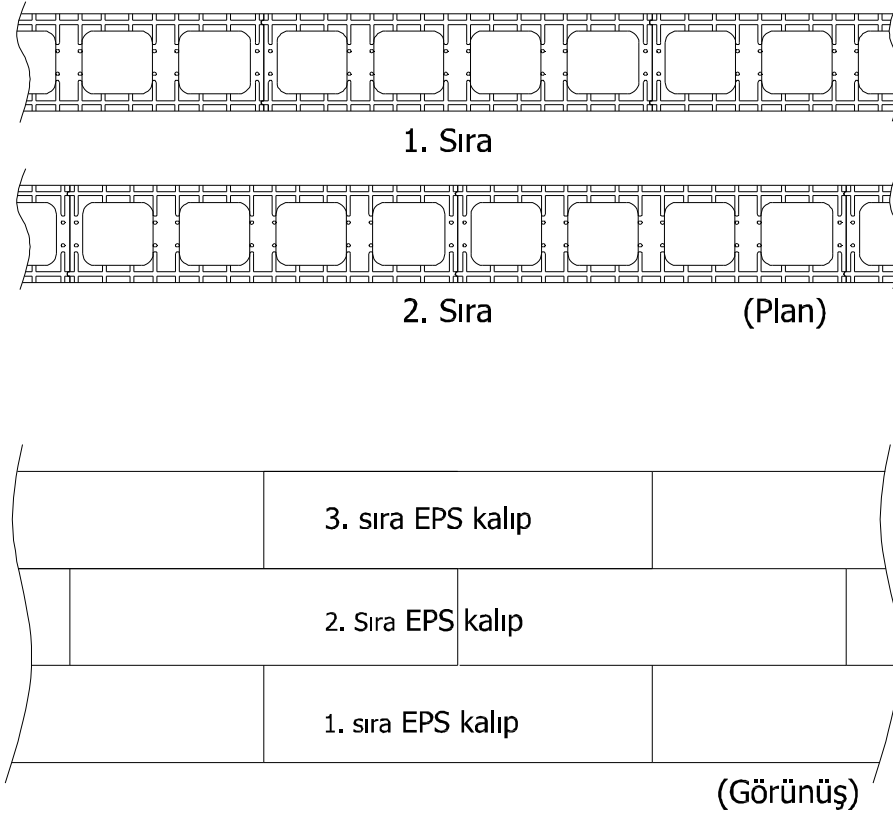


Şekil 2.3. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Boşluk Kalıbı (*Kalıp şekli, malzemesi değişebilir)



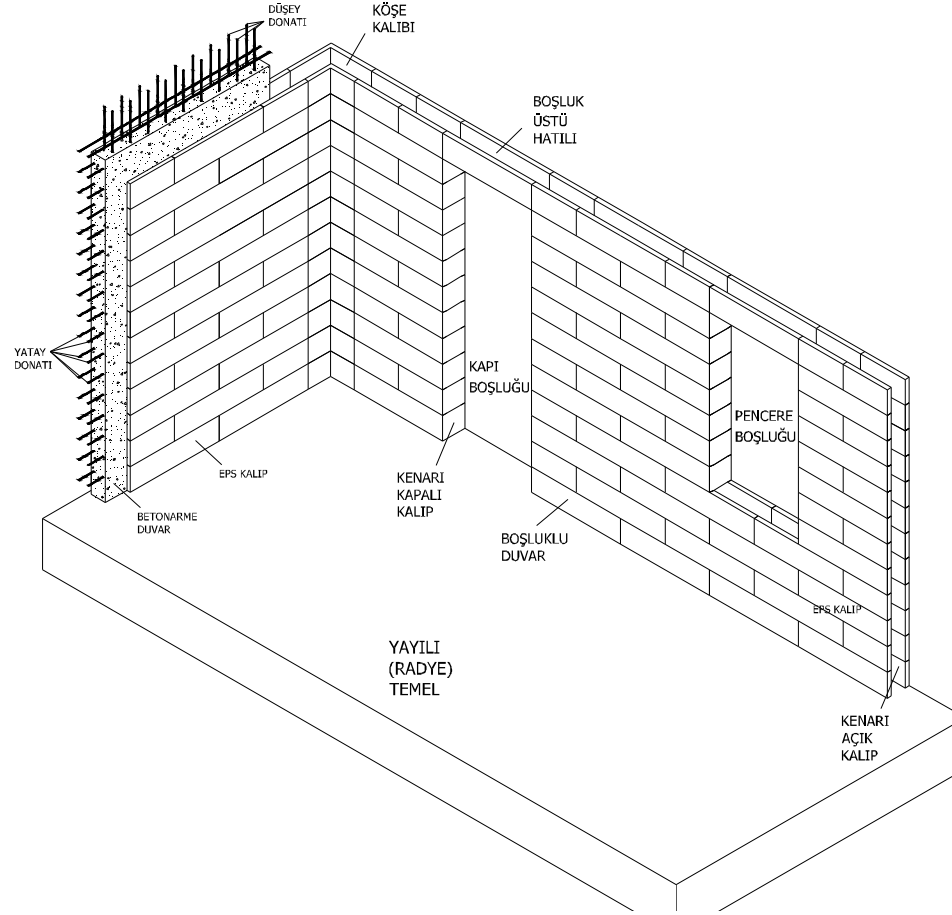
Şekil 2.4. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Boşluk Üstü Duvar Kalıbı

(* Boşluk üstü duvar kalıbının şekli sistem tipine göre değişiklik göstermektedir. Boşluk üstü hatlında kullanılan donatı miktarı taşıyıcı yapısal hesap sonucu belirlenir)



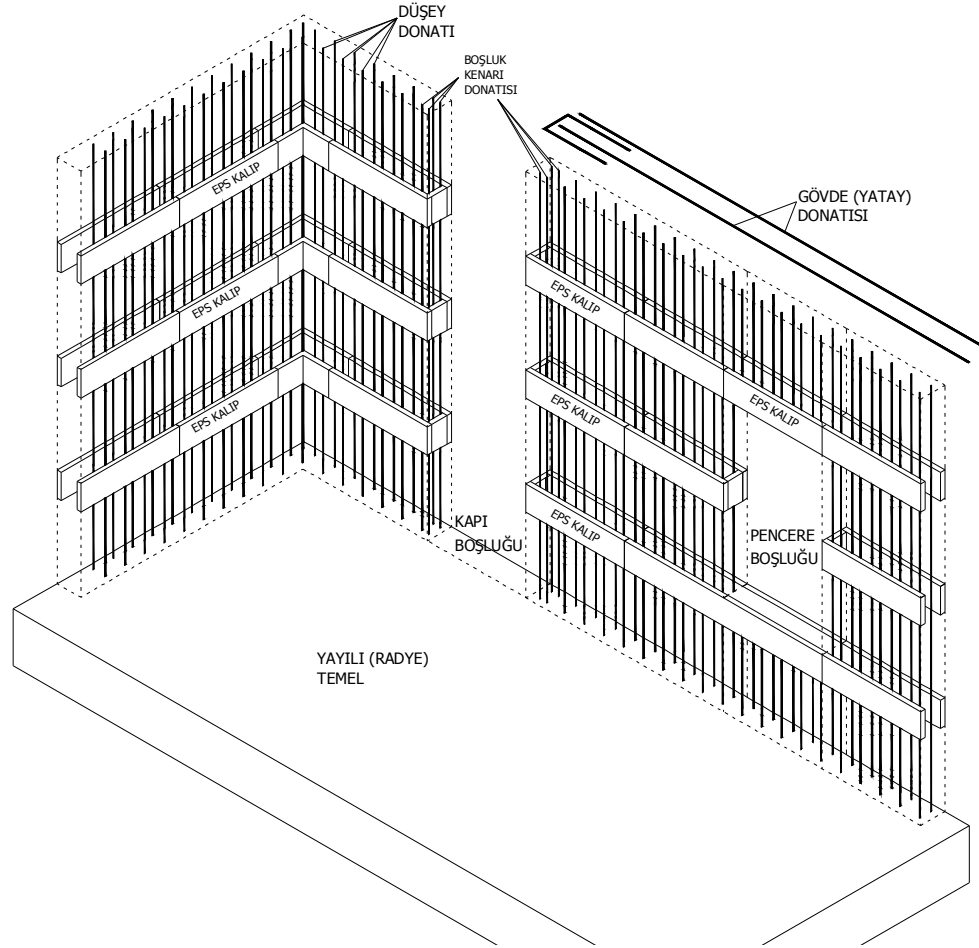
Şekil 2.5. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kalıpların Şaşırtmalı Olarak Dizilerek Duvarların Oluşturulması

(*Kalıp cinsi ve boyutları duvar sistemine göre değişiklik gösterebilir.)



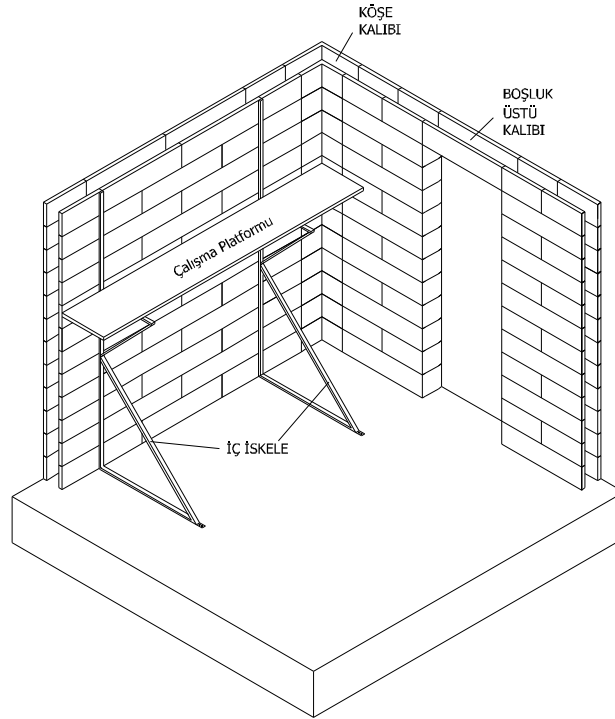
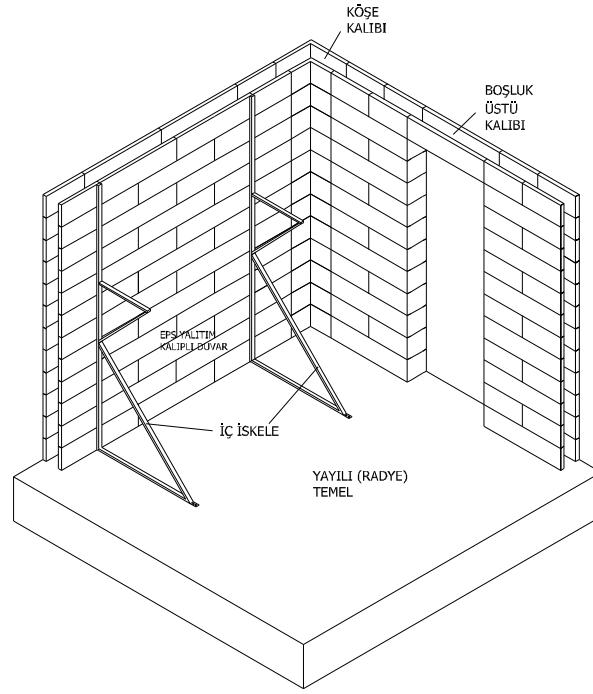
Şekil 2.6. EPS YKDBT Duvar Sisteminin Şematik Gösterimi

(* Sistemin beton dökümünden önceki ve sonraki halinin şematik olarak gösterilebilmesi için duvarın tamamı yerine bir kısmında donatılı beton duvar gösterilmiştir.)



Şekil 2.7. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Donatıların Şematik Gösterimi

(* Şeklin kolay anlaşılabilmesi için duvar boyunca devam eden yatay donatılardan bir tanesi gösterilmiş, diğerleri çizime dâhil edilmemiştir.)



Şekil 2.8. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan İskele Sistemi
(* Duvar sistemine göre iskele şekli değişebilir)

3. BÖLÜM

3. EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

3.1 Kalıp (Yalıtım) Malzemesi

Yalıtım kalıplı donatılı beton taşıyıcı duvar sisteminde kalıp malzemesi olarak çoğunlukla EPS kullanılmasına rağmen, benzer özelliklere sahip XPS, çimento bağlayıcılı köpük kompozitlerin kullanıldığı da görülmektedir. Uygulamada en çok EPS yalıtım kalıpları kullanıldığı için tez çalışması kapsamında EPS yalıtım kalıpları ele alındı.

3.1.1 EPS (Expanded Polystyrene Foam - Genleştirilmiş Polistiren Köpük)

Genleştirilmiş polistiren köpük-EPS petrolden elde edilen, köpük halinde, termoplastik, kapalı gözenekli, genellikle beyaz renkli bir ısı yalıtım malzemesidir. Hammaddesi polistirendir (Resim 3.1).



Resim 3.1. EPS Hammaddesi Polistiren (Web 2)

Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS), stiren monomerinin polimerizasyon süreci sonunda oluşan polistiren taneciklerinin pentan gazıyla şişirilip birbiriyle

kaynaşması sonucu elde edilir. Stiren monomeri ise vinil benzendir ve benzen ile etilenden meydana gelir (Cihan, 2004).

Polimerizasyon stiren monomerindeki çift bağların açılıp, monomerlerin ard arda eklenmesiyle oluşur. Polistiren, termoplastik grubuna giren bir polimer malzemedir. Molekül birimleri kovalan bağlarla bir boyutta zincir şeklinde dizilmişlerdir ve moleküller arası bağlar zayıf Van der Waals bağlarıdır. Isıtılınca molekül zincirleri arasındaki zayıf bağlar koptuğundan kolayca yumuşar, soğuyunca bu bağlar tekrar kurulduğu için sertleşirler. Dolayısı ile geri dönüşümü olan malzemelerdir (Cihan, 2004).

EPS elde edilmesi için polistiren bir kabartma maddesi, genellikle pentan ilave edilerek ve buharla ısıtılarak köpük haline getirilir. İlave edilen katkı maddesi ve/veya maddelerinin özellikleri, nihâî ürünün bazı özelliklerini iyileştirebilir veya istenirse başka özellikler katabilir. Ancak katkı maddelerinin cinsi ve miktarını belirlerken nihâî ürünün temel özelliklerine dikkat edilmesi gerekir. Bugün için Türkiye’de EPS’in hammaddesi, büyük çoğunlukla ithal edilmektedir (Cihan, 2004). EPS üretiminde ön şişirme (ön genleşme), olgunlaşma, kalıplama olmak üzere üç ana aşama vardır.

Çapları 0,14–2,40 mm arasındaki hammadde tanecikleri kuru doygun buhar kullanılarak şişirilir (ön şişirme aşaması) ve tanecik zarında iç ve dış basınçların eşitlenmesi için beklendikten (olgunlaşma aşaması) sonra kalıplarda yine kuru doygun buhar kullanılarak belirli bir biçim alacak şekilde tanelerin kaynaşması sağlanır (kalıplama aşaması). Kütlenin biçimi tamamen kalıbın biçimine uyar ve dolayısıyla istenilen boyut ve biçiminde, ön şişirme aşamasının kontrolü ile de istenilen yoğunlukta (birim hacim kütleyle sahip) ürün üretilebilir. EPS ile ilgili teknik özellikler Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. EPS Teknik Özellikler (TS EN 13163)

Teknik Özellik	Birimi	Değişim Aralığı
Yoğunluk, ρ	kg/m^3	Sınır değeri verilmemiş
Isı İletkenliği, λ_h	$\text{W}/(\text{m}\times\text{K})$	0,040–0,037 ($\rho=15\text{--}21 \text{ kg/m}^3$ için) 0,036–0,035 ($\rho=22\text{--}29 \text{ kg/m}^3$ için) 0,034 ($\rho=30\text{--}40 \text{ kg/m}^3$ için) 0,033 ($\rho=41\text{--}45 \text{ kg/m}^3$ için)
%10 deformasyondaki basma gerilmesi, σ_{10}	kPa	30–500
Eğilme Dayanımı, σ_e	kPa	50–750
Yüzeye Dik Çekme Dayanımı, σ_{ζ}	kPa	20–400
Su Emme Oranı (hacimce), S_h	%	1–5
Dinamik Sertlik, s'	MN/m^3	5–50
Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü, μ	—	20–100

3.2 Donatı (Betonarme Çeliği)

Çelik (demir-karbon alaşımı) malzemeden üretilen donatılar, dairesel kesitli düz yüzeyli veya üzeri yivli olarak (nervürlü) üretilirler. Ayrıca hasır çelikler de imal edilmektedir. Hasır çelikler, muhtelif çap ve aralıktaki donatıların iki doğrultuda nokta kaynağı ile tesbit edilmesi yoluyla üretilirler.

EPS YKDBT duvar sisteminde taşıyıcı duvarlarda düz veya nervürlü donatılar kullanılır. Sistemde taşıyıcı donatılı beton kesitlerin boyutlarının küçük olması sebebiyle kullanılacak donatıların çapının çok büyük, sayısının fazla olmaması gerekir. Aksi takdirde betonun yerleştirilmesi zorlaşacaktır. Aynı zamanda sistemde kullanılacak olan çelik donatının piyasada rahatlıkla bulunması ve geleneksel yapı sistemlerinde kullanılan çelik donatılardan pahalı olmaması istenecektir. EPS YKDBT duvar sistemli yapılarda, döşeme plakları dışında hasır çelik kullanılmaz.

Beton donatısı olarak kullanılan çelikler TS 708/Nisan 2010 ilkelerine uygun olmalıdır. Donatı çeliğinin birim hacim ağırlığı (ρ) $78,5 \text{ kN/m}^3$, elastisite modülü (E) 200 GPa, çizgisel ısı genleşme katsayısı (α_t) $0,000012 \text{ 1/}^\circ\text{C}$, kayma modülü (G) 80 GPa olarak kabul edilebilir. Beton donatı çeliklerinin mekaniksel özellikleri ve donatı sınıfları Tablo 3.2’de verildi.

Tablo 3.2. Betonarme Donatı Çeliği Sınıfları ve Özellikler (TS 708)

Tip	Düz yüzeyli	Nervürlü					Profilli ^a
		S 220	S 420	B 420B	B 420C	B 500B	
Sınıf	S 220	S 420	B 420B	B 420C	B 500B	B 500C	B500A
Akma dayanımı (en az) R_e (N/mm ²)	220	420	420	420	500	500	500
Çekme dayanımı (en az) R_m (N/mm ²)	340	500	-	-	-	-	550
Çekme dayanımı/akma dayanımı oranı R_m/R_e	1,20 (en az)	1,15 (en az)	1,08 (en az)	$\geq 1,15$ $< 1,35$	1,08 (en az)	$\geq 1,15$ $< 1,35$	-
Deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı $R_{e\text{ act}}/R_{e\text{ nom}}$ (max)	-	1,30	-	1,30	-	1,30	-
Kopma uzaması (en az) A_5 (%)	18	10	12	12	12	12	5
Maksimum yükte toplam uzama (en az) A_{gt} (%)	-	-	5	7,5	5	7,5	2,5
Bükme açısı (°)	180		-				
Bükme açısı/ters bükme açısı ^b	-		90/20				
^a Soğuk mekanik işlem uygulanarak da imal edilebilir.							
^b Çizelge 4'ün ^b , dip notu.							

3.3 Beton

Günümüzde beton, birçok farklı yapıda en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Betonun ucuzluğu ve kolay üretilbilir olmasından dolayı, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, kent mobilyaları, vb. birçok yerde yaygın kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir (Topçu vd., 2006). Bileşenleri açısından önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan “iyi” betona bir takım kimyasal ve mineral katkıları ilâve edilerek istenen bazı özellikler kazandırılmakta, özellikler iyileştirilebilmektedir. Günümüzde kimyasal ve/veya mineral katkısız beton hemen hemen hiç üretilmemektedir (Felekoğlu vd., 2004).

Türkiye’de EPS YKDBT duvarlı binalarda kullanılacak beton, yürürlükteki yönetmeliklere göre C20/25-C50/60 beton dayanım sınıfları arasında olmalıdır. EPS YKDBT duvar sisteminde donatılı beton duvarlar, EPS yalıtım kalıpları arasına yatay ve düşey donatılar yerleştirildikten sonra betonun doldurulmasıyla oluşturulmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde EPS elemanların kalıp olarak kullanılması, kalıpların içinde belirli aralıklarla çeşitli malzemelerden yapılmış bağlantı köprülerinin bulunması, sistemi oluşturan taşıyıcı duvarlarda yatay ve düşey donatının kalıpların içindeki küçük boşluklarda (göz) düzenlenmesi, betonun boşluksuz olarak yerleştirilmesini önemli hale getirmektedir. Özellikle EPS bağlantı köprülerinin kullanıldığı duvarlarda betonun yerleştirileceği boşluklar oldukça küçülmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde taze beton basıncını kalıpların içerisinde iki yüzeyi ve bunları birleştiren bağlantı köprüleri taşıdığından beton dökümü sırasında kalıpların patlamaması için genellikle vibratör kullanılmaz. EPS kalıp malzemelerinin yoğunlukları artırılarak vibratör kullanımına uygun EPS kalıp üretmek mümkündür. Vibrasyona uygun EPS kalıp kullanılması durumunda bile sistem özelliklerine uygun (meselâ, düşük genlikli, yüksek frekanslı, küçük (~25 mm) çaplı dalıcı) vibratörlerin kullanılması beton dökümü sırasında oluşabilecek sorunların önlenmesinde faydalı olabilmektedir. Vibrasyona uygun kalıp elde etmek için EPS yoğunluğunun artırılması kalıp maliyetini ve dolayısıyla sistemin yapım maliyetini artıracaktır. EPS YKDBT duvar sisteminde vibrasyon uygulamak yerine çok akıcı kıvamda beton kullanılarak boşluksuz beton yerleşimi sağlanabilmektedir. Bu sebeple EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılacak betonun, dar aralıklı engeller arasından geçebilme, kalıp iç yüzeyinde betona kenetlenme

sağlamak amaçlı kırılmaçkuyruğu girintileri (oluk) ve boşlukları doldurma kabiliyetine sahip çok akıcı kıvamda ve aynı zamanda yüksek ayrışma direncine sahip olması gerekmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde, sistemin özellikleri dikkate alınarak tasarlanan kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) kullanılması uygun olacaktır. KYB'nin maliyetinin geleneksel beton maliyetinden yüksek olması sebebiyle, EPS YKDBT duvar sisteminde KYB'nin kullanılması halinde sistemin yapım maliyeti yükselmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminin yaygın olarak kullanılabilmesi için sistemin ekonomik olması önemli bir şarttır. EPS YKDBT duvar sisteminin yapım maliyetini arttırmamak için sistemi oluşturan taşıyıcı sistem elemanları dikkate alınarak, uygun özellikte, ekonomik bir beton bileşiminin belirlenmesi gerekmektedir.

EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılacak beton için önemli diğer bir özellik, karışımdaki agreganın en büyük tane büyüklüğüdür. EPS YKDBT duvar sisteminde agrega en büyük tane büyüklüğü ve tane büyüklüğü dağılımı çeper etkisi dikkate alınarak belirlenmelidir. EPS YKDBT duvar sisteminde çeper etkisi dikkate alınmadan tasarlanan bir betonda özellikle boşluk kenarlarında bulunan sık donatılar arasında agregalar takılarak beton geçişini engelleyecek ve böylece betonun boşluklu olmasına, EPS levhaların betona kenetlenmesini sağlayacak olukların (kırılmaçkuyruğu girinti) boş kalmasına yol açacaktır. EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan EPS kalıplar kalıcı olup, beton dökümünden sonra sökülmemekte, ısı yalıtım malzemesi olarak beton duvarların iki yüzeyi üzerinde bırakılmaktadır. EPS kalıplar beton sertleştikten sonra sökülmedikleri için oluşturulan donatılı beton taşıyıcı duvar gövdesinde boşluk olup olmadığı, dış ve iç EPS katmanların betona kenetlenip kenetlenmediği gözle, tahribatsız olarak belirlenmemektedir. Taşıyıcı beton gövdesinde boşlukların olması sistemin taşıma gücü güvenliğini önemli düzeyde azaltacağından, betonun boşluksuz yerleşimi beton içeren bütün yapılarda olduğu gibi tasarım aşamasından başlayarak dikkate alınması gereken çok önemli bir husustur.

Aşağıdaki bölümlerde kendiliğinden yerleşen beton, özellikleri, deney yöntemleri, EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel çok akıcı beton, EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan çok akıcı kıvamda geleneksel beton bileşiminin uygunluğunun belirlenmesi için yapılan deneysel çalışma hakkında ayrıntılı bilgiler verilmektedir.

3.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Özellikleri

3.3.1.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton Tanımı

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) hiçbir iç veya dış sıkıştırma enerjisi uygulamadan kendi ağırlığı altında akabilen, dar donatı engelleri arasından yüksek geçiş yeteneğine sahip, ayrışmaya karşı yüksek dirençli, ayrışma ve aşırı terleme yapmadan kalıpta tüm boşlukları doldurabilen özel bir beton türü olarak tanımlanabilir (Okumura, 1997). Bu özel beton türü literatürde farklı isimlerle anılmaktadır. Bu isimler kısaca kendiliğinden yerleşen beton (Self-Consolidating Concrete), kendiliğinden sıkışan beton (Self-Compacting Concrete) ve kendiliğinden yüzeylenen beton (Self-Levelling Concrete)'dur. Türkiye'de yaygın olarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) olarak tanınmaktadır.

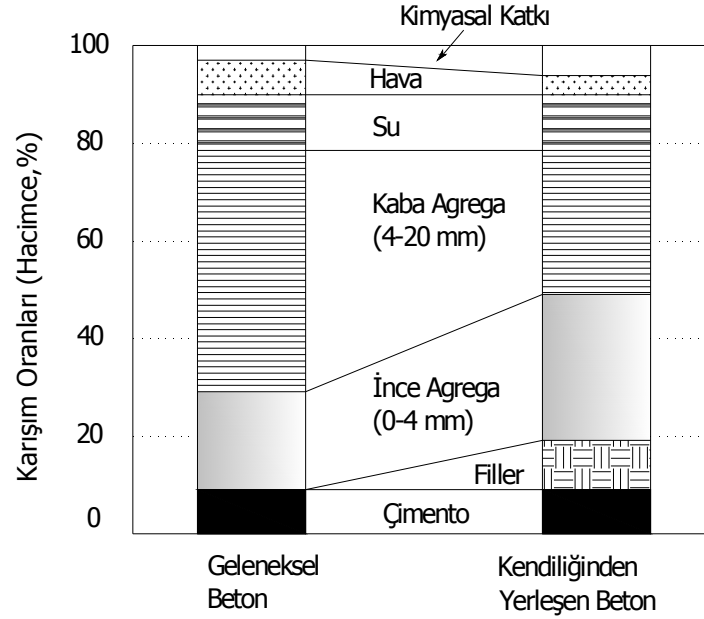
Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), etkili akışkanlaştırıcı kimyasalların geliştirilmesi ile beton teknolojisine uyarlanmış özel bir betondur. Hem karışım tasarımı, hem de üretim teknikleri açısından geleneksel betondan farklı özelliklere sahiptir. Sıkıştırma enerjisi ihtiyacını ortadan kaldırarak, işçilik kusurlarını azaltması, üretimi hızlandırması, çalışma koşullarını iyileştirmesi gibi pek çok yararlı özellik, KYB kullanımının getirdiği avantajlar arasında sayılabilir (Felekoğlu vd., 2004).

KYB'de sıkıştırma enerjisine gerek duyulmadığından işçilikten büyük oranda tasarruf edilerek verimlilik artırılabilir. Bu açıdan önüretimli (prefabrike) beton endüstrisinde büyük kullanım imkânı vardır. Önüretimli beton sanayiinde genellikle önüretimli yapı elemanlarının üretildiği şiddetli titreşimli kalıplar titreşim etkisi ile yıpranmaktadır. KYB'nin önüretimli beton sanayiinde kullanımı ile kalıp yıpranmalarının önüne geçilebilir. Ayrıca, KYB, vibratör ile sıkıştırma uygulamanın çok zor olduğu yoğun donatılı ve dar kesitlerde büyük yarar sağlar. Özellikle yoğun donatı bulunan betonarme kolon-kiriş birleşim bölgelerinde büyük boşluklar kalabilmektedir. Bu bölgelerde boşlukların varlığı mafsal oluşumuna neden olmaktadır. KYB'nin bu gibi yapı bölgelerinde, uygun donatılandırma ve çeper etkisi göz önüne alınarak tasarlanmış beton bileşimi ile birlikte kullanımı, depreme dayanıklı yapı tasarım amacının gerçekleştirilebilmesi açısından da üstünlük sağlamaktadır (Yardımcı, 2007).

KYB'nin üstün davranış özelliklerini sağlayabilmesi için yüksek akıcılıkta olması, yüksek ayırma direnci ve şekil değiştirme yeteneğine sahip olması gereklidir. Yüksek akıcılık, üstün akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları (süper akışkanlaştırıcılar) yardımı ile sağlanırken betonun kararlılığı (ayırma direnci), ince malzeme miktarını yüksek tutmakla ve/veya viskozite arttırıcı, ayarlayıcı maddeler kullanarak gerçekleştirilmektedir. KYB'nin sadece doldurma özeliğine sahip olması yetmemekte, aynı zamanda donatılar arasından kolayca geçebilir özellikte olması da gerekmektedir. Taze betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özeliğin su miktarı arttırılarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, ayırma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ayırmanın engelleyicisi olan akma eşiği ve viskozite çok küçülmemelidir. KYB'ların bu özelliklerini düşük su/ince malzeme oranlarında sağladıkları görülmekte, ince maddelerin bağlayıcı özellikte seçilmesi durumunda hem dayanım hem de dayanıklılıkları yüksek olmaktadır; bu nedenle yüksek başarılı (performanslı) betonlar sınıfına girebilmektedir (Sağlam vd., 2004).

3.3.1.2 Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşimi

Kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) bileşimi, süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite arttırıcı katkı, su-bağlayıcı oranı, karışım agreganın en büyük tane büyüklüğü, daha ince tane büyüklüğü dağılımı (granülometri, kum-toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı) gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir. KYB'nin bileşenleri açısından geleneksel betondan en belirgin farkı, 100 µm altındaki ince malzeme içeriğinin fazla ve su/çimento ya da su/bağlayıcı oranının düşük olmasıdır. Bu ince malzemeler genel olarak betonda yararı kanıtlanmış olan silis dumanı, uçucu kül, taş tozu, tuğla tozu ve mermer tozu gibi atık malzemelerdir. Bunun yanında, KYB'de karışım agrega tane büyüklüğü dağılımının bağlayıcı maddeler dahil bütün katı maddeler ve çeper etkisi göz önüne alınarak belirlenmesi uygun olmaktadır (Yardımcı, 2007; Uygunoğlu, 2008). Şekil 3.1'de geleneksel beton ile kendiliğinden yerleşen betonun tipik karışım oranları şematik olarak görülmektedir.

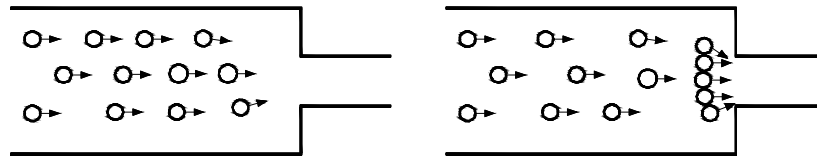


Şekil 3.1. Geleneksel Beton ile Kendiliğinden Yerleşen Betonun Karşılaştırılması

3.3.1.3 Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Malzemeler

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Agregası

KYB’de kullanılacak en büyük agregası tane büyüklüğü ($D_{en\ büyük}$) hakkında kesin bir rakam verilmemekte ancak 20 mm’nin üstüne çıkılmaması tavsiye edilmektedir (EFNARC 2002, 2005). KYB özeliği gereği akıcı ve sık donatılar arasından geçebilme yeteneğine sahip olmalıdır. Aksi takdirde sık donatıların olduğu bölgelerde agregalar birbirine yaslanarak “kemerlenme” oluşturur. Böyle bir kemerlenme mekanizması, betonun bir delikten aktığı iki boyutlu bir model için Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Agregaların Kemerlenme Oluşturma Mekanizması (Gürses, 2008).

Kemerlenme oluşumu, agregatanelerinin büyük, köşeli, yüzeyi pürüzlü, yassı veya çubuksu ve agregat içeriğinin fazla olması durumlarında daha kolay gelişir (Gürses, 2008). KYB üretiminde kullanılacak agregat mineralojik köken açısından geleneksel betonda kullanılabilen özellikte olmalıdır. Kıırma kireçtaşı iri agregat olarak kullanılabilir. Doğal kum ve dere çakılı kıırmetaş agregataya göre işlenebilirlik açısından daha uygundur (EFNARC, 2002).

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Bağlayıcı Madde

Geleneksel betonda kullanılan bağlayıcılar KYB üretiminde kullanılabilir. Ancak bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir (Sağlam vd., 2004). KYB ile ilgili literatürde CEM I 42,5 tipi çimento kullanımı öngörülmektedir. Genel olarak çimento dozajının 350 ile 450 kg/m³ beton arasında olması önerilmektedir. Çimento dozajının 500 kg/m³ beton ve daha fazla olması durumunda betonda çevrenin bağıl nemine ve zamana bağıl şekil değıştirmeleri ve dolayısıyla kuruma büzülmesinden dolayı oluşacak çatlakların artacağı bilinmektedir (EFNARC, 2002). Çimento dozajının 350 kg/m³ beton değıerinden az olması durumunda ise betonun kendiliğinden yerleşebilirlik için gerekli olan ince ve bağlayıcı madde miktarı yetersiz kalmakta; betonun dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Bu nedenle gizli (latent) bağlayıcı olarak bilinen ince öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufu (ÖGYFC) ve yeterli miktarda silis dumani kullanılması önerilmektedir (Uygunoğlu, 2007).

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Toz Malzeme

KYB'nin özel reolojik gereksinimlerinden ve hidrasyon ısısından dolayı hem çimento miktarını düzenlemek hem de tiksotropi ve viskoziteyi düzenleyerek akışkanlığı sağlayıp ayrışmayı engelleyerek işlenebilirliği düzenlemek için dolgu (filler) malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle kıırmetaş tozu, uçucu kül, silis dumani, öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufu ve öğütölmüş cam tozu gibi dolgu işlevselliğine de sahip malzemelerdir (EFNARC, 2002). İnce kıırmetaş kalker veya granit tozu tasarımda ihtiyaç duyulan 0,125 mm'den küçük ince malzeme miktarını sağlamak için kullanılmaktadır. Kalker içerisinde dolomit bulunması alkali karbonat etkileşimine yol açabileceğinden sakıncalıdır. Eğer dolomit içeren agregat kullanılacaksa

tasarımda çimentoda minör alkali içeriği göz önünde bulundurulmalı alkali karbonat etkileşimi olasılığı deneyle irdelenmelidir. Yeterli puzolanik özeliğe sahip uçucu kül KYB'nin özelliklerini geliştirmek için kullanılabilir. Silis dumanının betonun mekaniksel özelliklerini ve durabilitesini iyileştirdiği bilinmektedir. İnce öğütülmüş (iyi granüle edilmemiş, yavaş soğutulduğu için bağlayıcı özellik kazanmamış) yüksek fırın cürufu betonun reolojik özelliklerini geliştirmek için kullanılabilir (Aykan vd., 2004).

KYB dane büyüklüğü dağılımı ve bileşimi için EFNARC önerileri (EFNARC):

- Su/toz oranı, hacimce 0.80 ~ 1.10
- Toplam toz içeriği, 0.160 ~ 0.240 m³/m³beton (yaklaşık 400 ~ 600 kg/m³beton)
- İri agregası (≥ 4.76 mm) içeriği genelde hacimce 0.28 ~ 0.35 m³/m³beton
- Su/bağlayıcı oranı EN 206 ilkelerine uygun, genelde ≤ 200 kg/m³beton seçilir.
- Kum içeriği diğer bileşenlerin hacimlerine uygun biçimde seçilir.

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkıları, betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini geliştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento miktarının %5'ini geçmemek üzere eklenen maddeler olarak tanımlanmaktadır. KYB'yi geleneksel betondan farklı kılan en önemli etkenlerden biri de karışımda kullanılan farklı kimyasal katkılarıdır (Alyamaç, 2008). Ancak, kendiliğinden yerleşebilirlik tasarım hedefine göre özel olarak tasarlanmamış bir beton karışımını sadece kimyasal katkıları kullanarak KYB haline getirmek mümkün değildir.

Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin yeterince küçük veya karıştırma etkisiyle küçülebiliyor olması gerekir. KYB'lerde yüksek akıcılık, üstün akışkanlaştırıcı özeliğe sahip olan kimyasal katkıları (süperakışkanlaştırıcıları) yardımıyla sağlanmaktadır (Uygunoğlu, 2007). Yüksek düzeyde akışkanlaştırıcı katkı maddesi akıcılıkla birlikte ayrışmaya direnci priz süresi başlangıcına değin sağlayabilecek, kullanılan bağlayıcı ve dolgu malzemeleriyle uyumlu özellikte seçilmelidir. Bu özellik polikarboksilik eter esaslı özel polimerlerle sağlanabilmektedir. KYB'de ayrışmayı sınırlandırmak için viskozite ve kayma eşiği (tikotropi) ayarlayıcı ayrı katkıları da kullanılabilir. Bağlayıcı dâhil, ince tanelerin tür ve oranı uygun

seçilmiş iyi bir tasarımla viskozite ayarlayıcı katkıya ihtiyaç duyulmadan da KYB üretilebilmektedir. KYB'lerde donma-çözünmeye karşı daha dayanıklı beton elde etmek için hava sürükleyici katkıları kullanılabilir (Aykan vd., 2004).

Kendiliğinden Yerleşen Betonda Karışım Suyu

KYB üretiminde kullanılacak karışım suyu, geleneksel betonda olduğu gibi TS EN 1008'e uygun olmalıdır. Geleneksel beton üretiminde kullanılmış ve iyi sonuç alınmış sular, KYB üretiminde kullanılabilir. Beton sanyinden elde edilen atık sular karma suyu olarak kullanılacaksa, bu suların içeriklerine ve konsantrasyonlarına dikkat edilmeli, deneme karışımları ile önceden KYB özellikleri sınanmalıdır.

3.3.2 Betonun Taze Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

Geleneksel beton üretiminde nitelik denetiminde taze betonun çökme değeri ve betonun belirli yaştaki (genellikle 28 günlük) basma dayanımı uygulamada en sık kullanılan iki özeldir. Geleneksel beton, basma dayanımına göre sınıflandırılmasına karşın KYB'yi tanımlamada taze haldeki özellikleri esas alınır (Özgüler, 2007). KYB'nin akıcılık, doldurma yeteneği, viskozite, geçiş yeteneği ve ayrışma direnci gibi özelliklerinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş deney yöntemleri bulunmaktadır. KYB'nin basma dayanımı, düşük su/toz oranı ve puzolanik filler etkisi ile genellikle yüksek çıkmaktadır. Bu yüzden tasarımda basma dayanımı ikinci plandadır. KYB'nin mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için geleneksel beton üretimindeki sertleşmiş beton deneyleri uygulanır.

Aşağıdaki bölümlerde KYB'nin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri açıklanmaktadır.

3.3.2.1 Taze Beton Deneyleri

Kendiliğinden yerleşen betonun taze halde sahip olması gereken özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemleri ve özellikleri Tablo 3.3'de görülmektedir. EFNARC 2002'ye göre KYB'nin istenilen özelliklere sahip olabilmesi için her taze beton deneyi için belirli değer aralıklarında kalması gerekmektedir. Bu aralıklar uygun doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışma direncine sahip KYB üretimi için önerilmiş olup, bu sınırlar aşıldığında taze haldeki KYB'nin reolojik kararlılığı bozulabilmektedir. Bu değer aralıkları, taze beton deney yöntemleri için Tablo 3.4'de görülmektedir.

Tablo 3.3. Taze Haldeki Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Yöntemleri (EFNARC, 2002)

Özellik	Deney Yöntemi	Ölçülen Değer
Akıcılık/ Doldurma Yeteneği	Çökme-Yayıma	Toplam yayılma
	Kajima Kutusu (Doldurma Kutusu)	Görsel doldurma
Viskozite/Akıcılık	T ₅₀₀ Süresi	Akma süresi
	V-Hunisi	Akma süresi
	O-Hunisi	Akma süresi
	Orimet	Akma süresi
Geçiş Yeteneği	L-Kutusu	Geçiş oranı
	U-Kutusu	Yükseklik farkı
	J-Halkası	Yükseklik, toplam akış
	Kajima Kutusu (Doldurma Kutusu)	Görsel geçiş yeteneği
Ayrışma Direnci	Penetrasyon	Derinlik
	Elek Ayrışması	Ayrışma yüzdesi
	Oturma Kolonu	Ayrışma oranı

Tablo 3.4. Taze Haldeki Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneyleri İçin Önerilen Değer Aralıkları (EFNARC, 2002)

Deney Yöntemi	Birim	Değer Aralığı	
		En küçük	En büyük
Çökme Yayılma	mm	650	800
Çökme Yayılmada T ₅₀₀ Süresi	s	2	5
V-Hunisi	s	6	12
V-Hunisi T _{5 dakika} Süresi	s	0	+3
L-Kutusu	(H ₂ /H ₁), -	0,8	1,0
U-Kutusu	(H ₁ -H ₂), mm	0	30
J-Halkası	mm	0	10
Doldurma Kutusu	%	90	100
Elek Ayrışma	%	0	15

V-hunisi T_{5 dakika} süresinde V-hunisi deneyinden gecikme süresi değerlendirilmektedir.

Uygulanan deney yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre KYB, çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. KYB'nin sınıflandırılmasında yayılma çapı, viskozite, geçiş yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç göz önüne alınmaktadır. Tablo 3.5'de EFNARC 2005'e göre KYB sınıfları görülmektedir.

Tablo 3.5. Kendiliğinden Yerleşen Beton Sınıfları (EFNARC, 2005)

Yayılma Sınıfı	Çökmede Yayılma Çapı (mm)
SF1	550–650
SF2	660–750
SF3	760–850
Viskozite Sınıfları	Çökmede 500 mm Çapa Yayılma Süresi, T₅₀₀ (s)
VS1	≤ 2
VS2	> 2
Viskozite Sınıfları	V-Kutusu Akış Süresi (s)
VF1	≤ 8
VF2	9–25
Geçiş Yeteneği Sınıfları	L-Kutusu Bloklanma oranı
PA1	≥ 0,80 (2 donatı engelli)
PA2	≥ 0,80 (3 donatı engelli)
Ayrışma Direnci Sınıfları	Ayrışma Direnci (%)
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

Çökme (Slump) Deneyi

Çökme deneyi TS EN 12350–2 Taze Beton Çökme (Slump) Deneyi ilkelerine göre yapılır. Çökme deneyi 10 mm ile 200 mm arasında, agrega en büyük tane büyüklüğü 40 mm'den küçük olan betonlar için uygundur. Deney esnasında işlenebilmedeki değişiklik ihmal edilebilir, tekrarlanabilirliğin yeterli düzeyde kalabilmesi için tüm deney işlemi, betonun kalıba doldurulmaya başlanmasından, kalıbın çekilerek alınmasına kadar herhangi bir kesinti olmaksızın 150 saniyede tamamlanmalıdır. Kalıbın alınmasından hemen sonra, kalıp üst yüzey seviyesi ile çöken

beton kütlesinin en yüksek noktası arasındaki çökme mesafesi ölçülerek, en yakın 10 mm'ye yuvarlanıp kaydedilir.

Çökme-Yayıma Deneyi ve Çökme-Yayılmada T_{500} Süresi Deneyi

Çökme yayılma deneyi TS EN 12350-5 Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi ilkelerine uygun olarak yapılır. Deneyde kullanılan aletler, üzerinde 200 mm ve 500 mm çaplı daireler çizili, en az 900 mm×900 mm boyutlarında ve kalınlığı en az 2 mm olan sacdan yapılmış bir tabla ve Abrams hunisidir. Koninin iç yüzeyi ile taban levhası yüzeyde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Taban levhasının üzerinde 200 mm çapındaki çember üzerine gelecek şekilde koni yerleştirilir ve ayak parçaların üzerinde duracak şekilde tutulur. Böylece koni altından beton sızması engellenmiş olunur. Koni sarsmadan beton ile doldurulur ve koninin üstünde fazlalık olarak kalan beton sıyrılır. Taban levhası üzerine dökülen beton varsa temizlenir ve koni doldurma işleminden en geç 30 saniye sonra tek hareketle beton akışına müdahale etmeden dikey olarak kaldırılır. T_{500} süresinin bulunması isteniyorsa kronometre, koninin taban levhası ile teması kesilir kesilmez başlatılır ve betonun herhangi bir noktadan 500 mm çapta çember oluşturduğu süre belirlenir. Beton ve taban levhası oynatılmadan yayılan betonun en büyük çapı (d_1) ölçülür ve 10 mm'ye yuvarlanarak kaydedilir. Ardından d_1 'e dik yöndeki çap (d_2) ölçülür ve en yakın 10 mm'ye yuvarlanarak kaydedilir. Akarak yayılan betonda ayrışma olup olmadığı kontrol edilir. Çökme yayılma değeri, ($d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$) d_1 ve d_2 değerlerinin ortalamasının en yakın 10 mm'ye yuvarlatılmasıyla elde edilir (Resim 3.2).

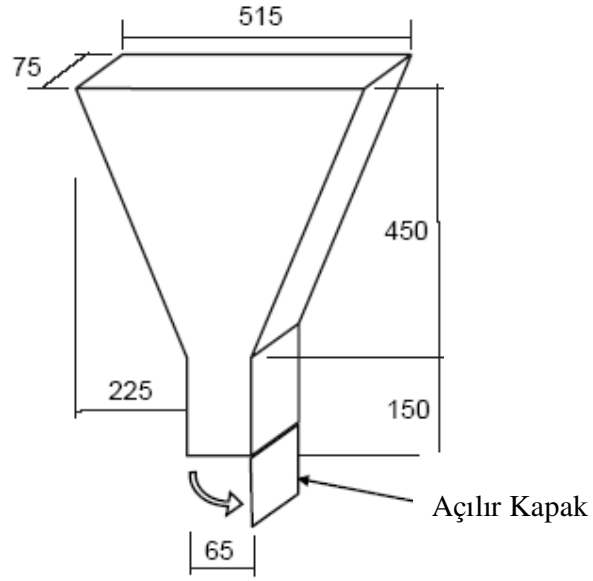


Resim 3.2. Beton Yayılma Çapının Ölçülmesi (EFNARC 2005)

V-Hunisi Deneyi ve V-Hunisi T_5 dakika Süresi Deneyi

V-hunisi deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun viskozitesi ve doldurma yeteneğini belirlemek için kullanılır. V-hunisi (V-funnel) deneyi en büyük agrega tane büyüklüğü 20 mm'nin üzerinde olan betonlar için uygun değildir. Deneyde, Şekil 3.3'de boyutları verilen tabanında su geçirmeyen ve çabuk açılabilen bir kapağı olan yüzeyleri düzgün, çimento harcı ile reaksiyona girmeyecek ve paslanmayacak metalden yapılmış V-hunisi kullanılır.

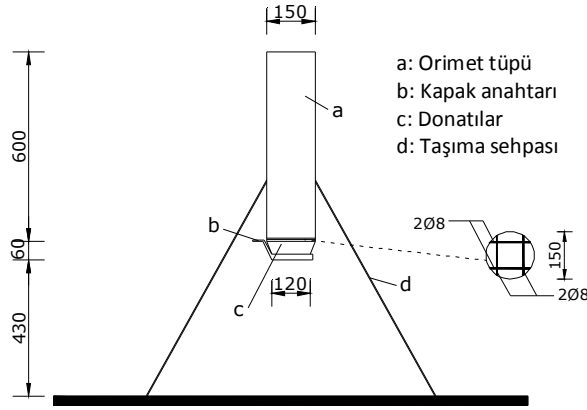
V-hunisi desteklenerek üst kısmının yatay durması sağlanır ve huninin altına bir kova koyulur. V-hunisi ve altındaki kapak temizlenir, kapak dâhil tüm yüzey serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Huninin altındaki kapak kapatılarak, huninin içerisine beton numune sıkıştırmadan ve sallamadan doldurulur ve beton üst yüzeyinin huninin üst yüzeyi ile aynı seviyede olması sağlanır. Huni doldurulduktan 10 ± 2 saniye sonra kapak açılır ve kapak açıldıktan sonra huninin üstünden aşağıya bakıldığında alttan ışık görününceye kadar, betonun huniden akış süresi (t_v) kronometre yardımıyla 0,1 saniye hassasiyetle ölçülür.



Şekil 3.3. V-Hunisi (Ölçüler mm) (EFNARC 2005)

Orimet Deneyi

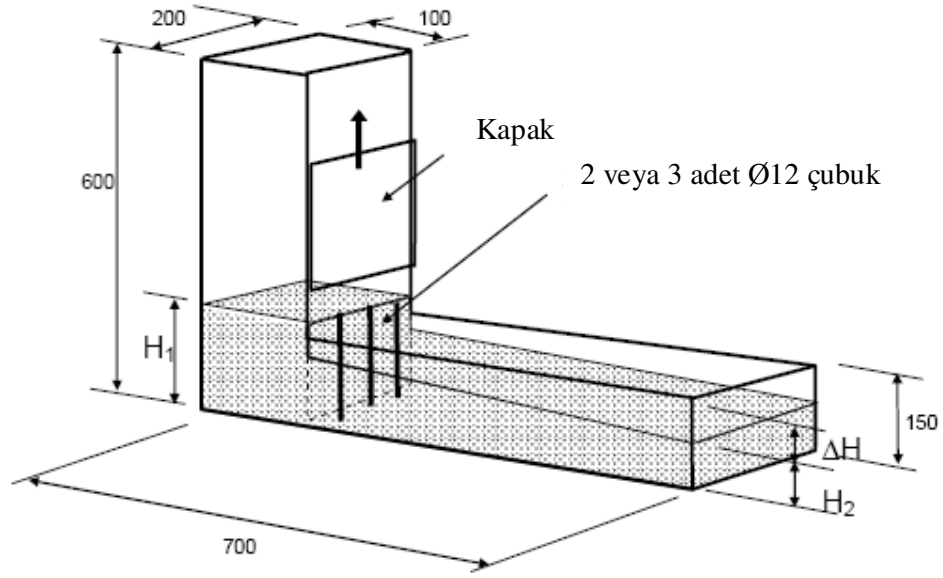
Orimet deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun doldurma yeteneğinin belirlenmesi için T_{500} süresi deneyine alternatif olarak düşünülmüştür. Bu deney, çelikten yapılmış 600 mm uzunluğunda ve 80–120 mm çapında bir tüp ve tüpün altında açılabilir bir kapaktan oluşur (Şekil 3.4). Deneye başlarken tüpün içi ıslak sünger veya havlu ile silinir. Tüp dengeli hale getirildikten sonra V-hunisi deneyindeki gibi içerisi taze beton ile doldurulur ve 10 ± 2 saniyelik beklemeden sonra kapak açılır. Kapak açıldığı andan tüp içerisindeki beton numunesi bitinceye kadar geçen süre bir kronometre yardımıyla 0,1 saniye hassasiyetle ölçülür ve kaydedilir (Özgüler, 2007).



Şekil 3.4. Orimet Deneş Düzeneği ve Deneşin Yapılışı (Schutter, 2005)

L-Kutusu Deneşini

L-kutusu deneşini kendiliğinden yerleşen betonun donatı çubukları arası gibi dar boşluklardan ayrışmadan veya tıkanmaya uğramadan geçme kabiliyetinin belirlenmesi için uygulanır. Deneşde kullanılan L-kutusu, rijit olacak şekilde hazırlanmış yüzeyleri düz ve pürüzsüz, çimento harcı ile reaksiyona girmeyecek ve korozyona uğramayacak şekilde olmalıdır. Şekil 3.5'te boyutları görülen L-kutusunda donatıyı tutan düzenekte, iki çubuklu deneş için 59 mm serbest aralıklı 16 mm çapında iki adet düzgün yüzeyli çubuk ve üç çubuklu deneş için 41 mm serbest aralıklı 12 mm çapında üç adet düzgün yüzeyli çubuk bulunur. Deneş için yaklaşık 14 litre beton numune gereklidir. L-kutusu deneş aleti, düz ve yatay bir taban üzerine oturtulur, dikey ve yatay kısımlar arasındaki kapağın açılıp kapandığı kontrol edilir. Deneş aletinin iç yüzeyi yüzeyde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Beton numunesi, deneş aletinin dikey bölümüne (besleme gözüne) doldurulur ve 60 ± 10 saniye bekletilir. Bu sırada ayrışma gözlenirse not edilir. 60 saniye sonunda aradaki kapak kaldırılarak beton numunenin yatay kısımda akmasına müsaade edilir. Kronometre çalıştırılarak betonun 200 mm ve 400 mm'lik mesafeye ulaşma süreleri belirlenir. Beton akışı durunca H_1 ve H_2 mesafeleri ölçülür. Betonun geçme oranı H_2/H_1 hesaplanır. Tüm deneş işleminin 5 dakikalık süre içerisinde tamamlanması gerekir.



Şekil 3.5. L-Kutusu Deney Aleti ve Boyutları (ölçüler mm) (EFNARC)

J-Halkası Deneyi

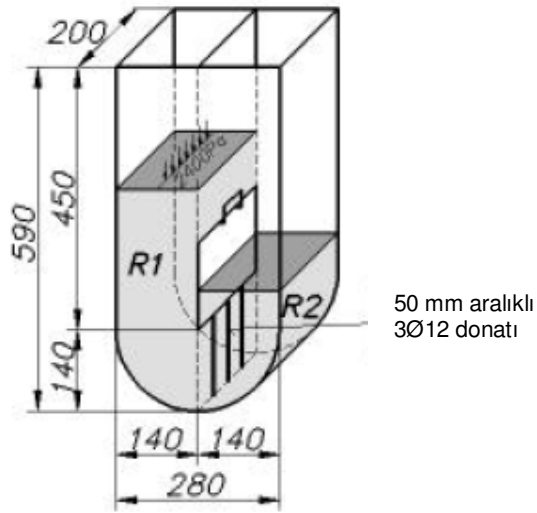
Kendiliğinden yerleşen taze betonun geçiş yeteneğinin belirlenmesi için uygulanan deney yöntemidir. Bu deney yönteminde sınırlandırılmış çökmede yayılma deneyi gerçekleştirilmektedir (Uygunoğlu, 2008). Deneyde merkezden merkeze 300 mm çapında ve üzerinde 18 adet 100 mm uzunluğunda 10 mm çapında düz yüzeyli demir bulunan halka kullanılır. Deney için yaklaşık olarak 6 litre beton numune gereklidir. Taban levhası ve çökme hunisinin iç kısmı yüzeyde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Taban levhası düz ve yatay bir yüzeye yerleştirilir. Taban levhasının merkezine denk gelecek şekilde J-halkası ve içine Abrams çökme hunisi koyulur. Kepçe yardımıyla çökme hunisi sıkıştırılmadan ve sallamadan beton numune ile doldurulur. Beton doldurulduktan sonra koninin üst yüzeyindeki fazlalık beton sıyrılır, taban levhasına dökülen beton varsa temizlenir. Slump kalıbı dikey olarak sarsmadan kaldırılır, bu arada betonun akışı engellenmez. Yayılan betonun çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülür ve ortalaması hesaplanır. Betonda ayrışma olup olmadığı gözlenir, ayrışma varsa not edilir.



Resim 3.3. J-Halkasında Yayılmanın Ölçülmesi (Uygunoğlu, 2008)

U-Kutusu Deneyi

Taze betonun kendiliğinden yerleşme ve engeller arasından geçebilme yeteneğinin belirlenmesinde kullanılan deneydir. Bu deney yönteminde ortası sürgülü bir kapak ile sınırlandırılmış U şeklindeki kutu içerisinde bir göze konan beton, kutunun alt kısmında yer alan donatılar arasından kendi birim hacim ağırlığının oluşturduğu basınç farkı nedeniyle atmosferik basınç altında diğer göze geçmeye çalışmaktadır.

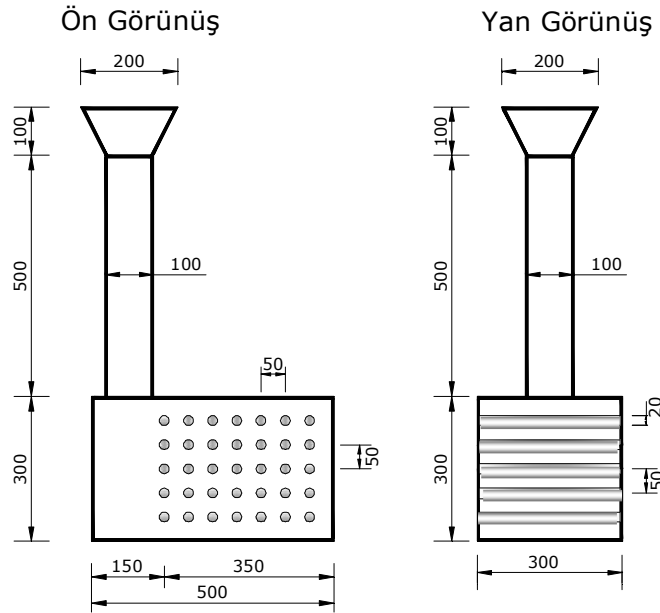


Şekil 3.6. U-Kutusu Deney Aleti (ölçüler mm) (EFNARC 2005)

Deney için yaklaşık olarak 20 litre beton numuneye ihtiyaç vardır. Deney aleti düz bir zemine, düşey duracak şekilde koyulur. Sürgülü kapağın açılıp kapandığı kontrol edilir ve daha sonra deney aletinin iç yüzeyi yüzeyde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Sürgülü kapak kapatılarak gözlerden bir tanesi (besleme gözü) beton numune ile doldurulur ve yaklaşık olarak 60 ± 10 s beklenir. Daha sonra aradaki sürgülü kapak açılarak bir gözdeki betonun diğer göze akmasına izin verilir. Betonun yükselmesi tamamlanınca doldurulan gözdeki (besleme gözü) betonun yüksekliği iki noktada ölçülerek ortalaması alınır (H_1). Aynı işlem diğer göz için de yapılır (H_2). Betonun dolma yüksekliği $H_1 - H_2$ hesaplanır. Tüm deney işlemi, 5 dakika içinde tamamlanır (EFNARC 2005).

Doldurma Kutusu Deneyi

Doldurma kutusu deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun, sık donatı çubukları arasından akarak kendiliğinden yerleşme (doldurma) yeteneğini ölçmek için uygulanır. Deney, agrega en büyük tane büyüklüğü 20 mm'den fazla olan betonlar için uygun değildir. Deneyde boyutları Şekil 3.7'de görülen düz yüzeyli, saydam doldurma kutusu deney aparatı kullanılır. Deney için yaklaşık olarak 45 litre beton numuneye ihtiyaç vardır. Deney aleti düz bir yüzeye yerleştirilir ve deney aletinin iç yüzeyi yüzeyde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Deney aleti doldurma borusundan beton ile doldurulur. Doldurma işlemi 5 saniyede 1,5–2 litre taze betonun huniye boşaltılarak, en üst engele beton ulaşınca kadar sürdürülür. Betonun yerleşimi bitince haznenin her iki yanındaki beton iki noktadan ölçülerek ortalaması alınır. Doldurma işleminin yapıldığı yandaki beton yüksekliği (h_1) ve karşı uçtaki beton yüksekliği (h_2) olmak üzere ortalama dolma yüzdesi $F = \left(\frac{h_1 + h_2}{2h_1} \right) \times 100$ bağıntısıyla hesaplanır. Deney işlemleri 8 dakikada tamamlanır (EFNARC 2005).



Şekil 3.7. Doldurma Kutusu Deney Aleti Ölçüleri (ölçüler mm)

Elek Ayırışma (GTM) Deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonun, ayırışma direncinin belirlenmesi için uygulanan bir deneydir. Elek ayırışma (GTM) deneyinde 350 mm çapında, 5 mm kare gözlü 40 mm yüksekliğe sahip elek kullanılır. Deney için 10 litre beton numuneye ihtiyaç vardır. Beton numune kovaya koyulur, kapağı kapatılarak 15 dakika bekletilir. Bu arada elek kovasının kütlesi tartılarak belirlenir. Bekleme süresinin sonunda kovanın kapağı açılır ve betonun üzerinde (yüzeyinde) terleme olup olmadığı gözlemlenir, varsa not edilir. Boş elek, elek kovasının üzerine koyulur ve tartılarak elek kütlesi belirlenir. Beton numunenin yarısı ($4,8 \pm 0,2$) kg bir kovaya koyulur, tartılır. Tartı üstündeki eleğe ($4,8 \pm 0,2$) kg beton numune elekten 500 ± 50 mm yükseklikten ani olarak dökülür. Boş kova tartılır ve elek üzerine boşaltılan beton numune kütlesi hesaplanır (M_a). Beton numune elek üzerinde 120 ± 5 saniye bekletildikten sonra elek sarsılmadan dikey olarak kaldırılır. Elek kovasındaki beton kütlesi tartılır. Elek kovasındaki beton kütlesinden boş elek kovasının kütlesi çıkarılarak, eleği geçen beton kütlesi hesaplanır (M_b). Eleği

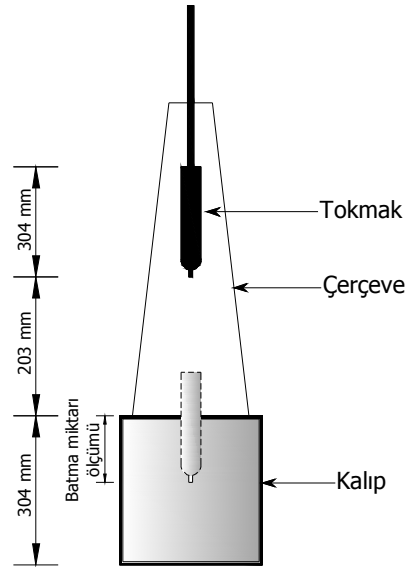
geçen beton numune yüzdesi hesaplanır, ayırışma oranı $\left(\frac{M_b}{M_a}\right) \times 100$ 'dür.



Resim 3.4. Elek Ayrışma Deneyi ve Deney Aparatları (EFNARC 2005)

Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyinde belirli yükseklikten serbest düşüşe bırakılan çubuğun kendi ağırlığı ile batma miktarı belirlenir. Penetrasyon deneyinde Şekil 3.8’de görülen deney düzeneği kullanılır. Ölçülen batma miktarı eşik kayma gerilmesiyle ilişkilendirilebilir.



Şekil 3.8. Penetrasyon Deney Aleti (Ölçüler mm) (Özgüler, 2007)

Taze Beton Yoğunluğunun Belirlenmesi Deneyi

TS EN 12350–6/Nisan 2002 Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk standardı ilkelerine göre yapılır. Boş kap ve cam levha tartılır ve ölçülen kütleleri kaydedilir. Kap yatay bir yüzeye yerleştirilir ve (20 ± 5) °C sıcaklıktaki su ile su, kabın üst kenarından taşıncaya kadar doldurulur. Cam levha, altında herhangi hava boşluğu kalmayacak şekilde sürülerek kap üzerine yerleştirilir. Kap içerisindeki su ve üzerindeki cam levha ile birlikte tartılır ve ölçülen kütle kaydedilir. Kabı doldurmak için gerekli su kütlesi (kg), 998 kg/m^3 'e bölünerek kap hacmi hesaplanır. Kabın hacmi (V) m^3 olarak gösterilir.

Boş kabın kütlesi (m_1) kaydedilir. Beton numune, kaba sıkıştırma uygulanmadan yerleştirilir. Yüzey düz kenarlı master ile sıyrılmalı ve beton seviyesi kap üst kenarları seviyesine getirilmelidir. Kap içerisindekilerle birlikte tartılarak kütlesi belirlenir (m_2). Yoğunluk, (3.1) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.1)$$

Burada;

D : Taze betonun yoğunluğu, kg/m^3

m_1 : Kabın kütlesi, kg

m_2 : Kabın, içerisindeki beton numune ile birlikte toplam kütlesi, kg

V : Kabın hacmi, m^3

Taze betonun yoğunluğu, en yakın 10 kg/m^3 'e yuvarlanarak gösterilmelidir.

Taze Beton Hava İçeriğinin Belirlenmesi Deneyi

Taze betonda hava içeriğinin belirlenmesi için standartta iki deney metodu mevcuttur. Deneyde uygulanan işleme göre bu metotlar su sütunu metodu ve basınç ölçme metodu olup, deneyde kullanılan cihazlar, su sütunu göstergeli ve basınçölçer göstergelidir.

Taze betonda hava içeriği “TS EN 12350–7/Nisan 2002 Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 7: Hava muhtevasının tayini - Basınç metotları” ve “TS 3261/Eylül 1978 Taze Betonda Hava Miktarının Hacim Metodu İle Tayini” ilkelerine göre ölçülür.

Basınç ve hacim esasına göre olmak üzere 2 grup yöntem bulunmaktadır. Bunlara ek olarak betonun birim hacim kütlesi ve bileşenlerin yoğunlukları kullanılarak gravimetrik yöntem de uygulanır.

3.3.2.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Beton üretiminde nitelik denetimi için betonun belirli yaştaki basma dayanımı belirlenir. Uygulamada, betonun basma dayanımına bağlı olarak mekaniksel özellikleri belirlenmektedir. Yeni yapılacak yapılarda beton dökümü sırasında küp veya silindir şekilli kalıplar yardımıyla betondan numuneler alınarak nitelik denetimi yapılır. Mevcut yapılarda ise beton nitelik denetiminin yapılması daha zor ve masraflıdır. Mevcut yapılarda, yerinde beton dayanımının belirlenmesi için tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleri kullanılmaktadır. Tahribatlı deney yönteminde, mevcut bir betonun karakteristik basma dayanımının tespiti, betondan karot numunesi alınıp bu numunenin basma deneyine tabi tutulmasıyla yapılabilmektedir. Tahribatsız deney yönteminde ise, beton malzemeden numune alınmadan, beton malzeme bünyesinde tahribat oluşturmayan çeşitli teknolojilerle beton incelenerek, mekaniksel ve fiziksel özellikleri belirlenmektedir.

Basma Deneyi

Numune, deney makinesine yerleştirilmeden önce yüzeyindeki fazla su kurulanır. Deney makinesi yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlenir ve numunenin başlıklarla temas edecek yüzeylerinde bulunan herhangi gevşek çıkıntı veya tane alınır. Deney numunesi ve deney makinesinin yükleme başlığı arasında, aralık ayarlama blokları ve ilave plakalardan başka merkezleme parçası kullanılır. Küp numuneler, yük uygulama yönü genelde beton döküm yönüne dik olacak konumda yerleştirilir. Küp numuneler, belirtilmiş boyutunun veya silindir numuneler, belirtilmiş çapının $\pm \%1$ 'i doğrulukla merkeze yerleştirilmelidir.

0,2 MPa/s - 1,0 MPa/s arasında sabit bir yükleme hızı seçilir. Yükün numuneye, darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma $\pm \%10$ 'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanması öngörülmektedir. Göstergeden okunan en büyük yük kaydedilmelidir.

Basma dayanımı (3.2) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.2)$$

Burada;

f_c : Basma dayanımı, MPa (N/mm²)

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A_c : Numunelerin, üzerine basma yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm²

Basma dayanımı, en yakın 0,5 MPa'a (N/mm², ye) yuvarlatılarak gösterilir.

Yarmada Çekme Deneyi

Su içerisinde bekletilen numuneler, deney için sudan çıkartıldıktan sonra, yüzeylerindeki fazla su deney makinesine yerleştirilmeden önce silinerek temizlenir. Sabitleme cihazı, sıkıştırma şeritleri, yükleme parçaları ve başlıklarının yükleme temas yüzeyleri silinerek temizlenir. Deney numunesinin, sıkıştırma şeritlerinin temas edeceği yüzeylerindeki herhangi gevşek tane veya diğer fazlalık malzeme alınır. Deney numunesi, tercihen sabitleme cihazı kullanılarak, makineye tam merkezlenmek suretiyle yerleştirilir. Makinenin alt ve üst yükleme başlıklarının, yükleme esnasında birbirine paralel olması sağlanmalıdır. Yükleme hızı, 0,04 MPa/s ila 0,06 MPa/s arasında sabit gerilme değişim hızı sağlanacak şekilde ayarlanmalıdır.

Yarmada çekme dayanımı, (3.3) bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} \quad (3.3)$$

Burada;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm²)

F : En büyük yük, N

L : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d : Numunenin seçilen enkesit (yükleme doğrultusuna paralel) boyutu, mm

Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Belirlenmesi Deneyi

Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesi TS EN 12390–7/Nisan 2002 ilkelerine göre belirlenir. Numunenin kütlesi aşağıdaki şekilde tayin edilir.

a) Teslim Alındığı (Tabii) Durumdaki Numune Kütlesi

Numune, teslim alındığı durumda, kütlesinin %0,1 doğrulukla tartılır (m_r). Okunan kütle değeri, kilogram olarak kaydedilir.

b) Suya Doygun Durumdaki Numune Kütlesi

Numune (20 ± 2) °C sıcaklıktaki su içerisine, 24 saat aralıkla yapılan tartımda kütle değişimi %0,2'den daha az hale gelinceye kadar batırılır. Bu tartımlarda numune yüzeyindeki serbest su silinerek temizlenir. Suya doymuş numune kütlesi (m_s) kilogram olarak kaydedilir.

c) Etüv Kuru Durumdaki Numune Kütlesi

Numune, (105 ± 2) °C sıcaklıktaki hava dolaşımli etüvde 24 saat aralıkla yapılan tartımdaki kütle değişimi % 0,2'den daha az hale gelinceye kadar tutulur. Daha sonra numuneler her tartımda önce oda sıcaklığına gelinceye kadar, kuru, hava sızdırmaz kapalı kap içerisinde veya desikatörde bekletilerek soğutulduktan sonra tartılır. Etüv kuru numunenin okunan kütlesi (m_0), kilogram olarak kaydedilir.

Numunenin hacmi standardda verilen yöntemlerden birisi ile belirlenir.

Yoğunluk, numunenin tayin edilen kütlesi ve hacmi kullanılarak (3.4) bağıntısı yardımıyla hesaplanır. Yoğunluk tayini deney sonuçları en yakın 10 kg/m^3 'e yuvarlatılarak gösterilmelidir

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.4)$$

Burada;

D : Numunenin nem durumu ve hacim tayin metoduna bağlı olarak yoğunluğu, kg/m^3

m : Numunenin, deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi, kg

V : Numunenin özel metotla tayin edilen hacmi, m^3

Schmidt (Beton) Çekici Deneyi

Deney TS EN 12504–2/Aralık 2004 ilkelerine göre yapılır. Her deney yüzeyi (bölgesi) için en az 9 ayrı R_i okuma yapılır, ortalamadan $\pm\%20$ 'den fazla sapan okumalar hesap dışı bırakılarak kalan (en az 6 adet) okumaların aritmetik ortalaması R , değeri deney yapılan betonu temsil eden deneysel yoldan elde edilmiş f_c - R bağıntısında yerine koyularak deney yapılan yerdeki (betonarme taşıyıcı beton) beton basma dayanımı tahmin edilir.

Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyinde, verici piyезoelektrik kristalde yüksek voltajlı elektriksel 10–150 Hz frekansta darbe uygulanarak üretilen ultrasonik (20 - 150 kHz) frekansta boyuna (basınç) titreşim dalgaları katarlarının beton içerisinde alıcı kristale ulaşma geçiş süresi ölçülür. Kristallerle (verici ve alıcı prob yüzeyleriyle) beton yüzeyi arasına titreşimleri hava boşluğu bırakmayarak iletilecek jel tabakası koyulur. Verici ve alıcı arasındaki uzaklık geçiş süresine bölündüğünde beton içindeki ultrases geçiş hızı elde edilmiş olur. Homojen, izotrop, doğrusal elastik sürekli cisimde ultrases geçiş hızı V , dinamik elastisite modülü E_d , Poisson oranı ν ve görünen yoğunluğu ρ veya birim hacim kütlesi Δ arasında

$$V^2 = \frac{E_d \times (1 - \nu)}{\rho \times (1 + \nu) \times (1 - 2\nu)} \quad (3.5)$$

biçiminde bir bağıntı vardır. Dinamik elastisite modülü cismin görünen yoğunluğu ile orantılıdır. Homojen, lineer elastik, görünen yoğunluğu ρ (kg/m^3), dinamik elastisite modülü E_d (GPa), cisimden yapılmış boyu L (mm) olan bir prizmatik çubuğun eksenine doğrudan doğruya doğal (rezonans) titreşim frekansı n (Hz) ise

$$\begin{aligned} E_d &= K \times n^2 \times L^2 \times \rho \\ E_d &= 4 \times 10^{-15} \times n^2 \times L^2 \times \rho \end{aligned} \quad (3.6)$$

olmaktadır (Neville, 1995).

Betonun içerisinde geçen ses üstü dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, ses üstü dalganın hızı ile betonun dinamik elatisite modülü ve yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Yoğunluğu az olan bir betonda, ses üstü dalganın hızı daha az olmaktadır. Bilindiği gibi, betonun yoğunluğu veya doluluk oranı (kompasitesi) ile basma dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Aynı bileşenler kullanılarak üretilmiş yoğunluğu yüksek olan betonların basma dayanımları da genellikle daha yüksek olur. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar daha çok kılcal boşluk içerdiğinden, bu betonların yoğunluğu ve basma dayanımları da düşüktür (Ergün vd., 2005).

Ultras ses geçiş hızı

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.7)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada;

V: Ultras ses geçiş hızı (km/s)

L: Probların numuneye temas yüzeyleri arasındaki mesafe (mm)

t: Ultras ses geçiş süresi (μ s)

3.3.3 Deneysel Çalışma

EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılacak betonun dar engeller arasından geçebilme, boşlukları doldurabilme kabiliyetine sahip akıcı kıvamda ve aynı zamanda yüksek ayrışma direncine sahip olması gerekmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde sistemin özellikleri dikkate alınarak tasarlanan kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kullanılması uygundur. Fakat KYB'nin maliyetinin yüksek olması sebebiyle EPS YKDBT duvar sisteminde KYB'nin kullanılması sistemin yapım maliyetini artırmaktadır. Bu amaçla tez çalışması kapsamında EPS YKDBT duvar sistemi için istenir bir beton bileşimi tasarlandı ve bu beton bileşiminin uygunluğunun belirlenmesi için deneyler yapıldı. Bu amaçla deneysel çalışmanın ilk aşamasında EPS YKDBT duvar sistemi için çok akıcı kıvamda geleneksel beton bileşimi ve kendiliğinden yerleşen beton (KYB) bileşimi tasarlandı. Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında, EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ile KYB bileşiminin taze halde işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için tüm dünyada kabul görmüş KYB taze beton deneyleri yapıldı. Yapılan deney sonuçlarına göre EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ile KYB bileşiminin taze haldeki özellikleri kıyaslandı. Deneysel çalışmanın üçüncü aşamasında EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan EPS bağlantı köprülü kalıplar kullanılarak 1,25 m × 1,50 m boyutlarında hazırlanan 4 adet duvar numunesine tasarlanan geleneksel beton ve KYB döküldü. Beton dökümünden 21 gün sonra duvar numunelerinin yüzlerindeki EPS kalıp elemanları sökülerek, kalıp içindeki betonun boşluksuz yerleşip yerleşmediği gözlemlendi. Yüzeylerindeki EPS kalıpları sökülen duvar numuneleri farklı seviyelerinden kesilerek prizma şeklinde beton numuneler alındı. EPS kalıpları sökülen duvar elemanlardan farklı seviyelerden kesilerek alınan prizmatik numuneler üzerinde basma deneyleri ve ultrases geçiş süresi ölçümleri yapılarak, seviye farkından dolayı betonun özelliklerinde yükseklikle değişim olup olmadığı belirlenmeye çalışıldı. Deneysel çalışmanın son aşamasında EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ve KYB'nin sertleşmiş haldeki özellikleri incelendi. Sertleşmiş haldeki beton özelliklerinin incelenmesinde beton dökümü sırasında alınan silindir ve küp numuneler ile duvarlardan kesilerek alınan prizmatik numuneler kullanıldı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ile KYB bileşiminin mekaniksel özellikleri kıyaslandı. Deneysel çalışma ile ilgili ayrıntılar aşağıdaki bölümlerde yer almaktadır.

3.3.3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Agrega

EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılacak beton için önemli bir husus, en büyük agrega boyutudur. Çeper etkisi göz önüne alınarak, agrega en büyük dane büyüklüğü ($D_{en\ büyük}$), Şekil 3.9'da gövdesi boşluklu duvar sistemini (EPS bağlantı köprülü kalıp kullanılan) ve Şekil 3.10'da gövdesi dolu duvar sistemini (tel veya plastik bağlantı köprülü kalıp kullanılan) oluşturan en elverişsiz birim hücre boyutları dikkate alınarak belirlendi.

A_{EPS} = Birim hücrede EPS iç yüzey alanı

A_S = Birim hücrede donatı dış yüzey alanı

A_T = $A_{EPS} + A_S$ = Birim hücrede betonla temas eden toplam yüzey alanı

V = Birim hücre hacmi

L = Kalıp ortalama çapı, $L = \frac{V}{A_T}$

Çeper etkisi olmaması için $\frac{D}{L} \leq 0.8$ olmalıdır. Bu durumda $D_{max} \leq 0.8 L$ olmalıdır.

Gövdesi boşluklu duvar sistemi için,

$$V = (249 \cdot 250 \cdot 162) - 2(34 \cdot 95 \cdot 162) - 2(34 \cdot 61 \cdot 162)$$

$$V = 8366004 \text{ mm}^3$$

$$A_T = [4(2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 6) \cdot 250] + [2(2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 4) \cdot 249]$$

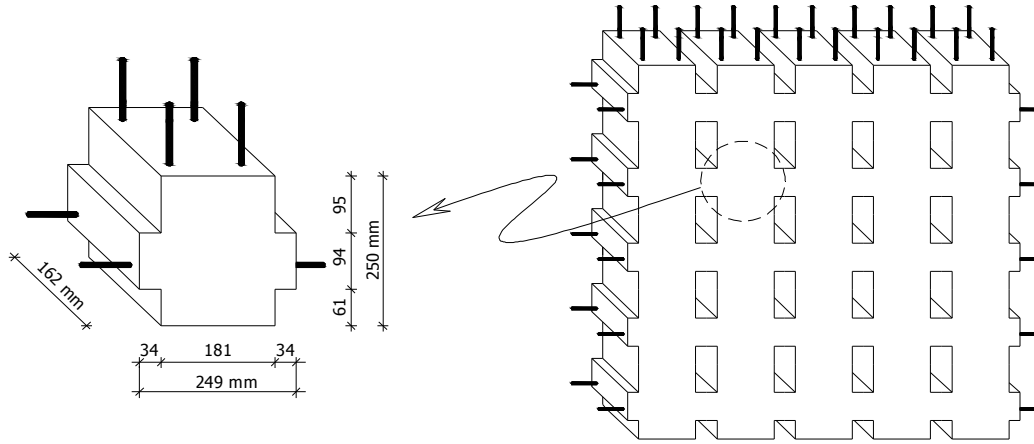
$$+ [2(181 \cdot 250) + 4(34 \cdot 94) + 4(34 \cdot 162) + 2(95 \cdot 162) + 2(61 \cdot 161)]$$

$$A_T = 226050 \text{ mm}^2$$

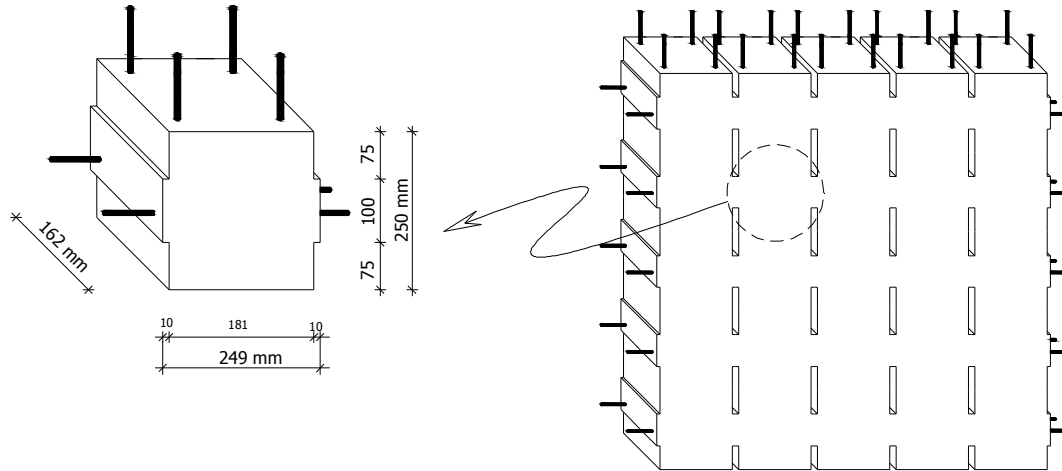
$$L = \frac{V}{A_T} \rightarrow L = \frac{8366004}{226050} \cong 37 \text{ mm}$$

$$D \leq 0.8L \rightarrow D \leq 0.8 \cdot 37 = 29.60 \text{ mm}$$

$D \leq 29,60 \text{ mm}$ olarak bulunur.



Şekil 3.9. Gövdesi Boşluklu Duvar Sistemi İçin Birim Hücre (EPS Bağlantı Köprüsü)



Şekil 3.10. Gövdesi Dolu Duvar Sistemi İçin Birim Hücre
(Plastik veya Metal Bağlantı Köprüsü)

Gövdesi dolu duvar sistemi için agrega en büyük tane büyüklüğü, D,

$$V = (249 \cdot 250 \cdot 162) - 4(75 \cdot 10 \cdot 162)$$

$$V = 9598500 \text{ mm}^3$$

$$A_T = [4(2 \cdot 3.14 \cdot 6) \cdot 250] + [2(2 \cdot 3.14 \cdot 4) \cdot 249] \\ + [2(229 \cdot 250) + 4(10 \cdot 100) + 4(10 \cdot 162) + 4(75 \cdot 162)]$$

$$A_T = 223770 \text{ mm}^2$$

$$L = \frac{V}{A_T} \rightarrow L = \frac{9598500}{223770} \cong 42,89 \text{ mm}$$

$$D \leq 0.8L \rightarrow D \leq 0.8 \cdot 42.89 = 34.32 \text{ mm}$$

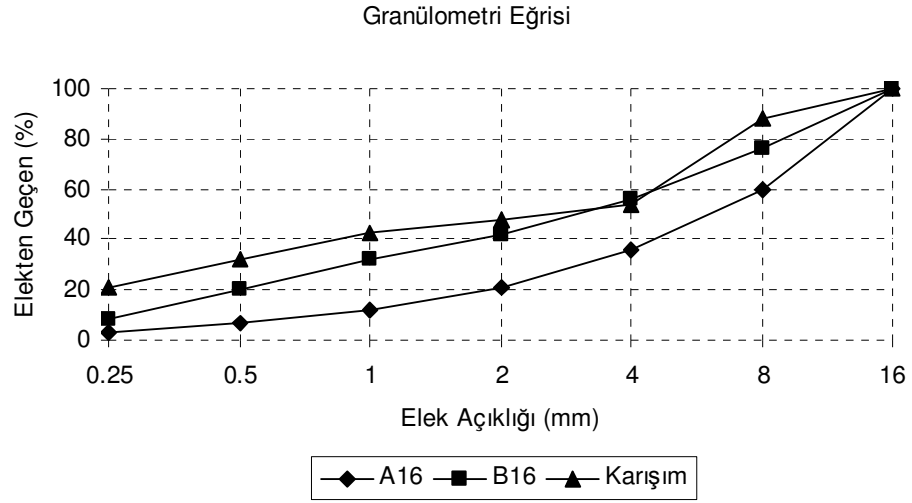
$D \leq 34.20 \text{ mm}$ olarak bulunur.

Deneysel çalışmada kullanılan doğal kum ve agreganın özellikleri Tablo 3.6'da verildi.

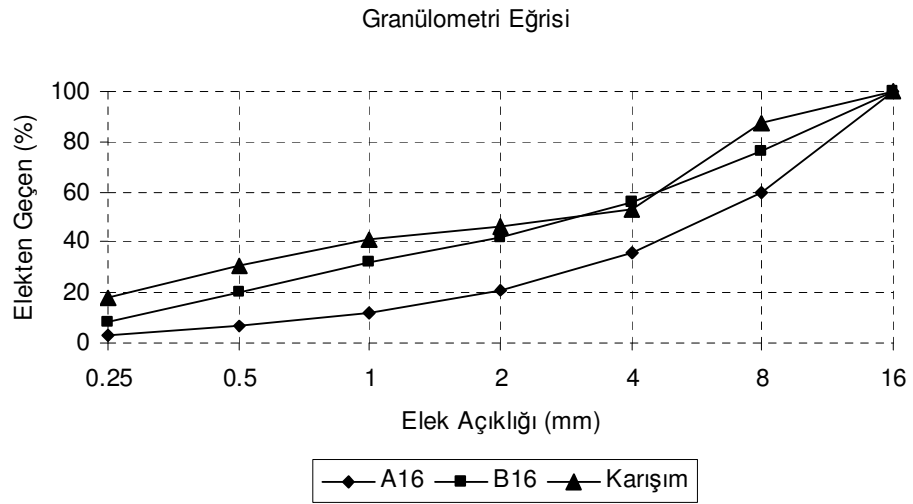
Tablo 3.6. 0–4 mm Doğal Kum ve 4–12 mm Agreganın Özellikleri

Deney Adı	0–4 mm Doğal Kum	4–12 mm İri Agregası	İlgili Standard
Suya Doygun Yüzey Kuru Tane Yoğunluğu, kg/m^3	2580	2710	TS EN 1097–6
Gevşek Birim Hacim Kütle, kg/m^3	1530	1340	TS EN 1097–3
Kütlece Su Emme, %	1,90	0,70	TS EN 1097–6
Tane Şekil Sınıfı (Yassılık İndeksi)	–	%14 (FI ₁₅)	TS EN 933–3
Kütlece İnce Madde Oranı, %	0,70 (f ₃)	–	TS 3527
Organik Madde	Renksiz	–	TS 3673
İri Agregaların Parçalanmaya Karşı Direnci -Los Angeles, %	-	20 (LA ₂₀)	TS EN 1097–2

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ve kendiliğinden yerleşen beton bileşiminde kullanılan agrega karışımına ait agrega tane büyüklüğü dağılımı eğrileri sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verildi.



Şekil 3.11. Geleneksel Beton Bileşimi Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisi



Şekil 3.12. Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşimi Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı Eğrisi

Çimento

Deneysel çalışmada Akçansa TS EN 197-1 - CEM I 42,5 R çimento kullanıldı. Kullanılan çimentonun bazı fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özellikleri Tablo 3.7’de verildi.

Tablo 3.7. Kullanılan TS EN 197-1 - CEM I 42,5 R Çimentonun Fiziksel, Kimyasal ve Mekaniksel Özellikleri

Kimyasal Bileşim		(%)
S ₁ O ₂		20,32
Al ₂ O ₃		5,59
Fe ₂ O ₃		3,09
CaO		62,50
MgO		1,74
SO ₃		2,78
Na ₂ O		0,34
K ₂ O		0,91
Kızdırma Kaybı		1,34
Çözünmeyen Kalıntı		0,56
Serbest CaO		0,93
Fiziksel Özellikler		
Priz Başlangıcı (dk)		144
Priz Sonu (dk)		209
Hacim Genleşmesi (mm)		1,0
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3,14
Özgül Yüzey (cm ² /gr)		3990
45 µm elek kalıntısı (%)		9,9
90 µm elek kalıntısı (%)		1,0
Mekaniksel Özellikler		
Basma Dayanımı		(MPa)
2 Günlük		30,3
7 Günlük		47,1
28 Günlük		59,1

Uçucu Kül ve Taş Tozu

Deneysel çalışmada üretilen beton bileşimlerinde viskozite arttırıcı toz malzeme olarak kireçtaşı tozu kullanıldı.

Karışım Suyu

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve kendiliğinden yerleşen beton üretiminde içilebilir kuyu suyu kullanıldı.

Kimyasal Katkı

Beton üretiminde kimyasal katkı olarak süperakışkanlaştırıcı kullanıldı. Beton bileşimlerinde kullanılan polinaftelan bazlı sentetik polimer esaslı CHRYSOFLUID AGA tipi süperakışkanlaştırıcının özellikleri Tablo 3.8'dedir.

Tablo 3.8. Süperakışkanlaştırıcının Özellikleri

Süperakışkanlaştırıcı			
Teknik Özellikler			
Görünüm	Sıvı	Yoğunluk	1,210 ± 0,03
Renk	Kahverengi	pH	6,0 ± 1,0
Katı Madde	% 41,0 ± % 5	Klorür İçeriği	< % 0,1
Dozaj	100 kg çimento için 1,0 kg ile 2,0 kg arasındadır. Genelde kullanma dozajı, karışım içerisindeki çimento ağırlığının %1,2'si dolayındadır.		

3.3.3.2 Karışım Oranları

Beton bileşimi TS EN 206-1'de tanımlı C30/37 beton dayanım sınıfına göre tasarlandı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşiminde ve kendiliğinden yerleşen beton bileşiminde kullanılan malzeme miktarları Tablo 3.9'da verildi.

Tablo 3.9. EPS YKDBT Duvar Sistemi için Tasarlanan Beton Bileşimleri

Bileşen	Geleneksel Beton (kg/m ³)	Kendiliğinden Yerleşen Beton (kg/m ³)
Çimento	352	370
Taş Tozu	417	330
Su	155	155
İnce Agregası	577	640
İri Agregası	788	850
Kimyasal Katkı	5,5 (%1,7)	8,0 (%2,0)
Toplam	2295	2353
Toplam Toz+Bağlayıcı	769	700
Tasarım Parametreleri		
S/Ç (Su/Çimento Oranı)	0,44	0,42
S/T (Su/Bağlayıcı Toz Oranı)	0,20	0,22

3.3.3.3 EPS YKDBT Duvar Sistemi İçin Tasarlanan Beton Bileşiminin Uygunluğunun Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

Önceki bölümlerde ifade edildiği gibi, tez çalışması kapsamında EPS YKDBT duvar sistemi için geleneksel beton bileşimi ve kendiliğinden yerleşen beton bileşimi tasarlandı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan beton bileşiminin uygunluğunun belirlenmesi için taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri yapıldı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ile KYB beton bileşiminin taze halde işlenebilirlik özellikleri, yapılan deney sonuçlarına göre kıyaslandı ve sonuçlar tablo halinde verildi. Ayrıca tez çalışması kapsamında, EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşimi ile KYB beton bileşiminin sertleşmiş halde, mekaniksel özellikleri de kıyaslandı. Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlarla ilgili açıklamalar aşağıdaki bölümlerde verildi. Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler Tablo 3.10'da verildi.

Tablo 3.10. Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Deneyler

Taze Beton Deneyleri	Sertleşmiş Beton Deneyleri
Çökme (Slump) Deneyi	Basma Deneyi
Çökmede Yayılma Deneyi	Yarmada Çekme Deneyi
V Hunisi Deneyi	Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini Deneyi
J Halkası Deneyi	Gerilme Şekil Değiştirme
L Kutusu Deneyi	Elastisite Modülü
Taze Beton Yoğunluğu Tayini Deneyi	Ultrases Geçiş Hızı
Taze Beton Hava İçeriği Tayini Deneyi	

3.3.3.3.1 Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Taze Beton Deneyleri

Çökme (Slump) Deneyi

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton üzerinde TS EN 12350-2/Nisan 2002 Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi standardı ilkelerine uygun olarak çökme deneyi yapıldı. (Resim 3.5). Duvar örnek parçaları üretiminde kullanılan akıcı-çok akıcı kıvamdaki betonlarda çökme değerleri 200 mm değerini aştığından üretilen betonların işlenebilmelerinin çökme yöntemiyle ölçülemeyeceği anlaşıldı.



Resim 3.5. Çökme (Slump) Deneyinin Yapılışı (çok akıcı olmayan kıvamda)

Çökme-Yayılma Deneyi ve Çökme Yayılmada T_{500} Süresi Deneyi

Çökme yayılma deneyi, Abrams hunisi ile yüzeyi düzgün taban levhası üzerinde yapıldı. Deney geleneksel beton ve kendiliğinden yerleşen beton (KYB) bileşimine ayrı ayrı uygulandı. Taban levhası ve Abrams hunisinin yüzeyi deney öncesinde nemlendirildi. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel betonda, KYB'ye göre yayılma miktarının daha az olduğu gözlemlendi. Akışkanlığı yüksek olan KYB çökmenin ardından yayılmaya başladı. Yayılan betonun taban levhasına önceden çizilmiş olan 500 mm çapındaki çembere ulaşma süresi kronometre ile ölçülerek kaydedildi. Betonun yayılması durduktan sonra birbirine dik olarak yayılma çapları ölçülerek, ortalaması alındı (Resim 3.6). Ayrıca deney esnasında betonda ayrışma olmadığı gözlemlendi.



Resim 3.6. Çökme Yayılma Deneyinde Yayılma Çapının Ölçülmesi

V-Hunisi Deneyi ve V-Hunisi T₅ dakika Süresi Deneyi

V-Hunisi deneyi EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB için ayrı ayrı yapıldı. V-Hunisi deneyinde V şeklindeki huni içerisine konulan taze betonun, huniden akmaya başlamasından itibaren huni üzerinden bakıldığında alttan ışık görününceye kadar geçen süre kronometre ile ölçülerek kaydedildi. Geleneksel betonda huniye doldurulan betonda akma gerçekleşmedi. Bu sebeple V-Hunisi T₅ dakika deneyi sadece KYB'ye uygulandı. V-Hunisi T₅ dakika süresi deneyinde, huni temizlenmeden huni içerisi taze beton ile tekrar dolduruldu. Betonun ikinci defa doldurulmasından 5 dakika sonra huninin kapağı açılarak, betonun huniden akmaya başlamasından itibaren huni üzerinden bakıldığında alttan ışık görününceye kadar geçen süre kronometre ile ölçülerek kaydedildi (Resim 3.7).



Resim 3.7. V-Hunisi Deneyinin Yapılışı

L-Kutusu Deneyi

L-Kutusu deneyi EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB'ye uygulandı. Deney öncesinde L-Kutusunun iç yüzeyleri nemlendirildi. Düz bir

zemin üzerine konulan L-Kutusunun düşey bölümüne beton doldurulduktan sonra kapak açılmak suretiyle betonun yatay bölüme akması sağlandı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel betonda kapak açıldıktan sonra L-Kutusunun yatay bölümünde beton akışı 600 mm mesafeye ulaşmadı. KYB’de yatay bölümdeki betonun akışının durmasından sonra L-Kutusunun başlangıç ve bitiş bölümündeki betonun yükseklikleri (H_1 ve H_2) ölçüldü. Bu yüksekliklerin birbirlerine oranlanmasıyla (H_2/H_1) betonun geçme oranı hesaplandı (Resim 3.8).



Resim 3.8. L-Kutusu Deneyinin Yapılışı

J-Halkası Deneyi

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan beton bileşimde yayılma 500 mm’ye ulaşmadığı için J-Halkası deneyi yalnızca KYB’ye uygulandı. Deney öncesinde taban levhası ve Abrams hunisinin yüzeyleri nemlendirildi. J-Halkası taban levhası üzerine konulduktan sonra, iç kısmına Abrams hunisi yerleştirilerek, huni beton ile dolduruldu. Huni kaldırıldıktan sonra beton, çökmenin ardından yayılmaya başladı. Betonun taban levhası üzerine önceden çizilmiş 500 mm’lik çaplı çembere ulaşma süresi kronometre ile ölçülerek kaydedildi. Betonun yayılması durduktan sonra birbirine dik yayılma

çapları ölçüldü ve ortalaması alındı. Deney sırasında betonda ayrışma olmadığı gözlemlendi.



Resim 3.9. J-Halkası Deneyinin Yapılışı

Taze Beton Yoğunluğunun Belirlenmesi Deneyi

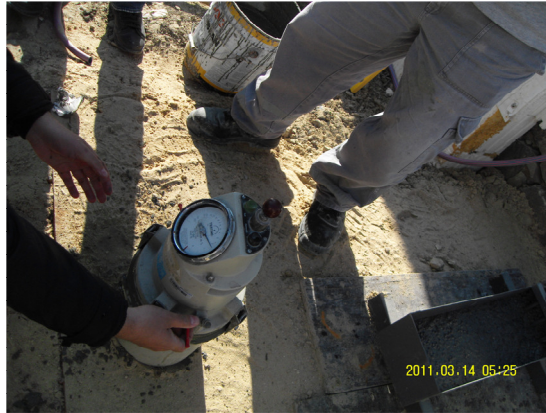
Üretilen taze betonun yoğunluğunun belirlenmesinde hacmi daha önceden belirlenmiş bir kap ve terazi kullanıldı. Deneyde 5,142 litre hacme sahip birim hacim kabı ve 5 gr hassasiyetindeki laboratuvar terazi kullanıldı. Hacmi bilinen kap düz ve düzgün bir yere konularak içerisine karıştırma işlemi tamamlanmış taze geleneksel beton bileşimi sıkıştırma işlemi yapılarak, KYB sıkıştırma işlemi yapılmaksızın dolduruldu. Geleneksel beton birim hacim kabına doldurulurken sıkıştırılmasında sarsma tablası kullanıldı. Kap yüzeyi düz kenarlı master ile sıyrılarak, beton seviyesi kap üst kenar seviyesine getirildi. Kap içerisindeki beton ile birlikte tartılarak, betonun kütlesi bulundu. Belirlenen beton kütlesi kap hacmine oranlanarak taze beton yoğunluğu geleneksel beton ve KYB için ayrı ayrı belirlendi (Resim 3.10).



Resim 3.10. Taze Betonun Yoğunluğunun Belirlenmesi

Taze Beton Hava İçeriğinin Tayini Deneyi

Taze haldeki betonun hava içeriğinin tayini deneyinde hava ölçerli birim hacim kütlesi kabı kullanıldı. Üretilen geleneksel betonun kaba yerleştirilmesinde sıkıştırma işlemi uygulandı. Üretilen KYB'nin kaba yerleştirilmesinde ise sıkıştırma işlemi uygulanmadı (Resim 3.11).



Resim 3.11. Taze Haldeki Betonun Hava İçeriğinin Ölçülmesi

3.3.3.3.2 Taze Beton Deney Sonuçları

Tez çalışması kapsamında EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB'ye uygulanan taze beton deney sonuçları Tablo 3.11'de toplu olarak görülmektedir. Taze beton deneyi yapılırken ortam sıcaklığı 16,7 °C, geleneksel beton sıcaklığı 20,9 °C ve KYB sıcaklığı ise 21,1 °C olarak ölçüldü.

Tablo 3.11. Taze Beton Deney Sonuçları

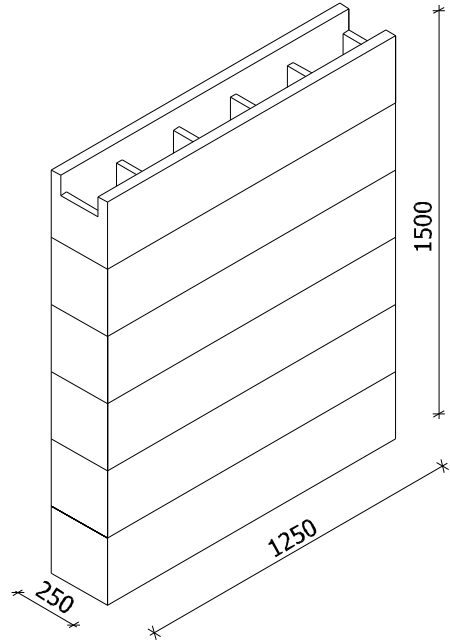
Deney Yöntemi	Geleneksel Beton	KYB
Çökme (Slump) Deneyi, mm	180	–
Çökme-Yayılmaya Deneyi, mm	270	680
Çökme-Yayılmada T ₅₀₀ Süresi Deneyi, s	Ulaşmadı	4,2
V-Hunisi Deneyi, s	Akış olmadı	7,0
V-Hunisi T _{5 dakika} Süresi Deneyi, s	Uygulanmadı	11,5
L-Kutusu Deneyi, h ₂ /h ₁ (-)	Akış olmadı	0,65
J-Halkası Deneyi, mm	Uygulanmadı	640
Hava İçeriği Deneyi, hacimce %	1,0	1,8
Birim Hacim Kütle, kg/m ³	2310	2349

EPS YKDBT duvar sisteminde duvarlar, EPS kalıpların arasında donatıların yerleştirilmesinden sonra betonun doldurulmasıyla oluşturulmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde kalıplar arasında beton dökümü sırasında ve sonrasında kalıpların şekillerini korumaları için bağlantı köprülerinin bulunması, duvar kalınlığının fazla olmaması sebebiyle betonun doldurulacağı gözlerin (boşlukların) boyutları oldukça küçüktür. Sistemde kalıp olarak EPS kullanılması betonun yerleştirilmesinde vibrasyonu sınırlamaktadır ve genellikle sistem uygulamalarında betonun yerleştirilmesi sırasında vibratör kullanılmamaktadır. Bu sebeple EPS YKDBT duvar sisteminde boşluksuz beton yerleşimi sağlanması için vibrasyon uygulamak yerine genellikle çok akıcı kıvamda beton kullanılmaktadır. Ayrıca EPS YKDBT duvar sisteminde EPS kalıplar kalıcı olup beton dökümünden sonra sökülmediklerinden dolayı kalıp içine dökülen betonun boşluksuz yerleşip yerleşmediği görülememektedir. Bu sebeple EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılacak betonun dar engeller arasından geçebilme ve boşlukları doldurma kabiliyetine sahip çok akıcı kıvamda ve yüksek ayrışma direncine sahip olması gerekmektedir.

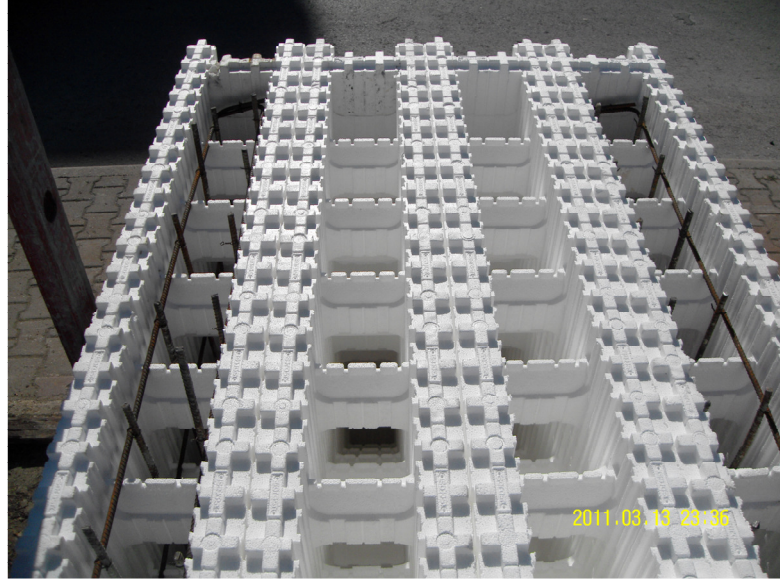
Yapılan taze beton deney sonuçlarına göre EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB'nin sistem için istenilen taze beton özelliklerin tamamını sağladığı, geleneksel betonun ise sistem için istenilen taze beton özelliklerini kısmen karşıladığı görülmektedir. Deneysel çalışmada incelenen ISORAST kalıp sisteminde uygulamada, betonun yerleştirilmesinde EPS kalıplara zarar vermeyecek özelliklere (frekansı ~12 000 devir/dak, şişe (uç) çapı ~25 mm) sahip dalıcı vibratör kullanılmaktadır. Deneysel çalışmada sistem için tasarlanan geleneksel betonun kalıplara yerleştirilmesinde vibrasyon uygulandı, KYB'nin yerleştirilmesinde ise vibrasyon uygulanmadı. Deneysel çalışmada incelenen ISORAST kalıp sisteminde KYB'nin kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığı, geleneksel betonun ise vibrasyon uygulanmadan kullanılmasının uygun olmayacağı sonucuna varıldı.

3.3.3.3 EPS YKDBT Duvar Sistemi İçin Tasarlanan Beton Bileşiminin Uygunluğunun Taşıyıcı Sistem Elemanları Üzerinde Denenmesi

Deneyisel çalışmada EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan beton bileşiminin uygunluğu, sistemi oluşturan taşıyıcı sistem elemanları (duvarlar) üzerinde denendi. Bu amaçla EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan EPS bağlantı köprülü kalıplar kullanılarak 1,25×1,50 m boyutunda dört adet duvar numunesi hazırlandı (Şekil 3.13). EPS kalıplar kullanılarak hazırlanan dört duvar numunesinin iki tanesine sistemde kullanılan yatay ve düşey donatılar yerleştirildi (Resim 3.12). Hazırlanan duvar numunelerinin iki tanesine geleneksel beton ve diğer iki tanesine de kendiliğinden yerleşen beton (KYB) döküldü (Resim 3.13). Geleneksel betonun döküldüğü iki duvar elemanın bir tanesinde yatay ve düşey donatı düzenlenirken diğerinde taşıma kancası dışında donatı düzenlenmedi. Aynı şekilde KYB'nin döküldüğü iki duvar numunesinin bir tanesinde yatay ve düşey donatı düzenlenirken diğerinde ise taşıma kancası dışında donatı düzenlenmedi. Beton dökümünden sonra duvar numunelerinin üzerleri 24 saat muşamba ile örtülerek koruma altına alındı. Beton dökümünden sonra duvar numuneleri Resim 3.14'de görülmektedir.



Şekil 3.13. Deneysel Çalışmada Kullanılan Duvar Numuneleri ve Boyutları



Resim 3.12. Deneysel Çalışmada Kullanılan Donatılı ve Donatısız Duvar Numuneleri EPS Kalıpları



Resim 3.13. Duvar Numunelerine Betonun Dökülmesi



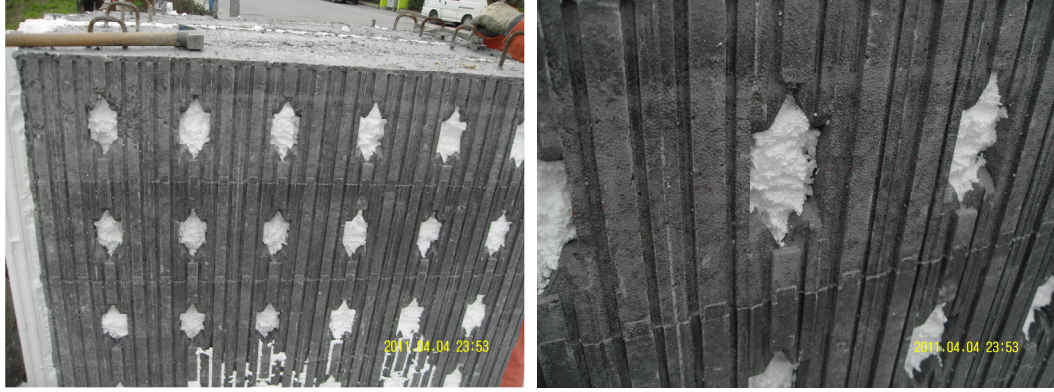
Resim 3.14. Beton Dökümünden Sonra Duvar Numuneleri

Duvar numunelerinin yüzeylerindeki EPS kalıplar, beton dökümünden 21 gün sonra kalıp içindeki betonlardaki yerleşme ve boşlukluluk durumunu görmek için söküldü (soyuldu) (Resim 3.15). EPS YKDBT duvar sisteminde EPS kalıplar kalıcı olup beton dökümü öncesinde ve sonrasında yerlerinde kalmakta böylece hem kalıp ve hem de yalıtım görevi görmektedir.



Resim 3.15. Yüzeyindeki EPS Kalıpları Soyulmuş Duvar Numuneleri

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB'nin kalıp içinde boşluksuz olarak yerleştiği gözlemlendi. Kalıplar söküldükten sonra EPS kalıplar içindeki KYB'de ayrışma olmadığı, kaba ve ince malzemenin homojen dağıldığı, iri malzemelerin dibine çökmediği gözlemlendi (Resim 3.16).



Resim 3.16. EPS Kalıp Söküldükten Sonra Kendiliğinden Yerleşen Beton Yüzeyi

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel betonun kalıp içinde çok az da olsa ayrıştığı ve boşluklu olarak yerleştiği gözlemlendi (Resim 3.17). Kalıplar söküldükten sonra geleneksel betonun döküldüğü iki duvar elemanının bir tanesinde ayrışma olduğu, kaba ve ince malzemenin duvar dibinde homojen dağılmadığı, iri malzemenin dibine çöktüğü gözlemlendi (Resim 3.18).

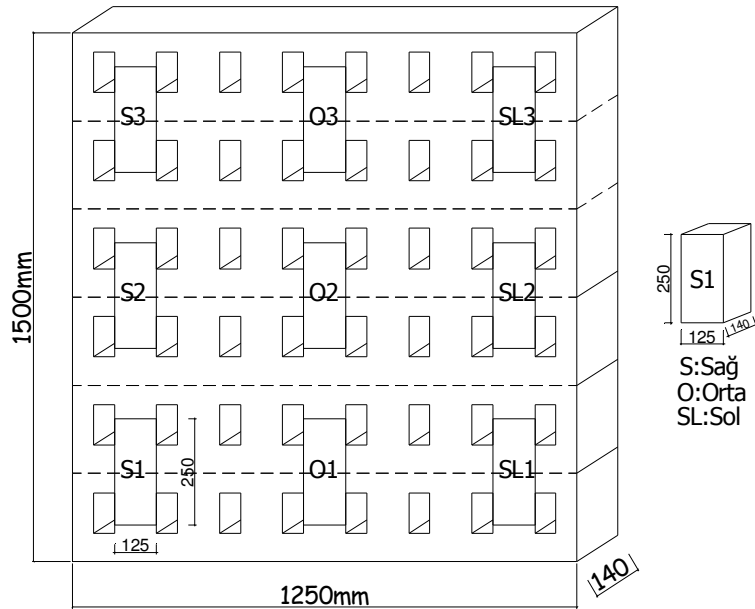


Resim 3.17. EPS Kalıp Söküldükten Sonra Geleneksel Beton Yüzeyi



Resim 3.18. EPS Kalıp Söküldükten Sonra Geleneksel Betonda Gözlenen Ayrışma

Yüzeyindeki EPS kalıpları sökülen duvar elemanlarının farklı seviyelerden kesilerek prizmatik beton numuneler alındı. Duvar kesim planı Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14. Duvar Numunelerinin Kesim Planı

Şekil 3.14’de verilen kesim planına göre duvar numuneleri hidrolik beton kesme makinesi ile kesilerek, prizmatik beton numuneler alındı (Resim 3.19, Resim 3.20, Resim 3.21).



Resim 3.19. Duvar Numunelerin Hidrolik Beton Kesme Makinesi İle Kesilmesi

Dört duvar elemanından alınan prizmatik beton numuneler isimlendirilerek deney gününe kadar kür havuzunda saklandı.



Resim 3.20. Duvar Numunelerinden Kesilerek Beton Numune Alınması



Resim 3.21. Duvar Numunelerinden Kesilerek Çıkarılmış Prizmatik Beton Numuneler

3.3.3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Taze beton deneyleri tamamlandıktan sonra EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton sarsma tablası ile sıkıştırılarak, KYB ise herhangi bir sıkıştırma veya sarsma işlemi olmaksızın 150×150×150 mm boyutlarındaki küp ve Ø150×300 mm boyutlarındaki silindir kalıplara yerleştirildi (Resim 3.22). Kalıplara yerleştirilen betonlar 24 saat boyunca kalıplarda bekletildikten sonra kalıptan çıkartılarak 20±2° C sıcaklıktaki kirece doymun su içerisinde deney gününe kadar saklandı (Resim 3.23).

Sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim kütle, ultrases geçiş süreleri, basma dayanımı, yarmada çekme dayanımı, gerilme-şekil değiştirme eğrisi, elastisite modülü belirlendi.



Resim 3.22. Silindir Numunelere Sarsma Tablası ile Sıkıştırma Uygulanması



Resim 3.23. Standard Silindir ve Küp Numuneler

Basma Deneyleri

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB'lerin 7 ve 28 günlük basma dayanımları 3000 kN kapasiteli tam otomatik beton basma deney aleti kullanılarak belirlendi (Resim 3.24). Beton basma deneyinde gerilme değişim hızı 0.60 ± 0.40 MPa/s, yükleme hızı, $150 \times 150 \times 150$ mm küp numunelerde 13 kN/s, $\text{Ø}150 \times 300$ mm boyutlu silindir numunelerde ise 10 kN/s alındı. $125 \times 140 \times 250$ mm boyutlu, duvar numunelerinden kesilerek çıkarılmış prizmatik numunelerin 28 günlük basma dayanımları belirlendi. Tüm numuneler deneyden yaklaşık 4 saat önce sudan çıkartılarak yüzey nemlerini bırakmaları sağlandı. Her beton türünde basma dayanımı 4'er adet küp numunenin basma dayanımlarının aritmetik ortalaması olarak alındı. Silindir numunelerde döküm yüzeyinin, duvar elemanlardan alınan prizmatik numunelerde ise kesim yüzeylerinin düzgün hale getirilebilmesi için epoksi esaslı Sikadur 31 harcı ile başlık yapıldı (Resim 3.25).



Resim 3.24. Beton Basma Deneyinin Yapıldığı ELE 3000 Beton Basma Deney Aleti



Resim 3.25. Başlık Yapılmış Silindir Basma Deneyi Numuneleri

Yarmada Çekme Deneyi

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB'lerin çekme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla yarmada çekme deneyi (Brezilya deneyi) yapıldı. Deney, 28 günlük 150×150×150 mm boyutlu küp ve Ø150 mm × 300 mm boyutlu silindir numuneler üzerinde özel yarma aparatıyla gerçekleştirildi (Resim 3.26). Yarmada çekme deneyinde yükleme hızı 4 kN/s alındı. Gerilme artış hızı küplerde 1.14 MPa/s, silindir numunelerde 0.057 MPa/s oldu.



Resim 3.26. Küp ve Silindir Numunelerin Yarmada Çekme Deneyinden Sonraki Görünüşleri

Yarmada çekme deneyi her farklı beton bileşimi için küp ve silindir numuneler üzerinde yapıldı. Yarmada çekme dayanımı, deney sonucu elde edilen yarılma yükünden (3.3) bağıntısı ile hesaplandı.

Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi ve Elastisite Modülü

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve KYB'nin tek eksenli basma gerilme-şekil değişirme özellikleri 28 günlük Ø150×300 mm boyutlu silindir numuneler üzerinde belirlendi. Silindir numunelerde bilgisayar kontrollü basma deneyi aletinde her yük veya gerilme değerine karşı kaydedilen boyuna kısalmalar ilk ölçü boyuna oranlanarak şekil değiştirmeler elde edildi.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.8)$$

Bağıntıda;

ε = Silindir numunenin (ölçü boyu üzerinde belirlenen) boyuna şekil değişimi

ΔL = Ölçü boyunda kısalma, mm

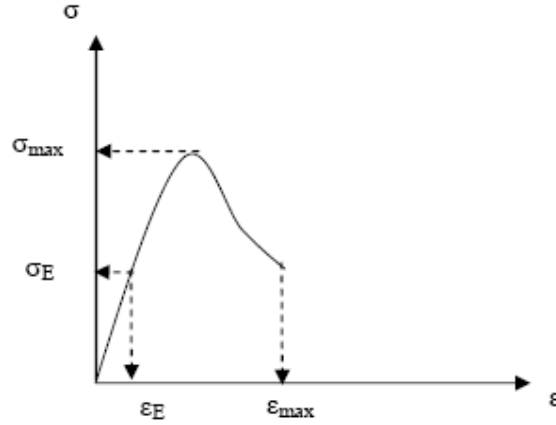
L_0 = Ölçü boyu, 145 mm

Silindir numunelerin boyuna kısaltmalarının ölçülmesinde 5000 kN'luk tam otomatik tek eksenli basma deney aleti ile bu makineye bağlı iki adet LVDT (linear variable differential transformer) kullanıldı. LVDT'lerin silindir numune üzerine bağlanmasında silindir numune şekil değişimi çerçevesi kullanıldı (Resim 3.27).



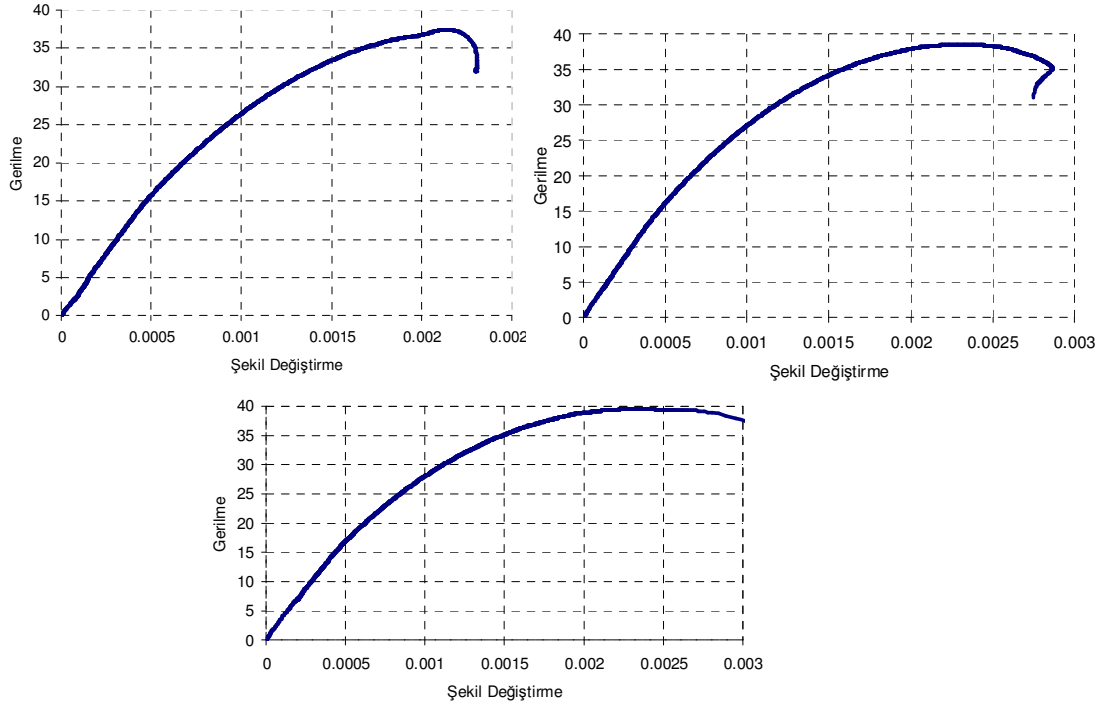
Resim 3.27. Silindir Numunelerde Gerilme Şekil Değişimi Ölçme Düzenegi

Üzerine çerçeve monte edilen silindir numuneler basma deney aletinde 0.60 ± 0.40 MPa/s yükleme hızı ile yüklendi. Silindir numunelere uygulanan gerilmelere karşılık şekil değişimleri kaydedildi ve gerilme-şekil değişimi ilişkileri elde edildi.

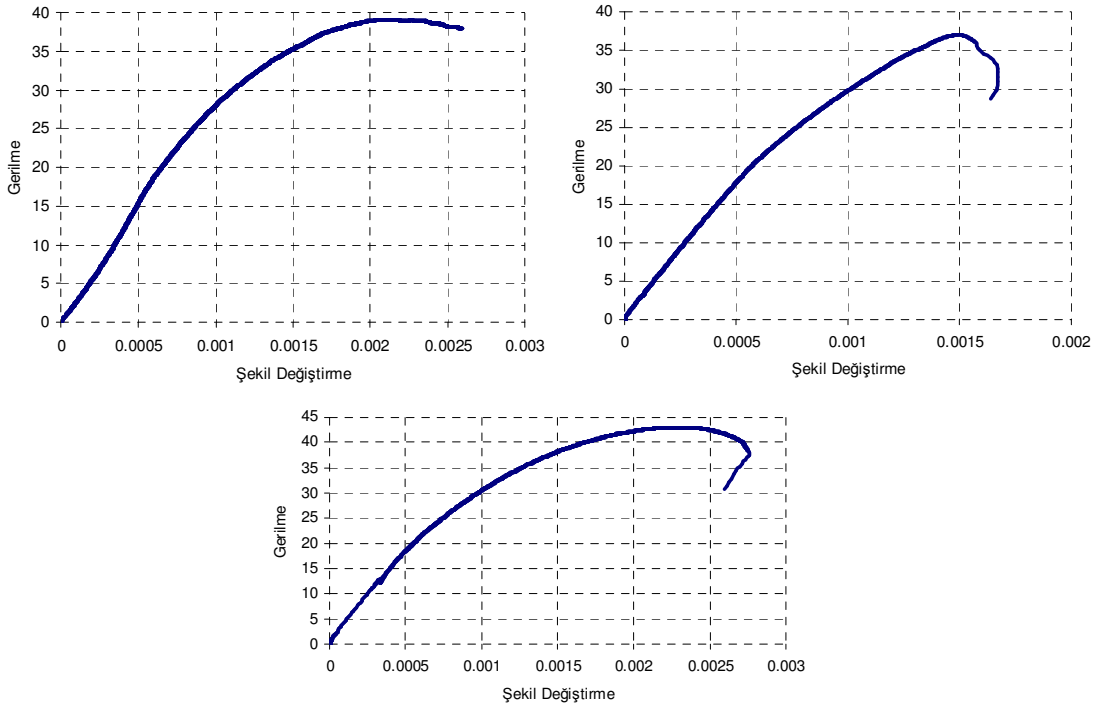


Şekil 3.15. Beton Gerilme Şekil Değişirme Diyagramı

Betonun elastisite modülü “TS 3502/ Mart 1981 Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini” ilkelerine göre, beton gerilme şekil değişirme eğrisinin belirli bir bölümü üzerinde, ortalama $\frac{\partial\sigma}{\partial\epsilon}$ (veya $\Delta\sigma/\Delta\epsilon$) değeri olarak en küçük kareler yöntemiyle belirlendi. Üzerinde elastisite modülü belirlenecek bölümün başlangıcı, gerilme şekil değişirme eğrisi üzerinde 50×10^{-6} ($50 \mu D$) şekil değiştirmeye, bu çalışmada üretilen geleneksel beton için yaklaşık 1.73 MPa gerilme veya 3.05 kN yüke, KYB için yaklaşık 1.82 MPa gerilme veya 3.22 kN yüke tekabül eden nokta, üst sınırı da en yüksek gerilmenin %40’ına (bu çalışmada üretilen geleneksel ve KYB için sırasıyla 16 MPa ve 19 MPa gerilme veya 282 kN, ve 336 kN yüke) karşılık gelen değerleri olarak alındı. Bu sınırlar arasında aynı yük altında elde edilen şekil değiştirmelerin farkı %5’ten az oluncaya kadar tekrarlı yükleme yapıldı. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton ve kendiliğinden yerleşen beton için elde edilen (veri kaydedici tarafından bilgisayara kaydedilen) gerilme-şekil değişirme verileri kullanılarak elastisite modülleri hesaplandı (Şekil 3.16).



a) Geleneksel Beton Numunelerinin Gerilme Şekil Değişirme Diyagramları



b) Kendiliğinden Yerleşen Beton Numunelerinin Gerilme Şekil Değişirme Diyagramları

Şekil 3.16. Beton Numunelerin Gerilme Şekil Değişirme Diyagramları

Ultrases Geçiş Hızı

EPS YKDBT duvar sistemini oluşturan duvar elemanlarından kesilerek alınan 125×140×250 mm boyutlu 28 günlük prizmatik numuneler üzerinde ultrases geçiş süreleri ölçüldü. Ölçülen geçiş süreleri kullanarak (3.7) bağıntısıyla beton numunelerin ultrases geçiş hızları belirlendi. Sonuçlar Tablo 3.18’de verildi.

Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini

Beton yoğunluğunun belirlenmesinde 150×150×150 mm boyutlu küp numuneler kullanıldı. Küp numunelerin kütleleri %0,1 doğrulukla tartılarak belirlendi. Küp numunelerin hacimleri, EN 12390-1’e göre numunelerde yapılan boyut ölçümleri kullanarak m³ cinsinden hesaplandı. Beton numunelerin yoğunlukları (3.4) bağıntısı kullanarak hesaplandı.

3.3.3.3.5 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Deneyisel çalışmada küp, silindir ve prizmatik beton numuneleri üzerinde yapılan sertleşmiş beton deney sonuçları tablolar halinde verildi.

Tablo 3.12. Küp Numune Beton Basma Deney Sonuçları ve Birim Hacim Kütleleri

Numune Adı	Basmada Kırılma Yüğü, kN		Boyutlar, mm			Basma Dayanımı, f_{ci} , N/mm ²	Birim Hacim Kütle, kg/m ³
	7 günlük	28 günlük	En	Boy	Yükseklik		
GK04	832,4	-	150	150	151	37,00	2311,6
GK07	846,5	-	150	150	151	37,62	2323,5
Ortalama	839,5					37,31	2317,6
GK01	-	986,2	150	150	150	43,83	2343,1
GK02	-	973,7	150	150	151	43,28	2335,2
GK05	-	975,3	150	150	150	43,35	2334,5
GK06	-	969,9	150	150	150	43,11	2318,1
Ortalama		976,3				43,39	2332,7
KK02	989,7	-	150	150	150	43,99	2340,2
KK09	967,5	-	150	150	150	43,00	2349,7
Ortalama	978,6					43,50	2345,0
KK01	-	1061	150	150	150	47,15	2341,6
KK05	-	1103	150	150	150	49,02	2340,7
KK06	-	1101	150	150	150	48,93	2336,5
KK07	-	1100	150	150	150	48,89	2351,9
Ortalama		1091,3				48,50	2342,7

Deney sonuçlarının verildiği tablolarda, GK geleneksel beton küp numuneyi, KK kendiliğinden yerleşen beton küp numuneyi, GS geleneksel beton silindir numuneyi, KS kendiliğinden yerleşen beton silindir numuneyi ifade etmektedir.

Tablo 3.13. Silindir Numune Beton Basma Deneyi Sonuçları

Numune Adı	Basmada Kırılma Yüğü, kN	Boyutlar, mm		Basma Dayanımı, f_{ci} , N/mm ²
	28 günlük	Çap	Yükseklik	
GS01	735,9	150	300	41,64
GS03	704,5	150	300	39,87
GS05	675,6	150	300	38,23
Ortalama	705,3			39,91
KS02	824,2	150	300	46,64
KS04	841,3	150	300	47,61
KS05	854,2	150	300	48,34
Ortalama	839,9			47,53

Tablo 3.14. Küp Numune Yarmada Çekme Deneyi Sonuçları ve Birim Hacim Kütleleri

Numune Adı	Yarmada Kırılma Yüğü, kN	Boyutlar, mm			Yarmada Çekme Dayanımı, f_{ct} , N/mm ²	Birim Hacim Kütle, kg/m ³
		En	Boy	Yükseklik		
GK08	110,0	150	150	151	3,09	2326,1
GK10	133,8	150	150	150	3,79	2338,7
Ortalama	121,9				3,44	2332,4
KK04	147,2	150	150	151	4,14	2328,9
KK10	132,8	150	150	151	3,73	2350,3
Ortalama	140,0				3,94	2339,6

Tablo 3.15. Silindir Numune Yarmada Çekme Deneyi Sonuçları

Numune Adı	Yarmada Kırılma Yüğü, kN	Boyutlar, mm		Yarmada Çekme Dayanımı f_{cti} , N/mm ²
		En	Boy	
GS08	278,0	150	300	3,93
GS09	283,0	150	300	4,00
Ortalama	280,5			3,97
KS09	260,0	150	300	3,68
KS10	232,0	150	300	3,28
Ortalama	246,0			3,48

Tablo 3.16. Silindir Numune Elastisite Modülleri

Numune Adı	Basma Dayanımı f_{ci} , N/mm ²	Boyutlar, mm		Elastisite Modülü, N/mm ²
		Çap	Yükseklik	
GS02	38,54	150	300	33726
GS04	37,39	150	300	32250
GS04	39,56	150	300	35173
Ortalama	38,50			33716,3
KS01	37,04	150	300	37019
KS03	42,98	150	300	38229
KS06	39,06	150	300	29430
Ortalama	39,69			34892,7

Tablo 3.17. Duvar Örneklerinden Kesilerek Elde Edilen Prizmatik Numunelerin Basma Dayanımı Deney Sonuçları

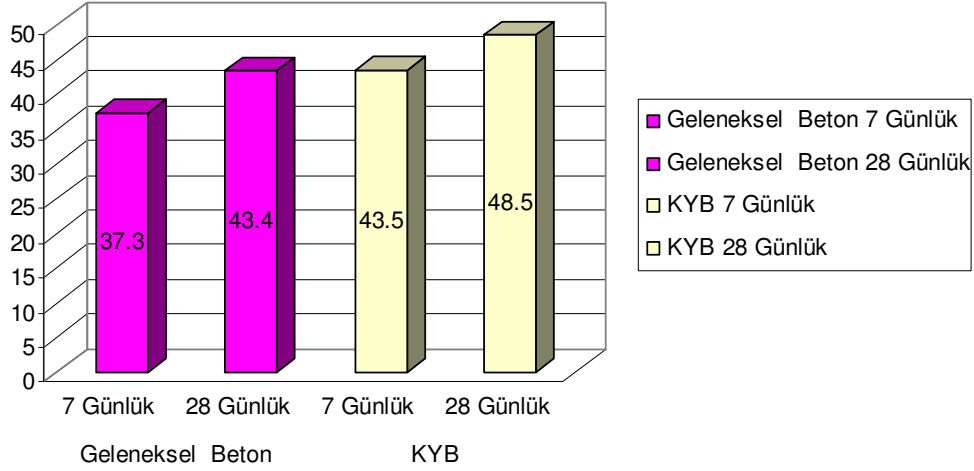
Numune Adı	Basmada Kırılma Yüğü, kN	Boyutlar, mm			Basma Dayanımı, f_{ci} , N/mm ²	Ortalama Basma Dayanımı, N/mm ²
		En	Boy	Yükseklik		
GS1	639,0	123,0	130	255	39,96	39,69
GO1	607,1	118,0	130	252	39,58	
GSL1	634,9	123,5	130	255	39,54	
GS2	604,2	119,5	130	248	38,89	39,20
GO2	620,4	119,5	130	250	39,94	
GSL2	619,9	123,0	130	248	38,77	
GS3	602,0	122,0	130	240	37,96	39,00
GO3	633,8	121,5	130	244	40,13	
GSL3	592,0	117,0	130	246	38,92	
Ortalama	617,0				39,30	39,30
KS1	626,7	117,0	130	252	41,20	39,82
KO1	591,2	116,0	130	250	39,20	
KSL1	637,4	125,5	130	251	39,07	
KS2	635,4	120,5	130	250	40,56	40,20
KO2	598,3	116,0	130	251	39,68	
KSL2	655,7	125,0	130	252	40,35	
KS3	642,1	124,5	130	255	39,67	39,37
KO3	560,3	117,0	130	258	36,84	
KSL3	654,2	121,0	130	257	41,60	
Ortalama	622,4				39,80	39,80

Tablo 3.18. Duvar Örneklerinden Kesilerek Elde Edilen Prizmatik Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

Numune Adı	Boyutlar, mm		Enine Ultrases Geçiş Süresi, μ s	Boyuna Ultrases Geçiş Süresi, μ s	Enine Ultrases Hızı, km/s		Boyuna Ultrases Hızı, km/s	
	En	Boy			Değer	Ortalama	Değer	Ortalama
GS1	123,0	255	26,5	59,0	4,64		4,32	
GO1	118,0	252	25,6	57,2	4,61	4,61	4,41	4,36
GSL1	123,5	255	27,1	58,6	4,58		4,35	
GS2	119,5	248	26,5	59,6	4,51		4,16	
GO2	119,5	250	26,5	57,4	4,51	4,50	4,36	4,28
GSL2	123,0	248	27,4	57,4	4,49		4,32	
GS3	122,0	240	26,4	54,4	4,62		4,41	
GO3	121,5	244	27,0	56,5	4,50	4,52	4,32	4,34
GSL3	117,0	246	26,4	57,2	4,43		4,30	
Ortalama					4,54	4,54	4,33	4,33
KS1	117,0	252	24,8	54,8	4,72		4,59	
KO1	116,0	250	25,3	56,1	4,58	4,73	4,46	4,52
KSL1	125,5	251	25,6	55,8	4,90		4,50	
KS2	120,5	250	25,7	55,6	4,69		4,50	
KO2	116,0	251	25,1	58,9	4,62	4,68	4,26	4,36
KSL2	125,0	252	26,5	58,2	4,72		4,33	
KS3	124,5	255	26,6	57,1	4,68		4,47	
KO3	117,0	258	24,9	59,0	4,69	4,60	4,37	4,41
KSL3	121,0	257	27,3	58,4	4,43		4,40	
Ortalama					4,67	4,67	4,43	4,43

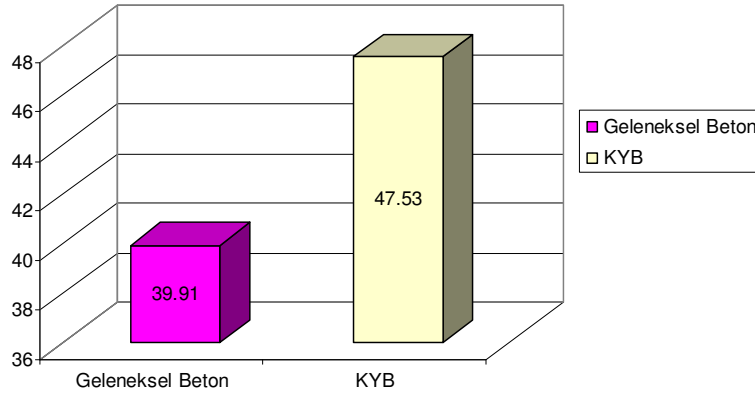
Küp numuneler üzerinde yapılan basma deneyi sonuçları TS 500/ Şubat 2000 ve TS EN 206-1’de beton basınç uygunluk kriterleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde, EPS YKDBT duvar sistemi için deneysel çalışmada hedeflenen C30/37 beton dayanımının sağlandığı görülmektedir (Tablo 3.12). EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB’nin ortalama basma dayanımı, sistem için tasarlanan geleneksel

betonun ortalama basma dayanımından %12 daha büyüktür. Geleneksel beton 7 günlük ortalama basma dayanımı, 28 günlük ortalama basma dayanımının %86'sı, KYB 7 günlük basma dayanımı ise 28 günlük basma dayanımının %90'ı kadardır (Şekil 3.17).



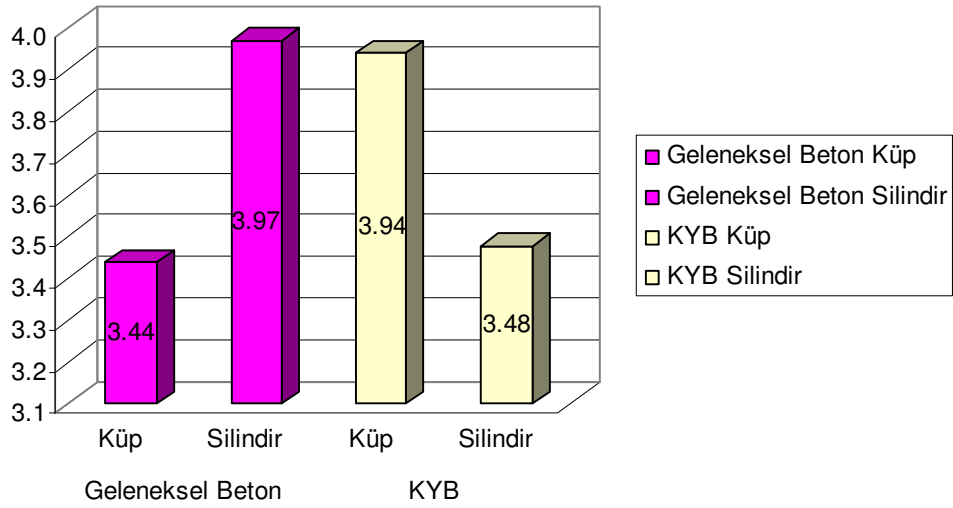
Şekil 3.17. Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Küp Basma Dayanımları

Silindir numuneler üzerinde yapılan silindir basma deney sonuçlarına göre EPS YKDBT duvar sistemi için hedeflenen karakteristik basma dayanımının sağlandığı görülmektedir. EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB ortalama silindir basma dayanımı, sistem için tasarlanan geleneksel beton basma dayanımından %11 daha büyüktür (Tablo 3.13).



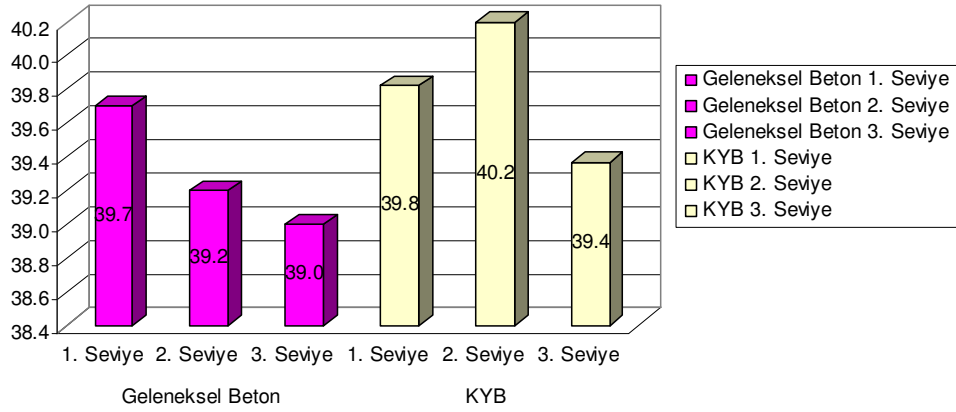
Şekil 3.18. Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Silindir Basma Dayanımları

Küp numuneler üzerinde yarmada çekme deney sonuçlarına göre EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan KYB'nin ortalama yarmada çekme dayanımı geleneksel beton ortalama yarmada çekme dayanımından yaklaşık olarak %15 daha büyüktür (Tablo 3.14). Silindir numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarına göre geleneksel betonun ortalama yarmada çekme dayanımı KYB'nin ortalama yarmada çekme dayanımından yaklaşık olarak %14 daha büyüktür (Tablo 3.15). EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan her iki beton bileşimi de standarda verilen uygunluk kriterlerini sağlamaktadır (Şekil 3.19).



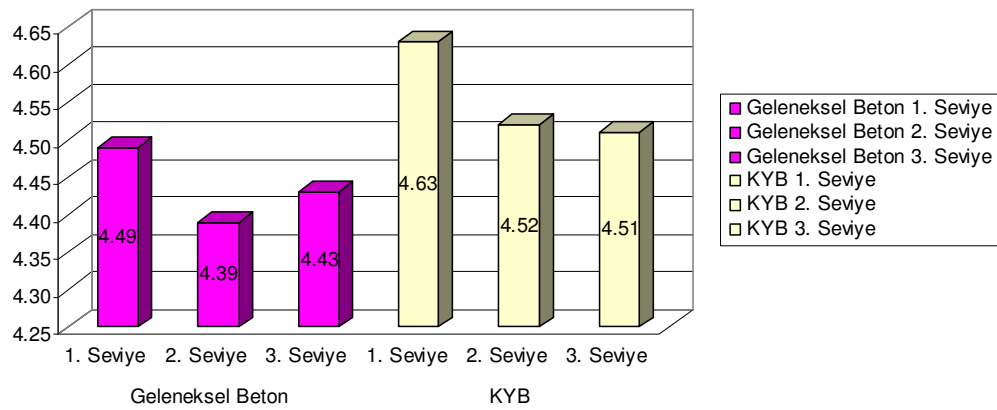
Şekil 3.19. Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Yarmada Çekme Dayanımları

EPS YKDBT duvar sistemi için tasarlanan geleneksel beton bileşiminin uygunluğunu belirlemek amacıyla üretilen duvar elemanlarından üç farklı seviyeden kesilerek alınan prizmatik numuneler üzerinde yapılan gözlem ve basma deney sonuçlarına göre beton dökümü sırasında farklı seviyelerdeki beton bileşiminde bozulma, ayrışma veya topaklanma oluşmadığı söylenebilir. KYB ve geleneksel beton için farklı seviyelerden alınan prizmatik numuneler üzerinde yapılan basma deney sonuçlarındaki sapmalar ihmal edilebilir düzeydedir (Tablo 3.17).



Şekil 3.20. Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Farklı Duvar Seviyelerinde Beton Basma Dayanımları

Duvar numunelerinden alınan prizmatik numuneler üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına göre KYB’de ortalama ultrases geçiş hızı süresi, geleneksel beton ortalama ultrases geçiş hızı süresinden fazladır. Deneme amaçlı olarak üretilen duvar elemanlarında EPS kalıplar söküldükten sonra ve kesilen numunelerde yapılan gözlemlerde geleneksel betonun KYB’ye göre boşluklu olarak yerleştiği gözlemlendiğinden, KYB’de ultrases geçiş hızının geleneksel betonunkinden fazla olması beklenen bir durumdur. Deneme amaçlı olarak üretilen duvar elemanlarından farklı seviyelerden kesilerek alınan prizmatik numunelerin ultrases hızlarındaki dağılımlar ortalamaların istatistiksel bakımdan birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı olmadığını göstermekte olup, EPS kalıpların ve donatı çubuklarının arasına betonun yerleşiminden dolayı herhangi bir sorun oluşmadığı söylenebilir (Tablo 3.18).



Şekil 3.21. Geleneksel Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Ultrases Okumaları

4. BÖLÜM

EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI (EPS YKDBT) DUVAR SİSTEMİNİN ISIL PERFORMANSI

4.1 GENEL BİLGİLER

Binalarda ısı yalıtımı mevsim şartlarına göre içi ısıtılan veya soğutulan binanın dış kabuğundan ısı enerjinin havalandırma (ventilation) veya (duvar malzemesi, sıva, ısı köprüleri ve ısı yalıtım katmanı içerisinden) cidarlarda taşınım ve iletim (convection and conduction) yoluyla geçişini sınırlandırarak ısı ekonomisi, nemsel ve ısı (higrotermal) konfor sağlamak amacıyla yapılır. Nemsel ve ısı konfor, kullanıcıların sağlıklı ve üretken olmaları için gerekli olan nemsel ve ısı şartların sağlanmasıdır. Nemsel ve ısı konforun sağlanması ve bu amaçla daha az enerji tüketiminin gerekli olması ise, sistemin ısı performansının uygunluğunun ölçüsüdür. Bina dış kabuğunda ısı yalıtımı iletim yoluyla ısı geçişinin sınırlandırılmasında en önemli etkindir.

Binalarda kış konforu ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda hesap kolaylığı açısından ve sonuçların kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı düşünülerek, ısı iletimi ile ilgili büyüklükler sabit rejim şartlarında hesaplanmaktadır. Sabit rejim, sabit iç ve dış sıcaklıklar etkisinde meydana gelen ısı iletimidir, herhangi iki eşit zaman aralığında iletilen ısı enerjisi miktarı aynıdır. Sabit rejim şartlarında sadece elemanın ısı iletimine karşı gösterebildiği ısı direnç önemlidir. Bu direnç, elemanı oluşturan katmanlardaki malzemelerin ısı iletkenlik (λ) ve katman kalınlıklarından (d) faydalanılarak bulunur. Her katmanın ısı direnci d/λ ile hesaplanır ve bunların toplamları elemanın sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki toplam ısı direncini verir. Katmanların sıralanmasının, elemanın ısı davranışı üzerine bir etkisi yoktur. Sabit rejimde sadece elemandan iletilen ısı enerjisi miktarı ve kesit sıcaklıkları hesaplanır.

Binalarda yaz konforu için sabit rejim şartlarının kullanılması yaz mevsiminde yapı elemanlarını büyük ölçüde etkileyen güneş ışınlarının yoğun enerjisi ve bu enerjinin 24 saatlik periyotlarla değişmesi sebebiyle mümkün değildir. Değişken rejim,

değişken sıcaklıklar etkisi altında meydana gelir. Herhangi iki eşit zaman aralığında iletilen ısı enerjisi miktarı farklıdır. Değişken rejim şartlarında, elemanın ısı iletkenliği veya direncinin yanında, elemandan ısının geçiş hızı ve elemanda ısının depolanabilme kapasitesi, özgül ısıları ve yoğunlukları da önemli etkindir. Ayrıca değişken rejim şartlarında, elemanın ısı davranışı üzerinde, katmanların sıralanışı da etkilidir. Bu rejimde ısı iletimi miktarı ve kesit sıcaklıklarının yanında, ortam ve/veya yüzey sıcaklıklarının değişim genliklerinin oranı (sönüm oranı) ve dış sıcaklığın iç ortamı etkilemesi için geçen süre (faz kayması) de hesaplanır. Binalar için değişken şartlardaki ısı iletimi, değişken rejimin özel hali olan, sıcaklığın sinüzoidal değişim gösterdiği periyodik rejim şartlarında incelenmektedir.

Çalışma kapsamında EPS YKDBT duvar sisteminin ısı performansını kış ve yaz şartları için ayrı ayrı değerlendirildi. Geleneksel yapı sistemlerinin (dışarıdan yalıtımlı, içeriden yalıtımlı ve çift duvar arası yalıtımlı vb.) yalıtılması durumu ile EPS YKDBT duvar sistemi, kış ve yaz performansı açısından karşılaştırıldı. EPS YKDBT duvar sistemi ve geleneksel yapı sistemlerinin kış şartları için ısı performansını "TS 825 - Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardına ve yaz şartları için ısı performansını "ISO 13786 - Thermal Performance of Building Components - Dynamic Thermal Characteristics - Calculation Methods" standardına göre değerlendirildi.

Aşağıdaki bölümlerde TS 825 ve ISO 13786'da verilen tanım ve tarifler ile birlikte hesap yöntemi kısaca özetlendi.

4.2 KIŞ KONFORU VE TS 825

Türkiye’de binaların kış konforu ile ilgili olan Türk Standardı TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları"’dır. Kış konforu için binalarda ısı yalıtımı uygulayarak ısı kaybının azaltılması ve iç yüzey sıcaklıklarının yükseltilmesi genel anlamda yeterli olmaktadır. TS 825 standardı, binalarda ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek yıllık ısıtma enerjisinin sınırlandırılmasına dairdir.

TS 825 standardında tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q_{yıl}$) ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısı performansının gerçeğe yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca tasarımcıya, önerdiği tasarımın güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme imkânı sağlayacaktır.

Hesap metodu aşağıda ayrıntılı olarak açıklandı.

$Q_{yıl}$ ve Q_{ay} değerleri (1) ve (2) nolu bağıntılarla hesaplanır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (1)$$

$$Q_{yıl} = \left[H \times (\theta_{i,ay} - \theta_{s,ay}) - \eta_{ay} \times (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) \right] \times t \quad (2)$$

$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, Joule/yıl

Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı, Joule/ay

H : Binanın özgül ısı kaybı, W/K

$\theta_{i,ay}$: Aylık ortalama iç sıcaklık, °C

$\theta_{s,ay}$: Aylık ortalama dış sıcaklık, °C

$\Phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar, W

$\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı, W

η_{ay} : Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü (birimsiz)

t : Zaman, (1 ay = 86400×30 s), s

$Q_{yıl}$ ve Q_{ay} değerlerinin hesaplanması için gerekli olan binanın özgül ısı kaybı, H , (3) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$H = H_T + H_v \quad (3)$$

H_T : İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, W/K

H_v : Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, W/K

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (H_T), ısı köprüleri nedeniyle gerçekleşen kayıplar ile diğer yüzeylerden gerçekleşen ısı kayıplarının toplamıdır ve (4) nolu eşitlikle hesaplanır.

$$H_T = \sum A \cdot U + \sum \ell \cdot U_\ell \quad (4)$$

A : Yapı elemanının alanı, m^2

U : Yapı elemanının ısı geçirgenliği, $W/(m^2 \cdot K)$

ℓ : Isı köprüsünün uzunluğu, m

U_ℓ : Isı köprüsünün doğrusal geçirgenliği, $W/(m \cdot K)$

Isı köprüsü, bitişik yüzeye göre bileşimi değişik, ısı kaybı binanın ortalama ısı kaybından daha yüksek ve kışın kararlı durum için iç yüzey sıcaklığının daha düşük olduğu bölümdür. Isı köprüsünün doğrusal ısı geçirgenliği (U_ℓ), ısı köprüsünün U değerinin ısı köprüsünün genişliği ile çarpımına ξ faktörünün eklenmesi ile (5) nolu bağıntı ile hesaplanabilir. (4) ve (5) nolu bağıntılarda görüldüğü üzere, ısı köprüsü ile ilgili hesaplamalarda yüzeye dik doğrultudaki bir boyutlu ısı iletimine ilave olarak yanal kayıplar da dikkate alınmaktadır.

$$U_\ell = b \cdot U_{\ell k} + \xi \quad (5)$$

Burada;

b : Isı köprüsü genişliği, m

$U_{\ell k}$: Isı köprüsünün U değeri, $W/(m^2 \cdot K)$

ξ : Isı köprüsüne bağlı bir faktör (birimsiz)

$\sum A \cdot U$ değeri ile, iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 1°C iken, homojen tabakalı düzlem kesitlere sahip elemanların yüzeyine dik doğrultudaki bir boyutlu ısı iletiminden kaynaklanan toplam ısı kayıpları belirlenmektedir. Bu toplamın içindeki terimler (6) nolu eşitlikte açık olarak gösterildi.

$$\sum A \cdot U = A_D \cdot U_D + A_P \cdot U_P + 0,8A_T \cdot U_T + 0,5A_t \cdot U_t + A_d \cdot U_d + 0,5A_{ds} \cdot U_{ds} \quad (6)$$

Burada D, P, T, t, d, ds indisleri sırasıyla duvar, pencere, tavan (çatı), zemin (taban), dışa açık döşeme (çıkma) ve düşük sıcaklıktaki mekânları ayıran elemanları göstermektedir. Çatı döşemesi doğrudan dış hava ile temas ediyorsa, eşitlikte yer alan U_T 'nin önündeki "0,8" katsayısı "1,0" olarak alınır.

H değerinin belirlenebilmesi için H_v değerinin de belirlenmesi gerekir. Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (H_v), (7) ve (8) nolu bağıntılar ile bulunur.

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V^1 \quad (7)$$

Doğal havalandırma durumunda

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V^1 = \rho \cdot c \cdot n_h \cdot V_h = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (8)$$

ρ : Havanın birim hacim kütlesi, kg/m^3

c : Havanın özgül ısısı, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

V^1 : Hacimce hava değişim debisi, m^3/h

n_h : Hava değişim katsayısı, h^{-1}

V_h : Havalandırılan hacim ($V_h = 0,8 \cdot V_{\text{brüt}}$), m^3

$V_{\text{brüt}}$: Dış ölçülerle brüt hacim, m^3

0,33 birimsiz bir katsayı değildir. Havanın birim hacim kütlesi ile özgül ısısının çarpılıp saat birimine getirilmesi ile elde edilir.

Doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında havalandırma sayısı " n_h " değeri $0,8 \text{ h}^{-1}$ olarak alınır. Binalarda

mekaniksel havalandırma uygulanıyorsa, TS 825’de verilen bağıntılar yardımıyla mekaniksel havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanır.

Buraya kadar yapılan hesaplamalar binanın toplam ısı kaybının belirlenmesi içindir. Yalıtımlı binalarda, iç kazançlar ve dolaysız güneş enerjisinden elde edilen kazançlar, ısı kayıplarının önemli bir bölümünü karşılar. Dolayısı ile ısıtma sisteminden sağlanması gereken net kazancı belirlerken, toplam kayıplardan bu kazançların çıkartılması gerekir. Kazançların hesaplanması ve takip edilmesi gereken işlemler aşağıda açıklandı.

Aylık ortalama iç kazançlar $\Phi_{i,ay}$, sabit kabul edilir ve (9) nolu bağıntı ile hesaplanır. Burada önemli olan binanın kullanım amacıdır. Normal donanımlı binalarda (konut, okul vb.) iç kazançlar 5 W/m^2 kabul edilir. Sadece yapay aydınlatma yapılan binalar, yemek fabrikaları vb. yoğun enerji üretimi olan binalarda ise 10 W/m^2 alınması gerekir.

$$\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n \quad (\text{Konutlarda})$$

$$\Phi_{i,ay} \leq 10 \cdot A_n \quad (\text{Yemek fabrikası vb. yoğun enerji üretimi olan binalar}) \quad (9)$$

$$A_n : \text{Binanın net kullanım alanı, m}^2$$

$$A_n = 0,32 \cdot V_{\text{brüt}} \quad (10)$$

Diğer bir doğal kazanç, yukarıda belirtildiği gibi dolaysız güneş enerjisi kazancının aylık ortalama değeridir. Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\Phi_{s,ay}$), (11) nolu bağıntı ile hesaplanır.

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \cdot g_{i,ay} \cdot I_{i,ay} \cdot A_i \quad (11)$$

$$A_i : i \text{ yönündeki toplam pencere alanı, m}^2$$

$$I_{i,ay} : i \text{ yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti, W/m}^2$$

$$g_{i,ay} : i \text{ yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü (birimsiz)}$$

$$r_{i,ay} : i \text{ yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü (birimsiz)}$$

“i” yönündeki saydam elemanların aylık ortalama güneş enerjisi geçirme faktörü $g_{i,ay}$, laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışınlar için güneş enerjisi geçirme faktörü g_{\perp} ’nün %80’i alınarak hesaplanır.

$$g_{i,ay} = 0,80 \cdot g_{\perp} \quad (12)$$

TS 825, “i” ve “g” değerlerinin aylar arasında veya yönler arasında değişebileceğini kabul etmektedir. Ancak gerçek şartlara uygun olduğunda, sabit alınmasında bir mahzur yoktur. Bu değerler için üç farklı durum tanımlanmıştır. “ $r_{i,ay}$ ”, ayırık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için 0,80, ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmeye maruz kalan yerleşim bölgelerinde ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu bölgelerde 0,60, bitişik nizam ve/veya çok katlı (10 kattan daha yüksek) binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için 0,50 olarak verilmektedir. “ g_{\perp} ” ise, renksiz tek cam için 0,85, renksiz yalıtım camı için 0,75, ısı geçirgenlik değeri $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ’den küçük olan ısı yalıtım birimleri için 0,50 olarak verilmektedir. (11) nolu bağıntıdaki “I” değeri, iklim bölgesinden bağımsız kabul edilmiş ve sadece yönlere bağlı olarak TS 825’de tablo halinde verilmiştir.

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrol sistemi mükemmel değildir ve yapı elemanlarının bünyesinde bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağlı büyüklüğüne ve binanın ısıl kütesine bağlıdır.

Aylık ortalama iç kazanç kullanım faktörü, (13) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (13)$$

KKO_{ay} : Kazanç/kayıp oranı

Kazanç/kayıp oranı (14) nolu bağıntıyla hesaplanır.

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H \cdot (\theta_{i,ay} - \theta_{s,ay}) \quad (14)$$

Standardda, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının müsaade edilebilir üst sınır değerleri verilerek, enerji tüketimi ve dolaylı olarak çevre kirliliği sınırlandırılmaktadır. İlgili değerler Tablo 4.1’de verildi.

Tablo 4.1. Yıllık Net Isıtma Enerjisi İhtiyacı ($Q_{yıl}$) İçin İzin Verilen En Büyük Değerler (TS 825)

Bölge		A/V < 0,2 için	A/V > 1,05 için	
1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1.D.G} =$	19,2	56,7	$kW \cdot h / (m^2 \cdot yıl)$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1.D.G} =$	6,2	18,2	$kW \cdot h / (m^3 \cdot yıl)$
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2.D.G} =$	38,4	97,9	$kW \cdot h / (m^2 \cdot yıl)$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2.D.G} =$	12,3	31,3	$kW \cdot h / (m^3 \cdot yıl)$
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3.D.G} =$	51,7	116,5	$kW \cdot h / (m^2 \cdot yıl)$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3.D.G} =$	16,6	37,3	$kW \cdot h / (m^3 \cdot yıl)$
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4.D.G} =$	67,3	137,6	$kW \cdot h / (m^2 \cdot yıl)$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4.D.G} =$	21,6	44,1	$kW \cdot h / (m^3 \cdot yıl)$

TS 825’de verilen hesap metodu kullanılarak hesaplanan $Q_{yıl}$ değerleri, Tablo 4.1’deki izin verilen $Q_{yıl}$ değerlerini aşmadığında, binanın kış konforu yeterli düzeyde sağlanmış olmaktadır.

4.3 YAZ KONFORU VE ISO 13786

Yaz konforu için sabit rejim şartlarının kullanılması, bu mevsimde yapı elemanlarını büyük ölçüde etkileyen güneş ışınlarının yoğun enerjisi ve bu enerjinin 24 saatlik periyotlarla değişmesi sebebiyle mümkün değildir. Yaz mevsiminde güneş enerjisinin etkisiyle hem hava sıcaklığı ve hem de elemanın dış yüzey sıcaklığı, gündüz ve gece arasında büyük değişim gösterir. Bu değişimi sinüzoidal olarak kabul etmek genellikle tercih edilmektedir. Ancak, yaz şartlarında sıcaklık değişimi tam bir sinüs eğrisi değildir; havadaki bulutlanmalar sebebiyle sapmalar gösterir. Bu sapmaların hesaplamalarda sebep olduğu yanlışlıklarla ilgili araştırmalar yapılmaktadır (Cihan, 2004). Fakat halen uluslararası standartlarda, yaz şartlarında sıcaklık ve ısı akısının değişimi sinüzoidal kabul edilmekte ve hesaplamalar sinüzoidal değişim gösteren periyodik rejim şartları için gerçekleştirilmektedir. Bu konuda uluslararası standard, “ISO 13786 -Thermal Performance of Building Components- Dynamic Thermal Characteristics - Calculation Methods”dur. Çalışma kapsamında yaz konforu ile ilgili hesaplamalar ISO 13786’ya göre yapıldı.

ISO 13786’ya göre bir elemanın periyodik rejim şartlarında performansını değerlendirebilmek için, penetrasyon derinliğinden hareketle elemanın iletim matrisleri, periyodik ısı iletkenliği, ısı kabul değeri, ısı kapasitesi, azaltma faktörü ve zaman ötelenmeleri hesaplanmaktadır.

Bir elemanın iletim matrisinin bilinmesi halinde, elemanın bir yüzeyinde sıcaklık ve ısı akısının karmaşık genliklerinin bilinmesi durumunda, diğer yüzeydeki sıcaklık ve ısı akısının karmaşık genliklerinin hesaplanması mümkündür. ISO 13786’nın içeriği aşağıda açıklandı.

4.3.1 ISO 13786’da Verilen Tarifler

ISO 13786’da verilen önemli tarifler aşağıda verildi.

4.3.1.1 Herhangi Bir Bileşen İçin Geçerli Tarifler

- Bileşen (Component): Binanın duvar, döşeme (zemin) veya çatı gibi bir parçası veya bu elemanların bir bölümü
- Binanın Isıl Bölgesi (Thermal Zone Of a Building): Her yerindeki iç sıcaklığı ihmal edilebilir uzaysal değişimlere sahip veya sahip olduğu kabul edilen bina bölümüdür. İki bölgeye ayrılan bileşenler standardda m ve n ile gösterilmektedir. Dış ortam bir bölge olarak kabul edilebilir.
- Sinüzoidal Koşullar (Sinusoidal Conditions): Sıcaklık ve ısı akılarının uzun süreli ortalama değerleri etrafındaki değişimlerinin, zamana bağlı sinüs fonksiyonu olarak tariflendiği şartlar. Karmaşık sayılar kullanılarak “n” bölgesindeki sıcaklık ve ısı akısı (15) ve (16) nolu eşitliklerle belirlenir.

$$\theta_n(t) = \bar{\theta}_n + |\hat{\theta}_n| \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi) = \bar{\theta}_n + \frac{1}{2} \cdot [\hat{\theta}_{+n} \cdot e^{j\omega t} + \hat{\theta}_{-n} \cdot e^{-j\omega t}] \quad (15)$$

$$\Phi_n(t) = \bar{\Phi}_n + |\hat{\Phi}_n| \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) = \bar{\Phi}_n + \frac{1}{2} \cdot [\hat{\Phi}_{+n} \cdot e^{j\omega t} + \hat{\Phi}_{-n} \cdot e^{-j\omega t}] \quad (16)$$

$\bar{\theta}_n$: Sıcaklık ortalama değeri

$\bar{\Phi}_n$: Isı akısının ortalama değeri

$|\hat{\theta}_n|$: Sıcaklık değişimlerinin genliği

$|\hat{\Phi}_n|$: Isı akısı değişimlerinin genliği

ω : Değişimlerin açısal frekansı

$\hat{\Phi}_{\pm n}$ ve $\hat{\theta}_{\pm n}$: Karmaşık genlikleri ifade ederler; karmaşık genlikler (17) nolu eşitlikle tanımlanır.

$$\hat{\theta}_{\pm n} = |\hat{\theta}_n| e^{\pm j\psi} \quad \text{ve} \quad \hat{\Phi}_{\pm n} = |\hat{\Phi}_n| e^{\pm j\varphi} \quad (17)$$

- Periyodik Isıl Geçirgenlik (Periodic Thermal Conductance, L_{mn}): Sinüzoidal şartlar altında (18) nolu eşitlikteki şekilde tanımlanan karmaşık sayıdır.

$$\hat{\Phi}_m = L_{mm} \cdot \hat{\theta}_m - L_{mn} \cdot \hat{\theta}_n \quad (18)$$

L_{mm} , n bölgesindeki sıcaklık genliği sıfır olduğunda m bölgesinden m bölgesindeki periyodik sıcaklık sebebiyle m bölgesine periyodik ısı akısı ile ilgilidir. L_{mn} ise m bölgesindeki sıcaklık genliği sıfır olduğunda n bölgesindeki periyodik sıcaklık değişimi sebebiyle m bölgesine periyodik ısı akısı ile ilgilidir. Standartta, bir bileşenin yüzeyinden giren ısı akı hızı pozitif kabul edilmektedir.

- Isı Kapasitesi (Heat Capacity, C_m): Net periyodik ısıl geçirgenlik modülünün açısal frekansa bölünmesi ile bulunan büyüklüktür. (19) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$C_m = \frac{1}{\omega} \cdot |L_{mm} - L_{mn}| \quad (19)$$

- Zaman Ötelenmesi (Time Shift, Δt): Sebebin maksimum genliği ile sonucun maksimum genliği arasındaki zaman farkıdır.

4.3.1.2 Tek Boyutlu Isı Akışı İçin Geçerli Tarifler

- Düzlem Bileşen (Plane Component): En küçük eğrilik yarıçapı, kalınlığının en az beş katı olan eleman.
- Homojen Malzeme Katmanı (Homogeneous Material Layer): Homojen olmayan bölgenin en büyük boyutu, kalınlığının beşte birinden daha fazla olmayan malzeme katmanı.
- Isıl Kabul (Thermal Admittance, Y_{mm}): m bölgesine komşu bileşenin yüzeyi boyunca gerçekleşen ısı akısı yoğunluğunun karmaşık genliğinin aynı bölgedeki sıcaklığın karmaşık genliğine bölümü olarak tariflenen karmaşık büyüklüktür.

$$Y_{mm} = \frac{\hat{q}_m}{\hat{\theta}_m} \quad (20)$$

- Periyodik Isıl İletkenlik (Periodic Thermal Transmittance, Y_{mn}) : m bölgesine komşu bileşenin yüzeyi boyunca gerçekleşen ısı akısı yoğunluğunun karmaşık genliğinin (W/m^2), n bölgesindeki sıcaklığın karmaşık genliğine (T) bölümü olarak tariflenen karmaşık büyüklüktür. (21) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$Y_{mn} = -\frac{\hat{q}_m}{\hat{\theta}_n} \quad (21)$$

- Alansal Isı Kapasitesi (Areal Heat Capacity): Isı kapasitesinin elemanın alanına oranıdır. Alan ısı kapasitesi (22) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\kappa_m = \frac{C_m}{A} = \frac{1}{\omega} |Y_{mm} - Y_{mn}| \quad (22)$$

Isı kapasiteleri ise eşitlik (22) yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$C_m = A \cdot \kappa_m \quad (23)$$

İki bölgeyi ayıran bir bileşen için iki adet ısı kabul ve ısı kapasitesi mevcut olup, hepsi ısıl değişimlerin periyoduna bağlıdır.

- Azaltma Faktörü (Decrement Factor, f): Periyodik ısı iletkenliğinin, sabit rejim şartlarındaki ısı iletkenliğe (U) oranıdır ve (24) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$f = \frac{|\hat{q}_m|}{|\hat{\theta}_n| U} = \frac{|Y_{mn}|}{U} \quad (m \neq n \text{ için}) \quad (24)$$

- Periyodik Nüfuziyet Derinliği (Periodic Penetration Depth, δ): Yüzeyin sinüzoidal sıcaklık değişimlerinin etkili olduğu sonlu kalınlıktaki homojen bir

malzemede sıcaklık değişimlerinin genliğinin, “e” ($e = 2.718$, doğal logaritma tabanı) kat azaldığı derinliktir ve (25) nolu eşitlik ile hesaplanır.

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot c}} \quad (25)$$

- Isı İletim Matrisi (Heat Transfer Matrix, Z): Bir bileşenin bir tarafındaki sıcaklık ve ısı akısının karmaşık genliği ile diğer taraftaki sıcaklık ve ısı akısı karmaşık genliği arasındaki bağıntıyı sağlayan matristir.

$$\begin{pmatrix} \hat{\theta}_2 \\ \hat{q}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{q}_1 \end{pmatrix} \quad (26)$$

İletim matrisinin elemanlarının (modül ve argümanlarının) fiziksel anlamları aşağıda açıklanmıştır.

$|Z_{11}| \rightarrow$ Sıcaklık genlik faktörü, birinci taraftaki 1 K’lik genliğe sahip periyodik sıcaklık değişimi sonucu ikinci taraftaki sıcaklık değişimlerinin genliğidir.

$|\varphi_{11}| \rightarrow$ Bileşenin her iki tarafındaki sıcaklıklar arasındaki faz farkıdır.

$|Z_{21}| \rightarrow$ Birinci taraftaki 1 K’lik genliğe sahip periyodik sıcaklık değişimi sonucu ikinci taraftan geçen ısı akısı genliğidir.

$|\varphi_{21}| \rightarrow$ İkinci taraftan geçen ısı akısı ile birinci taraftaki sıcaklık arasındaki faz farkıdır.

$|Z_{12}| \rightarrow$ Birinci taraftaki 1 W/m² genliğindeki periyodik ısı akısı değişimi sonucu ikinci taraftaki sıcaklık değişimlerinin genliğidir.

$|\varphi_{12}| \rightarrow$ Birinci taraftan geçen ısı akısı ile ikinci taraftaki sıcaklık arasındaki faz farkıdır.

$|Z_{22}| \rightarrow$ Isı akısı genlik faktörü, birinci taraftan geçen 1 W/m²’lik genliğe sahip ısı akısı değişimi sonucu ikinci taraftan geçen ısı akısı değişiminin genliğidir.

$|\varphi_{22}| \rightarrow$ Bileşenin her iki tarafından geçen ısı akısı arasındaki faz farkıdır.

- Isıl Değişimlerin Periyodu (Period of Thermal Variations): Dinamik ısı karakteristiklerin tarifi ve onların hesaplanması için kullanılan eşitliklerin geçerli

olduğu, ısıl değişkenlerin herhangi bir periyodudur. Uygulamada kullanılan periyotlar aşağıda belirtildi.

- Bir saat (3600 s), sıcaklık kontrol sistemlerinde çok kısa süre değişimlerine karşılıklı gelir,
- Bir gün (86400 s), günlük meteorolojik değişimler ve otomatik sıcaklık ayarlarında olduğu gibi.
- Bir hafta (604800 s), binalarda uzun süreli ortalamalar için kullanılır.
- Bir yıl (31556926 s), zemin içerisinde ısı iletimi davranışı için kullanılır.

4.3.2 Çok Tabakalı Eleman İletim Matrisinin Hesaplanması

Çok tabakalı, homojen ve anlamlı düzeyde etkili olacak ısı köprüsü ihtiva etmeyen bir yapı elemanının iletim matrisinin elde edilmesinde takip edilecek adımlar aşağıda özetlendi.

- a) Yapı bileşeninin katmanlarını oluşturan malzemelerin ve bu katmanların kalınlıklarının tanımlanması ve malzemelerin ısıl karakteristiklerinin (d , λ , ρ , c) belirlenmesi.
- b) Yüzeydeki değişimlerin periyodunun (T) belirlenmesi.
- c) Malzemenin her tabakası için periyodik nüfuziyet derinliğinin (δ) hesaplanması.
- d) Kalınlığın, periyodik nüfuziyet derinliğine oranının (ξ) hesaplanması.
- e) Her tabaka için ısı iletim matrisi elemanlarının (Z_{mn}) hesaplanması.
- f) Bileşenin ısı iletim matrisini elde etmek için, sınır tabakaların ısı iletim matrisini de belirledikten sonra, tabaka iletim matrislerinin doğru düzende çarpılması.

Bir malzeme tabakası için periyodik nüfuziyet derinliği, tabakanın ısıl özelliklerinden ve T periyodundan (25) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanır. Tabaka kalınlığının nüfuziyet derinliğine oranı (27) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir. İletim matrisi elemanları Z_{mn} aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.

$$\xi = \frac{d}{\delta} \quad (27)$$

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi)\cos(\xi) + j\sinh(\xi)\sin(\xi) \quad (28)$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} \left\{ \sinh(\xi)\cos(\xi) + \cosh(\xi)\sin(\xi) + j[\cosh(\xi)\sin(\xi) - \sinh(\xi)\cos(\xi)] \right\} \quad (29)$$

$$Z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta} \left\{ \sinh(\xi)\cos(\xi) - \cosh(\xi)\sin(\xi) + j[\sinh(\xi)\cos(\xi) + \cosh(\xi)\sin(\xi)] \right\} \quad (30)$$

Çok katmanlı elemanda eğer sürekli bir hava boşluğu (düzlemsel hava boşluğu) varsa; düzlemsel hava boşluklarının aktarma matrisi oluşturulurken, hava tabakasının özgül ısı kapasitesi ihmal edilir. Böylece R_a değeri, eğer hava tabakasının konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyonla ısı iletimine gösterdiği toplam direnci ifade ediyorsa, düzlemsel hava boşluğu tabakasının iletim matrisi aşağıdaki şekilde oluşturulur. R_a değeri, EN ISO 6946'ya göre hesaplanır.

$$Z_a = \begin{pmatrix} 1 & -R_a \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (31)$$

Çok katmanlı yapı elemanının, yüzeyden yüzeye iletim matrisinin oluşturulması için kullanılması gereken eşitlik aşağıda verildi.

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = Z_N \cdot Z_{N-1} \cdots Z_3 \cdot Z_2 \cdot Z_1 \quad (32)$$

Burada, $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_N$ çok katmanlı yapı elemanının, çeşitli katmanlarının birinci katmandan başlayarak numaralandırılmış matrisleridir. Birinci tabaka en iç tabakayı göstermektedir.

Çok katmanlı yapı elemanının ortamdaki ortama iletim matrisi (33) nolu eşitlikte verildi.

$$Z_{oo} = Z_{S2} \cdot Z \cdot Z_{S1} \quad (33)$$

Burada, Z_{S2} ve Z_{S1} sınır tabakalarının (iç ve dış yüzey film-hareketsiz hava-tabakası) aktarma matrisleridir. Bu büyüklükler, (34) nolu eşitliğe uygun olarak belirlenir.

$$Z_S = \begin{pmatrix} 1 & -R_s \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (34)$$

R_s ; yüzeye fiziksel olarak bağlı hareketsiz hava tabakasının konveksiyon ve radyasyonla ısı iletimine gösterdiği dirençlerin toplamıdır; sınır tabakasının yüzey direnci olarak da ifade edilir.

Ortamdan ortama iletim matrisinin hesaplanmasında, çarpım sırası (35) nolu eşitlikteki gibi olmalıdır.

$$\begin{pmatrix} \hat{\theta}_d \\ \hat{q}_d \end{pmatrix} = \underbrace{Z_{diş} \cdot Z_n \cdot Z_{n-1} \cdots \cdots Z_1 \cdot Z_{siç}}_{Z_{oo}} \cdot \begin{pmatrix} \hat{\theta}_i \\ \hat{q}_i \end{pmatrix} \quad (35)$$

Bu durumda, iç ortama ait sıcaklık ve ısı akısı değişimlerine bağlı olarak, dış taraftaki sıcaklık ve ısı akısı değişimleri belirlenir. Ancak dış ortam iklim parametrelerinin iç ortamdan kaynaklanan ısı iletimi sonucu değişmeyeceği hatırlanmalıdır.

$$\begin{pmatrix} \hat{\theta}_i \\ \hat{q}_i \end{pmatrix} = Z_{oo}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \hat{\theta}_d \\ \hat{q}_d \end{pmatrix} \quad (36)$$

Bu durumda ise, dış ortama ait sıcaklık ve ısı akısı değişimlerine bağlı olarak, iç ortamdaki sıcaklık ve ısı akısı değişimleri belirlenir. Elemanın yaz şartlarındaki davranışının incelenmesi sırasında (36) nolu eşitliğin kullanılması uygun görülmüştür.

4.3.3 Periyodik Isıl Karakteristiklerin Hesabı

Daha önce de belirtildiği gibi, bir elemanın ısıl davranışının incelenmesi için, periyodik ısıl karakteristiklerinin belirlenmesi gerekir. Herhangi bir bileşen için periyodik ısıl karakteristikler, periyodik ısıl iletkenlik “ Y_{mn} ” veya periyodik ısıl geçirgenlik “ L_{mn} ” ve toplam ısı kapasitesi “ C_m ”dir. Sınır tabakalarının iletim matrisleri, ısı kapasitelerinin hesaplanmasında dikkate alınmaz.

Isıl kabuller (37) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$Y_{11} = -\frac{Z_{11}}{Z_{12}} \quad \text{ve} \quad Y_{22} = -\frac{Z_{22}}{Z_{12}} \quad (37)$$

Eşitlikte Y_{11} bileşenin iç tarafı ve Y_{22} bileşenin dış tarafıdır.

Periyodik ısıl iletkenlikler (38) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$L_{11} = A \cdot Y_{11} = -A \cdot \frac{Z_{11}}{Z_{12}} \quad \text{ve} \quad L_{22} = A \cdot Y_{22} = -A \cdot \frac{Z_{22}}{Z_{12}} \quad (38)$$

Periyodik ısı geçirgenlik L_{mn} 'nin veya periyodik ısı kabul Y_{mn} 'nin zaman ötelemesi (time lead), argümanın 0 ile 2π arasında değerlendirilmesi (39) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta_{ty} = \frac{T}{2\pi} \arg(Y_{mn}) \quad (39)$$

Alan ısı kapasiteleri (40) ve (41) nolu eşitliklerle hesaplanır.

$$\kappa_1 = \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{11} - 1}{Z_{12}} \right| \quad (40)$$

$$\kappa_2 = \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{22} - 1}{Z_{12}} \right| \quad (41)$$

Periyodik ısı iletkenlik (42) nolu eşitlik ve azaltma faktörü ise (43) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$Y_{12} = -\frac{1}{Z_{12}} \quad (42)$$

$$f = \frac{|Y_{12}|}{U_0} \quad (43)$$

Burada ısı iletkenlik U_0 , sabit rejim şartlarındaki tek boyutlu ısı akımı için tanımlanan U değeridir ve EN ISO 6946'ya göre hesaplanır. Azaltma faktörünün değeri her zaman 1'den küçüktür.

Periyodik ısı iletkenliğin zaman ötelemesi (time lag, faz kayması), argüman -2π , 0 aralığında değişecek şekilde (44) nolu eşitlikle hesaplanabilir.

$$\Delta t_f = \frac{T}{2\pi} \arg(Z_{12}) \quad (44)$$

Elde edilen verilerin rapor olarak sunulması sırasında, bina bileşeninin tanımı, normal kullanımı (bina kabuğu parçası veya iç bileşen olarak) ve onunla temas halindeki bölgelerin ayrıntılı listesi istenmektedir. Ayrıca, eleman ve elemanda kullanılan malzemelerin tanımı (ısı özellikleri) ve boyutlarının da açıkça belirtilmesi gerekmektedir.

Raporda, her elemanın periyodik ısı iletkenliklerinin, yoğunluğunun ve özgül ısı kapasitelerinin, T periyodu ile beraber belirtilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak raporda, elemanların alanı, katmanların sıralanışı, Z_{mm} değerinin karmaşık sayıları, modülleri ve açısal birimde argümanları ile bu argümanlara karşılık gelen zaman ötelenmeleri, ısı kabullerinin karmaşık sayıları, modülleri ve argümanları, azaltma faktörü ve U değeri de belirtilmek zorundadır.

4.4 ISIL PERFORMANS HESAPLARI

EPS YKDBT duvar sisteminin Türkiye iklim şartlarındaki yeterliliğinin geleneksel yalıtım sistemleri ile karşılaştırmasını yapmak üzere, örnek bir yapı projesi için TS 825 ve ISO 13786'da tanımlanan hesap yöntemlerine göre hesaplamalar yapıldı. Hesaplamalarla ilgili gerekli açıklamalar aşağıdaki bölümlerde verildi.

Isıl performans hesapları için seçilen örnek yapı ile ilgili bilgiler Tablo 4.2'de, örnek yapı çizimleri EK A'da verildi.

4.4.1 Örnek Yapı ve Kış Konforu Hesaplamaları

EPS YKDBT duvar sisteminin, Türkiye iklim şartlarındaki yeterliliğini ve geleneksel yalıtım sistemleri ile karşılaştırılmasını yapmak üzere örnek bir yapı proje için gerekli hesaplamalar yapıldı ve aşağıda gerekli açıklamalar verildi.

Isıl performans hesapları için seçilen örnek yapı ile ilgili bilgiler Tablo 4.2'de, örnek yapının kat planları, kesit ve görünüşleri Ek A'da verildi.

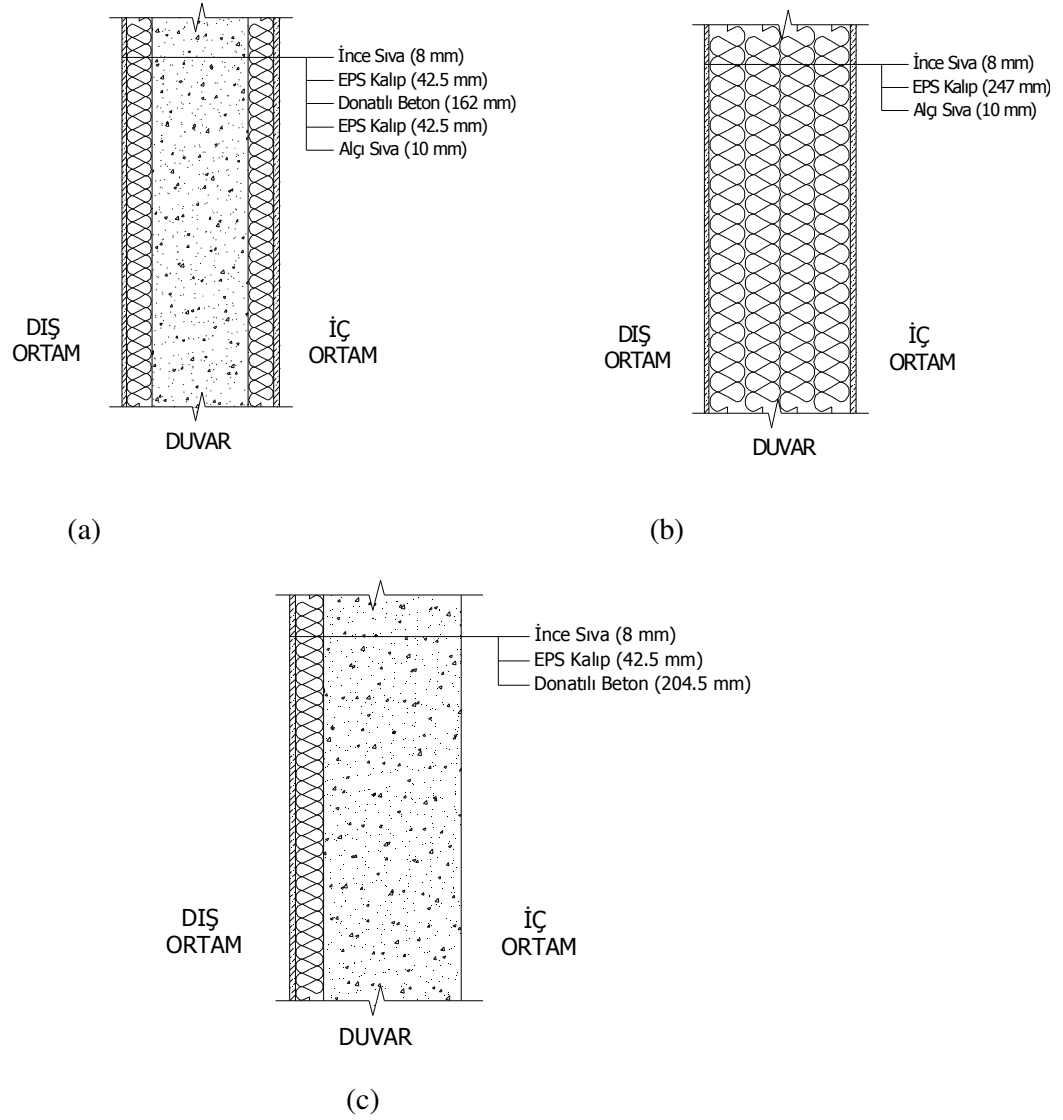
Tablo 4.2. Örnek Yapıya Ait Özellikler

Toplam brüt bina hacmi ($V_{brüt}$)	m^3	1175,70
Toplam bina kabuk alanı (A_{toplam})	m^2	756,70
$V_{brüt}/A_{toplam}$	-	0,643
Kullanılan alan (A_n) = $0,32V_{brüt}$	m^2	376,22
Zemin döşeme alanı	m^2	195,95
Kat yüksekliği	m	3,00
Hesaplamalarda Kullanılan Alanlar		
Duvar Alanları (Dış havaya temas eden)		
Dış sıva+EPS+donatılı beton+EPS+iç sıva	m^2	270,44
Dış sıva+EPS+iç sıva	m^2	30,85
Dış sıva+EPS+döşeme	m^2	14,59
Döşeme Alanları		
Isıtılmayan iç ortama bitişik	m^2	195,95
Çatı Alanları		
Kullanılmayan çatı arası	m^2	195,95
Pencere, kapı alanları		
Pencere	m^2	45,92
Kapı	m^2	3,00
Yönlere göre pencere alanları		
Doğu	m^2	19,32
Batı	m^2	15,80
Kuzey	m^2	5,40
Güney	m^2	5,40

4.4.1.1 Örnek Yapıda EPS YKDBT Duvar Sistemi Uygulandığında Oluşan Kesitler

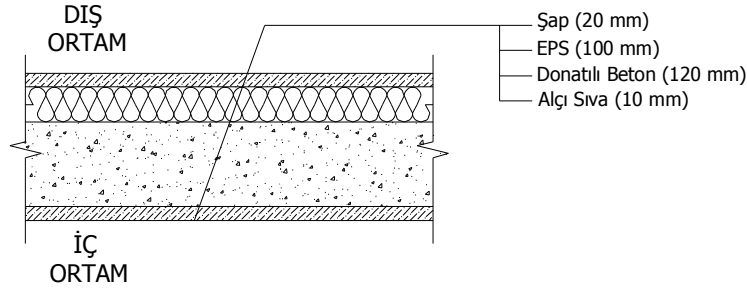
EPS YKDBT duvar sisteminde duvarların oluşturulmasında çok farklı şekil ve boyutta EPS kalıplar kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında yapılan ısı performans hesaplarında EPS bağlantı köprülü kalıplar ele alındı. EPS kalıplar, her iki yüzeyinde EPS tabaka ve bunları birbirine bağlayan EPS bağlantı köprülerinden oluşmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan kalıpların her iki yüzeyindeki EPS tabakası kalınlığı eşit olabileceği gibi farklı da olabilmektedir. Sistemin ısı performans hesaplarında, her iki yüzeyindeki EPS tabakası kalınlığı eşit (sabit yüzeyli) ve değişken kesitli (değişken yüzeyli) kalıplar incelendi. EPS YKDBT duvar sisteminde sabit yüzeyli EPS kalıplar (250 mm kalınlıklı) kullanıldığında örnek yapıda oluşan kesitler Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verildi.

EPS YKDBT duvar sisteminde 310 mm kalınlığında değişken yüzeyli EPS kalıp kullanıldığında oluşan kesitler Şekil 4.4'de, 370 mm kalınlığında değişken yüzeyli EPS kalıp kullanıldığında oluşan kesitler Şekil 4.5'de, 430 mm kalınlığında değişken yüzeyli kalıp kullanıldığında oluşan kesitler Şekil 4.6'da verildi. EPS YKDBT duvar sisteminin ısı performans hesaplarında Şekil 4.2'de görülen tavan kesiti ve Şekil 4.3'de görülen taban kesiti tüm kalıp tipleri için sabit tutuldu.

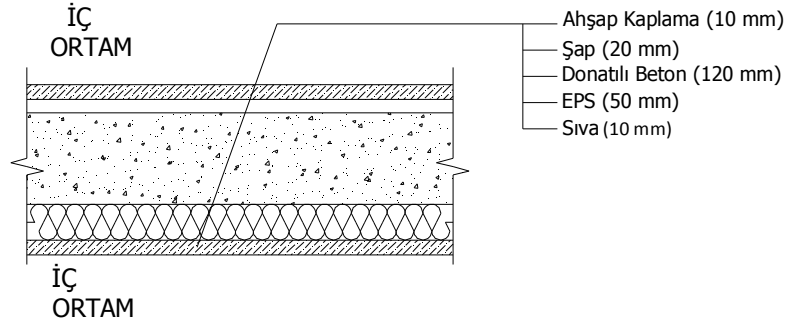


Şekil 4.1. Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 250 mm)

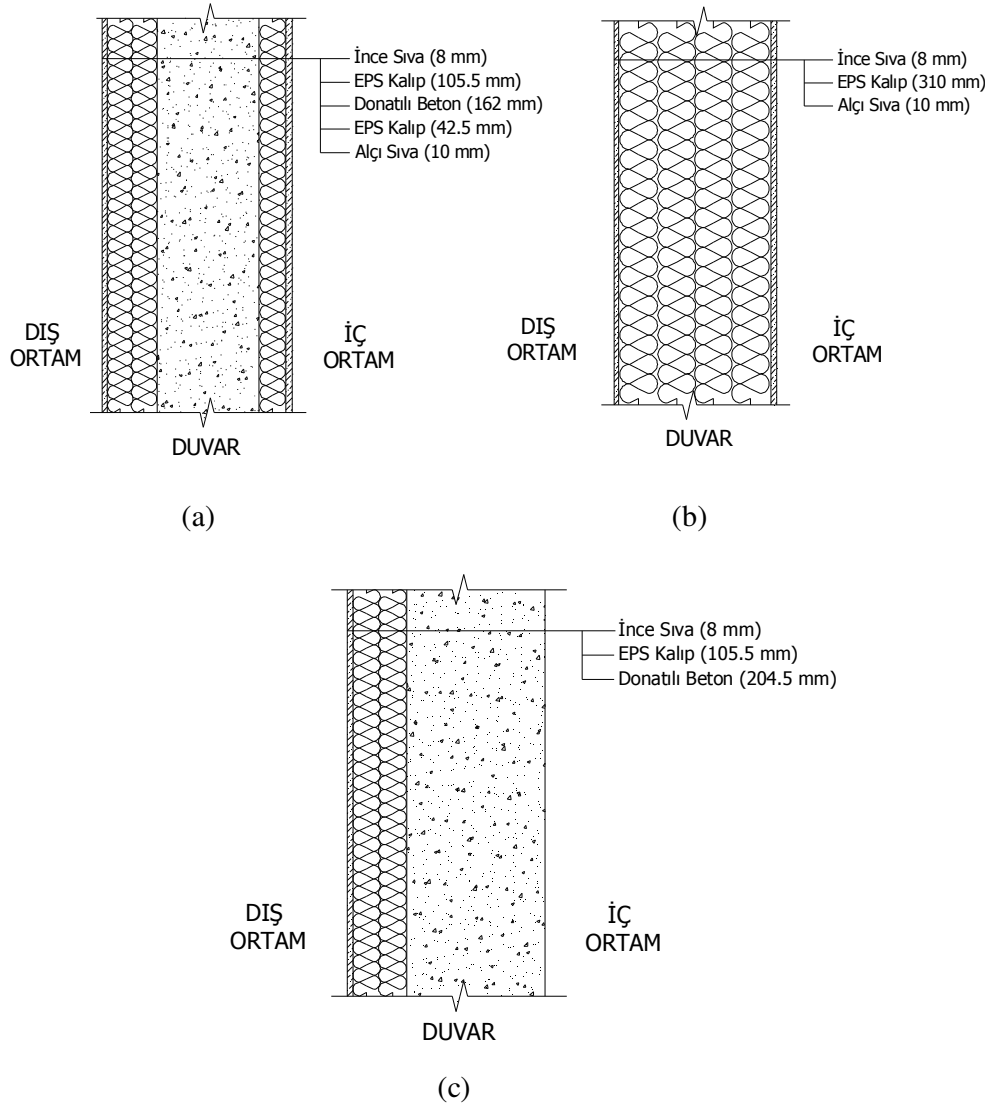
- a) Bağlantı Köprülerinin Dışında
- b) Bağlantı Köprülerinde
- c) Döşeme Alnında



Şekil 4.2. Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (EPS YKDBT Duvar Sistemi)

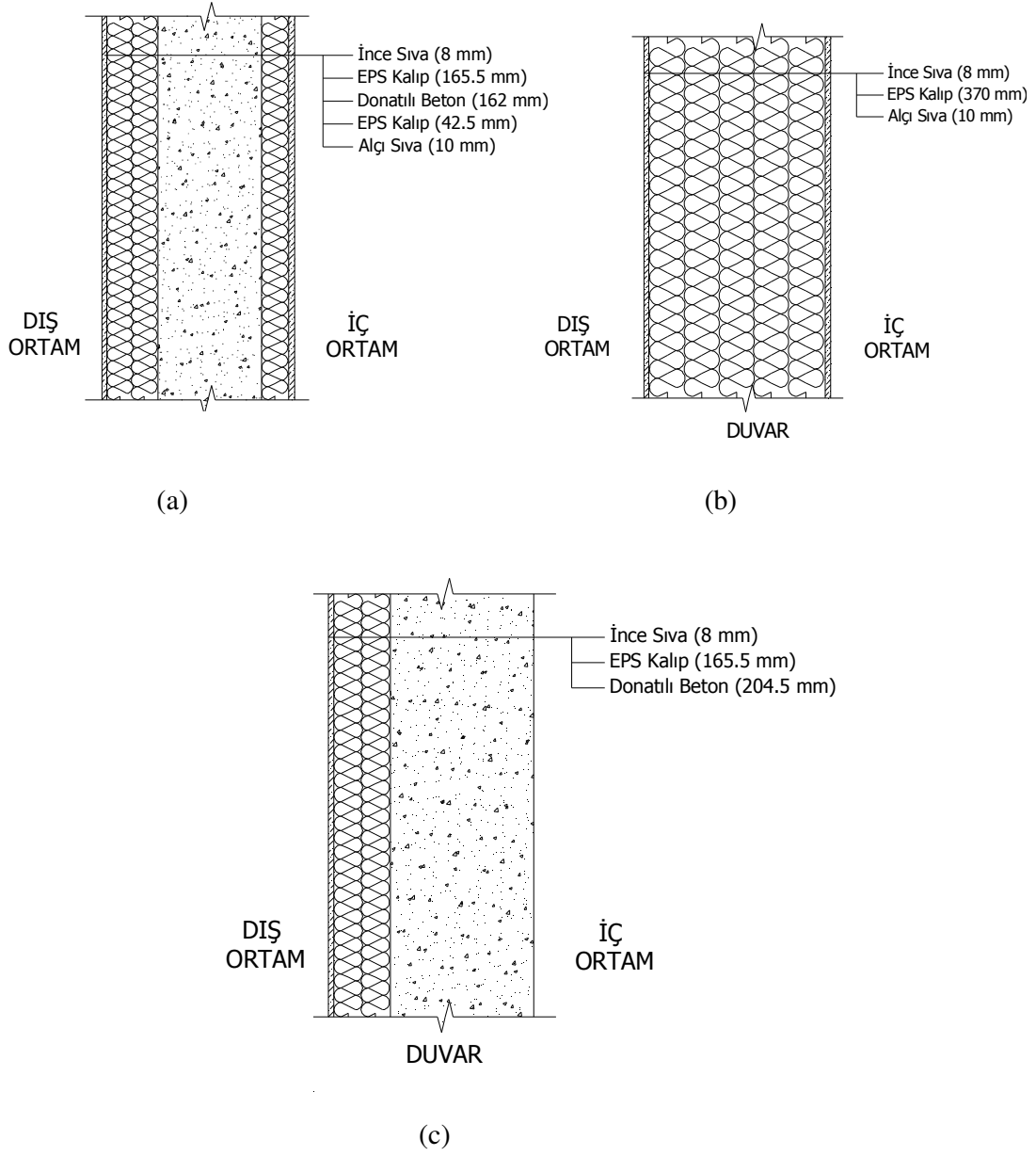


Şekil 4.3. Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas) (EPS YKDBT Duvar Sistemi)



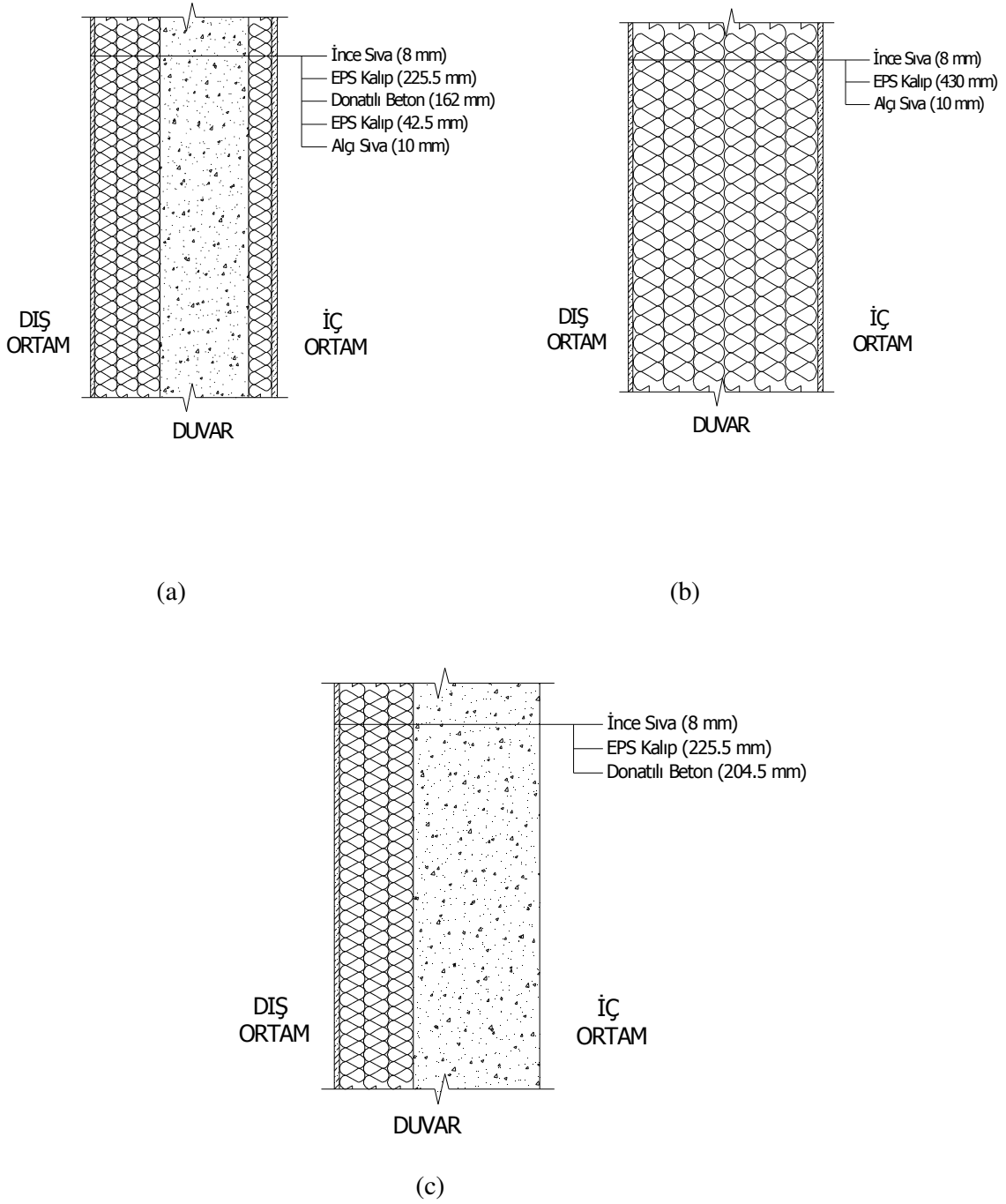
Şekil 4.4. Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 310 mm)

- a) Bağlantı Köprülerinin Dışında
- b) Bağlantı Köprülerinde
- c) Döşeme Alnında



Şekil 4.5. Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 370 mm)

- a)** Bağlantı Köprülerinin Dışında
- b)** Bağlantı Köprülerinde
- c)** Döşeme Alnında

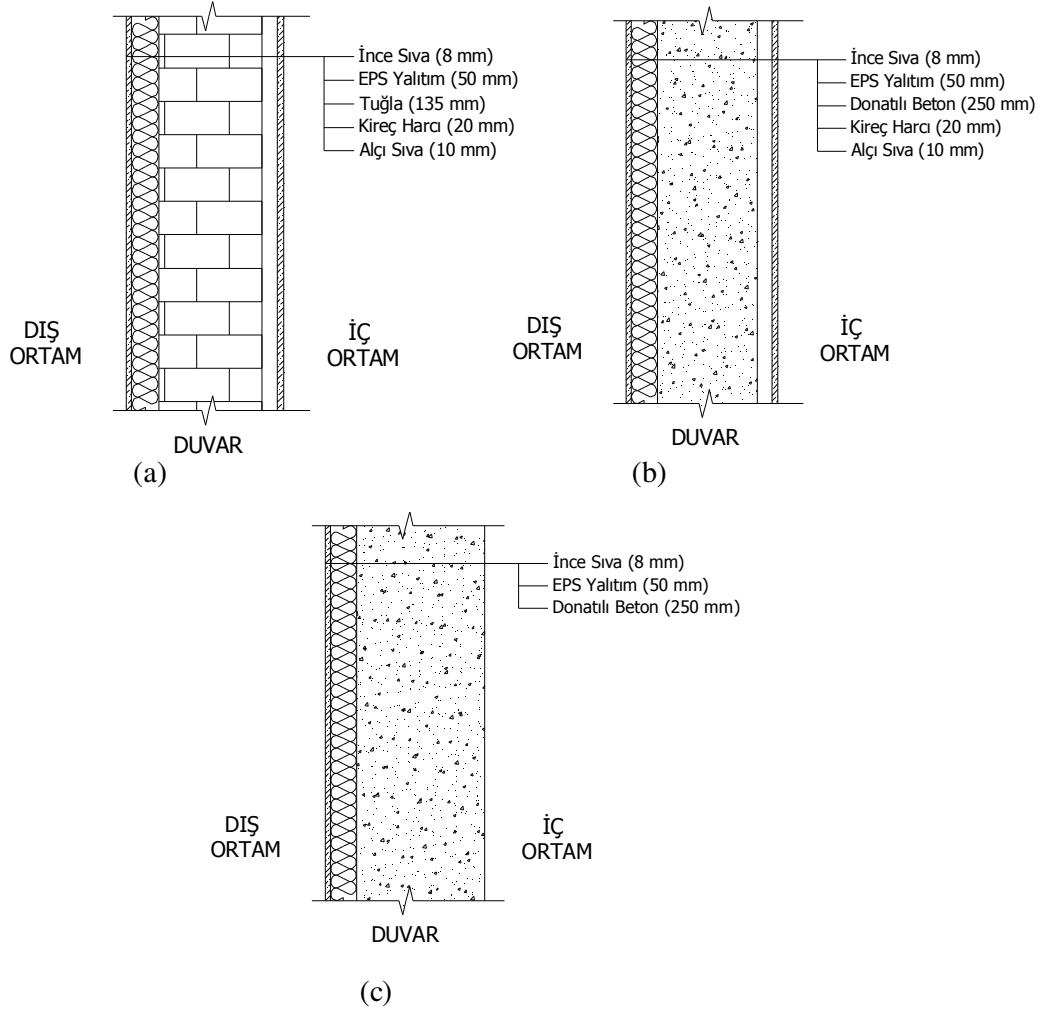


Şekil 4.6. Duvar Kesiti (EPS YKDBT Duvar Sistemi-Kalıp Kalınlığı 430 mm)

- a) Bağlantı Köprülerinin Dışında
- b) Bağlantı Köprülerinde
- c) Döşeme Alnında

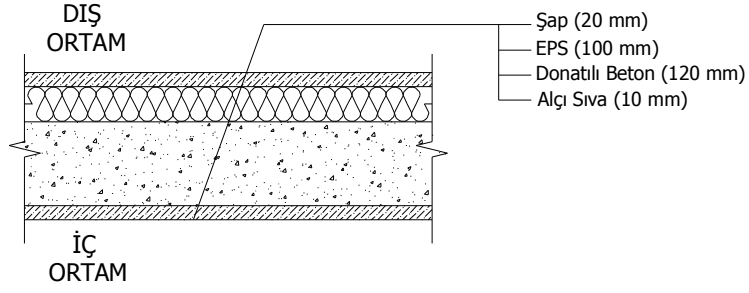
4.4.1.2 Örnek Yapıda Geleneksel Yalıtım Sistemleri Uygulandığında Oluşan Kesitler

Geleneksel yalıtım sistemleri uygulandığında, EPS YKDBT duvar sisteminden farklı kesitler oluşmaktadır. Geleneksel yalıtım sistemlerinden dışarıdan yalıtım uygulandığında oluşan kesitler Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da, içeriden yalıtım uygulandığında oluşan kesitler Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de, çift duvar arası yalıtım uygulandığında oluşan kesitler Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verildi.

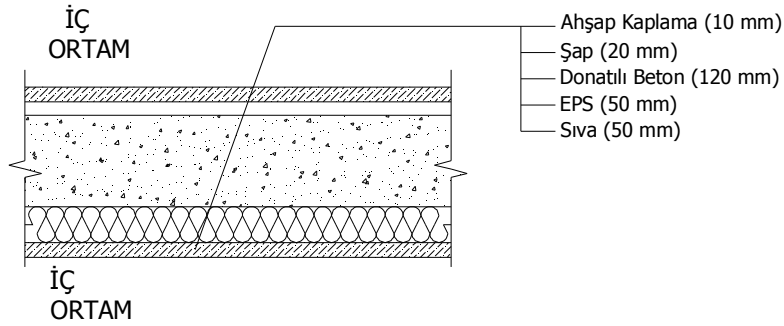


Şekil 4.7. Duvar Kesiti (Dışarıdan Yalıtımlı Sistem)

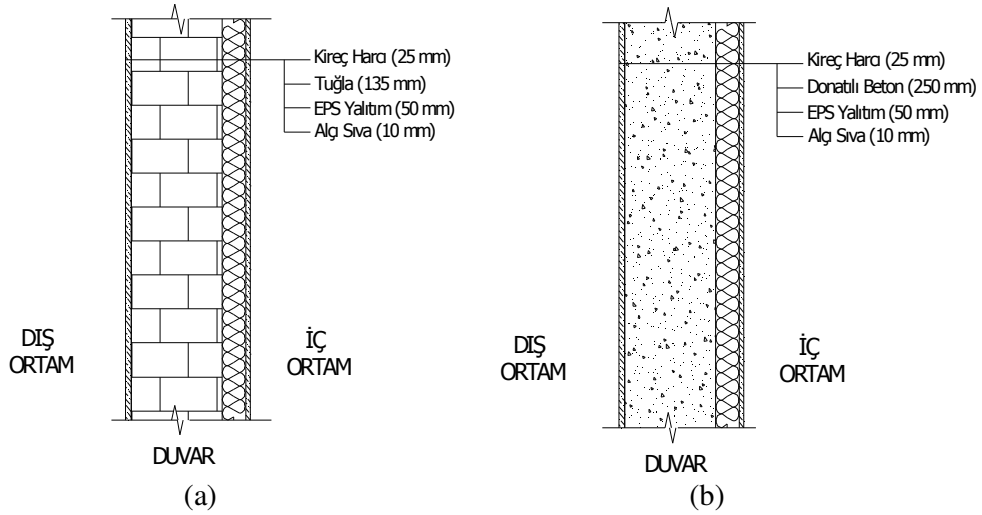
- Bağlantı Köprülerinin Dışında
- Kolon-Kirişte
- Döşeme Alında



Şekil 4.8. Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (Dışarıdan Yalıtımlı Sistem)

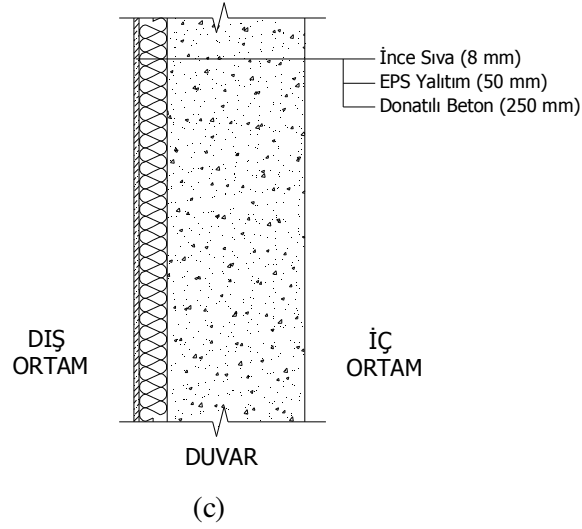


Şekil 4.9. Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas) (Dışarıdan Yalıtımlı Sistem)

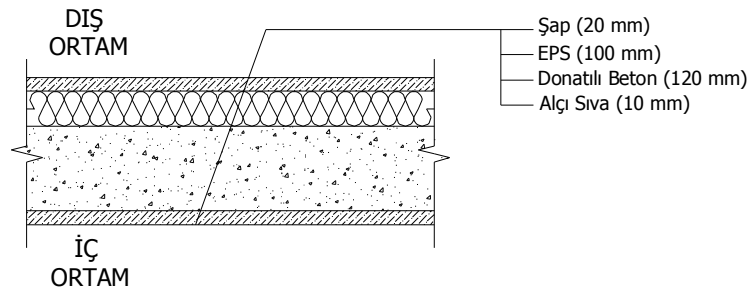


Şekil 4.10. Duvar Kesiti (İçeriden Yalıtımlı Sistem)

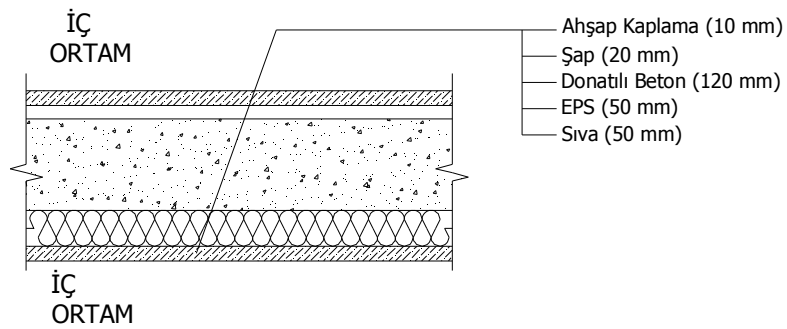
- a) Bağlantı Köprülerinin Dışında
b) Kolon-Kirişte



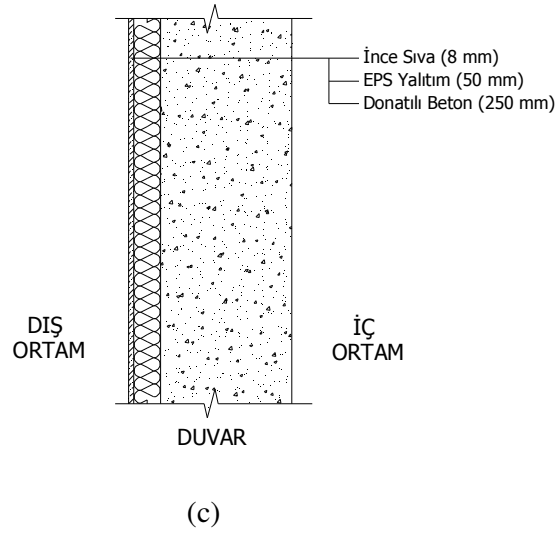
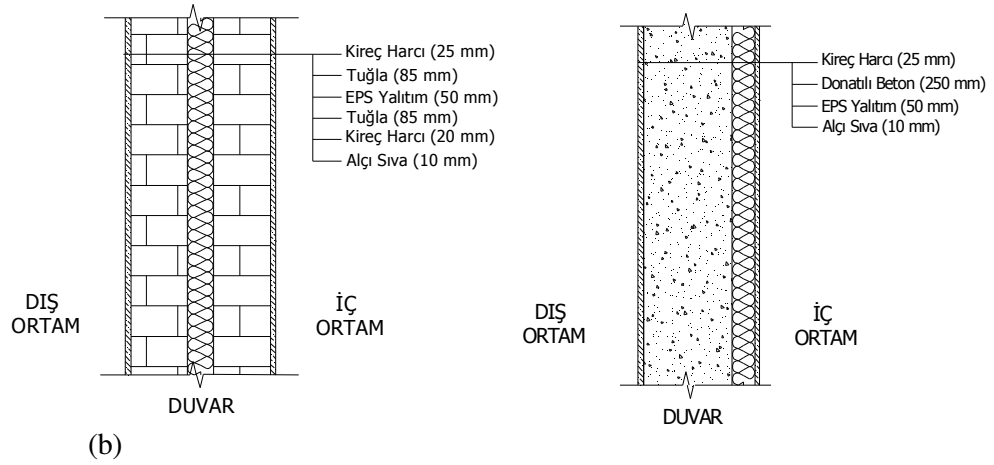
Şekil 4.10. Duvar Kesiti (İçeriden Yalıtımlı Sistem)
c) Döşeme Alnında



Şekil 4.11. Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (İçeriden Yalıtımlı Sistem)

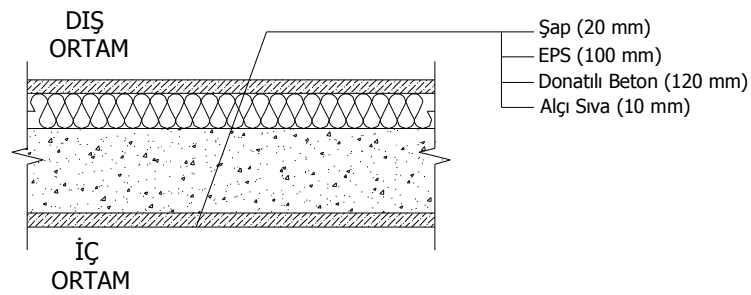


Şekil 4.12. Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas) (İçeriden Yalıtımlı Sistem)

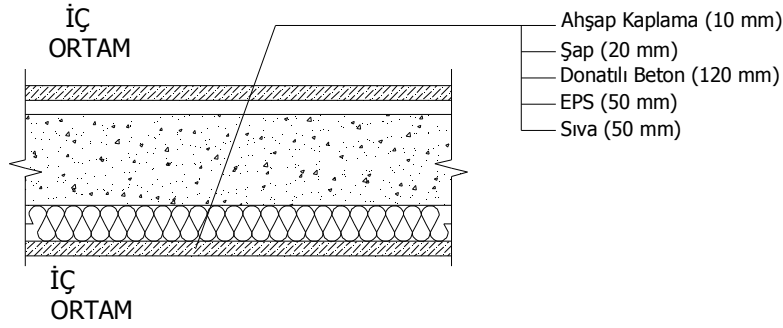


Şekil 4.13. Duvar Kesiti (Çift Duvar Arası Yalıtımlı Sistem)

- a) Bağlantı Köprülerinin Dışında
- b) Kolon-Kirişte
- c) Döşeme Alında



Şekil 4.14. Tavan Kesiti (Üzeri Örtülü/Çatılı) (Çift Duvar Arası Yalıtımlı Sistemde)



Şekil 4.15. Taban Kesiti (Isıtılmayan ortam ile temas)
(Çift Duvar Arası Yalıtımlı Sistem)

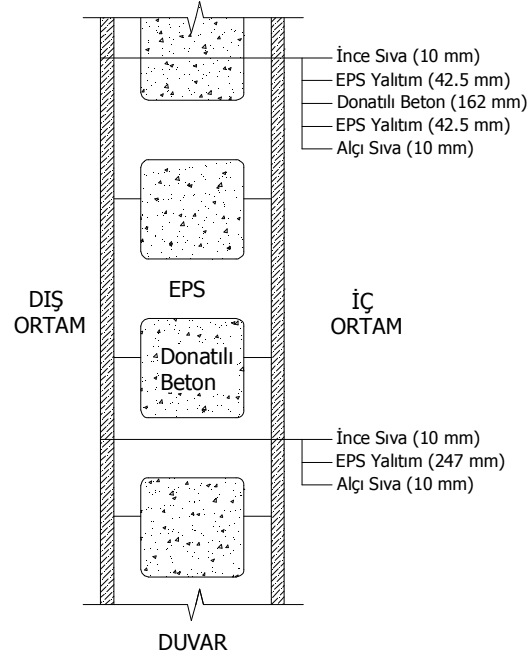
4.4.2 TS 825 Kış Konforu Hesapları

Kış konforu ile ilgili hesaplamalar, EPS YKDBT duvar sistemi ve geleneksel yalıtım sistemleri için yapıldı. Hesaplamalarda İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği tarafından hazırlanmış bilgisayar programı kullanıldı. Hesaplamalar, TS 825’de tanımlanan tüm derece gün bölgeleri için yapıldı. Hesaplamalarda ısı köprüleri dikkate alındı, ayrıca TS 825’e göre tüm kesitlerde tüm derece gün bölgeleri için yoğuşma tahkiki yapıldı.

4.4.2.1 Örnek Yapıda EPS YKDBT Duvar Sistemi Uygulandığında Kış Konforu Hesaplamaları

Örnek yapıda EPS YKDBT duvar sisteminin uygulanması durumunda oluşan kesitler dikkate alınarak TS 825’de tanımlanan tüm derece gün bölgeleri için hesap yapıldı. Hesaplamalar sonucu elde edilen ve TS 825’de istenilen binanın özgül ısı kaybı, 250 mm kalınlığında EPS kalıp kullanılması durumunda Tablo 4.3’de verildi. Bu değerler 1., 2., 3. ve 4. derece gün bölgeleri için aynen geçerlidir. Tüm derece gün bölgeleri için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi standartta izin verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacından düşük olup, kullanılan kesitlerin yeterli olduğu tespit edildi. Yapının Tablo 4.3’de belirtilen özelliklere sahip olması durumunda 1., 2., 3. ve 4. derece gün bölgeleri için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları Tablo 4.4-4.7’de verildi. Benzer hesaplamalar tez çalışması kapsamında incelenen 310 mm, 370 mm ve 430 mm kalınlığında EPS kalıpların kullanılması durumu için ayrı ayrı yapıldı.

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi EPS YKDBT duvar sisteminde kalıpların formunu koruması için EPS kalıplar içinde EPS bağlantı köprüleri sebebiyle farklı kesitler oluşmaktadır. Bu kesitlerdeki malzemeler ve ölçüler Şekil 4.17’de gösterildi.



Şekil 4.16. EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı (EPS YKDBT) Duvar

Duvar kesitlerinin ısıl geçirgenlik direnci (R) tek tek duvar elemanı kalınlıkları (d_1, d_2, \dots, d_n) ve duvar elemanlarının, ısıl iletkenlik hesap değerleri ($\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn}$) kullanılarak eşitlik (43) yardımıyla hesaplanır.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (43)$$

Toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U) ise (44) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanır.

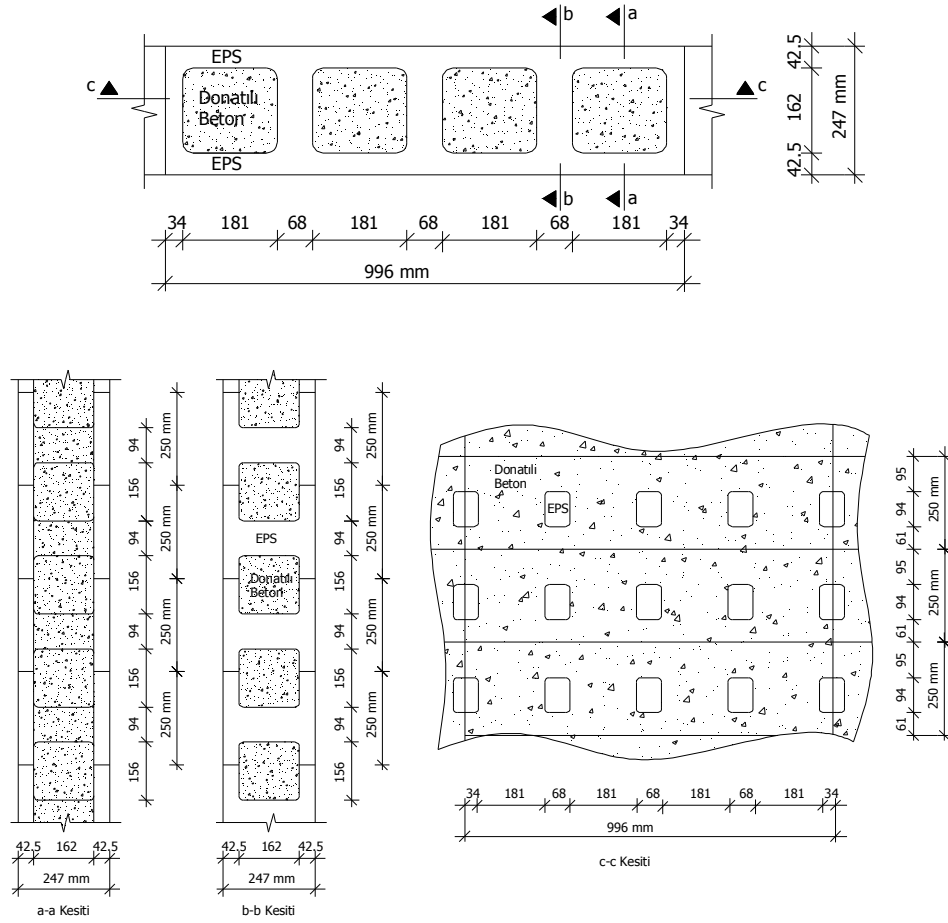
$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (44)$$

Burada;

$$U = \text{Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

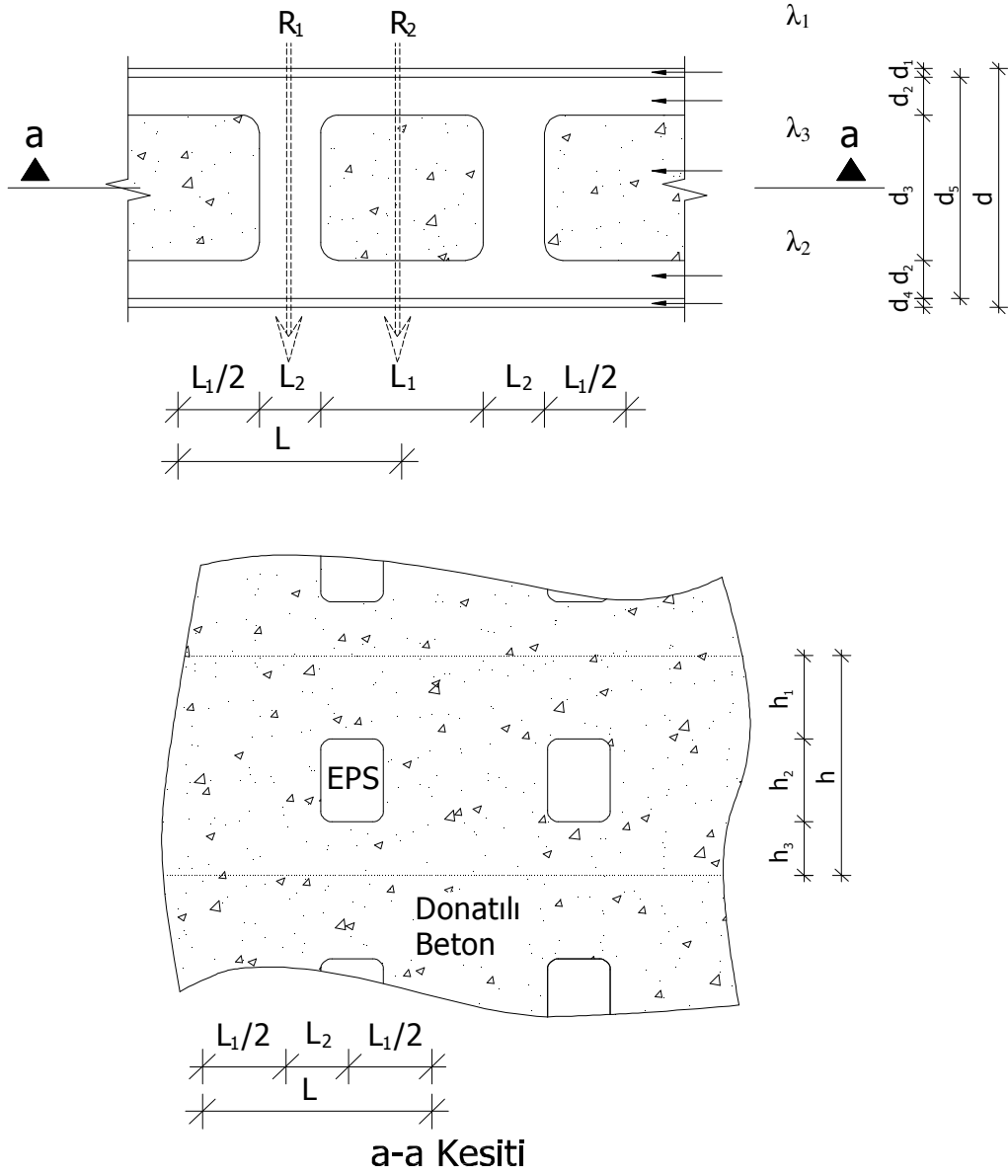
$$R_i = \text{İç Yüzeyin Yüzeysel İletim Direnci (m}^2 \cdot \text{K/W)}$$

$$R_e = \text{Dış Yüzeyin Yüzeysel İletim Direnci (m}^2 \cdot \text{K/W)}$$



Şekil 4.17. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Kesiti ve Ölçüleri

Farklı ısı geçirgenlik dirençlerine sahip birkaç bitişik tabakadan oluşan EPS YKDBT duvar sistemi için eşdeğer ısı geçirgenlik katsayısı (U) hesabı Şekil 4.18'e göre (45), (46), (47) ve (48) nolu eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.



Şekil 4.18. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Kesiti

$$U = U_1 \cdot \frac{A_1}{A} + U_2 \cdot \frac{A_2}{A} + U_3 \cdot \frac{A_3}{A} + \dots + U_n \cdot \frac{A_n}{A} \quad (45)$$

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (46)$$

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (47)$$

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{n1}} + \frac{d_2}{\lambda_{n2}} + \frac{d_3}{\lambda_{n3}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{nm}} \quad (48)$$

Burada;

$d_1, d_2, d_3 \dots d_n$: Yapı Elemanını Oluşturan Tabakaların Kalınlıkları, m

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_n$:Yapı Elemanını Oluşturan Tabakaların Isıl İletkenlik Hesap Değerleri, W/(m·K)

1/U: Yapı Bileşeninin Toplam Isıl Geçirgenlik Direnci, m²·K/W

R_i : İç Yüzeyin Yüzeysel Isıl İletim Direnci, m²·K/W

R_e : Dış Yüzeyin Yüzeysel Isıl İletim Direnci, m²·K/W

R: Isıl Geçirgenlik Direnci, m²·K/W

U: Yapı Bileşeninin Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı, W/(m²·K)

A: Yapı Elemanlarının Toplam Alanı, m²

$A_1, A_2, A_3 \dots A_n$: 1'den n'ye kadar Yapı Elemanlarının Alanları, m²

$A_1, A_2, A_3 \dots A_n$ /A: Alan Oranları (birimsiz)

L: Yapı Elemanlarının Toplam Uzunluğu, m

$L_1, L_2, L_3 \dots L_n$: 1'den n'ye kadar Yapı Elemanlarının Uzunlukları, m

h: Yapı Elemanlarının Toplam Yüksekliği, m

$h_1, h_2, h_3 \dots h_n$: 1'den n'ye kadar Yapı Elamanlarının Yükseklikleri, m

EPS YKDBT duvar sisteminin eşdeğer ısı geçirgenlik katsayısı (U), (45), (46), (47) ve (48) nolu eşitlikler yardımıyla hesaplandı.

$$U = U_1 \cdot \frac{A_1}{A} + U_2 \cdot \frac{A_2}{A}$$

$$U = U_1 \cdot \frac{[(h \cdot L_2) + (h_1 \cdot L_1) + (h_3 \cdot L_1)]}{L \cdot h} + U_2 \cdot \frac{(L_1 \cdot h_2)}{L \cdot h}$$

$$U = 0,370 \cdot \frac{[(0,250 \cdot 0,181) + (0,095 \cdot 0,068) + (0,061 \cdot 0,068)]}{0,250 \cdot 0,249} + 0,138 \cdot \frac{(0,068 \cdot 0,094)}{0,250 \cdot 0,249}$$

$$U = 0,346 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Tablo 4.3. EPS YKDBT Duvar Sistemi Özgül Isı Kaybı (Kalıp Kalınlığı 250 mm)

BİNANIN ÖZGÜL ISI KAYBI							
Binadaki yapı elemanları		Yapı elemanı kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri	Isıl iletkenlik direnci	Isı geçirgenlik katsayısı	Isı kaybeden yüzey alanı	Isı kaybı
		d	λ_h	R	U	A	A×U
		m	W/mK	m²K/W	W/m²K	m²	W/K
Duvar Seri Bileşen 1	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,0100	0,700	0,014			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,0425	0,035	1,214			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,1620	2,500	0,065			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,0425	0,035	1,214			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,0080	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040			
TOPLAM				2,701	0,370	270,436	100,140
Duvar Seri Bileşen 2	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,247	0,035	7,057			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040			
	TOPLAM				7,264	0,138	30,852
Duvar Seri Bileşen 3	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,2045	2,500	0,082			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,0425	0,035	1,214			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,0080	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040			
TOPLAM				1,489	0,672	14,590	9,800

Tablo 4.3. (devam ediyor)

		d m	λ_h W/(m·K)	R m ² K/W	U W/(m ² ·K)	A m ²	A×U W/K
Çatıda Seri Bileşen	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,120	2,500	0,048			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,100	0,035	2,857			
	4.6 Çimento Harçlı Şap	0,020	1,400	0,014			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,080			
TOPLAM			0,8×A×U	3,144	0,318	195,950	49,860
Zeminde Seri Bileşen	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,170			
	8.1.1 İğne Yapraklı Ağaçlardan Elde Edilmiş Ahşap Mamulleri	0,010	0,130	0,077			
	4.6 Çimento Harçlı Şap	0,020	1,400	0,014			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,120	2,500	0,048			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,100	0,035	2,857			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,170			
TOPLAM			0,5×A×U	3,359	0,298	195,950	29,170
Dış Pencere 1					2,400	45,920	110,200
Dış Kapı					4,000	3,000	12,000
Yapı elemanlarında iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =						315,400	
$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_I A_I + U_d A_d + \dots$ $\sum AU = 315,400 \text{ W/K}$				İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı; $H_T = \sum AU + 1 U_I$ Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı $H_V = 0,33 \cdot \eta_h \cdot V_h = 248,310 \text{ W/K}$			
Özgül Isı Kaybı; $H = H_T + H_V$							
$H = H_i + H_v = 563,710 \text{ W/K}$							

Tablo 4.4. EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu
(Kalıp Kalınlığı 250 mm–1. DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_T+H_v$ W/K	$\theta_i-\theta_e$ K, °C	$H.(\theta_i-\theta_e)$ W	Φ_i W	Φ_s W	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_s$ W			
Ocak	563,71	10,6	5.975	1.881	978	2.859	0,48	0,88	8.966.573
Şubat		10,0	5.637		1.274	3.155	0,56	0,83	7.823.693
Mart		7,4	4.171		1.657	3.538	0,85	0,69	4.484.559
Nisan		3,2	1.804		1.921	3.802	2,11	0,38	930.715
Mayıs		0,0	0		2.364	4.245	0,00	0,00	0
Haziran		0,0	0		2.517	4.398	0,00	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		0,0	0		1.743	3.624	0,00	0,00	0
Ekim		0,5	282		1.310	3.191	11,32	0,00	0
Kasım		6,0	3.382		934	2.815	0,83	0,70	3.659.023
Aralık		9,7	5.468		846	2.727	0,50	0,86	8.094.005
							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$	33.959.155	
<p>$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] \cdot t$ (Joule) 1 kJ = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh</p> <p>Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 33.959.155$ (kJ) = 9.441 kWh</p> <p>Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)</p> <p>Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum I_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$</p> <p>Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$</p> <p>Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$</p> <p>$A_{toplam} = 756,700$ m²</p> <p>$V_{brüt} = 1175,700$ m³</p> <p>Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi</p> <p>$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 8,03$ kWh/m³ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220$ m²</p> <p>$A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oranı 1. bölge için EK A2'den alınan $Q' = 14,1 \times A/V + 3,4$ formülünde yerine konduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 12,47$ kW·h/m³ bulunur.</p> <p>$Q < Q'$ (8,03 < 12,47) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda uygundur.</p>									

Tablo 4.5. EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu
(Kalıp Kalınlığı 250 mm–2.DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıplan	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_r+H_v$ W/K	$\theta_i-\theta_e$ K, °C	$H_i(\theta_i-\theta_e)$ W	Φ_i W	Φ_s W	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$ W			
Ocak	563,71	16,1	9.076	1.881	978	2.859	0,32	0,96	16.409.773
Şubat		14,6	8.230		1.274	3.155	0,38	0,93	13.726.885
Mart		11,7	6.595		1.657	3.538	0,54	0,84	9.391.871
Nisan		6,2	3.495		1.921	3.802	1,09	0,60	3.145.916
Mayıs		1,0	564		2.364	4.245	7,53	0,00	0
Haziran		0,0	0		2.517	4.398	0,00	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		0,0	0		1.743	3.624	0,00	0,00	0
Ekim		4,9	2.762		1.310	3.191	1,16	0,58	2.362.294
Kasım		10,5	5.919		934	2.815	0,48	0,88	8.920.770
Aralık		15,2	8.568		846	2.727	0,32	0,96	15.423.416
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ KWh							$Q_{yil} = \sum Q_{ay} =$		69.381.415
<p>Toplam ısı kaybı $Q_{yil} = 0,278\times 10^{-3} \times 69.381.415$ (kJ) = 19.288 KWh</p> <p>Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)</p> <p>Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$</p> <p>Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$</p> <p>Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$</p> <p>$A_{toplam} = 756,700$ m²</p> <p>$V_{brüt} = 1175,700$ m³</p> <p>Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi</p> <p>$Q = Q_{yil} / V_{brüt} = 16,40$ kW·h/m³ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220$ m²</p> <p>$A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oram 2. bölge için EK A2'den alınan $Q' = 22,4 \times A/V + 7,8$ formülünde yerine konulduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 22,22$ kWh/m³ bulunur.</p> <p>$Q < Q'$ (16,40 < 22,22) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda uygundur.</p>									

Tablo 4.6. EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu
(Kalıp Kalınlığı 250 mm–3.DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_r+H_v$ (W/K)	$\theta_i-\theta_e$ (K,°C)	$H_i(\theta_i-\theta_e)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$ (W)			
Ocak	563,71	19,3	10.880	1.881	978	2.859	0,26	0,98	20.937.406
Şubat		18,9	10.654		1.274	3.155	0,30	0,96	19.764.568
Mart		14,9	8.399		1.657	3.538	0,42	0,91	13.425.469
Nisan		8,9	5.017		1.921	3.802	0,76	0,73	5.810.017
Mayıs		4,6	2.593		2.364	4.245	1,64	0,46	1.659.569
Haziran		0,5	282		2.517	4.398	15,60	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	1.015		1.743	3.624	3,57	0,00	0
Ekim		7,4	4.171		1.310	3.191	0,76	0,73	4.774.345
Kasım		13,4	7.554		934	2.815	0,37	0,93	12.793.111
Aralık		17,7	9.978		846	2.727	0,27	0,98	18.934.734
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ kWh							$Q_{yil} = \sum Q_{ay} =$		98.099.611
<p>Toplam ısı kaybı $Q_{yil} = 0,278\times 10^{-3} \times 98.099.611$ (kJ) = 27.272 kWh Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5.A_n$ (W) Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$ Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$ Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$ $A_{toplam} = 756,700$ m² $V_{brüt} = 1175,700$ m³</p> <p>Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi $Q = Q_{yil} / V_{brüt} = 23,19$ kWh/m³ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220$ m² $A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oran 3. bölge için EK A2'den alınan $Q' = 22,4 \times A/V + 11,7$ formülünde yerine konulduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 27,40$ kWh/m³ bulunur.</p> <p>$Q < Q'$ (23,19 < 27,40) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda uygundur.</p>									

Tablo 4.7. EPS YKDBT Duvar Sistemi Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu
(Kalıp Kalınlığı 250 mm–4.DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_r+H_v$ (W/K)	$\theta_i-\theta_e$ (K,°C)	$H_i(\theta_i-\theta_e)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$ (W)			
Ocak	563,71	24,4	13.755	1.881	978	2.859	0,21	0,99	28.315.070
Şubat		23,7	13.360		1.274	3.155	0,24	0,98	26.614.467
Mart		18,7	10.541		1.657	3.538	0,34	0,95	18.611.019
Nisan		11,1	6.257		1.921	3.802	0,61	0,81	8.236.031
Mayıs		6,2	3.495		2.364	4.245	1,21	0,56	2.897.084
Haziran		1,7	958		2.517	4.398	4,59	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		2,5	1.409		1.743	3.624	2,57	0,00	0
Ekim		8,7	4.904		1.310	3.191	0,65	0,79	6.177.454
Kasım		15,9	8.963		934	2.815	0,31	0,96	16.227.187
Aralık		21,8	12.289		846	2.727	0,22	0,99	24.851.890
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ kWh							$Q_{yil} = \sum Q_{ay} =$		131.933.594
<p>Toplam ısı kaybı $Q_{yil} = 0,278\times 10^{-3} \times 131.993.594$ (kJ) = 36.678 kWh Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5.A_n$ (W) Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$ Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$ Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$ $A_{toplam} = 756,700$ m² $V_{brüt} = 1175,700$ m³</p> <p>Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi $Q = Q_{yil} / V_{brüt} = 31,19$ kWh/m³ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220$ m² $A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oram 4. bölge için EK A2'den alınan $Q' = 26,5 \times A/V + 16,3$ formülünde yerine konulduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 33,36$ kWh/m³ bulunur.</p> <p>$Q < Q'$ (31,19 < 33,36) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda uygundur.</p>									

4.4.2.2 Örnek Yapıda Geleneksel Yalıtım Sistemleri Uygulandığında Kış Konforu Hesaplamaları

Kış konforu ile ilgili hesaplamalar, TS 825’de verilen tüm derece gün bölgeleri için dışarıdan yalıtım, içeriden yalıtım ve çift duvar arası yalıtım uygulamaları için ayrı ayrı yapıldı. Geleneksel yalıtım sistemlerinde, duvar kesitleri dışındaki kesitler EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan kesitler ile aynı tutuldu. Duvar kesitlerinde ise incelenen geleneksel yalıtım sisteminin özelliklerine uygun olarak hem malzemeler ve hem de yalıtım kalınlıkları değiştirildi. TS 825’e uygunluk duvar kesitlerinde kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığının değiştirilmesiyle sağlandı, diğer kesitlerde kullanılan yalıtım kalınlıkları sabit tutuldu.

Dışarıdan yalıtım uygulamasında binanın özgül ısı kaybı ile ilgili bilgiler Tablo 4.8’de verildi. Bu değerler 1., 2., 3. derece gün bölgeleri için aynen geçerlidir. Ancak 4. derece gün bölgesinde yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, yönetmelikte izin verilen değerden yüksek çıktığı için kullanılan kesitin yetersiz kaldığı tespit edildi (Tablo 4.12). Bu sebeple duvar kesitlerindeki yalıtım kalınlıkları artırıldı. 4. derece gün bölgesinde geçerli olan kesitler ve özellikleri Tablo 4.13’te gösterildi. Binanın Tablo 4.8’de belirtilen özelliklere sahip olması durumunda 1., 2. ve 3. derece gün bölgeleri için belirlenen yıllık ısıtma enerjisi Tablo 4.9-4.11 arasında ve değiştirilen kesite (Tablo 4.13) göre 4. derece gün bölge için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ise Tablo 4.14’te verildi.

Örnek olması için sadece dışarıdan yalıtım sistemi için yapılan hesaplamalar ve sonuçları tablolar halinde verildi. İçeriden yalıtım ve çift duvararası yalıtım sistemlerinde kullanılan yalıtım malzemesi kalınlıkları, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları, kış konforu hesap sonuçları tablosunda (Tablo 4.25) verildi.

Tablo 4.8. Dışarıdan Yalıtımlı Geleneksel Yapı Sistemi Özgül Isı Kaybı

BİNANIN ÖZGÜL ISI KAYBI						
Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri	Isıl iletkenlik direnci	Isı geçirgenlik katsayısı	Isı kaybeden yüzey alanı	Isı kaybı
	d	λ_h	R	U	A	A×U
	m	W/mK	m²K/W	W/m²K	m²	W/K
Duvarda Seri Bileşen 1	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014		
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020		
	7.1.5.2 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,135	0,360	0,375		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,050	0,035	1,429		
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023		
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040		
TOPLAM			2,031	0,492	211,330	104,070
Duvarda Seri Bileşen 2	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014		
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,050	0,035	1,429		
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023		
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040		
TOPLAM			1,756	0,570	89,960	51,240
Duvarda Seri Bileşen 3	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,050	0,035	1,429		
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023		

	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040			
TOPLAM				1,721	0,581	14,590	8,480

Tablo 4.8. (devam ediyor)

		d m	λ_h W/(m·K)	R m ² ·K/W	U W/(m ² ·K)	A m ²	A×U W/K
Çatıda Seri Bileşen	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,120	2,500	0,048			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,100	0,035	2,857			
	4.6 Çimento Harçlı Şap	0,020	1,400	0,014			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,080			
	TOPLAM			0,8×A×U	3,144	0,318	195,95
Zeminde Seri Bileşen	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,170			
	8.1.1 İğne Yapraklı Ağaçlardan Elde Edilmiş Ahşap Mamulleri	0,010	0,130	0,077			
	4.6 Çimento Harçlı Şap	0,020	1,400	0,014			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,120	2,500	0,048			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,100	0,035	2,857			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,170			
	TOPLAM			0,5×A×U	3,359	0,298	195,95
Dış Pencere 1					2,400	45,92	110,200
Dış Kapı					4,000	3,00	12,000
Yapı elemanlarında iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =						365,000	
$\sum A \cdot U = U_D \cdot A_D + U_P \cdot A_P + 0.8 \cdot U_T \cdot A_T + 0.5 \cdot U_I \cdot A_I + U_Q \cdot A_Q + \dots$ $\sum A \cdot U = 365,000 \text{ W/K}$				İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı; $H_T = \sum A \cdot U + \ell \cdot U_I$ Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı $H_V = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h = 248,310 \text{ W/K}$			
Özgül Isı Kaybı; $H = H_T + H_V$							
$H = H_i + H_v = 613,310 \text{ W/K}$							

Tablo 4.9. Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (1.DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO (-)	Kazanç kullanım faktörü (-)	Isıtma enerjisi ihtiyacı (kJ)
	Özgül ısı kaybı (W/K)	Sıcaklık farkı (K,°C)	Isı kayıpları (W)	İç ısı kazancı (W)	Güneş enerjisi kazancı (W)	Toplam (W)			
	$H=H_i+H_e$	$\theta_i-\theta_e$	$H_i(\theta_i-\theta_e)$	Φ_i	Φ_s	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$			
Ocak	613,31	10,6	6.501	1.881	978	2.859	0,44	0,90	10.181.081
Şubat		10,0	6.133		1.274	3.155	0,51	0,86	8.863.862
Mart		7,4	4.538		1.657	3.538	0,78	0,72	5.160.916
Nisan		3,2	1.963		1.921	3.802	1,94	0,40	1.145.125
Mayıs		0,0	0		2.364	4.245	0,00	0,00	0
Haziran		0,0	0		2.517	4.398	0,00	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		0,0	0		1.743	3.624	0,00	0,00	0
Ekim		0,5	307		1.310	3.191	10,41	0,00	0
Kasım		6,0	3.680		934	2.815	0,77	0,73	4 211 637
Aralık		9,7	5.949		846	2.727	0,46	0,89	9.129 042
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ KWh							$Q_{yıl}=\sum Q_{ay}=\mathbf{38.692.251}$		

Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 38.692.251$ (kJ) = 10.756 KWh

Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)

Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$

Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$

Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$

$A_{toplam} = 756,700 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 1175,700 \text{ m}^3$

Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi

$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 9,15 \text{ kWh/m}^3$ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oran **1. bölge** için EK A2'den alınan $Q' = 14,1 \times A/V + 3,4$ formülünde yerine konduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 12,47 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q'$ (9,15 < 12,47) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda **uygundur**.

Tablo 4.10. Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (2.DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO (-)	Kazanç kullanım faktörü (-)	Isıtma enerjisi ihtiyacı (kJ)
	Özgül ısı kaybı (W/K)	Sıcaklık farkı (K,°C)	Isı kayıpları (W)	İç ısı kazancı (W)	Güneş enerjisi kazancı (W)	Toplam (W)			
	$H=H_i+H_e$	$\theta_i-\theta_e$	$H_i(\theta_i-\theta_e)$	Φ_i	Φ_s	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$			
Ocak	613,31	16,1	9.874	1.881	978	2.859	0,29	0,97	18.405.769
Şubat		14,6	8.954		1.274	3.155	0,35	0,94	15.522.259
Mart		11,7	7.176		1.657	3.538	0,49	0,87	10.620.790
Nisan		6,2	3.803		1.921	3.802	1,00	0,63	3.647.519
Mayıs		1,0	613		2.364	4.245	6,92	0,00	0
Haziran		0,0	0		2.517	4.398	0,00	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		0,0	0		1.743	3.624	0,00	0,00	0
Ekim		4,9	3.005		1.310	3.191	1,06	0,61	2.743.940
Kasım		10,5	6.440		934	2.815	0,44	0,90	10.124.754
Aralık		15,2	9.322		846	2.727	0,29	0,97	17.306.815
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ KWh							$Q_{yıl}=\sum Q_{ay}=$		78.372.337

Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 78.372.337$ (kJ) = 21.788 KWh

Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)

Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$

Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$

Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$

$A_{toplam} = 756,700$ m²

$V_{brüt} = 1175,700$ m³

Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi

$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 18,53$ kWh/m³ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220$ m²

$A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oran **2. bölge** için EK A2'den alınan $Q' = 22,4 \times A/V + 7,8$ formülünde yerine konduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 22,22$ kWh/m³ bulunur.

$Q < Q'$ (18,53 < 22,22) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda **uygundur**.

Tablo 4.11. Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (3.DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO (-)	Kazanç kullanım faktörü (-)	Isıtma enerjisi ihtiyacı (kJ)
	Özgül ısı kaybı (W/K)	Sıcaklık farkı (K,°C)	Isı kayıpları (W)	İç ısı kazancı (W)	Güneş enerjisi kazancı (W)	Toplam (W)			
	$H=H_i+H_e$	$\theta_i-\theta_e$	$H_i(\theta_i-\theta_e)$	Φ_i	Φ_s	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$			
Ocak	613,31	19,3	11.837	1.881	978	2.859	0,24	0,98	23.418.676
Şubat		18,9	11.592		1.274	3.155	0,27	0,98	22.030.857
Mart		14,9	9.138		1.657	3.538	0,39	0,92	15.249.304
Nisan		8,9	5.458		1.921	3.802	0,70	0,76	6.658.483
Mayıs		4,6	2.821		2.364	4.245	1,50	0,49	1.920.999
Haziran		0,5	307		2.517	4.398	14,34	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	1.104		1.743	3.624	3,28	0,00	0
Ekim		7,4	4.538		1.310	3.191	0,70	0,76	5.477.399
Kasım		13,4	8.218		934	2.815	0,34	0,95	14.369.929
Aralık		17,7	10.856		846	2.727	0,25	0,98	21.210.302
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ KWh							$Q_{yıl}=\sum Q_{ay}=\mathbf{110.336.340}$		

Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 110.336.340$ (kJ) = 30.674 KWh

Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)

Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$

Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_i - \theta_{e,ay})$

Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$

$A_{toplam} = 756,700 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 1175,700 \text{ m}^3$

Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi

$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 26,08 \text{ kWh/m}^3$ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oranı **3. bölge** için EK A2'den alınan $Q' = 24,4 \times A/V + 11,7$ formülünde yerine konduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 27,40 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q'$ ($26,08 < 27,40$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda **uygundur**.

Tablo 4.12. Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (4.DG)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıplan	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_i+H_v$ (W/K)	$\theta_i-\theta_e$ (K, °C)	$H_i(\theta_i-\theta_e)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$ (W)			
Ocak	613,31	24,4	14.965	1.881	978	2.859	0,19	0,99	31.452.012
Şubat		23,7	14.535		1.274	3.155	0,22	0,99	29.579.507
Mart		18,7	11.469		1.657	3.538	0,31	0,96	20.923.394
Nisan		11,1	6.808		1.921	3.802	0,56	0,83	9.465.831
Mayıs		6,2	3.803		2.364	4.245	1,12	0,59	3.364.214
Haziran		1,7	1.043		2.517	4.398	4,22	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		2,5	1.533		1.743	3.624	2,36	0,35	686.556
Ekim		8,7	5.336		1.310	3.191	0,60	0,81	7.130.584
Kasım		15,9	9.752		934	2.815	0,29	0,97	18.198.248
Aralık		21,8	13.370		846	2.727	0,20	0,99	27.657.568
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ KWh							$Q_{yıl}=\sum Q_{ay}=\mathbf{148.458.209}$		

Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 148.458.209$ (kJ) = 41.271 KWh

Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)

Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$

Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$

Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$

$A_{toplam} = 756,700 \text{ m}^2$

$V_{brüt} = 1175,700 \text{ m}^3$

Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi

$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 35,09 \text{ kWh/m}^3$ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220 \text{ m}^2$

$A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oranı **4. bölge** için EK A2'den alınan $Q' = 26,5 \times A/V + 16,3$ formülünde yerine konulduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 33,36 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q > Q'$ ($35,09 > 33,36$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda **uygun değildir**.

Tablo 4.13. Dışarıdan Yalıtımlı Geleneksel Yapı Sistemi Özgül Isı Kaybı
(Yalıtım Kalınlığı 70 mm)

BİNANIN ÖZGÜL ISI KAYBI							
Binadaki yapı elemanları		Yapı elemanı kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri	Isıl iletkenlik direnci	Isı geçirgenlik katsayısı	Isı kaybeden yüzey alanı	Isı kaybı
		d	λ_h	R	U	A	A×U
		m	W/mK	m²K/W	W/m²K	m²	W/K
Duvarda Seri Bileşen 1	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014			
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020			
	7.1.5.2 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,135	0,360	0,375			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,070	0,035	2,000			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040			
TOPLAM				2,602	0,384	211,330	81,210
Duvarda Seri Bileşen 2	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014			
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,070	0,035	2,000			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040			
TOPLAM				2,327	0,430	89,960	36,660
Duvarda Seri Bileşen 3	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,070	0,035	2,000			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,040			
TOPLAM				2,293	0,436	14,590	6,360

Tablo 4.13. (devam ediyor)

		d	λ_h	R	U	A	A×U
		m	W/mK	m²K/W	W/m²K	m²	W/K
Çatıda Seri Bileşen	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,130			
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,120	2,500	0,048			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,100	0,035	2,857			
	4.6 Çimento Harçlı Şap	0,020	1,400	0,014			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,080			
TOPLAM		0,8×A×U		3,144	0,318	195,95	49,860
Zeminde Seri Bileşen	R _i (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,170			
	8.1.1 İğne Yapraklı Ağaçlardan Elde Edilmiş Ahşap Mamulleri	0,010	0,130	0,077			
	4.6 Çimento Harçlı Şap	0,020	1,400	0,014			
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,120	2,500	0,048			
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,100	0,035	2,857			
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023			
	R _e (Yüzeysel iletim katsayısı)			0,170			
TOPLAM		0,5×A×U		3,359	0,298	195,95	29,170
Dış Pencere 1					2,400	45,92	110,200
Dış Kapı					4,000	3,00	12,000
Yapı elemanlarında iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =						327,400	
$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_I A_I + U_d A_d + \dots$				İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı;			
$\sum AU = 327,400 \text{ W/K}$				$H_T = \sum AU + I U_1$			
Özgül Isı Kaybı; $H = H_T + H_V$				Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı			
				$H_V = 0,33 \cdot \eta_h \cdot V_h = 248,310 \text{ W/K}$			
$H = H_i + H_v = 575,710 \text{ W/K}$							

Tablo 4.14. Dışarıdan Yalıtımlı Yapı Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Tablosu (4.DG)
(Yalıtım Kalınlığı 70 mm)

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_r+H_v$ (W/K)	$\theta_i-\theta_e$ (K,°C)	$H_i(\theta_i-\theta_e)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_s$ (W)			
Ocak	575,71	24,4	14.047	1.881	978	2.859	0,20	0,99	29.074.008
Şubat		23,7	13,644		1.274	3.155	0,23	0,99	27.269.724
Mart		18,7	10,766		1.657	3.538	0,33	0,95	19.192.664
Nisan		11,1	6.390		1.921	3.802	0,59	0,82	8.482.789
Mayıs		6,2	3.569		2.364	4.245	1,19	0,57	2.980.028
Haziran		1,7	979		2.517	4.398	4,49	0,00	0
Temmuz		0,0	0		2.439	4.320	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		2.216	4.097	0,00	0,00	0
Eylül		2,5	1.439		1.743	3.624	2,52	0,00	0
Ekim		8,7	5.009		1.310	3.191	0,64	0,79	6.448.059
Kasım		15,9	9.154		934	2.815	0,31	0,96	16.721.741
Aralık		21,8	12.550		846	2.727	0,22	0,99	25.532.957
$Q_{ay}=[H(\theta_i-\theta_e)-\eta(\Phi_{i,ay}+\Phi_{s,ay})].t$ (Joule) $1kJ=0,278\times 10^{-3}$ kWh							$Q_{yil} = \sum Q_{ay} =$		135.702.362
<p>Toplam ısı kaybı $Q_{yil} = 0,278\times 10^{-3} \times 135.702.362$ (kJ) = 41.271 kWh</p> <p>Konutlar için iç ısı kazancı $\Phi_{i,ay} \leq 5.A_n$ (W)</p> <p>Güneş enerjisi kazancı $\Phi_{g,ay} = \sum F_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$</p> <p>Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$</p> <p>Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$</p> <p>$A_{toplam} = 756,700$ m²</p> <p>$V_{brüt} = 1175,700$ m³</p> <p>Hesaplama yapılan binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi</p> <p>$Q = Q_{yil} / V_{brüt} = 32,08$ kWh/m³ $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 376,220$ m²</p> <p>$A_{top} / V_{brüt} = 0,64$ oranı 4. bölge için EK A2'den alınan $Q' = 26,5 \times A/V + 16,3$ formülünde yerine konduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 33,36$ kWh/m³ bulunur.</p> <p>$Q < Q'$ (32,08 < 33,36) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre standarda uygundur.</p>									

4.4.3 Yaz Konforu İle İlgili Hesaplamalar

Yaz konforu ile ilgili hesaplamalar, EPS YKDBT duvar kesitleri ve geleneksel yalıtım sistemlerinde kullanılan duvar kesitlerinde ISO 13786 “Thermal Performance of Building Components-Dynamic Thermal Characteristics-Calculation Methods” standardında verilen hesap yöntemi kullanılarak yapıldı. Yapılan hesaplamalar ile ilgili sonuçlar aşağıda verildi.

4.4.3.1 Örnek Yapıda EPS YKDBT Duvar Sistemi Uygulandığında Yaz Konforu İle İlgili Hesaplamalar

Örnek yapıda EPS YKDBT duvar sisteminin uygulanması durumunda yaz konforu ile ilgili hesaplamalar ISO 13786’ya göre yapılarak sonuçlar tablolar halinde gösterildi. 250 mm kalınlığında EPS kalıbın kullanılması durumunda bulunan katman matrisleri ve ilgili diğer özellikler Tablo 4.15’te elemanın yüzeyden yüzeye (Z_{yy}) ve ortamdan ortama (Z_{oo}) iletim matrisleri ve bu matrislerin inversleri Tablo 4.16’da verildi. Elemanın yüzeyden yüzeye ve ortamdan ortama iletim matrislerinin inversleri kullanılarak bulunan matris elemanlarının argümanları ve modülleri; ortamdan ortama iletim matrislerinin inversleri kullanılarak bulunan zaman ötelemeleri, ısı kabulleri ve azaltma faktörü; yüzeyden yüzeye iletim matrisinin inversi kullanılarak bulunan ısı kapasiteleri ve toplam ısı kapasiteleri ile sabit rejim şartlarında oluşacak ısı iletkenlik değerleri Tablo 4.17’de verildi. Benzer şekilde tez çalışması kapsamında incelenen diğer EPS kalıpların kullanılması durumunda hesaplanan değerler özet olarak Tablo 4.26’da verildi.

Tablo 4.15. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Değişken Kesitli Kalıpların Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri (Kalınlık 250 mm)

Kesitler	Kalınlık	Isıl İletenlik	Isıl Direnç	Yoğunluk	Özgül Isı Kapasitesi	Periyodik Nüfuziyet Derinliği	Oran	Katman Isı İletim Matrisleri	
	d (m)	λ (W/mK)	$d/\lambda, 1/a$ (m ² K/W)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	δ (m)	$\xi=d/\delta$ (-)		
Duvarda Seri Bileşen 1	R_i		0,130					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,0100	0,700	0,014	1400	1085	0,1126	0,0888	$\begin{pmatrix} 0,99999+0,0078903i & -0,014286-0,0000376i \\ 0,00290535-1,10465i & 0,99999+0,00789034i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,0425	0,035	1,214	30	1296	0,1573	0,2701	$\begin{pmatrix} 0,999113+0,0729536i & -1,21407-0,0295298i \\ 0,0029223-0,120145i & 0,999113+0,0729536i \end{pmatrix}$
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,1620	2,500	0,065	2400	1000	0,1693	0,9571	$\begin{pmatrix} 0,86041+0,907552i & -0,0629893-0,0197085i \\ 8,59944-27,4843i & 0,86041+0,907552i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,0425	0,035	1,214	30	1296	0,1573	0,2701	$\begin{pmatrix} 0,999113+0,0729536i & -1,21407-0,0295298i \\ 0,0029223-0,120145i & 0,999113+0,0729536i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva	0,0080	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994+0,005984i & -0,02286-0,0000456i \\ 0,001044-0,523598i & 0,999994+0,005894i \end{pmatrix}$
	R_c			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 2	R_i		0,013						$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,0100	0,700	0,014	1400	1085	0,1126	0,0888	$\begin{pmatrix} 0,99999+0,0078903i & -0,014286-0,0000376i \\ 0,00290535-1,10465i & 0,99999+0,00789034i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,2470	0,035	7,057	30	1296	0,1573	1,5698	$\begin{pmatrix} 0,0024995+2,2988i & -5,64009-5,62978i \\ 0,557124-0,558144i & 0,0024995+2,2988i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva	0,0080	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994+0,005984i & -0,022856-0,0000456i \\ 0,001044-0,523598i & 0,999994+0,005984i \end{pmatrix}$
	R_c			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Tablo 4.15. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Değişken Kesitli Kalıpların Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri (Kalınlık 250 mm)
(devam ediyor)

Kesitler		Kalınlık	Isıl İletenlik	Isıl Direnç	Yoğunluk	Özgül Isı Kapasitesi	Periyodik Nüfuziyet Derinliği	Oran	Katman Isı İletim Matrisleri
		d (m)	λ (W/mK)	$d/\lambda, 1/\alpha$ (m ² K/W)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	δ (m)	$\xi=d/\delta$ (-)	$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 3	R_i			0,130					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,2045	2,500	0,082	2400	1000	0,1693	1,2082	$\begin{pmatrix} 0,64663 + 1,4253i & -0,0760058 - 0,0394005i \\ 17,1917 - 33,1638i & 0,64663 + 1,4253i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,0425	0,035	1,214	30	1296	0,1573	0,2701	$\begin{pmatrix} 0,999113 + 0,0729536i & -1,21407 - 0,0295298i \\ 0,0029223 - 0,120145i & 0,999113 + 0,0729536i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva	0,0080	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994 + 0,005984i & -0,02286 - 0,0000456i \\ 0,001044 - 0,523598i & 0,999994 + 0,005984i \end{pmatrix}$
	R_e			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Tablo 4.16. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Değişken Kesitli Kalıpların Matris Değerleri (Kalınlık 250 mm)

Kesitler		Yüzeyden yüzeye iletim matrisi = Z_{yy} Yüzeyden yüzeye iletim matrisinin inversi = Z_{yy}^{-1}	Ortamdan ortama iletim matrisi = Z_{oo} Ortamdan ortama iletim matrisinin inversi = Z_{oo}^{-1}
Duvarda Seri Bileşen 1	R_i		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -61,285+19,0536i & 13,7972-43,3662i \\ 59,8991+20,1739i & -36,0572+26,6335i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -63,6809+18,2466i & 23,518-46,8036i \\ 59,8991+20,1739i & -43,8441+24,0109i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	$Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -36,0572+26,6335i & -13,7972+43,3662i \\ -59,8991-20,1739i & -61,285+19,0536i \end{pmatrix}$	$Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -43,8441+24,0109i & -23,518+46,8036i \\ -59,8991-20,1739i & -63,6809+18,2466i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva		
R_e			
Duvarda Seri Bileşen 2	R_i		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -6,37275+8,4877li & -5,56073-5,79324i \\ 7,55488+2,7506li & -3,03148+5,23045i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -6,67494+8,37768i & -4,57173-7,09156i \\ 7,55488+2,7506li & -4,01361+4,87288i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	$Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -3,03148+5,23045i & 5,56073+5,79324i \\ -7,55488-2,7506li & -6,37275+8,4877li \end{pmatrix}$	$Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -4,01361+4,87288i & 4,57173+7,09156i \\ -7,55488-2,7506li & -6,67494+8,37768i \end{pmatrix}$
R_e			
Duvarda Seri Bileşen 3	R_i		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -22,0091+41,8284i & -0,817497-1,83314i \\ 41,524-20,6347i & -0,412144+1,90882i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -23,670+42,6538i & 2,27609-7,45449i \\ 41,524-20,6347i & -5,81027+4,59134i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	$Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -0,412144+1,90882i & 0,817497+1,83314i \\ -41,524+20,6347i & -22,0091+41,8284i \end{pmatrix}$	$Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -5,81027+4,59134i & -2,27609+7,45449i \\ -41,524+20,6347i & -23,670+42,6538i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva		
R_e			

Tablo 4.17. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Değişken Kalıp Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri (Kalınlık 250 mm)

Kesitler	Duvarda Seri Bileşen 1		Duvarda Seri Bileşen 2		Duvarda Seri Bileşen 3	
	Argüman	Argüman	Argüman	Argüman	Argüman	Argüman
Argüman	Arg[Z _{ıyy11}] 2,505	Arg[Z _{ıoo11}] 2,641	Arg[Z _{ıyy11}] 2,096	Arg[Z _{ıoo11}] 2,260	Arg[Z _{ıyy11}] 1,783	Arg[Z _{ıoo11}] 2,473
Arg	Arg[Z _{ıyy12}] 1,879	Arg[Z _{ıoo12}] 2,036	Arg[Z _{ıyy12}] 0,806	Arg[Z _{ıoo12}] 0,998	Arg[Z _{ıyy12}] 1,151	Arg[Z _{ıoo12}] 1,867
Radyan	Arg[Z _{ıyy21}] -2,817	Arg[Z _{ıoo21}] -2,817	Arg[Z _{ıyy21}] -2,792	Arg[Z _{ıoo21}] -2,792	Arg[Z _{ıyy21}] 2,680	Arg[Z _{ıoo21}] 2,680
	Arg[Z _{ıyy22}] 2,840	Arg[Z _{ıoo22}] 2,863	Arg[Z _{ıyy22}] 2,215	Arg[Z _{ıoo22}] 2,244	Arg[Z _{ıyy22}] 2,055	Arg[Z _{ıoo22}] 2,077
Modül	Abs[Z _{ıyy11}] 44,827	Abs[Z _{ıoo11}] 49,988	Abs[Z _{ıyy11}] 6,045	Abs[Z _{ıoo11}] 6,313	Abs[Z _{ıyy11}] 1,953	Abs[Z _{ıoo11}] 7,405
Abs	Abs[Z _{ıyy12}] 45,508	Abs[Z _{ıoo12}] 52,380	Abs[Z _{ıyy12}] 8,030	Abs[Z _{ıoo12}] 8,437	Abs[Z _{ıyy12}] 2,007	Abs[Z _{ıoo12}] 7,794
-	Abs[Z _{ıyy21}] 63,205	Abs[Z _{ıoo21}] 63,205	Abs[Z _{ıyy21}] 8,040	Abs[Z _{ıoo21}] 8,040	Abs[Z _{ıyy21}] 46,369	Abs[Z _{ıoo21}] 46,369
-	Abs[Z _{ıyy22}] 64,179	Abs[Z _{ıoo22}] 66,244	Abs[Z _{ıyy22}] 10,614	Abs[Z _{ıoo22}] 10,712	Abs[Z _{ıyy22}] 47,265	Abs[Z _{ıoo22}] 48,781
Zaman Ötelemesi Δt	-	Δt ₁₁ =10,086 (Time lead) Δt ₁₂ =7,779 (Time lead)	-	Δt ₁₁ =8,632 (Time lead) Δt ₁₂ =3,813 (Time lead)	-	Δt ₁₁ =9,446 (Time lead) Δt ₁₂ =7,132 (Time lead)
Saat	-	Δt ₂₁ =-10,759 (Time lag) Δt ₂₂ =10,934 (Time lead)	-	Δt ₂₁ =-10,666 (Time lag) Δt ₂₂ =8,570 (Time lead)	-	Δt ₂₁ =10,238 (Time lead) Δt ₂₂ =7,935 (Time lead)
Isıl Kabuller	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =0,8657+0,9470i Abs[Y ₁₁]=1,283 Δt _{v11} =3,171	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =0,3417+1,3025i Abs[Y ₁₁]=1,347 Δt _{v11} =5,020	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =6,1582+1,4291i Abs[Y ₁₁]=6,322 Δt _{v11} =0,871
Abs[Y ₁₁], Abs[Y ₂₂], Δt _{y11} , Δt _{y22} ,	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,7940+0,5592i Abs[Y ₂₂]=0,971 Δt _{v22} =2,344	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,1634+0,8123i Abs[Y ₂₂]=0,829 Δt _{v22} =5,242	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,8185+0,6637i Abs[Y ₂₂]=1,054 Δt _{v22} =2,602
W/m ² K, Saat	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =0,8571+0,9300i Abs[Y ₁₁]=1,265 Δt _{v11} =3,155	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =0,4059+1,2029i Abs[Y ₁₁]=1,270 Δt _{v11} =4,757	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =6,1208+1,3064i Abs[Y ₁₁]=6,259 Δt _{v11} =0,803
-	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,7854+0,5421i Abs[Y ₂₂]=0,954 Δt _{v22} =2,308	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,2277+0,7127i Abs[Y ₂₂]=0,7482 Δt _{v22} =4,819	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,7811+0,5409i Abs[Y ₂₂]=0,950 Δt _{v22} =2,314
Isı Kapasite κ kJ/m ² K	κ ₁ 17,643	-	κ ₁ 18,517	-	κ ₁ 86,932	-
-	κ ₂ 13,354	-	κ ₂ 11,394	-	κ ₂ 14,491	-
Toplam Isı Kapasite C kJ/K	C ₁ 4771,30	-	C ₁ 571,28	-	C ₁ 1268,52	-
-	C ₂ 3611,39	-	C ₂ 351,54	-	C ₂ 211,45	-
Azaltma Faktörü f	-	0,052	-	0,861	-	0,191
Periyodik Isıl Geçirgenlik Y ₁₂ , Δt _{y12} W/m ² K, Saat	-	Abs[Y ₁₂] 0,019 Δt ₁₂ -7,779	-	Abs[Y ₁₂] 0,119 Δt ₁₂ -3,813	-	Abs[Y ₁₂] 0,128 Δt ₁₂ -7,132
Isı Geçirgenliği U W/m ² K	-	0,370	-	0,138	-	0,672

4.4.3.2 Örnek Yapıda Geleneksel Yalıtım Sistemleri Uygulandığında Yaz Konforu İle İlgili Hesaplamalar

Geleneksel yalıtım sistemlerinin yaz konforu açısından değerlendirilmesi sırasında, kış konforu için TS 825'e uygunluk sağlayan kesitler incelendi. TS 825'e uygunluk değerlendirmesi yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre belirlendiği için aynı $Q_{yıl}$ değeri farklı eleman kesitlerinde kullanılan yalıtım kalınlıkları değiştirilerek sağlanabilir. Tez çalışması kapsamında duvar kesitlerinde kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığı değiştirilerek, diğer kesitlerdeki yalıtım malzemelerinin kalınlıkları sabit tutuldu. Yaz konforu hesaplarında incelenen kesitler ve yalıtım kalınlıkları Tablo 4.18'de gösterildi.

Tablo 4.18. Yaz Konforunun İncelendiği Duvar Kesitleri ve Özellikleri

Yalıtım Sistemi	Duvar Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Çatı Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Zemin Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Derece Gün Bölge	Hesaplanan $Q_{yıl}$, kWh/m ²	İzin Verilen $Q'_{yıl}$, kWh/m ²	Kesit Adı Kısaltması
Dışarıdan Yalıtım	50	100	100	1	9,15	12,47	DY1
	50	100	100	2	18,53	22,22	DY2
	50	100	100	3	26,08	27,40	DY3
	70	100	100	4	32,08	33,36	DY4
İçeriden Yalıtım	50	100	100	1	11,06	12,47	İY1
	50	100	100	2	22,07	22,22	İY2
	90	100	100	3	27,18	27,40	İY3
	170	100	100	4	33,14	33,36	İY4
Çift Duvar Arası Yalıtım	50	100	100	1	11,25	12,47	ÇDY1
	60	100	100	2	21,55	22,22	ÇDY2
	110	100	100	3	27,01	27,40	ÇDY3
	220	100	100	4	33,30	33,36	ÇDY4

Dışarıdan yalıtım uygulamaları için DY kısaltması ile gösterilen kesitlere ait malzeme ve eleman özellikleri sırasıyla Tablo 4.19'da elemanların yüzeyden yüzeye (Z_{yy}) ve ortamdaki ortama (Z_{oo}) iletim matrisleri ve bu matrislerin inversleri Tablo 4.20'de verildi. Elemanın yüzeyden yüzeye ve ortamdaki ortama iletim matrislerinin inversleri kullanılarak bulunan matris elemanların argümanları ve modülleri; ortamdaki ortama iletim matrisinin inversi kullanılarak bulunan zaman ötelemeleri; ısı kabulleri ve azaltma faktörü; yüzeyden yüzeye iletim matrisinin inversi kullanılarak bulunan ısı kapasiteleri ve toplam ısı kapasiteleri ile sabit rejim şartlarında oluşacak ısı iletkenlik (U) değerleri Tablo 4.21'de verildi. Diğer kesitlerle ilgili benzer değerler hesaplanarak özet şeklinde Tablo 4.26'da verildi.

Tablo 4.19. Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri

Kesitler		Kalınlık	Isıl İletenlik	Isıl Direnç	Yoğunluk	Özgül Isı Kapasitesi	Periyodik Nüfuziyet Derinliği	Oran	Katman Isı İletim Matrisleri
		d (m)	λ (W/mK)	$d/\lambda, 1/\alpha$ (m ² K/W)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	δ (m)	$\xi=d/\delta$ (-)	$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 1	R_i			0,130					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014	1400	1085	0,1126	0,0888	$\begin{pmatrix} 0,99999 + 0,0078903i & -0,014286 - 0,0000376i \\ 0,00290535 - 1,10465i & 0,99999 + 0,00789034i \end{pmatrix}$
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020	1800	835	0,1353	0,1479	$\begin{pmatrix} 0,99992 + 0,021860li & -0,0199997 - 0,000146i \\ 0,015929 - 2,18599i & 0,99992 + 0,021860li \end{pmatrix}$
	7.1.5.2 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar(TS EN 771-1)	0,135	0,360	0,375	700	960	0,1214	1,1122	$\begin{pmatrix} 0,74590 + 1,2160i & -0,355912 - 0,153499i \\ 2,7005 - 6,26152i & 0,74590 + 1,2160i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük - TS 7316 TS EN 13163	0,050	0,035	1,429	30	1296	0,1573	0,3177	$\begin{pmatrix} 0,998301 + 0,100968i & -1,42809 - 0,0480833i \\ 0,0047583 - 0,141324i & 0,998301 + 0,100968i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994 + 0,005984i & -0,02286 - 0,0000456i \\ 0,001044 - 0,523598i & 0,999994 + 0,005984i \end{pmatrix}$
	R_e			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 2	R_i			0,013					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014	1400	1085	0,1126	0,0888	$\begin{pmatrix} 0,99999 + 0,0078903i & -0,014286 - 0,0000376i \\ 0,00290535 - 1,10465i & 0,99999 + 0,00789034i \end{pmatrix}$
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020	1800	835	0,1353	0,1479	$\begin{pmatrix} 0,99992 + 0,021860li & -0,019999 - 0,000146i \\ 0,015929 - 2,18599i & 0,99992 + 0,021860li \end{pmatrix}$
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100	2400	1000	0,1693	1,4770	$\begin{pmatrix} 0,215701 + 2,06672i & -0,0842343 - 0,0710778i \\ 31,0135 - 36,754li & 0,215701 + 2,06672i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük-TS 7316 TS EN 13163	0,050	0,035	1,429	30	1296	0,1573	0,3177	$\begin{pmatrix} 0,998301 + 0,100968i & -1,42809 - 0,0480833i \\ 0,004758 - 0,141324i & 0,998301 + 0,100968i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994 + 0,005984i & -0,022856 - 0,0000456i \\ 0,001044 - 0,523598i & 0,999994 + 0,005984i \end{pmatrix}$
	R_e			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Tablo 4.19. Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Katman Matrisleri ve ilgili Diğer Özellikleri (devam ediyor)

Kesitler		Kalınlık	Isıl İletenlik	Isıl Direnç	Yoğunluk	Özgül Isı Kapasitesi	Periyodik Nüfuziyet Derinliği	Oran	Katman Isı İletim Matrisleri
		d (m)	λ (W/mK)	$d/\lambda, 1/\alpha$ (m ² K/W)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	δ (m)	$\xi=d/\delta$ (-)	$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 3	R_i			0,130					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100	2400	1000	0,1693	1,4770	$\begin{pmatrix} 0,215701 + 2,06672i & -0,0842343 - 0,071078i \\ 31,0135 - 36,75410i & 0,215701 + 2,06672i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük - TS 7316 TS EN 13163	0,050	0,035	1,429	30	1296	0,1573	0,3177	$\begin{pmatrix} 0,998301 + 0,100968i & -1,42809 - 0,048083i \\ 0,0047583 - 0,141324i & 0,9998301 + 0,100968i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994 + 0,005984i & -0,02286 - 0,0000456i \\ 0,001044 - 0,523598i & 0,999994 + 0,005894i \end{pmatrix}$
	R_e			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Tablo 4.20. Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Matris Değerleri

Kesitler		Yüzeyden yüzeye iletim matrisi = Z_{yy} Yüzeyden yüzeye iletim matrisinin inversi = Z_{yy}^{-1}	Ortamdan ortama iletim matrisi = Z_{oo} Ortamdan ortama iletim matrisinin inversi = Z_{oo}^{-1}
Duvarda Seri Bileşen 1	R_i		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı		
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı		
	7.1.5.2 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar(TS EN 771-1)		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163		
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva		
	R_e		
		$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -10,8673+14,3397i & -1,09296-2,42926i \\ 15,7421-2,17095i & -0,867796+2,15555i \end{pmatrix}$ $Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -0,867796+2,15555i & 1,09296+2,42926i \\ -15,7421+2,17095i & -10,8673+14,3397i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -11,497+14,4265i & 0,436359-4,39093i \\ 15,7421-2,17095i & -2,91427+2,43777i \end{pmatrix}$ $Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -2,91427+2,43777i & -0,436359+4,39093i \\ -15,7421+2,17095i & -11,497+14,4265i \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 2	R_i		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı		
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük-TS 7316 TS EN 13163		
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva		
	R_e		
		$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -60,1094+51,7938i & 1,57347-4,91116i \\ 70,6409-0,50885i & -3,90762+2,4179i \end{pmatrix}$ $Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -3,90762+2,4179i & -1,57347+4,91116i \\ -70,6409+0,50885i & -60,1094+51,7938i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -62,935+51,8142i & 9,91133-11,7437i \\ 70,6409-0,50885i & -13,0909+2,48405i \end{pmatrix}$ $Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -13,0909+2,48405i & -9,91133+11,7437i \\ -70,6409+0,50885i & -62,935+51,8142i \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 3	R_i		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163		
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva		
	R_e		
		$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -47,1687+53,5719i & -0,267196-3,0909i \\ 62,9111-9,20408i & -1,60904+2,24287i \end{pmatrix}$ $Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -1,60904+2,24287i & 0,267196+3,0909i \\ -62,9111+9,20408i & -47,1687+53,5719i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -49,6851+53,9401i & 6,25623-10,1928i \\ 62,9111-9,20408i & -9,78749+3,4394i \end{pmatrix}$ $Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -9,78749+3,4394i & -6,25623+10,1928i \\ -62,9111+9,20408i & -49,6851+53,9401i \end{pmatrix}$

Tablo 4.21 Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Kullanılan Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri

Kesitler	Duvarda Seri Bileşen 1		Duvarda Seri Bileşen 2		Duvarda Seri Bileşen 3	
Argüman	Arg[Z _{iy11}] 1,954	Arg[Z _{ioo11}] 2,445	Arg[Z _{iy11}] 2,587	Arg[Z _{ioo11}] 2,954	Arg[Z _{iy11}] 2,193	Arg[Z _{ioo11}] 2,804
Arg	Arg[Z _{iy12}] 1,148	Arg[Z _{ioo12}] 1,670	Arg[Z _{iy12}] 1,881	Arg[Z _{ioo12}] 2,272	Arg[Z _{iy12}] 1,485	Arg[Z _{ioo12}] 2,121
Radyan	Arg[Z _{iy21}] 3,005	Arg[Z _{ioo21}] 3,005	Arg[Z _{iy21}] 3,134	Arg[Z _{ioo21}] 3,134	Arg[Z _{iy21}] 2,996	Arg[Z _{ioo21}] 2,996
	Arg[Z _{iy22}] 2,219	Arg[Z _{ioo22}] 2,244	Arg[Z _{iy22}] 2,430	Arg[Z _{ioo22}] 2,453	Arg[Z _{iy22}] 2,293	Arg[Z _{ioo22}] 2,315
Modül	Abs[Z _{iy11}] 2,324	Abs [Z _{ioo11}] 3,799	Abs[Z _{iy11}] 4,595	Abs [Z _{ioo11}] 13,325	Abs[Z _{iy11}] 2,760	Abs [Z _{ioo11}] 10,374
Abs	Abs[Z _{iy12}] 2,664	Abs[Z _{ioo12}] 4,413	Abs[Z _{iy12}] 5,157	Abs[Z _{ioo12}] 15,367	Abs[Z _{iy12}] 3,102	Abs[Z _{ioo12}] 11,960
-	Abs[Z _{iy21}] 15,891	Abs[Z _{ioo21}] 15,891	Abs[Z _{iy21}] 70,643	Abs[Z _{ioo21}] 70,643	Abs[Z _{iy21}] 63,581	Abs[Z _{ioo21}] 63,581
-	Abs[Z _{iy22}] 17,992	Abs[Z _{ioo22}] 18,447	Abs[Z _{iy22}] 79,346	Abs[Z _{ioo22}] 81,520	Abs[Z _{iy22}] 71,378	Abs[Z _{ioo22}] 73,336
Zaman Ötelemesi Δt	-	Δt ₁₁ =9,339 (Time lead)	-	Δt ₁₁ =11,284 (Time lead)	-	Δt ₁₁ =10,709 (Time lead)
Saat	-	Δt ₁₂ =6,378 (Time lead)	-	Δt ₁₂ =8,678 (Time lead)	-	Δt ₁₂ =8,103 (Time lead)
	-	Δt ₂₁ =11,477 (Time lead)	-	Δt ₂₁ =11,973 (Time lead)	-	Δt ₂₁ =11,445 (Time lead)
	-	Δt ₂₂ =8,570 (Time lead)	-	Δt ₂₂ =9,369 (Time lead)	-	Δt ₂₂ =8,843 (Time lead)
Isıl Kabuller	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =3,5335+2,4949i Abs[Y ₁₁]=4,326 Δt _{v11} =2,348	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =5,2601+1,0048i Abs[Y ₁₁]=5,355 Δt _{v11} =0,721	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =6,0608+1,2526i Abs[Y ₁₁]=6,189 Δt _{v11} =0,778
Abs[Y ₁₁], Abs[Y ₂₂], Δt _{y11} , Δt _{y22} ,	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,6375+0,8281i Abs[Y ₂₂]=1,045 Δt _{v22} =3,494	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,7149+0,5965i Abs[Y ₂₂]=0,931 Δt _{v22} =2,656	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,7169+0,6183i Abs[Y ₂₂]=0,947 Δt _{v22} =2,718
W/m ² K, Saat	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =3,5111+2,2694i Abs[Y ₁₁]=4,181 Δt _{v11} =2,192	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =5,2181+0,9551i Abs[Y ₁₁]=5,305 Δt _{v11} =0,691	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =6,0171+1,1813i Abs[Y ₁₁]=6,132 Δt _{v11} =0,741
-	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,6151+0,6026i Abs[Y ₂₂]=0,861 Δt _{v22} =2,961	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,6730+0,5468i Abs[Y ₂₂]=0,867 Δt _{v22} =2,606	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,6732+0,5470i Abs[Y ₂₂]=0,867 Δt _{v22} =2,606
Isı Kapasite κ kJ/m ² K	κ ₁ 59,480	-	κ ₁ 73,640	-	κ ₁ 85,103	-
-	κ ₂ 14,370	-	κ ₂ 12,803	-	κ ₂ 13,018	-
Toplam Isı Kapasite C kJ/K	C ₁ 13164,70	-	C ₁ 6624,47	-	C ₁ 1241,82	-
-	C ₂ 3180,59	-	C ₂ 1151,77	-	C ₂ 189,96	-
Azaltma Faktörü f -	-	0,460	-	0,114	-	0,144
Periyodik Isıl Geçirgenlik Y ₁₂ , Δt _{y12} W/m ² K, Saat	-	Abs[Y ₁₂] 0,227 Δt ₁₂ -6,378	-	Abs[Y ₁₂] 0,065 Δt ₁₂ -8,678	-	Abs[Y ₁₂] 0,084 Δt ₁₂ -8,103
Isı Geçirgenliği U W/m ² K	-	0,492	-	0,570	-	0,581

Tablo 4.22. Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri (Yalıtım kalınlığı 70 mm)

Kesitler		Kalınlık	Isıl İletenlik	Isıl Direnç	Yoğunluk	Özgül Isı Kapasitesi	Periyodik Nüfuziyet Derinliği	Oran	Katman Isı İletim Matrisleri
		d (m)	λ (W/mK)	$d/\lambda, 1/\alpha$ (m ² K/W)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	δ (m)	$\xi=d/\delta$ (-)	$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 1	R_i			0,130					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014	1400	1085	0,1126	0,0888	$\begin{pmatrix} 0,99999 + 0,0078903i & -0,014286 - 0,0000376i \\ 0,00290535 - 1,10465i & 0,99999 + 0,00789034i \end{pmatrix}$
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020	1800	835	0,1353	0,1479	$\begin{pmatrix} 0,99992 + 0,021860li & -0,0199997 - 0,000146i \\ 0,015929 - 2,18599i & 0,99992 + 0,021860li \end{pmatrix}$
	7.1.5.2 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar(TS EN 771-1)	0,135	0,360	0,375	700	960	0,1214	1,1122	$\begin{pmatrix} 0,74590 + 1,2160i & -0,355912 - 0,153499i \\ 2,7005 - 6,26152i & 0,74590 + 1,2160i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük-TS 7316 TS EN 13163	0,070	0,035	2,000	30	1296	0,1573	0,4449	$\begin{pmatrix} 0,993472 + 0,197834i & -1,99739 - 0,131922i \\ 0,013055 - 0,197662i & 0,993472 + 0,197834i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994 + 0,005984i & -0,02286 - 0,0000456i \\ 0,001044 - 0,523598i & 0,999994 + 0,005984i \end{pmatrix}$
	R_e			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 2	R_i			0,013					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0,010	0,700	0,014	1400	1085	0,1126	0,0888	$\begin{pmatrix} 0,99999 + 0,0078903i & -0,014286 - 0,0000376i \\ 0,00290535 - 1,10465i & 0,99999 + 0,00789034i \end{pmatrix}$
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,020	1,000	0,020	1800	835	0,1353	0,1479	$\begin{pmatrix} 0,99992 + 0,021860li & -0,0199997 - 0,000146i \\ 0,015929 - 2,18599i & 0,99992 + 0,021860li \end{pmatrix}$
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100	2400	1000	0,1693	1,4770	$\begin{pmatrix} 0,215701 + 2,06672i & -0,0842343 - 0,0710778i \\ 31,0135 - 36,754li & 0,215701 + 2,06672i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük-TS 7316 TS EN 13163	0,070	0,035	2,000	30	1296	0,1573	0,4449	$\begin{pmatrix} 0,993472 + 0,197834i & -1,99739 - 0,131922i \\ 0,013055 - 0,197662i & 0,993472 + 0,197834i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esash hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994 + 0,005984i & -0,022856 - 0,0000456i \\ 0,001044 - 0,523598i & 0,999994 + 0,005984i \end{pmatrix}$
	R_e			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Tablo 4.22. Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Katman Matrisleri ve İlgili Diğer Özellikleri (devam ediyor)

Kesitler		Kalınlık	Isıl İletenlik	Isıl Direnç	Yoğunluk	Özgül Isı Kapasitesi	Periyodik Nüfuziyet Derinliği	Oran	Katman Isı İletim Matrisleri
		d (m)	λ (W/mK)	$d/\lambda, 1/\alpha$ (m ² K/W)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	δ (m)	$\xi=d/\delta$ (-)	$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 3	R_i			0,130					$\begin{pmatrix} 1 & -0,13 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)	0,250	2,500	0,100	2400	1000	0,1693	1,4770	$\begin{pmatrix} 0,215701 + 2,06672i & -0,0842343 - 0,071078i \\ 31,0135 - 36,75410i & 0,215701 + 2,06672i \end{pmatrix}$
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163	0,070	0,035	2,000	30	1296	0,1573	0,4449	$\begin{pmatrix} 0,993472 + 0,197834i & -1,99739 - 0,131922i \\ 0,013055 - 0,197662i & 0,993472 + 0,197834i \end{pmatrix}$
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva	0,008	0,350	0,023	900	1000	0,1034	0,0774	$\begin{pmatrix} 0,999994 + 0,005984i & -0,02286 - 0,0000456i \\ 0,001044 - 0,523598i & 0,999994 + 0,005894i \end{pmatrix}$
	R_e			0,040					$\begin{pmatrix} 1 & -0,04 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

Tablo 4.23. Dışarıdan Yalıtım Sisteminde Oluşan Kesitlerin Matris Değerleri (Yalıtım kalınlığı 70 mm)

Kesitler		Yüzeyden yüzeye iletim matrisi = Z_{yy} Yüzeyden yüzeye iletim matrisinin inversi = Z_{yy}^{-1}	Ortamdan ortama iletim matrisi = Z_{oo} Ortamdan ortama iletim matrisinin inversi = Z_{oo}^{-1}
Duvarda Seri Bileşen 1	R_i		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı		
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı		
	7.1.5.2 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar(TS EN 771-1)		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163		
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva		
	R_e		
		$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -15,886+18,5425i & -1,26452-3,35393i \\ 18,8841+1,17958i & -1,51202+2,31592i \end{pmatrix}$ $Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -1,51202+2,31592i & 1,26452+3,35393i \\ -18,8841-1,17958i & -15,886+18,5425i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -16,6414+18,4954i & 0,95934-5,85096i \\ 18,8841+1,17958i & -3,96695+2,16258i \end{pmatrix}$ $Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -3,96695+2,16258i & -0,95934+5,85096i \\ -18,8841-1,17958i & -16,6414+18,4954i \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 2	R_i		
	4.3 Alçı harcı, kireçli alçı harcı		
	4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük-TS 7316 TS EN 13163		
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva		
	R_e		
		$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -86,1207+68,5247i & 2,45262-6,71665i \\ 82,8784+17,1015i & -5,18106+1,85427i \end{pmatrix}$ $Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -5,18106+1,85427i & -2,45262+6,71665i \\ -82,8784-17,1015i & -86,1207+68,5247i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -89,4358+67,8406i & 14,2865-15,6101i \\ 82,8784+17,1015i & -15,9553-0,368924i \end{pmatrix}$ $Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -15,9553-0,368924i & -14,2865+15,6101i \\ -82,8784-17,1015i & -89,4358+67,8406i \end{pmatrix}$
Duvarda Seri Bileşen 3	R_i		
	5.1.1 Donatılı Beton (TS 500'e uygun)		
	10.3.1.1.3 Polistiren-Partiküler Köpük – TS 7316 TS EN 13163		
	4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva		
	R_e		
		$Z_{yy} = \begin{pmatrix} -68,2975+71,7085i & -0,197529-4,29337i \\ 75,999+4,98628i & -2,44463+2,22521i \end{pmatrix}$ $Z_{yy}^{-1} = \begin{pmatrix} -2,44463+2,22521i & 0,197529+4,29337i \\ -75,999-4,98628i & -68,2975+71,7085i \end{pmatrix}$	$Z_{oo} = \begin{pmatrix} -71,3375+71,5091i & 9,17413-13,6786i \\ 75,999+4,98628i & -12,3245+1,57699i \end{pmatrix}$ $Z_{oo}^{-1} = \begin{pmatrix} -12,3245+1,57699i & -9,17413+13,6786i \\ -75,999-4,98628i & -71,3375+71,5091i \end{pmatrix}$

Tablo 4.24. Dışardan Yalıtım Sisteminde Kullanılan Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri (Yalıtım kalınlığı 70 mm)

Kesitler	Duvarda Seri Bileşen 1		Duvarda Seri Bileşen 2		Duvarda Seri Bileşen 3	
	Argüman	Argüman	Argüman	Argüman	Argüman	Argüman
Argüman Arg Radyan	Arg[Z _{iy11}] 2,149	Arg[Z _{io11}] 2,643	Arg[Z _{iy11}] 2,798	Arg[Z _{io11}] -3,118	Arg[Z _{iy11}] 2,403	Arg[Z _{io11}] 3,014
	Arg[Z _{iy12}] 1,210	Arg[Z _{io12}] 1,733	Arg[Z _{iy12}] 1,921	Arg[Z _{io12}] 2,312	Arg[Z _{iy12}] 1,525	Arg[Z _{io12}] 2,162
	Arg[Z _{iy21}] -3,079	Arg[Z _{io21}] -3,079	Arg[Z _{iy21}] -2,938	Arg[Z _{io21}] -2,938	Arg[Z _{iy21}] -3,076	Arg[Z _{io21}] -3,076
	Arg[Z _{iy22}] 2,279	Arg[Z _{io22}] 2,303	Arg[Z _{iy22}] 2,469	Arg[Z _{io22}] 2,493	Arg[Z _{iy22}] 2,332	Arg[Z _{io22}] 2,355
Modül Abs -	Abs[Z _{iy11}] 2,766	Abs[Z _{io11}] 4,518	Abs[Z _{iy11}] 5,503	Abs[Z _{io11}] 15,960	Abs[Z _{iy11}] 3,306	Abs[Z _{io11}] 12,425
	Abs[Z _{iy12}] 3,584	Abs[Z _{io12}] 5,929	Abs[Z _{iy12}] 7,150	Abs[Z _{io12}] 21,161	Abs[Z _{iy12}] 4,298	Abs[Z _{io12}] 16,470
	Abs[Z _{iy21}] 18,921	Abs[Z _{io21}] 18,921	Abs[Z _{iy21}] 84,624	Abs[Z _{io21}] 84,624	Abs[Z _{iy21}] 76,162	Abs[Z _{io21}] 76,162
	Abs[Z _{iy22}] 24,417	Abs[Z _{io22}] 24,880	Abs[Z _{iy22}] 110,056	Abs[Z _{io22}] 112,255	Abs[Z _{iy22}] 99,029	Abs[Z _{io22}] 101,008
Zaman Ötelemesi Δt Saat	-	Δt ₁₁ =10,094 (Time lead)	-	Δt ₁₁ =-11,912 (Time lag)	-	Δt ₁₁ =11,514 (Time lead)
	-	Δt ₁₂ =6,621 (Time lead)	-	Δt ₁₂ =8,831 (Time lead)	-	Δt ₁₂ =8,257 (Time lead)
	-	Δt ₂₁ =-11,762 (Time lag)	-	Δt ₂₁ =-11,223 (Time lag)	-	Δt ₂₁ =-11,750 (Time lag)
	-	Δt ₂₂ =8,799 (Time lead)	-	Δt ₂₂ =9,521 (Time lead)	-	Δt ₂₂ =8,995 (Time lead)
Isıl Kabuller Abs[Y ₁₁], Abs[Y ₂₂], Δt _{y11} , Δt _{y22} , W/(m ² ·K), Saat	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =3,5598+2,4315i Abs[Y ₁₁]=4,311 Δt _{y11} =2,289	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =5,2504+0,9882i Abs[Y ₁₁]=5,343 Δt _{y11} =0,711	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₁₁ =6,0522+1,2292i Abs[Y ₁₁]=6,176 Δt _{y11} =0,765
	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,4955+0,7677i Abs[Y ₂₂]=0,914 Δt _{y22} =3,811	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,5281+0,6029i Abs[Y ₂₂]=0,801 Δt _{y22} =3,252	-	θ ₂ =θ ₁ için Y ₂₂ =0,5301+0,6186i Abs[Y ₂₂]=0,815 Δt _{y22} =3,293
	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =3,5325+2,2650i Abs[Y ₁₁]=4,196 Δt _{y11} =2,178	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =5,2185+0,9534i Abs[Y ₁₁]=5,305 Δt _{y11} =0,690	-	θ ₂ = 0 için Y ₁₁ =6,0184+1,1788i Abs[Y ₁₁]=6,133 Δt _{y11} =0,739
	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,4682+0,6012i Abs[Y ₂₂]=0,762 Δt _{y22} =3,473	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,4962+0,5680i Abs[Y ₂₂]=0,754 Δt _{y22} =3,257	-	θ ₂ = 0 için Y ₂₂ =0,4963+0,5681i Abs[Y ₂₂]=0,754 Δt _{y22} =3,257
Isı Kapasite κ kJ/m ² K	κ ₁ 59,279	-	κ ₁ 73,466	-	κ ₁ 84,923	-
	κ ₂ 12,564	-	κ ₂ 11,021	-	κ ₂ 11,202	-
Toplam Isı Kapasite C kJ/K	C ₁ 13120,20	-	C ₁ 6608,82	-	C ₁ 1239,20	-
	C ₂ 2780,81	-	C ₂ 991,40	-	C ₂ 163,46	-
Azaltma Faktörü f -	-	0,439	-	0,110	-	0,139
Periyodik Isıl Geçirgenlik Y ₁₂ , Δt _{y12} W/(m ² ·K), Saat	-	Abs[Y ₁₂] 0,169 Δt ₁₂ -6,621	-	Abs[Y ₁₂] 0,047 Δt ₁₂ -8,831	-	Abs[Y ₁₂] 0,061 Δt ₁₂ -8,257
Isı Geçirgenliği U W/(m ² ·K)	-	0,384	-	0,430	-	0,436

4.5 HESAP SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Hesap sonuçlarının değerlendirilmesi kış konforu ve yaz konforu için ayrı ayrı yapılarak sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verildi.

4.5.1 Kış Konforu ile İlgili Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kış konforu açısından EPS YKDBT duvar sistemi ile geleneksel yalıtım sistemlerin karşılaştırılmasında, sistemlerde kullanılan yalıtım malzemesi miktarı, yıllık ısıtma enerjisi miktarı, yalıtım maliyeti ve uygulama kolaylığı dikkate alınabilir. Tablo 4.18’de geleneksel yalıtım sistemlerinde kullanılan ısı yalıtım malzemesi kalınlıkları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları gösterildi. EPS YKDBT duvar sistemi ile geleneksel yalıtım sistemlerinin karşılaştırılabilmesi için incelenen tüm sistemlerle ilgili hesap sonuçları Tablo 4.25’te özet olarak verildi. Geleneksel yalıtım sistemlerinde kullanılan yalıtım malzemesi miktarı ile hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının EPS YKDBT duvar sistemine oranları da Tablo 4.25’te görülmektedir. Tablo 4.25 incelendiğinde EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan farklı kalınlıktaki kalıp elemanları için tüm derece gün bölgelerinde hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, geleneksel yalıtım sistemlerinden daha az olmaktadır. Ayrıca EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan yalıtım malzemesi miktarı, çift duvar arası yalıtım sistemi (3. ve 4. derece gün bölge) haricinde tüm sistemlerden daha fazla olmaktadır. Tablo 4.25’in incelenmesi sonucu ulaşılan bu iki sonucun sebebi; EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan EPS malzemesi hem yalıtım ve hem de kalıp vazifesi gördüğü için, kalınlığının yalıtım için gerekli olan kalınlıktan fazla alınmasıdır.

EPS YKDBT duvar sisteminde EPS malzemesi kalınlığının yalıtım için gerekli olan kalınlıktan fazla olmasından dolayı sistem ile geleneksel yalıtım sistemlerinin kış konforu açısından karşılaştırılmasında, sistemde kullanılan yalıtım malzemesi miktarının ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının dikkate alınması doğru bir yaklaşım olmamaktadır.

Tablo 4.25. Kış Konforu ile İlgili Hesap Sonuçları

Kesit Adı	Derece Gün Bölge	Duvar Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Çatı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Zemin Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Duvarda Kullanılan Yalıtım Malzemesi Miktarı, m ³ /m ²	Hesaplanan Q, kWh/m ²	Yalıtım Malzemesi Oranı, %	Yıllık Enerji İhtiyacı Oranı, %
EPSYKDBT (250 mm)	1	85 (247)	100	100	0,102	8,03	100	100
EPSYKDBT (250 mm)	2	85 (247)	100	100	0,102	16,40	100	100
EPSYKDBT (250 mm)	3	85 (247)	100	100	0,102	23,19	100	100
EPSYKDBT (250 mm)	4	85 (247)	100	100	0,102	31,19	100	100
EPSYKDBT (310 mm)	1	148 (310)	100	100	0,165	7,01	161,8	87,3
EPSYKDBT (310 mm)	2	148 (310)	100	100	0,165	14,47	161,8	88,2
EPSYKDBT (310 mm)	3	148 (310)	100	100	0,165	20,54	161,8	88,6
EPSYKDBT (310 mm)	4	148 (310)	100	100	0,165	27,77	161,8	89,0
EPSYKDBT (370 mm)	1	208 (370)	100	100	0,225	6,61	220,6	82,3
EPSYKDBT (370 mm)	2	208 (370)	100	100	0,225	13,71	220,6	83,6
EPSYKDBT (370 mm)	3	208 (370)	100	100	0,225	19,48	220,6	84,0
EPSYKDBT (370 mm)	4	208 (370)	100	100	0,225	26,40	220,6	84,6
EPSYKDBT (430 mm)	1	268 (430)	100	100	0,285	6,36	279,4	79,2
EPSYKDBT (430 mm)	2	268 (430)	100	100	0,285	13,26	279,4	80,9
EPSYKDBT (430 mm)	3	268 (430)	100	100	0,285	18,91	279,4	81,5
EPSYKDBT (430 mm)	4	268 (430)	100	100	0,285	25,64	279,4	82,2
DY1	1	50	100	100	0,050	9,15	49,0	113,9
DY2	2	50	100	100	0,050	18,53	49,0	112,9

Tablo 4.25. (Devam ediyor)

Kesit Adı	Derece Gün Bölge	Duvar Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Çatı Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Zemin Yalıtım Malzemesi Kalınlığı, mm	Duvarda Kullanılan Yalıtım Malzemesi Miktarı, m ³ /m ²	Hesaplanan Q, kWh/m ²	Yalıtım Malzemesi Oranı, %	Yıllık Enerji İhtiyacı Oranı, %
DY3	3	50	100	100	0,050	26,08	49,0	112,5
DY4	4	70	100	100	0,070	32,08	68,6	102,9
İY1	1	50	100	100	0,050	11,06	49,0	137,7
İY2	2	50	100	100	0,050	22,07	49,0	134,6
İY3	3	90	100	100	0,090	27,18	88,2	117,2
İY4	4	170	100	100	0,170	33,14	166,7	106,3
ÇDY1	1	50	100	100	0,050	11,25	49,0	140,1
ÇDY2	2	60	100	100	0,060	21,55	58,8	131,4
ÇDY3	3	110	100	100	0,110	27,01	107,8	116,5
ÇDY4	4	220	100	100	0,220	33,30	215,7	106,8

Bu sebeple EPS YKDBT duvar sistemi ile geleneksel yapım sistemlerinin yapım maliyetlerinin karşılaştırılması tez kapsamında 6. bölümde yapıldı. Kış konforu ile ilgili olarak yapılan hesap sonuçlarına dayanarak EPS YKDBT duvar sisteminin kış konforu açısından Türkiye’de kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığı söylenebilir. Ayrıca kış konforu ile ilgili hesap sonuçlarına göre, EPS YKDBT duvar sisteminin özellikle 3. ve 4. derece gün bölgelerinde içeriden yalıtım ve çift duvar arası yalıtım sistemlerine üstünlük sağladığı söylenebilir.

4.5.2 Yaz Konforu ile İlgili Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yaz konforu açısından EPS YKDBT duvar sistemi ile geleneksel yalıtım sistemlerinin karşılaştırılması yapılırken dikkate alınabilecek büyüklükler, sıcaklık ve ısı akısı zaman ötelenmeleri (Δ_{t11} , Δ_{t22}), iç yüzeye ait ısı kabul (Y_{11}), iç yüzeyin ısı kapasitesi (κ_1), toplam ısı kapasitesi (C_1), azaltma faktörü (f), periyodik ısı geçirgenlik (L_{11}) ve ısı geçirgenliği (U) değerleridir.

Örnek binada EPS YKDBT duvar sistemi ve geleneksel yalıtım sistemleri uygulanması durumunda yaz konforu ile ilgili hesaplamalar ISO 13786’ya göre yapılarak bulunan sonuçlar Tablo 4.26’da özet olarak verildi.

Δ_{t11} için önemli olan iki özellik bu büyüklüğün mutlak değeri, yani dış ortamdaki sıcaklık değişiminin iç ortamdaki sıcaklık değişimini etkilemesi için geçen süre ve iç ortamdaki periyodik değişimin zaman ötelenmesinin dış ortamdaki periyodik değişimin önünde gitmesi veya gecikmesidir. Δ_{t11} 'in mutlak değeri küçüldükçe dış ortam iç ortamı daha çabuk etkileyeceğinden yaz konforu için olumsuz görülmektedir. İdeal olan dış ortamın yüksek sıcaklığının iç ortamdaki etkisinin gece saatlerinde ortaya çıkmasıdır ki, bu da yaklaşık olarak 8 saate karşılık gelmektedir (Cihan, 2004).

Δ_{t11} için en küçük değer EPS YKDBT duvar sisteminde ve tüm kesitin EPS yalıtım malzemesi olduğu durum için görülmektedir. EPS, hafif ve ısı depolama kabiliyeti düşük bir malzeme olduğundan bu sonucun elde edilmesi normal ve beklenen bir durumdur. Diğer kesitlerde yaklaşık olarak 9–10 saatlik bir zaman ötelenmesi sağlanmaktadır. Δ_{t11} 'in mutlak değeri yalıtım sistemi ve yalıtım kalınlığından etkilenmekte olup, etkilenme miktarı çok anlamlı düzeyde değildir. Burada belirleyici özellik yalıtım malzemesinin haricindeki duvar malzemesinin varlığıdır. Δ_{t11} 'in mutlak değerinde yalıtım kalınlığının artışı ile artış gözlenmektedir. Yalıtım kalınlığının artışı ile Δ_{t11} 'in mutlak değerindeki artış belirli bir değere kadar devam etmekte daha sonra yalıtım kalınlığının artışı ile birlikte düşüş gözlenmektedir.

Tablo 4.26'da Δ_{t22} 'nin değişimi incelendiğinde, EPS YKDBT duvar sistemi ile geleneksel yalıtım sistemleri arasında anlamlı bir fark olmadığı ve Δ_{t22} 'nin işaret değişiminin Δ_{t11} 'in işaret değişiminden farklı olduğu görülmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde dış yüzeydeki yalıtım kalınlığının artışı ile Δ_{t22} 'nin mutlak değeri artarken belli bir değerden sonra dış yüzeydeki yalıtım kalınlığının artışı ile Δ_{t22} 'nin mutlak değerinde düşüş görülmektedir. Dışarıdan yalıtım sistemi incelendiğinde, Δ_{t22} 'nin mutlak değeri, yalıtım kalınlığının artışı ile artmaktadır. Ayrıca dışarıdan yalıtım sisteminde yalıtım kalınlığının değişimi Δ_{t22} 'nin işaretini etkilemektedir. İçeriden yalıtım sisteminde Δ_{t22} 'nin mutlak değeri yalıtım kalınlığının artması ile artmakta ve bazı kesitlerde yalıtım kalınlığının artışı Δ_{t22} 'nin işaret değiştirmesine sebep olmaktadır. Çift duvar arası yalıtım sistemi incelendiğinde Δ_{t22} 'nin mutlak değeri yalıtım kalınlığının artışından çok az etkilenmekte, fakat Δ_{t22} yalıtım kalınlığının değişimi ile birlikte işaret değiştirmemektedir.

Tablo 4.26. EPS YKDBT Duvar Sistemi ve Geleneksel Yalıtım Sistemlerini Oluşturan Kesitlerin Periyodik Isıl Karakteristikleri

Kesit Adı	Kesit Bileşeni	Yalıtım Kalınlığı	Zaman Ötelenmesi, Δt		Isıl Kabul		Isı Kapasitesi, κ	Toplam Isı Kapasitesi, C	Azaltma Faktörü, f	Periyodik Isıl Geçirgenlik		Isıl Geçirgenlik
			Δt_{11}	Δt_{22}	Abs[Y_{11}]	Δt_{v11}				κ_1	C_1	
			Saat		W/m^2K		Saat		kJ/m^2K		-	
EPSYKDBT 250 mm	DSB1	0,085	10,086	10,934	1,265	3,155	17,643	4771,30	0,052	0,019	-7,779	0,370
	DSB2	0,247	8,632	8,570	1,269	4,757	18,517	571,28	0,861	0,119	-3,813	0,138
	DSB3	0,043	9,446	7,935	6,259	0,803	86,932	1268,52	0,191	0,128	-7,132	0,672
EPSYKDBT 310 mm	DSB1	0,148	-11,651	11,498	1,265	3,155	17,498	4732,08	0,036	0,008	-8,343	0,222
	DSB2	0,310	10,108	10,040	1,285	4,738	18,666	575,87	0,740	0,082	-5,302	0,110
	DSB3	0,106	11,704	8,491	6,267	0,798	86,625	1264,04	0,176	0,054	-7,694	0,304
EPSYKDBT 370 mm	DSB1	0,208	-10,198	-11,648	1,265	3,155	17,457	4721,11	0,031	0,005	-9,198	0,161
	DSB2	0,370	11,552	11,495	1,289	4,716	18,492	570,53	0,608	0,056	-6,779	0,093
	DSB3	0,166	-10,846	9,344	6,268	0,796	86,547	1262,89	0,168	0,034	-8,549	0,200
EPSYKDBT 430 mm	DSB1	0,268	-8,853	-10,494	1,265	3,155	17,433	4714,38	0,027	0,003	-10,350	0,126
	DSB2	0,430	-10,989	-11,037	1,288	4,706	18,220	562,13	0,482	0,039	-8,257	0,080
	DSB3	0,226	-9,500	10,498	6,268	0,795	86,483	1261,96	0,156	0,023	-9,703	0,149
DY1-2-3	DSB1	0,050	9,339	8,570	4,181	2,192	59,480	13164,70	0,460	0,227	-6,378	0,492
	DSB2	0,050	11,284	9,369	5,305	0,691	73,640	6624,47	0,114	0,065	-8,678	0,570
	DSB3	0,050	10,709	8,843	6,132	0,741	85,103	1241,82	0,144	0,084	-8,103	0,581

Tablo 4.26. (devam ediyor)

Kesit Adı	Kesit Bileşeni	Yalıtım Kalınlığı	Zaman Ötelenmesi, Δt		Isıl Kabul		Isı Kapasitesi, κ	Toplam Isı Kapasitesi, C	Azaltma Faktörü, f	Periyodik Isıl Geçirgenlik		Isıl Geçirgenlik
			Δt_{11}	Δt_{22}	Abs[Y_{11}]	Δt_{v11}				κ_1	C_1	
			Saat		W/m ² K	Saat	kJ/m ² K	kJ/K		-	W/m ² K	Saat
DY4	DSB1	0,070	10,094	8,799	4,196	2,178	59,279	13120,20	0,439	0,169	-6,621	0,384
	DSB2	0,070	-11,912	9,521	5,305	0,690	73,466	6608,82	0,110	0,047	-8,831	0,430
	DSB3	0,070	11,514	8,995	6,133	0,739	84,923	1239,20	0,139	0,061	-8,257	0,436
İY1-İY2	DSB1	0,050	8,873	9,160	1,245	3,654	20,472	4531,10	0,626	0,311	-5,506	0,497
	DSB2	0,050	9,697	11,763	1,233	3,431	18,537	1667,51	0,217	0,125	-8,331	0,575
	DSB3	0,050	10,709	8,843	6,132	0,741	85,103	1241,82	0,144	0,084	-8,103	0,581
İY3	DSB1	0,090	9,351	10,288	1,195	4,284	18,797	4160,23	0,593	0,188	-6,004	0,317
	DSB2	0,090	10,060	-11,083	1,178	4,219	17,171	1544,64	0,209	0,073	-8,698	0,347
	DSB3	0,090	-11,825	9,179	6,133	0,738	84,821	1237,71	0,136	0,048	-8,441	0,349
İY4	DSB1	0,170	10,570	11,934	1,233	4,689	18,336	4058,21	0,548	0,101	-7,244	0,184
	DSB2	0,170	11,188	-9,486	1,225	4,686	17,270	1553,55	0,197	0,038	-9,828	0,194
	DSB3	0,170	-9,830	10,276	6,133	0,736	84,642	1235,09	0,128	0,025	-9,540	0,194
ÇDY 1	DSB1	0,050	11,411	10,040	4,264	2,557	61,655	13646,20	0,532	0,250	-7,483	0,469
	DSB2	0,050	9,697	11,763	1,233	3,431	18,537	1667,51	0,217	0,125	-8,331	0,575
	DSB3	0,050	10,709	8,843	6,132	0,741	85,103	1241,82	0,144	0,084	-8,103	0,581

Tablo 4.26. (devam ediyor)

Kesit Adı	Kesit Bileşeni	Yalıtım Kalınlığı	Zaman Ötelenmesi, Δt		Isıl Kabul		Isı Kapasitesi, κ	Toplam Isı Kapasitesi, C	Azaltma Faktörü, f	Periyodik Isıl Geçirgenlik		Isıl Geçirgenlik
			Δt_{11}	Δt_{22}	Abs[Y ₁₁]	Δt_{y11}				κ_1	C ₁	
			Saat		W/m ² K	Saat	kJ/m ² K	kJ/K		W/m ² K	Saat	W/m ² K
ÇDY 2	DSB1	0,060	11,573	10,187	4,287	2,560	61,614	13637,10	0,523	0,216	-7,627	0,414
	DSB2	0,060	9,778	-11,878	1,196	3,708	17,904	1610,58	0,214	0,106	-8,414	0,494
	DSB3	0,060	11,132	8,916	6,132	0,740	84,998	1240,30	0,141	0,070	-8,176	0,498
ÇDY 3	DSB1	0,110	-11,700	10,879	4,346	2,558	61,449	13600,50	0,492	0,128	-8,321	0,260
	DSB2	0,110	10,289	-10,660	1,185	4,413	17,074	1535,92	0,206	0,060	-8,927	0,290
	DSB3	0,110	-11,260	9,398	6,133	0,737	84,755	1236,75	0,134	0,039	-8,861	0,291
ÇDY 4	DSB1	0,220	-9,687	-11,119	4,376	2,540	60,988	13498,60	0,425	0,061	-10,342	0,143
	DSB2	0,220	-11,840	-8,450	1,257	4,750	17,513	1575,44	0,186	0,028	-10,800	0,151
	DSB3	0,220	-8,710	11,237	6,133	0,736	84,575	1234,12	0,120	0,018	-10,500	0,152

Tez çalışmasında Y_{11} , iç ortamdaki ısı akısı değişim genliğinin iç ortamdaki sıcaklık değişim genliğine oranıdır. Bu sırada dış yüzeyde sadece ısı akısı değişimi olduğu kabul edilmektedir. Y_{11} 'in modülü $Abs[Y_{11}]$ ile dışarıdaki ısı akısı değişim genliğinin etkisi ile iç yüzeydeki birim sıcaklık değişimi başına ısı akısı değişiminin büyüklüğü incelenmektedir. Tablo 4.26 incelendiğinde $Abs[Y_{11}]$ ile Δ_{ty11} üzerinde yalıtım sisteminin önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Dışarıdan yalıtım sistemi incelendiğinde tüm kesitlerde $Abs[Y_{11}]$ 4 ile 6 W/m^2K arasında değerler almaktadır. EPS YKDBT duvar sistemi ile içeriden yalıtım sistemini oluşturan tüm kesitler benzer değerler almaktadır. Bu benzerliğin sebebi EPS YKDBT duvar sistemi ve içeriden yalıtım sisteminde kesitlerin iç yüzeyinde yalıtım malzemesinin bulunmasıdır. $Abs[Y_{11}]$ 'nin üzerinde iç yüzeyde bulunan malzemenin cinsi ve kalınlığı etkili olduğundan EPS YKDBT duvar sisteminde dış yüzeydeki yalıtım malzemesinin kalınlığının artışının $Abs[Y_{11}]$ üzerinde neredeyse hiçbir etkisi olmamaktadır. Çift duvar arası yalıtım sisteminde ise duvar kesitlerinde, dışarıdan yalıtım sistemine benzer davranış görülmektedir. Bu benzerliğin sebebi iki sistemde de iç yüzeyde yalıtım malzemesinin bulunmamasıdır. Çift duvar arası yalıtım sisteminde ısı köprülerinde (kolon, kiriş) dışarıdan yalıtım uygulandığı için dışarıdan yalıtım sistemi ile aynı sonuçların elde edildiği gözlenmektedir.

Δ_{ty11} , dış ortamdaki ısı akısı değişimlerinin sonucu iç ortamda oluşan sıcaklık ve ısı akısı değişimleri arasındaki zaman ötelenmesidir. Δ_{ty11} 'in değeri yalıtım sisteminden, yalıtım malzemesi kalınlığından etkilenmektedir. $Abs[Y_{11}]$ 'de olduğu gibi EPS YKDBT duvar sistemi ile içeriden yalıtım sistemi benzer davranış gösterirken, dışarıdan yalıtım sistemi ile çift duvar arası yalıtım sistemi benzer davranış göstermektedir. Kesitin iç kısmında yalıtımın varlığı Δ_{ty11} 'in değerini arttırmakta ve ayrıca yalıtım kalınlığının artışı da bu değerin artmasına sebep olmaktadır. EPS YKDBT duvar sistemi ile içeriden yalıtım sisteminde, Δ_{ty11} 3–5 saat arasında değerler almaktadır. EPS YKDBT duvar sistemi ile içeriden yalıtım sisteminin benzer davranış göstermesinin sebebi her iki sistemde de iç yüzeyde yalıtım malzemesinin bulunmasıdır. EPS YKDBT duvar sisteminde iki yüzeyde de yalıtım bulunmasına rağmen dış yüzeyinde yalıtım varlığı ve dış yüzeydeki yalıtım malzemesinin kalınlığının artışı Δ_{ty11} 'de etkin bir değişiklik oluşturmamaktadır. Benzer şekilde dışarıdan yalıtım sistemi incelendiğinde de dış yüzeydeki yalıtım malzemesi kalınlığının değişiminin Δ_{ty11} üzerinde bir etkisi olmadığı

görülmektedir. Dışarıdan yalıtım sistemi ile çift duvar arası yalıtım sisteminde, Δ_{ty11} 'in 2–3 saat arasında değişen değerler aldığı ve birbirlerine benzer davranış gösterdikleri görülmektedir.

Isı kapasitesi (κ_1) üzerinde kesitin iç tarafındaki malzemenin yoğunluğu yani ısı depolama kabiliyeti etkindir. Tablo 4.26 incelendiğinde, beklenildiği gibi en küçük değerlerin EPS YKDBT duvar sistemi ve içeriden yalıtım sisteminde, en büyük değerlerin ise dışarıdan yalıtım sistemi ve çift duvar arası yalıtım sisteminde elde edildiği görülmektedir. EPS YKDBT duvar sistemi ve içeriden yalıtım sisteminde kesitlerin iç yüzeyinde sıvanın altında hafif ısı yalıtım malzemesi bulunduğundan, bu sistemlerin ısı kapasiteleri (κ_1) diğer sistemlere göre daha küçüktür. Dışarıdan yalıtım sistemi ve çift duvar arası yalıtım sisteminde kesitlerin iç yüzeyinde sıvanın altında tuğla malzemesi bulunduğundan, bu sistemlerde ısı kapasitesi (κ_1) değerleri daha büyüktür. EPS YKDBT duvar sisteminde dış yüzeydeki yalıtım malzemesi kalınlığı artışının ısı kapasitesi (κ_1) değerini anlamlı düzeyde etkilemediği görülmektedir. Dış yüzeydeki yalıtım tabakasının varlığı ve boyutu ısı kapasitesi üzerinde anlamlı bir etki oluşturmadığı için benzer davranış diğer kesitlerde de görülmektedir. Isı kapasitesinin en büyük değerlerinin dışarıdan yalıtımlı betonarme kesitlerde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kesitin ısı kapasitesinde iç sıvanın altındaki malzemenin etkin olduğu rahatlıkla söylenebilir.

κ_1 ısı kapasitesi hesabında kesit birim alanı için hesaplama yapılırken, toplam ısı kapasitesi (C_1) hesabında incelenen binanın yüzey alanları için hesap yapılmaktadır. κ_1 birim alan için hesaplandığından kesitin özeliğini tanımlamaktadır ve her bina için sabit olacaktır. Fakat C_1 değerleri binanın projesine bağlı olup, projeye göre farklılık gösterecektir. Yaz konforu açısından iç yüzeyin ısı depolama kabiliyetinin yüksek olması önemlidir. Bina ısı konforu değerlendirilirken, toplam ısı kapasitesi (C_1) esas alınmalıdır. İncelenen örnek binanın yaz konforu açısından değerlendirmesinde, sistemler farklı kesitlerden oluştuğundan kesitlerin ısı kapasiteleri toplamının (ΣC_1) dikkate alınması gerekmektedir. Buna göre toplam ısı kapasite (ΣC_1) açısından sistemler uygundan uygunsuza göre, dışarıdan yalıtım sistemi, çift duvar arası yalıtım sistemi, içeriden yalıtım sistemi ve EPS YKDBT duvar sistemi şeklinde sıralanabilir.

Periyodik ısı iletkenliğinin sabit rejim şartlarındaki ısı iletkenliğine oranı olarak tanımlanan azaltma faktörü (f) değerinin küçük olması periyodik rejimde iletkenliğin

daha az olacağı anlamına gelmektedir. Buna göre yaz konforu açısından f 'nin küçük olması dış etkilerin iç ortamı daha az etkilemesi anlamına geleceğinden, istenilen olumlu bir durumdur. Tablo 4.26 incelendiğinde tüm kesitler içinde en büyük ve en küçük f değerlerinin EPS YKDBT duvar sisteminde elde edildiği görülmektedir. En küçük f değeri iki yüzde yalıtım ve arada donatılı betonun olduğu kesit için, en büyük f değerinin ise kesitin tamamının yalıtım malzemesi olduğu durumda elde edildi. Buradan kesitin içindeki ağır malzemenin f 'nin değerinde etkin rol oynadığı görülmektedir. Azaltma faktörü (f) üzerinde yalıtım kalınlığından çok yalıtımın yerinin etkili olduğu fakat yalıtım malzemesi kalınlığının artışı ile tüm sistemlerde f değerinde düşüş olduğu Tablo 4.26 incelendiğinde görülmektedir. Geleneksel yalıtım sistemlerinde en küçük f değerlerinin dışarıdan yalıtım sisteminde, en büyük f değerlerinin ise içeriden yalıtım sisteminde olduğu görülmektedir. Geleneksel sistemler en uygundan az uyguna doğru sıralanırsa sıra, dışarıdan yalıtım sistemi, çift duvar arası yalıtım sistemi ve içeriden yalıtım sistemi şeklinde olmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde duvarlarda iki farklı kesit olduğundan iki farklı f değeri hesaplandı. EPS YKDBT duvar sisteminde sadece EPS'den oluşan kesitin, iki yüzü yalıtımlı donatılı beton kesitine oranı çok küçük olduğu için iki yüzü yalıtımlı donatılı beton kesite ait f değerinin kullanılmasında bir sakınca bulunmamaktadır. Buna göre f azaltma faktörü açısından en olumlu sistem EPS YKDBT duvar sistemidir.

Değişken rejim şartlarında geçirgenliğin az olması istendiğinden $Abs[Y_{12}]$ 'nin küçük olması istenir ve $Abs[Y_{12}]$ değerinin küçük olması yaz konforu açısından istenilen olumlu bir durumdur. Tablo 4.26 incelendiğinde yalıtım kalınlığının artışı ile birlikte $Abs[Y_{12}]$ değerinde azalma olduğu görülmektedir. Ancak EPS YKDBT duvar sisteminde tamamı EPS'den oluşan kesitte yalıtım kalınlığı oldukça artmasına rağmen $Abs[Y_{12}]$ değerinde azalma yerine artış görülmektedir. Bu durum, $Abs[Y_{12}]$ değeri üzerinde yalıtım kalınlığının yanında ağır malzemenin varlığının ve yerinin de önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. $Abs[Y_{12}]$ değerleri açısından sistemler uygundan uygunsuza, EPS YKDBT duvar sistemi, dışarıdan yalıtım sistemi, çift duvar arası yalıtım sistemi ve içeriden yalıtım sistemi şeklinde sıralanabilir.

Tablo 4.26 incelendiğinde Δ_{ty12} 'nin yalıtım kalınlığından çok fazla etkilenmediği, yalıtım kalınlığı ile birlikte Δ_{ty12} değerinde mutlak değerce bir artış olduğu görülmektedir. EPS YKDBT duvar sistemi incelendiğinde, tamamı EPS yalıtım

malzemesinden oluşan kesitin diğer kesitlerden farklı olarak oldukça küçük bir değer aldığı görülmektedir. Ağır malzemenin hiç bulunmadığı bu kesit yaz konforu açısından diğer özelliklerde en olumsuz sonuçları verdiği için Δ_{ty12} mutlak değerce küçük olmasının yaz konforu açısından olumsuz olacağı düşünülebilir. Δ_{ty12} değeri için sistemler uygundan uygunsuza, EPS YKDBT duvar sistemi, çift duvar arası yalıtım sistemi, dışarıdan yalıtım sistemi ve içeriden yalıtım sistemi şeklinde sıralanabilir.

Sabit rejim şartları için hesaplanan U (ısı geçirgenliği) değerleri yalıtım kalınlığının artışı ile birlikte azalmaktadır. Yalıtımın belirli bir kalınlığına kadar, U değerinde kalınlıkla orantılı bir düşüş görülürken, bu değerden sonra kalınlığın artması ile U değerindeki düşüş azalmaktadır. Diğer bir durum ise, kesit bazında U değeri üzerinde yalıtım malzemesinin yerinin (yalıtım sisteminin) etkisinin olmadığı, duvar malzemesi etkisinin ise yalıtım kalınlığı etkisinin yanında çok küçük olduğudur. Yalıtım malzemesi kalınlığı arttıkça duvar malzemesi etkisinin hemen hemen sıfırlandığı görülmektedir.

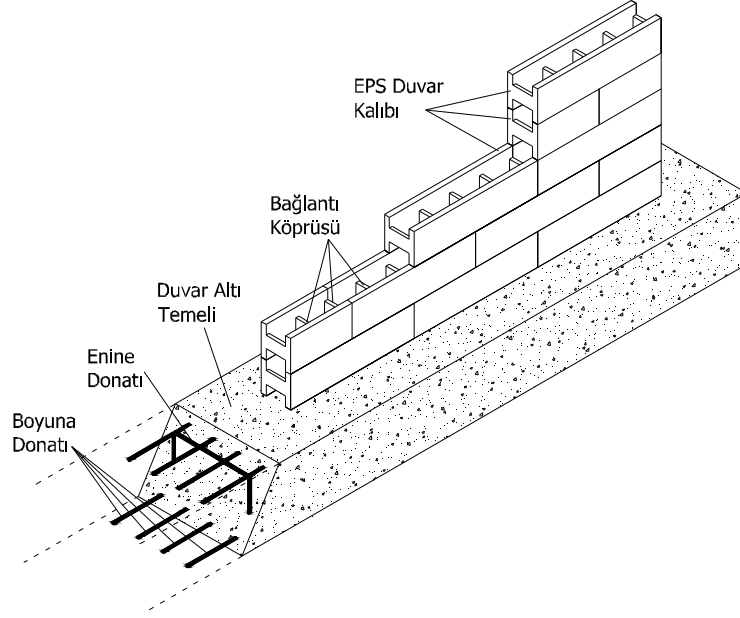
5. BÖLÜM

EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİ TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARI

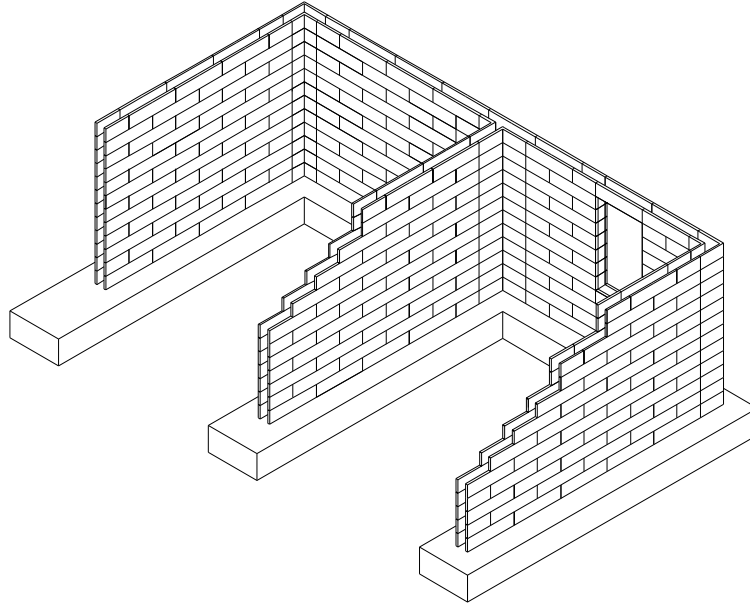
EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı (EPS YKDBT) Duvar Sistemi'nin taşıyıcı sistem elemanları temeller, duvarlar ve döşemelerdir. Çalışmanın bu bölümünde EPS YKDBT duvar sistemini oluşturan taşıyıcı sistem elemanları incelendi.

5.1 Temel Sistemi

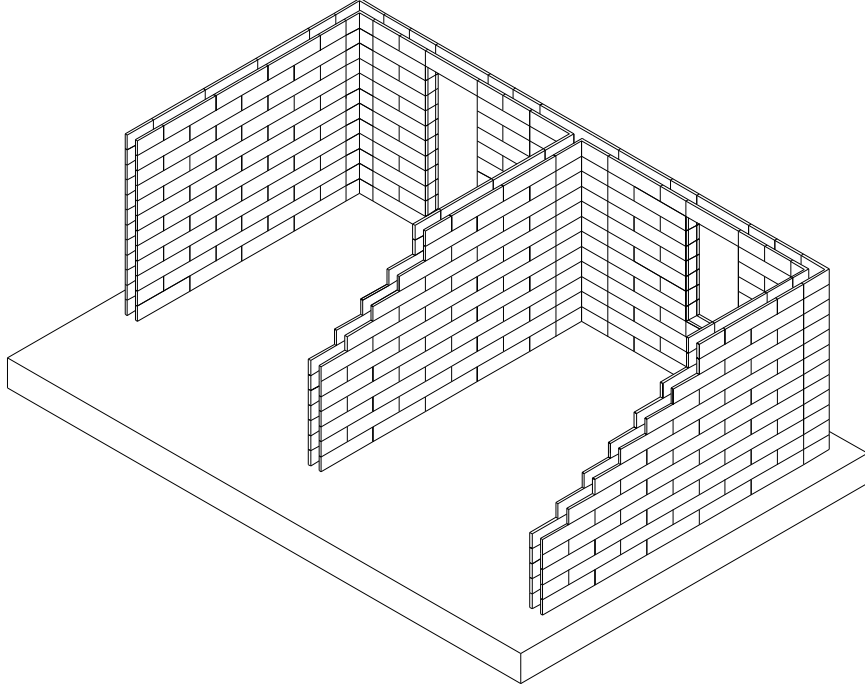
EPS YKDBT duvar sisteminde taşıyıcı duvar yüklerini zemine güvenli biçimde aktarmak üzere duvar altı temel sistemi veya radye (yayılı) temel sistemi kullanılır. Duvar altı temellerinin düşey kesiti dikdörtgen ya da yamuk şeklinde olabilir. Yapım kolaylığı açısından genellikle dikdörtgen kesitli olanlar kullanılmaktadır (Şekil 5.1, Şekil 5.2). Duvar altı temelleri taşıyıcı duvar boyunca devam ettiklerinden ve temellere etkiyen yük genellikle uzunluk boyunca sabit sayılabildiğinden tasarımda 1.0 m'lik duvar kısmı dikkate alınmaktadır (Doğangün, 2008). EPS YKDBT duvar sisteminde uygulanacak duvar altı temelleri için DBYBHY-2007'de yığma binalarda duvar altı temelleri için öngörülen koşullar uygulanabilir. EPS YKDBT duvar sistemi için temel derinliği; zemin özellikleri, yer altı su düzeyi ve yerel don derinliği dikkate alınarak belirlenir. Yapının ve zeminin özelliklerine bağlı olarak EPS YKDBT duvar sisteminde radye (yayılı) temel sistemi uygulanabilir (Şekil 5.3). EPS YKDBT duvar sisteminde yükler temele taşıyıcı duvarlar vasıtasıyla aktarıldığından zımbalama problemi ile genellikle karşılaşılmaz. Bodrum katta düz bir alan sağladığı ve kalıp işçiliğini azalttığı için sistem uygulamalarında genellikle kirişsiz radye temel sistemi tercih edilmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde uygulanacak radye temellerin boyutlandırılmasında ve tasarımda TS 500 ve DBYBHY-2007'de radye temellerle ilgili öngörülen kurallar uygulanabilir.



Şekil 5.1. EPS YKDBT Düvar Sisteminde Düvar Altı Temel Uygulaması



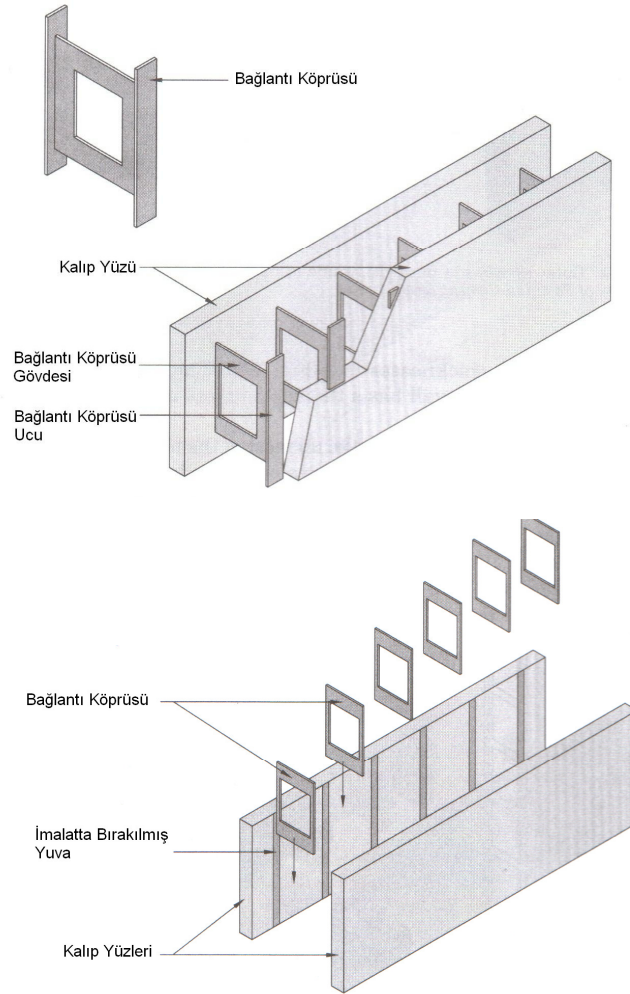
Şekil 5.2. EPS YKDBT Düvar Sisteminde Düvar Altı Temel Sistemi



Şekil 5.3. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Radye Temel Sistemi

5.2 Duvar Sistemi

Sistemde taşıyıcı duvarlar, iki yüzde kalıp vazifesi gören kalıcı yalıtım malzemesinin arasına donatılı betonun yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Sistemde kalıp elmanı olarak kullanılan yalıtım malzemelerini birbirine bağlamak, beton dökümü sırasında meydana gelen yanal etkileri karşılamak, beton dökümünden sonra yalıtım malzemelerinin yerlerinde kalarak formlarını korumalarını sağlamak için bağlantı köprüleri kullanılmaktadır. Bağlantı köprüleri çeşitli malzemelerden, çeşitli biçim ve boyutlarda imal edilmektedir. Bağlantı köprülerinin bazı türleri fabrikasyon olarak kalıplarla birlikte imal edilirken, bazı türleri ise kalıplara şantiyede monte edilmektedir (Şekil 5.4).

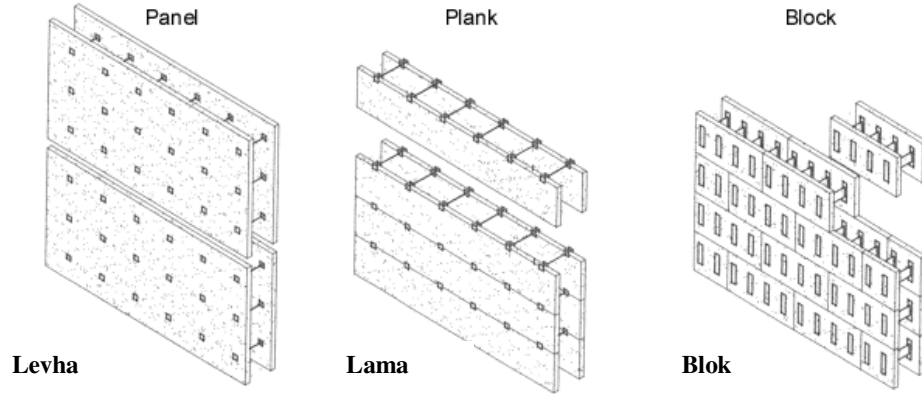


Şekil 5.4. EPS Kalıplarda Kullanılan Bağlantı Köprüleri (Panushev vd., 2004)

EPS YKDBT duvar sistemi, kalıp vazifesi gören yalıtım elemanlarının şekline ve duvar bitiminde kalıp içinde oluşan betonun şekline göre iki şekilde sınıflandırılabilir.

5.2.1 EPS Yalıtım Kalıp Elemanlarının Şekline Göre Sınıflandırma

EPS yalıtım kalıpları fabrikasyon üretime sahiptir. EPS malzemeden yapılmış bağlantı köprüleri kalıpların içinde belirli aralıklarla ve belirli boyutlarda kalıplama aşamasında oluşturulmaktadır. Metal, plastik vb. malzemeden üretilen bağlantı köprüleri ise fabrikasyon olarak üretim aşamasında veya kalıpların üzerinde bırakılan yuvalara şantiyede yerleştirilmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde üç farklı kalıp elemanı kullanılmaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Kullanılan Kalıp Tipleri
(Vanderwerf vd.,1997)

Levha Kalıp Sistemi

Levha (panel) kalıpların boyutları ısı konforuna ve kat adedine bağlı olarak değişse de, genellikle 50 mm et kalınlığında, 500 - 1200 mm yüksekliğinde, 1200 - 2400 mm boyundadır. Levha kalıp sistemler, taşıyıcı duvarların büyük bölümler halinde inşasına imkân vermektedir. Levha kalıplar birbirlerine metal veya plastik

bağlantı köprüleri ile fabrikasyon olarak veya şantiyede bağlanmaktadır. Levha kalıpların yüzeyleri düz olup, kalıp içinde beton dökümünden sonra oluşan taşıyıcı duvarlar düz yüzeylidir.

Lama Kalıp Sistemi

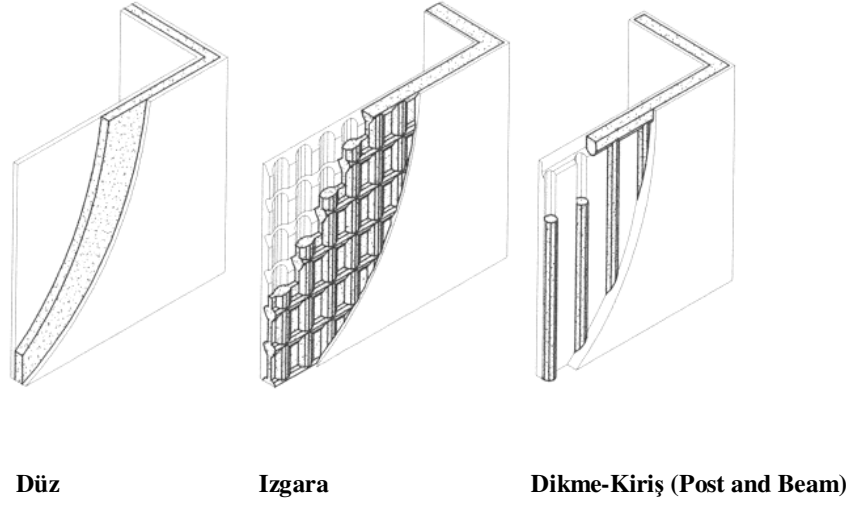
Lama (plank) kalıpların boyutları ısı konforu ve kat adedine göre değişse de, genellikle 50 mm et kalınlığında, 200 - 300 mm yüksekliğinde, 1200 - 2400 mm boyundadır. Kalıpların et kalınlıkları istenilen ısı performansına, duvar sisteminin kalınlığı ise yapıya etkimesi muhtemel yüklere göre taşıyıcı yapısal hesap sonucu belirlenir. Lama kalıplar birbirlerine metal veya plastik bağlantı köprüleri ile genellikle şantiyede bağlanmaktadır. Lama kalıpların yüzeyleri genellikle düz olup, kalıp içinde beton dökümünden sonra oluşan taşıyıcı duvarlar düz yüzeylidir. Lamaların kenarlarında lamalar arasında geçmeli kenetlenme sağlayacak girinti ve çıkıntılar mevcuttur.

Blok Kalıp Sistemi

Blok (block) kalıp boyutları ısı konforu ve kat adedine göre değişse de genellikle 50 mm et kalınlığında, 200 - 300 mm yüksekliğinde 1000 - 2000 mm boyundadır. Blok kalıpların bağlantı köprüleri kalıp malzemesinden (EPS), metal, plastik vb. fabrikasyon olarak üretilmektedir. Blok kalıpların iç yüzeyleri çok çeşitli şekillerde olabilir.

5.2.2 Duvar Bitiminde Kalıp İçinde Oluşan Betonun Şekline Göre Sınıflandırma

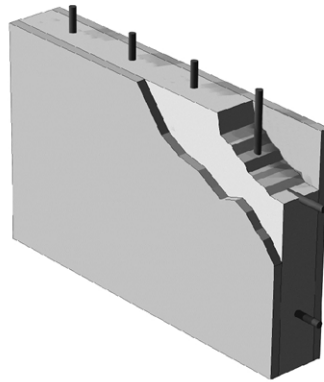
Yapıya etkimesi muhtemel yüklere göre EPS YKDBT duvar sisteminde duvar kalınlığı ve yalıtım kalıbı çeşidi belirlenmektedir. Seçilen kalıp sistemine göre kalıp içerisinde beton dökümünden sonra çok farklı şekil ve boyutlarda donatılı beton elemanlar oluşmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde duvar bitiminde kalıp içinde oluşan betonun şekline göre sistemi üçe ayırmak mümkündür (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Duvar Bitiminde Kalıp İçinde Oluşan Beton Şekilleri (Vanderwerf vd.,1997)

Düz Duvar Sistemi

Düz duvar (flat) duvar sisteminde, EPS yalıtım kalıpları arasında oluşan taşıyıcı duvarlar düz yüzeilidir. Beton dökümünden sonra kalıp içerisinde oluşan donatılı beton taşıyıcı duvarlar geleneksel yapı sistemlerindeki perde duvarlara benzerdir. Düz duvar sisteminde taşıyıcı yapısal hesap sonucu bulunan yatay ve düşey donatılar kullanılır (Şekil 5.7).



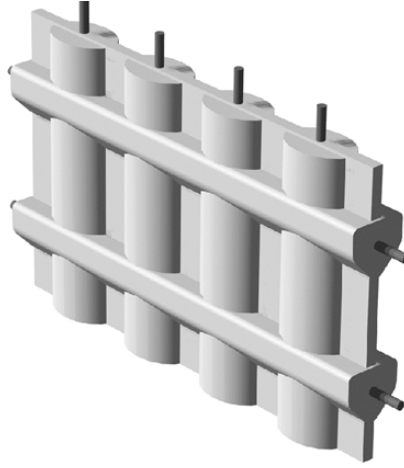
Şekil 5.7. Düz (Flat) Duvar Sistemi (Web 1)

Izgara Duvar Sistemi

Izgara (grid) duvar sistemi kendi arasında ikiye ayrılır.

Boşluksuz Izgara Duvar Sistemi

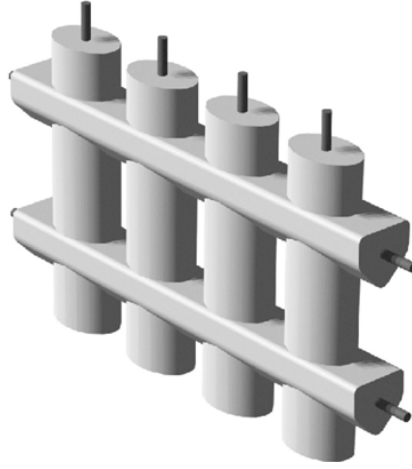
Boşluksuz ızgara (waffle grid) duvar sisteminde, EPS kalıplar arasında oluşan donatılı beton duvar kalınlığı duvar boyunca değişkendir. EPS kalıplar arasındaki bağlantı köprülerinden dolayı taşıyıcı duvarın gövdesinde duvar kesiti belli bölgelerde zayıflamaktadır. Bağlantı köprülerinden dolayı duvar gövdesinde zayıflama olmasına rağmen boşluk oluşmamaktadır. Boşluksuz ızgara duvar sistemde taşıyıcı yapısal hesap sonucu bulunan yatay ve düşey donatılar kullanılmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Boşluksuz Izgara (Waffle Grid) Duvar Sistemi (Web 1)

Boşluklu Izgara Duvar Sistemi

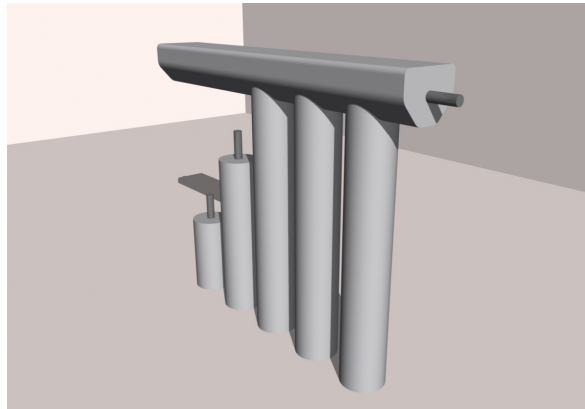
Boşluklu ızgara (screen grid) duvar sisteminde, EPS kalıplar arasında oluşan donatılı beton duvar kalınlığı duvar boyunca değişkendir. EPS kalıplar arasındaki bağlantı köprülerinden dolayı taşıyıcı duvar gövdesinde çok sayıda düzenli boşluk oluşmaktadır. EPS kalıplarda kullanılan bağlantı köprüsünün çeşidine göre boşluk boyutları değişmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan diğer duvar tiplerinde olduğu gibi boşluklu ızgara duvar sisteminde de yatay ve düşey donatılar kullanılmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Boşluklu Izgara (Screen Grid) Duvar Sistemi (Web 1)

Dikme – Kiriş Duvar Sistemi

Dikme-kiriş (post and beam) duvar sistemi, ızgara duvar sistemine benzemektedir. Izgara duvar sisteminde kalıp içinde oluşan düşey taşıyıcı elemanlar yatay taşıyıcı elemanlar ile belirli aralıklarla bağlanmakta iken dikme-kiriş duvar sisteminde farklı olarak düşey taşıyıcı elemanlar yatay taşıyıcı elemanlar ile duvar alt ve üst uçları ile boşluk kenarlarında bağlanmaktadır. Dikme-kiriş duvar sisteminde kalıp içinde oluşan yatay ve düşey taşıyıcılar arasındaki mesafeler ızgara duvar sistemine göre artmakta ve taşıyıcı elemanlar bir nevi kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve haline gelmektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Dikme-Kiriş (Post and Beam) Duvar Sistemi

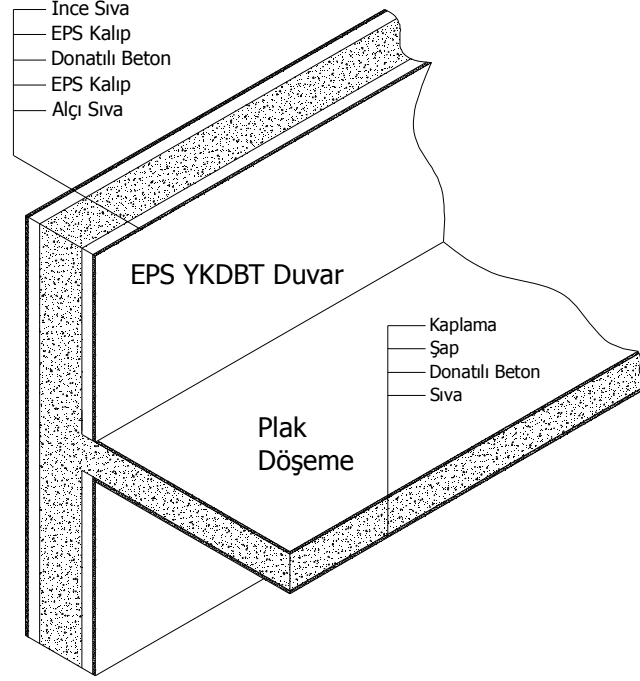
5.3 Döşeme Sistemi

EPS YKDBT duvar sisteminde plak döşeme sistemi ile nervürlü döşeme sistemi kullanılmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde plak döşeme kullanılması durumda kalıba (tavan kalıbı) ihtiyaç vardır. Nervürlü döşeme sistemlerinde ise kullanılan nervür malzemesine ve dolgu cinsine göre kalıp ihtiyacı değişiklik göstermektedir. Nervürlü döşemelerin bazı türlerinde, sehim oluşmasını engellemek için az miktarda kalıba ihtiyaç varken, bazı türlerinde ise tavan kalıbına ihtiyaç vardır.

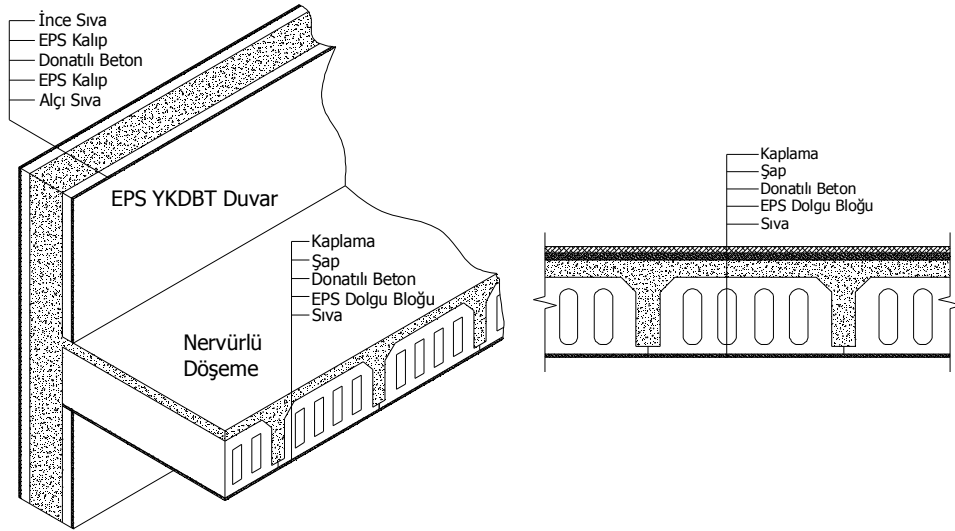
EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan plak döşemeler TS 500'de kirişli plak döşemeler için öngörülen kurallara göre boyutlandırılıp, donatıları düzenlenir (Şekil 5.11). Plak döşemeler ile taşıyıcı duvarların birleştirildiği bölgelerde kiriş/hatıl oluşturulur. Döşeme ile taşıyıcı duvar birleşim bölgelerinde özel olarak imal edilen EPS kalıp elamanları kullanılır. Döşeme ile taşıyıcı duvarların birleşim bölgelerinde oluşturulan kiriş/hatıl donatılarına döşeme donatıları ankre edilir. Döşeme ile kiriş/hatılların beton dökümü birlikte yapılır. Döşeme ile kiriş/hatıl birleşim bölgelerinde betonun boşluksuz olarak yerleştirilebilmesi için donatı yığılmalarından kaçınılmalıdır.

EPS YKDBT duvar sisteminde uygulanan nervürlü döşeme sistemlerinde çeşitli dolgu malzemeleri kullanılmaktadır (Şekil 5.12). Dolgu malzemesi olarak genellikle EPS yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan nervürlü döşemelerde nervürler yerinde dökme beton veya ön yapım kirişlerden oluşmaktadır. Nervürlü döşemelerde kullanılan ön yapım kirişler betonarme veya çelik malzemedен imal edilmektedir (Şekil 5.13, Şekil 5.14). Yerinde dökme betonarme nervürlü döşemeler, TS 500'de nervürlü döşemeler için öngörülen kurallara göre boyutlandırılıp, donatı hesapları yapılır. Yerinde dökme nervürlü döşemelerin imalatında tavan kalıbına ihtiyaç vardır. Hazırlanan kalıbın üzerine EPS dolgu malzemeleri yerleştirildikten sonra nervür donatısı ve plakta dağıtma donatısı düzenlenir. Dağıtma donatısı olarak hasır çelik kullanılabilir. Nervür donatıları ile dağıtma donatıları taşıyıcı duvarlar üzerinde oluşturulan kiriş/hatıl donatılarına ankre edilir (Şekil 5.13). Yerinde dökme betonarme nervürlü döşemelerin bazı türlerinde kendi yükünü taşıyabilen EPS dolgu blokları kullanılarak kalıp ihtiyacı azaltılabilir (Şekil 5.15). Kendi yükünü taşıyabilen EPS dolgu bloklarının kullanıldığı nervürlü

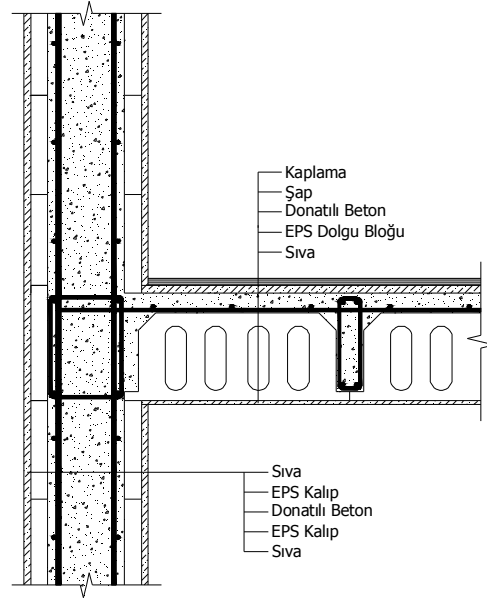
döşemelerde nervürlere dik doğrultuda belirli aralıklarla 10/10 kalaslar, dikmeler üzerine oturtularak donatı montajı, beton dökümü ve sonrasında meydana gelebilecek sehimler önlenir.



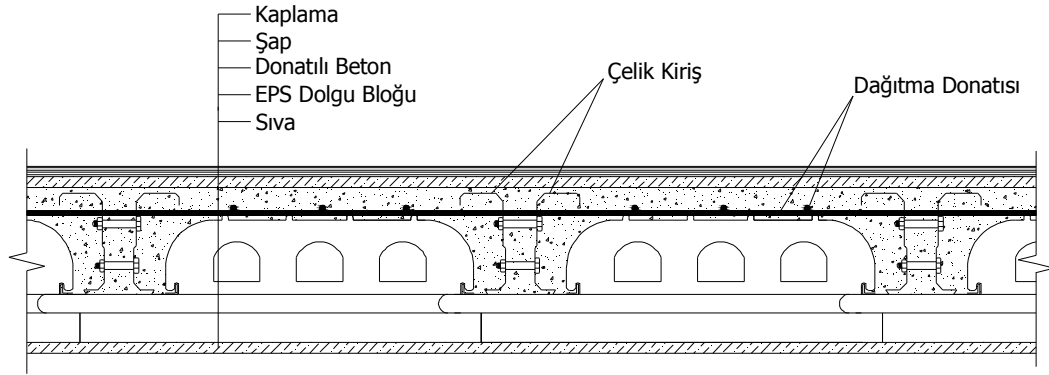
Şekil 5.11. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Plak Döşeme Sistemi



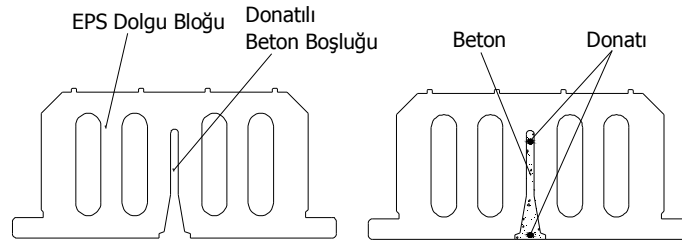
Şekil 5.12. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Yerinde Dökme Nervürlü Döşeme Sistemi



Şekil 5.13. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Yerinde Dökme Nervürlü Döşeme Sistemi ile Duvar Birleşimi



Şekil 5.14. EPS YKDBT Duvar Sisteminde Çelik Kirişli (Nervürlü) Döşeme Sistemi (ISORAST)



Şekil 5.15. Kendi Yükünü Taşıyabilen EPS Dolgu Bloğu (İzoyapı)

5.4 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemini Oluşturan Duvar Elemanlarının Mekaniksel Davranışı

Türkiye’de EPS YKDBT duvar sistemi uygulamalarında genellikle Düz (Flat) Duvar Sistemi ve Boşluklu Izgara (Screen Grid) Duvar Sistemi kullanıldığı için tez çalışması kapsamında bu iki duvar sisteminin mekaniksel davranışı incelendi. Aşağıdaki bölümlerde sonlu elemanlar yöntemi, sistemde kullanılan duvar elemanlarının sonlu eleman modelleri hakkında bilgi verildi.

5.4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Betonarme Elemanların Modellenmesi

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Yöntem ilk olarak mühendisler tarafından gerilme analizi problemine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir alan probleminin çözümü söz konusudur. Gerilme analizinde bu alan ağırlıklı olarak deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük, alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir önem içerir. Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar “nod” adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebirsel bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde çok sayıda denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır (Pençe, 2007).

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, yapı elemanlarının sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi oldukça yaygın hale gelmiştir. Bilindiği gibi sonlu elemanlar metodu, yapıların sonlu sayıda elemanlara ayrılması ve bu elemanların birbirlerine bağlandığı düğüm noktalarında kuvvetler dengesi ve deplasman sürekliliğinin sağlanması ilkelere dayanan bir yöntemdir (Dede, 2006).

Betonarme için hesap yöntemlerinin geliştirilmesi ve davranışın gerek analitik hesap yöntemleriyle hesaplanarak gerekse bilgisayar ortamında model oluşturularak çözümlenmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme bir elemanın gerçeğe yakın

davranışı genelde laboratuvar ortamında deney yapılarak gözlenebilmektedir. Fakat bu işlem oldukça zaman almaktadır. Deneilerin yapılması için uygun koşulların sağlanması ve malzeme temininde yaşanan sıkıntılar, belli boyut ve sayıdaki elemana göre oluşturulan malzemelerin kullanımının sınırlı olması nedeniyle çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Ancak yeterli sayıda deneyim (deprem ve benzeri durumlar) ve deney sonucundan malzeme, yapı elemanı ve yapının davranışı hakkında bilgi bilgisayar ortamında modellenerek daha çok sayıda çözümlenmeler yapılabilmektedir. Bilgisayar modelinde kullanılan malzeme özellikleri, kesit, eleman, yapı davranışı ve sınır şartları doğru ve eksiksiz olarak tanımlanması gerekir. Bilgisayar yazılımları kullanılarak külfetli deneysel çalışmaların sayısı azaltılabilmekte, deney ve yapı tasarımları optimize edilebilmektedir (Büyükkaragöz vd., 2008).

5.4.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Betonarme Elemanların Modellenmesi ile İlgili Literatür Özeti

Fatma Tuba DEDE, “Tersinir-Tekrarlanır Yükleme Altındaki Betonarme Çerçevelerin ANSYS Programı ile Nonlinear Sonlu Eleman Analizi” isimli çalışmasında yüklemenin tersinir-tekrarlanır olarak uygulandığı betonarme çerçeve deneylerinin modellenmesini yapmıştır. Yapılan analizlerinde, tersinir-tekrarlanır yükleme altındaki yapı elemanlarının kuvvet-deplasman geçmişinin modellenmesi sırasında, taşınabilecek en büyük yüke yaklaşıldığında ANSYS analizinin durduğu, ancak durmadan önce elde edilen analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Özgür ANIL ve M. Çağatay BELGİN, “Monotonik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analizi” isimli çalışmalarında ANSYS sonlu elemanlar programı ile monotonik yükleme etkisi altındaki dikdörtgen kesitli betonarme kirişin analizine yönelik bir örnekleme yapmışlardır. Çalışmada, dikdörtgen kesitli, basit mesnetli betonarme bir kirişin doğrusal olmayan sonlu eleman analiz sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Betonarme kirişin modellenmesinde dağınık (düzgün yayılı) modelleme tekniği seçilmiş ve beton malzemesi için Hognestad gerilme- deformasyon ilişkisi ve donatı için elastik-tam plastik malzeme modeli kullanılmıştır. ANSYS sonlu

elemanlar programı ile gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonuçları, aynı kiriş için daha önce yapılmış deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve yazılımla uyumlu, gerçeğe yakın doğrusal olmayan analiz sonuçlarının elde edilebilmesi için öneriler sunulmuştur.

Alper BÜYÜKKARAGÖZ ve Yağmur KOPRAMAN'ın, "Eksenel Yük Etkisi Altındaki Kare Kesitli Mantolanmış Kolonun Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi" isimli çalışmalarında dört kenarından kesiti büyütülmüş (mantolanmış) kare kesitli bir kolon laboratuvar ortamında eksenel yük altında yüklenerek test edilmiş ve elde edilen sonuçlar ANSYS sonlu elemanlar programı ile modellenmiş olan kolonların analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları ile hazırlanan bilgisayar modeli sonuçları karşılaştırılarak, bilgisayar modeli sonuçlarının gerçek davranışa yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Çalışmada beton malzemesinin modellenmesi için Solid65 elemanı seçilmiş ve donatı tanımlanırken ayırık modelleme tekniği kullanılmıştır. Çalışmada eksenel yükleme altındaki kare kesitli kolondan elde edilen yük-deformasyon eğrisinin ANSYS sonlu elemanlar programı ile modellenmiş kolon elemanından elde edilebilmesi için gerekli adımlar belirtilmiştir.

Antonio F. BARBORASO ve Gabriel O. RIBERIO, "Analysis of Reinforced Concrete Structures Using ANSYS Nonlinear Concrete Model", isimli çalışmalarında 4,0 m açıklıklı 200×350 mm kesitine sahip düzgün yayılı yük etkisinde basit mesnetli bir kirişi modellemişlerdir. Kiriş modelinde yalnızca çekme donatısı düzenlenmiştir. Çalışmada kirişlerde kullanılan donatı ayırık donatılı ve dağınık ("smeared", düzgün yayılı) donatılı olarak iki farklı şekilde modellenmiş, farklı beton malzeme modelleri için dört kez analiz edilmiştir. Farklı malzeme ve beton modellerinin kullanılması durumları için analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Alper BÜYÜKKARAGÖZ, "Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş Birleşimlerinin Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi" isimli çalışmasında iki farklı beton dayanımına (C20, C30) sahip zayıf kolon-güçlü kiriş birleşiminden oluşan bir çerçeve dış düğümünü, kiriş ucundan deprem kuvvetini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yük uygulayarak deney yapmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile ANSYS sonlu elemanlar programından elde edilen sonuçlar karşılaştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmada kullanılan malzeme dayanım değerleri kullanılarak beton malzeme, ANSYS sonlu elemanlar programında Solid65 eleman modeli ile temsil edilirken, donatı çubukları ise

Link8 eleman modeli ile temsil edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen zarf eğrileri ile sonlu eleman modellerinin doğrusal olmayan analizinden elde edilen yük-yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır.

Ahmet BENLİ, Kazım TÜRK ve Yusuf CALAYIR, “Kendiliğinden Yerleşen Betondan Üretilmiş Kirişlerin Aderans Dayanımının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi” isimli çalışmalarında normal ve kendiliğinden yerleşen betondan üretilmiş kiriş numuneleri üzerinde elde ettikleri eğilme deney sonuçları ile karşılaştırmak üzere kirişlerin sonlu eleman modellerini oluşturmuşlardır. Kirişlerin sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Çalışmada 200×300×2000 mm boyutlarında çekme ve kayma donatılı iki farklı beton türü kullanılarak toplam 12 adet kiriş üretilip, eğilme etkisinde denenmiştir. Sonlu eleman modellerinde beton Solid65 eleman modeli, donatı çubukları Link8 eleman modeli ile temsil edilmiş, doğrusal olmayan analizde Newton-Raphson metodu kullanılmıştır. Normal beton ve kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen kiriş numunelerinin eğilme etkisindeki davranışları ile sonlu eleman modellerinin sayısal çözümlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

P. FANNIG, “Nonlinear Models of Reinforced and Post-tensioned Concrete Beams” isimli çalışmasında birisi 3,0 m açıklıklı klasik, diğeri 9,0 m açıklıklı öngerilmeli iki kiriş ANSYS sonlu elemanlar programı ile modellemiş ve doğrusal olmayan analiz sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Beton için Solid65, donatı çubukları ve öngerme kabloları için Link8 elemanları kullanılmıştır. Klasik kiriş modeli deplasman kontrollü yüklenmiş, öngerilmeli kirişte öngerilme kablosuna başlangıç şekil değiştirmesi verilmiştir. ANSYS sonlu elemanlar programının betonun doğrusal olmayan davranışını modellemede yaptığı kabulle, kullandığı elemanlar ve özellikle beton içinde tanımlanan gizli (smeared) çatlak modelinin gerçeğe ne kadar uyduğunu belirlemek için yapılmış bu çalışmadan elde edilen sonuçlar deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Necati MERT ve Muzaffer ELMAS, “Fiber Takviyeli Polimerle Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Analizi” isimli çalışmalarında 4 tip kiriş modeli kullanarak kiriş kesiti, kiriş açıklığı, FRP (Fiber Takviyeli Polimer) şerit kalınlığı ve farklı donatı miktarının etkilerini araştırılmak üzere 16 farklı kiriş modeli oluşturmuş ve doğrusal olmayan analizlerini yapmışlardır. Çalışmada kirişlerin sonlu

eleman modellerinin oluşturulmasında LUSAS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. FRP ile güçlendirilen 16 farklı kiriş modelinin çatlak mekanizmaları, kiriş orta bölgesi ve plaka yüzeyi boyunca oluşan gerilme değişimleri incelenerek grafikler halinde sunulmuştur. Deneysel çalışma sonuçları ile sonlu eleman modelleri karşılaştırılarak sonlu eleman modelinin doğruluğu gösterilmiştir.

Alper BÜYÜKKARAGÖZ, “Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş Birleşimleri için Alternatif Bir Detay Önerisi” isimli çalışmasında bir çerçevenin dış düğüm noktasından elde edilmiş 15 adet kolon-kiriş birleşim elemanı, deprem etkilerine benzer tersinir-tekrarlı yük etkisi altında denenmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesi için bilinen yöntemlerden daha basit, pratik ve ucuz bir öneri getirilmiş, kullanılan kesme çivili levhalarla kolon kapasitesi arttırılmıştır. ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulan sonlu eleman modellerinin doğrusal olmayan sonuçları ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Uğur YOZGAT, “Eksenel Yüklü Kare Kesitli Betonarme Kolonların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Nonlinear Analizi” isimli çalışmasında deneysel çalışma yapılan kare kesitli betonarme bir kolonun sonlu eleman modelini oluşturmuştur. Oluşturulan kolon modelinin öncelikle, sonlu elemanlar yöntemine göre doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Analitik çalışmada ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile analitik çalışma sonuçlarının örtüşebilmesi amacıyla alternatif varsayımlar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, deneysel veriler ve teorik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ANSYS sonlu elemanlar programının mevcut sürümünün gerçekçi sonuçlar vermediği görülmüştür.

Fatih SÖYLEMEZ’in, “Betonarme Kolonlarda Kuşatma Etkisi için Sonlu Eleman Modeli” isimli çalışmasında betonarme kolonların eksensel yük etkisindeki davranışlarında, yanal donatıların beton çekirdek üzerine uyguladıkları kuşatma etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, çekirdek beton etrafındaki donatı etkisi bir yay sistemi ile tanımlanmaya çalışılmış, boyuna donatı yüzdesi, boyuna donatı sayısı ile çapı, etriye aralıkları, beton mukavemeti gibi parametreler göz önüne alınarak, öncelikle kuşatma basıncı ve yay katsayısı olmak üzere tüm değerlerdeki değişimlerin kolonların gerçek davranışa uygun olup olmadığı araştırılmıştır. LUSAS programında sonlu elemanlar yöntemi ile 3 boyutlu olarak modellenen kolonlarda izotropik hasar modeli kullanılarak,

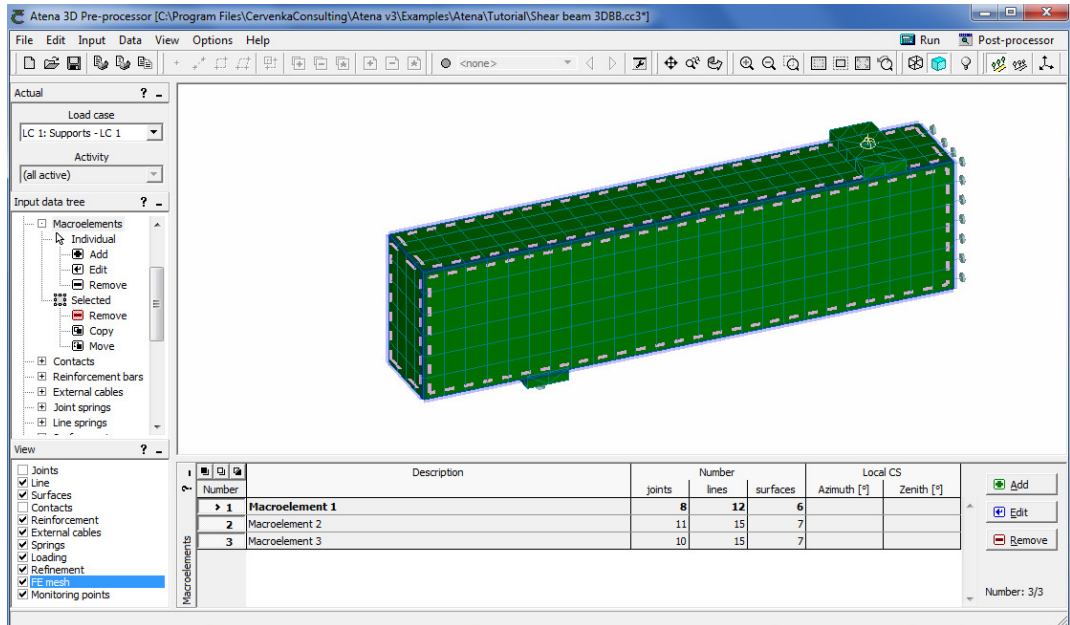
doğrusal olmayan analiz yapılmış ve yukarıda bahsedilen parametrelerin değişimleri incelenmiştir.

Anthony J. WOLANSKI, “Flexural Behaviour of Reinforced and Prestressed Concrete Beams Using Finite Element Analysis” isimli çalışmasında betonarme klasik ve öngerilmeli kirişlerin yük-deplasman eğrilerini sonlu elemanlar yöntemi ile elde etmiştir. Oluşturulan kiriş sonlu eleman modeli analiz sonuçları, önceden yapılmış deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak, sonlu eleman modelinin doğruluğu gösterilmiştir. Aynı modelleme tekniği kullanılarak betonarme öngerilmeli kirişin sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Betonarme öngerilmeli kiriş sonlu eleman modelinin doğrusal olmayan analiz sonuçları ile kuramsal hesap sonuçları karşılaştırılmıştır. Kiriş sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Modellemede beton için Solid65, donatı çubukları için Link8 elemanı kullanılmıştır.

Werasak RAONGJANT ve Meng JING, “Analysis of Seismic Behaviour of Lightweight Concrete Shear Walls” isimli çalışmalarında donatılı hafif beton duvarların (perde) sismik davranışlarını irdelemek için 3 boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturmuşlardır. Gövde donatıları farklı perde duvarların sonlu eleman modellerinin doğrusal olmayan analiz sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Duvar modellerinin oluşturulmasında ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Oluşturulan duvar modellerinde beton Solid65 ile donatı çubukları ise Link8 elemanı ile temsil edilmiştir.

5.4.3 ATENA Sonlu Elemanlar Programı İle Sonlu Eleman Analizi

Bu bölümde ATENA sonlu elemanlar programı ile modellemeye ilişkin çeşitli bilgiler verilmektedir. Burada amaç sonlu elemanlar analizi yapılacak duvar modellerinin oluşturulması hakkında önbilgilerin oluşturulmasıdır. ATENA sonlu elemanlar programı ile ilgili ayrıntılı bilgiye ATENA sonlu elemanlar programı kullanım kılavuzlarından ve programın içerisindeki yardım menüsünden ulaşılabilir. ATENA sonlu elemanlar programı, özellikle beton ve betonarme yapıların sonlu eleman analizleri için tasarlanmış bir yazılımdır. ATENA programında karmaşık betonarme elemanların geometrik modellerinin oluşturulabilmesi ve analizi için birçok ara yüz ve çözüm yöntemi seçeneği mevcuttur. ATENA sonlu elemanlar programı ile betonarme elemanların gerilme, ısı iletim, genleşme, sünme, rötne analizleri gerçekleştirilebilir. Ayrıca ATENA sonlu elemanlar programında 2 boyutlu ve 3 boyutlu sonlu eleman modellerinin oluşturulabilmesi için çeşitli eleman kütüphanesi, malzeme modelleri ve çözüm yöntemi seçenekleri vardır. ATENA 3D programı 3 boyutlu betonarme yapıların sonlu eleman modellerinin oluşturulması için tasarlanmış olsa da program ile zemin, metal vb. betonarme dışında elemanların da sonlu eleman modelleri oluşturulabilir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. ATENA Sonlu Elemanlar Program Penceresi

ATENA sonlu elemanlar programı üç ana kısımdan oluşmaktadır.

- 1) Ön İşlem Bölümü (Pre-Processing): Bu bölümde geometrik objeler (beton, donatı, ara yüzey vb.), yükleme ve sınır koşulları, sonlu eleman ağı (mesh) ve çözüm yöntemi ile ilgili bilgiler programa aktarılır.
- 2) Analiz Bölümü (Analysis): Bu bölümde oluşturulan geometrik modelin analizi yapılırken hesap aşamaları ve hesap sonuçları görsel ve sayısal olarak incelenir.
- 3) Son İşlem Bölümü (Post-Processing): Analizi gerçekleştirilen model ile ilgili analiz sonuçları görsel ve sayısal olarak incelenir, kaydedilir veya çıkışı alınır.

ATENA sonlu elemanlar programında geometrik model “makroelement” adı verilen üç boyutlu katı objelerden oluşur. Her üç boyutlu katı obje (makroelement), düğüm noktalarından (joints), çizgilerden (lines) ve yüzeylerden (surfaces) oluşur. ATENA sonlu elemanlar programında modelleme için çeşitli seçenekler mevcuttur. Düğüm ve düğümlere bağlı elemanlardan oluşan bir sonlu eleman modeli, önce düğüm noktalarının, sonra da elemanların oluşturulmasıyla meydana getirilebilir. Bu amaçla her bir düğüm noktasına ait global koordinatlar verilerek düğüm noktaları (joints), düğüm noktaları birleştirilerek çizgiler (lines), çizgilerin arasında yüzeyler (surfaces) ve yüzeylerin yardımıyla üç boyutlu katı objeler (makroelements) oluşturulur. ATENA sonlu elemanlar programında üç boyutlu katı objelerin modellenmesinde kullanılan üç boyutlu basit geometrik objeler de mevcuttur. Programdaki üç boyutlu basit geometrik objeler kullanılarak istenilen formda geometrik modeller oluşturulabilir.

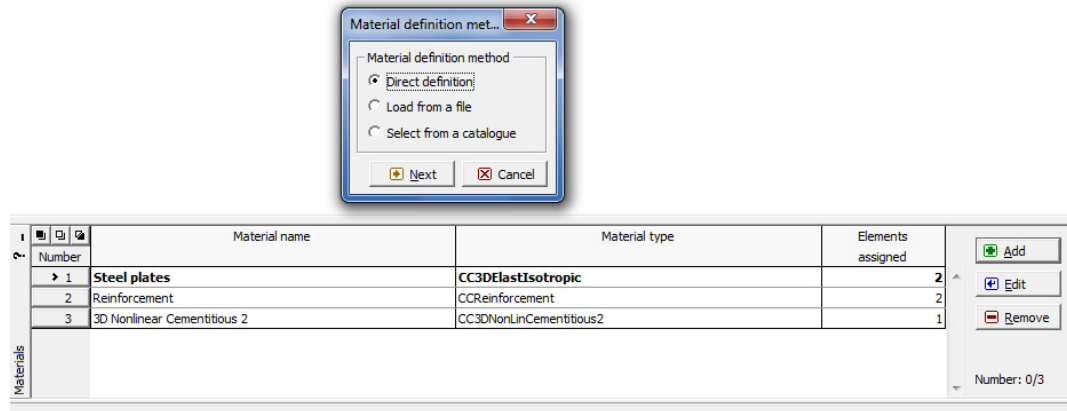
Geometrik modeli oluşturulan her üç boyutlu katı obje (makroelement) düğüm noktaları (joints), çizgiler (lines) ve yüzeylerden (surfaces) oluşmaktadır. ATENA sonlu elemanlar programında her makroelement bağımsız olarak oluşturulur ve her makroelementin kendi düğüm noktaları, çizgileri ve yüzeyleri vardır. ATENA sonlu elemanlar programında hiçbir düğüm noktası, çizgi veya yüzey iki makroelement tarafından paylaşılmaz. İki makroelement birbirine temas ettiğinde program otomatik olarak bu objeler arasında bir bağ (contact) tanımlar. ATENA sonlu elemanlar programında makroelementler arasında program tarafından otomatik olarak oluşturulan bağ (contact) özellikleri kullanıcı tarafından değiştirilebilir. ATENA sonlu elemanlar programı, farklı sonlu elemanlar programlarında oluşturulmuş sonlu eleman modellerini de desteklemektedir.

5.4.3.1 ATENA Sonlu Eleman Programı İle Sonlu Eleman Modelinin Oluşturulması

ATENA sonlu elemanlar programı ile sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında aşağıdaki sıra takip edilir.

Malzeme Tanımlanması

ATENA sonlu elemanlar programında geometrik sonlu eleman modelinde kullanılacak olan malzemeler üç farklı şekilde tanımlanabilir. İlk yöntemde, program içinde var olan malzeme kütüphanesindeki mevcut malzeme modelleri aynen veya parametreleri değiştirilerek tanımlanır (Direct definition). İkinci yöntemde, daha önce kullanılıp saklanan malzeme modelleri çağrılarak kullanılır (Load from a file). Üçüncü malzeme tanımlama yönteminde, ulusal ve uluslararası standartlarda verilen malzeme modelleri kullanılır (Select from catalogue).

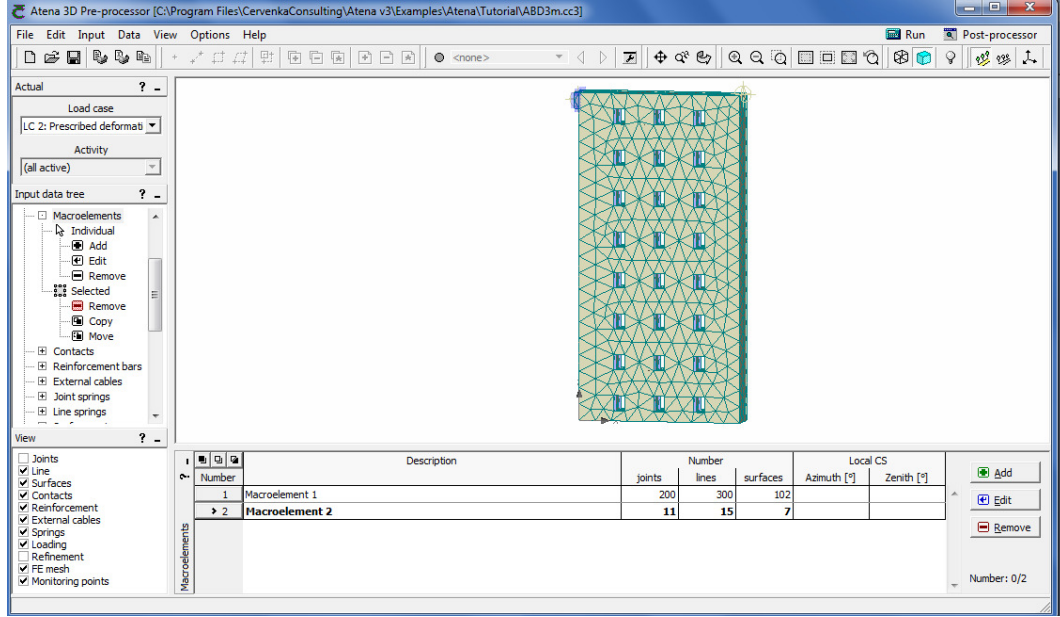


Şekil 5.17. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Malzeme Tanımlanması

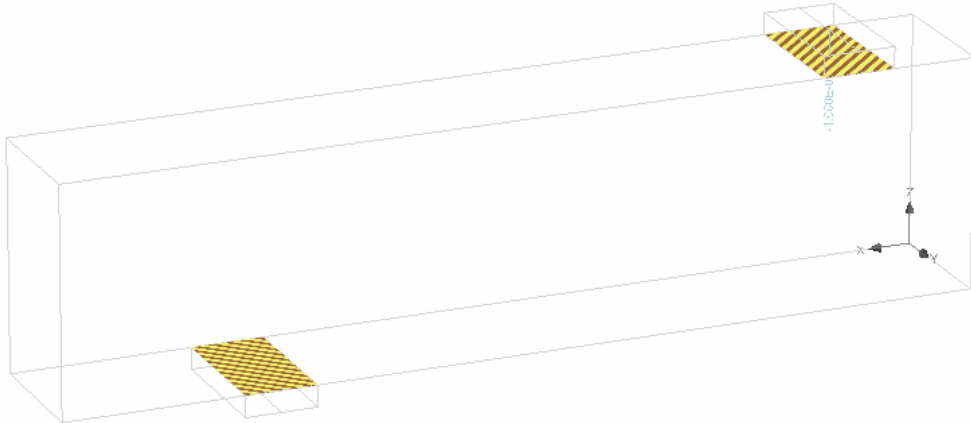
Geometrik Modelin Oluşturulması

Önceki bölümlerde ifade edildiği gibi ATENA sonlu elemanlar programında geometrik model çeşitli şekillerde oluşturulabilir. En basit fakat en uzun yöntem düğüm noktalarının tek tek tanımlanmasıdır. Daha sonra tanımlanan bu düğüm noktaları

çizgilerle birleştirilir ve bu çizgiler yardımıyla yüzeyler oluşturulur. Yüzeyler, 3 boyutlu katı objelerin dolaysız oluşturulmasında kullanıldığı gibi, yüzeyler tanımlanan bir doğru boyunca yükseltılarak (extrusion) 3 boyutlu katı objeler oluşturulabilir. Geometrik modelin oluşturulmasında en kısa yöntem program içinde var olan basit üç boyutlu katıların kullanılmasıdır. Geometrik modeli oluşturan macroelementlerin birbiri ile temas ettiği yüzeylerde program otomatik olarak bağ (contact) tanımlar.



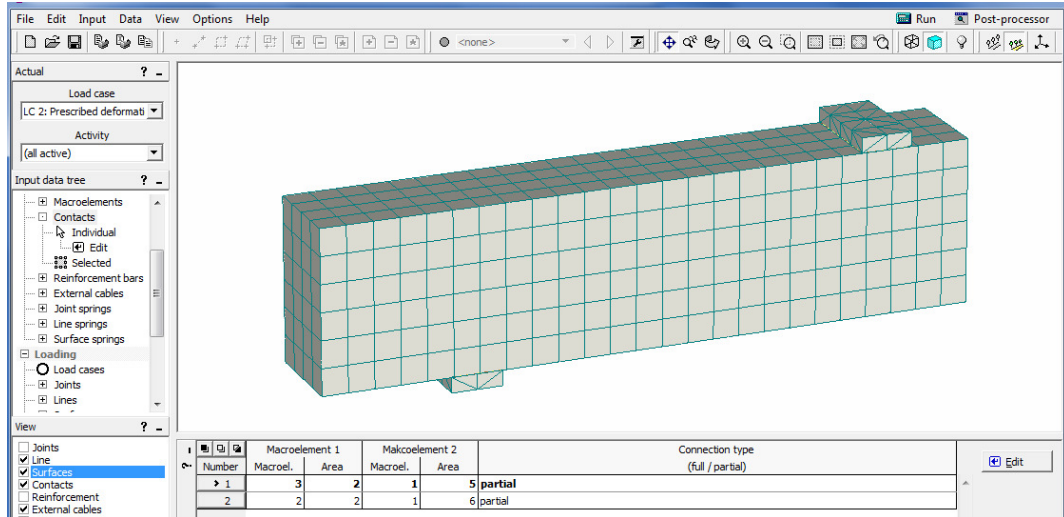
Şekil 5.18. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Geometrik Model Oluşturulması



Şekil 5.19. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Geometrik Modeli Oluşturan Farklı Katı Objeler Arasındaki Bağ (Contact)

Elemanların Bölünmesi

Geometrik model oluşturulduktan sonra, geometrik modeli oluşturan her katı obje elemanlara bölünür (mesh). ATENA sonlu elemanlar programında geometrik modeli oluşturan her katı obje ayrı ayrı elemanlara bölünür. ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan geometrik modelin bölünmesi (mesh) işleminde dört yüzlü (tetrahedron), tuğla (brick), piramit (pyramid) olmak üzere üç eleman bölme (mesh) seçeneği vardır. Oluşturulan modelin geometrik yapısına, modelde boşluk bulunup bulunmamasına göre mevcut seçeneklerden bir tanesi seçilir. Geometrik modelin elemanlara bölünmesi (mesh) işlemi analiz sonuçlarında en az geometrik model kadar etkili olduğundan eleman ağ boyutu ve kullanılan eleman bölme (mesh) seçeneği seçiminde dikkatli olunmalıdır. İyi bir eleman bölme (mesh) işlemi uygulanmamış bir geometrik modelin sonlu eleman analiz sonuçları, gerçek sonuçlardan oldukça farklı olacaktır.

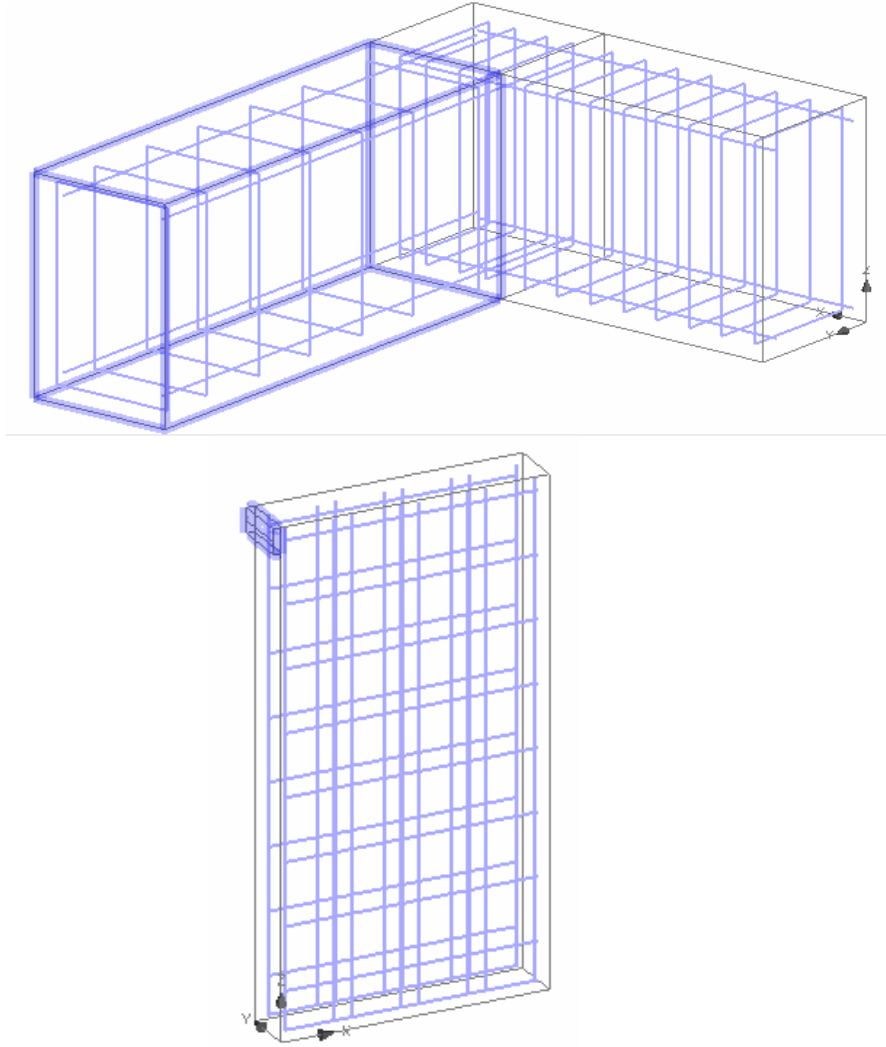


Şekil 5.20. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Geometrik Modelin Elemanlara Bölünmesi (Mesh)

Donatının Tanımlanması

ATENA sonlu elemanlar programında geometrik model oluşturulduktan sonra donatı/ lar tanımlanır. Donatıların tanımlanması için geometrik modelin oluşturularak

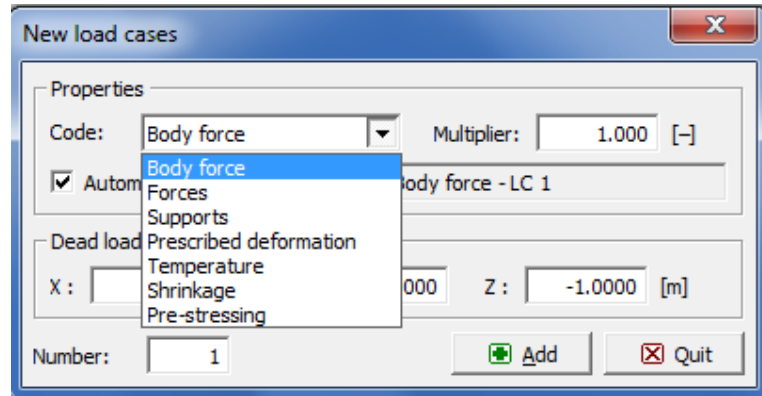
elemanlara bölme (mesh) işleminin yapılmasına gerek yoktur, bilgi girişi sırasında herhangi bir aşamada donatılar modele dâhil edilebilir. Donatılar iki yöntemle tanımlanabilmektedir. ATENA sonlu elemanlar programında donatılar çubuk eleman olarak (ayrık/discrete) tanımlanabileceği gibi, oluşturulan geometrik modelin içinde belirli bir oranda dağılmış (dağınık/smeared) olarak da tanımlanabilir. Ayrık modellemede, donatının model içinde bulunacağı düğüm noktalarının koordinatları arasına istenilen çapta donatı/lar çizilir. Oluşturulan donatıya malzeme özellikleri modelleme sırasında atanır. Dağınık modellemede model içinde bulunacak donatının oranı ve doğrultusu belirtilir.



Şekil 5.21. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Donatının Ayrık Modellenmesi

Yükleme Durumları

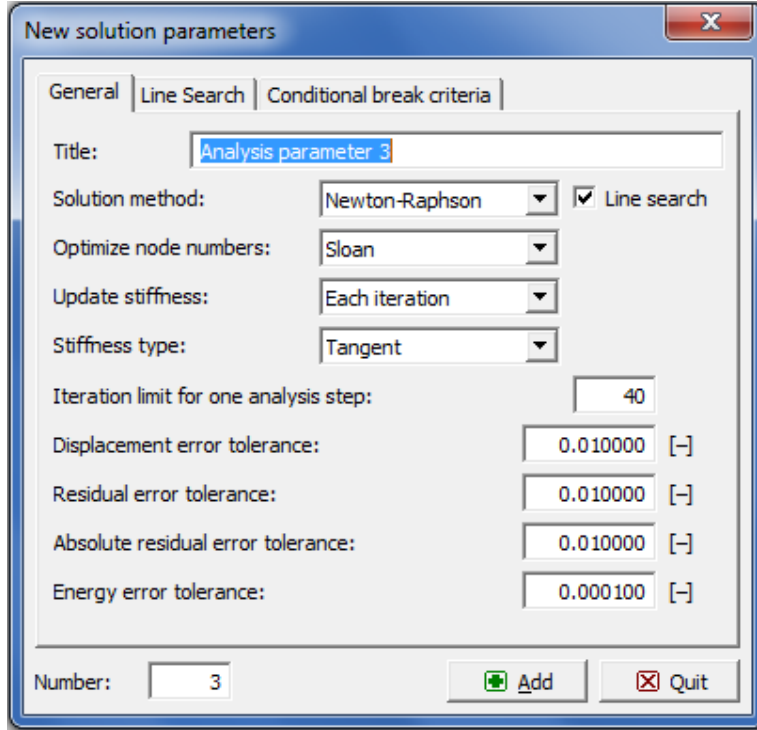
ATENA sonlu elemanlar programında ilk olarak yükleme durumları tanımlanır, tanımlanan yükleme durumları için oluşturulan geometrik modele etki edecek yükler atanır ve analiz sırasında tanımlanan yüklerin istenilen kombinasyonları geometrik modele etkililir. Her yük adımında geometrik objeye etkiyen yük bir önceki adıma göre artar. Özağırlık (body forces), kuvvetler (forces), mesnetler (supports), tanımlı deformasyon (prescribed deformation), ısı (temperature), sünme (shrinkage), öngerilme (re-stressing) yük durumları tanımlanabilir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Yüklemeler Durumları

Çözüm Parametreleri

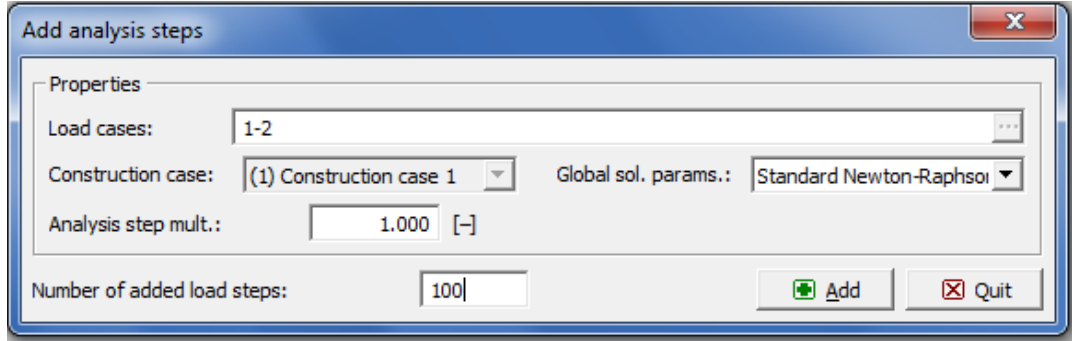
ATENA sonlu elemanlar programında, geometrisi veya malzeme gerilme şekil değiştirme ilişkisi doğrusal olmayan sistemlerin çözümünde çeşitli iterasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan analiz için Newton-Raphson ve Arc Length yöntemleri kullanılır. Tipik yapısal analizlerde, programdaki analiz yöntemlerinin mevcut parametrelerinin aynen kabul edilmesinde herhangi bir sakınca yoktur. Bazı özel geometrik modellerin analizinde programdaki mevcut analiz yöntemlerinin parametrelerinde kullanıcı tarafından değişiklik yapılması gerekebilir. Newton-Raphson ve Arc Length yöntemleri ile ilgili detaylı bilgiler ATENA sonlu elemanlar programının teori kılavuzundan elde edilebilir.



Şekil 5.23. ATENA Sonlu Elemanlar Programı Çözüm Parametreleri

Analiz Adımları

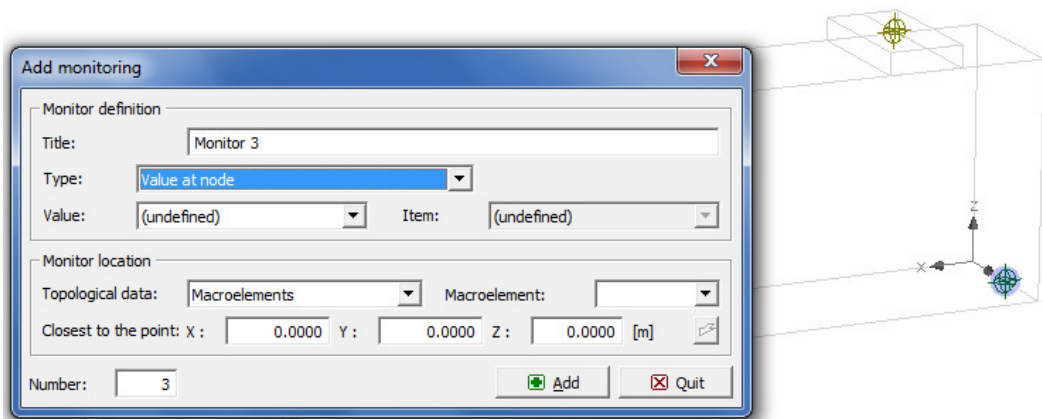
ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan geometrik modele analiz sırasında yükler adım adım arttırılarak uygulanır. Analiz adımlarında, modelleme sırasında tanımlanan yük durumları için geometrik modele uygulanacak olan yüklerin kaç adımda uygulanacağı belirlenir. Analiz adımları penceresinde, analizde kullanılacak çözüm yöntemi, yükleme durumları, analiz adım sayısı belirlenir. Analiz sırasında tanımlanan yükler kullanıcının belirlediği bir katsayı ile çarpılarak modele uygulanabilir.



Şekil 5.24. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Analiz Adımları

Görüntüleme Noktaları

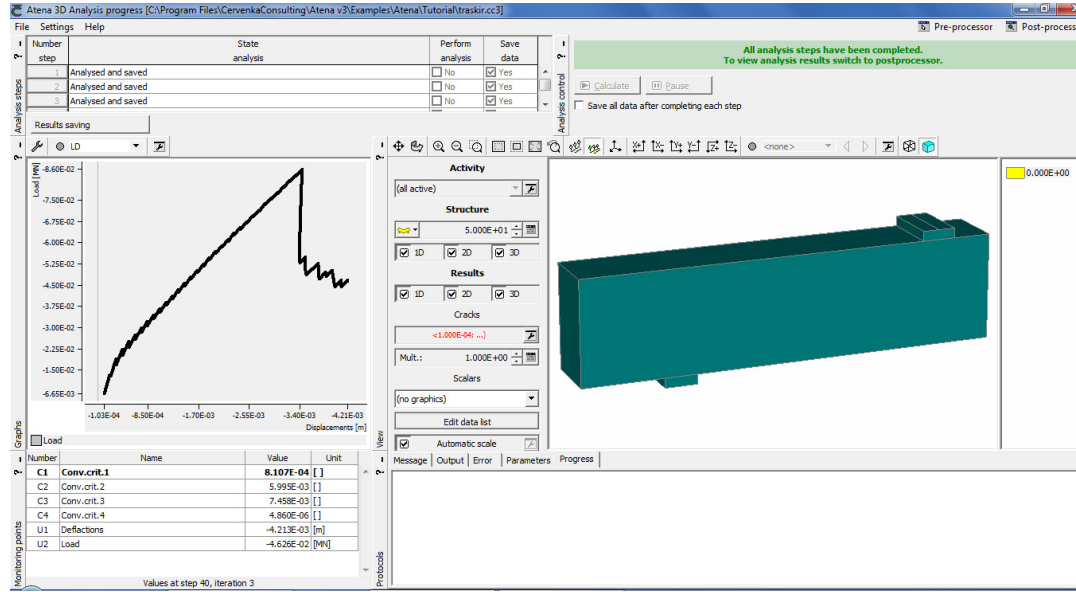
Sonlu eleman modellerinin doğrusal olmayan analizlerinde yüklerin, yerdeğiştirmelerin ve gerilmelerin görüntülenmesinde fayda vardır. Görüntüleme noktaları, analiz esnasında modelin davranışı hakkında önemli bilgiler sunar. Oluşturulan modelin analizi esnasında yük, yerdeğiştirme ve gerilme gibi parametrelerin değişiminin izlenmesi istenilen noktalara koordinatları verilmek suretiyle görüntüleme noktaları tanımlanır. Görüntüleme noktaları laboratuvar deneylerinde kullanılan elektronik deplasman ölçerlerle benzer davranış gösterir.



Şekil 5.25. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Görüntüleme Noktaları

Sonlu Eleman Analizi

Sonlu eleman analizi ATENA programında analiz butonuna basılmasıyla başlar ve program doğrusal olmayan analiz adımlarının girdi dosyalarını oluşturur. İşlemin ardından programın ara yüzü değişir ve analiz adımlarının görüntüleneceği yeni bir sayfa ekrana gelir (Şekil 5.26).

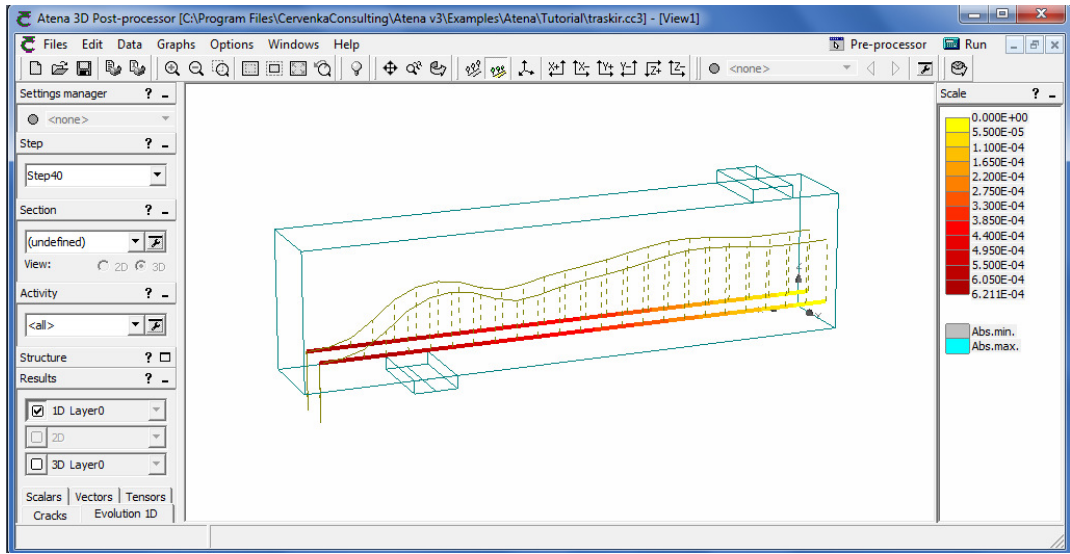


Şekil 5.26. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Doğrusal Olmayan Analiz Sürecini Görüntüleme Sayfası

ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan geometrik modelin analizi başladıktan sonra sayfanın sol kısmındaki grafikten görüntüleme noktalarından elde edilen değerler grafik olarak görülebilir. Analiz sırasında, ayrıca geometrik modelde meydana gelen şekil değiştirmeler, çatlak dağılımı, çatlak boyutları, gerilme dağılımları vb. analiz sonuçları görsel ve sayısal olarak incelenebilir. Analiz sırasında istenilen bir anda analiz durdurulabilir veya analiz iptal edilebilir.

Son İşlem

Geometrik modelin doğrusal olmayan analizi tamamlandıktan sonra son işlem (post-processor) butonuna basılarak açılan sayfada analiz sonuçları görsel ve sayısal olarak incelenebilir. Analiz sonuçları resim veya grafik olarak kaydedilebilir, yazdırılabilir veya sayısal olarak sonuçlar başka bir programa aktarılabilir. Analiz bittikten sonra pre-processor (ilk işlem) ve post-processor (son işlem) pencereleri arasında geçiş yapılabilmektedir.



Şekil 5.27. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Sonuçların Görüntülediği Post-Processing Penceresi

5.4.4 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemini Oluşturan Duvarların Sonlu Eleman Modelleri

Çalışmanın bu bölümünde, EPS YKDBT duvar sisteminde taşıyıcı duvar gövdesinde bağlantı köprülerinden dolayı oluşan çok sayıda düzenli boşluğun duvarın mekaniksel davranışı üzerindeki etkisi, oluşturulan duvar sonlu eleman modellerinde incelendi. Bu amaçla ATENA sonlu elemanlar programı kullanılarak duvar modelleri oluşturuldu. EPS YKDBT duvar sisteminde çok farklı türde ve boyutta kalıp elemanları kullanılmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan kalıpların dolayısıyla kalıp içindeki bağlantı köprülerinin tür ve boyutlarının değişmesi taşıyıcı donatılı beton duvar gövdesinde oluşan boşlukların şeklini ve boyutunu değiştirmektedir. Bu bölümde, ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan duvar modelleri ile bağlantı köprülerinden dolayı duvar gövdesinde oluşan boşluk boyutunun değişiminin donatılı beton duvarın yatay yük etkisindeki mekaniksel davranışına olan etkisi belirlenmeye çalışıldı.

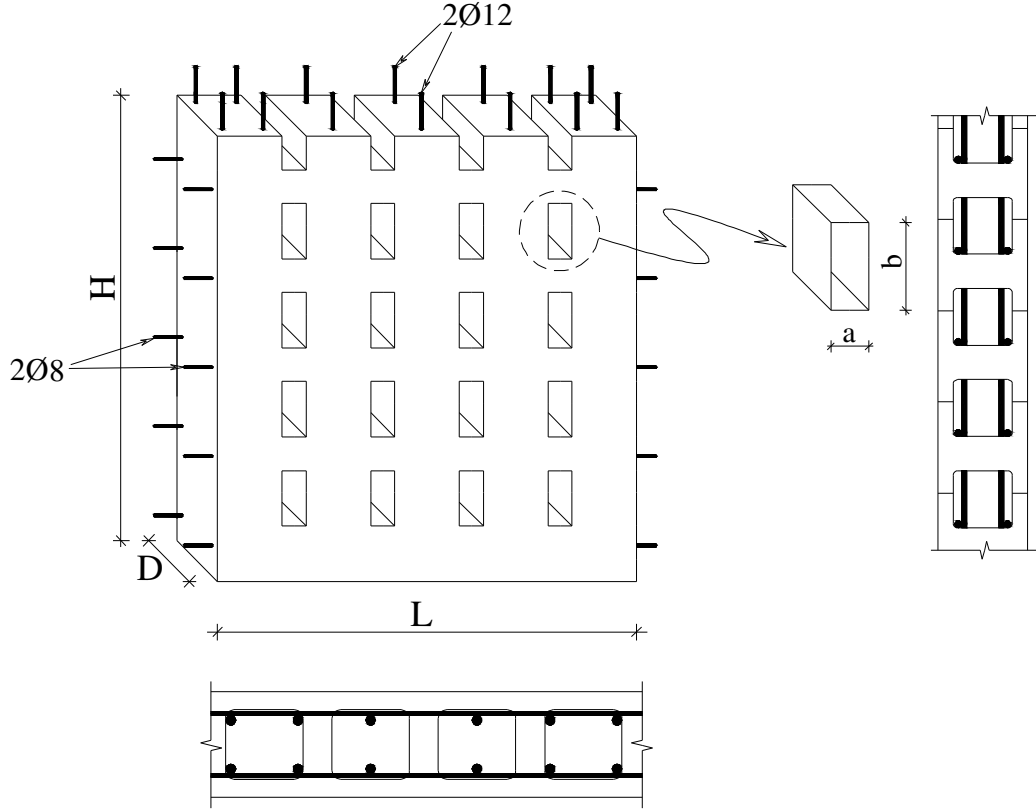
5.4.4.1 Duvar Modellerine Ait Özellikler

ATENA sonlu elemanlar programı ile oluşturulan duvar modellerinde duvar kalınlığı 200 mm alınarak, iki farklı boşluk boyutu için sabit düşey yük ve artan yatay yük etkisinde duvar elemanlarının doğrusal olmayan analizleri yapıldı. EPS YKDBT duvar sisteminde bağlantı köprülerinden dolayı oluşan toplam boşluk alanının, toplam duvar alanına oranı, boşluk oranı (α) olarak tanımlandı. Duvarın boşluk oranı (α) 5.1 bağıntısı ile hesaplandı.

$$\alpha = \frac{\text{Toplam Boşluk Alanı}}{\text{Toplam Duvar Alanı}} \quad (5.1)$$

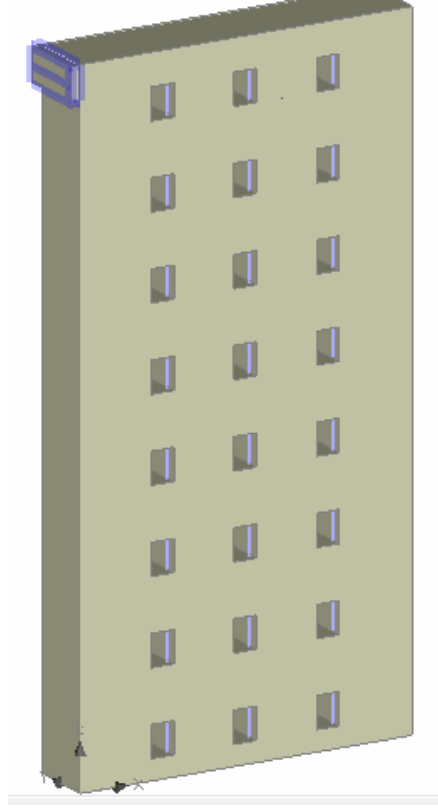
ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan duvar modellerinde boşluk oranı (α) 0, 0.01 ve 0.10 alındı. Oluşturulan modellerde boşluk oranı 0 olan duvar modelleri ile geleneksel donatılı beton duvarlar, boşluk oranı 0.01 olan duvar modelleri ile metal veya plastik bağlantı köprülü dolu gövdeli donatılı beton (flat) duvarlar, boşluk

oranı 0.10 olan duvar modelleri ile tez kapsamında incelenen EPS bağlantı köprülü boşluklu ızgara duvarlar (screen-grid) temsil edilmeye çalışıldı. Duvar modellerinde donatı olarak, yatayda her kalıp elemanında bağlantı köprülerinin üzerinde $2\text{Ø}8$, düşeyde ise duvar uçlarında ilk gözlerde $4\text{Ø}12$ ve ara gözlerde (gövdede) $2\text{Ø}12$ kullanıldı. Duvar modellerine ait kesit ve donatı özellikleri Şekil 5.28’de görülmektedir.

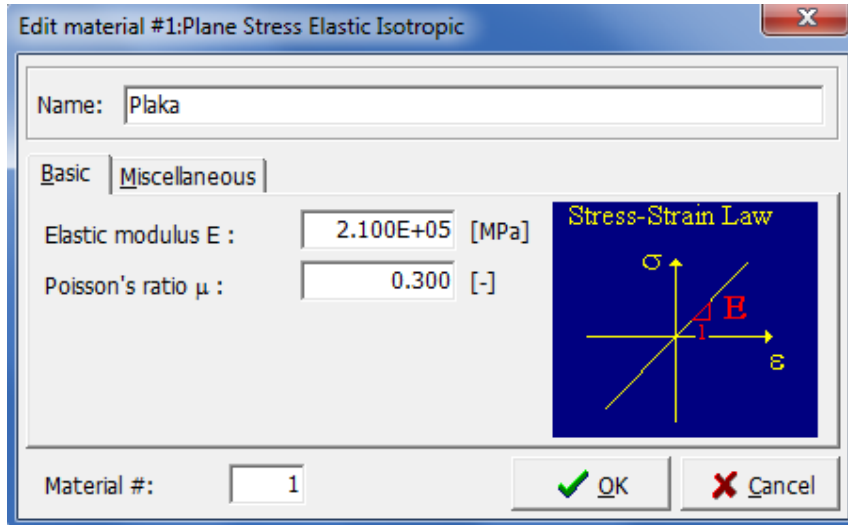


Şekil 5.28. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Oluşturulan Duvar Modeli

Duvar modellerinde yatay yük duvarlara duvar üst köşesinde oluşturulan çelik yükleme plakası vasıtasıyla uygulandı (Şekil 5.29). ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan duvar modellerinde çelik yükleme plakası elastik isotropik malzeme modeli ile temsil edildi. Duvar modellerinde çelik yükleme plakasının elastisite modülü (E) $2,10 \times 10^5$ MPa ve Poisson oranı (μ) 0,30 olarak alındı (Şekil 5.30).

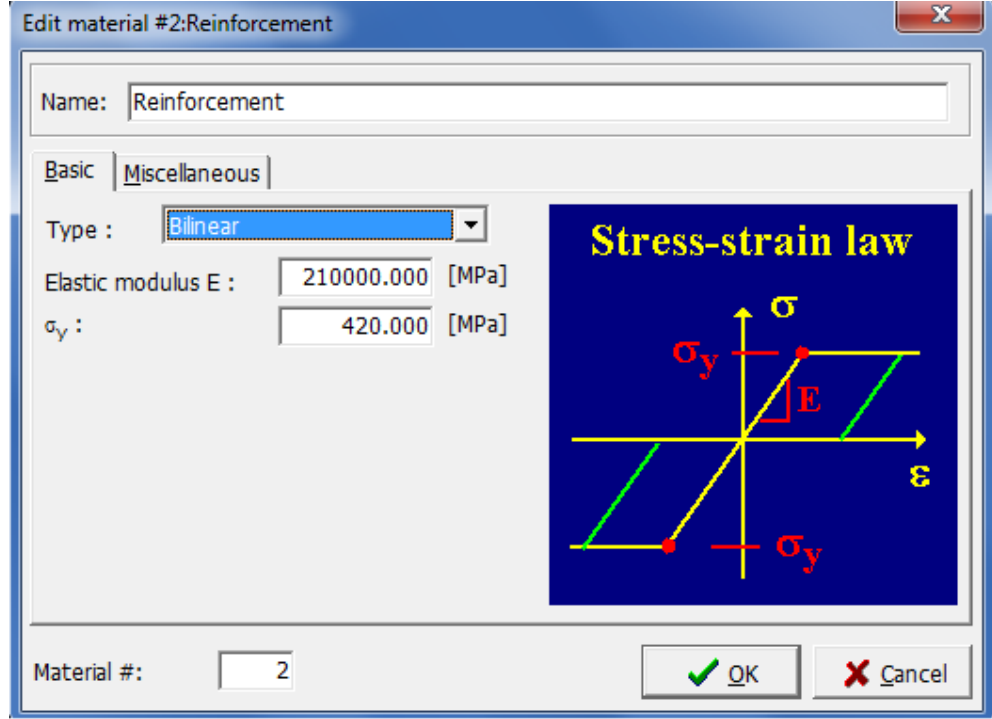


Şekil 5.29. Duvar Modelinde Yükin Uygulanması İçin Oluşturulan Yükleme Plakası



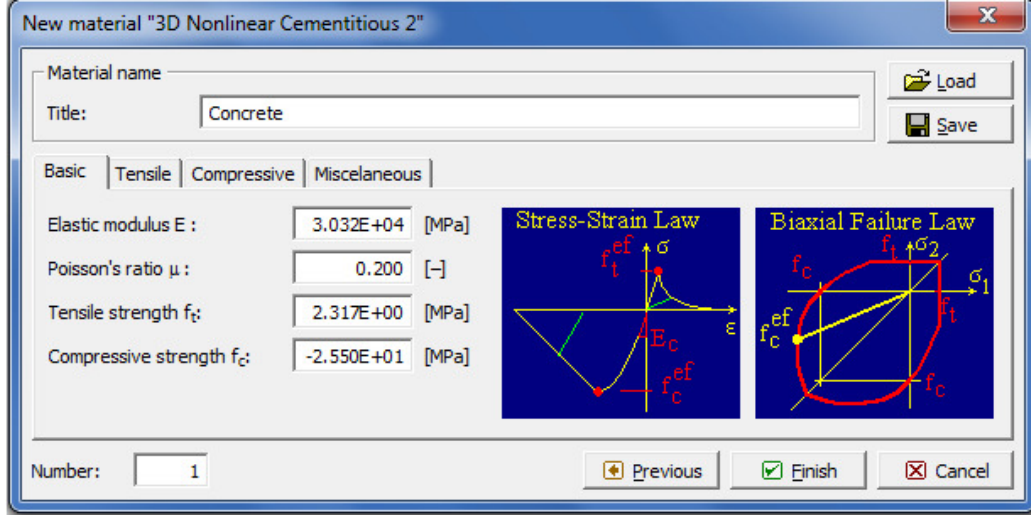
Şekil 5.30. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Yükleme Plakası Malzeme Modeli

Donatı çubukları bilineer elastik (ideal elastoplastik) malzeme modeli ile temsil edildi. Donatının akma dayanımı (f_y) 420 MPa ve elastisite modülü (E) $2,10 \times 10^5$ MPa alındı (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Donatı Malzeme Modeli

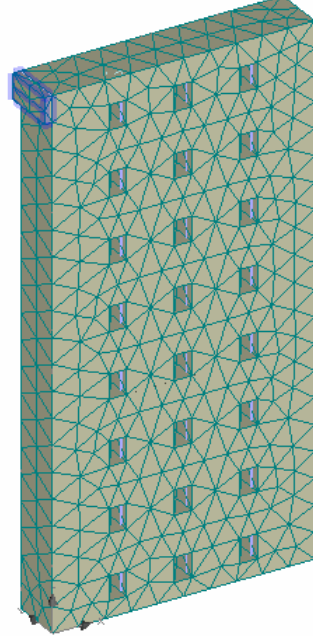
Oluşturulan duvar modellerinde beton malzemesinin dayanımı C30/37 alındı. Duvar modellerinde beton malzemesi ATENA sonlu elemanlar programının beton modeli 3D Nonlinear Cementitious 2 ile temsil edildi (Şekil 5.32). Beton malzemesinin basınç dayanımı (f_{cu}) 30 MPa, çekme dayanımı (f_t) 2,317 MPa, elastisite modülü (E) $3,032 \times 10^4$ MPa ve Poisson oranı (μ) 0,20 olarak alındı.



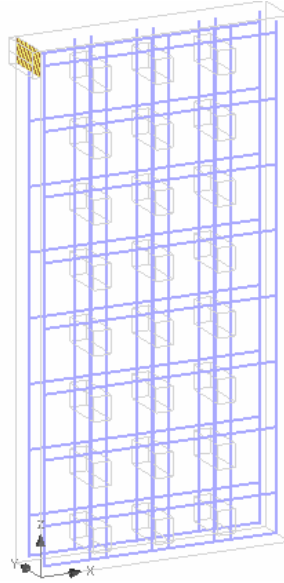
Şekil 5.32. ATENA Sonlu Elemanlar Programında Beton Malzeme Modeli

ATENA sonlu elemanlar programında ilk olarak çelik yükleme plakası ve beton duvar gövdesi oluşturuldu. Bağlantı köprülerinin boyutlarına bağlı olarak boşluk koordinatları tanımlanarak, beton duvar gövdesindeki boşluklar oluşturuldu. Oluşturulan boşluklu duvar, mesh işlemi ile elemanlara bölündü. ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan geometrik modelde bir düzensizlik veya boşluk/ların bulunması durumunda, geometrik modelin elemanlara bölünmesi (mesh) işleminde dörtyüzlü veya karma eleman bölme (mesh) seçeneğinin kullanılması program yazılımcıları tarafından tavsiye edilmektedir. Bu sebeple ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan duvar modellerinin elemanlara bölünmesi (mesh) işleminde dörtyüzlü eleman bölme seçeneği kullanıldı (Şekil 5.33). ATENA sonlu elemanlar programında oluşturulan katı objeler elemanlara bölündükten sonra donatı tanımlandığında, tanımlanan donatı otomatik olarak mevcut eleman ağına göre elemanlarına bölünmektedir. Bu sebeple ATENA sonlu elemanlar programında tanımlanan donatının tekrar elemanlarına bölünmesine (mesh) gerek yoktur. Duvar modellerinde donatının tanımlanmasında ayrık (discrete) modelleme seçeneği kullanıldı (Şekil 5.34). Oluşturulan duvar modellerinde kullanılan donatı miktarı ve oranları Tablo 5.1'de görülmektedir. Duvar modellerine duvar üst yüzeyine uygulanan alana yayılı sabit düşey yük ile birlikte yatay yük deplasman kontrollü olarak çelik yükleme plakası vasıtasıyla 75 adımda uygulandı. Tüm duvar modellerine 0,0003 m'lik deplasman artışıyla, 75 yükleme adımında toplam 0,0225 m'lik deplasman uygulandı. Duvar

modellerinin doğrusal olmayan sonlu eleman analizinde Newton-Raphson iterasyon yöntemi kullanıldı. Oluşturulan duvar modellerine ilişkin özellikler Tablo 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.33. Elemanlara Bölme (Mesh) İşlemi Uygulanmış Duvar Modeli



Şekil 5.34. Duvar Modelinde Tanımlanan Donatılar

Tablo 5.1. EPS YKDBT Duvar Sistemi Duvar Sonlu Eleman Modelleri

Model Adı	Duvar Boyutları, mm			Yükseklik Boy Oranı, H/L	Boşluk Boyutları, mm		Boşluk Oranı, α	Boyuna Donatı Miktarı, mm ²	Enine Donatı Miktarı, mm ²	Boyuna Donatı Oranı	Enine Donatı Oranı
	Boy, L	Yükseklik, H	Kalınlık, D		En, a	Yükseklik, b					
L1H3B0	1000	3000	200	3,0	-	-	0	1356	1300	0,0068	0,0022
L1H3B1	1000	3000	200	3,0	22	30	1	1356	1300	0,0068	0,0022
L1H3B10	1000	3000	200	3,0	68	94	10	1356	1300	0,0068	0,0022
L2H3B0	2000	3000	200	1,5	-	-	0	2260	1300	0,0057	0,0022
L2H3B1	2000	3000	200	1,5	22	30	1	2260	1300	0,0057	0,0022
L2H3B10	2000	3000	200	1,5	68	94	10	2260	1300	0,0057	0,0022
L3H3B0	3000	3000	200	1,0	-	-	0	3164	1300	0,0053	0,0022
L3H3B1	3000	3000	200	1,0	22	30	1	3164	1300	0,0053	0,0022
L3H3B10	3000	3000	200	1,0	68	94	10	3164	1300	0,0053	0,0022

5.5 Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

ATENA sonlu elemanlar programı ile oluşturulan duvar modellerinin sabit düşey yük ($0,50 \text{ MN/m}^2$) ve artan yatay yük etkisinde doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirildi. Tüm duvar modellerinde duvar kalınlığı, yüksekliği ve kullanılan donatı miktarı sabit tutulurken, duvar boyları 1000 mm, 2000 mm ve 3000 mm alınarak üç ayrı yükseklik boy oranı için mekaniksel davranış incelendi. Oluşturulan duvar modellerinde iki ayrı boşluk oranı ile Türkiye’de kullanılan EPS YKDBT duvar sisteminde kullanılan duvar elemanları temsil edilmeye çalışıldı. Yapılan doğrusal olmayan analiz sonuçları Tablo 5.2’de verildi.

Tablo 5.2. Duvar Sonlu Eleman Modellerinin Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Model Adı	Duvar Boyutları, mm			Yükseklik Boy Oranı, H/L	Boşluk Oranı, α , %	Düşey Yayılı Yük, MN/m^2	Taşınan En Büyük Yatay Yük, MN	Yatay Deplasman, mm	Dolu Duvara Göre Taşınan Yük Oranı, % (*)
	L	H	D						
L1H3B0	1000	3000	200	3,0	0	0,500	$9,61 \times 10^{-2}$	22,5	100
L1H3B1	1000	3000	200	3,0	1	0,500	$9,56 \times 10^{-2}$	22,5	99,5
L1H3B10	1000	3000	200	3,0	10	0,500	$9,39 \times 10^{-2}$	22,5	97,7
L2H3B0	2000	3000	200	1,5	0	0,500	$3,52 \times 10^{-1}$	22,5	100
L2H3B1	2000	3000	200	1,5	1	0,500	$3,50 \times 10^{-1}$	22,5	99,4
L2H3B10	2000	3000	200	1,5	10	0,500	$3,30 \times 10^{-1}$	22,5	93,8
L3H3B0	3000	3000	200	1,0	0	0,500	$7,90 \times 10^{-1}$	22,5	100
L3H3B1	3000	3000	200	1,0	1	0,500	$7,81 \times 10^{-1}$	22,5	98,9
L3H3B10	3000	3000	200	1,0	10	0,500	$7,21 \times 10^{-1}$	22,5	91,3

* Boşluklu gövdeli duvar modelinin taşıdığı en büyük yatay yükün, dolu duvar modelinin taşıdığı en büyük yatay yüke oranı

ATENA sonlu elemanlar programı ile oluşturulan duvar modellerinin gerçekleştirilen analizlerinde duvara etkiyen düşey yükün artışı ile birlikte duvarın yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı görüldü. Sadece yatay yük uygulanması durumunda duvar modelleri daha sünek davranmakta fakat yatay yük taşıma kapasiteleri düşey yüke sahip duvar modellerinden daha düşük olmaktadır.

Yükseklik boy oranı 3 (duvar boyu 1000 mm) olan duvar modelleri, gerçekleştirilen analizde eğilme etkisindeki konsol kirişe benzer davranış göstermekte, duvarın tabanında yatay yük doğrultusuna paralel çatlaklar oluşmakta ve yatay yük

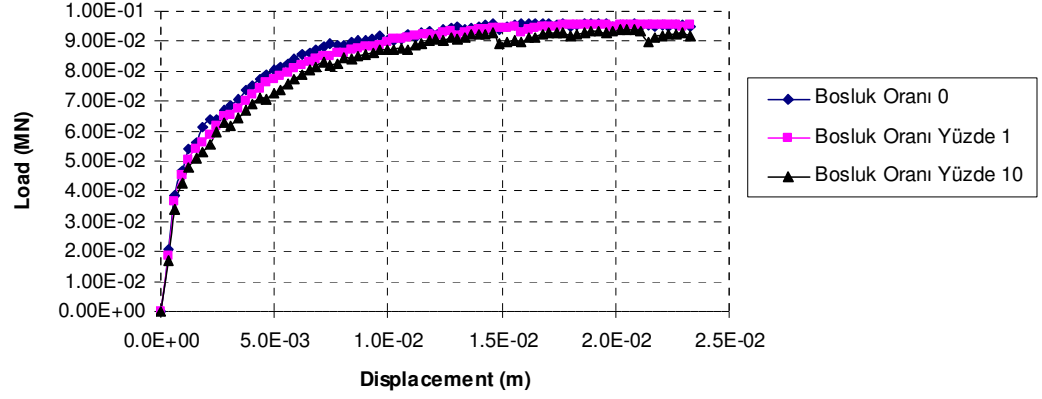
artışı ile birlikte duvar modeli taşıma kapasitesine ulaşmaktadır. Yatay yük artışı ile birlikte duvar tabanındaki çatlak boyutları büyürken, çatlaklar üst kısımlara doğru yatay yük uygulama yönüne paralel olarak yayılmaktadır.

Yükseklik/boy oranı 1,5 ve 1,0 olan (sırasıyla 2000 mm ve 3000 mm boya sahip) duvar modelleri sabit düşey yük ve artan yatay yük etkisinde kesme kuvvetlerinin etkisinde taşıma kapasitesine ulaşmaktadır. Yatay yük etkisinde duvar tabanında yatay yük uygulama yönüne paralel çatlaklar oluşmakta, yatay yükün artışı ile birlikte duvar gövdesinde yayılan çatlaklar diyagonal çatlaklara dönüşmektedir. Duvarın yük uygulanan tabanında çekme çatlakları diğer uçta basma çatlakları (betonda ezilme) gözlenmektedir.

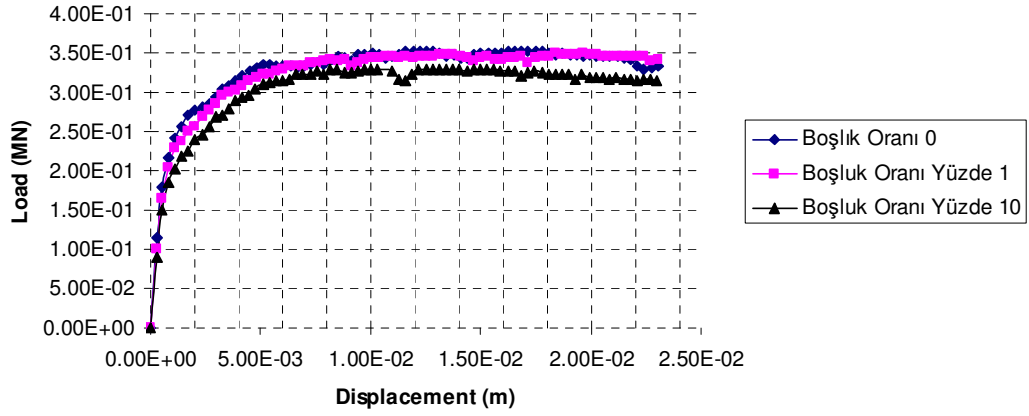
Sonlu elemanlar analizlerinde yatay ve düşey yük etkisinde gövdesindeki boşluk oranı 0,01 (%1) olan duvar modelleri, gövdesinde boşluk bulunmayan duvar modellerine benzer davranış göstermekte, duvar modellerinin yatay yük taşıma kapasitesi arasındaki fark ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

Sonlu elemanlar analizlerinde yatay ve düşey yük etkisinde gövdesindeki boşluk oranı 0,10 (%10) olan duvar modellerinin taşıma kapasiteleri, taşıyıcı donatılı beton kesitte bağlantı köprülerinden dolayı meydana gelen zayıflama sebebiyle, gövdesinde boşluk bulunmayan duvar modellerinden daha düşük olmaktadır. Duvar taşıma kapasitelerinde meydana gelen azalma 1000 mm boya sahip duvar modellerinde %2.3, 2000 mm boya sahip duvar modellerinde %6.2 ve 3000 mm boya sahip duvar modellerinde %8.7 olmaktadır.

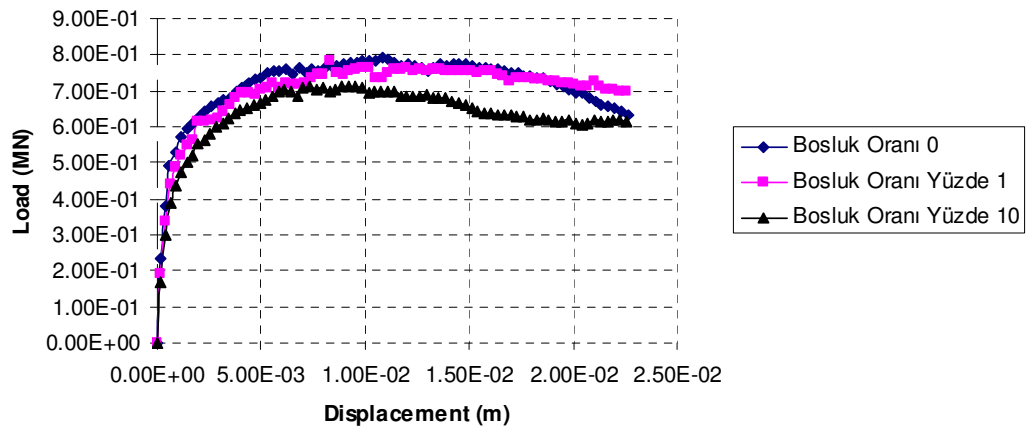
ATENA sonlu elemanlar programında farklı boşluk oranları için modellenen duvarların doğrusal olmayan analizleri sonucunda elde edilen yatay yük-deplasman grafikleri 1000 mm boyundaki duvar modeli için Şekil 5.35'de, 2000 mm boyundaki duvar modeli için Şekil 5.36'da ve 3000 mm boyundaki duvar modeli için Şekil 5.37'de verilmiştir. Duvar modellerinin sonlu eleman analiz sonuçları EK B'de verilmiştir.



Şekil 5.35. 1000 mm Boya Sahip Duvar Modeli Yatay Yük Deplasman Grafiği



Şekil 5.36. 2000 mm Boya Sahip Duvar Modeli Yatay Yük - Deplasman Grafiği



Şekil 5.37. 3000 mm Boya Sahip Duvar Modeli Yatay Yük - Deplasman Grafiği

Düz (Flat) duvar sisteminde plastik, metal (tel) vb. malzemelerden üretilen bağlantı köprülü kalıplar kullanılmaktadır. Düz duvar sisteminde EPS kalıplar arasında oluşan donatılı beton kesit incelendiğinde plastik, metal (tel) vb. malzemelerden üretilen bağlantı köprülerinden dolayı duvar gövdesinde çok sayıda küçük boyutlu düzenli boşluğun oluştuğu görülmektedir. Düz duvar sisteminde duvar gövdesinde bağlantı köprülerinden dolayı oluşan boşluk oranı (α) 0,01 (%1)'den daha azdır. ATENA sonlu elemanlar programı ile oluşturulan duvar modellerinde yapılan analiz sonuçlarına göre gövdesinde bağlantı köprülerinden dolayı oluşan boşluk oranı 0,01 (%1) ve daha az olan duvar modellerinin düşey ve yatay yükler etkisindeki davranışı geleneksel perde duvar modellerinin davranışına benzerdir. Boşluklardan dolayı duvarın taşıma gücündeki azalma miktarı %1'den az olup, mekaniksel hesaplarda ihmal edilebilecek düzeydedir.

Duvar gövdesinde bağlantı köprülerinden dolayı oluşan boşluk oranı 0,01 (%1) ve daha az olan EPS kalıplı donatılı beton kesitin düşey ve yatay yük etkisindeki davranışının konvansiyonel betonarme yapı sistemlerinde kullanılan betonarme perde duvar kesitinden farklı olmadığı söylenebilir. Düz (flat) duvar sisteminde EPS yalıtım kalıplar arasındaki sargı etkisi oluşturan etriye ve çiroz içeren kesitli donatılı beton taşıyıcı duvar sisteminin yapısal taşıyıcılık bakımından tünel kalıp sisteminin bir benzeri olduğu söylenebilir. Bu çalışmada incelenen EPS YKDBT duvar sisteminin tünel kalıp sisteminden en önemli farklarından bir tanesi, sistemde donatıların kalıpların arasında, kalıplar dizildikten sonra düzenlenmesi sebebiyle tam bir sargılanmanın oluşmamasıdır. Diğer bir fark ise tünel kalıp sisteminde taşıyıcı duvar gövdesinde hasır donatı kullanılabilirken, EPS YKDBT duvar sisteminde hasır donatının, kalıplarda bağlantı köprülerinin bulunmasından dolayı kullanılamamasıdır. Düz (flat) duvar sisteminin boyutlandırılması ve yapısal hesaplarında Türkiye'de yürürlükteki mevcut yönetmeliklerde taşıyıcı betonarme perde duvarlar için öngörülen kural ve koşullar uygulanabilir. Düz duvar sisteminde, duvar uçlarında geleneksel betonarme duvarlarda olduğu gibi başlık bölgelerinin oluşturulması ve bu bölgelerde donatı çap ve miktarının artırılması mümkündür. EPS YKDBT duvar sistemde kullanılan kalıp boyutları yapısal hesaplara ve istenilen ısı konfora göre değiştirilebilmekte ve böylece istenilen duvar kalınlığı oluşturulabilmektedir. Tüm bu koşullar dikkate alındığında düz (flat) duvar sisteminin uygulandığı yapılarda yapısal hesap sonucu bulunan duvar kalınlığı

kullanılarak yüksek katlı bina inşası mümkün görülmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde farklı döşeme sistemleri kullanılmaktadır. Taşıyıcı iskeleti duvarlardan oluşan sistemlerde kullanılacak olan döşemeler, diyafram etkisi ile deprem yükünü taşıyıcı sistem elemanlarına (duvarlara) aktarabilecek düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır. Bu sebeple düz (flat) duvar sistemi ile çok katlı yapı inşasında yeterli rijitliğe sahip plak döşeme sisteminin kullanılması gerekmektedir.

EPS vb. kalıp malzemesinden üretilen bağlantı köprülerinin boyutları plastik, metal vb. malzemeden üretilenlere göre daha büyüktür. Bu tür kalıplar kullanılarak oluşturulan donatılı beton taşıyıcı duvar gövdesinde oluşan boşlukların oranı 0,10 (%10) olmaktadır. Gövdesinde EPS bağlantı köprülerinden dolayı oluşan boşluk oranı 0,10 (% 10) olan duvarların yatay ve düşey yükler etkisinde yapılan sonlu eleman analizlerinde, duvar gövdesindeki boşluklardan dolayı duvarın taşıma gücünün modelin yükseklik/boy oranına bağlı olarak yaklaşık %2 - %9 arasında değişen oranlarda azaldığı görülmektedir.

EPS YKDBT duvar sisteminde, düz (flat) duvar sistemi yerine boşluklu ızgara (screen grid) duvar sisteminin kullanılması durumunda, kullanılan beton miktarı azalmakta fakat duvar kesiti mekaniksel açıdan zayıflamaktadır. Boşluklu ızgara (screen grid) duvar sisteminin yurtdışı uygulamalarında, sistemin genellikle az katlı yapılarda, depremselliği çok az olan bölgelerde kullanıldığı görülmektedir.

Yurtdışı uygulamalarında ve sistem ile ilgili dokümanlarda boşluklu ızgara (screen grid) duvar sisteminde genellikle bir en az konstrüktif donatı düzenlendiği görülmektedir (IRC 2009). Türkiye'nin neredeyse tamamının deprem kuşağı olduğu dikkate alındığında taşıyıcı duvarlarda, depremselliği de göz önüne alan miktarlarda çelik donatı kullanılması gerekmektedir. Gövdesinde çok sayıda düzenli boşluk bulunan boşluklu ızgara (screen grid) duvarların yapısal hesaplarında, duvar gövdesinde boşluklardan dolayı oluşan zayıflamanın (kesit kaybı) dikkate alınması gerekmektedir. Boşluklu ızgara (screen grid) duvar sisteminde olduğu gibi gövdesinde çok sayıda düzenli boşluk bulunan donatılı beton duvarların yapısal hesapları, Türkiye'de yürürlükte olan mevcut yönetmelikler kullanılarak yapılamaz.

Tez çalışması kapsamında gövdesinde EPS bağlantı köprülerinden dolayı çok sayıda düzenli boşluk oluşan (boşluk oranı, $\alpha \geq 0,10$) duvarların eşdeğer dolu duvar varsayımıyla hesaplanabileceği düşünüldü. Boşluklu ızgara duvar sonlu eleman model

boyutlarının büyüklüğü sebebiyle oluşturulan sonlu eleman modellerinin sınırlı sayıda kalması, sonlu eleman analiz sonuçlarının henüz deneysel verilerle desteklenmiş olmaması, duvar gövdesindeki boşluk boyut ve formunun duvarın mekaniksel davranışını değiştirmesi sebebiyle analiz sonuçları kullanılarak boşluklu ızgara duvarların eşdeğer dolu duvar varsayımı ile hesabının doğru bir yaklaşım olmayacağı sonucuna varıldı.

6. BÖLÜM

EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİNİN MALİYET ANALİZİ

6.1 EPS Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi ile Eşdeğer Isıl

Konfora Sahip Diğer Yapı Sistemlerinin Maliyet Bakımından Karşılaştırılması

Türkiye’de kullanılacak olan yapı sistemlerinin taşınması gereken şartların başında ısı yalıtımının ve depreme dayanıklılığın sağlanması ve bu özelliklerin hızlı bir yapım yöntemi ile ekonomik bir şekilde elde edilmesi gelmektedir. Türkiye için yeni sayılabilecek bir sistem olan EPS YKDBT duvar sisteminin ısıl performansı, yapım yöntemi, sistemde kullanılan malzemeler ve taşıyıcı sistem elemanları önceki bölümlerde incelendi. Tez çalışmasının bu bölümünde, EPS YKDBT duvar sistemi ile eşdeğer ısıl konfora sahip diğer yapı sistemlerinin kaba yapım maliyetleri karşılaştırıldı. EPS YKDBT duvar sistemi ile diğer yapı sistemlerinin kaba yapım maliyetlerinin karşılaştırılmasında EK A ve EK C’de planları verilen iki farklı örnek konut projesi kullanıldı. Türkiye ve yurtdışında EPS YKDBT duvar sistemi uygulamalarında taşıyıcı duvarlar oluşturulurken farklı şekil ve boyutlara sahip EPS kalıplar kullanılmaktadır. Tez çalışmasında kaba yapım maliyeti hesaplarında, Türkiye’de yaygın kullanıma sahip iki tür EPS kalıbın kullanıldığı iki farklı örnek konut projesi kullanıldı (Resim 6.1 ve Resim 6.2). Kat planları, kesit ve görünüşleri EK A’da verilen 1 nolu örnek konut yapısı, eşdeğer ısıl konfora sahip olacak şekilde üç farklı yapı sistemi için Türkiye’de geçerli olan mevcut yönetmeliklerde öngörülen kural ve koşullara göre tasarlandı. EK A’da verilen mimari plan dikkate alınarak konut yapısı betonarme karkas, yığma karkas ve EPS bağlantı köprülü kalıpların kullanıldığı EPS YKDBT duvar sistemi olmak üzere ayrı ayrı tasarlandı ve kaba yapım maliyetleri hesaplandı.

Kat planları, kesit ve görünüşleri EK C’de verilen 2 nolu örnek konut yapısı eşdeğer ısıl konfora sahip olacak şekilde üç farklı yapı sistemi için Türkiye’de geçerli mevcut yönetmeliklerde öngörülen kurallara göre tasarlandı. EK C’de görülen mimari plan dikkate alınarak konut yapısı betonarme karkas, tünel kalıp ve metal (tel) bağlantı

köprülü kalıpların kullanıldığı EPS YKDBT duvar sistemi olarak ayrı ayrı tasarlandı ve kaba yapım maliyetleri hesaplandı.



Resim 6.1. Maliyet Hesabında Kullanılan EPS Bağlantı Köprülü EPS Kalıplar



Resim 6.2. Maliyet Hesabında Kullanılan Tel (Metal) Bağlantı Köprülü EPS Kalıplar

Maliyet hesaplarında Bayındırlık Bakanlığı 2011 Yılı Yapı İşleri Fiyat Analizleri ve Birim Fiyat Listesi'nden yararlanıldı. Bayındırlık Bakanlığı 2011 Birim Fiyat Listesinde yer almayan imalat, "özel imalat" olarak tanımlandı. Özel imalatın birim fiyatlarının tespitinde Milli Savunma Bakanlığı 2011 Yılı Yapı İşleri Fiyat Analizleri ve Birim Fiyat Listesi'nden yararlanıldı ve bu listede de yer almayan imalat için piyasa araştırması sonucu birim fiyatlar belirlendi. Maliyet hesaplarında kullanılan imalat kalemlerinin 2011 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri EK D'de verilmiştir. Yapı sistemlerin yapım maliyetlerinin karşılaştırılmasında, kaba yapı imalatı dikkate alındı. Maliyet karşılaştırılmasında dikkate alınan imalat kalemlerinin dışındaki imalat tüm yapı sistemleri için aynı olduğundan, yapı sistemlerinin maliyet farklarının belirlenmesinde etkilerinin olmadığı kabul edildi.

6.2 Maliyet Karşılaştırılmasında Kullanılan Örnek Konut Projeleri Hakkında

Genel Bilgiler

Maliyet karşılaştırmasında kullanılan EK A'da kat planları, kesit ve görünüşleri verilen 1 nolu örnek konut yapısı 3 kattan oluşmaktadır. 1 nolu örnek konut projesinin betonarme karkas yapı olarak tasarımında Sta4-CAD V13 programı kullanıldı. Örnek konut projesinin yığma yapı olarak tasarımında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Bölüm 5 Yığma Binalar için Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları uygulandı. 1 nolu örnek konut projesinin EPS YKDBT duvar sistemi olarak tasarımında tez çalışması kapsamında incelenen ISORAST firmasının uygulama esasları da dikkate alınarak ETABS ticarî programı kullanıldı. 1 nolu örnek konut projesinin tasarımında dikkate alınan yapı parametreleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Maliyet analizinde kullanılan EK C'de kat planları, kesit ve görünüşleri verilen 2 nolu örnek konut yapısı 5 kattan oluşmaktadır. 2 nolu örnek konut projesinin betonarme karkas ve tünel kalıp olarak tasarımında Sta4-CAD V13 programı kullanıldı. 2 nolu örnek konut projesinin EPS YKDBT duvar sistemi olarak tasarımında tez çalışması kapsamında incelenen ISORAST firmasının uygulama esasları da dikkate alınarak ETABS paket programı kullanıldı. 2 nolu örnek konut projesinin tasarımında dikkate alınan yapı parametreleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.1. 1 nolu Örnek Konut Projesi Tasarım Parametreleri

Yapı Türü:	Konut
Yapı Kat Adedi:	3 (Bodrum+Zemin+1 Normal Kat)
Kat Yüksekliği (h_{kat}):	3.00 m
Bina Önem Katsayısı (I):	1.0
Deprem Bölgesi	3 (İpsala/Edirne)
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0):	0.2
Yerel Zemin Sınıfı:	Z3
Zemin Grubu:	C
Spektrum Karakteristik Periyotları:	T_A : 0.15 s, T_B : 0.60 s
Zemin Emniyet Gerilmesi σ_{zem} :	200 kN/m ²
Zemin Yatak Katsayısı K_o :	50 000 kN/m ³
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R:	R: 8 (Çerçeve Yapı) R: 6 (EPS Yalıtım Kalıplı Yapı)
Beton Dayanım Sınıfı:	C30
Çelik Dayanım Sınıfı:	S420

Tablo 6.2. 2 nolu Örnek Konut Projesi Tasarım Parametreleri

Yapı Türü:	Konut
Yapı Kat Adedi:	5 (Bodrum+Zemin+3 Normal Kat)
Kat Yüksekliği (h_{kat}):	3.00 m
Bina Önem Katsayısı (I):	1.0
Deprem Bölgesi	3 (İpsala/Edirne)
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0):	0.2
Yerel Zemin Sınıfı:	Z3
Zemin Grubu:	C
Spektrum Karakteristik Periyotları:	T_A : 0.15 s, T_B : 0.60 s
Zemin Emniyet Gerilmesi σ_{zem} :	200 kN/m ²
Zemin Yatak Katsayısı K_o :	50 000 kN/m ³
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R:	R: 8 (Çerçeve Yapı) R: 6 (Tünel Kalıp Yapı) (EPS Yalıtım Kalıplı Yapı)
Beton Dayanım Sınıfı:	C30
Çelik Dayanım Sınıfı:	S420

Örnek konut yapılarının kaba yapım maliyetlerinin hesabında aşağıdaki kabuller yapıldı.

1 nolu örnek konut yapısının EPS YKDBT duvar sistemi olarak tasarımında taşıyıcı duvarlarda EPS bağlantı köprülü kalıplar kullanıldı. EPS YKDBT duvar sisteminde plak döşeme kullanıldı. EPS YKDBT duvar sisteminde EPS kalıplar kullanılarak inşa edilen duvarlarda dış yüzeyde arada sıva filesi olmak üzere iki kat ısı yalıtım sıvası ve iç yüzeyde ısı yalıtım sıvası uygulandı. Plak döşemelerde klasik tavan sıvası uygulandı. 1 nolu örnek konut yapısının yığma yapı olarak tasarımında taşıyıcı duvarlarda 190 mm kalınlığında düşey delikli tuğla kullanıldı. Taşıyıcı olmayan duvarlar mimari projeye uygun olarak 135 mm ve 95 mm kalınlığında yatay delikli tuğla kullanılarak yapıldı. Dış cephedeki tuğla duvarlarda dış sıvadan sonra 80 mm kalınlığında EPS malzeme ile mantolama uygulandı. Yığma yapı sisteminde plak döşeme sistemi kullanıldı ve plak döşemelerde klasik tavan sıvası uygulandı. 1 nolu örnek konut yapısının betonarme karkas olarak tasarımında bölme duvarlarında dış cephede 190 mm kalınlığında yatay delikli tuğla, mimari projeye uygun olarak iç bölme duvarlarda 135 mm ve 95 mm kalınlığında yatay delikli tuğla kullanıldı. Dış cephede sıvadan sonra 80 mm kalınlığında EPS malzeme ile mantolama uygulandı.

2 nolu örnek konut yapısının EPS YKDBT duvar sistemi olarak tasarımında taşıyıcı duvarlarda metal (tel) bağlantı köprülü EPS kalıplar kullanıldı. EPS YKDBT duvar sisteminde plak döşeme sistemi uygulandı. EPS YKDBT duvar sisteminde EPS kalıplar yardımıyla inşa edilen duvarlara dış yüzeyde arada sıva filesi olmak üzere iki kat ısı yalıtım sıvası ve iç yüzeyde ısı yalıtım sıvası uygulandı. Betonarme karkas yapı sisteminde dış cephedeki bölme duvarlarında 190 mm kalınlığında yatay delikli tuğla, iç bölme duvarlarında ise mimari projeye uygun olarak 135 mm ve 95 mm kalınlığında yatay delikli tuğla kullanıldı. Dış cephede dış sıvadan sonra 80 mm kalınlığında EPS malzeme ile mantolama uygulandı. İç yüzeyde alçı sıva ve tavan sıvası uygulandı. Tünel kalıp sisteminde cephe duvarlarında 190 mm kalınlığında yatay delikli tuğla kullanıldı. Tuğla duvarlarda klasik dış sıvadan sonra 80 mm kalınlığında EPS malzeme ile mantolama yapıldı. Tünel kalıp sisteminde cephe duvarlarında klasik iç sıva uygulanırken, betonarme perde duvarlarda alçı sıva uygulandı. Tünel kalıp sisteminde tavanlarda alçı yoklamanın ardından alçı sıva uygulandı.

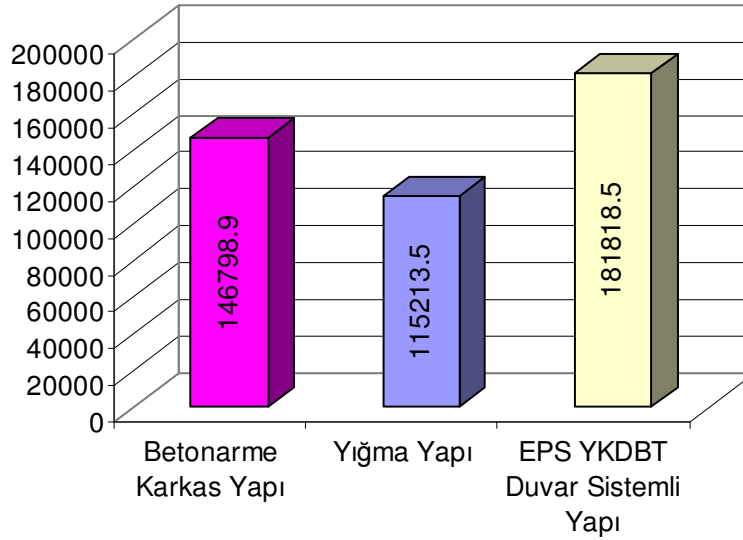
EPS YKDBT duvar sisteminde duvar kesitinde EPS kalıptan dolayı $42,5+42,5= 85$ mm kalınlığında yalıtım malzemesi bulunmaktadır. Maliyet hesaplarında yığma yapı sistemi, betonarme karkas sistemi ve tünel kalıp sisteminin ısı performanslarını EPS YKDBT duvar sistemine eşdeğer hale getirmek için bu sistemlerde dışarıdan EPS malzeme ile 80 mm kalınlığında mantolama uygulandığı kabul edildi. Tüm yapı sistemlerinde merdivenler betonarme olarak tasarlandı.

6.3 Örnek Konut Projeleri için Kaba Yapım Maliyet Hesabı Sonuçları

EK A ve EK C’de planları verilen örnek konut projesi için yapılan kaba yapım maliyeti hesap sonuçları sırasıyla Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’de verilmiştir. Tez çalışması kapsamında Türkiye’de yaygın kullanıma sahip iki farklı EPS kalıp sistemi kullanılarak tasarlanan iki farklı konut projesinin kaba yapım maliyet hesabı yapılarak, sistemin kaba yapım maliyeti geleneksel yapı sistemlerinin kaba yapım maliyetleri ile karşılaştırıldı. EPS YKDBT duvar sisteminin yapım maliyeti tez çalışmasının bir bölümünü oluşturduğu için yapım maliyeti karşılaştırılması iki farklı konut projesi ile sınırlandırıldı. EPS YKDBT duvar sistemi ile ilgili olarak gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı kat sayısına sahip, farklı kalıp sistemlerinin kullanıldığı çok sayıda konut projesi için maliyet analizlerinin yapılması yararlı olacaktır.

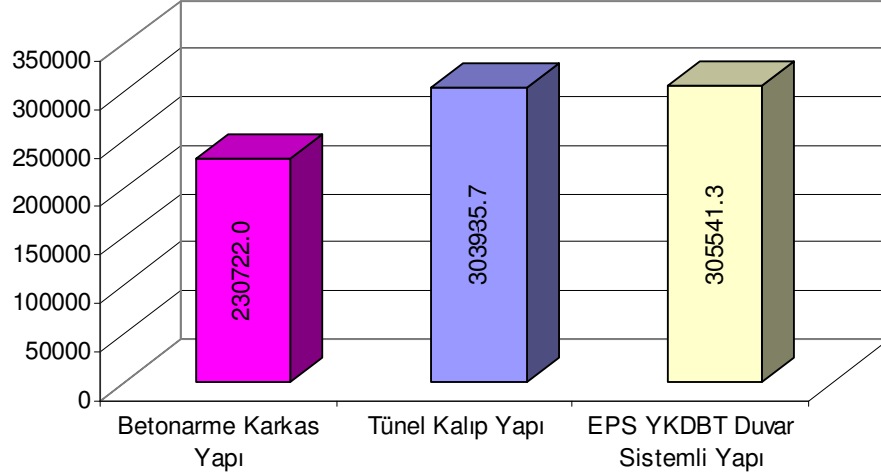
Tablo 6.3 ve Tablo 6.4’de özetlenen maliyet hesapları sonuçlarına göre, EPS YKDBT duvar sisteminin kaba yapım maliyeti diğer yapı sistemlerinin kaba yapım maliyetlerinden daha yüksektir.

EK A’de planları verilen 1 nolu örnek konut yapısı için yapılan maliyet hesapları sonucuna göre EPS YKDBT duvar sisteminin yapım maliyeti, yığma yapı sistemi kaba yapım maliyetinden %58, betonarme karkas yapı sistemi kaba yapım maliyetinden %24 daha yüksektir.



Şekil 6.1. 1 nolu Örnek Konut Yapısının Farklı Yapı Sistemleri İçin Yapım Maliyetleri

EK C’de planları verilen 2 nolu örnek konut yapısı için yapılan maliyet hesapları sonucuna göre EPS YKDBT duvar sisteminin yapım maliyeti, betonarme karkas yapı sistemi kaba yapım maliyetinden %32, tünel kalıp sistemi kaba yapım maliyetinden %0,5 daha yüksektir.



Şekil 6.2. 2 nolu Örnek Konut Yapısının Farklı Yapı Sistemleri İçin Yapım Maliyetleri

EPS YKDBT duvar sisteminin kaba yapım maliyeti, betonarme karkas yapı sisteminin kaba yapım maliyetinden 1 nolu örnek konut yapısında %24, 2 nolu örnek konut yapısında %32 daha yüksektir. Bu farkın sebebi maliyet hesaplarında iki farklı EPS kalıbın kullanılmasıdır. 2 nolu örnek konut yapısında, 1 nolu örnek konut yapısında olduğu gibi EPS bağlantı köprülü kalıp kullanılması durumunda EPS YKDBT duvar sisteminin kaba yapım maliyeti 285.003,41 TL’ye inecek ve EPS YKDBT duvar sisteminin kaba yapım maliyeti betonarme karkas yapı sisteminin kaba yapım maliyetinden %24 daha yüksek olacaktır.

Yapılan maliyet hesapları sonucunda EPS YKDBT duvar sisteminin kaba yapım maliyetinin diğer yapı sistemlerinden daha yüksek olmasının en önemli sebebi, sistemde kullanılan kendiliğinden yerleşen beton ve EPS kalıp maliyetlerinin yüksek olmasıdır. EPS YKDBT duvar sisteminde EPS kalıplar hem yalıtım ve hem de kalıp vazifesi görmektedir. 1 nolu örnek konut yapısında yalıtım ve kalıp maliyeti EPS YKDBT duvar sisteminde 44.324,42 TL, betonarme karkas yapı sisteminde 30.932,82 TL ve yağma yapı sisteminde 20.080,66 TL’dir. 2 nolu örnek konut yapısında yalıtım ve kalıp

maliyeti EPS YKDBT duvar sisteminde 90.499,92 TL, betonarme karkas yapı sisteminde 59.618,41 TL ve tünel kalıp sisteminde 131.831,09 TL'dir.

EPS YKDBT duvar sisteminde kendiliğinden yerleşen beton yerine, sistem özelliklerine uygun olarak tasarlanmış çok akıcı kıvamda geleneksel bir beton kullanılması durumunda, sistemin kaba yapım maliyeti 1 nolu örnek konut yapısında %8,1 ve 2 nolu örnek konut projesinde %8,4 düşecektir.

EPS YKDBT duvar sistemin Türkiye'de yaygın olarak kullanılabilmesinin en önemli şartlarından bir tanesi sistemin yapım maliyetinin düşük olmasıdır. Sistemin Türkiye'de yaygın olarak kullanılabilmesi için sistem yapım maliyetinin düşürülmesi gerekmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminin Türkiye uygulamalarında kullanılan kalıplar yurtdışından ithal edilmekte veya Türkiye'de yurtdışı firmalarının patenti altında üretilmektedir. Bu sebeple sistemde kullanılan kalıpların maliyetleri yüksek olmakta, dolayısıyla sistemin yapım maliyeti yükselmektedir. EPS kalıpların Türkiye'de yerli firmalar tarafından yaygın olarak üretilerek kalıp maliyetlerinin düşürülmesi, sistemin yapım maliyeti açısından oldukça önemlidir. Yapım maliyetindeki diğer önemli faktör sistemde kullanılan betonun maliyetidir. Kendiliğinden yerleşen betonun yaygın olarak kullanılmaya başlanması ile maliyetinin giderek düşmesi sistemin yapım maliyetinin düşmesi için önemli bir etkidir. Ayrıca sistem özellikleri dikkate alınarak tasarlanmış ve sistem üzerinde denenerek iyi sonuçlar alınmış çok akıcı kıvamda geleneksel beton kullanılması, sistemde kullanılan beton maliyetini ve dolayısıyla sistemin yapım maliyetini düşürebilecektir.

Tablo 6.3. 1 nolu Örnek Konut Projesi için Eşdeğer Isıl Performansa Sahip Yapı Tiplerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırması

Sıra No	Poz No	Kısaca Tanımı	Birimi	2011 Birim Fiyatı (TL)	Betonarme Karkas Yapı		Yığma Yapı		EPS Yalıtım Kalıplı Yapı	
					Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)
1	16.058/1A	C20/25 Hazır Beton	m ³	108,81	3,268	355,59	3,940	428,71	0,416	45,27
2	16.059/1A	C30/37 Hazır Beton	m ³	125,06	177,470	22194,40	103,022	12883,93	76,539	9571,97
3	18.071/1/MK	Yatay Delikli Tuğla ile Duvar Yapılması (Yarım)	m ²	13,81	116,238	1605,25	120,304	1661,40	118,034	1630,05
4	18.071/2/MK	Yatay Delikli Tuğla ile Duvar Yapılması (Tam)	m ³	84,05	107,553	9039,83	□	□	□	□
5	18.081/3/MK	Düşey Delikli Tuğla ile Taşıyıcı Duvar Yapılması	m ²	92,50	□	□	160,342	14831,64	□	□
6	21.001	Ahşaptan Seri Kalıp Yapılması	m ²	7,00	41,160	288,12	48,920	342,44	9,600	67,20
7	21.011	Düz Yüzeyle Betonarme Kalıbı	m ²	16,99	1468,960	24957,63	830,222	14105,47	579,099	9838,89
8	21.054	Ahşap Kalıp İskelesi	m ³	2,89	8,616	5111,30	1600,083	4624,24	1544,250	4462,88
9	21.065	İş İskelesi (Duvar için)	m ²	3,88	6,160	1614,70	418,304	1623,02	418,304	1623,02
10	23.014	Ø8–12 mm Betonarme Demiri	ton	2071,25	12,919	26758,48	7,926	16416,73	16,609	34401,39
11	23.015	Ø14–28 mm Betonarme Demiri	ton	1964,38	3,251	6386,20	□	□	3,598	7067,84
12	27.501/MK	Sıva Yapılması (Dış)	m ²	13,23	454,800	6017,00	454,800	6017,00	□	□
13	27.528/2	Alçı Kaplama Yapılması	m ²	5,54	1375,274	7619,02	1364,658	7560,21	133,728	740,85
14	27.531/1	Sıva Yapılması (İç)	m ²	10,14	1375,274	13945,28	1364,658	13837,63	133,728	1356,00
15	27.535/1	Tavan Sıvası Yapılması	m ²	9,80	519,598	5092,06	517,038	5066,97	495,310	4854,04
16	04.168/I	EPS Kalıcı Duvar Kalıbı	m ²	50,00	□	□	□	□	856,897	42844,85
17	MSB 324 (Özel)	Kendiliğinden Yerleşen Beton	m ³	232,61	□	□	□	□	136,915	31847,80

Tablo 6.3. 1 nolu Örnek Konut Projesi için Eşdeğer Isıl Performansa Sahip Yapı Tiplerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırması (devam)

Sıra No	Poz No	Kısaca Tanımı	Birimi	2011 Birim Fiyatı (TL)	Betonarme Karkas Yapı		Yığma Yapı		EPS Yalıtım Kalıplı Yapı	
					Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)
18	Özel 1	EPS Üzerine Sıva Yapılması (İç)	m ²	15,00	□	□	□	□	1210,686	18160,29
19	Özel 2	EPS Üzerine Sıva Yapılması (Dış)	m ²	16,15	□	□	□	□	454,800	7345,02
20	Özel 3	EPS Duvar Döşeme Birleşim Kalıbı	m	14,19	□	□	□	□	197,850	2807,49
21	Özel 4	EPS Kalıp Uzatma Elemanı	m	2,32	□	□	□	□	552,600	1282,03
22	Özel 5	EPS Bitiş Ucu	Adet	0,98	□	□	□	□	400,00	392,00
23	Özel 6	EPS ile Mantolama Yapılması	m ²	38,00	416,160	15814,08	416,160	15814,08	38,936	1479,57
	TOPLAM					146.798,94		115.213,47		181.818,45

Tablo 6.4. 2 nolu Örnek Konut Projesi için Eşdeğer Isıl Performansa Sahip Yapı Tiplerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırması

Sıra No	Poz No	Kısaca Tanımı	Birimi	2011 Birim Fiyatı (TL)	Betonarme Karkas Yapı		Tünel Kalıp Yapı		EPS Yalıtım Kalıplı Yapı	
					Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)
1	16.058/1A	C20/25 Hazır Beton	m ³	108,81	5,498	598,24	3,424	372,57	0,856	93,14
2	16.059/1A	C30/37 Hazır Beton	m ³	125,06	246,190	30788,52	342,700	42858,06	108,550	13575,26
3	18.071/1/MK	Yatay Delikli Tuğla ile Duvar Yapılması (Yarım)	m ²	13,81	226,781	3131,85	231,361	3195,10	226,652	3130,06
4	18.071/2/MK	Yatay Delikli Tuğla ile Duvar Yapılması (Tam)	m ³	84,05	169,512	14247,48	48,788	4100,63	□	□
5	21.001	Ahşaptan Seri Kalıp Yapılması	m ²	7,00	73,312	513,18	48,720	341,04	18,480	129,36
6	21.011	Düz Yüzeyle Betonarme Kalıbı	m ²	16,99	2140,540	36367,77	43,800	744,16	737,598	12531,79
7	21.054	Ahşap Kalıp İskelesi	m ³	2,89	2146,029	6202,02	107,810	311,57	1894,074	5473,87
8	21.065	İş İskelesi (Duvar için)	m ²	3,88	848,608	3292,60	841,700	3265,80	841,700	3265,80
9	23.014	Ø8–12 mm Betonarme Demiri	ton	2071,25	17,522	36292,44	25,853	53548,03	21,323	44165,26
10	23.015	Ø14–28 mm Betonarme Demiri	ton	1964,38	6,879	13512,97	7,858	15436,10	11,549	22686,66
11	27.501/MK	Sıva Yapılması (Dış)	m ²	13,23	970,207	12835,84	976,060	12913,74	□	□
12	27.528/1A	Alçı Astar (Perdah) Yapılması	m ²	2,20	□	□	695,186	1529,41	□	□
13	27.528/2	Alçı Kaplama Yapılması	m ²	5,54	1933,267	10710,43	2585,298	14322,55	□	□
14	27.531/1	Sıva Yapılması (İç)	m ²	10,14	1933,267	19603,33	1890,112	19165,80	218,140	2211,94
15	27.535/1	Tavan Sıvası Yapılması	m ²	9,80	698,255	6842,90	□	□	671,639	6582,06
16	MSB 324 (Özel)	Kendiliğinden Yerleşen Beton	m ³	232,16	□	□	□	□	238,939	55579,60
17	MSB 507 (Özel)	Tünel Kalıp	m ²	32,70	□	□	2937,268	96048,66	□	□

Tablo 6.4. 2 nolu Örnek Konut Projesi için Eşdeğer Isıl Performansa Sahip Yapı Tiplerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Karşılaştırması (devam)

Sıra No	Poz No	Kısaca Tanımı	Birimi	2011 Birim Fiyatı (TL)	Betonarme Karkas Yapı		Tünel Kalıp Yapı		EPS Yalıtım Kalıplı Yapı	
					Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)	Miktarı	Tutarı (TL)
18	04.168/J01	EPS Kalıcı Duvar Kalıbı	m ²	65,00	□	□	□	□	1369,193	88997,55
19	Özel 1	EPS Üzerine Sıva Yapılması (İç)	m ²	15,00	□	□	□	□	1617,049	24255,74
20	Özel 2	EPS Üzerine Sıva Yapılması (Dış)	m ²	16,15	□	□	□	□	974,289	15734,77
21	Özel 4	EPS Duvar Döşeme Birleşim Kalıbı	m	14,19	□	□	□	□	350,900	4979,27
22	Özel 5	EPS Bitiş Ucu	Adet	0,98	□	□	□	□	660,000	646,80
23	Özel 6	EPS ile Mantolama Yapılması	m ²	38,00	941,643	35782,43	941,643	35782,43	39,536	1502,37
	TOPLAM					230.722,00		303.935,65		305.541,30

7. BÖLÜM

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Türkiye şartları için önerilecek yapı sistemlerinde ısı yalıtımı ve depreme dayanıklılık hızlı bir yapım yöntemi ile ekonomik bir şekilde sağlanmalıdır. EPS yalıtım kalıplı donatılı beton taşıyıcı (EPS YKDBT) duvar sisteminin ısı yalıtımı içerdiği ve hızlı bir yapım yöntemi sunduğu gibi ekonomik olması da beklenmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminin, yapım ve mâlf olabirliğinin Türkiye şartları açısından değerlendirilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

EPS YKDBT duvar sisteminin Türkiye ve yurtdışı uygulamaları incelendiğinde hızlı bir yapım yöntemi sağladığı, kalıp ve kalıp işçiliğini azalttığı görülmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde taşıyıcı duvarlar EPS kalıplar kullanılarak oluşturulduğundan, sistem her türlü mimari projeye uygulanabilmektedir. EPS kalıplarla istenilen kalınlık ve formda duvarlar inşa edilebildiğinden, sistem ile inşa edilebilecek yapılarda Türkiye’de yürürlükteki yönetmeliklerde donatılı beton duvarlar için öngörülen kurallar yerine getirilebilir. EPS YKDBT duvar sisteminde farklı türde kalıp elemanları kullanılarak farklı tarzda taşıyıcı sistem elemanları inşa edilse de sistemin yapım yönteminde bir birlikteliğin sağlanması gerekmektedir. Türkiye’de mevcut uygulamalarda, sistemin temel mantığı aynı olsa da, uygulamalarda kullanılan kalıp sistemine has farklılıklar görülmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde uygulama birlikteliği sağlamak, yanlış uygulamalar sebebiyle oluşan kaynak kayıplarını azaltmak için sistemin yapım yöntemine ilişkin bir yönetmeliğin hazırlanması yararlı olacaktır.

EPS YKDBT duvar sisteminde EPS elemanların kalıp olarak kullanılması, kalıpların içinde belirli aralıklarla bağlantı köprülerinin bulunması, sistemi oluşturan taşıyıcı duvarlarda donatıların kalıplar içindeki küçük boyutlu boşluklarda düzenlenmesi sistemde betonun boşluksuz olarak yerleştirilmesini önemli bir konu haline getirmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminde beton dökümü sırasında kalıpların patlamaması için genellikle vibratör kullanılmaz. EPS kalıpların yoğunlukları artırılarak vibrasyona uygun kalıp üretmek mümkün olsa da kalıp maliyetlerinin artması sebebiyle uygulamada çok akıcı kıvamda beton kullanılarak boşluksuz beton yerleşimi sağlanması daha uygun olmaktadır. EPS YKDBT duvar sisteminde, sistem

özellikleri dikkate alınarak tasarlanan kendiliğinden yerleşen betonunun (KYB) kullanılması uygun görünmektedir. KYB'nin geleneksel betondan pahalı olması sebebiyle sistemde KYB kullanılması sistemin yapım maliyetini yükseltmektedir.

Çalışma kapsamında sistem özellikleri dikkate alınarak, sistem için KYB ve geleneksel beton bileşimi tasarlandı ve geleneksel beton bileşiminin uygunluğu deneysel olarak araştırıldı. Deneysel çalışmada incelenen ISORAST kalıp sistemlerinde KYB'nin kullanılmasının uygun olduğu, vibrasyon uygulanmadan çok akıcı kıvamda geleneksel beton bileşiminin kullanılmasının uygun olmayabileceği sonucuna varıldı. EPS YKDBT duvar sisteminde, beton yerleştirilmesinde vibrasyon uygulanarak çok akıcı kıvamda geleneksel beton kullanılması halinde betonun taze haldeki işlenebilirlik özelliklerinin tedarikçi ve uygulayıcı firma tarafından yüksek nitelik denetim düzeylerinde güvence altına alınması gerekmektedir.

EPS YKDBT duvar sisteminin ısı performansını, Türkiye iklim şartları için örnek bir konut projesi üzerinde değerlendirildi. Kış konforu TS 825'de belirtilen hesap yöntemi kullanılarak, yaz konforu ise ISO 13786'da belirtilen hesap yöntemine göre yapıldı. Yapılan hesaplamalar EPS YKDBT duvar sisteminin kış ve yaz konforunu yönetmelikler kapsamında sağladığını gösterdi. EPS YKDBT duvar sisteminin kullanılmasında kış ve yaz konforu açısından belirgin bir sakınca yoktur.

Çalışma kapsamında Türkiye'de kullanılan iki farklı EPS kalıp sistemi kullanılarak tasarlanan iki farklı konut projesinin yapım maliyeti hesaplanarak, sistemin yapım maliyeti ile geleneksel yapı sistemlerinin yapım maliyetleri karşılaştırıldı. 3 katlı örnek konut projesinde EPS bağlantı köprülü kalıpların kullanıldığı EPS YKDBT duvar sistemi ile yığma yapı sistemi ve betonarme karkas yapı sisteminin yapım maliyetleri karşılaştırıldı. 3 katlı konut projesi için yapılan maliyet hesaplarına göre EPS YKDBT duvar sistemi yapım maliyeti yığma yapı sistemi yapım maliyetinden %58, betonarme karkas yapı sistemi yapım maliyetinden %24 daha yüksektir. 5 katlı örnek konut projesinde tel bağlantı köprülü kalıpların kullanıldığı EPS YKDBT duvar sistemi ile betonarme karkas yapı sistemi ve tünel kalıp sisteminin yapım maliyetleri karşılaştırıldı. 5 katlı konut projesi için yapılan maliyet hesaplarına göre EPS YKDBT duvar sisteminin yapım maliyeti, betonarme karkas yapı sistemi yapım maliyetinden %32, tünel kalıp sistemi yapım maliyetinden % 0,5 daha yüksektir. EPS YKDBT duvar sisteminin yapım maliyetinin diğer yapı sistemlerinden daha yüksek olmasının en

önemli sebebi, sistemde kullanılan kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) ve EPS kalıpların maliyetinin yüksek olmasıdır. EPS YKDBT duvar sisteminin Türkiye uygulamaları incelendiğinde, sistemde kullanılan kalıplar veya ham maddesi genellikle ithal edilmekte veya Türkiye’de yurtdışı firmalarının patenti altında üretilmektedir. EPS kalıpların ithalatı veya yabancı firmaların patenti altında imalatı kalıp fiyatlarını yükseltmektedir. EPS YKDBT duvar sisteminin Türkiye’de yaygın kullanıma geçmesi ile yerli firmaların EPS kalıp üretiminin artması ve böylece kalıp fiyatlarının düşmesi beklenen bir durumdur. EPS YKDBT duvar sisteminde KYB’den daha ekonomik sistem özelliklerine uygun çok akıcı kıvamda geleneksel beton kullanılması ve EPS kalıp fiyatlarının düşmesi, sistemin yapım maliyetlerini istenilen düzeye indirebilecektir.

Tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalar sonucu, Türkiye için yeni sayılabilecek bir sistem olan EPS YKDBT duvar sisteminin, Türkiye koşullarında kullanılabilir bir yapı sistemi olduğu sonucuna varıldı.

EPS YKDBT duvar sistemi ile ilgili olarak gelecekte yapılacak çalışmalarda, tez çalışması kapsamında sonlu eleman modelleri oluşturularak yatay ve düşey yük etkisinde doğrusal olmayan analizleri yapılan duvar elemanlarının deneysel olarak incelenmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ALYAMAÇ, K.E., 2008, "Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekaniği Prensipleriyle İncelenmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- ANIL, Ö., BELGİN M. Ç., 2007, "Monotonik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analizi", Makale, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22 No:1, Sayfa 191-197, Ankara
- AYKAN, A., GÜROL, G., TEZEL, O. O., YÜCEER, Z., 2004, "Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneysel Metodları ve Uygulama Örnekleri", Anonim
- BARBORASO, A. F., RIBERIO, G. O., 1998, "Analysis of Reinforced Concrete Structures Using Ansys Nonlinear Concrete Model", Makale, Computational Mechanics New Trends and Applications, Spain
- BENLİ, A., TÜRK, K., CALAYIR, Y., 2008, "Kendiliğinden Yerleşen Betondan Üretilmiş Kirişlerin Aderans Dayanımının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi", Makale, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (4), Sayfa 599-607
- BÜYÜKKARAGÖZ, A., KOPRAMAN, Y., 2008, "Eksenel Yük Etkisi Altındaki Kare Kesitli Mantolanmış Kolonun Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi", Makale, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Dergisi, Cilt 23, No:2
- BÜYÜKKARAGÖZ, A., 2007, "Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş Birleşimleri için Alternatif Bir Detay Önerisi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara
- BÜYÜKKARAGÖZ, A., 2007, "Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş Birleşimlerinin Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi", Makale, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (4), Sayfa 553-560
- CİHAN, T., 2004, "EPS-Bloklu, Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvarlı Binanın Isıl Performansı", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
- DEDE, F. T., 2006, "Tersinir-Tekrarlanır Yükleme Atındaki Betonarme Çerçevelerin Ansys Programı ile Nonlinear Sonlu Eleman Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- DOĞANGÜN, A., 2008, "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı", Birsen Yayınevi, İstanbul
- EKİNCİ, C.E., 2003, "Yalıtım Teknikleri", Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul

- ERGÜN, A., KÜRKLÜ, G., 2005, “Mevcut Betonarme Yapılarda Beton Dayanımının Belirlenmesi”, Bildiri, Deprem Sempozyumu, Kocaeli
- FANNIG, P., 2001, “Nonlinear Models of Reinforced and Post-tensioned Concrete Beams”, Makale, Electronic Journal of Structural Engineering 2001 (eJSE 2001)
- FELEKOĞLU, B., BARADAN, B., 2004, “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri”, Bildiri, Beton 2004 Kongresi, İstanbul
- De SCHUTTER, G., 2005, EFNARC, “Guidelines For Testing Fresh Self-Compacting Concrete, European Research Project: Measurement Of Properties Of Fresh Self-Compacting Concrete”, 2001-2004
- GÜLNİHAL, A., GÜROL, G., TEZEL, O.O., YÜCEER, Z., 2004, “Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneysel Metodlar ve Uygulama Örnekleri”, Bildiri, Beton 2004 Kongresi, İstanbul
- GÜRSES, O., 2008, “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- MERT, N., ELMAS, M., 2007, “Fiber Takviyeli Polimerlerle Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Analizi”, Makale, International Earthquake Symposium, Kocaeli
- NEVILLE, A. M., 1995, “Properties of Concrete”, Fourth Ed., Addison Wesley Longman, Malaysia
- OKUMURA, H., 1997, “Self Compacting High Performance Concrete”, Concrete International, Volume 19
- ÖZGÜLER, A.T., 2007, “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekaniksel Özelliklerine Agregat Tipinin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- ÖZŞAHİN, B., 2004, “EPS Bloklulu Çelik Donatılı Beton Taşıyıcı Duvar Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne
- PENÇE, E., 2007, “Eğitim Amaçlı Ansys Paket Programının Tanıtılması, Ansys Öğretimi ve Uygulama Örnekleri”, Bitirme Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
- RAONGJANT, W., JING, M., 2009, “Analysis Modelling of Seismic Behaviour of Lightweight Concrete Shear Walls”, Makale, International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2009 (IMECS 2009), Hong Kong
- SAĞLAM, A.R., PARLAK, N., DOĞAN, Ü.A., ÖZKUL, M.H., 2004, “Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumunu”, Bildiri, Beton 2004 Kongresi, İstanbul

SAVAŞIR, K., 2007, “Deprem Sonrası Kalıcı Konut Üretimi İçin Hızlı ve Ekonomik Bir Yapım Sistemi Önerisi”, Bildiri, International Earthquake Symposium Kocaeli 2007, Kocaeli

SÖYLEMEZ, F., 2006, “Betonarme Kolonlarda Kuşatma Etkisi için Sonlu Eleman Modeli”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

TOPÇU, İ.B., CANBAZ, M., KARAKURT, C., 2006, “Beton Üretiminde Kimyasal Katkı Kullanımı”, Gazi Üniversitesi, Politeknik Dergisi, Cilt 9

UYGUN, F., 2005, “Konut Üretiminde Kalıcı Yalıtım-Kalıplı Yapım Sistemleri ve Ülkemiz Açısından Önemi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

UYGUNOĞLU, T., 2008, “Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

VANDERWERF, P.A., ve PANUSHEV. I.S., 2004, Insulating Concrete Forms Construction: Demand, Evaluation & Technical Practice, 203 s, The McGraw-Hill, New York

VANDERWERF, P.A. ve MUNSELL, W.K., 1996, Insulating Concrete Forms Construction Manuel, 150 s, Portland Cement Association, Illinois

VANDERWERF, P.A., FEIGE, S.J., CHAMMAS, P. ve LEMAY, L.A., 1997, Insulating Concrete Forms for Residential Design and Construction, 326 s, The McGraw-Hill, New York

YARDIMCI, M.Y., 2007, “Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

YOZGAT, U., 2007, “Eksenel Yüklü Kare Kesitli Betonarme Kolonların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Nonlineer Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara

WOLANSKI, A. J., 2004, “Flexural Behaviour of Reinforced and Prestressed Concrete Beams Using Finite Element Analysis” Yüksek Lisans Tezi, Marquette University, Faculty of Graduate School, Wisconsin

EFNARC, 2005, “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use”, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC)

EFNARC, 2002, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete", Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK

Insulating Concrete Form Systems (ICFs), National Association of Home Builders (NAHB), Araştırma Raporu, Yayınlanmış, Marlboro, 2000

In-Plane Shear Resistance of Insulating Concrete Form Walls, U.S Department of Housing and Urban Development (HUD), Portland Cement Association (PCA) ve NAHB Research Center için Hazırlanmış Teknik Rapor, Yayınlanmış, Marlboro, 2001

Lintel Testing for Reduced Shear Reinforcement in Insulating Concrete Form Systems, U.S Department of Housing and Urban Development, Portland Cement Association ve NAHB Research Center için Hazırlanmış Teknik Rapor, Yayınlanmış, 1998

Prescriptive Method for Insulating Concrete Forms in Residential Construction, U.S Department of Housing and Urban Development, Portland Cement Association ve NAHB Research Center için Hazırlanmış Teknik Rapor, Yayınlanmış, Marlboro, 1998

Prescriptive Method for Insulating Concrete Forms in Residential Construction-Second Edition, U.S Department of Housing and Urban Development, Portland Cement Association ve NAHB Research Center için Hazırlanmış Teknik Rapor, Yayınlanmış, Marlboro, 2002

HVAC Sizing Methodology for Insulated Concrete Homes, U.S Department of Housing and Urban Development (HUD) Office of Policy Development and Research, Illionis, 2004

ISORAST Avrupa Teknik Onayı ETA 07/0210, Alman Yapı Tekniği Enstitüsü (DIBt), Berlin, Almanya, 2007

International Residential Code 2009 (IRC 2009), International Code Council Inc., 2009

Tutorial for Program ATENA 2D, ATENA Program Documentation Part 4-1, Prague, 2001

Tutorial for Program ATENA 3D, ATENA Program Documentation Part 4-2, Prague, 2010

User's Manuel for ATENA 2D, ATENA Program Documentation Part 2-1, Prague, 2010

User's Manuel for ATENA 3D, ATENA Program Documentation Part 2-2, Prague, 2010

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara

TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2000

TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2008

TS 708, Beton Çelik Çubukları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2010

TS EN 206–1, Beton–Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS 9967, Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1992

TS EN 1008, “Beton Karma Suyu-Numune Alma, Deneyle ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2003

TS EN 12350–1, “Beton-Taze Beton Deneyle-Bölüm 1: Numune Alma”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN 12350–2, “Beton-Taze Beton Deneyle-Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyle”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN 12350–5, “Beton-Taze Beton Deneyle-Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyle”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN 12350–6, “Beton-Taze Beton Deneyle-Bölüm 6:Yoğunluk”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN 12350–7, “Beton-Taze Beton Deneyle-Bölüm 7: Hava İçeriğinin Tayini - Basınç Metotları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN 12390–3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Bölüm 3: Deneyle Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2003

TS EN 12390–6, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Bölüm 6: Deneyle Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN 12390–7, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN ISO 6946, Yapı Bileşenleri ve Yapı Elemanları-Isıl Direnç ve Isıl Geçirgenlik Hesaplama Metodu, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2007

TS EN 197–1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS 3527, Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1980

TS EN 933-3, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm3: Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006

TS 3673, Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1982

TS EN 12390-1, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıpların Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

TS EN 12504-2, Yapılarda Beton Deneyleri-Bölüm 2: Tahribatsız Deneyler-Geri Sıçrama Değerinin Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2004

TS EN 1097-2, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2010

TS EN 1097-3, Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1999

TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002

ISO 13786, Thermal Performance of Building Components and Building Elements-Dynamic Thermal Characteristics-Calculation Methods, 2007, ISO

ISO 6946, Building Components and Building Elements- Thermal Resistance and Thermal Transmittance-Calculation Method, 1996, ISO

2011 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2011

Milli Savunma Bakanlığı 2011 Yılı Yapı İşleri Fiyat Analizleri ve Birim Fiyat Listesi, Milli Savunma Bakanlığı, Ankara, 2011

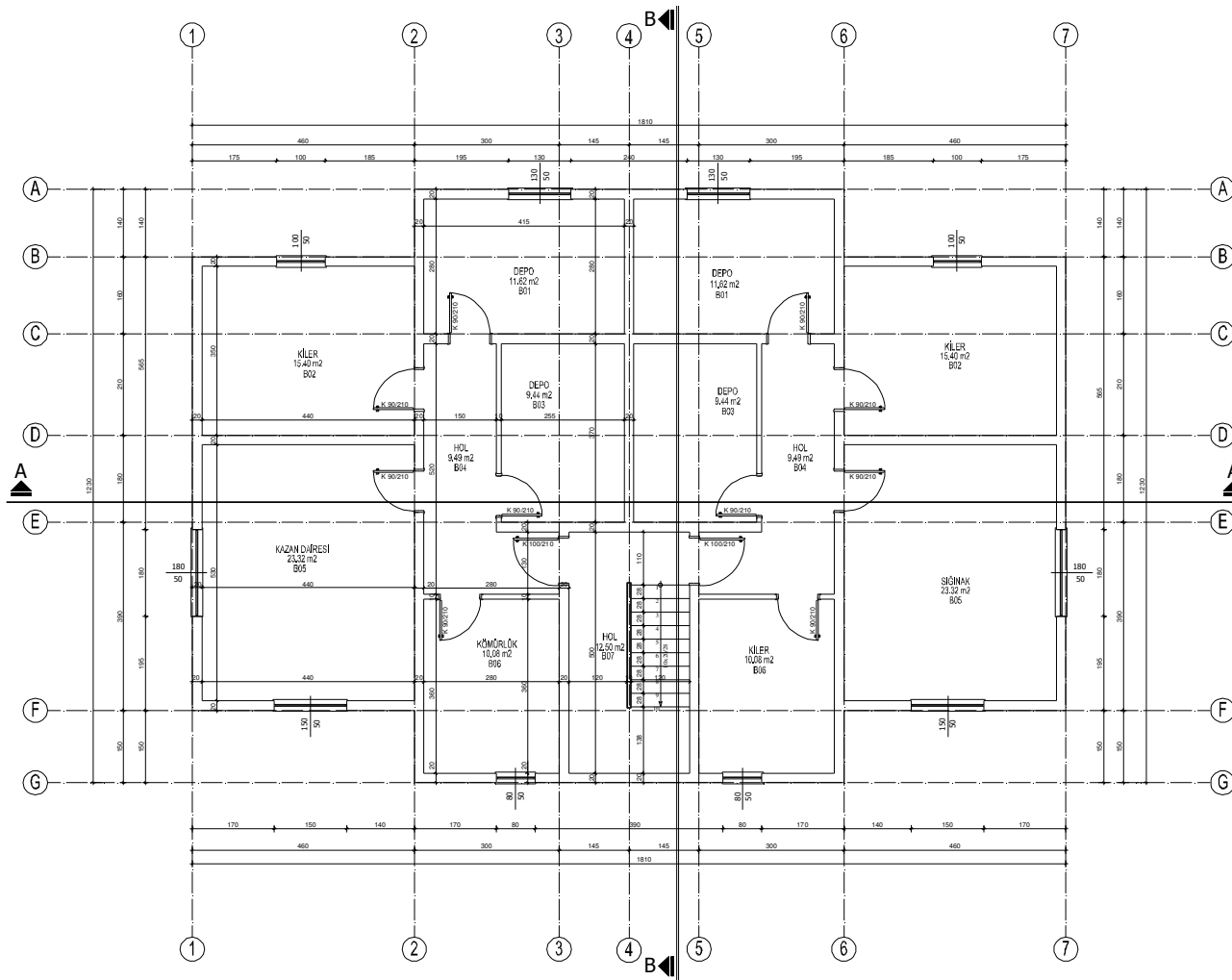
Web 1, www.risingeagle.com

Web 2, www.pud.org.tr, Polistren Üreticileri Derneği Tanıtım Cd'si

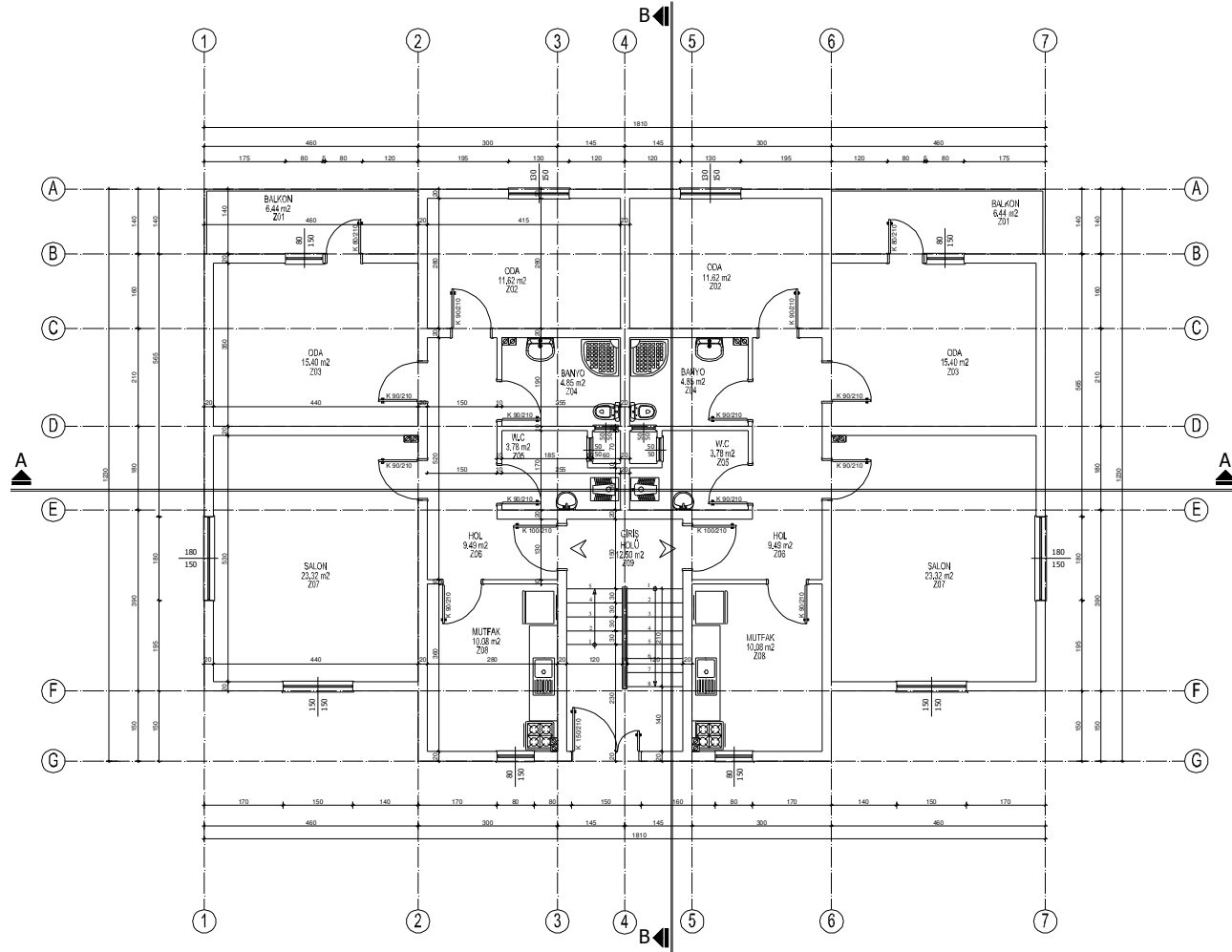
Web 3, www.thermacell.com

EK A

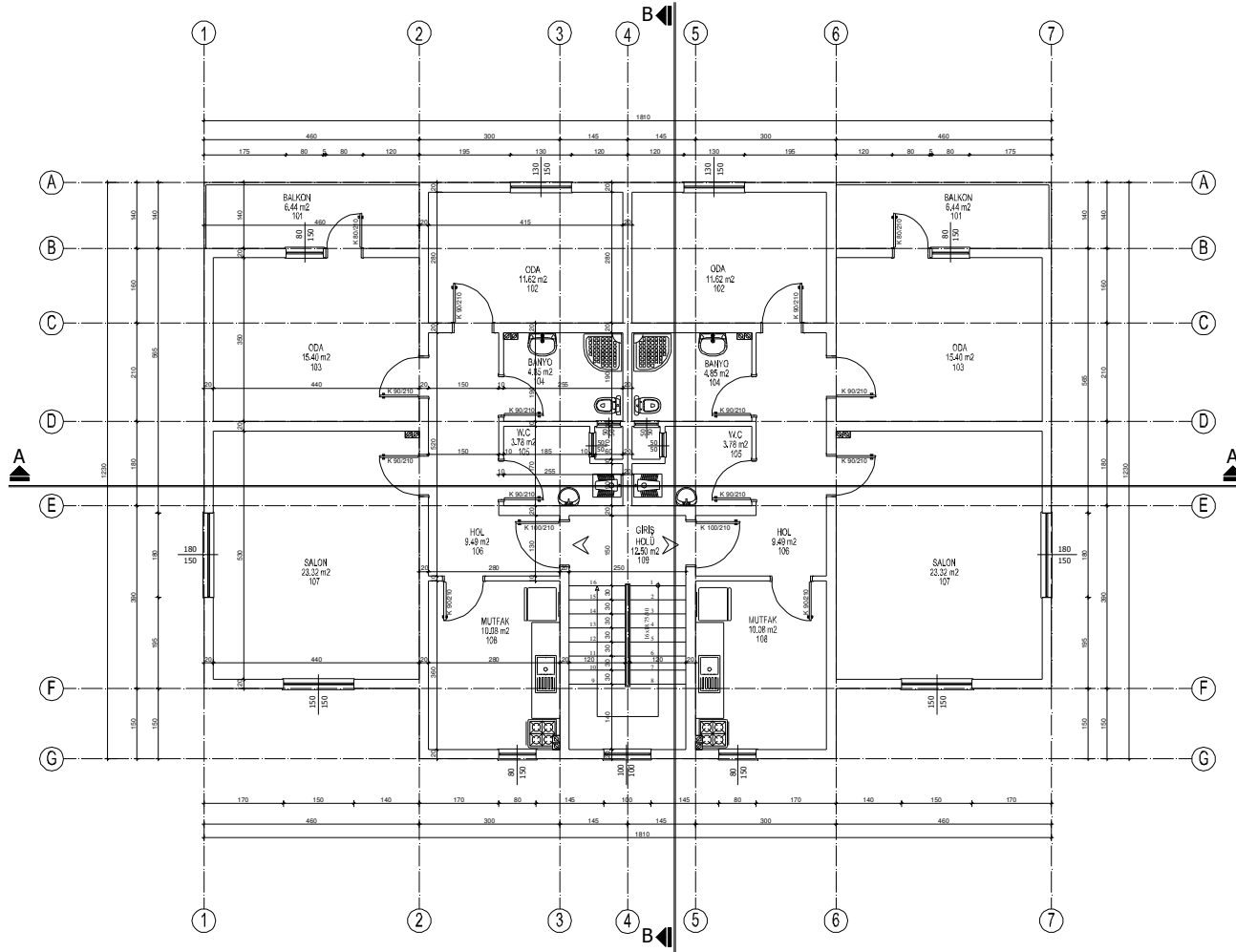
**EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİNİN
ISIL PERFORMANS HESAPLARI ve MALİYET ANALİZİNDE KULLANILAN
1 NOLU ÖRNEK KONUT PROJESİ**



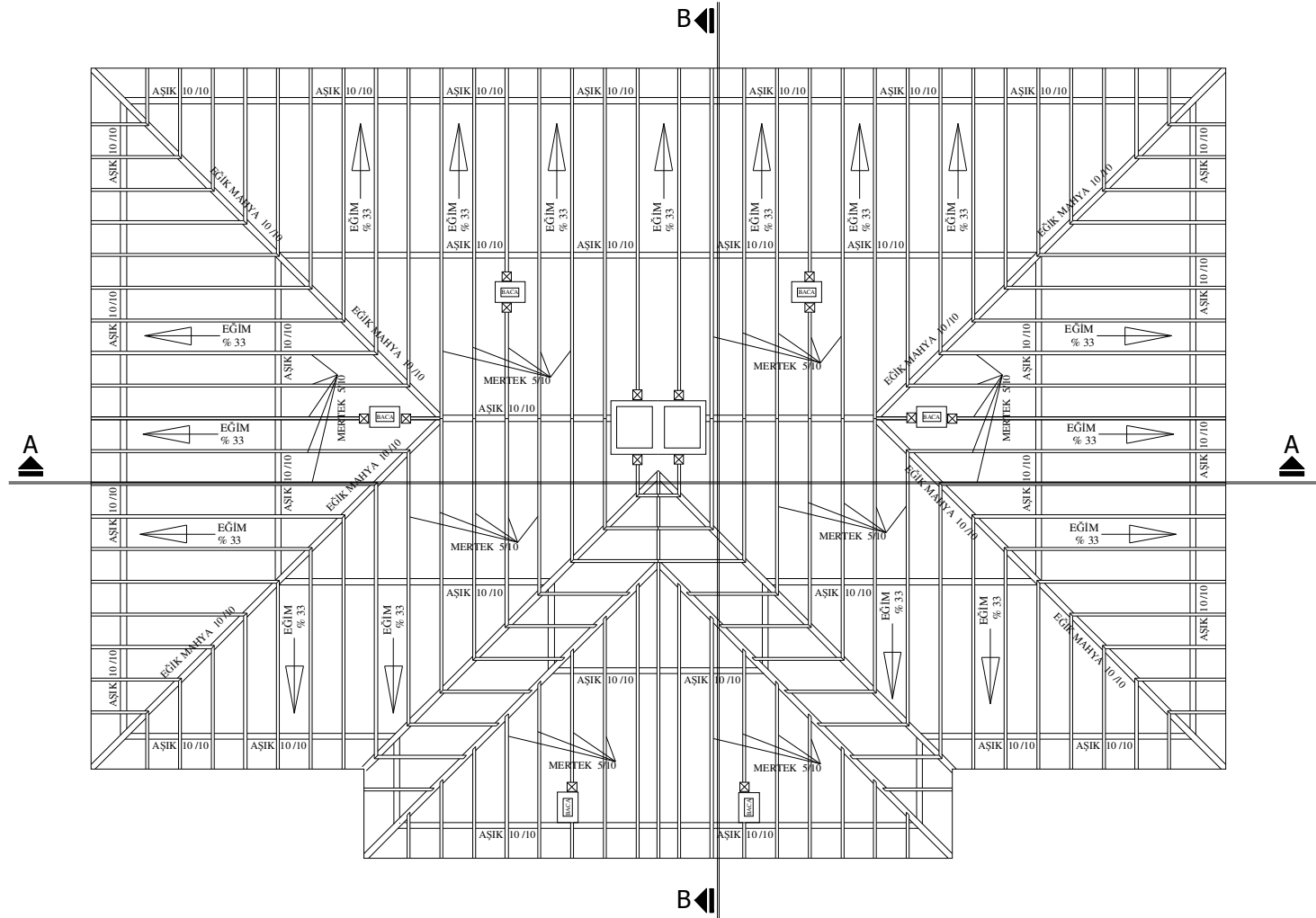
Şekil A.1. 1 nolu Proje Bodrum Kat Planı



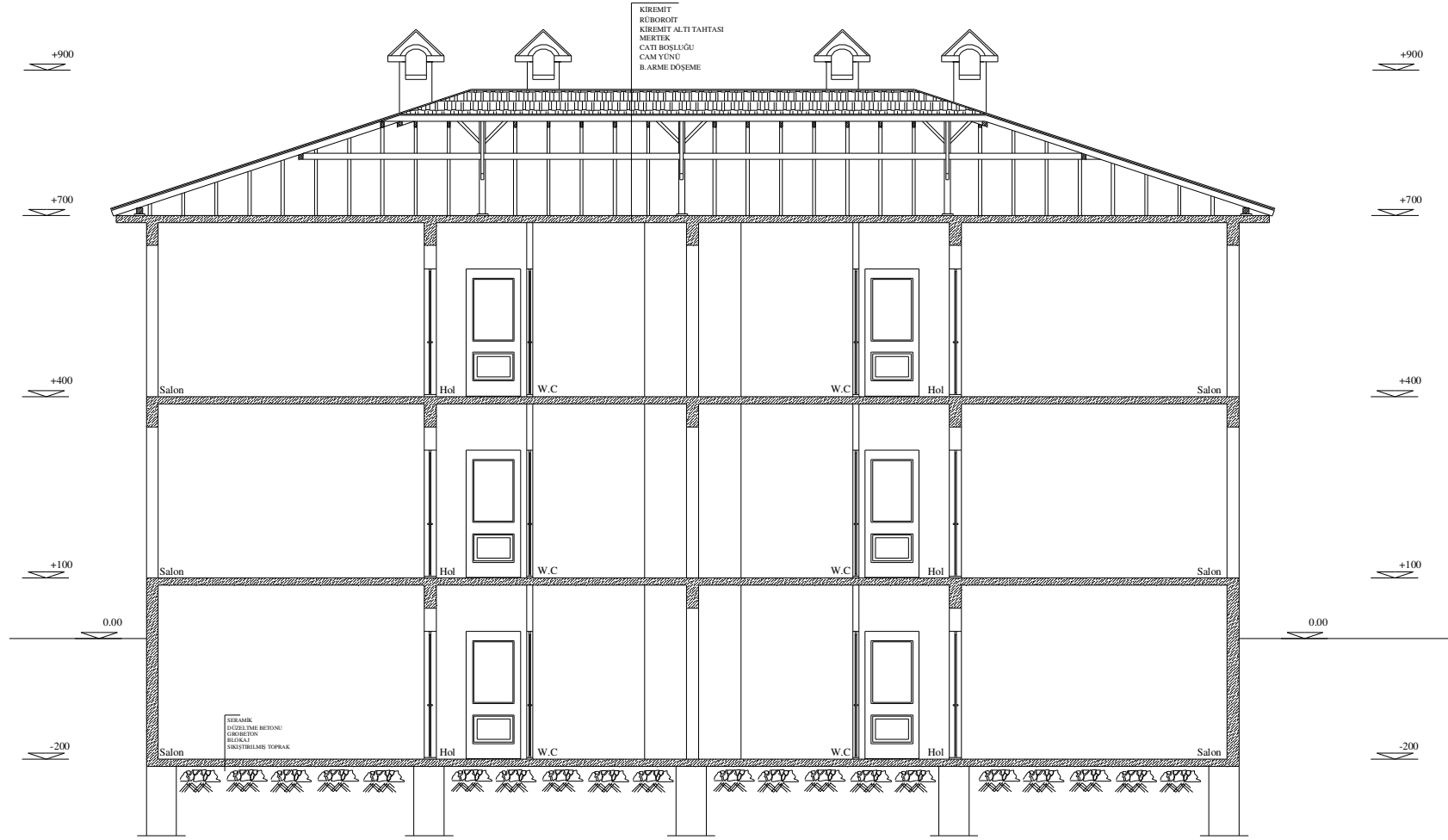
Şekil A.2. 1 nolu Proje Zemin Kat Planı



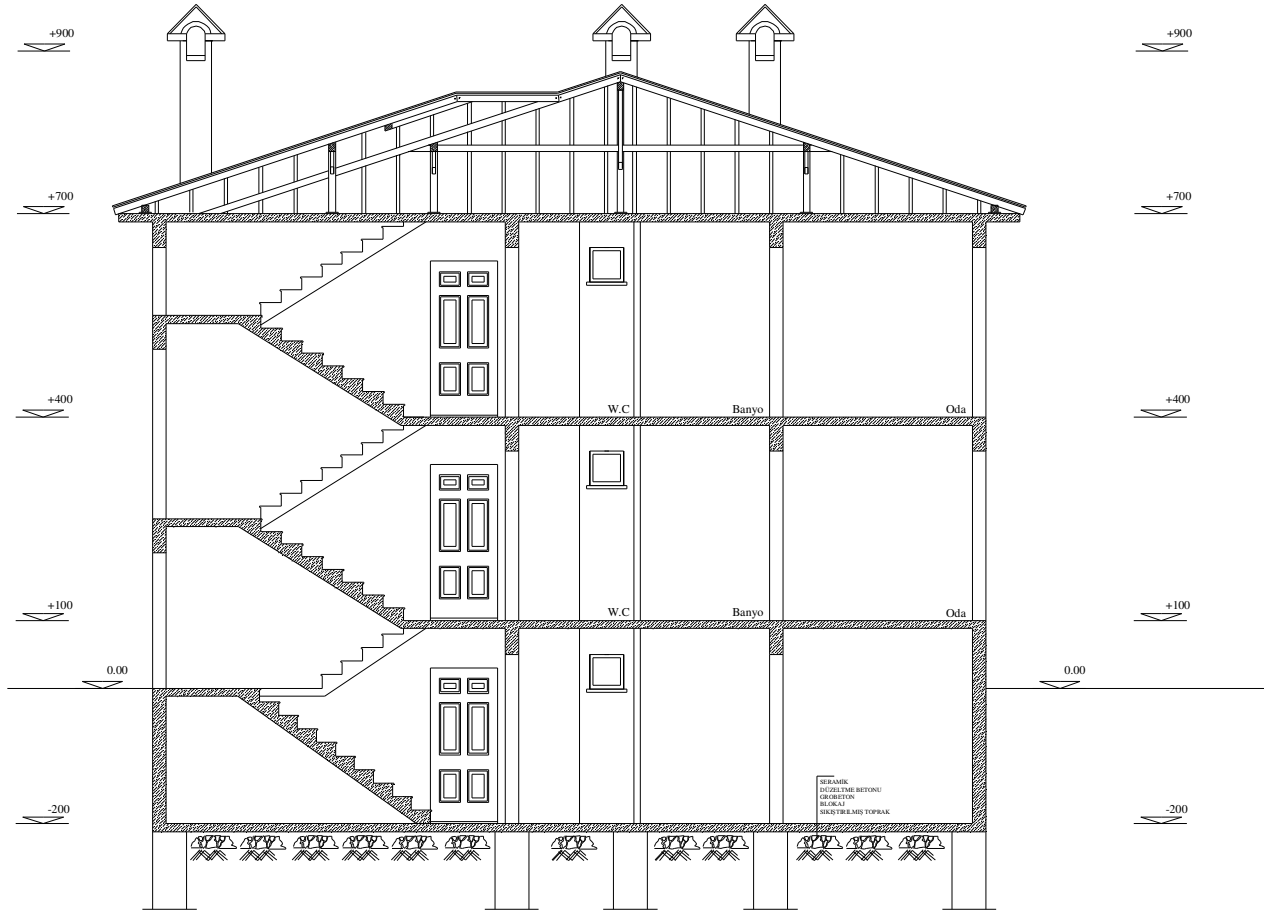
Şekil A.3. 1 nolu Proje Normal Kat Planı



Şekil A.4. 1 nolu Proje Çatı Planı



Şekil A.5. 1 nolu Proje A-A Kesiti



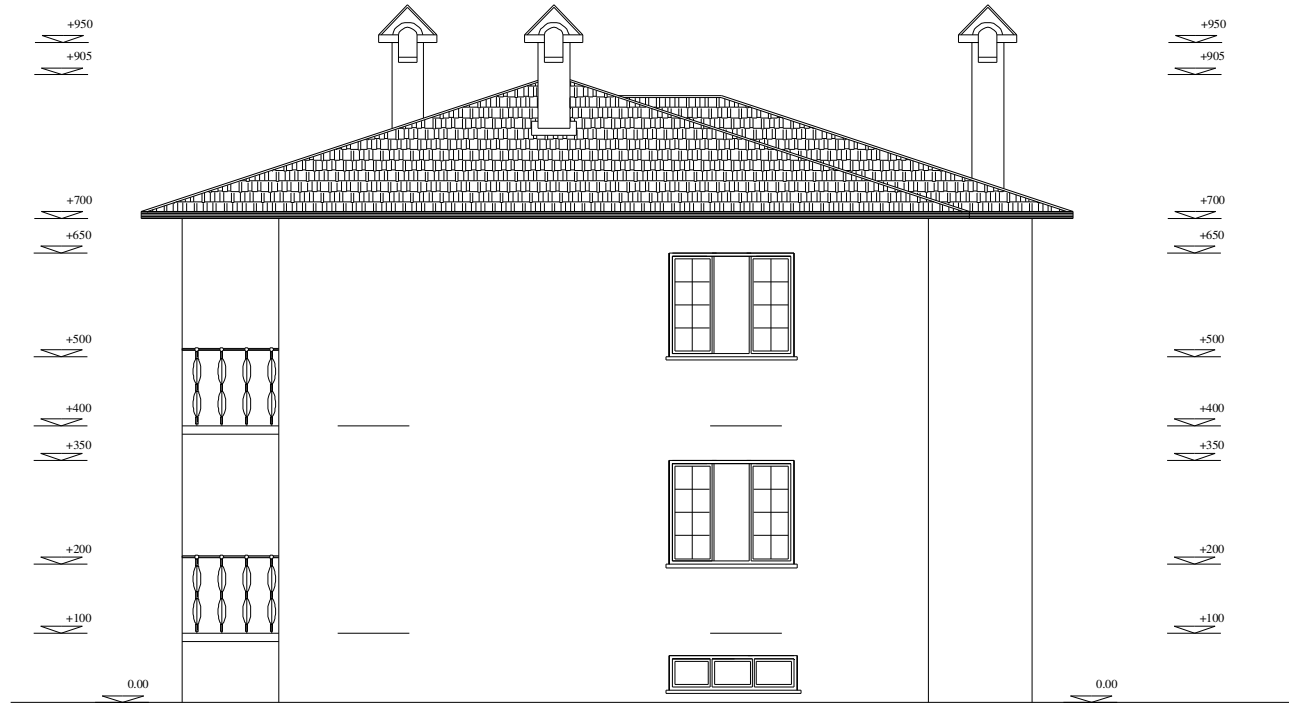
Şekil A.6. 1 nolu Proje B-B Kesiti



Şekil A.7. 1 nolu Proje Ön Görünüşü



Şekil A.8. 1 nolu Proje Arka Görünüşü



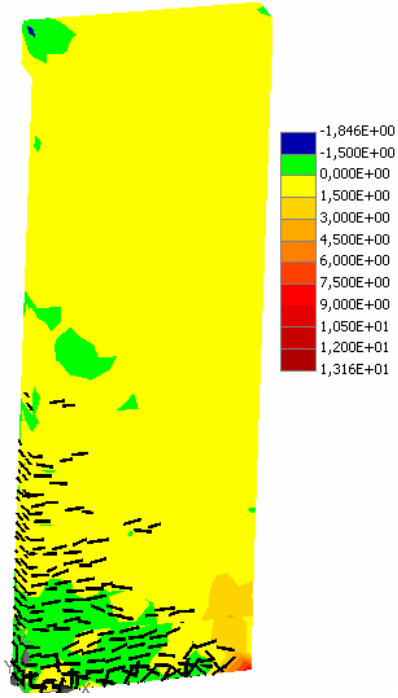
Şekil A.9. 1 nolu Proje Sol Yan Görünüşü



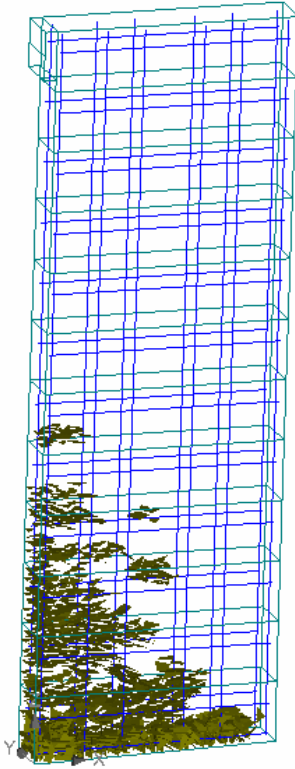
Şekil A.10. 1 nolu Proje Sağ Yan Görünüşü

EK B

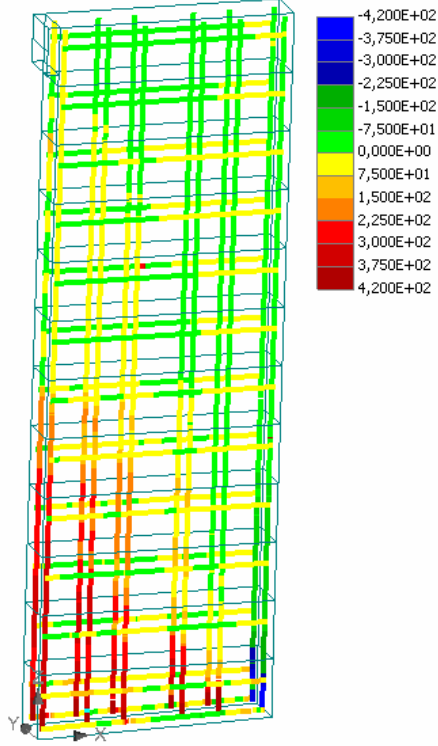
**EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİ
DUVAR SONLU ELEMAN MODELLERİ ANALİZ SONUÇLARI**



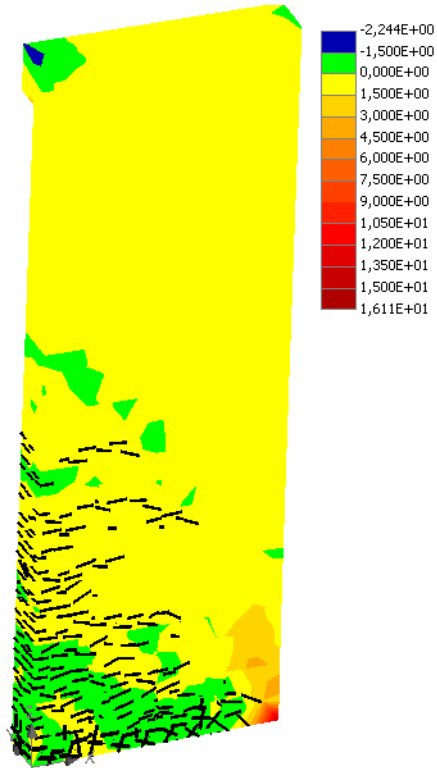
Şekil B.1. L1H3B0 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



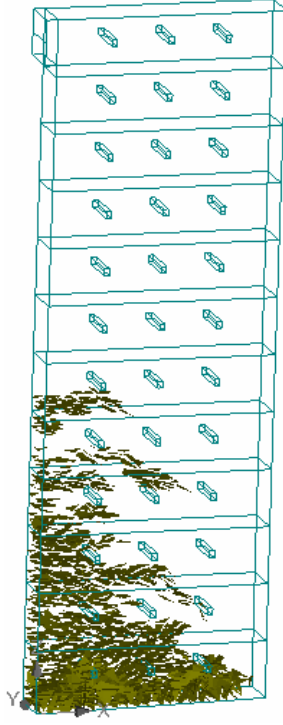
Şekil B.2. L1H3B0 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



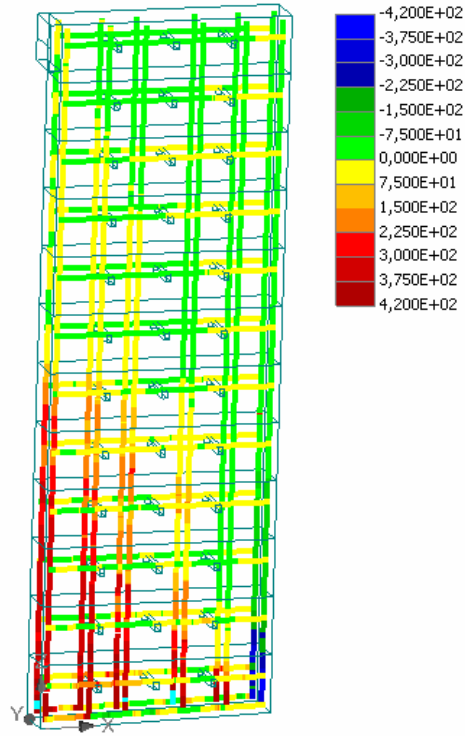
Şekil B.3. L1H3B0 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



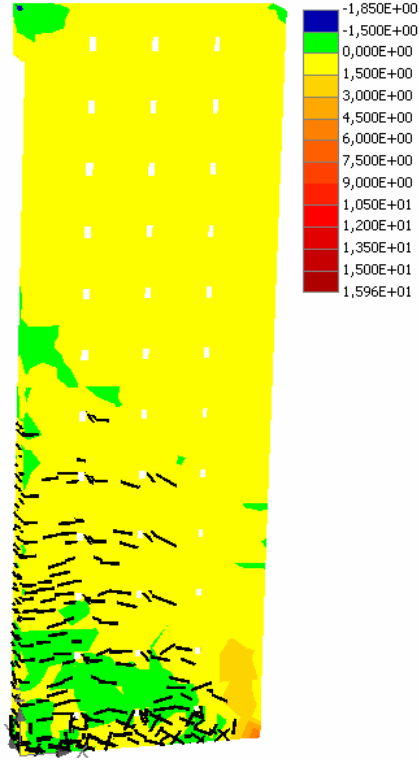
Şekil B.4. L1H3B1 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



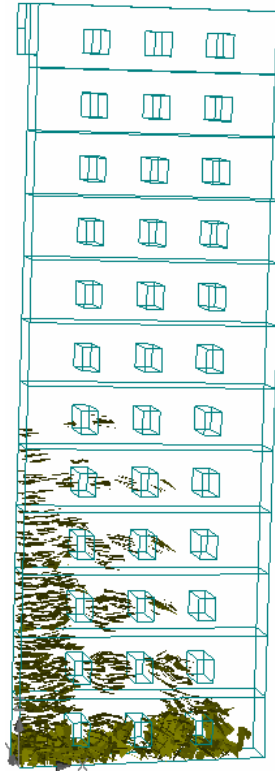
Şekil B.5. L1H3B1 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



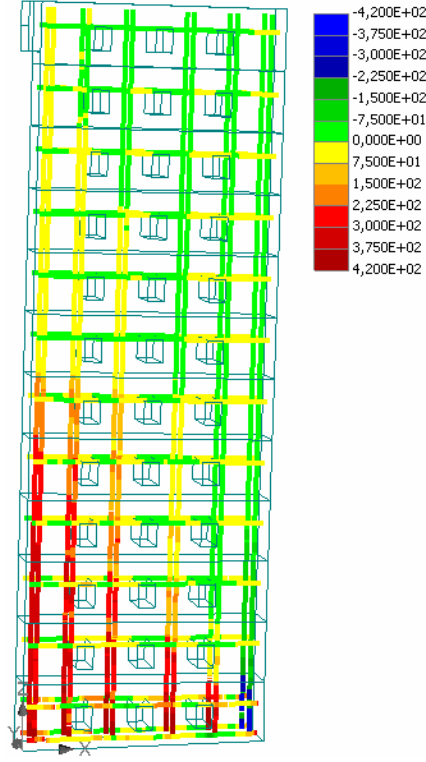
Şekil B.6. L1H3B1 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



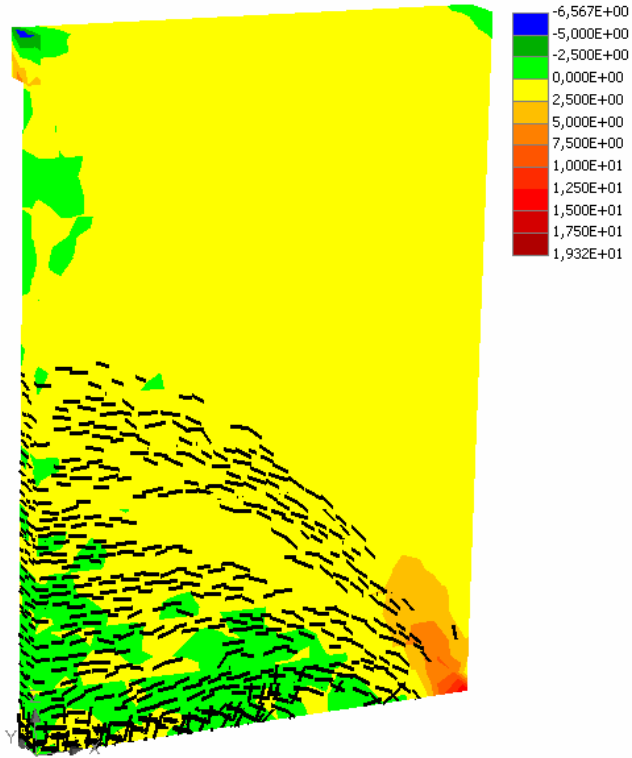
Şekil B.7. L1H3B10 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



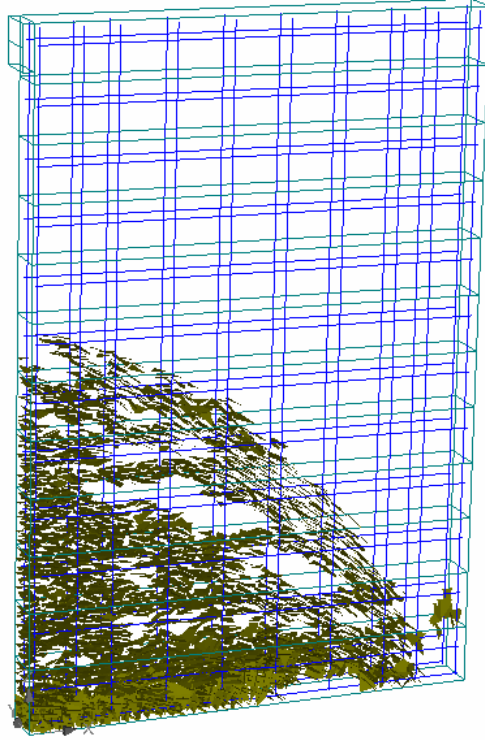
Şekil B.8. L1H3B10 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



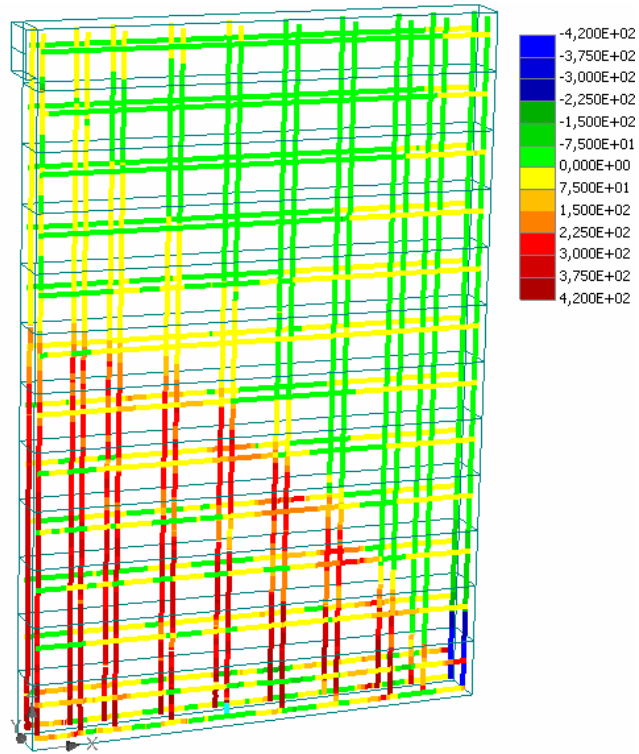
Şekil B.9. L1H3B10 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



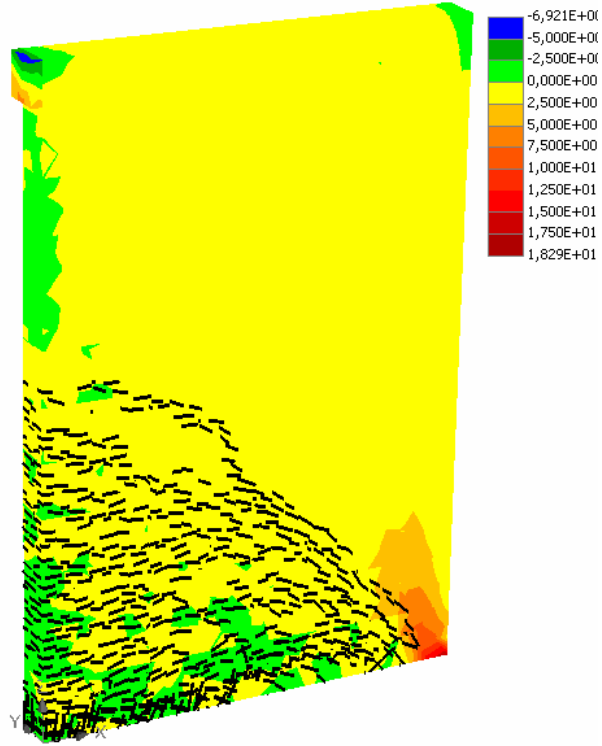
Şekil B.10. L2H3B0 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



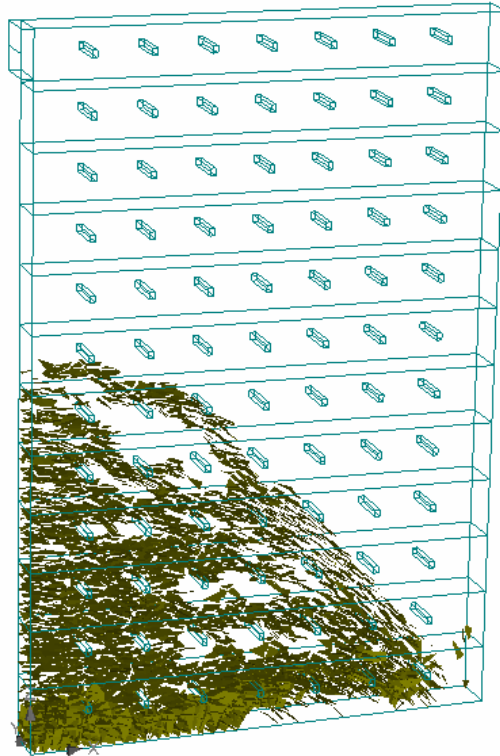
Şekil B.11. L2H3B0 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



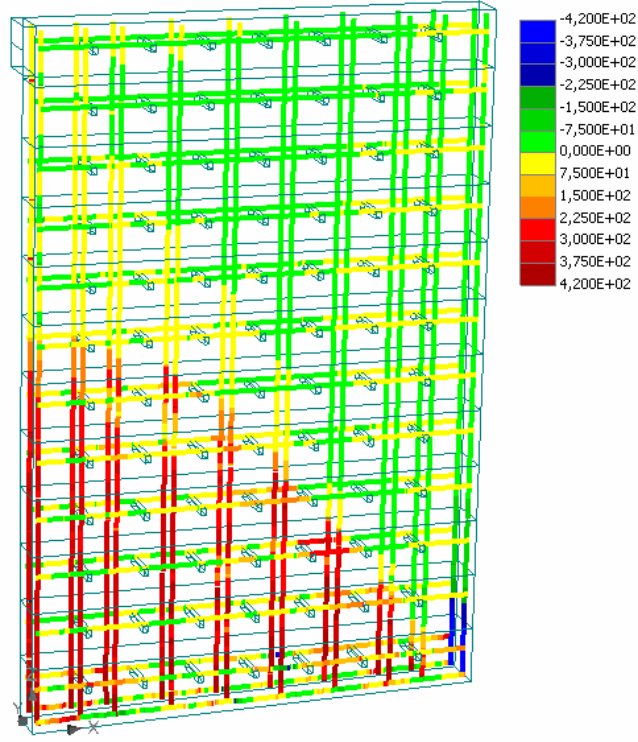
Şekil B.12. L2H3B0 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



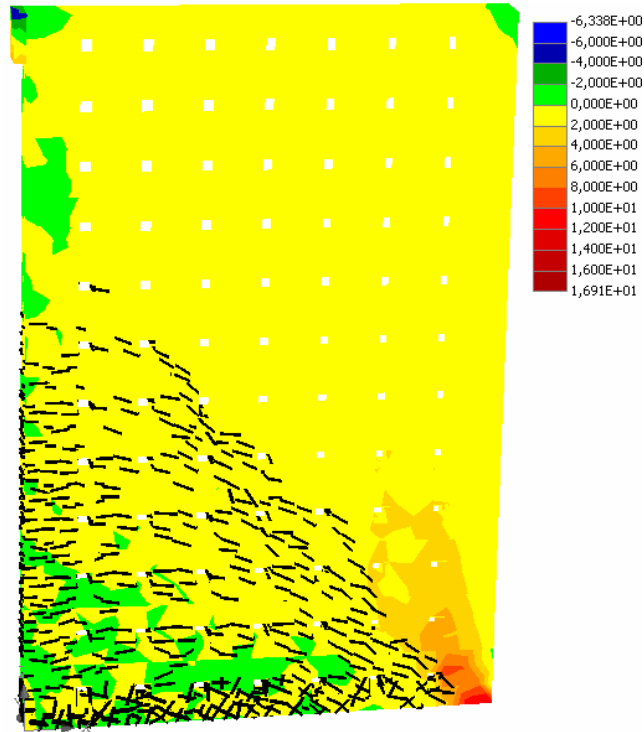
Şekil B.13. L2H3B1 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



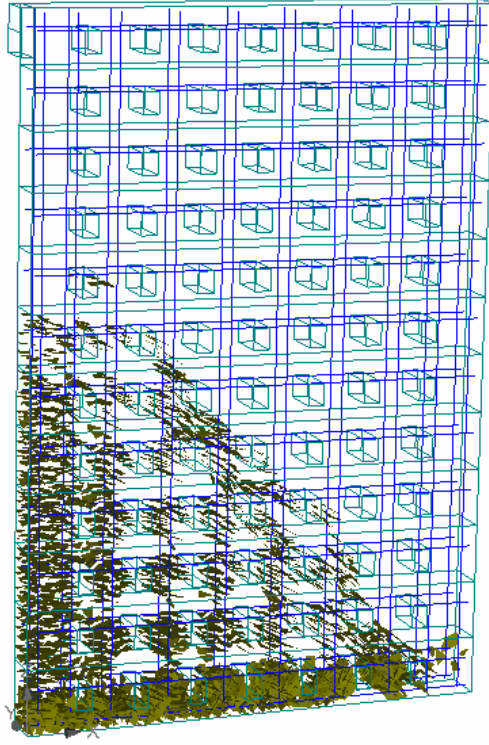
Şekil B.14. L2H3B1 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



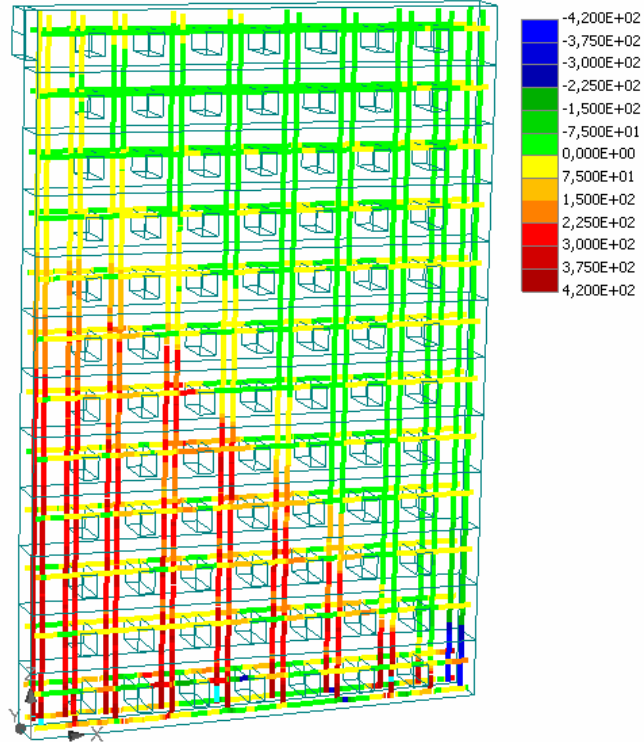
Şekil B.15. L2H3B1 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



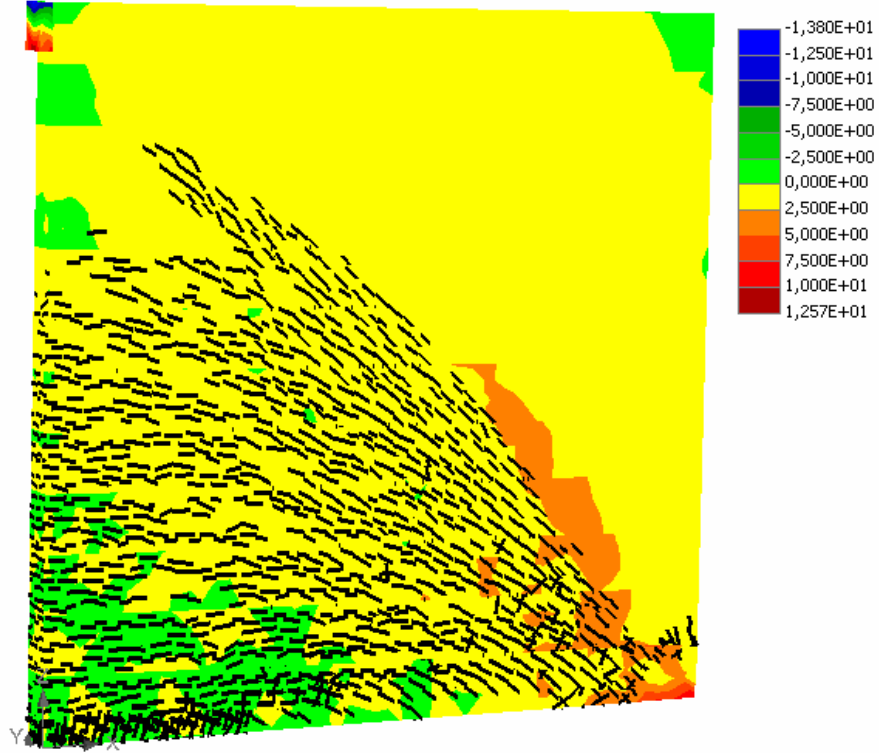
Şekil B.16. L2H3B10 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



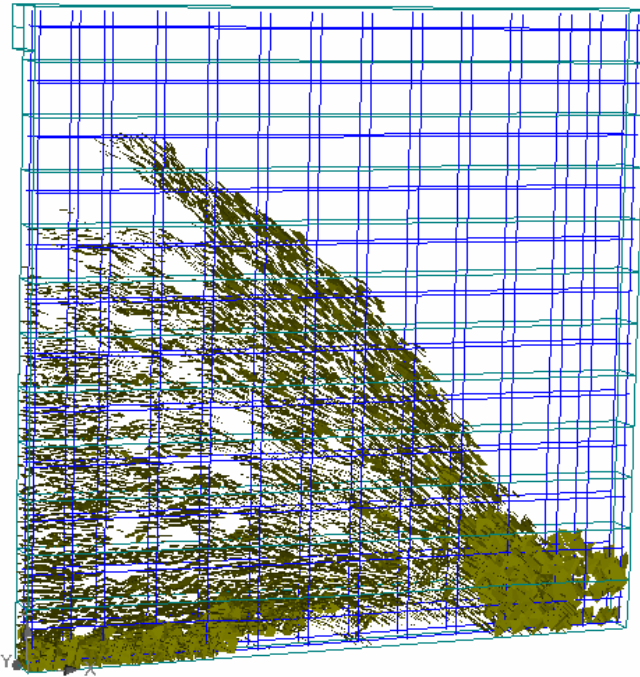
Şekil B.17. L2H3B10 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



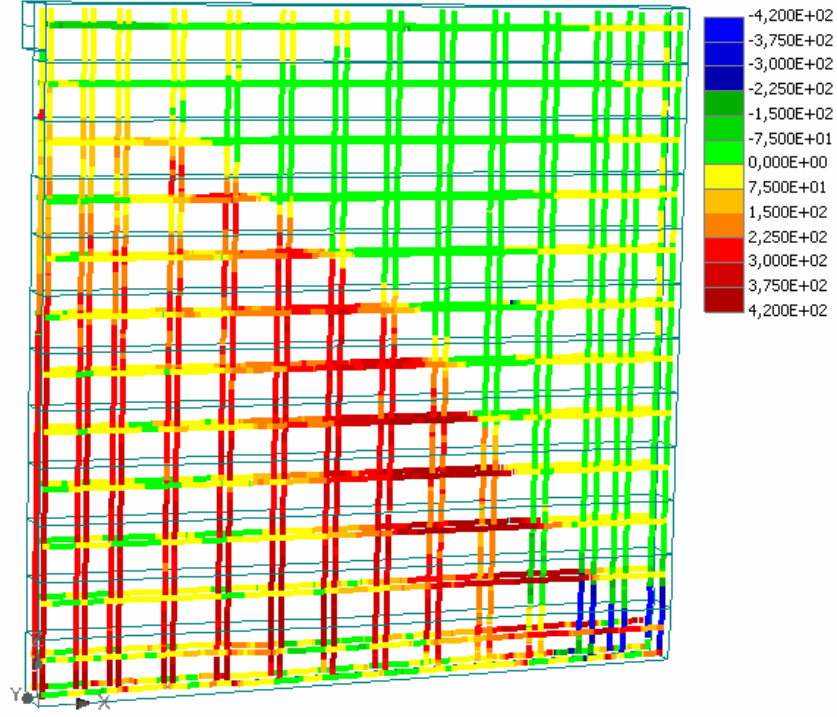
Şekil B.18. L2H3B10 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



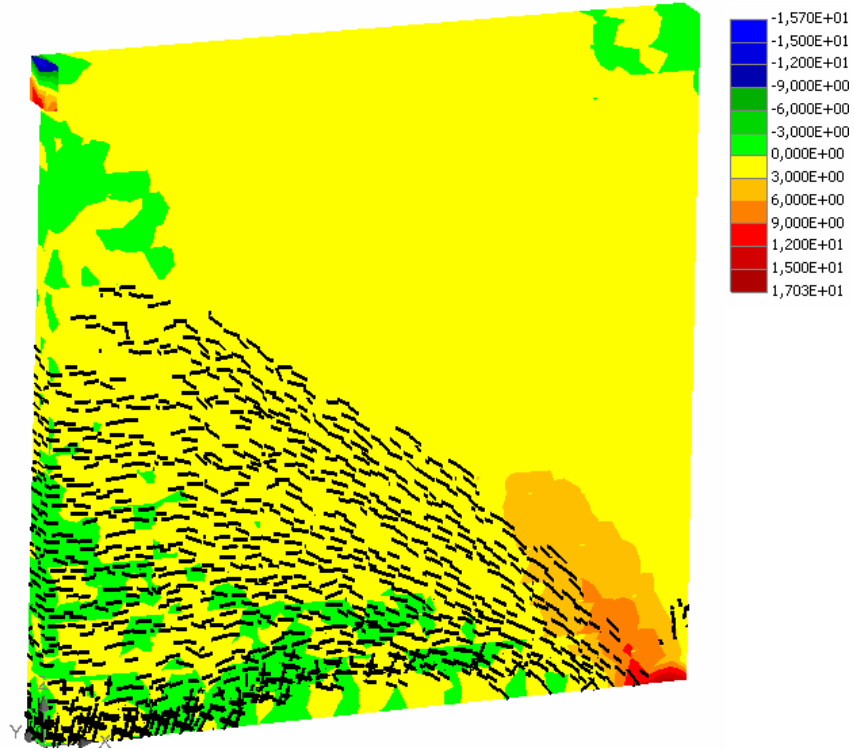
Şekil B.19. L3H3B0 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



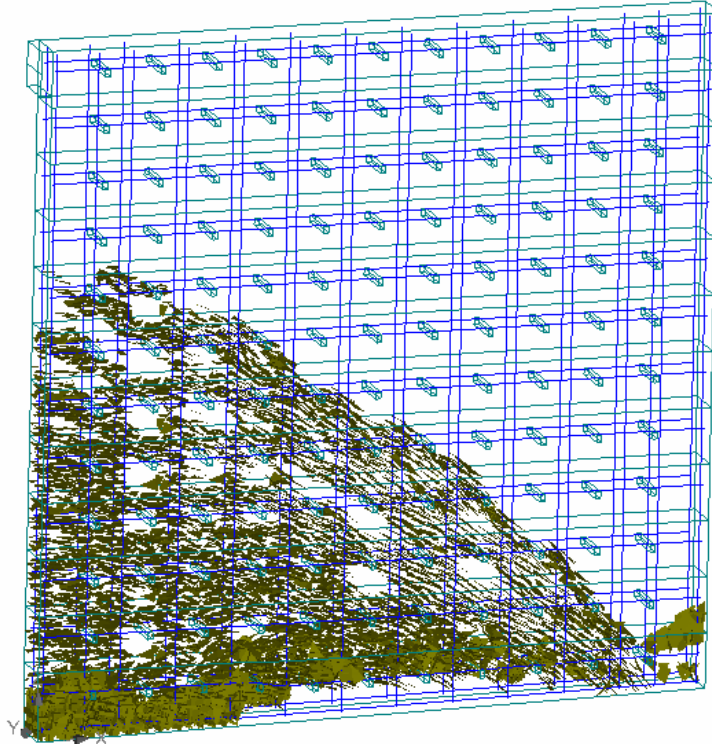
Şekil B.20. L3H3B0 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



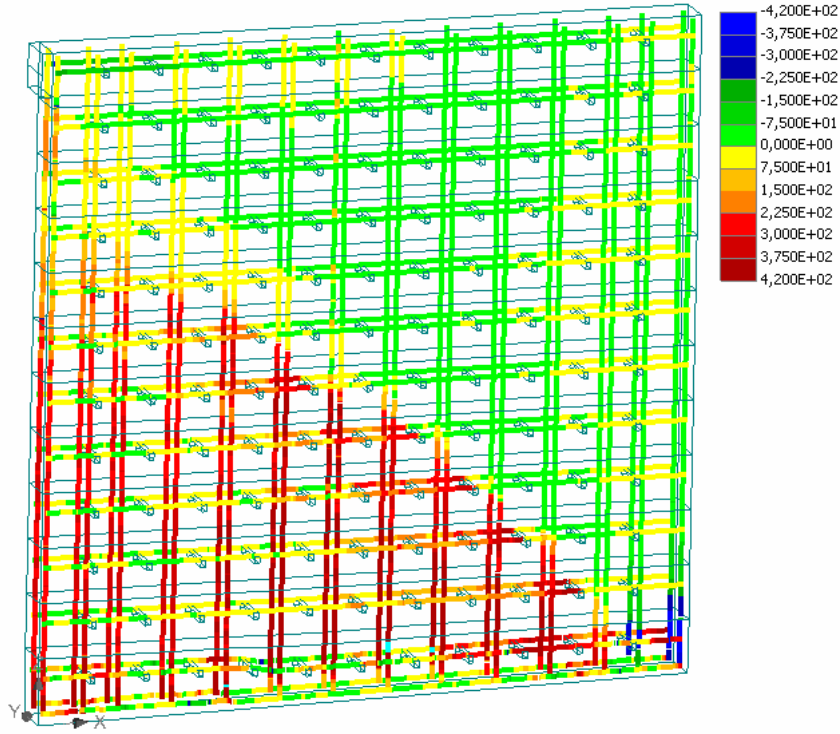
Şekil B.21. L3H3B0 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



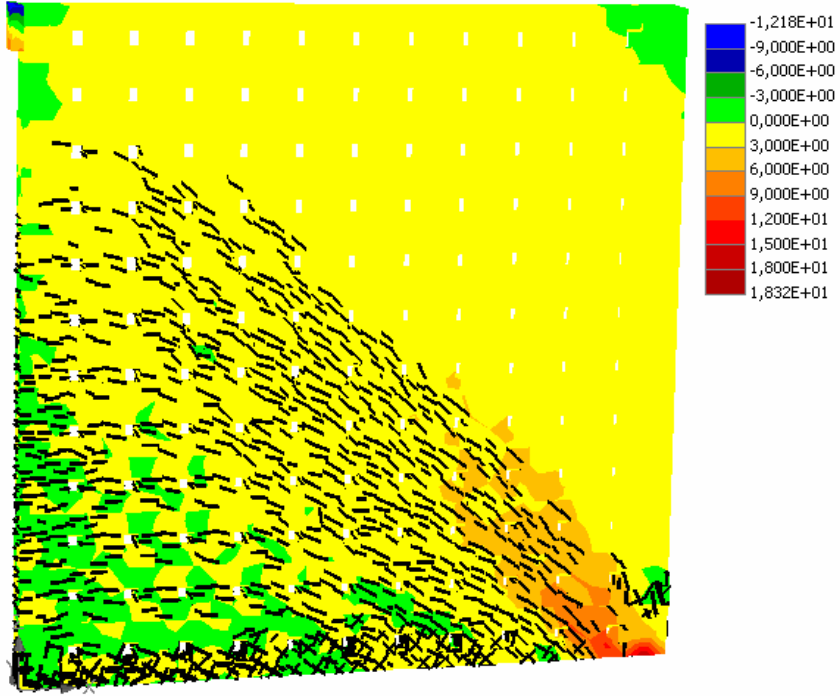
Şekil B.22. L3H3B1 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



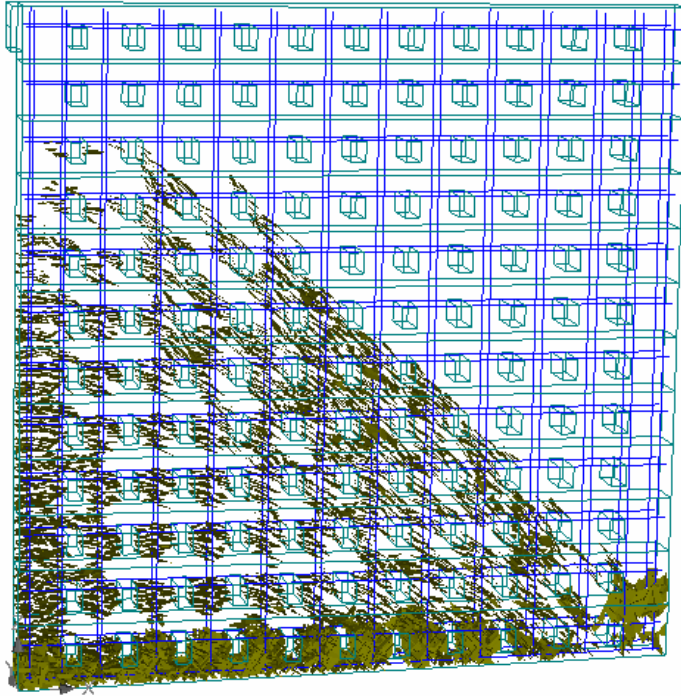
Şekil B.23. L3H3B1 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



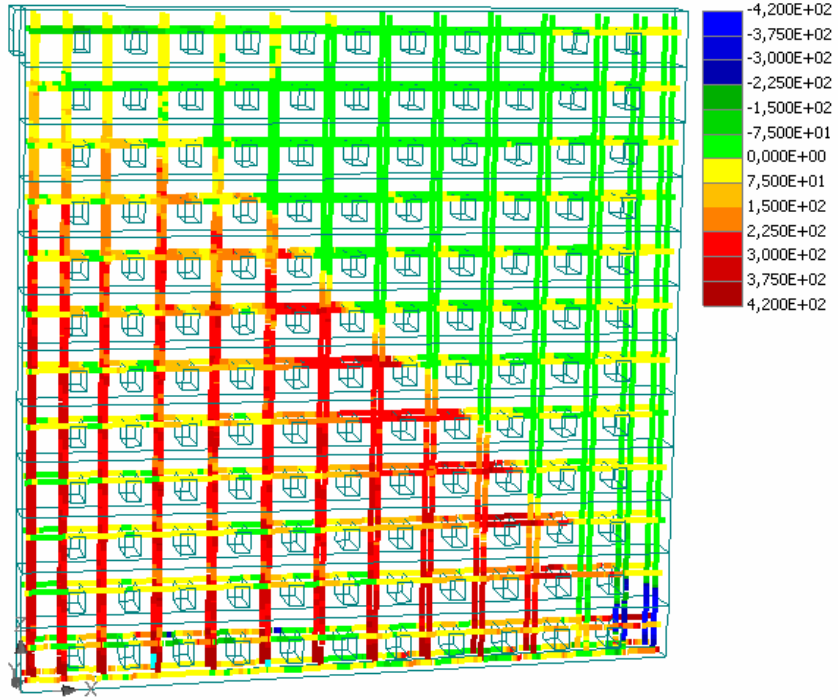
Şekil B.24. L3H3B1 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı



Şekil B.25. L3H3B10 Duvar Modeli Kayma Gerilmesi ve Çatlak Dağılımı



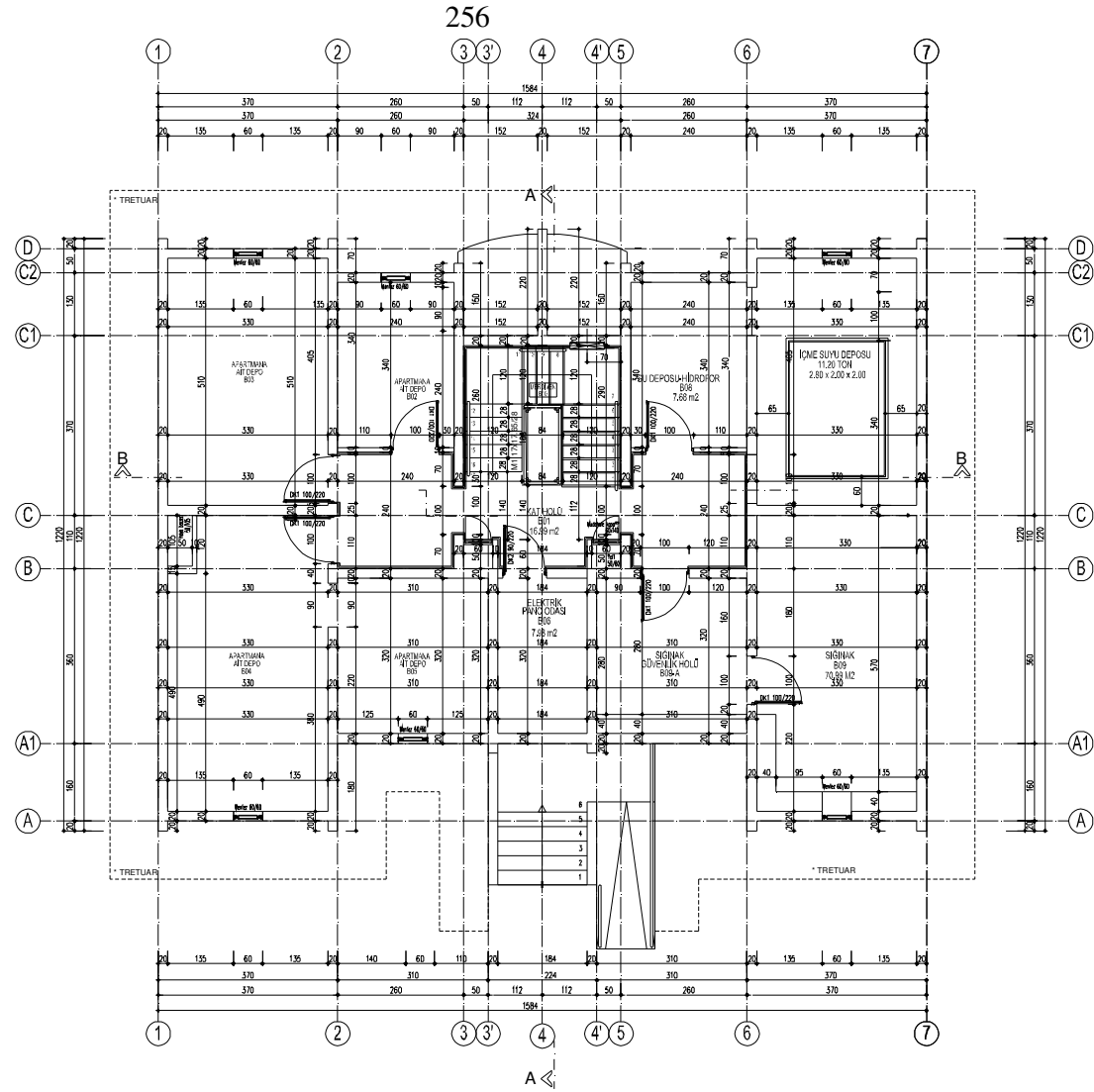
Şekil B.26. L3H3B10 Duvar Modeli Çatlakların Dağılımı



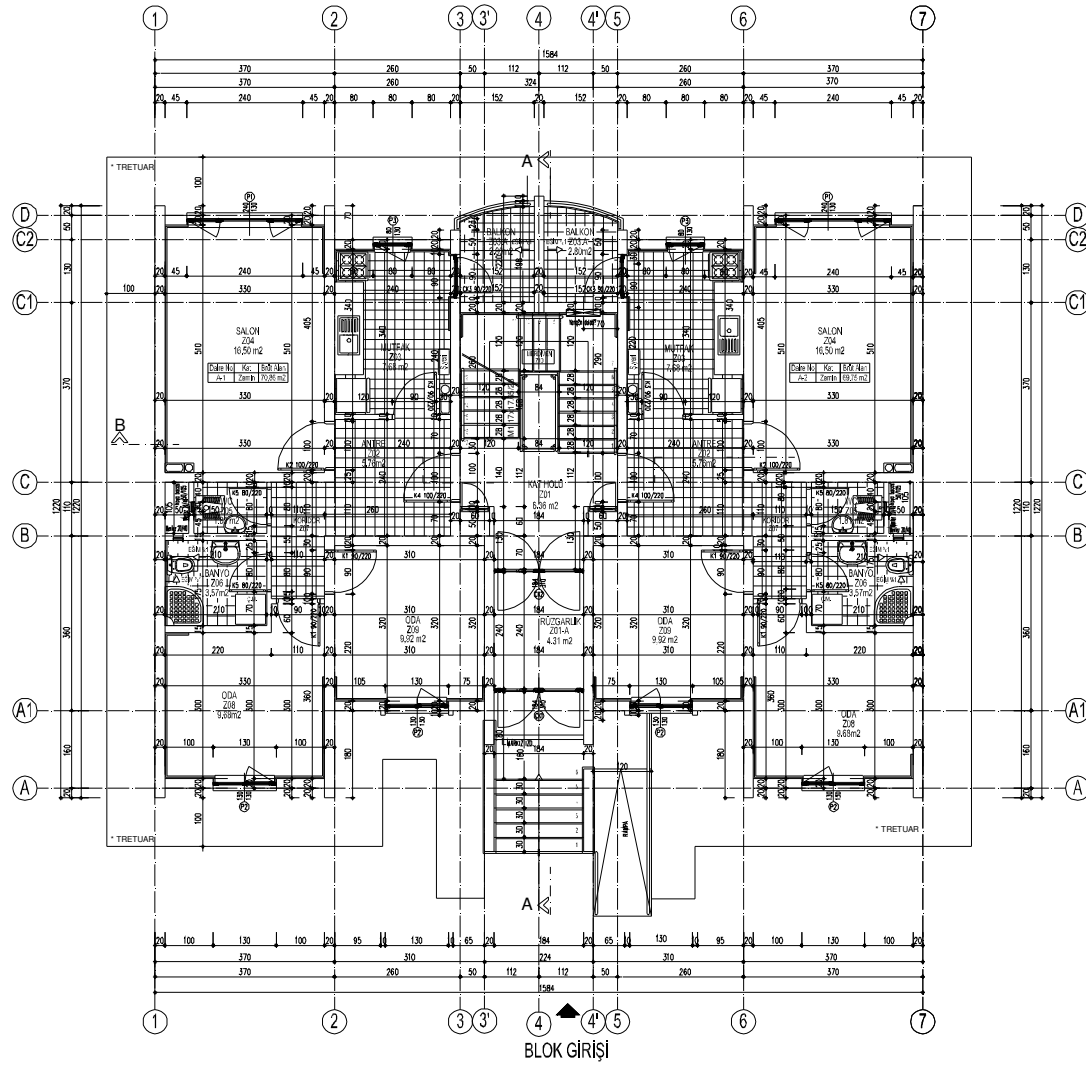
Şekil B.27. L3H3B10 Duvar Modeli Donatı Gerilme Dağılımı

EK C

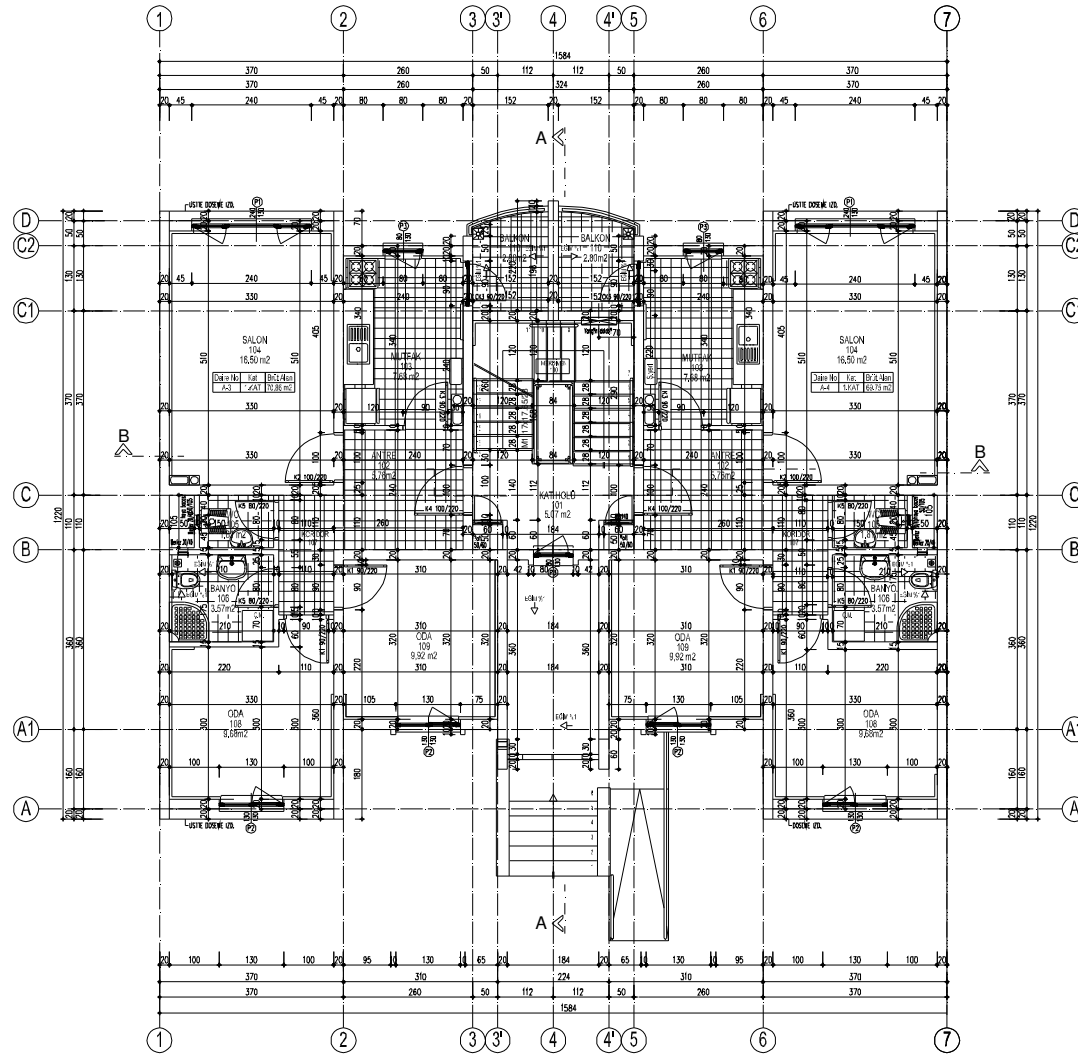
**EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR SİSTEMİNİN
MALİYET ANALİZİNDE KULLANILAN 2 NOLU ÖRNEK KONUT PROJESİ**



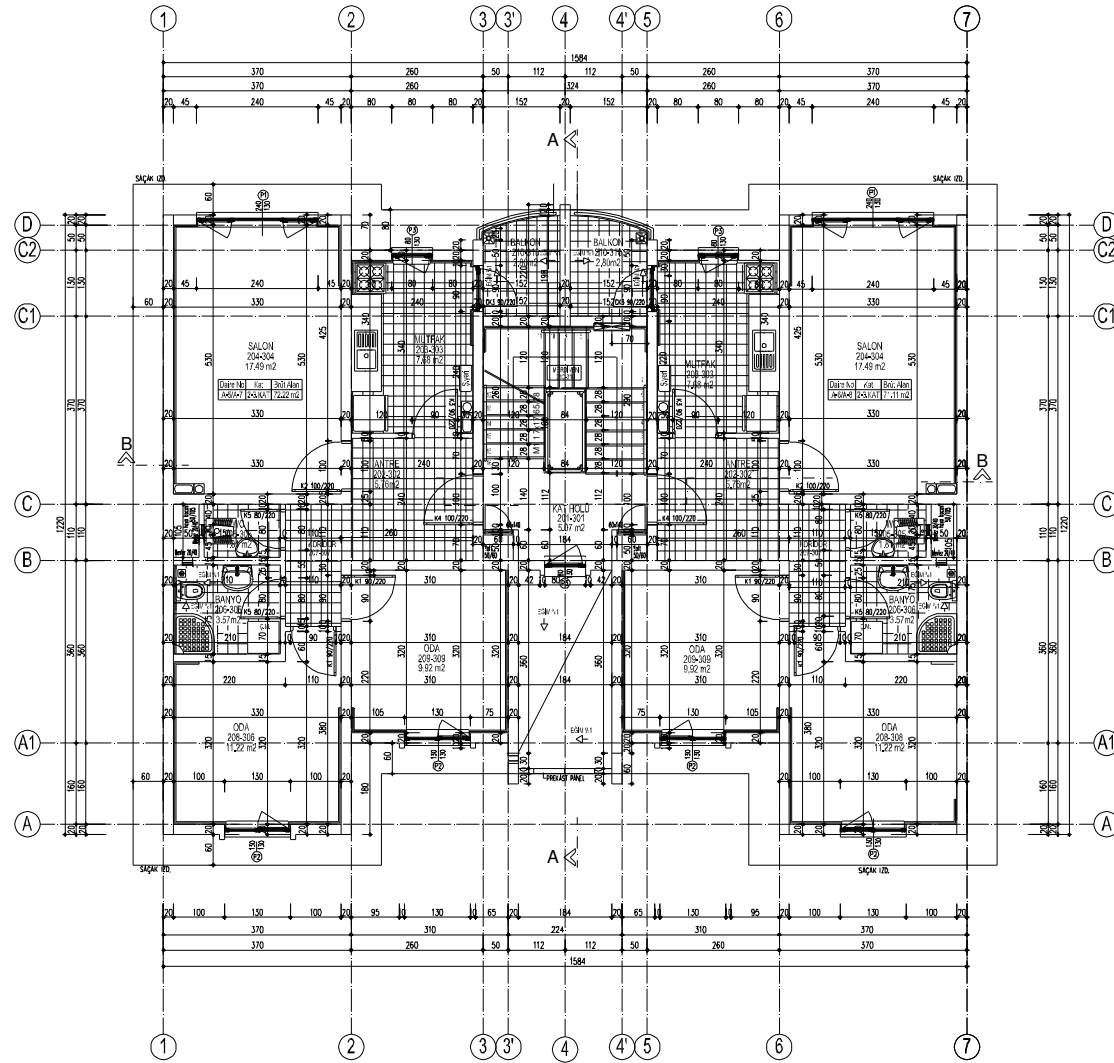
Şekil C.1. 2 nolu Proje Bodrum Kat Planı



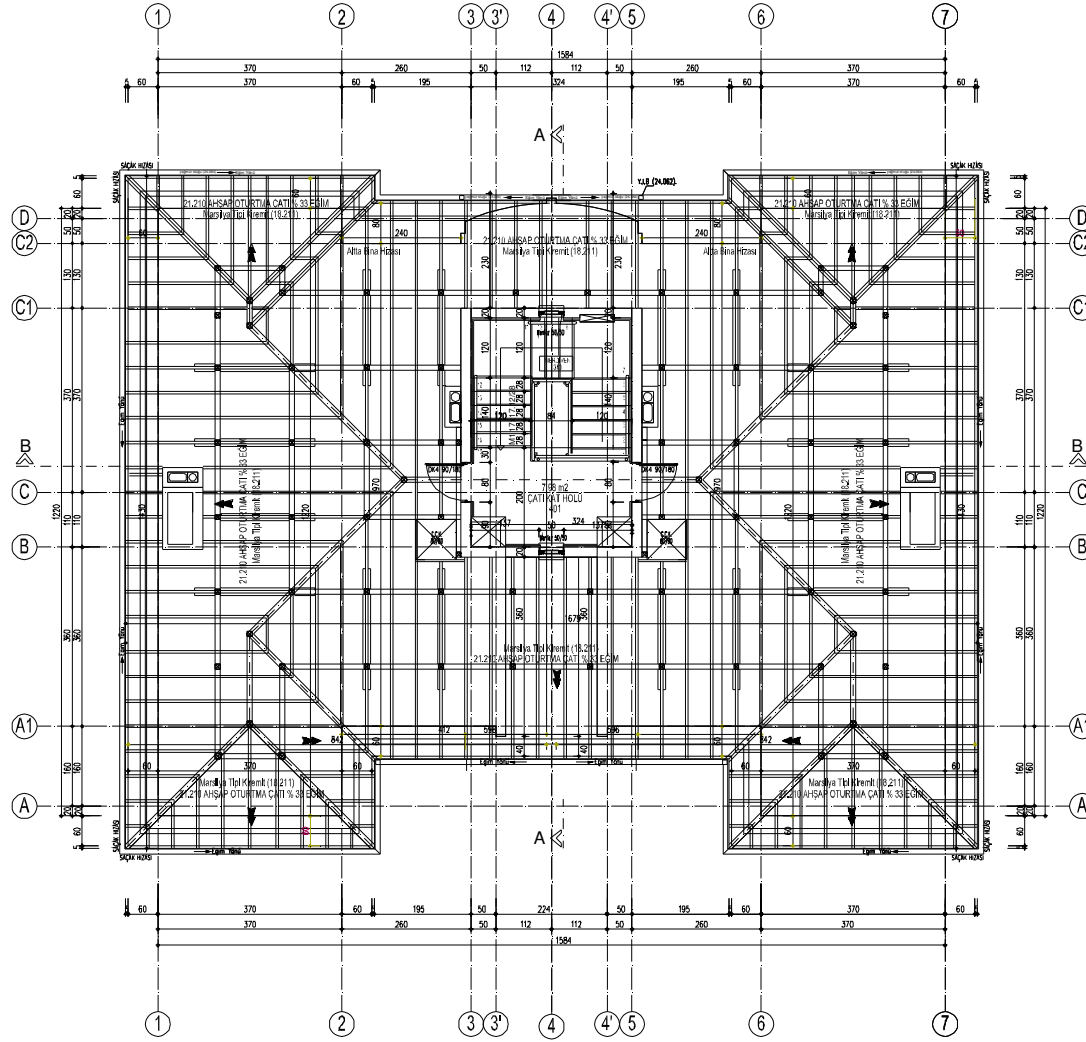
Şekil C.2. 2 nolu Proje Zemin Kat Planı



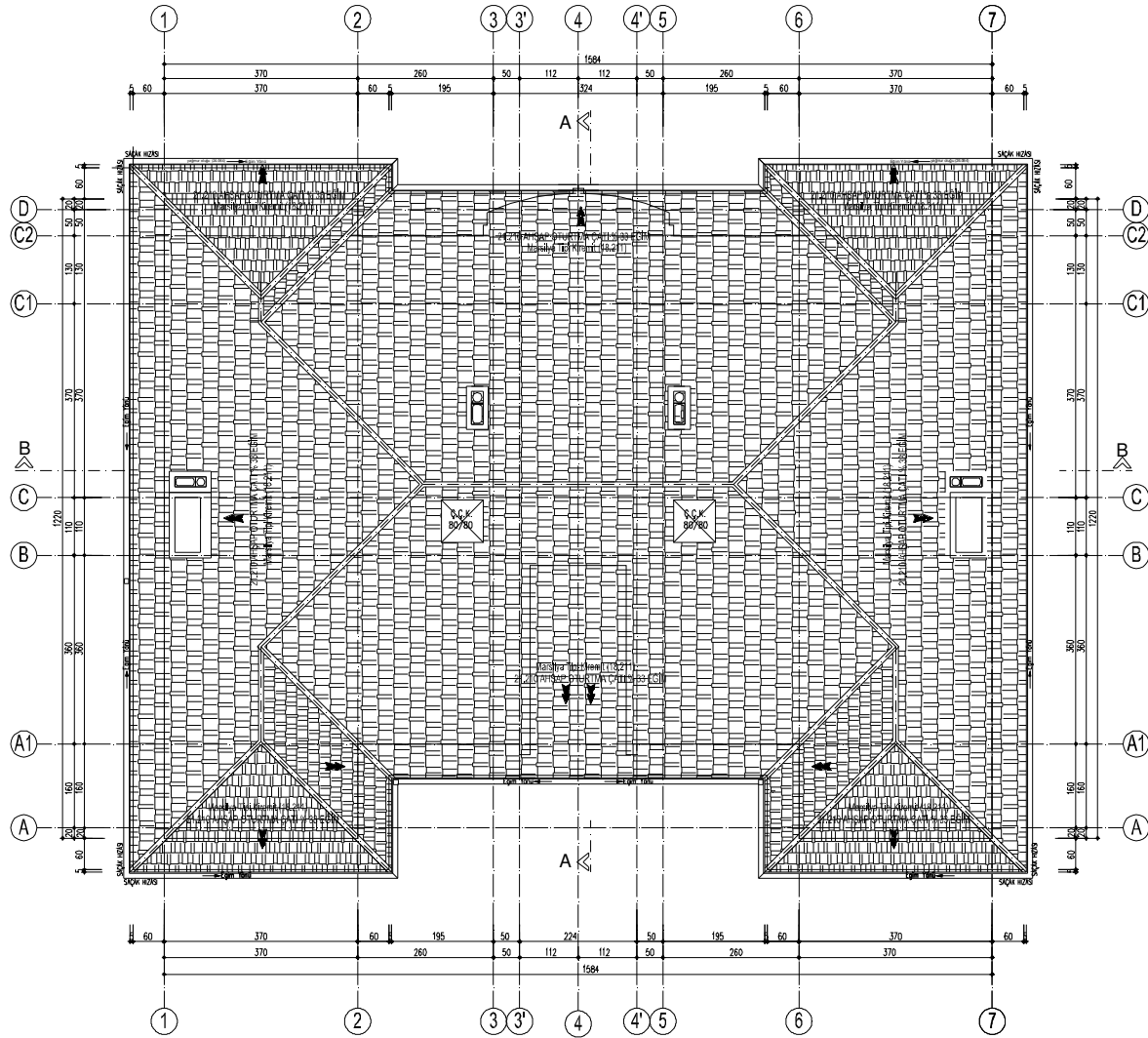
Şekil C.3. 2 nolu Proje 1.Normal Kat Planı



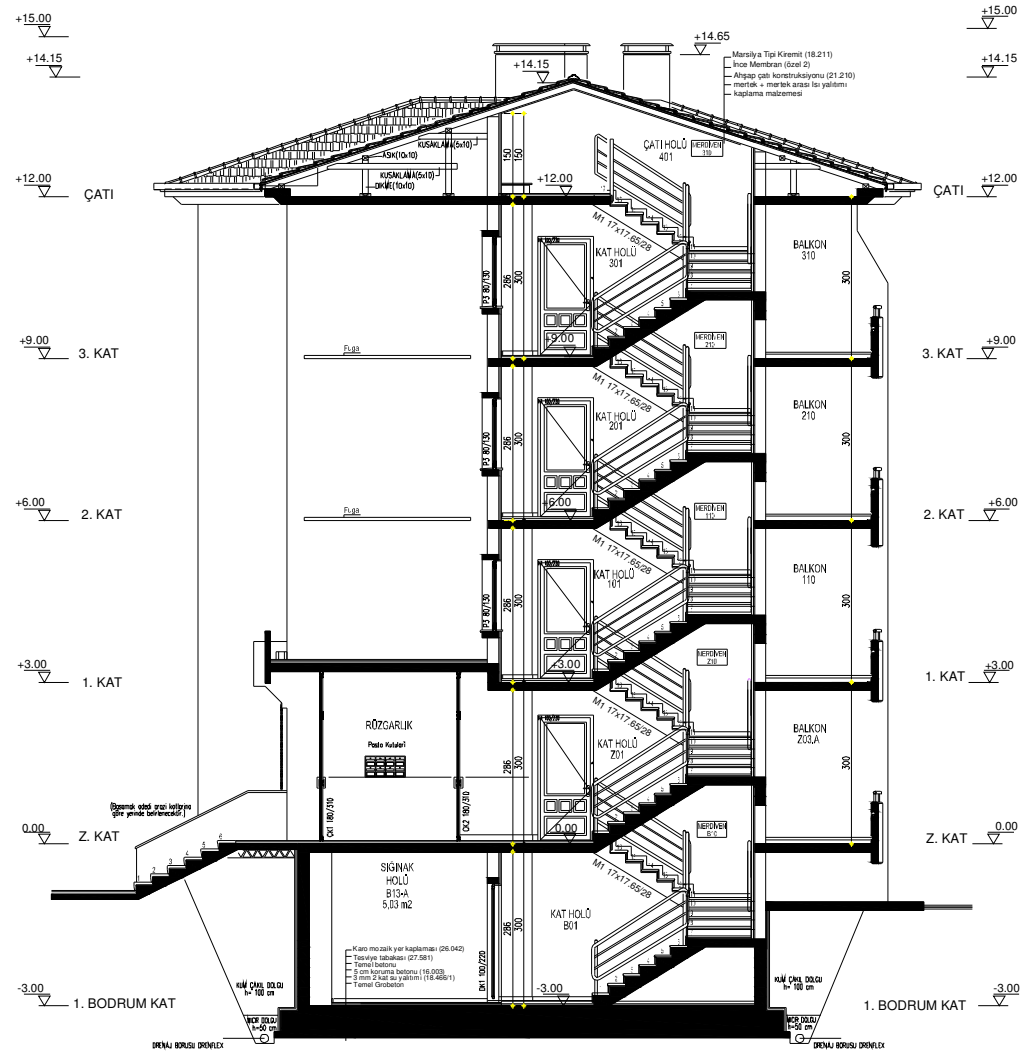
Şekil C.4. 2 nolu Proje 2. ve 3. Normal Kat Planı



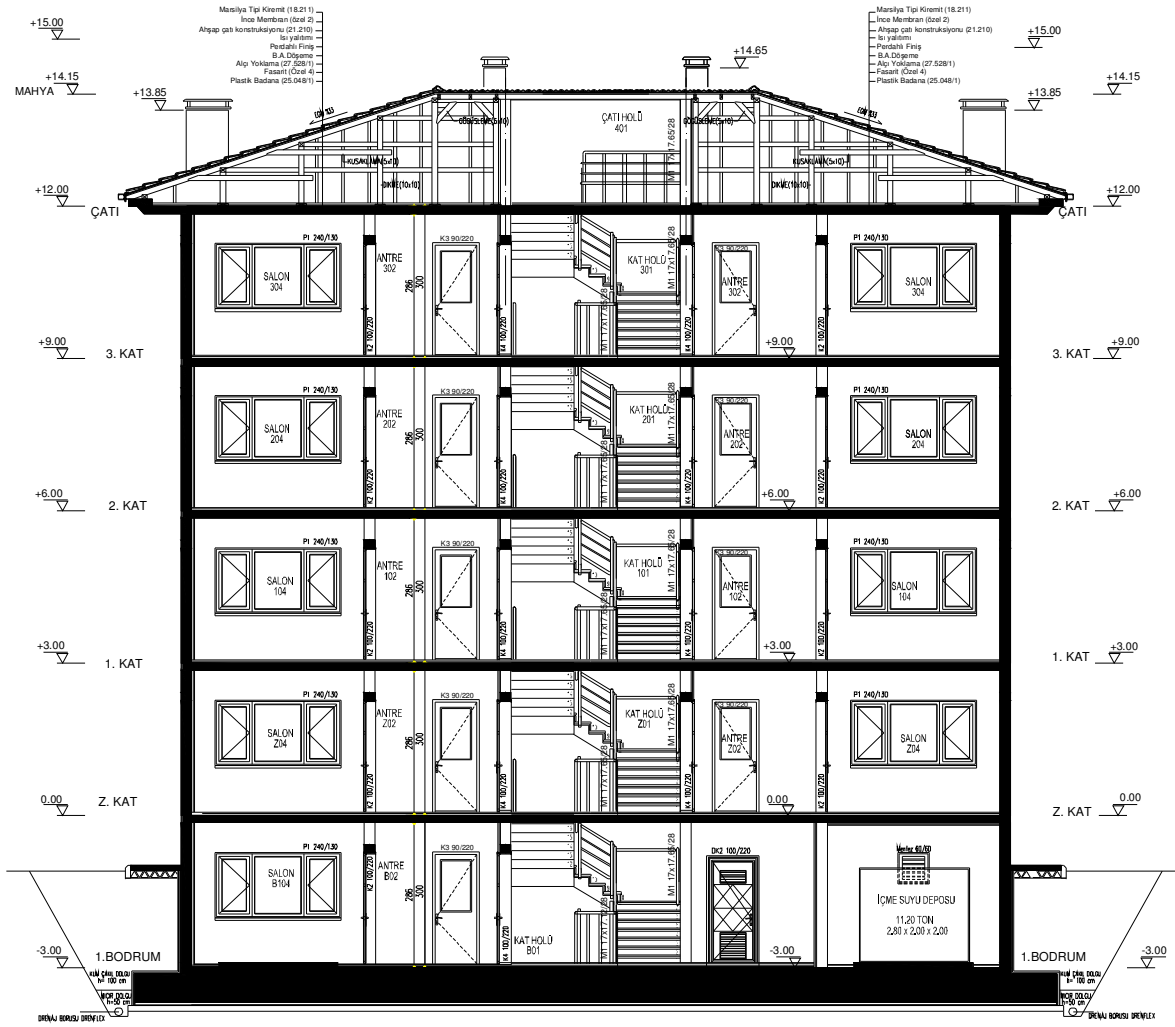
Şekil C.5. 2 nolu Proje Çatı Katı Planı



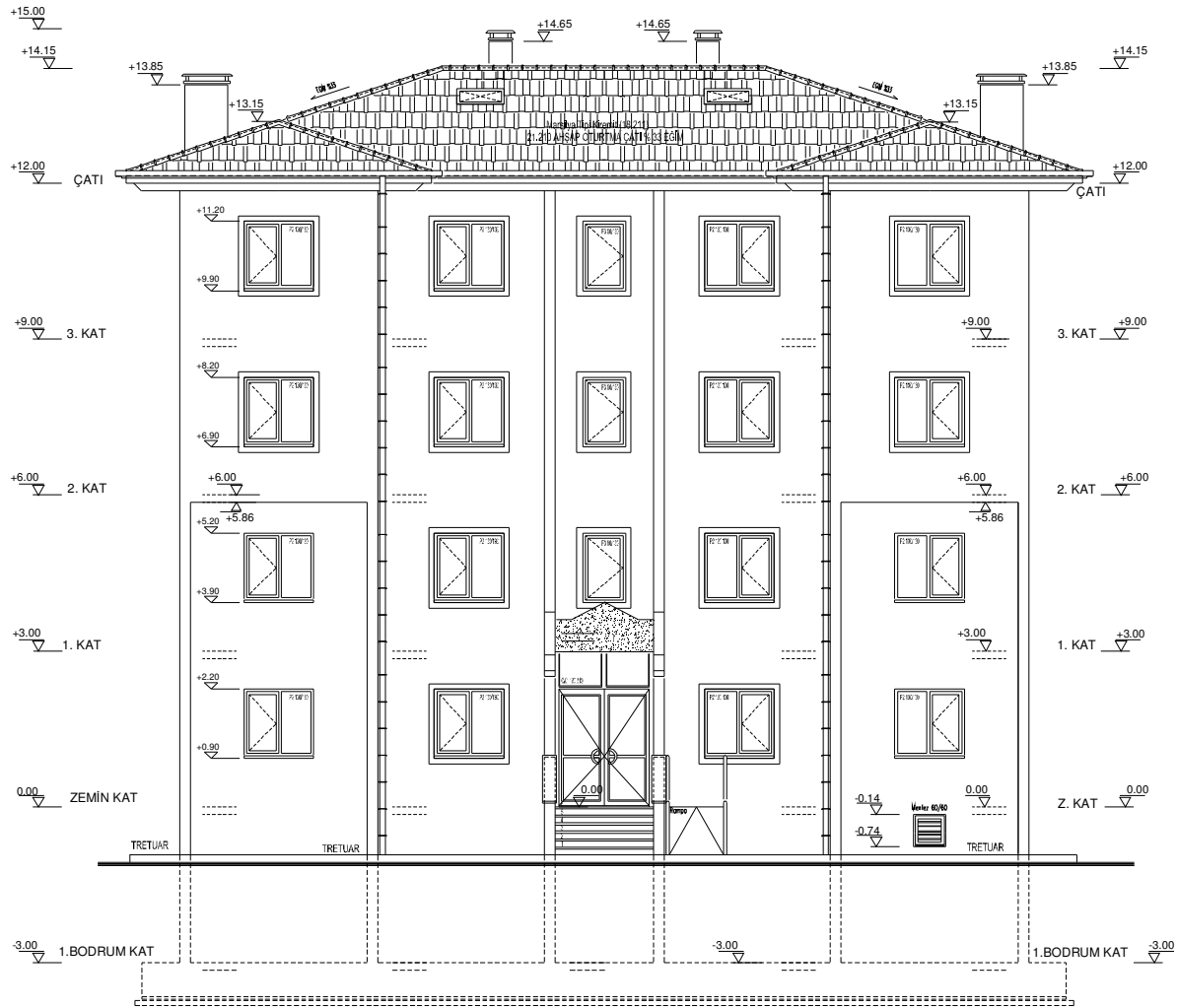
Şekil C.6. 2 nolu Proje Çatı Planı



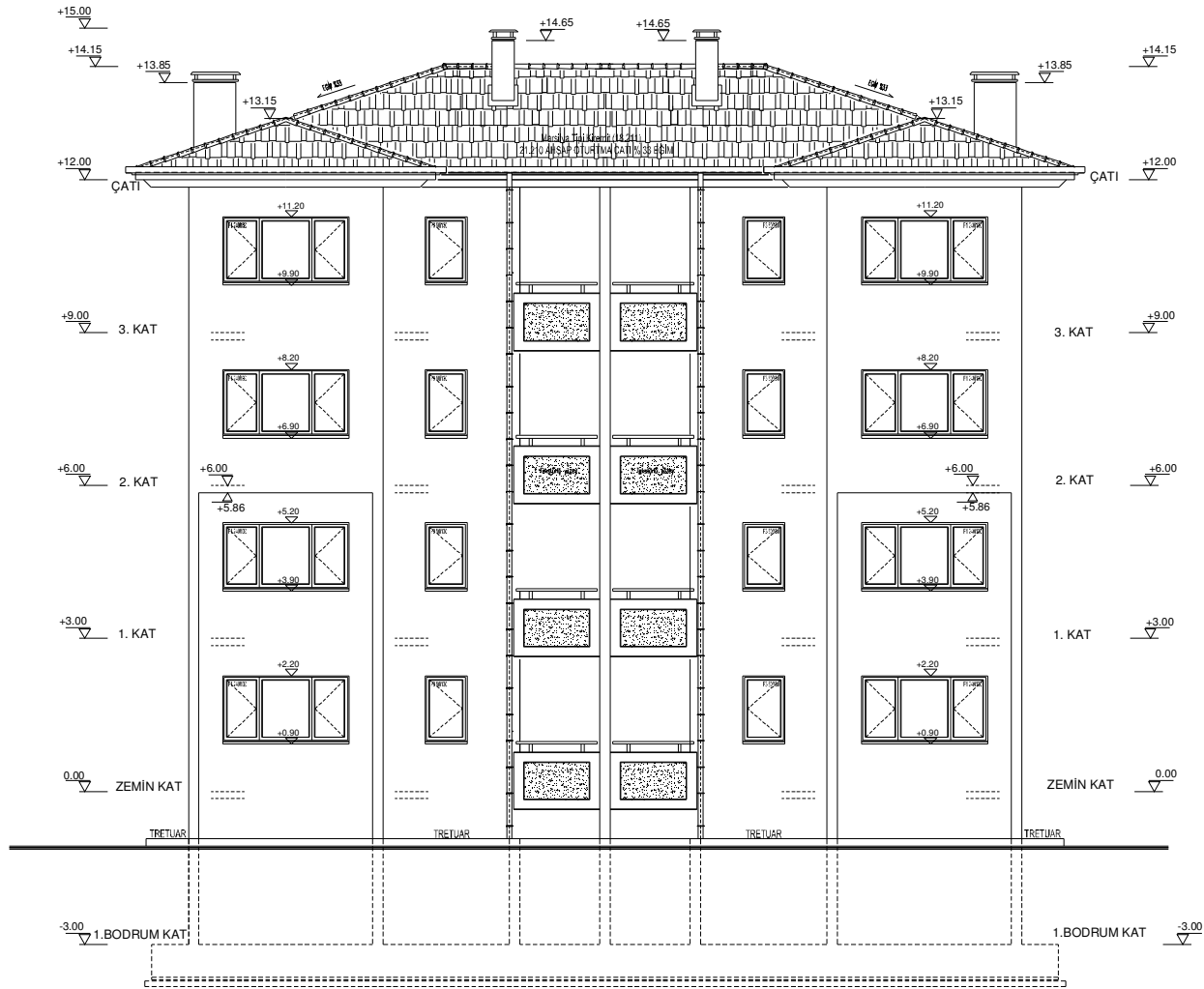
Şekil C.7. 2 nolu Proje A-A Kesiti



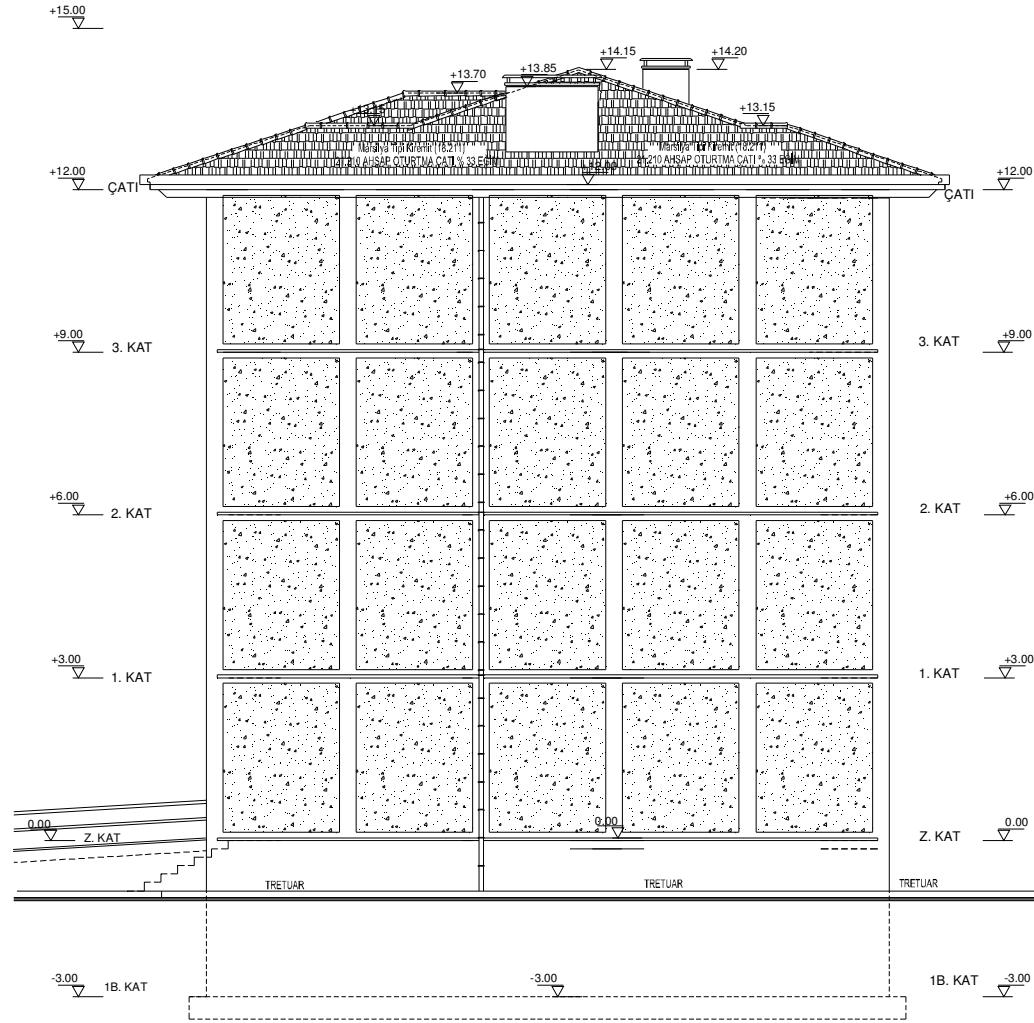
Şekil C.8. 2 nolu Proje B-B Kesiti



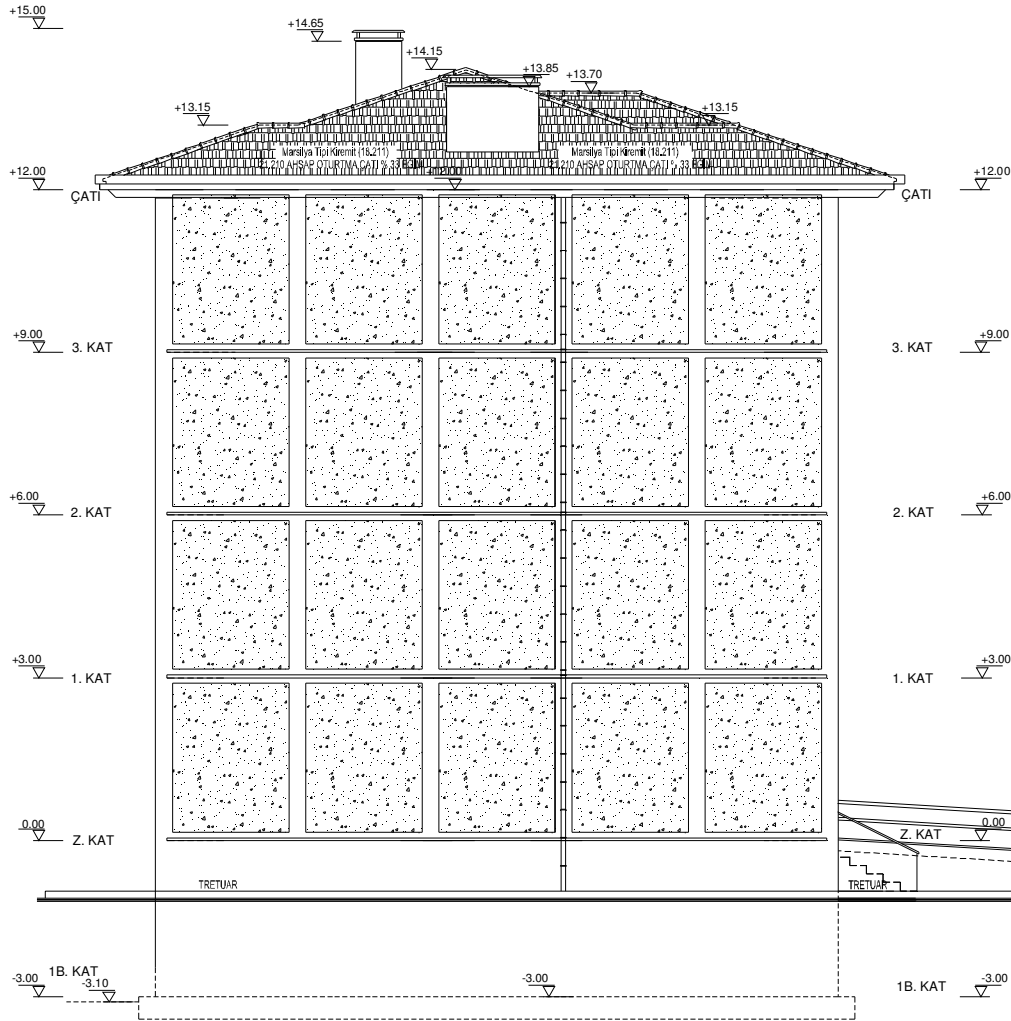
Şekil C.9. 2 nolu Proje Ön Görünüşü



Şekil C.10. 2 nolu Proje Arka Görünüşü



Şekil C.11. 2 nolu Proje Sağ Yan Görünüşü



Şekil C.12. 2 nolu Proje Sol Yan Görünüşü

EK D

**EPS YALITIM KALIPLI DONATILI BETON TAŞIYICI DUVAR
SİSTEMİ MALİYET ANALİZİNDE KULLANILAN 2011 YILI İNŞAAT
BİRİM FİYAT ANALİZLERİ**

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
16.058/1A	Satın alınan ve beton pompasıyla basılan, basınç dayanım sınıfı C 20/25 (BS 20) olan hazır beton dökülmesi (beton nakli dâhil)	m ³	
<p>Tanımı/Tarifi</p> <p>Yıkılmış, elenmiş ve/veya kırılmış gronülometrik agrega ile projesinde öngörülen mukavemeti sağlayacak şekilde hazırlanmış ve basınç dayanımı C 30/37 olan hazır beton harcının satın alınması, trans mikserlere yüklenmesi, işyerine kadar nakli, döküm yerine beton pompası ile basılması, serilmesi, vibratör ile sıkıştırılması, gerektiğinde sulanması, soğuktan, sıcaktan ve diğer dış tesirlerden korunması, gerekli ve yeter sayıda deney için numune alınması ve gerekli deneylerin yapılması, her türlü işçilik, malzeme ve zayıtı, makine araç, gereç ve laboratuvar giderleri, işyerindeki her türlü yatay ve düşey taşımalar, yükleme ve boşaltmalar, betonun şantiyeye nakli ile müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, yerinde dökülmüş ve basınç dayanımı C 30/37 betonun 1 m³ fiyatıdır.</p> <p>Ölçü</p> <p>Projedeki boyutlar üzerinden hesaplanır.</p> <p>Not</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Hazır betonlar "TSEK" belgeli üreticilerden temin edilecektir. 2) Hazır beton harcına giren çimento miktarı beton sınıflarına bağlı olarak deneylerle belirlenir. 3) Pompa kullanılmaması halinde, pompaj bedeli düşülür. 4) Çimento fiyat farkı hesabına esas olmak üzere birim fiyat listesinin sonundaki hazır beton, harçlarına ait çimento girdi tablosu esas alınacaktır. 			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
04.043/1-A	C 20/25 beton harcı (BS.20)	1.000000	m ³
04.031	Su	0.400000	m ³
	İşçilik: Serilmesi, sıkıştırılması ve korunması karşılığı		
01.015	Betoncu ustası	0.150000	Sa
01.501	Düz işçi	0.300000	Sa
03.527	Vibratör	0.050000	Sa
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			
Analiz Not			
Uygun katkı maddesi kullanılması halinde, bedeli ilgili pozlardan ayrıca ödenecektir.			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
16.059/1A	Satın alınan ve beton pompasıyla basılan, basınç dayanım sınıfı C 30/37 (BS 30) olan hazır beton dökülmesi (beton nakli dâhil)	m ³	
<p>Tanımı/Tarifi</p> <p>Yıkılmış, elenmiş ve/veya kırılmış gronülometrik agrega ile projesinde öngörülen mukavemeti sağlayacak şekilde hazırlanmış ve basınç dayanımı C 30/37 olan hazır beton harcının satın alınması, trans mikserlere yüklenmesi, işyerine kadar nakli, döküm yerine beton pompası ile basılması, serilmesi, vibratör ile sıkıştırılması, gerektiğinde sulanması, soğuktan, sıcaktan ve diğer dış tesirlerden korunması, gerekli ve yeter sayıda deney için numune alınması ve gerekli deneylerin yapılması, her türlü işçilik, malzeme ve zayıtı, makine araç, gereç ve laboratuar giderleri, işyerindeki her türlü yatay ve düşey taşımalar, yükleme ve boşaltmalar, betonun şantiyeye nakli ile müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, yerinde dökülmüş ve basınç dayanımı C 30/37 betonun 1 m³ fiyatı:</p> <p>Ölçü</p> <p>Projedeki boyutlar üzerinden hesaplanır.</p> <p>Not</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Hazır betonlar "TSEK" belgeli üreticilerden temin edilecektir. 2) Hazır beton harcına giren çimento miktarı beton sınıflarına bağlı olarak deneylerle belirlenir. 3) Pompa kullanılmaması halinde, pompaj bedeli düşülür. 4) Çimento fiyat farkı hesabına esas olmak üzere birim fiyat listesinin sonundaki hazır beton, harçlarına ait çimento girdi tablosu esas alınacaktır. 			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
04.045/A	C 30/37 beton harcı (BS.30)	1.000000	m ³
04.031	Su	0.400000	m ³
	İşçilik: Serilmesi, sıkıştırılması ve korunması karşılığı		
01.015	Betoncu ustası	0.150000	Sa
01.501	Düz işçi	0.300000	Sa
03.527	Vibratör	0.050000	Sa
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			
Analiz Not			
Uygun katkı maddesi kullanılması halinde, bedeli ilgili pozlardan ayrıca ödenecektir.			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
18.071/1/MK	Yatay delikli fabrika tuğlası (19x19x8,5 cm) ile 250 doz çimento harçlı yarım tuğla duvar yapılması	m ²	
Tanımı/Tarifi			
(19x19x8,5cm) ebadında yatay delikli fabrika tuğlası ve 0,020 m ³ harç (Poz No: 10.004–10.004/MK) ile projesine uygun olarak yatay delikli yarım tuğla duvar yapılması, lüzumunda sulanması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayıatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, yatay delikli yarım tuğla duvar yapılmasının 1 m ² fiyatı:			
Ölçü			
Projesindeki boyutlar üzerinden hesaplanır. Bütün boşluklar düşülür.			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
04.018/B	Tuğla	26.000000	Ad
10.004/MK	250 dozlu harç	0.020000	m ³
04.031	Su	0.010000	m ³
	İşçilik: Yapılması		
01.013	Duvarcı ustası	0.400000	Sa
01.501	Düz işçi	0.800000	Sa
01.501	Düz işçi	0.250000	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)		
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
18.071/2/MK	Yatay delikli fabrika tuğlası (19x19x13,5 cm) ile 200 doz çimento harçlı duvar yapılması	m ³	
Tanımı/Tarifi			
(19x19x13,5cm) ebadında yatay delikli fabrika tuğlası ve 0,126 m ³ harç (Poz No: 10.003–10.003/MK) ile projesine uygun olarak yatay delikli tuğla duvar yapılması, lüzumunda sulanması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayıatı, işçilik, araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, yatay delikli tuğla duvar yapılmasının 1 m ³ fiyatı:			
Ölçü			
Projesindeki boyutlar üzerinden hesaplanır. Bütün boşluklar düşülür.			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
04.018/C	Tuğla	180.000000	Ad
10.003/MK	200 dozlu harç	0.126000	m ³
04.031	Su	0.025000	m ³
	İşçilik: Yapılması		
01.013	Duvarcı ustası	2.000000	Sa
01.501	Düz işçi	3.250000	Sa
01.501	Düz işçi	1.650000	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)		
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
18.081/3/MK	Düşey delikli fabrika tuğlası (19x19x13,5 cm) ile 200 doz çimento harçlı taşıyıcı duvar yapılması	m ³	
<p>Tanımı/Tarifi</p> <p>(19x19x13,5cm) ebadında düşey delikli fabrika tuğlası ve 0,157 m³ harç (Poz No: 10.003-10.003/MK) ile projesine uygun olarak düşey delikli tuğla duvar yapılması, lüzumunda sulanması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayiata, işçilik, araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, düşey delikli tuğla duvar yapılmasının 1 m³ fiyatı:</p> <p>Ölçü</p> <p>Projesindeki boyutlar üzerinden hesaplanır. Bütün boşluklar düşülür.</p> <p>Not</p> <p>Duvar içindeki 0,10 m² den küçük boşluklar düşülmez. Soba bacası için ayrı bedel verilmez. Soba bacası boşluğu düşülmez.</p>			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
04.018/F	Tuğla	180.000000	Ad
10.003/MK	200 dozlu harç	0.157000	m ³
04.031	Su	0.025000	m ³
	İşçilik: Yapılması		
01.013	Duvarcı ustası	2.000000	Sa
01.501	Düz işçi	3.250000	Sa
01.501	Düz işçi	1.650000	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)		
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
21.001	Ahşaptan yapılan seri kalıp (plaklar, palplanş, kazık, tahkimat blokları, babalar, bordürler, saha betonları, her türlü lentolar, merdiven basamakları ve benzeri işler için)	m ²	
Tanımı/Tarifi			
Seri halinde yapılan ve yerde dökülüp kullanılacağı yere taşınan beton ve betonarme münferit yapım işleri için, iç yüzleri rendelenmiş ve yağlanmış ahşaptan seri kalıp yapılması, sökülmesi, temizlenmesi için gerekli her türlü malzeme ve zayıtı ile işçilik, müteahhit genel giderleri ve kâr dâhil, m ² fiyatı:			
Ölçü			
Kalıp gören yüzler projesinden veya yerinde ölçülerek hesaplanır.			
Not			
Kalıplardan çıkan malzeme müteahhide aittir.			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
	Tahta 0.030/10 = 0.003		
	Kadron 0.020/10 = 0.002, Toplam: 0.005		
04.152	Çam kerestesi (II. sınıf)	0.005000	m ³
04.270	Çivi	0.050000	Kg
	(Bağlantı malzemesi blonlama karşılığı)		
04.110/1	Yanmış yağ	0.100000	Kg
	İşçilik: Yapılması, rendelenmesi		
01.017	Dülger ustası	0.050000	Sa
01.501	Düz işçi	0.050000	Sa
	Kurulma, yağlama, sökülme, temizleme		
01.009	Marangoz ustası	0.250000	Sa
01.501	Düz işçi	0.250000	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)		
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kâr			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
21.011	Düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı (sıva, taş ve benzeri kaplama malzemesi ile kaplanacak beton ve betonarme yüzeylerde)	m ²	
<p>Tanımı/Tarifi</p> <p>Düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapım işleri için idarece gerekli görüldüğünde onaylanmış projelerine göre ağaçtan kalıp yapılması, sökülmesi, bu işler için gerekli tahta, mesnet, kadronlar, kuşaklar, destekler, çivi, tel, benzeri gereçler, malzeme ve zayıyatı ile işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı:</p> <p>Ölçü</p> <p>Kalıp gören yüzler projesinden veya yerinde ölçülerek hesaplanır. Boşluk hacmi çıkarılmayan imalât deliklerinin çevre kalıpları ölçüye dâhil edilmez. Deliğin kalıp tarafındaki yüzünden delik boşluğu çıkarılmaz.</p> <p>Not</p> <p>Kalıptan çıkan malzeme müteahhide aittir.</p>			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
	Tahta 0.025/3 = 0.008		
	Kadron 0.020/5 = 0.004, Toplam: 0.012		
04.152	Çam kerestesi (II. sınıf)	0.012000	m ³
04.270	Çivi	0.100000	Kg
04.110/1	Yanmış yağ	0.100000	Kg
	İşçilik: Yapılması, rendelenmesi		
01.017	Dülger ustası	0.750000	Sa
01.501	Düz işçi	0.750000	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)		
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi																																																				
21.054	En yüksek noktası (yüksekliği) 4 m'ye kadar olan yapı ve sınaî imalata (köprüler hariç) ait ahşap kalıp iskelesi (4.00 m dâhil)	m ³																																																				
<p>Tanımı/Tarifi İdarece lüzum görüldüğünde onaylanmış projesine göre yüksekliği bu poz kapsamına giren yapı ve sınaî imalâta ahşap taşıyıcı iskele yapılması, sökülmesi, bu işler için gerekli her türlü malzeme ve zayıyatı, işçilik ve iş yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m³ fiyatı:</p> <p>Ölçü 1) Bu ölçü kapsamına giren yapı ve sınaî imalâtın kalıp gören yüzü ile iskelenin isnat ettiği zemin arasındaki boşluk hesaplanır. Tavan meyilli olduğu takdirde vasati irtifa esas alınır. 2) Bu poz tünel veya galerilere uygulandığında galeri veya tünel kemerinin alt yüzeyi ile iskelenin isnat ettiği zemin arasındaki boşluk hesaplanır. 3) Bu ölçü kapsamına giren su deposu inşaatı iskelelerinde bu poz uygulanır. Bu takdirde beton su deposu tavanı ile iskelenin isnat ettiği zemin arasındaki boşluk hesaplanır. 4) Döşeme ile birlikte inşa edilmeyen çerçeve, kiriş ve kolonlar için gerekli taşıyıcı iskele genişliği idarece tespit edilir.</p> <p>Not 1) İskele ve kalıpta kullanılan kerestelerin hacimleri ile boşluk içindeki inşaat elemanlarının (gusseler, kiriş, kolon, perde, su deposu ve benzeri inşaat elemanlarının ..) hacimleri iskele boşluk hacminden düşülmez. 2) Tünel ve galeriler için verilecek uzunluk ve diğer tünel zamları belli oranda bu pozlara da uygulanır. 3) Yapılarda betonarme saçak, balkon, beton, betonarme istinad duvarları, perdeler ve benzeri imalâtın kalıplarını, tutan, taşıyan üçgen şeklindeki iskele boşluk hacimleri hesaplanır. Üçgen yatay boyu kalıp yüksekliğinin yarısından fazla olamaz. 4) Bir metreden az yükseklikteki beton duvar ters kirişler genişliği 0.50 mden az olan portafo ve saçaklar ve açıklığı 1,50 m den az olan kapı pencere lentoları için iskele bedeli verilmez. 5) Betonarme tabliyeler için kalıp iskelesi kurulmuş olduğundan bina içerisinde kalan beton ve betonarme perdeler, müstakil kolonlar ve benzeri imalatlar için ayrıca kalıp iskelesi bedeli verilmez. 6) Özel kayar kalıpla yapılacak inşaat veya imalatın kalıp iskelesi için bu fiyat uygulanmaz. 7) İskeleden çıkan malzeme müteahhide aittir.</p> <p>Analiz Bilgileri</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Poz No</th> <th>Açıklama</th> <th>Miktar</th> <th>Birim</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Malzeme:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>04.152</td> <td>Çam kerestesi (II. sınıf) (Zayıyatıyla 1.00 / 5 x 0.012)</td> <td>0.002400</td> <td>m³</td> </tr> <tr> <td>04.275/1</td> <td>Bulon (15/10 x 0.012)</td> <td>0.018000</td> <td>Kg</td> </tr> <tr> <td>08.010</td> <td>Demirden basit imalat yapılması (Lama - kanca 7.5/10 x 0.012)</td> <td>0.009000</td> <td>Kg</td> </tr> <tr> <td>04.270</td> <td>Çivi (2.50 x 0.012)</td> <td>0.030000</td> <td>Kg</td> </tr> <tr> <td></td> <td>İşçilik: Yapılması</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01.017</td> <td>Dülger ustası (7 x 0.012)</td> <td>0.084000</td> <td>Sa</td> </tr> <tr> <td>01.501</td> <td>Düz işçi (3 x 0.012)</td> <td>0.036000</td> <td>Sa</td> </tr> <tr> <td></td> <td>İşçilik: Sökülmesi</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01.017</td> <td>Dülger ustası (3 x 0.012)</td> <td>0.036000</td> <td>Sa</td> </tr> <tr> <td>01.501</td> <td>Düz işçi (2 x 0.012)</td> <td>0.024000</td> <td>Sa</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı</p>			Poz No	Açıklama	Miktar	Birim		Malzeme:			04.152	Çam kerestesi (II. sınıf) (Zayıyatıyla 1.00 / 5 x 0.012)	0.002400	m ³	04.275/1	Bulon (15/10 x 0.012)	0.018000	Kg	08.010	Demirden basit imalat yapılması (Lama - kanca 7.5/10 x 0.012)	0.009000	Kg	04.270	Çivi (2.50 x 0.012)	0.030000	Kg		İşçilik: Yapılması			01.017	Dülger ustası (7 x 0.012)	0.084000	Sa	01.501	Düz işçi (3 x 0.012)	0.036000	Sa		İşçilik: Sökülmesi			01.017	Dülger ustası (3 x 0.012)	0.036000	Sa	01.501	Düz işçi (2 x 0.012)	0.024000	Sa		(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)		
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim																																																			
	Malzeme:																																																					
04.152	Çam kerestesi (II. sınıf) (Zayıyatıyla 1.00 / 5 x 0.012)	0.002400	m ³																																																			
04.275/1	Bulon (15/10 x 0.012)	0.018000	Kg																																																			
08.010	Demirden basit imalat yapılması (Lama - kanca 7.5/10 x 0.012)	0.009000	Kg																																																			
04.270	Çivi (2.50 x 0.012)	0.030000	Kg																																																			
	İşçilik: Yapılması																																																					
01.017	Dülger ustası (7 x 0.012)	0.084000	Sa																																																			
01.501	Düz işçi (3 x 0.012)	0.036000	Sa																																																			
	İşçilik: Sökülmesi																																																					
01.017	Dülger ustası (3 x 0.012)	0.036000	Sa																																																			
01.501	Düz işçi (2 x 0.012)	0.024000	Sa																																																			
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)																																																					

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
21.065	0-12,50 m arası yükseklikteki duvarlar için iş iskelesi kurulması (12,50 m dâhil)	m ²	
Tanımı/Tarifi			
Yapılarda dış kaplama, derz, dış sıva ve benzeri işler için yapılan sabit ya da gezgin, ayaklı iskeleler, ya da asma iş iskelesi gibi geçici tesisler ve servis için kullanılmak üzere iş iskelesinin yapılması, sökülmesi, her türlü malzeme ve zayıtı, işçilik, iş yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m ² fiyatı:			
Ölçü			
1) Duvar, duvar kaplaması, sıva, derz ve benzeri işler için kullanıldığı takdirde: İskelenin oturduğu yüzey ile saçak alt yüzeyi arasındaki aralık yükseklik, iskele kurulan binanın dışının zemin kattaki uzunluğu genişlik olarak alınır. Genişlik ile yüksekliğin çarpımı iş iskelesi alanı kabul edilir.			
2) İş iskeleleri, binada bir kısım işe ayrılmış ise, iskele kurulması gereken kısımlarda, iskelenin oturduğu zemin ile yapılan işin üst kenarı arasındaki yüzey iskele alanı olarak kabul edilir.			
Not			
1) Tavan için iskele kurulmuş ve bedeli verilmiş ise tavanı çevreleyen duvar için ayrıca iskele bedeli verilmez.			
2) Bir yerde kurulan iş iskelesi o mahaldeki bütün iskelelik işler için yapıldığı kabul edilir ve iş iskelesi bedeli bir kere verilir.			
3) Bu poz. 3 m den yüksek duvar inşaatıyla, bu nitelikteki münferit inşaatlara uygulanır.			
4)Yüksekliği 3m ve 3 m den aşağı olan inşaatlara iş iskelesi ödenmez.			
5) İskeleden çıkan malzeme müteahhide aittir.			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
04.152	Çam kerestesi (II. sınıf) (1.00/15 x 0.015)	0.001000	m ³
04.275/1	Bulon (15/15 x 0.015)	0.015000	Kg
08.010	Demirden basit imalat yapılması (Lama 7.5/15 x 0.015)	0.007500	Kg
04.270	Çivi (2 x 0.015)	0.030000	Kg
	İşçilik: Yapılması, sökülmesi		
01.017	Dülger ustası (15 x 0.015)	0.225000	Sa
01.501	Düz işçi (5x 0.015)	0.075000	Sa
01.501	Düz işçi (İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)	0.250000	Sa
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi		
23.014	Ø8-Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğunun bükülmesi, yerine konulması	Ton		
Tanımı/Tarifi				
<p>Nervürlü beton çelik çubuğunun detay projesine göre kesilip bükülerek hazırlanması yerine konması, bağlanması için demir, bağlama teli ve gerekli her türlü malzeme ve zayıyatı, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 ton fiyatı:</p>				
Ölçü				
<p>1) Betonarme detay resimlerine göre kroşeler ile birlikte demirin boyu ölçülür. 2) Çelik çubukların ağırlıkları aşağıdaki cetvelden alınır. 3) Projede gösterilmeyen çelik çubuklar ve ekler hesaba katılmaz. 4) Cetveldeki (m) ağırlıkları hesaba esastır. Bağlama teli, çelik çubuk sıraları arasında kullanılacak çelikler ve zayıyat analizde dikkate alındığından, ayrıca ödeme yapılmaz.</p>				
	Çap Ø mm	Br. Ağ. Kg/m	Çap Ø mm	Br. Ağ. Kg/m
	6	0.222	26	4.168
	8	0.395	28	4.834
	10	0.617	30	5.549
	12	0.888	32	6.313
	14	1.208	34	7.127
	16	1.578	36	7.990
	18	1.998	38	8.903
	20	2.466	40	9.865
	22	2.984	45	12.485
	24	3.551	50	15.413
Analiz Bilgileri				
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim	
	Malzeme:			
04.253	Beton çelik çubuğu (Bağlama teli ve diğer zayıyat dâhil)	1100.0000	Kg	
	İşçilik: Yapılması			
01.019	Soğuk demirci ustası	30.000000	Sa	
01.219	Soğuk demirci usta yardımcısı	45.000000	Sa	
01.501	Düz işçi	25.000000	Sa	
01.501	Düz işçi	15.000000	Sa	
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)			
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı				

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi		
23.015	Ø14-Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğunun bükülmesi, yerine konulması.	Ton		
Tanımı/Tarifi				
<p>Nervürlü beton çelik çubuğunun detay projesine göre kesilip bükülerek hazırlanması yerine konması, bağlanması için demir, bağlama teli ve gerekli her türlü malzeme ve zayıtı, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 ton fiyatı:</p>				
Ölçü				
<p>1) Betonarme detay resimlerine göre kroşeler ile birlikte demirin boyu ölçülür. 2) Çelik çubukların ağırlıkları aşağıdaki cetvelden alınır. 3) Projede gösterilmeyen çelik çubuklar ve ekler hesaba katılmaz. 4) Cetveldeki (m) ağırlıkları hesaba esastır. Bağlama teli, çelik çubuk sıraları arasında kullanılacak çelikler ve zayıt analizde dikkate alındığından, ayrıca ödeme yapılmaz.</p>				
	Çap Ø mm	Br. Ağ. Kg/m	Çap Ø mm	Br. Ağ. Kg/m
	6	0.222	26	4.168
	8	0.395	28	4.834
	10	0.617	30	5.549
	12	0.888	32	6.313
	14	1.208	34	7.127
	16	1.578	36	7.990
	18	1.998	38	8.903
	20	2.466	40	9.865
	22	2.984	45	12.485
	24	3.551	50	15.413
Analiz Bilgileri				
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim	
	Malzeme:			
04.254	Beton çelik çubuğu (Bağlama teli ve diğer zayıt dâhil)	1100.0000	Kg	
	İşçilik: Yapılması			
01.019	Soğuk demirci ustası	25.000000	Sa	
01.219	Soğuk demirci usta yardımcısı	35.000000	Sa	
01.501	Düz işçi	20.000000	Sa	
01.501	Düz işçi	15.000000	Sa	
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma)			
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı				

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
27.501/MK	250/300 çimento dozlu harçla düz sıva yapılması (Dış duvar yüzeyleri ile bodrum iç duvarlarında)	m ²	
Tanımı/Tarifi			
<p>1 m³ dışı kuma 250 kg çimento katılması ile hazırlanan harçla (Poz no:10.004-10.004/MK) ortalama 2 cm kalınlığında kaba sıva yapılması, üzerine 1 m³ mil kumuna 350 kg çimento ilavesiyle hazırlanan harçla (Poz no:10.006-10.006/MK) ortalama 0,8 cm kalınlığında ince sıva yapılması, duvar yüzeyinin temizlenmesi, gerekli zamanlarda sulanması, her türlü malzeme ve zayıtı, işçilik, çalışma sehpaları, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı:</p>			
Ölçü			
<p>1) Projedeki ölçülere göre, sıvanan bütün yüzler (boşluk yanları dâhil) hesaplanır. 2) Doğrama pervazları ve varsa ahşap süpürgelik altında kalan sıva yüzeyleri hesaba katılır. 3) Bütün boşluklar ve diğer cins kaplama yüzeyleri düşülür.</p>			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
10.004/MK	250 dozlu harç	0.020000	m ³
10.006/MK	300 dozlu ince harç	0.010000	m ³
04.031	Su	0.010000	m ³
	İşçilik:		
01.012	Sıvacı ustası	1.000000	Sa
01.212	Sıvacı usta yardımcısı	0.300000	Sa
01.501	Düz işçi	0.400000	Sa
01.501	Düz işçi	0.250000	Sa
	(İş yerinde yükleme, yatay, düşey taşıma, boşaltma)		
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
27.528/1A	Alçı astar (perdah) yapılması (Tamirat işlerinde)	m ²	
<p>Tanımı/Tarifi</p> <p>Tamirat yapılacak yüzeylerin; iyice yıkanıp temizlendikten sonra hazırlanan alçı harcı (Poz no:10.061/2) ile çelik mala kullanılarak düzeltilmesi, gerektiğinde zımparalanması, tozlardan temizlenmesi için her türlü malzeme ve zayıtı, işyerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı.</p> <p>Ölçü</p> <p>1) Projedeki ölçülere göre, sıvanan bütün yüzler (boşluk yanları dâhil) hesaplanır. 2) Doğrama pervazları ve varsa ahşap süpürgelik altında kalan sıva yüzeyleri hesaba katılır. 3) Bütün boşluklar ve diğer cins kaplama yüzeyleri düşülür.</p>			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
10.061/2	Saten alçı harcı	0.002000	m ³
04.031	Su	0.005000	m ³
	İşçilik:		
01.012	Sıvacı ustası	0.100000	Sa
01.501	Düz işçi	0.200000	Sa
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
27.528/2	Kaba sıva vb. yüzeyler üzerine 5 mm kalınlığında saten alçı kaplama yapılması	m ²	
Tanımı/Tarifi			
<p>Kaplanacak yüzeylerin; temizlendikten sonra hazırlanan saten alçı harcının (Poz no:10.061/2) çelik mala ile düzgün ve pürüzsüz bir yüzey elde edilinceye kadar çekilmesi, gerektiğinde zımparalanması, tozlardan temizlenmesi için her türlü malzeme ve zayıyatı, işyerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı.</p>			
Ölçü			
<p>1) Projedeki ölçülere göre, sıvanan bütün yüzler (boşluk yanları dâhil) hesaplanır. 2) Doğrama pervazları ve varsa ahşap süpürgelik altında kalan sıva yüzeyleri hesaba katılır. 3) Bütün boşluklar ve diğer cins kaplama yüzeyleri düşülür.</p>			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
10.061/2	Saten alçı harcı	0.005000	m ³
04.031	Su	0.010000	m ³
04.511	Zımpara kâğıdı	0.500000	Ad
	İşçilik:		
01.012	Sıvacı ustası	0.400000	Sa
01.501	Düz işçi	0.250000	Sa
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
27.531/1	Kireç çimento karışımı harçla düz sıva yapılması (sönmüş kireç torbalı)	m ²	
Tanımı/Tarifi			
<p>1 m³ dişli kuma 250 kg çimento ve 0,076 ton torbalı sönmüş kireç katılarak hazırlanan (Poz no:10.041/A1) harçla ortalama 2 cm kalınlığında kaba sıva yapılması, üzerine 1 m³ mil kumuna 250 kg çimento ve 0,076 ton torbalı sönmüş kireç katılarak hazırlanan harçla (Poz no:10.042/A1) ortalama 0,8 cm kalınlığında ince sıva yapılması, gerekli zamanlarda sulanması, duvar yüzeyinin temizlenmesi, her türlü malzeme ve zayıtı, işçilik, çalışma sehpaları inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı:</p>			
Ölçü			
<p>1) Projedeki ölçülere göre, sıvanan bütün yüzler (boşluk yanları dâhil) hesaplanır. 2) Doğrama pervazları ve varsa ahşap süpürgelik altında kalan sıva yüzeyleri hesaba katılır. 3) Bütün boşluklar ve diğer cins kaplama yüzeyleri düşülür.</p>			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
10.041/A1	Yağlı kireç harcı (S-KK70)	0.023000	m ³
10.042/A1	İnce harç (S-KK70)	0.010000	m ³
04.031	Su	0.010000	m ³
	İşçilik:		
01.012	Sıvacı ustası	0.700000	Sa
01.212	Sıvacı usta yardımcısı	0.200000	Sa
01.501	Düz işçi	0.200000	Sa
01.501	Düz işçi	0.250000	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay, düşey taşıma, boşaltma)		
<p>%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı</p>			
Analiz Not			
<p>27.531/1 = 10.041/A1 ve 10.042/A1 (SKK 70) 27.531/2 = 10.041/A2 ve 10.042/A2 (SKK 80) 27.531/3 = 10.041/A3 ve 10.042/A3 (SKK 90)</p>			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
27.535/1	Kireç çimento karışımı harçla tavan sıvası yapılması (sönmüş kireç torbalı)	m ²	
Tanımı/Tarifi			
<p>1 m³ kuma 350 kg çimento katarak hazırlanan harçla (Poz no:10.007/MK) beton veya betonarme yüzler üzerine serpmeye atılması, üzerine 1 m³ mil kumuna 250 kg çimento ve 0,076 ton torbalı sönmüş kireç katılarak hazırlanan harçla (Poz no:10.042/A1) bir defada ortalama 1,2 cm kalınlığında sıva yapılması, gerekli zamanlarda sulanması, duvar yüzeyinin temizlenmesi, her türlü malzeme ve zayıflık, işçilik, çalışma sehpaları inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı:</p>			
Ölçü			
<p>1) Projedeki ölçülere göre, sıvanan bütün yüzler (boşluk yanları dâhil) hesaplanır. 2) Bütün boşluklar ve diğer cins kaplama yüzeyleri düşülür.</p>			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
10.007/MK	350 dozlu harç	0.010000	m ³
10.042/A1	İnce harç (S-KK70)	0.015000	m ³
04.031	Su	0.010000	m ³
	İşçilik:		
01.012	Sıvacı ustası	0.800000	Sa
01.501	Düz işçi	0.300000	Sa
01.501	Düz işçi	0.250000	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay, düşey taşıma, boşaltma)		
<p>%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı</p>			
Analiz Not			
<p>27.535/1 = 10.042/A1 (SKK 70) 27.535/2 = 10.042/A2 (SKK 80) 27.535/3 = 10.042/A3 (SKK 90)</p>			

Poz No 04.168/I	Analiz Adı EPS polistren bağlantılı, izolasyonlu modüler kalıcı betonarme duvar kalıp elemanı	Ölçü Birimi m ²	
Tanımı/Tarifi			
Ölçü			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No 04.168/J01	Analiz Adı EPS polistren tel bağlantılı, izolasyonlu modüler kalıcı betonarme duvar kalıp elemanı	Ölçü Birimi m ²	
Tanımı/Tarifi			
Ölçü			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
MSB 324	Kendiliğinden Yerleşen Beton	m ³	
Tanımı/Tarifi			
<p>Özel bir dizayna sahip olan, hiper akışkanlaştırıcı katkı ile üretilen, içindeki 0.15 mm' den daha küçük boyuttaki malzemelerin ağırlığı 550 kg olan, max. agrega boyutu 100 mm olan, slump kavramı yerine yayılma kavramı olan, yayılma ölçüsü 60–70 cm arasında olan, vibrasyona ihtiyaç göstermeyen, kolay pompalanan, su/çimento oranı 0.30–0.35 arasında olan yüksek dayanımlı betonun temini, yerine yerleştirilmesi, perdah veya mala işçiliği, müteahhit karı, genel giderler dahil 1 m³'ünün fiyatıdır.</p>			
Ölçü			
Yerinde dökülen betonun hacmi m ³ olarak ölçülür.			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Malzeme:		
04.008	Çimento	0.550	ton
04.006/c	Kum	0.413	m ³
04.005/1b	Çakıl	0.560	m ³
04.031	Su	0.190	m ³
04.613 8/C	Onarım betonları için katkı maddeleri (Modifiye edilmiş polikarboksilik eter zincirleri esaslı hiper beton katkısı olan malzeme)	7.700	Kg
	İşçilik:		
01.015	Beton ustası	1.750	Sa
01.501	Düz işçi	6.000	Sa
01.015	Laboratuar deneyleri için beton ustası	0.250	Sa
01.501	Düz işçi	2.500	Sa
	(İnşaat yerindeki yükleme, yatay, düşey taşıma, boşaltma)		
03.524	Betoniyer	0.250	Sa
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			

Poz No	Analiz Adı	Ölçü Birimi	
MSB 507	Tünel Kalıp İle Kalıp Yapılması ve Uygulanması	m ²	
Tanım/Tarifi			
<p>Tünel kalıp panoları, hazırlanan düzgün montaj platformu üzerinde tüneller haline getirilmesi. Tünel yerine konduktan sonra demir donatılar (çelik hasır levhalar), rezervasyonlar ve gerekli elektrik tesisatı tünel kalıba önceden tasarlandığı biçimde yerleştirilmesi. Duvarlar ve döşemelerde su tesisatı, ısıtma ve havalandırma gibi unsurların gerekli boşlukları rezervasyonlar yardımı ile bırakılması. Sonra dış kalıp yerleştirilir. Kalıbın gerekli kot ve şekül ayarları yapılması. Tünel gözleri koruyucu perdelerle kapatılıp, kalıp prize yardımcı olmak amacıyla ısıtılması. Koruyucu perdelerin açılması. Tünel kalıbın dış kalıplarla olan bağlantıların (tijler) çözülmesi. Dış perde panoların alınması ve beton prizinin kontrol edilmesi. Yeterli mukavemet sağlanmış ise kalıp sökülmesine devam edilmesi. Sökülen tünelin yerine betona hemen ayarlı dikmelerle 1.5 m ara ile bir sıra ters sehim oluşturmayacak şekilde takviye yapılır. Kalıplardaki beton artıklarının temizlenmesi ve kalıpların özel kalıp yağı ile yağlanması. Bir sonraki kalıp dökümü için kalıplar üst kata veya yana tekrar kurulmaya başlanması. Her türlü malzeme ve zayıt, işçilik, alet ve edevat giderleri, nakliye, müteahhit karı ve genel giderler dahil 1 m² fiyatıdır.</p>			
Ölçü			
Kalıp planındaki beton gören yüzeyler ölçülür kalıp iskelesi fiyata dahil olup ayrıca bedel ödenmez.			
Analiz Bilgileri			
Poz No	Açıklama	Miktar	Birim
	Tünel Kalıp Yapılması:		
04.261	Düz Siyah Sac (%10 zayıt, %15 kaynak ve atölye giderleri dâhil)	0.4000	Kg
04.256/2	Köşebentler (%10 zayıt, %15 kaynak ve atölye giderleri dâhil)	0.0320	Kg
04.256	Profil Demirleri (%10 zayıt, %15 kaynak ve atölye giderleri dâhil)	0.0320	Kg
04.290/3F	2" Çelik Borular (%10 zayıt, %15 kaynak ve atölye giderleri dâhil)	0.0360	Kg
04.505	Mamül Boya (Sentetik)	0.0014	Kg
01.501	Düz işçi	0.3000	Sa
01.018	Sıcak demirci ustası	0.3000	Sa
01.409	Formen	0.0240	Sa
01.027	Tornacı ustası	0.0500	Sa
01.023	Boyacı	0.0080	Sa
	Tünel Kalıp Montaj ve Demontaj İçin		
03.503	Vincin 1 saatlik ücreti	0.0270	Sa
04.107	Petrol (gazyağı)	0,1500	Kg
04.110	Makine yağı	0.1000	Kg
04.152	Çam kereste 2. sınıf	0.0003	m ³
04.261	Düz siyah sac	0.0250	Kg
04.275/1	Bulon, saplama, konik vida	0.0200	Kg
04.107/1	Tüp gaz (Kür uygulama)	0.1500	Kg
	Tünel Kalıp Montaj ve Demontaj İşçiliği		
01.017	Dülger ustası	0.0400	Sa
01.409	Formen	0.1000	Sa
01.501	Düz işçi	1.0000	Sa
01.018	Sıcak demirci ustası	0.3000	Sa
01.408	Yağcı	0.7500	Sa
01.507	1.sınıf işçi (montaj/demontaj)	2.0000	Sa
%25 Müteahhit Genel Giderleri ve Kârı			
Not Tünel kalıp imalatı; ortalama 250 kullanıma göre düzenlenmiştir.			

ÖZGEÇMİŞ

Burak ÖZŞAHİN, 14.04.1977 tarihinde Kırklareli’de doğdu. İlköğrenimini Kırklareli Kocahıdır İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Orta ve Lise eğitimini Kırklareli Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1996 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2000 yılında mezun olan Burak ÖZŞAHİN, 2001 yılında Trakya Üniversitesi Kırklareli Meslek Yüksekokulu’nda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı ve halen öğretim görevlisi olarak Kırklareli Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü’nde çalışmaktadır.

2000–2001 öğretim yılı bahar döneminde Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı ve 2004 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2004–2005 öğretim yılı güz döneminde Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Anabilim Dalı’nda doktora eğitime başladı. Halen öğrenimine devam etmektedir.