

TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN YAPILARIN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İnş. Müh. Tarık KINCAL
(501041111)**

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamamda yardımlarından ve anlayışından dolayı değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK' e, maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen aileme, benimle bu tez çalışmasında devamlı dayanışma içerisinde olan değerli arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Haziran, 2006

Tarık Kıncal

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

1. GİRİŞ	1
2. TÜNEL KALIP SİSTEMİ	3
2.1. Tünel Kalıp Sisteminin Kullanılma Nedenleri	3
2.2. Konut Üretiminde Tünel Kalıp Teknolojisinin Sağladığı Yararlar	4
2.3. Konvansiyonel Yapım Sistemleri İle Karşılaştırılması	6
2.4. Tünel Kalıp Boyutları Ve Tünel Kalıplarda Boyutsal Olanaklar	8
2.5. Tünel Kalıp Ekipmanları	11
2.6. Tünel Kalıp Yöntemi İle Yapı Üretim Süreci	15
2.7. Tünel Kalıp Sisteminde Tasarlama İlkeleri	18
3. TÜNEL KALIP SİSTEMİ İLE İNŞA EDİLEN BİNALARDA YAPI MALZEME VE ELEMANLARININ ÖZELLİKLERİ	21
3.1. Yapı Malzemelerinin Özellikleri	21
3.1.1. Beton	21
3.1.2. Çelik Ve Hasır Çeliği	22
3.2. Tünel Kalıp Sisteminde Yapı Elemanları	25
4. TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN YAPILARIN TASARIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	29
4.1. Tasarıma Etki Eden Faktörler	29
4.2. Modellemelerdeki Genel Kabuller	30
4.3. İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapı (planda kare yapı)	31
4.3.1. Kat Deplasmanlarının İncelenmesi	36
4.3.2. İç Kuvvetlerin İncelenmesi	37
4.3.3. Malzeme Kalitesinin Yapı Davranışı Üzerine Etkisi	43
4.4. İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapı (planda dikdörtgen yapı)	44
4.4.1. Kat Deplasmanlarının İncelenmesi	48
4.4.2. İç Kuvvetlerin İncelenmesi	49
4.4.3. Malzeme Kalitesinin Yapı Davranışı Üzerine Etkisi	54
4.5. Planları Kare Ve Dikdörtgen Olan Yapıların Karşılaştırılması	55

4.6. Konu İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar	59
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	66

KISALTMALAR

A.B.Y.Y.H.Y. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998)
ETABS Extended 3d Analysis of Building Systems

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Tünel Kalıp-Konvansiyonel Sistem Maliyet Kıyaslaması Tablosu	8
Tablo 2.2. Bazı Üretici Firmaların Tünel Kalıp Standartları	10
Tablo 4.1. 5 Katlı Yapının(Kare) Periyot Değerleri	33
Tablo 4.2. 10 Katlı Yapının(Kare) Periyot Değerleri	34
Tablo 4.3. 15 Katlı Yapının(Kare) Periyot Değerleri	34
Tablo 4.4. 5 Katlı İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları	35
Tablo 4.5. 10 Katlı İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları	35
Tablo 4.6. 15 Katlı İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları	35
Tablo 4.7. 5 Katlı Yapının(Dikdörtgen) Periyot Değerleri	45
Tablo 4.8. 10 Katlı Yapının(Dikdörtgen) Periyot Değerleri	46
Tablo 4.9. 15 Katlı Yapının(Dikdörtgen) Periyot Değerleri	46
Tablo 4.10. 5 Katlı İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları	47
Tablo 4.11. 10 Katlı İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları	47
Tablo 4.12. 15 Katlı İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları	47

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Tünel Kalıp İle İmalatta Rotasyon	5
Şekil 2.2 : Yarım Tünel Kalıp Elemanı	8
Şekil 2.3 : Tam Tünel Kalıp Elemanı	9
Şekil 2.4 : Tünel Kalıp Boyutları	9
Şekil 2.5 : Ara Kalıp Elemanlarıyla Farklı Boyutlar Elde Edilmesi	10
Şekil 2.6 : Tünel Kalıplarda Masa Kalıp Uygulaması	11
Şekil 2.7 : Tünel Kalıp İle İmalatta Kullanılan Ek Parça Örnekleri	12
Şekil 2.8 : Çalışma Platformları	12
Şekil 2.9 : Outinord Tipi Tünel Kalıp Elemanı	13
Şekil 2.10 : Hacmin Isıtılması İle Kürleme	14
Şekil 2.11 : Aks Beton Kalıpları	15
Şekil 2.12 : Tünel Kalıbın Vinçle Yerine Taşınması İşlemi	16
Şekil 2.13 : Perdelere Hasır Bağlanmasından Sonra Tünel Kalıbın Yerine Yerleştirilmesi	17
Şekil 2.14 : Aks Kalıplarının Ve Rezervasyonların Yerine Yerleştirilmesi ...	18
Şekil 2.15 : Bodrum Katın Tünel Kalıplarla Yapımının Olanaklı Ve Olanaksız Hali	19
Şekil 2.16 : Bodrum Katın Tünel Kalıplarla Yapımına Örnek	19
Şekil 3.1 : Betonarme Demiri İle Hasır Çeliğin Gerilme-Uzama Eğrisi	22
Şekil 3.2 : Q ve R Hasırları	23
Şekil 3.3 : Hasır Çeliğinde Bindirme Boyları	24
Şekil 3.4 : Döşemelerde Hasır Donatı Düzeni	24
Şekil 3.5 : Perde Donatısı Olarak Kullanılan Hasır Çeliği	25
Şekil 3.6 : Bir Yönde Çalışan Döşeme Sistemi	26
Şekil 3.7 : Bağ Kirişlerin Sonlu Elemanlarla Modellenmesine Bir Örnek	28
Şekil 4.1 : Tünel Kalıpla İnşa Edilen Sisteme Ait Tipik Bir Kat Planı (Kare)	29
Şekil 4.2 : Tünel Kalıpla İnşa Edilen Sisteme Ait Tipik Bir Kat Planı (Dikdörtgen)	30
Şekil 4.3 : Kare Yapının Kat Planı	32
Şekil 4.4 : Kare Yapının Sonlu Eleman Modeli	33
Şekil 4.5 : Z1 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	36
Şekil 4.6 : Z2 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	36
Şekil 4.7 : Z3 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	36
Şekil 4.8 : Z4 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	36
Şekil 4.9 : Z1 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	37
Şekil 4.10 : Z2 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	37
Şekil 4.11 : Z3 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	38
Şekil 4.12 : Z4 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	38
Şekil 4.13 : Z1 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	38

Şekil 4.14 : Z2 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	38
Şekil 4.15 : Z3 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	39
Şekil 4.16 : Z4 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	39
Şekil 4.17 : Z1 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	39
Şekil 4.18 : Z2 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	39
Şekil 4.19 : Z3 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	40
Şekil 4.20 : Z4 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	40
Şekil 4.21 : Z1 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	40
Şekil 4.22 : Z2 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	40
Şekil 4.23 : Z3 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	41
Şekil 4.24 : Z4 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	41
Şekil 4.25 : Z1 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	41
Şekil 4.26 : Z2 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	41
Şekil 4.27 : Z3 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	42
Şekil 4.28 : Z4 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	42
Şekil 4.29 : B41 Kirişindeki Kesme Kuvvetinin Katlar Arası Değişimi	43
Şekil 4.30 : B41 Kirişindeki Eğilme Momentinin Katlar Arası Değişimi	43
Şekil 4.31 : Malzeme Değişiminin Deplasmanlara Etkisi.....	43
Şekil 4.32 : Dikdörtgen Yapının Kat Planı	44
Şekil 4.33 : Dikdörtgen Yapının Sonlu Eleman Modeli	45
Şekil 4.34 : Z1 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	48
Şekil 4.35 : Z2 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	48
Şekil 4.36 : Z3 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	48
Şekil 4.37 : Z4 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği	48
Şekil 4.38 : Z1 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	49
Şekil 4.39 : Z2 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	49
Şekil 4.40 : Z3 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	49
Şekil 4.41 : Z4 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği	49
Şekil 4.42 : Z1 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	50
Şekil 4.43 : Z2 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	50
Şekil 4.44 : Z3 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	50
Şekil 4.45 : Z4 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği	50
Şekil 4.46 : Z1 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	51
Şekil 4.47 : Z2 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	51
Şekil 4.48 : Z3 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	51
Şekil 4.49 : Z4 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği	51
Şekil 4.50 : Z1 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	52
Şekil 4.51 : Z2 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	52
Şekil 4.52 : Z3 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	52
Şekil 4.53 : Z4 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği	52
Şekil 4.54 : Z1 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	53
Şekil 4.55 : Z2 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	53
Şekil 4.56 : Z3 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	53
Şekil 4.57 : Z4 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği	53
Şekil 4.58 : B3 Kirişindeki Kesme Kuvvetinin Katlar Arası Değişimi	54
Şekil 4.59 : B3 Kirişindeki Kesme Kuvvetinin Katlar Arası Değişimi	54
Şekil 4.60 : Malzeme Kalitesinin Yapı Davranışı Üzerine Etkisi.....	55
Şekil 4.61 : Yapıların Serbest Titreşim Periyotlarının Kat Yüksekliği İle Değişimi	55
Şekil 4.62 : Serbest Titreşim Periyot Değerinin ABYYHY İle	

Karşılaştırılması	56
Şekil 4.63 : Her İki Yapıdaki Dönmelerin Kıyaslanması.....	56
Şekil 4.64 : Zayıf Doğrultudaki İki Perdenin Kesme Kuvveti Kıyaslaması ...	57
Şekil 4.65 : 5 Katlı Yapılar İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Kıyaslanması	57
Şekil 4.66 : 10 Katlı Yapılar İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Kıyaslanması ...	58
Şekil 4.67 : 15 Katlı Yapılar İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Kıyaslanması ...	58
Şekil 4.68 : 10 Katlı Yapılar Burulma Düzensizliği Kıyaslanması.....	59

SEMBOL LİSTESİ

$A(T)$	: Spektral İvme Katsayısı
A_o	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
C	: Taban Kesme Kuvveti Katsayısı
C	: Sehim Payı
d_i	: Binanın i 'inci Katında Deprem Yüklerine Göre Hesaplanan Yer değiştirme
n	: Hareketli Yük Katılım Katsayısı
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem Yükü Azaltma Katsayısı
$S(T)$	: Spektrum Katsayısı
T	: Bina Doğal Titreşim Periyodu [s]
T_1	: Binanın Birinci Doğal Titreşim Teriyodu [s]
T_A, T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
V_t	: Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde Göz Önüne Alınan Deprem Doğrultusunda Binaya Etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti)
W	: Binanın, Hareketli Yük Katılım Katsayısı Kullanılarak Bulunan Toplam Ağırlığı
μ	: Düşey Ve Yatayda Gövde Donatısı Oranı
$(\Delta_i)_{max}$	: Binanın i 'inci katındaki Ortalama Görelî Kat Ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i 'inci katındaki Ortalama Görelî Kat Ötelemesi
η_{bi}	: i 'inci Katta Tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı

TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN YAPILARIN TASARIMI

ÖZET

Hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak konut açığının kapatılması bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Mevcut yapım sistemleri yetersiz kalmış, endüstrileşmiş yapım sistemleri ön plana çıkmış, tünel kalıp gibi panel sistemlerin önemi artmıştır.

Tünel kalıp sistemi, büyük kalıp elemanları ile yapının döşeme ve taşıyıcı perde duvarların bir seferde yerinde dökümünü olanaklı kılan endüstrileşmiş bir yapım tekniğidir.

Marmara (1999) depreminden sonra bu yapıların depreme karşı güvenilir olduğu kanısı yerleşmiş, buna karşın salt perdelerden oluşan bu sistemin davranış tarzı ve hesap metotlarının yeterliliği belirsizliğini korumuştur. Bununla birlikte literatürdeki konu ile ilgili kaynağın kısıtlı oluşu bu konu ile ilgili araştırmaların yetersiz olduğunu da gündeme getirmiştir.

Bu tezin kapsamında tünel kalıp sistemler hakkında genel bir bilgi verilmiş, kullanılan malzeme ve elemanların genel özelliklerinden bahsedilmiş, ele alınan örnek yapılar üzerinde tasarıma etkiyen faktörler (kat adeti, zemin sınıfı, taşıyıcı sistem düzenlemesi) incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde ortaya konmuş ve yorumlanmıştır.

Konu ile ilgili kaynak taraması yapılarak, daha önce yapılan analitik ve deneysel çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir.

İncelenen yapılar ve daha önceki araştırmaların incelenmesiyle elde edilen sonuçlar ve öneriler tezin son kısmında maddeler halinde sıralanmıştır.

THE DESIGN OF STRUCTURES WHICH BUILD WITH TUNNEL FORMWORK

SUMMARY

Increase of the population which becomes faster everyday causes problems, like the difficulty to provide new residence. Actually industrialized structures system became more frequent as the current ones began to be insufficient. All of them makes the tunnel formworks very important.

Tunnel formwork system is an industrialized method which enable to construct monolithic structure with its large formwork elements.

After The Marmara Earthquake in 1999, people find trustable this structures which are made by tunnel formworks but also it is still little known the methods of calculation and the manner of the system that is formed mere shearwall.

Meanwhile it is discussed that there is a little source about the subject and it causes insufficient research.

In the thesis, it is given general information about tunnel formworks and examined the factors that effect the design (the number of storey ,the category of ground ,arrangement of the carrier system) by example structures.

After getting the results ,they were presented and commented with graphics.

It is mentioned about analysis and experimental studies which are done by using previous source researches.

At the end of the thesis the results were set up in order which are obtained searching the structures and the former researches.

1. GİRİŞ

Bina yapımında kütleli üretimin gerçekleşmesinde geleneksel yapım sistemlerinin yetersizliğinin; yeni yapım yöntemlerinin araştırılmasına ve geliştirilmesine yol açtığı bilinmektedir. Gerek iş gücü, gerekse araç gereç kaynaklarının daha rasyonel bir biçimde kullanılabilmesi ve böylece üretkenliğin artırılabilmesi için girişilen çalışmalar, yapımda endüstrileşmiş üretim yöntemlerini gerektirmiştir. Yapım hızını arttırmak ve şantiyede açık hava koşullarında üretim süresini kısaltmak için bir yandan hazır elemanlarla yapım sistemleri gerçekleştirilirken, bir yandan da yerinde dökme beton sistemlerinde yeni teknikler uygulanmaya başlanmıştır. Yeni kalıp teknikleri, betonun priz süresini kısaltıcı teknikler sözü edilen ikinci yaklaşımın yani yerinde dökme sistemlerin bugün en çok görülen örnekleridir. Yapının endüstrileştirilmesi süreci içerisinde önemli bir aşama meydana getiren bu teknikler içinde en yaygın biçimde uygulanan da tünel kalıp yöntemleri olmuştur,[1].

Tünel kalıplar hareketli kalıplar sınıfında yer alır. Hareketli kalıplar çağdaş yerinde dökme yapım sistemlerinde kullanılan, seri döküm yapma olanağı veren kalıplar olarak tanımlanabilir. Gerek düşey gerekse yatay yönde hareket kabiliyeti olan bu tür kalıplar ülkemizde de çeşitli yapılarda kullanılmaktadır ve olumlu sonuçlar elde edilmektedir,[2].

Türkiye'deki hızlı kentleşme ve nüfus artışı, büyük kentlerin yoğunluk ve sayısında bir artışı beraberinde getirmiştir. Ancak bu aşırı hızlı kentleşme, gecekondulaşmaya ve kalitesiz mekânların oluşmasına neden olmuştur ve bu durum halen devam etmektedir. Konutların yenilenmesi ve gecekonduların ıslah çalışmaları sonucu ortaya çıkacak konut artışını karşılamak üzere yılda yaklaşık 400 bin konut üretilmesi gerekmektedir. Ancak geleneksel yapım teknikleri ile bu sayıya ulaşmak oldukça zordur. Böyle bir ortamda hızlı bir şekilde ekonomik ve kaliteli konutların yapılması için toplu konut uygulaması kaçınılmazdır,[3].

Konut üretiminde, bu denli büyük bir ihtiyaca cevap verebilmek için, inşaatta üretkenliğin artırılması gereklidir. Bu artışı sağlamak için gerek teknik ve gerekse

organizasyonel boyutlarda birtakım önlemler alınmalıdır. Bu önlemlerin en akılcı bir şekilde alınmasına olanak sağlayan, endüstrileşmiş yapım sistemlerinden biri olan Tünel Kalıp Sistemi, özellikle toplu konutlarda yaygın bir uygulama alanı bulmaya başlamıştır,[4].

Marmara depremi 1999'dan sonra tünel kalıpla inşa edilen yapıların deprem güvenliği ve tasarımına ilişkin yaklaşımların yeterliliği sorgulanmaya başlanmıştır. Mevcut tünel kalıpla inşa edilen yapıların durumu hakkında kaygılar ortaya çıkmıştır. Bu tarz panel sistemlerin davranış özelliği ile ilgili yeterli çalışma olmayışı bu yapıların güvenliği ve davranışı ile ilgili soruları beraberinde getirmiştir.

Bu tezde tünel kalıpla inşa edilecek yapıların tasarımı hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde ülkemizdeki konut ihtiyacından ve endüstriyel bir yapım sistemi olan tünel kalıplarla ilgili kısa bir bilgi verilmiştir. 1999 Marmara depremiyle sorgulanan tünel kalıp sistemlerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümünde ülkemizde ve dünyada kullanılan tünel kalıp çeşitlerinden ve sistemin parçalarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde kullanılan malzemelerden ve yapı sisteminde taşıyıcı rol oynayan taşıyıcı elemanların genel özelliklerine değinilmeye çalışılmıştır.

Dördüncü bölümünde tasarım için 2 farklı yapı tasarımı etki eden faktörler doğrultusunda modellenmiş çıkan sonuçlar tablo ve grafikler halinde değerlendirilmiştir. Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalardan da kısaca bahsedilmiştir.

Tezin son bölümünde ise elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler halinde sıralanmıştır.

2. TÜNEL KALIP SİSTEMİ

Tünel Kalıp Teknolojisi, betonarme yapılar da taşıyıcı duvar ve döşemenin bir defada dökülmesine olanak veren tünel Őeklindeki Őelik kalıplar sistemidir. Bu sistemde duvar ve döşeme beraberce yerinde dökülmektedir. Bu yönüyle geleneksel yapım tekniklerini andırmasına karşın, sistemin nitelikleri gereği beraberinde n yapımı (Prefabrike) bazı yapı elemanlarının kullanımını gerektirdiği ićin yarı-n yapımı diye kabul edebileceğimiz bir sistemdir. Bu sistemde cephe elemanları, merdivenler, sahanlıklar, bölme duvarlar, bacalar v.b. n yapımı olarak; yerinde dökülen ana yapıyla birleştirilip kullanılmaktadır,[5].

Tünel kalıp Őelik olduđu ićin düzgün yüzeylidir. Kesin boyutludur. Her defasında kalıpćıların lćmlemedeki becerisine bađlı kalınmadan, standart yükseklik ve aćıklıđı kolaylıkla elde etmek olasıdır. Bu sistemde kr yoluyla, betona kısa sürede gerekli mukavemet verilebildiđinden, kalıbı ćok kısa bir süre sonra sökmek, yine kısa sürede kurarak yeniden beton dökmek, hatta bir üst kata ulařmak hić de zor deđildir,[6].

2.1. Tünel Kalıp Sisteminin Kullanılma Nedenleri

Tünel kalıp sistemlerinin kullanılma amaćlarını Őöyle sıralayabiliriz;

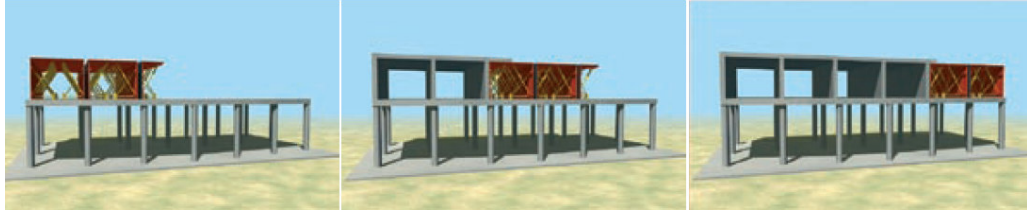
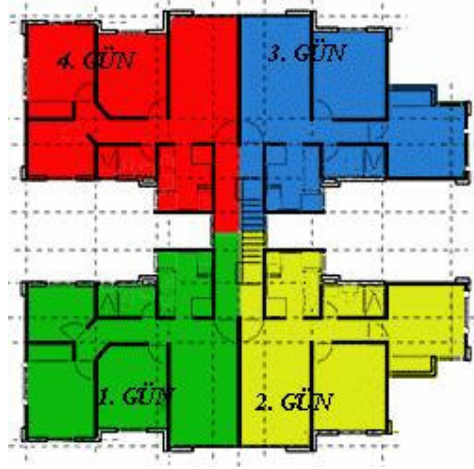
- Tünel kalıp, düşey ve yatay taşıyıcı yapı elemanlarının, bir defada yerinde dökebilme olanağı sağlar. Bu Őekilde monolitik bir yapının inřa edilmesiyle özellikle perde ile döşemelerin birleşim bölgelerinde ortaya ćıkan inşaat derzleri problemi ortadan kalkmış olur.
- Düşey taşıyıcıların perde olması, yapının yatay kuvvetlere karşı dayanıklı olmasını ve yüklerin temellere homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır.
- Kat yüksekliklerinin, döşeme kalınlıklarının eşit olması yapıda detay benzerliği sağlamaktadır.

- Tünel kalıp ile yapım süresi geleneksel yöntemlere göre oranla çok kısadır, bu konuda yapılan birçok araştırma sonucunda kaba inşaat süresinin %50 oranında kısaldığı belirlenmiştir. Bu sayede işgücü ve anaparanın uzun süre bağlı kalmaları önlenir.
- Nitelikli işçi gereksinimi azdır.
- Elektrik ve su tesisatlarının, ısıtma ve havalandırma malzemelerinin beton dökümünden önce kalıbın içine yerleştirilmesi daha sonraki ince işlerin azalmasını sağlar. Ayrıca ince işlerin yapımına beton dökümünden hemen sonra başlanabilir.
- Kalıplar, düşük toleranslara göre imal edildiğinden beton dökümündeki ölçüsel doğruluk ve kesinlik ara duvar bölmeleri ve doğrama gibi malzemelerin dökümden hemen sonra yerlerine takılabilmelerini sağlar.
- Sıva gibi ince işlerin yapılmasını gerektirmeyen düzgün beton yüzeyi elde etmek mümkündür, boya, duvar kâğıdı veya benzeri dekorasyon malzemeleri yüzeye doğrudan uygulanabilir,[3,4].

2.2. Konut Üretiminde Tünel Kalıp Teknolojisinin Sağladığı Yararlar

Üretim Hızı

Tünel kalıp sistemindeki üretim hızı, geleneksel yapım sistemlerine göre çok fazladır. Orta büyüklükteki bir konutun yapımında, kalıplar yarım günde kurulup hazırlanmakta ve aynı gün betonu dökülerek işlem tamamlanmaktadır. Ertesi gün kalıbın sökülerek başka bir konutun kalıplarının yeniden kurulmasına ve yeniden beton atılmasına olanak tanımaktadır. Geleneksel yapım sistemlerinde kullanılan iş ve kalıp iskelesi gerektirmediğinden bir zaman harcaması söz konusu değildir. Yirmi dört saatlik dönüşümlerle (rotasyonla) (Şekil2.1) kullanılabilen bu kalıpların içine, önceden kapı ve pencere kasaları, elektrik boru ve hatları da yerleştirildiğinden diğer sistemlerde sonradan yapılan bu gibi işlerin, bu sistem sayesinde beton dökümü sonunda bitirilmiş olmaktadır,[6,7].



Şekil 2.1: Tünel Kalıp İle İmalatta Rotasyon

Klasik anlamda iş ve kalıp iskelesi gerektirmemektedir. Bu sistemin kendine özgü ve son derece pratik iskeleleri bulunmaktadır. Dolayısıyla bu bakımdan bir zaman harcaması söz konusu değildir. Beton yüzeyler (duvar ve tavan) çok düzgün ve pürüzsüz olduğundan sıva gerektirmemektedir.

Cephe elemanları, bölme duvarlar, merdivenler, sahanlıklar, kalorifer, çöp ve mutfak bacaları ön yapımlı olduğundan kısa sürede yerine monte edilebilmekte ve bu sayede önemli ölçüde zaman kazanılabilmektedir.

Ekonomi

Yapım süresinin kısa oluşu, işgücü ve anaparanın uzun süre bağlı kalmasını önler, yatırımın kendisini kısa sürede amorti etmesini sağlar. Ayrıca yüksek enflasyon göz önüne alındığında, inşaatın kısa sürede bitirilmesi maliyeti düşmektedir.

Çelik kalıpların defalarca kullanılabilmesi, ilk yatırım maliyeti yüksek olsa dahi tekrarlı kullanımında maliyeti düşürmektedir. İyi bir bakım ve onarımla bu kalıplar 1000 defa kullanılabilir. Bazı firmalar hasar gören tünel kalıpları tamir etmektedir.

Yapı maliyetindeki işçilik oranı geleneksel sistemle karşılaştırıldığında %7-8 oranında daha düşük olmaktadır. Sistem boyutlarındaki hassasiyet, kaba ve ince yapı bileşenlerinin standartlaştırılmasına imkân vermekte, böylece gerek üretim, gerekse montajda maliyet düşüşleri olmaktadır.

Kalite

Çelik kalıpların defalarca kullanılmasına karşın kalıpların sağlam oluşu nedeniyle elde edilen beton yüzeyi düzgün olmaktadır. Kapı ve pencere boşluklarının, elektrik anahtar, priz ve buatların kalıbın hep aynı bölgesine yerleştirilmesi gerektiğinden, her kat veya dairede bu noktaları aynı konumda bulmak mümkün olmaktadır.

Genel olarak yapıyı oluşturan bütün hacimlerde ve elemanlarda ölçüler kusursuz ve kesindir. Yine bu ölçülerdeki hassasiyet sayesinde, yapıyı tamamlayan kapı, pencere, dolap, basamak, denizlik, korkuluk, küpeşte ve benzeri elemanların standardizasyonu ve buna bağlı olarak fabrikasyonu, genel kalitenin yükselmesi sonucunu doğurmaktadır.

Uygulamada Kolaylık

Tünel kalıp teknolojisi karmaşık bir teknoloji değildir. Nitelikli işçi gereksinimi azdır. Teknolojinin gereği olarak kullanılan kule vinç, yalnızca kalıp kurulum ve sökümünde değil, donatının, betonun, ön yapımlı elemanların ve öteki ince malzemelerin taşınmasında da kullanılabilir. Perde ve döşemelerde hasır çelik kullanımı işçiliği oldukça kolaylaştırmaktadır.

Güvenlik

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapıların özellikle yatay yük taşıma güçleri çok yüksektir, deprem kuvvetinin tamamı boyutları gereği çok rijit olan perdeler tarafından karşılanır. Ayrıca beton duvar ve döşemeler yangına karşı tam dayanıklıdır,[7].

2.3. Konvansiyonel Yapım Sistemleri İle Karşılaştırılması

Türkiye'de ve dünyada gecekondü önleme ve doğal afet projelerinin süratle gerçekleşmesi için toplu konut projelerinin süratle gerçekleşmesi, inşaat

teknolojisindeki klasik yapımdan çıkarak, ileri teknolojik sistemlerin kullanımını sağlamakla mümkündür. Bu tür toplu konut inşaatlarında seçilecek inşaat teknolojisinin özellikle aşağıdaki unsurları bünyesinde bulundurması gerekmektedir.

- İnşaat maliyetlerinin düşürülmesi,
- İnşaat süresinin kısaltılması,
- İnşaatteki imalat çeşitlerinin asgariye indirilmesi,
- İnşaat kalitesinin azami seviyeye yükseltilmesi,
- Orman ürünlerinin (kalıp malzemesi olarak) kaybının kesin olarak önlenmesi ve böylece orman ürünlerinin inşaatla kalıp tahtası yerine diğer sanayide yurdun ekonomisine olumlu katkıda bulunacak işlerde kullanılmasının sağlanması,
- Yeni istihdam sahaları açması,
- Ana inşaat malzemelerinde (demir, çivi, tel, tuğla, kireç vb.) azami tasarruf sağlanması,
- Kullanılacak yeni teknoloji ile ısı tasarrufu sağlanması (dolayısıyla ödemeler dengesini olumlu yönde etkilemesi),
- Yurt dışında, özellikle gelişmekte olan ülkelerde (Orta Doğu - Güney Afrika - Uzakdoğu ülkeleri gibi) yeni endüstriyel yapım teknolojileri ile düşürülebilen maliyetler sonucu artan rekabet sayesinde daha fazla iş alma imkânlarının doğması,
- Sistemin dünyada uygulanmakta olan en gelişmiş teknolojiler arasında ülkemizin koşulları göz önünde bulundurularak seçilmesi,
- Söz konusu teknoloji ile inşaatlardaki kullanılabilir ve faydalı alanların azamiye çıkartılması,
- Afet bölgelerinde geçici olmayan ve depreme dayanıklı inşaatların hızla yapılabilmesine olanak veren en uygun inşaat sistemi olması,

Yukarıda belirtilen işçiliklerin birbirlerinin peşi sıra yapılması zorunluluğundan, toplu konut inşaatlarında dahi, ekiplerin asıl kapasitede beklemesi inşaat maliyetinde fiyat artırıcı bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber inşaatta ünitelerin fazlalığı maliyetin artmasında diğer önemli bir faktördür. Ünite fazlalıktan sanayide aynı zamanda fire maliyetini yüksek seviyeye getirmekte, dolayısı ile fiyat artışlarında etkili bir faktör olmaktadır,[8].

Yapılan araştırma sonuçlarına göre Tünel Kalıp sistemi ile konvansiyonel sistem arasında maliyet farkı şu şekildedir: (Konvansiyonel sistem 100 olarak) (Tablo 2.1)

Tablo 2.1 : Tünel Kalıp-Konvansiyonel Sistem Maliyet Kıyaslaması Tablosu

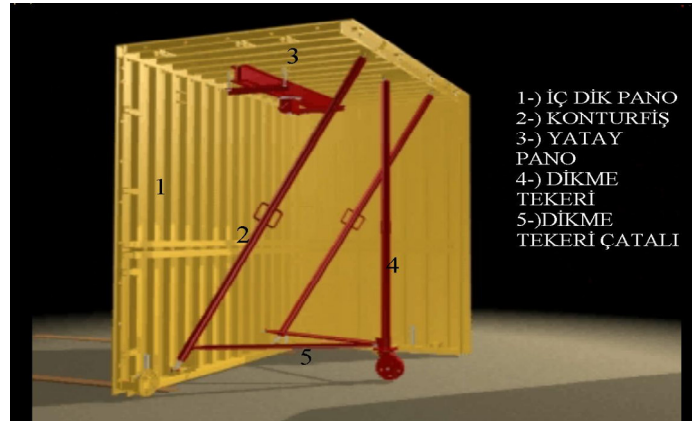
	TÜNEL KALIP UCUZLAMA ORANI	KONVANSİYONEL SİSTEM
KABA İNŞAAT	45%	100%

Çok katlı tradisyonel sistemlerde üst katlarda kaba inşaat maliyetleri daha da yükseldiğinden bu oran % 50'nin üzerine çıkmaktadır.

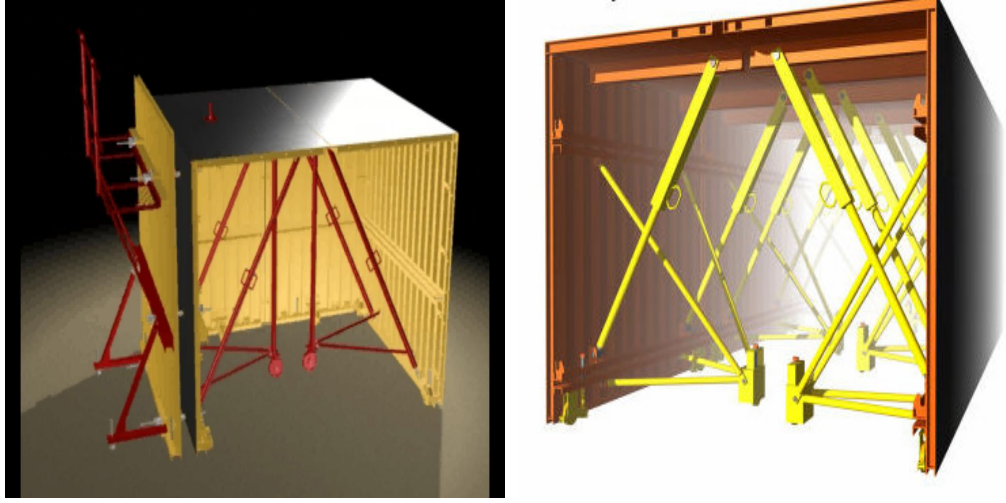
2.4. Tünel Kalıp Boyutları Ve Tünel Kalıplarda Boyutsal Olanaklar

Tünel kalıp elemanları, tam tünel kalıplar ve yarım tünel kalıplar diye iki ana gruba ayrılır. Tam tünel kalıplar ise, iki kenarı kapalı, üç kenarı kapalı diye kendi içlerinde ikiye ayrılır. Yarım tünel kalıpların ise, köşe tünel kalıplar ve konsollu tünel kalıplar diye iki türü vardır.

Tünel kalıp tip elemanlarının çeşitli birleşim olanakları vardır. Bunlarla çeşitli boyutsal kombinasyonlar elde etmek mümkündür. Tüm bitmiş kalıp boyutları çeşitli kombinasyonlar yapılarak sağlanmaktadır. Tünel kalıplar iki ana panelin birleştirilmesi ile oluşurlar. Bunlar duvar ve döşeme panelleridir. Bu panellerin birleşmesinden oluşan tam veya yarım tünel elemanları (Şekil 2.2), (Şekil 2.3), tekerlekli bir sistem ile taşınır,[4].

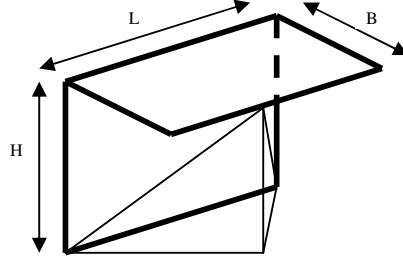


Şekil 2.2: Yarım Tünel Kalıp Elemanı



Şekil 2.3: Tam Tünel Kalıp Elemanı

Kalıpların boyutları, üretici firmalar tarafından farklı ölçülerde standartlaştırılmıştır. (H) yükseklik, (B) genişlik ve (L) uzunluk olmak üzere (Şekil 2.4) standart ölçüler aşağıda verilmiştir, (Tablo 2.2).

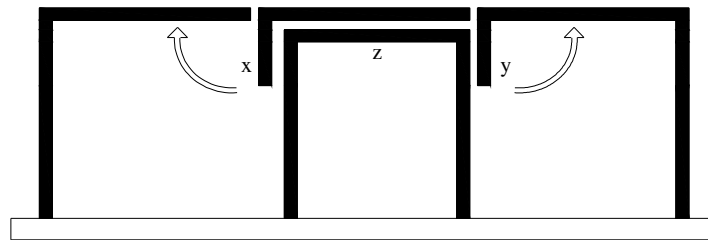


Şekil 2.4: Tünel Kalıp Boyutları

Tablo 2.2 : Bazı Üretici Firmaların Tünel Kalıp Standartları

Grup	Tip	Üretici Firma	Standart			Kalıpların yerleştirilme ve çıkarılma yöntemi			
			Uzunluk cm (L)	Genişlik cm (B)	Yükseklik cm (H)	platform ve askı sistemi	raylı ve askı sistemi	taşıma çatallı	askı sistemli
Çelik Kalıplı	1	Hünnebeck GmbH Lintorf	200 250	döşeme kalıbı 61,92, 123 + ara kalıp 30-61	244,250 256,262 Max temiz mekan yüksekliği 241-262	✓		✓	✓
	2	Societe BATIMETAL Selcin (France)	125 250	Döşeme kalıpları mekan boyutlarına göre + ara kalıp elemanı	6 cm yükseklik farkı ile	✓		✓	✓
	3	Paschal-Werke Steinach	125 250	Döşeme kalıpları 125,175,200 + ara kalıp elemanları	15 cm yükseklik farkı ile		✓		
	4	Outinord GmbH Krefeld	62,5 125 250	İstenen boyutlara göre yarı tüneller için döşeme kalıpları + ara kalıp elemanları	246,249, 252,255, 258,261	✓			
	5	Mesa İmalat	62,5 125 250	Döşeme kalıpları 105, 135, 165, 195, 225, 255, 285 + ara kalıp elemanları	230 300	✓		✓	✓

Tünel kalıplarda, çeşitli ek parçaları kullanarak birçok farklı mekân boyutları elde edilebilir. Tünel kalıp genişliğine (B), x ve y gibi ek kalıp elemanları eklemekle aynı kalıp elemanı ile farklı genişlikteki mekânların kalıplarını oluşturabiliriz, (Şekil 2.5).

**Şekil 2.5 : Ara Kalıp Elemanlarıyla Farklı Boyutlar Elde Edilmesi**

Tünel kalıp genişlikleri küçük açıklıklar için minimum 75 cm'e kadar inebilmektedir. Büyük açıklıklar için ise maksimum 650 cm olmaktadır.

Ek kalıp elemanı olarak kutu kalıp veya masa kalıp olarak adlandırılan z açıklıklı kalıplar da kullanılabilir. Bu tür kalıplar açıklık ortasında dikme görevini de yüklenmektedirler, (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Tünel Kalıplarda Masa Kalıp Uygulaması

Aynı kattaki döşeme yüksekliklerini değiştirmek, hem yatırım hem de işçilik maliyetini arttıracığından ekonomik değildir. Bu nedenle tünel kalıp sistemiyle yapılan konutlarda düşük döşeme tercih edilmemektedir. Islak hacimlerde asma tavan uygulamasıyla üst katın atık su giderleri gizlenmektedir,[3,4,6].

2.5. Tünel Kalıp Ekipmanları

❖ Ana Tünel Kalıp

Tünel kalıp, ana kalıp elemanı olup, çelik bir konstrüksiyondur. Beton dökümü, yan yana getirilip monte edilen bu kalıpların üst ve yan yüzlerine yapılır. Kalıp söküldüğü zaman üst beton döşemeyi, yan betonlar ise betonarme perde duvarları oluştururlar.

❖ Özel Ek Kalıp Parçaları

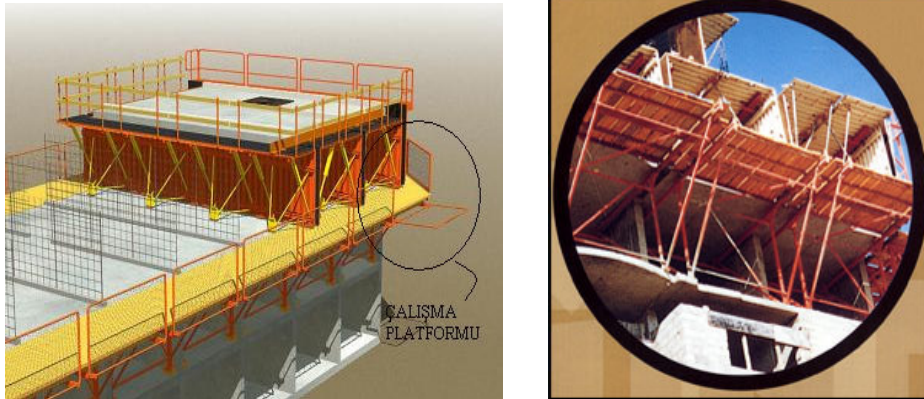
Özel ek parçaları, tünel kalıp ile yapılan dökümde çeşitli konsolcuklar, delikler, döşeme ve perde alınları gibi parçacıklardır,(Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Tünel Kalıp İle İmalatta Kullanılan Ek Parça Örnekleri

❖ Çalışma Platformu

Çalışma platformları, tünel kalıpların fonksiyonunu tamamlaması sonucu, dökülen betonun prizini almasından sonra çekildikleri yan platformlardır, (Şekil 2.8). Tünel kalıplar bu platformlara sürülerek götürülürler. Yerleştirilmeleri ise vinçler aracılığıyla olur.

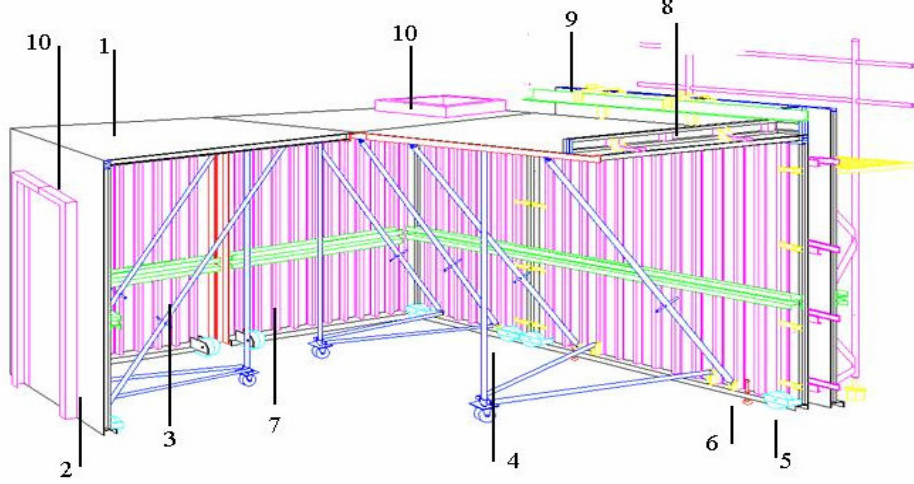


Şekil 2.8: Çalışma Platformları

❖ Destek Elemanlar

Destek elemanlar, tünel kalıbın kesitine, beton dökümü ile gelecek yükleri almak üzere konulan elemanlardır. Bu elemanların yanı sıra kalıp elemanı bünyesinde (Şekil 2.9), ayarlı çapraz, ayarlı dikme, kriko tekerler, kalıp yatay atkısı gibi elemanlar vardır. Yerine konulan tünel kalıp bu ekipmanların kullanımı ile gerekli kot ayarlamaları yapılır, yükseltip alçaltılabilir ve sonunda sabitleştirilme yapılarak

kalıp devreye sokulur. Destek ve hareketi sağlayan bileşenler ise tekerlekler, ayarlı dikmeler ve ayarlı eğik dikmelerdir,[2].



Şekil 2.9: Outinord Tipi Tünel Kalıp Elemanı

1. Döşeme panosu
2. Duvar panosu
3. Eğik dikme(payanda)
4. Dikme (tekerlekli)
5. Tekerlek
6. Kriko (bulon)
7. Yanak panosu
8. Duvar ve döşeme bitim panosu
9. Döşeme üst seviyesi ayarlama
- 10.Boşluk kalıpları

❖ K rleme Elemanları

Kalıpları bir günde çıkarabilmek ve betona gerekli mukavemeti kazandırabilmek için k rleme zorunludur. K rleme çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Yöntemler sıcak su vasıtasıyla kalıp yüzeylerinin ısıtılması, enfraruj ı ınlarla veya bir ısı kaynağı ile ısıtmadır. K rlemede en önemli nokta, döşemenin mukavemetini sağlamasıdır,[1].

Türkiye'de genel olarak kullanılan yöntemde, tünelin çıkış ağızları plastik perdelerle kapatılır, tünel içinde yerleştirilen bütan gaz sobaları ile betonun, çok kısa sürede prizini alması, daha sonra sertle ip önemli derecede mukavemet kazanması sağlanır,( ekil 2.10).



Şekil 2.10: Hacmin Isıtılması İle K rleme

❖ Aks Betonu D k m n  Sağlayan Elemanlar

Tünel kalıp elemanlarının bir üst betondaki konumlarını bulabilmeleri için aks betonlarına gereksinimleri vardır. Bu aks betonlarının yapımını olanaklı kılmak için kullanılan ilave kalıp elemanına “Aks Beton Kalıbı” ya da “sokl” denilir.

Aks betonunun dökümünü gerçekleştirmek için öncelikle artı şeklindeki beton prekast elemanlar iki tünel kalıp arasına yerleştirilir. Bu artı şeklindeki elemanların üst bacakları döşeme üst seviyesini belli eder. Daha sonra  elik korniyerler bu prekast elemanlara bağlanarak aksın kalıplarını oluşturur, ( ekil 2.11),[9].



Şekil 2.11 : Aks Betonu Kalıpları

Yerine konulan tünel kalıbın, bu ekipmanın kullanımı ile gerekli kot ayarlamaları yapılır, yükseltip alçaltılabilir ve sonunda sabitleştirme yapılarak kalıp devreye sokulur.

2.6. Tünel Kalıp Yöntemi İle Yapı Üretim Süreci

- Zeminin hazırlanması ve yapı çukurunun açılması geleneksel yöntemlerde olduğu gibidir.
- Bodrum kat yapımı.

Bodrum katlar genellikle normal kat yüksekliklerinden daha fazla yapılarak (örneğin 4.00 m) standart tünel kalıp yüksekliğine kadar geleneksel yöntemle perde duvarları dökülüp, bu kottan sonrasında tünel kalıp kurularak (bu kot aynı zamanda tünel kalıbın kolayca sökülüp, takılabildiği kottur) ilk aks betonları da yerleştirilerek beton dökülür. Arazinin durumuna göre bazı uygulamalarda bodrum katların tamamen geleneksel yöntemlerle yapılması durumu da vardır.

- Tünel kalıp ile yapım sürecini bir önceki kattan söküm işlemi ile başlayarak incelemek olanaklıdır. Örneğin 2. katın beton prizini almış olduğu ve 3. katın döküm işlemi ile yapım sürecini devam ettirebiliriz.
- Tünel kalıpların ön yüzlerini kapatan yalıtım muşambaları toplanır.
- Gergi bulonları veya bağlama kuşakları denilen elemanlar sökülür. Ancak tam çıkarılmayıp yatay kalıp atkısında korunurlar.
- Perde alın pimleri çıkarılır.
- Aks betonu kelepçeleri köşebentleri ve mesafe ayar elemanları sökülerek döşemenin üzerine bırakılır.

- Döşeme alınlarını kapatan, döşeme alın pimleri çıkartılır ve bu alın elemanının tünel içine düşmesi sağlanır.
- Döşemeye bağlı tüm rezervasyonların cıvata ve bağlantıları çıkarılır. Döşemede ve perde duvarlarda, elektrik ve su tesisatı ile ilgili tüm vida ve cıvataların sökülüp sökülmediği kontrol edilir.
- İki yatay panoyu bağlayan bağlama kancaları sürme anahtarlar ve levyeler sökülür.
- Pano krikoları yardımıyla birinci yarım tünelin düşey panelleri tekerlekler üzerine düşürülür.
- Elle itilerek veya aparatı yardımıyla ağırlık merkezi deliği döşemenin dışında olacak şekilde kalıp çıkartma iskelesi üzerinde çekilir ve kalıp kaldırma üçgeni takılarak somunu iyice sıkılır.
- Yarım tüneli vinçle kaldırarak (Şekil 2.12) bir sonra kullanılacak yeni yerine taşınır, döşeme ayarlı dikmelerle desteklenir.



Şekil 2.12 : Tünel Kalıbın Vinçle Yerine Taşınması

- Perde alın elemanları tünellerden bağımsız monte edilmişse bunlar sökülür.
- Bütün konikler betondan konik zımbası kullanılarak sökülür.
- Yarım tüneller yerlerine yerleştirilmeden önce, bakım ve yağlamaları yapılır. Yarım tünel akslarına dayanmadan önce tüm perde tesisatı ile rezervasyonlar dik panoya işlenir (Şekil 2.13). Blon ve çelik konik kalıp elemanları monte edilir.

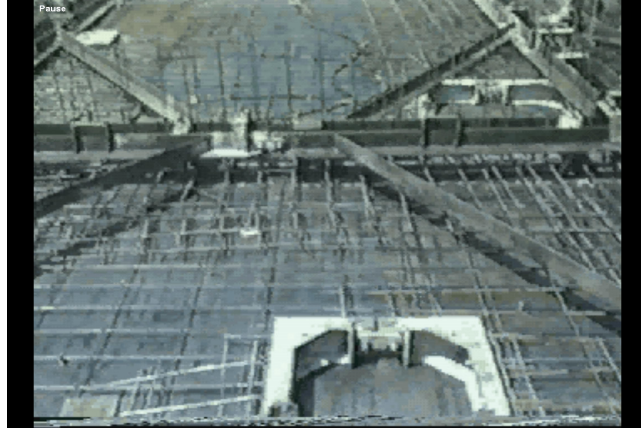


Şekil 2.13: Perdelere Hasır Bağlanmasından Sonra Tünel Kalıbın Yerine Yerleştirilmesi

- Perde alın elemanı yerleştirilip pim ile sabitlenir.
- Akslara dayanan tüneller pano krikosu ile koduna getirilir (Aks üzerine kot çizgisi işlenmiş olmalıdır) .
- Dikme tekeri ile tünelin şakülü ayarlanır. Bu işlem sırasında döşemeye 3 mm civarında bir ters sehim verilir. Teorik olarak sehim payının doğru olması için dikme tekerlerinin zeminle ilişkisi olmaması gerekir. Tünel açıklığına göre verilecek sehim payı farklıdır.

Sehim Payı (c)

- Tünel açıklığı: 390 cm c:2 mm
- Tünel açıklığı:570 cm c:4 mm
- Tünel açıklığı: 570 cm den fazla c:8–20 mm
- İkinci yarım tünel aynı şekilde diğer aksa yerleştirilip aynı işlemler tekrarlanır.
- Dikme tekerleri artık kullanılmayacağından yukarı vidalanarak yerle irtibatı kesilir.
- Yarım tünellerin montajı bittikten sonra kalıp çıkarma iskeleleri yeni yerlerine taşınır.
- Perde alın elemanları ikinci yarım tünele pimle sabitlenir.
- Bulonların somunları sıkılır. Döşeme alınlarının sabitleme pimleri yerleştirilir.
- Döşeme üzerindeki tüm donatı ve rezervasyonlar yerleştirilir. Düşey donatılar, kalıpların yerleştirilmelerinden önce aks betonlarında bırakılmış olan filizlere bağlanarak hazırlanmıştır.
- Aks betonu elemanları yerleştirilir, (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Aks Kalıplarının Ve Rezervasyonların Yerine Yerleştirilmesi

- Isıtıcılar tünelin içine yerleştirilerek perdeleri (yalıtım panoları) kapatılır
- Beton dökümü yapılır.
- Tünel içi ısıtıcılar yardımıyla küremeye başlanır.
- Kalıp söküldükten sonra iki yarım tünelin birleşim hattı olan hacmin aksı teleskopik dikmelerle desteklenir.
- Bölücülerle ilgili yapım işlemlerine başlanır.
- Cephe panoları takılır,[10].

2.7. Tünel Kalıp Sisteminde Tasarlama İlkeleri

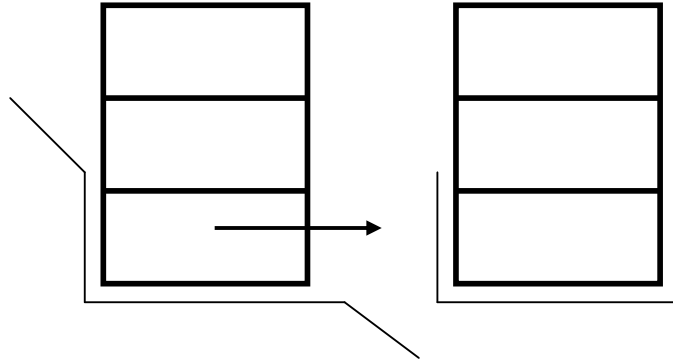
En büyük ekonomik döşeme açıklıkları (maksimum) 5.70 – 6.30 m'dir (ek kalıp elemanları ile). Büyük açıklıklarda döşeme kalınlıkları artmakta, dolayısıyla sistemin ekonomikliği ortadan kalkmaktadır,[11]. Döşeme kalınlıklarını, gerek cephede kirişin olmayışı gerekse perde döşeme arası yırtılma tahkiklerine göre 14–16 cm civarında seçilebilir. Ayrıca döşeme kalınlığının artması da kalıp konstrüksiyonunu zorlamakta ve ağırlaştırmaktadır,[12].

Aynı kat içinde kat yükseklikleri sabittir. Düşük döşeme genellikle yapılamamaktadır. Ancak bazı özel profillerle döşeme yüksekliği 4 cm kadar düşürülebilmektedir.

Binanın her iki doğrultudaki rijitlikleri ve yapı titreşim periyotları birbirine benzer değerlerde olmalıdır, perde tasarımları ve dolayısıyla tünel kalıbın çıkış yönleri bu faktörler göz önüne alınarak belirlenmelidir. Binada tek doğrultuda çok sayıda perde,

diğer doğrultuda ise çok fazla rijit bir perde oluşturulması tünel kalıpların çıkarılmasında kolaylık sağlamaktadır. Ancak bu durumda yapı, üzerine etkiyecek yatay yükler nedeniyle oluşan burulma ve yer değıştirmelere karşı bir yönde dayanıklı olsa da diğer yönde sadece burulmaya karşı dayanıklı fakat yer değıştirmelere karşı dayanıksız olur. Dolayısıyla bu tür bir yapı tasarımından kaçınılmalıdır. Ayrıca çok fazla rijit perdelerin rijitliğiyle orantılı olarak kesme kuvveti etkisi altında kalacağı ve bu elemanlarda problemler oluşacağı unutulmamalıdır,[5,7].

Bodrum katlarının yapım tekniğı binanın oturacağı alandaki arazinin kesiti belirler. Eğer kesit, kalıp elemanlarının sökümünü olanaklı kılar şekilde ise tünel kalıp elemanları kullanılır. Aksi takdirde yapı, kalıp elemanlarının çıkartılabileceğı kota kadar geleneksel yöntemle inşa edilir, (Şekil 2.15), (Şekil 2.16).



Şekil 2.15: Bodrum Katın Tünel Kalıplarla Yapımının Olanaklı Ve Olanaksız Hali



Şekil 2.16 : Bodrum Katın Tünel Kalıplarla Yapımına Örnek

5–20 kat arasındaki çok katlı yapılarda ekonomik olarak uygulanabilir. Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluştuğundan 35 kattan fazla kat yapılması gerektiğinde çerçevelerle birlikte düşünölmeleri uygun olabilir,[13].

70 – 150 m² arası, çok katlı konutlarda en ekonomik uygulamasını bulur,[12].

Genel yerleşim planı açısından, vinç kapasiteleri en önemli etkindir. Yapıların konumlandırılmasında, aynı kule vinç ile en az iki yapının üretilebilmesi sağlanmalıdır.

3. TÜNEL KALIP SİSTEMİ İLE İNŞA EDİLEN YAPILARDA YAPI ELEMANLARININ VE KULLANILANILAN MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ

3.1. Yapı Malzemelerinin Özellikleri

3.1.1. Beton

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilecek binaların üst yapılarında ve temellerinde kullanılacak olan beton sınıfı, temeldeki zımbalama ve döşemedeki kayma dayanımını sağlayacak şekilde seçilir. Kayma ve zımbalama dayanımında betonun çekme mukavemeti etkilidir. Örneğin C20 betonunun beton tasarım çekme dayanımı, 1.00 MPa iken C25 betonunun 1.15 MPa'dır; yani C25 betonu, C20 betonundan %15 daha fazla zımbalama dayanımı sağlamaktadır. Betonarme yapı elemanlarında kesit bytmek çoğu zaman elverişli sonuçlar doğurmaz çünkü hem kullanılması gereken minimum donatı alanı fazlalaşacak, hem de yapının ağırlığı artacaktır.

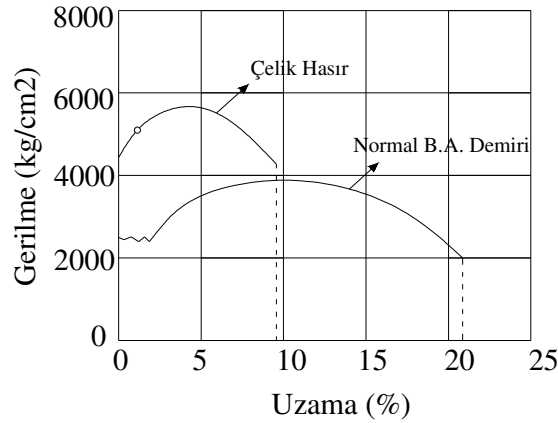
Özellikle tünel kalıp sistemi ile inşa edilecek binalarda kat içinde herhangi bir döşemenin kalınlığını arttırmak demek o kattaki ve dolayısıyla binadaki tüm döşemelerin kalınlığını arttırmak demektir çünkü tünel kalıp sisteminde aynı kat içerisindeki döşeme yüksekliğinin değiştirilmesi oldukça zordur ve ek maliyetler gerektirdiğinden uygulanmaz.

Aynı durum temellerdeki zımbalama hesabında da söz konusudur. Temel radye kalınlığının arttırılması zemine gelen yüklerin ve minimum donatı oranının artmasına dolayısıyla ekonomik çözümden uzaklaşılmasına neden olur.

İnşaat mühendisinin tüm bu koşulları göz önüne alarak beton sınıfını optimum şekilde belirlemesi gerekmektedir. Gerektiğinde st yapı ile temelin farklı beton sınıflarıyla inşa edilmesi de söz konusu olabilir,[3].

3.1.2. Çelik Ve Hasır Çeliği

Hasır Çelik, yüksek mukavemetli nervürlü çubuklardan nokta kaynağı ile yapılan betonarme donatı malzemesidir. Her türlü binanın döşeme ve perde duvarlarında, sömellerinde, tünellerde, beton sahalarında, endüstri yapılarında, prefabrik elemanlarda, barajlarda ve daha birçok yerlerde kullanılabilir. İnşaat demirine göre malzemede ekonomi, işçilikte kalite ve kolaylık sağlar. Demir montaj ve kalıp bekleme sürelerini azaltır, inşaata hız kazandırır. Demirlere kanca yapmaya, pilye kıvrırmaya, çubukları tek tek düzelterip kesmeye gerek kalmaz. Normal betonarme demiri ile kıyaslandığında mukavemeti yüksek buna karşılık sünekliği azdır, (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Betonarme Demiri İle Hasır Çeliğin Gerilme-Uzama Eğrisi

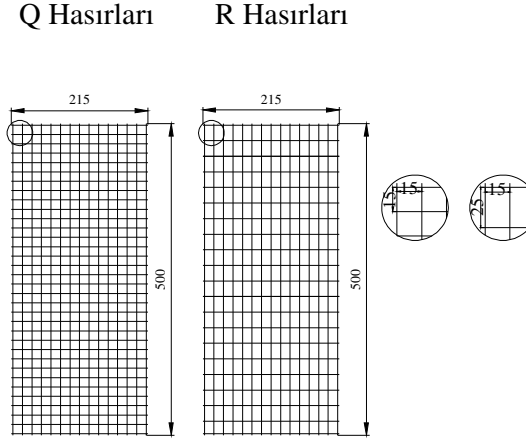
Standart hasırların boylan 5.00 m enleri, 2.15 m'dır. Ayrıca siparişe göre değişik boyutlarda, enleri 1.85 m ile 2.70 m, boyları 3.00 m ile 7.00 m arasında olan hasırlar projelere uygun olarak üretilebilir.

Hasırlar, çubuk aralıklarına göre önce şu iki bölüme ayrılır;

Q hasırları: Her iki yöndeki çubuk aralıkları eşittir (15 cm x 15 cm). İki doğrultuda çalışan plak döşemelerin açıklıklarında, perde gövdelerinde kullanılmaları uygundur, (Şekil 3.1).

R hasırları: En çubuk aralıkları boy çubuklarından geniştir (15 cm x 25 cm). Tek doğrultuda çalışan döşemelerin açıklıklarında ve döşeme mesnetlerinde

kullanılmaları uygundur, ikinci doğrultu donatısı, birincinin 1/5'inden daha büyük düzenlendiği için dağıtma donatısı da hem açıklıkta hem de mesnette kendiliğinden oluşmuş olur, (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Q ve R Hasırları

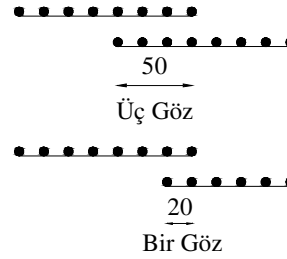
Kullanılacak çelik hasır tipleri, proje hesaplarında bulunan moment ve çelik hasır gerilmelerine bağlı olarak seçilir. Betonarme hesaplar sonucunda bulunan donatı kesitlerini karşılayan hasırlar bu listeden seçilir. İnşaatlarda kullanılacak hasır çeşitlerinin sayısını mümkün olduğunca az tutmak uygulamada kolaylık sağlar,[5].

Döşemelerde, bodrum katların çevre duvarlarında ve Denk.(3.1), Denk. (3.2) ile verilen koşulların sağlandığı binaların perde gövdelerinde S500 hasır çeliği kullanılabilir. Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen binalarda genellikle bu koşul sağlandığından döşemelerde ve gövde uzunluğu fazla olan perdelerin gövdelerinde S500, perde uçlarında oluşan kolonlarda, kirişlerde, temelde, konsol olarak çalışan döşemelerde, hatıl döşemelerde, aks devamlılığı sağlayan bağlama döşemelerinde, boşlukların çevresinde, duvar altlarında, etriyelerde ve diğer yapı elemanlarında S420 kullanılabilir,[14].

$$\frac{\sum A_g}{\sum A_p} \geq 0.002 \quad (3.1)$$

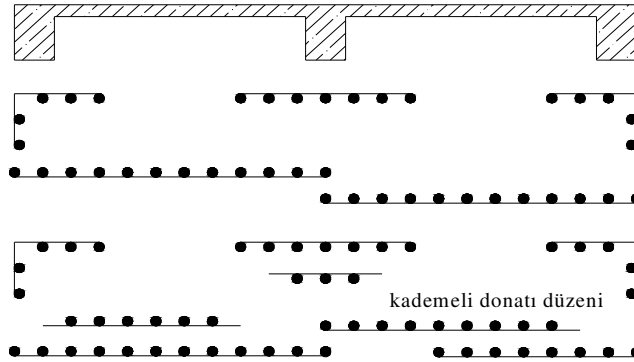
$$\frac{V_t}{\sum A_p} \geq 0.5 f_{ctd} \quad (3.2)$$

Döşeme açıklıklarında pozitif momentleri karşılamak için alt donatı planı, negatif momentleri karşılamak için üst donatı planı hazırlanır. Hasır cinsine göre bindirme boyları, hasır cinsi ve poz numaraları belirlenir. Q hasırlarda her iki yöndeki çubuklar taşıyıcı olması nedeniyle bindirme boyu üç göz, R tipi hasırlarda ise bindirme boyu bir göz olmalıdır, (Şekil 3.3),[8].



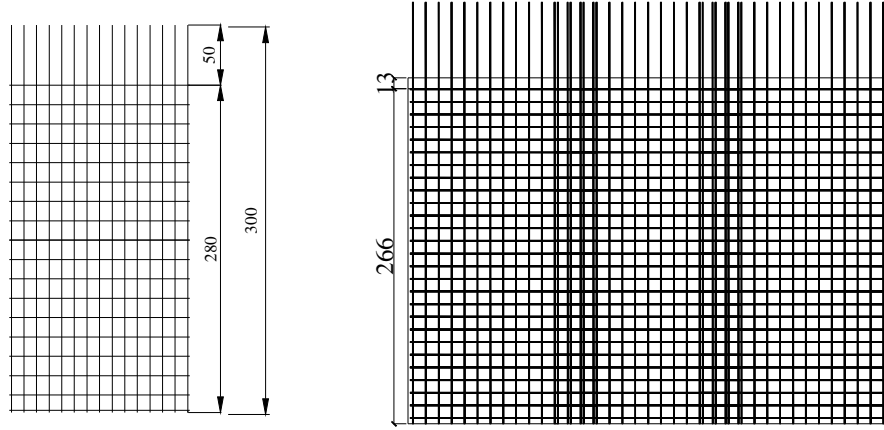
Şekil 3.3: Hasır Çeliğinde Bindirme Boyları

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi döşemeler, üst ve alt hasır donatılarla kolayca donatılabilir, [15].



Şekil 3.4: Döşemelerde Hasır Donatı Düzeni

Denk.(3.1) ve Denk. (3.2)'in genelde sağlandığı tünel kalıp sistemlerde perdelerde kullanılacak hasır çeliği Q tipi hasırlardan seçilir. Perde hasırı siparişi verildiğinde üstten 50 cm civarındaki kısımda enine donatılar yerleştirilmez aksi takdirde döşeme mesnet hasırlarının yerleştirilmesi mümkün olmaz,(Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Perde Donatısı Olarak Kullanılan Hasır Çeliği

3.2. Tünel Kalıp Sisteminde Yapı Elemanları

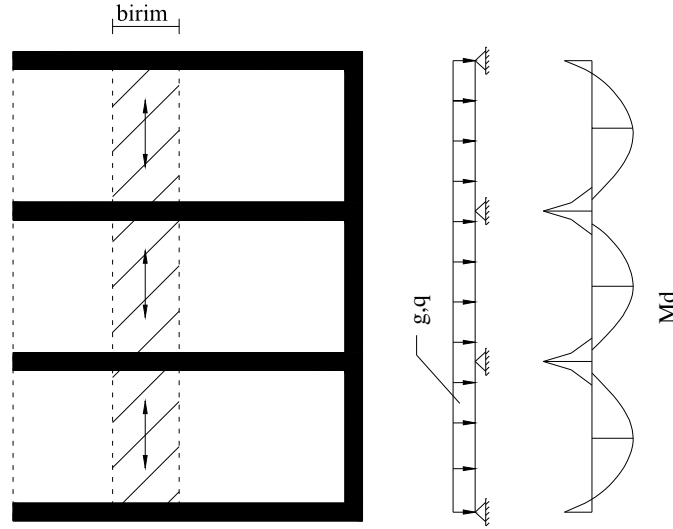
Tünel kalıp sisteminde esas olarak döşemeler, perdeler ve temeller öncelikli elemanlardır. Bu elemanların yanı sıra boşluklu perdelerdeki bağ kirişlerinden de söz edilebilir.

Döşemeler

Tünel kalıp sisteminde döşemeler kendilerini çevreleyen perdelerle mesnetlenirler. Ancak döşemelerin dört kenarının da perdelerle mesnetlenmesi pek mümkün olmaz çünkü tünel kalıbın çıkarılması için mekânın bir yüzü mutlaka açık olmalıdır. Bir başka deyişle bu sistemde döşemeler, üç kenarından perdelerle mesnetlenir. Bu durumda mesnetlenmemiş kenarın üzerine gelecek duvar yükünün karşılanması perdeler arası aks sürekliliğinin sağlanması, bu kenarda oluşabilecek sehimlerin engellenmesi amacıyla döşeme yüksekliğinde, 40 – 60 cm eninde kirişler oluşturulur. Bunlar kirişler gibi donatılırlar ancak döşeme hesaplarında bu kısmın döşemenin bir parçası olduğu kabul edilir, çünkü rijitliği kirişle kıyaslanamayacak kadar küçüktür.

Döşemelerin statik hesapları sürekli kiriş yöntemiyle yapılabilir (Şekil 3.6), süreksiz mesnetlerin bulunduğu döşemelerde bazen aynı yönde iki sürekli kiriş tanımlanması gerekebilir. Bu durum bir döşemenin kenarında iki farklı döşeme olduğunda da geçerlidir, bazen de hem mesnet süreksizliği, hem de döşeme süreksizliği aynı anda olur, bu durumda plağı sonlu elemanlara bölerek çözmek daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilmeyi sağlar,[3].

Tünel kalıp sisteminde döşemenin üç kenarından mesnetli olması plağın genelde tek doğrultuda çalışmasına neden olmaktadır. Döşemenin, kalıbın çıktığı doğrultuya dik doğrultuda çalışması istenir. Aksi takdirde elverişli olmayan çözümler söz konusu olabilir.



Şekil 3.6: Bir Yönde Çalışan Döşeme Sistemi

Perdeler

Perdeler yatay yüklerin taşımasında etkili olarak kullanılırlar. Taşıyıcı sistemlerin yükseklikleri arttıkça yatay yüklerin karşılanmasında perdeler önemli bir eleman olarak ortaya çıkar. Yatay yükler altında kat yer değiştirmelerinin sınırlandırılması bakımından, bazı durumlarda perdelerin kullanılması zorunlu olur. Deprem bölgelerinde yapılan perdelerin hem yapının güvenliğini sağlayarak ve hem de yer değiştirmeleri sınırlandırarak yapısal olmayan elemanlarda hasarları önlemeleri bakımından etkili davrandıkları belirlenmiştir. Bu nedenle ve gelecekte daha yüksek yapıların yapılması eğilimi sebebiyle taşıyıcı sistemlerde perdelerin daha yoğun kullanılacağı tahmin edilebilir.

Yüksek yapılarda ortaya çıkan perdeler yanında, bodrum katlarında binanın dış çevresinde zemin itkisini karşılamak için de perdeler kullanılır. Bu tür perdeler de düşey düzlemde bulunur, ancak dış yükler düzlemlerine dik ve yatay olarak ortaya çıkar. Bu bakımdan bu tür perdeler normal bina kat döşemelerine benzerler ve boyutlandırılmaları da benzer kurallar kullanılarak yapılabilir,[15].

Tünel kalıp sistemiyle inşa edilen yapılar çok rijit olup, deprem kuvvetlerinin tamamı perdeler tarafından taşınır. Bu tür taşıyıcı sistemlerin yatay yük taşıma güçleri çok yüksektir, fakat kritik kesitleri sadece perdelerin temelle birleştiği kesit olduğu için süneklikleri sınırlıdır. Perdelerde boşlukların oluşturulması, onların taşıma güçlerini azaltırken, süneklikleri artırır. Perdeler boşluklu da olsalar, çerçeve ile birlikte de bulunsalar kritik kesitleri mesnetleridir,[15].

Deprem bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek perdeler yapmak uygundur. Bir elemanın veya yapının sünek olması onun deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin oldukça büyük bir kısmını, dönüşümlü deformasyonlar altında, elastik sınırın ötesinde elastik olmayan davranışları ile mukavemetinden esaslı bir kayba uğramadan yutma kabiliyetidir,[16].

Perdelerin plandaki yerleri ve geometrileri mimari fonksiyonlarının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır, dolayısıyla mimari projeyi yapacak olan mimarın bu konuda çok tecrübeli olması gerekir, çünkü bu sistemde düşey taşıyıcıların tamamına yakını perdelerden oluşmaktadır.

Temeller

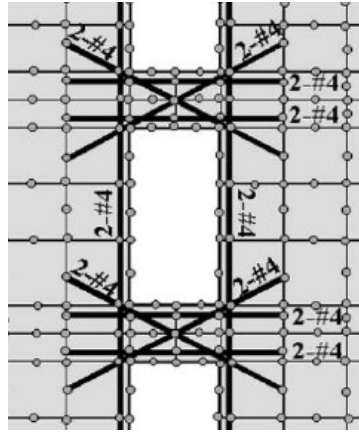
Perde duvarların altında oluşturulan temeller bir doğrultuda uzanır. Eğer sistemde aynı doğrultuda başka perdeler de varsa temeli o doğrultuda sürekli yapmak uygun olur. Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen bir yapıda her iki doğrultuda pek çok perde bulunduğu için temeli en azından iki yönde sürekli temel olarak belirlemek gerekir. Ancak bu tarz temellerin yapım ve kalıp bakımından çıkan güçlüklerden dolayı kullanım alanları kısıtlıdır. Bunun yerine inşası kolay olan plak temeller tercih edilir.

Yapı ağırlığı büyük veya zeminin taşıma gücü düşükse, bütün yapının altına tek bir plak temel yapılması uygun olabilir. Plak temeli planda üst yapının biraz dışına taşarak zemin gerilmelerini düşürmek mümkün olur. Özellikle kirişsiz plak temeller hem inşa edilmesinin kolay olması hem de bodrum katın döşemesinde düztabanı bozmaması bakımından tercih edilirler. Bu tür döşemelerde zımbalama önemli bir zorlama olarak ortaya çıkar,[15].

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapılar çok rijit olduğundan, temelin bağımsız şekil değiştirmesi sınırlanır, rijit üst yapı kendisinde oluşan zorlamalarla, farklı oturumları azaltır.

Zımbalama hesabının sağlanmaması durumunda kesit yüksekliğini arttırmak ya da beton sınıfını yükseltmek seçeneklerinden ekonomik olanı uygulanır. Belirlenen kesit etkilerine göre bir ya da iki perde altında zımbalama dayanımı az miktarda olmak koşuluyla aşılsa, bu bölgelerde zımbalama donatısı düzenlenebilir,[3].

Tünel kalıp sisteminde, boşluklu perdelerin bağ kirişleri, uygulama zorlukları nedeni yönetmeliğin belirttiği esaslara uygun biçimde donatılamamaktadır. Bu sebeple bunların yerine yüksek kirişlerde olduğu gibi etriye sıklaştırılmaları yapılmış kirişler tasarlanmaktadır. Ayrıca bu elemanlardaki gerçek zorlanmanın anlaşılması amacıyla üç boyutlu bir sonlu eleman modeli kullanarak çözüm yapmak daha uygun olmaktadır,(Şekil 3.7).



28

$$S(T)=2.5 \quad (T_A < T \leq T_B)$$

$$S(T)=2.5 (T_B/T)^{0.8} \quad (T > T_B)$$

$$R_a(T) = 1.5 + (R-1.5) T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.3)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (4.4)$$

$$V_t = W \cdot A(T_1)/R_a(T_1) \quad (4.5)$$

$$A(T_1)/R_a(T_1) = C \quad (4.6)$$

Bu C katsayıları ile yapıya etkiyecek yatay deprem yükleri hesaplanmıştır. Tüm bu çözümlemeler sırasında yapıya $G= 1.5 \text{ kN/m}^2$; $Q= 3.5 \text{ kN/m}^2$ yükleri etkittirilmiştir. Farklı zemin ve deprem bölgeleri C katsayısı içinde çözüme katılmıştır. Taşıyıcı sistem azaltma katsayısı (R) olarak ABYYHY’de belirtildiği gibi sünelik düzeyi yüksek sistem kabulü yaparak, deprem yüklerinin, tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalarda $R=6$ alınarak kullanılmıştır. Yine ABYYHY’de belirtildiği gibi kat ağırlıkları $W=g_i+nq_i$ ile hesaplanmış; n hareketli yük katılım katsayısı 0.30 alınarak kullanılmıştır,[14]. Bodrum perdesi olan yapılarda taban kesme kuvveti V_t ’nin bodrum katı üzerinden itibaren etki ettiği kabul edilmiştir. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram hareketi yaptığı kabulü ile çözümleme yapılmıştır.

Sistem çözüldükten sonra elde edilen deplasman değerleri ve iç kuvvetler bir kütüğe yazdırılmış ve Excel programı yardımıyla en elverişsiz kombinasyonlardan gelen değerlerle deplasman grafikleri çizilmiştir. Kiriş ve perde gibi elemanlarındaki iç kuvvet değerleri yine aynı yöntemle grafik ve tablo haline dönüştürülmüştür. Yapıya uygulanan yük kombinasyonları $1.4G+1.6Q$; $0.9G \pm E$; $G+Q \pm E$ ’dir.

Yatay yükler $+ \%0.05$ ve $- \%0.05$ eksantrisite ile yüklendiğinden kombinasyon sayısı 25 tanedir.

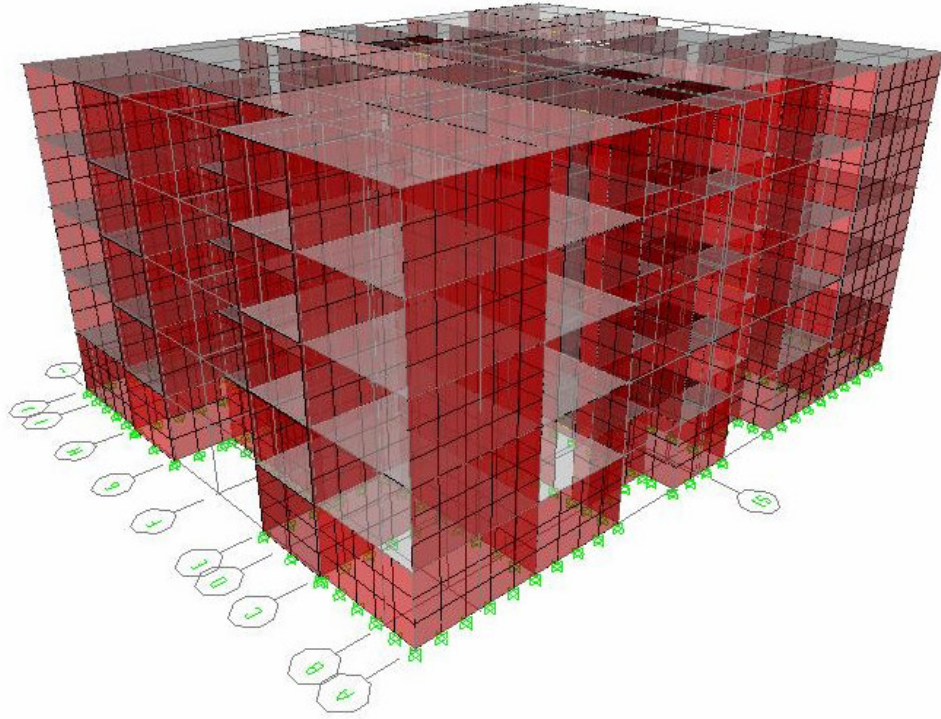
4.3. İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapı (planda kare yapı)

Çalışmanın bu bölümünde iki doğrultuda yakın rijitliğe sahip bir yapı ele alınmıştır. Ele alınan yapının kat planı (Şekil 4.3) ve Etabs programı sonlu eleman modeli (Şekil 4.4), serbest titreşim periyotları (Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3), yatay yüklerin hesabında kullanılan C katsayıları (Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6), gösterilmiştir. Yapının kat yüksekliği 279 cm’dir. 20 cm’lik betonarme perdelerden ve 20/60’lık kirişlerden oluşan yapının döşeme kalınlığı 14 cm’dir. Yapı 28.50 m’ye

22.50 m bir alana oturmaktadır. Yapının X doğrultusunda toplam 12 adet perde, Y doğrultusunda ise 18 adet perde bulunmaktadır. Mimari kısıtlardan dolayı yapıda bulunan bu perde duvarların boyu 7–8 m’yi bulmaktadır. Yapının öncelikle ABYYHY’de bahsedilen yaklaşık titreşim periyodu hesabı elle yapılmıştır. Daha sonra bu sonuçlarda dinamik hesap sonucu elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır.



Şekil 4.3 : Kare Yapının Kat Planı



Şekil 4.4 : Kare Yapının Sonlu Eleman Modeli

Her iki doğrultuda eşit rijitliğe sahip yapının serbest titreşim periyotları bulunmuştur. Periyot değerleri kullanılarak her iki doğrultu içinde C katsayıları hesaplanmış sonra bilgisayar yardımıyla çözümler yapılmıştır.

Tablo 4.1 : 5 Katlı Yapının Periyot Değerleri

Mod	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.154841	0.074	0.0009	0	0.074	0.0009	0	0.0013	0.1121	61.7031	0.0013	0.1121	61.7031
2	0.124913	66.9372	0.0077	0	67.0111	0.0086	0	0.0107	97.1918	0.0698	0.012	97.3039	61.7729
3	0.095513	0.0068	71.2771	0	67.0179	71.2857	0	98.6567	0.0102	0.0009	98.6687	97.3141	61.7738
4	0.036241	0.0737	0.0008	0	67.0917	71.2864	0	0	0.0081	19.4635	98.6687	97.3222	81.2373
5	0.032358	21.7445	0.0075	0	88.8362	71.2939	0	0.0002	2.16	0.0657	98.6689	99.4822	81.303
6	0.027444	0.0109	18.7977	0	88.8471	90.0916	0	0.9092	0.0011	0.0018	99.5781	99.4833	81.3048
7	0.018203	0.0278	0.0005	0	88.8749	90.092	0	0	0.0018	7.1588	99.5781	99.4851	88.4637
8	0.016577	7.4063	0.0061	0	96.2812	90.0982	0	0.0004	0.4198	0.023	99.5786	99.9048	88.4866
9	0.014831	0.0058	6.4068	0	96.2869	96.505	0	0.3476	0.0003	0.0004	99.9261	99.9051	88.4871
10	0.013255	0.006	0.0001	0	96.2929	96.505	0	0	0.0002	4.9241	99.9261	99.9053	93.4112

Tablo 4.2: 10 Katlı Yapının Periyot Değerleri

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.540212	0.0723	0.0006	0	0.0723	0.0006	0	0.0011	0.112	62.5059	0.0011	0.112	62.5059
2	0.421358	64.176	0.0012	0	64.2483	0.0018	0	0.002	97.2154	0.0718	0.0031	97.3274	62.5777
3	0.270385	0.002	68.2202	0	64.2503	68.2221	0	98.6586	0.0022	0.0014	98.6617	97.3296	62.5791
4	0.111876	0.0278	0	0	64.2781	68.2221	0	0.0004	0.0035	18.2334	98.6621	97.3331	80.8125
5	0.091118	19.6909	0.0009	0	83.969	68.223	0	0.0001	2.1506	0.0253	98.6623	99.4837	80.8378
6	0.070081	0.0034	17.776	0	83.9723	85.999	0	0.9709	0.0007	0.0004	99.6332	99.4844	80.8382
7	0.047869	0.0118	0.0001	0	83.9841	85.9991	0	0	0.0007	6.2652	99.6332	99.4851	87.1034
8	0.040399	6.8428	0.0027	0	90.8269	86.0018	0	0.0002	0.3562	0.0106	99.6334	99.8413	87.1139
9	0.033556	0.0038	5.9789	0	90.8307	91.9807	0	0.2675	0.0002	0.0003	99.9009	99.8414	87.1143
10	0.029203	0.0069	0.0001	0	90.8376	91.9807	0	0	0.0002	3.3333	99.9009	99.8416	90.4476
11	0.025184	3.7294	0.0026	0	94.567	91.9833	0	0	0.0917	0.0057	99.901	99.9334	90.4532
12	0.021844	0.003	3.1573	0	94.57	95.1407	0	0.0484	0.0001	0	99.9494	99.9335	90.4533

Tablo 4.3 :15 Katlı Yapının Periyot Değerleri

Mod	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	Sum UZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.129338	0.099	0.0034	0	0.099	0.0034	0	0.0055	0.1542	62.6887	0.0055	0.1542	62.6887
2	0.893199	63.2462	0.0061	0	63.3452	0.0095	0	0.0098	97.1331	0.0997	0.0153	97.2874	62.7883
3	0.514984	0.008	66.9806	0	63.3532	66.9901	0	98.5558	0.0101	0.0062	98.5711	97.2974	62.7945
4	0.227238	0.0224	0.0007	0	63.3756	66.9908	0	0.0013	0.0031	18.0948	98.5723	97.3005	80.8893
5	0.178437	19.3623	0	0	82.7379	66.9908	0	0.0005	2.2174	0.02	98.5728	99.5178	80.9093
6	0.127518	0.0005	17.7506	0	82.7384	84.7414	0	1.0806	0.0002	0	99.6534	99.5181	80.9094
7	0.093188	0.0082	0	0	82.7466	84.7414	0	0	0.0004	6.142	99.6534	99.5185	87.0514
8	0.075261	6.4855	0.0007	0	89.2321	84.7421	0	0	0.3242	0.0077	99.6535	99.8427	87.0591
9	0.058715	0.0017	5.8645	0	89.2338	90.6065	0	0.2517	0.0001	0	99.9051	99.8428	87.0591
10	0.053829	0.0051	0	0	89.2388	90.6065	0	0	0.0001	3.2196	99.9051	99.8429	90.2787
11	0.044676	3.4922	0.0012	0	92.731	90.6077	0	0	0.0864	0.0045	99.9051	99.9293	90.2833
12	0.036734	0.0025	3.005	0	92.7335	93.6128	0	0.0463	0.0001	0.034	99.9515	99.9294	90.3172
13	0.036632	0.0025	0.0565	0	92.736	93.6692	0	0.0009	0	1.9385	99.9523	99.9294	92.2558
14	0.030897	2.1875	0.0012	0	94.9235	93.6705	0	0	0.0348	0.0026	99.9523	99.9642	92.2584
15	0.027578	0.0018	0.0003	0	94.9254	93.6708	0	0	0	1.3551	99.9524	99.9643	93.6134
16	0.0263	0.0015	1.861	0	94.9269	95.5318	0	0.0238	0	0.0004	99.9762	99.9643	93.6138
17	0.023474	1.5079	0.0012	0	96.4348	95.533	0	0	0.0158	0.0011	99.9762	99.9801	93.615

Tablo 4.4 : 5 Katlı İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları

5 KATLI YAPI	1. DERECE DEPREM BÖLGESİ		2. DERECE DEPREM BÖLGESİ		3. DERECE DEPREM BÖLGESİ		4. DERECE DEPREM BÖLGESİ	
ZEMİN SINIFI	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
Z1	0.167	0.167	0.125	0.125	0.083	0.083	0.042	0.042
Z2	0.170	0.178	0.128	0.133	0.085	0.089	0.043	0.044
Z3	0.170	0.178	0.128	0.133	0.085	0.089	0.043	0.044
Z4	0.179	0.187	0.134	0.140	0.088	0.093	0.045	0.047

Tablo 4.5 : 10 Katlı İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları

10 KATLI YAPI	1. DERECE DEPREM BÖLGESİ		2. DERECE DEPREM BÖLGESİ		3. DERECE DEPREM BÖLGESİ		4. DERECE DEPREM BÖLGESİ	
ZEMİN SINIFI	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
Z1	0.127	0.167	0.096	0.125	0.064	0.083	0.032	0.042
Z2	0.160	0.167	0.120	0.125	0.080	0.083	0.040	0.042
Z3	0.167	0.167	0.125	0.125	0.083	0.083	0.042	0.042
Z4	0.167	0.167	0.125	0.125	0.083	0.083	0.042	0.042

Tablo 4.6 : 15 Katlı İki Doğrultuda Yakın Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları

15 KATLI YAPI	1. DERECE DEPREM BÖLGESİ		2. DERECE DEPREM BÖLGESİ		3. DERECE DEPREM BÖLGESİ		4. DERECE DEPREM BÖLGESİ	
ZEMİN SINIFI	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
Z1	0.069	0.109	0.052	0.082	0.035	0.055	0.017	0.027
Z2	0.087	0.137	0.065	0.103	0.044	0.069	0.022	0.034
Z3	0.120	0.167	0.090	0.125	0.060	0.083	0.030	0.042
Z4	0.167	0.167	0.125	0.125	0.083	0.083	0.042	0.042

5–10–15 katlı yapıların taban kesme kuvveti katsayıları incelendiğinde, 5 katlı yapı için Z2-Z3 zemin sınıfındaki çözümlemelerin çakışık çıktığı, 10 katlı yapı için ise Z3-Z4 zemin sınıfındaki çözümlemelerin çakışık çıktığı görülmüştür. Bu durumun ortan kaldırmak için zemin sınıflarını ABYYHY’de sayı olarak arttırmak çeşitlendirmek ve matematik modellemede temel zemin etkileşimli bir çözümleme yapmak daha uygun olacaktır.

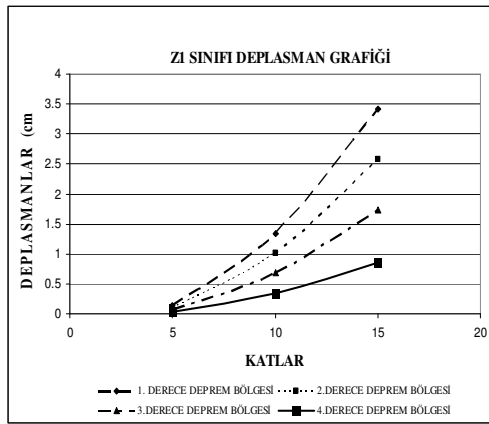
Çözümleme sonrası elde edilen değerler;

- Deplasmanlar
- İç kuvvetler
 - Perdeler (eğilme momenti, kesme kuvveti, normal kuvvet)
 - Kirişler (eğilme momenti, kesme kuvveti, normal kuvvet)

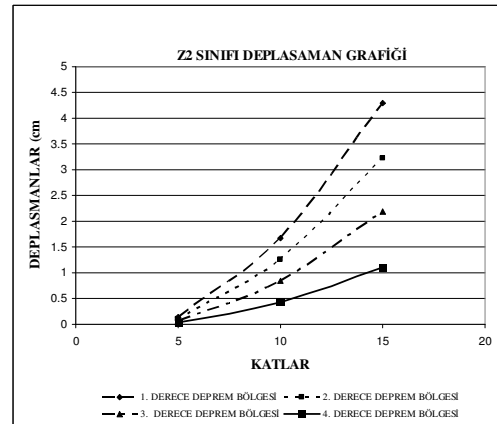
olmak üzere değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sırasında yapıda en çok zorlanan perde ve bağ kirişleri ele alınmıştır. Ayrıca yapı davranışını anlamak amacıyla tek bir kirişin veya perdenin kat yüksekliği boyunca iç kuvvetlerindeki değişimde göz önünde bulundurulmuştur.

4.3.1. Kat Deplasmanlarının İncelenmesi

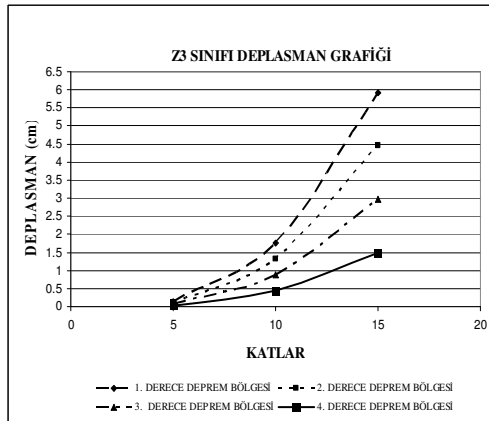
Çözüm aşamasından sonra deplasman değerleri grafikler haline dönüştürülmüştür. 5, 10, 15 yapıların farklı zemin sınıfları ve farklı deprem bölgelerindeki karşılaştırması aşağıda (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8) verilmiştir.



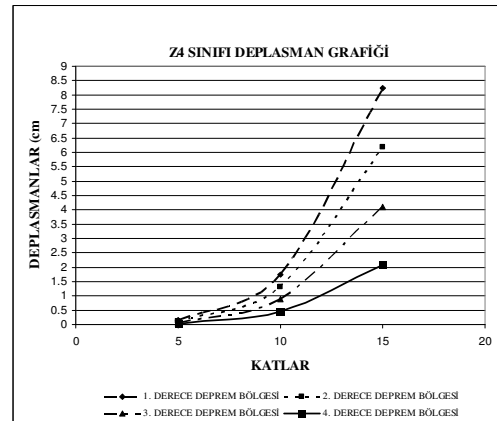
Şekil 4.5 : Z1 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği



Şekil 4.6 : Z2 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği



Şekil 4.7 : Z3 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği



Şekil 4.8 : Z4 Zemin Sınıfı Deplasman Grafiği

Farklı zemin sınıfları ve farklı deprem bölgeleri için yapılan karşılaştırmada 5 katlı yapılarda deprem bölgesi ve zemin sınıfından bağımsız olarak deplasman

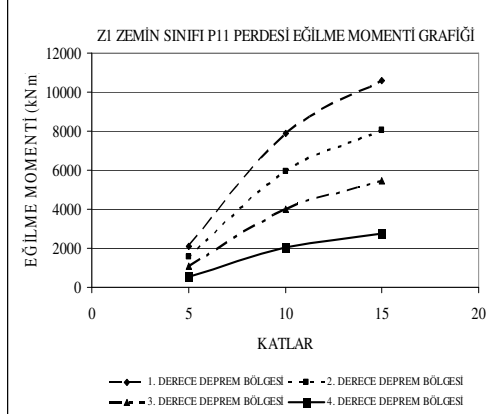
değerlerinin bir birine çok yakın çıktığı görülmektedir. Özellikle zemin sınıfının kötüleşmesi ve deprem bölgesinin 1. bölgeye yaklaşması ile deplasmanların hızla arttığı grafiklerden anlaşılmaktadır. Daha fazla katla tasarlanacak yapılar için deplasman sınırlamasını da beraberinde getirebilecek bir durum ortaya çıkmaktadır. 10 kattan sonra Z1 ve Z2 zemin sınıflarında deplasman eğrileri eğim sürekliliğini korumakla beraber Z3 ve Z4'te deplasman eğrileri 2 farklı eğime sahiptir.

4.3.2. İç Kuvvetlerin İncelenmesi

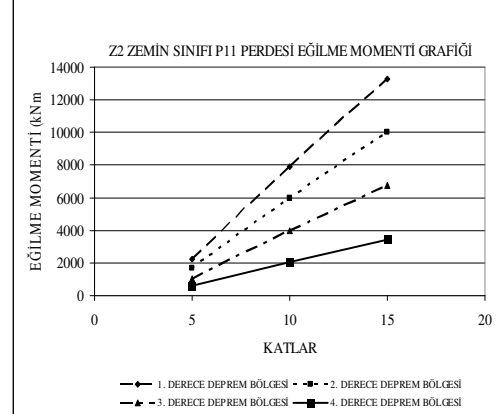
Yapı elemanlarından P11 perdesi ve B41 kirişi için oluşturulmuştur.

❖ P11 Perdesi Eğilme Momentleri

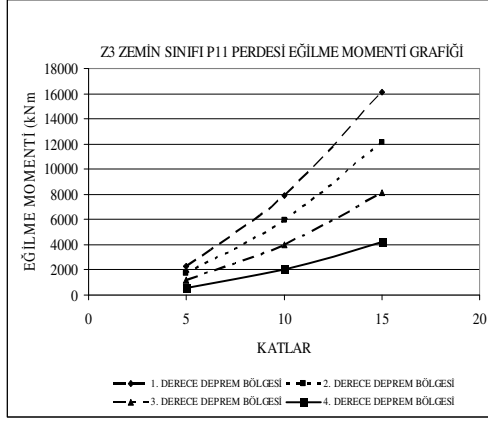
Zemin sınıfları, deprem bölgeleri ve kat yüksekliklerin etkilerinin incelendiği bu çalışmada plan üzerinde en çok zorlanan perde olan P11 perdesinin kesit tesirleri için grafikler oluşturulmuştur. P11 perdesine ait moment grafikleri (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12) verilmiştir.



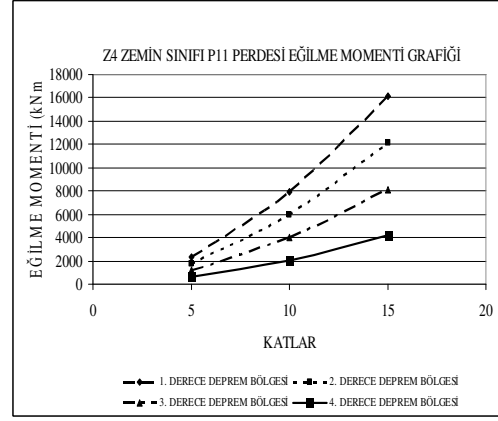
Şekil 4.9 : Z1 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.10 : Z2 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.11 : Z3 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği

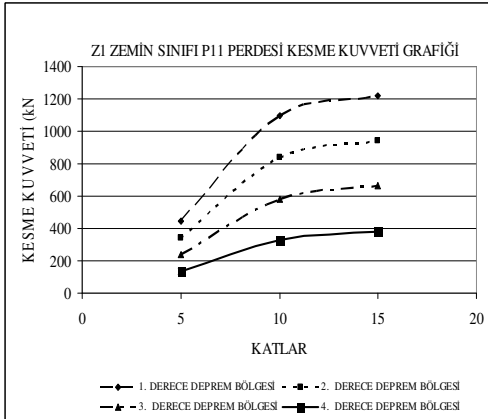


Şekil 4.12 : Z4 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği

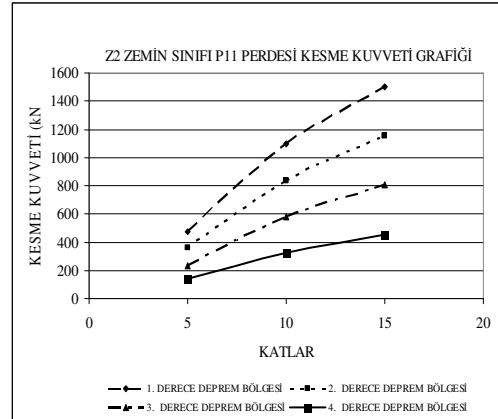
Yine 5 katlı yapılar için moment değerlerinin mertebe olarak birbirlerine yakın olduğu grafikten gözlemlenebilir. Z1 sınıfından Z4 zemin sınıfına doğru gittikçe tüm deprem bölgelerine ait moment çizgilerinin eğimlerini pozitiften negatife döndüğü yani momentlerin kat yüksekliği ve zemin sınıfı ile birlikte hızlı bir şekilde arttığı söylenebilir. Sayısal değerlerin incelenmesiyle de zemin sınıfı değişiminin moment değerlerini neredeyse iki katına çıkardığı anlaşılmaktadır.

❖ P11 Perdesi Kesme Kuvvetleri

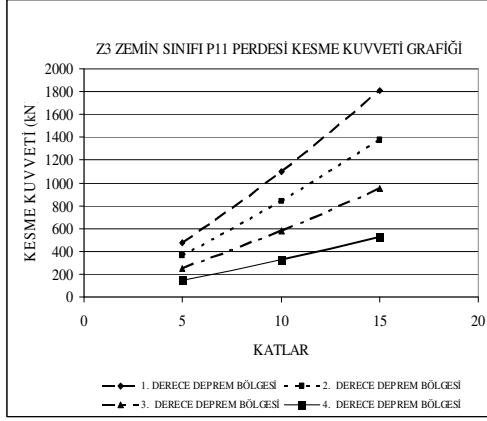
Aşağıda P11 perdesine ait kesme kuvveti grafikleri (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16) verilmiştir.



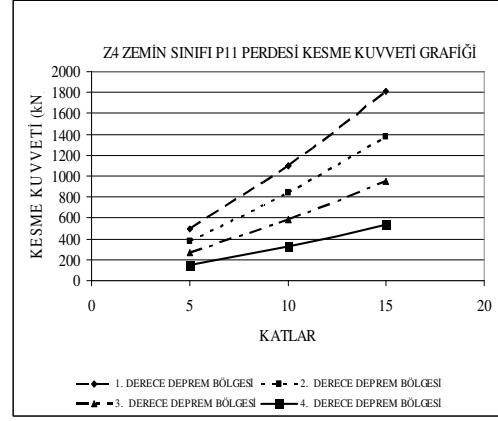
Şekil 4.13 : Z1 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.14 : Z2 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.15 : Z3 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği

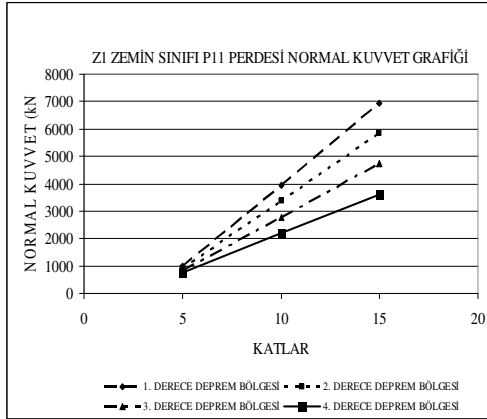


Şekil 4.16 : Z4 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği

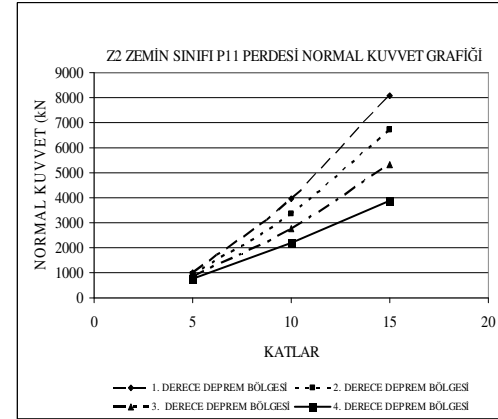
Z3 ve Z4 zemin sınıflarının kesme kuvveti bir doğrusallık göstermektedir. Z1 zemin sınıfında 10. kattan sonra eğrilerin yatay bir eğilim göstermesi bu zemin sınıfında daha yüksek katlı yapıların inşasına olanak vermektedir. Yine sayısal olarak bakıldığında deprem bölgelerine göre katlar kendi içlerinde bir doğrusallık göstermekte ve yapının deprem bölgesine göre maruz kaldığı taban kesme kuvvetinin lineer olarak arttığı söylenebilmektedir.

❖ P11 Perdesi Normal Kuvvetleri

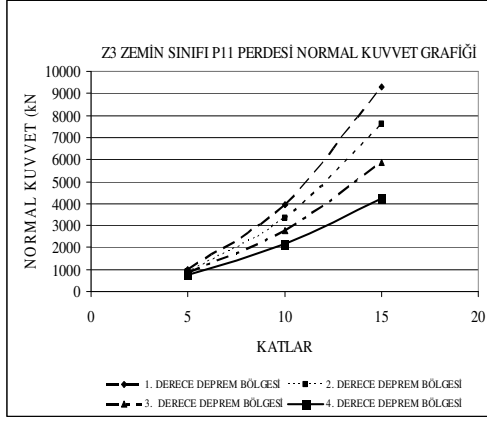
Aşağıda P11 perdesine ait normal kuvvet grafikleri (Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20) verilmiştir.



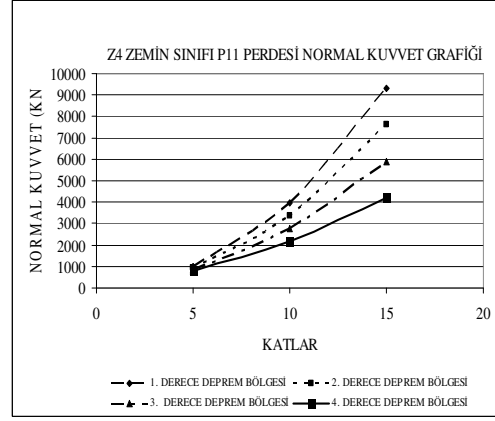
Şekil 4.17 : Z1 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği



Şekil 4.18 : Z2 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği



Şekil 4.19 : Z3 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği

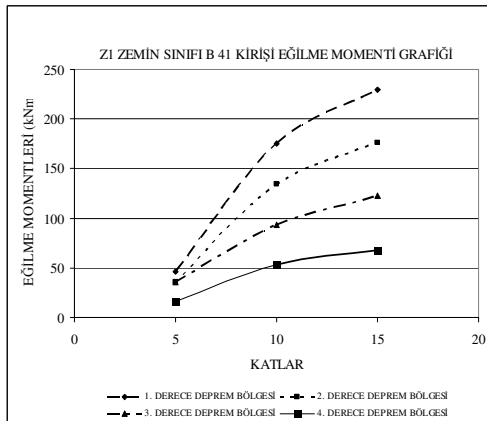


Şekil 4.20 : Z4 Zemin Sınıfı P11 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği

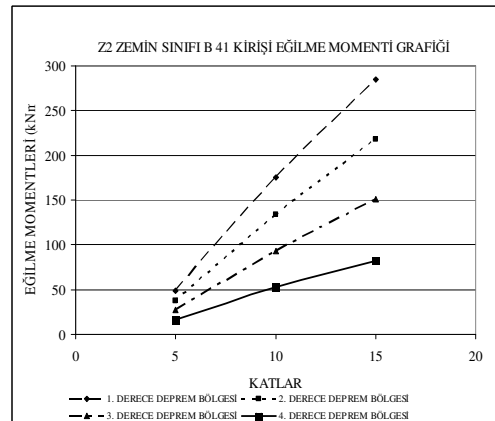
Z1 sınıfında doğrusal giden değerler Z4 zemin sınıfına doğru özellikle 10 kattan sonra hızla artan bir eğilim göstermektedir. Bina ağırlığının yanı sıra depremden de kaynaklanan normal kuvvet etkilerinin bu zemin sınıflarında önemi artmakta ve özellikle perde temel birleşiminde 10 katlı yapılardan sonra zımbalamaya karşı daha dikkatli davranmak gerektiğinin önemini vurgulamaktadır.

❖ B41 Kirişi Eğilme Momentleri

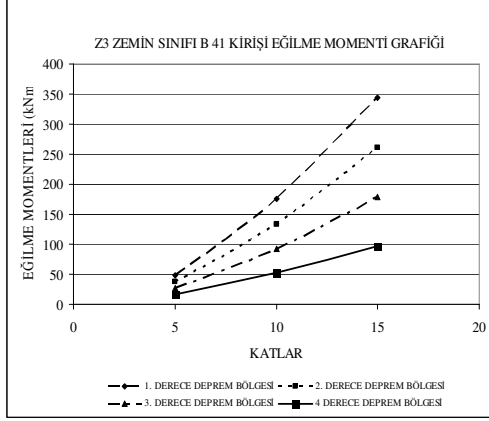
Çalışma sırasında yapıdaki kirişler incelenmiş, perdelere bağlanan bu yapı elemanlarından planda en çok zorlanan B41 kirişinin kesit tesirleri üzerinde durulmuştur. Aşağıda B41 kirişine ait eğilme momenti grafikleri (Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24) verilmiştir.



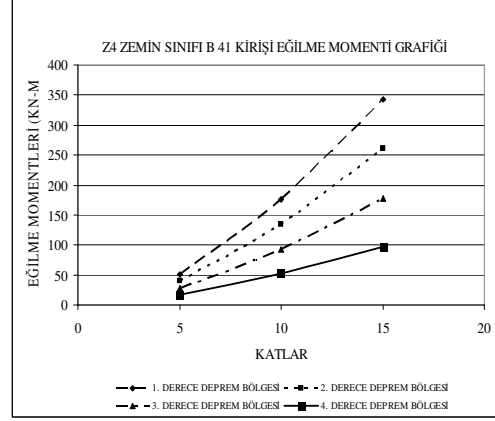
Şekil 4.21 : Z2 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.22 : Z2 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.23 : Z3 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği

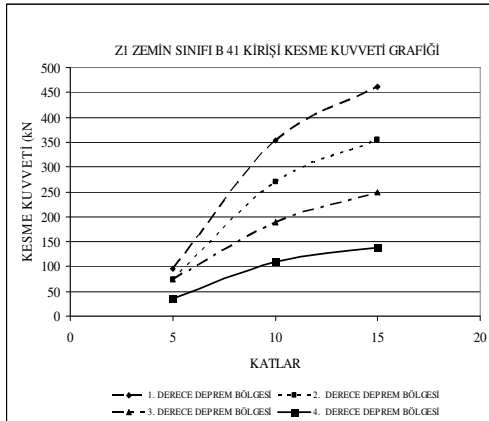


Şekil 4.24 : Z4 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği

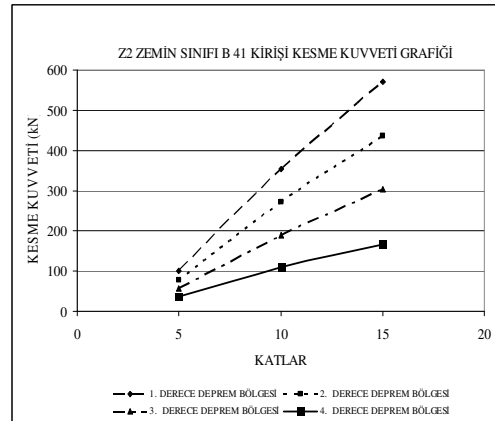
Özellikle 1. derece deprem bölgesi çizgisindeki değişimler göze çarpmaktadır. Binaya etkiyen deprem kaynaklı yatay kuvvetin etkileri perdelerle bağlanan kirişler üzerinde de aynı perdelerde olduğu gibi ortaya çıkmaktadır. Perdelerin birbirleriyle karşılıklı etkileşimli çalışmaları kirişler aracılığı ile olmaktadır. Bu nedenle B41 kirişi eğilme momenti grafikleri, P11 perdesi eğilme momentleri grafikleri ile tutarlılık göstermektedir.

❖ B41 Kirişi Kesme Kuvvetleri

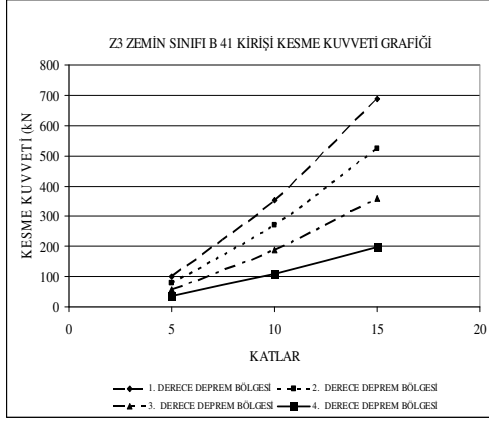
Aşağıda B41 kirişine ait kesme kuvveti grafikleri (Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28) verilmiştir.



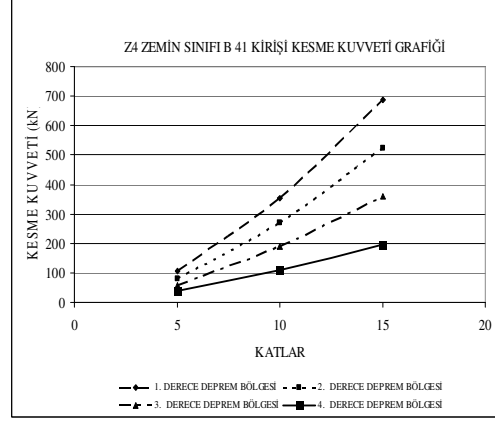
Şekil 4.25 : Z2 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.26 : Z2 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.27 : Z3 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği

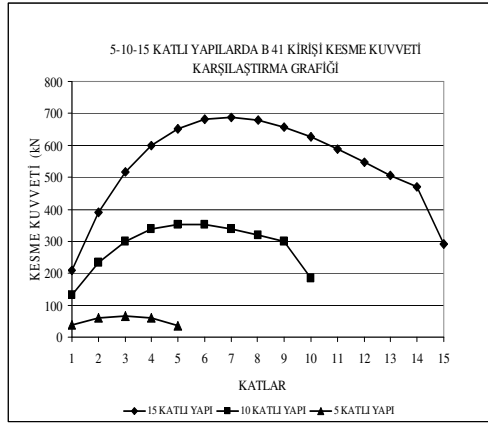


Şekil 4.28 : Z4 Zemin Sınıfı B 41 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği

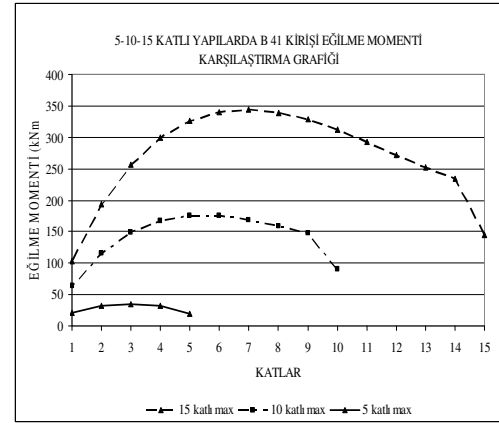
5 ila 10 katlı yapı modellerinde kesme kuvveti lineer olarak artmaktadır. Z1 gibi iyi diye nitelendirilebilecek zemin sınıflarında 10 kattan sonra eğrilerin yataya yakın bir hal alması kirişlerin ve dolayısı ile perdelerin yatay yüklerden daha az olarak etkilendiğini daha yüksek inşa edilecek yapılarda perdelerin sünekliği arttırmak üzere boşluklu yapılması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

❖ B41 Kirişinin İç Kuvvetlerinin Katlara Göre Dağılımı

B41 kirişine ait kesme kuvveti ve eğilme momenti grafiği kat adeti göz önüne alınarak oluşturulmuştur, (Şekil 4.29), (Şekil 4.30). Kesme kuvveti ve eğilme momenti şekil itibari ile aynı eğilimi göstermektedirler. Perdelerin karakteristik davranışlarından etkilendikleri açıkça görülmektedir. Ara katlarda daha fazla yüklere maruz kaldıkları bu bakımdan kritik kesitlerin bu kesimler olduğu söylenebilir. 5 katlı gibi daha az kat sayısına sahip yapılarda perdeler planda çok büyük ve rijit olduklarından tam bir perde davranışı gözlenememekte bununla birlikte planda çok büyük perde yapılmasının kirişler üzerindeki etkisi açıkça fark edilmektedir.



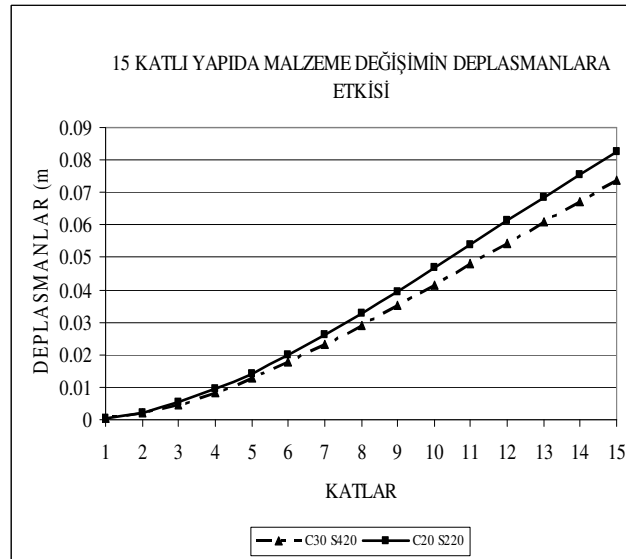
Şekil 4.29 : B41 Kirişindeki Kesme Kuvvetinin Katlar Arası Değişimi



Şekil 4.30 : B41 Kirişindeki Eğilme Momentinin Katlar Arası Değişimi

4.3.3. Malzeme Kalitesinin Yapı Davranışı Üzerine Etkisi

Kullanılan malzemenin kalitesinin yapı üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla 15 katlı yapı öncelikle C20 beton sınıfı ve S220 çeliği ile daha sonra aynı yapı C30 beton sınıfı ve S 420 çeliği kullanarak çözülmüştür. Malzeme özellikleri; $[p] = [k]$ olduğundan buradaki $[k]$ rijitlik matrisi içindeki eğilme ve uzama rijitlikleri üzerine etki eder ve sadece deplasman değerlerini değiştirir. Şekil 4.31’de bu deplasman değişikliği bir grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.31 : Malzeme Değişiminin Deplasmanlara Etkisi

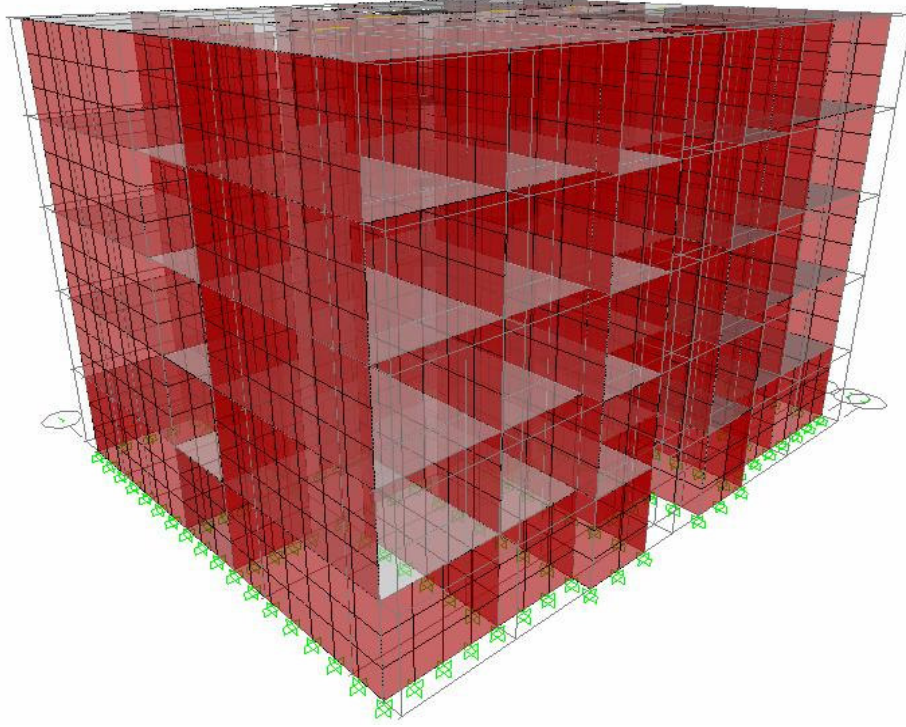
Yüksek katlı tünel kalıp projelerinde deplasmanların sınırlandırılması, konfor şartını sağlanması ve kritik olan perde temel birleşim bölgesi gibi kesitlerde zımbalamayı önlemek amacıyla en az C30 beton sınıfı kullanılması tavsiye edilebilir.

4.4. İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapı (planda dikdörtgen yapı)

İki doğrultuda farklı rijitliğe sahip bir yapı ele alınmıştır. Ele alınan yapının kat planı (Şekil 4.32) ve Etabs programı sonlu eleman modeli (Şekil 4.33), serbest titreşim periyotları (Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9), yatay yüklerin hesabında kullanılan C katsayıları (Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12) gösterilmiştir. Yapının kat yüksekliği 270 cm'dir. 20 cm'lik betonarme perdelerden ve 20/50'lik kirişlerden oluşan yapının döşeme kalınlığı 14 cm'dir. Yapı 19.36 m'ye 16.15 m bir alana oturmaktadır. Yapının X doğrultusunda toplam 6 adet perde, Y doğrultusunda ise 14 adet perde bulunmaktadır. Yapının öncelikle ABYYHY'de bahsedilen yaklaşık titreşim periyodu hesabı elle yapılmıştır. Daha sonra bu sonuçlarda dinamik hesap sonucu elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır.



Şekil 4.32 : Dikdörtgen Yapının Kat Planı



Şekil 4.33 : Dikdörtgen Yapının Sonlu Eleman Modeli

Tablo 4.7 : 5 Katlı Yapının Periyot Değerleri

Mod	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.192968	66.1869	0.0094	0	66.1869	0.0094	0	0.0139	97.0861	0.0001	0.0139	97.0861	0.0001
2	0.09317	0.0005	0.0026	0	66.1874	0.012	0	0.0037	0.0009	64.6209	0.0176	97.087	64.621
3	0.08063	0.0138	69.7385	0	66.2012	69.7505	0	98.1542	0.0153	0.0025	98.1718	97.1023	64.6234
4	0.052162	14.6161	0.0061	0	80.8173	69.7567	0	0.0036	1.3042	0	98.1754	98.4065	64.6235
5	0.026074	6.278	0	0	87.0953	69.7567	0	0	0.7447	0.022	98.1754	99.1512	64.6455
6	0.02427	0.0025	0.0025	0	87.0979	69.7592	0	0.0002	0.0003	22.5031	98.1756	99.1515	87.1487
7	0.021863	0.0006	23.2151	0	87.0985	92.9743	0	1.6541	0	0.0026	99.8297	99.1515	87.1512
8	0.017804	4.21	0	0	91.3085	92.9743	0	0	0.2904	0.0001	99.8297	99.4419	87.1513
9	0.01457	8.6871	0.0003	0	99.9956	92.9746	0	0	0.5577	0.0003	99.8297	99.9996	87.1516
10	0.012866	0.0038	0.0004	0	99.9994	92.975	0	0	0.0003	7.8969	99.8297	100	95.0486

Tablo 4.8 : 10 Katlı Yapının Periyot Değerleri

Mod	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.500711	69.894	0.0244	0	69.894	0.0244	0	0.0362	98.9022	0.0586	0.0362	98.9022	0.0586
2	0.341487	0.0847	0.0001	0	69.9787	0.0245	0	0.0001	0.1044	62.3807	0.0363	99.0066	62.4393
3	0.282635	0.0303	64.1252	0	70.009	64.1497	0	97.1827	0.0371	0.0002	97.219	99.0437	62.4395
4	0.142552	12.5769	0.0065	0	82.5859	64.1562	0	0.003	0.2391	0.0046	97.222	99.2827	62.4441
5	0.070311	4.8936	0.0002	0	87.4795	64.1565	0	0.0001	0.4188	0.0032	97.222	99.7015	62.4473
6	0.06798	0.001	0.0009	0	87.4805	64.1574	0	0.0001	0.0003	20.4336	97.2221	99.7019	82.881
7	0.057996	0.001	21.812	0	87.4815	85.9695	0	2.4272	0.0001	0.001	99.6493	99.7019	82.882
8	0.043806	2.7797	0.0001	0	90.2612	85.9695	0	0	0.0769	0	99.6493	99.7789	82.882
9	0.030974	1.8481	0.0004	0	92.1092	85.9699	0	0	0.0678	0.002	99.6493	99.8467	82.884
10	0.030146	0.0001	0.0004	0	92.1093	85.9704	0	0	0	6.9581	99.6493	99.8467	89.8421
11	0.025898	0.0007	7.3847	0	92.11	93.355	0	0.281	0	0.0004	99.9304	99.8467	89.8426
12	0.023895	1.3887	0.0004	0	93.4987	93.3554	0	0	0.0309	0.0001	99.9304	99.8776	89.8426
13	0.019671	1.1224	0	0	94.6211	93.3555	0	0	0.0269	0.0067	99.9304	99.9045	89.8493
14	0.019191	0.0009	0.0002	0	94.622	93.3556	0	0	0	3.7239	99.9304	99.9045	93.5732
15	0.017087	0.9225	0.0003	0	95.5445	93.3559	0	0	0.0173	0.0001	99.9304	99.9218	93.5733

Tablo 4.9 : 15 Katlı Yapının Periyot Değerleri

Mod	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.864258	69.6087	0.0715	0	69.6087	0.0715	0	0.1078	97.3964	1.162	0.1078	97.3964	1.162
2	0.74622	1.4207	0.0039	0	71.0294	0.0754	0	0.006	1.9014	60.8497	0.1138	99.2978	62.0117
3	0.615343	0.0889	62.7906	0	71.1183	62.866	0	96.9372	0.1151	0.0006	97.051	99.413	62.0123
4	0.250721	12.5632	0.0079	0	83.6815	62.8739	0	0.003	0.099	0.0109	97.054	99.512	62.0233
5	0.136688	0.0061	0.0005	0	83.6877	62.8744	0	0	0	19.6448	97.054	99.512	81.668
6	0.126059	4.51	0.0039	0	88.1977	62.8783	0	0.0007	0.3207	0.0159	97.0547	99.8327	81.684
7	0.114086	0.0003	20.5343	0	88.198	83.4127	0	2.5196	0	0.0005	99.5744	99.8327	81.6845
8	0.079153	2.5298	0.0001	0	90.7278	83.4128	0	0	0.0397	0	99.5744	99.8724	81.6845
9	0.056101	0.0023	0.0003	0	90.7301	83.4131	0	0	0	6.802	99.5744	99.8724	88.4865
10	0.055304	1.6087	0.0003	0	92.3388	83.4134	0	0	0.0451	0.0067	99.5744	99.9175	88.4932
11	0.047251	0.0009	7.2834	0	92.3397	90.6968	0	0.3182	0	0.0003	99.8926	99.9175	88.4935
12	0.041615	1.1471	0.0005	0	93.4868	90.6973	0	0	0.0154	0	99.8926	99.9329	88.4935
13	0.033301	0.0053	0.0002	0	93.4922	90.6975	0	0	0.0001	3.5337	99.8926	99.933	92.0273
14	0.032995	0.868	0	0	94.3601	90.6975	0	0	0.0149	0.0176	99.8926	99.9479	92.0449
15	0.028143	0.0001	3.7736	0	94.3602	94.4711	0	0.0723	0	0.0002	99.9649	99.9479	92.0451
16	0.027253	0.7043	0	0	95.0645	94.4712	0	0	0.0079	0	99.9649	99.9558	92.0451
17	0.023364	0.0043	0.0001	0	95.0689	94.4713	0	0	0	2.1729	99.9649	99.9558	94.2179
18	0.023259	0.5876	0.0001	0	95.6565	94.4713	0	0	0.0074	0.0126	99.9649	99.9632	94.2305
19	0.020412	0.513	0	0	96.1695	94.4713	0	0	0.0049	0	99.9649	99.9681	94.2306
20	0.019727	0	2.1687	0	96.1695	96.64	0	0.0221	0	0.0001	99.987	99.9681	94.2306

Tablo 4.10 : 5 Katlı İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları

5 KATLI YAPI	1. DERECE DEPREM BÖLGESİ		2. DERECE DEPREM BÖLGESİ		3. DERECE DEPREM BÖLGESİ		4. DERECE DEPREM BÖLGESİ	
ZEMİN SINIFI	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
Z1	0.167	0.172	0.125	0.129	0.083	0.086	0.042	0.042
Z2	0.167	0.184	0.125	0.138	0.083	0.092	0.042	0.042
Z3	0.167	0.184	0.125	0.138	0.083	0.092	0.042	0.042
Z4	0.168	0.194	0.125	0.145	0.084	0.097	0.042	0.042

Tablo 4.11 : 10 Katlı İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları

10 KATLI YAPI	1. DERECE DEPREM BÖLGESİ		2. DERECE DEPREM BÖLGESİ		3. DERECE DEPREM BÖLGESİ		4. DERECE DEPREM BÖLGESİ	
ZEMİN SINIFI	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
Z1	0.111	0.167	0.083	0.125	0.055	0.083	0.028	0.042
Z2	0.139	0.167	0.104	0.125	0.07	0.083	0.035	0.042
Z3	0.167	0.167	0.125	0.125	0.083	0.083	0.042	0.042
Z4	0.167	0.167	0.125	0.125	0.083	0.083	0.042	0.042

Tablo 4.12 : 15 Katlı İki Doğrultuda Farklı Rijitliğe Sahip Yapının C Katsayıları

15 KATLI YAPI	1. DERECE DEPREM BÖLGESİ		2. DERECE DEPREM BÖLGESİ		3. DERECE DEPREM BÖLGESİ		4. DERECE DEPREM BÖLGESİ	
ZEMİN SINIFI	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
Z1	0.071	0.094	0.054	0.07	0.036	0.047	0.018	0.023
Z2	0.09	0.118	0.067	0.089	0.045	0.059	0.022	0.03
Z3	0.124	0.163	0.093	0.123	0.062	0.082	0.03	0.041
Z4	0.167	0.167	0.125	0.125	0.083	0.083	0.042	0.042

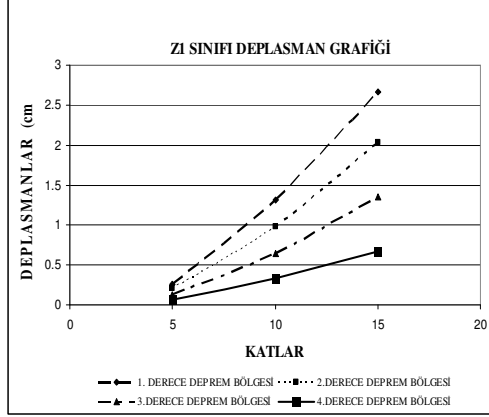
Bu yapı içinde çözümleme sonrası elde edilen değerler;

- Deplasmanlar
- İç kuvvetler
 - Perdeler (eğilme momenti, kesme kuvveti, normal kuvvet)
 - Kirişler (eğilme momenti, kesme kuvveti, normal kuvvet)

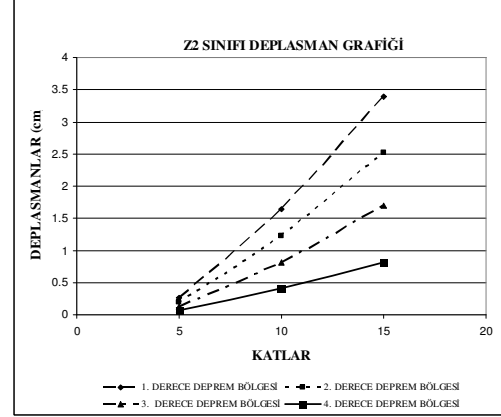
olmak üzere değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sırasında yapıda en çok zorlanan perde ve bağ kirişleri ele alınmıştır. Ayrıca yapı davranışını anlamak amacıyla tek bir kirişin veya perdenin kat yüksekliği boyunca iç kuvvetlerindeki değişimde göz önünde bulundurulmuştur.

4.4.1. Kat Deplasmanlarının İncelenmesi

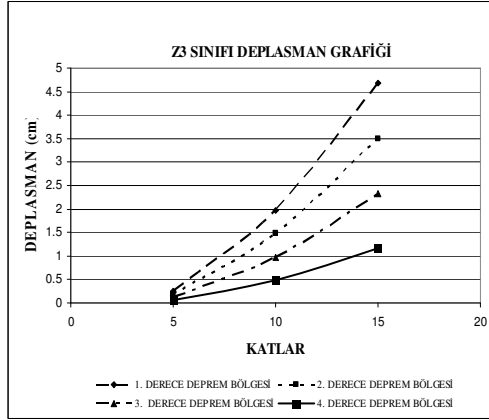
Çözüm aşamasından sonra deplasman değerleri grafikler haline dönüştürülmüştür. 5, 10, 15 yapıların farklı zemin sınıfları ve farklı deprem bölgelerindeki karşılaştırması aşağıda(Şekil 4.34,Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37)de verilmiştir.



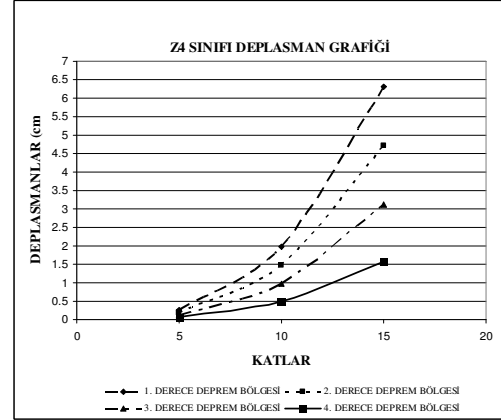
Şekil 4.34 : Z1 Zemin Sınıfı
Deplasman Grafiği



Şekil 4.35 : Z2 Zemin Sınıfı
Deplasman Grafiği



Şekil 4.36 : Z3 Zemin Sınıfı
Deplasman Grafiği



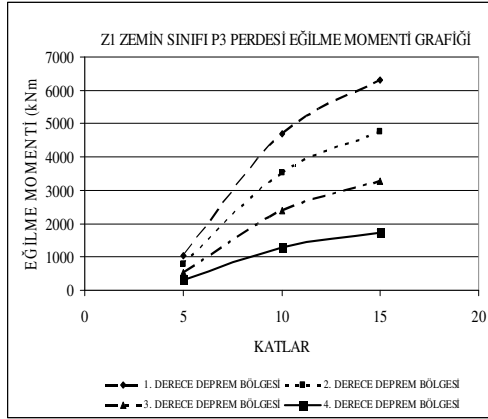
Şekil 4.37 : Z4 Zemin Sınıfı
Deplasman Grafiği

Farklı zemin sınıfları ve farklı deprem bölgeleri için yapılan karşılaştırmada 5 katlı yapılarda deprem bölgesi ve zemin sınıfından bağımsız olarak deplasman değerlerinin bir birine çok yakın çıktığı görülmektedir. Özellikle zemin sınıfının kötüleşmesi ve deprem bölgesinin 1. bölgeye yaklaşması ile deplasmanların hızla arttığı grafiklerden anlaşılmaktadır. Daha fazla katla tasarlanacak yapılar için deplasman sınırlamasını da beraberinde getirebilecek bir durum ortaya çıkmaktadır.

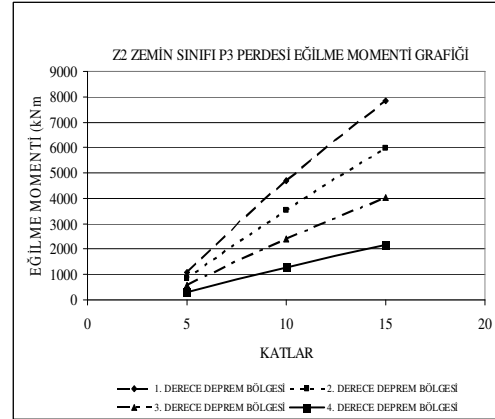
4.4.2. İç Kuvvetlerin İncelenmesi

❖ P3 Perdesi Eğilme Momentleri

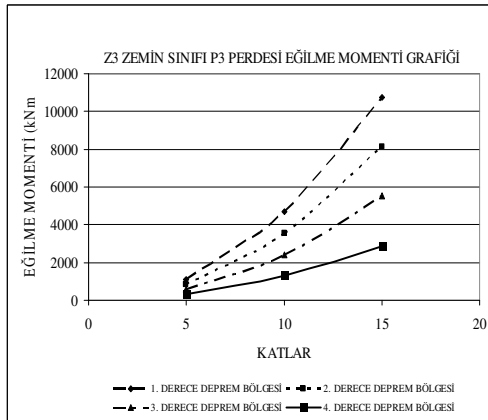
P3 perdesinin kesit tesirleri için grafikler oluşturulmuştur. P3 perdesine ait moment grafikleri (Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41) verilmiştir.



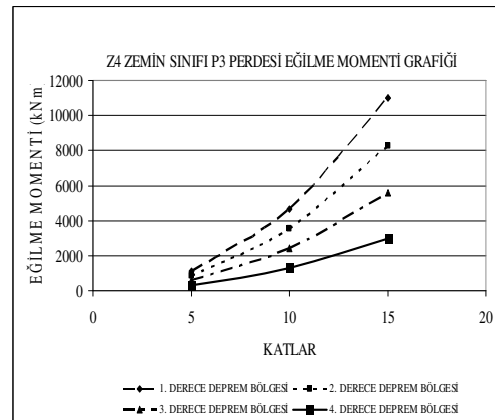
Şekil 4.38 : Z1 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.39 : Z2 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.40 : Z3 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği

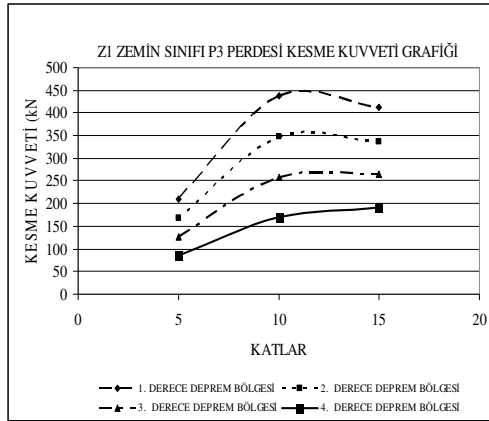


Şekil 4.41 : Z4 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Eğilme Momenti Grafiği

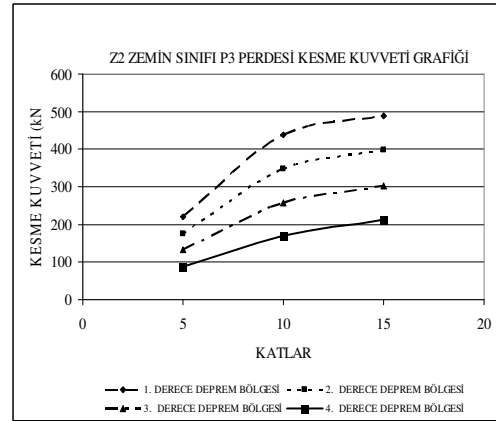
Kat sayısının az olduğu yapılarda çözümler birbirine yakın değerlerde çıkmakta, Z1 zemin sınıfından Z4'e doğru gidildikçe ve yapı yüksekliğinin artışıyla eğilme momentlerinin azalarak artan durumu çoğalarak artan bir hal almaktadır. Bu duruma yapıya etkiyen deprem yükünün neden olduğu aşikâr bir sonuçtur.

❖ P3 Perdesi Kesme Kuvvetleri

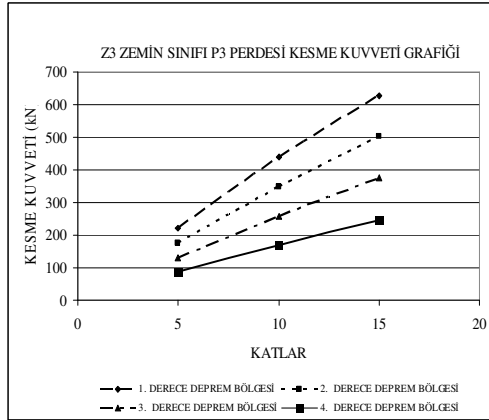
Aşağıda P3 perdesine ait kesme kuvveti grafikleri (Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44, Şekil 4.45) verilmiştir.



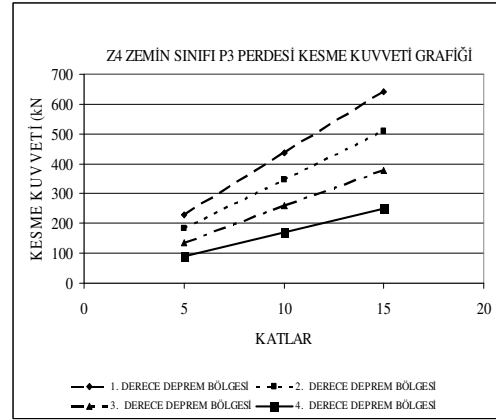
Şekil 4.42 : Z1 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.43 : Z2 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği



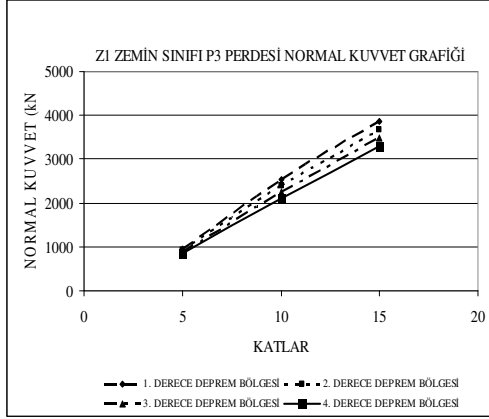
Şekil 4.44 : Z3 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği



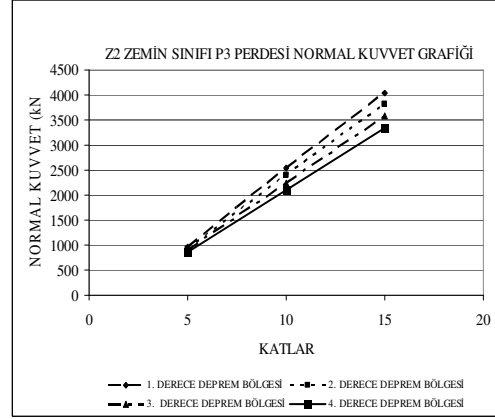
Şekil 4.45 : Z4 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Kesme Kuvveti Grafiği

❖ P3 Perdesi Normal Kuvvetleri

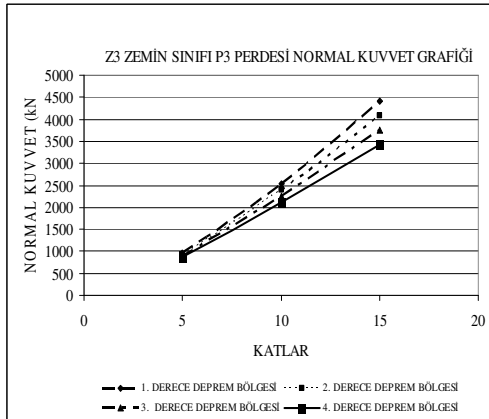
Aşağıda P3 perdesine ait normal kuvvet grafikleri (Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49) verilmiştir.



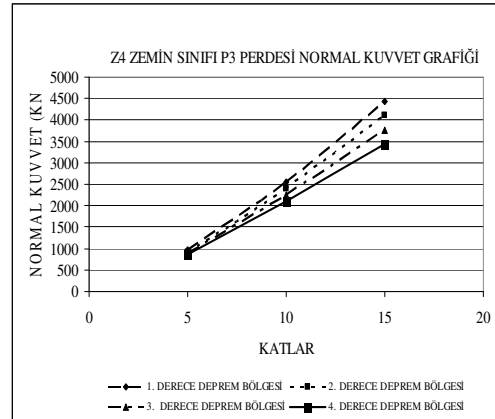
Şekil 4.46 : Z1 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği



Şekil 4.47 : Z2 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği



Şekil 4.48 : Z3 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği

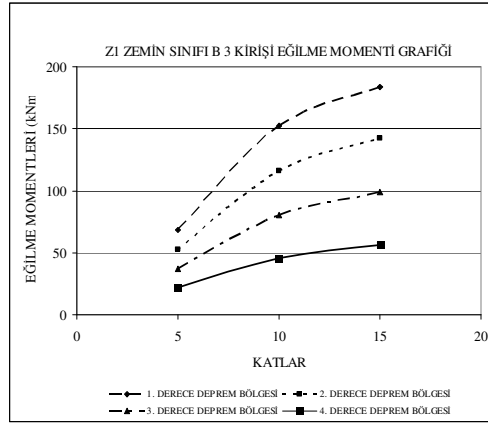


Şekil 4.49 : Z4 Zemin Sınıfı P3 Perdesi Normal Kuvveti Grafiği

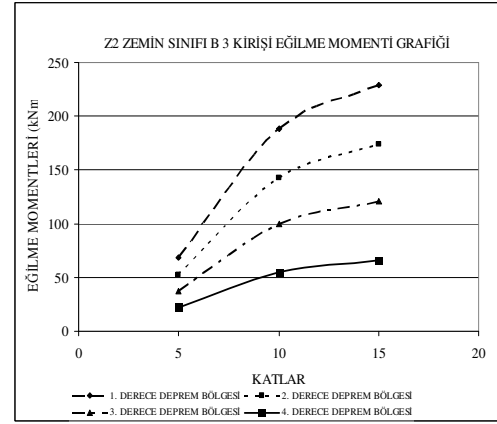
Normal kuvvetin tek yönde oluşturulan perdelerle taşındığı bu tip yapılarda normal kuvvetin artışı lineer olmakta, değer olarak yine deprem yüküne bağlı arttığı gözlemlenmektedir.

❖ B3 Kirişi Eğilme Momentleri

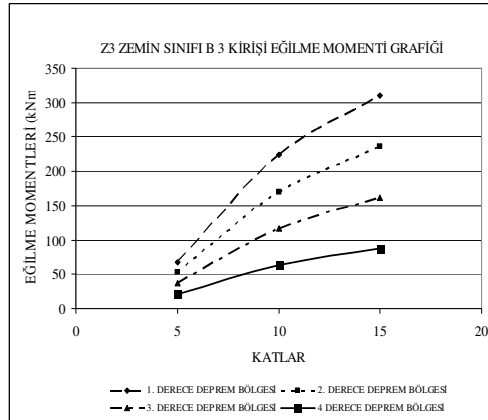
Perdelere bağlanan bu yapı elemanlarından planda en çok zorlanan B3 kirişinin kesit tesirleri üzerinde durulmuştur. Aşağıda B3 kirişine ait eğilme momenti grafikleri (Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53) verilmiştir.



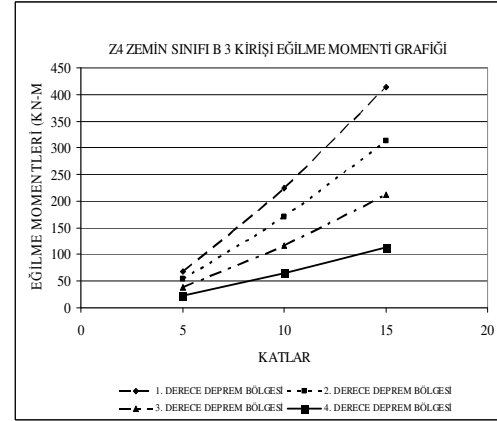
Şekil 4.50 : Z1 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.51 : Z2 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği



Şekil 4.52 : Z3 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği

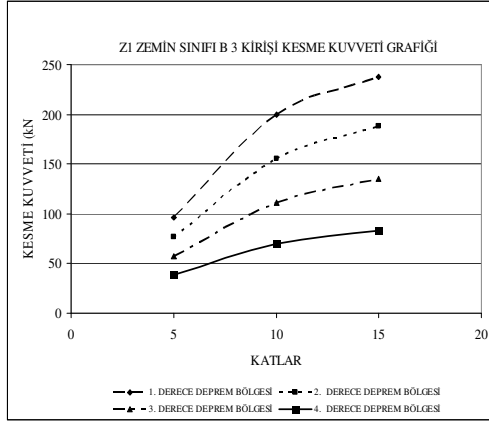


Şekil 4.53 : Z4 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Eğilme Momenti Grafiği

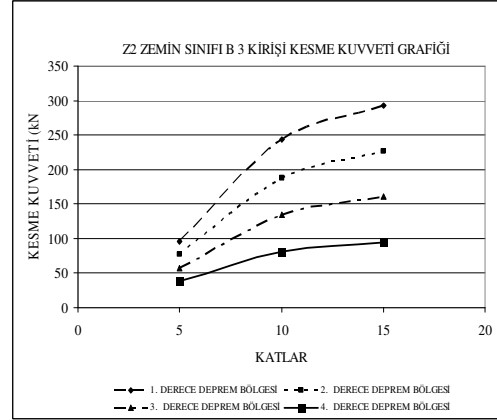
10 katlı yapılara kadar lineer bir artış gözlenmektedir. Kat sayısının artışı ile birlikte özellikle Z4 zemin sınıfında değer olarak artış hızlanmakta, zemin sınıfının perdelere dolayısı ile onlara bağlı olan bağ kirişlerine olan etkisi yine açıkça ortaya konmaktadır.

❖ B3 Kirişi Kesme Kuvvetleri

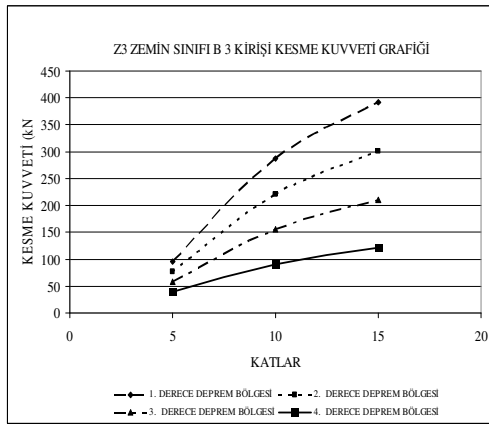
Aşağıda B3 kirişine ait kesme kuvveti grafikleri (Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57) verilmiştir.



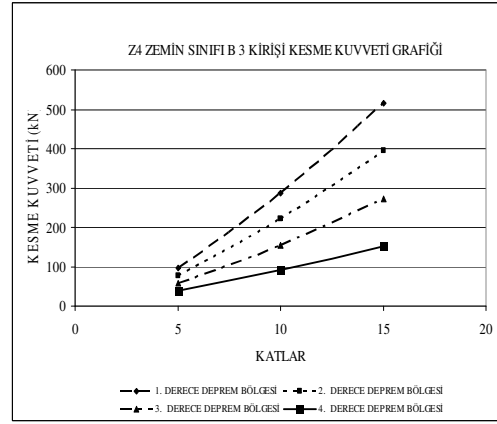
Şekil 4.54 : Z1 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.55 : Z2 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.56 : Z3 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği

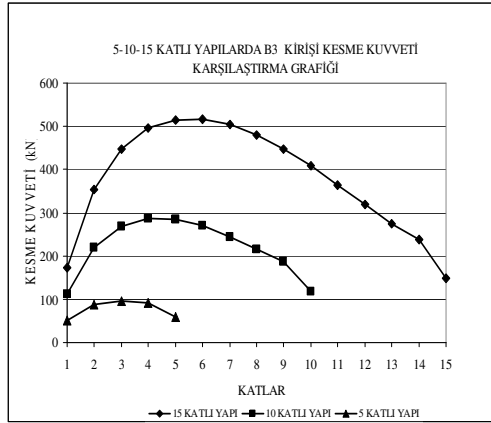


Şekil 4.57 : Z4 Zemin Sınıfı B 3 Kirişi Kesme Kuvveti Grafiği

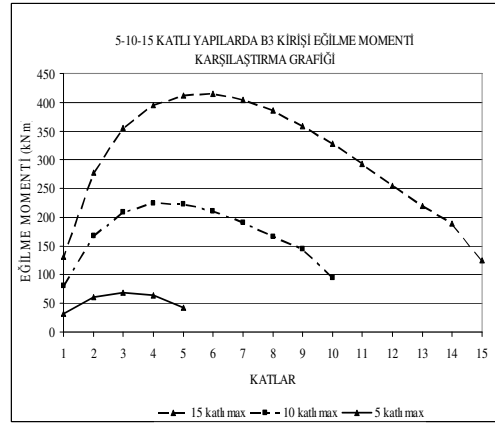
Yine 10 kata kadar lineer bir artış olmakta, 10 kattan daha yüksek olarak yapılacak yapılarda zemin sınıfının etkilerinin daha ön plana çıkacağı göz önünde tutularak tasarım yapılmalıdır.

❖ Kat Sayısına Göre B3 Kirişi Kesme Kuvveti Ve Eğilme Momenti Grafikleri

B3 kirişine ait kesme kuvveti ve eğilme momenti grafiği kat adeti göz önüne alınarak oluşturulmuştur, (Şekil 4.58), (Şekil 4.59). Kesme kuvveti ve eğilme momenti şekil itibari ile aynı eğilimi göstermektedirler. Ara katlarda daha fazla yüklere maruz kaldıkları bu bakımdan kritik kesitlerin bu kesimler olduğu söylenebilir. 5 katlı gibi daha az kat sayısına sahip yapılarda, perdeler planda çok büyük ve rijit olduklarından, perdeler tam bir perde davranışı gösterememekte, dolayısı ile kirişlere fazla bir etki gelmemektedir.



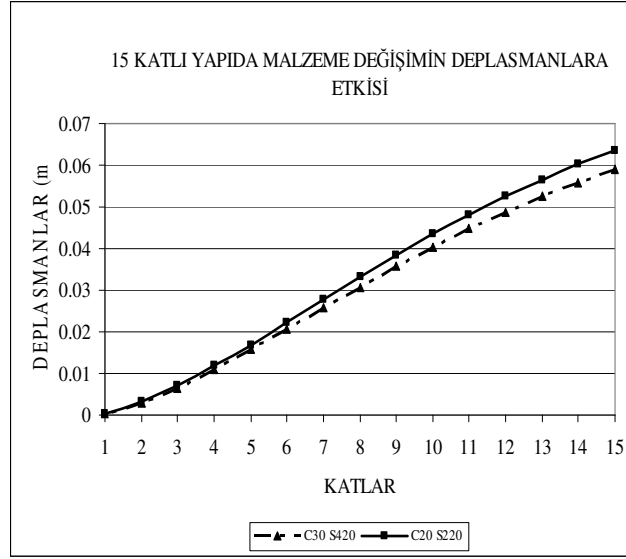
Şekil 4.58 : B3 Kirişindeki Kesme Kuvvetinin Katlar Arası Değişimi



Şekil 4.59 : B3 Kirişindeki Eğilme Momentinin Katlar Arası Değişimi

4.4.3. Malzeme Kalitesinin Yapı Davranışı Üzerine Etkisi

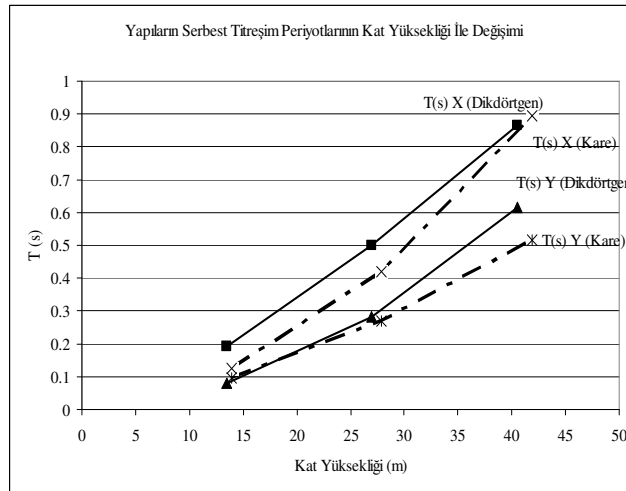
Kullanılan malzemenin kalitesinin yapı davranışı üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla 15 katlı yapı ele alınmıştır. Bu yapı öncelikle C20 beton sınıfı ve S220 çeliği ile daha sonra aynı yapı C30 beton sınıfı ve S 420 çeliği kullanarak çözülmüştür. Malzeme özellikleri; $[p] = [k] [d]$ olduğundan buradaki $[k]$ rijitlik matrisi içindeki eğilme ve uzama rijitlikleri üzerine etki eder ve sadece deplasman değerlerini değiştirir. Şekil 4.60'de bu deplasman değişikliği bir grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.60 : Malzeme Kalitesinin Yapı Davranışı Üzerine Etkisi

4.5. Planları Kare Ve Dikdörtgen Olan Yapıların Karşılaştırılması

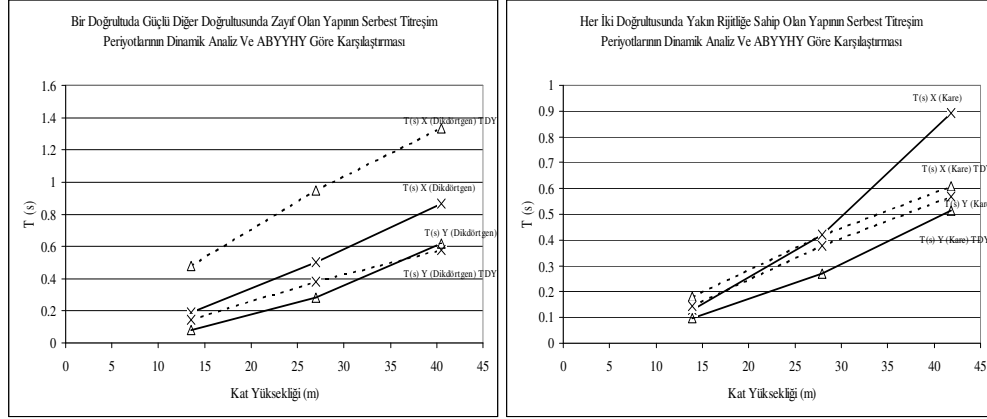
Her iki yapı içinde kat yüksekliği artışı ile periyot değerlerinin arttığı görülmektedir. Artışların lineer olduğu söylenebilir. Özellikle yapıların birinci periyot değerleri göz önünde bulundurulursa bu tarz tünel kalıpla inşa edilen yapıların burulma eğiliminde olduğu görülür,(Şekil 4.61).



Şekil 4.61 : Yapıların Serbest Titreşim Periyotlarının Kat Yüksekliği İle Değişimi

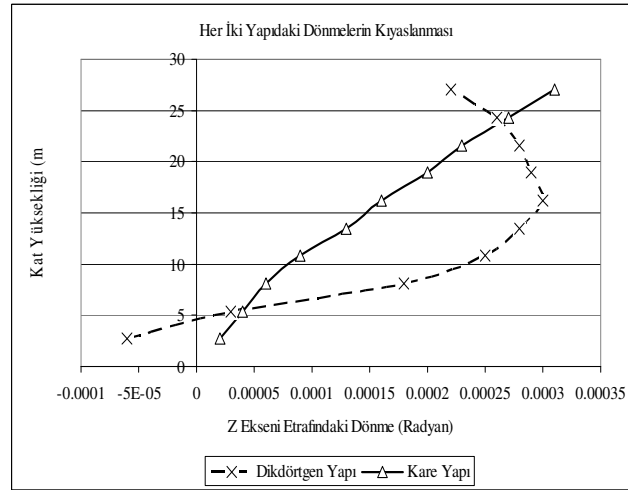
Planda dikdörtgen ve kare olan yapının serbest titreşim değerleri ABYYHY’te verilen yaklaşık hesapla kıyaslanmış, yönetmelikte verilen amprik formülün yapı

davranışını tam yansıtmadığı ortaya çıkmıştır. Özellikle planda dikdörtgen olan yapılarda yönetmeliğin değerleri dinamik analizle bulunan değerlerin çok üstünde kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi de amprik formülde bu yapıların gösterdiği burulma davranışını yansıtan parametrelerin bulunmaması gösterilebilir,(Şekil 4.62).



Şekil 4.62 : Serbest Titreşim Periyot Değerinin ABYYHY İle Karşılaştırılması

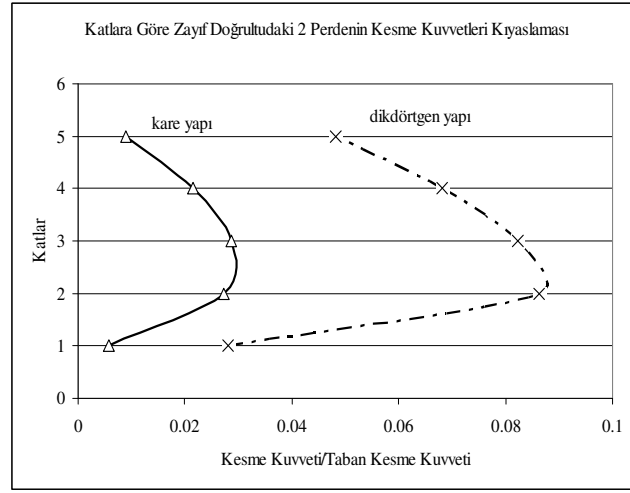
Yapıların davranışını anlamak amacıyla dönme deplasmanları incelenmiş, planda dikdörtgen yapıların dönmelerinin kat yüksekliği boyunca düzgün dağılmadığı burulma etkilerinin özellikle ara katlarda daha fazla olduğu, planda kare yapıların dönme deplasmanlarının ise kat yüksekliği ile lineer arttığı gözlenmiştir,(Şekil 4.63).



Şekil 4.63 : Her İki Yapıdaki Dönmelerin Kıyaslanması

Planda kare olan yapılarda zayıf olan doğrultuda daha fazla perde teşkil edildiğinden kata gelen kesme kuvveti değeri perdeler arasında paylaşılmakta, perdeler deprem

yüklerinden planda dikdörtgen olan yapılara göre daha az etkilenmektedirler,(Şekil 4.64).

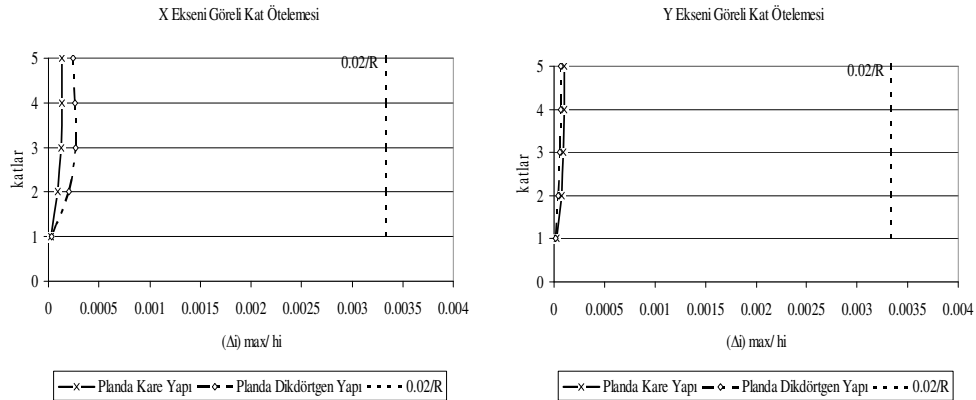


Şekil 4.64 : Zayıf Doğrultudaki İki Perdenin Kesme Kuvveti Kıyaslaması

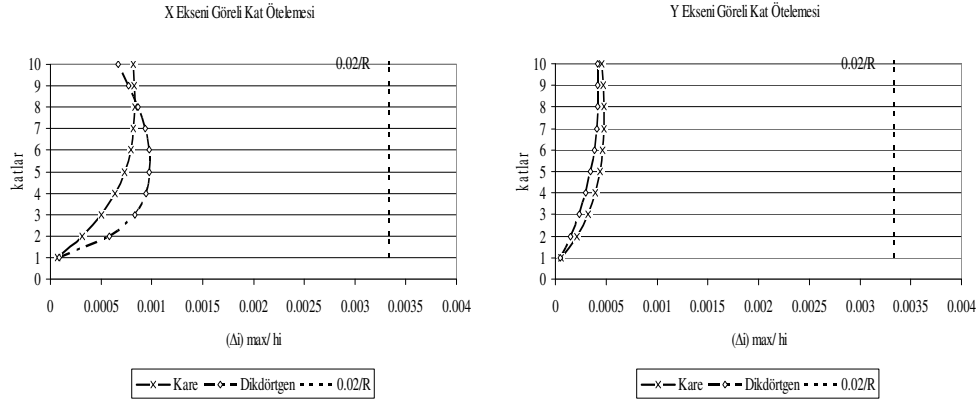
Görelî Kat Ötelemelerinin Kıyaslanması

ABYYHY’te herhangi bir perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden görelî kat ötelemesi, Δ_i Denk. (4.6) ile hesaplanmıştır. Her iki doğrultu içinde en elverişsiz durum 1. derece deprem bölgesi ve Z4 zemin sınıfındaki değerler göz önüne alınmıştır. Kat adedine göre değerler aşağıda verilmiştir,(Şekil 4.65, Şekil 4.66, Şekil 4.67).

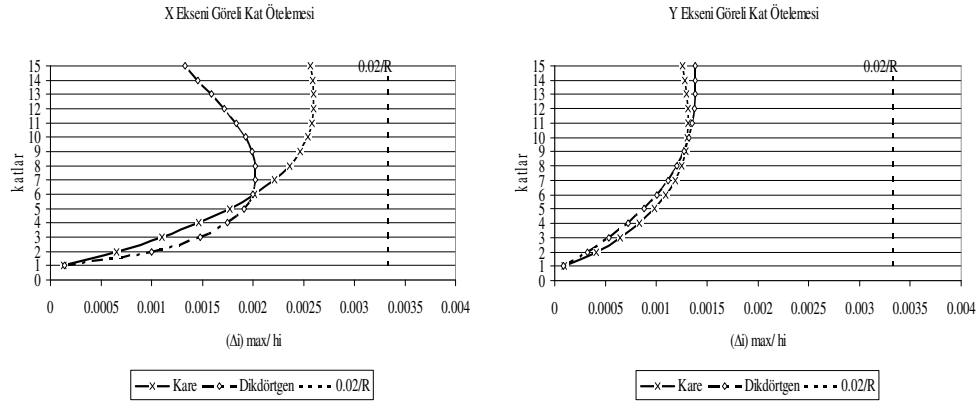
$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (4.7)$$



Şekil 4.65 : 5 Katlı Yapılar İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Kıyaslanması



Şekil 4.66 : 10 Katlı Yapılar İçin Göreli Kat Ötelemelerinin Kıyaslanması



Şekil 4.67 : 15 Katlı Yapılar İçin Göreli Kat Ötelemelerinin Kıyaslanması

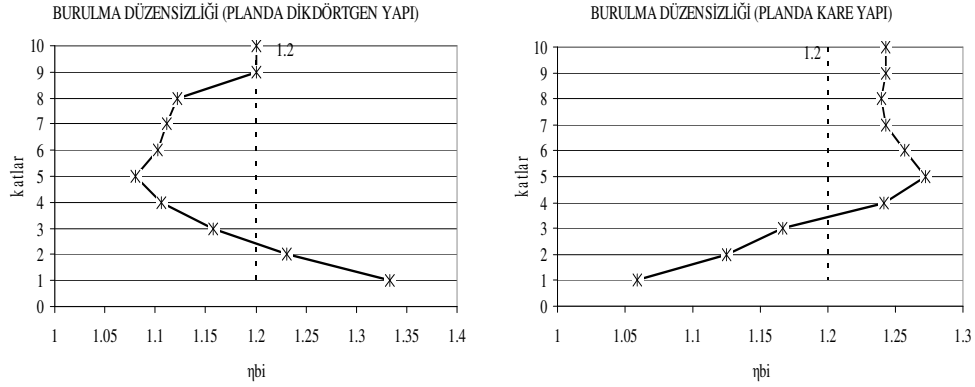
Zayıf doğrultu olan X doğrultusunda 10 kattan itibaren göreli kat ötelemeleri azalmaktadır. Bunda zayıf doğrultudaki perde sayısının az oluşu etkilidir. Bu doğrultuda yapı perdeli yapıdan ziyade çubuk elemanlardan oluşan bir çerçeve davranışı göstermektedir. Kuvvetli olan doğrultuda ise perde davranışı etkin olmakta ve üst katlara doğru azalarak artmakta ve asimptotik olmaktadır. Deprem yönetmeliğinde verilen bu değerin sınırlandırılması şartının Denk. (4.7)'nin altında kalmaktadır.

$$(\Delta_i)_{\max} \leq 0.02 / R \quad (4.8)$$

Burulma Düzensizliği Karşılaştırması

ABYYHY’te verilen planda düzensizlik koşullarından burulma düzensizliği A1, her iki yapı içinde karşılaştırılmıştır,(Şekil 4.68). Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için yapılan bu karşılaştırmada zayıf olan doğrultu X doğrultusu göz önüne alınmıştır. Denk. (4.8) kullanılarak bulunan değerler aşağıda verilmiştir.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2 \quad (4.9)$$



Şekil 4.68 : 10 Katlı Yapılar Burulma Düzensizliği Kıyaslanması

X doğrultusunda, planda dikdörtgen olan yapı için düzensizliğinin alt katlarda oluşu bodrum kat perdelerinin üst katlarda devam etmeyişinden kaynaklanan ani rijitlik değişiminden kaynaklandığı söylenebilir.

4.6. Konu İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Tünel kalıpla inşa edilen sistemlerin tasarımına ve davranışına ilişkin çalışmalar henüz yeterli bir seviyede değildir. Marmara depreminde hiçbir tünel kalıp bina yıkılmamıştır; hatta önemsiz sayılacak hasar bile almamıştır. Ve bu yapılar hakkında mühendislerce deprem güvenli bir yapı olduğu konusunda genel bir yargıya ulaşılmıştır,[17].

Gerçekte ise Marmara depreminin kendine has durumu bu yargının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Marmara depreminin özellikleri ele alınırsa;

- ❖ Yer ivmesi küçüktür

- ❖ Yer deşiştirmeler büyük olmuştur. 2.5–3 m kadar yer deşiştirmeler gözlenmiştir.

Yer ivmesinin k  k oluşu binalarda oluşan deprem kuvvetlerinin de k  k olmasına neden olmuştur. Yani bu yapılar aşırı zorlanmamıştır kanısı uyanmıştır. Ciddi hasarların ortaya çıkmaması elastik ötesi zorlanmanın oluşmadığı, yapının elastik ötesi bir enerji tüketmesi gerektiğinde nasıl davranacağının kestirilememesi konusunda kaygılar ortaya çıkmıştır. Salt perdelerden oluşan bu yapılarda ABYYHY’te verilen düsey ve yatayda gövde donatısı oranı $\mu = 0.0015$ yeterli olup olmadığı, plastik mafsall oluşacak kesitlerde bu mafsalların ortaya nasıl çıkacağı belirsizliğini halen korumaktadır.

Literatürde bu davranışı anlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu  alışmalar analitik ve deneysel olmak üzere iki aşamada incelenmiştir.

Analitik  alışmalar

Genelde iç kuvvetlerin ve deplasman değerlerinin bulunmasına yönelik bu çalışmalarda, sonlu elemanlar modeli, geniş kolon analogisi ve çözüm yöntemlerinden artımsal itme yöntemi gibi başlıklar üzerinde durulmuştur.   z m aşamasına gerçekçi ve pratik yaklaşımları sağlamak bu yapıların davranışını anlamak ve çözümü kolaylaştırmak hedef alınmıştır. Bu  alışmalar sonucu elde edilen genel sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Geniş kolon analogisi kullanılarak yapılan çözümler sonlu elemanlar yöntemiyle kıyaslandığında bu yöntemin bu tür sistemlere başarı ile uygulanabileceğini kanıtlamıştır.
- Geniş kolon analogisi ile sistem çerçeveli bir sisteme dönüşmekte, buda proje mühendisi tarafından yorumlanması kolay sonuçlar vermektedir.
- Plandaki perde yerleşim desenine bağlı olarak bu yapıların genelde birinci titreşim modunun burulma etkisi altında kaldığı ortaya çıkmıştır,[18].
- Deprem davranış katsayı olan R bir sabit olarak tanımlanmasının doğru bir yaklaşım olmadığı, bu R katsayısının yapının doğal periyodunun bir işlevi olarak tanımlanmasının daha anlamlı olacağı sonucuna varılmıştır.
- Doğrusal olmayan itme analizinin doğrusal olmayan davranış değerlerine ulaşmada etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır,[18].

- Yine matematik modellemelerde üç boyutlu analizin iki boyutluya göre daha etkin ve gerçek performansı veren değerleri içerdiği görülmüştür.
- Ayrıca elastik analizle tespit edilemeyen dizayn eksiklerinin de aydınlatılmasında artımsal itme yönteminin yarar sağladığı görülmüştür.

Deneyisel çalışmalar

Analitik çalışmaların yanı sıra yapılan deneyisel çalışmalar, hem analitik sonuçları değerlendirmek hem de gerçek davranışı anlamak amacıyla yapılmıştır. ABYYHY'nin değerlendirilmesi betonarme davranışın incelenmesi deneyisel çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile ortaya çıkan izlenimler şöyledir:

- Betonun çatlaması ile elastik deprem kuvvetlerinin büyüdüğü ve bu etkinin yapıyı çökme riski ile karşı karşıya bıraktığı ortaya çıkmıştır.
- Eksenel yük-moment-eğrilik ilişkilerinden, perde duvarlardaki düşük donatı yüzdesi ve süneklik düzeyi düşük hasır donatı kullanımı ile eğilme altında gevrek bir kırılma türü olduğu ortaya çıkmaktadır. Buda yönetmelikteki donatı yüzdesinin bu tür yapılar için yeterli olmadığı kanısını ortaya koymaktadır.
- Tünel kalıp perde desenlerinde, yükleme doğrultusuna bağlı olarak değişik kırılma ve süneklik davranışı beklenmelidir. Tasarımda bu özelliğe dikkat edilmelidir.
- ABYYHY'teki donatı oranını düzenlenmesi ve gevrek kırılmanın önüne geçilmesi gerekmektedir.
- Şiddeti adım adım artan tersinir yatay yük altında, beton çatlar çatlamaz boyuna donatını aktığı ve küçük sünekliklerin olduğu gözlemlenmiştir.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tünel kalıp sistemlerinin ve tasarımına etki eden faktörlerin incelendiği bu çalışmada, tünel kalıpla inşa edilen sistemlerin davranışı anlaşılmalı, etki eden faktörler tek tek ele alınarak irdelenmeye çalışılmıştır.

Yapıların gerçek davranışını anlamaya ve özellikle Marmara depreminden sonra ortaya çıkan bazı yanlış kanıların giderilmesine, bundan sonra inşa edilecek olan bu tür panel sistemlerin eksiklerin vurgulanmasına özen gösterilmiştir.

Yapılan çalışma ve literatür taranması sonucu elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Çözüm aşamasında kullanılacak metodun seçiminde pratik bir yaklaşımla beraber yapı davranışını gerçeğe yakın olarak yansıtacak bir yöntem izlenmelidir. Bunlardan artımsal itme metodu ve genelde tüm yapılar için davranışların incelenmesinde referans olarak kullanılan sonlu eleman modellemesi ön plana çıkmaktadır.
- Yine modellemede hesap aşamalarını kısaltmak ve projeciye anlaşılabilir değerler sunmak olan geniş kolon analojisi de kullanılabilir.
- Bu tür panel sistemlerde rijitlik dağılımının her iki doğrultuda yakın olarak seçilmesi tasarımın en önemli ilkelerinden biridir.
- Genelde ilk modun burulma etkisinde kaldığı bu yapılarda, bu etkiler kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır.
- Bir doğrultuda zayıf rijitliğe sahip yapılar için bodrum kat perdesi düzenlemesinde yapının burulma etkisi dikkate alınmalı ve bu doğrultu konacak bodrum kat perdelerinin bir üst kata geçişte ani rijitlik değişimine neden olduğu unutulmamalıdır.
- Yüksek katlı olarak tasarlanacak tünel kalıp sistemlerinde perdelerin üst katlara doğru etkinliğini yitirdiği unutulmamalı, tasarımın imkân verdiği ölçüde daha boşluklu perde duvarlar üst katlara doğru tercih edilmelidir.

- Seçilen malzeme kalitesinin özellikle beton sınıfı için yüksek katlı yapılarda hem deplasman değerlerini kısıtladığı hem de bu tür sistemler için kritik bölge olan perde temel birleşimindeki zımbalama etkisini azalttığı göz önünde bulundurulmalıdır.
- Süneklik düzeyi düşük hasır donatı ve düşük oranda boyuna donatı kullanılması yapı elemanlarında gevrek kırılmalara neden olmaktadır. Kullanılan malzemenin seçiminde bu özelliğe dikkat etmek gerekir.
- ABYYHY’de belirtilen boyna donatı oranını düzenlenmesi bu tür yapılar için yetersiz kaldığı söylenebilmektedir.
- ABYYHY’de verilen binanın 1. doğal titreşim periyodunun yaklaşık hesabını içeren bağıntılar yapının gerçek davranışını yansıtmamaktadır. Bu amprik formüllerin modifiye edilmesi gerekmekte ve burulma özelliğini de içeren parametreler eklenmelidir.
- Tasarım aşamasında zeminin etkileri incelenmeli, ABYYHY’de belirlenen Z1, Z2, Z3, Z4 zemin sınıfına ek olarak yeni zemin sınıfları oluşturulmalı, bir anlamda zemin sınıfı yelpazesi genişletilmelidir.

Özellikle deprem kuşağında yer alan ve konut açığı bulunan ülkemizde, bu tür sistemlerin kullanımı artmakta ama davranışları yeterince bilinmemektedir. Bu açığı gidermek amacıyla inşa edilmiş mevcut sistemler incelenmeli, deneysel ve analitik çalışmalara devam edilmeli ve meydana gelen bir deprem hasarının bu yapılarda nasıl giderileceği araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Sey, Y. ve Tapan, M.,** 1985. Bina Yapımında Tünel Kalıplar, Yapı Endüstri Merkezi Sayı 52
- [2] **Talipoğlu, N.,**1996. Determination of the types of formworks according to the construction systems from the economic point of view, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- [3] **Şimşek, H.,** 2001. Çok Katlı Yapılarda Tünel Kalıp Uygulaması Ve Bu Yapıların Projelendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Eser, L.,** 1981. Yerinde Yapım Endüstrileşmiş Yapı 3, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [5] **Balkabak, İ.,** 1998. Tünel Kalıp Sistemler, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- [6] **Paçacı, O.,** 1985. Konut Üretiminde Tünel Kalıp Teknolojisi, Yapı Endüstri Merkezi Sayı 51
- [7] **Erbil, Y.,** 2005. Toplu Konutlarda Tünel Kalıp Uygulamaları, *Dünya İnşaat Dergisi* Sayı 2
- [8] **Mesa İmalat,** Tünel Kalıp, *Firma Broşürleri*
- [9] **Nasvik, J.,** 2003. Tunnel Article, www.outinord-americas.com, www.symons.com
- [10] **Akkuzu, Z.,** 1987. Tünel Kalıp Yöntemi İle Üretilmiş Toplu Konutlarda Kullanıcı Gereksinmelerinin Yerine Getiriliş Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Çiçek, A.,** 1985. Tünel Kalıp Yapım Sistemi İle Toplu Konut Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [12] **Boyacı, A.,** 1990. Tünel Kalıp Sistemiyle Çok Katlı Konut Üretiminde Tasarım Kısıtlamaları Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen

Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [13] **Hasgür, Z. ve Gündüz, A.G.**, 1996. Betonarme Çok Katlı Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [14] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)** 1998.
- [15] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [16] **Özden, K. ve Kumbasar, N.**, 1993. Betonarme Yüksek Binalar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [17] **Atımtay, E.**, 2002. Tünel Kalıp Yüksek Binaların Deprem Davranışı Ve Güvenliği, *TÜBİTAK INTAG 561 Projesi*, Ankara
- [18] **Baklaya, C. ve Kalkan, E.**, 2002. Tünel Kalıpla İle İnşa Edilen Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Davranışları, *ECAS2002 Uluslararası Yapı Ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilkent, Ankara, Türkiye

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1980 yılında İstanbul’ da doğdu. Orta öğrenimini 1995 yılında Özel Saint Benoit Fransız Lisesinde, lise öğrenimini 1998 yılında Ataköy Cumhuriyet Lisesinde tamamladı. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinde öğrenimine başladı. 2004 yılında mezun olup aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programına başladı. Halen öğrenimine devam etmektedir.