

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN BİNALARIN
DEPREM YÜKLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Necla Nergis BULGU
(501051090)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Tülay AKSU ÖZKUL
Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, yakın ilgi ve değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle destek olan danışman hocam Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK'e, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili Anneme ve Kardeşime teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Haziran, 2007

Necla Nergis BULGU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. TÜNEL KALIP SİSTEMİ	3
2.1. Kullanım Avantajları	3
2.2. Sistemin Elemanları	8
2.3. Üretim Süreci	9
2.4. Tünel Kalıp Sistemiyle İnşa Edilen Binalarda Yapı Malzemeleri	12
3. YALNIZ BETONARME PERDELERDEN OLUŞAN TAŞIYICI SİSTEMLERİN DAVRANIŞI	14
3.1. Perde Elemanları ve Bağ Kirişleri	14
3.1.1. Perde Duvarların Göçme Mekanizmaları	14
3.1.2. Perdelerde Süneklik	15
3.1.3. Eğilme Etkisi	16
3.1.4. Kesme Kuvveti Etkisi	16
3.1.5. Perdelerde Stabilite	18
3.1.6. Bağ Kirişlerindeki Göçme Mekanizmaları	19
3.2. Döşemeler	19
3.3. Temeller	20
4. DBYBHY(2007)'DE BETONARME PERDELİ YAPILAR İÇİN VERİLEN KURALLAR	22
4.1. Enkesit Koşulları	22
4.2. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği	22
4.3. Perdelerde Donatı Koşulları	24
4.4. Boşluklu Perdeler ve Bağ Kirişleri	27
5. TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN BİNALARIN İNCELENMESİ	30
5.1. Hesaplarda Kullanılan Düşey Yüklemeler	32
5.2. Taşıyıcı Sistem Ön Hesabı	33
5.3. Bina Modal İncelemesi ve Deprem Yükleri Hesabı	35
5.4. Deplasmanların ve İç Kuvvetlerin İncelenmesi	38
5.4.1. Kat Adedinin Etkisi	38

5.4.2. Deprem Bölgelerinin ve Zemin Cinslerinin Etkisi	41
5.4.3. Rijit Bodrum Kat Düzenlenmesinin Etkisi	47
5.4.4. Taşıyıcı Sistem Rijitliğindeki Değişimin Etkisi	60
6. TAŞIYICI SİSTEMDE DONATI DÜZENLEMELERİ	68
6.1. Perdeler	68
6.2. Döşemeler	70
6.3. Temeller	72
7. SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	80

KISALTMALAR

D.B.Y.B.H.Y. 2007	:Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
ETABS	:Extended 3D Analysis of Building Systems
TS 500	:Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TS 498	:Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
Z1-Z4	:DBYBHY 2007’de sınıflandırılan zemin cinsleri

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 :Düşey Kaplama Yükleri	32
Tablo 5.2 :Seçilen perde kesit kalınlıkları.....	34
Tablo 5.3 :Döşeme plak kalınlığının hesabı.....	34
Tablo 5.4 :Kare planlı 11 katlı bodrumsuz modelin periyodları.....	36
Tablo 5.5 :Kare planlı 11 katlı bodrum perdeli modelin periyodları	36
Tablo 5.6 :Kare planlı 22 katlı bodrumsuz modelin periyodları.....	37
Tablo 5.7 :Kare planlı 22 katlı bodrum perdeli modelin mod periyotları.....	37
Tablo 5.8 :İncelenen binaların taban kesme kuvveti katsayılarının deprem bölgesi ve zemin cinsine göre değişimi	41
Tablo 5.9 :11 katlı binanın D.B.Y.B.H.Y.,2007 kurallarıyla bulunan periyotlarının zemin karakteristik periyotlarıyla karşılaştırılması	42
Tablo 5.10 :22 katlı binanın D.B.Y.B.H.Y.,2007 kurallarıyla bulunan periyotlarının zemin karakteristik periyotlarıyla karşılaştırılması	44
Tablo 5.11 :11 katlı binanın taban kesme kuvveti katsayılarında bodrum perdelerinin etkisi.....	48
Tablo 5.12 :22 katlı binanın taban kesme kuvveti katsayılarında bodrum perdelerinin etkisi.....	48
Tablo 5.13 :Bodrum perdeleri olmayan binaların D.B.Y.B.H.Y.,2007 kurallarıyla bulunan periyotlarının zemin karakteristik periyotlarıyla karşılaştırılması.....	49
Tablo 5.14 :Rijitlik azaltılmasının en üst kat deplasmanlarına etkisi	62

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Tünel kalıp sistemiyle inşa edilen bir bina.....	1
Şekil 2.1 : Kule vinç ile çok katlı tünel kalıp uygulaması	3
Şekil 2.2 : Ek kalıp kullanımıyla konsol oluşturulması.....	5
Şekil 2.3 : Kapı ve pencere rezervasyon elemanları.....	5
Şekil 2.4 : Kalıp sistemindeki çalışma platformları.....	7
Şekil 2.5 : Örnek bir tünel kalıp elemanı.....	8
Şekil 2.6 : Yarım tünel kalıp ve çapraz dikme çubukları	8
Şekil 2.7 : Tünel kalıp sistemiyle bodrum kat uygulamasını mümkün kılan durum	9
Şekil 2.8 : Aks betonu kalıplarının hazırlanması.....	10
Şekil 2.9 : Perde donatılarının bağlanmış hali ve paspayı elemanları	10
Şekil 2.10 : Döşemedeki elektrik tesisatı boşluk rezervasyonları ve aks betonu kalıbı yerleşimi.....	11
Şekil 2.11 : Kalıbı alınan tünelin dikmelerle desteklenmesi	11
Şekil 2.12 : Q ve R Hasırları.....	13
Şekil 3.1 : Perdelerde Göçme Mekanizmaları	15
Şekil 3.2 : Perdelerde eğilme sünekliğinin, perde yükseklik/uzunluk oranına ve uç deplasman sünekliğine göre değişimi.....	16
Şekil 3.3 : Modal kesme kuvveti dağılımı	17
Şekil 3.4 : Bağ kirişlerin kesme dayanımı mekanizmaları	19
Şekil 3.5 : Tünel kalıbın çıkış yönüne göre döşeme parçasının durumu	20
Şekil 4.1 : Mesnetli perdelerde uç bölgeleri minimum alanları (D.B.Y.B.H.Y 2007)	23
Şekil 4.3 : Perde donatılarının kenetlenme detayları.....	25
Şekil 4.4 : Perdelerde Moment Dağılımı (D.B.Y.B.H.Y. , 2007)	26
Şekil 4.5 : Bağ kirişlerinde oluşan iç kuvvetler	28
Şekil 4.6 : Bağ kirişlerinin taşıması gereken minimum moment koşulu.....	28
Şekil 4.7 : Bağ kirişlerinde kullanılacak çapraz donatı detayı.....	29
Şekil 5.1 : Örnek tünel kalıp bina planı	31
Şekil 5.2 : Tünel kalıp örnek kare binanın 20 katlı 3 boyutlu bilgisayar modeli.....	35
Şekil 5.3 : Kat deplasmanlarının dağılımının kat adedine göre değişimi.....	39
Şekil 5.4 : En üst kat deplasmanının her iki yönde kat adedine göre değişimi ...	39
Şekil 5.5 : Kiriş iç kuvvetleri dağılımının bina kat adedine göre değişimi	40
Şekil 5.6 : Perde iç kuvvetleri dağılımının bina kat adedine göre değişimi	40
Şekil 5.7 : 11 katlı binada en üst kat deplasmanlarının zemin cinsi ve deprem bölgesine göre değişimi.....	42
Şekil 5.8 : Kiriş iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgeleri ile değişimi..	43
Şekil 5.9 : Perde iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgeleri ile değişimi	44

Şekil 5.10	: 22 katlı binada deplasmanların katlara göre dağılımında zemin etkisi	45
Şekil 5.11	: 22 katlı bodrum perdeli örnek binanın en üst kat deplasmanlarının zemin cinsine ve deprem bölgesine göre değişimi.....	45
Şekil 5.12	: 22 katlı bodrum perdeli binada örnek kiriş iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgesine göre değişimi	46
Şekil 5.13	: 22 katlı bodrum perdeli binada örnek perde iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgesine göre değişimi	47
Şekil 5.14	: 11 katlı bodrumsuz binanın en üst kat deplasmanlarının zemin cinsine ve deprem bölgesine göre değişimi	49
Şekil 5.15	: 22 katlı bodrumsuz binanın en üst kat deplasmanlarının farklı dinamik parametreler altında karşılaştırılması	50
Şekil 5.16	: 11 katlı binada deplasmanların katlara göre değişiminde bodrum perdelerinin etkisi.....	50
Şekil 5.17	: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin deplasmanlara etkisi (deprem bölgesine göre değişim)	51
Şekil 5.18	: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin deplasmanlara etkisi (zemin cinslerine göre değişim)	51
Şekil 5.19	: 11 katlı binada bodrum perdelerinin perde iç kuvvet dağılımına etkisi	52
Şekil 5.20	: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin zemin kat perde iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgesine göre değişim)	53
Şekil 5.21	: 11 katlı binada bodrum perdelerinin kiriş iç kuvvet dağılımına etkisi	53
Şekil 5.22	: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin kiriş iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgesine göre değişim)	54
Şekil 5.23	: 22 katlı örnek binada rijit bodrum katlarının, deplasmanların katlardaki dağılımına etkisi.....	54
Şekil 5.24	: 22 katlı örnek binanın en üst kat deplasmanlarında bodrum perdelerinin etkisi (deprem bölgelerindeki değişim)	55
Şekil 5.25	: 22 katlı örnek binanın en üst kat deplasmanlarında bodrum perdelerinin etkisi (zemin cinslerine göre değişim)	56
Şekil 5.26	: 22 katlı binada bodrum perdelerinin perde iç kuvvet dağılımına etkisi	56
Şekil 5.27	: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgesine göre değişim)	57
Şekil 5.28	: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (zemin cinslerine göre değişim)	58
Şekil 5.29	: 22 katlı binada bodrum perdelerinin kiriş iç kuvvet dağılımına etkisi	59
Şekil 5.30	: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgelerine göre değişim).....	59
Şekil 5.31	: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (zemin cinslerine göre değişim)	60
Şekil 5.32	: Perde ve Çerçeve sistemlerinin yatay yükler altında şekildeğiştirme durumları	60
Şekil 5.33	: Perde ve çerçevelerin birlikte kullanıldığı sistemlerde şekildeğiştirme davranışı.....	61
Şekil 5.34	: Örnek bina modelinin her iki yönde rijitlik azaltılmasını gösteren bilgisayar modeli.....	62

Şekil 5.35	: 5 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı bina X yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması	63
Şekil 5.36	: 5 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı bina Y yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması	63
Şekil 5.35	: 5 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı binanın deplasmanlarının normal bina ile rijit diyafram ve esnek diyafram varsayımına göre karşılaştırılması	64
Şekil 5.37	: 6 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı bina X yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması	64
Şekil 5.38	: 6 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı bina Y yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması	64
Şekil 5.39	: 7 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı bina X yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması	65
Şekil 5.41	: Perde sayısı azaltılmış binaların deplasmanlarında oluşan farkların karşılaştırılması	65
Şekil 5.42	: 5 katında, Y yönünde perde uzunluğu azaltılmış binanın bütün perdeli binaya göre X yönündeki deplasman dağılımları	66
Şekil 5.43	: 5 katında, Y yönünde perde uzunluğu azaltılmış binanın bütün perdeli binaya göre Y yönündeki deplasman dağılımları	66
Şekil 5.43	: Y yönünde ve her iki yönde toplam perde uzunluğu azaltılmış binaların bütün perdeli binaya göre, deplasmanlarında oluşan farkların karşılaştırılması	67
Şekil 5.44	: X yönünde ve her iki yönde toplam perde uzunluğu azaltılmış binaların bütün perdeli binaya göre, deplasmanlarında oluşan farkların karşılaştırılması	67
Şekil 6.1	: Perde donatı detayı; kesit ve plan.....	68
Şekil 6.2	: Bağ kirişi perde bağlantı detayı.....	69
Şekil 6.3	: Bağ kirişinde çapraz donatı detayı	70
Şekil 6.4	: Döşemelerde mesnet ve açıklık için örnek çelik hasır yerleşim planı .	71
Şekil 6.5	: Döşeme mesnet hasırları-perde donatısı birleşim detayı.....	71
Şekil 6.6	: Örnek temel oturma planı.....	72
Şekil 6.7	: Perde uçlarında düzenlenen ek zımbalama donatısı.....	73
Şekil 7.1	: İncelenen kare planlı bina için iki farklı yöntemle hesaplanan periyodların karşılaştırılması.....	74
Şekil 7.2	: En üst kat deplasmanları ve taban kesme kuvvetlerinin kat adedine göre değişimi	75

SEMBOL LİSTESİ

A_{ch}	: Boşluksuz perdenin, bağ kirişli perdede her bir perde parçasının, brüt enkesit alanı
$\sum A_g$	: Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
$\sum A_p$	: Binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı
A_{sd}	: Bağ kirişinde çapraz donatı demetinin her birinin toplam alanı
A_{sh}	: Duvarda bulunan yatay donatıların toplam kesit alanı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T_1)$	: Spectral ivme katsayısı
b_k	: Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için, perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu
b_w	: Perde gövde kalınlığı
C	: Taban kesme kuvveti katsayısı [$A(T_1) / R_a(T_1)$]
d	: Kirişin faydalı yüksekliği
f_{cd}	: Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının karakteristik akma dayanımı
h	: Perdenin göz önüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
H_{cr}	: Kritik perde yüksekliği
h_k	: Kiriş yüksekliği
h_w	: Perdenin plandaki kalınlığı
l_b	: TS-500’de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu
l_n	: Perdenin kirişler arasında kalan serbest yüksekliği, kirişin perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığı
l_{sn}	: Döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığı
l_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
m	: Döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranı (l_l / l_s)
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T_1)$	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
s	: Etriye aralığı
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]

T_x	: Binanın x yönündeki doğal titreşim periyodu [s]
T_y	: Binanın y yönündeki doğal titreşim periyodu [s]
V_d	: Tasarım kesme kuvveti
V_{perde}	: Perde tasarım kesme kuvveti
V_r	: Perde kesme dayanımı
V_u	: Perde dayanım kesme kuvveti
w_v	: Dinamik kesme büyütmesi katsayısı
α_s	: Döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranı
γ	: Bağ kirişinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açı
μ_ϕ	: Perde eğilme sünekliği
μ_Δ	: Perde deplasman sünekliği
ρ_{sh}	: Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı

TÜNEL KALIPLA İNŞA EDİLEN BİNALARIN DEPREM YÜKLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖZET

Ülkemizde, özellikle büyük şehirlerde hızla artan nüfus yoğunluğu ve buna paralel olarak oluşan konut gereksinimi, inşaat sektörünü ekonomik ve hızlı çözümler üretmeye itmiştir. Bütün dünyada 2. Dünya savaşı sonrasında beri yapı endüstrisinde kullanılan tünel kalıp teknolojisi yapı üretiminde kaliteyi yükseltmiş, ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen hızlı ve kendini tekrar eden süreciyle genel maliyetin konvansiyonel sistemlere göre düşmesini sağlamıştır. Katların monolitik olarak oluşturulması, yapının bütün duvarlarının betonarme taşıyıcı duvarlar olması, deprem etkileri altında binaların çerçeve sistemlere göre çok rijit davranmasını sağlar. Uygulama alanının genişliğine rağmen, taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan bu tür sistemlerin davranışı hakkında yapılan araştırmalar kısıtlıdır.

Bu tez çalışmasında taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan tünel kalıp sistemiyle inşa edilmiş binalar, Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de verilen deprem bölgeleri ve zemin parametreleri altında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deprem davranışında, kat adedinin, rijit bodrum katlarının ve katlarda oluşabilecek rijitlik azalmasının etkileri araştırılmıştır.

Giriş bölümünde, tünel kalıp sisteminin tarihçesi ve kullanım alanları özetlenmiş, taşıyıcı sistemin elemanları tanımlanmıştır.

İkinci bölümde, tünel kalıp sisteminin kullanım avantajları ve üretim süreci kısaca anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, betonarme perdelerden oluşan taşıyıcı sistemlerin özeti verilmiş, perde ve bağ kiriş elemanlarının dinamik etkiler altında davranışı açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007”de perde elemanlarının tasarım esasları açıklanarak özetlenmiştir.

Beşinci bölümde tünel kalıp sistemiyle inşaa edilmiş, iki doğrultuda benzer yatay rijitliğe sahip kare planlı binalarda, kat adedinin, farklı zemin cinsi ve deprem bölgelerinin değişiminin ve rijit bodrum düzenlenmesinin iç kuvvetlere ve kat deplasmanlarına etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiş, bina yüksekliğinin belirli bir oranında taşıyıcı sistemdeki rijitlik değişiminin kat deplasmanlarına etkisi araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

Altıncı bölümde tünel kalıpla inşa edilen perdeli yapılarda örnek donatı detay düzenlenmeleri verilmiştir.

Sonuç bölümünde bulunan veriler değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

EARTHQUAKE BEHAVIOUR OF STRUCTURES THAT BUILT WITH TUNNEL FORM

SUMMARY

Increasing population of metropolitans and residence demand in Turkey forced construction industries to come up with more economical and fast solutions. Since World War II, tunnel forms have been used by building industries all over the world. This technology rises up the quality bar in construction. With repetitive nature of the system, overall cost of construction becomes less than conventional building systems in spite of higher first investment. Monolithic structural formation and load bearing structural wall elements, gives extreme rigidity to buildings against earthquake forces unlike frames. Although wide application in Turkey, studies of earthquake response of shear-wall dominant systems are inadequate.

In this study, shear wall dominant concrete structures that built with tunnel forms are analyzed over seismic zones and soil categories from D.B.Y.B.H.Y. 2007. Effects of building height, rigid basement peripheral walls and decrease of storey rigidity to earthquake behaviour, are investigated.

In the first chapter, history and use of tunnel forms is summarized, elements of load bearing system are introduced.

In the second chapter, process and advantages of using tunnel forms are determined.

In the third chapter, characteristics of buildings in which the entire seismic resistance has been assign to structural walls are summarized and seismic behaviour of ductile structural walls and coupling beams are discussed.

In the fourth chapter, design principles of ductile structural walls that are given in D.B.Y.B.H.Y 2007 are explained.

In the fifth chapter, an example of high story residence which is built with tunnel forms is studied. Effects of difference in building height, seismic zones and soil categories on member forces and storey displacement are indicated. Also effects of

basement peripheral walls and reducing rigidity of specified stories are investigated. Results and comparisons are given in tables and graphics.

In the last chapter, examples of reinforcement detailing of concrete walls, coupling beams and slabs in tunnel form used buildings are given.

1. GİRİŞ

Tünel kalıp sistemi II. Dünya Savaşı'nın ertesinde yıllarında düşük maliyetli konut ve apartman dairesi ihtiyacının bir sonucu olarak ilk olarak Fransa'da ortaya çıkan bir kalıplama sistemidir [8]. Betonarme yapılarda taşıyıcı duvar ve döşemelerin kesin boyutlu ve düzgün yüzeyli çelik kalıplar kullanılarak tek işlemle yerinde betonlanmasını sağlayan endüstrileşmiş bir yapım yöntemidir. Betonarme yapı inşaatında bu sistemin kullanımı ile hem paradan tasarruf edilmiş hem de inşaa süreci kısaltılmıştır.

Tünel kalıp sistemi prefabrik sistemin hızı ve kalitesini yerinde dökümün ekonomisi ve esnekliğiyle birleştirir [7]. Özellikle tekrarlı kısımlar içeren çok katlı ve hücresel planlı; konut, otel, öğrenci yurdu ve hapisane gibi yapıların inşasında ekonomik açıdan verimlidir. Döşeme ve duvarların bir arada betonlanmasıyla ortaya çıkan monolitik ve dolayısıyla rijit yapı 40 ve daha fazla katlı binaların inşasını mümkün kılar [8].



Şekil 1.1: Tünel kalıp sistemiyle inşa edilen bir bina

Döşeme ve taşıyıcı duvarların birlikte betonlanmasıyla ortaya çıkan tek parça yapı sistemi deprem bölgeleri için elverişli bir taşıyıcı sistem olarak kabul edilmektedir. Deprem etkisiyle meydana gelen kuvvetlerin, tamamının betonarme perdelerle taşınması, binaların yatay rijitliğinin çerçeve sistemlere göre çok büyük olmasını

sağlar. Bu yönüyle de, ülkemizde özellikle toplu konut inşaatlarında, depreme dayanıklı yapı üretimi için tünel kalıp sistemi tercih edilmektedir.

Tünel kalıp sistemiyle yapılan binalarda taşıyıcı sistemin elemanları; düşey ve yatay yükleri karşılayan perdeler, kat döşemelerini oluşturan betonarme diyafram ve en genel uygulama şekliyle radye temellerdir.

Betonarme perde duvarlar, kullanımda, pencere ve kapılar nedeniyle çoğunlukla boşluklu-bağ kirişli perdeler şeklinde oluşur. Bu şekilde rijitlik azalsa da Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre uygun donatılmış elemanlar deprem etkisinde sistemin enerji yutulumunu (süneklik) artırır.

Yatay rijitliği yüksek olan bu sistemde döşemelerin davranışında rijit diyafram varsayımı kullanılır. Bu varsayım farklı rijitlikteki perdeler aynı yer değiştirmeyi yapmaya zorlar. Rijit diyaframın gerçeğe yakın olması için, düşey elemanların plandaki yerleşimi ve her iki yönde aks devamlılığının sağlanması önemlidir. Tünel kalıp kullanımında, zorunluluk nedeniyle bir yönü mesnetlenemeyen döşemelerde oluşacak sehim problemi bu tür sistemlerde önemli olmaktadır.

İki yönde perdelerin bulunduğu bu sistemlerde uygulama kolaylığı nedeniyle kirişsiz radye temel kullanılır. Bu temel sistemi üst yapının yüklerinin zemine düzgün gerilmeler şeklinde aktarılmasını sağlar. Fakat zımbalama mekanizması açısından kontrol edilmesi gereklidir.

Amaç ve Kapsam:

Çalışmada, iki yönde toplam perde uzunlukları birbirine yakın kare plana sahip binanın deprem yükleri altında davranışı incelenmiştir.

Modal analiz yapılarak binanın genel dinamik davranışı araştırılmış ve Deprem Yönetmeliği 2007'de önerilen formülün verdiği sonuç ile karşılaştırılmıştır. Binaların kat adedinin artmasıyla deplasman davranışının, perdelerin ve bağ kirişlerin iç kuvvetlerinin değişimi gösterilmiştir. Zemin cinslerinin ve deprem bölgelerinin değişmesinin bina iç kuvvetlerine ve deplasmanlarına etkisi incelenmiştir. Binalarda düzenlenen rijit bodrum katlarının, iki farklı kat adedine sahip bina için, perde iç kuvvetlerine ve kat deplasmanlarına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, çok rijit perdelerden oluşan söz konusu sistemlerde üst katlarda taşıyıcı sistemin rijitliğinin azaltılmasının deplasmanlara etkisi incelenmiştir.

2. TÜNEL KALIP SİSTEMİ

2.1. Kullanım Avantajları

Üretim hızı:

Sistemin en çok tutulan yararı az iş gücü ile hızlı üretim yapılabilmesidir. Maliyet faktörü genellikle ikinci sıradaki tercih sebebidir.

Tünel kalıp sistemiyle yapılan inşaatlarda üretim hızı geleneksel yapım teknolojilerine göre çok daha yüksektir. Uygulamada orta büyüklükte bir katın kalıbının kurulumu ve donatılarının yerleştirilmesi yarım günde tamamlanabilmekte ve akşam saatlerinde betonu dökülebilmektedir. Kalıpların içine önceden kapı ve pencere kasaları, elektrik boru ve batları yerleştirildiği için diğer sistemlerde sonradan yapılan bu işler beton dökümüyle birlikte bitirilmiş olmaktadır [8].



şekil 2.1: Kule vinç ile çok katlı tünel kalıp uygulaması

Inşaatın hızında vinçlerin kullanımı önemlidir (şekil 2.1). 5 kata kadar lineer diziliş gösteren vaziyet planlarının uygulanmasında gezer vinç, daha yüksek yapılarda kule tipi vinçler kullanılır. Kule vincin etkin olarak çalışabilmesi için yapının 10 ve daha fazla katlı olması gereklidir.

Cephe elemanları, bölme duvarlar, merdivenler, sahanlıklar, kalorifer, p ve mutfak bacaları prefabrik olursa kısa sürede yerlerine monte edilir ve bu sayede önemli ölçüde zamandan tasarruf edilmiş olunur.

Maliyet:

İlk yatırım maliyeti yüksek olduğundan, tünel kalıpların tekrarlanan kullanımının uygulanabildiği projelerde idealdir. Tekrarlanan adımlar ne kadar çok ise bu sistemin sağladığı ekonomik faydalar o kadar çoğalacaktır. Bu nedenle projelendirme tünel kalıp sisteminin bütün avantajlarından yararlanılacak şekilde yapılmalıdır.

Genel yerleşim planı açısından, vinç kapasiteleri en önemli etkindir. Yapıların konumlandırılmasında, aynı kule vinç ile en az iki yapının üretilmesi sağlanmalıdır. Tünel kalıp sisteminde üretimde asgari uygulama; 1 kule vinç ile yılda 100 birim konutun inşasıdır [4].

Bu sistem ile kalıp maliyeti geleneksel sisteme göre en az %15 azalacaktır. Bunun yanında uygulamanın inşaat genelinde sağladığı verimlilik sayesinde taşıyıcı sistemi oluşturmada zamandan %25 tasarruf edilir. Yapım süresinin kısa oluşu işgücü ve anaparanın uzun süre bağlı kalmasını önler ve yatırımın kısa sürede kendini amorti etmesini sağlar. Kullanılan çelik kalıplarla diğer sistemlere göre çok daha pürüzsüz ve dayanıklı yüzeyler elde edilir, dekorasyon ve tamir masrafı azalır, ayrıca projenin bütününde zamandan tasarruf edilir. Elde edilen monolitik sistemin getirdiği yapısal avantajlar temel maliyetini de düşürecektir.

Şantiyelerde en kritik maliyet olan işçi maliyeti, konvansiyonel sistemlere göre %7–8 oranında düşmektedir. Sistemin boyutlarındaki hassasiyet yapı bileşenlerinin standartlaşmasına olanak vermekte böylece hem üretim hem de montajda maliyet azalmaktadır.

Kullanımda, betonun ısısal kütlesi uygun izolasyon malzemesi ile birleştiğinde ısıtma maliyeti hatta klima gereksinimi en aza iner [8].

Tasarım:

Çelik kalıplar 2.4m'den 6.6m'ye kadar açıklıkta üretilir. Yük taşımayan elemanlarla oluşturulacak bölmelerle, planda istenilen şekilde tasarım yapmak mümkündür. Uzatılabilen kalıplarla konsol balkonlar elde edilebilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Ek kalıp kullanımıyla konsol oluşturulması

Dış cepheler mimarın uygun gördüğü herhangi bir malzeme ile, prefabrik beton paneller, uygun izolasyon malzemesi ile birlikte örülecek tuğla duvarlar veya daha karmaşık dış cephe kaplamaları ile tamamlanabilir [7].

Kalite:

Kalıp yüzeyleri 3–4 mm kalınlığında çelik levhalardır. Söz konusu levhalar kalıbın kullanım süresini arttırmakta ve kolay ısıtılmasını sağlamaktadır. Çok iyi bir bakımla çelik kalıplar 1000 defaya dek kullanılabilir. Ayrıca kalıp iç yüzeylerinin çelik olması dolayısıyla kalıplar söküldüğünde çok ince bir sıva ile dekorasyona hazır hale gelebilen yüksek kalitede düzgün yüzeyler elde edilir. Duvar kağıdı direkt olarak uygulanabilir.

Ayarlanabilen çelik rezervasyon elemanları sayesinde kapı pencere ve döşeme boşlukları ölçülerde yüksek hassasiyetle elde edilebilir. Projenin tekrarlanan doğasına bağlı olarak her seferinde yapılan iş aynı olunca hata şansı en aza iner.



Şekil 2.3: Kapı ve pencere rezervasyon elemanları

Ölçüler son derece hassas ve toleranslar oldukça küçük olduğu için üretim de standartlaşma söz konusudur. Örneğin kapı boşluklarının her katta aynı yerde

olmasıyla kullanılan kapı blokları için sabitleme delikleri bir kere açılır. Ölçülerin hassalığına bir örnek olarak İngiltere’de inşa edilen 40 katlı bir bina gösterilebilir. İnşaat tamamlandığında yapılan ölçümde, binanın şakülünden sadece 1 cm saptığı gözlenmiştir [7,8].

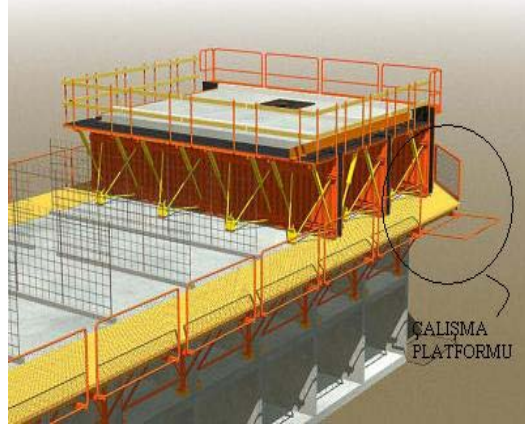
Üretimde Kontrol:

Üretimin kendini tekrar etme özelliği, prefabrik hazır kalıpların ve hasır/kafes donatıların kullanılması inşa sürecini basitleştirir, sorunsuz ve hızlı olmasını sağlar. Bu sayede kalifiye eleman ihtiyacı azalır. Ortalama 9 işçi ve 1 vinç operatörü ile, beton dökümü de dahil olmak üzere, günde 300 m² kalıp sökölüp tekrar yerleştirilebilir. Çok rüzgarlı günler haricinde bütün hava şartlarında iş devam ettirilebilir, ayrıca betonun kürünü hızlandırmak için ısıtıcılar kullanılabilir.

24 saatlik döngüler şeklinde hazırlanan iş programında şantiye görevlisi ne zaman ne yapılacağını ayrıntılı bir plan dahilinde tam olarak bilecektir. Küçük takımlar halinde çalışılması, önceden tahmin edilen ve ölçülebilen günlük üretim hızı, projenin kontrolünü kolaylaştırır. Bir bölümün yapımının ne zaman biteceğinin bilinmesi şantiyeye gelecek malzemenin zamanlamasının düzenli olmasını sağlar, başka bir açıdan düşünüldüğünde, zaten sistemden beklenen verimin alınabilmesi için malzemenin temininin planlandığı gibi olması şarttır.

Güvenlik:

İşçi güvenliği: Tünel kalıpların kendi çalışma platformları ve kenarlarda çalışanlar için koruma sistemleri mevcuttur. Bu sistem kullanılarak yapılan üretim sürekli tekrarlar içerdiği için işçilerde de alışkanlık oluşacak, böylece kaza yapma riski en aza iner. Ayrıca kalıpları yerleştirirken çok az alet kullanılması şantiyede olabilecek kazaları azaltır.



Şekil 2.4: Kalıp sistemindeki çalışma platformları

Yangın güvenliği: Beton bilindiği gibi yangına dayanıklı bir malzemedir. Bu sistemle yapılan binalarda duvarların büyük bir kısmının betonarme olması olası bir yangının bina içinde yayılmasını zorlaştırır [7].

Deprem güvenliği: Bu sistemle taşıyıcı duvar ve döşemeler tek bir defada bütün olarak betonlandığı için monolitik rijit bir yapı elde edilir. Bu şekildeki tek parça yapı sistemi deprem bölgeleri için elverişli bir taşıyıcı sistem olarak kabul edilmektedir.

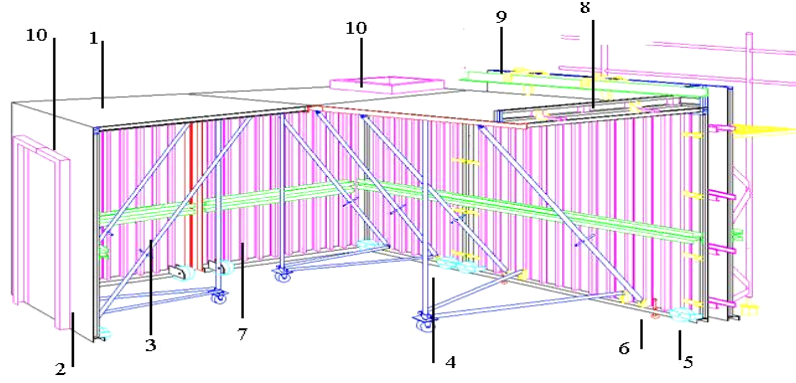
Deprem kuvvetlerinin tamamı çok rijit perde elemanlarla taşınır. Bu nedenle yapıların yatay yük taşıma kapasiteleri çok yüksektir. Temel ile birleşen kritik kesitlerinde D.B.Y.B.H.Y. 2007' de verilen kurallara göre tasarım yapıldığı takdirde bu tür binalar tünel kalıp teknolojisi kullanılarak güvenle inşa edilebilir.

Çevre:

Günümüzün çevreye duyarlı toplumunda inşaat sırasında ortaya çıkan atıkları azaltmak ve enerji kullanımı açısından verimli yaşam mekanları sağlamak için çözümler bulmak zorunlu olmuştur. Tünel kalıp sistemi sayesinde;

- Prefabrik üretimin aksine, yerinde kalıplama ve yerel istasyonlardan elde edilen hazır beton kullanımı ile betonarme prefabrik elemanların taşınması sırasında ortaya çıkabilecek ulaşım kazaları azaltmaktadır.
- Malzemelerin zamanında teslimi ve minimum çöp üretimi mali tasarrufun ve güvenliğin yanında şantiyenin düzenli olmasını da sağlar. Bu da işin kesintisiz yürütmesine yardımcı olur [7].

2.2. Sistemin Elemanları



Şekil 2.5: Örnek bir tünel kalıp elemanı

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

Sistemin esas unsurları yatay ve düşey çelik yüzeyli panolardır. Panoların çelik borulardan oluşan taşıyıcı sistemi tekerleklerle bağlıdır. Panolar bu tekerleklerin üzerinde yürütülerek yerlerine yerleştirilir. Tek bir açıklık, ters L şeklinde iki yarım tünel kalıp elemanının birleştirilmesiyle oluşturulur. Duvar kısmı tipik olarak 240-300cm yüksekliğindedir. Döşeme parçaları mühendisin istediği uzunlukta yapılabilir.

Her kalıpta tekerlekler ve yüksekliği ayarlayabilmek için bir tür kriko sistemi bulunur (Şekil 2.5). Kalıpların iki yarısı döşemenin ağırlığına ve açıklığa göre ters eğim vermek için milimetrik hassaslıkla ayarlanabilen özel bir kilitle birleştirilir.



Şekil 2.6: Yarım tünel kalıp ve çapraz dikme çubukları [8]

Tünel kalıpların kritik öneme sahip bir parçası ise duvar kalıbından döşeme kalıbına dek uzanan ayarlanabilir çapraz destek çubuklarıdır (Şekil 2.6). Döşemeden gelen

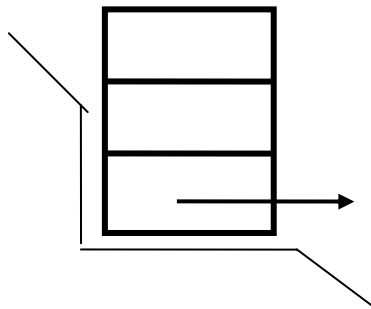
ağırlığı duvar kalıbına oradan da bir alt kattaki duvarlara aktarılır. Beton kürünü aldıktan sonra ise kalıplar söküldüğünde döşeme ortasına, tam mukavemet kazanılana kadar dikmeler yerleştirilir.

Kapı, pencere gibi oluşumlar için duvar kalıplarının yüzünde çelik rezervasyon elemanları kullanılır. Bina elektrik tesisatı kablo ve buatları da beton dökülmeden önce donatı yerleştirilirken konumlandırılır. Baca, tesisat boşlukları ve giderler için döşeme kalıplarına sabitlenecek kalıp aparatları ile boşluklar yapılır [8].

2.3. Üretim Süreci

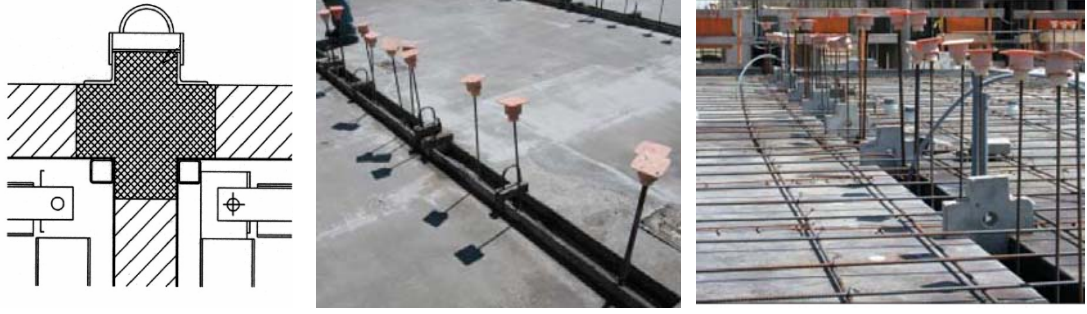
Projeye uygun olarak hazırlanmış kalıplarla, binanın taşıyıcı sistemi (duvarlar ve döşemeler) yerinde döküm betonarme eleman olarak üretilmekte ve temel, çatı vs. diğer yapı elemanları geleneksel tekniklerle inşa edilmektedir.

Geleneksel sistem ile binanın temeli inşa edilir. İşçilerin kalıpları söküp ve yerleştirmeleri ve tünel kalıpların, vinçlerin onları alabileceği uzaklığa kadar işçiler tarafından binanın dışına doğru itilmeleri gerekmektedir. Bu zorunluluktan dolayı yapılacak bina için bodrum kat düşünülüyor ise temel kazısının en az 3 yanı kalıpların kolayca itilebilmesine olanak sağlayacak genişlikte olmalıdır (Şekil 8). Bu durum hafriyat miktarını ve dolayısıyla maliyeti arttırır, hatta bazı durumlarda etraftaki binalar ve arazinin durumundan dolayı mümkün olmayabilir. Arazi koşulları elveriyorsa bodrum katın inşasına tünel kalıplarla başlanabilir. Aksi durumda vincin rahat çalışabileceği zemin kotuna kadar geleneksel yöntemle inşaat sürdürülür.



Şekil 2.7: Tünel kalıp sistemiyle bodrum kat uygulamasını mümkün kılan durum

İlk olarak duvar panolarına tam yerlerini belirlemek için, perde duvarların aks düzenine uygun olarak, döşeme üst kotundan itibaren 10–12 cm yüksekliğinde ‘aks betonu’ dökülür (Şekil2.8).



Şekil 2.8: Aks betonu kalıplarının hazırlanması [8]

Perde duvarların düşey ve yatay donatıları yerleştirilir. Gereken yerlerde Deprem yönetmeliğine uygun olarak etriye ve çirozlar bağlanır (Şekil 10). Elektrik tesisat boru ve buatları uygun şekilde konumlandırılıp sabitlenir. Ardından temizlenip yağlanarak hazırlanan yarım tünel kalıp getirilerek aks betonuna dayandırılır. Kapı ve pencere rezervasyonları kalıba sabitlenir. Diğer yüze ait kalıp da yerine getirilir, aks üzerine işlenecek olan kot çizgisine göre kalıplar yükseltilir ve birbirine sabitlenir.



Şekil 2.9: Perde donatılarının bağlanmış hali ve pas payı elemanları

Karşılıklı tünel kalıp elemanları açıklık ortasında birleştirilerek döşeme kalıbı oluşturulur. Kalıbın şakülü ayarlanırken, açıklığa göre hesaplanan yükseklikte tünele ters sehim verilir:

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

Dikme tekerleri artık kullanılmayacağından yukarı vidalanarak yerle irtibatı kesilir. Kalıp üzerine tesisat boşlukları için uygun rezervasyon kalıpları sabitlenir. Döşeme

donatısı yerleştirilir. İç ve dış kalıplar arası bağlantılar yapılır, perde ve döşeme alın elemanları yerlerine sabitlenir.



Şekil 2.10: Döşemedeki elektrik tesisatı boşluk rezervasyonları ve aks betonu kalıbı yerleşimi

Bir üst kat için aks betonu kalıpları yerleştirilir (Şekil 2.10).

Tünel kapatılıp gerekli kontroller yapıldıktan sonra beton dökümü başlar. Kürlenmenin hızlandırılması amacıyla özellikle kış aylarında tünelin içine ısıtıcılar konur (Bazı tünel kalıp sistemlerinde panellerin üzerinde ısıtma parçaları bulunur). Böylece betonun mukavemet kazanması hızlandırılır ve bir sonraki gün kalıplar alındığında olabilecek en yüksek dayanıma ulaşılır. Yeterince dayanım kazanmamış betonun zarar görmemesi için ise, kalıplar alınırken uygun aralıklarla teleskopik dikmeler yerleştirilir(Şekil 2.11). Bu dikmeler beton 7 günlük dayanımına ulaşmadan kaldırılmaz.



Şekil 2.11: Kalıbı alınan tünelin dikmelerle desteklenmesi (Resmin solunda)

2.4. Tünel Kalıp Sistemiyle İnşa Edilen Binalarda Yapı Malzemeleri

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. Betonarme yapı elemanlarında kesit büyütülmesi ile hem kullanılması gereken minimum donatı alanı fazlalaşacak, hem de yapının ağırlığı artmasından dolayı ekonomik olmayacaktır.

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 mümkün olmasına rağmen zahmetli ve maliyeti yükselten bir durumdur.

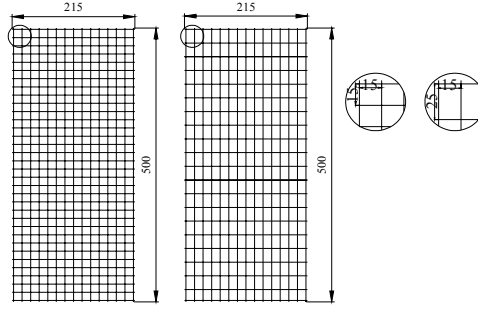
Aynı durum temellerdeki zımbalama hesabında da söz konusudur. Temel radye kalınlığının artırılması zemine gelen yüklerin ve minimum donatı oranının artmasına dolayısıyla ekonomik çözümden uzaklaşılmasına neden olur.

Tüm bu koşullar göz önüne alınarak beton sınıfının optimum şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Gerektiğinde üst yapı ile temelin inşasında farklı beton sınıfları kullanılabilir [10].

Donatı Çeliği

Tünel kalıp sistemiyle inşa edilen binalarda yaygın olarak kullanılan hasır çelik, yüksek mukavemetli nervürlü çubuklardan nokta kaynağı ile yapılan betonarme donatı malzemesidir. Her türlü binanın döşeme ve perde duvarlarında, sömellerinde, tünellerde, beton sahalarda, 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. Çoğunlukla kullanılan BÇ III ($f_{ck} = 420\text{Mpa}$) betonarme demiri ile kıyaslandığında hasır çeliğin (BÇ IV, $f_{ck} = 500\text{Mpa}$) mukavemeti yüksek buna karşılık sünekliği azdır, bu nedenle perde uç bölgeleri, kirişler, temel, boşluk çevresi gibi sünek davranışın gerekli olduğu bölümlerde hasır çelik kullanılması sakıncalı olabilir. Hasırlar, çubuk aralıklarına göre iki sınıfa ayrılır;

- **Q hasırları:** Her iki yöndeki çubuk aralıkları eşittir (15 cm x 15 cm). İki doğrultuda çalışan plak döşemelerin açıklıklarında, perde gövdelerinde kullanılmaları uygundur.
- **R hasırları:** Kısa yöndeki çubuk aralıkları uzun 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 2.12).



Şekil 2.12: Q ve R Hasırları

3. YALNIZ BETONARME PERDELERDEN OLUŞAN TAŞIYICI SİSTEMLERİN DAVRANIŞI

3.1. Perde Elemanları ve Bağ Kirişleri

Planda uzun kenarının kısa kenarına oranı en az 7 olan düşey taşıyıcı elemanlar perde olarak adlandırılır. Deprem yüklerinin tasarımda etkili olduğu binalarda, kolonlarla birlikte veya yalnız perdelerden oluşan bir sistem şeklinde kullanılırlar.

Perdeler, şiddetli depremlerde çok katlı binalarda önemli hasarlara neden olan göreceli kat ötelemelerini önemli ölçüde azaltırlar. Kesitlerinden dolayı uzun kenar doğrultusundaki atalet momentleri kısa kenara göre çok daha büyüktür, dolayısıyla yatay yükleri uzun kenar doğrultusunda etkin olarak taşırlar. Bu nedenle planda, binanın iki doğrultudaki rijitliğinin birbirine yakın olması sağlanacak şekilde yerleştirilmeleri uygun olacaktır.

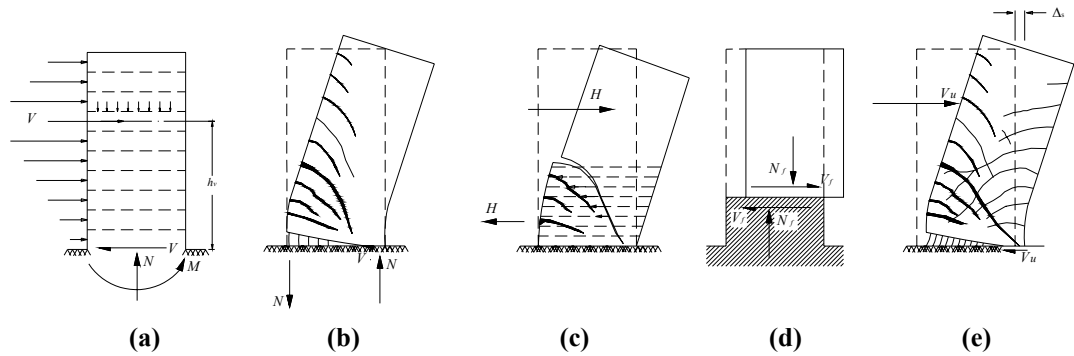
Yalnız perdelerden oluşan sistemler, kapı pencere gibi mimari plandaki kısıtlamalar nedeniyle, boşluklu perdelerle düzenlenir. Burada perde elemanları kat hizasında açıklık derinlik oranı normal kirişlerden hayli küçük olabilen bağ kirişleriyle birbirine bağlanır. Boşluklu perdeleri birleştiren bağ kirişleri, kontrollü ve izin verilen hasarlarıyla, deprem enerjisinin önemli bir bölümünün yutar. Bu nedenle, dolu perdeli sistemler boşluklu perdeli sistemlerden daha rijit olsa bile, boşluklu perdelerden oluşan sistemler daha sünektir.

3.1.1. Perde Duvarların Göçme Mekanizmaları

Betonarme perde elemanlarda oluşacak güç tükenmesinin perdelerin tabanda mesnetlendiği kesitlerde ve eğilme etkilerinden, meydana gelmesi beklenir (Şekil 3.1b). Eğilme donatısı akma durumuna gelmeden kesme ve stabilite bozulmasından(burkulma, çarpılma) dolayı ani güç tükenmelerinin olması perde elemanların gerekli enerjiyi absorbe edemediği rijitlik kaybına ve erken göçmesine yol açar. Özellikle kesme kuvvetinden dolayı oluşan diyagonal zorlanmalarla meydana gelebilecek mekanizmalar önlenmelidir (Şekil 3.1c). Perdenin kritik

kesitlerinde moment etkisiyle eğilme donatılarının akması haricinde, perdelerde kesme kuvveti etkisiyle oluşabilecek mekanizmalar aşağıda kısaca sıralanmıştır:

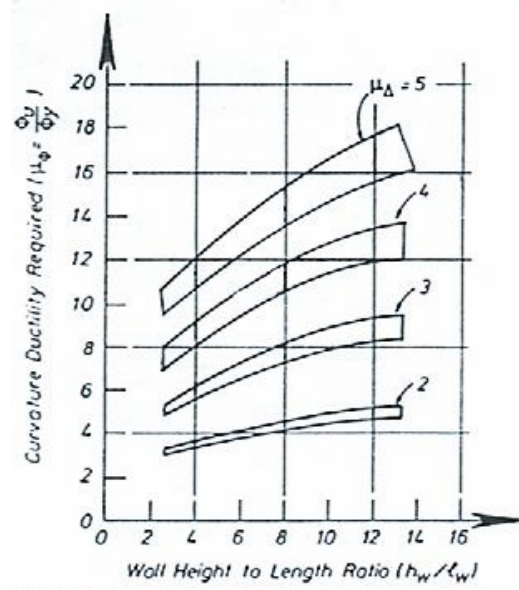
- Diyagonal çekme gerilmelerinden dolayı kesme kırılması,
- Diyagonal basınç gerilmelerinden dolayı betonun ezilmesi,
- Perde uç donatılarının sismik yükleme halinde burkulması,
- Düşey donatı yetersizliğinden dolayı perdenin tabandan tümüyle kayması (Şekil 3.1e) ,
- Perdenin soğuk derz kesitlerinde kayma göçmesi (Şekil 3.1d),



Şekil 3.1: Perdelerde Göçme Mekanizmaları; a) etkiyen kuvvetler, b) eğilme göçmesi, c) kesme göçmesi, d) kayma göçmesi, e) mesnet kayması [2]

3.1.2. Perdelerde Süneklik

Eğilme etkisiyle meydana gelen, perde elemanın tepesinden ölçülen yatay yerdeğiştirme ile tanımlanan deplasman sünekliği, kritik bölgede tabanda ölçülen dönme sünekliğiyle bağlantılıdır fakat aynı değildir. Örnek olarak $h_w/l_w = 10$ olan narin sayılabilecek bir perde duvarda, deplasman sünekliği: $\mu_\Delta = 4$ ' e ulaşabilmek için dönme sünekliği $\mu_\phi = 12$ olmalıdır. Aşağıda verilen tabloda farklı h_w/l_w oranları için süneklik katsayıları gösterilmiştir (Şekil 3.2). Bant alanları kritik perde yüksekliğinin farklı değerlerini sınırlar ($l_w > H_{cr} > 0,5 \cdot l_w$) [2].



Şekil 3.2: Perdelerde eğilme sünekliğinin, perde yükseklik/uzunluk oranına ve uç deplasman sünekliğine göre değişimi

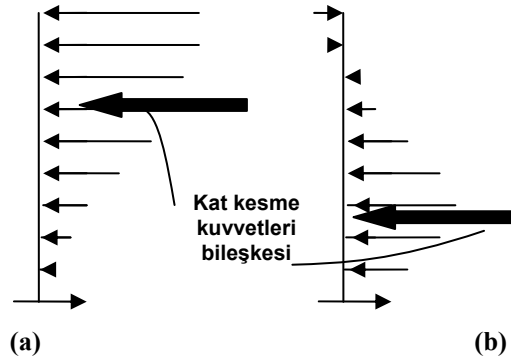
3.1.3. Eğilme Etkisi

Perde elemanların eğilme dayanımları beton basınç dayanımı ve tarafsız eksen derinliğine göre tanımlanır. Sadece moment etkisi veya momentle birlikte küçük aksenal basınç veya çekme kuvveti altında, tarafsız eksen derinliği, perde duvarın uzunluğuna kıyasla küçük kalacaktır. Bu durumda eğrilik büyüktür ve şiddetli bir depremde perde elemanı, plastik mafsallık bölgesinde beklenen dönmeleri yapacak yeterlilikte olur. Fakat perde elemanına moment ve büyük aksenal basınç kuvvetleri birlikte etkiyorsa, tarafsız eksenin derinleşmesiyle derin bir basınç bölgesine ihtiyaç vardır. Söz konusu eleman perde duvarlardan oluşan bir sistemin parçasıysa, büyük aksenal yük taşıyan perdelerle aynı plastik dönmeyi elde edebilmek için beton gerilmesi burkulma için kritik düzeyin üzerine çıkmak zorundadır. Bunun mümkün olabilmesi için perdenin basınç bölgesinin etriyelerle sarılması gereklidir [2].

3.1.4. Kesme Kuvveti Etkisi

Kesme etkilerinin perdelerin sünek davranışını engellemesini ve kayma etkilerinin tekrarlı yüklemdeki enerji yutulmasını belirgin bir biçimde azaltmasını önlemek için kesme kuvvetinin perde mukavemetinde belirleyici olmaması gerekir. Bunun sağlanabilmesi için, aynen kolon boyutlandırılmasında olduğu gibi, tasarımda kullanılacak kesme kuvveti, perde uçlarında oluşan pekleşme momentlerinden dolayı oluşacak kesme kuvvetinden büyük olmalıdır.

Dinamik analiz sonucu perdede oluşacak kesme kuvveti binanın modal davranışına göre farklılık gösterecektir. Binaın dinamik davranışında 1. mod etkinse kat kesme kuvvetlerinin dağılımı Şekil 3.3(a)'de görüldüğü gibi olacaktır. Bu dağılım Deprem Yönetmeliğinde öngörölene yaklaşıktır ve bu kuvvetlerin bileşkesi tabandan $0.7 H_w$ kadar yukarıda olur. Eğer binanın dinamik davranışında 2. ve 3. modların etkisi çok fazla ise kat kesme kuvvetlerinin dağılımı Şekil 3.3(b)'de görüldüğü gibi olacaktır. Bu kuvvetlerin bileşkesi ise diğer durumdakinden çok daha aşağıda $0.3 H_w$ civarında olacaktır. Her iki durumda da, eğilme etkilerinden dolayı perdede oluşacak plastik mafsallın taban seviyesinde olacağı düşünülürse, yine bu momentten doğacak tabandaki kesme kuvveti bahsedilen ikinci durumda bariz şekilde fazla olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.3: Modal kesme kuvveti dağılımı; a) 1. modun ağırlıklı olduğu dağılımı, b) 2. ve 3. modun ağırlıklı olduğu dağılım

Blakeley [9] tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Yeni Zelanda, 1982 yönetmeliğinde boyutlamada esas alınacak kesme kuvvetinin hesabı için binanın kat adedine bağlı olarak hesaplanan ‘dinamik kesme büyütmesi’ katsayısının (ω_v) kullanılması önerilmiştir. Denklem 3.1’deki V_{ii} , yönetmeliğe göre hesaplanmış dayanım kesme kuvveti, V_{perde} tasarım kesme kuvvetini gösterir [2].

$$V_{perde} = \omega_v V_{ii} \quad (3.1)$$

Perdelerin temele bağlantı düzeyleri, diğer yatay inşaat derzleri ve tekrarlı dinamik yüklemede eğilme etkisiyle oluşan yatay çatlaklarda oluşabilecek zayıf düzlemler, bu kesitlerde aktarılan kesme kuvveti göz önüne alınarak, kesme sürtünmesi yöntemiyle kontrol edilmelidir [12]. Kesme sürtünmesine karşı yeterince donatılmayan perdeler,

yatay yükler altında söz konusu derzlerde büyük kayma deformasyonları yapar ve erken göçmeye neden olur.

3.1.5. Perdelerde Stabilité

İnce kesitli perde elemanları aksel kuvvetlerin etkisiyle büyük basınç gerilmelerine maruz kalırlarsa burkulma ile birlikte erken göçme meydana gelebilir. Bu durum daha çok kritik perde yüksekliğinin 1–2 kat yüksekliği kadar olduğu ve tarafsız aksel derinliğinin fazla olmasının istendiği sünek durum için geçerlidir. Stabilité problemi sünekliği yüksek perdelerin davranışını yöneten bir unsur olmamalıdır.

Süneklik düzeyi yüksek perdelerde perde uçlarındaki donatılarda büyük çekme uzamaları meydana gelir. Bununla birlikte plastik mafsallık bölgesinde oluşan çekme kuvvetleri nedeniyle düzgün aralıklarla betonda çatlaklar belirir. Yatay yükler yön değiştirip biraz önce akarak uzayan donatılar basınç gerilmelerine maruz kalır. Betonda oluşan çatlaklar kapanırken bu çubuklarda elastik olmayan basınç kısılmaları meydana gelir. Bu durum çeliğin elastisite modülünde bir azalmaya yol açar. Çatlaklar kapanmadan elastisite modülünde kritik seviye aşıldığında bu bölgede perde aksine dik burkulma meydana gelir. Kritik seviyeye erişilmeden, duvar kalınlığı boyunca oluşan bu çatlaklar kapanırsa söz konusu bölge rijitleşir ve burkulma durdurulmuş olur.

Bu tür burkulmaya ayrıca agreganın düzgün yerleşmemesi ve kayma şekil değiştirmelerinden dolayı, oluşan çatlaklardaki kuvvetlerin eşleşmemesi gibi iç kuvvet süreksizlikleri de neden olabilir [2].

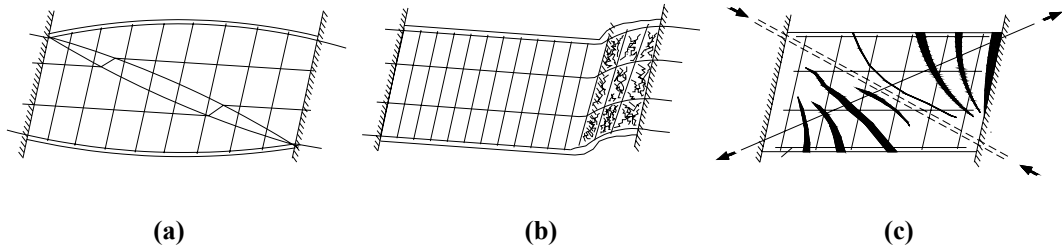
Perde elemanlarının stabilitesi hakkında çok kesin sonuçlar elde edilmediğinden çeşitli ülke yönetmelikleri sünekliği yüksek perde boyutları konusunda kısıtlamalar getirmiştir. Örneğin Yeni Zelanda yönetmeliği perde duvar kalınlığının kat temiz açıklığının 1/10'undan az olamayacağını öngörür [2]. Türkiye'de geçerli olan D.B.Y.B.H.Y. 2007'de buna benzer olarak aynı oran 1/20 olarak belirlenmiştir [14].

Perde uçlardaki sarılma bölgelerinin gövdeden daha geniş düzenlenmesi ya da perdelerin uçlarında yönetmeliklerce belirlenmiş yeterli uzunlukta flanşlarla düzenlenmesi (I-kesit) önerilir. Bu şekilde ince kesitli narin perde duvarlarda stabilité göçmesi ile karşılaşılmaz, ayrıca uç bölgelerinde donatı yerleşimi ve etriye sarımı kolaylaşır [2].

3.1.6. Bağ Kirişlerindeki Göçme Mekanizmaları

Bağ kirişlerinin kısa ve açıklığa göre derin olduğu durumlarda, istenilen sünek davranışın elde edilebilmesi için doğru donatılandırma önemli bir parametredir.

Bu kirişler için yönetmelikte çerçeveler için veriler koşullara göre tasarım yapıldığı taktirde, neredeyse kesin olarak diyagonal basınçtan dolayı göçme meydana gelir (şekil 3.4a). Büyük kesme kuvvetinin karşılanması için çok sık etriye düzenlendiğinde bağ kirişin perdeyle birleştiği kesitlerde betonda basınç kırılması oluşur ve istenen davranış eğrisi elde edilemez (şekil 3.4b). Yönetmeliklerde belirlenen kayma gerilmesi değerinin aşılması halinde, bağ kirişlerinin hem kesme kuvvetini hem de onun oluşturduğu eğilme momentini karşılayacak çapraz donatı demetiyle donatılması istenen sünek davranış için en uygun çözüm olacaktır (şekil 3.4c) [2].



şekil 3.4: Bağ kirişlerin kesme dayanımı mekanizmaları

3.2. Döşemeler

Tünel kalıp sisteminde döşemeler kendilerini çevreleyen perdelere mesnetlenirler. Ancak döşemelerin dört kenarının da perdelere mesnetlenmesi pek mümkün olmaz çünkü tünel kalıbın çıkarılması için meknın bir yüzü mutlaka açık olmalıdır. Bu durumda mesnetlenmemiş kenarın üzerine gelecek duvar yükünün karşılanması, bu kenarda oluşabilecek sehim çatlaklarının sınırlandırılması 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 kktr [5]. Bunların dışında, döşemenin, kalıbın çıktığı doğrultuya dik doğrultuda çalışması istenir. Aksi takdirde elverişli olmayan çözümler söz konusu olabilir (şekil 3.5).



Şekil 3.5: Tünel kalıbın çıkış yönüne göre döşeme parçasının durumu

Kalıp sisteminin inşaat esnasında getirdiği zorunluluklar dolayısıyla döşemelerin tek kenarı mesnetlenemez. Mesnetlenmeyen kenarda kendi yükü ve duvar yükleri altında, kesit ataletlerinin yeterli olmamasından dolayı büyük sehimler oluşabilir. Oluşacak sehim çatlakları kenarlara yerleştirilecek uygun çekme donatılarıyla sınırlandırılmalıdır. Perde döşeme birleşimlerinde yatay yüklerin etkisiyle büyük kesme kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetlerin erken kesme göçmelerine neden olmaması için en çok zorlanan bölgelerde döşeme içerisinde etriyelerle sarılarak düzenlenecek yatık kirişler düzenlenmelidir.

Tünel kalıp sisteminde döşemenin üç kenarından mesnetli olması plağın genelde tek doğrultuda çalışmasına neden olmaktadır. Yukarıda bahsedilen döşemelerin statik hesapları sürekli kiriş yöntemiyle yapılmasıyla TS 500’de önerilen moment katsayıları yönteminden daha ekonomik sonuçlar elde edilebilir.

3.3. Temeller

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen bir yapıda her iki doğrultuda pek çok perde bulunduğu için iki yönde sürekli temel düzenlenmesi gerekir. Ancak bu tarz temellerin yapım ve kalıp bakımından çıkan güçlüklerden dolayı bunun yerine inşası kolay olan plak temeller tercih edilir.

Çok katlı, yapı ağırlığının büyük olduğu ve/veya zeminin taşıma gücünün yetersiz olduğu durumlarda bütün yapının altına tek bir plak temel yapılması uygun olabilir. Plak temeli planda üst yapının biraz dışına taşırarak zemin gerilmelerini düşürmek mümkün olur. Yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum zemin gerilmesi, zemin emniyet gerilmesinden büyük çıkarsa ya zemin iyileştirilmesi yapılır ya da yapının ağırlığını azaltmak amacıyla kat adeti düşürülür. Bu tür kirişsiz inşa edilen temellerde, zımbalama önemli bir zorlama olarak ortaya çıkar,[11].

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 aşılrısa, bu bölgelerde zımbalama donatısı düzenlenebilir,[10].

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapılar çok rijit olduğundan, temelin bağımsız şekil değıştirmesi sınırlanır, rijit üst yapı kendisinde oluşan zorlamalarla, farklı oturmaları azaltır [5].

4. D.B.Y.B.H.Y.(2007)'DE BETONARME PERDELİ YAPILAR İÇİN VERİLEN KURALLAR

4.1. Enkesit Koşulları

Perdeler, planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan binalarda, DBYBHY 2007'de verilen Denklem 4.1'deki koşulların her ikisinin de sağlanması durumunda perde kalınlığı, binadaki en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olmayacaktır. Söz konusu denklem bodrum katları rijit perdelerle çevrili binalarda zemin katlardan diğerlerinde temelin üstünden itibaren uygulanacaktır.

$$\sum A_g / \sum A_p \geq 0.002 \quad (4.1a)$$

$$V_t / \sum A_g \leq 0.5 f_{ctd} \quad (4.1b)$$

4.2. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği

Tünel kalıp sistemine göre inşa edilen yapılar çok rijit olup, deprem kuvvetinin tamamı perdeler tarafından taşınır. Bu tür taşıyıcı sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri çok yüksektir. Ancak perdeler boşluklu da olsalar, çerçevelerle birlikte de bulunsalar, konsol kiriş gibi davrandıklarından kritik kesitleri, sadece temelle birleşen kesitler olduğundan süneklikleri sınırlıdır [11]. Bu kesit mesnette bir bölge olarak ortaya çıkar. Bu bölge D.B.Y.B.H.Y.'de kritik perde yüksekliği olarak adlandırılmıştır.

Temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20 den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren *kritik perde yüksekliği*, $2\ell_w$ değerini aşmamak üzere, Denklem 4.2'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenecektir.

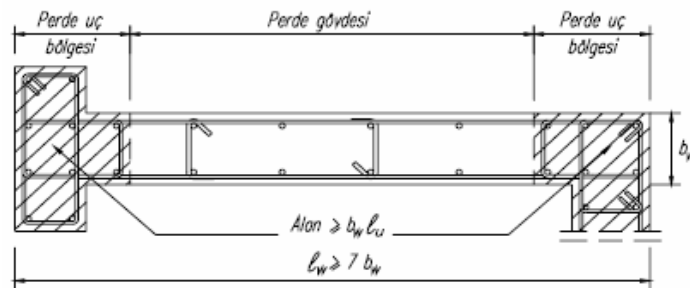
$$H_{cr} \geq \ell_w \quad (4.2a)$$

$$H_{cr} \geq H_w / 6 \quad (4.2b)$$

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, H_w ve H_{cr} büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren yukarıya doğru göz önüne alınacaktır. Bu tür binalarda kritik perde yüksekliği, en az zemin katın altındaki ilk bodrum katının yüksekliği boyunca aşağıya doğru ayrıca uzatılacaktır.

Yüksekliği fazla olmayan yapılarıdaki perdelerde genellikle çok büyük kesit etkileri meydana gelmez. Bu nedenle perde donatısı kesit çevresine düzgün şekilde dağıtılabilir. Ancak büyük mesnet momenti durumunda donatı uçlarda toplanarak elemanın güç tükenmesi momenti arttırılabilir. Böylece eğilmeden dolayı oluşan basınç kuvvetinin önemli bir bölümü de donatı tarafından karşılanacaktır [1]. Bu etkiyi sağlayabilmek için Deprem Yönetmeliği 1998 ve 2006’da perde elemanlarında uç bölgesi düzenlenmesi uygun görülmüştür. $H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulacaktır.

Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan binalar dışında, perde uç bölgelerindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin $1/15$ ’inden ve 200 mm’den az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinin, kat yüksekliğinin en az $1/5$ ’ine eşit uzunluktaki elemanlarla yanıl doğrultuda tutulduğu durumlarda, uç bölgesindeki perde kalınlığı, yanıl doğrultuda tutulan noktalar arasındaki yatay uzunluğun en az $1/20$ ’sine eşit olabilir. Ancak, bu kalınlık kat yüksekliğinin $1/20$ ’sinden veya 300 mm’den az olamaz.(Şekil 4.1)



Şekil 4.1: Mesnetli perdelerde uç bölgeleri minimum alanları, [14]

Eğer perdeler, tünel kalıp sistemlerinde olduğu gibi, eğilme etkilerinin yanında düşey yüklerden oluşan önemli miktarda normal kuvvet etkisinde ise; bu etkinin en fazla olduğu temel seviyesindeki sünekliği arttırmak için perde kesitinin başlıklarında sık etriye kullanmak uygun olacaktır. Zira genellikle düşey yüklerden oluşan normal kuvvet, denge durumundaki normal kuvvetten küçüktür ve eğilme momenti

nedeniyle perde kesitindeki çekme donatısı akma durumuna gelir ve sünek güç tükenmesi görülür. Fakat normal kuvvetin, büyük olduğu durumlarda, dengeli durumun üzerinde kalındığından, çekme donatısı akma durumuna erişmeden, kesme kuvveti etkisiyle ani güç tükenmesi ortaya çıkacaktır [1].

4.3. Perdelerde Donatı Koşulları

Yönetmelikte, yukarıda anlatılan perde davranışlarının elde edilebilmesi için perde elemanlarının donatılma koşulları belirlenmiştir.

Gövde Donatısı

Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan *perde gövdesi* brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır. $H_w / \ell_w \leq 2.0$ olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak göz önüne alınacaktır. Perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm'den fazla olmayacaktır.

Denklem 4.1a ve 4.1b'nin her ikisinin de sağlandığı, deprem kuvvetinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı binalarda, donatı aralığı 300 mm'yi geçmemesi koşuluyla en az düşey ve yatay toplam gövde donatısı oranları 0.0015 alınabilir.

Yatay gövde donatıları perde uç bölgesine konulacak sargı donatısının belirlenmesinde hesaba katılabilir.

Uç bölgeleri dışında, kritik perde yüksekliği boyunca her 1 metrekare perde yüzünde, çapları en az yatay donatı çapı kadar olan, en az 10 adet özel deprem çirozu kullanılacaktır. Bu bölgenin dışında perde gövdelerinin her iki yüzündeki donatı ağırları, 1 metrekare perde yüzünde en az 4 adet özel deprem çirozu düşecek şekilde karşılıklı olarak bağlanacaktır.

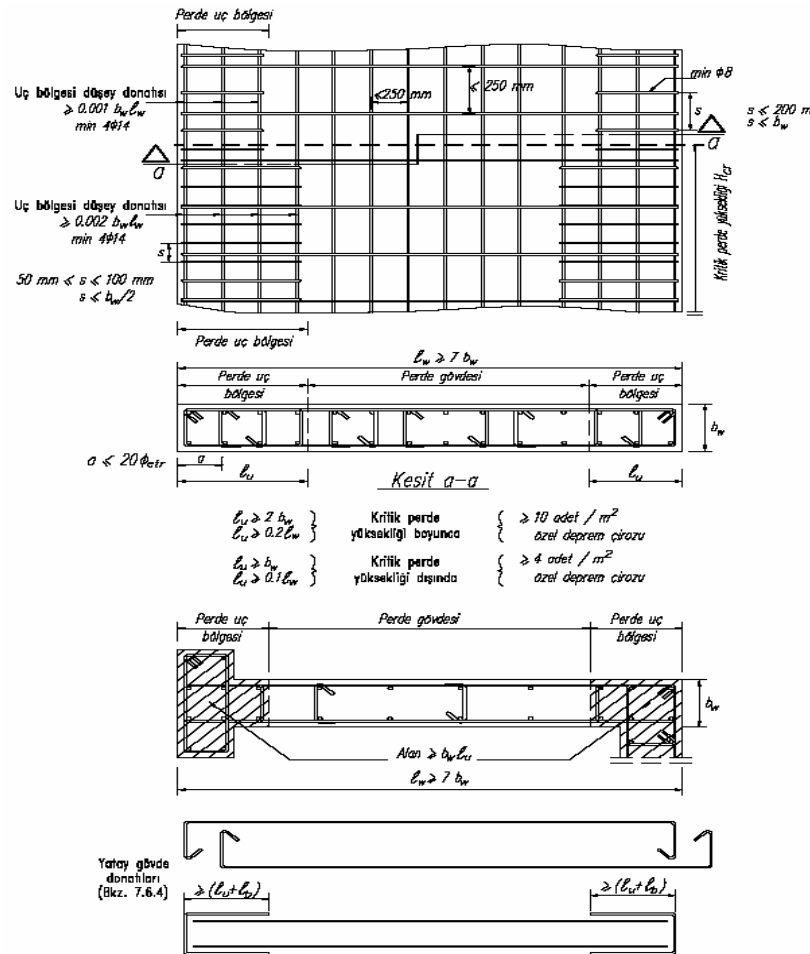
Yatay gövde donatıları etriyelerle sarılı perde uç bölgesinin sonunda iki farklı şekilde detaylandırılması önerilmiştir. Donatı, 90 derece kıvrılarak karşı yüzde köşedeki düşey donatıya 135 derecelik kanca ile bağlanabilir yada kıvrım yapılmaksızın U biçiminde hazırlanan yatay donatılara birleştirilir. Bu donatılar perde uç bölgesinin iç sınırından itibaren en az kenetlenme boyu kadar uzatılmalıdır.(Şekil 4.3)

Perde Uç Bölgeleri

Perde uç bölgelerinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı kritik perde yüksekliği boyunca 0.002'den diğer bölgelerde 0.001'den, donatı miktarı $4\phi 14$ 'ten az olmayacaktır. Perde uç bölgelerindeki düşey donatılar, Şekil 4.3'de gösterilen yerleşim kurallarına uyularak, kolonlarda olduğu gibi etriyeler ve/veya çirozlardan oluşan enine donatılarla sarılacaktır. Enine donatının çapı ve aralığı, hiçbir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan az olmayacaktır.

Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için $A_{sh} \geq 0.075s b_k (f_{ck} / f_{ywk})$ ile belirlenen enine donatının en az 2/3'ü konulacaktır. Etriye ve çirozlar temel in içinde de en az perde kalınlığının iki katı kadar bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir.

Yönetmelikte öngörülen donatı sıklaştırılmaları uygulanarak kritik yükseklik bölgesinin sünekliği artırılmış olacaktır [1].

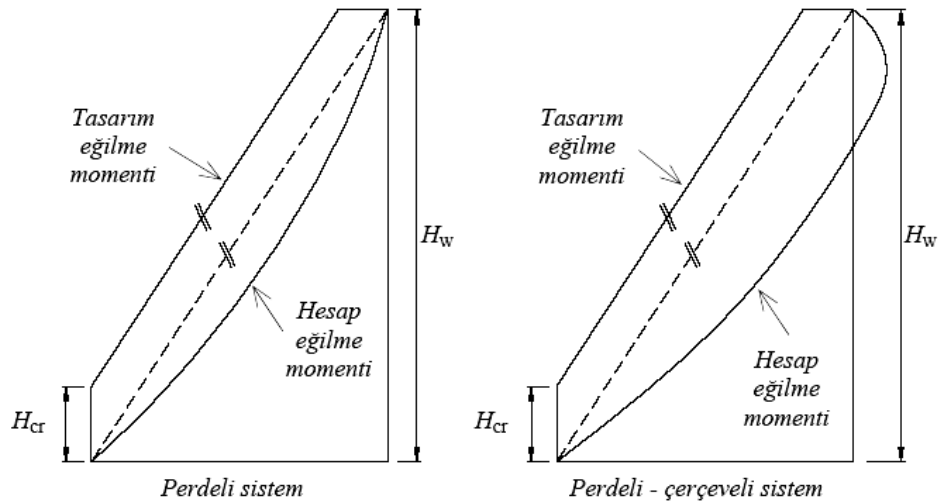


Şekil 4.3: Perde donatılarının kenetlenme detayları, [14]

Tasarım Eğilme Momentleri

Binanın dinamik davranışı sonucu ortaya çıkan maksimum moment diyagramı, eşdeğer statik yükleme sonucu bulunan diyagramdan farklıdır. Mod birleştirme yöntemiyle veya Zaman Tanım alanında hesap yapıldığında bu fark görülebilir. Yapılan araştırmalarda lineer ve lineer olmayan dinamik analiz sonucu bulunan moment kuvvetlerinin yaklaşık olarak doğrusal değiştiği görülmüştür [2]. Bu nedenle perde duvarlara konulacak eğilme donatısı söz konusu doğrusal moment değişimini sağlayacak şekilde yerleştirilmelidir.

$H_w / \ell_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerde tasarıma esas eğilme momentleri, Denklem 4.2'ye göre belirlenen kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak, perde tabanında D.B.Y.B.H.Y, 2007 2. Bölüm'de verilen yöntemlerden birine göre hesaplanan eğilme momentine eşit alınacaktır. Kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesitin üstünde ise, perdenin tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment diyagramı uygulanacaktır (Şekil 4.4). Çevresinde rijit perdeler bulunan bodrumlu binalarda sabit perde momenti, tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca göz önüne alınacaktır.



Şekil4.4: Perdelerde Moment Dağılımı, [14]

Perdelerin Kesme Güvenliği

Perde veya perde parçalarındaki enine donatının hesabında, yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti V_d 'nin 1.5 katı esas alınacaktır. V_d Denklem 4.3'te tanımlanan koşulları sağlayacaktır:

$$V_d \leq V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad (4.3a)$$

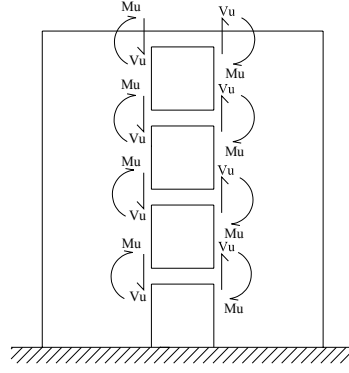
$$V_d \leq 0.22 A_{ch} f_{cd} \quad (4.3b)$$

Burada V_r perde kesitinin kesme dayanımıdır.

Perde elemanlar, inşaat derzlerinde oluşan kesme dayanımı açısından zayıf kesitlerde TS 500'de belirtilen sürtünme kesmesi şartına göre kontrol edilmelidir. Tünel kalıp sistemiyle yapılan binalarda bu kesitler aks betonunun üst kesiti olacaktır. Bu kesitler yeterli sürtünme dayanımının elde edilebilmesi için pürüzlendirilmelidir.

4.4. Boşluklu Perdeler ve Bağ Kirişleri

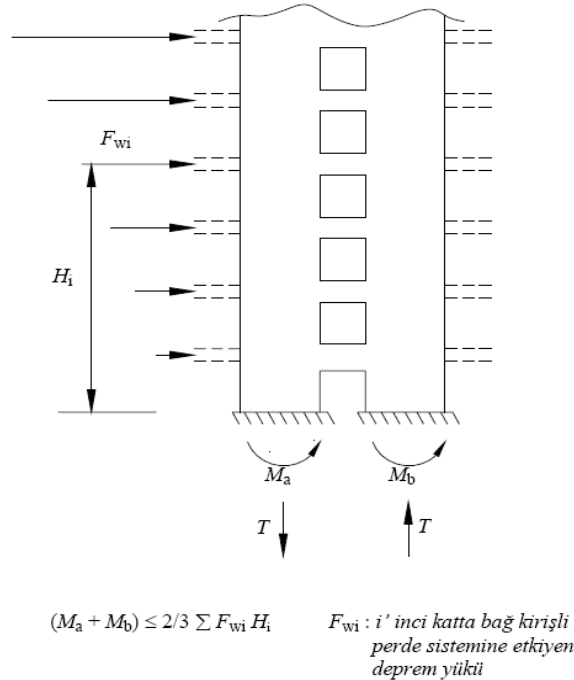
Taşıyıcı sistemi perdelerden oluşan yapılarda her katta pencere ve kapılar için perde duvarlarda boşluklar oluşturulur. Bu şekilde iki perdenin bağ kirişleri ile birleştirilmesinden oluşan beraber çalışan perde sistemi meydana gelir (Şekil 4.5). Perdeler arası bağ kirişleri iki perde sisteminin rijitliğini artırarak yanal yer değiştirmeleri azaltırlar. Bağ kirişlerinin rijitliği arttırıldıkça eğilme momentleri büyürken perdeler arası etkileşim artar ve perde kesitlerinde meydana gelen normal kuvvetle daha büyük momentin taşınması mümkün olur. Fakat bu kirişlerin, birleşim noktalarında perdelerden daha güçlü olması istenmez. Aksi takdirde istenen süneklik sağlanamaz. Güç tükenmesi önce perdelerde oluşur ve sistem özelliğini kaybeder. Perdelerde tamiri mümkün olmayan hasarlar meydana gelir. Önce bağ kirişlerinin büyük bir bölümünün güç tükenmesi durumuna gelmesiyle, perdelerde önemli bir hasar meydana gelmeden enerjinin büyük bir kısmı yutulmuş olur.



Şekil 4.5: Bağ kirişlerinde oluşan iç kuvvetler

Deprem yönetmeliğinde, ikili perde sistemlerindeki bağ kirişlerinin yeteri kadar moment kuvveti taşıması, aşağıda verilen kural ile bir alt sınıra bağlanmıştır:

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, herhangi bir bağ kirişli perde sistemini oluşturan perde parçalarında deprem yüklerinden oluşan taban momentlerinin toplamı, bağ kirişli perde sisteminde deprem yüklerinden oluşan toplam devrilme momentinin $2/3$ 'ünden fazla ise, sistemden beklenen sünek davranışın oluşması için bağ kirişlerinin yeteri kadar moment kuvvetini üzerine almadığı anlaşılır. Burada, sistemi oluşturan perdelerin her biri boşluksuz perde olarak ayrı ayrı göz önüne alınacaktır. Yapının taşıyıcı sistem davranış katsayısı $-R$ değiştirilecektir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: Bağ kirişlerinin taşıması gereken minimum moment koşulu [14]

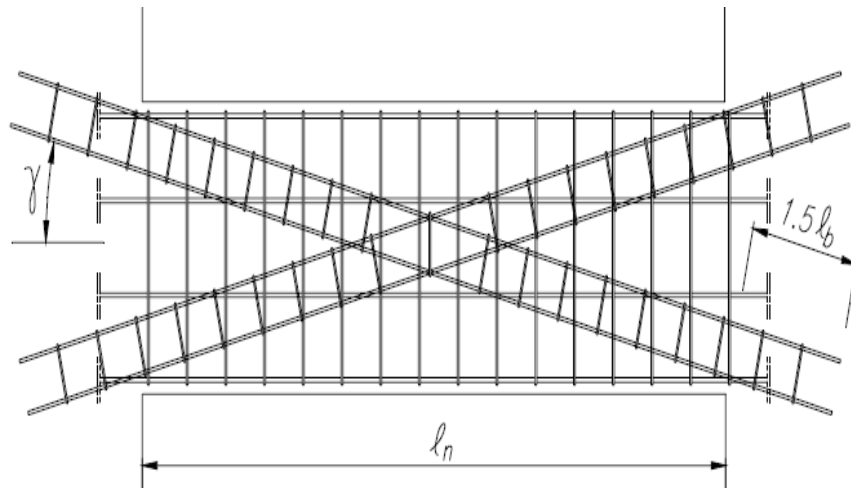
Eğer bağ kirişleri kısa ve yüksekse, büyük eğilme momentlerine karşı koyarlar. Bunun sonucunda kesme kuvvetleri de büyüyecektir. Açıklığı yüksekliğine göre küçük olan bağ kirişlerinde, alışlagelmiş kiriş teorisinden ayrılıp, kirişte basınç ve çekme çubuklarının varlığından hareket ederek donatılandırmak uygun olabilir. Deprem yönetmeliğinde bağ kirişlerinin kesme kuvvetine göre donatılmasında iki seçenek anlatılmıştır:

$$l_n > 3h_k \quad (4.4a)$$

$$V_d \leq 1.5b_wdf_{ctd} \quad (4.4b)$$

Kirişin serbest açıklığı yüksekliğinin 3 katından fazla olduğu ve söz konusu kesme kuvvetinin Denklem 4.4'teki şartları sağlayamadığı durumda yukarıda bahsedilen basınç çekme çubukları teorisine bağlı olarak, bağ kirişine konulacak özel kesme donatısı, bağ kirişindeki kesme kuvvetini ve onun oluşturduğu eğilme momentini karşılamak üzere çapraz donatılar şeklinde olacaktır (Şekil 4.7). Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı Denklem 4.5 ile belirlenecektir.

$$A_{sd} = V_d / (2f_{yd} \sin \gamma) \quad (4.5)$$



Şekil 4.7: Bağ kirişlerinde kullanılacak çapraz donatı detayı

5. TÜNEL KALIP SİSTEMİYLE İNŞA EDİLEN BİNALARIN İNCELENMESİ

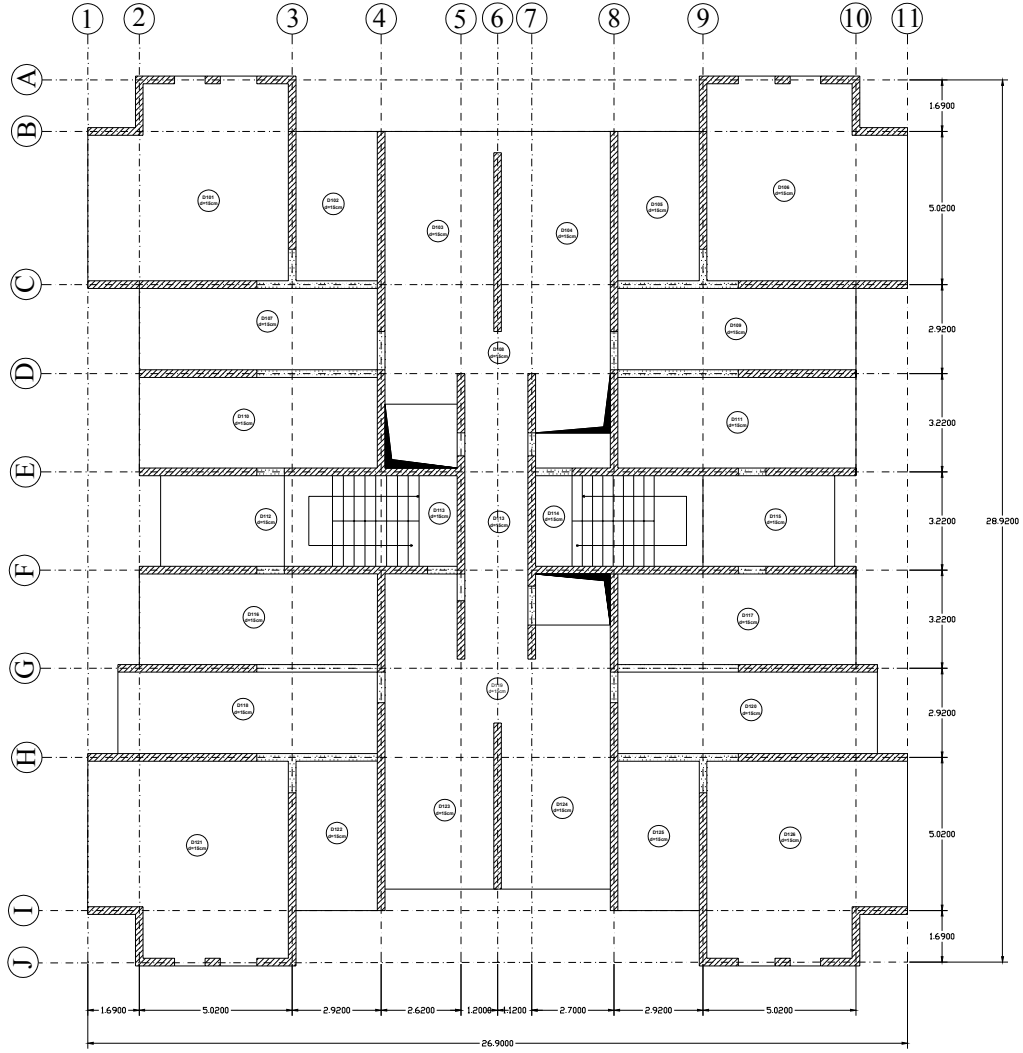
Bu çalışmada, tünel kalıp sistemiyle iki doğrultuda rijitliği benzer olan planda kare olarak tasarlanmış örnek binanın deprem etkileri altında davranışı incelenmiştir.

Binalar farklı parametreler altında incelenmiştir:

1. Kat adedi farklı iki örnek bina modeli hazırlanmıştır.
2. Bodrum katları çevreleyen perde duvarların bina deplasmanlarına ve iç kuvvetlere etkisini incelemek amacıyla bodrum perdeli ve bodrum perdesiz modeller oluşturulmuştur.
3. Taşıyıcı sistemin rijitliğinin değiştirilmesinin etkisini araştırmak amacıyla bina modellerinin belirlenen üst katlarında perde miktarı azaltılmıştır.

Bina modelleri, bütün kat yükseklikleri 2.80m olan $(26.9 \times 28.60) m^2$ alana oturan bir konut yapısıdır. Yapıda BS35 ($f_{cd} = 23,33 Mpa$) kalitesinde beton kullanılmıştır. Binalardaki perdelerin plandaki dağılımları Şekil 5.1’de görülmektedir. Perdeler her iki doğrultuda da simetrik olarak yerleştirilmiştir. X yönünde E,F,4 ve 8 akslarındaki perdelerde oluşturulan kapı boşlukları için 100 cm açıklığında 70cm derinliğinde bağ kirişleri bulunmaktadır. Bunların yanı sıra birbirine dik perdeler, döşeme rijitliğinin artırılması ve perde aks devamlılığının sağlanması amacıyla şekilde D,C,H ve G akslarında görüldüğü gibi 70 cm derinliğindeki kirişlerle bağlanmıştır.

Perdelerin her iki yönde eşit uzunlukta ve simetrik yerleştirildiği binaların tek doğrultuda perdelerin yoğun olarak yerleştirildiği dikdörtgen planlı binalara göre avantajı, rijitlik merkezi ile kütle merkezi çakışık olmasıdır. Fakat iki doğrultudaki perde eksenlerinin birbirleriyle çakışık durumda olması binanın burulma stabilitesi için sorun yaratacaktır. Bu tür sistemlerde perdelerin getirdiği yüksek yatay rijitliğe rağmen bina burulmaya karşı zayıf olacaktır. Deprem yüklemesi altında plan yerleşiminde köşelerde bulunan perdeler büyük burulma momentlerine maruz kalacaktır. Bu açıdan bakıldığında, örnek kare planda boylarının uzunluğu da dikkate alınarak, 4 ve 8 akslarındaki perdelerin burulma açısından kritik olduğu söylenebilir.



Şekil 5.1: Örnek tünel kalıp bina planı

Genellikle rijit diyafram olarak davranması beklenen döşemeler her iki yönde perdeler ya da kirişler tarafından tutulu olmalıdır. Bu şekilde deprem yüklemelerinde oluşabilecek iç kuvvetler perde ve kirişlere doğrudan aktarılır. Döşemeler için düşey yükler altında yapılacak kesit ve donatı hesabı yeterli olur. Örnek plan ele alındığında, 4 ve 8 aksları arasındaki döşeme parçasının bu doğrultuya dik etkiyecek deprem kuvvetleri altında büyük kesme kuvvetlerine maruz kalacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle C, D, G ve H akslarının doğrultusunda oluşturulacak kirişlerle bu kuvvetlerin aktarılması sağlanmalıdır. Tünel kalıp kullanımında, mimari ve teknik sorunlardan dolayı sarkan kirişler yapılamayacağından, düşey etriyeler kullanılarak, döşeme kalınlığında yatık kirişler düzenlenmesi rijitliği arttırmaya da sünekliğin artırılmasında yararlı olur.

Farklı yükseklikteki binaların D.B.Y.B.H.Y, 2007 koşullarına göre perde kalınlıkları, TS 500'e göre döşeme yükseklikleri seçilmiştir. Döşeme kaplama yükleri ve hareketli yükler, binaların konut olarak kullanıldığı öngörüsüyle, TS 498'den alınarak hesaplanmış ve modellere eklenmiştir. Dinamik analize esas olarak D.B.Y.B.H.Y'de verilen 'Eşdeğer Deprem Yüğü' yöntemi kullanılmıştır. Buna göre kat kesme kuvvetleri hesaplanmış ve analiz yapılmıştır.

İncelenen binalar Etabs V.9.0.4 programı kullanılarak modellenmiştir. Etabs programında döşeme plakları, döşeme rijit diyafram kabulüyle hesaba katılacağı için, membran (membrane) eleman olarak tanımlanmıştır. Böylece serbestlik derecesi azaltılmış ve yatay yüklerin yönetmelikte gösterildiği gibi etkitilmesi kolaylaştırılmıştır. Tablo ve grafiklerde farklı varsayımlarla hazırlanan modelleri belirtmek için kullanılacak kısaltmalar aşağıdaki gibidir.

- (20 bd): 20 normal kat ve 2 bodrum katlı bina modeli
- (20 bz): 22 normal katlı bina modeli
- (10bd): 10 normal kat ve 1 bodrum katlı bina modeli
- (10 bz): 11 normal katlı bina modeli

5.1. Hesaplarda Kullanılan Düşey Yüklemeler

TS 498'den yararlanılarak döşemelerdeki kaplama yükleri seçilip Etabs'de 'Alan yayılı yükleri' olarak modellere etkitilmiştir. Aşağıdaki tablolarda bu yükler verilmiştir. (Tablo 5.1)

Tablo 5.1: Düşey Kaplama Yükleri [13]

Normal katlarda:	
Parke	$0,008 \times 2 = 0,016 \text{ t/m}^2$
Şap	$0,022 \times 5 = 0,11 \text{ t/m}^2$
Tavan sıvası	$1,8 \times 0,02 = 0,036 \text{ t/m}^2$
Toplam:	$0,162 \text{ t/m}^2$
Çatı katı:	
Su izolasyon örtüsü	$0,015 \times 1 = 0,015 \text{ t/m}^2$
Kiremit ve latılar	$0,05 \times 2 = 0,1 \text{ t/m}^2$
Cam yünü	$0,0015 \times 5 = 0,0075 \text{ t/m}^2$
Tavan sıvası	$1,8 \times 0,02 = 0,036 \text{ t/m}^2$
Kar yığı	$0,075 \text{ t/m}^2$
Toplam:	$0,1585 \text{ t/m}^2$

Tablo 5.1: Düşey Kaplama Yükleri (devam)

Bodrum katı:	
Karo mozaik	$0,022 \times 5 = 0,11 \text{ t/m}^2$
Tavan sıvası	$1,8 \times 0,02 = 0,036 \text{ t/m}^2$
Toplam:	$0,146 \text{ t/m}^2$
HAREKETLİ YÜKLER:	$0,2 \text{ t/m}^2$

5.2. Taşıyıcı Sistem Ön Hesabı

Perdeler:

İncelenen bina planı için (1a) koşulu kıstas alınarak farklı bina yükseklikleri için perde kalınlıkları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

11 katlı bina

$$\text{➤ X yönü için; } b_w \geq \frac{0,002 \cdot 617,5312 \cdot 11}{93,19} = 0,1458m$$

$$\text{➤ Y yönü için; } b_w \geq \frac{0,002 \cdot 617,5312 \cdot 11}{92,21} = 0,1473m$$

min. $b_w = 15\text{cm}$ olmalı;

Seçilen kalınlık: $b_w = 15 \text{ cm}$

22 katlı bina

$$\text{➤ X yönü için; } b_w \geq \frac{0,002 \cdot 617,5312 \cdot 22}{93,19} = 0,2915m$$

$$\text{➤ Y yönü için; } b_w \geq \frac{0,002 \cdot 617,5312 \cdot 22}{92,21} = 0,2947m$$

min. $b_w = 15\text{cm}$ olmalı;

Koşulu sağlamak için 22 katlı modellerde perde genişliği 30 cm seçilmelidir. Fakat döşemelerin ve bu tür yapılarda kullanılan prefabrik beton dış panellerin rijitlikleri de göz önüne alınarak 22 katlı binalar için, her iki doğrultuda da perde kalınlıkları $b_w = 25\text{cm}$ olarak belirlenmiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2: Seçilen perde kesit kalınlıkları

Kat sayısı (bina yüksekliği)	11 kat (28m)	22 kat (56m)
b_w (cm)	15	25

Döşemeler:

TS500'deki, açıklıklara göre asgari kalınlık şartlarını sağlayacak şekilde, örnek konut planının döşeme kalınlıkları seçilmiştir.

Bir doğrultuda çalışan plaklar için en küçük kalınlık 80mm'dir. Ayrıca plak kalınlığının serbest açıklığa oranı aşağıda verilen değerlerden az olamaz [12]

- Basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde; 1/25
- Sürekli döşemelerde; 1/30
- Konsol döşemelerde; 1/12

Çift doğrultuda çalışan kirişli plaklarda ise ayrıca aşağıdaki denklemdeki koşula uymak zorunludur. Şekil 5'de de görüldüğü gibi plaklar çoğunlukla perde duvarlarla çevrili olduğundan kirişli plak gibi düşünülebilir.

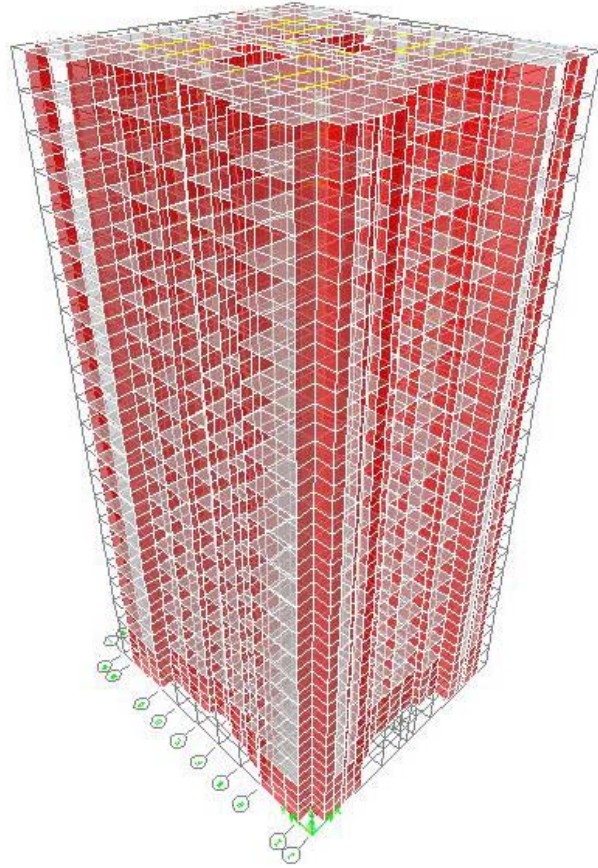
$$h \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4} \right); \quad h \geq 80mm \text{ (Deprem bölgelerinde } h \geq 100mm \text{)}$$

Bu koşullara göre en ince perde kesitine göre (11 katlı bina için 15cm) plak kalınlıkları Tablo 5.3'de hesaplanmıştır.

Tablo 5.3: Döşeme plak kalınlığının hesabı

DÖŞEME	l_{sn} (m)	l_l (m)	l_s (m)	$m = l_l / l_s$	α_s	h (cm)
1	2,77	7,94	2,92	2,72	-	9,2
2	2,77	5,02	2,92	$1,72 < 2$	0,225	9,8
3	3,07	7,94	3,22	2,46	-	10,2
4	3,07	4,32	3,22	$1,34 < 2$	0,427	9,2
5	3,67	6,59	3,82	$1,725 < 2$	0,225	13,02
6	4,87	5,71	5,02	$1,336 < 2$	0,272	14,9
7	2,17	9,36	2,32	4,034	-	7,2

Burada döşeme plak kalınlığı olarak 15cm uygundur.



Şekil 5.2: Tünel kalıp örnek kare binanın 22 katlı 3 boyutlu bilgisayar modeli

5.3. Binaların Modal İncelemesi ve Deprem Yükleri Hesabı

Örnek binaların dinamik incelenmesinde daha önce belirtildiği gibi D.B.Y.B.H.Y. 2007’de belirtilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılmıştır. Binaların hakim periyodunun (T_1) belirlenmesinde yine yönetmeliğinin önerdiği formül kullanılmıştır[15, Denklem 2.11]. Deprem bölgelerine ve zemin sınıflarına bağlı olarak taban kesme kuvveti ‘ V_t ’ hesaplanmış ve bu kuvvet katlara lineer olarak dağıtılmıştır. İncelenen binalar için yapı davranış katsayısı taşıyıcı sistemin yalnız perdelerden oluştuğu ve bütün deprem yüklerinin boşluksuz perdeler tarafından karşılandığı varsayımı kullanılarak $R = 6$ alınmıştır. Hiçbir zemin durumunda binaların hakim periyodu zemin hakim periyodu T_a ’dan küçük olmadığından $R_a(T_1) = R$ olarak hesaba alınmıştır.

Binaların dinamik davranışlarının anlaşılmasında D.B.Y.B.H.Y.’te verilen formüllerle karşılaştırmak amacıyla Etabs bilgisayar programı yardımıyla bina modellerinin

periyotları hesaplanmıştır. Programda kat kütlelerinin kat hizasında olduğu ve bir noktada toplandığı varsayımı kullanılmıştır. 22 katlı modellerde 20 mod göz önüne alınırken 11 katlı bina modellerinde 15 mod davranışın gözlenmesinde yeterli bulunmuştur. Kriter olarak kütle katılım oranı dikkate alınmıştır.

Tablo 5.4: Kare planlı 11 katlı bodrumsuz modelin periyotları

Mode	Period	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,660574	0,0645	0,0019	0	0,0027	0,0925	69,0328
2	0,471074	68,1447	1,0442	0	1,4704	97,301	69,0989
3	0,345103	69,1715	71,6644	0	99,3418	98,7658	69,0991
4	0,157892	69,1883	71,6649	0	99,3418	98,7667	86,7261
5	0,11319	87,1635	72,0519	0	99,3508	99,7426	86,7444
6	0,091836	87,6427	88,3161	0	99,7789	99,7634	86,7444
7	0,069606	87,6484	88,3166	0	99,7789	99,7636	92,9038
8	0,051419	93,2752	88,4795	0	99,7858	99,9459	92,9104
9	0,043816	93,4147	93,9185	0	99,965	99,9495	92,9104
10	0,041661	93,4179	93,919	0	99,965	99,9496	96,0216
11	0,031732	96,2573	93,9768	0	99,9656	99,9799	96,0256
12	0,029042	96,2598	93,9769	0	99,9656	99,9799	97,7478
13	0,02775	96,3047	96,6808	0	99,9844	99,9802	97,7478
14	0,022513	97,8753	96,7033	0	99,9846	99,9928	97,7599
15	0,022315	97,8894	96,7036	0	99,9846	99,9929	98,7539

Tablo 5.5: Kare planlı 11 katlı bodrum perdeli modelin periyotları

Mode	Period	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,610159	0,0741	0,0022	0	0,0033	0,111	64,2879
2	0,444396	65,0281	1,006	0	1,4725	96,5844	64,3626
3	0,329812	66,0194	68,8142	0	98,8713	98,0509	64,3627
4	0,144477	66,0367	68,8147	0	98,8713	98,0524	80,7372
5	0,107253	83,5711	69,2388	0	98,8895	99,4852	80,7564
6	0,088129	84,0831	85,1977	0	99,5932	99,5192	80,7564
7	0,063386	84,0889	85,198	0	99,5932	99,5196	86,5415
8	0,048884	90,0049	85,3724	0	99,6038	99,8368	86,5485
9	0,042034	90,1605	91,0119	0	99,8879	99,8439	86,5485
10	0,038033	90,1637	91,012	0	99,8879	99,844	89,6677
11	0,030392	93,5279	91,0757	0	99,8893	99,9233	89,6717
12	0,026745	93,5832	94,1851	0	99,9404	99,9243	89,6717
13	0,026663	93,5851	94,1852	0	99,9404	99,9243	91,657
14	0,021726	95,8135	94,2131	0	99,941	99,9638	91,6594
15	0,020646	95,8149	94,2131	0	99,941	99,9638	93,1209

Tablo 5.6: Kare planlı 22 katlı bodrumsuz modelin periyotları

Mode	Period	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1,741679	0,0349	0,0014	0	0,0018	0,0518	66,227
2	1,260546	65,5472	0,1882	0	0,2652	98,0351	66,2602
3	0,820373	65,6961	68,8109	0	99,1547	98,2867	66,2604
4	0,394623	65,7085	68,8109	0	99,1554	98,2873	84,341
5	0,276586	84,3315	69,0121	0	99,1558	99,7048	84,3557
6	0,209652	84,6618	85,6937	0	99,7725	99,7339	84,3558
7	0,172324	84,6665	85,6937	0	99,7725	99,7341	89,9755
8	0,121136	90,3429	85,8387	0	99,779	99,9271	89,9802
9	0,101519	90,3454	85,8387	0	99,779	99,9271	93,0084
10	0,097867	90,5186	90,9894	0	99,95	99,932	93,0084
11	0,07273	93,3768	91,0838	0	99,9509	99,9704	93,0107
12	0,068042	93,3781	91,0838	0	99,9509	99,9704	94,8716
13	0,060659	93,4705	93,7993	0	99,9753	99,9715	94,8716
14	0,049894	95,1803	93,8536	0	99,976	99,9867	94,8718
15	0,049687	95,1803	93,8536	0	99,976	99,9867	96,1272
16	0,042385	95,2285	95,5026	0	99,99	99,987	96,1272
17	0,038488	95,2294	95,5026	0	99,99	99,987	97,0098
18	0,037163	96,3687	95,5346	0	99,9901	99,9928	97,0111
19	0,032033	96,3954	96,637	0	99,9942	99,9929	97,0111
20	0,031176	96,396	96,637	0	99,9942	99,9929	97,6539

Tablo 5.7: Kare planlı 22 katlı bodrum perdeli modelin mod periyotları

Mode	Period	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1,576755	0,0381	0,0001	0	0,0003	0,0598	60,467
2	1,168086	61,5991	0,1504	0	0,2278	97,0366	60,5027
3	0,766551	61,7241	64,8338	0	98,391	97,2527	60,5035
4	0,354919	61,7367	64,8339	0	98,3912	97,2539	76,9196
5	0,256864	79,6161	65,0502	0	98,3962	99,3462	76,9356
6	0,197584	79,9481	81,3744	0	99,4912	99,3864	76,9356
7	0,154898	79,9525	81,3746	0	99,4912	99,3868	82,2193
8	0,113071	85,8333	81,5366	0	99,5038	99,7584	82,2244
9	0,09248	86,0197	86,9937	0	99,8273	99,7681	82,2244
10	0,091203	86,0219	86,9939	0	99,8273	99,7682	85,2752
11	0,068415	89,4176	87,1063	0	99,8303	99,8786	85,2781
12	0,061215	89,4191	87,1063	0	99,8304	99,8787	87,385
13	0,057703	89,5316	90,3452	0	99,9071	99,8817	87,385
14	0,047299	91,9463	90,4172	0	99,909	99,937	87,387
15	0,044916	91,9474	90,4172	0	99,909	99,9371	89,0969
16	0,040571	92,0151	92,7155	0	99,9549	99,9383	89,0969
17	0,035591	93,935	92,764	0	99,9556	99,9667	89,0981
18	0,035042	93,9357	92,7641	0	99,9556	99,9668	90,66
19	0,030938	93,9793	94,5551	0	99,9756	99,9673	90,66

Mode	Period	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRX	SumRY	SumRZ
20	0,028667	93,9811	94,5551	0	99,9756	99,9673	92,2312

Tünel kalıp sisteminde kare planlı olarak inşa edilen binalarda perdelerin plandaki dağılımlarının her iki yönde de eşit olduğu görülür. Çift taraflı simetrisinin sonucunda perdelerin eksenleri bir noktada çakışmaktadır (Şekil 5.1). Daha önce de belirtildiği gibi bu dağılım binanın her iki yönde yatay rijitliğini arttırsa da burulma rijitliğini azaltır. (Tablo 5.4–5.7).

5.4. Deplasmanların ve İç Kuvvetlerin İncelenmesi

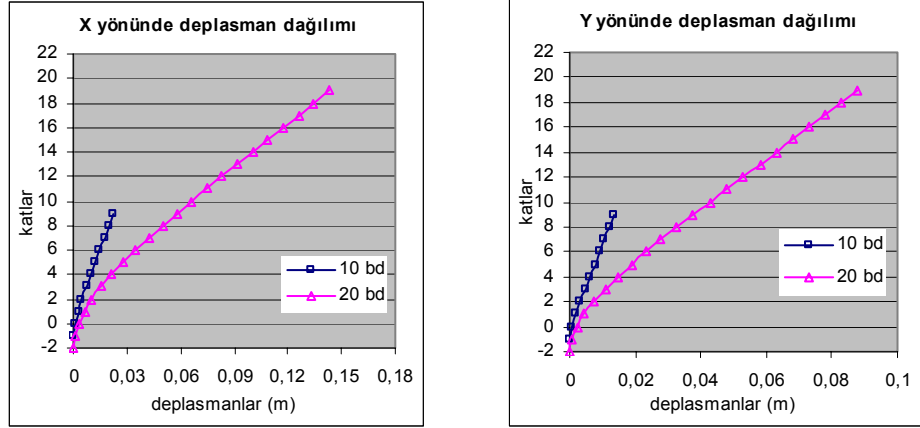
Bu bölümde tünel kalıpla tasarlanan örnek binaların farklı dinamik ve yapısal parametreler altında analiz sonuçları diyagramlar halinde sunulmuştur. İncelemelerde, en büyük kat deplasmanı, en çok zorlanan kiriş ve perde elemanlarının iç kuvvetleri esas alınmıştır.

Rijit bodrum etkisinin incelendiği bölüm hariç, verilen grafikler bodrum çevre perdeli 10bd, 20bd modellerinin sonuçlarını içermektedir.

5.4.1. Kat Adedinin Etkisi

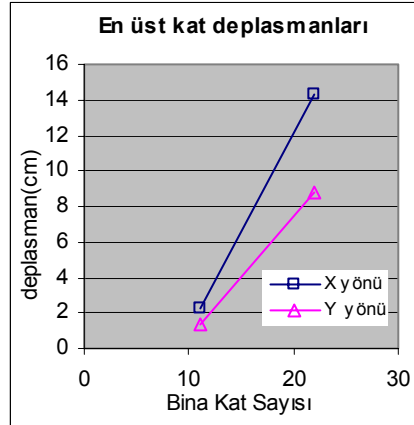
Çok katlı yapı sistemlerinde yatay yükler altında hesaplanan kat yerdeğiştirmelerin kat adedi arttıkça büyümesi beklenir. Perdelerden oluşan taşıyıcı sistemlerde, deplasmanlardaki bu artış, perde elemanların davranışından dolayı, çerçeve sistemlerinden daha hızlı olmaktadır. Aşağıda, 11 ve 22 katlı binaların iki yöndeki yatay yerdeğiştirmeleri ve seçilen elemandaki iç kuvvetlerinin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Deplasman grafiklerinde 1. derece deprem bölgesi ve Z4 zemininin verdiği sonuçlar kullanılmıştır.

➤ Deplasmanlar



Şekil 5.3: Kat deplasmanlarının dağılımında kat adedine göre değişim

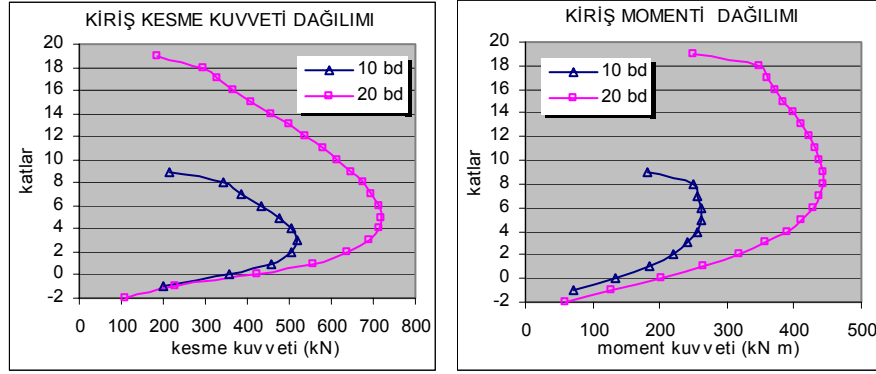
Binanın kat adedinin iki katına çıkmasıyla en üst kat deplasmanları 7 kat artmaktadır (Şekil 5.3). Etkiyen taban kesme kuvvetleri dikkate alındığında iki bina arasındaki kuvvet farkının %14 olduğu görülür (Tablo 5.8). Deprem etkisi sonucu hesaplanan kuvvetler kat adedinin değişmesiyle aynı oranda büyümese de, bina yükselip narinleştikçe konsol etkisi belirginleşir ve deplasmanlar katlanarak artar.



Şekil 5.4: En üst kat deplasmanının her iki yönde kat adedine göre değişimi

Şekil 5.4 incelendiğinde yukarıda bahsedilen deplasman farklarında, bu binada, en üst kat için, X yönündeki artışın Y yönüne göre daha hızlı olduğu görülmektedir.

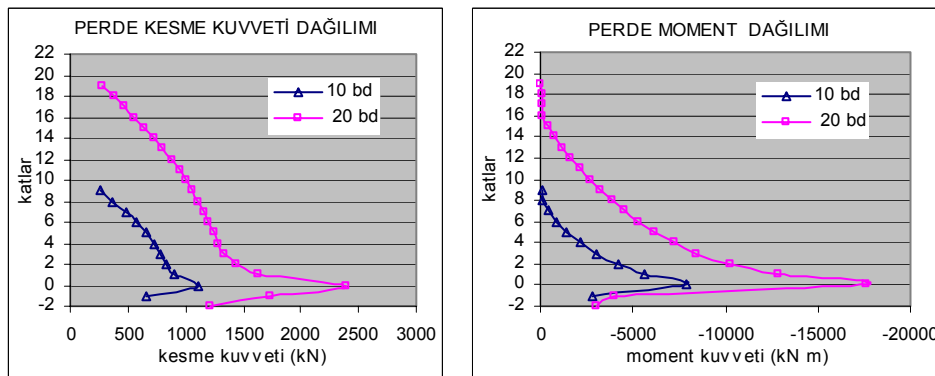
➤ Kiriş iç kuvvetleri



Şekil 5.5: Kiriş iç kuvvetleri dağılımının bina kat adedine göre değişimi

Kat adedinin değişmesi, kiriş iç kuvvetlerinin katlara göre dağılımında taban kesme kuvvetinin büyümesiyle orantılı bir etki gösterir. Farklı kat adetleri için kuvvet dağılım eğrisi benzerdir, (Şekil 5.5). Binalarda kesme kuvvetlerinin en büyük değerlerini aldığı katın bina yüksekliğine oranı iki farklı kat adedi varsayımı için benzerdir. Momentlerde bu oran azalmakta; 11 katlı binada 7 katta en yüksek değerler bulunurken, 22 katlı binada orta katlarda en yüksek moment değerlerine ulaşılmaktadır. Deprem etkisiyle en üst katta bulunan kiriş kesme kuvvetinin, 22 katlı binada, 11 katlı binadan daha küçük olduğu, moment kuvvetinin ise büyüdüğü görülmektedir.

➤ Perde iç kuvvetleri



Şekil 5.6: Perde iç kuvvetleri dağılımının bina kat adedine göre değişimi

Perde iç kuvvetlerinde de kiriş kuvvet dağılımına benzer bir değişim görülür (Şekil 5.6). İki durumda da bodrum kat hizasında iç kuvvetler en büyük değerlerini almaktadır.

5.4.2. Deprem Bölgelerinin ve Zemin Cinslerinin Etkisi

➤ Deprem Kuvvetleri

22 katlı ve 11 katlı bodrum katları rijit perdelerle çevrili kare planlı bina modelleri için hesaplanan Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemiyle hesaplanan C katsayıları Tablo 5.8’te verilmiştir.

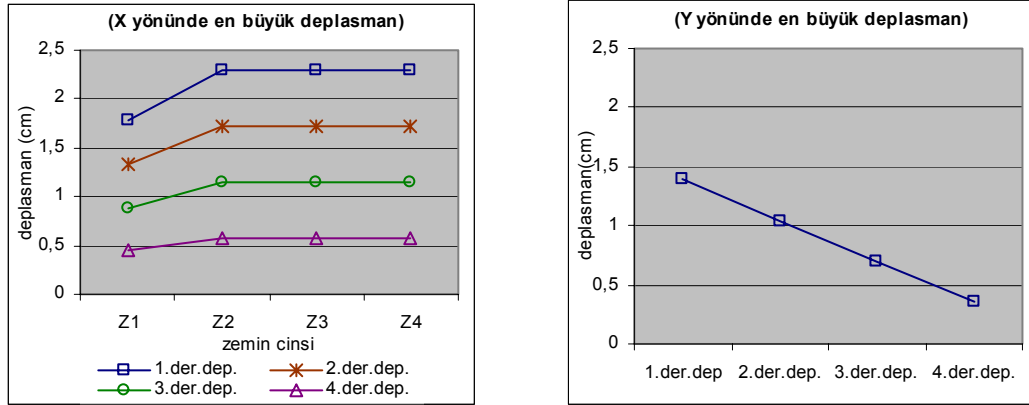
Tablo 5.8: İncelenen binaların taban kesme kuvveti katsayılarının deprem bölgesi ve zemin cinsine göre değişimi

		$C = A(T_1)/R_a(T_1)$							
		Z1		Z2		Z3		Z4	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1.derece deprem bölgesi	10 bd	0,129	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167
	20 bd	0,061	0,083	0,076	0,104	0,106	0,144	0,146	0,167
2.derece deprem bölgesi	10 bd	0,097	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
	20 bd	0,045	0,062	0,057	0,078	0,079	0,108	0,109	0,109
3.derece deprem bölgesi	10 bd	0,064	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
	20 bd	0,030	0,041	0,038	0,052	0,053	0,072	0,073	0,073
4.derece deprem bölgesi	10 bd	0,032	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
	20 bd	0,015	0,027	0,019	0,026	0,026	0,036	0,036	0,036

Her iki bina için hesaplanan C katsayısının, beklendiği gibi, zemin cinsi Z1’den Z4’e değiştikçe arttığı görülür. 11 katlı binanın hakim periyodu Z3 ve Z4 zeminlerine ait spektrum eğrisinde zemin hakim periyotlarının arasında kaldığından katsayı bu zeminler için değişmemiştir. 1. derece deprem bölgesinden 4. derece deprem bölgesine değiştikçe, A_0 katsayısına bağlı olarak taban kesme kuvveti katsayıları da azalır.

1. derece deprem bölgesinde, 11 ve 22 katlı binalar için, farklı zemin cinslerinin iç kuvvet ve deplasmanlarda ortaya çıkardığı değişimler grafikler halinde verilmiştir.

➤ 11 katlı binada deplasmanların değişimi



Şekil 5.7: 11 katlı binada en üst kat deplasmanlarının zemin cinsi ve deprem bölgesine göre değişimi

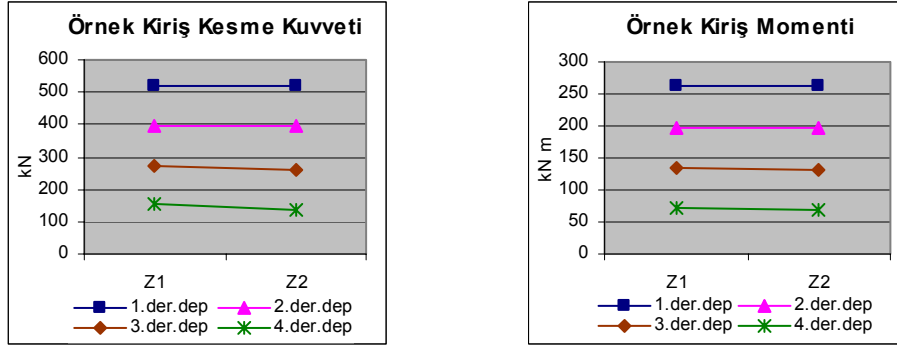
Binanın X yönüne ait hakim periyodu Z2, Z3 ve Z4 cinsi zeminlerin esas periyotlarıyla çakışmaktadır (Tablo 5.9). Elde edilen deplasman sonuçları neticesinde 11 katlı rijit bodrumlu bina, 1. deprem bölgesi için, söz konusu zeminler üzerinde en büyük deprem yüklerini alacaktır. İncelenen 11 katlı bina Z2, Z3 ve Z4 zeminlerine göre çok rijit bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Her deprem bölgesi için, bulunan deplasmanlar bu zeminler için aynı kalmaktadır (Şekil 5.7). Y yönü için bütün zemin cinslerinde hakim periyotlar çakıştığından bu yönde deplasmanların deprem bölgesine göre değişimi önem kazanır.

Tablo 5.9: 11 katlı binanın D.B.Y.B.H.Y.,2007 kurallarıyla bulunan periyotlarının zemin karakteristik periyotlarıyla karşılaştırılması

	<i>Periyotlar (sn)</i>	<i>Z1 (0,15–0,40)</i>	<i>Z2 (0,15–0,60)</i>	<i>Z3 (0,2–0,6)</i>	<i>Z4 (0,2–0,9)</i>
T_x	0,413592	T _x > 0,40	T _x < 0,60	T _x < 0,60	T _x < 0,90
T_y	0,309855	T _y < 0,40	T _y < 0,60	T _y < 0,60	0,2 < T_y < 0,90

➤ 11 katlı binada iç kuvvetlerin değişimi

11 katlı binada zemin cinslerinin iç kuvvet dağılımındaki etkisi çok küçüktür. (Şekil 5.8).

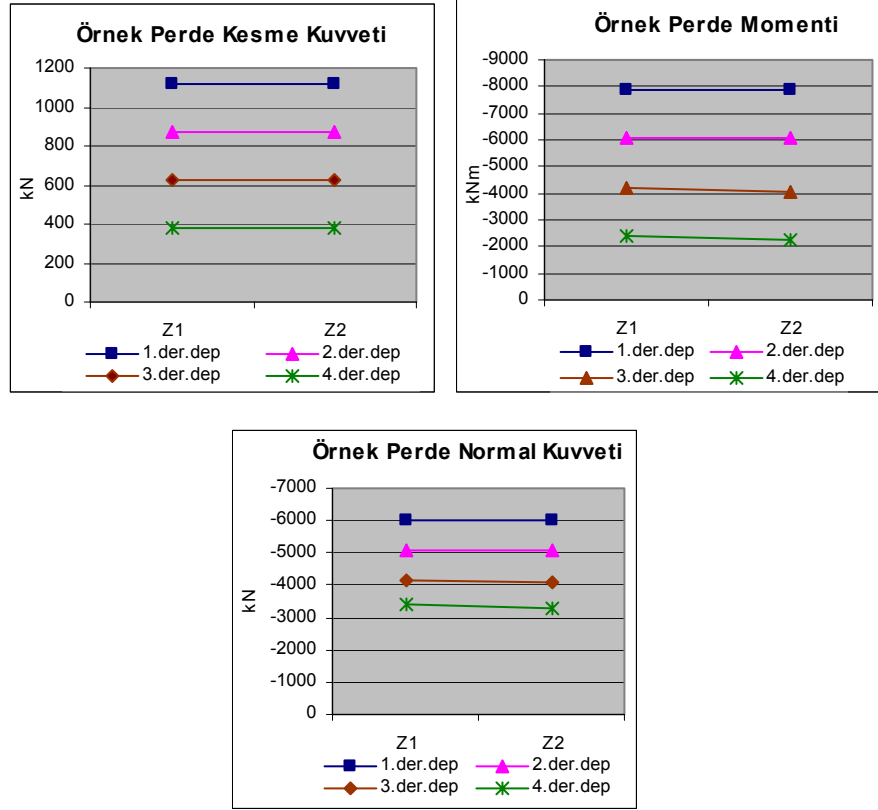


Şekil 5.8: Kiriş iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgeleri ile değişimi

Daha önce belirtilen zemin periyotlarının bina periyotlarıyla çakışması sonucunda, sadece Z1 ve Z2 zemin cinsleri için kiriş iç kuvvetlerinde farklılaşma söz konusudur. Kesme kuvvetinde 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde zemin cinsine göre 100 kg'dan daha küçük değişimler söz konusuyken, 3. ve 4. derece deprem bölgesinde sırasıyla %6–10 oranında azalma görülür. Moment kuvvetlerinde ise, kirişlerin 1 metreden daha küçük olduğu göz önüne alındığında, bu oran daha da azalmaktadır (Şekil 5.8).

Deprem bölgesi değişimine göre incelendiğinde, kiriş kesme kuvvetlerinde 1. ve 2. derece arasında %23, 2. ve 3. derece arasına %31, 3. ve 4. derece arasında %44 oranında azalma görülmektedir. Bu değerler mutlak olarak 100-150 kN civarında olmaktadır. Moment için kuvvetler, kesme kuvvetine benzer farklar göstermektedir.

Perdelerde zemin cinsinin değişimiyle iç kuvvetlerdeki değişim kirişlerdeki benzer davranış göstermektedir (Şekil 5.9). 1.'den 4.'ye kadar deprem bölgeleri arasında momentler %23, %30, %44 ve kesme kuvvetlerinde %22, %28, %39, normal kuvvetlerde de %15, %18, %18 oranlarında göreceli olarak azaldığı görülmektedir. Buna göre, perdelerdeki normal kuvvetler için, deprem bölgelerinin değişmesi, diğer kuvvetlere göre daha az fark etmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9: Perde iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgeleri ile değişimi

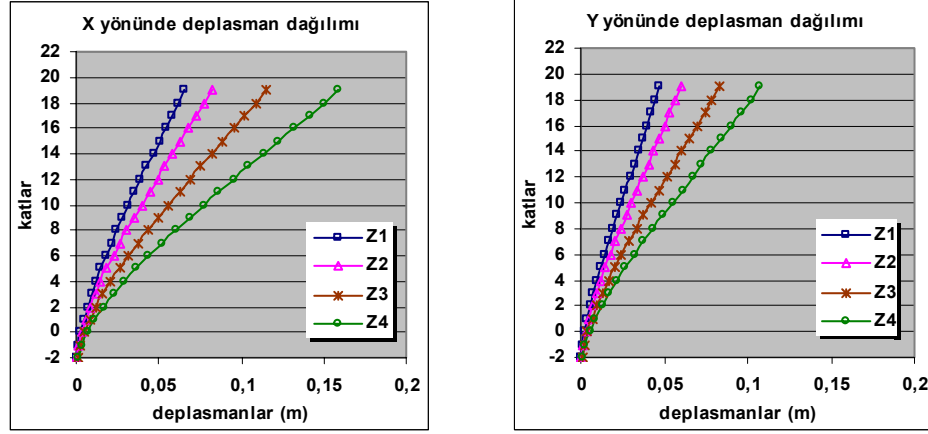
➤ 22 katlı binada deplasmanların değişimi

Deplasman ve iç kuvvet diyagramları verilen 22 katlı bina 20 normal kat 2 bodrum katından oluşmaktadır.

Dinamik inceleme için X ve Y yönlerinde bina periyotları hesaplanmıştır. Binanın X yönünde D.B.Y.B.H.Y.'ne göre hesaplanan periyotları, zemin cinslerinin hepsinin karakteristik periyotlarından daha büyüktür. Binanın Y yönünde ise hakim periyot Z4 zemininin karakteristik periyotlarının arasında kalmaktadır (Tablo5.10).

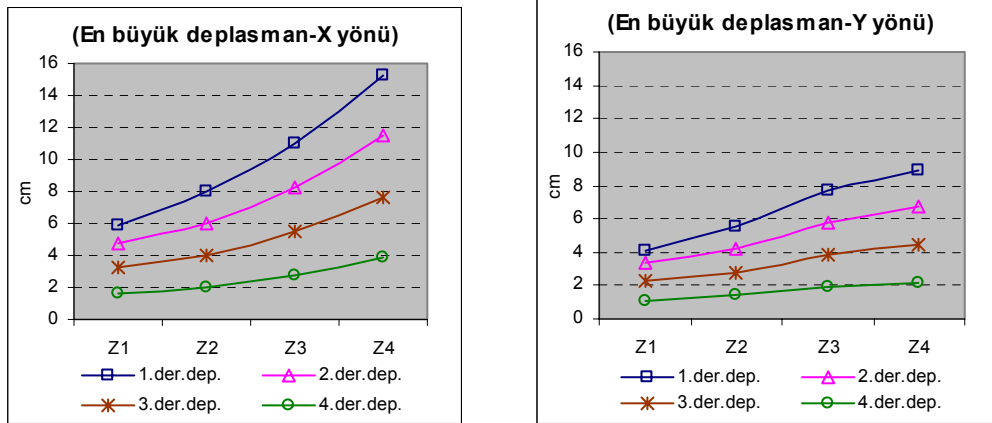
Tablo 5.10: 22 katlı binanın D.B.Y.B.H.Y.,2007 kurallarıyla bulunan periyotlarının zemin karakteristik periyotlarıyla karşılaştırılması

	<i>Periyotlar (sn)</i>	<i>Z1 (0,15-0,40)</i>	<i>Z2 (0,15-0,60)</i>	<i>Z3 (0,2-0,6)</i>	<i>Z4 (0,2-0,9)</i>
T_x	1,061676	T _x > 0,40	T _x > 0,60	T _x > 0,60	T _x > 0,90
T_y	0,719715	T _y > 0,40	T _y > 0,60	T _y > 0,60	0,2 < T_y < 0,90



Şekil 5.10: 22 katlı binada deplasmanların katlara göre dağılımında zemin etkisi

İncelenen 22 katlı 2 bodrum katı rijit çevre perdeleriyle düzenlenmiş binada kat deplasmanlarının zemin cinslerine göre dağılım eğrileri X ve Y yönü için Şekil 5.10'da verilmiştir. Zemin cinsleri değiştikçe bina yatay deplasmanlarında artış görülmektedir. Özellikle X yönünde zeminler değiştikçe deplasmanlardaki artışın göreceli olarak büyüdüğü gözlenmektedir.



Şekil 5.11: 22 katlı bodrum perdeli örnek binanın en üst kat deplasmanlarının zemin cinsine ve deprem bölgesine göre değişimi

En üst kat deplasmanlarının her iki doğrultudaki en büyük değerleri farklı deprem bölgeleri için Şekil 5.11'de verilmiştir.

Zemin cinslerine göre değişim incelendiğinde X yönünde hızlı bir artış olduğu görülür. Y yönünde Z1 ve Z3 zeminleri arasında göreceli artış büyürken Z3 ve Z4 zemini arasında artış hızı azalmaktadır (Şekil 5.11). Z1 zemininde, X yönündeki deplasmanların, deprem bölgelerine göre artışı toplam 4,18 cm iken Z4 zemininde bu

artış 11,43 cm olmaktadır. Y yönünde Z1 zemininde 3 cm iken, Z4 zemininde 6.71 cm olur.

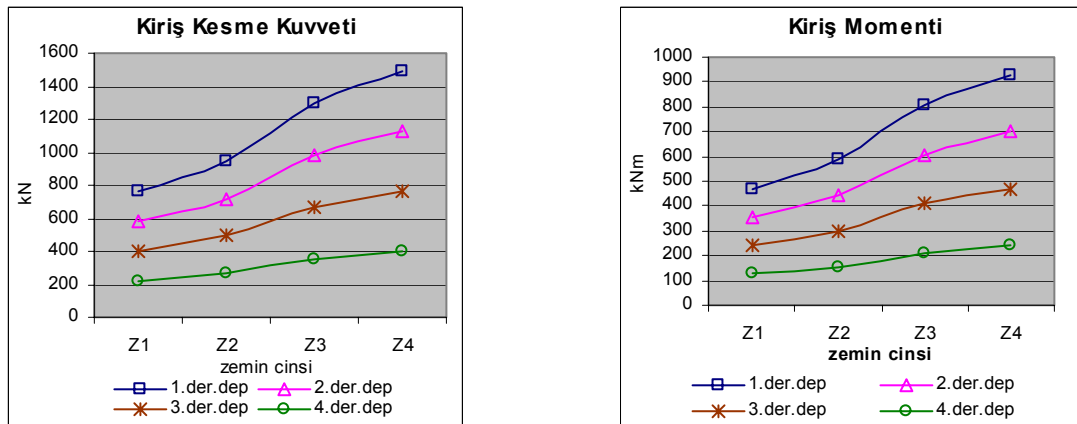
Öte yandan, X yönü deplasmanları için, 4. deprem bölgesinde zemin cinsine göre değişim, 2.2 cm iken 1. deprem bölgesinde bu değişim 9.45 cm bulunmuştur. Y yönünde ise, 4. deprem bölgesinde 1.09 cm iken 1. deprem bölgesinde 4.8 cm bulunmuştur.

Bu sonuçlarla, deprem bölgelerinin deplasmanlara etkisinin bu bina için Y yönünde daha etkin olduğu ve Z1 zemin cinsinden Z4'e gidildikçe etkinin daha belirgin olduğu görülebilir.

➤ 22 katlı binada iç kuvvetlerin değişimi

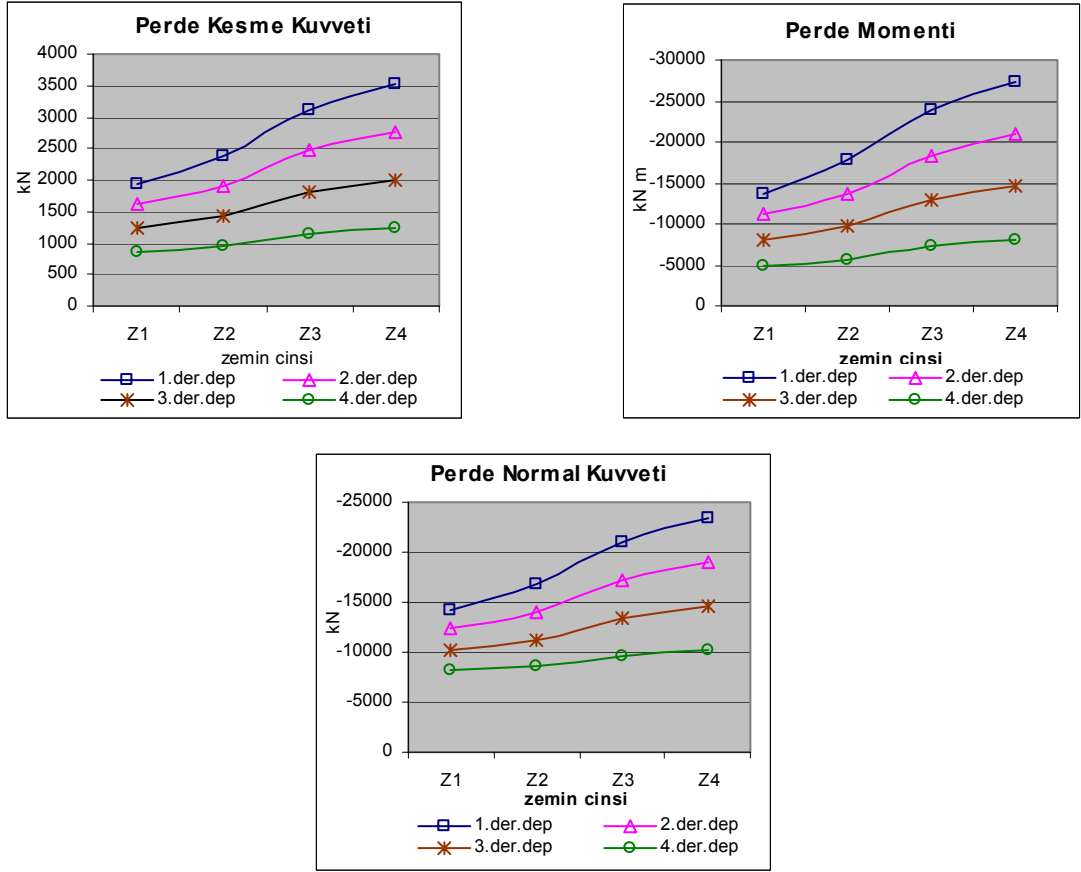
Kiriş ve perdelerin iç kuvvetlerinin incelenmesinde söz konusu iç kuvvetin en büyük değer aldığı elemanlar seçilmiştir.

Deprem bölgeleri ve zemin cinsi parametrelerine göre kesme kuvveti ve momentler için bulunan sonuçlar benzer değişimler göstermiştir (Şekil 5.12). Deplasmanlarda olduğu gibi 1. derece deprem bölgesinde, 4.'ye kıyasla, zemin cinslerine göre kuvvetlerin değişimi daha belirgindir.



Şekil 5.12: 22 katlı bodrum perdeli binada örnek kiriş iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgesine göre değişimi

Perde iç kuvvetlerinin de zemin ve deprem bölgesi parametrelerine göre değişimi kirişlere benzer şekildedir. 11 katlı binada olduğu gibi burada da perde normal kuvvetlerinin deprem bölgelerine göre değişimi kesme kuvveti ve momentten daha az belirgindir.



Şekil 5.13: 22 katlı bodrum perdeli binada örnek perde iç kuvvetlerinin zemin cinsi ve deprem bölgesine göre değişimi

5.4.3. Rijit Bodrum Kat Düzenlenmesinin Etkisi

Binaların bodrum katlarının rijit perdelerle çevrili olması yapının genel rijitliğini ve buna bağlı olarak periyotlarını ve deplasmanları etkiler. İç kuvvetler açısından, yatay yüklerin perde elemanları arasındaki paylaşımında bodrum perdelerinin varlığı önemli farklar yaratır.

Bu bölümde, en alttaki 1 katı bodrum kat olarak düşünülüp çevresi rijit perdelerle oluşturulmuş 11 katlı binanın ve 2 katı rijit bodrum kat olarak düzenlenmiş 22 katlı binanın davranışında bu perdelerin etkisi araştırılmıştır. Bunun için bodrum katlarında çevre perdeleri olmayan bina modelleri oluşturulmuş, karşılaştırmalarda davranışında en çok değişim gösteren zemin kattaki kiriş ve perde elemanları kullanılmıştır.

Bodrum perdelerinin taban kesme kuvveti katsayısına etkisi Tablo 5.13-14’de görülmektedir. Önceden de belirtildiği gibi 11 katlı binada, periyotların Z3 ve Z4 zemin periyotlarıyla çakışık olması, katsayıların bu zeminler için değişmediğini

gösterir. Katsayılardaki değişim, X yönü için Z1 ve Z2 zemin cinslerinde, Y yönü için sadece Z1 cinsi zeminlerde ve deprem bölgesi değişimleri için anlamlı olmaktadır (Tablo 5.13).

Tablo 5.11: 11 katlı binanın taban kesme kuvveti katsayılarında bodrum perdelerinin etkisi

		$C = A(T_1)/R_a(T_1)$					
		Z1		Z2		Z3	
		X	Y	X	Y	X	Y
1.derece deprem bölgesi	10 bd	0,129	0,167	0,167	0,167		
	10 bz	0,114	0,146	0,144	0,167	0,167	0,167
2.derece deprem bölgesi	10 bd	0,097	0,125	0,125	0,125		
	10 bz	0,086	0,109	0,108	0,125	0,125	0,125
3.derece deprem bölgesi	10 bd	0,064	0,083	0,083	0,083		
	10 bz	0,057	0,073	0,072	0,083	0,083	0,083
4.derece deprem bölgesi	10 bd	0,032	0,042	0,042	0,042		
	10 bz	0,029	0,036	0,036	0,042	0,042	0,042

22 katlı bodrum perdeleri olmayan bina incelendiğinde, rijit bodrumlu binaya benzer şekilde Y yönünde bulunan periyotları Z4 zemininin karakteristik periyotlarıyla çakıştığı görülür. Her iki varsayımla modellenen binalar için, X yönünde bulunan periyot her zemin cinsinin karakteristik periyotlarından büyük bulunmaktadır. Buna göre taban kesme kuvveti katsayılarında rijit bodrum katların etkisi Tablo 5.12’te görülmektedir.

Tablo 5.12: 22 katlı binanın taban kesme kuvveti katsayılarında bodrum perdelerinin etkisi

		$C = A(T_1)/R_a(T_1)$							
		Z1		Z2		Z3		Z4	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1.derece deprem bölgesi	20 bd	0,061	0,083	0,076	0,104	0,106	0,144	0,146	0,167
	20 bz	0,052	0,073	0,066	0,093	0,091	0,128	0,126	0,167
2.derece deprem bölgesi	20 bd	0,045	0,062	0,057	0,078	0,079	0,108	0,11	0,125
	20 bz	0,039	0,055	0,049	0,07	0,068	0,096	0,094	0,125
3.derece deprem bölgesi	20 bd	0,026	0,037	0,033	0,046	0,045	0,064	0,063	0,083
	20 bz	0,03	0,041	0,038	0,052	0,053	0,072	0,073	0,083
4.derece deprem bölgesi	20 bd	0,015	0,021	0,019	0,026	0,026	0,036	0,037	0,042
	20 bz	0,013	0,018	0,016	0,023	0,023	0,032	0,031	0,042

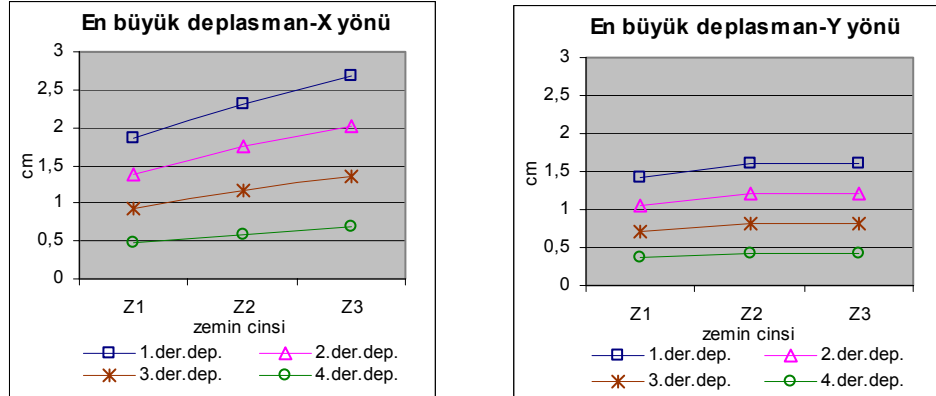
➤ **Bodrum perdeleri düzenlenmemiş binalarda deplasmanlar**

Bodrum katı düzenlenmemiş 11 katlı binanın mod periyotları incelendiğinde, bu binanın periyotlarının da bodrum katlı binaya benzer şekilde zemin cinslerinin karakteristik periyotlarıyla çakıştığı görülür (Tablo 5.12). X yönündeki periyot Z3 ve Z4 zeminleri ile Y yönündeki periyot Z2, Z3 ve Z4 zemin cinslerinin hakim periyotlarının arasında kalmaktadır.

Tablo 5.13: Bodrum perdeleri olmayan binaların D.B.Y.B.H.Y.,2007 kurallarıyla bulunan periyotlarının zemin karakteristik periyotlarıyla karşılaştırılması

		<i>Periyotlar (sn)</i>	<i>Z1 (0,15–0,40)</i>	<i>Z2 (0,15–0,60)</i>	<i>Z3 (0,2–0,6)</i>	<i>Z4 (0,2–0,9)</i>
11 katlı	T_x	0,480779	T_x > 0,40	T_x < 0,60	T_x < 0,60	T_x < 0,90
	T_y	0,354275	T_y < 0,40	T_y < 0,60	T_y < 0,60	0,2 < T_y < 0,90
22 katlı	T_x	1,280401	T_x > 0,40	T_x > 0,60	T_x > 0,60	T_x > 0,90
	T_y	0,832524	T_y > 0,40	T_y > 0,60	T_y > 0,60	0,2 < T_y < 0,90

22 katlı binada bodrum katları rijit düzenlenmediği durum için bulunan hakim periyotları, rijit bodrumlu binaya benzer olarak Y yönü için Z4 zemininin karakteristik periyotları arasında kalmaktadır (Tablo 5.12). Böylece bina, Z4 zemininde en yüksek deprem ivmesiyle zorlanmaktadır.

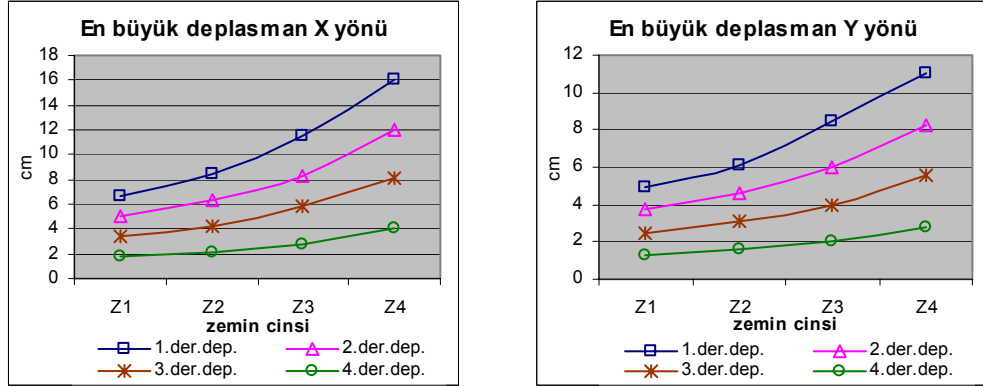


Şekil 5.14: 11 katlı bodrumsuz binanın en üst kat deplasmanlarının zemin cinsine ve deprem bölgesine göre değişimi

Binanın X yönündeki kat deplasmanlarının zemin cinsine göre değişimi Y yönünden daha belirgindir (Şekil 5.14). X yönünde Z1 ve Z2 zemin cinsi arasında %20 gibi bir oranda artış söz konusu ise Y yönünde bu oran %12'tür. Y yönünde Z1 zeminini hariç diğer zemin cinslerinin karakteristik periyotların binanın periyodu ile çakışması

sonucunda deplasmanlar aynı bulunmuştur. 1. derece deprem bölgesi için bulunan deplasmanlar, her iki yönde, 4. derece deprem bölgesine göre 3 kat daha büyüktür.

Rijit bodrum kat düzenlenmemiş 22 katlı binada, deplasmanların deprem bölgelerine ve zemin cinslerine göre değişimi rijit bodrum perdeleri düzenlenen modele benzer olduğu görülmektedir (Şekil 5.15). Sadece, Y yönündeki deplasmanların zemin cinsine göre değişim davranışı Z4 zemininde farklılaşmaktadır (Şekil 5.11–15).

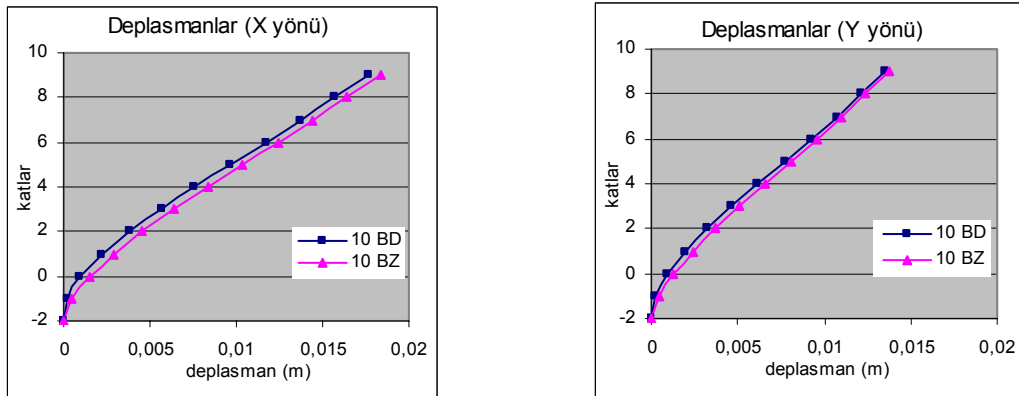


Şekil 5.15: 22 katlı bodrumsuz binanın en üst kat deplasmanlarının farklı dinamik parametreler altında karşılaştırılması

➤ 11 katlı binada rijit bodrum katın etkisi

Deplasmanlar:

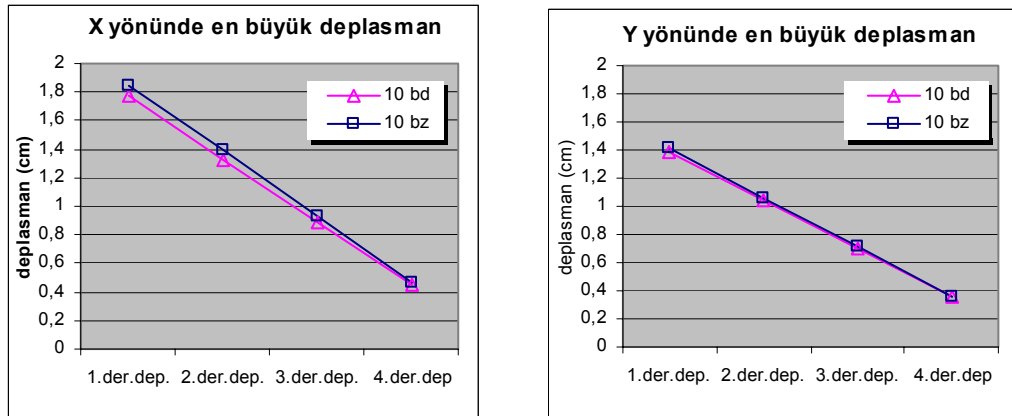
11 katlı binada en alttaki 1 katın bodrum perdeleriyle çevrilmesi ile bu katın yatay yüklere karşı rijitliğinin arttığı daha önce de belirtilmişti. İncelenen binada, 1. derece deprem bölgesi ve Z2 zeminini için yapılan analizler sonucu kat yerdeğiştirmelerinde X yönü için, Y yönüne göre daha belirgin bir fark olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16: 11 katlı binada deplasmanların katlara göre değişiminde bodrum perdelerinin etkisi

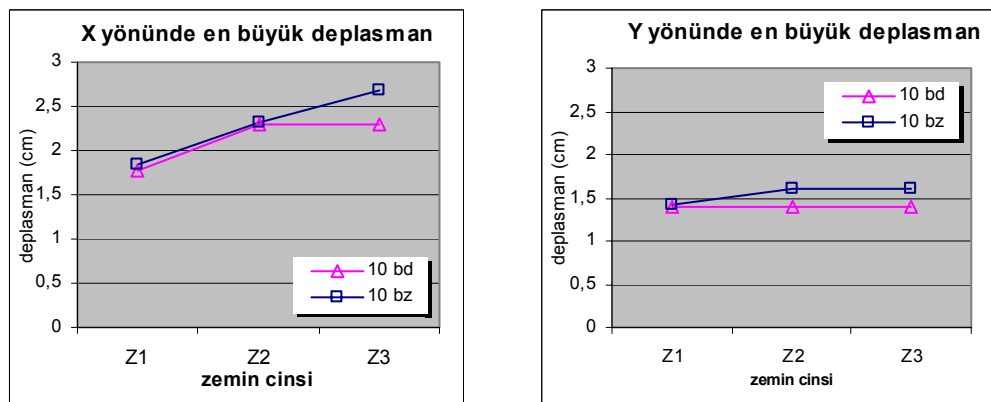
Şekil 5.17-18’da zemin cinsleri ve deprem bölgelerinin en üst kat deplasmanına etkisi verilmiştir.

Bodrum katını çevreleyen rijit perdelerin olmadığı binada, X yönünde daha belirgin olmak üzere, her iki yönde de en üst kat deplasmanlarında bir artış görülmektedir. Farklı deprem bölgelerine göre incelendiğinde, her iki yönde de deplasmanlar arasındaki %4 olan değişim oranı aynı kalmaktadır, fakat mutlak değer olarak 1. derece deprem bölgesinde en büyüktür. (Şekil 5.17).



Şekil 5.17: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin deplasmanlara etkisi (deprem bölgesine göre değişim)

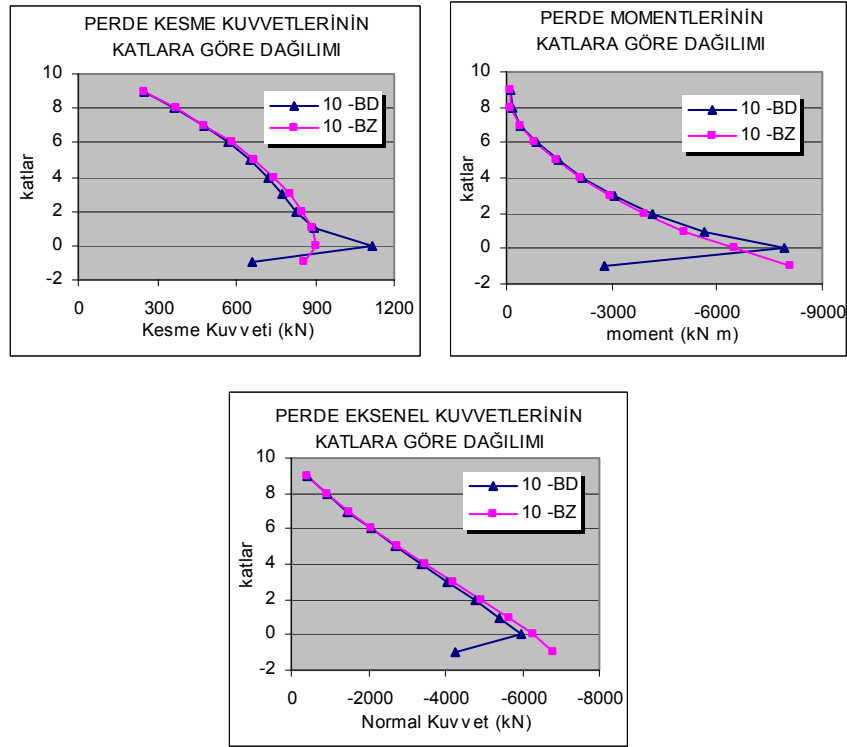
Zemin cinslerine göre ise, bina periyotlarının zemin karakteristik periyotlarına göre durumlarının değişmesinden dolayı, her iki yönde farklı eğilimler görülmektedir. Bodrum perdeleri, X yönü için, Z3 zemininde en büyük deplasmanın %15 oranında azalmasına neden olurken Z2 zemininde bu oran %1’de kalmış; Y yönü içinse Z2 zemininde %14, Z1 zemininde de %1 oranında azalma görülmüştür. (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin deplasmanlara etkisi (zemin cinslerine göre değişim)

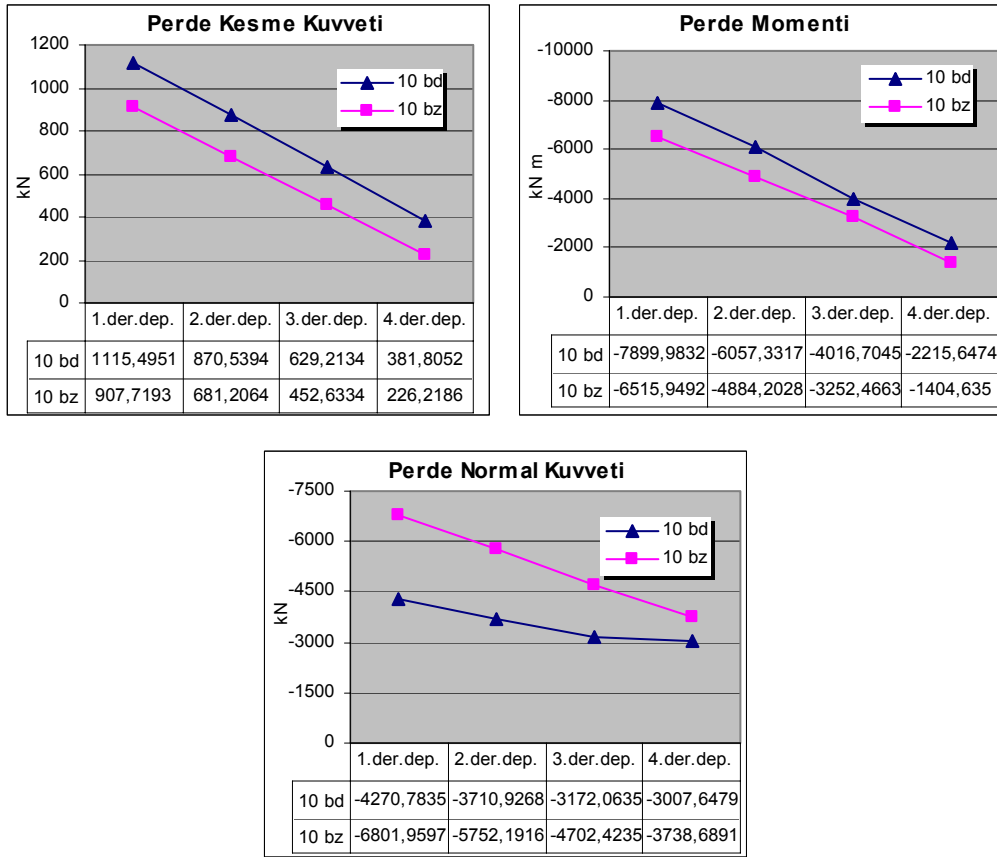
İç kuvvetler:

Binalarda bodrum katların perdelerle çevrili olması bu katlardaki rijitliği çok arttırmaktadır. Rijit bodrum kat düzenlenmediği durumda perde duvarlardaki en büyük iç kuvvetler temel üstünde oluşacaktır. Perdelerde oluşan kesme kuvveti ve moment, zemin katta bodrumsuz durumdan daha büyük olur. Rijit bodrum katlı olarak yapılmış binalarda söz konusu perde duvarların iç kuvvetleri büyük bir oranda bodrum katın çevresindeki betonarme perdeler tarafından paylaşılacaktır. Bunun sonucunda perde duvarların iç kuvvetleri zemin kat tabanında en yüksek değerini alır, bodrum katta hızla azalır.(Şekil 5.19). Dağılım olarak bakıldığında, perde iç kuvvetleri açısından üst katlarda çok küçük farklar olduğu görülür.



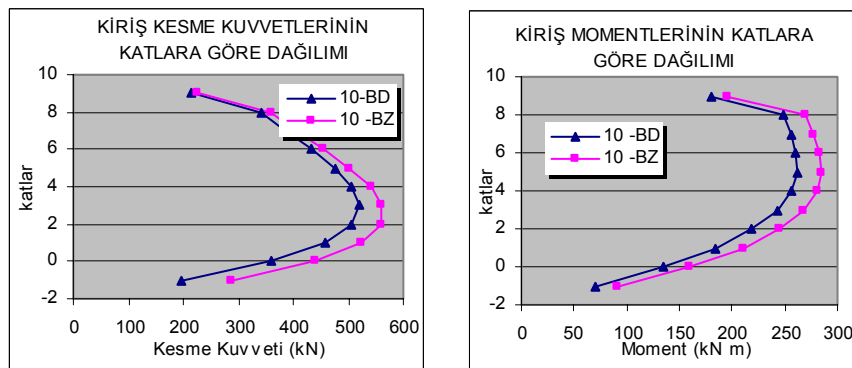
Şekil 5.19:11 katlı binada bodrum perdelerinin perde iç kuvvet dağılımına etkisi

İncelenen binalarda bodrum etkisinin görülebilmesi için, örnek perde elemanı zemin üstündeki ilk kattan seçilmiştir. Bu nedenle kesme kuvveti ve moment kuvvetleri bodrumsuz hale göre daha yüksek, eksenel kuvvet daha küçük bulunmuştur (Şekil 5.20).



Şekil 5.20: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin zemin kat perde iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgesine göre değişim)

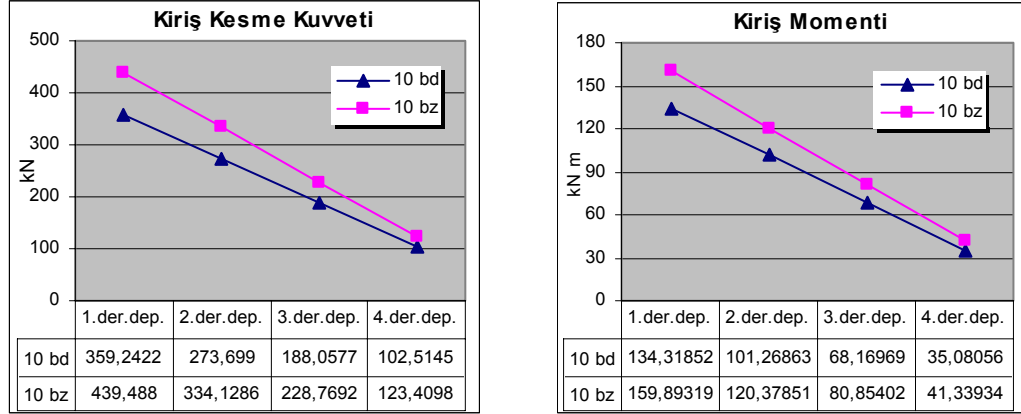
11 katlı binanın en alt katının rijit perdelerin etkisi, kiriş iç kuvvetlerinin en büyük değerleri aldığı orta katlarda daha fazla, bu kuvvetlerin azaldığı üst ve alt katlarda daha azdır (Şekil 5.21). Bu kirişlerin davranışı binanın rijitliğine bağlı olduğundan bodrum perdeleri ile artan rijitlik kat ötelemelerinin azalmasıyla kirişlerde daha küçük şekil değiştirmelere ve dolayısıyla iç kuvvetlerin azalmasına yol açmıştır.



Şekil 5.21: 11 katlı binada bodrum perdelerinin kiriş iç kuvvet dağılımına etkisi

Deprem bölgelerinin değişimi açısından, rijit bodrum katının kiriş iç kuvvetlerine etkisi, her deprem bölgesi için benzer şekildedir (Şekil 5.22). Bodrum perdelerinin

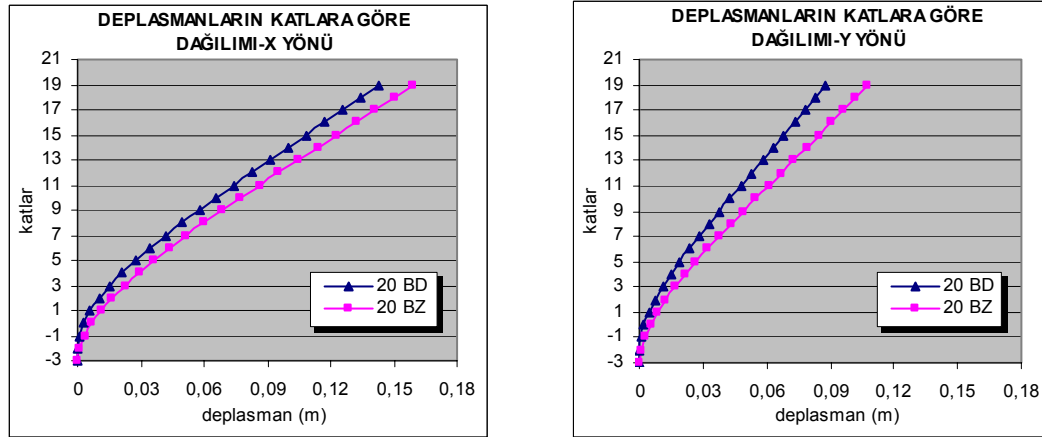
kiriş iç kuvvetlerine etkisi iç kuvvet değerlerinin deprem bölgelerine göre küçülmesine bağlı olarak mutlak değer olarak azalsa da, bu azalmanın oranı sabit kalmaktadır. Buna bağlı olarak, en belirgin fark 1. derece deprem bölgesi için yapılan hesapta görülür.



Şekil 5.22: 11 katlı örnek binada bodrum perdelerinin kiriş iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgesine göre değişim)

➤ 22 katlı binada rijit bodrum katın etkisi

Deplasmanlar:

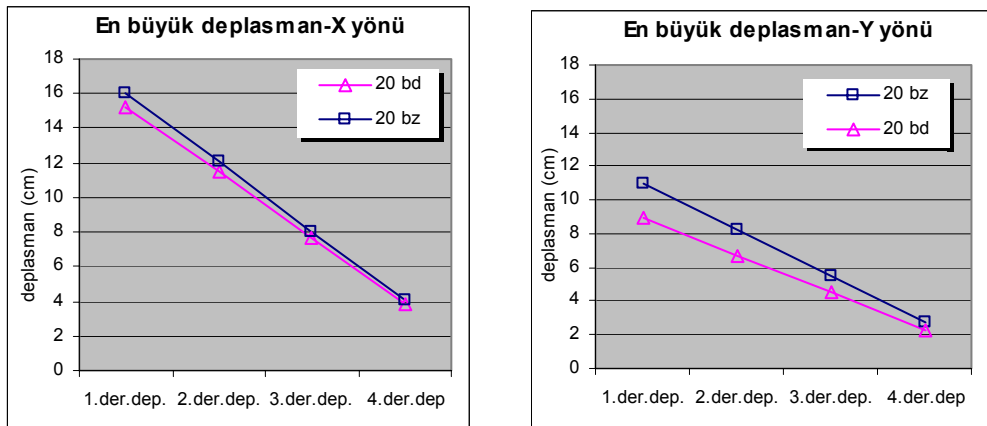


Şekil 5.23: 22 katlı örnek binada rijit bodrum katlarının, deplasmanların katlardaki dağılımına etkisi

22 katlı binada 2 katının rijit bodrum katı olarak düzenlenmesinin binanın davranışına etkisi araştırılmıştır. Karşılaştırmalarda esas alınan elemanlar, zemin katta en çok etkilenen perde ve kirişlerdir. Binanın en üst katında her iki yönde en çok deplasman yapan noktaları söz konusu diyagramlarda kullanılmıştır.

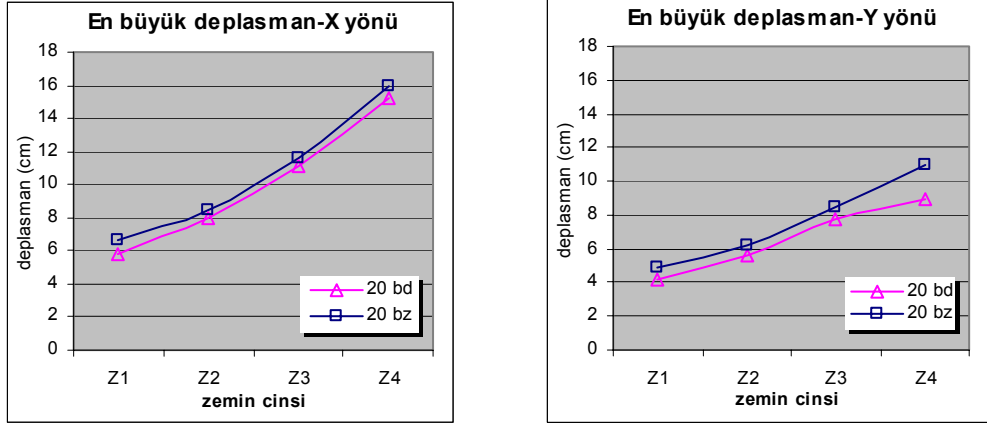
Deplasmanların katlara göre dağılımı incelendiğinde bodrum perdelerinin kat deplasmanlarını azalttığı görülür. Diğer katlara göre yanal rijitliği çok yüksek olan bodrum katları çok küçük (10^{-2} cm) deplasmanlara izin verir. Bunun sonucunda, binada sanki 20 kattan oluşuyormuş gibi bir deplasman eğrisi oluşur. Daha önce de en üst kat deplasmanları için söylendiği gibi, iki yöndeki rijitlik farkından dolayı, Y yönündeki deplasmanlarda bodrum etkisi Şekil 5.23'deki grafiklerde daha net görülmektedir.

Örnek 22 katlı binada 2 bodrum katının rijit perdelerle çevrili olması, her iki yöndeki en üst kat deplasmanlarını azaltmıştır (Şekil 5.24). Her iki yöndeki etkin perde uzunluklarının benzer olmasına rağmen, rijit bodrumun varlığı Y yönünde daha belirgin farklar yaratmaktadır. 1.deprem bölgesi için X yönünde azalma oranı %5 civarında iken bu oran Y yönünde %20'dir. Deprem bölgeleri 1.'den 4.'ye geçtikçe iki model arasındaki farkın azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.24: 22 katlı örnek binanın en üst kat deplasmanlarında bodrum perdelerinin etkisi (deprem bölgelerindeki değişim)

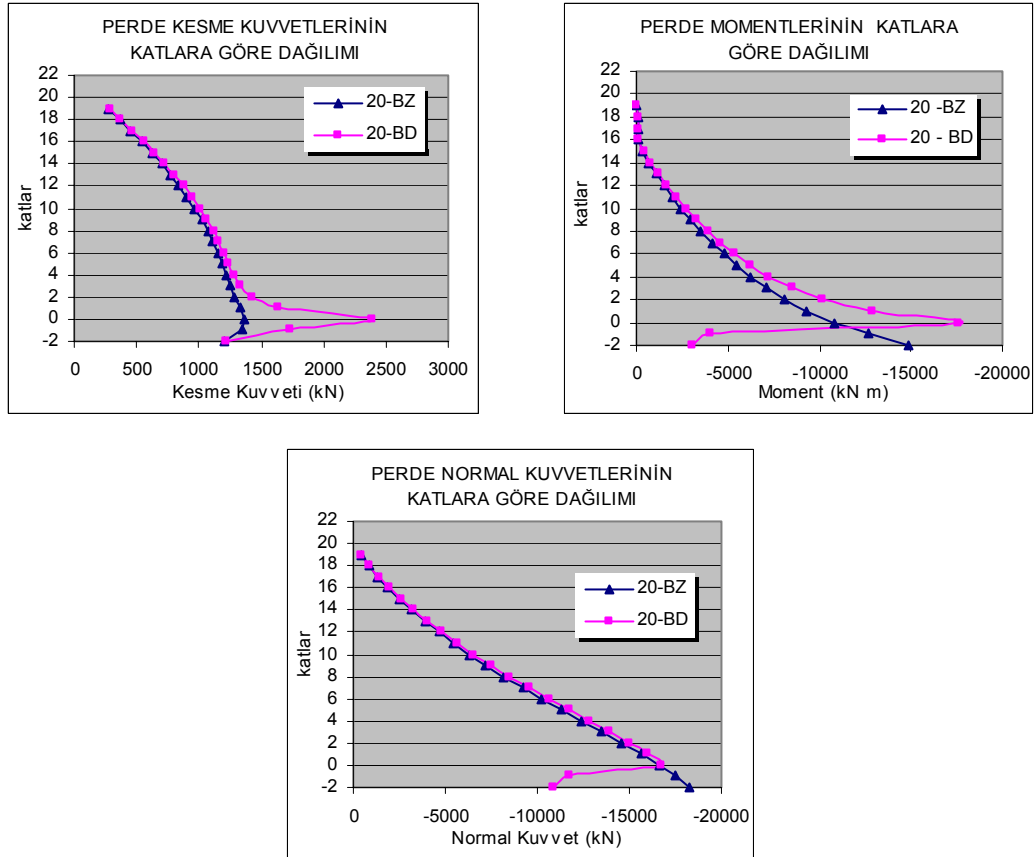
Şekil 5.25'de 1.derece deprem bölgesi için zemin cinslerinin değişiminin etkisi görülmektedir. X yönünde bütün zemin cinsleri için rijit bodrum katının deplasmanlara etkisi yaklaşık aynı olmaktadır. İncelenen binaya özgü olarak, Y yönü için Z4 zemininde, binaların dinamik davranışındaki değişikliğe bağlı olarak, deplasmanların farkında belirgin bir artış görülmektedir. Diğer zeminler için davranış X yönündekine benzerdir.



Şekil 5.25: 22 katlı örnek binanın en üst kat deplasmanlarında bodrum perdelerinin etkisi (zemin cinslerine göre değişim)

İç kuvvetler:

22 katlı binada bodrum perdelerinin etkisinin, örnek olarak seçilen perdenin davranışını en çok etkilediği katlar Şekil 5.26’te görülmektedir. Bina rijitliğinin artmasıyla, bodrum çevre perdelerinin olmadığı duruma kıyasla, perde iç kuvvetleri, özellikle 2 kattan başlayarak zemin kata kadar belirgin bir şekilde artmaktadır.

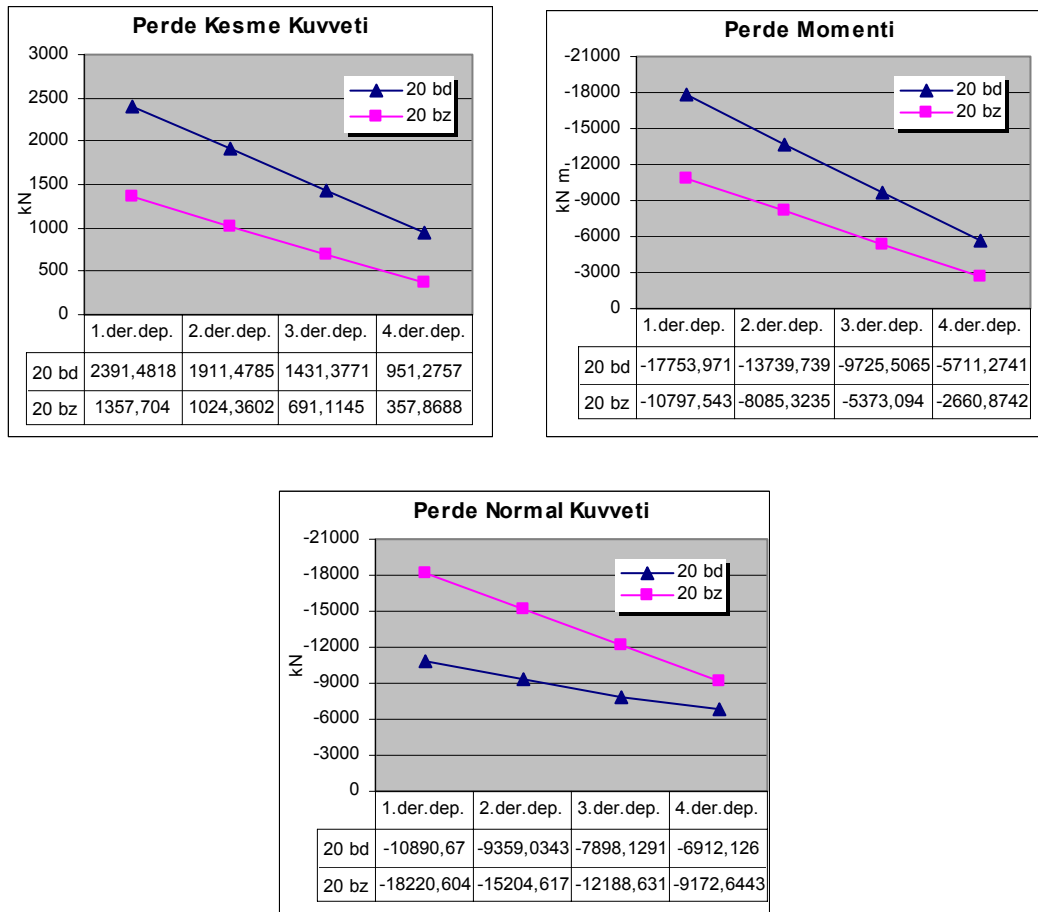


Şekil 5.26: 22 katlı binada bodrum perdelerinin perde iç kuvvet dağılımına etkisi

Bodrum çevre perdelerinin bulunduğu seviyede kat rijitliğinin ani artışıyla perde iç kuvvetleri çevre perdeleri tarafından paylaşılmakta, dolayısıyla örnek perdenin kesme kuvvetleri zemin kat değerlerine göre %50, momentleri %82 oranında azalmaktadır.

Eksenel kuvvetlerdeki değişim binanın yatay rijitliğiyle bağlantılı olmadığı için zemin kattan sonra önem kazanır. Binanın düşey yükü bodrum katlarında bodrum çevre perdeleriyle paylaşılır. Burada da temel üstünde eksenel kuvvetlerin zemin kata göre %35 azaldığı görülür.

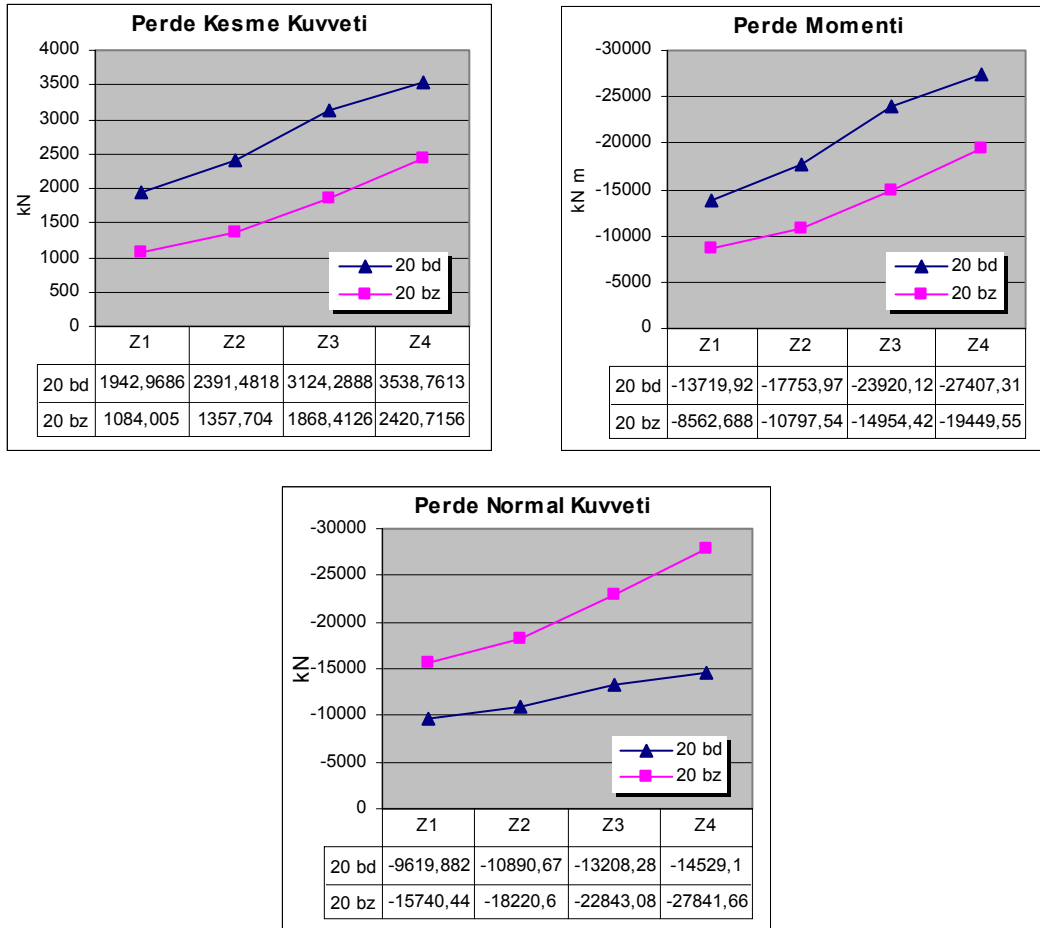
Bodrum çevre perdelerinin bulunmadığı durumu zemin cinsi ve deprem bölgesi parametreleriyle incelemek üzere kesme kuvveti ve moment için zemin kat, eksenel(normal) kuvvet için 2. bodrum kattaki seçilen perde elemanları kullanılmıştır. Deprem bölgelerine göre değişim grafiklerinde Z2 zemin dikkate alınmıştır.



Şekil 5.27: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgesine göre değişim)

Bodrum perdesiz binanın, rijit bodrumlu binaya göre perdelerin iç kuvvetleri, deprem bölgelerine göre incelendiğinde 1.bölgeye kıyasla 4. derece deprem bölgesinde kesme kuvveti, rijit bodrumlu modelde %60 azalırken, bodrum perdesiz modelde bu oran %74 olmaktadır. Momentlerde; 1. derece deprem bölgesinde kesme kuvveti ve momentler % 43 oranında azalırken, 4. derece deprem bölgesinde %62 azalmaktadır (Şekil 5.27). Şekilde de görüldüğü gibi iç kuvvet değerleri deprem bölgesi değiştikçe azaldığı için oranlar artmış görünmektedir, mutlak değer olarak ise bir azalma söz konusudur.

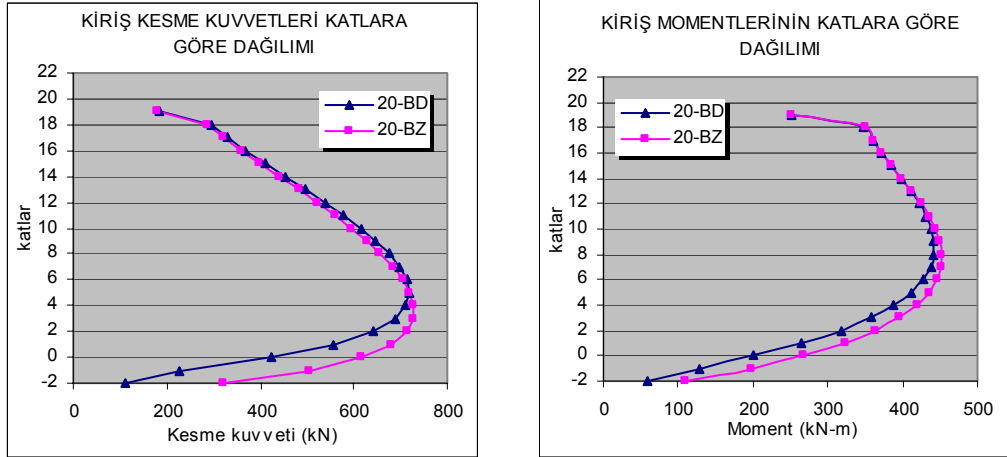
Deprem bölgeleri değiştikçe iç kuvvetler azalmakta, rijit bodrum katlarının etkisiyle perde normal kuvvetlerinde oluşan fark da buna bağlı olarak azalmaktadır. Eksenel kuvvet değerlerinde oluşan azalma göreceli olarak incelendiğinde, 1. derece deprem bölgesinde %40 oranında azalma görülürken, 4. bölgede bu oran %25 olmaktadır.



Şekil 5.28: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (zemin cinslerine göre değişim)

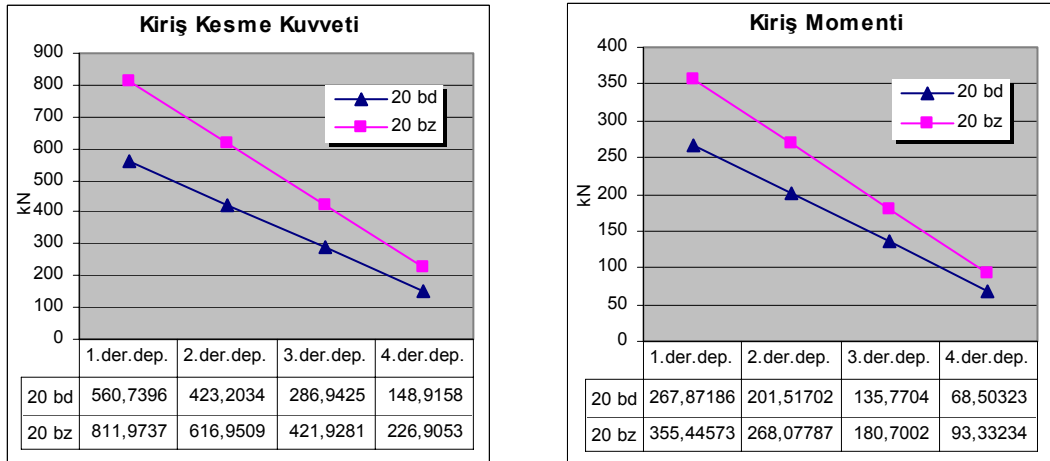
Bodrum çevre perdelerinin etkisinin zemin cinslerine göre değişiminde 1. derece deprem bölgesi dikkate alınarak grafikler çizilmiştir.

Z1, Z2 ve Z3 zeminlerinde iç kuvvetlerdeki değişim benzer olmakta Z4 zemininde farklılaşmaktadır. Bodrumsuz duruma göre, örnek perdenin kesme kuvveti ve momentlerindeki artışın zemin cinslerine göre değişimi Z1, Z2 ve Z3 zeminlerinde birbirine çok yakındır (%42,%43,%40). Z4 zemininde fark biraz azalmaktadır (%31). Normal kuvvetin azalması da benzer bir eğilim göstermekte; Z4 zemininde fark büyümektedir (Şekil 5.28).

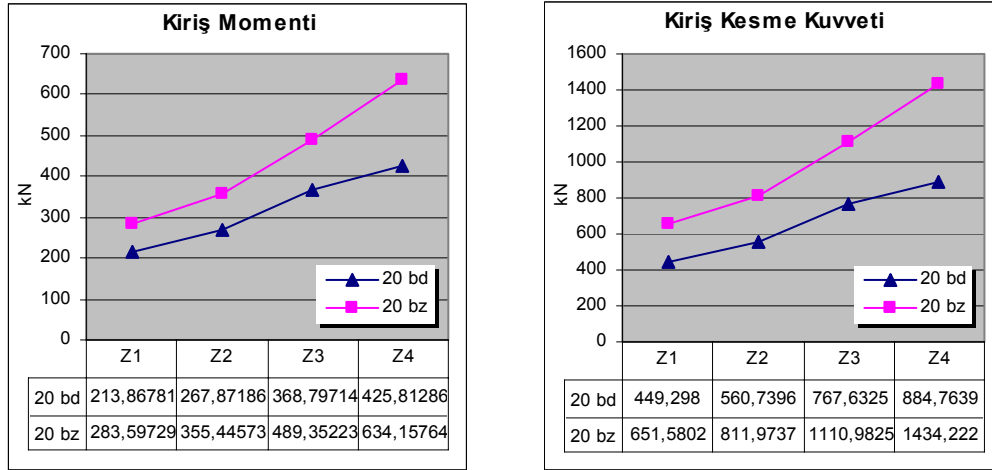


Şekil 5.29: 22 katlı binada bodrum perdelerinin kiriş iç kuvvet dağılımına etkisi

Bodrum çevre perdeleri, kiriş iç kuvvetlerini bina yüksekliğinin üst yarısında çok az etkilemektedir (Şekil 5.29). Kesme kuvvetlerinde 4. kattan aşağıda, momentlerde 8. kattan aşağıda rijit bodrum katlarının etkisi belirginleşmektedir.



Şekil 5.30: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (deprem bölgelerine göre değişim)

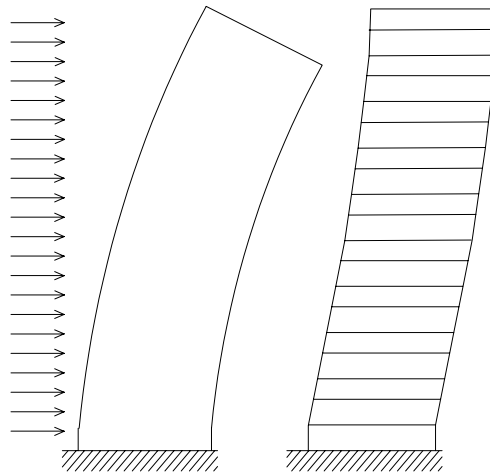


Şekil 5.31: 22 katlı örnek binada bodrum çevre perdelerinin perde iç kuvvetlerine etkisi (zemin cinslerine göre değişim)

Örnek 22 katlı bina için bodrum perdelerinin kiriş iç kuvvetlerine etkisi incelendiğinde, perde iç kuvvetlerine benzer sonuçlar alınmıştır. Deprem bölgeleri değiştikçe rijit bodrum katlarının iç kuvvetlere etkisi azalır (Şekil 5.30). Zemin cinslerinin değişiminde ise iç kuvvet değerleri arasındaki farkın arttığı görülür (Şekil 5.31). Özellikle Z4 zemininde kuvvet artışlarında oluşan değişim dikkat çekmektedir.

5.4.4. Taşıyıcı Sistem Rijitliğindeki Değişimin Etkisi

Perdeler düşey eksenli konsollardır. Yatay yükler altında deplasman eğrileri de buna bağlı olarak konsol kirişin yayılı yük altında oluşturduğu eğriye benzer olur. Çerçeve sistemlerinin deplasman eğrisi ise hiperboliktir, belli bir değere yakınsar (Şekil 5.32).

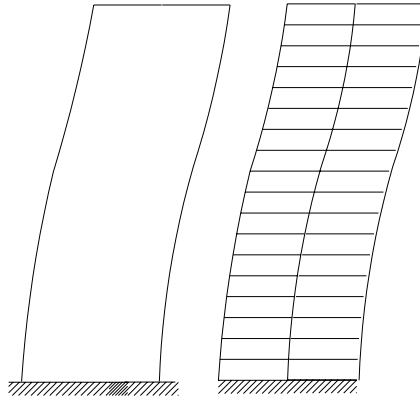


Şekil 5.32: Perde ve Çerçeve sistemlerinin yatay yükler altında şekil değiştirme durumları

Çok katlı binalarda deprem kuvvetleri etkisinde taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan kesme kuvveti ve momentler üst katlara çıkıldıkça azalır. Bu nedenle boyutlamada üst katlara çıkıldıkça daha küçük kesitler yeterli olmaktadır.

Perdelerin çerçevelerle birlikte kullanıldığı çok katlı sistemlerde binanın alt katlarında perdeler çerçevelerin fazla deplasman yapmasını kontrol ederken üst katlarda çerçeveler kat deplasmanının artışı sınırlar.

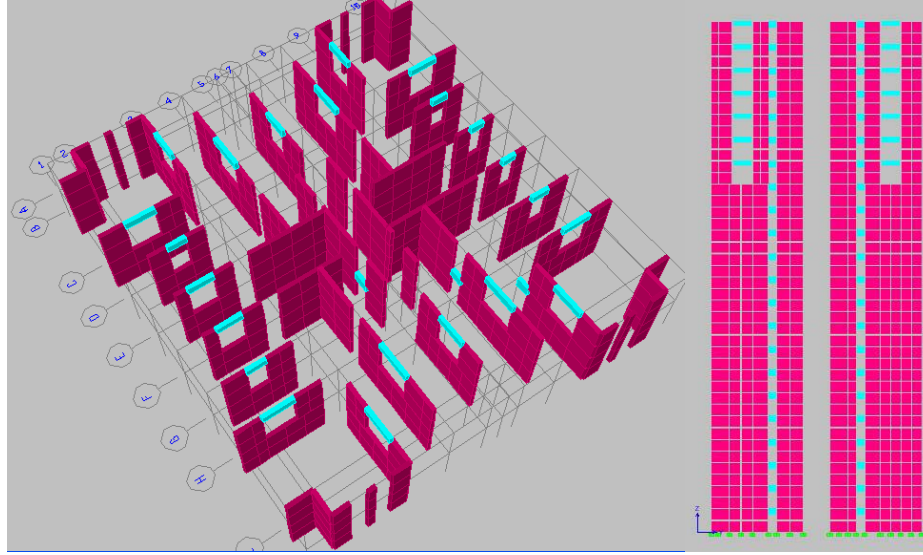
Yukarıda belirtilen gerçeklere dayanarak, tünel kalıpla inşa edilen çok katlı yapılarda, üst katlardaki perdelerin uzunluklarını azaltarak burada perde-çerçeveli bir sistem oluşturmanın bina davranışında, özellikle kat deplasmanlarında, ne gibi sonuçlar ortaya çıkaracağı araştırılmıştır.



Şekil 5.33: Perde ve çerçevelerin birlikte kullanıldığı sistemlerde şekil değiştirme davranışı

Örnek olarak daha önceki bölümlerde de incelenen 22 katlı bodrumsuz bina kullanılmıştır. Bina yüksekliğinin belli oranları için seçilen katlarda perdeler iki parçaya ayrılarak perde gövdelerinde boşluklar oluşturulmuştur (Şekil 5.34). Perdeler birbirine 25/50 boyutlarında sarkan kirişlerle bağlanmıştır. Oluşturulan boşluklar hafif duvar malzemesiyle kapatılacağından, kirişlerin üzerine yük olarak etkitilmiştir.

Deprem yüklemesini için, fiktif yükleme yapıldıktan sonra Afet Bölgeleri Yönetmeliğine göre her iki yön için modlar bulunmuş, bunlara göre örnek olarak seçilen Z1 zemini için Eşdeğer Deprem Yükleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.34: Örnek bina modelinin her iki yönde rijitlik azaltılmasını gösteren bilgisayar modeli

Bina yüksekliğinin yaklaşık 1/5 (5 kat)'i, 1/4 (6 kat)'ü ve 1/3 (7 kat)'ü olmak üzere 3 ayrı modelde her iki yöndeki perdelerde rijitlik azaltılması incelenmiştir. Ayrıca H/5 durumu için bir yöndeki perdelerin aynı bırakılıp diğer yönde azaltılmasının etkisi araştırılmıştır. Modellerde toplam perde uzunluğunun, X yönünde % 20, Y yönünde % 24'sinin azaltılmasının etkisi araştırılmıştır. İncelemeler sonucu bulunan en üst kat deplasmanları Tablo 5.14'te verilmiştir.

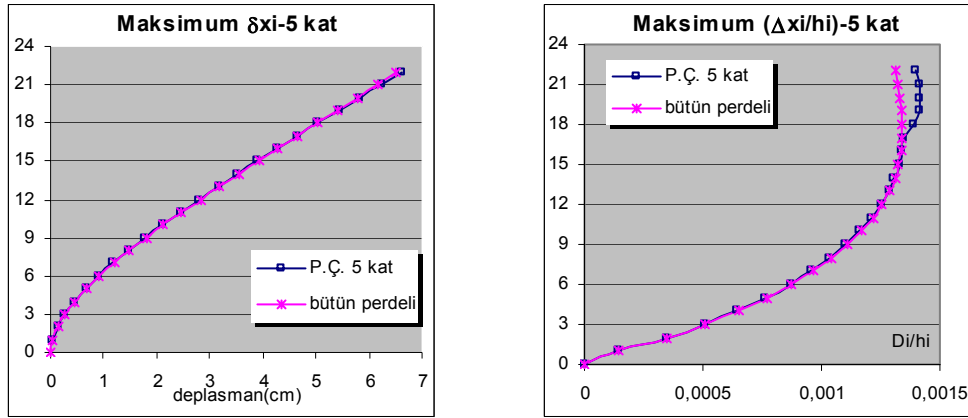
Tablo 5.14: Rijitlik azaltılmasının en üst kat deplasmanlarına etkisi

	İki yönde azaltılmış		X yönünde %20 azaltılmış		Y yönünde %24 azaltılmış		Bütün	
Deplasman (cm)	dx	dy	dx	dy	dx	dy	dx	dy
5 kat (H/5)	6,62	4,69	6,7	4,61	6,62	4,71	6,53	4,74
6 kat (H/4)	6,67	4,74	-	-	-	-	-	-
7 kat (H/3)	6,72	4,80	-	-	-	-	-	-

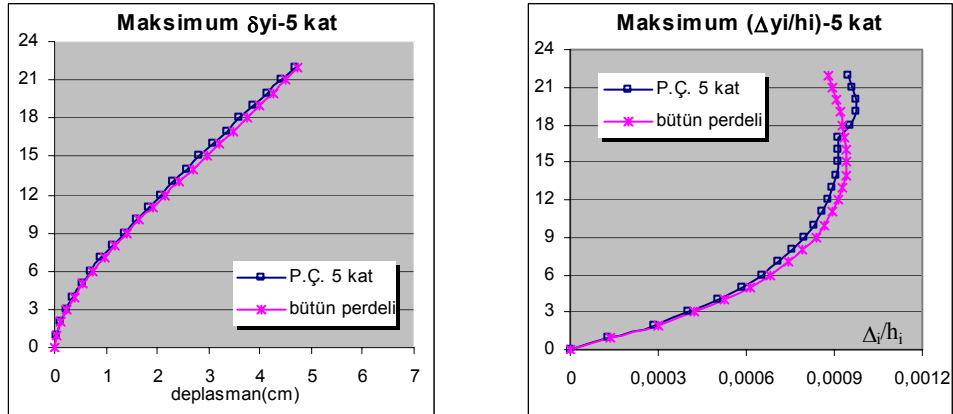
5 kat için her iki yöndeki perdelerin azaltılması sonucunda en üst kat deplasmanlarında, X yönünde % 1 artış, Y yönünde %1.2 azalma; 6 kat için, X yönünde % 2.1 artış, Y yönünde % 0 azalma; 7 kat için, X yönünde % 2.9 artış, Y yönünde % 1.3 artış olmuştur.

Y yönündeki perdeler aynen bırakılıp X yönünde rijitlik azaltıldığında, en üst kat deplasmanlarında, X yönünde % 2.6 artış, Y yönünde % 2.7 azalma görülmüştür. Aynı şekilde sadece Y yönünde azaltma yapıldığında X yönündeki deplasmanlarda % 1.4 artış, Y yönünde ise % 1 azalma görülmüştür.

İncelenen binada, seçilen sayıda kattaki rijitliğin azaltılmasıyla en üst katta ortaya çıkan deplasmanların değişimi milimetrik düzeyde kalmıştır. İncelenen rijitlik azaltılması durumları için X yönündeki deplasmanların her zaman arttığı, Y yönündeki deplasmanların ise H/3 hariç diğer durumlar için azaldığı görülmüştür.



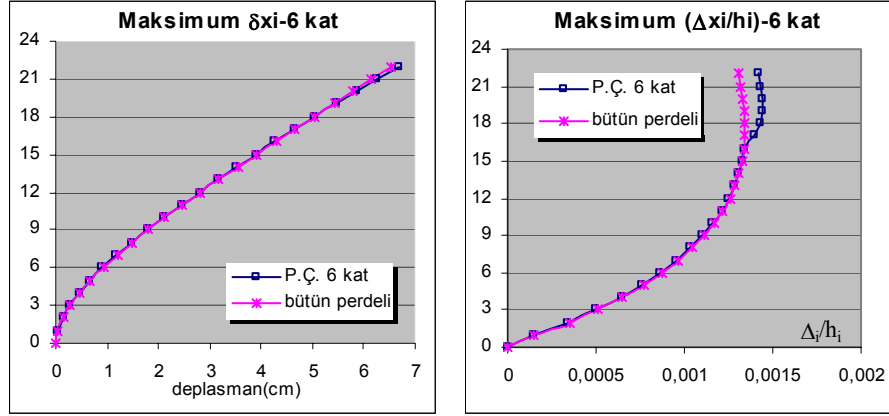
Şekil 5.35: 5 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı bina X yönü deplasmanlarının bütün perdeleri durumuyla karşılaştırılması



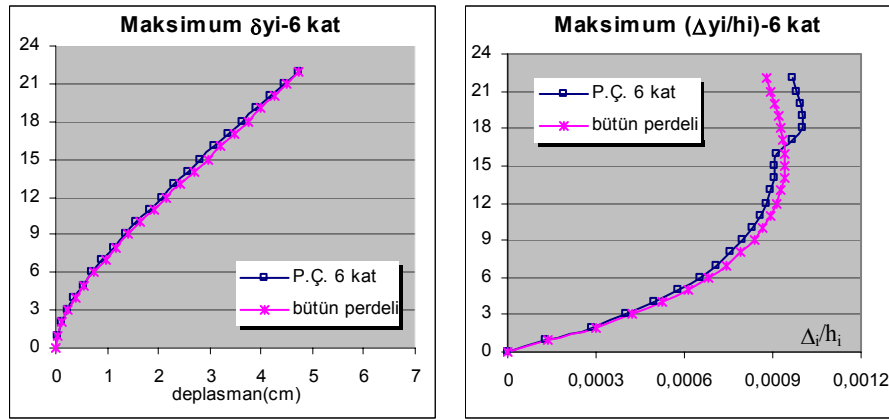
Şekil 5.36: 5 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı bina Y yönü deplasmanlarının bütün perdeleri durumuyla karşılaştırılması

Bina yüksekliğinin belirli oranları için, katlarda rijitlik azalmasının deplasman dağılımlarına etkisi X ve Y yönlerine göre farklılaşmaktadır. 5 katta rijitliğin azaltılması sonucunda, X'e göre daha rijit olan Y yönünde deplasmanlardaki azalma oranı, alt katlara inildikçe %1.2'den % 4.5'e ulaşmaktadır (Şekil 5.36). X yönünde

ise, deplasmanların rijitliği azaltılan katlara kadar neredeyse sabit kaldığı, söz konusu katlarda ise milimetrik artışlar olduğu görülmüştür (Şekil 5.35). Göreli kat deplasmanları, rijitliğin azaldığı katlarda ani artışlar göstermiş fakat yönetmeliğe göre belirlenen 0.0033 sınırını geçmemiştir. Rijitliğin aynı kaldığı katlarda, X yönünde rölatif deplasmanlar sabit kalırken Y yönünde alt katlara inildikçe %4.6 ya varan oranda azalmalar görülmüştür (Şekil 5.36).

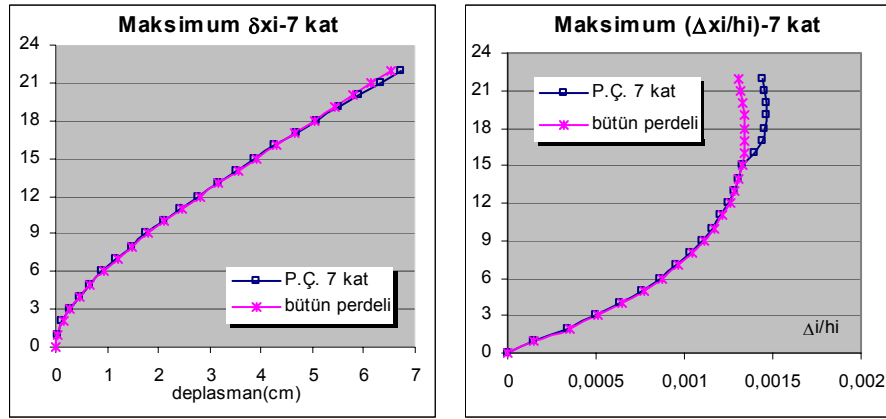


Şekil 5.37: 6 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı binada X yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması

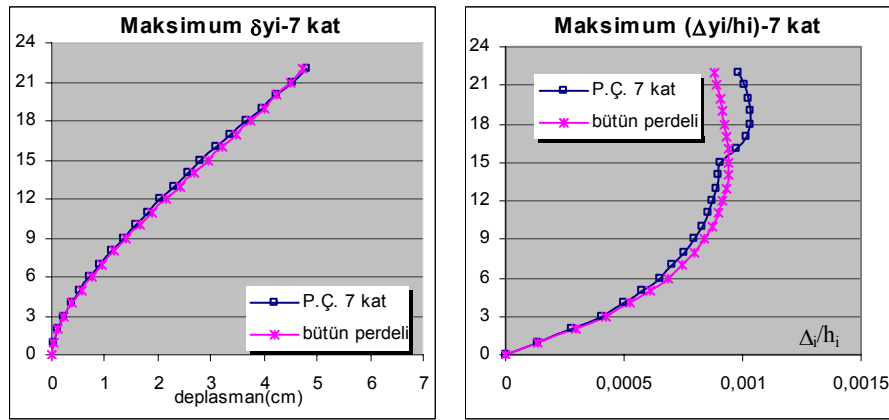


Şekil 5.38: 6 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı binada Y yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması

Binanın 7 ve 6 katında yapılan rijitlik azaltılmasının deplasmanlara etkisi 5 kat için yapılan azaltma durumuna benzer sonuçlar vermiştir. (Şekil 5.37-38-39-40).

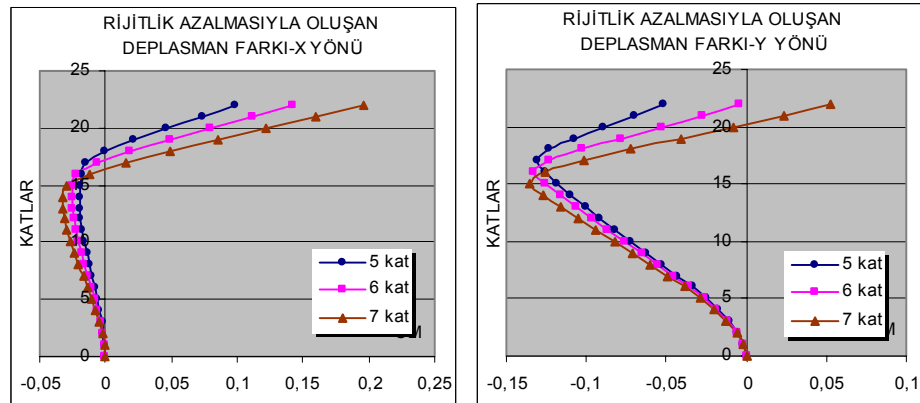


Şekil 5.39: 7 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı binada X yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması



Şekil 5.40: 7 katında perde sayısı azaltılmış 22 katlı binada Y yönü deplasmanlarının bütün perdeli durumla karşılaştırılması

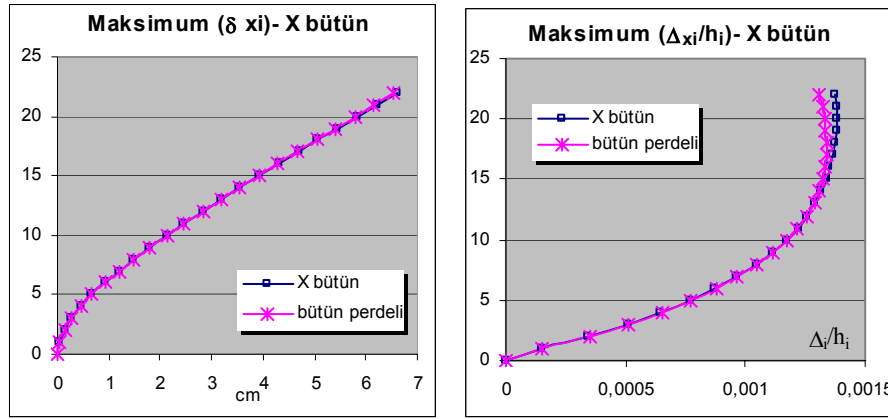
İncelenen binada rijitliği azaltılan kat sayısı arttıkça, her iki yönde de bu katların deplasmanları artmış, diğer katlarda ise deplasmanlar azalmıştır. (Şekil 5.41). Alt katlara inildikçe 2. kata kadar bu azalmanın oranı da artmaktadır.



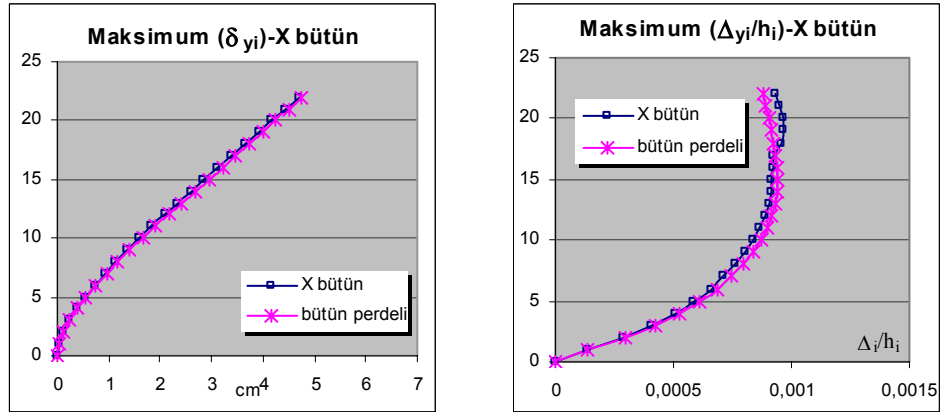
Şekil 5.41: Toplam perde uzunluğu azaltılmış binaların bütün perdeli binaya göre deplasmanlarında oluşan farkların karşılaştırılması (negatif değerler azalmayı, pozitif değerler artışı gösterir)

Binanın X yönünde uzanan perdeler bırakılıp Y yönündeki perde uzunluğunun %24 azaltılmasıyla oluşturulan katlardaki rijitlik azalmasının, her iki yöndeki deplasman dağılımlarına etkisi Şekil 5.42 ve 5.43’de verilmiştir.

X yönündeki perdelerde rijitliğin değişmemesine rağmen, katlarda oluşan burulmadan dolayı bu yöndeki en üst kat deplasmanlarında %1.4 oranında, rölatif deplasmanlarda, rijitliği azaltılan katlarda daha belirgin olmak üzere, % 4.9’a varan artış görülmüştür. Rijitliği azaltılmış katların Y yönündeki deplasmanları, iki yönde rijitliğin azaltıldığı duruma göre daha küçük bulunmuştur.



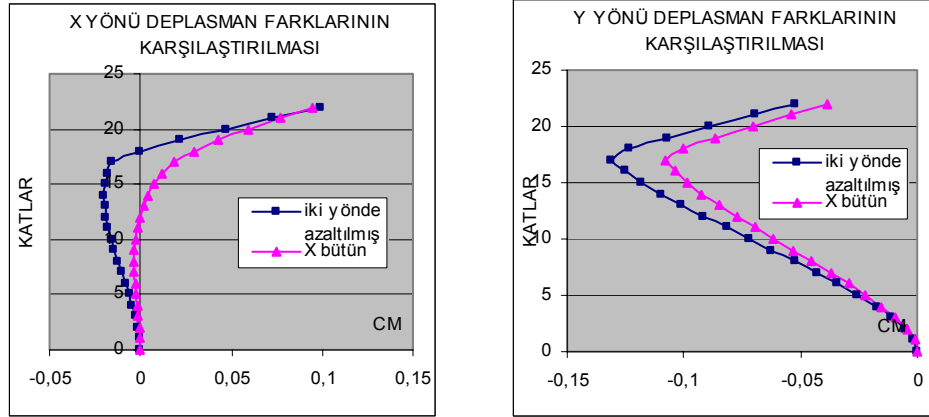
Şekil 5.42: 5 katında, Y yönünde perde uzunluğu azaltılmış binanın bütün perdeli binaya göre X yönündeki deplasman dağılımları



Şekil 5.43: 5 katında, Y yönünde perde uzunluğu azaltılmış binanın bütün perdeli binaya göre Y yönündeki deplasman dağılımları

Perdelerin her iki yönde azaltılması sonucunda bulunan kat deplasmanlarındaki farkların, perdelerin sadece Y yönünde azaltılması sonucu bulunanlar ile karşılaştırılması Şekil 5.44’te verilen grafikte gösterilmiştir. Rijitliğin sabit kaldığı katlarda, X yönünde rijitliğin sabit kaldığı katlarda oluşan deplasman farkları, iki

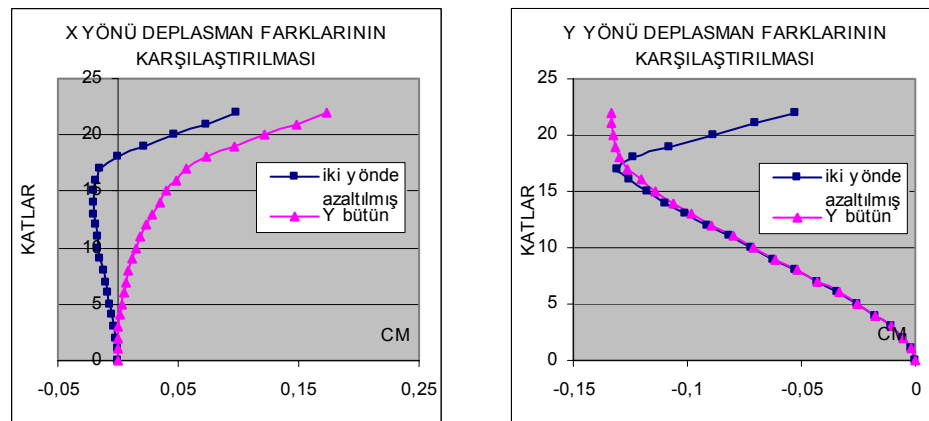
yönde perde uzunluklarının azaltıldığı modelden daha küçük bulunmuştur. Sadece Y yönündeki perdelerin kısaltılmasıyla, bu yönde bulunan deplasman farkları, her iki yönde perdelerin azaltılması durumuna göre daha büyüktür.



Şekil 5.44: Y yönünde ve her iki yönde toplam perde uzunluğu azaltılmış binaların bütün perdeli binaya göre, deplasmanlarında oluşan farkların karşılaştırılması (negatif değerler azalmayı, pozitif değerler artışı gösterir)

Y yönündeki perdelerin aynı bırakılıp X yönündeki perdeleri azaltılan modelde bulunan deplasman farklarının her iki yönde azaltma yapılan model ile karşılaştırılması Şekil 5.45’de verilmiştir.

Her iki yönde rijitliği azaltılmış modele nazaran, sadece X yönünde perdelerin azaltılması, bütün katlarda X yönü için daha büyük deplasman farklarının bulunmasına neden olmuştur. Y yönünde oluşan deplasman farkları, sadece rijitliğin azaltıldığı katlarda, X yönündeki perdelerin azaltılması için her iki yöndeki azaltma durumuna göre daha büyük bulunmuştur.



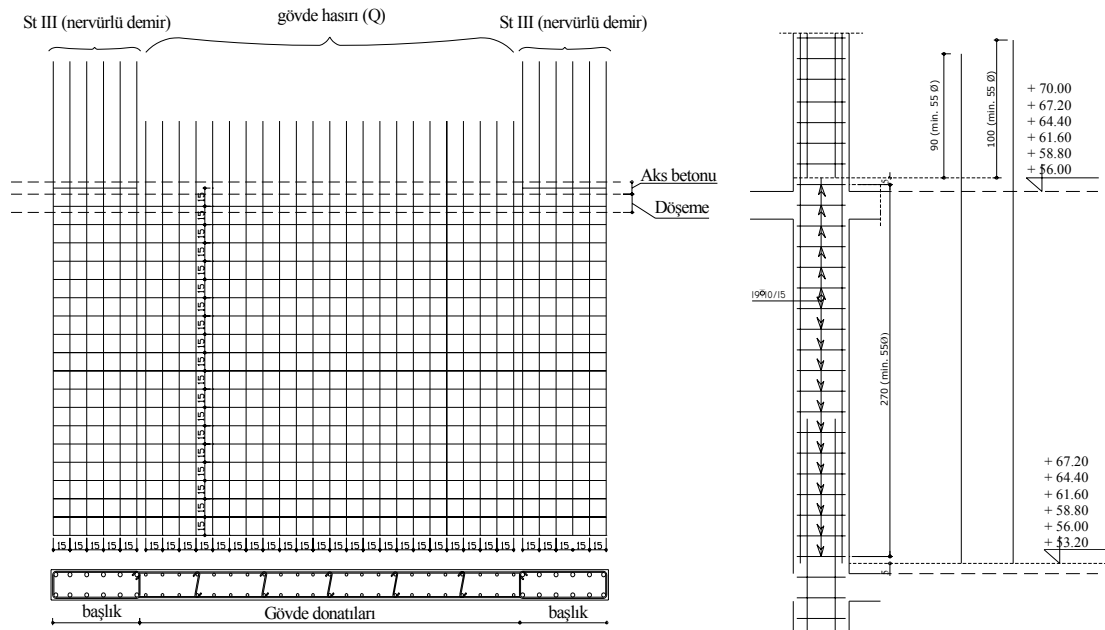
Şekil 5.45: X yönünde ve her iki yönde toplam perde uzunluğu azaltılmış binaların bütün perdeli binaya göre, deplasmanlarında oluşan farkların karşılaştırılması (negatif değerler azalmayı, pozitif değerler artışı gösterir)

6. TAŞIYICI SİSTEMDE DONATI DÜZENLEMELERİ

Betonarme yapılarda, sistemden beklenen davranışın elde edilebilmesi etkiyen yüklerin doğru tespitinden çok donatılandırmanın ne kadar iyi yapılmış olmasına bağlıdır. Zira taşıma gücüne göre hesapta, betonarme elemanın donatılandırma sonucunda gerçeğe en yakın yük dağılımı belirlenebilir. Sistemin sünek ya da gevrek davranışı, donatı miktarı ve düzenlenmesine göre ortaya çıkacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde tünel kalıp sistemiyle inşa edilen binalarda, perde, döşeme, temeller ve bunların birbiriyle birleşimlerinin örnek donatı detayları verilmiştir. T.D.Y. 2007’de betonarme elemanlarda donatılandırma için verilen kurallardan daha önce bahsedildiği için bu bölümde tekrar ayrıntıya girilmeyecektir

Perdeler

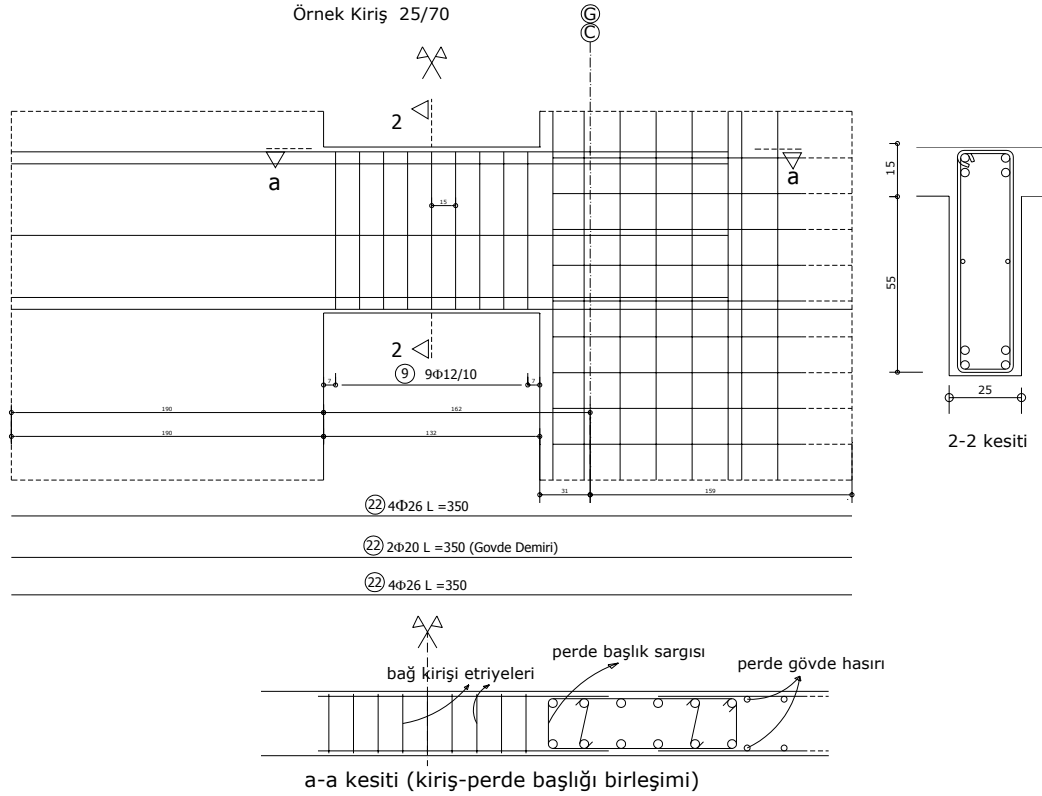


Şekil 6.1: Perde donatı detayı; kesitleri ve plan

Perdelerin donatılandırılması T.D.Y. 2007’ye göre başlık ve gövde donatısı olarak ikiye ayrılır. Deprem yönetmeliğinde daha önce bahsedilen 3.14 denklemlerinin ikisinin de sağlandığı durumlarda gövdede süneklik düzeyi St III’e göre daha düşük olan hasır donatı kullanımına izin verilir. Donatılar yerleştirilirken, perdelerin alt

kattan gelen hasır donatı filizleri döşemenin mesnet donatısının önünü keser. Bu bölgede döşemenin mesnet donatısının yerleştirilebilmesi için perde gövde hasırının yatay doğrultudaki iki çubuğunun çıkarılması zorunlu olur (Şekil 6.1).

Perde-bağ kirişi birleşim yerleri:



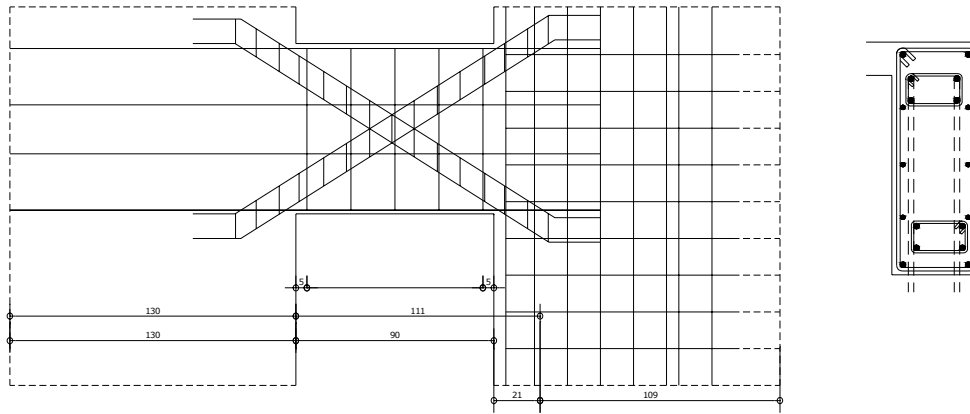
Şekil 6.2: Bağ kirişi perde bağlantı detayı

Bağ kirişlerinin donatılması D.Y. 2007’de kesme kuvveti şartına göre iki şekilde olur (Denklem 4.4). Şekil 6.2’de sıradan bir kiriş gibi donatılan bağ kiriş perde başlığı birleşimi örneklenmiştir.

Bağ kirişi üst ve alt ve gövde yatay donatılarının perde başlığıyla birleştiği bölgelerde kenetlenmenin sağlanabilmesi için bu donatılar perde başlığının içine aderans boyu kadar uzatılmalıdır (Şekil 6.2). Perde gövdesinde kullanılan hasır donatının yatay kollarının da başlık içine uzatılması ve başlık etriyelerine kenetlenmesi gerektiğinden bu bölgede büyük bir donatı yığılması kaçınılmazdır. Bu bölgelerde kullanılacak betonun tane boyutları dikkate alınarak tasarım yapılmalı ve uygulamada donatı işçiliğine dikkat edilmelidir. Aksi taktirde taşların homojen dağılamaması ve bir yerde toparlanmalar sonucunda elemanlarda tekrarlı sismik

yükler altında, beklenmeyen stabilite problemleriyle karşılaşılır. Sistemden, beklenen süneklik elde edilemez [2].

T.D.Y. 2007’de kesme kuvveti koşulunun sağlanamadığı kısa ve derin bağ kirişlerinde çapraz donatı demeti düzenlemesi önerilmiştir (Şekil 6.3). Kullanım yükleri altında kirişlerde büyük çatlaklar oluşmaması için, çapraz donatılara ek olarak, TS-500’de öngörülen minimum miktarda etriye ve yatay donatı konulacaktır [14].

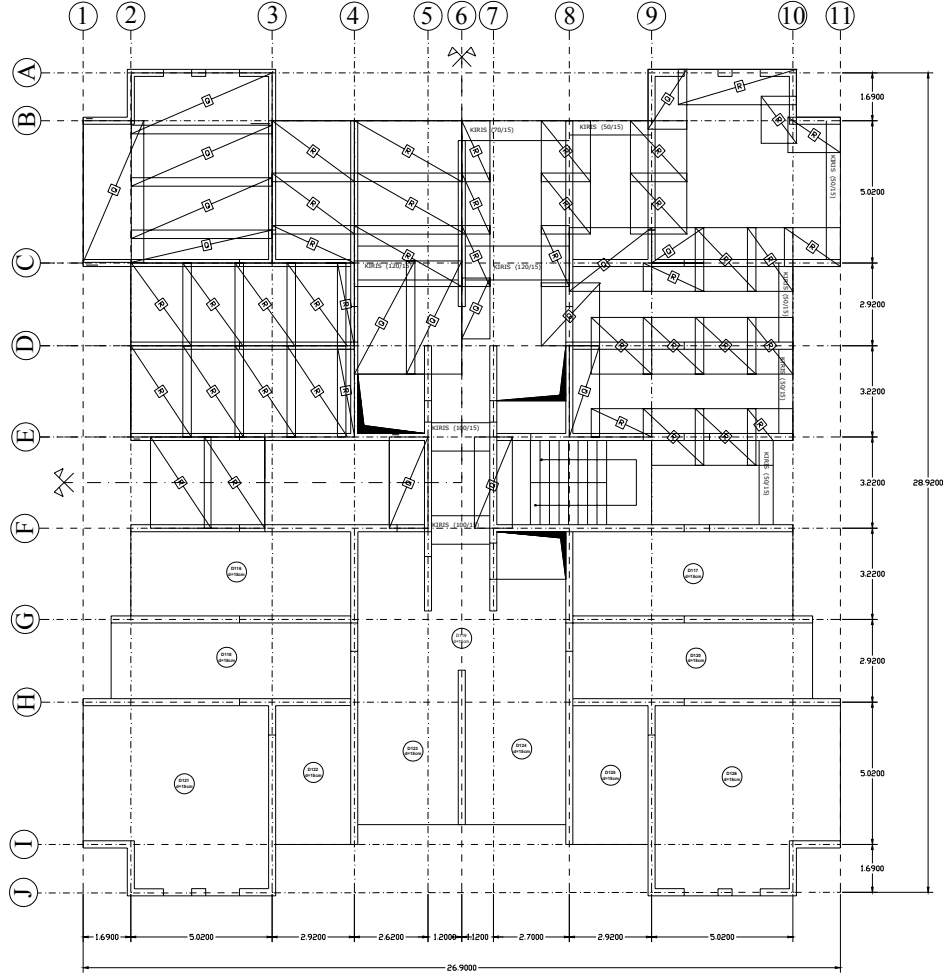


Şekil 6.3: Bağ kirişinde çapraz donatı detayı

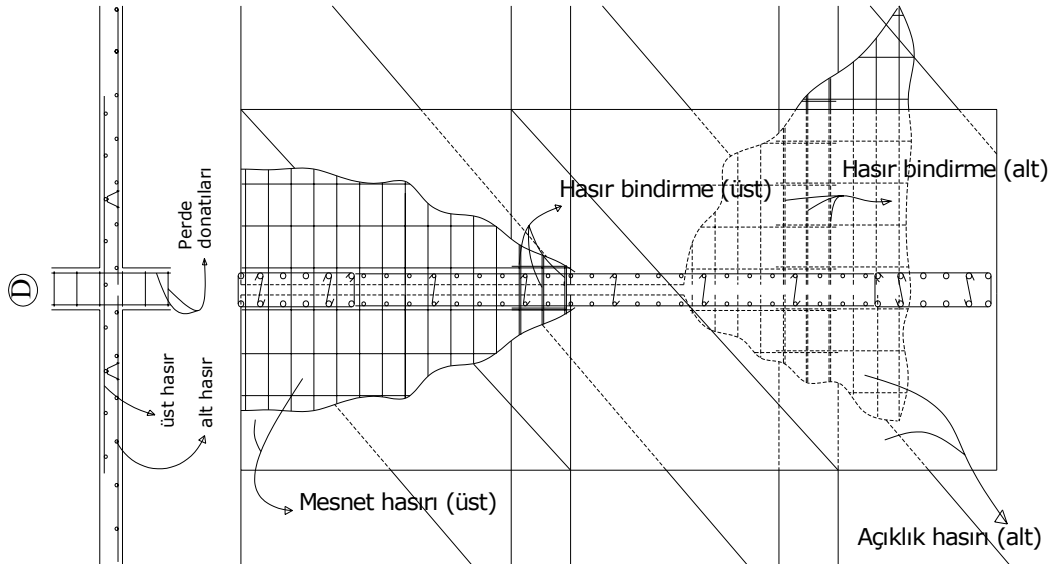
6.1. Döşemeler

Tünel kalıpla inşa edilen binalarda perdelerde olduğu gibi döşemelerde de açıklık ve mesnet donatılarının hasır çelik kullanılarak düzenlenmesi yaygın bir uygulamadır. Döşemelerin tek yönde çalışan açıklıklarda R tipi, çift yönde çalışan açıklıklarda Q tipi hasırlar, mesnetlerde R tipi hasırlar kullanılır (Şekil 6.4).

Döşeme-perde birleşimleri deprem etkisiyle büyük moment ve kesme kuvvetlerine maruz kalacaktır. Bu bölgelerdeki döşeme kesitlerinde gevrek kesme kırılmaları veya büyük eğilme çatlaklarının meydana gelmemesi için mesnet donatılarının söz konusu kuvvetleri sünek bir şekilde karşılayabilmesi gereklidir.



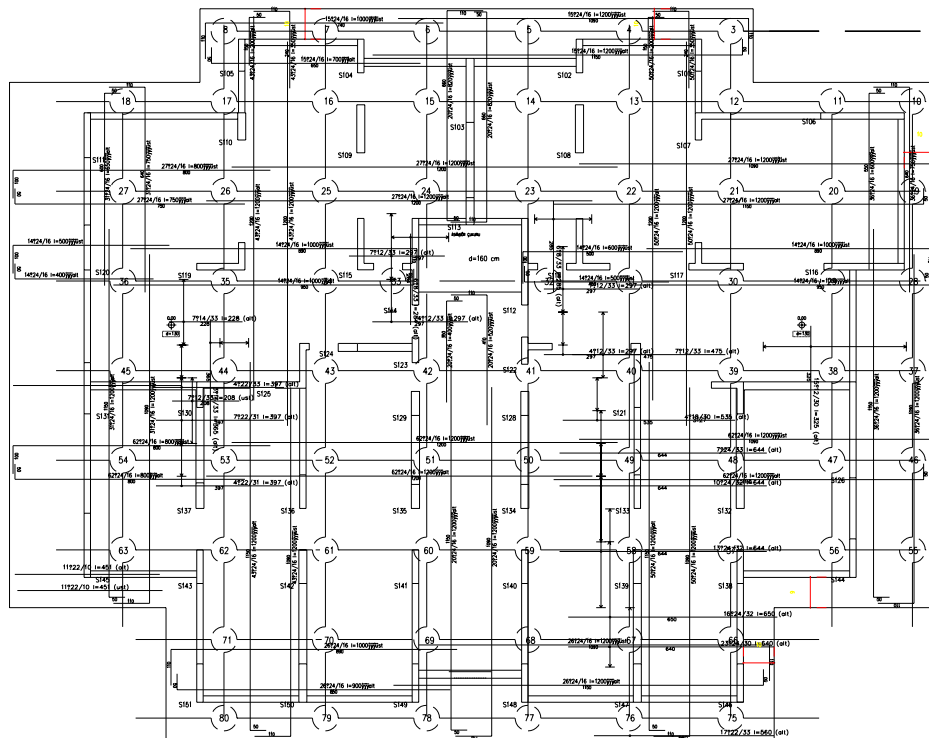
Şekil 6.4: Döşemelerde mesnet ve açıklık için örnek çelik hasır yerleşim planı



Şekil 6.5: Döşeme mesnet hasırları-perde donatısı birleşim detayı

İstenen sünekliğin sağlanabilmesi için mesnet hasırı ile perde donatıları kenetlenip bir bütün olarak çalışmalıdır. Şekil 6.5'te örnek birleşim bölgesi detayı verilmiştir: Açıklıktan gelen hasırların çubuk çıkıntıları mesneden içine doğru uzatılır. Perde gövdesinde kullanılan hasır donatıların, daha önce de belirtildiği gibi, döşeme hasırının yerleşmesini engelleyen sıraları çıkarılarak döşeme mesnet hasırları bütün olarak perdenin üzerine yerleştirilir.

Tünel kalıpla inşa edilen, her iki yönde sık aralıklarla perdeler bulunan çok katlı binalarda, temel kesitinde her iki yönde oluşan büyük momentlerin emniyet gerilmesi aşılmadan zemine uniform yayılı yük olarak aktarılabilmesi için rijit radye temeller tercih edilmektedir.

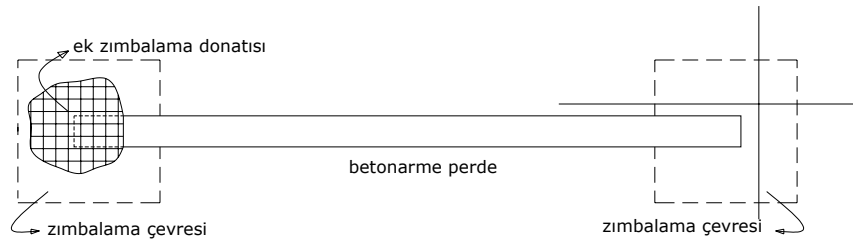


72

Radye temellerin boyutlandırılmasında sırasıyla;

1. Servis yüklerinin zemin emniyet gerilmesine bölünmesiyle gerekli temel alanı bulunur. Özellikle kenar perdelerinde oluşabilecek büyük momentler nedeniyle temel alanı bina oturma sınırından 1m çıkılarak oluşturulur (Şekil 6.6).
2. Plağa konulacak üst ve alt eğilme donatılarından ayrı olarak zımbalama donatısı düzenlenmekten kaçınmak için zımbalama kuvvetleri dikkate alınarak plak kalınlığı belirlenir.
3. Her iki yönde etkiyen momentler hesaplanıp bulunan ile minimum donatı karşılaştırılıp plak alt ve üst donatıları belirlenir.

Radye temellerde en önemli sorun zımbalama dayanımıdır. Çok büyük momentlerin bulunduğu geniş açıklıklarda perdelerin uç bölgelerinde zorunlu hallerde zımbalama donatıları yerleştirilebilir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: Perde uçlarında düzenlenen ek zımbalama donatısı

Donatı ekleri TS 500’de ayrıntıları açıklanan biçimde şaşırtmalı olarak yapılmalı ve donatı ek yerlerinin maksimum basınç ve maksimum çekme bölgelerine gelmemesine dikkat edilmelidir. Çok zorunlu hallerde bindirme boyları uzatılarak ek yapılmasına izin verilebilir.

7. SONUÇLAR

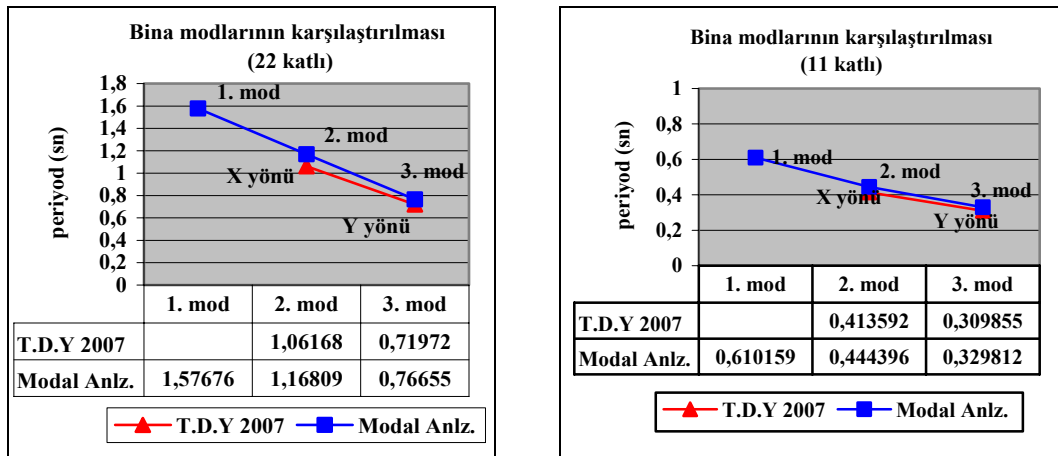
Bu çalışma kapsamında tünel kalıp kullanılarak inşa edilen çok katlı bir binanın deprem yükleri altında davranışlarına bina yüksekliğinin, rijit bodrum katlarının ve katlardaki rijitlik azalmasının etkisi incelenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Dinamik Davranış

İki yöndeki rijitliği benzer olan, perdelerin çift taraflı simetri ile yerleştirildiği kare planlı sistemler, yatay rijitliği yüksek olmasına rağmen burulmaya karşı narin olmaktadır. Bu tür yapılarda, perdeler tasarlanırken burulma etkileri ihmal edilemez.

Türk Deprem Yönetmeliği'nde bina periyodu için önerilen yaklaşık formül burulmayı ihmal ettiğinden bu tür taşıyıcı sistemler için dinamik analiz sonucu bulunan 1. mod burulma ağırlıklı olmakta ve T.D.Y 2007'den uzak sonuçlar vermektedir.

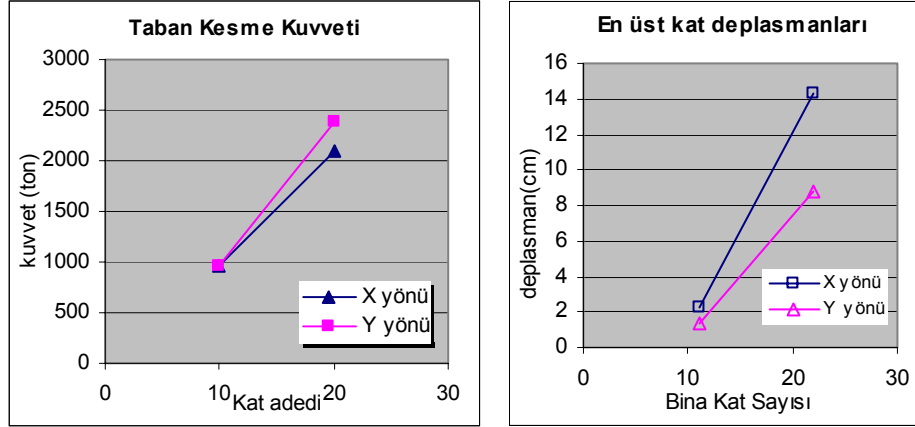
İncelenen 11 ve 22 katlı binaların Etabs kullanılarak yapılan dinamik analizinde, 2. ve 3. modlar için bulunan periyotlar ve mod şekilleri D.B.Y.B.H.Y 2007'de verilen formülle X ve Y yönünde hesaplanan mod şekillerine ve periyotlara yakın sonuçlar vermektedir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1: İncelenen kare planlı bina için iki farklı yöntemle hesaplanan periyotların karşılaştırılması

Bina Kat Adedinin Davranışa Etkisi

Yatay yüklerin yalnız perdelerle karşılandığı taşıyıcı sistemlerde, bina yükseldikçe konsol etkisi belirginleşir ve bina rijitliğinin azalmasıyla deplasmanlar katlanarak artar. Bu çalışmada incelenen 22 katlı binada, 11 katlı binaya göre taban kesme kuvveti 2.5 kat artarken, en üst kat deplasmanlarının 5 kat arttığı görülmektedir. Rijitliğin daha az olduğu yönde söz konusu deplasmanlardaki artış daha büyük olmaktadır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2: En üst kat deplasmanları ve taban kesme kuvvetlerinin kat adedine göre değişimi

Zemin Cinsi ve Deprem Bölgesi Değişiminin Etkisi

Zemin cinsleri Z1'den Z4'e doğru geçtikçe binaya etkileyen deprem ivmesi artacaktır. Fakat bina periyodlarının zemin karakteristik periyodlarına göre konumu, etkileyen zemin ivmesinin değişmemesine yol açabilir. İncelenen bina gibi yatay rijitliği çok yüksek olan perdeli binalar çok büyük deprem ivmesine maruz kalacakları zeminlere yapılmamalıdır. Bu tür tünel kalıpla inşa edilen binaların Z1 ve Z2 türü zeminlere yapılması daha ekonomik olacaktır.

Deprem bölgelerinin 1.'den 4. dereceye geçimi etkin ivme katsayısı A_0 'ın azalmasıyla iç kuvvetlerde ve deplasmanlarda azalmaya yol açar. Deplasman ve kuvvetlerdeki azalmalar binanın bulunduğu zemin bölgesine göre değişim gösterir. Bunun yanında, bina yüksekliğindeki değişim ve rijit bodrum katı düzenlenmesi binaların dinamik davranışını değiştirdiğinden, iç kuvvetlerin ve deplasmanların zemin ve deprem bölgesi parametrelerine göre değişiminde önemli olmaktadır.

Rijit Bodrum Katlarının Davranışa Etkisi

Bodrum katlarda çevre perdeleri düzenlenmesi bu katların yatay etkilere karşı rijitliğini çok artırır. Yalnız perdelerden oluşan çok katlı binalarda normalde temel birleşiminde oluşan perde kritik kesitleri, bodrum katların rijit düzenlenmesiyle, zemin hizasında oluşmaktadır. Perde iç kuvvetleri zemin üstündeki katlarda bodrum perdesiz durumdan daha büyük değerler almaktadır.

Rijit bodrum katlar binanın genel rijitliğini arttırmakta buna bağlı olarak kat deplasmanlarının azalmasına neden olmaktadır. Deprem etkileriyle oluşan yatay deplasmanların azalmasıyla bağ kirişlerindeki şekil değiştirme zorlanmaları azalır ve iç kuvvetler rijit bodrum perdeleri olmayan duruma göre daha küçük değerler alır.

Kat Rijitliğindeki Azalmanın Deplasmanlara Etkisi

Tünel kalıpla inşa edilen kare planlı örnek binada, bina yüksekliğinin üst 1/3, 1/4, ve 1/5'indeki katlarda perdelerin azaltılması sonucu en üst kat deplasmanlarında milimetrik farklar bulunmuştur. Örnek binanın rijitliği azaltılan katlarında, X yönünde deplasmanlar her zaman artmış, Y yönünde ise her zaman azalmıştır. Bina ağırlığının azalmasıyla diğer katlarda deplasmanların X yönünde hemen hemen sabit kaldığı, Y yönünde ise her zaman azaldığı görülmüştür.

Tek yöndeki perdelerin azaltılması durumu için, X yönünde daha belirgin olmak üzere, rijitliğin sabit kaldığı yöndeki deplasmanlar her iki yönde perdelerin azaltıldığı duruma göre daha büyük bulunmaktadır.

Bu incelemede, perde azaltılması her iki yönde seçilen belirli oranlar için yapılmıştır. Kat rijitliğindeki azalmanın, tünel kalıpla inşa edilen binaların davranışına etkisinin daha genel olarak belirlenebilmesi için birçok değişik plan ve farklı bina yükseklikleri ile araştırma genişletilmelidir.

Taşıyıcı Sistem ve Donatılandırma İçin Öneriler

- Yüklerin yalnız perdelerle taşındığı sistemlerde perdelerin sık aralıklarla kullanılması yatay ve düşey yüklerin sağlıklı aktarılması ve bu yükler altında döşemelerde zararlı gerilmelerin oluşmaması açısından önemlidir.
- Deprem etkisinde istenen davranışın sağlanması için her iki doğrultuda, perdeler arasında oluşturulacak kirişlerle aks devamlılığı sağlanmalıdır.
- Döşemelerdeki büyük açıklıklarda ve kalıp çıkışlarındaki mesnetlenmemiş döşeme kenarlarında oluşturulacak yatık kirişler sehimlerle oluşacak çatlakları sınırlayacaktır.
- Bu tür sistemlerde perde-döşeme birleşimindeki mesnet donatıları, bu bölgelerde oluşabilecek zımbalama kuvvetleri ve momentleri karşılayabilecek şekilde düzenlenmelidir. Olanaklıysa, perde kesitine dik yerleştirilecek ek kayma donatıları ile bu bölgelerin zımbalama dayanımları arttırılmalıdır.
- Boşluksuz perdelerin tek kritik kesitleri rijit bodrum düzenlenmediği takdirde temel ile birleşim bölgeleri, rijit bodrum katların bulunduğu binalarda zemin kesitleridir. Bu kesitlerde sünek davranışın elde edilmesi için özellikle kesme kuvvetine karşı donatılandırmaya özen gösterilmelidir. Bu kesitlerdeki toptan kaymanın önlenmesi için düşey donatıların düzgün dağıtılması sağlanmalı, beton dökümü ve yerleşimi sırasında agreganın ayrışmamasına özellikle dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Celep Z., Kumbasar N.**, 2000, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul
- [2] **Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee**, 1991, Cast-in-Place Concrete in Tall Building Design and Costruction, Mc Graw-Hill New York, INC
- [3] **Api, S.**, 2005, Tünel Kalıp Kullanılarak inşa Edilecek 14 Katlı Betonarme Binanın Projelendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [4] **Çelebioğlu, M.C.**, 2004, Tünel Kalıp Sistemin Göre Tasarlanan Perdeli Yapılar ve Perdeli Yapıların Farklı Modelleme Yöntemleriyle Çözülmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [5] **Kıncal,T.**, 2006, Tünel Kalıpla inşa Edilen Yapıların Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [6] **Altan, M., Aka, İ.**, 1993, Betonarme Yüksek Yapılar, İ.T.Ü. Yayınları
- [7] **High Performance Buildings Using Tunnel Form Construction**, 2004, www.concretecentre.com, © The Concrete Centre
- [8] **Nasvik, J.**, Copyright©2003, Building With Tunnel, www.outinord-americas.com, Publication #C03J032 Hanley-Wood, LLC.
- [9] **Blakeley**, 1975, Siesmic Shear Loading at Flexural Capacity in Cantilever Wall Structures
- [10] **Şimşek, H.**, 2001. Çok Katlı Yapılarda Tünel Kalıp Uygulaması Ve Bu Yapıların Projelendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [11] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [12] **TS 500**, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
- [13] **TS 498**, 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
- [14] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)**, 2007, Bayındırlık Bakanlığı

ÖZGEÇMİŞ

Necla Nergis BULGU 1984 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Balıkesir/Ayvalık ilçesinde Sakarya İlköğretim Okulu'nda bitirdi. 1994–2001 yılları arasında ortaokul ve lise öğrenimini İstanbul Özel Darüşşafaka Lisesi'nde tamamladı. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2005 yılında bitirdi. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği programına kabul edildi.