

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME YAPILARDA, YATAY YÜKLER ETKİSİ ALTINDA DOLGU
DUVARLARIN TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İHSAN SUCAR

Balıkesir, OCAK – 2008

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME YAPILARDA, YATAY YÜKLER ETKİSİ ALTINDA DOLGU
DUVARLARIN TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İhsan SUCAR

Danışman : Prof . Dr. Şerif SAYLAN

Balıkesir, OCAK - 2008

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME YAPILARDA, YATAY YÜKLER ETKİSİ ALTINDA DOLGU
DUVARLARIN TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İhsan SUCAR

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şerif SAYLAN

Sınav Tarihi: 14.02.2008

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Şerif SAYLAN (Danışman-BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet İREN (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ (BAÜ)

Balıkesir, Mart-2008

ÖZET

BETONARME YAPILARDA YATAY YÜKLER ETKİSİ ALTINDA DOLGU DUVARLARIN TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ

İhsan SUCAR

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

(Yüksek Lisans / Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şerif SAYLAN)

Balıkesir, 2008

Dolgu duvarın kırılma davranışı, rijitliği, dayanımı ve modellenmesi çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmektedir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde yer alan bina performansının doğrusal elastik hesap yöntemleri ile belirlenmesi hakkında bilgiler sunulmaktadır.

4 katlı bir konut binası tasarlanmış ve 1975 Deprem Yönetmeliği'ne (eşdeğer deprem yükü yöntemi ile) göre betonarme olarak boyutlandırılmıştır. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi ile binanın performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Aynı binanın, dolgu duvarları eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenerek doğrusal elastik hesap yöntemi ile performans analizi yapılmıştır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuklarının özellikleri, dolgu duvar yapımında kullanılan malzemelerin mekanik ve geometrik özelliklerine bağlı olarak belirlenmiştir. Dolgu duvarlı performans analizinde, eşdeğer çubukların performansının değerlendirilmesi yapılmayıp, eşdeğer çubukların, kolon ve kiriş elemanlarının performanslarına etkileri araştırılmıştır. Yapılan kabuller doğrultusunda, binada simetrik yerleştirilen dolgu duvarların bina performansını artırdığı ortaya konmuştur. Analiz ve modellemelerin yapılmasında SAP2000 statik analiz programı kullanılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Dolgu duvarlar / Doğrusal elastik hesap yöntemi / Performans analizi / Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu

ABSTRACT

INFILL WALLS IMPACT TO THE STRUCTURAL SYSTEM BEHAVIOURS UNDER THE HORIZONTAL LOADS FOR THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Ihsan SUCAR
Balikesir University, Institute of Science
Civil Engineering Department

(M.Sc / Supervisor: Prof. Dr. Şerif SAYLAN)

Balikesir, 2008

Infill wall's strength, stiffness, resistance and modeling are observed very detailed in scope of the study period. The information is issued how the building performance which is consist in Turkish Earthquake Code (2007), is defined by using linear elastic calculation method.

4 storey residence building generated and dimensioned as a reinforced concrete according to the 1975 Earthquake regulation (by using equivalent earthquake load). Performances of this building have been calculated by using linear elastic calculation method. In the same building, performance analysis has been done by using linear elastic calculation method under acceptance of infill walls as equivalent diagonal stress bar. Characteristics of equivalent diagonal stress bars have been identified according to the mechanical and geometrical characteristics of materials which are used for infill walls production. When the analysis of infill walls performance have been done, evaluation of the equivalent bars performance has not been analyzed, just effect of the equivalent bars to the columns and beams performance has been analyzed. According to the acceptance, it shows that symmetric infill walls which are placed in the building raise the performance of the building. SAP2000 static analyzes software has been used for analyzing and modeling.

KEY WORDS: Infill walls / Linear elastic procedure / Performance analysis
/ Equivalent diagonal stress bar

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET, ANAHTAR KELİMELER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar	2
2. DOLGU DUVARLAR, MODELLENMESİ VE DAVRANIŞ ŞEKİLLERİ	14
2.1 Dolu Paneller	14
2.2 Dolgulu Çerçevesi Değerlendirme Yöntemleri	22
2.2.1 Katı Dolgulu-Panel Bileşenleri	22
2.2.1.1 Rijitlik	22
2.2.1.2 Dayanım	24
2.2.1.3 Dolgulu Panel Bileşenlerinin Deformasyon Kapasitesi	28
3. 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE BİNA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ [1]	29
3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	29
3.1.1 Kesit Hasar Sınırları	29
3.1.2 Kesit Hasar Bölgeleri	30
3.1.3 Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması	30
3.2 Betonarme Binaların Deprem Performansı	31
3.2.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi	31
3.2.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi	31
3.2.3 Göçmenin Öncesi Performans Düzeyi	32
3.2.4 Göçme Performans Düzeyi	33
3.3 2007 Deprem Yönetmeliği'ne Göre Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri	33
3.4 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri ile Belirlenmesi	35
3.4.1 Hesap Yöntemleri	35

3.4.2	Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY) göre Betonarme Binaların Yapı Elamanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi [1]	35
3.4.3	Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	39
4.	SAYISAL UYGULAMALAR	41
4.1	2007 Deprem Yönetmeliğinde Betonarme Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesinde İzlenecek Yol [41]	41
4.2	ÖRNEK ÇALIŞMA – I 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN OLARAK TASARLANMIŞ 4 KATLI KONUT BİNASININ DOĞRUSAL ELASTİK YÖNTEM (EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	47
4.2.1	Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması	49
4.2.2	Taban Kesme Kuvvetinin Katlara Dağıtılması	50
4.2.3	Binanın Düşey Yükler ($G + nQ$) ve Yatay Yükler Altında Analizi	51
4.2.3.1	Kolon – Kiriş Rijitlikleri	51
4.2.4	Kiriş Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesabı (M_k)	53
4.2.4.1	Üst Moment Kapasitelerinin Hesabı	54
4.2.4.2	Alt Moment Kapasitelerinin Hesabı	55
4.2.5	Kolon Eksenel Yüklerinin Hesabı	56
4.2.6	Kiriş ve Kolonların Kesme Kontrolü	62
4.2.7	Birleşim Bölgelerinin Kesme Kontrolü	65
4.2.8	Kiriş ve Kolon Kesitlerinin “Etki/Kapasite Oranları (r)”nın ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)”nin Hesabı	66
4.2.9	Kolon Ve Kiriş Kesitlerinin “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)” ile Karşılaştırılması	72
4.2.10	Bina Deprem Performansının Belirlenmesi	76
4.3	ÖRNEK ÇALIŞMA – II 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN OLARAK TASARLANMIŞ 4 KATLI KONUT BİNASININ (DOLGU DUVARLAR, EŞDEĞER BASINÇ ÇUBUĞU OLARAK MODELLENMİŞTİR) DOĞRUSAL ELASTİK HESAP YÖNTEMİ (EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	78
4.3.1	Dolgu Duvarın Modellenmesi	79
4.3.2	Hesaplarda Kullanılacak Dolgu Duvarın Malzeme Özellikleri ve Boyutları	81
4.3.3	Kiriş Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesabı (M_k)	83
4.3.4	Kolon Eksenel Yüklerinin Hesabı	83
4.3.5	Kiriş ve Kolonların Kesme Kontrolü	88
4.3.6	Kiriş ve Kolon Kesitlerinin “Etki/Kapasite Oranları (r)”nın ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)”nin Hesabı	88
4.3.7	Kolon Ve Kiriş Kesitlerinin “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)” ile Karşılaştırılması	94
4.3.8	Bina Deprem Performansının Belirlenmesi	98

4.4	ÖRNEK ÇALIŞMA – III (YUMUŞAK KAT) 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN OLARAK TASARLANMIŞ 4 KATLI KONUT BİNASININ (DOLGU DUVARLAR, EŞDEĞER BASINÇ ÇUBUĞU OLARAK MODELENMİŞ ve ZEMİN KAT DOLGU DUVARLARI İHMAL EDİLMİŞ) DOĞRUSAL ELASTİK HESAP YÖNTEMİ (EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	99
4.4.1	Hesaplarda Kullanılacak Dolgu Duvarın Malzeme Özellikleri ve Boyutları	100
4.4.2	Kiriş Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesabı (Mk)	101
4.4.3	Kolon Eksenel Yüklerinin Hesabı	101
4.4.4	Kiriş ve Kolonların Kesme Kontrolü	106
4.4.5	Kiriş ve Kolon Kesitlerinin “Etki/Kapasite Oranları (r)”nın ve”Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)”nin Hesabı	106
4.4.6	Kolon Ve Kiriş Kesitlerinin “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)” ile Karşılaştırılması	112
4.4.7	Bina Deprem Performansının Belirlenmesi	116
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	117
6.	KAYNAKÇA	119

SEMBOL LİSTESİ

a	Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun etkili genişliği
h_{col}	Kiriş eksenleri arası kolon yüksekliği, cm
h_{inf}	Dolgu duvar yüksekliği, cm
E_{fe}	Çerçeve malzemesinin Elastisite Modülü, kg/cm ²
E_{me}	Dolgu duvar malzemesinin Elastisite Modülü, kg/cm ²
I_{col}	Kolonun atalet momenti, cm ²
r_{inf}	Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu, cm
t_{inf}	Dolgu duvarın ve eşdeğer çubuğun kalınlığı, cm
θ	Tanjantı dolgu duvar yüksekliğinin uzunluğuna oranı olan açı, radyan
L_{inf}	Dolgu duvarın uzunluğu, cm
τ_0	Derz yatağının yapışma kapasitesi
ϕ	Yatay derz boyunca duvar kayma sürtünme açısı
μ	Yatay derz boyunca, yüzey sürtünme açısı
N	Paneldeki düşey yük
δ	Üst kiriş sehim davranışı sonucu kayma açısı
h	Katlar arası yükseklik (kiriş eksenleri arası)
Δ	Katlar arası rölatif yerdeğiştirme
θ	Katlararası kayma açısı
E_m	Yığma yapılar için Young Modülü
t_{inf}	Dolgu kalınlığı
f'_{me90}	Betonarme olmayan dolgunun yatay yöndeki dayanımı
σ_{cr}	Duvarın çatlamaya karşı dayanım kapasitesi
V_{me}	Duvar derz yatağının kohezyon dayanımı
V_{mi}	Yarı periyodik (tekdüze) yükleme süresince kaybedilen, ulaşılabilen ilk kesme kuvveti kapasitesi
V_{mf}	Periyodik yükleme etkisinden dolayı oluşan son kesme kapasitesi
A_{vh}	Dolgu panelin net yatay kesme alanı

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Merhabi (1996) tarafından, beton dolgulu düktil betonarme çerçeve deneysel olarak incelenmiştir	17
Şekil 2.2	Gergely'in (1994) çalıştığı model olan tuğla dolgulu iki açıklıklı çelik çerçevede gözlenen yatay derz kayması	18
Şekil 2.3	Mander et al.(1993a) tarafından test edilen örnek (Kil blok dolgulu çelik çerçeve). Kolon ve kirişler birleşimleri yarı rijittir	19
Şekil 2.4	Dawe ve Seah (1988) tarafından yapılan deneyde açıklıkların, monotonik artan yatay-yük altında, betonarme olmayan dolgu duvarlı çelik çerçevenin performansına etkileri incelenmiştir	20
Şekil 2.5	Betonarme olmayan dolgu duvarın düzlem dışı kırılmasına örnek bir çalışma (Angel ve Abrams, 1994)	21
Şekil 2.6	Dolgu duvarın eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmesi	23
Şekil 3.1	Yapı elemanlarında kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri	30
Şekil 4.1	Deprem artık kapasite momentlerini dengeleyen kiriş kesme kuvvetleri	42
Şekil 4.2	Kolonların deprem yükleri altındaki aksenal kuvvetlerinin (N_E) hesaplanması	43
Şekil 4.3	Şekil 4.2'de orta kolon aksında yer alan kolonların aksenal kuvvetlerinin hesaplanması	44
Şekil 4.4	Bir birleşime bağlanan kiriş ve kolon uç moment kapasiteleri ve KKO hesaplanması	45
Şekil 4.5	4 Katlı betonarme çerçeve bina plan ve kesiti	47
Şekil 4.6	D Çerçevesi kolon, kiriş elemanlarının adlandırılması	48
Şekil 4.7	4Katlı betonarme bina planı ve rijitliklerin gösterimine esas kolon isimleri	52
Şekil 4.8	1K1 Kirişinin kesit özellikleri ve üst moment kapasitesinin gösterimi	54
Şekil 4.9	1K1 Kirişinin kesit özellikleri ve alt moment kapasitesinin gösterimi	55
Şekil 4.10	ΔM_E Artık moment kapasitesinin hesap gösterimi	57

Şekil 4.11	4 katlı binanın kolonlarının malzeme ve geometrik özellikleri	59
Şekil 4.12	1S1 kolonunun kesit gerilme dağılımı	60
Şekil 4.13	1S1 kolonunun x ve y doğrultuları için etkileşim diyagramı	62
Şekil 4.14	2007 Deprem Yönetmeliği Şekil 3.5, $M_{\bar{u}}$ ve M_a değerlerinin hesaplanması	64
Şekil 4.15	Kirişlerden kesme kuvvetinin aktarılmasının hesabı	65
Şekil 4.16	+X Yönü 1.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	72
Şekil 4.17	+X Yönü 2.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	72
Şekil 4.18	+X Yönü 3.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	73
Şekil 4.19	+X Yönü 4.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	73
Şekil 4.20	+X Yönü 1.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	74
Şekil 4.21	+X Yönü 2.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	74
Şekil 4.22	+X Yönü 3.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	75
Şekil 4.23	+X Yönü 4.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	75
Şekil 4.24	4 Katlı betonarme çerçeve bina plan ve kesiti	78
Şekil 4.25	D Çerçevesi Görünüşü	79
Şekil 4.26	Dolgu duvarın eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmesi	81
Şekil 4.27	ΔM_E Artık moment kapasitesinin hesap gösterimi	84
Şekil 4.28	+X Yönü 1.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	94
Şekil 4.29	+X Yönü 2.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	94
Şekil 4.30	+X Yönü 3.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	95
Şekil 4.31	+X Yönü 4.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	95
Şekil 4.32	+X Yönü 1.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	96
Şekil 4.33	+X Yönü 2.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	96
Şekil 4.34	+X Yönü 3.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	97
Şekil 4.35	+X Yönü 4.Kat Kirişleri $r/r_{sımr}$ değerleri	97
Şekil 4.36	4 Katlı betonarme çerçeve bina plan ve kesiti	99
Şekil 4.37	D Çerçevesi görünüşü ve eleman adlandırması	100
Şekil 4.38	ΔM_E Artık moment kapasitesinin hesap gösterimi	102
Şekil 4.39	+X Yönü 1.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	112
Şekil 4.40	+X Yönü 2.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	112
Şekil 4.41	+X Yönü 3.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	113
Şekil 4.42	+X Yönü 4.Kat Kolonları $r/r_{sımr}$ değerleri	113

Şekil 4.43	+X Yönü 1.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri	114
Şekil 4.44	+X Yönü 2.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri	114
Şekil 4.45	+X Yönü 3.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri	115
Şekil 4.46	+X Yönü 4.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri	115

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>	
Tablo 3.1	Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	34
Tablo 3.2	Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)	38
Tablo 3.3	Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)	38
Tablo 3.4	Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)	39
Tablo 3.5	Güçlendirilmiş dolgu duvarlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s) ve görelî kat ötelemesi oranları	39
Tablo 3.6	Görelî kat ötelemesi sınırları	40
Tablo 4.1	Bina katlarına etkiyen hareketli ve sabit yükler	49
Tablo 4.2	4 Katlı betonarme çerçeve bina kütle özellikleri	50
Tablo 4.3	Taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması	51
Tablo 4.4	Kolon rijitliklerinin belirlenmesi	52
Tablo 4.5	4.Katta Burulma Düzensizliği Kontrolü	53
Tablo 4.6	1K1 Kirişinin Uçlarının Moment Kapasiteleri	53
Tablo 4.7	Kirişlerin örnek hesaplar doğrultusunda hesaplanan moment ve kesme kuvvet değerleri	56
Tablo 4.8	D ve C Aksları Çerçeveleri Kolonları Hesaplanan Eksenel Kuvvetleri	58
Tablo 4.9	Kirişlerde $r/r_{sınır}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler	69
Tablo 4.10	Kolonlarda $r/r_{sınır}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler	70
Tablo 4.11	Güvenlik Sınırını sağlamayan kolon ve kiriş yüzdeleri	76
Tablo 4.12	Görelî Kat Ötemelerinin Kontrolü	77
Tablo 4.13	Dolgu duvar malzemesinin hesaplanan geometrik özellikleri	82
Tablo 4.14	1K1 Kirişinin Uçlarının Moment Kapasitesi	83
Tablo 4.15	Kirişlerin örnek hesaplar doğrultusunda hesaplanan moment ve kesme kuvvet değerleri	85
Tablo 4.16	Diyagonal çubukların +X deprem yüklemesinde oluşan eksenel kuvvetleri ve kolonlara aktarılan normal kuvvet değerleri	86
Tablo 4.17	D ve C Aksları Çerçeveleri Kolonları Hesaplanan Eksenel Kuvvetleri	87
Tablo 4.18	Kirişlerde $r/r_{sınır}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler	91
Tablo 4.19	Kolonlarda $r/r_{sınır}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler	92

Tablo 4.20	Güvenlik Sınırını sağlamayan kolon ve kiriş yüzdeleri	98
Tablo 4.21	Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	98
Tablo 4.22	1K1 Kirişinin Uçlarının Moment Kapasitesi	101
Tablo 4.23	Kirişlerin örnek hesaplar doğrultusunda hesaplanan moment ve kesme kuvvet değerleri	103
Tablo 4.24	Diyagonal çubukların +X deprem yüklemesinde oluşan aksenal kuvvetleri ve kolonlara aktarılan normal kuvvet değerleri	104
Tablo 4.25	D ve C Aksları Çerçveleri Kolonları Hesaplanan Aksenal Kuvvetleri	105
Tablo 4.26	Kirişlerde $r/r_{\text{sınır}}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler	109
Tablo 4.27	Kolonlarda $r/r_{\text{sınır}}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler	110
Tablo 4.28	Güvenlik Sınırını sağlamayan kolon ve kiriş yüzdeleri	116
Tablo 4.29	Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	116

ÖNSÖZ

Son yıllarda ülkemizin büyük bir sorunu olup güncelliğini kaybetmeyen deprem gerçeği gün geçtikçe önemini artırmaktadır. Fay hatları üzerinde bulunan ülkemiz, her an deprem tehdidiyle karşı karşıya olmasına karşın yapı sektöründe gerekli duyarlılık gösterilmemektedir.

Bu gerçeklerden yola çıkarak başladığım bu çalışmada danışmanlığımı yaparak beni yönlendiren Prof. Dr. Şerif SAYLAN'a, yol göstericilikleri ve bana kattıkları çalışma azmiyle bu çalışmanın tamamlanmasına büyük etkileri olan Yrd. Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ, Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER'e ve her daim yardımlarını esirgemeyen Mühendislik Fakültesi öğretim üyelerine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Desteklerini her zaman hissettiğim, her daim yanımda olduklarını bildiğim, sonsuz sabırlarını esirgemeyen, varlıkları ile bana güven, huzur ve mutluluk veren güler yüzlü aileme ve eşime çok teşekkür ederim.

İhsan SUCAR

Balıkesir, 2008

1. GİRİŞ

Binalarda, taşıyıcı sistemi oluşturan kolon, kiriş, perde ve döşemelerin dışında, birbirinden bağımsız yaşam alanları oluşturmak amacıyla, kullanım amacına yönelik, değişik yapı malzemeleriyle oluşturulan, bazen tek parça halinde bazen daha küçük yapı malzemelerinin yapı elemanlarıyla birleştirilmesiyle oluşturulan yapı birimi dolgu duvar olarak nitelendirilmektedir. Dolgu duvarlar kendisini oluşturan yapı malzemesine, oluşturduğu yerin boyutlarına bağlı olarak farklı özelliktedirler. Boyutlar ve yapı malzemesi, genellikle mimari ve mekanik ihtiyaçların göz önünde bulundurulmasıyla belirlenmektedir.

Taşıyıcı sistem davranışını önemli derecede etkileyen dolgu duvarlar Deprem Yönetmeliği'ne (2007) [1] göre betonarme yapı tasarımında, kiriş ve döşemelere düşey yük olarak etkililmekte, rijitlik ve dayanıma olan etkileri göz ardı edilmektedir. Oysa ki geçmişte yapılan çalışmalarda dolgu duvarlarının olumlu veya olumsuz, davranışı, azımsanmayacak oranda değiştirdiği ortaya konmuştur.

Dolgu duvar davranışı, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu, sonlu elemanlar yöntemiyle düzlem plak, harmonik yaylar vb. modelleme yaklaşımlarıyla, sisteme dahil edilmeye çalışılmıştır. Dolgu duvar davranışının, taşıyıcı sisteme etkileriyle ilgili çalışmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde Federal Emergency Management Agency adıyla kurulan araştırma kurulunun hazırladığı, FEMA 307 araştırma raporunun 89. ve 90. sayfaları, Tablo 5.1'de (Tabular bibliography for infilled frames) yapılan araştırma ve incelemeler, araştırmayı yapan, araştırma konusu, başarı durumu gibi detaylarla birlikte kronolojik sırayla verilmiştir [3].

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Son yıllarda yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar sonucunda dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına rijitlik, yük taşıma kapasitesi, süneklik, enerji yutma kapasitesini değiştirerek etkide bulunmaktadır. Bununla birlikte dolgu duvarlar yapının serbest titreşim özelliklerinin de değiştirmektedir. Dolgu duvarlar bir yandan yapı kütesinin artmasını sağlarken, diğer yandan doğal titreşim periyotlarının küçülmesini sağlamaktadır.

Deprem etkisinde kalan yapı, başlangıçta bütün elemanları ile (toplam kütesi, toplam yatay rijitliği ile). Bu taşıyıcı sistemin ve duvarların oluşturdukları yatay rijitlikler esas olmak üzere dağılan yatay yükler süneklikleri farklı olan, fakat başlangıçta beraber çalışan betonarme çerçeve ile dolgu duvarları tarafından birlikte karşılanır. Ancak depremin başlangıcından bir süre sonra gevrek olan dolgu duvarlarının çatlayarak devreden çıkması olasılığı yüksektir. Bu aşamadan sonra çıplak çerçeve depreme karşı koyacak, dolgu duvarlarının etkisi ise sadece kütle yönünden sürecektir [37].

Bu çalışmada binalarda, dolgu duvar yerleşiminin deprem etkisi altında taşıyıcı sistem davranışını ne derecede etkilediğini ortaya koymak amaçlanmıştır. Ele alınan konuların ışığında 4 katlı betonarme bir bina tasarlanmış ve 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmıştır. Dolgu duvarın kiriş ve kolon elemanlarını etkilemediği ve etkilediği durumlar için bina performansları doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Dolgu duvarın modellenmesi ve kesit tesirlerinin hesabı SAP2000 programı ile yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda bina performansları arasındaki farklar karşılaştırılmıştır.

1.2 Konu İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Benjamin ve Williams (1957), dolgu olarak betonarme malzeme kullanarak hazırlanmış oldukları 1/3 ve 1/8 ölçekte tek katlı ve tek açıklıklı düzlemsel betonarme çerçeve sistemlerin yatay yükler altındaki kırılma davranışlarını deneysel olarak

incelemişlerdir. İncelemelerde, malzeme özellikleri, dolgu kalınlığı ve donatısı, çekme ve basınç kolonlarının kesit alanları ve donatıları, yükleme koşulları gibi değişkenlerin, dolgulu çerçeve sistemin kırılma yükü ve kırılmadan önceki davranışı üzerindeki etkilerini belirleyen yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Yükleme ile yer ve boy değiştirmeler arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerde, dolgunun davranışını elastik bölge, çatlama bölgesi, kırılma öncesi bölgesi olarak üç bölgede değerlendirmişler, bu bölgeler için elde ettikleri yük-yerdeğiştirme eğrilerinin yaklaşık olarak üç doğru çizgi ile ifade edilebileceğini ortaya koymuşlardır [11].

Brayn Stafford Smith (1962), dolgu duvarını, eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modelleyerek bu konuyu detaylı olarak araştırmıştır. Dolgu duvarlı sistemlerin yatay yükler altındaki davranışını tespit etmek için hem analitik hem deneysel çalışmalar yapmıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin, rijitlik ve dayanımının sadece fiziksel özelliklere ve boyutlara değil ayrıca dolgu ve dolguyu çevreleyen çerçeve ile olan temas yüzeyine bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Temas uzunluğunun dolgu ve çerçevenin bağlı rijitlikleri ile değiştiğini belirterek dolgu duvar davranışını belirleyen görelî rijitlik parametresini tanımlamıştır. Basınç çubuğu genişliğinin çerçeve boyutlarının değişik (yükseklik / açıklık) oranlarına göre diyagonal uzunluğunu 1/4 ile 1/11 arasında değiştiği sonucuna ulaşmıştır[12].

Gülkan ve Wasti (1993) çalışmalarında, tek açıklıklı ve tek katlı bir çerçeve ele almışlardır. Çerçeve, elastik kolon-kiriş elemanları ile dolgu ise lineer olmayan iki boyutlu izoparametrik elemanlar ile modellenmiştir. Farklı yüksekliklerde olabilen dolgu malzemesinin Mohr-Coulomb kırılma kriterine göre davrandığı kabul edilmektedir. Çerçeve rijitliğini belirleyen kuvvet-deplasman ilişkisi, artan yanal yük altında incelenmiştir. Varılan sonuçlar; dolgu duvarın, çerçeve davranışını, kolon boyunun üçte birinden fazla olduğu zaman etkilemeye başladığını göstermektedir. Kolon kesme kuvveti, sadece çerçevenin göz önüne alındığı hesaplarda verilen değere göre 4-5 katı artabilmektedir. Tamamıyla dolu çerçevenin davranışı ise, kısmen dolgulu çerçeveninkinden temel farklılıklar göstermektedir [13].

Ersoy ve arkadaşları (1989) tarafından yapılan çalışmanın temel amacı, dolgu duvarlar yardımıyla güçlendirme yönteminin deprem etkisi altında ne denli etkili olduğunun araştırılmasıdır. Araştırmada 1/3 ölçekte modellenen iki katlı, tek açıklıklı 14 dolgulu çerçeve (betonarme çerçeve, yerinde dökülmüş dolgu duvar) depremi benzeştiren, tersinen ve tekrarlanan yatay yük altında test edilmiştir.

Bu deneysel çalışmada incelenen ana değişken dolgu duvardaki donatı düzeni ve dolgu duvarla çerçeve bağlantısı olmuştur. Bu amaçla dört değişik donatı düzeni ve bağlantı detayı test edilmiştir. Deneylerde ayrıca aksel yük ve çerçeve kolonlarının eğilme kapasitelerinin dayanım, rijitlik ve süreklilik üzerindeki etkileri araştırılmıştır [14].

Şenel'in (2001) çalışmasında, Tünel kalıp perde duvar modellerinin deprem davranışının araştırılması için bir dizi deney yapmıştır.

Perde duvar numuneleri hazırlanırken sargı ve gövde bölgelerinde kullanılan boyuna donatı miktarları ve yerleşimleri değişken olarak alınmıştır. Numuneler sünek davranış sergileyecek şekilde tasarlanmış ve hepsinde denge altı donatı kullanılmıştır. Hazırlanan 12 adet deney numunesi tersinir yükler altında salt eğilme etkilerine maruz kalacak şekilde yüklenerek denenmişlerdir. Elemanların yüklenmesi işlemine yük-yer değiştirme ilişkisi yataylaşana kadar devam edilmiştir.

Deneylerin sonucunda boyuna donatı miktarında sağlanan artış, yük taşıma kapasitesinde sağlanan artıştan daha yüksek oranlarda süneklik kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca yük taşıma kapasitesindeki artış, donatı miktarında sağlanan artışın gerisinde kalmaktadır [15].

Karadoğan ve Yüksel (2001), yaklaşık 1/2 ölçeğiyle bir açıklıklı ve tek katlı çıplak çerçeve numuneleri üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Bu numune, karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılmış standart numunedir. Kolon-kiriş birleşim bölgesi ve döşemenin de genel davranışa katkısını, gerçeğe yaklaştırabilmek amacıyla çerçeve düzlemine dik kirişlerden ve döşemeden belirli bölümler bu numuneye katılmıştır.

Deneysel çalışma kapsamında; çıplak çerçeveler, değişik türde bölme duvarlı çerçeveler, çevresiyle bütünleşik bölme duvarlı çerçeveler yatay yük taşıyabilmeleri, süneklilikleri ve göçme biçimlerinin gözlenebilmesi gibi amaçlarla denenmiştir.

Çalışma sonunda, yapıların, depremin başlangıcında hesaba esas alınan deprem yüklerinden daha büyüğünün etkisinde kaldığı, bölme duvarların etkisi göz ardı edildiğinde, yapı davranışının gerçeğe yakın olmadığı ve ayrıca bölme duvarların güçlendirme amacıyla kullanılabileceği ortaya konmuştur [16].

Bağcı (2003) çalışmasında, dolgu duvarlı düzlemsel betonarme çerçevelerin monotonik artan statik yatay yükler altında malzeme bakımından non-lineer analizini amaçlayarak, betonarme çerçevelerin dolgu elemanlarında yük artışına bağlı olarak meydana gelen, malzeme non-lineeritesi, kırılma ve çatlama durumlarını göz önünde bulunduran Sonlu Elemanlar Yöntemine dayalı nümerik bir çözüm yöntemi önermiş ve dolgulu betonarme düzlem çerçeve sistemin rijitliklerini, bu nümerik modele dayalı olarak belirleyen ve düğüm noktalarında deplasmanlar ile iç kuvvet ve gerilmeleri hesaplayabilen MATLAB yazılımını kullanarak genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirmiştir.

Önerilen sonlu elemanlar modellemesinde betonarme eleman, uç noktalarında yatay ve düşey ötelenme ile dönme serbestliğinin bulunduğu çubuk elemanlar şeklinde ele alınmıştır. Dolgu ve harçlar, kenar noktaları düşey ve yatay ötelenme serbestliğine sahip düzlem gerilme elemanları olarak düşünülmüş, dolgu ve çerçeve arasındaki süreklilik ara yüzey elemanlarıyla sağlanmıştır. Ayrıca önerilen dolgulu betonarme çerçeve sistem ile basınç diyagonal genişliğinin alabileceği değerler araştırılmıştır [17].

Karaduman (2005), dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışları üzerine deneysel bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada, değişik boyutlarda 7 adet çelik çerçeve sistemi denenmiştir. Çelik çerçeve sistemi tek gözlü, tek açıklıklı olup duvar numuneleri gaz beton yapı taşlarıyla oluşturulmuştur. Çelik çerçevenin açıklık/yükseklik oranı ($L/H=0.9, 1.2, 1.4$) muhtelif oranlarda seçilmiştir.

Çelik çerçeveler dolgusuz, gaz beton duvar dolgulu ve gaz beton duvar+sıva dolgulu olarak test edilmiştir. Deney numunelerine yatay yönde yük uygulanarak numuneler üzerinde meydana gelen yatay yer değiştirmeler, çatlama, göçme biçimleri ve süneklik araştırılmıştır [18].

Sucuoğlu (2003) çalışmasında, bina güvenliğinin saptanması için yapılmış ve geliştirilme aşamasında olan Eleman Esaslı Yöntem, gerek diğer ülkelerde gerekse ülkemizde kullanıla gelen kapsamlı değerlendirme yöntemlerinden (FEMA 310, FEMA 273[6], Japon İndeks Yöntemi) çok farklı bir yaklaşım ortaya koymuştur. Öncelikle eleman hasarının deprem kuvveti sonucu ortaya çıkan yatay ötelenme oranına bağlı olarak ifade edilmesini öngörmektedir.

Bu amaçla, betonarme çerçeve sistemlerin deprem dayanımını sağlayan kolon, kiriş, perde duvar ve boşluklu dolgu duvar elemanları detaylı olarak inceleyip, elemanların deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen veriler ışığında hasar fonksiyonları geliştirilir. Bu çerçevede yürütülen çalışmalar sonucunda kolon ve dolgu duvarlar için hasar eğrileri elde edilmiştir. Dolgu duvarların etkisini dikkate alırken yanal öteleme oranına bağlı bir hasar eğrisi geliştirilmiştir.

Genellikle eşdeğer çapraz basınç elemanları olarak modellenerek hesaba katılan dolgu duvarların modellenmesinde, çapraz eleman özellikleri için Smith modeli [12] kullanılmıştır. Duvarların elastisite modülü, dolgu malzemesinin basınç dayanımı, dolgu duvar panelinin boyutları, duvarı çevreleyen kolonların beton dayanımı ve eğilme rijitliği, dolgu duvar dayanımını etkileyen başlıca parametreler olarak bu modellerde hesaba katılmıştır.

Dolgu duvarlar ani göçmeler gösteren kırılmalı elemanlar olduklarından, hasar genellikle duvarın çatlama dayanımı aşıldığında ortaya çıkıp hızlıca ağır hasara doğru ilerlemekte olduğu dolayısıyla, çatlama dayanımına ulaşılan ötelenme sınırı ağır hasarın başlangıcı olarak düşünülmüştür. Buna nedenlendirilerek dolgu duvar fonksiyonu çok dik bir geçiş bölgesine sahip olduğu dolgu Duvar Hasar eğrisiyle gösterilmiştir [19].

İrtem, Türker ve Hasgöl, (2004), Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış betonarme yapıların performansını değerlendirdikleri çalışmalarında dolgulu ve dolgusuz olmak üzere 3 katlı iki betonarme binanın, lineer olmayan statik analiz yöntemleri [Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY)]'ni kullanarak performans düzeylerini belirlemişler, binaların performans değerlendirmelerini yaparken FEMA 356 [7] ve ATC 40'daki [5] kriterlerden yararlanmışlardır.

Kirişlerde plastikleşmenin tek eksenli eğilme momenti ile, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile meydana geldiği kabul edilmiştir. Dolgu duvarlar boşluksuz, basınç kırılması davranışı gösteren, iki ucu mafsallı çubuk elemanlarla temsil edilmiştir. Taşıyıcı sistemde duvarların göz önüne alınması ile yapı davranışının değiştiği ve yapı performansının önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Ayrıca performans düzeyleri lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden KSY ve DKY için ayrı ayrı elde edilerek bu iki yöntemin birbirleriyle kıyaslaması yapılmıştır [20].

Karaziyan (2006), yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performans seviyelerinin belirlenmesinde kullanılan, FEMA 356'da [7] yer alan Deplasman Katsayıları Yöntemi ve ATC 40'da [5] yer alan Kapasite Spektrumu Yöntemini incelemiştir.

Bu amaçla, deprem performansını belirlemek amacıyla, 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış sekiz katlı betonarme perde sitemli bir yapı üzerinde çalışmıştır. 1975 Deprem Yönetmeliğine göre Z1 zeminde tasarlanmış yapının deprem performansı, FEMA 356'da yer alan DKY ve ATC 40'da yer alan KSY ile performans seviyesi belirlenmiştir.

Ayrıca mevcut yapının, Z4 zemin sınıfı üzerinde yapıldığı varsayılarak yapının performansı belirlenmiştir. Yanlış zemine göre tasarlanmış yapının performansı ile ilgili sonuç ve yorumlar grafik ve tablolar şeklinde verilmiştir [21].

Bayülke ve arkadaşları (2003), yapıların artan tek yönlü yanal yükler altındaki yatay yük ötelenme ilişkisinin çıkarılmasında kullanılan doğrusal olmayan itme analizi, değişik tarihlerde yapılmış ve deprem hasarı görmüş ve görmemiş üç betonarme yapıya; yapıların yatay yük ötelenme ilişkisini belirlemek; yapıların yatay yük düzeyine katkısı olan faktörlerin, dolgu duvarlar, yatay yük etki biçimi ve mafsallaşma özelliklerinin etkilerini incelemek; yapıların deprem hasarı ile itme analizinden bulunan yatay yük dayanım düzeylerini karşılaştırarak hasar ve yıkılma nedenlerini açıklamak; yapının limit yatay yük ile elastik ivme spektrumundan hesaplanan yatay düzeyi karşılaştırılarak olası R katsayısını analitik olarak belirlemek amacıyla uygulanmıştır [22].

Tankut ve Karabay (1989), tipik bir betonarme çerçevede dolgu duvarının davranış ve deprem dayanımı üzerindeki etkileri, Smith-Carter yönteminin geliştirilmiş bir biçimi ile sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada katsayısı, açıklık sayısı, kolon boyut değişimi ve dolgu duvarı düzenlemesi gibi değişkenler ele alınmıştır. Dolgu duvarlar, düzenli yerleştirildiğinde yapının deprem dayanımını genellikle artırdığı, bununla birlikte, dolgu duvarının bazı durumlarda yapı genel dayanımında önemli azalmalara neden olabildiği ortaya konmuştur [23].

Düzgün, Orbay ve Ertutar'ın (1989) çalışmasında, farklı yüklemeler altındaki dolgu duvarlı düzlemsel çerçeve sistemler Sonlu Elemanlar Yöntemi'ne dayalı bir yaklaşımla incelenmiş ve hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla dolgu duvarın değişik konum ve parametrik özelliklerinin çerçeve sistemin davranışı üzerindeki etkileri analitik olarak araştırılmıştır [24].

Alemdar (2004), mevcut betonarme bir binanın, belirli deprem kayıtlarına göre lineer dinamik, lineer olmayan statik ve lineer olmayan dinamik deprem analiz metotları ile analizini yapmıştır.

Bu çalışmada, binaların gerçekte lineer davranmadıkları göz önüne alınarak lineer olmayan dinamik analiz (lineer olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi) sonuçları esas alınmıştır. Yapılan analizlerde Kocaeli-Ambarlı (1999), Düzce (1999), Northridge (1994) ve Kobe (1995) depremlerinin ivme kayıtları kullanılmıştır.

Analizler sonucunda, binaya etkiyen taban kesme kuvveti ve görelî kat ötelemeleri, tüm deprem kayıtları için hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Tüm bu sonuçlardan her bir deprem kaydının kendi özelliklerini yansıttığı sonucuna varılmıştır [27].

Gülkan ve Sözen (1997) tarafından yapılan araştırmada, yapıların deprem hesabında, boyutlandırma kapasite sağlanmasına yönelik alışılmış yaklaşımlara ek olarak kat arası veya en üst katın yer değıştirmelerinin sınırlandırılmasına yönelik kriterlerin uygulamaya konulabileceğı ifade edilmiştir. Kayma kirişî olarak idealize edilen çerçevelerde yakın mesafede meydana gelen yer hareketlerinden dolayı gerçekleşen görelî kat arası deplasman talebi ele alınmıştır. Tasarım spektrumuna ilave olarak bir de kat arası ötelenme spektrumu kavramı tarif edilmektedir. Yatay yüklere duvarlar yardımıyla karşı koyan sistemlerde düktilite limitlerine bağılı olarak bulunması gereken duvar yüzdeleri için ifadeler çıkarılmaktadır [28].

Budak (1999) çalışmasında, dolgu duvarların yapı üzerindeki etkilerini, deneysel ve analitik araştırmalar sonucunda ortaya konan çalışmalardan örnekler alarak araştırmış ve bu etkileri göz önüne alarak Afet Yönetmeliğı ile ilgisini kurmaktadır. Böylece Afet Yönetmeliğı kurallarının uygulanması sırasında, dolgu duvarların etkilerine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır [29].

Günay ve Sucuoğılu (2003), bina güvenliğinin saptanması için geliştirdikleri 15 aşamadan oluşan kapasite ve kuvvet esaslı bir değıerlendirme yöntemi önermiştir. Önerilen yöntem iki ve üç boyutlu modelleme için geçerlidir. Kiriş ve kolonlar, sabit kesitli, kütsüz elemanlar olarak modellenmektedir. Bu yöntemde göre perde duvarlar, kat seviyelerinde sonsuz rijit kırışlere bağılanan, perde duvar kesit özelliklerine sahip kolon elemanlarıyla temsil edilmektedir. Betonun deprem hareketi sırasında çatlayacağı düşünülerek çatlamış kesit özellikleri kullanılmıştır. Tuğla dolgu duvarlar sadece aksel kuvvet aktaran çapraz elemanlar olarak modellenir. Bu modellerin aksel çekme durumunda rijitlikleri yoktur. Buna göre, yatay kuvvetin yönüyle uygun olarak aksel basınç altında kalacak elemanlar modele katılacak, aksel çekme durumundaki elemanlar modele katılmayacaktır. Döşemenin kendi düzlemi doğrultusundaki diyafram rijitliğı göz önüne alınarak

bütün çerçeveler birbirine sonsuz rijitlikteki çubuklarla bağlanmaktadır. Temellerin sonsuz rijit olduğu kabul edilmektedir [30, 31].

Hasgül (2004) çalışmasında, TS 500 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre boyutlandırılmış betonarme binaların farklı deprem seviyeleri için performans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla farklı özelliklerdeki üç betonarme bina incelemiştir. Ayrıca dolgu duvarının bina davranışına ve performans düzeyine etkisinin belirlenmesi amacıyla, dolgu duvarlı bina performanslarının belirlenmesinde malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teorinin kullanıldığı statik itme analizini (pushover analiz) esas alan lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum ve Deplasman Katsayıları Yöntemlerinden yararlanmıştır. İncelenen binalar için TDY’nde öngörülen performans hedeflerinin önemli ölçüde sağlandığını tespit etmiştir [32].

Çağlayan’ın (2006) çalışmasında, Sonlu Elemanlar Programı ile dolgulu çerçevelerin doğrusal olmayan çözümü gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı sistemi oluşturan betonarme elemanları çubuklar ile dolgu elemanlar diyagonal basınç çubukları ile modellenmiştir. Eşdeğer diyagonal basınç çubukları genişlikleri kısmi dolgu duvarlı çerçeveleri de kapsayacak şekilde verilmiştir. Betonarme elemanların mafsallaşmalarında kirişlerde moment ve kesme etkileri, kolonlarda aksel yük, moment ve kesme etkileri, dolgularda da sadece aksel yük etkileri dikkate alınmıştır. Kirişlerin taşıma kapasiteleri ve kolonların karşılıklı etki diyagramları elemanların geometrik ve malzeme özelliklerine göre belirlenmiştir. Önerilen yöntem ile çeşitli dolgu düzensizlikleri içeren dört katlı düzlemsel betonarme çerçevede kapasite analiziyle yapılan dayanım ve rijitlik değişimi araştırılmıştır [33].

Karlıoğlu (2005), dolgu duvarların, deprem yüklemesi altındaki binanın davranışına olan etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 2 bodrum katı, 1 zemin katı, 1 asma katı ve 10 normal katı bulunan binanın çerçeve sistemi SAP2000 programında 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız modellerin dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarlar, kütleli yapısal elemanlar olarak modellenmiştir. Bu çalışmada dolgu duvarın deprem yükleri altındaki bina davranışına, örneğin; periyot, yatay deplasman, taban kesme kuvveti ve yumuşak-kat

oluşumuna olan etkileri incelenmiştir. Sonuçta, dolgu duvarların yapıya eklenmesiyle; periyot, yatay deplasman, taban kesme kuvveti, yumuşak-kat oluşumunda farklılıklar olduğu görülmüştür [34].

Dündar (2006) çalışmasında, bölme duvarların betonarme yapıların deprem davranışına etkilerini irdelemiş ve ilk olarak düzlem çerçeve modeller oluşturmuştur. Bölme duvarlar için sonlu elemanlar ve çoklu payandalı modeller kullanarak SAP2000 Yapı Analiz Programı ile analiz yapmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Bölme duvarları için en uygun modelleme yönteminin belirlendikten sonra, 2 ve 7 katlı bölme duvarlı ve duvarsız yapıların belirlenen deprem yüklerine göre analizlerini yapmış ve ACI 318-99 Betonarme Tasarım Yönetmeliğine göre yapıları boyutlandırarak sonuçları karşılaştırmıştır [35].

Tarakçı (2006) tarafından yapılan araştırmada, mevcut bir yapı (bir hastane binası) yerinde tespitlerle ve 1966 yılında yapılan projesi yardımıyla ele alınmıştır. Kolon ve kirişlerdeki donatı tespiti ile gerekli plastik mafsallar oluşturulmuş, duvarlar ise yönetmelikte yer alan koşullara göre çapraz elemanlar olarak modellenmiş ve dayanımlarına göre eksenel yük mafsalları atanmıştır. Hasır donatılı beton tabakası ile güçlendirilmiş duvarlarda da yine yönetmelik koşulları baz alınarak, beton tabakası ve donatının dayanma katkısı değerlendirilmiştir.

Sistem yalnız çerçeve, normal duvarlı çerçeve ve güçlendirilmiş duvarlı çerçeve gibi birden fazla şekilde doğrusal ötesi modellenerek, duvarların ve güçlendirme duvarlarının sisteme katkısı belirlenmiştir. Normal duvarların 4 kata, güçlendirme duvarlarının ise 6 kata yakın rijitlikte artışa neden oldukları, yanal deplasman kapasitelerinde ise 2.5-3 kata varan artışlara yol açtıkları tespit edilmiştir [36].

Kızıloğlu (2006) çalışmasında, 12 katlı bir betonarme çerçeve binayı çıplak çerçeve, sıvasız dolgu duvarlı çerçeve ve sıvalı dolgu duvarlı çerçeve olarak modellemiş ve analizini yapmıştır. Analizi doğrusal olmayan statik analiz çözümleme yöntemleri (statik itme analizi) ile yapmıştır. Dolgu duvarı ise eşdeğer çapraz çubuk olarak modellemiştir [37].

Özdoğu (2006) tarafından yapılan çalışmada, toplam 10 kat olmak üzere, zemin kat yükseklikleri farklı 3 tip çerçeve ve her farklı çerçeve tipinde 4 farklı duvar modelleriyle, toplam 12 adet çerçeve sistemin zaman tanım alanında dinamik analizleri SAP2000 programıyla yapılmıştır. Yapı modellerinin gerilme dağılımları ile yer değiştirmeleri, grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir [38].

Korkmaz ve Uçar (2006) tarafından yapılan araştırmada, çerçeve ve dolgu duvarların mevcut olduğu betonarme yapıların deprem davranışındaki değişiklikler araştırılmıştır. Bu amaçla, sadece çerçeve sistemin olduğu ve dolgu duvarların yapının tüm katlarında bulunduğu düzenli yapıların analizleri yapılarak deprem davranışına etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Elastik ötesi statik itme analizi yapılarak yapıların kapasite eğrileri, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, katlardaki maksimum plastik dönmeler ve plastikleşen kesitlerin sistemdeki dağılımları belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre yapıların deprem davranışlarındaki değişiklikler yorumlanmıştır [39].

Eurocode8 (2004), binaların onarım ve güçlendirilmesi bölümünde mevcut yapı periyodu olarak ölçümle bulunan değerlerin kullanılabilceği yapı bölme duvarlarının yalnız kütleleriyle değil yatay rijitlikleriyle de göz önüne alınabileceği ifade edilmektedir [9].

Mostafaei ve Kabeyasawa (2004) çalışmalarında, 2003 yılında İran'ın Bam kentinde ki depremde hasar görmüş, simetrik olmayan betonarme çerçeveye sahip Telekom Binasını incelemişlerdir. Binanın taşıyıcı sisteminde, bu depremden dolayı, ne çatlak ne de başka bir hasar izlenmemiştir. Bundan yola çıkarak bina, betonarme olmayan dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak düşünülerek bunlarla ilgili yaklaşımlar geliştirilmiştir. Dolgu duvarlar yatay, düşey ve çapraz yaylar olarak modellenmiş ve eşdeğer diyagonal çubuk modeli ile kıyaslanmıştır. Çalışmada, zaman tanım alanı yöntemi ile 3-boyutlu lineer olmayan analiz yapılmıştır [40].

Aydinoğlu, Özer ve Sucuoğlu (2006) çalışmalarında, 2006 Deprem Yönetmeliği'ni uygulamalı çözümlerle destekleyerek anlatmışlardır. Özellikle, 2006 Deprem Yönetmeliği'ne yeni eklenen bölümlerle ilgili örnek çözümler sunarak

konuların daha anlaşılır hale gelmesini sağlamışlardır. Çelik ve betonarme yapı sistemlerinin Deprem Yönetmeliği'ne uygun tasarımı, betonarme bina performansının doğrusal elastik hesap yöntemi ile belirlenmesi ve artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi yapılarak belirlenmesi konuları kaynak içerisinde sunulmuştur [41].

2. DOLGU DUVARLAR, MODELLENMESİ VE DAVRANIŞ ŞEKİLLERİ

Dolgu duvarlarla ilgili geçmişte çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların FEMA 307 Bölüm 8’de ayrıntılı bir şekilde tablo halinde verilmiştir. Bu tabloda çalışmanın kim tarafından, hangi yılda yapıldığı, kapsamı ve başarısı konusunda detaylı bilgiler bulunmaktadır. Dolgu duvarlar ve dolgu duvarların davranış şekilleri hakkında, FEMA 306, 307 ve 308 de detaylı şekilde anlatıldığı gibi bu bölümde de bu konular hakkında bilgiler verilmektedir. Özellikle dolgu duvarının hareket biçimleri, davranış şekli, modellenmesi, kırılma biçimleri konularından bahsedilmiş ve daha önceden yapılmış çalışmalardan örnekler alınarak konu açıklanmaya çalışılmıştır [2–4].

2.1 Dolu Paneller

Dolgu bileşenlerinin rijitliği kontrol ettiğinde kuvvet deformasyon grafiğinin şeklini belirleyen durumlar, çapraz gerilme, köşe ezilmesi, genel kesme kırılması ve düzlem dışı kırılmalardır. Küçük deformasyonlar altında rijitlik ve davranış, panel sağlamlık karakteristikleri tarafından belirlenir. Deformasyonlar arttığında panel karakteristikleri kendini oluşturan parçaların özelliklerinin bir fonksiyonu olurlar. Dolgu duvar parçaları, birleştirme harcından kuvvetli olduğu durumda, çapraz basınç duvar tuğlaları yatay ve düşey birleşimleri boyunca merdiven şeklinde çatlaklar oluşturur. Birleştirme harcının, dolgu duvar parçalarından (nadir görülen bir durumdur) güçlü olduğu zaman, çatlaklar, ana kuvvet yönünde, normal düz bir çizgi halinde oluşurlar. Basamaklı çatlakların oluşmasıyla, bir basınç destek elemanı olarak nitelendirilen yatay derzlerde, basınç gerilmesinin oluşmasıyla, çatlamalardan sonra kaymaya karşı dayanım devam edebilir. Eğer duvar elemanları arasındaki birleştirme harcı zayıf ise çatlaklar basamak şeklinde değil yatay birleşimler boyunca oluşur. Bu durumda yatay çatlaklar çerçeve şeklinden sapsmalara yol açarak birim

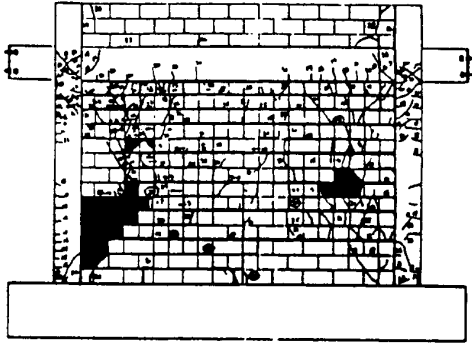
kaymaların bir araya gelmesiyle birçok yatay derz boyunca oluşabilir. Deformasyona yön veren davranışı çerçeve gösterdiği için bu çatlama şekli, daha az kesme kuvvetleri ile oluşabilmesine rağmen, genelde çerçeve – dolgu sistemi daha büyük elastik olmayan deformasyon kapasitesine sahip olacaktır. Dolgular deformasyon durumlarında yeteri kadar güçlü olurlarsa, basınç kuvveti köşelerde ezmeye neden olmaz. Bu durum en güçlü ve rijit durumdur, fakat sınırlı deformasyon kapasitesine sahiptir. Çünkü ezilme aniden oluşur. Buna ilaveten bu durumda oluşan büyük kuvvetler, kolon ve kiriş elemanlarına dağılır ve kolon veya kiriş deformasyona uğrayabilir. Dolgu duvarda, kendisini oluşturan elemanların hareketleriyle meydana gelecek hasarlar 4 ana davranış durumu ile gösterilebilir. Beklenen hasar karakteristikleri ve oluşabilecek durumlar aşağıda belirtilmiştir [2].

a) Yatay Birleşim Kayması: Bu davranış biçimi genel olarak diğer davranış biçimlerinin bir arada meydana geldiği durumlarda oluşur. Yatay birleşim kaymasının, ana çerçevenin güçlü ve esnek olduğu durumlarda oluşması muhtemeldir (çelik çerçevelerde olduğu gibi). Özellikle tuğla gibi birleşik dolgu sistemlerde, birleştirme harç yüzeyleri zayıf ise, zayıf yüzey dolgunun orta bölgelerinde oluşur. Hasar, minimum ezilme şeklindedir. Gerçekte bu davranış şeklini kurtarabilecek hiç bir limit söz konusu değildir. Bu yüzden enerji devamlı olarak Coulomb sürtünmesi ile dağılır.

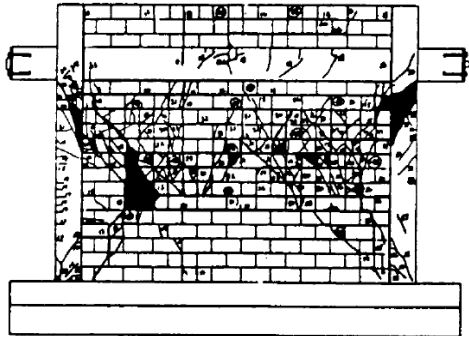
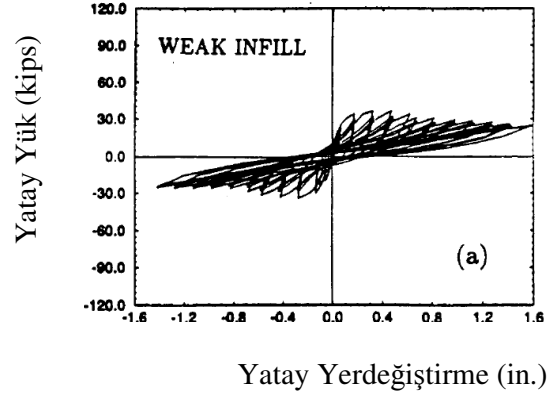
b) Çapraz Kırılma: Yatay düzlem içi yüklemeler altındaki bir dolgu çerçeve sistemde yüksek basınç gerilmeleri dolguda çapraz boyunca oluşur. Çaprazlama olan bu gibi başlıca gerilme ve şekil değiştirmeleri, basınç şekil değiştirmeleridir. Basınç şekil değiştirmeleri, dolgu panel malzemelerinde, kırılma şekil değiştirmelerinden fazla olduğu zaman, çapraz kırılma oluşur. Bu tip kırılmalar dolgunun ortasından başlar ve sıkıştıma yönleri boyunca devam eder. Bu hareket yüzey içinde artığında, çapraz kırılmalar bir köşeden çapraz yönde ki diğer köşeye kadar uzayarak yayılır. Bu yaygın kırılma şekli, yanal yüklere maruz, çoğu dolgu panellerde olduğu çok açıktır ve bazen yatay birleşim kaymasıyla oluşur. Çapraz kırılma durumu genellikle, yeni bir çapraz destek hareket durumunun habercisidir.

c) Köşe Sıkışması: Dolgu çerçevelerde yatay yükler altında, bazı köşe sıkışma halleri kaçınılmaz surette oluşur. Bu durum, sıkışma çaprazlarının her bir köşesinde gerilme yoğunlaşmasından dolayıdır. Yüksek dayanımlı/rijit kolon ve kirişlerde, köşe ezilmeleri küçük bölgelerde oluşur. Özellikle beton çerçevelerde, çerçeve zayıf ise, köşe ezilmesi daha fazla oluşur, bu karkas çerçevenin kendisine de zarar verir. Bu durumun oluşmasına rağmen, bu çok zayıf bir kırılma şeklidir. Bu hareket yüzey içinde artığında, çapraz kırılmalar fark edilebilir seviyeye gelir ve köşedeki tüm duvar ünitelerinin düşmesine kadar varabilir. Bu durum oluştuğunda, kırılmalar kirişlerin ve/veya kolonların merkezine doğru ilerler.

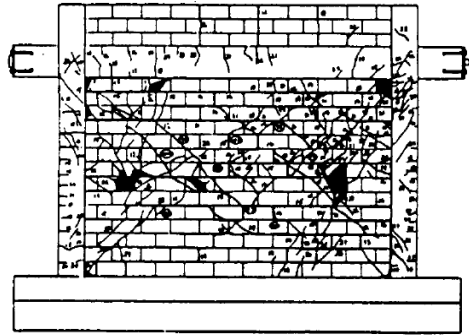
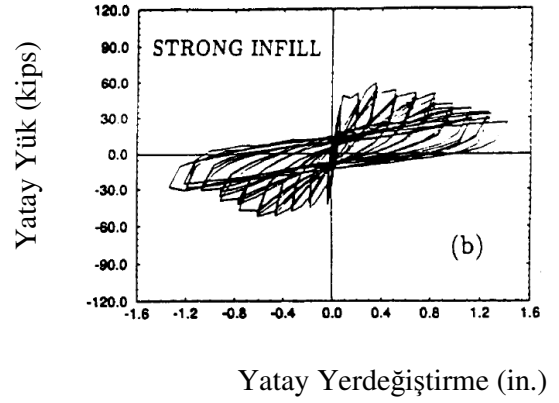
d) Düzlem Dışı Kırılma: Deprem hareketinin bir duvar düzlemine transferi, düzlem dışı kırılma davranış şeklini oluşturabilir. Hava yastıklarının kullanıldığı deneyler (Abrams, 1994), sarsma tablası çalışmaları (Mander et al., 1994) göstermiştir ki, dolgu paneli, yüksekliğin kalınlığa oranı, sarsmanın büyüklüğü, dolgunun kırılma sebebini belirleyen etkenlerdir. Şekil 2.1’de bu çalışmalardan elde edilen sonuç grafikleri görülmektedir.



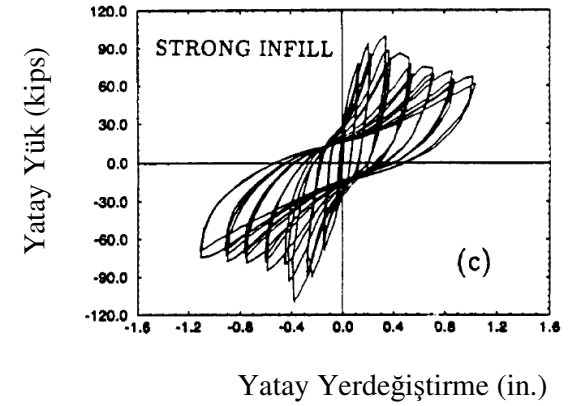
(a)



(b)



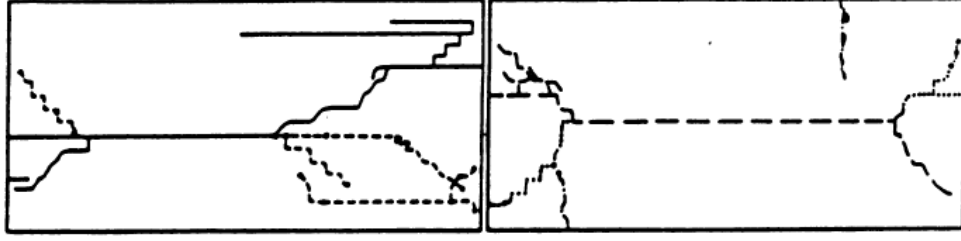
(c)



Şekil 2.1 Merhabi (1996) tarafından, beton dolgulu düktil betonarme çerçeve deneysel olarak incelenmiştir [2].

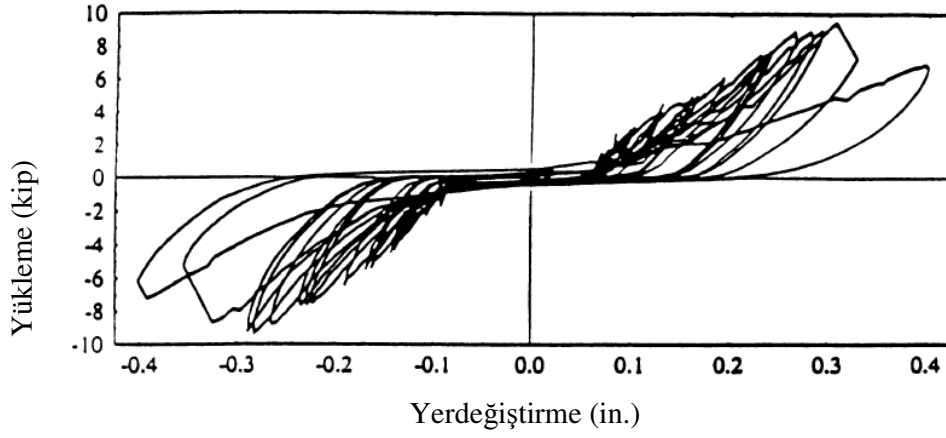
Burada Weak İnfll, Strong İnflls, Derz dolgusuz ve derz dolgulu duvarı ifade etmektedir. $h/L=0.67$

Not: 1 in. = 1.65% katlararası yerdeğiştirme



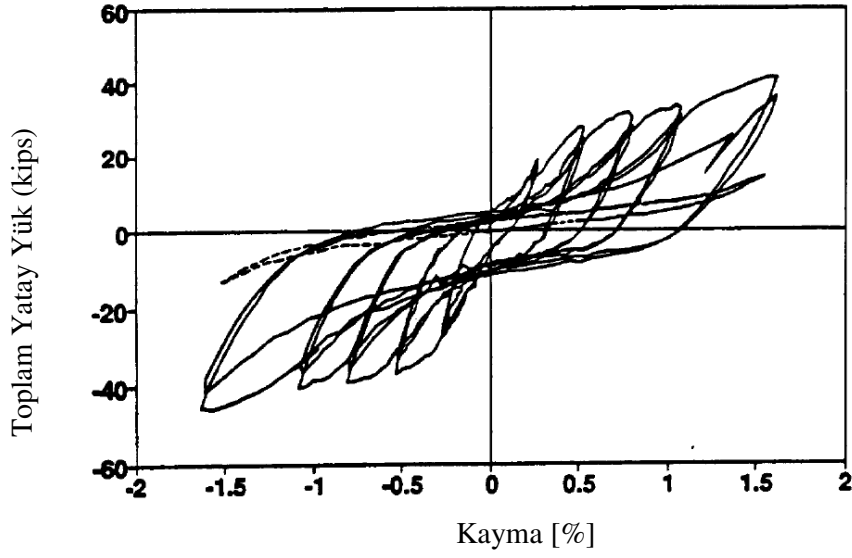
- (1) ——— ← 9.6 kips
 (2) - - - - - →
 (3) _ _ _ → 8.6 kips
 (6) ←
 (5) _ . _ ←

İki Açıklıklı dolgulu çerçevenin çatlama şekli

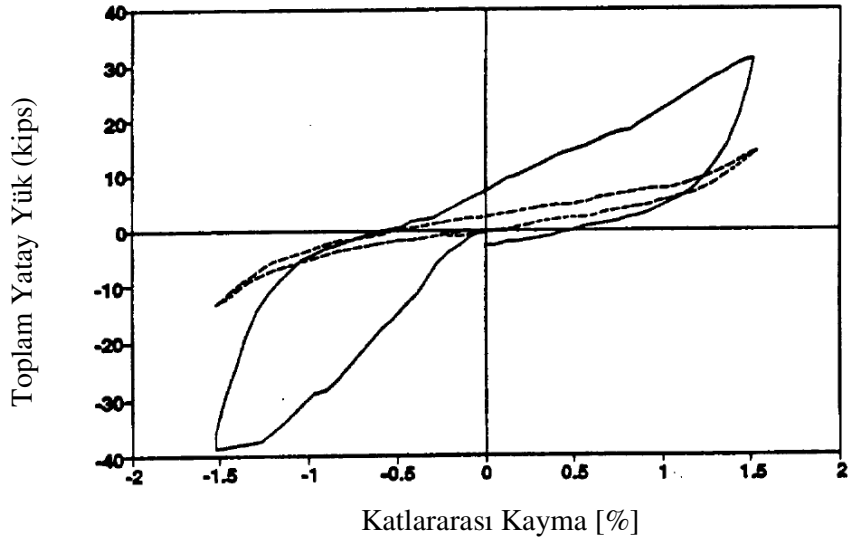


İki açıklıklı dolgulu çerçevenin yüklemeye-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 2.2 Gergely'in (1994) çalıştığı model olan tuğla dolgulu iki açıklıklı çelik çerçevede gözlenen yatay derz kayması [2].



(a)

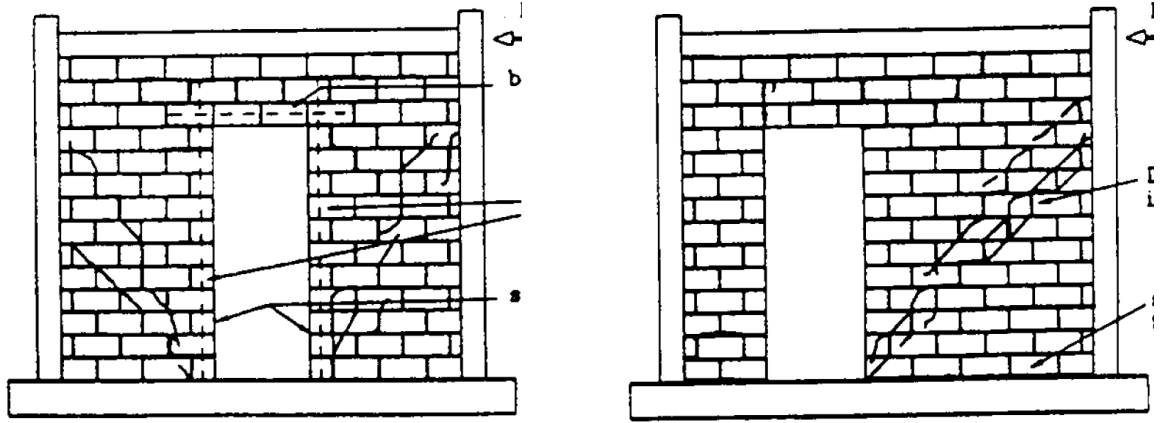
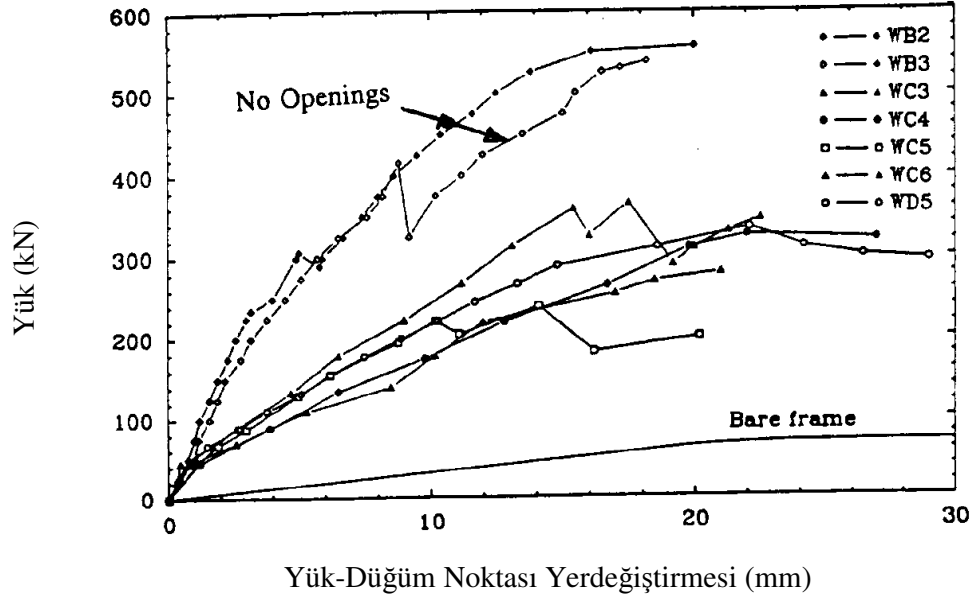


(b)

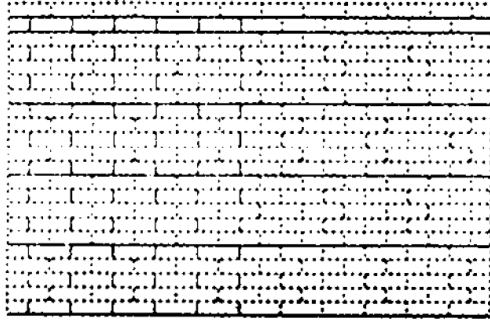
Şekil 2.3 Mander et al.(1993a) tarafından test edilen örnek (Kil blok dolgulu çelik çerçeve). Kolon ve kirişler birleşimleri yarı rijittir.

(a) Orijinal Örnek

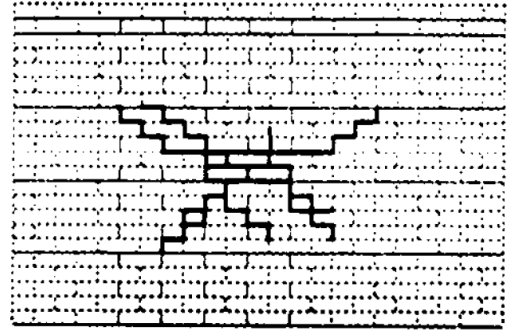
(b) Örnek tamir edilip üzeri ½ inch kalınlığında alçı ile sıvanmış ve tekrar test edilmiştir [2].



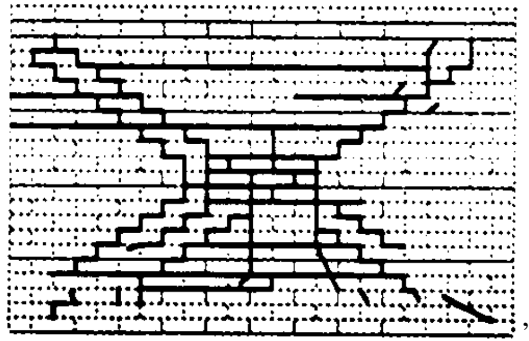
Şekil 2.4 Dawe ve Seah (1988) tarafından yapılan deneyde açıklıkların, monotonik artan yatay-yük altında, betonarme olmayan dolgu duvarlı çelik çerçevenin performansına etkileri incelenmiştir [2].



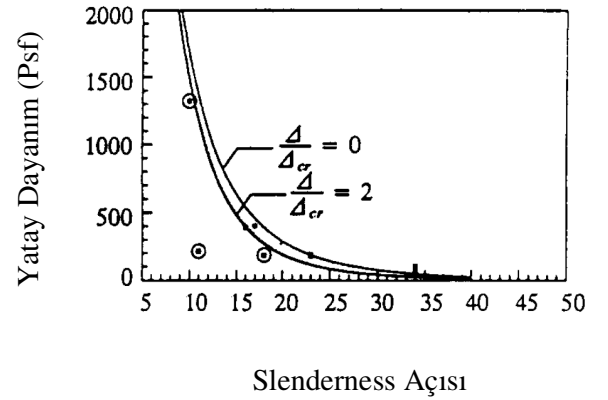
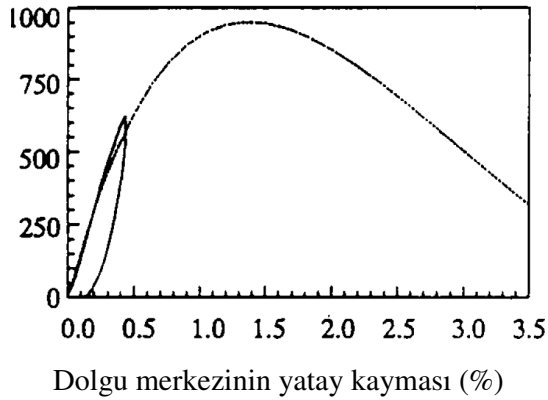
$$\frac{\Delta}{\Delta_{cr}} = 0 \quad \text{Hasar Yok}$$



$$\frac{\Delta}{\Delta_{cr}} = 1 \quad \text{Kısmi Hasar}$$



$$\frac{\Delta}{\Delta_{cr}} = 2 \quad \text{Hasarlı}$$



Şekil 2.5 Betonarme olmayan dolgu duvarın düzlem dışı kırılmasına örnek bir çalışma (Angel ve Abrams, 1994) [2].

2.2 Dolgulu Çerçeveleri Değerlendirme Yöntemleri

2.2.1 Katı Dolgulu-Panel Bileşenleri

Bu bölümde FEMA 306 da geniş boyutta anlatılan dolgulu panellerin rijitlik, dayanım ve deformasyon kapasitelerini belirlemek için eşitlikler verilmiş ve bu eşitlikler anlaşılabilir düzeyde tanımlanmaya çalışılmıştır. Aşağıda anlatımlar sırasında, dolgulu duvarın Young Modülü ve dayanım değerleri için betonarme olmayan malzeme değerleri esas alınarak denklemler oluşturulmuştur. Betonarme dolgulu paneller için aşağıdaki değerler ilerleyen bölümlerde ilgili yerlerine koyularak denklemlerin bulunması sağlanabilir [2]. Bu değerler;

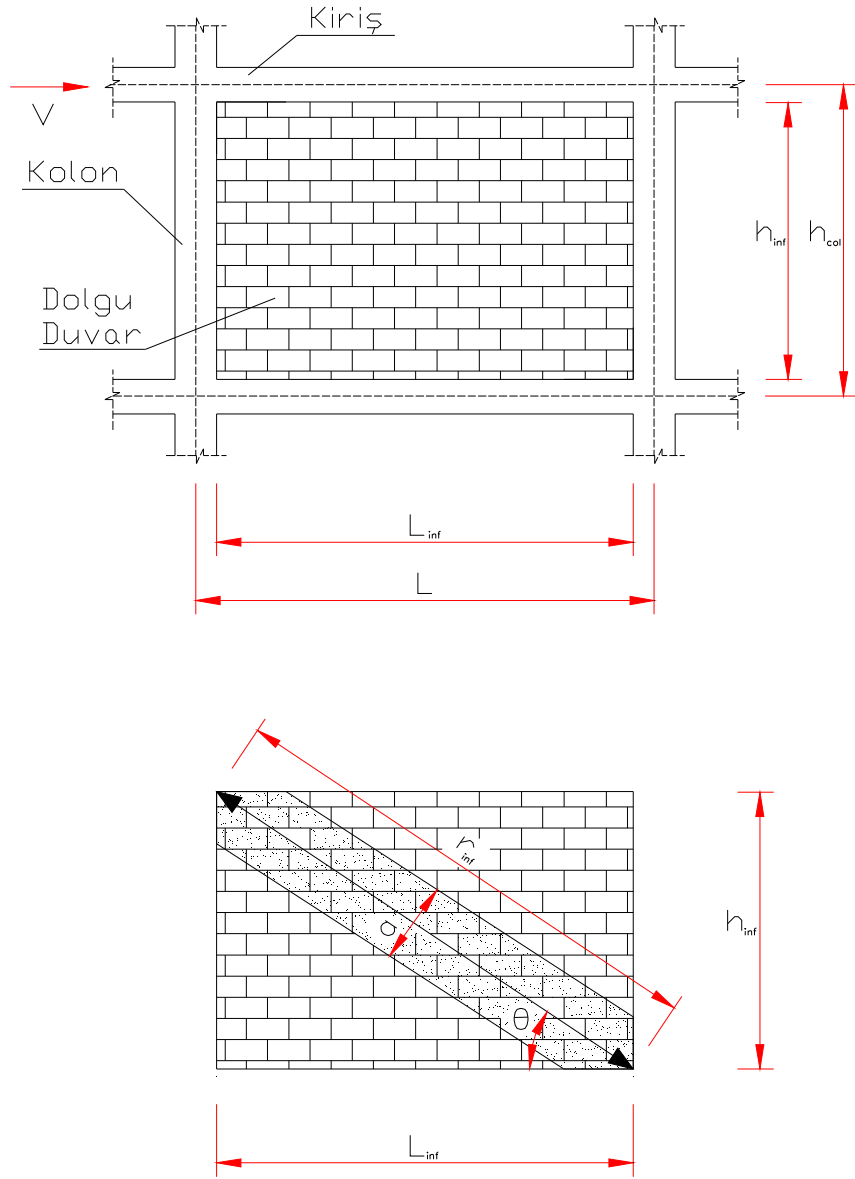
$$E_c = 57000\sqrt{f'_{ce}} \quad (2.1)$$

Burada E_m değeri için f'_{ce} yerine f'_{me} yazılmalıdır.

2.2.1.1 Rijitlik

Betonarme olmayan dolgu duvarın çatlama öncesi, düzlemi içindeki rijitliği, eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun etkili genişliği, Mainstone (1971), Mainstone ve Weeks (1970)'in çalışmalarından elde edilen Denk (2.2) eşitliğinde verilen, a ile ifade edilmiştir (Şekil 2.1). Ayrıca eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı, çerçeve düzleminde çerçeve ile etkileşim içinde olan dolgu duvarın kalınlığı (t_{inf}) ile, uzunluğu (r_{inf}) kabul edilmiştir [2].

$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (2.2)$$



Şekil 2.6 Dolgu duvarın eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmesi

Burada;

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.3)$$

h_{col} : Kiriş eksenleri arası kolon yüksekliği, cm

- h_{inf} : Dolgu duvar yüksekliği, cm
 E_{fe} : Çerçeve malzemesinin Elastisite Modülü, kg/cm²
 E_{me} : Dolgu duvar malzemesinin Elastisite Modülü, kg/cm²
 I_{col} : Kolonun atalet momenti, cm²
 r_{inf} : Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu, cm
 t_{inf} : Dolgu duvarın ve eşdeğer çubuğun kalınlığı, cm
 θ : Tanjantı dolgu duvar yüksekliğinin uzunluğuna oranı olan açı, radyan

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right) \quad (2.4)$$

Burada;

L_{inf} : Dolgu duvarın uzunluğu, cm

Çerçeve elemanlarından duvarların tüm yüzeyleri tarafından desteklenen bütün dolgu yüzeylere, düzlem içi ankraj yük akırtım kapasitesi pozitif olmadıkça, düzlem içi rijitlik hesaplaması sadece dolgu yüzeylerin çerçeve elemanları ile bütün yüzey boyunca teması olduğu durumda dikkate alınır.

2.2.1.2 Dayanım

Dolgu panelinin dayanım kapasitesi karmaşık bir fenomendir. Duvarın kırılma şeklini, analizi gerçekleşecek olan çatlama ve hasar şeklini önceden tahmin edebilmek açısından önem arz etmektedir. Dolgu duvarının olası dört kırılma şekli vardır ve bunlar aşağıda açıklanmıştır.

a) *Kayma – Kesme Kırılması*: Dolgunun başlangıç kayma-kesme kapasitesini değerlendirmek için Mohr-Coulomb kırılma kriteri kullanılabilir;

$$V_{kayma}^i = (\tau_0 + \sigma_y \tan \phi) L_{inf} t_{inf} = \mu N \quad (2.5)$$

Burada; τ_0 = derz yatağının yapışma kapasitesi değeri için elde yeterli veri olmadığı durumlarda aşağıdaki değer kullanılabilir;

$$\tau_0 = \frac{f'_{me90}}{20}$$

(2.6)

Burada ϕ = Yatay derz boyunca duvar kayma sürtünme açısıdır. $\mu = \tan \phi$ eşitliğinde μ = Yatay derz boyunca, yüzey sürtünme açısıdır. Periyodik yükleme sonucu olarak dolgu yapışma aderans dayanımı ortadan kalmaktadır. Dolgu biraz da olsa hala yatay derzlerde kesme sürtünmesi boyunca kaymaya karşı koyma kapasitesi vardır. Sonuç olarak Mohr-Coulomb kırılma kriteri Denklem 2.7'ye indirgenebilir;

$$V_{kayma}^i = (\sigma_y \tan \phi) L_{inf} t_{inf} = \mu N$$

(2.7)

Burada N = paneldeki düşey yükür. Eğer deformasyonlar çok küçükse σ_y 'nin yalnız panelin kendi ağırlığından oluşmasından dolayı $V_{kayma} \approx 0$ 'dır. Ancak katlar arası yer değiştirmeler büyük çapta ise paneli çevreleyen kolonlar panel boyunun kısılmasından ötürü düşey bir yük etkisi yapar. Paneldeki bu düşey kısılma gerilmesi;

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h} = \theta \frac{\Delta}{h} = \theta^2$$

(2.8)

dir. Burada;

- δ : Üst kiriş sehim davranışı sonucu kayma açısı
- h : Katlar arası yükseklik (kiriş eksenleri arası)
- Δ : Katlar arası rölatif yerdeğiştirme
- θ : Katlararası kayma açısı

Dolgudaki eksenel yük;

$$N = \varepsilon L_{\text{inf}} t_{\text{inf}} E_m \quad (2.9)$$

E_m : Yığıma yapılar için Young Modülü'dür. Deneylerden elde edilmediğinde, $550 f'_{me}$ den hesaplanabilir.

Yukarıdaki denklemlerden Denk (2.7), Denk (2.8), Denk (2.9) da yerlerine konulduğunda aşağıdaki denkleme ulaşılır;

$$V_{\text{kayma}}^i = \mu L_{\text{inf}} t_{\text{inf}} E_m \theta^2 \quad (2.10)$$

b) *Basınç Kırılması:* Eşdeğer diyagonal çubuğun basınç kırılması için Stafford-Smith ve Carter (1969) tarafından önerilen metodun revize edilmiş şekli uygulanabilir. Kesme kuvveti (diyagonal çubuk kapasitesinin yatay bileşeni);

$$V_c = a t_{\text{inf}} f'_{me90} \cos \theta \quad (2.11)$$

denklemden hesaplanır. Burada;

a : Eşdeğer çubuk genişliği (yukarıda tanımlanan)

t_{inf} : Dolgu kalınlığı

f'_{me90} : Betonarme olmayan dolgunun yatay yöndeki dayanımı (dolu kesitli prizma dayanımının (f'_{me}) %50 si alınabilir)

3- *Panelin Çapraz Çekme Kırılması:* Sanainejad ve Hobbys (1995)'un önerisi kullanılarak dolgudaki çatlama kesme kuvveti;

$$V_{cr} = \frac{2\sqrt{2}t_{inf} \sigma_{cr}}{\left(\frac{L_{inf}}{h_{inf}} + \frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right)}$$

(2.12)

Duvarın çatlamaya karşı dayanım kapasitesi, σ_{cr} , bir dereceye kadar yatay derzlere aktarılan ana zorlanmalarla ilgilidir.

Deney sonuçlarının yokluğunda, çatlama dayanımı;

$$\delta_{cr} = \frac{f'_{me90}}{20}$$

(2.13)

$\sigma_{cr} \approx V_{me}$ olarak alınabilir. Burada V_{me} =Duvar derz yatağının kohezyon dayanımı;

$$V_{me} = 20\sqrt{f'_{me}}$$

(2.14)

f'_{me} : Duvar prizmasının basınç dayanımıdır.

4- *Panelin Genel Kesme Kırılması:* Dolgu paneli tarafından taşınan kesme kuvvetinin başlangıç ve son katkıları Paulay ve Priestley (1992) ve ayrıca FEMA 273 teki önerilerine dayandırılarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [6];

$$V_{mi} = A_{vh} 2\sqrt{f'_{me}}$$

(2.15)

$$V_{inf} = 0.3V_{mi}$$

(2.16)

Burada;

V_{mi} : Yarı periyodik (tekdüze) yükleme süresince kaybedilen, ulaşılabilen ilk kesme kuvveti kapasitesi

V_{mf} : Periyodik yükleme etkisinden dolayı oluşan son kesme kapasitesi

A_{vh} : Dolgu panelin net yatay kesme alanıdır.

$$A_{vh} = L_{inf} t_{inf} \quad (\text{Boşluk bırakılmaksızın oluşturulmuş dolgu paneli için})$$

(2.17)

Yukarıdaki değerler, dolgunun periyodik yükleme direnci için alt ve üst sınırları vermektedir.

2.2.1.3 Dolgulu Panel Bileşenlerinin Deformasyon Kapasitesi

Dolgulu panel bileşenlerinin dört davranış şeklinin hiçbirinin deformasyon kapasiteleri için deneysel sonuçlar bulunmamakta ve hiçbirini için uygulanabilir bir analitik modele ulaşılmamıştır. Deneyler göstermektedir ki; diyagonal çatlamlar, katlar arası yerdeğiştirmelerin %25 seviyesine ulaşmasıyla lineer olmayan davranışla birlikte başlamakta ve gerçekte panel içerisinde %0,5 seviyelerinde (köşeden köşeye) tamamlanmaktadır. Köşe ezilmeleri yine aynı yerdeğiştirme seviyesinde başlamakta fakat periyodik yüklemenin devam sürecine bağlı olarak artmaktadır. Kayma kesmesi ve diğer davranış şekillerinde dolgu panelin deformasyon yapması için gerçekte herhangi bir sınır yoktur. Böylece dolgu panellerinin yerdeğiştirme kapasitesi genel kesme davranış şekli tarafından konulan sınırlarla belirlenir. Deneysel bulgular sonucu farklı betonarme olmayan dolgu paneller için katlar arası yerdeğiştirme limit değerleri aşağıda gösterilmektedir.

Tuğla duvar	1,5 %
Beton blok duvar (derzleri harçla doldurulmuş)	2,0 %
Beton blok duvar (derzleri harçsız)	2,5 %

3. 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİ'NDE BİNA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ [1]

2005 yılında taslağı hazırlanan ve 2006 yılında yürürlüğe girip 2007 yılı Nisan ayında da şu an ki son halini alan Türk Deprem Yönetmeliğinin daha öncekilerden en büyük farklılığı performansa dayalı tasarım ve değerlendirmeye yönelik bölümler içermesidir. Bununla birlikte, yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım, mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi konusunda yeni bir yaklaşım getirmiştir.

Bu konu ile ilgili ilk çalışmalar Amerika Birleşik Devletleri'nde ATC 40, FEMA 273, FEMA 356 [5-7] raporları hazırlanarak yapılmıştır. Bunların öncülüğünde Avrupa'da ve Türkiye'de çok sayıda araştırma ve incelemeler yapılmıştır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede yapılan bu çalışmaların ışığında Deprem Yönetmeliğimiz sürekli geliştirilmektedir. Bu bölümde, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme bina performansının belirlenmesi konusunda bilgiler verilmektedir [10].

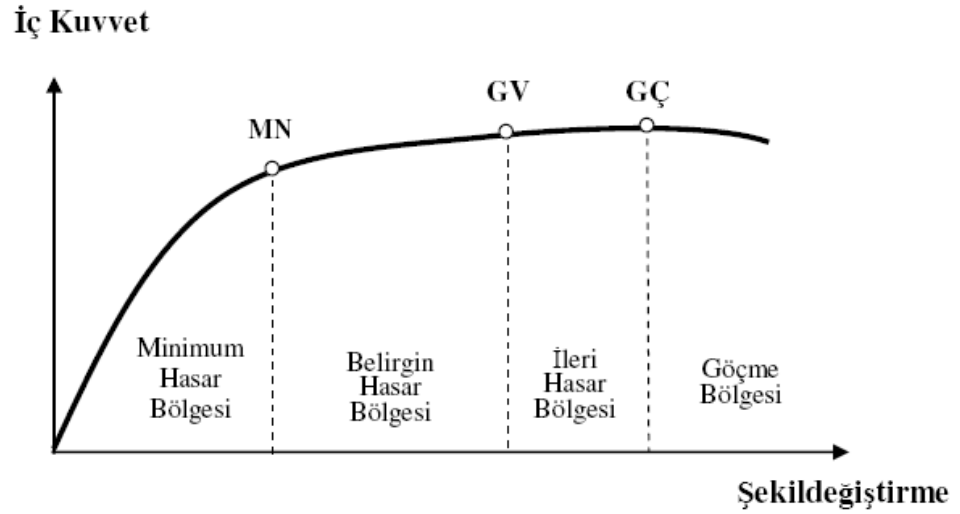
3.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

3.1.1 Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

3.1.2 Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN'ye ulaşmayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde yer alırlar (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Yapı elemanlarında kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

3.1.3 Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması

7.5 veya 7.6'da tanımlanan yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekildeğiştirmelerin, yukarıda 3.1.1'deki kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.

3.2 Betonarme Binaların Deprem Performansı

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Lineer, non-lineer, dinamik-statik analiz hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda sırasıyla verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme ve prefabrike beton binalarda geçerlidir.

3.2.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u *Belirgin Hasar Bölgesi*'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü *Minimum Hasar Bölgesi*'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

3.2.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi

Eğer varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir.

(b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta *İleri*

Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetlerinin toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesindedir*. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranı %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden $(M_{ra} + M_{ri}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj})$ denkleminin sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

3.2.3 Göçmenin Öncesi Performans Düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların *Göçme Bölgesi*'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi*'ne geçebilir.

(b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden $(M_{ra} + M_{ri}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj})$ denkleminin sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

(c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.2.4 Göçme Performans Düzeyi

Bina *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ni sağlayamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.3 2007 Deprem Yönetmeliği'ne Göre Binalar İçin Hedeflenen Deprem Performans Düzeyleri [1]

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, *performans hedefi* olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri (düzeyleri) ile tanımlanmaktadır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir.

3.3.1 Yeni yapılacak binalar için TDY 2007 2.4'de tanımlanan ivme spektrumu, TDY 2007 1.2.2'ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır:

(a) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları TDY 2007 2.4'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.

(b) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise TDY 2007 2.4'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.

3.3.2 Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

HK: Hemen Kullanım; CG: Can Güvenliği; GÖ: Göçmenin Öncesi (Bkz. 3.2.1)

3.4 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri ile Belirlenmesi

3.4.1 Hesap Yöntemleri

Binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılacak elastik hesap yöntemleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemidir. Bu yöntemlerle ilgili aşağıda belirtilen ek kurallar uygulanması belirtilmiştir [1].

1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanacaktır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) TDY Denk.(2.4)'e göre hesabında $R_a=1$ alınacak ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılacaktır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 alınacaktır.
2. Mod birleştirme yöntemi ile hesapta TDY Denk.(2.13)'de $R_a=1$ alınacaktır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman uç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan moda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınacaktır.

3.4.2 Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY) göre Betonarme Binaların Yapı Elamanlarında Hasar Düzeylerinin Belirlenmesi [1]

1. Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde kiriş, kolon ve perde elemanlarının ve güçlendirilmiş dolgu duvarı kesitlerinin *etki/kapasite oranları* (r) ile ifade edilen sayısal değerler kullanılacaktır.
2. Betonarme elemanlar kırılma türü eğilme ise “*sünek*”, kesme ise “*gevrek*” olarak sınıflanırlar.

(a) Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasiteleri ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti V_e 'nin, TDY bölüm 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyi ile uyumlu *mevcut malzeme dayanımı* değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r 'yi aşmaması gereklidir. V_e 'nin hesabı kolonlar için TDY 3.3.7'ye, kirişler için 3.4.5'e ve perdeler için 3.6.6'ya göre yapılacak, ancak TDY Denk.(3.16)'da $\beta_v=1$ alınacaktır. Kolon, kiriş ve perdelerde V_e 'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılacaktır. Düşey yüklerle birlikte $R_a=1$ alınarak depremden hesaplanan

toplam kesme kuvvetinin V_e 'den küçük olması durumunda ise V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılacaktır.

(b) Perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için ayrıca $H_w / l_w > 2.0$ koşulunu sağlaması gereklidir.

(c) Yukarıda (a) ve (b)'de verilen sünek eleman koşullarını sağlamayan betonarme elemanlar, *gevrek olarak hasar gören elemanlar* olarak tanımlanacaktır.

- 3.** Sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında $R_a=1$ alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Etki/kapasite oranının hesabında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır.

(a) Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan moment etkisi, yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 oranında azaltılabilir.

(b) Kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları, TDY Bilgilendirme Eki 7A'da açıklandığı üzere hesaplanabilir.

(c) Sarılma bölgesindeki enine donatı koşulları bakımından TDY 3.3.4'ü sağlayan betonarme kolonlar, TDY 3.4.4'ü sağlayan betonarme kirişler ve uç bölgelerinde TDY 3.6.5.2'yi sağlayan betonarme perdeler "*sargılanmış*", sağlamayanlar ise "*sargılanmamış*" eleman sayılır. "*Sargılanmış*" sayılan elemanlarda sargı donatılarının TDY 3.2.8'e göre "*özel deprem etriyeleri ve çirozları*" olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yukarıda belirtilen maddelerde tanımlanan koşullara uyması zorunludur.

- 4.** Güçlendirilmiş dolgu duvarlarının etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında hesaplanan kesme kuvvetinin kesme kuvveti dayanımına oranıdır. Köşegen

çubuklar ile modellenen güçlendirilmiş dolgu duvarında oluşan kesme kuvvetleri, çubuğun aksenal kuvvetinin yatay bileşeni olarak göz önüne alınacaktır. Güçlendirilmiş dolgu duvarının kesme kuvveti dayanımının hesabı TDY Bilgilendirme Eki 7F’de verilmiştir.

5. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin ve güçlendirilmiş dolgu duvarlarının etki/kapasite oranları (r), Tablo 3.2-3.5’de verilen sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilecektir. Betonarme binalardaki güçlendirilmiş dolgu duvarlarının hasar bölgelerinin belirlenmesinde ayrıca Tablo 3.5’de verilen görelî kat ötelemesi oranı sınırları göz önüne alınacaktır. Görelî kat ötelemesi oranı, ilgili katta hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilecektir. Tablo 3.2-3.5’deki ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanacaktır.

Tablo 3.2 Betonarme Kirişler için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{cm}} (1)$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

(1) V_e kesme kuvveti depremin yönü ile uyumlu olarak 7.5.2.2 (a)’ya göre hesaplanacaktır.

Tablo 3.3 Betonarme Kolonlar için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K}{A_c f_{cm}}$ (1)	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$ (2)	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

(1) N_K eksenel kuvveti TDY Bilgilendirme Eki 7A'ya göre hesaplanabilir.

(2) V_e kesme kuvveti depremin yönü ile uyumlu olarak 7.5.2.2 (a)'ya göre hesaplanacaktır.

Tablo 3.4 Betonarme Perdeler için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Tablo 3.5 Güçlendirilmiş Dolgu duvarlar için Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s) ve Görelî Kat Ötelemesi Oranları

L_{duvar} / h_{duvar} oranı aralığı 0.5 – 2.0	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
Etki/Kapasite Oranı (r_s)	1	2	-
Görelî Kat Ötelemesi Oranı	0.0015	0.0035	-

6. Betonarme kolon-kiriş birleşimlerinde tüm sınır durumları için birleşime etki eden ve TDY Denk.(3.11)' de V_{kol} yerine TDY 3.3.7'ye göre pekleşmeyi göz önüne almadan hesaplanan V_e kullanılacak, TDY Denk.(3.12) veya Denk.(3.13)'deki dayanım hesabında ise f_{cd} yerine TDY 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut beton dayanımı kullanılacaktır. Birleşim kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi gevrek olarak hasar gören eleman olarak tanımlanacaktır.

3.4.3 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Tablo 3.6’da verilen değeri aşmayacaktır. Aksi durumda 3.2.3.2’de yapılan hasar değerlendirmeleri göz önüne alınmayacaktır. Tablo 3.6’da δ_{ji} i’inci katta j’inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yerdeğiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini, h_{ji} ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir.

Tablo 3.6 Göreli Kat Ötelemesi Sınırları

Göreli Kat Ötelemesi Oranı	Hasar Sınırı		
	MN	GV	GÇ
δ_{ji} / h_{ji}	0.01	0.03	0.04

4. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, 1975 deprem yönetmeliğine uygun olarak 4 katlı konut binası tasarlanmıştır. İlk olarak dolgu duvar etkileri göz önüne alınmaksızın, ikinci ve üçüncü çalışmalarda ise dolgu duvar etkileri göz önüne alınarak tamamı dolgu duvarlı ve zemin kat dolgu duvarsız (yumuşak kat) olarak boyutlandırılan binaların, doğrusal elastik yöntem (eşdeğer deprem yükü) ile performans analizi yapılmıştır. Aşağıda öncelikle doğrusal elastik hesap yöntemi ile bina performansının belirlenmesinde izlenecek adımlar anlatılmış, sonrasında ele alınan örnek binaların performans analizi yapılmıştır.

4.1 2007 Deprem Yönetmeliğinde Betonarme Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesinde İzlenecek Yol [41]

Tablo 7.7 kullanılarak, göz önüne alınan bina için depremin aşılma olasılığına göre hedeflenen performans düzeyleri belirlenir ve bina performansı bu düzeyler için kontrol edilir.

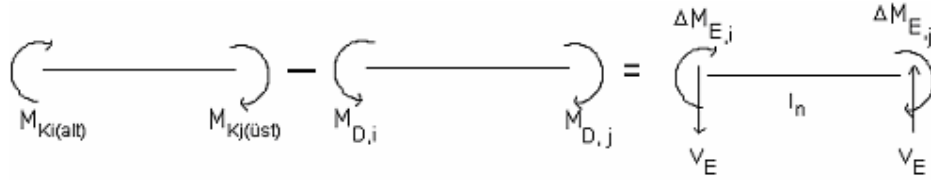
Herhangi bir performans düzeyi için izlenmesi gereken adımlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Binanın 3 boyutlu analitik modeli oluşturulur.
- 2) Madde 7.5.1 kullanılarak depremden dolayı oluşan etkiler belirlenir.
- 3) Düşey yüklemekten ($1.0G + 0.3Q$) dolayı oluşan etkiler doğrusal elastik analiz ile belirlenir.
- 4) Kiriş uçlarında pozitif ve negatif kapasite momentleri (M_K) hesaplanır.
- 5) Kiriş uçlarındaki deprem kuvvetinin yönü ile uyumlu kapasite momentlerinden (M_K) düşey yükler altında oluşan momentler (M_D) vektörel olarak çıkartılarak, deprem artık kapasite momentleri (ΔM_K) hesaplanır (Denklem 4.1).

$$\begin{aligned}\Delta M_{K,i} &= M_{K,i} - M_{D,i} & [4.1] \\ \Delta M_{K,j} &= M_{K,j} - M_{D,j}\end{aligned}$$

Denklem 4.1’de i kirişinin i ucunu, j ise kirişin j ucunu simgelemektedir.

- 6) Deprem artık kapasite momentlerini dengeleyen kiriş kesme kuvvetleri (V_E) hesaplanır (Denklem 4.2, Şekil 4.1).



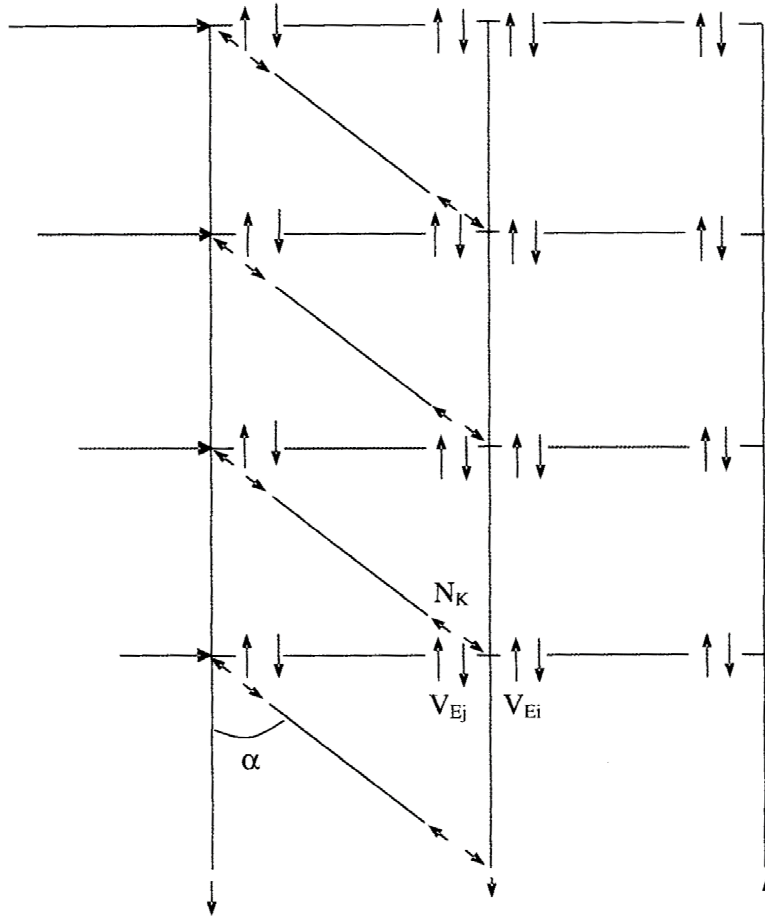
Şekil 4.1 Deprem artık kapasite momentlerini dengeleyen kiriş kesme kuvvetleri

$$V_E = (\Delta M_{K,i} + \Delta M_{K,j}) / I_n \quad [4.2]$$

Denklem 4.2’de $\Delta M_{K,i}$ kirişin i ucundaki artık kapasite momenti, $\Delta M_{K,j}$, kirişin j ucundaki artık kapasite momenti, I_n ise kirişin net açıklığıdır.

Madde 7.5.1 kullanılarak deprem analizinden elde edilen kiriş kesme kuvveti, Denklem (4.2) ile hesaplanan V_E değerinden küçükse V_E olarak Madde 7.5.1’den elde edilen kesme kuvveti kullanılır.

7) Kolonların deprem yükleri altındaki aksenal kuvvetleri (N_E), göz önüne alınan kolon aksına bağlanan ve kolonun üstünde yer alan tüm kirişlerden aktarılan kesme kuvvetleri (V_E) toplanarak hesaplanır. Dolgu duvarların basınç çubuk elemanlarıyla modellendiği durumlarda çubuğun aksenal kuvvetinin düşey bileşeni de kolon aksenal kuvvetlerinin hesaplanmasında göz önüne alınmalıdır (Denklem 4.3, Şekil 4.2). Çubuğun aksenal kuvveti olarak aksenal kuvvet kapasitesi ile çubukta Madde 7.5.1 kullanılarak deprem analizinden elde edilen aksenal kuvvetin küçük olanı kullanılır.

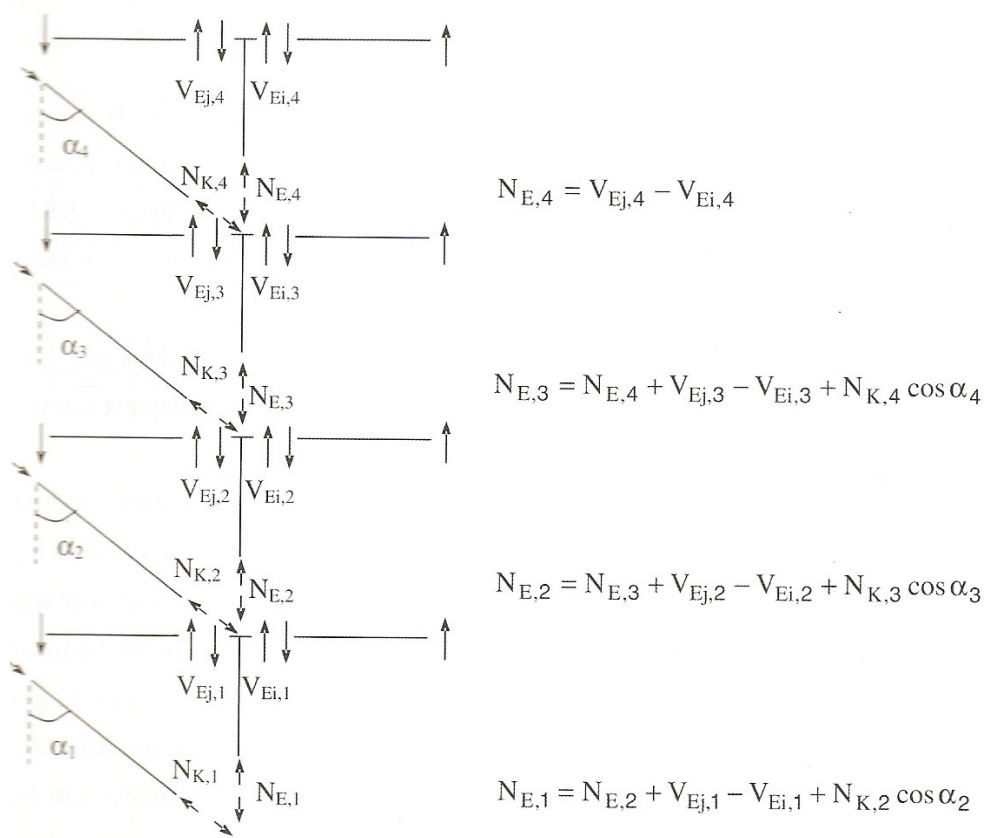


Şekil 4.2 Kolonların deprem yükleri altındaki aksenal kuvvetlerinin (N_E) hesaplanması

$$N_E = \sum V_{Ei} + \sum V_{Ej} + \sum N_K \cos \alpha \quad [4.3]$$

Denklem 4.3'de ki V_{Ei} bileşimin sağındaki kirişte 6. adımda hesaplanan kesme kuvvetini, V_{Ej} bileşimin solundaki kirişte 6. adımda hesaplanan kesme kuvvetini, N_K aksenal kuvvet kapasitesi ile çubukta Madde 7.5.1 kullanılarak deprem analizinden elde edilen aksenal kuvvetin küçük olanını, $N_K \cos \alpha$ ise bu kuvvetin düşey bileşenini simgelemektedir.

Şekil 4.3'de orta kolon aksında yer alan kolonların aksenal kuvvetlerinin hesaplanması daha detaylı olarak gösterilmektedir.

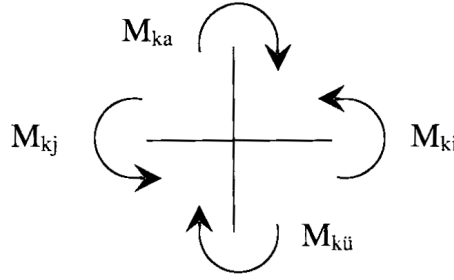


Şekil 4.3 Şekil 4.2’de orta kolon aksında yer alan kolonların eksenel kuvvetlerinin hesaplanması

8) Düşey yüklerden kaynaklanan kolon eksenel kuvvetleri (N_D) ile deprem yükleri altındaki eksenel kuvvetler (N_E) toplanarak toplam kolon eksenel kuvvetleri hesaplanır.

9) Karşılıklı etkileşim diyagramı kullanılarak, toplam kolon kuvvetleri ($N_D + N_E$) altında kolon alt ve üst uçlarının eğilme kapasiteleri hesaplanır.

10) Tüm kolon-kiriş düğüm noktalarında, uygulanan deprem kuvvetlerinin yönü ile uyumlu kolon-kiriş kapasite oranları (KKO) hesaplanır (Denklem 4.4, Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Bir birleşime bağlanan kiriş ve kolon uç moment kapasiteleri ve KKO hesaplanması

$$KKO = \frac{\text{Birleşime bağlanan kiriş kapasite momentleri toplamı } (M_{ki} + M_{kj})}{\text{Birleşime bağlanan kolon kapasite momentleri toplamı } (M_{ka} + M_{ku})} \quad [4.4]$$

11) Hesaplanan KKO değerleri kullanılarak kiriş uç momentleri düzeltilir. Herhangi bir düğüm noktasındaki KKO değeri 1'den küçükse, o düğüm noktasının etrafındaki kirişlerin uçlarında düzeltilmiş uç momenti olarak kapasite momentlerinin KKO ile çarpılarak azaltılması ile bulunan momentler kullanılır. Eğer KKO değeri 1'den büyükse düzeltilmiş uç momenti olarak kapasiteler kullanılmaya devam edilir.

12) Kapasite momentleri yerine düzeltilmiş uç momentleri kullanılarak 5. adıma geri dönülür 5-9'uncu adımlar 1 defa tekrarlanır. Bu şekilde kolonların ve kirişlerin deprem kuvvetinin yönü ile uyumlu eğilme kapasiteleri hesaplanmış olur.

13) Elemanların kırılma türü "sünek" ya da "gevrek" olarak belirlenir. Betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise "sünek", kesme ise "gevrek" olarak sınıflanırlar. TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasiteleri (V_r) ile kolonlar için Madde 3.3.7'ye göre, kirişler için ise Madde 3.4.5' e göre hesaplanan eğilme kapasitesi ile uyumlu kesme kuvvetleri (V_e) karşılaştırılır. Eğer V_e değeri V_r 'den büyükse kırılma türü kesmedir ve eleman gevrek olarak kabul edilir. Ters durumda ise kırılma türü eğilmedir ve göz önüne alınan eleman sünek olarak kabul edilir. V_r kolonlar için kolonun orta bölgesinde, kirişler için ise uç bölgelerde hesaplanır.

14) Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı (r), sadece deprem etkisi altında Madde 7.5.1'e göre hesaplanan kesit momentinin (M_E) kesit artık moment kapasitesine (ΔM_K) bölünmesi elde edilir

(Denklem 4.5). Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır. Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilir.

$$r = \frac{M_E}{\Delta M_K} \quad [4.5]$$

15) Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 7.2 - 7.5 kullanılarak hesaplanır ve her uç için 14. adımda hesaplanmış olan etki/kapasite oranları ile karşılaştırılarak göz önüne alınan bina performans düzeyi için elemanların performans kontrolü (kabul edilebilirlik) yapılır.

16) Kolon-kiriş birleşmelerinde Madde 7.5.2.9 doğrultusunda kesme kontrolü yapılır. Birleşim kesme kuvvetinin kesme dayanımını aşması durumunda bu birleşime sapanan tüm elemanlar göçme bölgesinde kabul edilir.

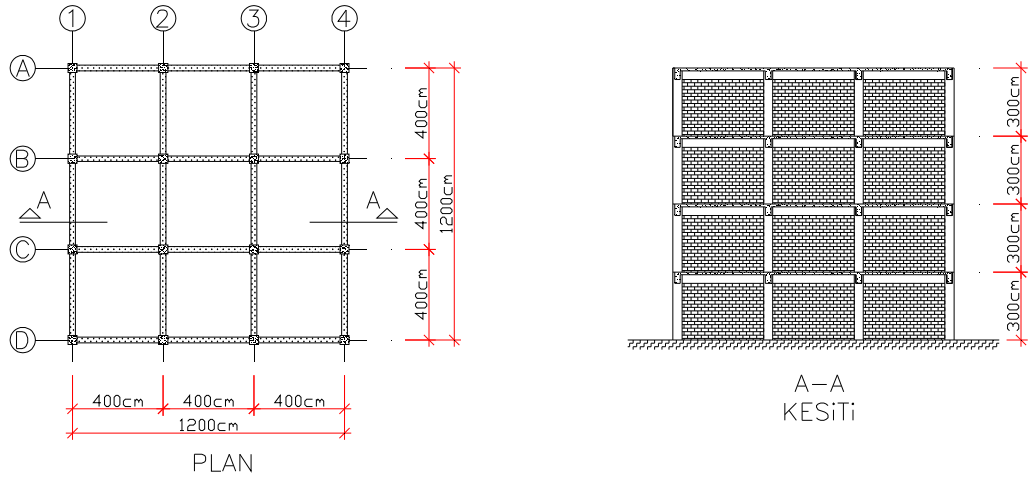
17) Her katta hedef performans düzeyini sağlamayan kirişlerin kattaki toplam kiriş sayısına oranı ve hedef performans düzeyini sağlamayan kolonların aldıkları kesme kuvvetinin toplam kat kesme kuvvetine oranı belirlenir. Bu oranların herhangi bir katta, göz önüne alınan performans düzeyi için belirlenmiş oranlardan yüksek olması durumunda binanın bu performans düzeyi için yeterli olmadığı sonucuna varılır.

18) Her katın görelî kat ötelemeleri hesaplanıp göz önüne alınan performans düzeyine göre Tablo 7.6'daki sınırlarla kıyaslanır. Herhangi bir katta sınırlar aşıyorsa, binanın bu performans düzeyi için yeterli olmadığı sonucuna varılır.

4.2 ÖRNEK ÇALIŞMA – I

1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN OLARAK TASARLANMIŞ 4 KATLI KONUT BİNASININ DOĞRUSAL ELASTİK YÖNTEM (EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada kullanılmak üzere 4 katlı bir konut binası tasarlanmış ve 1975 Deprem Yönetmeliği'ne (eşdeğer deprem yükü yöntemi ile) göre betonarme olarak boyutlandırılmıştır. Bina çerçeve sistemden oluşmaktadır. Çerçeve sistem, X ve Y doğrultularında 4'er akstan oluşmakta ve her iki doğrultuda da orta noktaya göre simetriktir. Her kat 300cm yüksekliktedir. Bütün çerçeve boşluklarında dolgu duvar vardır ve yalnız yük olarak hesaba katılmıştır. Her katın taşıyıcı sistem planı aynıdır.



Şekil: 4.5 4 Katlı betonarme çerçeve bina plan ve kesiti

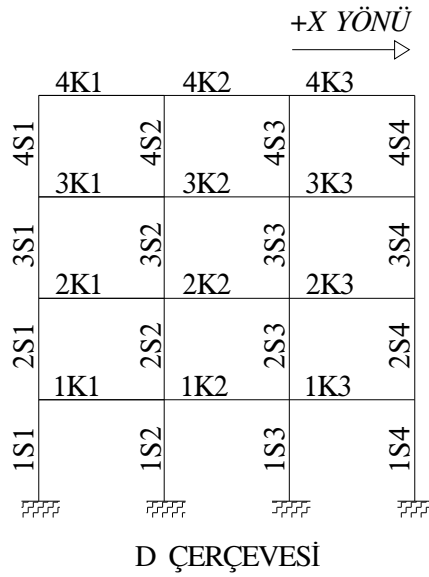
Tüm Kolonlar 50cm x 50cm,

Tüm Kirişler 25cm x 50cm,

Tüm döşemeler 12cm'dir.

Bina Özellikleri:

Kat sayısı	: 4
Bilgi düzeyi ve bilgi katsayısı	: Kapsamlı, 1.00
Beton sınıfları	: C20
Mevcut beton dayanımı	: 20MPa
Çelik sınıfları	: S420
Mevcut çelik dayanımı	: 420MPa
Beton birim hacim ağırlığı	: 2.50 t/m ³
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	: 0,3
Yapı önem katsayısı	: 1.00
Deprem bölgesi	: 1
Etkin yer ivme katsayısı (A ₀)	: 0.40
Zemin sınıfı	: Z3, Ta = 0.15, Tb = 0.60
Zati yük faktörü	: 1.40
Hareketli yük faktörü	: 1.60
Deprem hesap yöntemi	: Eşdeğer deprem yükü yöntemi
Hedeflenen performans düzeyi	: Can Güvenliği (50 yılda %10)



Şekil: 4.6 D Çerçevesi kolon, kiriş elemanlarının adlandırılması

Kabuller:

- 1- Binanın doğrusal elastik hesap yöntemi ile değerlendirilmesinde çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.
- 2- Binanın yatay yükler altındaki analizinde ek dış merkezlikler uygulanmamıştır.
- 3- η_b kontrolü yapılmış olup her katta X ve Y doğrultusunda $\eta_b < 1,4$ koşulunu sağlamaktadır.
- 4- Eşdeğer statik deprem yükleri $R=1$ kullanılarak hesap yapılmıştır.

4.2.1 Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesaplanması

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 de katlara etkiyen sabit ve hareketli yükler, ağırlık, kütle, kütle atalet momenti gibi hesaplarda kullanılacak binaya ait özellikler verilmiştir.

Tablo 4.1 Bina katlarına etkiyen hareketli ve sabit yükler

Kat	G (kN)	Q (kN)	G+0,3Q (kN)
1	1465,5	252,0	1541,1
2	1465,5	252,0	1541,1
3	1465,5	252,0	1541,1
4	1129,5	126,0	1167,3
TOPLAM	5526,0	882,0	5790,6

Sap2000'le yapılan analiz sonucu;

$T_{1x} = T_{1y} = 0,353$ sn bulunmuştur.

$$V_t = \lambda \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10A_0IW \quad (\lambda=0,85)$$

$T_A=0,15$ sn $< T_1=0,353 < T_B=0,60$ sn olduğu için, $S(T) = 2,5$ alınır.

$A(T)=A_0IS(T)=0,4 \times 1 \times 2,5=1$ (Spektral ivme katsayısı)

$S_{ac}(T)=A(T)g=1 \times 9,81=9,81$ m/sn² (Spektral ivme)

$R_a(T)=R=1$ alınarak,

Toplam taban kesme kuvveti (V_t) ;

$$V_t = 0,85 \frac{5790,6 \times 1}{1} \geq 0,10 \times 0,4 \times 1 \times 5790,6$$

$$V_t = 4922,01 \geq 231,624$$

$$V_t = 4922,01 \text{ kN}$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkileyen ek eşdeğer deprem yükü (ΔF_N) ;

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t = 0,0075 \times 4 \times 4922,01 = 147,66 \text{ kN}$$

Tablo 4.2 4 Katlı betonarme çerçeve bina kütle özellikleri

Kat	Ağırlık (kN)	Kütle (kNs ² /m)	Kütle Merkezi Koordinatları		Kütle Atalet Momenti (kNm ²)
			X (m)	Y (m)	
1	1541,1	119,0	6,00	6,00	2976,24
2	1541,1	157,1	6,00	6,00	3929,14
3	1541,1	157,1	6,00	6,00	3929,14
4	1167,3	157,1	6,00	6,00	3929,14

4.2.2 Taban Kesme Kuvvetinin Katlara Dağıtılması

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil bina katlarına dağıtılır;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

$$F_1 = 528,74 \text{ kN}$$

$$F_2 = 1057,47 \text{ kN}$$

$$F_3 = 1586,20 \text{ kN}$$

$$F_4 = 1601,94 \text{ kN}$$

$$F_4 + \Delta F_N = 1601,94 + 147,66 = 1749,60 \text{ kN bulunur.}$$

Tablo 4.3 Taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması

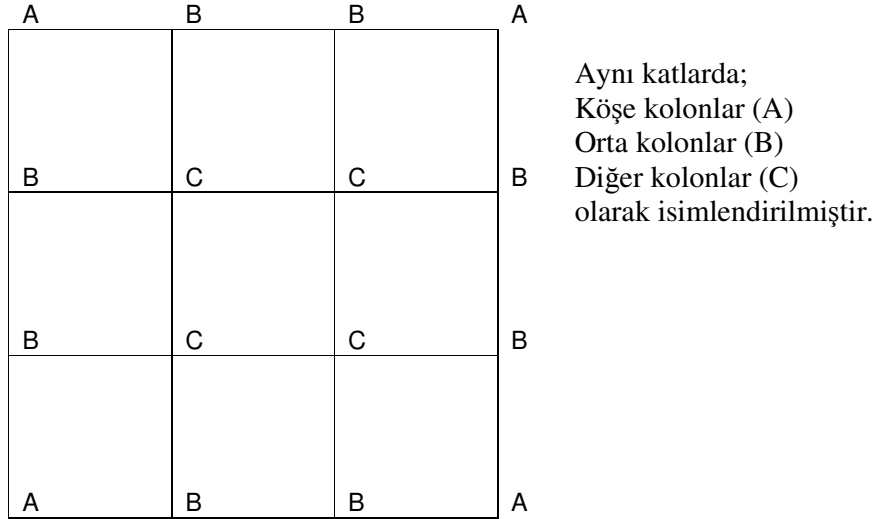
Kat	Kat Ağırlıkları w_i (kN)	Kat Yüksekliği (m)	H_i (m)	$w_i H_i$ (kN.m)	F_i (kN)	$F_i + \Delta F_N$ (kN)
4	1167,3	3	12	14007,6	1601,94	1749,60
3	1541,1	3	9	13869,9	1586,20	1586,20
2	1541,1	3	6	9246,6	1057,47	1057,47
1	1541,1	3	3	4623,3	528,74	528,74
TOPLAM	5790,6	-	-	41747,1	4774,35	4922,01

4.2.3 Binanın Düşey Yükler (G +nQ) ve Yatay Yükler Altında Analizi

4.2.3.1 Kolon – Kiriş Rijitlikleri (2007 Deprem yönetmeliği - Madde 7.4.13)

(a) Kirişlerde : $(EI)_e = 0,40(EI)_0$

(b) Kolon ve Perdelerde : $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0,10$ olması durumunda $(EI)_e = 0,40(EI)_0$
 $N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0,40$ olması durumunda $(EI)_e = 0,80(EI)_0$



Şekil: 4.7 4Katlı betonarme bina planı ve rijitliklerin gösterimine esas kolon isimleri

Not: Bina simetrik olduğu için düşey yüklemekten dolayı; Her katta; Köşe kolonlar (A), Orta kolonlar (B), Diğer kolonlara (C) gelen Normal Kuvvet değerleri eşittir.

Tablo 4.4 Kolon rijitliklerinin belirlenmesi

KAT	N_D (kN)			$N_D / A_c f_{ck}^{(1)}$			$(EI)_e / (EI)_0$		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	245,59	363,86	547,84	0,0491	0,0728	0,1096	0,4000	0,4000	0,4128
2	181,18	266,73	399,85	0,0362	0,0533	0,0800	0,4000	0,4000	0,4000
3	115,35	169,16	254,17	0,0231	0,0338	0,0508	0,4000	0,4000	0,4000
4	48,7	71,27	109,96	0,0097	0,0143	0,0220	0,4000	0,4000	0,4000

Not ⁽¹⁾: $0,1 \leq N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0,4$ değerleri için lineer enterpolasyon yapılmıştır.

Örnek: Burulma düzensizliği Kontrolü, 4.kat

Tablo 4.5 4.Katta Burulma Düzensizliği Kontrolü

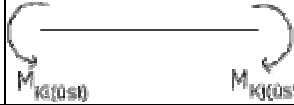

	+X Yönü	+Y Yönü
$(\Delta_i)_{\max}$	0,0065	0,0065
$(\Delta_i)_{\min}$	0,0054	0,0054
$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	0,0059	0,0059
η_b	1,09	1,09

η_b Kontrolü: Her katta X ve Y doğrultularında $\eta_b < 1,4$ koşulu sağlanmaktadır.

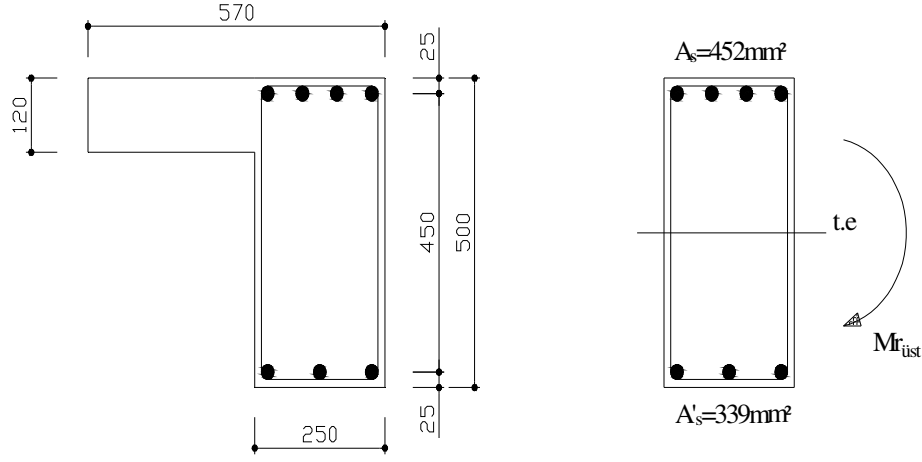
4.2.4 Kiriş Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesabı (M_k)

Kirişlerin alt ve üst moment kapasiteleri hesaplanır. Aşağıda örnek olarak 1K1 nolu kirişin moment kapasite hesabı gösterilmiştir.

Tablo 4.6 1K1 Kirişinin Uçlarının Moment Kapasiteleri

	Üst Moment Kapasiteleri		Alt Moment Kapasiteleri	
	i	j	i	j
As(mm²)	452	452	339	339
M_k (kN.m)	86,73	86,73	66,72	66,72
				

4.2.4.1 Üst Moment Kapasitelerinin Hesabı ($M_{r(üst)}$):



Şekil 4.8 1K1 Kirişinin kesit özellikleri ve üst moment kapasitesinin gösterimi

$b_w = 250\text{mm}$, $d = 475\text{mm}$, $d' = 25\text{mm}$, ($d'/d = 0,0526$), $f_{ck} = 20\text{MPa}$, $f_{yk} = 420\text{MPa}$,

$$\rho = A_s/b_w d = 452/250 \times 475 = 0,00381$$

$$\rho' = A_s'/b_w d = 339/250 \times 475 = 0,00285$$

$$\alpha = (\rho - \rho') f_{yk} / f_{ck} = (0,00381 - 0,00285) \times 420 / 20 = 0,02016$$

$$\alpha_c = 0,0968 \text{ (} d'/d \text{ den doğrusal enterpolasyonla) [42-Çizelge 5.2]}$$

$$\alpha = 0,02016 < \alpha_c = 0,0968 \text{ basınç donatısı akmayacaktır.}$$

$$\rho_b = 0,0160 \text{ [Uğur Ersoy-Çizelge 5.1]}$$

$$(\rho - \rho') = 0,00096 < \rho_b = 0,0160 \text{ olduğu için kesit denge altıdır.}$$

$$\sigma_s' = 0,003 E_s (c - d') / c = 600 (c - 40) / c$$

$$0,85 f_{ck} b_w k_1 c + A_s' \sigma_s' - A_s f_{yk} = 0$$

$$0,85 \times 20 \times 250 \times 0,85 \times c + 339 \times 600 \times (c - 25) / c - 452 \times 420 = 0 \quad c = 35,7\text{mm}$$

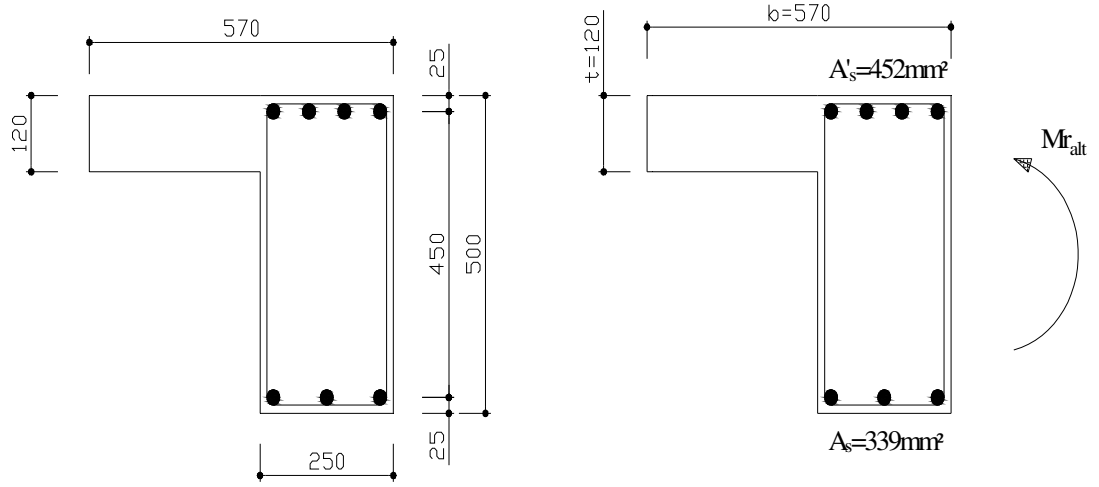
$$\sigma_s' = 600 (c - 40) / c = 600 (35,7 \times 25) / 35,7 = -179,8\text{MPa} < f_{yk} = 420\text{MPa}$$

$$M_r = 0,85 f_{ck} b_w k_1 c (d - k_1 c / 2) + A_s' \sigma_s' (d - d')$$

$$M_r = [0,85 \times 20 \times 250 \times 0,85 \times 35,7 \times (475 - 0,85 \times 35,7 / 2) + 339 \times (-179,8) \times (475 - 25)] / 10^6$$

$$M_r = 86,73 \text{ kNm}$$

4.2.4.2 Alt Moment Kapasitelerinin Hesabı ($M_{r(alt)}$):



Şekil 4.9 1K1 Kirişinin kesit özellikleri ve alt moment kapasitesinin gösterimi

$$b_w = 250\text{mm}, d = 475\text{mm}, d' = 25\text{mm}, (d'/d = 0,0526), f_{ck} = 20\text{MPa}, f_{yk} = 420\text{MPa},$$

$$\rho = A_s/b_w d = 339/250 \times 475 = 0,00285$$

$$\rho' = A'_s/b_w d = 452/250 \times 475 = 0,00381$$

$$\alpha = (\rho - \rho') f_{yk} / f_{ck} = (0,00285 - 0,00381) \times 420 / 20 = -0,02016$$

$$\alpha_c = 0,0968 \text{ (} d'/d \text{ den doğrusal enterpolasyonla) [42-Çizelge 5.2]}$$

$$\alpha = -0,02016 < \alpha_c = 0,0968 \text{ basınç donatısı akmayacaktır.}$$

Önce eşdeğer basınç gerilmesi dağılımının tabla içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir.

Eğer $k_1 c = t = 120\text{mm}$ olsaydı,

$$F_c = 0,85 f_{ck} x b x t = (0,85 \times 20 \times 570 \times 120) / 1000 = 1162,8\text{kN}$$

$$F_s = A_s f_{yk} = 339 \times 420 = 142,38\text{kN}$$

$F_c > F_s$, bu nedenle $k_1 c < t$ olduğu için çözüm dikdörtgen kesitler için önerilen çözümün aynıdır ve genişlik, b_w yerine b alınmalıdır. Bundan sonrası üst moment kapasite hesabının alt moment kapasiteleri için tekrarlanması sonucunda $M_r = 66,72 \text{ kNm}$ olarak hesaplanır.

Diğer kirişlerin alt ve üst moment kapasiteleri kesit özelliklerine göre yukarıdaki işlemler tekrarlanarak hesaplanmış ve bulunan moment kapasiteleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Kirişlerin örnek hesaplar doğrultusunda hesaplanan moment ve kesme kuvvet değerleri

Kiriş	Kiriş Ucu	M_D	$M_k^{(1)}$	$\Delta M_k = M_k - M_D$	V_E
1K1	M_i	-14,53	66,72	81,25	42,97
	M_j	-17,60	-86,73	69,13	
2K1	M_i	-15,54	66,72	82,26	37,35
	M_j	-16,94	-65,40	48,46	
3K1	M_i	-15,93	66,88	82,81	37,60
	M_j	-16,61	-65,40	48,79	
4K1	M_i	-9,25	66,88	76,13	37,26
	M_j	-11,13	-65,40	54,27	
1K2	M_i	-17,02	66,72	83,74	43,84
	M_j	-17,02	-86,73	69,71	
2K2	M_i	-16,93	66,88	83,81	37,79
	M_j	-16,93	-65,40	48,47	
3K2	M_i	-16,90	66,88	83,78	37,79
	M_j	-16,90	-65,40	48,50	
4K2	M_i	-11,17	66,88	78,05	37,79
	M_j	-11,17	-65,40	54,23	
1K3	M_i	-17,60	66,72	84,32	44,72
	M_j	-14,53	-86,73	72,20	
2K3	M_i	-16,94	66,88	83,82	44,29
	M_j	-15,54	-86,73	71,19	
3K3	M_i	-16,61	66,88	83,49	37,99
	M_j	-15,93	-65,40	49,47	
4K3	M_i	-11,13	66,88	78,01	38,33
	M_j	-9,25	-65,40	56,15	

Kiriş	Kiriş Ucu	M_D	$M_k^{(1)}$	$\Delta M_k = M_k - M_D$	V_E
1K4	M_i	-20,83	67,59	88,42	42,83
	M_j	-25,23	-86,73	61,50	
2K4	M_i	-22,43	67,55	89,98	43,59
	M_j	-24,14	-86,73	62,59	
3K4	M_i	-23,21	67,49	90,70	37,88
	M_j	-23,53	-65,40	41,87	
4K4	M_i	-14,93	67,49	82,42	37,09
	M_j	-18,02	-65,40	47,38	
1K5	M_i	-24,49	67,55	92,04	44,08
	M_j	-24,49	-86,73	62,24	
2K5	M_i	-24,34	67,55	91,89	44,08
	M_j	-24,34	-86,73	62,39	
3K5	M_i	-24,27	67,49	91,76	37,97
	M_j	-24,27	-65,40	41,13	
4K5	M_i	-18,17	67,49	85,66	37,97
	M_j	-18,17	-65,40	47,23	
1K6	M_i	-25,23	67,55	92,78	51,37
	M_j	-20,83	-107,85	87,02	
2K6	M_i	-24,14	67,55	91,69	44,57
	M_j	-22,43	-86,73	64,30	
3K6	M_i	-23,53	67,49	91,02	38,06
	M_j	-23,21	-65,40	42,19	
4K6	M_i	-18,02	67,49	85,51	38,85
	M_j	-14,93	-65,40	50,47	

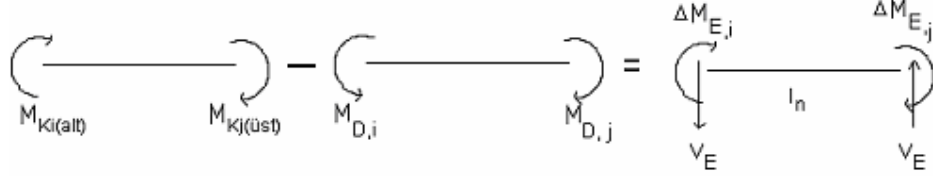
Not ⁽¹⁾ : Kiriş moment taşıma kapasitesi (M_k) hesabında, deprem etkisiyle kirişte oluşan momentin yönüyle uyumlu olarak (i) ucunda alt, (j) ucunda üst moment kapasiteleri alınmıştır.

4.2.5 Kolon Eksenel Yüklerinin Hesabı

- Deprem yönüne paralel bir çerçevedeki kolonların düşey yükleden ($G+nQ$) kaynaklanan eksenel yükleri (N_D), deprem yükünden kaynaklanan eksenel yükleri ise (N_E) dir.
- Deprem yükünden kaynaklanan eksenel yükler (N_E) 2007 Deprem Yönetmeliği'nin Ek 7-A'daki esaslara göre hesaplanmıştır.

1S1 Kolonunun Deprem Yükünden Kaynaklanan (N_E) Eksenel Yükünün Hesabı:

1.katta 1K1 kirişinden aktarılan kesme kuvveti ($V_{E,1}$):



Şekil 4.10 ΔM_E Artık moment kapasitesinin hesap gösterimi

$$M_{Ki(alt)} = 66,72 \text{ kNm}, M_{Di} = -14,53 \text{ kNm (düşey yükleme momenti)}$$

$$\Delta M_{k,i} = M_{Ki(alt)} - M_{Di} = 66,72 - (-14,53) = 81,25 \text{ kNm}$$

$$M_{Kj(üst)} = -86,73 \text{ kNm}, M_{Dj} = -17,60 \text{ kNm (düşey yükleme momenti)}$$

$$\Delta M_{k,j} = M_{Kj(üst)} - M_{Dj} = -86,73 - (-17,60) = -69,13 \text{ kNm}$$

$$V_{E,1} = (\Delta M_{k,i} + \Delta M_{k,j}) / l_n = (81,73 + 69,13) / 3,5 = 42,97 \text{ kN}$$

Kolona aktarılan ise ters yönde 42,97 kN olur.

Aynı hesaplar 2K1, 3K1, 4K1 kirişler içinde yapılır.

$$V_{E,2} = 37,35 \text{ kN}, V_{E,3} = 37,60 \text{ kN}, V_{E,4} = 37,26 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

$N_{E,1}$, 1S1 kolonuna üstteki kirişlerden aktarılan kesme kuvvetlerinin toplamıdır.

$$N_{E,1} = V_{E,1} + V_{E,2} + V_{E,3} + V_{E,4} = 42,97 + 37,35 + 37,60 + 37,26 = 155,17 \text{ kN (çekme)}$$

$N_{D,1}$, 1S1 kolonunun düşey yüklemeden elde edilen eksenel kuvvetidir:

$$N_{D,1} = -221,09 \text{ kN (basınç)}$$

$$N_{D,1} + N_{E,1} = -221,09 + 155,17 = -65,92 \text{ kN değeri için 1S1 kolonunun üst ucunun moment kapasitesi, } M_{kü} = 285,90 \text{ kNm}$$

2S1 kolonunun alt ucunun moment kapasitesi aynı şekilde,

$$M_{ka} = 285,60 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Tablo 4.8 D ve C Akslarındaki Kolonların Hesaplanan Eksenel Kuvvetleri

<i>KOLON ADI</i>	$\frac{N_{D(alt)}}{N_{D(üst)}} \text{ (kN)}$	$N_E \text{ (kN)}$	$\frac{N_{D(alt)} + N_E}{N_{D(üst)} + N_E} \text{ (kN)}$	<i>KOLON ADI</i>	$\frac{N_{D(alt)}}{N_{D(üst)}} \text{ (kN)}$	$N_E \text{ (kN)}$	$\frac{N_{D(alt)} + N_E}{N_{D(üst)} + N_E} \text{ (kN)}$
<i>1S1</i>	-239,84	155,17	-84,67	<i>1S5</i>	-362,08	161,39	-200,69
	-221,09		-65,92		-343,33		-181,94
<i>2S1</i>	-176,27	112,21	-64,06	<i>2S5</i>	-265,21	118,55	-146,66
	-157,52		-45,31		-246,46		-127,91
<i>3S1</i>	-111,87	74,86	-37,01	<i>3S5</i>	-168,09	74,96	-93,13
	-93,12		-18,26		-149,34		-74,38
<i>4S1</i>	-47,11	37,26	-9,85	<i>4S5</i>	-70,80	37,09	-33,71
	-28,36		8,90		-52,05		-14,96
<i>1S2</i>	-362,08	2,05	-360,03	<i>1S6</i>	-557,16	2,71	-554,45
	-343,33		-341,28		-538,41		-535,70
<i>2S2</i>	-265,21	1,18	-264,03	<i>2S6</i>	-407,81	1,46	-406,35
	-246,46		-245,28		-389,06		-387,60
<i>3S2</i>	-168,09	0,73	-167,36	<i>3S6</i>	-259,80	0,97	-258,83
	-149,34		-148,61		-241,05		-240,08
<i>4S2</i>	-70,80	0,54	-70,26	<i>4S6</i>	-112,50	0,88	-111,62
	-52,05		-51,51		-93,75		-92,87
<i>1S3</i>	-362,08	8,10	-353,98	<i>1S7</i>	-557,16	8,75	-548,41
	-343,33		-335,23		-538,41		-529,66
<i>2S3</i>	-265,21	7,23	-257,98	<i>2S7</i>	-407,81	1,46	-406,35
	-246,46		-239,23		-389,06		-387,60
<i>3S3</i>	-168,09	0,73	-167,36	<i>3S7</i>	-259,80	0,97	-258,83
	-149,34		-148,61		-241,05		-240,08
<i>4S3</i>	-70,80	0,54	-70,26	<i>4S7</i>	-112,50	0,88	-111,62
	-52,05		-51,51		-93,75		-92,87
<i>1S4</i>	-239,84	-165,33	-405,17	<i>1S8</i>	-362,08	-172,85	-534,93
	-221,09		-386,42		-343,33		-516,18
<i>2S4</i>	-176,27	-120,61	-296,88	<i>2S8</i>	-265,21	-121,48	-386,69
	-157,52		-278,13		-246,46		-367,94
<i>3S4</i>	-111,87	-76,32	-188,19	<i>3S8</i>	-168,09	-76,91	-245,00
	-93,12		-169,44		-149,34		-226,25
<i>4S4</i>	-47,11	-38,33	-85,44	<i>4S8</i>	-70,80	-38,85	-109,65
	-28,36		-66,69		-52,05		-90,90

1S1 Kolonunun üst ucunun KKO değerinin hesabı 2007 Deprem Yönetmeliği
Denklem (7A.2)'ye göre hesaplanır:

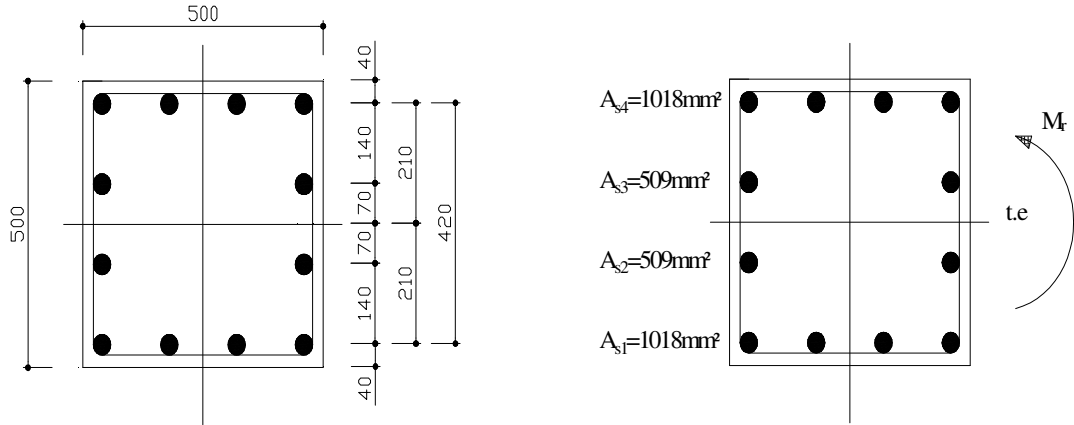
$$KKO = \frac{(M_{Ka} + M_{Ku})}{(M_{Ki(alt)} + M_{Kj(üst)})} = \frac{(285,60 + 285,90)}{(66,72 + 0)} = 8,57$$

1S1 kolonunun üst ucunun KKO değerini bulmak için yapılan işlemler 2S1, 3S1,4S1 kolonlarının üst uçlarının KKO değerlerini bulmak içinde tekrarlanır. KKO değerleri sırasıyla 8,42, 8,25, 4,06 olarak hesaplanır. Benzer şekilde bitişik kolon aksı için 1S2, 2S2, 3S2, 4S2 kolonlarının KKO değerleri sırasıyla 4,27, 4,71, 4,45, 2,14 olarak hesaplanır.

NOT: Bu çalışmada KKO değerlerimizin tamamı 1'den büyük çıkmıştır. Eğer herhangi bir KKO değeri 1'den küçük çıkarsa, o KKO hesabında kullanılan kirişlere ait $M_{Ki(alt)}$ ve $M_{Kj(üst)}$ değerleri KKO ile çarpılarak azaltılmalıdır. Azaltılan $M_{Ki(alt)}$ ve $M_{Kj(üst)}$ değerleri ile hesaplar tekrar yapılmalıdır.

Kolon Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesabı

1S1 Kolonu Moment Taşıma Kapasitesi (M_r) Hesabı:

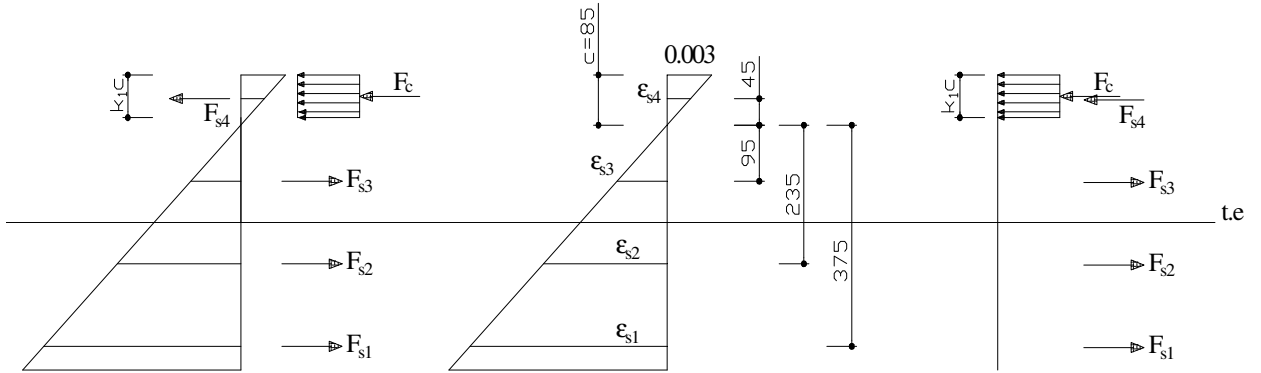


Şekil 4.11 4 katlı binanın kolonlarının malzeme ve geometrik özellikleri

$$N = -84,67\text{kN (basınç)}, \quad A_{s1} = A_{s4} = 1018\text{mm}^2, \quad A_{s2} = A_{s3} = 509\text{mm}^2,$$

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{MPa}, \quad f_{yk} = 420 \text{MPa}, \quad f_{ck} = 20 \text{MPa}, \quad 0,85f_{ck} = 17 \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yk}}{E_s} = \frac{420}{200000} = 0,0021$$



Şekil 4.12 IS1 kolonunun kesit gerilme dağılımı

- $c=250\text{mm}$ varsayılacaktır.

$$k_1c = 0,85 \times 250 = 212\text{mm}$$

$$\varepsilon_{s4} = -\varepsilon_{s1} = 0,003 \times \frac{210}{250} = 0,00252 \quad |\varepsilon_{s4}| = |\varepsilon_{s1}| > \varepsilon_{sy}$$

$$\varepsilon_{s3} = -\varepsilon_{s2} = 0,003 \times \frac{70}{250} = 0,00084 \quad |\varepsilon_{s3}| = |\varepsilon_{s2}| > \varepsilon_{sy}$$

$$\sigma_{s4} = -\sigma_{s1} = 420\text{MPa}$$

$$\sigma_{s3} = -\sigma_{s2} = \varepsilon_{s3} \times E_s = 0,00084 \times 2 \times 10^5 = 168\text{MPa}$$

$$F_{s4} = -F_{s1} = \sigma_{s4} \times A_{s4} / 1000 = 420 \times 1018 / 1000 = 427,56\text{kN}$$

$$F_{s3} = -F_{s2} = \sigma_{s3} \times A_{s3} / 1000 = 168 \times 509 / 1000 = 85,512\text{kN}$$

$$F_c = 0,85 f_{ck} k_1 c x b = 0,85 \times 20 \times 0,85 \times 250 \times 500 / 1000 = 1802\text{kN}$$

$$\Sigma F = 1802 + 427,56 + 85,512 - 427,56 - 85,512 - 84,67 = 1717,33$$

$$\Sigma \text{Basınç} = 1802 + 427,56 + 85,512 = 2315,072 \text{ kN}$$

$0,001 \times 2315,072 = 23,15 < 1717,33$ denge sağlanmamıştır.

- **c=85mm varsayılacaktır.**

$$k_1 c = 0,85 \times 85 = 72,25 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,003 \times \frac{-375}{85} = -0,0132 \quad |\varepsilon_{s1}| > \varepsilon_{sy}$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,003 \times \frac{-235}{85} = -0,00829 \quad |\varepsilon_{s2}| > \varepsilon_{sy}$$

$$\varepsilon_{s3} = 0,003 \times \frac{-95}{85} = -0,00335 \quad |\varepsilon_{s3}| > \varepsilon_{sy}$$

$$\varepsilon_{s4} = 0,003 \times \frac{45}{85} = 0,001588 \quad |\varepsilon_{s4}| < \varepsilon_{sy}$$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = \sigma_{s3} = -420 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s4} = \varepsilon_{s4} \times E_s = 0,001588 \times 2 \times 10^5 = 317,65 \text{ MPa}$$

$$F_{s1} = \sigma_{s1} \times A_{s1} / 1000 = -420 \times 1018 / 1000 = -427,56 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = F_{s3} = \sigma_{s2} \times A_{s2} / 1000 = -420 \times 509 / 1000 = -213,78 \text{ kN}$$

$$F_{s4} = \sigma_{s4} \times A_{s4} / 1000 = 317,65 \times 1018 / 1000 = 323,37 \text{ kN}$$

$$F_c = 0,85 f_{ck} \times k_1 \times c \times b = 0,85 \times 20 \times 0,85 \times 85 \times 500 / 1000 = 614,13 \text{ kN}$$

$$\Sigma F = 614,13 + 323,37 - 427,56 - 213,78 - 213,78 - 84,67 = -2,29 \text{ kN}$$

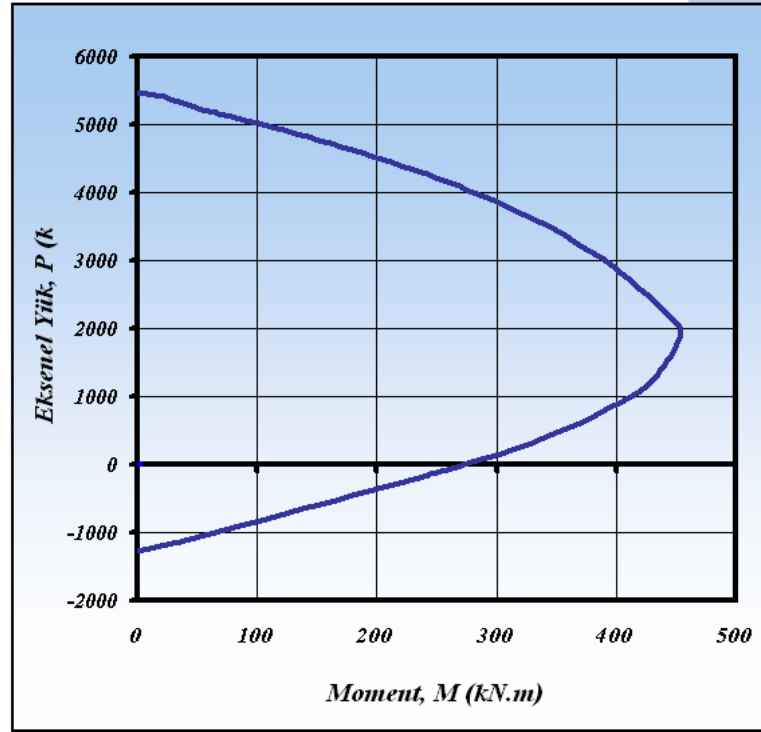
$$\Sigma \text{Basınç} = 614,13 + 323,37 = 937,50 \text{ kN}$$

$0,001 \times 937,50 = 9,375 > 2,29$ denge sağlanmıştır.

$$M_r = 614,13x(250 - 72,25/2) + 427,56x210 + 213,78x70 - 213,78x70 + 323,37x210$$

$$= 289,042\text{kNm}$$

En dıştaki çekme donatısı akmış olduğundan, bu bir çekme kırılmasıdır.



Şekil: 4.13 1S1 kolonunun x ve y doğrultuları için etkileşim diyagramı

Şekil 4.13’de, yukarıda malzeme ve geometrik özellikleri verilen kolona ait etkileşim diyagramı görülmektedir. Diğer kolonların moment taşıma kapasiteleri bu diyagramdan excel bilgisayar programı yardımı ile hesaplanmıştır.

4.2.6 Kiriş ve Kolonların Kesme Kontrolü

Bütün kolon ve kirişler için kesme kontrolü yapılmalıdır. Aşağıda örnek olarak 1S1 kolonu için kolon kesme kontrolü yapılmıştır.

1S1 Kolonu kesit kesme kapasitesi (TS-500'e göre):

$$V_r = V_c + V_w = 0.8 V_{cr} + V_w$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,8 \times 0,65 f_{ctm} b_w d (1 + \gamma N / A_c) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 1,6 \times 500 \times 460 \times (1 + 0,07 \times 222,34 \times 1000 / (500 \times 500)) \\ &= 203,224 \text{ kN} , \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_w &= A_{sw} f_{yw} d / s = 100,53 \times 420 \times 460 / 90 \\ &= 215,804 \text{ kN}, \end{aligned}$$

$$V_r = 419,028 \text{ kN}$$

Kesit Kesme Etkisi 2007 Deprem Yönetmeliğinin 3.3.7 Maddesine göre:

$$V_e = (M_{\bar{u}} + M_a) / l_n$$

$$M_{\bar{u}} = 29,04 \text{ kNm}, M_a = 289,05 \text{ kNm}, l_n \text{ (eleman net açıklığı)} = 2,5 \text{ m}$$

$$V_e = 127,24 \text{ kN}$$

Örnek kolonun üst ve alt ucunda kolonlar kirişlerden güçlü olduğu için $M_{\bar{u}}$ ve M_a değerleri Şekil 4.14 (2007 Deprem Yönetmeliği-Şekil 3.5)'den hesaplanmıştır.

$M_{\bar{u}} = 29,04 \text{ kNm}$ Değerinin Hesabı:

$$M_{h\bar{u}} = 218,41 \text{ kNm}, M_{ha} = 283,44 \text{ kNm}, M_{ki} = 66,72 \text{ kNm}, M_{kj} = 0$$

$M_{h\bar{u}}$, M_{ha} değerleri yatay yük analizinden elde edilmiştir. M_{ha} , 2S1 kolonunun alt ucundaki analizden elde edilen moment; $M_{h\bar{u}}$, 1S1 kolonunun üst ucundan elde edilen momenttir. M_{pj} ve M_{pi} değerleri 1S1 kolonunun üst ucundaki birleşimin solundaki kirişin sağ ucunun üst moment kapasitesi (1S1 kolonunun solunda kiriş yoktur), sağındaki kirişin sol ucunun alt moment kapasitesidir.

$$\Sigma M_p = 66,72 + 0 = 66,72 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{\bar{u}} &= 66,72 \times 218,41 / (218,41 + 283,44) \\ &= 29,04 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$V_e < V_r$ olduğu için 1S1 kolonunun uçları “sünek”tir.

Kat No.	M_{ij} 'nin hesaplanması		M_o 'nin hesaplanması	
	Kolon üst ucunda Denk. 3.3'ün sağlanması durumu	Kolon üst ucunda Denk. 3.3'ün sağlanmaması durumu	Kolon alt ucunda Denk. 3.3'ün sağlanmaması durumu	Kolon alt ucunda Denk. 3.3'ün sağlanması durumu
$i+1$				
i				
$i-1$				
	$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_{ij} = \frac{M_{hü(i)}}{M_{hü(i)} + M_{ha(i+1)}} \sum M_p$		$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj}$ $M_o = \frac{M_{ha(i)}}{M_{ha(i)} + M_{hü(i-1)}} \sum M_p$	
<p>$M_{hü(i)}$: i'inci kat kolonu üst ucunda Bölüm 2'ye göre bulunan moment $M_{ha(i)}$: i'inci kat kolonu alt ucunda Bölüm 2'ye göre bulunan moment</p>				

Şekil 4.14 2007 Deprem Yönetmeliği Şekil 3.5, M_{ij} ve M_o değerlerinin hesaplanması

Bütün kirişler için kesme kontrolü yapılmalıdır. Aşağıda örnek olarak 1K1 kirişi için kiriş kesme kontrolü yapılmıştır.

Kesit kesme kapasitesi TS-500'e göre;

$V_r = V_c + V_w = 0,8V_{cr} + V_w$ formülü ile hesaplanmıştır. Kiriş mesnet bölgesi için,

$$V_c = 0,8 \times 0,65 \times f_{ctm} \times b_w \times d = 0,8 \times 0,65 \times 1,6 \times 250 \times 475 = 98800 \text{ N,}$$

$$V_w = A_{sw} f_{yw} d/s = 100,53 \times 420 \times 475/90 = 222841 \text{ N,}$$

$$V_{ri} = V_{rj} = 321,64 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Kesit kesme etkisi, 2007 Deprem Yönetmeliği'nin 3.4.5 Maddesine göre,

(i) ucunda, $V_e = V_{dy} - (M_{K_i(\text{alt})} + M_{K_j(\text{üst})}) / l_n$ ile hesaplanmıştır.

$V_{dy} = 22,41$ kN, $M_{K_i(\text{alt})} = 66,72$ kNm, $M_{K_j(\text{üst})} = 86,73$ kNm, $l_n = 3,5$ m,

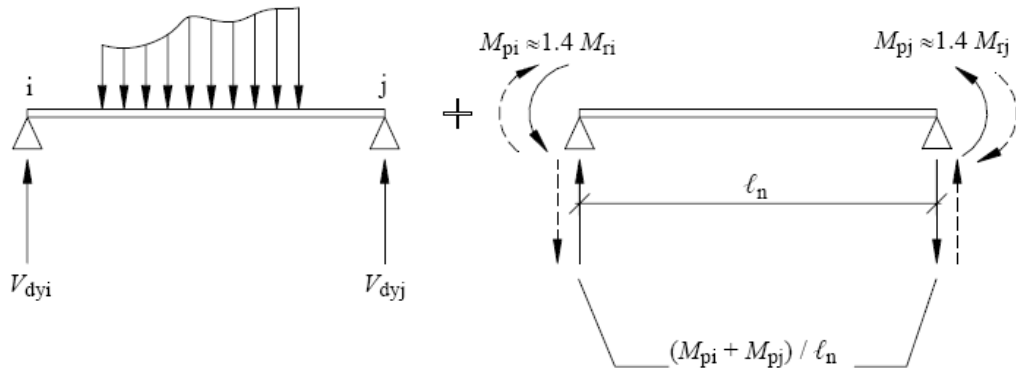
$V_{ei} = 21,43$ kN

(j) ucunda, $V_e = V_{dy} + (M_{K_i(\text{alt})} + M_{K_j(\text{üst})}) / l_n$ ile hesaplanmıştır.

$V_{dy} = 23,94$ kN, $M_{K_i(\text{alt})} = 66,72$ kNm, $M_{K_j(\text{üst})} = 86,73$ kNm, $l_n = 3,5$ m,

$V_{ej} = 67,78$ kN

$V_e < V_r$ olduğu için 1K1 kirişinin mesnet bölgeleri “sünek”tir.



Şekil 4.15 Kirişlerden kesme kuvvetinin aktarılmasının hesabı

4.2.7 Birleşim Bölgelerinin Kesme Kontrolü

Birleşim bölgesi kesme kontrolü tüm birleşimlerde yapılmalıdır. Aşağıda 1S1 kolonunun üst ucundaki birleşim bölgesi kontrol edilmiştir.

Kesit kesme kapasitesi 2007 Deprem Yönetmeliği Madde 3.5.2.2'ye göre;

“kuşatılmış birleşimlerde”, $V_r = 0,6bhf_{cm}$,

“kuşatılmamış birleşimlerde”, $V_r = 0,45bhf_{cm}$, formülleri kullanılarak hesaplanır.

Örnek birleşim bölgesi kuşatılmamıştır. Dolayısıyla,

$$V_r = 0,45b_jhf_{cm} = 0,45 \times 250 \times 500 \times 20 = 1125 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

Kesit kesme etkisi, 2006 Deprem Yönetmeliği Madde 3.5.2.1'e göre;

$$V_e = 1,25f_{ym}(A_{s1}+A_{s2})-V_{e(kol)} \text{ formülü ile hesaplanmıştır.}$$

$$A_{s1}=0, A_{s2}=339\text{mm}^2, f_{ym}=420\text{MPa,}$$

$$1S1 \text{ Kolonu için } V_{e(kol)} = 127,24 \text{ kN,}$$

$$2S1 \text{ Kolonu için } V_{e(kol)} = 22,93 \text{ kN,}$$

$$V_{e(kol)} = \min(127,24, 22,93) = 22,93 \text{ kN,} \quad V_e = 155,05 \text{ kN}$$

$V_e < V_r$ olduğu için örnek kesme bölgesi kesme bakımından güvenlidir.

4.2.8 Kiriş ve Kolon Kesitlerinin “Etki/Kapasite Oranları (r)”nın ve”Sınır Değerleri (r_{sınır})”nin Hesabı

Örnek : 1S1 Kolonunun Sınır Değerleri 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.3'e göre hesaplanmıştır.

$$N_{D+E} = -84,67 \text{ kN, } A_c = 500 \times 500 \text{mm}^2 \quad f_{cm} = 20 \text{MPa}$$

$$\frac{N}{A_c f_{ck}} = \frac{84,67}{500 \times 500 \times 20} = 0,0169$$

$$V_e = 127,24 \text{ kN, } f_{ctm} = 1,6 \text{MPa}$$

$$\frac{V}{b_w df_{ctk}} = \frac{127,24}{460 \times 500 \times 0,0016} = 0,346$$

Kolon sargılanmıştır.

Bina “Can Güvenliği Performans Düzeyi” ne göre kontrol edildiği için GV hasar sınırının değerleri göz önüne alınır. Hesaplanan $N/(A_c f_{ck})$ ve $V/(b_w df_{ctk})$ değerleri ile 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.3'den “r_{sınır}” değeri 6,00 bulunur.

Yatay yükler altında hesaplanan moment M_E , kolonun üst ucunda -218,41 kNm, alt ucunda ise 567,21 kNm'dir. Kolonun moment kapasitesinden, düşey yüklemeden gelen moment (M_D) çıkarılarak "Artık Moment Kapasitesi" bulunur.

"Artık Moment Kapasitesi, üst ve alt uçta;

$$\Delta M_{Kü} = -285,90 - 6,11 = -292,01 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{Ka} = -289,05 - (-2,98) = 292,03 \text{ kNm}$$

"Etki/Kapasite Oranı (r)" üst uçta;
$$r = \frac{M_{Eü}}{\Delta M_{Kü}} = \frac{218,41}{292,01} = 0,75$$

"Etki/Kapasite Oranı (r)" alt uçta;
$$r = \frac{M_{Ea}}{\Delta M_{Ka}} = \frac{567,21}{292,03} = 1,94$$

Kolonun üst ucunda $r/r_{sınırlı} = 0,75 / 6,00 = 0,12 < 1$

Kolonun alt ucunda $r/r_{sınırlı} = 1,94 / 6,00 = 0,32 < 1$

$r/r_{sınırlı}$ değerleri her iki uçta da 1'den küçük olduğu için bu kolon "GV" güvenlik sınırını sağlamaktadır.

Örnek : 1K1 Kirişinin Sınır Değerleri 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.2'e göre hesaplanmıştır.

(i) ucu; $\rho = 0,00285$, $\rho' = 0,00381$, $\rho_b = 0,0160$, $(\rho - \rho') / \rho_b = -0,059$

(j) ucu; $\rho = 0,00381$, $\rho' = 0,00285$, $\rho_b = 0,0160$, $(\rho - \rho') / \rho_b = 0,059$

(i) ucu; $V = 21,43 \text{ kN}$, $b_w d = 250 \times 475$, $f_{ctm} = 1,6 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{V}{b_w d f_{ctm}} = \frac{21430}{250 \times 475 \times 1,6} = 0,1128$$

(j) ucu; $V = 67,78 \text{ kN}$, $b_w d = 250 \times 475$, $f_{ctk} = 1,6 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{V}{b_w d f_{ctm}} = \frac{67780}{250 \times 475 \times 1,6} = 0,3568$$

Kiriş sargılanmıştır.

Bina “Can Güvenliği Performans Düzeyi”ne göre kontrol edildiği için “GV” hasar sınırının değerleri göz önüne alınır. Hesaplanan $(\rho - \rho') / \rho_b$ ve $V / (b_w d f_{ctk})$ değerleri ile 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.2’den $r_{sımr}$ değeri iterasyon yaparak hesaplanır ve (i) ucu için 7,00, (j) ucu için 6,76 bulunur.

Yatay yüklemekten hesaplanan (M_E), (i) ucunda 426,32 kNm, (j) ucunda -402,89 kNm’dir. Kirişin kapasitesinden, düşey yüklemekten gelen (M_D) çıkarılarak “Artık Moment Kapasitesi” bulunur. Artık moment kapasiteleri;

$$(i) \text{ ucunda, } \Delta M_{ki} = 66,72 - (-14,53) = 81,25 \text{ kNm,}$$

$$(j) \text{ ucunda, } \Delta M_{kj} = -86,73 - (-17,60) = 69,13 \text{ kNm}$$

$$\text{“Etki/Kapasite Oranı (r)” (i) ucunda; } \quad r = \frac{M_{Ei}}{\Delta M_{Ki}} = \frac{500,66}{81,25} = 6,16$$

$$\text{“Etki/Kapasite Oranı (r)” (j) ucunda; } \quad r = \frac{M_{Ej}}{\Delta M_{Kj}} = \frac{457,54}{69,13} = 6,62$$

$$\text{Kolonun üst ucunda } r/r_{sımr} = 6,16 / 7,00 = 0,88 < 1$$

$$\text{Kolonun alt ucunda } r/r_{sımr} = 6,62 / 6,76 = 0,98 < 1$$

$r/r_{sımr}$ değerleri (i) ve (j) ucunda 1’den küçük olduğu için bu kiriş “GV” güvenlik sınırını sağlamaktadır.

Tablo 4.9 Kirişlerde r/r_{sinir} değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kiriş	Kiriş Ucu	$\Delta M_k = M_k - M_D$	M_E	$r = \frac{M_E}{\Delta M_k}$	$V_{\text{düşey}}$	V_e	$\frac{V_e}{b_w d f_{cm}}$	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	r_{sinir}	r/r_{sinir}
1K1	M_i	81,25	500,66	6,16	-22,41	21,43	0,1128	-0,059	7,00	0,88
	M_j	69,13	-457,54	6,62	23,94	67,78	0,3568	0,059	6,76	0,98
2K1	M_i	82,26	473,96	5,76	-22,83	14,92	0,0785	-0,059	7,00	0,82
	M_j	48,46	-438,33	9,05	23,52	61,27	0,3225	0,000	7,00	1,29
3K1	M_i	82,81	321,76	3,89	-23,00	14,79	0,0779	0,000	7,00	0,56
	M_j	48,79	-298,79	6,12	23,35	61,14	0,3218	0,000	7,00	0,87
4K1	M_i	76,13	154,76	2,03	-14,18	23,61	0,1243	0,000	7,00	0,29
	M_j	54,27	-135,72	2,50	15,12	52,91	0,2785	0,000	7,00	0,36
1K2	M_i	83,74	421,69	5,04	-23,18	20,66	0,1088	-0,059	7,00	0,72
	M_j	69,71	-421,69	6,05	32,10	75,94	0,3997	0,059	6,76	0,89
2K2	M_i	83,81	413,49	4,93	-23,18	14,61	0,0769	0,000	7,00	0,70
	M_j	48,47	-413,49	8,53	32,10	69,89	0,3679	0,000	7,00	1,22
3K2	M_i	83,78	288,09	3,44	-23,18	14,61	0,0769	0,000	7,00	0,49
	M_j	48,50	-288,09	5,94	32,10	69,89	0,3679	0,000	7,00	0,85
4K2	M_i	78,05	129,47	1,66	-14,65	23,14	0,1218	0,000	7,00	0,24
	M_j	54,23	-129,47	2,39	14,65	52,44	0,2760	0,000	7,00	0,34
1K3	M_i	84,32	457,54	5,43	-23,94	19,90	0,1048	-0,059	7,00	0,78
	M_j	72,20	-500,66	6,93	22,41	66,25	0,3487	0,059	6,76	1,03
2K3	M_i	83,82	438,33	5,23	-23,52	20,37	0,1072	0,000	7,00	0,75
	M_j	71,19	-473,96	6,66	22,83	66,72	0,3512	0,059	6,76	0,99
3K3	M_i	83,49	298,79	3,58	-23,35	14,44	0,0760	0,000	7,00	0,51
	M_j	49,47	-321,76	6,50	23,00	60,79	0,3200	0,000	7,00	0,93
4K3	M_i	78,01	135,72	1,74	-15,12	22,67	0,1193	0,000	7,00	0,25
	M_j	56,15	-154,76	2,76	14,18	51,97	0,2735	0,000	7,00	0,39
1K4	M_i	88,42	537,53	6,08	-31,00	13,09	0,0689	-0,119	7,00	0,87
	M_j	61,50	-489,03	7,95	33,20	77,29	0,4068	0,059	6,76	1,18
2K4	M_i	89,98	509,29	5,66	-31,67	12,41	0,0653	-0,059	7,00	0,81
	M_j	62,59	-467,74	7,47	32,53	76,61	0,4032	0,059	6,76	1,11
3K4	M_i	90,70	345,81	3,81	-32,02	5,95	0,0313	0,000	7,00	0,54
	M_j	41,87	-319,00	7,62	32,18	70,15	0,3692	0,000	7,00	1,09
4K4	M_i	82,42	164,49	2,00	-22,28	15,69	0,0826	0,000	7,00	0,29
	M_j	47,38	-142,91	3,02	23,82	61,79	0,3252	0,000	7,00	0,43
1K5	M_i	92,04	449,24	4,88	-32,10	11,98	0,0631	-0,059	7,00	0,70
	M_j	62,24	-449,24	7,22	32,10	76,18	0,4009	0,059	6,76	1,07
2K5	M_i	91,89	439,15	4,78	-32,10	11,98	0,0631	-0,059	7,00	0,68
	M_j	62,39	-439,15	7,04	32,10	76,18	0,4009	0,059	6,76	1,04
3K5	M_i	91,76	306,86	3,34	-32,10	5,87	0,0309	0,000	7,00	0,48
	M_j	41,13	-306,86	7,46	32,10	70,07	0,3688	0,000	7,00	1,07
4K5	M_i	85,66	136,56	1,59	-23,05	14,92	0,0785	0,000	7,00	0,23
	M_j	47,23	-136,56	2,89	23,05	61,02	0,3212	0,000	7,00	0,41
1K6	M_i	92,78	489,03	5,27	-33,20	16,91	0,0890	-0,059	7,00	0,75
	M_j	87,02	-537,53	6,18	31,00	81,11	0,4269	0,119	6,51	0,95
2K6	M_i	91,69	467,74	5,10	-32,53	11,55	0,0608	-0,059	7,00	0,73
	M_j	64,30	-509,29	7,92	31,67	75,75	0,3987	0,059	6,76	1,17
3K6	M_i	91,02	319,00	3,50	-32,18	5,79	0,0305	0,000	7,00	0,50
	M_j	42,19	-345,81	8,20	32,08	70,05	0,3687	0,000	7,00	1,17
4K6	M_i	85,51	142,91	1,67	-23,82	14,15	0,0745	0,000	7,00	0,24
	M_j	50,47	-164,49	3,26	22,28	60,25	0,3171	0,000	7,00	0,47

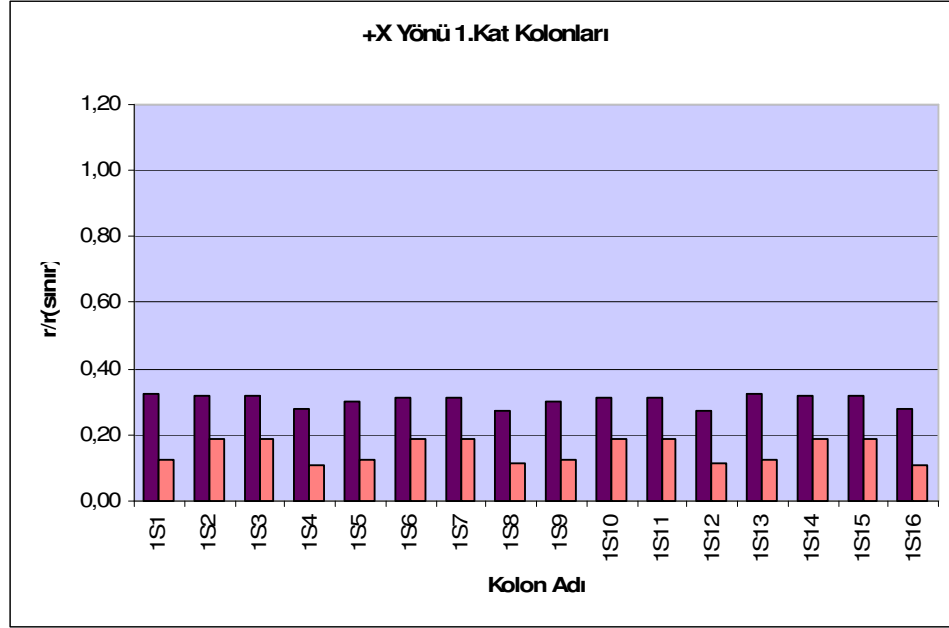
Tablo 4.10 Kolonlarda r/r_{smr} değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kolon	Kolon Ucu	$M_{ka}-M_{kü}$	KKO	M_d	$\Delta M_{ka}-\Delta M_{kü}$	M_E	N	M_a-M_{ii}	r	$N/(A_c \cdot f_{cm})$	V_e	$V_e/b_w d f_{ctm}$	r_{smr}	r/r_{smr}
1S1	Alt	289,05		-2,98	292,03	567,21	694,15	289,05	1,94	0,0169	127,23	0,35	6,00	0,32
	Üst	285,90	8,57	6,11	-292,01	-218,41		29,04	0,75	0,0132			6,00	0,12
2S1	Alt	285,60		-8,62	294,22	283,44	456,48	37,68	0,96	0,0128	32,10	0,09	6,00	0,16
	Üst	282,00	8,42	8,12	-290,12	-302,99		42,57	1,04	0,0091			6,00	0,17
3S1	Alt	280,04		-7,60	287,64	171,90	228,21	24,15	0,60	0,0074	32,54	0,09	6,00	0,10
	Üst	276,80	8,25	7,56	-284,36	-275,66		57,19	0,97	0,0037			6,00	0,16
4S1	Alt	275,20		-8,53	283,73	46,70	72,82	9,69	0,16	0,0020	30,63	0,08	6,00	0,03
	Üst	271,60	4,06	9,58	-281,18	-155,20		66,88	0,55	-0,0018			6,00	0,09
1S2	Alt	336,00		0,15	335,85	644,15	-69,17	336,00	1,92	0,0720	160,61	0,44	6,00	0,32
	Üst	333,40	4,27	-0,30	-333,10	-376,05		65,52	1,13	0,0683			6,00	0,19
2S2	Alt	322,00		0,28	321,72	504,67	-40,44	87,93	1,57	0,0528	84,76	0,23	6,00	0,26
	Üst	318,70	4,71	-0,11	-318,59	-510,23		123,97	1,60	0,0491			6,00	0,27
3S2	Alt	304,08		-0,11	304,19	34,19	-19,07	8,31	0,11	0,0335	41,41	0,11	6,00	0,02
	Üst	301,30	4,45	0,17	-301,47	-423,25		95,23	1,40	0,0297			6,00	0,23
4S2	Alt	286,80		-0,14	286,94	164,67	-7,93	37,05	0,57	0,0141	67,73	0,18	6,00	0,10
	Üst	283,20	2,14	0,04	-283,24	-265,80		132,28	0,94	0,0103			6,00	0,16
1S3	Alt	335,20		-0,15	335,35	644,15	69,17	335,20	1,92	0,0708	160,29	0,44	6,00	0,32
	Üst	332,60	4,26	0,30	-332,90	-376,05		65,52	1,13	0,0670			6,00	0,19
2S3	Alt	320,90		-0,28	321,18	504,67	40,44	87,93	1,57	0,0516	84,76	0,23	6,00	0,26
	Üst	317,60	4,71	0,11	-317,71	-510,23		123,97	1,61	0,0478			6,00	0,27
3S3	Alt	304,80		0,11	304,69	34,19	19,07	8,31	0,11	0,0335	41,41	0,11	6,00	0,02
	Üst	301,30	4,45	-0,17	-301,13	-423,25		95,23	1,41	0,0297			6,00	0,23
4S3	Alt	286,80		0,14	286,66	164,67	7,93	37,05	0,57	0,0141	67,73	0,18	6,00	0,10
	Üst	283,20	2,14	-0,04	-283,16	-265,80		132,28	0,94	0,0103			6,00	0,16
1S4	Alt	342,10		2,98	339,12	567,21	-694,15	342,10	1,67	0,0810	151,94	0,41	6,00	0,28
	Üst	339,50	7,69	-6,11	-333,39	-218,41		37,75	0,66	0,0773			6,00	0,11
2S4	Alt	327,40		8,62	318,78	283,44	-456,48	48,98	0,89	0,0594	41,73	0,11	6,00	0,15
	Üst	324,40	7,30	-8,12	-316,28	-302,99		55,34	0,96	0,0556			6,00	0,16
3S4	Alt	308,50		7,60	300,90	171,90	-228,21	31,39	0,57	0,0376	34,93	0,09	6,00	0,10
	Üst	305,10	9,09	-7,56	-297,54	-275,66		55,93	0,93	0,0339			6,00	0,15
4S4	Alt	289,60		8,53	281,07	46,70	-71,82	9,47	0,17	0,0171	29,95	0,08	6,00	0,03
	Üst	286,10	4,37	-9,58	-276,52	-155,20		65,40	0,56	0,0133			6,00	0,09

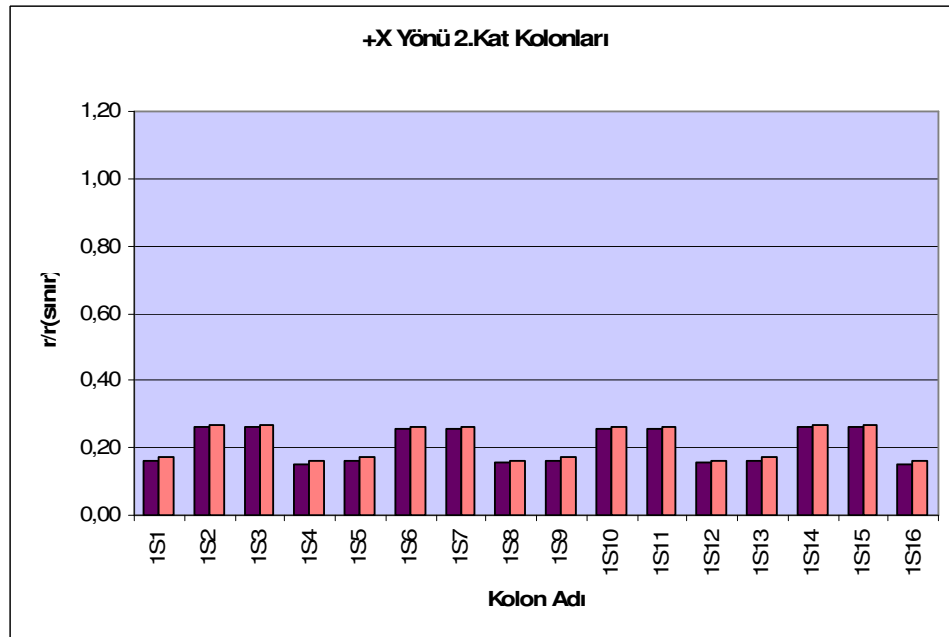
Tablo 10 (Devamı) Kolonlarda r/r_{smr} değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kolon	Kolon Ucu	$M_{ka}-M_{kü}$	KKO	M_d	$\Delta M_{ka}-\Delta M_{kü}$	M_E	N	$M_a-M_{ü}$	r	$N/(A_c*f_{cm})$	V_e	$V_e/b_w d f_{ctm}$	r_{smr}	r/r_{smr}
1S5	Alt	310,80		-4,16	314,96	574,27	743,18	310,80	1,82	0,0401	136,06	0,37	6,00	0,30
	Üst	307,40	9,00	8,53	-315,93	-232,87		29,35	0,74	0,0364			6,00	0,12
2S5	Alt	301,00		-12,11	313,11	303,47	486,66	38,24	0,97	0,0293	32,38	0,09	6,00	0,16
	Üst	297,50	8,71	11,49	-308,99	-321,46		42,72	1,04	0,0256			6,00	0,17
3S5	Alt	291,10		-10,75	301,85	186,90	242,61	24,83	0,62	0,0186	32,50	0,09	6,00	0,10
	Üst	287,50	8,41	10,59	-298,09	-288,58		56,42	0,97	0,0149			6,00	0,16
4S5	Alt	279,80		-12,46	292,26	56,63	76,65	11,07	0,19	0,0067	31,42	0,09	6,00	0,03
	Üst	276,20	4,09	14,60	-290,80	-164,06		67,49	0,56	0,0030			6,00	0,09
1S6	Alt	361,90		0,19	361,71	673,01	-77,89	361,90	1,86	0,1109	171,48	0,47	5,92	0,31
	Üst	359,40	4,55	-0,40	-359,00	-405,54		66,79	1,13	0,1071			5,95	0,19
2S6	Alt	342,20		0,33	341,87	531,24	-45,89	87,49	1,55	0,0813	71,63	0,19	6,00	0,26
	Üst	339,70	4,28	-0,08	-339,62	-537,45		91,59	1,58	0,0775			6,00	0,26
3S6	Alt	321,00		-0,27	321,27	367,83	-21,25	62,69	1,14	0,0518	62,89	0,17	6,00	0,19
	Üst	317,80	4,61	0,39	-318,19	-444,53		94,54	1,40	0,0480			6,00	0,23
4S6	Alt	294,50		-0,33	294,83	180,29	-8,53	38,35	0,61	0,0223	68,49	0,19	6,00	0,10
	Üst	291,00	2,19	0,15	-291,15	-278,86		132,89	0,96	0,0186			6,00	0,16
1S7	Alt	361,10		-0,19	361,29	673,01	77,89	361,10	1,86	0,1097	171,16	0,47	5,93	0,31
	Üst	358,70	4,54	0,40	-359,10	-405,54		66,79	1,13	0,1059			5,96	0,19
2S7	Alt	342,20		-0,33	342,53	531,24	45,89	87,49	1,55	0,0813	71,63	0,19	6,00	0,26
	Üst	339,70	4,28	0,08	-339,78	-537,45		91,59	1,58	0,0775			6,00	0,26
3S7	Alt	321,00		0,27	320,73	367,83	21,25	62,69	1,15	0,0518	62,89	0,17	6,00	0,19
	Üst	317,80	4,61	-0,39	-317,41	-444,53		94,54	1,40	0,0480			6,00	0,23
4S7	Alt	294,50		0,33	294,17	180,29	8,53	38,35	0,61	0,0223	68,49	0,19	6,00	0,10
	Üst	291,00	2,19	-0,15	-290,85	-278,86		132,89	0,96	0,0186			6,00	0,16
1S8	Alt	359,30		4,16	355,14	574,27	-743,18	359,30	1,62	0,1070	162,45	0,44	5,95	0,27
	Üst	356,90	6,46	-8,53	-348,37	-232,87		46,83	0,67	0,1032			5,98	0,11
2S8	Alt	339,60		12,11	327,49	303,47	-486,66	61,02	0,93	0,0773	46,35	0,13	6,00	0,15
	Üst	337,00	7,56	-11,49	-325,51	-321,46		54,84	0,99	0,0736			6,00	0,16
3S8	Alt	318,60		10,75	307,85	186,90	-242,61	31,89	0,61	0,0490	34,62	0,09	6,00	0,10
	Üst	315,30	9,32	-10,59	-304,71	-288,58		54,67	0,95	0,0453			6,00	0,16
4S8	Alt	294,10		12,46	281,64	56,63	-76,65	10,73	0,20	0,0219	30,45	0,08	6,00	0,03
	Üst	290,60	4,44	-14,60	-276,00	-164,06		65,40	0,59	0,0182			6,00	0,10

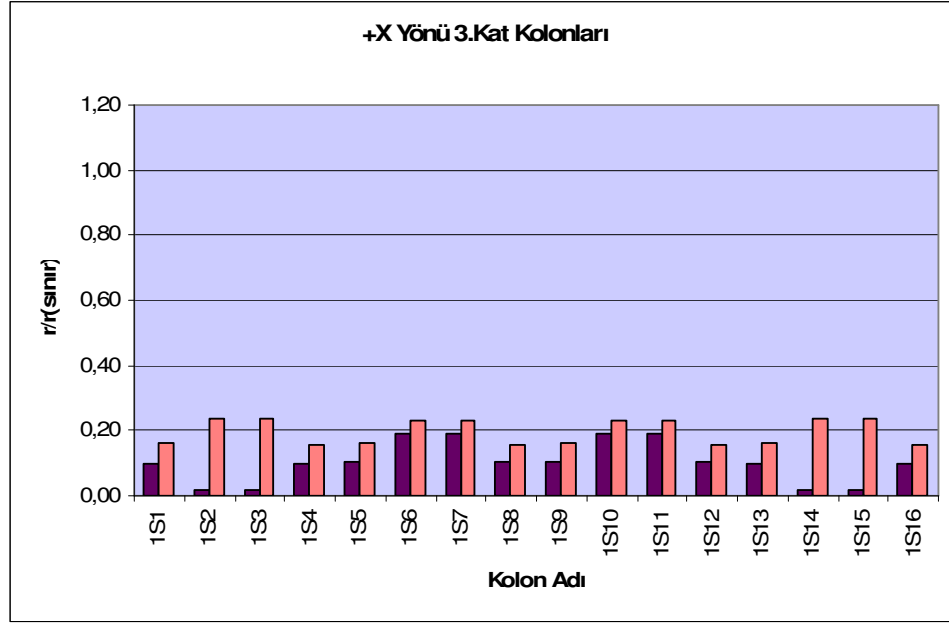
4.2.9 Kolon Ve Kiriş Kesitlerinin “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)” ile Karşılaştırılması



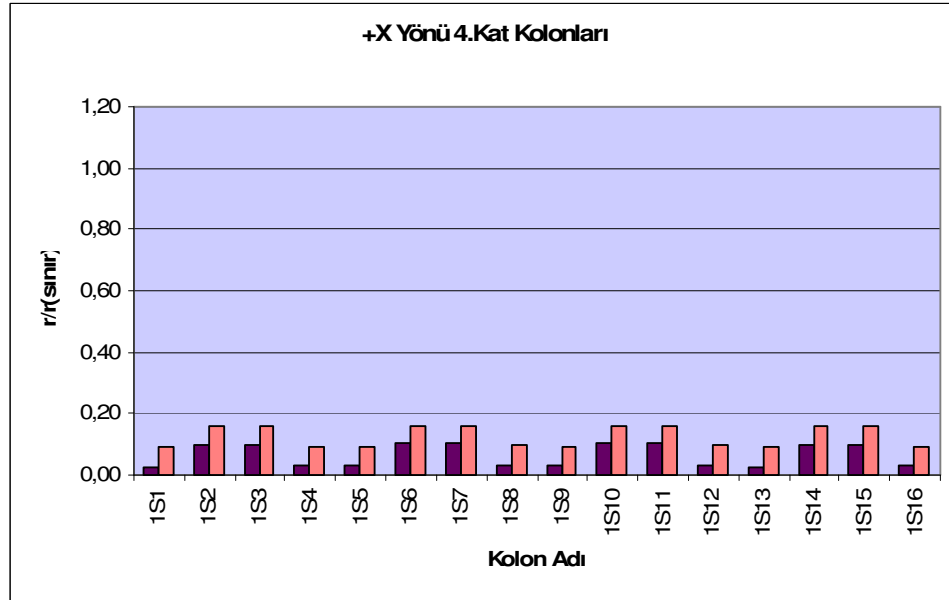
Şekil 4.16 +X Yönü 1.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



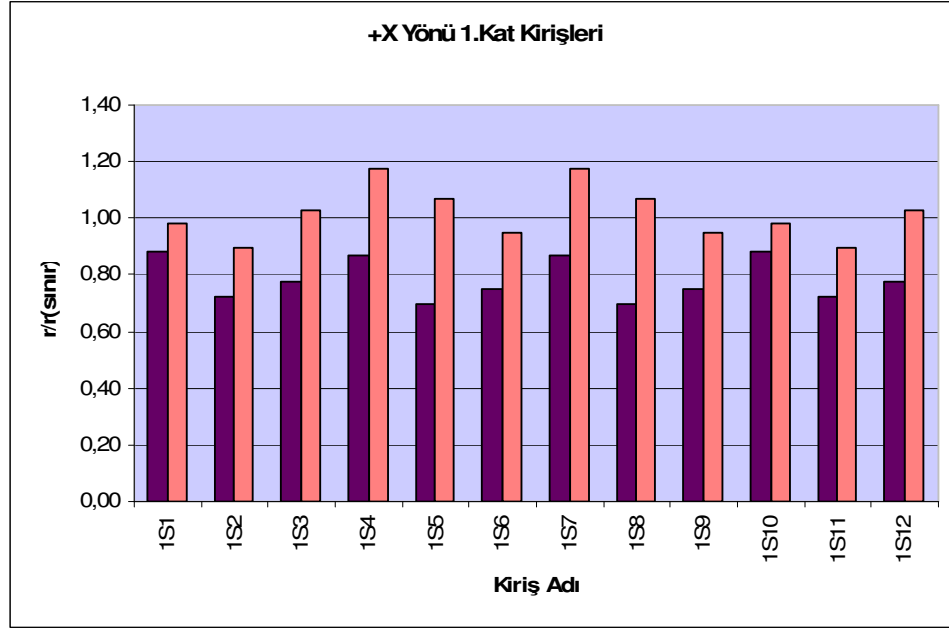
Şekil 4.17 +X Yönü 2.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



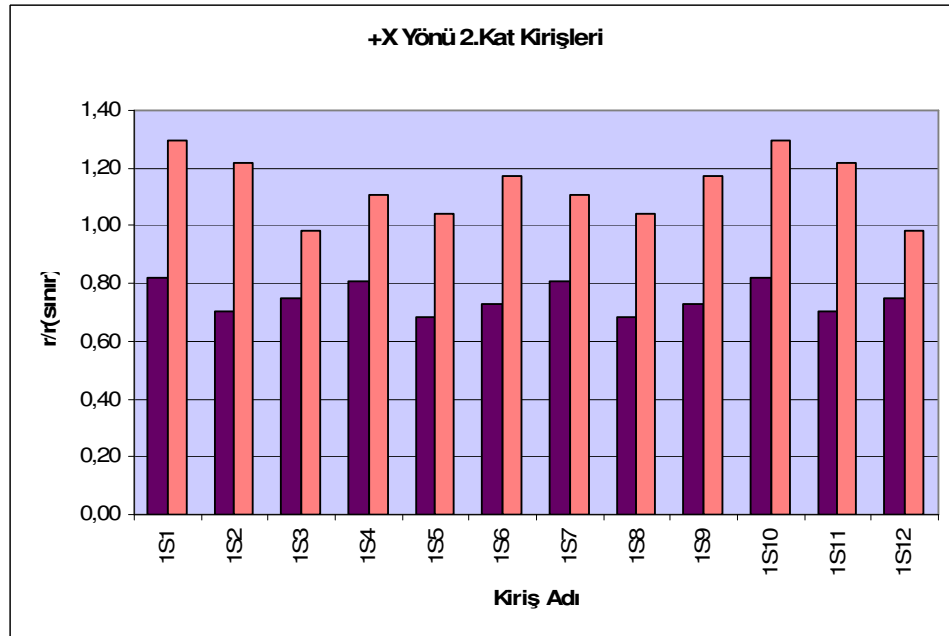
Şekil 4.18 +X Yönü 3.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



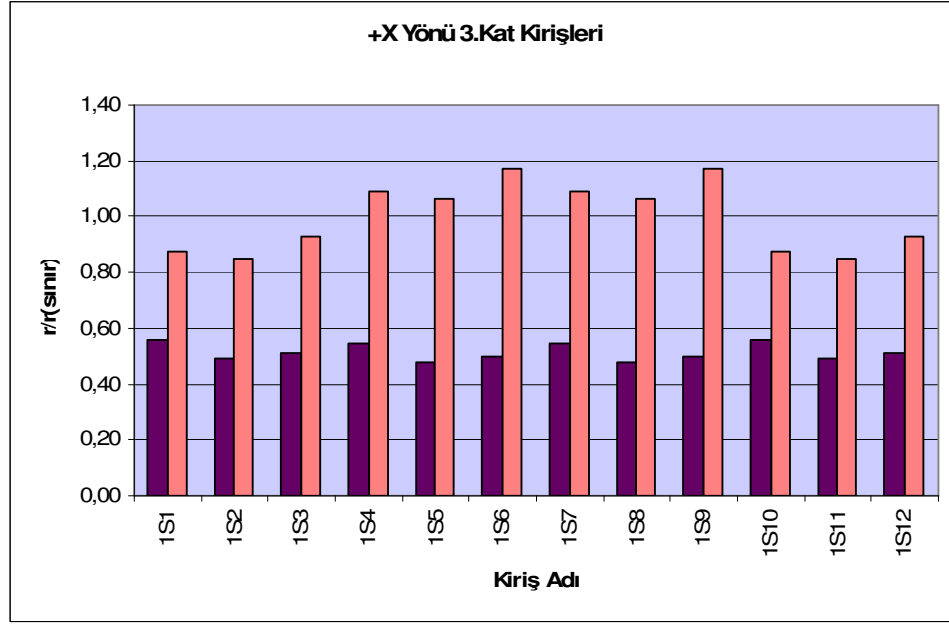
Şekil 4.19 +X Yönü 4.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



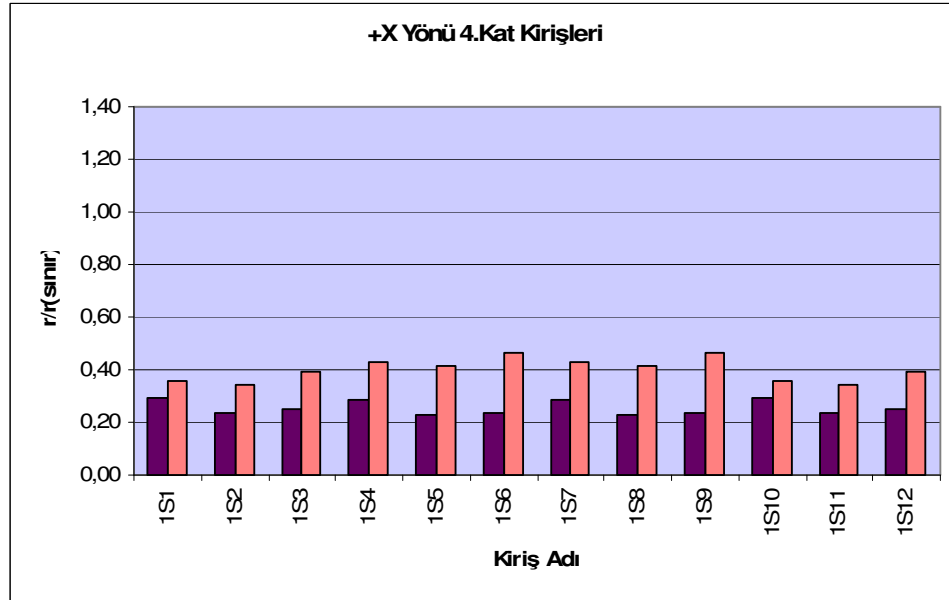
Şekil 4.20 +X Yönü 1.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.21 +X Yönü 2.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.22 +X Yönü 3.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.23 +X Yönü 4.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri

4.2.10 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Aşağıdaki tabloda “Güvenlik Sınırı”nı sağlamayan kirişlerin adedinin o kattaki tüm kirişlerin adedine oranı ve “Güvenlik Sınırı”nı sağlamayan kolonların aldığı kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonların aldığı kesme kuvvetine oranı verilmiştir. Herhangi bir katta bu oranların, kirişlerde %30 kolonlarda %20’den büyük olduğu durumlarda bina, “Güvenlik sınırı”nı sağlamamaktadır.

+X ve +Y yönünde bütün katlardaki kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri 1’den küçüktür.

+X ve +Y yönünde, 1. ve 3. katlarda bulunan 12’şer adet kirişten 6’şar adedinde $r/r_{sınır}$ değeri 1.0’ı aşmaktadır. Ancak 6 kirişin 4 adedinde $r/r_{sınır}$ değeri 1,10’dan düşüktür. Dolayısıyla bu kirişlerde göçme önlenmektedir. Bu kirişlerin de performansı yeterli kabul edilirse, performansı yeterli olmayan kirişlerin oranı $2/12=\%16,6$ olmaktadır.

Aynı şekilde, +X ve +Y yönü için 2. katta $r/r_{sınır}$ değeri 1,0’ı aşan, fakat 1,20’den düşük olan kirişlerin performansı yeterli görülebilir. Böylece performansı yeterli olmayan kirişler 2. katta %33,3 olarak hesaplanır. Bu oran, sınır değer olan %30’a oldukça yakındır. Yeterli görülebilir. Bu değerlerle aşağıdaki Tablo 4.11 elde edilir.

+X ve +Y yönünde, 4. kat kirişleri/ $r/r_{sınır}$ değerleri 1’den küçüktür.

Tablo 4.11 Güvenlik Sınırını sağlamayan kolon ve kiriş yüzdeleri

Kat	+X Yönü		+Y Yönü	
	Kirişler(%)	Kolonlar(%)	Kirişler(%)	Kolonlar(%)
1	17	0	17	0
2	33	0	33	0
3	17	0	17	0
4	0	0	0	0

Görelî kat ötelemeleri 0,03'den küçük bulunmuştur. “Görelî Kat Ötelemeleri” aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.12 Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

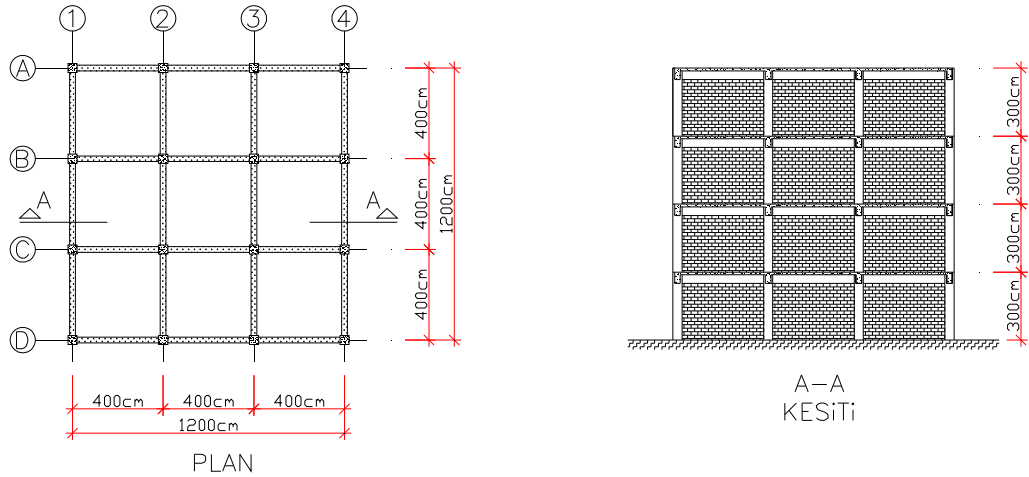
Kat	+X Yönü			+Y Yönü		
	H_i (m)	$\Delta_{i(\max)}$	$\Delta_{i(\max)}/H_i$	H_i (m)	$\Delta_{i(\max)}$	$\Delta_{i(\max)}/H_i$
1	3	0,0235	0,0078	3	0,0235	0,0078
2	3	0,0147	0,0049	3	0,0147	0,0049
3	3	0,0269	0,0090	3	0,0269	0,0090
4	3	0,0156	0,0052	3	0,0156	0,0052

Bina, Can Güvenliği (CG) performans düzeyini sağlamaktadır.

4.3 ÖRNEK ÇALIŞMA – II

1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN OLARAK TASARLANMIŞ 4 KATLI KONUT BİNASININ (DOLGU DUVARLAR, EŞDEĞER BASINÇ ÇUBUĞU OLARAK MODELLENMİŞTİR) DOĞRUSAL ELASTİK HESAP YÖNTEMİ (EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

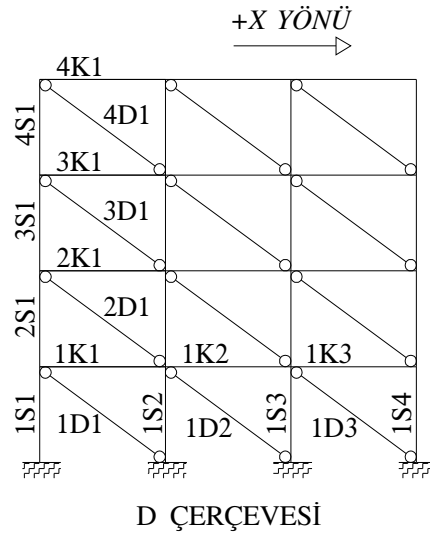
Bölüm 4.2’de Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi ile 4 katlı betonarme konut binasının performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu bölümde, aynı binanın, dolgu duvarları eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenerek doğrusal elastik hesap yöntemi ile performans analizi yapılmıştır. Eşdeğer diyagonal çubukların, iki ucunun mafsallı olduğu ve yalnızca basınç kuvveti taşıdığı kabul edilmiştir. Bu performans analizinde eşdeğer çubukların performansının değerlendirmesi yapılmayıp, eşdeğer çubukların kolon ve kiriş elemanların performanslarına etkileri araştırılmıştır. Bu etkileri bulmak için, kolonların normal kuvvet kapasitelerinin hesabı, eşdeğer diyagonal çubuk kuvvetlerinin düşey bileşenleri de hesaba katılarak yapılmıştır. Bundan sonraki adımlar Bölüm 4.2’de anlatıldığı gibi yapılmıştır.



Şekil 4.24 4 Katlı betonarme çerçeve bina plan ve kesiti

Kabuller:

- 5- Binanın doğrusal elastik hesap yöntemi ile değerlendirilmesinde çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.
- 6- Binanın yatay yükler altındaki analizinde ek dış merkezlikler uygulanmamıştır.
- 7- η_b kontrolü yapılmış olup her katta X ve Y doğrultusunda $\eta_b < 1,4$ koşulunu sağlamaktadır.
- 8- Eşdeğer statik deprem yükleri $R=1$ kullanılarak hesap yapılmıştır.
- 9- Eşdeğer diyagonal basınç çubukların, iki ucunun mafsallı olduğu ve yalnızca basınç kuvveti taşıdığı kabul edilmiştir.



Şekil 4.25 D Çerçevesi Görünüşü

4.3.1 Dolgu Duvarın Modellenmesi

Dolgu duvarının modellenmesi üzerine yıllardır deneysel ve analitik çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda, farklı teknik ve hesap yöntemleri kullanılarak dolgu duvarın gerçeğe yakın davranışına ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu tekniklerden bir tanesi de eşdeğer diyagonal basınç çubuğu modellemesidir ve

Bölüm 2’de geniş kapsamda ele alınmıştır. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da dolgu duvarın eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmesi şematik olarak gösterilmiştir. Burada dolgu duvarın ve eşdeğer diyagonal çubuğun kalınlığı, t_{inf} , diyagonal boyu, r_{inf} , ve eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun etkili genişliği “a” ile gösterilmiş ve bu ifadeler denklem 4.6, denklem 4.7, denklem 4.8’deki formüller yardımıyla hesaplanabilir [2, 40].

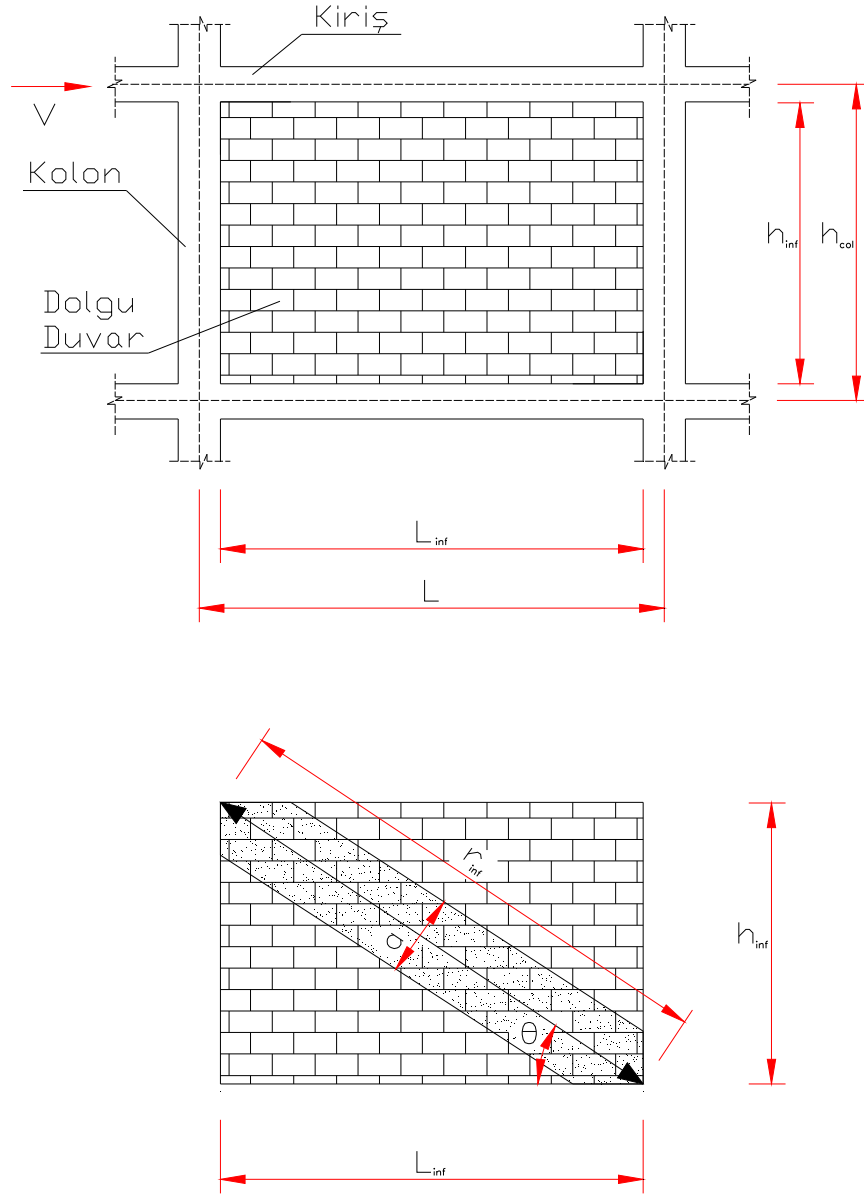
$$a = 0.175(\lambda_1 h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad [4.6]$$

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad [4.7]$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right) \quad [4.8]$$

Burada;

- h_{col} : Kiriş eksenleri arası kolon yüksekliği, (cm)
- h_{inf} : Dolgu duvar yüksekliği, (cm)
- E_{fe} : Çerçeve malzemesinin Elastisite Modülü, (kg/cm²)
- E_{me} : Dolgu duvar malzemesinin Elastisite Modülü, (kg/cm²)
- I_{col} : Kolonun atalet momenti, (cm²)
- r_{inf} : Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu, (cm)
- t_{inf} : Dolgu duvarın ve eşdeğer çubuğun kalınlığı, (cm)
- θ : Tanjantı dolgu duvar yüksekliğinin uzunluğuna oranı olan açı, (radyan)
- L_{inf} : Dolgu duvarın uzunluğu, (cm)’dur.



Şekil 4.26 Dolgu duvarın eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellemesi

4.3.2 Hesaplarda Kullanılacak Dolgu Duvarın Malzeme Özellikleri ve Boyutları

Dolgu duvar oluşturulurken kullanıma yönelik olarak malzeme seçilmektedir. Özellikle dayanım, hafiflik, ısı ve ses yalıtımı için birçok üniversite ve üretici firma ARGE'leri tarafından çalışmalar yürütülmekte ve dolgu duvar malzemesi olarak çok

sayıda seçenek sunulmaktadır. Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak boşluklu tuğla seçilmiştir. Seçilen tuğla malzemesinin çalışma dâhilinde hesaplarda kullanılan mekanik özellikleri ise aşağıdadır;

E	: 17.000 kg/cm ²
v	: 0.2
Basınç Dayanımı	: 25 kg/cm ²
Duvar Yüğü	: 400 kg/m

Bina içerisinde kullanılan dolgu duvarının hesaplarda kullanılacak değerleri ve oluşacak eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun etkili genişliği, Şekil 4.26'da çerçeve ve çerçeveyi oluşturan elemanların mekanik ve geometrik özelliklerine bağlı olarak denklem 5.1, 5.2, 5.3 yardımıyla hesaplanmış ve aşağıda Tablo 4.13 de verilmiştir.

Tablo 4.13 Dolgu duvar malzemesinin hesaplanan geometrik özellikleri

Dolgu Duvar Yeri ve Tipi	Duvar Kalınlığı (cm)	Duvar Etkili Genişliği (cm)	Kesit Alanı (cm ²)
4Katlı Bina	20,00	56,519	1130,30

$$\lambda_d = \left[\frac{1700 \times 200 \times \sin(2 \times 33,54)}{4 \times 28500 \times 5208333333 \times 2500} \right]^{1/4} = 0,00682$$

$$a = 0,175 \times (0,00682 \times 300)^{-0,4} \times 430,11 = 565,19 \text{ mm}$$

Eşdeğer Diyagonal Basınç Çubuğunun Eksenel Rijitliği;

$$k_d = \frac{a x t_{\text{inf}} E_{me}}{r_{\text{inf}}} = \frac{565,19 \times 200 \times 1700}{4301,2} = 44676,97 \text{ N / mm}$$

olarak hesaplanır. Dolgu duvarın taşıyabileceği max yük;



$$A = a \times t_{inf} = 565,19 \times 200 = 113030 \text{mm}^2$$

$$N = \sigma \times A = 2,5 \times 113020 = 282,58 \text{ kN} \text{ olarak hesaplanır.}$$

4.3.3 Kiriş Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesabı (M_k)

Bölüm 4.2’de yapılan hesaplar bu örnek içinde aynıdır. Orada bulunan değerler kullanılmıştır. Aşağıda 1K1 nolu kirişin moment kapasite değerleri verilmiştir.

Tablo 4.14 1K1 Kirişinin Uçlarının Moment Kapasitesi

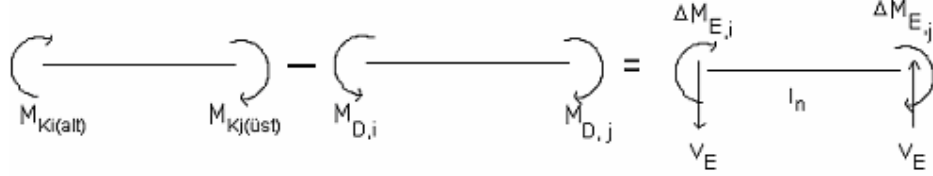
	Üst Moment Kapasiteleri		Alt Moment Kapasiteleri	
	i	j	i	j
As(mm²)	452	452	339	339
M_k(kN.m)	86,73	86,73	66,72	66,72
				

4.3.4 Kolon Aksenal Yüklerinin Hesabı

- Deprem yönüne paralel bir çerçevedeki kolonların düşey yükleden ($G+nQ$) kaynaklanan aksenal yükleri (N_D), deprem yükünden kaynaklanan aksenal yükleri ise (N_E) dir.
- Deprem yükünden kaynaklanan aksenal yükler (N_E) 2007 Deprem Yönetmeliği'nin Ek 7-A'daki esaslara göre hesaplanmıştır.

1S1 Kolonunun Deprem Yükünden Kaynaklanan (N_E) Eksenel Yükünün Hesabı

1.katta 1K1 kirişinden aktarılan kesme kuvveti ($V_{E,1}$):



Şekil: 4.27 ΔM_E Artık moment kapasitesinin hesap gösterimi

$$M_{Ki(alt)} = 66,72 \text{ kNm}, M_{Di} = -15,77 \text{ kNm} \text{ (düşey yükleme momenti)}$$

$$\Delta M_{E,i} = M_{Ki(alt)} - M_{Di} = 66,72 - (-15,77) = 82,49 \text{ kNm}$$

$$M_{Kj(üst)} = -86,73 \text{ kNm}, M_{Dj} = -16,46 \text{ kNm} \text{ (düşey yükleme momenti)}$$

$$\Delta M_{E,j} = M_{Kj(üst)} - M_{Dj} = -86,73 - (-16,46) = -70,27 \text{ kNm}$$

$$V_{E,1} = (\Delta M_{E,i} + \Delta M_{E,j}) / l_n = (82,49 + 70,27) / 3,5 = 43,65 \text{ kN}$$

Kolona aktarılan ise ters yönde olur.

Aynı hesaplar 2K1, 3K1, 4K1 kirişleri içinde yapılır.

$$V_{E,2} = 37,76 \text{ kN}, V_{E,3} = 37,78 \text{ kN}, V_{E,4} = 37,30 \text{ kN} \text{ olarak hesaplanır.}$$

1D1 dolgu duvarının (Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu) taşıdığı eksenel yük veya eksenel yük kapasitesi değerlerinden küçük olanın düşey bileşeni,

$$Aç_1 = \alpha = 54,5^\circ$$

$$+X \text{ yönü deprem yüklemesinden dolayı oluşan eksenel basınç} = -294,76 \text{ kN}$$

$$\text{Dolgu duvar eksenel yük kapasitesi} = -282,58 \text{ kN}$$

$$\text{Birleşime Etkiyen Düşey Bileşen} = N_{k,1} \cos \alpha = 282,58 \times \cos(54,5) = 164,18 \text{ kN (çekme)}$$

Aynı hesaplar 2D1, 3D1, 4D1 dolgu duvarları içinde yapılır.

$$N_{k,2} \cos \alpha = 164,18 \text{ kN}, N_{k,3} \cos \alpha = 143,91 \text{ kN}, N_{k,4} \cos \alpha = 78,16 \text{ kN},$$

Tablo 4.15 Kirişlerin örnek hesaplar doğrultusunda hesaplanan moment ve kesme kuvvet değerleri

<i>Kiriş</i>	<i>Kiriş Ucu</i>	M_D	$M_k^{(1)}$	$\Delta M_k = M_k - M_D$	V_E
1K1	M_i	-15,77	66,72	82,49	43,65
	M_j	-16,46	-86,73	70,27	
2K1	M_i	-16,29	66,72	83,01	37,76
	M_j	-16,24	-65,40	49,16	
3K1	M_i	-16,26	66,88	83,14	37,78
	M_j	-16,30	-65,40	49,10	
4K1	M_i	-9,33	66,88	76,21	37,30
	M_j	-11,06	-65,40	54,34	
1K2	M_i	-18,09	66,72	84,81	44,45
	M_j	-15,95	-86,73	70,78	
2K2	M_i	-17,65	66,88	84,53	38,21
	M_j	-16,21	-65,40	49,19	
3K2	M_i	-17,28	66,88	84,16	38,01
	M_j	-16,52	-65,40	48,88	
4K2	M_i	-11,32	66,88	78,20	37,87
	M_j	-11,06	-65,40	54,34	
1K3	M_i	-18,79	66,72	85,51	45,43
	M_j	-13,22	-86,73	73,51	
2K3	M_i	-17,75	66,88	84,63	44,77
	M_j	-14,67	-86,73	72,06	
3K3	M_i	-17,09	66,88	83,97	38,27
	M_j	-15,42	-65,40	49,98	
4K3	M_i	-11,34	66,88	78,22	38,45
	M_j	-9,03	-65,40	56,37	
1K4	M_i	-22,14	67,59	89,73	43,55
	M_j	-24,05	-86,73	62,68	
2K4	M_i	-23,17	67,55	90,72	44,00
	M_j	-23,46	-86,73	63,27	
3K4	M_i	-23,50	67,49	90,99	38,03
	M_j	-23,28	-65,40	42,12	
4K4	M_i	-14,95	67,49	82,44	37,09
	M_j	-18,03	-65,40	47,37	
1K5	M_i	-25,65	67,55	93,20	44,74
	M_j	-23,35	-86,73	63,38	
2K5	M_i	-25,15	67,55	92,70	44,53
	M_j	-23,56	-86,73	63,17	
3K5	M_i	-24,72	67,49	92,21	38,21
	M_j	-23,86	-65,40	41,54	
4K5	M_i	-18,35	67,49	85,84	38,05
	M_j	-18,06	-65,40	47,34	
1K6	M_i	-26,57	67,55	94,12	52,18
	M_j	-19,35	-107,85	88,50	
2K6	M_i	-25,13	67,55	92,68	45,15
	M_j	-21,38	-86,73	65,35	
3K6	M_i	-24,18	67,49	91,67	38,44
	M_j	-22,52	-65,40	42,88	
4K6	M_i	-18,36	67,49	85,85	39,05
	M_j	-14,93	-65,40	50,47	

Not ⁽¹⁾ : Kiriş moment taşıma kapasitesi (M_k) hesabında, deprem etkisiyle kirişte oluşan momentin yönüyle uyumlu olarak (i) ucunda alt, (j) ucunda üst moment kapasiteleri alınmıştır.

$N_{E,1}$, 1S1 kolonuna üstteki kirişlerden aktarılan kesme kuvvetlerinin ve dolgu duvarlardan aktarılan kesme kuvvetlerinin toplamıdır;

$$\begin{aligned}
 N_{E,1} &= V_{E,1} + V_{E,2} + V_{E,3} + V_{E,4} + N_{k,1} \cos \alpha + N_{k,2} \cos \alpha + N_{k,3} \cos \alpha + N_{k,4} \cos \alpha \\
 &= 43,65 + 37,76 + 37,78 + 37,30 + 164,18 + 164,18 + 143,91 + 78,16 \\
 &= 706,91 \text{ kN (çekme)}
 \end{aligned}$$

$N_{D,1}$, 1S1 kolonunun düşey yüklemekten elde edilen aksel kuvvetidir;

$$N_{D,1} = -229,84 \text{ kN,}$$

$N_{D,1} + N_{E,1} = -229,84 + 706,91 = 477,07 \text{ kN}$ değeri için 1S1 kolonunun üst ucunun moment kapasitesi,

$$M_{kü} = 176,00 \text{ kNm, olarak hesaplanır.}$$

Tablo 4.16 Diyagonal çubukların +X deprem yüklemesinde oluşan eksenel kuvvetleri ve kolonlara aktarılan normal kuvvet değerleri

<i>Dolgu Adı</i>	<i>Eksenel Kuvvet</i>	N_k	$N_k \cos \alpha$	<i>Dolgu Adı</i>	<i>Eksenel Kuvvet</i>	N_k	$N_k \cos \alpha$
1D1	<i>N</i>	-294,76	-164,18	1D4	<i>N</i>	-294,62	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
2D1	<i>N</i>	-330,09	-164,18	2D4	<i>N</i>	-329,85	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
3D1	<i>N</i>	-247,69	-143,91	3D4	<i>N</i>	-247,41	-143,75
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
4D1	<i>N</i>	-134,52	-78,16	4D4	<i>N</i>	-134,22	-77,98
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
1D2	<i>N</i>	-301,47	-164,18	1D5	<i>N</i>	-301,49	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
2D2	<i>N</i>	-340,28	-164,18	2D5	<i>N</i>	-340,32	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
3D2	<i>N</i>	-258,97	-150,46	3D5	<i>N</i>	-259,01	-150,48
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
4D2	<i>N</i>	-145,67	-84,63	4D5	<i>N</i>	-145,71	-84,66
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
1D3	<i>N</i>	-301,65	-164,18	1D6	<i>N</i>	-301,64	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
2D3	<i>N</i>	-332,22	-164,18	2D6	<i>N</i>	-332,06	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
3D3	<i>N</i>	-245,47	-142,62	3D6	<i>N</i>	-245,21	-142,47
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
4D3	<i>N</i>	-129,36	-75,16	4D6	<i>N</i>	-129,01	-74,95
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	

2S1 kolonunun alt ucunun moment kapasitesi aynı şekilde,

$$M_{ka} = 274,00 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

1 Kolonunun üst ucunun KKO değerinin hesabı 2007 Deprem Yönetmeliği

Denklem (7A.2)'ye göre hesaplanır:

$$KKO = \frac{(M_{Ka} + M_{Kü})}{(M_{Ki(alt)} + M_{Kj(üst)})} = \frac{(209,70 + 176,00)}{(66,72 + 0)} = 5,78$$

1S1 kolonunun üst ucunun KKO değerini bulmak için yapılan işlemler 2S1, 3S1,4S1 kolonlarının üst uçlarının KKO değerlerini bulmak içinde tekrarlanır. KKO değerleri sırasıyla 6,64, 7,38, 3,84 olarak hesaplanır. Benzer şekilde bitişik kolon aksı için 1S2, 2S2, 3S2, 4S2 kolonlarının KKO değerleri sırasıyla 3,87, 4,24, 4,10, 2,02 olarak hesaplanır.

NOT: Bu çalışmada KKO değerlerimizin tamamı 1'den büyük çıkmıştır. Eğer herhangi bir KKO değeri 1'den küçük çıkarsa, o KKO hesabında kullanılan kirişlere ait $M_{Ki(alt)}$ ve $M_{Kj(üst)}$ değerleri KKO ile çarpılarak azaltılmalıdır. Azaltılan $M_{Ki(alt)}$ ve $M_{Kj(üst)}$ değerleri ile hesaplar tekrar yapılmalıdır.

Tablo 4.17 D ve C Aksları Çerçveleri Kolonları Hesaplanan Eksenel Kuvvetleri

<i>KOLON ADI</i>	$\frac{N_{D(alt)}}{N_{D(üst)}} (kN)$	$N_E (kN)$	$\frac{N_{D(alt)} + N_E}{N_{D(üst)} + N_E} (kN)$	<i>KOLON ADI</i>	$\frac{N_{D(alt)}}{N_{D(üst)}} (kN)$	$N_E (kN)$	$\frac{N_{D(alt)} + N_E}{N_{D(üst)} + N_E} (kN)$
1S1	-248,59	706,91	458,32	1S5	-365,61	712,75	347,14
	-229,84		477,07		-346,86		365,89
2S1	-183,18	499,09	315,91	2S5	-269,88	505,02	235,14
	-164,43		334,66		-251,13		253,89
3S1	-116,30	297,15	180,85	3S5	-172,25	296,85	124,60
	-97,55		199,60		-153,50		143,35
4S1	-48,92	115,46	66,54	4S5	-73,66	115,07	41,41
	-30,17		85,29		-54,91		60,16
1S2	-361,78	179,26	-182,52	1S6	-545,78	180,47	-365,31
	-343,03		-163,77		-527,03		-346,56
2S2	-264,67	178,45	-86,22	2S6	-400,61	179,28	-221,33
	-245,92		-67,47		-381,86		-202,58
3S2	-167,42	157,74	-9,68	3S6	-256,49	158,31	-98,18
	-148,67		9,07		-237,74		-79,43
4S2	-71,72	85,20	13,48	4S6	-111,77	85,62	-26,15
	-52,97		32,23		-93,02		-7,40
1S3	-361,54	155,25	-206,29	1S7	-549,03	155,74	-393,29
	-342,79		-187,54		-530,28		-374,54
2S3	-363,04	154,27	-208,77	2S7	-401,70	148,30	-253,40
	-244,29		-90,02		-382,95		-234,65
3S3	-166,38	133,99	-32,39	3S7	-254,69	133,99	-120,70
	-147,63		-13,64		-235,94		-101,95
4S3	-70,13	75,74	5,61	4S7	-109,23	75,95	-33,28
	-51,38		24,36		-90,48		-14,53
1S4	-242,24	-548,88	-791,12	1S8	-369,80	-556,42	-926,22
	-223,49		-772,37		-351,05		-907,47
2S4	-178,40	-339,27	-517,67	2S8	-270,79	-340,06	-610,85
	-159,65		-498,92		-252,04		-592,10
3S4	-113,16	-151,88	-265,04	3S8	-170,83	-152,45	-323,28
	-94,41		-246,29		-152,08		-304,53
4S4	-47,17	-38,45	-85,62	4S8	-70,46	-39,05	-109,51
	-28,42		-66,87		-51,71		-90,76

4.3.5 Kiriş ve Kolonların Kesme Kontrolü

Bütün kiriş ve kolonlarda kesme kontrolü Bölüm 4.2’de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Bütün kiriş ve kolonlar süneklerdir.

4.3.6 Kiriş ve Kolon Kesitlerinin “Etki/Kapasite Oranları (r)”nın ve”Sınır Değerleri (r_{sınır})”nin Hesabı

Örnek : 1S1 Kolonunun Sınır Değerleri 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.3’e göre hesaplanmıştır.

$$N_{D+E} = -458,32 \text{ kN}, A_c = 500 \times 500 \text{ mm}^2 \quad f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\frac{N}{A_c f_{ck}} = \frac{458,32}{500 \times 500 \times 20} = 0,092$$

$$V_e = 88,96 \text{ kN}, f_{ctk} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{V}{b_w d f_{ctk}} = \frac{88,96}{460 \times 500 \times 0,0016} = 0,24$$

Kolon sargılanmıştır.

Bina “Can Güvenliği Performans Düzeyi” ne göre kontrol edildiği için GV hasar sınırının değerleri göz önüne alınır. Hesaplanan $N/(A_c f_{ck})$ ve $V/(b_w d f_{ctk})$ değerleri ile 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.3’den “r_{sınır}” değeri 6,00 bulunur.

Yatay yükler altında hesaplanan moment M_E , kolonun üst ucunda -108,04 kNm, alt ucunda ise 227,82 kNm’dir. Kolonun moment kapasitesinden, düşey yüklemeye gelen moment (M_D) çıkarılarak “Artık Moment Kapasitesi” bulunur.

“Artık Moment Kapasitesi, üst uçta;

$$\Delta M_{Kü} = -176,00 - 7,09 = -183,09 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{Ka} = 179,90 - (-4,87) = 184,77 \text{ kNm}$$

“Etki/Kapasite Oranı (r)” üst uçta; $r = \frac{M_{Eii}}{\Delta M_{Kii}} = \frac{108,04}{183,09} = 0,59$

“Etki/Kapasite Oranı (r)” alt uçta; $r = \frac{M_{Eia}}{\Delta M_{Kia}} = \frac{227,82}{184,77} = 1,23$

Kolonun üst ucunda $r/r_{sınır} = 0,59 / 6,00 = 0,10 < 1$

Kolonun alt ucunda $r/r_{sınır} = 1,23 / 6,00 = 0,21 < 1$

$r/r_{sınır}$ değerleri her iki uçta da 1’den küçük olduğu için bu kolon “GV” güvenlik sınırını sağlamaktadır.

Örnek : 1K1 Kirişinin Sınır Değerleri 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.2’e göre hesaplanmıştır.

(i) ucu; $\rho = 0,00285$, $\rho' = 0,00381$, $\rho_b = 0,0160$, $(\rho - \rho') / \rho_b = -0,059$

(j) ucu; $\rho = 0,00381$, $\rho' = 0,00285$, $\rho_b = 0,0160$, $(\rho - \rho') / \rho_b = 0,059$

(i) ucu; $V = 20,84$ kN, $b_w d = 250 \times 475$, $f_{ctk} = 1,6$ N/mm²

$$\frac{V}{b_w df_{ctm}} = \frac{20840}{250 \times 475 \times 1,6} = 0,1097$$

(j) ucu; $V = 67,19$ kN, $b_w d = 250 \times 475$, $f_{ctk} = 1,6$ N/mm²

$$\frac{V}{b_w df_{ctm}} = \frac{67190}{250 \times 475 \times 1,6} = 0,3536$$

Kiriş sargılanmıştır.

Bina “Can Güvenliği Performans Düzeyi”ne göre kontrol edildiği için “GV” hasar sınırının değerleri göz önüne alınır. Hesaplanan $(\rho - \rho') / \rho_b$ ve $V/(b_w df_{ctk})$ değerleri ile 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.2’den $r_{sınır}$ değeri iterasyon yaparak hesaplanır ve (i) ucu için 7,00, (j) ucu için 6,76 bulunur.

Yatay yüklemekten hesaplanan (M_E), (i) ucunda 169,24 kNm, (j) ucunda -154,08 kNm'dir. Kirişin kapasitesinden, düşey yüklemekten gelen (M_D) çıkarılarak "Artık Moment Kapasitesi" bulunur.

Artık moment kapasiteleri;

$$(i) \text{ ucunda, } \Delta M_{ki} = 66,72 - (-15,77) = 82,49 \text{ kNm,}$$

$$(j) \text{ ucunda, } \Delta M_{kj} = -86,73 - (-16,46) = -70,27 \text{ kNm}$$

"Etki/Kapasite Oranı (r)" (i) ucunda;

$$r = \frac{M_{Ei}}{\Delta M_{Ki}} = \frac{169,24}{82,49} = 2,05$$

"Etki/Kapasite Oranı (r)" (j) ucunda;

$$r = \frac{M_{Ej}}{\Delta M_{Kj}} = \frac{154,08}{70,27} = 2,19$$

Kirişin (i) ucunda $r/r_{sınıf} = 2,05 / 7,00 = 0,29 < 1$

Kirişin (j) ucunda $r/r_{sınıf} = 2,19 / 6,76 = 0,32 < 1$

$r/r_{sınıf}$ değerleri her iki uçta da 1'den küçük olduğu için bu kolon "GV" güvenlik sınırını sağlamaktadır.

Tablo 4.18 Kirişlerde $r/r_{sınır}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kiriş	Kiriş Ucu	$\Delta M_k = M_k - M_D$	M_E	$r = \frac{M_E}{\Delta M_k}$	$V_{düşey}$	V_e	$\frac{V_e}{b_w df_{cm}}$	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	$r_{sınır}$	$r/r_{sınır}$
1K1	M_i	82,49	169,24	2,05	-23,00	20,84	0,1097	-0,059	7,00	0,29
	M_j	70,27	-154,08	2,19	23,35	67,19	0,3536	0,059	6,76	0,32
2K1	M_i	83,01	133,44	1,61	-23,19	14,56	0,0766	-0,059	7,00	0,23
	M_j	49,16	-123,60	2,51	23,16	60,91	0,3206	0,000	7,00	0,36
3K1	M_i	83,14	87,21	1,05	-23,17	14,62	0,0770	0,000	7,00	0,15
	M_j	49,10	-80,68	1,64	23,18	60,97	0,3209	0,000	7,00	0,23
4K1	M_i	76,21	39,81	0,52	-14,22	23,57	0,1241	0,000	7,00	0,07
	M_j	54,34	-34,47	0,63	15,08	52,87	0,2783	0,000	7,00	0,09
1K2	M_i	84,81	143,45	1,69	-23,71	20,13	0,1060	-0,059	7,00	0,24
	M_j	70,78	-143,52	2,03	22,64	66,48	0,3499	0,059	6,76	0,30
2K2	M_i	84,53	120,25	1,42	-23,53	14,26	0,0751	0,000	7,00	0,20
	M_j	49,19	-120,42	2,45	22,82	60,61	0,3190	0,000	7,00	0,35
3K2	M_i	84,16	81,25	0,97	-23,37	14,42	0,0759	0,000	7,00	0,14
	M_j	48,88	-81,44	1,67	22,98	60,77	0,3199	0,000	7,00	0,24
4K2	M_i	78,20	36,45	0,47	-14,71	23,08	0,1215	0,000	7,00	0,07
	M_j	54,34	-36,90	0,68	14,59	52,38	0,2757	0,000	7,00	0,10
1K3	M_i	85,51	153,18	1,79	-24,57	19,27	0,1014	-0,059	7,00	0,26
	M_j	73,51	-168,34	2,29	21,78	65,62	0,3454	0,059	6,76	0,34
2K3	M_i	84,63	121,75	1,44	-23,95	19,94	0,1049	0,000	7,00	0,21
	M_j	72,06	-131,60	1,83	22,40	66,29	0,3489	0,059	6,76	0,27
3K3	M_i	83,97	77,96	0,93	-23,59	14,20	0,0748	0,000	7,00	0,13
	M_j	49,98	-84,49	1,69	22,76	60,55	0,3187	0,000	7,00	0,24
4K3	M_i	78,22	32,05	0,41	-15,23	22,56	0,1188	0,000	7,00	0,06
	M_j	56,37	-37,48	0,66	14,07	51,86	0,2730	0,000	7,00	0,09
1K4	M_i	89,73	181,68	2,02	-31,62	12,47	0,0656	-0,119	7,00	0,29
	M_j	62,68	-164,74	2,63	32,58	76,67	0,4035	0,059	6,76	0,39
2K4	M_i	90,72	143,49	1,58	-32,03	12,05	0,0634	-0,059	7,00	0,23
	M_j	63,27	-131,95	2,09	32,17	76,25	0,4013	0,059	6,76	0,31
3K4	M_i	90,99	93,72	1,03	-32,15	5,82	0,0306	0,000	7,00	0,15
	M_j	42,12	-86,11	2,04	32,05	70,02	0,3685	0,000	7,00	0,29
4K4	M_i	82,44	42,33	0,51	-22,28	15,69	0,0826	0,000	7,00	0,07
	M_j	47,37	-36,26	0,77	23,82	61,79	0,3252	0,000	7,00	0,11
1K5	M_i	93,20	152,99	1,64	-32,68	11,40	0,0600	-0,059	7,00	0,23
	M_j	63,38	-153,07	2,42	31,52	75,60	0,3979	0,059	6,76	0,36
2K5	M_i	92,70	127,82	1,38	-32,50	11,58	0,0609	-0,059	7,00	0,20
	M_j	63,17	-128,02	2,03	31,70	75,78	0,3988	0,059	6,76	0,30
3K5	M_i	92,21	86,59	0,94	-32,31	5,66	0,0298	0,000	7,00	0,13
	M_j	41,54	-86,82	2,09	31,89	69,86	0,3677	0,000	7,00	0,30
4K5	M_i	85,84	38,52	0,45	-23,12	14,85	0,0782	0,000	7,00	0,06
	M_j	47,34	-39,03	0,82	22,98	60,95	0,3208	0,000	7,00	0,12
1K6	M_i	94,12	163,77	1,74	-33,90	16,21	0,0853	-0,059	7,00	0,25
	M_j	88,50	-180,71	2,04	30,30	80,41	0,4232	0,119	6,52	0,31
2K6	M_i	92,68	129,95	1,40	-33,04	11,04	0,0581	-0,059	7,00	0,20
	M_j	65,35	-141,51	2,17	31,16	75,24	0,3960	0,059	6,76	0,32
3K6	M_i	91,67	83,17	0,91	-32,52	5,45	0,0287	0,000	7,00	0,13
	M_j	42,88	-90,78	2,12	31,68	69,65	0,3666	0,000	7,00	0,30
4K6	M_i	85,85	33,66	0,39	-24,00	13,97	0,0735	0,000	7,00	0,06
	M_j	50,82	-39,85	0,78	22,10	60,07	0,3162	0,000	7,00	0,11

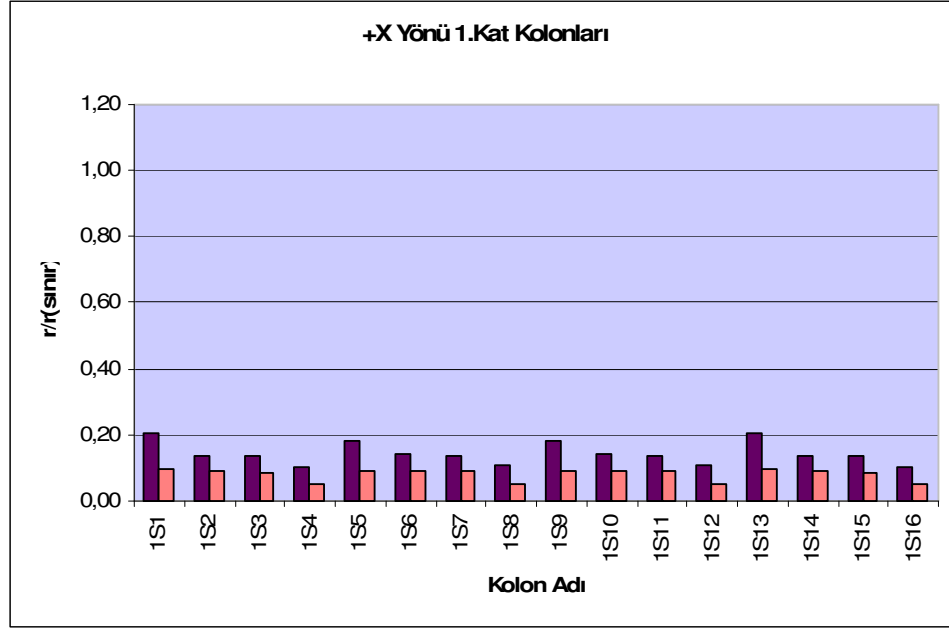
Tablo 4.19 Kolonlarda r/r_{smr} değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kolon	Kolon Ucu	$M_{ka}-M_{kü}$	KKO	M_d	$\Delta M_{ka}-\Delta M_{kü}$	M_E	N	M_a-M_{ii}	r	$N/(A_c * f_{cm})$	V_e	$V_e/b_w d f_{cm}$	r_{smr}	r/r_{smr}
1S1	Alt	179,90		-4,87	184,77	227,82	810,14	179,90	1,23	0,092	88,96	0,24	6,00	0,21
	Üst	176,00	5,78	7,09	-183,09	-108,04		42,49	0,59	0,095			6,00	0,10
2S1	Alt	209,70		-8,88	218,58	61,61	552,41	24,23	0,28	0,063	26,92	0,07	6,00	0,05
	Üst	205,80	6,64	8,71	-214,51	-86,29		43,06	0,40	0,067			6,00	0,07
3S1	Alt	237,40		-7,76	245,16	47,40	290,03	23,66	0,19	0,036	33,45	0,09	6,00	0,03
	Üst	233,60	7,38	7,98	-241,58	-78,35		59,98	0,32	0,040			6,00	0,05
4S1	Alt	260,30		-8,44	268,74	9,02	99,36	6,90	0,03	0,013	29,51	0,08	6,00	0,01
	Üst	256,60	3,84	9,66	-266,26	-39,91		66,88	0,15	0,017			6,00	0,02
1S2	Alt	307,50		-1,95	309,45	254,87	185,71	307,50	0,82	0,037	156,66	0,43	6,00	0,14
	Üst	304,10	3,87	1,11	-305,21	-163,45		84,16	0,54	0,033			6,00	0,09
2S2	Alt	289,80		-0,51	290,31	134,57	211,98	69,29	0,46	0,017	60,05	0,16	6,00	0,08
	Üst	286,20	4,24	0,89	-287,09	-149,29		80,83	0,52	0,013			6,00	0,09
3S2	Alt	275,20		-0,53	275,73	95,02	160,53	51,45	0,34	0,002	59,65	0,16	6,00	0,06
	Üst	271,60	4,10	0,80	-272,40	-119,79		97,68	0,44	0,002			6,00	0,07
4S2	Alt	270,70		-0,20	270,90	42,43	87,17	34,60	0,16	0,003	66,75	0,18	6,00	0,03
	Üst	267,10	2,02	0,25	-267,35	-71,08		132,28	0,27	0,006			6,00	0,04
1S3	Alt	311,80		-2,25	314,05	254,74	169,09	311,80	0,81	0,041	158,42	0,43	6,00	0,14
	Üst	308,40	4,04	1,73	-310,13	-163,18		84,26	0,53	0,038			6,00	0,09
2S3	Alt	312,20		-1,12	313,32	134,01	183,63	69,19	0,43	0,042	60,08	0,16	6,00	0,07
	Üst	290,50	4,31	1,16	-291,66	-148,56		81,00	0,51	0,018			6,00	0,08
3S3	Alt	279,60		-0,37	279,97	94,06	136,51	51,28	0,34	0,006	59,87	0,16	6,00	0,06
	Üst	276,00	4,14	0,53	-276,53	-118,77		98,39	0,43	0,003			6,00	0,07
4S3	Alt	272,20		-0,02	272,22	40,91	76,67	33,89	0,15	0,001	66,47	0,18	6,00	0,03
	Üst	268,60	2,03	0,28	-268,88	-69,10		132,28	0,26	0,005			6,00	0,04
1S4	Alt	390,20		1,08	389,12	227,68	-626,17	390,20	0,59	0,158	178,23	0,48	5,61	0,10
	Üst	388,10	8,59	-5,10	-383,00	-107,76		55,38	0,28	0,154			5,64	0,05
2S4	Alt	357,10		8,31	348,79	61,00	-346,41	31,35	0,17	0,104	35,03	0,10	5,97	0,03
	Üst	354,60	7,80	-7,47	-347,13	-85,47		56,22	0,25	0,100			6,00	0,04
3S4	Alt	322,10		7,37	314,73	46,38	-135,73	30,51	0,15	0,053	36,10	0,10	6,00	0,02
	Üst	318,90	9,31	-7,07	-311,83	-77,31		59,73	0,25	0,049			6,00	0,04
4S4	Alt	289,70		8,50	281,20	7,34	-17,43	5,67	0,03	0,017	28,43	0,08	6,00	0,00
	Üst	286,10	4,37	-9,36	-276,74	-37,58		65,40	0,14	0,013			6,00	0,02

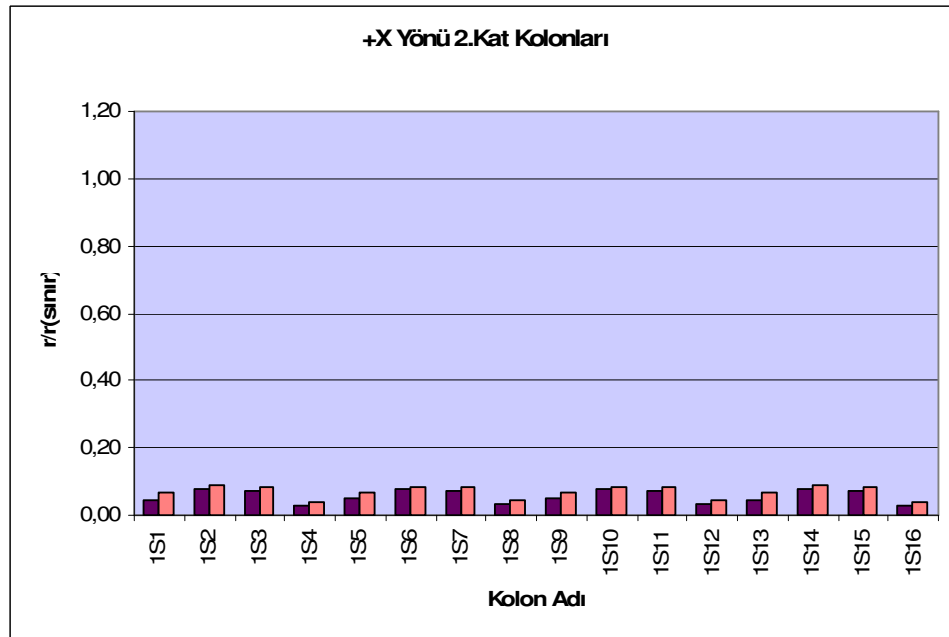
Tablo 4.19 (Devamı) Kolonlarda r/r_{smnr} değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kolon	Kolon Ucu	$M_{ka}-M_{kü}$	KKO	M_d	$\Delta M_{ka}-\Delta M_{kü}$	M_E	N	$M_a-M_{ü}$	r	$N/(A_c * f_{cm})$	V_e	$V_e/b_w d f_{cm}$	r_{smnr}	r/r_{smnr}
1S5	Alt	203,20		-6,06	209,26	230,29	823,46	203,20	1,10	0,069	98,15	0,27	6,00	0,18
	Üst	199,30	6,30	9,54	-208,84	-113,10		42,17	0,54	0,073			6,00	0,09
2S5	Alt	226,40		-12,40	238,80	68,16	560,12	25,42	0,29	0,047	27,48	0,07	6,00	0,05
	Üst	222,50	6,98	12,09	-234,59	-91,81		43,29	0,39	0,051			6,00	0,07
3S5	Alt	248,80		-10,90	259,70	51,44	293,42	24,26	0,20	0,025	33,33	0,09	6,00	0,03
	Üst	245,00	7,56	10,99	-255,99	-81,86		59,06	0,32	0,029			6,00	0,05
4S5	Alt	265,30		-12,35	277,65	11,69	100,10	8,43	0,04	0,008	30,37	0,08	6,00	0,01
	Üst	261,60	3,88	14,63	-276,23	-42,22		67,49	0,15	0,012			6,00	0,03
1S6	Alt	336,70		-1,99	338,69	265,69	184,20	336,70	0,78	0,073	168,60	0,46	5,61	0,14
	Üst	334,10	4,20	1,09	-335,19	-174,36		84,79	0,52	0,069			5,64	0,09
2S6	Alt	314,50		-0,51	315,01	142,88	211,30	69,49	0,45	0,044	65,25	0,18	5,96	0,08
	Üst	311,10	3,91	0,96	-312,06	-157,38		93,63	0,50	0,041			6,00	0,08
3S6	Alt	292,00		-0,72	292,72	101,94	160,45	60,65	0,35	0,020	63,02	0,17	6,00	0,06
	Üst	288,50	4,27	1,04	-289,54	-125,71		96,89	0,43	0,016			6,00	0,07
4S6	Alt	278,40		-0,39	278,79	46,70	87,17	36,00	0,17	0,005	67,55	0,18	6,00	0,03
	Üst	274,80	2,07	0,33	-275,13	-74,61		132,89	0,27	0,001			6,00	0,05
1S7	Alt	340,50		-2,40	342,90	265,54	170,39	340,50	0,77	0,079	170,16	0,46	5,58	0,14
	Üst	337,90	4,26	1,94	-339,84	-174,07		84,89	0,51	0,075			5,62	0,09
2S7	Alt	320,10		-1,27	321,37	142,28	183,99	69,39	0,44	0,051	65,28	0,18	5,93	0,07
	Üst	316,80	3,97	1,25	-318,05	-156,60		93,82	0,49	0,047			5,96	0,08
3S7	Alt	296,20		-0,32	296,52	100,92	136,26	60,46	0,34	0,024	63,22	0,17	6,00	0,06
	Üst	292,70	4,31	0,40	-293,10	-124,62		97,58	0,43	0,020			6,00	0,07
4S7	Alt	279,70		0,07	279,63	45,09	76,43	35,31	0,16	0,007	67,28	0,18	6,00	0,03
	Üst	276,10	2,08	0,30	-276,40	-72,54		132,89	0,26	0,003			6,00	0,04
1S8	Alt	404,50		2,23	402,27	230,14	-639,44	404,50	0,57	0,185	188,79	0,51	5,43	0,11
	Üst	402,60	7,16	-7,46	-395,14	-112,79		67,47	0,29	0,181			5,46	0,05
2S8	Alt	369,20		11,70	357,50	67,50	-354,13	40,38	0,19	0,122	38,48	0,10	5,85	0,03
	Üst	366,80	8,05	-10,76	-356,04	-90,93		55,83	0,26	0,118			5,88	0,04
3S8	Alt	331,00		10,44	320,56	50,33	-139,19	30,90	0,16	0,065	35,67	0,10	6,00	0,03
	Üst	328,40	9,52	-10,02	-318,38	-80,73		58,26	0,25	0,061			6,00	0,04
4S8	Alt	294,10		12,34	281,76	9,89	-18,33	7,14	0,04	0,022	29,02	0,08	6,00	0,01
	Üst	290,60	4,44	-14,25	-276,35	-39,75		65,40	0,14	0,018			6,00	0,02

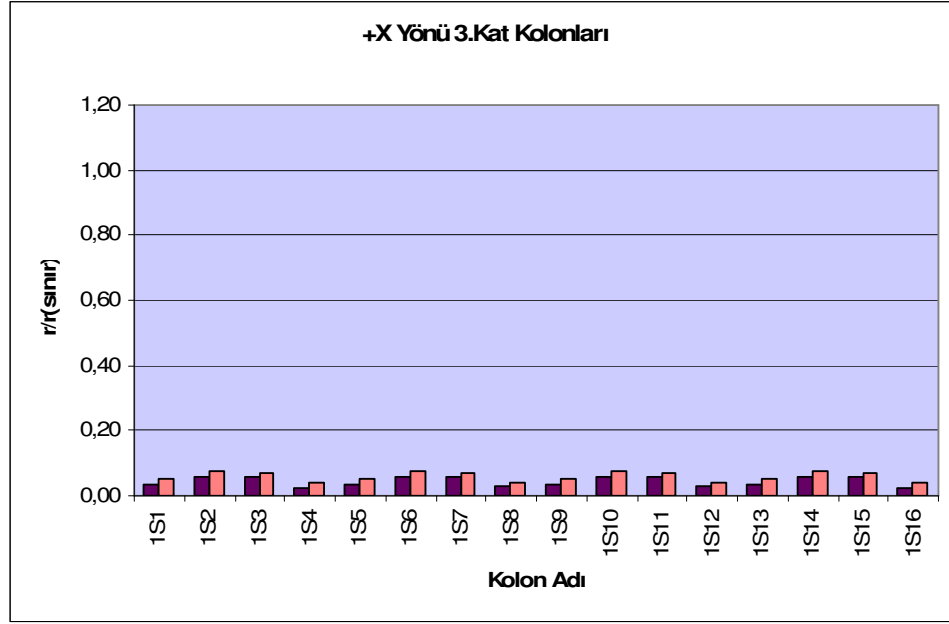
4.3.7 Kolon Ve Kiriş Kesitlerinin “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)” ile Karşılaştırılması



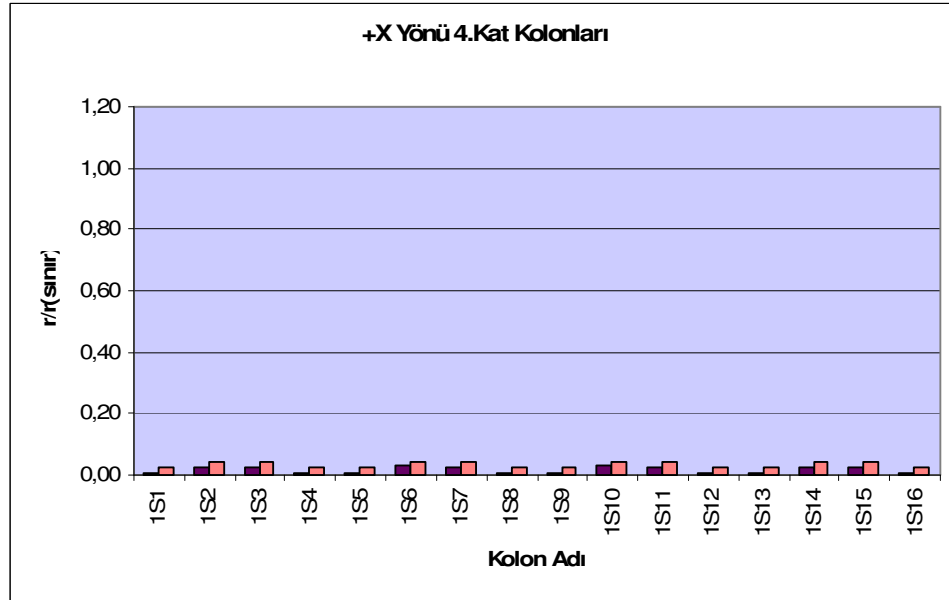
Şekil 4.28 +X Yönü 1.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



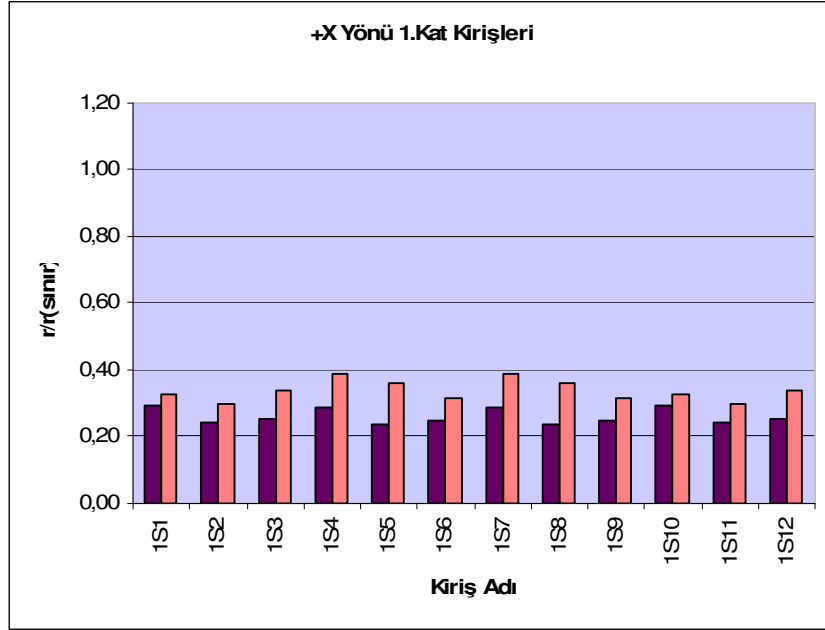
Şekil 4.29 +X Yönü 2.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



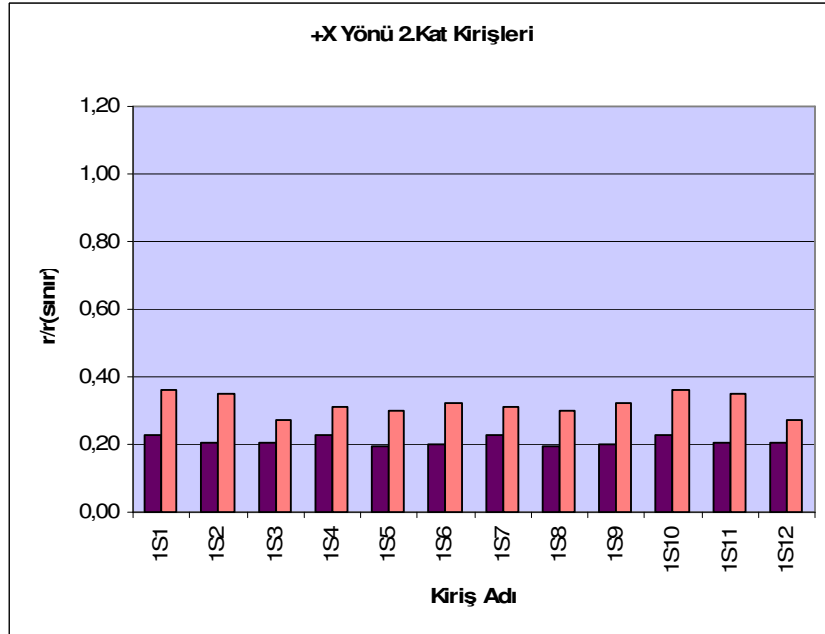
Şekil 4.30 +X Yönü 3.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



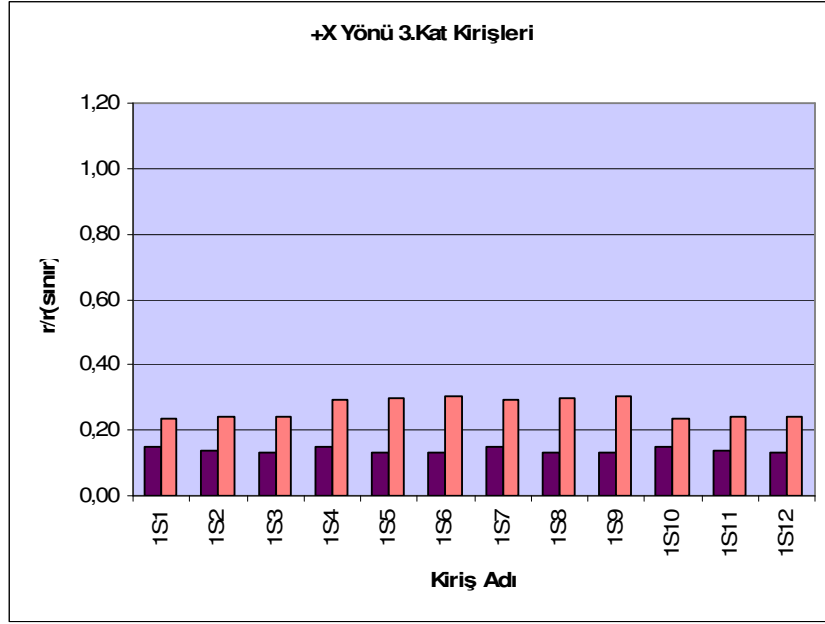
Şekil 4.31 +X Yönü 4.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



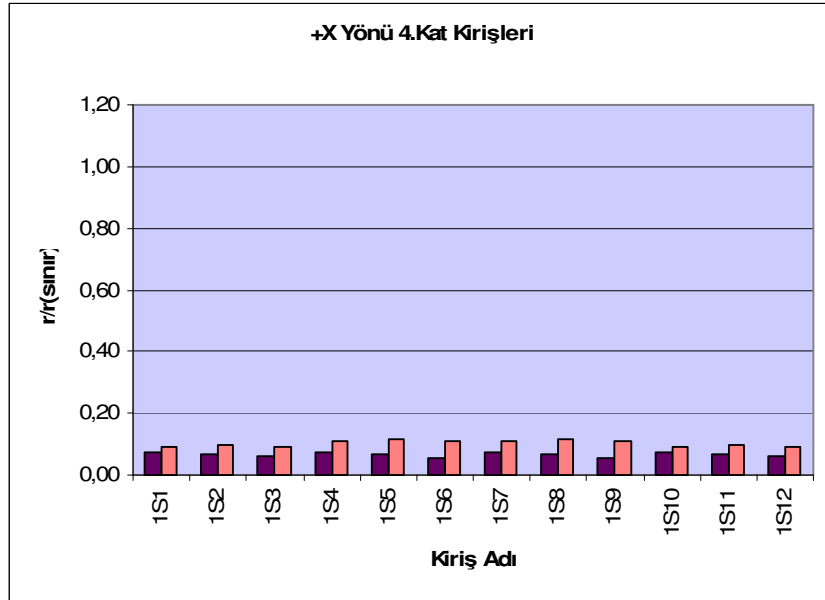
Şekil 4.32 +X Yönü 1.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.33 +X Yönü 2.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.34 +X Yönü 3.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.35 +X Yönü 4.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri

4.3.8 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Aşağıdaki tabloda “Güvenlik Sınırı”nı sağlamayan kirişlerin adedinin o kattaki tüm kirişlerin adedine oranı ve “Güvenlik Sınırı”nı sağlamayan kolonların aldığı kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonların aldığı kesme kuvvetine oranı verilmiştir. Herhangi bir katta bu oranların, kirişlerde %30 kolonlarda %20’den büyük olduğu durumlarda bina, “Güvenlik sınırı”nı sağlamamaktadır.

+X ve +Y yönünde bütün katlardaki kolon ve kirişlerin $r/r_{\text{sınır}}$ değerleri 1’den küçüktür. Görelî kat ötelemeleri 0,03 den küçük bulunmuştur. “Görelî Kat Ötelemeleri” aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.20 Güvenlik Sınırını sağlamayan kolon ve kiriş yüzdeleri

Kat	+X Yönü		+Y Yönü	
	Kirişler(%)	Kolonlar(%)	Kirişler(%)	Kolonlar(%)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

Tablo 4.21 Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

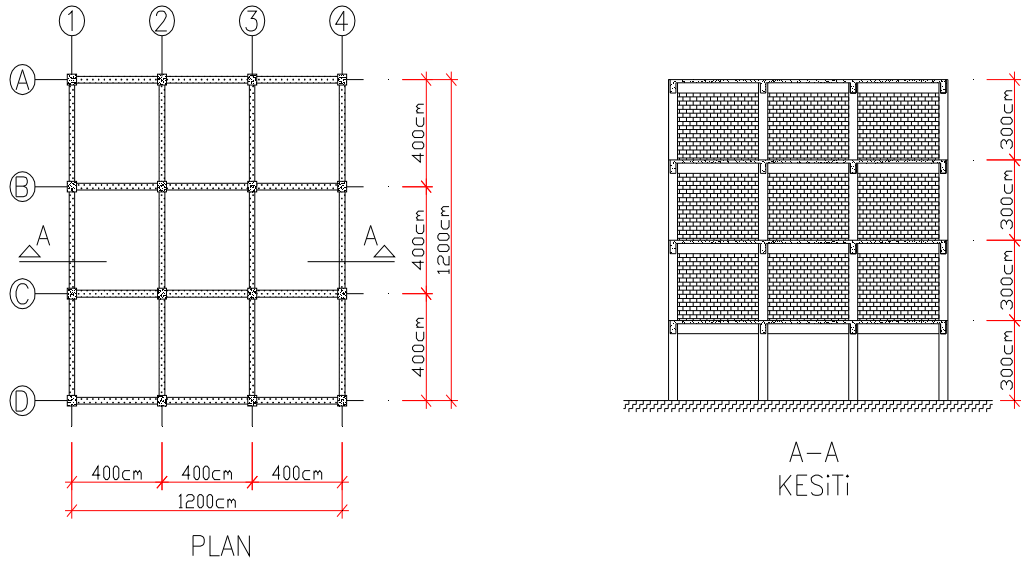
Kat	+X Yönü			+Y Yönü		
	H_i (m)	$\Delta_{i(\text{max})}$	$\Delta_{i(\text{max})}/H_i$	H_i (m)	$\Delta_{i(\text{max})}$	$\Delta_{i(\text{max})}/H_i$
1	3	0,0089	0,0030	3	0,0089	0,0030
2	3	0,0101	0,0034	3	0,0101	0,0034
3	3	0,0076	0,0026	3	0,0076	0,0026
4	3	0,0043	0,0014	3	0,0043	0,0014

Bina, Can Güvenliği (CG) performans düzeyini sağlamaktadır.

4.4 ÖRNEK ÇALIŞMA – III (YUMUŞAK KAT)

1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN OLARAK TASARLANMIŞ 4 KATLI KONUT BİNASININ (DOLGU DUVARLAR, EŞDEĞER BASINÇ ÇUBUĞU OLARAK MODELLENMİŞ ve ZEMİN KAT DOLGU DUVARLARI İHMAL EDİLMİŞ) DOĞRUSAL ELASTİK HESAP YÖNTEMİ (EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

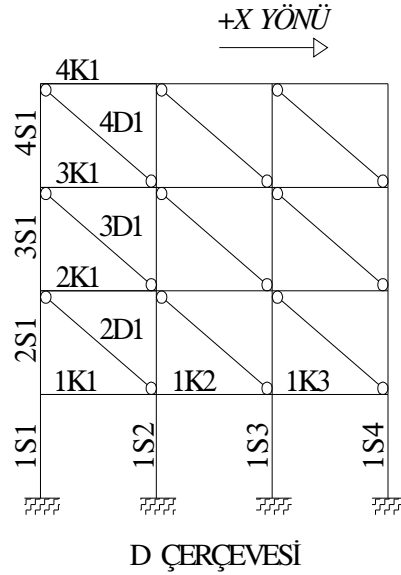
Bölüm 4.2’de Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi ile 4 katlı betonarme konut binasının performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu bölümde, aynı binanın, dolgu duvarları eşdeğer diyagonal basınç çubuğu olarak modellenerek doğrusal elastik hesap yöntemi ile performans analizi yapılmıştır. Eşdeğer diyagonal çubukların, iki ucunun mafsallı olduğu ve yalnızca basınç kuvveti taşıdığı kabul edilmiştir. Bu performans analizinde eşdeğer çubukların performansının değerlendirmesi yapılmayıp, eşdeğer çubukların kolon ve kiriş elemanlarının performanslarına etkileri araştırılmıştır. Bu etkileri bulmak için, kolonların normal kuvvet kapasitelerinin hesabı, eşdeğer diyagonal çubuk kuvvetlerinin düşey bileşenleri de hesaba katılarak yapılmıştır. Bundan sonraki adımlar Bölüm 4.2’de anlatıldığı gibi yapılmıştır.



Şekil 4.36 4 Katlı betonarme çerçeve bina plan ve kesiti

Kabuller:

- 10- Binanın doğrusal elastik hesap yöntemi ile değerlendirilmesinde çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır.
- 11- Binanın yatay yükler altındaki analizinde ek dış merkezlikler uygulanmamıştır.
- 12- η_b kontrolü yapılmış olup her katta X ve Y doğrultusunda $\eta_b < 1,4$ koşulunu sağlamaktadır.
- 13- Eşdeğer statik deprem yükleri $R=1$ kullanılarak hesap yapılmıştır.
- 14- Eşdeğer diyagonal basınç çubukların, iki ucunun mafsallı olduğu ve yalnızca basınç kuvveti taşıdığı kabul edilmiştir.



Şekil 4.37 D Çerçevesi görünüşü ve eleman adlandırması

4.4.1 Hesaplarda Kullanılacak Dolgu Duvarın Malzeme Özellikleri ve Boyutları



Bina içerisinde kullanılan dolgu duvarının hesaplarda kullanılacak değerleri ve oluşacak eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun etkili genişliği, Bölüm 4.3, Şekil 4.26'da çerçeve ve çerçeveyi oluşturan elemanların mekanik ve geometrik

özelliklerine bağlı olarak denklem 4.1, 4.2, 4.3 yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 4.13 de verilmişti. Dolgu duvar için malzeme ve geometrik özellikler Bölüm 4.3'te bulunanlarla aynıdır ve hesaplarda bu değerler kullanılacaktır.

4.4.2 Kiriş Uçlarındaki Moment Kapasitelerinin Hesabı (M_k)

Bölüm 4.2'de yapılan hesaplar bu örnek içinde aynıdır. Orada bulunan değerler kullanılmıştır. Aşağıda 1K1 nolu kirişin moment kapasite değerleri verilmiştir.

Tablo 4.22 1K1 Kirişinin Uçlarının Moment Kapasitesi

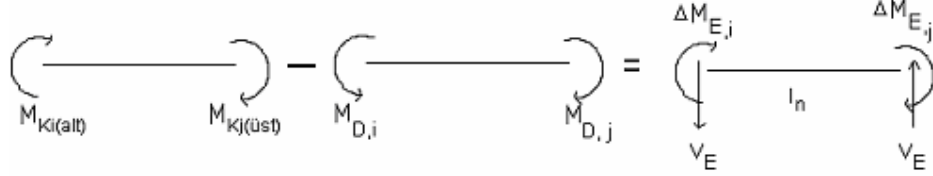
	Üst Moment Kapasiteleri		Alt Moment Kapasiteleri	
	i	j	i	j
As(mm²)	452	452	339	339
M_k (kN.m)	86,73	86,73	66,72	66,72
				

4.4.3 Kolon Eksenel Yüklerinin Hesabı

- Deprem yönüne paralel bir çerçevedeki kolonların düşey yükleden ($G+nQ$) kaynaklanan eksenel yükleri (N_D), deprem yükünden kaynaklanan eksenel yükleri ise (N_E) dir.
- Deprem yükünden kaynaklanan eksenel yükler (N_E) 2007 Deprem Yönetmeliği'nin Ek 7-A'daki esaslara göre hesaplanmıştır.

1S1 Kolonunun Deprem Yükünden Kaynaklanan (N_E) Eksenel Yükünün Hesabı

1.katta 1K1 kirişinden aktarılan kesme kuvveti ($V_{E,1}$):



Şekil: 4.38 ΔM_E Artık moment kapasitesinin hesap gösterimi

$$M_{Ki(alt)} = 66,72 \text{ kNm}, M_{Di} = -15,10 \text{ kNm} \text{ (düşey yükleme momenti)}$$

$$\Delta M_{E,i} = M_{Ki(alt)} - M_{Di} = 66,72 - (-15,10) = 81,82 \text{ kNm}$$

$$M_{Kj(üst)} = -86,73 \text{ kNm}, M_{Dj} = -17,07 \text{ kNm} \text{ (düşey yükleme momenti)}$$

$$\Delta M_{E,j} = M_{Kj(üst)} - M_{Dj} = -86,73 - (-17,07) = -69,66 \text{ kNm}$$

$$V_{E,1} = (\Delta M_{E,i} + \Delta M_{E,j}) / l_n = (81,82 + 69,66) / 3,5 = 43,28 \text{ kN}$$

Kolona aktarılan ise ters yönde olur.

Aynı hesaplar 2K1, 3K1, 4K1 kirişleri içinde yapılır.

$$V_{E,2} = 37,79 \text{ kN}, V_{E,3} = 37,79 \text{ kN}, V_{E,4} = 37,31 \text{ kN} \text{ olarak hesaplanır.}$$

2D1 dolgu duvarının (Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu) taşıdığı eksenel yük veya eksenel yük kapasitesi değerlerinden küçük olanın düşey bileşeni,

$$Aç_1 = \alpha = 54,5^\circ$$

$$+X \text{ yönü deprem yüklemesinden dolayı oluşan eksenel basınç} = -375,74 \text{ kN}$$

$$\text{Dolgu duvar eksenel yük kapasitesi} = -282,58 \text{ kN}$$

$$\text{Birleşime Etkiyen Düşey Bileşen} = N_{k,2} \cos \alpha = 282,58 \times \cos(54,5) = 164,18 \text{ kN (çekme)}$$

Aynı hesaplar 3D1, 4D1 dolgu duvarları içinde yapılır.

$$N_{k,3} \cos \alpha = 142,50 \text{ kN}, N_{k,4} \cos \alpha = 77,76 \text{ kN},$$

Tablo 4.23 Kirişlerin örnek hesaplar doğrultusunda hesaplanan moment ve kesme kuvvet değerleri

<i>Kiriş</i>	<i>Kiriş Ucu</i>	M_D	$M_k^{(1)}$	$\Delta M_k = M_k - M_D$	V_E
1K1	M_i	-15,10	66,72	81,82	43,28
	M_j	-17,07	-86,73	69,66	
2K1	M_i	-16,34	66,72	83,06	37,79
	M_j	-16,21	-65,40	49,19	
3K1	M_i	-16,28	66,88	83,16	37,79
	M_j	-16,28	-65,40	49,12	
4K1	M_i	-9,35	66,88	76,23	37,31
	M_j	-11,05	-65,40	54,35	
1K2	M_i	-17,54	66,72	84,26	44,14
	M_j	-16,50	-86,73	70,23	
2K2	M_i	-17,66	66,88	84,54	38,21
	M_j	-16,20	-65,40	49,20	
3K2	M_i	-17,29	66,88	84,17	38,02
	M_j	-16,51	-65,40	48,89	
4K2	M_i	-11,32	66,88	78,20	37,87
	M_j	-11,05	-65,40	54,35	
1K3	M_i	-18,18	66,72	84,90	45,07
	M_j	-13,90	-86,73	72,83	
2K3	M_i	-17,77	66,88	84,65	44,79
	M_j	-14,63	-86,73	72,10	
3K3	M_i	-17,09	66,88	83,97	38,27
	M_j	-15,42	-65,40	49,98	
4K3	M_i	-11,34	66,88	78,22	38,45
	M_j	-9,03	-65,40	56,37	
1K4	M_i	-21,40	67,59	88,99	43,15
	M_j	-24,71	-86,73	62,02	
2K4	M_i	-23,21	67,55	90,76	44,01
	M_j	-23,45	-86,73	63,28	
3K4	M_i	-23,49	67,49	90,98	38,03
	M_j	-23,28	-65,40	42,12	
4K4	M_i	-14,95	67,49	82,44	37,09
	M_j	-18,03	-65,40	47,37	
1K5	M_i	-25,05	67,55	92,60	44,40
	M_j	-23,94	-86,73	62,79	
2K5	M_i	-25,14	67,55	92,69	44,53
	M_j	-23,58	-86,73	63,15	
3K5	M_i	-24,71	67,49	92,20	38,21
	M_j	-23,87	-65,40	41,53	
4K5	M_i	-18,34	67,49	85,83	38,05
	M_j	-18,07	-65,40	47,33	
1K6	M_i	-25,90	67,55	93,45	51,77
	M_j	-20,11	-107,85	87,74	
2K6	M_i	-25,13	67,55	92,68	45,16
	M_j	-21,36	-86,73	65,37	
3K6	M_i	-24,17	67,49	91,66	38,44
	M_j	-22,53	-65,40	42,87	
4K6	M_i	-18,35	67,49	85,84	39,04
	M_j	-14,59	-65,40	50,81	

Not ⁽¹⁾ : Kiriş moment taşıma kapasitesi (M_k) hesabında, deprem etkisiyle kirişte oluşan momentin yönüyle uyumlu olarak (i) ucunda alt, (j) ucunda üst moment kapasiteleri alınmıştır.

$N_{E,1}$, 1S1 kolonuna üstteki kirişlerden aktarılan kesme kuvvetlerinin ve dolgu duvarlardan aktarılan kesme kuvvetlerinin toplamıdır;

$$\begin{aligned}
 N_{E,1} &= V_{E,1} + V_{E,2} + V_{E,3} + V_{E,4} + N_{k,2} \cos \alpha + N_{k,3} \cos \alpha + N_{k,4} \cos \alpha \\
 &= 43,28 + 37,79 + 37,79 + 37,31 + 164,18 + 142,50 + 77,76 \\
 &= 540,60 \text{ kN (çekme)}
 \end{aligned}$$

$N_{D,1}$, 1S1 kolonunun düşey yüklemekten elde edilen aksel kuvvetidir;

$$N_{D,1} = -226,09 \text{ kN,}$$

$N_{D,1} + N_{E,1} = -226,09 + 540,60 = 314,51 \text{ kN}$ değeri için 1S1 kolonunun üst ucunun moment kapasitesi,

$$M_{kü} = 210,00 \text{ kNm, olarak hesaplanır.}$$

Tablo 4.24 Diyagonal çubukların +X deprem yüklemesinde oluşan eksenel kuvvetleri ve kolonlara aktarılan normal kuvvet değerleri

<i>Dolgu Adı</i>	<i>Eksenel Kuvvet</i>	N_k	$N_k \cos \alpha$	<i>Dolgu Adı</i>	<i>Eksenel Kuvvet</i>	N_k	$N_k \cos \alpha$
2D1	<i>N</i>	-375,74	-164,18	2D4	<i>N</i>	-375,45	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
3D1	<i>N</i>	-245,26	-142,50	3D4	<i>N</i>	-244,94	-142,31
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
4D1	<i>N</i>	-133,83	-77,76	4D4	<i>N</i>	-133,50	-77,56
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
2D2	<i>N</i>	-386,89	-164,18	2D5	<i>N</i>	-386,93	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
3D2	<i>N</i>	-257,44	-149,57	3D5	<i>N</i>	-257,49	-149,60
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
4D2	<i>N</i>	-145,88	-84,76	4D5	<i>N</i>	-145,92	-84,78
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
2D3	<i>N</i>	-379,71	-164,18	2D6	<i>N</i>	-379,50	-164,18
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
3D3	<i>N</i>	-244,53	-142,07	3D6	<i>N</i>	-244,25	-141,91
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	
4D3	<i>N</i>	-130,14	-75,61	4D6	<i>N</i>	-129,82	-75,43
	N_{max}	-282,58			N_{max}	-282,58	

2S1 kolonunun alt ucunun moment kapasitesi aynı şekilde,

$$M_{ka} = 213,90 \text{ kN olarak hesaplanır.}$$

1 Kolonunun üst ucunun KKO değerinin hesabı 2007 Deprem Yönetmeliği

Denklem (7A.2)'ye göre hesaplanır:

$$KKO = \frac{(M_{Ka} + M_{Ku})}{(M_{Ki(alt)} + M_{Kj(üst)})} = \frac{(209,60 + 210,00)}{(66,72 + 0)} = 6,29$$

1S1 kolonunun üst ucunun KKO değerini bulmak için yapılan işlemler 2S1, 3S1,4S1 kolonlarının üst uçlarının KKO değerlerini bulmak içinde tekrarlanır. KKO değerleri sırasıyla 6,64, 7,39, 3,83 olarak hesaplanır. Benzer şekilde bitişik kolon aksı için 1S2, 2S2, 3S2, 4S2 kolonlarının üst uçlarının KKO değerleri sırasıyla 4,04, 4,24, 4,10, 2,02 olarak hesaplanır.

NOT: Bu çalışmada KKO değerlerimizin tamamı 1'den büyük çıkmıştır. Eğer herhangi bir KKO değeri 1'den küçük çıkarsa, o KKO hesabında kullanılan kirişlere

ait $M_{K_i(alt)}$ ve $M_{K_j(üst)}$ değerleri KKO ile çarpılarak azaltılmalıdır. Azaltılan $M_{K_i(alt)}$ ve $M_{K_j(üst)}$ değerleri ile hesaplar tekrar yapılmalıdır.

Tablo 4.25 D ve C Aksları Çerçveleri Kolonları Hesaplanan Eksenel Kuvvetleri

KOLON ADI	$\frac{N_{D(alt)}}{N_{D(üst)}}$	N_E (kN)	$\frac{N_{D(alt)} + N_E}{N_{D(üst)} + N_E}$	KOLON ADI	$\frac{N_{D(alt)}}{N_{D(üst)}}$	N_E (kN)	$\frac{N_{D(alt)} + N_E}{N_{D(üst)} + N_E}$
	(kN)		(kN)		(kN)		(kN)
1S1	-244,84	540,60	295,76	1S5	-368,95	546,33	177,38
	-226,09		314,51		-350,20		196,13
2S1	-180,94	497,32	316,38	2S5	-271,87	503,18	231,31
	-162,19		335,13		-253,12		250,06
3S1	-115,38	295,35	179,97	3S5	-173,23	294,99	121,76
	-96,63		198,72		-154,48		140,51
4S1	-49,13	115,06	65,93	4S5	-73,46	114,65	41,19
	-30,38		84,68		-54,71		59,94
1S2	-359,86	16,15	-343,71	1S6	-550,10	17,41	-532,69
	-341,11		-324,96		-531,35		-513,94
2S2	-263,31	179,47	-83,84	2S6	-401,54	180,34	-221,20
	-244,56		-65,09		-382,79		-202,45
3S2	-167,61	157,36	-10,25	3S6	-256,28	157,95	-98,33
	-148,86		8,50		-237,53		-79,58
4S2	-71,72	85,32	13,60	4S6	-111,75	85,74	-26,01
	-52,97		32,35		-93,00		-7,26
1S3	-360,80	-8,31	-369,11	1S7	-552,07	-7,82	-559,89
	-342,05		-350,36		-533,32		-541,14
2S3	-263,03	154,94	-108,09	2S7	-401,37	148,99	-252,38
	-244,28		-89,34		-382,62		-233,63
3S3	-166,38	133,76	-32,62	3S7	-254,68	133,78	-120,90
	-147,63		-13,87		-235,93		-102,15
4S3	-70,15	76,19	6,04	4S7	-109,20	76,42	-32,78
	-51,40		24,79		-90,45		-14,03
1S4	-242,80	-548,44	-791,24	1S8	-370,26	-555,92	-926,18
	-224,05		-772,49		-351,51		-907,43
2S4	-178,34	-339,19	-517,53	2S8	-270,84	-339,97	-610,81
	-159,59		-498,78		-252,09		-592,06
3S4	-113,15	-152,34	-265,49	3S8	-170,85	-152,91	-323,76
	-94,40		-246,74		-152,10		-305,01
4S4	-47,17	-38,45	-85,62	4S8	-70,46	-39,04	-109,50
	-28,42		-66,87		-51,71		-90,75

4.4.4 Kiriş ve Kolonların Kesme Kontrolü

Bütün kiriş ve kolonlarda kesme kontrolü Bölüm 4.2’de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Bütün kiriş ve kolonlar sünektir.

4.4.5 Kiriş ve Kolon Kesitlerinin “Etki/Kapasite Oranları (r)”nın ve”Sınır Değerleri (r_{sınır})”nin Hesabı

Örnek : 1S1 Kolonunun Sınır Değerleri 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.3’e göre hesaplanmıştır.

$$N_{D+E} = -295,76 \text{ kN}, A_c = 500 \times 500 \text{ mm}^2 \quad f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\frac{N}{A_c f_{ck}} = \frac{295,76}{500 \times 500 \times 20} = 0,059$$

$$V_e = 109,55 \text{ kN}, f_{ctk} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{V}{b_w d f_{ctk}} = \frac{109,55}{460 \times 500 \times 0,0016} = 0,30$$

Kolon sargılanmıştır.

Bina “Can Güvenliği Performans Düzeyi” ne göre kontrol edildiği için GV hasar sınırının değerleri göz önüne alınır. Hesaplanan $N/(A_c f_{ck})$ ve $V/(b_w d f_{ctk})$ değerleri ile 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.3’den “r_{sınır}” değeri 6,00 bulunur.

Yatay yükler altında hesaplanan moment M_E , kolonun üst ucunda -318,52 kNm, alt ucunda ise 517,59 kNm’dir. Kolonun moment kapasitesinden, düşey yüklemeden gelen moment (M_D) çıkarılarak “Artık Moment Kapasitesi” bulunur.

“Artık Moment Kapasitesi, üst uçta;

$$\Delta M_{Kü} = -210,00 - 5,82 = -215,82 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{Ka} = 213,90 - (-3,11) = 217,01 \text{ kNm}$$

“Etki/Kapasite Oranı (r)” üst uçta; $r = \frac{M_{Eü}}{\Delta M_{Kü}} = \frac{318,52}{215,82} = 1,49$

“Etki/Kapasite Oranı (r)” alt uçta; $r = \frac{M_{Ea}}{\Delta M_{Ka}} = \frac{517,59}{217,01} = 2,39$

Kolonun üst ucunda $r/r_{sınır} = 1,49 / 6,00 = 0,25 < 1$

Kolonun alt ucunda $r/r_{sınır} = 2,39 / 6,00 = 0,40 < 1$

$r/r_{sınır}$ değerleri her iki uçta da 1’den küçük olduğu için bu kolon “GV” güvenlik sınırını sağlamaktadır.

Örnek : 1K1 Kirişinin Sınır Değerleri 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.2’e göre hesaplanmıştır.

(i) ucu; $\rho = 0,00285$, $\rho' = 0,00381$, $\rho_b = 0,0160$, $(\rho - \rho') / \rho_b = -0,059$

(j) ucu; $\rho = 0,00381$, $\rho' = 0,00285$, $\rho_b = 0,0160$, $(\rho - \rho') / \rho_b = 0,059$

(i) ucu; $V = 21,16$ kN, $b_w d = 250 \times 475$, $f_{ctk} = 1,6$ N/mm²

$$\frac{V}{b_w df_{ctm}} = \frac{21160}{250 \times 475 \times 1,6} = 0,1114$$

(j) ucu; $V = 67,51$ kN, $b_w d = 250 \times 475$, $f_{ctk} = 1,6$ N/mm²

$$\frac{V}{b_w df_{ctm}} = \frac{67510}{250 \times 475 \times 1,6} = 0,3553$$

Kiriş sargılanmıştır.

Bina “Can Güvenliği Performans Düzeyi”ne göre kontrol edildiği için “GV” hasar sınırının değerleri göz önüne alınır. Hesaplanan $(\rho - \rho') / \rho_b$ ve $V / (b_w df_{ctk})$ değerleri ile 2007 Deprem Yönetmeliği Tablo 7.2’den $r_{sınır}$ değeri iterasyon yaparak hesaplanır ve (i) ucu için 7,00, (j) ucu için 6,76 bulunur.

Yatay yüklemekten hesaplanan (M_E), (i) ucunda 282,02 kNm, (j) ucunda -255,39 kNm'dir. Kirişin kapasitesinden, düşey yüklemekten gelen (M_D) çıkarılarak "Artık Moment Kapasitesi" bulunur.

Artık moment kapasiteleri;

$$(i) \text{ ucunda, } \Delta M_{ki} = 66,72 - (-15,10) = 81,82 \text{ kNm,}$$

$$(j) \text{ ucunda, } \Delta M_{kj} = -86,73 - (-17,07) = -69,66 \text{ kNm}$$

"Etki/Kapasite Oranı (r)" (i) ucunda;

$$r = \frac{M_{Ei}}{\Delta M_{Ki}} = \frac{282,02}{81,82} = 3,45$$

"Etki/Kapasite Oranı (r)" (j) ucunda;

$$r = \frac{M_{Ej}}{\Delta M_{Kj}} = \frac{255,39}{69,66} = 3,67$$

$$\text{Kirişin (i) ucunda } r/r_{\text{sınır}} = 3,45 / 7,00 = 0,49 < 1$$

$$\text{Kirişin (j) ucunda } r/r_{\text{sınır}} = 3,67 / 6,76 = 0,54 < 1$$

$r/r_{\text{sınır}}$ değerleri her iki uçta da 1'den küçük olduğu için bu kolon "GV" güvenlik sınırını sağlamaktadır.

Tablo 4.26 Kirişlerde $r/r_{sınır}$ değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kiriş	Kiriş Ucu	$\Delta M_k = M_k - M_D$	M_E	$r = \frac{M_E}{\Delta M_k}$	$V_{düşey}$	V_e	$\frac{V_e}{b_w d f_{cm}}$	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	$r_{sınır}$	$r/r_{sınır}$
1K1	M_i	81,82	282,02	3,45	-22,68	21,16	0,1114	-0,059	7,00	0,49
	M_j	69,66	-255,39	3,67	23,67	67,51	0,3553	0,059	6,76	0,54
2K1	M_i	83,06	127,62	1,54	-23,21	14,54	0,0765	-0,059	7,00	0,22
	M_j	49,19	-120,38	2,45	23,14	60,89	0,3205	0,000	7,00	0,35
3K1	M_i	83,16	87,38	1,05	-23,17	14,62	0,0770	0,000	7,00	0,15
	M_j	49,12	-80,30	1,63	23,18	60,97	0,3209	0,000	7,00	0,23
4K1	M_i	76,23	39,35	0,52	-14,22	23,57	0,1241	0,000	7,00	0,07
	M_j	54,35	-34,16	0,63	15,08	52,87	0,2783	0,000	7,00	0,09
1K2	M_i	84,26	234,20	2,78	-23,44	20,40	0,1074	-0,059	7,00	0,40
	M_j	70,23	-234,18	3,33	22,91	66,75	0,3513	0,059	6,76	0,49
2K2	M_i	84,54	120,05	1,42	-23,54	14,25	0,0750	0,000	7,00	0,20
	M_j	49,20	-120,16	2,44	22,81	60,60	0,3190	0,000	7,00	0,35
3K2	M_i	84,17	80,85	0,96	-23,37	14,42	0,0759	0,000	7,00	0,14
	M_j	48,89	-80,99	1,66	22,98	60,77	0,3199	0,000	7,00	0,24
4K2	M_i	78,20	36,73	0,47	-14,72	23,07	0,1214	0,000	7,00	0,07
	M_j	54,35	-37,07	0,68	14,58	52,37	0,2757	0,000	7,00	0,10
1K3	M_i	84,90	255,37	3,01	-24,24	19,60	0,1032	-0,059	7,00	0,43
	M_j	72,83	-281,98	3,87	22,11	65,95	0,3471	0,059	6,76	0,57
2K3	M_i	84,65	119,28	1,41	-23,96	19,93	0,1049	0,000	7,00	0,20
	M_j	72,10	-126,53	1,75	22,39	66,28	0,3488	0,059	6,76	0,26
3K3	M_i	83,97	78,33	0,93	-23,59	14,20	0,0748	0,000	7,00	0,13
	M_j	49,98	-85,40	1,71	22,76	60,55	0,3187	0,000	7,00	0,24
4K3	M_i	78,22	32,31	0,41	-15,23	22,56	0,1188	0,000	7,00	0,06
	M_j	56,37	-37,58	0,67	14,07	51,86	0,2730	0,000	7,00	0,10
1K4	M_i	88,99	302,67	3,40	-31,27	12,82	0,0675	-0,119	7,00	0,49
	M_j	62,02	-273,41	4,41	32,93	77,02	0,4054	0,059	6,76	0,65
2K4	M_i	90,76	137,72	1,52	-32,04	12,04	0,0634	-0,059	7,00	0,22
	M_j	63,28	-128,90	2,04	32,16	76,24	0,4013	0,059	6,76	0,30
3K4	M_i	90,98	93,77	1,03	-32,15	5,82	0,0306	0,000	7,00	0,15
	M_j	42,12	-85,61	2,03	32,05	70,02	0,3685	0,000	7,00	0,29
4K4	M_i	82,44	41,86	0,51	-22,28	15,69	0,0826	0,000	7,00	0,07
	M_j	47,37	-35,92	0,76	23,82	61,79	0,3252	0,000	7,00	0,11
1K5	M_i	92,60	250,39	2,70	-32,38	11,70	0,0616	-0,059	7,00	0,39
	M_j	62,79	-250,36	3,99	31,82	75,90	0,3995	0,059	6,76	0,59
2K5	M_i	92,69	127,97	1,38	-32,49	11,59	0,0610	-0,059	7,00	0,20
	M_j	63,15	-128,10	2,03	31,71	75,79	0,3989	0,059	6,76	0,30
3K5	M_i	92,20	86,14	0,93	-32,31	5,66	0,0298	0,000	7,00	0,13
	M_j	41,53	-86,31	2,08	31,89	69,86	0,3677	0,000	7,00	0,30
4K5	M_i	85,83	38,83	0,45	-23,12	14,85	0,0782	0,000	7,00	0,06
	M_j	47,33	-39,22	0,83	22,98	60,95	0,3208	0,000	7,00	0,12
1K6	M_i	93,45	273,38	2,93	-33,55	16,56	0,0872	-0,059	7,00	0,42
	M_j	87,74	-302,64	3,45	30,65	80,76	0,4251	0,119	6,52	0,53
2K6	M_i	92,68	127,71	1,38	-33,04	11,04	0,0581	-0,059	7,00	0,20
	M_j	65,37	-136,55	2,09	31,16	75,24	0,3960	0,059	6,76	0,31
3K6	M_i	91,66	83,48	0,91	-32,51	5,46	0,0287	0,000	7,00	0,13
	M_j	42,87	-91,63	2,14	31,69	69,66	0,3666	0,000	7,00	0,31
4K6	M_i	85,84	33,94	0,40	-23,99	13,98	0,0736	0,000	7,00	0,06
	M_j	50,81	-39,97	0,79	22,11	60,08	0,3162	0,000	7,00	0,11

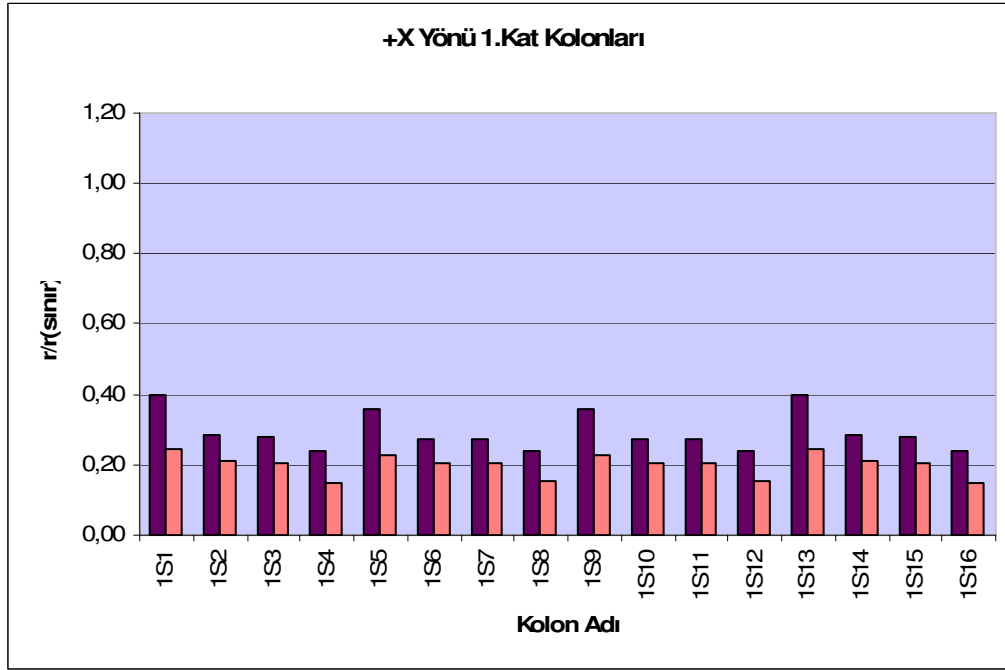
Tablo 4.27 Kolonlarda r/r_{smr} değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kolon	Kolon Ucu	$M_{ka}-M_{kü}$	KKO	M_d	$\Delta M_{ka}-\Delta M_{kü}$	M_E	N	M_a-M_{ii}	r	$N/(A_c * f_{cm})$	V_e	$V_e/b_w d f_{cm}$	r_{smr}	r/r_{smr}
1S1	Alt	213,90		-3,11	217,01	517,59	709,84	213,90	2,39	0,059	109,55	0,30	6,00	0,40
	Üst	210,00	6,29	5,82	-215,82	-318,52		59,99	1,48	0,063			6,00	0,25
2S1	Alt	209,60		-9,48	219,08	-35,76	575,44	6,73	0,16	0,063	17,98	0,05	6,00	0,03
	Üst	205,70	6,64	8,79	-214,49	-73,19		38,21	0,34	0,067			6,00	0,06
3S1	Alt	237,60		-7,73	245,33	54,60	287,93	28,51	0,22	0,036	35,79	0,10	6,00	0,04
	Üst	233,80	7,39	7,98	-241,78	-79,81		60,97	0,33	0,040			6,00	0,06
4S1	Alt	260,40		-8,46	268,86	7,74	98,77	5,91	0,03	0,013	29,12	0,08	6,00	0,00
	Üst	256,30	3,83	9,68	-265,98	-39,46		66,88	0,15	0,017			6,00	0,02
1S2	Alt	333,80		-0,07	333,87	565,10	0,59	333,80	1,69	0,069	185,58	0,50	6,00	0,28
	Üst	331,20	4,04	-0,42	-330,78	-415,85		130,14	1,26	0,065			6,00	0,21
2S2	Alt	289,30		-0,88	290,18	74,48	243,31	23,31	0,26	0,017	41,65	0,11	6,00	0,04
	Üst	285,80	4,24	0,91	-286,71	-147,16		80,83	0,51	0,013			6,00	0,09
3S2	Alt	275,30		-0,55	275,85	93,68	160,29	51,45	0,34	0,002	59,45	0,16	6,00	0,06
	Üst	271,70	4,10	0,81	-272,51	-118,58		97,16	0,44	0,002			6,00	0,07
4S2	Alt	270,70		-0,21	270,91	42,86	87,60	35,12	0,16	0,003	66,96	0,18	6,00	0,03
	Üst	267,00	2,02	0,27	-267,27	-71,05		132,28	0,27	0,006			6,00	0,04
1S3	Alt	337,20		-0,37	337,57	565,14	-3,32	337,20	1,67	0,074	186,95	0,51	6,00	0,28
	Üst	334,70	4,10	0,20	-334,90	-415,92		130,17	1,24	0,070			6,00	0,21
2S3	Alt	293,90		-1,48	295,38	74,37	211,57	23,28	0,25	0,022	41,70	0,11	6,00	0,04
	Üst	290,30	4,31	1,18	-291,48	-146,81		80,97	0,50	0,018			6,00	0,08
3S3	Alt	279,60		-0,39	279,99	93,04	136,81	51,31	0,33	0,007	59,60	0,16	6,00	0,06
	Üst	276,00	4,14	0,54	-276,54	-117,87		97,69	0,43	0,003			6,00	0,07
4S3	Alt	272,20		-0,03	272,23	41,73	77,12	34,59	0,15	0,001	66,75	0,18	6,00	0,03
	Üst	268,50	2,03	0,29	-268,79	-69,55		132,28	0,26	0,005			6,00	0,04
1S4	Alt	390,20		2,84	387,36	517,64	-707,10	390,20	1,34	0,158	187,26	0,51	5,61	0,24
	Üst	388,10	8,59	-6,38	-381,72	-318,61		77,95	0,83	0,154			5,64	0,15
2S4	Alt	357,10		7,71	349,39	-35,89	-344,89	8,78	0,10	0,104	23,44	0,06	5,97	0,02
	Üst	354,60	7,80	-7,39	-347,21	-72,79		49,83	0,21	0,100			6,00	0,03
3S4	Alt	322,20		7,42	314,78	53,91	-136,63	36,90	0,17	0,053	38,94	0,11	6,00	0,03
	Üst	318,90	9,31	-7,08	-311,82	-79,09		60,44	0,25	0,049			6,00	0,04
4S4	Alt	289,70		8,49	281,21	6,49	-17,53	4,96	0,02	0,017	28,14	0,08	6,00	0,00
	Üst	286,10	4,37	-9,35	-276,75	-37,68		65,40	0,14	0,013			6,00	0,02

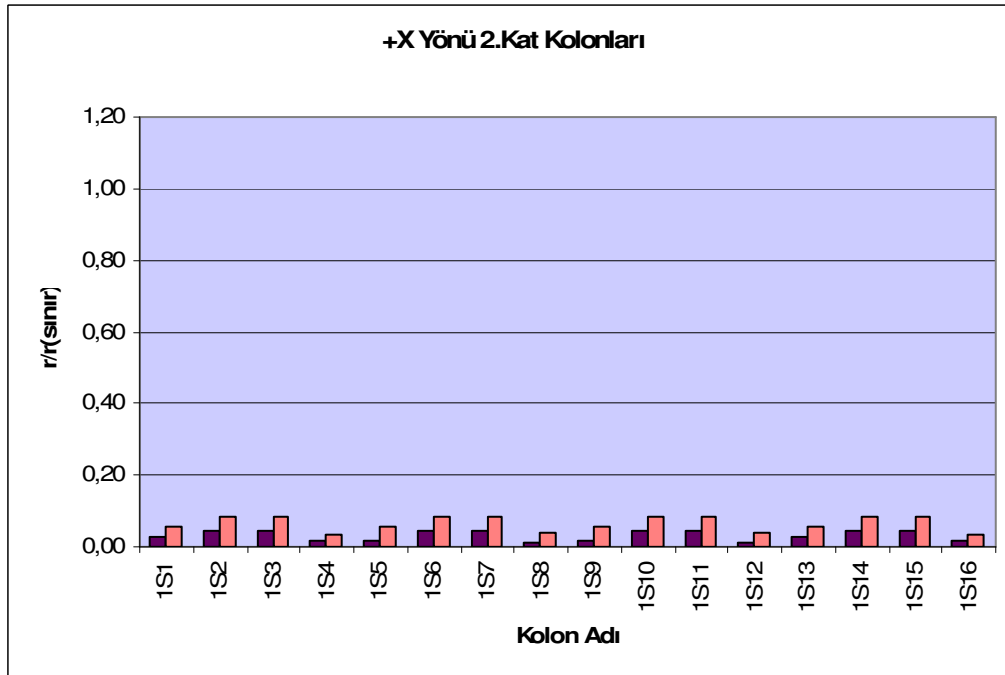
Tablo 4.27 (Devamı) Kolonlarda r/r_{smnr} değerleri ve bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan ara değerler

Kolon	Kolon Ucu	$M_{ka}-M_{kü}$	KKO	M_d	$\Delta M_{ka}-\Delta M_{kü}$	M_E	N	$M_a-M_{ü}$	r	$N/(A_c*f_{cm})$	V_e	$V_e/b_w*d_f_{cm}$	r_{smnr}	r/r_{smnr}
1S5	Alt	238,10		-4,29	242,39	522,02	727,00	238,10	2,15	0,035	120,31	0,33	6,00	0,36
	Üst	234,30	6,83	8,24	-242,54	-327,59		62,68	1,35	0,039			6,00	0,23
2S5	Alt	227,10		-12,97	240,07	-25,66	583,02	4,91	0,11	0,046	17,59	0,05	6,00	0,02
	Üst	223,30	7,00	12,17	-235,47	-79,25		39,06	0,34	0,050			6,00	0,06
3S5	Alt	249,30		-10,86	260,16	57,80	291,17	28,49	0,22	0,024	35,35	0,10	6,00	0,04
	Üst	245,60	7,57	10,98	-256,58	-83,05		59,89	0,32	0,028			6,00	0,05
4S5	Alt	265,30		-12,35	277,65	10,54	99,45	7,60	0,04	0,008	30,04	0,08	6,00	0,01
	Üst	261,60	3,88	14,62	-276,22	-41,76		67,49	0,15	0,012			6,00	0,03
1S6	Alt	359,10		-0,04	359,14	587,02	-1,23	359,10	1,63	0,107	195,26	0,53	5,95	0,27
	Üst	356,60	4,35	-0,50	-356,10	-437,56		129,06	1,23	0,103			5,98	0,21
2S6	Alt	314,40		-0,85	315,25	85,50	242,86	25,22	0,27	0,044	47,69	0,13	6,00	0,05
	Üst	311,10	3,91	0,96	-312,06	-156,25		94,00	0,50	0,040			6,00	0,08
3S6	Alt	292,00		-0,72	292,72	100,20	160,29	60,28	0,34	0,020	62,65	0,17	6,00	0,06
	Üst	288,50	4,27	1,04	-289,54	-124,32		96,35	0,43	0,016			6,00	0,07
4S6	Alt	278,30		-0,37	278,67	47,14	87,62	36,54	0,17	0,005	67,77	0,18	6,00	0,03
	Üst	274,70	2,07	0,31	-275,01	-74,59		132,89	0,27	0,001			6,00	0,05
1S7	Alt	362,60		-0,45	363,05	587,06	-1,59	362,60	1,62	0,112	196,68	0,53	5,92	0,27
	Üst	360,20	4,41	0,34	-360,54	-437,64		129,10	1,21	0,108			5,94	0,20
2S7	Alt	319,90		-1,61	321,51	85,37	211,75	25,18	0,27	0,050	47,74	0,13	6,00	0,04
	Üst	316,60	3,97	1,24	-317,84	-155,88		94,17	0,49	0,047			6,00	0,08
3S7	Alt	296,20		-0,31	296,51	99,51	136,50	60,11	0,34	0,024	62,79	0,17	6,00	0,06
	Üst	292,70	4,31	0,40	-293,10	-123,56		96,87	0,42	0,020			6,00	0,07
4S7	Alt	279,60		0,08	279,52	45,94	76,85	36,02	0,16	0,007	67,56	0,18	6,00	0,03
	Üst	276,00	2,08	0,28	-276,28	-73,01		132,89	0,26	0,003			6,00	0,04
1S8	Alt	404,50		4,01	400,49	522,07	-724,20	404,50	1,30	0,185	201,79	0,55	5,43	0,24
	Üst	402,60	7,16	-8,77	-393,83	-327,68		99,98	0,83	0,181			5,46	0,15
2S8	Alt	369,20		11,14	358,06	-25,79	-352,55	7,87	0,07	0,122	23,33	0,06	5,85	0,01
	Üst	366,80	8,05	-10,69	-356,11	79,32		50,45	0,22	0,118			5,88	0,04
3S8	Alt	331,00		10,49	320,51	57,05	-140,01	36,28	0,18	0,065	38,04	0,10	6,00	0,03
	Üst	328,50	9,52	-10,03	-318,47	-82,26		58,82	0,26	0,061			6,00	0,04
4S8	Alt	294,10		12,34	281,76	9,20	-18,42	6,58	0,03	0,022	28,79	0,08	6,00	0,01
	Üst	290,60	4,44	-14,26	-276,34	-39,87		65,40	0,14	0,018			6,00	0,02

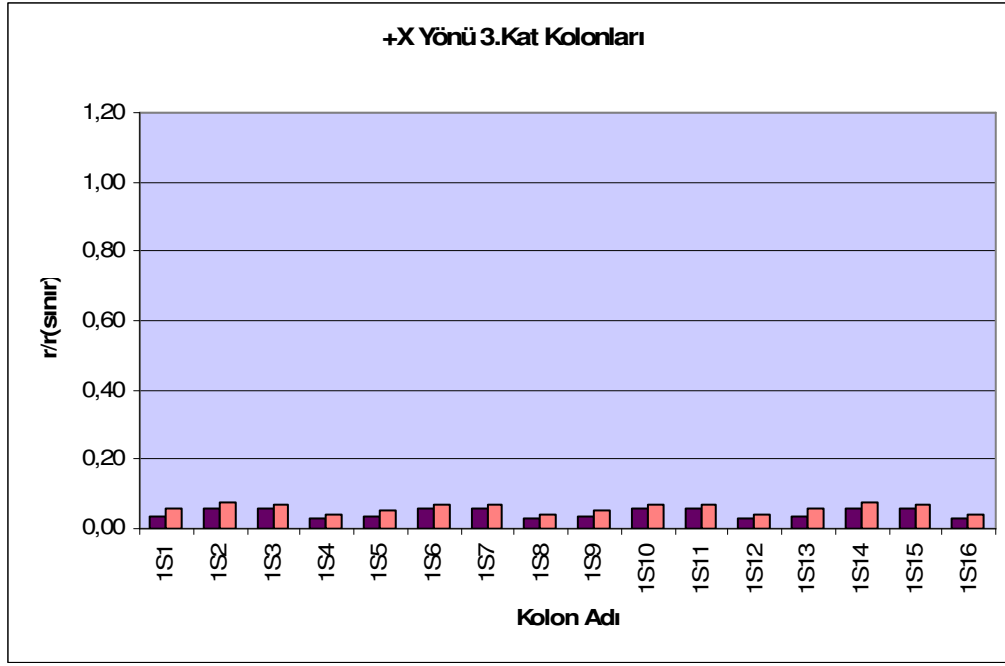
4.4.6 Kolon Ve Kiriş Kesitlerinin “Etki / Kapasite Oranları (r)” Belirlenmesi ve “Sınır Değerleri ($r_{sınır}$)” ile Karşılaştırılması



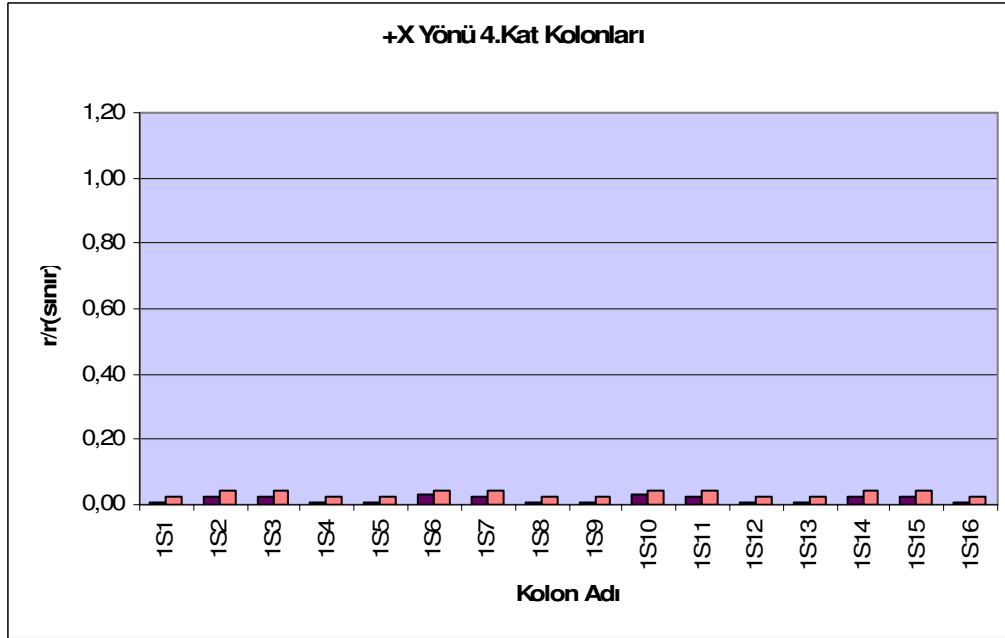
Şekil 4.39 +X Yönü 1.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



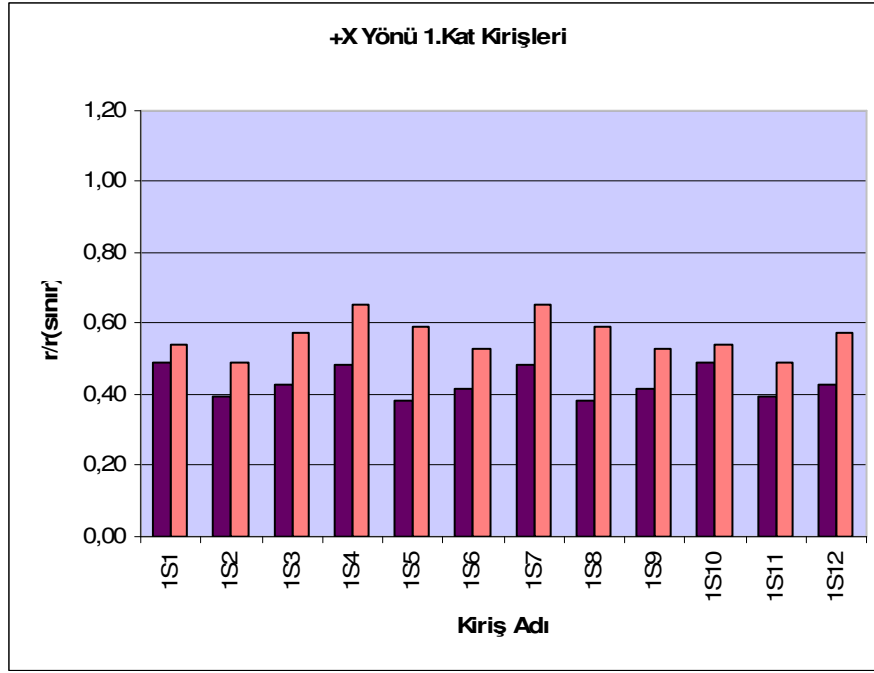
Şekil 4.40 +X Yönü 2.Kat Kolonları $r/r_{sınır}$ değerleri



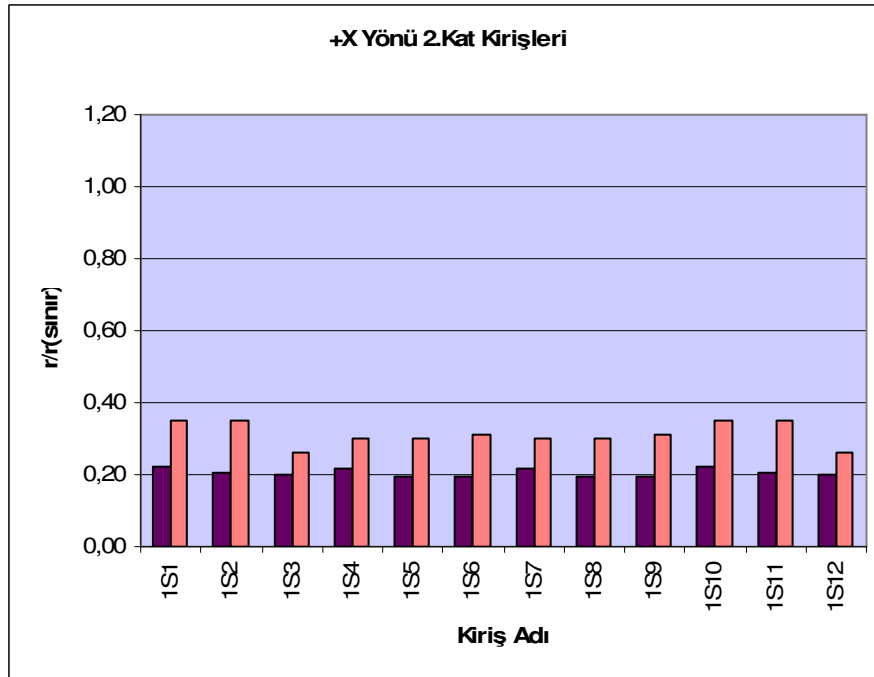
Şekil 4.41 +X Yönü 3.Kat Kolonları $r/r_{\text{sınır}}$ değerleri



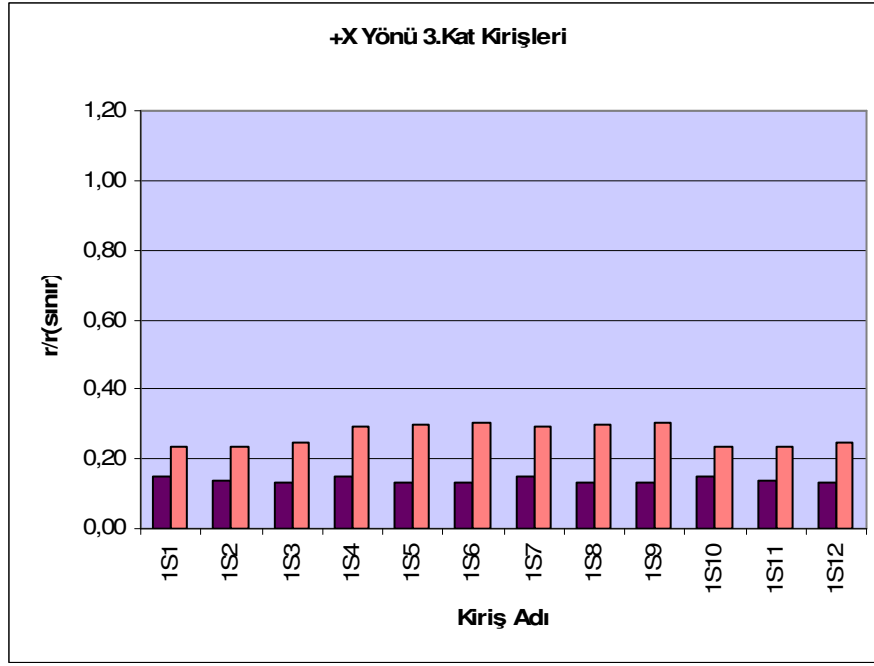
Şekil 4.42 +X Yönü 4.Kat Kolonları $r/r_{\text{sınır}}$ değerleri



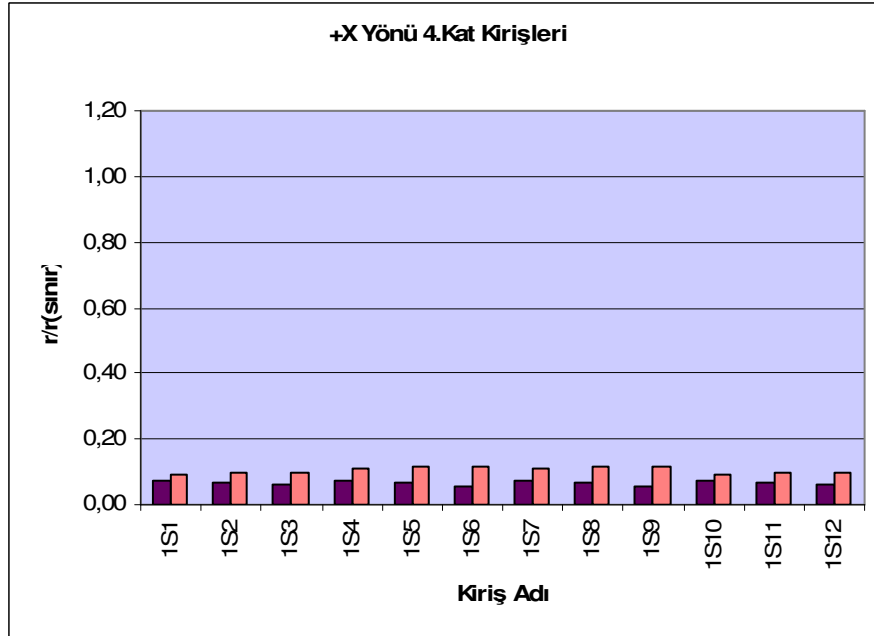
Şekil 4.43 +X Yönü 1.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.44 +X Yönü 2.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.45 +X Yönü 3.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri



Şekil 4.46 +X Yönü 4.Kat Kirişleri $r/r_{sınır}$ değerleri

4.4.7 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Aşağıdaki tabloda “Güvenlik Sınırı”nı sağlamayan kirişlerin adedinin o kattaki tüm kirişlerin adedine oranı ve “Güvenlik Sınırı”nı sağlamayan kolonların aldığı kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonların aldığı kesme kuvvetine oranı verilmiştir. Herhangi bir katta bu oranların, kirişlerde %30 kolonlarda %20’den büyük olduğu durumlarda bina, “Güvenlik sınırı”nı sağlamamaktadır.

+X ve +Y yönünde bütün katlardaki kolon ve kirişlerin $r/r_{sınır}$ değerleri 1’den küçüktür. Göreli kat ötelemeleri 0,03’den küçük bulunmuştur. “Görelî Kat Ötelemeleri” aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.28 Güvenlik Sınırını sağlamayan kolon ve kiriş yüzdeleri

Kat	+X Yönü		+Y Yönü	
	Kirişler(%)	Kolonlar(%)	Kirişler(%)	Kolonlar(%)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

Tablo 4.29 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Kat	+X Yönü			+Y Yönü		
	H_i (m)	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(max)}/H_i$	H_i (m)	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(max)}/H_i$
1	3	0,0184	0,0061	3	0,0184	0,0061
2	3	0,0114	0,0038	3	0,0114	0,0038
3	3	0,0076	0,0025	3	0,0076	0,0025
4	3	0,0043	0,0014	3	0,0043	0,0014

Bina, Can Güvenliği (CG) performans düzeyini sağlamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda dolgu duvar etkisi hesaplara dahil edilmeyen binada; doğrusal elastik hesap yöntemine göre bina performansında kolon ve kirişler güvenlik sınırı içerisinde kalmıştır. Aynı bina, dolgu duvar etkileri eşdeğer diyagonal çubuk modellemesi yapılarak taşıyıcı sistem davranışına dahil edilerek yine doğrusal elastik hesap yöntemine göre performans analizi yapılan binada tüm kolon ve kirişler Güvenlik sınırının içinde kalmıştır. Yumuşak kat durumunu incelemek için zemin kat dolgu duvarsız olarak çözüm sonucu binada tüm kolon ve kirişler Güvenli sınırının içerisinde kalmıştır. Dolayısıyla ele alınan 3 binada da “Can Güvenliği Performans Seviyesini” sağlamıştır.

Ayrıca kolon ve kirişlerde en düşük $r/r_{sınır}$ değerleri tamamı dolgu duvarlı binada oluşmuştur ve bu değerler dolgu duvarsız modeldeki değerlerin iki katı mertebesindedir. Aynı şekilde dolgu duvarsız modelin zemin kat kolon $r/r_{sınır}$ değerleri, yumuşak katın söz konusu olduğu binanın zemin kat kolonlarının $r/r_{sınır}$ değerlerinin yarısı mertebesindedir.

Dolayısıyla çalışmada ele alınan binalar için doğrusal elastik hesap yöntemi kullanılarak yapılan hesaplar sonucu dolgu duvarların olumlu etkisi açıkça görülmektedir. Ayrıca yumuşak kat oluşturmanın yarattığı sıkıntıda ortaya konmuştur. Çalışma – II’ de ele alınan binanın “Güvenlik Sınırı”nı sağlaması ilk olarak eşdeğer çubukların hesaba dahil edilmesiyle deprem yüklemeleri sonucu kolon ve kirişlere gelen yükler büyük mertebede azalmıştır. Kiriş hesaplarında eşdeğer çubuğun etkisi yalnızca bu noktada olmaktadır. Kolonlarda ikinci etki, diyagonal çubuk eksenel kuvvetinin düşey bileşiminin kolon kapasite momentlerinin hesabına esas kolon eksenel kuvvetlerinin hesabında kullanılmasıyla olmaktadır.

Bu çalışmada görülmüştür ki; deprem yüklemesi sonucu çoğu eşdeğer diyagonal çubuklarda oluşan eksenel kuvvet değeri, çubuğun taşıyabileceği maksimum kuvvetin

üzerindedir. Yani doğrusal elastik hesap yönteminde çubukların üzerlerine gelen yükleri sünek bir davranış göstererek taşıdığı kabulü vardır. Oysa ki deprem yüklemesi sırasında eşdeğer çubuk eksenel yük kapasitesini aştıktan sonra plastikleşecektir. Bu nedenle dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına etkilerinin değerlendirilmesinde lineer olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması daha gerçeğe yakın sonuçlar verecektir.

KAYNAKÇA

- [1] TDY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Nisan 2007
- [2] FEMA 306, Evaluation of Earthquake Damaged Concrete And Masonry Wall Buildings., Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington, D.C.: 1998.
- [3] FEMA 307, Evaluation Of Earthquake Damaged Concrete And Masonry Wall Buildings, Technical Resources., Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington, D.C.: 1998.
- [4] FEMA 308, Repair Of Earthquake Damaged Concrete And Masonry Wall Buildings., Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington, D.C.: 1998.
- [5] ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings., Applied Technology Council (ATC). 1996.
- [6] FEMA 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings., Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington, D.C.: 1997.
- [7] FEMA 356, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings., Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C.: November 2000.
- [8] FEMA 440, Improvement of Nonlinear static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C.: June 2005.
- [9] Eurocode8: European Standard Norme Design of Structures for Earthquake Resistance, Part: 3 Assesment and Retrofiting of Buildings, (2004).
- [10] Özer, E., Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme, 04.05.2005 www.ins.itu.edu.tr/eozer/PDF/YSLOA2005_6-1.pdf
- [11] Benjamin, C.S. and Williams, H.A., The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls Proceedings of A.S.C.E., 83, 1957, 32.
- [12] Standford, Smith. B., Lateral Stiffness of Infilled Frames, Journal of the Structural Division, A.S.C.E., Vol. 88, December 1962.
- [13] Gülkan, P., Wasti, S.T., “Çerçeve-Dolgu Etkileşmesi: Lineer Olmayan Bir İrdeleme”, Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Sayfa:39-52, Ankara, (1993)

- [14] Ersoy, U., Altın, S., Tankut, T., “Betonarme Dolgulu Çerçevelerin Dayanım ve Davranışı Deneysel Bir Araştırma”, Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Cilt:2, Sayfa:609-626, Ankara, (1989)
- [15] Şenel, Ş.M., “Binaların Deprem Hesabında Yerdeğiştirme Kriterinin Uygulanması”, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (2001).
- [16] Karadoğan, F., Yüksel, E., “Bölme Duvarlı Betonarme Çerçevesel Üzerinde Gerçekleştirilen Bazı Deneysel Çalışmalar”, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Labaratuvarı, (2001)
- [17] Bağcı , M., Yatay Yükler Etkisindeki Dolgulu Betonarme Düzlem Çerçevelerin Malzeme Bakımından Non-Linear Analizi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, (2003)
- [18] Karaduman, A., “Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 11, Sayı: 3, Sayfa:345-349, (2005)
- [19] Sucuoğlu, H., Orta Yükseklikte Betonarme Binalar için Basitleştirilmiş Değerlendirme Yöntemleri, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Çağrılı Konuşma, İstanbul.: (2003)
- [20] İrtem, E., Türker, K., Hasgöl, U., Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Binaların Performansının Değerlendirilmesi, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, 6-8 Ekim 2004, İstanbul
- [21] Karaziyan, S., Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı, İzmir, (2006)
- [22] Bayülke, N., Kuran, F., Doğan, A., Kocaman, C., Memiş H., Soyal, L., Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan İtme Analizleri ve Deprem Hasarı İle Karşılaştırılması Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiri No: AT-108, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- [23] Tankut, T., Karabay, M., “‘Dolguyu Bırak Çerçeveye Bak’ Anlayışı Artık Değişmeli”, Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Cilt:2, Sayfa:575-592, Ankara, (1989)
- [24] Düzgün, M., Orbay, A., Ertutar, Y., “Dolgu Duvarların Taşıyıcı Çerçeve Sistemin Davranışına Etkisi”, Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Cilt:2, Sayfa:593-607, Ankara, (1989)
- [25] Saylan, Ş., Yapı Dinamiği, Balıkesir, (1996),
- [26] Berktaş, İ., Betonarme-I Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları, İstanbul, (1995)

- [27] Alemdar, Z.F., "Yapılarda Deprem Analizi Yapmak için Kullanılan Değişik Hesap Metodları", Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, (2004)
- [28] Gülkan, P., Sözen, M.A., "Tünel Kalıp Perde Duvarlarının Deprem Davranışlarının Deneysel Olarak Araştırılması",
- [29] Budak, A., Dolgu Duvarların Yönetmeliklerimizdeki Yeri, Türkiye İnşaat Mühendisliği XY. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, İnşaat Mühendisleri Odası, 24-25-26 Kasım 1999, Ankara
- [30] Sucuoğlu, H., Günay, M.S., Orta Yükseklikte Betonarme Binalar İçin Basitleştirilmiş Deprem Dayanımı Değerlendirme Yöntemleri, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul
- [31] Günay, M.S., Sucuoğlu, H., Simplified Procedures for Seismic Assessment of Medium Rise Reinforced Concrete Building Structures, FIB Symposium, Concrete Structures in Seismic Regions, Athens.: (2003).
- [32] Hasgöl, U., Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Boyutlandırılan Betonarme Binaların Performanslarının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2004)
- [33] Çağlayan, E., Betonarme Çerçevelerin Yatay Yüklere Göre Analizinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, (2006)
- [34] Karşlıoğlu, Ö., Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, (2005)
- [35] Dündar, E., Çok Katlı Betonarme Yapılarda Bölme Duvarlarının Deprem Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2006)
- [36] Tarakçı, U., Mevcut Yapıların İncelenmesi ve Dolgu Duvar Takviyesi İle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa:87, (2006)
- [37] Kızıloğlu, M.Y., Deprem Etkisi Altında Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Yapılar Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2006)
- [38] Özdoğu, O.Z., Deprem Etkisi Altındaki Binaların Davranışına Dolgu Duvarların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2006)

[39] Korkmaz, A., Uçar, T., “*Betonarme Binaların Deprem Davranışında Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi* ”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt:8 Sayı:1, Sayfa:101-108, Ocak 2006.

[40] Mostafaei, H., Kabayesawa, T., Effect of Infill Masonry Walls on the Seismic Response of Reinforced Concrete Buildings Subjected to the 2003 Bam Earthquake Strong Motion: A Case Study of Bam Telephone Center, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo Vol. 79 (2004) pp. 133-156

[41] Aydınoglu, N., Özer, E., Sucuoğlu, H., Yeni Deprem Yönetmeliği ve Uygulamalı Çözümler, İzmir, (2007)

[42] Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K., Örneklerle SAP 2000 –V10, İstanbul, (2007)

[43] Ersoy, U., Özcebe, G., Betonarme, Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk deprem Yönetmeliği'ne (1998) Göre Hesap, İstanbul, (2004)