

134 256

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE PERFORMANS YAKLAŞIMI

İnşaat Müh. Baykal HANCIOĞLU

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. İbrahim EKİZ (YTÜ)

Prof. Zekeriya POLAT

Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	i
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Geleneksel Çözümleme Yöntemi	3
1.2 Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemleri ve Performansa Dayalı Tasarım	4
1.2.1 Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme Yöntemi (Statik İtme Çözümlemesi)	5
1.2.1.1 Yapı Kapasitesinin Statik İtme Çözümlemesi ile Belirlenmesi	5
1.2.1.2 Performans Noktasının Bulunması	10
1.2.1.2.1 Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA-356)	10
1.2.1.2.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40)	14
1.2.1.2.2.1 Yöntem A	15
1.2.2 Performans Değerlendirmesi	19
1.2.2.1 Performans Seviyeleri	21
1.2.2.2 Kabul Kriterleri (Performans Kontrolü)	23
1.2.2.2.1 Global Sınırlar	23
1.2.2.2.2 Yerel Sınırlar (Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Şekil Değiştirme Sınırları)	24
1.2.3 Statik İtme Çözümlemesi ve Performans Değerlendirmesi için Uygulama	30
2. MEVCUT BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	47
2.1 Yapının Güçlendirme Öncesi Taşıyıcı Sistemi	47
2.2 Kullanılan Malzeme Modelleri	47
2.3 Diğer Tasarım Parametreleri	48
2.4 Kapasite Eğrileri ve En Büyük Yer Değiştirmelerin Hesabı	48
2.5 Performans Değerlendirmesi	52
2.5.1 Pozitif Yönde (+X,+Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri	53
2.5.2 Negatif Yönde (-X,-Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri	59
3. GELENEKSEL YÖNTEMLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	65
3.1 Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistemi	65

3.2	Kullanılan Malzeme Modelleri.....	65
3.3	Diğer Tasarım Parametreleri	66
3.4	Kapasite Eğrileri ve En Büyük Yer Değiştirmelerin Hesabı.....	67
3.5	Performans Değerlendirmesi.....	70
3.5.1	Pozitif Yönde (+X,+Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri.....	72
3.5.2	Negatif Yönde (-X,-Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri.....	78
4.	ALASAWA YÖNTEMİYLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	84
4.1	Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistemi	84
4.2	Kullanılan Malzeme Modelleri.....	85
4.3	Diğer Tasarım Parametreleri	86
4.4	Kapasite Eğrileri ve En Büyük Yer Değiştirmelerin Hesabı.....	87
4.5	Performans Değerlendirmesi.....	91
4.5.1	Pozitif Yönde (+X,+Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri.....	92
4.5.2	Negatif Yönde (-X,-Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri.....	99
5.	SONUÇLAR.....	106
	KAYNAKLAR.....	112
	EKLER.....	113
Ek 1	Bilgisayar programları.....	114
	ÖZGEÇMİŞ.....	125

SİMGE LİSTESİ

A_i	Trenin bulunduğu ya da varacağı buluşma noktası
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
α_j^i	Statik itme çözümlemesinin birinci adımında, “j” kesitini akma sınırına ulaştıracak çarpan
$\alpha_{1,min}$	Statik itme çözümlemesinin birinci adımında hesaplanan en küçük α değeri
b_w	kesit genişliği
β_{eff}	Etkili sönüm yüzdesi
β_0	Histeritik sönüm
C_{vx}	Düşey dağılım çarpanı
χ_y	Akma eğriliği
d	kesit etkili yüksekliği
E_D	Sönüm ile yutulan enerji
EL_{eff}	Etkili eğilme rijitliği
E_{So}	En büyük şekil değiştirme enerjisi
f_c'	Beton basınç dayanımı
g	Yer çekim ivmesi
Γ_l	Birinci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanı
h_x	x numaralı katın tabana göre yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
K_e	Etkili yatay rijitlik
K_i	Yapının başlangıç (elastik) rijitliği
κ	Kapasite diyagramının şekline bağlı olarak bulunan sönüm düzeltme katsayısıdır
l_w	Perde boyu
$M_{b,l}^j$	Statik itme çözümlemesinin birinci adımında, birim yatay yüklemeye dolayı “j” kesitinde oluşan eğilme momenti
M_{eff}	Etkin serbest titreşim moduna ait etkili modal kütle
M_{G+Q}^j	Düşey G+Q yüklemesinden dolayı “j” kesitinde oluşan eğilme momenti
M_u	Göçme eğilme momenti
m_x	x numaralı kat kütlesi
M_y	Akma eğilme momenti
M_y^j	“j” kesitinin akma momenti
P	Tasarım eksenel kuvveti
Φ_l	Birinci serbest titreşim modu şekli
Φ_1^{tepe}	Birinci mod vektörünün tepe noktası değeri
R	Dayanım azaltma katsayısı
ρ	Çekme donatısı oranı
ρ'	Basınç donatısı oranı
ρ_b	Dengeli donatı oranı
$S_a(T_1)$	T_1 'e karşı gelen spektral ivme
S_a	Spektral ivme
	Etkili periyota karşı gelen spektral ivme
S_d	Spektral yer değiştirme
SR_A	Spektral azaltma çarpanı
SR_V	Spektral azaltma çarpanı
T_B	Davranış spektrumunda; sabit ivme kısmından, sabit hız kısmına geçiş noktasındaki karakteristik periyot

T_e	Etkili periyot
T_i	Doğrusal dinamik çözümlemeden elde edilen serbest titreşim periyodu
T_I	Birinci serbest titreşim periyodu
t_w	Perde kalınlığı
θ_n^J	Statik itme çözümlemesinde, n. adım sonunda “j” kesitinde oluşan dönme açısı
$u_{b,l}^{tepe}$	Statik itme çözümlemesinin birinci adımında, birim yatay yüklemekten dolayı tepe noktasında oluşan yatay yer değiştirme
u_n^{tepe}	Statik itme çözümlemesinde, n. adım sonunda oluşan tepe noktası yer değiştirme
u_t	Hedef yer değiştirme (performans noktasındaki yer değiştirme)
u_y	İkili doğrusal kapasite eğrisinde akma yer değiştirme
V	Tasarım kesme kuvveti
V_n^{tepe}	Statik itme çözümlemesinde, n. adım sonunda oluşan taban kesme kuvveti
V_t	Performans noktasındaki taban kesme kuvveti
V_y	İkili doğrusal kapasite eğrisinde akma kesme kuvveti

KISALTMA LİSTESİ

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
ATC	Applied Technology Council (Uygulamalı Teknoloji Merkezi)
AYG	Alasawa yöntemiyle güçlendirilmiş
CG	Can güvenliği performans seviyesi
FEMA	Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Merkezi)
GÖ	Göçmenin önlenmesi performans seviyesi
GYG	Geleneksel yöntemlerle güçlendirilmiş
HK	Hemen kullanım performans seviyesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	İkili doğrusal moment-eğrilik diyagramı	6
Şekil 1.2	Yatay yük dağılımları	7
Şekil 1.3	Birinci mod için sözde atalet kuvvetleri dağılımı	7
Şekil 1.4	Kapasite eğrisinin ilk adımı	9
Şekil 1.5	Kapasite eğrisinin ikinci adımı	9
Şekil 1.6	Kapasite eğrisi	10
Şekil 1.7	İkili doğrusal kapasite eğrisi	11
Şekil 1.8	İkili doğrusal kapasite diyagramı	17
Şekil 1.9	Kapasite diyagramı ve indirgenmiş talep spektrumu	18
Şekil 1.10	Kapasite diyagramı ve indirgenmiş talep spektrumu	19
Şekil 1.11	Tasarım depremi sırasında yapı performansı	20
Şekil 1.12	Performans seviyeleri ve aralıkları	22
Şekil 1.14	İç kuvvet-şekil değiştirme eğrisi	24
Şekil 1.15	Plastik mafsallı dönmesi (<i>ATC-40</i>)	25
Şekil 1.16	Perde ötelemesi ve plastik mafsallı dönmesi (<i>FEMA-356</i>)	25
Şekil 1.17	Perde bağ girişinde düğüm noktası dönmesi (<i>FEMA-356</i>)	29
Şekil 1.18	Örnek çerçeve modeli	30
Şekil 1.19	Statik itme çözümlemesi için model	31
Şekil 1.20	Kolon kesitleri için ikili doğrusal moment-eğrilik diyagramı	31
Şekil 1.21	Kiriş mesnet kesitleri için elastoplastik moment-eğrilik diyagramı	32
Şekil 1.22	Çerçeveye etkileyen yükler	32
Şekil 1.23	Kapasite eğrisi	42
Şekil 1.24	İterasyonun 1'inci adımı	43
Şekil 1.25	İterasyonun 2'nci adımı	44
Şekil 1.26	Performans noktası (hedef yer değiştirme)	45
Şekil 2.1	Yapının güçlendirme öncesi taşıyıcı sistem planı	47
Şekil 2.2	Kullanılan malzeme modelleri	48
Şekil 2.3	Elastik tasarım ivme spektrumu (<i>ABYYHY, 1998</i>)	49
Şekil 2.4	X-X doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme öncesi)	50
Şekil 2.5	Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme öncesi)	50
Şekil 2.6	Göz önüne alınan performans seviyeleri	52
Şekil 2.7	A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	53
Şekil 2.8	B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	53
Şekil 2.9	C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	53
Şekil 2.10	D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	54
Şekil 2.11	1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	54
Şekil 2.12	2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	54
Şekil 2.13	3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	55
Şekil 2.14	4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	55
Şekil 2.15	5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	55
Şekil 2.16	6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	56
Şekil 2.17	7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	56
Şekil 2.18	8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	56
Şekil 2.19	9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	57
Şekil 2.20	10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	57
Şekil 2.21	11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	57
Şekil 2.22	12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	58
Şekil 2.23	A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	59
Şekil 2.24	B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	59

Şekil 2.25	C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	59
Şekil 2.26	D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	60
Şekil 2.27	1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	60
Şekil 2.28	2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	60
Şekil 2.29	3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	61
Şekil 2.30	4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	61
Şekil 2.31	5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	61
Şekil 2.32	6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	62
Şekil 2.33	7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	62
Şekil 2.34	8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	62
Şekil 2.35	9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	63
Şekil 2.36	10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	63
Şekil 2.37	11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	63
Şekil 2.38	12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	64
Şekil 3.1	Yapının güçlendirme sonrası taşıyıcı sistem planı	65
Şekil 3.2	Kullanılan malzeme modelleri	66
Şekil 3.3	X-X doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)	68
Şekil 3.4	Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)	68
Şekil 3.5	X-X doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri	69
Şekil 3.6	Y-Y doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri	70
Şekil 3.7	Göz önüne alınan performans seviyeleri	71
Şekil 3.8	A ¹ -A ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	72
Şekil 3.9	A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	72
Şekil 3.10	B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	72
Şekil 3.11	C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	73
Şekil 3.12	D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	73
Şekil 3.13	D ¹ -D ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	73
Şekil 3.14	1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	74
Şekil 3.15	2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	74
Şekil 3.16	3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	74
Şekil 3.17	4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	75
Şekil 3.18	5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	75
Şekil 3.19	6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	75
Şekil 3.20	7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	76
Şekil 3.21	8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	76
Şekil 3.22	9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	76
Şekil 3.23	10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	77
Şekil 3.24	11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	77
Şekil 3.25	12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	77
Şekil 3.26	A ¹ -A ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	78
Şekil 3.27	A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	78
Şekil 3.28	B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	78
Şekil 3.29	C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	79
Şekil 3.30	D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	79
Şekil 3.31	D ¹ -D ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	79
Şekil 3.32	1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	80
Şekil 3.33	2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	80
Şekil 3.34	3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	80
Şekil 3.35	4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	81
Şekil 3.36	5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	81
Şekil 3.37	6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	81

Şekil 3.38	7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	82
Şekil 3.39	8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	82
Şekil 3.40	9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	82
Şekil 3.41	10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	83
Şekil 3.42	11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	83
Şekil 3.43	12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	83
Şekil 4.1	Yapının güçlendirme sonrası taşıyıcı sistem planı.....	84
Şekil 4.2	Ard-germeli çerçevede giriş kesitleri	85
Şekil 4.3	Ard-germeli çerçevede tipik kolon kesidi	85
Şekil 4.4	Kullanılan malzeme modelleri	86
Şekil 4.5	X-X doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)	88
Şekil 4.6	Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)	88
Şekil 4.7	X-X doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri	90
Şekil 4.8	Y-Y doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri	90
Şekil 4.9	Göz önüne alınan performans seviyeleri.....	91
Şekil 4.10	A ¹ -A ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	92
Şekil 4.11	A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	92
Şekil 4.12	B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	92
Şekil 4.13	C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	93
Şekil 4.14	D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	93
Şekil 4.15	D ¹ -D ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	93
Şekil 4.16	1 ¹ -1 ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	94
Şekil 4.17	1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	94
Şekil 4.18	2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	94
Şekil 4.19	3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	95
Şekil 4.20	4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	95
Şekil 4.21	5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	95
Şekil 4.22	6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	96
Şekil 4.23	7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	96
Şekil 4.24	8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	96
Şekil 4.25	9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	97
Şekil 4.26	10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	97
Şekil 4.27	11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	97
Şekil 4.28	12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	98
Şekil 4.29	12 ¹ -12 ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	98
Şekil 4.30	A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	99
Şekil 4.31	A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	99
Şekil 4.32	B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	99
Şekil 4.33	C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri	100
Şekil 4.34	D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	100
Şekil 4.35	D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	100
Şekil 4.36	1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	101
Şekil 4.37	1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	101
Şekil 4.38	2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	101
Şekil 4.39	3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	102
Şekil 4.40	4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	102
Şekil 4.41	5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	102
Şekil 4.42	6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	103
Şekil 4.43	7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	103
Şekil 4.44	8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	103
Şekil 4.45	9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	104

Şekil 4.46	10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	104
Şekil 4.47	11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	104
Şekil 4.48	12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	105
Şekil 4.49	12 ¹ -12 ¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri.....	105
Şekil 5.1	X-X doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri	107
Şekil 5.2	Y-Y doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri	107
Şekil Ek 1.1	Kirişler için moment-eğrilik diyagramı	114
Şekil Ek 1.2	Kolonlar için akma yüzeyi	115
Şekil Ek 1.3	Kesit geometrik özellikleri	116
Şekil Ek 1.4	Kullanılan malzeme modelleri.....	116
Şekil Ek 1.5	Dengeli durum için beton şekil değiştirme dağılımı ve iç kuvvetler.....	117
Şekil Ek 1.6	Basit eğilme durumu için beton şekil değiştirme dağılımı ve iç kuvvetler	118
Şekil Ek 1.7	Dört noktalı yaklaşık akma yüzeyi	120
Şekil Ek 1.8	Kesit geometrik özellikleri	121
Şekil Ek 1.9	Kullanılan malzeme modelleri.....	121
Şekil Ek 1.10	Beton şekil değiştirme dağılımı ve iç kuvvetler	122
Şekil Ek 1.11	Moment-eğrilik diyagramı	124

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	C_0 katsayısı için yaklaşık değerler (<i>FEMA-356</i>).....	12
Çizelge 1.2	C_2 katsayısı için değerler (<i>FEMA-356</i>)	13
Çizelge 1.3	Sönüm düzeltme katsayısı (κ) değerleri (<i>ATC-40</i>).....	16
Çizelge 1.4	Yapısal davranış tipleri (<i>ATC-40</i>)	16
Çizelge 1.5	SR_A ve SR_V ’ nin alabileceği minimum değerler (<i>ATC-40</i>).....	18
Çizelge 1.6	Performans seviyeleri ve aralıkları.....	23
Çizelge 1.7	Global yer değiştirme sınırları (<i>ATC-40</i>)	23
Çizelge 1.8	Betonarme kirişler için şekil değiştirme kabul kriterleri (<i>FEMA-356</i>).....	26
Çizelge 1.9	Betonarme kolonlar için şekil değiştirme kabul kriterleri (<i>FEMA-356</i>)	27
Çizelge 1.10	Eğilme etkisindeki betonarme perdeler ve perde bağ kirişleri için şekil değiştirme kabul kriterleri (<i>FEMA-356</i>).....	28
Çizelge 1.11	Kesme etkisindeki betonarme perdeler ve perde bağ kirişleri için şekil değiştirme kabul kriterleri (<i>FEMA-356</i>).....	29
Çizelge 1.12	Performans değerlendirmesi.....	46
Çizelge 2.1	X-X doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme öncesi)	51
Çizelge 2.2	Y-Y doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme öncesi)	51
Çizelge 2.3	X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi)	51
Çizelge 2.4	Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi)	51
Çizelge 3.1	X-X doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)	67
Çizelge 3.2	Y-Y doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)	67
Çizelge 3.3	X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)	69
Çizelge 3.4	Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)	70
Çizelge 4.1	X-X doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)	87
Çizelge 4.2	Y-Y doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)	89
Çizelge 4.3	X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)	89
Çizelge 4.4	Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)	89
Çizelge 5.1	X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar	106
Çizelge 5.2	Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar	106
Çizelge 5.3	Taşıyıcı sistem elemanlarında karşılaştırmalı performans değerlendirmesi	110
Çizelge 5.4	Taşıyıcı sistem elemanlarında karşılaştırmalı performans değerlendirmesi	111

ÖNSÖZ

Son yıllarda artmakta olan şiddetli deprem riski, mevcut yapı stoğunun deprem güvenirliliği açısından incelenmesini gerekli kılmaktadır. Mevcut yapıların deprem sırasında gösterecekleri performansın belirlenmesi, kapasitelerinin ve buna bağlı olarak deprem isteminin gerçeğe mümkün olduğunca yakın belirlenmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, son yıllarda, yapıların doğrusal olmayan davranışını da dikkate almak üzere performansa dayalı tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, deprem sırasında gösterecekleri performans açısından özel bir öneme sahip olan ilköğretim okullarından, projesi yaygın biçimde uygulanmış birinin performans değerlendirmesi yapılmış ve bazı güçlendirme seçeneklerinin yapısal performansa olan katkısı irdelenmiştir.

Bu çalışma boyunca; yardımları, gösterdikleri ilgi ve sabırları için değerli hocalarım; Prof. İbrahim Ekiz, Prof. Zekeriya Polat ve Araş. Gör. Murat S. Kırçıl'a, yakın arkadaşım Didem Durakçı'ya, Yapı Anabilim Dalı'ndaki çalışma ortamını verimli kılan değerli hocalarım ve arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan, maddi manevi desteklerini eksik etmeyen babam, annem, ablam ve ağabeyime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Babamın anısına...

Baykal Hancioğlu
İstanbul, Haziran 2004

ÖZET

Deprem yönetmelikleri; genellikle yeni yapılacak yapıların depremde kabul edilebilir davranış göstermeleri için uyulması gereken kuralları içerir. Ancak iyi projelendirilmemiş veya uygulamasında özen gösterilmemiş mevcut binalarda öngörülenden fazla hasar oluşma olasılığı, deprem şiddetine bağlı olarak artabilir. Bunun yanında, projelendirilmesine ve uygulamasına gerekli özen gösterilmiş binalarda da şiddetli depremler altında kabul edilebilir seviyeden fazla hasar meydana gelebilir. Bu nedenle, mevcut binaların deprem hareketi altındaki davranışlarının ve oluşacak hasarların tahmin edilebilmesi ve gerekirse, güçlendirmenin yapılması deprem mühendisliği ile inşaat mühendisliğinin önemli konularından biridir.

Bu çalışmanın amacı; deprem sırasında gösterecekleri performans açısından özel bir öneme sahip olan ilköğretim okullarından, projesi yaygın biçimde uygulanmış birinin doğrusal olmayan çözümleme yöntemleriyle performans değerlendirmesini yapmak ve bazı güçlendirme seçeneklerinin yapısal performansa olan katkısını irdelemektir.

Çalışmanın birinci bölümünde; yapı mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olan geleneksel güçlendirme ve çözümleme yöntemleri ve nispeten yeni bir yaklaşım olan performansa dayalı tasarım açıklanmıştır. İkinci, üçüncü ve dördüncü bölümlerde; sırasıyla, güçlendirme öncesi, geleneksel yöntemlerle güçlendirilmiş ve alasawa yöntemiyle güçlendirilmiş sistemlerin statik itme (pushover) çözümlemesi ve performans değerlendirmesi sonuçları verilmiştir. Son olarak beşinci bölümde; çözümlemelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alasawa yöntemi, betonarme yapılar, güçlendirme, statik itme çözümlemesi, performansa dayalı tasarım.

ABSTRACT

Seismic design codes usually give the minimum requirements for earthquake resistant design of new structures. However, structures to which have not paid attention at design and construction stages may experience more severe damage than predicted. Furthermore, increase in earthquake intensity can lead the damage beyond the acceptable level even for the code compatible designed building. Because of the reasons above, seismic evaluation and strengthening of existing buildings is one of the major research area of civil engineering.

In the scope of this study, structural performance of widely constructed primary school under the earthquake effect has been evaluated by using nonlinear analysis method. Also, two different retrofitting strategies were compared from the point of structural performance view.

In the first chapter of this study, conventional retrofitting and analysis methods widely used in structural engineering practice and performance based design as a relatively newer approach are explained. Second and third chapters present the results of the pushover analyses and performance evaluation of original and conventionally retrofitted structures respectively. In the fourth chapter; same procedure has been carried out for the structure retrofitted by using alasawa method. Finally, in the fifth chapter, results and progress in the structural performance are comparatively investigated.

Keywords: Alasawa method, pushover analysis, performance based design, RC buildings, retrofitting.

1. GİRİŞ

Deprem yönetmelikleri; genellikle yeni yapılacak yapıların depremde kabul edilebilir davranış göstermeleri için uyulması gereken kuralları içerir. Ancak iyi projelendirilmemiş veya uygulamasında özen gösterilmemiş mevcut binalarda öngörülenden fazla hasar oluşma olasılığı, deprem şiddetine bağlı olarak artabilir. Bunun yanında, projelendirilmesine ve uygulamasına gerekli özen gösterilmiş binalarda da şiddetli depremler altında kabul edilebilir seviyeden fazla hasar meydana gelebilir. Bu nedenle, mevcut binaların deprem hareketi altındaki davranışlarının ve oluşacak hasarların tahmin edilebilmesi ve gerekirse, güçlendirmenin yapılması deprem mühendisliği ile inşaat mühendisliğinin önemli konularından biridir.

Bu çalışmanın amacı; 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sonrasında geleneksel yöntemlerle güçlendirilmiş Necdet Semker İlköğretim okulu binasının güçlendirme öncesi ve sonrasındaki performansının, doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak, değerlendirilmesi; ayrıca aynı yapı için başka bir güçlendirme seçeneğinin irdelenmesidir.

Gerek yeni bir binanın, gerekse mevcut bir binanın güçlendirilme tasarımlarında, esas olarak, yapının;

- Yeterli dayanım,
- Yeterli rijitlik, ve
- Yeterli süneklik

sağlaması istenir. Mevcut bir binada bu hedeflere ulaşmak için; mevcut taşıyıcı sisteme yeni elemanlar eklenilmesi ve/veya mevcut elemanların takviye edilmesi gerekebilir.

Mevcut bir betonarme binanın taşıyıcı sistemine perde ve/veya çerçeve eklemek, mevcut kolonları mantolamak sıkça başvurulanan güçlendirme seçenekleridir. Betonarme perdelerle güçlendirme ile; mevcut sistemin dayanım kapasitesi artırılırken, taşıyıcı sistemdeki yanal yer değiştirmeler de sınırlandırılmış olur. Güçlendirme için öngörülen yeni perdeler tüm taşıyıcı sistemin rijitliğini arttıracak için, genellikle binaya gelen toplam deprem kuvveti de artar ve etkiler sistemde değişik bir dağılımla ortaya çıkar. Güçlendirme perdelerinin bina içinde düzgün dağıtılmasıyla, etkilerin belirli bölgede yığılması ve istenmeyen burulma etkilerinin meydana gelmesi önlenir.

Taşıyıcı sistem; betonarme perdeler yerine çelik çaprazlar kullanılarak da güçlendirilebilir. Bu durumda en basit uygulama, kiriş – kolon düzlemine yerleştirilecek çaprazlar yanında kolon

ve kirişle bitişik konulacak çelik elemanlarla yapılabilir. Çelik elemanların rijitliklerinin betonarmeye göre düşük olması nedeniyle, yatay deprem yüklerinin önemli bir bölümünün karşılanması ve yatay yer değiştirme sınırının sağlanması, ancak çok büyük çelik kesitlerinin kullanılması ile mümkündür. Bunun yanında mevcut betonarme sistemle çelik sistemin bütünleşmesini sağlamak ve betonarme sistemde oluşan deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını çelik taşıyıcılara iletmek ayrıntılı çalışma gerektiren bir husustur.

Taşıyıcı sistem bir bütün olarak güçlendirilirken, bazı elemanlarda kapasite eksikliği görülebilir ve bunların ayrıca güçlendirilmesi yoluna gidilir. Dayanımı yeterli olmayan kirişlerin güçlendirilmesinde, kuvvetli kolon – zayıf kiriş prensibine uygun bir birleşim bölgesi meydana getirilmesine özen gösterilmelidir. Yeterli açıklık donatısına sahip olmayan kirişlerde alttan çelik şeritler veya lif takviyeli karbon levha yapıştırılarak ilgili çatlaklar onarılıp güçlendirilebilir. Lif takviyeli karbon levha uygulaması yan yüzlere de yapılarak, kayma donatısı eksikliği giderilebilir ve ilgili çatlaklar onarılabilir.

Kapasitesi yetersiz bir kolonun taşıma kapasitesi kesit alanı büyültülerek ve yeni boyuna donatılar ilave edilerek artırılabilir. Buna karşılık kesme kuvveti dayanımı ve sünekliği, enine donatının sıklaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Mantolama ile mevcut kolona, beton kesiti ve donatı eklenir. Mantolama ile kolon rijitliği, dolayısıyla taşıyıcı sistemde iç kuvvet dağılımı değişecektir. Dikkatsiz biçimde seçilecek kolonlarda mantoloma yapılması kat planında rijitlik merkezini kütle merkezinden uzaklaştırabileceği için, deprem etkilerinin artmasına da sebep olabilir. Kolonun mantolanmasıyla değişen rijitlik, o kolonda dolayısıyla temelde daha büyük deprem momentlerinin oluşmasına yol açar. Bu durumda temelin de incelenmesi ve gerekiyorsa güçlendirilmesi söz konusu olabilir. Kolonlar lif takviyeli plastik levhalarla sarılarak da onarılıp, güçlendirilebilir; bu uygulamada kolon rijitliğinde önemli bir değişiklik oluşmadığı için, taşıyıcı sistemde iç kuvvet dağılımında önemli bir değişiklik ortaya çıkmaz (Celep ve Kumbasar, 2000).

Ayrıca, mevcut bir binanın güçlendirilmesinde başkaca alternatif yöntemler de kullanılmaktadır. Bunlardan biri, Alasawa yöntemi adıyla ortaya atılmıştır. Yöntem esas olarak, mevcut taşıyıcı sisteme ard-germeli çerçeveler ekleyerek dayanım ve kapasiteyi arttırmak, bununla beraber mevcut taşıyıcı sisteme etkiyecek deprem kuvvetini önemli ölçüde azaltarak, mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki dayanım, kapasite ve süneklik taleplerini kısıtlamak prensibine dayanmaktadır. Bunun yanında güçlendirme sisteminin etkili çalışmasını sağlamak amacıyla, yeni eklenen çerçeve ile mevcut taşıyıcı sistem arasındaki birleşim bölgesinin, iki sistemin yatay yük altında beraber çalışmasını

sağlayacak şekilde detaylandırılması gerekmektedir.

Mevcut bir binanın deprem yönetmeliklerinde tanımlanan kriterleri ne ölçüde sağladığının belirlenmesi, dolayısıyla binanın güçlendirmeye ihtiyacı olup olmadığının saptanması ve güçlendirme gerekli ise kritik kesitlerin belirlenip en etkili çözümün uygulanması; öncelikle binanın deprem güvenliğinin belirlenmesine bağlıdır.

Mevcut bir binanın deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılan çözümleme yöntemleri ana hatlarıyla iki gruba ayrılabilir:

- Doğrusal çözümleme yöntemleri (Geleneksel çözümleme yöntemlerinden yararlanır)
- Doğrusal olmayan çözümleme yöntemleri

1.1 Geleneksel Çözümleme Yöntemi

Mevcut binanın Deprem Yönetmeliği esas alınarak incelenmesinde genel olarak iki sorunla karşılaşılır.

Bunlardan birisi; yönetmelikle tanımlanan deprem yükleri altında kesitlerin ve donatılarının yeterliliğinin kontrol edilmesidir. Taşıyıcı sisteme duyulan güven oranında, deprem yükleri Deprem Yönetmeliği'nde öngörülenden, en fazla %25 oranında azaltılarak hesaba katılabilir (*Celep ve Kumbasar, 2000*). Bu azaltmaya gerekçe olarak, yeni binaya göre kıyaslandığında mevcut binanın ömründe yönetmelikte öngörülen deprem etkisinin ortaya çıkma ihtimalinin daha düşük olduğu gösterilebilir. Kamu binalarının kullanım ömürlerinin daha uzun olduğu kabul edildiğinden, bu binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde, Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen yüklerin azaltılmadan hesaba katılması uygun olur.

Deprem yüklerinin mevcut sistem ile taşınıp taşınmadığı incelenirken; belirsizlikler varsa, mevcut sistemin kapasitesi 0.85 katsayısı ile azaltılabilir (*Celep ve Kumbasar, 2000*). Ayrıca, yapılacak kontrollerde kirişlerde mesnet ve açıklık kesitlerinin aralarında yardımlaşmaları ile aynı katta bulunan kolonların yardımlaşmaları (kapasite tasarım kuralları kullanılarak ve denge koşulu korunarak momentlerin kesitler ve elemanlar arasında aktarılması) hususları da, taşıyıcı sistemdeki süneklik göz önüne alınarak, hesaba katılabilir.

Bina taşıyıcı sisteminin sağlaması gereken diğer bir grup yönetmelik koşulları ise; sünekliğin sağlanması ile ilgili hususlar ve kapasite tasarım ilkeleridir. Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanları bu koşulları genellikle sağlamaz. Bunlardaki eksiklikler bir ölçüde taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dolayısıyla deprem yükü azaltma katsayısı seçimi ile göz önüne alınabilir.

Taşıyıcı sistem durumuna göre süneklikle ilgili konular (taşıyıcı sistemde düzenlilik durumu, etriye sıklaştırması, beton kalitesi, donatı düzeni gibi hususlar) ve kapasite tasarımı ile ilgili konular (kuvvetli kolon tasarımı, kiriş-kolon birleşim bölgesi, tasarım kesme kuvvetinin kiriş pekleşmeli momentlerinden hareketle hesaplanması gibi hususlar) taşıyıcı sistem davranış katsayısı çerçeve türü yapılar için $R=4$ (normal süneklikte yapı) ve $R=8$ (yüksek süneklikte yapı) arasında bir değer seçilerek göz önüne alınabilir. Bununla beraber tüm süneklik koşullarının sağlanması, mevcut bir yapıda ender gerçekleşecek bir durum olup, ancak bu durumda $R=8$ alınabileceği unutulmamalıdır. Perdeli yapılar için de aynı durum söz konusudur.

Yukarıdaki açıklamalar çerçevesinde, mevcut bir binanın taşıyıcı sisteminin durumunun tespiti için TS500 ve 1998 Deprem Yönetmeliği esas alınarak düşey yük ve deprem etkisi altında $(1.4G+1.6Q)$, $(G+Q+E)$ ve $(0.9G+E)$ çözümlemesi yapılır. Kesit kontrolünde, eğer binanın projesi yoksa, sınırlı sayıda yapılan donatı tespitleri göz önüne alınabileceği gibi, minimum donatı şartları da kullanılabilir.

Yapılan bu inceleme ile taşıyıcı sistemin deprem yükü altındaki davranışı belirlenir ve güvenlik seviyesi göz önüne alınarak güçlendirme gerekip gerekmediğine karar verilir (*Celep ve Kumbasar, 2000*).

1.2 Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemleri ve Performansa Dayalı Tasarım

Geleneksel olarak adlandırabileceğimiz yöntemde, deprem güvenliği belirlemek için binanın taşıyıcı sistemi yürürlükteki yönetmelikler doğrultusunda doğrusal çözümlemeye tabi tutulmakta, yapının doğrusal olmayan davranışı ise taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve ona bağlı olan deprem yükü azaltma katsayısı yardımıyla göz önüne alınmaktadır. Taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışının tek bir katsayı ile göz önüne alınması, buna bağlı olarak depremde yapıya etkiyecek deprem kuvvetinin, oluşacak olan yer değiştirmelerin ve elemanlardaki şekil değiştirme düzeylerinin belirlenmesi bakımından yetersiz görülebilir. Bu durum, gerçekçi göçme mekanizmasının belirlenmesinde ve yeterli güvenliğin elde edilmesinde belirsizlikleri beraberinde getirir.

Bu aşamada, yapının kapasitesinin ve depremde ortaya çıkacak dayanım ve şekil değiştirme isteminin, taşıyıcı sistem elemanlarının elastik ötesi davranışlarını da dikkate alarak daha gerçekçi çözümlemelerle belirlenmesi önem kazanmaktadır.

Doğrusal olmayan yöntemler esas olarak; global yer değiştirme, kat yer değiştirmesi, doğrusal

olmayan eleman şekil değiştirmeleri, elemanlar arası şekil değiştirmeler gibi önemli performans parametrelerini hesaplamaya dayanmaktadır. Bununla beraber doğrusal olmayan yöntemler, doğrusal statik veya dinamik çözümlemeden elde edilemeyen, aşağıda bazıları sıralanan yapısal davranış özellikleri hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır.

- Gevrek elemanlarda gerçek kuvvet istemleri (kolonlardaki eksenel kuvvet istemleri), çapraz bağlantılardaki kuvvet istemleri, kiriş-kolon birleşimlerinde moment istemleri.
- Yer hareketinden yapıya geçen enerjinin yutulması için doğrusal olmayan davranış gösteren elemanlarda şekil değiştirme istemlerinin hesabı.
- Elemanlardaki dayanım azalmasının yapısal davranışa etkisinin sonuçları.
- Şekil değiştirme istemlerinin yüksek olması beklenen kritik kesimlerin saptanması.
- Doğrusal ötesi bölümde dinamik özellikleri değiştirebilecek plan ve kesitteki dayanım süreksizliklerinin saptanması.
- Dayanım ve rijitlik süreksizlikleri durumunda hasar kontrolü.

1.2.1 Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme Yöntemi (Statik İtme Çözümlemesi)

Statik itme çözümlemesi doğrusal olmayan bir yöntem olmakla beraber teorik temeli sadedir. Bir yapının davranışının eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin davranışıyla ilişkili olabileceği varsayımına dayanır. Buna göre yapının davranışı tek mod ile kontrol edilmekte ve bu mod şekli zaman tanım aralığı boyunca sabit kalmaktadır. Açıkça görüldüğü gibi bu yaklaşımlar tam doğru değildir. Fakat bir çok araştırmacının yapmış olduğu çalışmalar göstermektedir ki bu varsayımlar bize; davranışında tek modun hakim olduğu çok serbestlik dereceli sistemlerin tasarım depremi altında en büyük yer değiştirmelerinin ve taşıyıcı elemanlardaki şekil değiştirmelerin tahmininde iyi sonuçlar vermektedir.

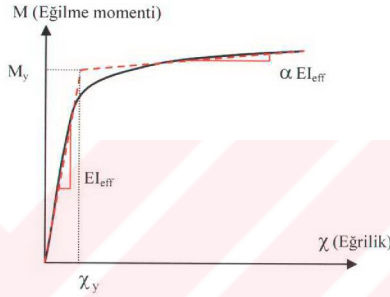
Bununla beraber, bir çok araştırmacı, statik itme çözümlemesinin, davranışında birden fazla modun etkili olduğu çok serbestlik dereceli sistemlerde de uygulanabilmesi için bazı yöntemler geliştirmiştir. Genel olarak “çok modlu statik itme çözümlemesi” olarak adlandırabileceğimiz bu yöntemlerin çoğu henüz gelişme sürecinde sayılır. Bu nedenle bu çalışmada bazı ön-yönetmeliklerde (pre-codes) de yer alan ve tasarımda kullanılması kabul gören tek modlu statik itme çözümlemesi irdelenmiş ve kullanılmıştır.

1.2.1.1 Yapı Kapasitesinin Statik İtme Çözümlemesi ile Belirlenmesi

Burada açıklanan yaklaşım, kesme kapasitesi eğilme kapasitesinden daha düşük olmayan çubuklardan oluşan çerçeve sistemler için geçerlidir. Taşıyıcı sistem elemanlarındaki elastik ötesi davranış göz önüne almak için, plastik mafsall oluşması beklenen kesitlerin moment-

eğrilik ilişkilerinin belirlenmesi gerekir. Basit eğilmeye maruz kalan kiriş kesitlerinde, elastik ötesi davranışı dikkate almak için sadece moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi yeterlidir. Ancak birleşik eğilmeye maruz kalan düşey taşıyıcı eleman kesitlerinde, eksenel kuvvetin etkisini göz önüne almak için, akma yüzeylerinin belirlenmesi ve davranışta dikkate alınması gerekmektedir.

Burada anlatım kolaylığı sağlaması bakımından; kolon kesitlerdeki elastik ötesi davranış sabit normal kuvvete göre belirlenmiş moment-eğrilik ilişkileri (Şekil 1.1) ile göz önüne alınmıştır.



Şekil 1.1 İkili doğrusal moment-eğrilik diyagramı

Statik itme çözümlemesinde kullanılacak yatay yük için FEMA-356'da esas olarak beş farklı dağılım önerilmektedir.

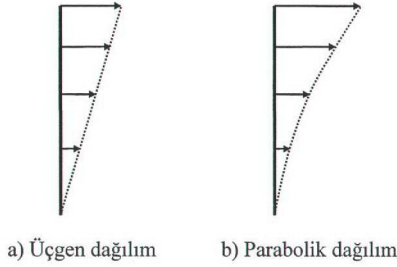
- FEMA-356'da tanımlanan *düşey dağılım çarpanı* (1.1) yardımıyla bulunan yük dağılımları: Burada, serbest titreşim periyodu 0.5 saniyeden küçük olan yapılarda k değeri "1" alınır ki bununla beraber eşit kat kütlesi ve yüksekliği durumunda elde edilecek yük dağılımı üçgen şeklindedir (Şekil 1.2a). Serbest titreşim periyodu 2.5 saniyeden büyük olan yapılarda ise k değeri "2" alınır ki bu durumda parabolik dağılım elde edilir (Şekil 1.2b).

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n m_i h_i^k} \quad (1.1)$$

m_x : x numaralı kat kütlesi,

h_x : x numaralı katın tabana göre yüksekliği,

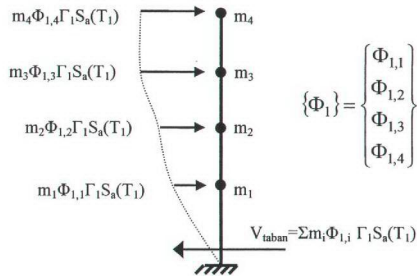
n : kat sayısı.



Şekil 1.2 Yatay yük dağılımları

- Yapının etkin olan serbest titreşim modu şekline uygun bir yük dağılımı.
- Spektral çözümleme sonucu elde edilen modların süperpozisyonuyla bulunacak yük dağılımı (etkin moda ait serbest titreşim periyodu 1 saniyeyi aşan binalarda kullanılabilir).
- Kat kütleleriyle orantılı üniform yük dağılımı.
- Statik itme çözümlemesinin her adımında meydana gelen yer değiştirme profiline uygun yük dağılımı.

Yatay yük dağılımı olarak yapının etkin olan serbest titreşim modu şeklinin kullanılabilmesi için, söz konusu titreşim moduna ait etkin kütle, toplam kütlenin en az %75'i olmalıdır (FEMA-356). Deprem etkisi altında çok serbestlik dereceli bir sisteme, 1'inci mod için etkiyecek kuvvet Şekil 1.3'te gösterilmiştir; görüldüğü üzere, 1'inci mod için etkiyen kuvvetin dağılımını değiştiren parametre “miΦi” çarpanlarıdır.



Şekil 1.3 Birinci mod için sözde atalet kuvvetleri dağılımı

Burada:

m_i : i. kat kütlesi,

Φ_1 : Birinci serbest titreşim modu vektörü,

Γ_1 : Birinci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanı,

T_1 : Birinci serbest titreşim periyodu,

$S_a(T_1)$: T_1 'e karşılık gelen spektral ivmedir.

Sistemin kapasite eğrisini bilinen doğrusal çözümleme yöntemleri yardımıyla elde edebilmek için; sisteme, yukarıda verilen yük dağılımlarından biri esas alınarak, her adımda taban kesme kuvveti 1kN olacak şekilde sabit birim yatay kuvvet uygulanır. Bu yatay kuvvet altında doğrusal çözümleme yapılarak, kolonların ve kirişlerin uç kesimlerinde (plastik mafsall oluşması beklenen kesitlerde) oluşacak eğilme momenti değerleri hesaplanır.

Yöntemde her adım arası davranış doğrusal ve taşıyıcı eleman davranışlarının düşey yükler altında elastik bölgede kaldığı kabul edilirse, yöntemin 1'inci adımında her eleman için;

$$M_y^j = M_{G+Q}^j + \alpha_1^j M_{b,1}^j \quad (1.1)$$

eşitliği yazılabilir. Burada;

M_y^j : “j” kesitinin akma momenti,

M_{G+Q}^j : Düşey G+Q yüklemesinden dolayı “j” kesitinde oluşan eğilme momenti,

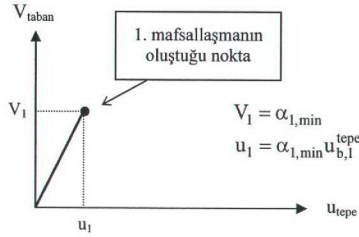
$M_{b,1}^j$: Birinci adımda, birim yatay yüklemeden dolayı “j” kesitinde oluşan eğilme momenti,

α_1^j : Birinci adımda, “j” kesitini akma sınırına ulaştıracak çarpandır:

$$\alpha_1^j = \frac{M_y^j - M_{G+Q}^j}{M_{b,1}^j} \quad (1.2)$$

Buradan her eleman için hesaplanan α değerleri arasında en küçük olan değer ($\alpha_{1,min}$), ilk olarak hangi elemanın akma sınırına ulaşacağını gösterir. “ $\alpha_{1,min}$ ” çarpanının bulunmasıyla, sistemde ilk mafsallın oluştuğu andaki taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi veya her elemanda oluşan şekil değiştirmeler hesaplanabilir. İlk adım sonunda oluşan taban kesme

kuvveti ve tepe noktası yer değiştirmesi, kapasite eğrisi ile birlikte Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



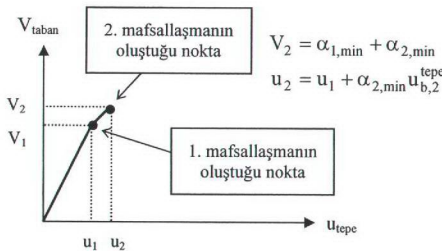
Şekil 1.4 Kapasite eğrisinin ilk adımı

Mafsallaşan kesite, kesitin aktıktan sonraki eğilme rijitliği yani o kesite ait ikili doğrusal moment-eğrilik diyagramının ikinci eğimi, kesitin yeni eğilme rijitliği olarak atanır. ATC-40 belgesinde kesitin aktıktan sonraki eğilme rijitliği için yaklaşık olarak başlangıç eğilme rijitliğinin %5'ine veya %10'una yakın bir değer alınması önerilmiştir. Böylelikle sistemin rijitlik matrisi değişmiş olacaktır. İkinci adımda kurulan yeni rijitlik matrisi ile sisteme yeniden birim yatay yük uygulanır ve doğrusal çözümleme yapılır. Her eleman için;

$$M_y^j = M_{G+Q}^j + \alpha_{1,min} M_{b,1}^j + \alpha_{2,min} M_{b,2}^j \quad (1.3)$$

$$\alpha_{2,min} = \frac{M_y^j - M_{G+Q}^j - \alpha_{1,min} M_{b,1}^j}{M_{b,2}^j} \quad (1.4)$$

eşitlikleri yazılarak, en küçük α değeri ($\alpha_{2,min}$) hesaplanır. İkinci adım sonunda elde edilen kapasite eğrisi Şekil 1.5'te görülebilir.



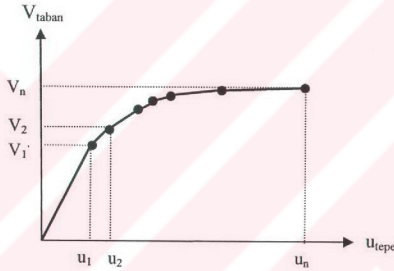
Şekil 1.5 Kapasite eğrisinin ikinci adımı

Her adımda bir α çarpanı bulunarak, statik itme çözümlemesi, esas taşıyıcı sistem elemanlarının önemli bir kısmının akma sınırına ulaşması veya sistemin mekanizma durumuna geçmesine kadar devam ettirilir. Taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi ve elemanlarda oluşan şekil değiştirmelerin en son değerleri, (1.5), (1.6) ve (1.7)'de gösterildiği gibi her adımda elde edilen α çarpanları kullanılarak hesaplanabilir. Statik itme çözümlemesi sonunda elde edilen nihai kapasite eğrisi Şekil 1.6'da görülebilir.

$$V_n^{\text{taban}} = \alpha_{1,\min} \cdot 1 + \alpha_{2,\min} \cdot 1 + \dots + \alpha_{n,\min} \cdot 1 \quad (1.5)$$

$$u_n^{\text{tepe}} = \alpha_{1,\min} u_{b,1}^{\text{tepe}} + \alpha_{2,\min} u_{b,2}^{\text{tepe}} + \dots + \alpha_{n,\min} u_{b,n}^{\text{tepe}} \quad (1.6)$$

$$\theta_n^j = \theta_{G+Q}^j + \alpha_{1,\min} \theta_{b,1}^j + \alpha_{2,\min} \theta_{b,2}^j + \dots + \alpha_{n,\min} \theta_{b,n}^j \quad (1.7)$$



Şekil 1.6 Kapasite eğrisi

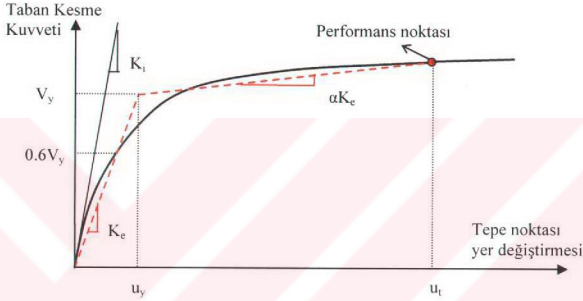
1.2.1.2 Performans Noktasının Bulunması

Yapının, incelemede dikkate alınan deprem altında hangi performans aralığında kaldığını belirlemek için, öncelikle performans noktasının (hedef yer değiştirme) belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için, FEMA-356 ve ATC-40 belgelerinde farklı iki yöntem önerilmiştir; birincisi, FEMA tarafından önerilen “Yer değiştirme Katsayıları Yöntemi”, ikincisi ise ATC tarafından önerilen “Kapasite Spektrumu Yöntemi” dir.

1.2.1.2.1 Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA-356)

Adım adım statik itme çözümlemesi yapılarak, yapının kapasite eğrisi elde edilir. Yapının tasarım depremi altında yapacağı en büyük yer değiştirmeyi, diğer bir deyimle performans noktasını bu yöntemle hesaplayabilmek için sistemin etkili yatay rijitliğinin hesaplanması

gerekmektedir. Bunun için, yapının kapasite eğrisi iki doğruyla idealize edilir. Bu işlem, kapasite eğrisinin altında kalan alan ile ikili doğrusal eğrinin altında kalan alanın eşit olması prensibinden hareketle yapılabilir. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken husus, ikili doğrusal gösterim ile gerçek kapasite eğrisinin performans noktasında kesişmesi gereğidir. Bunu sağlamak için, iteratif bir uygulamaya gidilmesi gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda kapasite eğrisi üzerindeki bir nokta, performans noktası olarak tahmin edilir. Buna bağlı olarak yeni bir performans noktası hesaplanır. Hesaplanan performans noktası, tahmin edilen noktaya kabul edilebilir düzeyde yakınsayana kadar iterasyona devam edilir.



Şekil 1.7 İkili doğrusal kapasite eğrisi

İki doğru ile idealize edilmiş tipik bir kapasite eğrisi Şekil 1.7’de verilmiştir. Bu şekilde K_i başlangıçta yapı yatay rijitliğini, ikili doğrusal şekilde idealize edilen kapasite eğrisinin ilk doğrusunun eğimi K_e ise etkili yatay rijitliği temsil etmektedir ki, bu akma dayanımının %60’ı kadar bir yük esas alınarak hesaplanır.

Etkili periyodun hesabı için (1.8) eşitliği kullanılır:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1.8)$$

(1.8) eşitliğinde:

T_i : Doğrusal dinamik çözümlemeden elde edilen serbest titreşim periyodu,

T_e : Etkili periyot,

K_i : Yapının başlangıç (elastik) yatay rijitliği,

K_e : Etkili yatay rijitliktir.

Kat döşemesi rijit diyafram olarak çalışan binalarda hedef yer değiştirme (1.9) eşitliği ile bulunabilir:

$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1.9)$$

C_0 : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktası yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi kuran katsayıdır. FEMA-356 'da C_0 katsayısı için üç bağlantı önerilmiştir:

- Kontrol noktası seviyesinde (genellikle tepe noktası) 1'inci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanı: $C_0 = \Phi_1^{tepe} \Gamma_1$ (1.10)
- Kontrol noktası seviyesinde, yapının hedef yer değiştirmeyi yaptığı adımdaki yer değiştirme profili kullanılarak hesaplanmış modal katılım çarpanı;
- Çizelge 1.1'den elde edilecek yaklaşık değer.

C_1 : Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları sırasında ortaya çıkan yer değiştirmeler arasında ilişki kuran katsayıdır.

- $T_e \geq T_B$ ise, $C_1=1$
- $T_e < T_B$ ise, $C_1 = \left[1 + (R-1) \frac{T_B}{T_e} \right] / R$ (1.11)

Çizelge 1.1 C_0 katsayısı için yaklaşık değerler (FEMA-356)

Kat sayısı	Kayma çerçevesi binalar ⁽²⁾		Diğer binalar
	Üçgen, parabolik ve 1'inci moda uygun yük şekli ⁽¹⁾	Düzgün yük şekli ⁽¹⁾	Herhangi bir yük şekli ⁽¹⁾
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.
2. Zemin kattan en üst kata gittikçe, katlar arası bağıl ötelemesi azalan binalar.

T_B : Davranış spektrumunda, sabit ivme kısmından sabit hız kısmına geçiş noktasındaki

karakteristik periyot;

T_e : İkili doğrusal kapasite eğrisinden hesaplanan etkili periyot;

R : Dayanım azaltma katsayısı:

$$R = \frac{S_a g}{V_y / M_{eff}} \quad (1.12)$$

V_y : İkili doğrusal kapasite eğrisinde akma kesme kuvveti;

M_{eff} : Birinci serbest titreşim moduna ait etkili kütle;

C_2 : Histeritik çevrimdeki kuvvet artımsız yer değiştirme (pinching) etkisini dikkate alan katsayı; değişik taşıyıcı sistem tipleri ve performans seviyeleri için FEMA-356'da verilmiş olan değerler (Çizelge 1.2) kullanılabilir.

C_3 : P-Δ etkilerinden dolayı oluşan yer değiştirme artışlarını dikkate alan katsayı:

- İkili doğrusal kapasite eğrisinin ikinci eğimi pozitif olan yapılarda:

$$C_3 = 1.0$$

- İkili doğrusal kapasite eğrisinin ikinci eğimi negatif olan yapılarda:

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (1.13)$$

α : İkili doğrusal kapasite eğrisinin ikinci eğiminin birinci eğimine oranı;

Çizelge 1.2 C_2 katsayısı için değerler (FEMA-356)

Yapısal performans seviyesi	$T \leq 0.1^{(1)}$		$T \leq T_B^{(1)}$	
	Taşıyıcı sistem tipi 1 ⁽²⁾	Taşıyıcı sistem tipi 2 ⁽³⁾	Taşıyıcı sistem tipi 1 ⁽²⁾	Taşıyıcı sistem tipi 2 ⁽³⁾
Hemen kullanım	1.0	1.0	1.0	1.0
Can güvenliği	1.3	1.0	1.1	1.0
Göçmenin önlenmesi	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılır.
2. Herhangi bir katta, kat kesme kuvvetinin en az %30'u, tasarım depremi altında dayanım ve rijitlik azalması beklenen sıralanan elemanlar veya bunların herhangi bir kombinasyonu tarafından karşılanan yapılar; çerçeve sistemler, çaprazlı çerçeve sistemler, kısmen mesnetlenmiş çerçeveler, kafes sistemler, yığma duvarlar.
3. Taşıyıcı sistem tipi 1'e girmeyen diğer sistemler.

S_a : Etkili periyoda karşılık gelen spektral ivme;

g : Yer çekimi ivmesidir.

(1.9) eşitliğiyle hedef yer değiştirme, diğer bir deyimle tasarım depremi altında yapının yapacağı en büyük yer değiştirme bulunduğundan sonra yapının bu yer değiştirmeye karşılık gelen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler kullanılarak, gerek tasarım gerekse performans kontrolü yapılabilir.

1.2.1.2.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40)

Yöntem, özet olarak, kapasite eğrisinden üretilen kapasite spektrumu (diyagramı) ile tasarımda kullanılacak yer hareketi için çizilmiş inelastik talep spektrumu veya indirgenmiş (doğrusal olmayan davranış dikkate alınmak üzere düzeltilmiş) elastik talep spektrumunun kesiştiği noktanın (performans noktası) bulunmasıdır.

İlk olarak, statik itme çözümlemesiyle bulunan kapasite eğrisinden kapasite diyagramı elde edilir. Bunun için, çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemle ilişkili olduğu varsayımına dayanarak, “taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirme” formatındaki kapasite eğrisi “spektral ivme – spektral yer değiştirme” formatına dönüştürülür. Bu dönüştürme işlemi için (1.14) ve (1.15) eşitliklerinden yararlanılır:

$$S_a = \frac{V_{\text{taban}}}{M_{\text{eff}}} \quad (1.14)$$

$$S_d = \frac{u_{\text{tepe}}}{\Phi_1^{\text{tepe}} \Gamma_1} \quad (1.15)$$

Burada:

S_a : Spektral ivme,

S_d : Spektral yer değiştirme,

M_{eff} : Birinci serbest titreşim moduna ait etkili kütle,

Φ_1^{tepe} : Birinci mod vektörünün tepe noktası değeri,

Γ_1 : Birinci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanıdır.

Bir sonraki adımda, kapasite diyagramı ile talep spektrumunun aynı diyagramda karşılaştırılabilmesi için “spektral ivme – periyot” (S_a-T) formatındaki talep spektrumu “spektral ivme – spektral yer değiştirme” (S_a-S_d) formatına dönüştürülür. Bunun için spektral ivme ile spektral yer değiştirme arasındaki eşitliklerden yararlanılır (1.16 ve 1.17).

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} \quad (1.16)$$

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (1.17)$$

Son olarak, (S_a-S_d) formatına dönüştürülen elastik talep spektrumunun, yapının doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere indirgenmesi gerekmektedir. ATC-40’da, elastik talep spektrumunu indirmek için üç farklı yöntem önerilmiştir. Yöntem A, Yöntem B ve Yöntem C olarak adlandırılan bu yöntemlerden, A ve B analitik, Yöntem C ise grafiksel bir uygulamadır. Yöntem A ve B programlama kolaylığından dolayı bilgisayar uygulamaları, Yöntem C ise el ile çözümleme için daha uygundur.

İteratif bir yöntem olan Yöntem A, yöntemler arasında en açık, anlaşılır ve metoden doğrudan uygulamasıdır; yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada sadece bu yöntem açıklanmıştır.

1.2.1.2.2.1 Yöntem A

İndirgeme işleminde, kapasite diyagramının altında kalan alan yardımıyla hesaplanan etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır.

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_0 + 5 \quad (1.18)$$

Burada,

β_0 : Histeritik sönüm yüzdesi (eşdeğer viskoz sönüm),

5 : Yapının doğasında bulunan viskoz sönüm yüzdesi ,

κ : Kapasite diyagramının şekline bağlı olarak bulunan sönüm düzeltme katsayısıdır (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3 Sönüm düzeltme katsayısı (κ) değerleri (ATC-40)

Yapısal Davranış Tipi	β_0 (%)	κ
A Tipi	≤ 16.25	1.0
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
B Tipi	≤ 25	0.67
	> 25	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
C Tipi	Değer Yok	0.33

ATC-40'da yapısal davranışlar üç tipe indirgenmiştir. Bunlar, yapı taşıyıcı elemanlarının durumuna (kalitesine) ve deprem esnasında oluşan sarsıntının süresine bağlı olarak Çizelge 1.4'te verilmiştir.

Çizelge 1.4 Yapısal davranış tipleri (ATC-40)

Sarsılma Süresi	Yeni Binalar	Orta Yaşlı Binalar	Yaşlı Binalar
Kısa	A Tipi	B Tipi	C Tipi
Uzun	B Tipi	C Tipi	C Tipi

ATC-40'da; sarsılma süresi, binanın yer hareketi kaynağına olan uzaklığına, zemin cinsine ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak açıklanmıştır. Buna göre, esas olarak yer hareketi kaynağına yakın bölgelerde (yakınlık faktörü, $N \geq 1.2$) kısa sarsılma süresi, aksi durumda ise uzun sarsılma süresi olacağı tahmin edilebilir. Ancak, maksimum deprem büyüklüğünün 6.5 richteri aşması tahmin edilmeyen ($M \leq 6.5$) ve sert veya sıkı zemin cinsine sahip bölgelerde, daha ayrıntılı bir çalışma yapılmadığı takdirde, kısa sarsılma süresi olacağı kabul yapılması uygundur. Yumuşak zemin cinsine sahip bölgelerde ise, daha ayrıntılı bir çalışma yapılmadığı sürece, uzun sarsılma süresi olacağı kabul edilmelidir.

Yine aynı belgede, *Yeni binalar* kavramı, kullanımdaki yönetmeliğe göre tasarlanmış, taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinen yeni binaları, *Yaşlı binalar* kavramı ise, taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinmeyen ve kötü durumdaki eski binaları tanımlamaktadır. Son olarak *orta yaşlı binalar* kavramı, açıklanan iki kavram dışında kalan durumları ve mevcut güçlendirilmiş binaları kapsamaktadır.

Histeritik sönüm (1.19) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir (*Chopra 1995*):

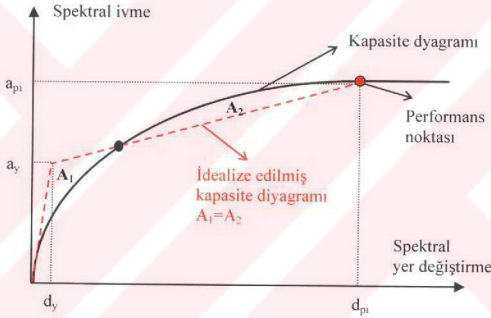
$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}} \quad (1.19)$$

Burada;

E_D : Sönüm ile yutulan enerji,

E_{S_0} : En büyük şekil değiştirme enerjisidir.

Sönüm ile yutulan enerji (E_D), kapasite diyagramının histeritik döngüsünün kapattığı alan hesaplanarak bulunabilir. E_{S_0} ise kapasite diyagramının altında kalan alan yardımıyla hesaplanabilir. Hesabı kolaylaştırmak için kapasite diyagramı ikili doğrusal biçime çevrilir (Şekil 1.8) ve histeritik sönüm yüzdesi (1.20) eşitliği yardımıyla bulunabilir.



Şekil 1.8 İkili doğrusal kapasite diyagramı

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (1.20)$$

Ancak, Şekil 1.8'de görüldüğü üzere, $(d_{pi} ; a_{pi})$ koordinatı aranılan performans noktasını gösterir. Dolayısıyla burada iteratif bir çözümlemeye gidilmesi gerekmektedir.

Bunun için, kapasite diyagramında performans noktası $(d_{pi} ; a_{pi})$ tahmin edilir. Bu belirlenen noktaya göre kapasite diyagramı ikili doğrusal biçime çevrilerek etkili sönüm yüzdesi hesaplanır ve spektral azaltma çarpanları bulunarak (1.22 ve 1.24) elastik talep spektrumu indirgenir (Şekil 1.9):

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.681 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (1.21)$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.681 \ln \left[\frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{2.12} \quad (1.22)$$

$SR_A \geq$ Çizelge 1.5'teki değerler,

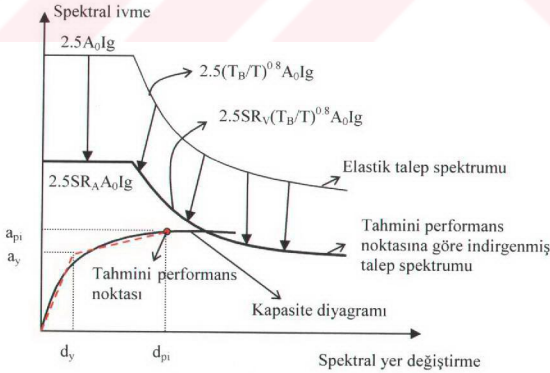
$$SR_V = \frac{1}{B_L} \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (1.23)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln \left[\frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{1.65} \quad (1.24)$$

$SR_V \geq$ Çizelge 1.5'teki değerler alınır.

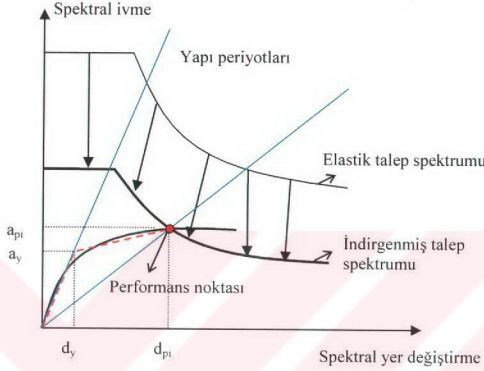
Çizelge 1.5 SR_A ve SR_V 'nin alabileceği minimum değerler (*ATC-40*)

Yapısal Davranış Tipi	SR_A	SR_V
A Tipi	0.33	0.50
B Tipi	0.44	0.56
C Tipi	0.56	0.67



Şekil 1.9 Kapasite diyagramı ve indirgenmiş talep spektrumu

İndirgenmiş talep spektrumunun kapasite diyagramını kestiği nokta, başlangıçta tahmin edilen performans noktasıyla çakışmıyorsa (%5 hata oranı kabul edilebilir), yeni bir performans noktası tahmin edilir ve bu noktaya göre elastik talep spektrumu tekrar indirgenir. İndirgenen spektrumun kapasite diyagramını kestiği nokta, tahmin edilen performans noktasına %5 hata oranıyla yaklaşması halinde performans noktası bulunmuş sayılır (Şekil 1.10).

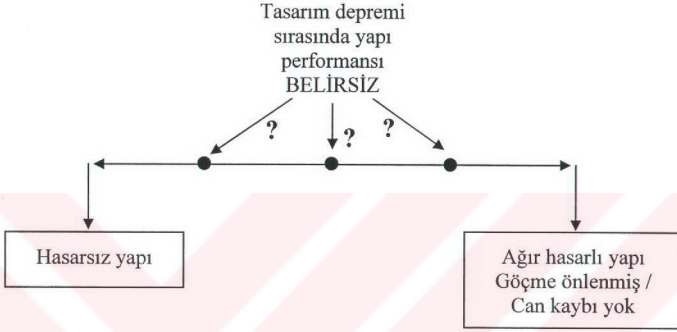


Şekil 1.10 Kapasite diyagramı ve indirgenmiş talep spektrumu

1.2.2 Performans Değerlendirmesi

Depreme dayanıklı yapı tasarımı düşüncesi can kaybını önlemek ilkesinden hareketle ortaya çıkmıştır. Dünyanın dört bir yanında uzun yıllar süren bilimsel çalışmaların sonucunda olgunlaşarak ortaya çıkan bu yaklaşım, bir çok modern deprem yönetmeliğinde olduğu gibi ülkemizde yürürlükte bulunan deprem yönetmeliğinde de (ABYYHY, 1998) şu ifade ile belirtilmektedir; “Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının her hangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi”. Bu ifadeden de anlaşılabileceği gibi konut ve benzeri binalardan beklenen performans, tasarım depremi altında (50 yıllık süre içerisinde aşılma olasılığı %10 olan deprem) can güvenliğinin korunmasıdır. Bu düşünce uygulamada olumlu sonuçlar vermiş; başka bir deyişle hedefe ulaşmış olmakla beraber, hala bazı zaafırları bünyesinde taşımaktadır. Bunlardan en önemlisi güncel deprem yönetmeliklerine harfiyen uyularak tasarlanmış, projelendirilmiş ve inşa edilmiş yapılarda bile, tasarım depremi altındaki performansın tahmininin zor olmasıdır.

Binaların tasarım depremi altında gösterecekleri performans için yapılan “kısmen veya tamamen göçmenin önlenmesi” tanımını yetersiz kalmaktadır. Gerçekten de “hasarsız yapı” ve “ağır hasarlı (kullanılamayacak derecede) yapı” limit durumları ile sınırlandırılmış olan hasar veya performans aralığı çok geniştir ve tasarım mühendisi, projelendirdiği yapının tasarım depremi altında göstereceği performansın bu limit durumlar arasında hangi noktaya karşılık geleceğini kestirememektedir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11 Tasarım depremi sırasında yapı performansı

1991 California depreminden sonra Amerika Birleşik Devletleri, bu bölgedeki yapıların on yıl içerisinde güçlendirilmesini zorunlu kılmış ve California bölgesinde çok yoğun bir biçimde onarım ve güçlendirme faaliyetleri başlamıştır. Dolayısıyla, mevcut yapıların değerlendirilmesi, onarılması ve güçlendirilmesine yönelik bazı standart ve yönetmeliklerin hazırlanması için de ön çalışmalar yapılmıştır. Kuzey Amerika’da gerçekleştirilen bu çalışmaların sonucunda, 1994 yılında Federal Acil Durum Yönetim Merkezi (Federal Emergency Management Agency) tarafından FEMA-273 ve FEMA-274, 1995 yılında Uygulamalı Teknoloji Konseyi (Applied Technology Council) tarafından ATC-40 ve California Yapı Mühendisleri Derneği tarafından “Blue Book” adıyla anılan belgeler yayınlanmıştır. Bu belgeler kılavuz niteliğinde olup, temelde aynı fakat detaylarda farklılık gösterirler. Son olarak 2001 yılında yine FEMA tarafından ön standart niteliğindeki FEMA-356 yayınlanmıştır. Bu belgelerle ortaya çıkan yeni yaklaşımlar tüm dünyada giderek ilgi görmekte, araştırmalara konu olmaktadır. Yakın bir gelecekte, ülkemizdeki tasarım mühendisleri tarafından da benimseneceği umulmaktadır. Başlangıçta mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ihtiyacından ortaya çıkan bu yaklaşımın bugün yeni

yapılacak yapılar içinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Yukarıda sözü edilen çalışma ve belgelerle ortaya çıkan düşünce, yapı sahibinin ihtiyaç, istek ve bütçesine göre birden fazla performans seviyesini göz önüne almaktadır. Yani yapılar sadece tasarım depremi altında göçmenin ve can kaybının önlenmesi performans seviyesi dikkate alınarak değil, gerektiğinde (yapı sahibinin ihtiyaç ve isteklerine göre) depremden hemen sonra kullanılacak şekilde tasarlanacaktır. Yukarıda sözü edilen belgeler, konu ile ilgili olarak, değişik performans seviyelerini tanımlamakta, tasarım ve modelleme (yapısal özellikler ve malzeme özellikleri vb.) kural ve yöntemlerini, tasarımda kullanılacak yer hareketi özelliklerini (belli süreler içinde aşılma olasılıkları, spektrum vb.), tasarım sonrasında, öngörülen performans seviyelerinin sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek için çeşitli performans kriterlerini belirlemektedirler. Çoğu zaman doğrusal olmayan hesabı önerdikleri için de, mevcut yaklaşımın cevaplamakta yetersiz kaldığı hasar miktarı ve dağılımı ile ilgili sorulara gerçeğe daha yakın biçimde cevap verebilmektedirler. Hemen belirtmek gerekir ki, bu belgelerle ortaya konulan kurallar kesin doğrular olmayıp halen tartışma ve araştırma konusudurlar.

1.2.2.1 Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, belirli bir deprem ve bina için verilen hasar miktarlarının limit durumlarıdır. Bu limit durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar miktarları, bu hasarların hayatı tehlike gösterip göstermemesi, deprem sonrası yapının kullanılıp kullanılamaması, ekonomik kayıplar gibi etkenlere bağlı olarak belirlenir. Çizelge 1.6 ve Şekil 1.12'de; ATC-40'ta taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlar için tanımlanmış olan performans seviyeleri verilmiştir. FEMA-273 ve FEMA-356 belgeleri için de aynı performans seviyeleri geçerlidir.

Hemen kullanım performans seviyesi (Immediate occupancy)

Çok hafif taşıyıcı sistem hasarını temsil eder. Yapının düşey ve yatay yük taşıyıcı sistemi, deprem öncesindeki hemen tüm karakteristik özelliklerini (dayanım, rijitlik, süneklik) neredeyse aynen korumaktadır.

Hasar kontrol performans aralığı (Damage control)

Deprem sonrası hasar durumunun, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında temsil edildiği performans aralığıdır. Bu performans aralığı üstten hemen kullanım performans seviyesi, alttan da can güvenliği performans seviyesi ile sınırlandırılmıştır.

Can güvenliği performans seviyesi (life safety)

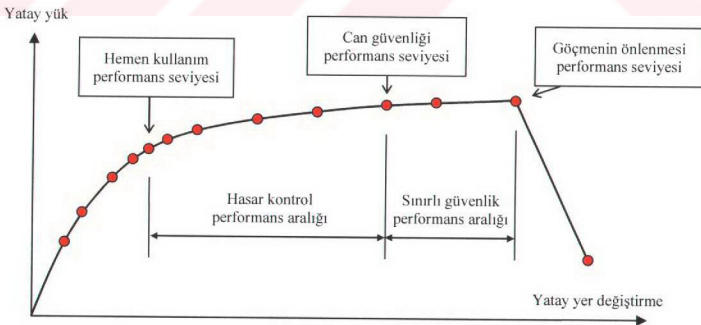
Bu performans seviyesinde, yapıda, deprem sonrası önemli hasar oluşabilir. Ancak, kısmi veya toptan göçme söz konusu değildir. Toptan göçmeye karşı güvenlik, stabilitenin korunması performans seviyesindekinden daha fazladır. Dolayısıyla oluşacak hasar miktarı da stabilitenin korunması performans seviyesindekinden daha azdır. Taşıyıcı elemanların kopması veya konumlarını değiştirmesi söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak bu yaralanmalar yapısal hasarla ilgili olmayan yaralanmalardır. Dolayısıyla, yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

Sınırlı güvenlik performans aralığı (limited safety)

Üstten can güvenliği, alttan ise stabilitenin korunması performans seviyesi ile sınırlandırılmış performans aralığıdır. Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları, tamamen can güvenliği performans seviyesi koşullarını sağlamayabilir, ancak; stabilitenin korunması performans seviyesindekinden daha yüksektir.

Stabilitenin korunması (göçmenin önlenmesi) performans seviyesi (collapse prevention)

Yapıyı deprem sonrasında kısmi veya toptan göçme sınırına getiren hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda önemli hasarlar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının düşey yük taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı, stabilitesini korumasına rağmen önemli can güvenliği riski mevcuttur.



Şekil 1.12 Performans seviyeleri ve aralıkları

Çizelge 1.6 Performans seviyeleri ve aralıkları

Performans seviyesi	Performans aralığı
Hemen kullanım (immediate occupancy)	
	Hasar kontrol (damage control)
Can güvenliği (life safety)	
	Sınırlı güvenlik (limited safety)
Stabilitenin korunması (collapse prevention)	
	Performansın dikkate alınmadığı aralık

1.2.2.2 Kabul Kriterleri (Performans Kontrolü)

Gerek ATC-40 gerekse FEMA-356 belgelerinde, tasarımı yapılan yapının performansının kontrolü için bazı sınır değerler verilmiştir. Bu değerler global ve yerel olmak üzere iki gruba ayrılır ve kabul kriterleri (acceptance criteria) olarak adlandırılırlar.

1.2.2.2.1 Global Sınırlar

Global sınırlar, görelî kat yer değıştirmesi oranı (interstory drift ratio) cinsinden verilir. Dört ayrı performans seviyesi için verilen global sınır değêrler Çizelge 1.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.7’de yapısal stabilitenin korunması performans seviyesinde verilmiş olan sınır yer değıştirme oranı eşitliğinde V_i , i. kata ait kat kesme kuvvetini, P_i ise yine i. kata ait toplam düşey yükü ifade etmektedir. Yine bu çizelgede verilen yer değıştirme oranı sınır değêrleri, laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara ve geçmiş depremlerde gözlenmiş olan hasarlara dayanmaktadır.

Çizelge 1.7 Global yer değıştirme sınırları (ATC-40)

Görelî kat yer değıştirmesi oranı	Performans seviyesi			
	Hemen kullanım	Hasar kontrol	Can güvenliği	Yapısal stabilitenin korunması
Toplam yer değıştirme oranı	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum inelastik yer değıştirme oranı	0.005	0.005 – 0.015	Sınır yok	Sınır yok

1.2.2.2.2 Yerel Sınırlar (Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Şekil Değiştirme Sınırları)

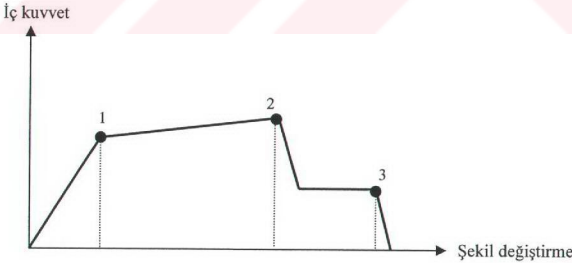
Taşıyıcı sistem elemanları, yatay yük taşıma kapasitesine olan katkılarına bağlı olarak, “birincil” ve “ikincil” elemanlar olmak üzere sınıflandırılırlar. Yatay yük kapasitesine katkının ölçüsü, taşıyıcı sistem elemanının kapasitesinin, tüm taşıyıcı sistemin kapasitesi içindeki oranıdır.

Genel kabul, taşıyıcı sistem elemanlarının (birincil veya ikincil) şekil değiştirme değerlerinin, performans seviyelerine bağlı olarak verilmiş sınır değerleri aşmamasıdır.

Kabul kriterleri, genel mekanik prensipleri yardımı ile hesaplanan şekil değiştirme değerleri olabileceği gibi taşıyıcı sistem elemanları ile yapılan deneyler sonucunda da belirlenebilir. Bu durumda aşağıda verilmiş olan genel prensipler geçerlidir.

Birincil elemanlar için,

- Göçmenin önlenmesi performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri, iç kuvvet-şekil değiştirme eğrisinde (Şekil 1.14), 2 noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değerinden büyük olmamak kaydıyla, 3 noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değerinin %75'ine karşılık gelmektedir.
- Can güvenliği performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri 2 noktasına karşılık gelen şekil değiştirmenin %75'idir.
- Hemen kullanım performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri ise tamamen mühendislik tecrübesi ve öngörüsüne dayanmaktadır.



Şekil 1.14 İç kuvvet-şekil değiştirme eğrisi

İkincil elemanlar için;

- Göçmenin önlenmesi performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri, iç kuvvet-

şekil değiştirme eğrisinde (Şekil 1.14), 3 noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değeridir.

- Can güvenliği performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri, Şekil 1.14’de 3 noktasına karşılık gelen şekil değiştirmenin %75’inden az olmamakla beraber, 2 noktasına karşılık gelen değeridir.
- Hemen kullanım performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri ise birincil elemanlarda olduğu gibi tamamen mühendislik tecrübesi ve öngörüsüne bağlıdır.

Kabul kriterlerinin hesap veya deney yoluyla belirlenmemesi durumunda; kiriş, kolon, perde, döşeme ve bağ kirişi gibi taşıyıcı sistem elemanları için verilmiş olan kabul kriterleri de kullanılabilir. Bu kriterler, eleman davranışında eğilme veya kesmenin hakim olması, basınç donatısı oranı, eksenel yük oranı, etriye aralığı, perdelerde başlık bulunup bulunmaması gibi durumlar için verilmiştir ve büyük çoğunlukla deney sonuçlarına dayanmaktadır (Çizelge 1.8, 1.9, 1.10 ve 1.11).



Plastik mafsal bölgesi

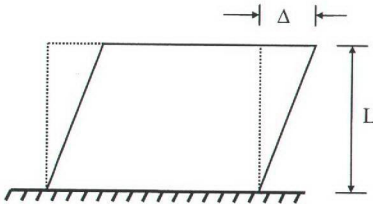
θ = Plastik mafsal bölgesindeki dönme

$\theta = \theta_y + \theta_p$;

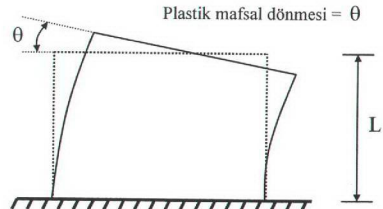
θ_y = akma dönmesi = $(M_y/EI)l_p$

θ_p = plastik mafsal dönmesi

Şekil 1.15 Plastik mafsal dönmesi (ATC-40)



Kesmenin elastik olmayan davranışta etkin olduğu yerde perde ötelemesi



Eğilmenin elastik olmayan davranışta etkin olduğu yerde perde plastik mafsal dönmesi

Şekil 1.16 Perde ötelemesi ve plastik mafsal dönmesi (FEMA-356)

Çizelge 1.9 Betonarme kolonlar için şekil değiştirme kabul kriterleri (FEMA-356)

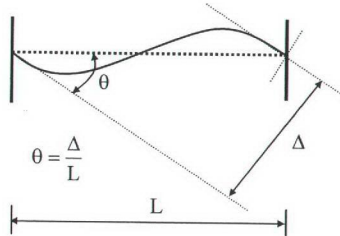
[illegible]

Çizelge 1.10 Eğilme etkisindeki betonarme perdeler ve perde bağ kirişleri için şekil değiştirme kabul kriterleri (FEMA-356)

Koşullar			Plastik mafsals dönmesi (radyan) ⁽¹⁾ (Şekil 1.16)					
			Performans Seviyesi					
			HK	Taşıyıcı Eleman Tipi				
				Birincil		İkincil		
		CG	GÖ	CG	GÖ			
1. Perdeler								
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w \ell_w f_c'}$	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f_c'}}$	Perde uç donatısı ⁽²⁾						
≤ 0.1	≤ 3	Evet	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020	
≤ 0.1	≥ 6	Evet	0.004	0.008	0.010	0.010	0.015	
≥ 0.4	≤ 3	Evet	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012	
≥ 0.4	≥ 6	Evet	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.010	
≤ 0.1	≤ 3	Hayır	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015	
≤ 0.1	≥ 6	Hayır	0.002	0.004	0.006	0.006	0.010	
≥ 0.4	≤ 3	Hayır	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005	
≥ 0.4	≥ 6	Hayır	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	
2. Perde bağ kirişleri								
Boyuna ve enine donatı ⁽³⁾	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f_c'}}$							
İkiside mevcut ve uygun enine donatı durumu	≤ 3	0.006	0.015	0.025	0.025	0.040		
	≥ 6	0.005	0.010	0.015	0.015	0.030		
İkiside mevcut ancak enine donatı durumu uygun değil	≤ 3	0.006	0.012	0.020	0.020	0.035		
	≥ 6	0.005	0.008	0.010	0.010	0.025		
Diyagonal donatı varsa	-	0.006	0.018	0.030	0.030	0.050		
1. Çizelgede verilen sayısal değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılabilir.								
2. Perde uç bölgeleri, ACI 318'e uygun olarak sarılmışsa “evet”, değilse “hayır” anlamındadır.								
3. Tüm bağ kiriş boyunca yerleştirilmiş kapalı etriyelerin aralığı d/3'ten küçükse ve etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarımı kesme kuvvetinin ¾'ünden büyükse uygun enine donatı durumu olarak nitelendirilir. Bağ kirişin boyuna aksına paralel, kesitin altına ve üstüne yerleştirilmiş donatı, geleneksel boyuna donatı olarak nitelendirilir.								

Çizelge 1.11 Kesme etkisindeki betonarme perdeler ve perde bağ kirişleri için şekil değiştirme kabul kriterleri (FEMA-356)

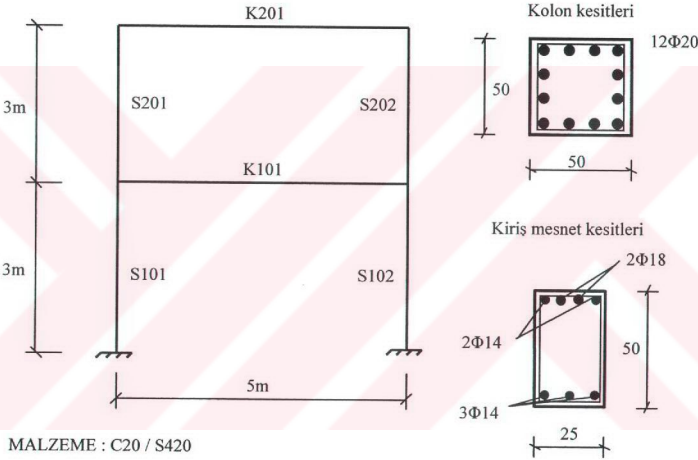
Koşullar	Toplam öteleme(%) veya düğüm noktası dönmesi ⁽¹⁾ (Şekil 1.16 ve 1.17)					
	Performans Seviyesi					
	HK	Taşıyıcı Eleman Tipi				
		Birincil		İkincil		
	CG	GÖ	CG	GÖ		
1. Perdeler						
Tüm koşullarda ⁽²⁾	0.4	0.6	0.75	0.75	1.5	
2. Perde bağ kirişleri						
Boyuna ve enine donatı ⁽³⁾	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f_c'}}$					
İkisinde mevcut ve uygun enine donatı durumu	≤ 3	0.006	0.012	0.015	0.01	0.024
	≥ 6	0.004	0.008	0.010	0.010	0.016
İkisinde mevcut ancak enine donatı durumu uygun değil	≤ 3	0.006	0.008	0.010	0.010	0.020
	≥ 6	0.004	0.006	0.007	0.007	0.012
1. Perdelerde öteleme, bağ kirişlerinde ise düğüm noktası dönmesi kullanılmalıdır (bakınız Şekil 1.16 ve 1.17).						
2. Elastik olmayan davranışı kesmeye bağlı olan perdelerde, eksenel iç kuvvet en fazla 0.15A _g f _c ' olmalıdır; aksi halde, kuvvet kontrollü eleman kabul edilmelidir.						
3. Tüm bağ kiriş boyunca yerleştirilmiş kapalı etriyelerin aralığı d/3'ten küçükse ve etriyelerin kesme kuvveti taşıma güçlü tasarım kesme kuvvetinin ¾'ünden büyükse uygun enine donatı durumu olarak nitelendirilir. Bağ kirişin boyuna aksına paralel , kesitin altına ve üstüne yerleştirilmiş donatı, geleneksel boyuna donatı olarak nitelendirilir.						



Şekil 1.17 Perde bağ kirişinde düğüm noktası dönmesi (FEMA-356)

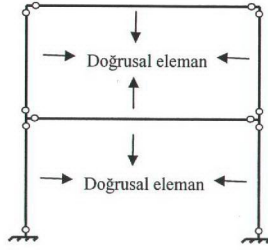
1.2.3 Statik İtme Çözümlemesi ve Performans Değerlendirmesi için Uygulama

Betonarme bir yapının performansa dayalı tasarım yaklaşımıyla değerlendirilmesine örnek olmak üzere; iki katlı bir betonarme çerçeve için performans değerlendirme yapılmıştır. Yapının kapasitesi statik itme çözümlemesiyle belirlenmiştir. Tasarım depremi altında oluşması beklenen en büyük inelastik yer değiştirmenin (performans noktası) hesabında katsayılar yöntemi (FEMA) kullanılmıştır. Son olarak yine FEMA belgelerinde verilmiş olan performans kriterleri kullanılarak taşıyıcı sistem elemanları için performans kontrolü yapılmıştır. Örnek olarak seçilen çerçeve, kesit özellikleri ve donatı bilgileri Şekil 1.18’de verilmiştir.

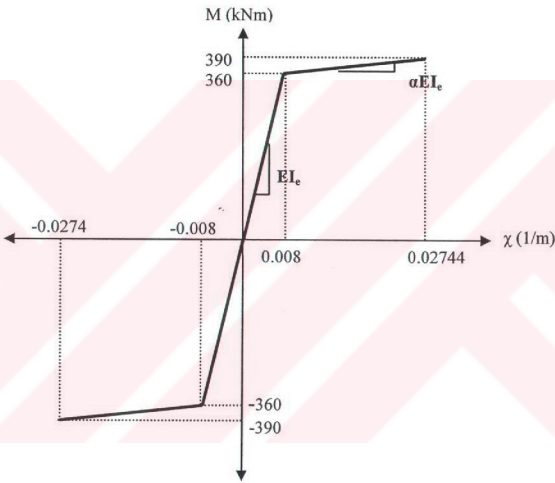


Şekil 1.18 Örnek çerçeve modeli

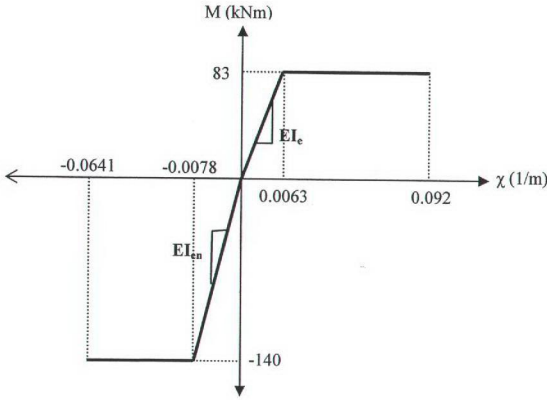
Örneği, mümkün olduğunca basit bir hale getirmek için, iki katlı, tek açıklıklı, simetrik bir çerçeve seçilmiş, kiriş ve kolonların kesit ve donatıları değiştirilmemiştir. Artan yükler altında plastik mafsalların taşıyıcı sistem elemanlarının uçlarında oluşacağı kabul edilmiş ve yapının doğrusal olmayan davranışını temsil etmek üzere moment-eğrilik ilişkileri bu kesitler için hazırlanmıştır (Şekil 1.20 ve 1.21). Yapının diğer kısımlarının doğrusal davranış göstereceği düşünülmüştür (Şekil 1.19).



Şekil 1.19 Statik itme çözümlemesi için model



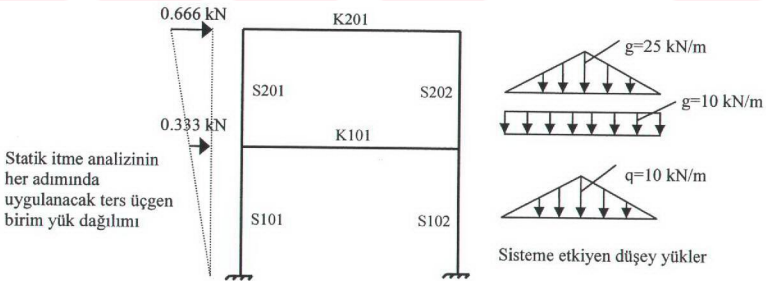
Şekil 1.20 Kolon kesitleri için ikili doğrusal moment-eğrilik diyagramı



Şekil 1.21 Kiriş mesnet kesitleri için elastoplastik moment-eğrilik diyagramı

Şekil 1.20 ve 1.21'den de görüleceği gibi, moment-eğrilik diyagramları; kirişler için elastoplastik, kolonlar için ise ikili doğrusal kabul edilmiştir. Kolonlar simetrik donatıldığı için moment eğrilik diyagramları pozitif ve negatif moment için aynıdır. Ancak aynı durum kirişler için söz konusu değildir. Plastik mafsalları boyunu; kirişler için " $h/2$ ", kolonlar içinse " h " kabul edilmiştir.

Çerçeveye etkiyen düşey yükler ve statik itme çözümlemesinin her adımında sisteme uygulanan birim yatay yükün biçimi Şekil 1.22'de verilmiştir.



Şekil 1.22 Çerçeveye etkiyen yükler

Taşıyıcı sistem elemanlarında, düşey yükler altında oluşacak momentler (M_{g+q}) bulunmuş, daha sonra her adımdaki moment diyagramı, birim yatay yük altında doğrusal statik çözümleme ile elde edilmiştir. Moment-eğrilik diyagramlarıyla belirlenmiş olan akma momenti ve göçme dönmesi kapasiteleri dikkate alınarak, her adımda hangi kesitlerde mafsallaşma (akma veya göçme) oluşacağı tahmin edilmiştir. İzleyen sayfalarda her adım için elde edilmiş eğilme momentleri, kapasite eğrisi ve birim yük için eğilme moment diyagramları verilmiştir. Çizelgede büyük ve koyu yazılan kesit o adımda akan taşıyıcı eleman kesitini, gri renk ile gösterilen satır ise o adıma kadar akmış kesitleri göstermektedir. Çizelgelerdeki parametreler aşağıda açıklanmıştır:

M_y : İlgili kesitin akma momenti;

Kirişlerde +83 kNm / -140 kNm,

Kolonlarda ± 360 kNm,

M_u : İlgili kesitin göçme momenti;

Kirişlerde +83 kNm / -140 kNm,

Kolonlarda ± 390 kNm,

M_{g+q} : İlgili kesitte düşey yüklerle hesaplanan eğilme momenti (zati + hareketli),

M_b : İlgili kesitte birim yatay yük için hesaplanan eğilme momenti,

ALFA : İlgili kesiti, i nci adımda akma sınırına ulaştıracak çarpandır;

$$\alpha_i = \frac{M_y - M_{i-1}}{M_{b(i)}} \quad (1'inci \text{ adımda } (i=1) \quad M_{i-1} = M_0 = M_{g+q}),$$

minALFA : Aynı adımda, her kesit için elde edilen ALFA değerlerinin en küçüğü,

M_i : İlgili kesitte, i nci adımda elde edilen nihai moment değeri;

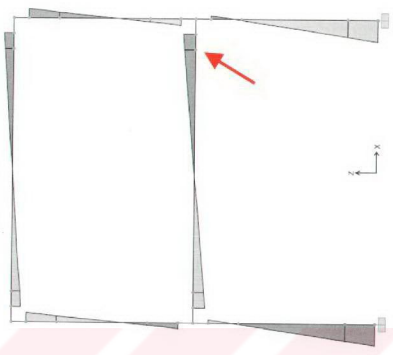
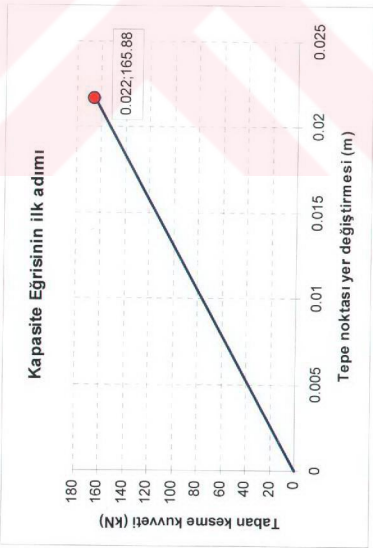
$$M_i = M_{i-1} + \alpha_i M_{b(i)} \quad (1'inci \text{ adımda } (i=1) \quad M_{i-1} = M_0 = M_{g+q}).$$

Göçme durumuna gelecek kesitler, yukarıda akma için açıklandığı şekliyle belirlenmiştir. Tek fark eğilme momenti değerleri yerine dönme değerlerinin kullanılmasıdır. 7'nci adımda K101 kirişinin sağ mesnedindeki dönme değeri, göçme dönmesi değerine ulaşmıştır.

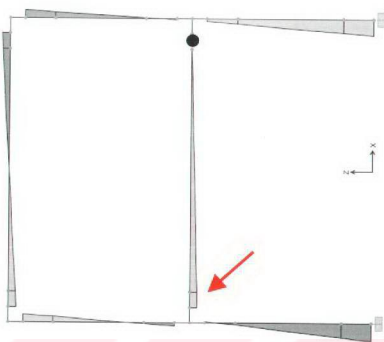
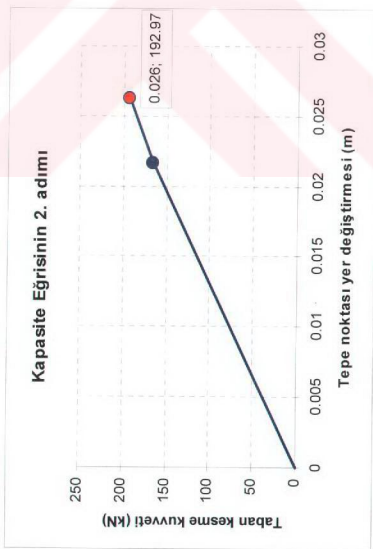
4'üncü adımın sonunda bütün kirişlerin mesnet kesitlerinde plastik mafsallar oluşmuştur. Kirişler elastoplastik davranış gösterdiklerinden akmadan sonra rijitlikleri sıfırdır. Dolayısıyla kolonlar konsol davranışı göstermeye başlamıştır. 5'inci ve 6'ncı adımlarda, alt kat kolonlarının alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş, ikili doğrusal davranış nedeniyle bu kesitlerde rijitlik sıfır olmamakla beraber önemli ölçüde azalmıştır (bu örnekte başlangıç rijitliğinin yaklaşık %3'ü). 7'nci adımda K101 kirişinin sağ kesitinde göçme dönmesi sınır değerine ulaşılmıştır. Bu noktadan itibaren, yapının yatay yük kapasitesinde önemli azalmalar olacağından çözümlemeye devam etmenin pratik bir anlamı yoktur.



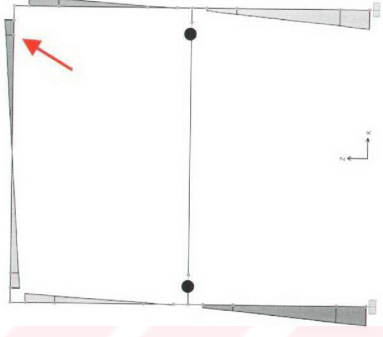
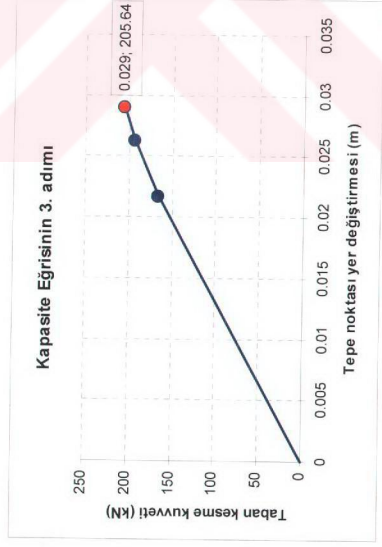
I. ADIM (i=1)	M_y	M_u	M_{g+q}	M_b	ALFA	minALFA	M_i
s101a	-360	-390	6.63	-1.06	345.88	165.88	-169.20
s101u	360	390	-13.27	0.06	6221.17	165.88	-3.32
s102a	360	390	4.72	1.07	332.04	165.88	182.21
s102u	-360	-390	-15.18	-0.07	4926.00	165.88	-26.79
s201a	-360	-390	24.06	-0.24	1600.25	165.88	-15.75
s201u	360	390	-37.86	0.41	970.39	165.88	30.15
s202a	360	390	23.71	0.26	1293.42	165.88	66.84
s202u	-360	-390	-38.21	-0.43	748.35	165.88	-109.54
k101sol	83	83	-32.51	0.6	192.52	165.88	67.02
K101sağ	-140	-140	-33.84	-0.64	165.88	165.88	-140.00
k201sol	83	83	-28.53	0.48	232.35	165.88	51.09
k201sağ	-140	-140	-28.83	-0.51	217.98	165.88	-113.43



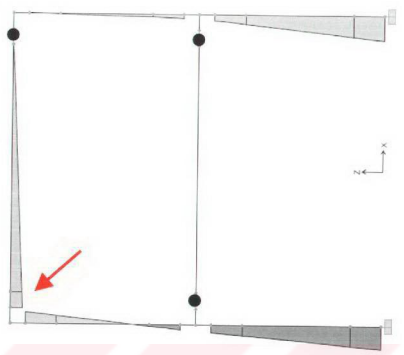
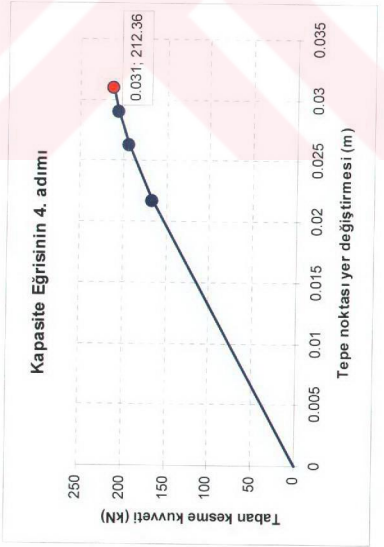
2. ADIM (i=2)	M _y	M _u	M _{u-1}	M _b	ALFA	minALFA	M _i
s101a	-360	-390	-169.20	-1.35	141.33	27.09	-205.77
s101u	-360	-390	-3.32	-0.05	7133.66	27.09	-4.67
s102a	360	390	182.21	1.25	142.23	27.09	216.07
s102u	360	390	-26.79	0.3	1289.31	27.09	-18.67
s201a	-360	-390	-15.75	-0.22	1564.77	27.09	-21.71
s201u	360	390	30.15	0.54	610.83	27.09	44.78
s202a	-360	-390	66.84	-0.01	42683.88	27.09	66.57
s202u	-360	-390	-109.54	-0.59	424.51	27.09	-125.52
K101sol	83	83	67.02	0.59	27.09	27.09	83.00
k101sağ	-140	-140	-140.00	0	267.16	27.09	-140.00
k201sol	83	83	51.09	0.61	52.31	27.09	67.62
k201sağ	-140	-140	-113.43	-0.63	42.18	27.09	-130.49



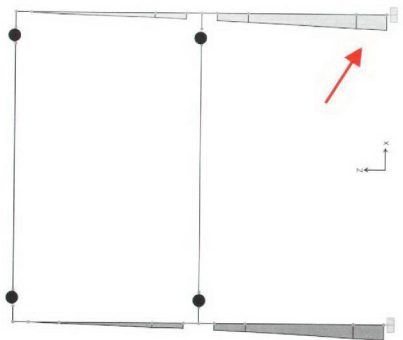
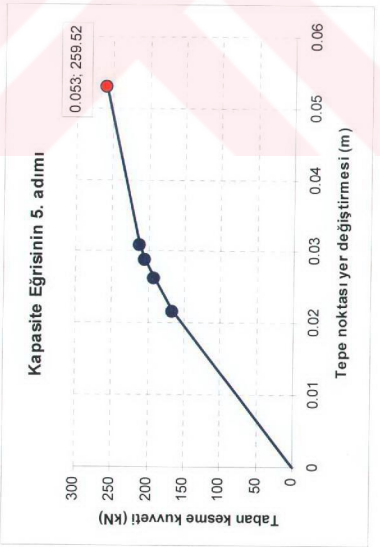
3. ADIM (i=3)	M_y	M_u	$M_{1,1}$	M_b	ALFA	minALFA	M_i
s101a	-360	-390	-205.77	-1.51	102.14	12.67	-224.91
s101u	-360	-390	-4.67	-0.38	935.07	12.67	-9.49
s102a	360	390	216.07	1.52	94.69	12.67	235.34
s102u	360	390	-18.67	0.39	970.94	12.67	-13.72
s201a	360	390	-21.71	0.03	12723.69	12.67	-21.33
s201u	360	390	44.78	0.68	463.56	12.67	53.40
s202a	-360	-390	66.57	-0.03	14218.93	12.67	66.19
s202u	-360	-390	-125.52	-0.71	330.25	12.67	-134.52
k101sol	83	83	83.00	0	411.11	12.67	83.00
k101sağ	-140	-140	-140.00	0	241.45	12.67	-140.00
k201sol	83	83	67.62	0.71	21.67	12.67	76.61
K201sağ	-140	-140	-130.49	-0.75	12.67	12.67	-140.00



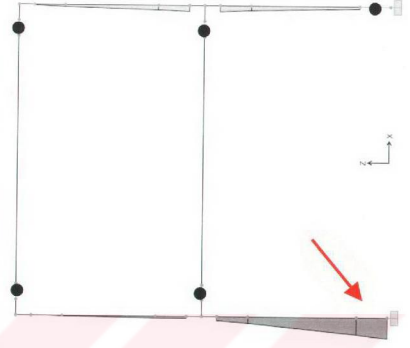
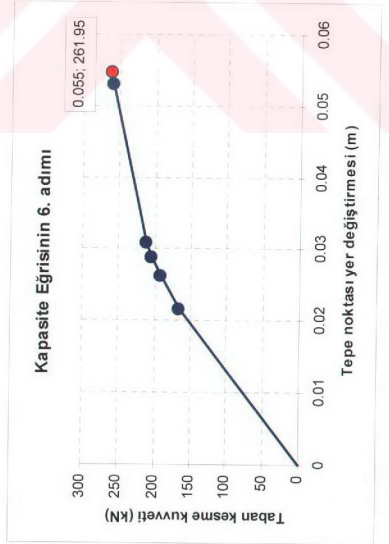
4. ADIM (i=4)	M _y	M _u	M _{u1}	M _b	ALFA	minALFA	M _i
sl01a	-360	-390	-224.91	-1.78	75.89	6.72	-236.87
sl01u	-360	-390	-9.49	-0.78	449.37	6.72	-14.73
sl02a	360	390	235.34	1.85	67.39	6.72	247.77
sl02u	360	390	-13.72	0.6	622.87	6.72	-9.69
s201a	-360	-390	-21.33	-0.3	1128.90	6.72	-23.35
s201u	360	390	53.40	0.77	398.19	6.72	58.57
s202a	360	390	66.19	0.26	1130.05	6.72	67.94
s202u	-360	-390	-134.52	-0.02	11274.06	6.72	-134.65
kl01sol	83	83	83.00	0	289.52	6.72	83.00
kl01sağ	-140	-140	-140.00	0	174.93	6.72	-140.00
K201sol	83	83	76.61	0.95	6.72	6.72	83.00
k201sağ	-140	-140	-140.00	0	154.66	6.72	-140.00



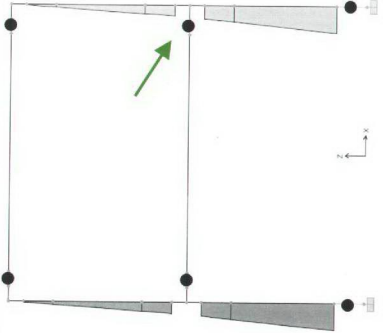
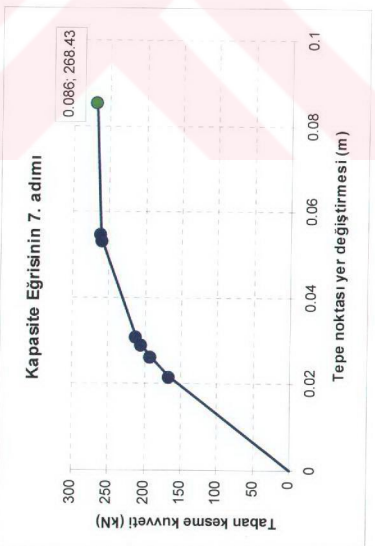
5. ADIM (i=5)	M_y	M_x	M_{z-1}	M_b	ALFA	minALFA	M_i
s101a	-360	-390	-236.87	-2.38	51.73	47.16	-349.10
s101u	-360	-390	-14.73	-1.25	276.22	47.16	-73.67
S102a	360	390	247.77	2.38	47.16	47.16	360.00
s102u	360	390	-9.69	1.25	295.75	47.16	49.25
s201a	-360	-390	-23.35	-0.83	405.61	47.16	-62.49
s201u	-360	-390	58.57	-0.17	2462.19	47.16	50.56
s202a	360	390	67.94	0.83	351.89	47.16	107.07
s202u	360	390	-134.65	0.17	2909.73	47.16	-126.64
k101sol	83	83	83.00	0	197.63	47.16	83.00
k101sağ	-140	-140	-140.00	0	112.14	47.16	-140.00
k201sol	83	83	83.00	0	162.40	47.16	83.00
k201sağ	-140	-140	-140.00	0	101.92	47.16	-140.00

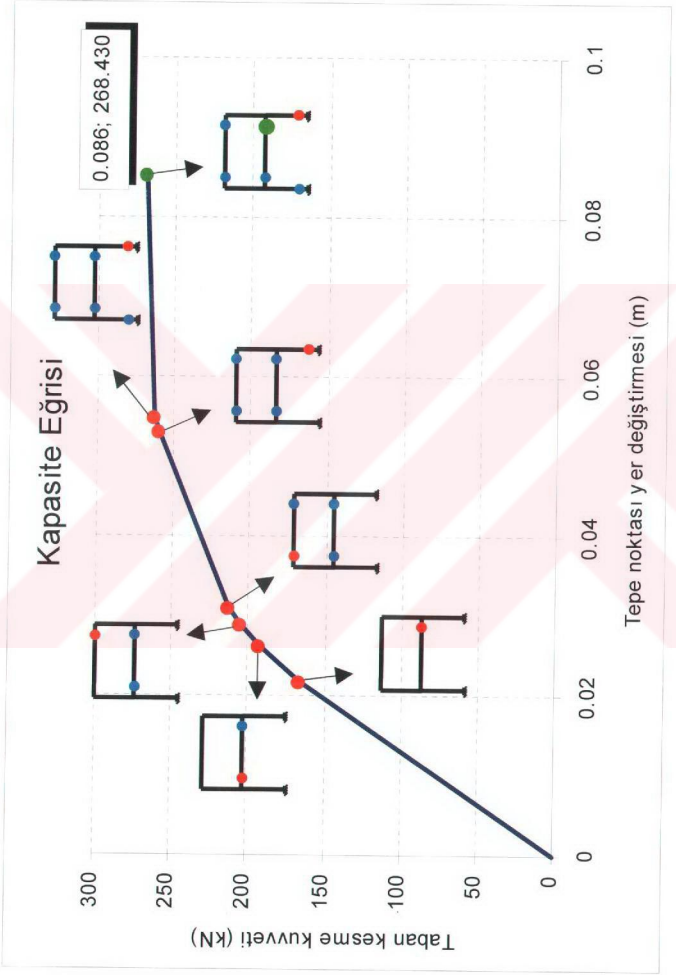


6. ADIM (i=6)	M_y	M_u	M_{+1}	M_b	ALFA	minALFA	M_i
S101a	-360	-390	-349.10	-4.48	2.43	2.43	-360.00
s101u	-360	-390	-73.67	-1.3	220.25	2.43	-76.84
s102a	360	390	360.00	0.29	103.45	2.43	360.71
s102u	360	390	49.25	1.2	258.95	2.43	52.17
s201a	-360	-390	-62.49	-0.49	607.17	2.43	-63.68
s201u	-360	-390	50.56	-0.1	4105.55	2.43	50.31
s202a	360	390	107.07	1.18	214.34	2.43	109.94
s202u	360	390	-126.64	0.24	2027.65	2.43	-126.05
k101sol	83	83	83.00	0	97.10	2.43	83.00
k101sağ	-140	-140	-140.00	0	45.98	2.43	-140.00
k201sol	83	83	83.00	0	85.82	2.43	83.00
k201sağ	-140	-140	-140.00	0	39.23	2.43	-140.00



7. ADIM (i=7)									
	M _y	M _u	M _{1-i}	M _b	ALFA	minALFA	M _i		
s101a	-360	-390	-360.00	-2.38	12.60	6.48	-375.41		
s101u	-360	-390	-76.84	-1.25	226.53	6.48	-84.93		
s102a	360	390	360.71	2.38	12.31	6.48	376.12		
s102u	360	390	52.17	1.25	246.26	6.48	60.27		
s201a	-360	-390	-63.68	-0.83	357.02	6.48	-69.05		
s201u	-360	-390	50.31	-0.17	2413.60	6.48	49.21		
s202a	360	390	109.94	0.83	301.27	6.48	115.32		
s202u	360	390	-126.05	0.17	2859.14	6.48	-124.95		
k101sol	83	83	83.00	0	15.44	6.48	83.00		
K101sağ	-140	-140	-140.00	0	6.48	6.48	-140.00		
k201sol	83	83	83.00	0	14.69	6.48	83.00		
k201sağ	-140	-140	-140.00	0	6.74	6.48	-140.00		
	θ _y	θ _u	θ ₁	θ _b	ALFA	minALFA	θ _{i+1}		
K101sağ (göçme)	-0.00195	-0.016	-0.00969	-0.000975	6.48	6.48	-0.016		





Şekil 1.23 Kapasite eğrisi

Tasarım depremi altında oluşacak en büyük yer değiştirmenin hesabı için FEMA’da verilen katsayılar yöntemi kullanılmıştır. Tasarım depremine ait ivme spektrumu ABYYHY’de Zemin Sınıfı I (Z1) için verilmiş olan spektrumdur. Yer ivmesi değeri olarak 0.7g alınmıştır. Yapının 1’inci titreşim moduna ait elastik periyodu 0.30s’dır. Hedef yer değiştirme (performans noktası) iki iterasyon ile bulunmuştur.

1. ADIM

İlk adımda hedef yer değiştirme için kapasite eğrisinin son noktası seçilmiş (0.086m) ve buna bağlı olarak ikili doğrusal eğri elde edilmiştir (Şekil 1.24). İkili doğrusal eğride, ilk doğrunun eğimi olan etkili yatay rijitlik (K_e) hesaplandıktan sonra, (1.9) eşitliğiyle hedef yer değiştirme hesaplanmıştır. Hesaplanan yer değiştirme (0.053m) ile ikili doğrusal eğrinin kesiştiği noktadaki yer değiştirme (0.086) arasında %5’ten fazla fark olduğu için, bu adımda hesaplanan yer değiştirme (0.053m), iki eğrinin kesiştiği nokta kabul edilerek 2’nci adıma geçilir.



Şekil 1.24 İterasyonun 1’inci adımı

$$T_i = 0.30 \text{ s} ; K_i = 7634 \text{ kN/m}$$

$$u_y = 0.031 \text{ m} ; V_y = 235 \text{ kN}$$

$$K_e = 7563 \text{ kN/m}$$

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} = 0.30 \sqrt{\frac{7634}{7563}} \approx 0.30 \text{ s}$$

$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

$$C_0 = \Gamma_1 \Phi_{1,tepe} :$$

$$C_0 = 4.58 \times 0.26 = 1.19$$

$$C_1 = 1 \quad (T_e \geq T_B = 0.30)$$

$$C_2 = 1.1 \quad (\text{Can güvenliği performans seviyesi; yapı tipi I})$$

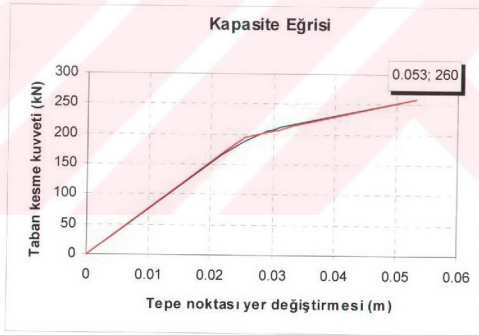
$$C_3 = 1$$

$$S_a = 0.70 \times 2.5 = 1.75$$

$$u_t = 1.19 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 1.75 \times 0.3^2 \times 10 / (4 \times 3.14^2) = 0.053 \text{ m}$$

$$(0.086 - 0.053) / (0.053) = \%62 > \%5$$

2. ADIM



Şekil 1.25 İterasyonun 2'nci adımı

$$T_i = 0.30 \text{ s} ; K_i = 7634 \text{ kN/m}$$

$$u_y = 0.0255 \text{ m} ; V_y = 196 \text{ kN}$$

$$K_e = 7634 \text{ kN/m}$$

$$T_e = 0.30 \text{ s}$$

$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_g^2}{4\pi^2} g$$

$$C_0 = \Gamma_1 \Phi_{1,tepe} :$$

$$C_0 = 4.58 \times 0.26 = 1.19$$

$$C_1 = 1 \quad (T_e \geq T_B = 0.30)$$

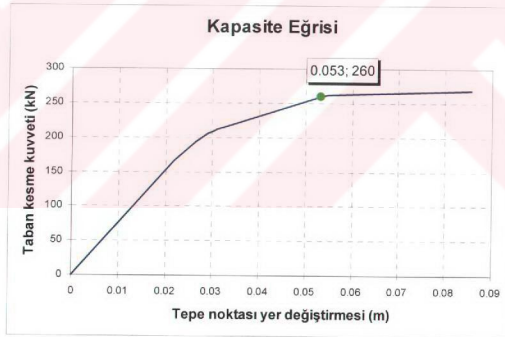
$$C_2 = 1.1 \quad (\text{Can güvenliği performans seviyesi; yapı tipi 1})$$

$$C_3 = 1$$

$$S_a = 0.70 \times 2.5 = 1.75$$

$$u_t = 1.19 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 1.75 \times 0.3^2 \times 10 / (4 \times 3.14^2) = 0.053 \text{ m}$$

Görüldüğü gibi 2'nci adımda bulunan hedef yer değiştirme, kesişme noktasıyla aynı çıkmaktadır (Şekil 1.25). Bu durumda hedef yer değiştirme 0.053m olarak kabul edilebilir (Şekil 1.26).



Şekil 1.26 Performans noktası (hedef yer değiştirme)

Son olarak doğrusal davranış sınırını aşmış olan taşıyıcı sistem elemanı kesitleri için performans değerlendirmesi yapılmıştır. Performans seviyelerine ilişkin sınır dönme değerleri FEMA 356'dan alınmıştır. Çizelge 1.12'de görüleceği gibi kiriş mesnet kesitlerinde hemen kullanım performans seviyesi sağlanamamakta ancak, can güvenliği performans seviyesi sağlanmaktadır. S102 kolonunda ise, hemen kullanım performans seviyesi sağlanmaktadır.

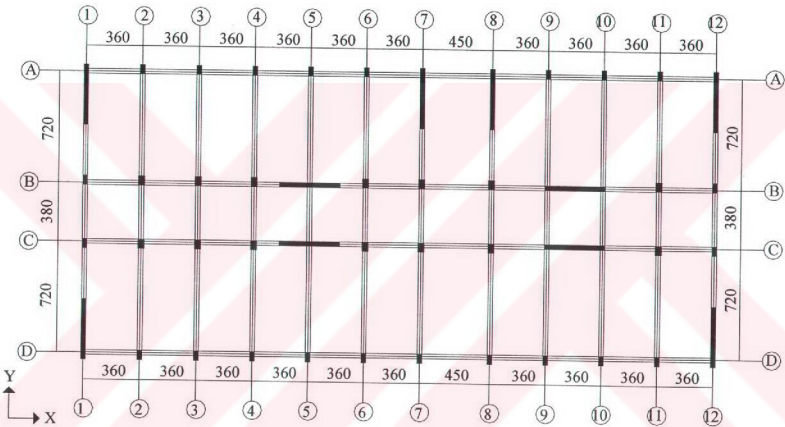
Çizelge 1.12 Performans değerlendirmesi

Eleman no	P	V	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargı donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$	θ_t	θ_y	θ_p	PLASTİK DÖNME AÇISI (rad)			Performans aralığı
									Hemen kullanımlı	Can güvenliği	Göçmenin önlenmesi	
K101sol	-	11	-0.11	Kuşatılmamış	0.24	0.00158	0.00756	-0.00598	0.005	0.01	0.02	HK-CG
K101sag	-	-116	0.11	Kuşatılmamış	-2.50	-0.00195	-0.00933	0.00738	0.005	0.01	0.018	HK-CG
K201sol	-	11	-0.11	Kuşatılmamış	0.24	0.00158	0.00781	-0.00623	0.005	0.01	0.02	HK-CG
K201sag	-	-116	0.11	Kuşatılmamış	-2.50	-0.00195	-0.00878	0.00683	0.005	0.01	0.018	HK-CG
Eleman no	P	V	$\frac{P}{A_g f'_c}$	Sargı donatısı	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$	θ_t	θ_y	θ_p	Hemen kullanımlı	Can güvenliği	Göçmenin önlenmesi	Performans aralığı
S102a	-242	136	-0.05	Kuşatılmamış	1.46	0.00400	0.00400	0.00000	0.005	0.005	0.006	AKMA-HK

2. MEVCUT BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

2.1 Yapının Güçlendirme Öncesi Taşıyıcı Sistemi

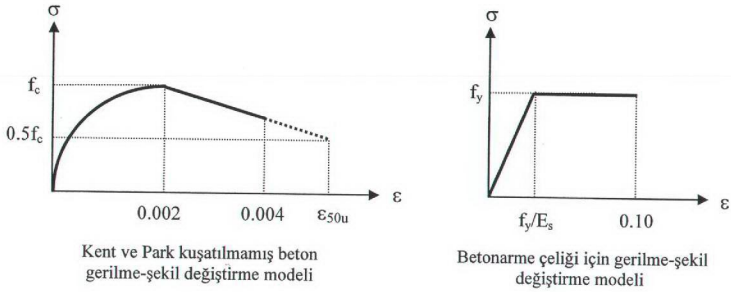
Necdet Semker İlköğretim Okulu bodrumsuz dört katlıdır; mevcut taşıyıcı sistemi her iki yönde, çerçeve ve perdelerden meydana gelmektedir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremini az hasarla atlattır (Bayındırlık Bakanlığı hasar sınıflandırmasına göre). YTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla mevcut beton dayanımı $f_{ck}=14$ MPa olarak belirlenmiştir. Yapıda kullanılan donatı S220 betonarme çeliğidir. Güçlendirme öncesi taşıyıcı sistem planı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Yapının güçlendirme öncesi taşıyıcı sistem planı

2.2 Kullanılan Malzeme Modelleri

Bu incelemede; beton davranış modeli olarak, Kent ve Park tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılmıştır (*Kent ve Park, 1971*). Mevcut taşıyıcı sistemde, etriye çap ve aralıkları için projede verilen değerlere ne derece uyulduğuna dair her hangi bir veri bulunmadığından, kuşatma etkisi dikkate alınmamıştır. Kuşatılmamış beton için, maksimum birim kısalma 0.004 alınmıştır (*Ersoy ve Özcebe, 2001*). Betonarme çeliği için kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli ideal elastoplastiktir ve ilgili parametreler TS500'den alınmıştır. Kullanılan tüm gerilme-şekil değiştirme modelleri Şekil 2.2'de görülebilir.



Şekil 2.2 Kullanılan malzeme modelleri

2.3 Diğer Tasarım Parametreleri

Plastik mafsalların taşıyıcı sistem elemanlarının uçlarında oluşacağı kabul edilmiş ve plastik mafsalları için kesit yüksekliği yarısı “ $h/2$ ” değeri kullanılmıştır (*ATC-40*). Kat kütle ve yüksekliklerinin her katta hemen hemen aynı olması göz önünde bulundurularak, statik itme çözümlemesinde yatay yük dağılımı üçgen seçilmiştir. Statik itme çözümlemesi SAP2000 yazılımı ile yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının yük-şekil değiştirme ilişkilerini tanımlamak üzere kirişler için moment-eğrilik diyagramları, kolon ve perdeler için ise akma yüzeyleri tanımlanmıştır. Kolonlarda ve perdelerde, kesitin aktıktan sonraki rijitliği “0” yani yük-şekil değiştirme ilişkisi ideal elastoplastik alınmıştır. Bu diyagramlar ve akma yüzeyleri MATLAB yazılımı ile hazırlanan programlarla elde edilmiş ve yapılan kabuller Ek 1’de açıklanmıştır.

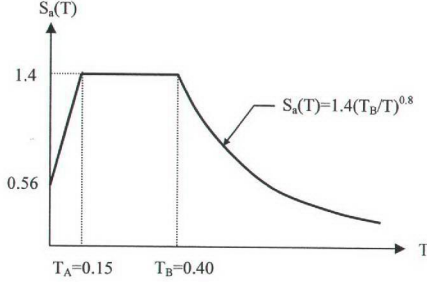
2.4 Kapasite Eğrileri ve En Büyük Yer Değiştirmelerin Hesabı

Yapının her iki yöndeki kapasite eğrileri statik itme çözümlemesiyle elde edilmiş ve tasarım depremi altında oluşacak en büyük doğrusal olmayan yer değiştirme FEMA-356’da verilen katsayılar yöntemi ile hesaplanmıştır. Katsayılar yöntemi en büyük doğrusal olmayan yer değiştirmeyi aşağıdaki eşitlik ile vermektedir:

$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_c^2}{4\pi^2} g \quad (2.1)$$

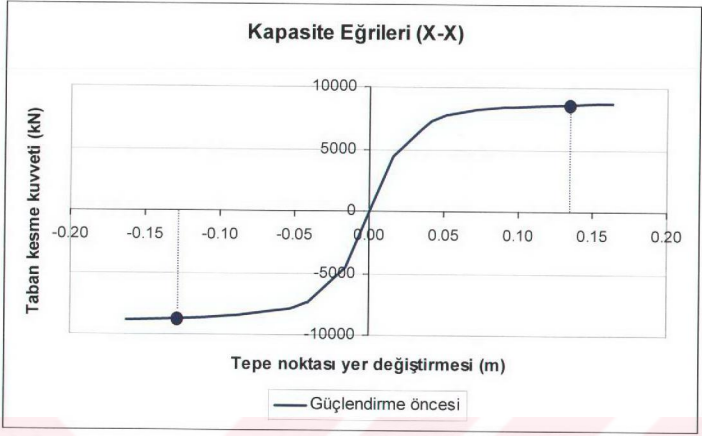
(2.1) eşitliğindeki katsayılar bölüm 1.2.1.2.1’de detaylı olarak açıklanmıştır. Spektral ivme değeri için Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’te birinci derece

deprem bölgesi ve Z2 sınıfı zemin için verilmiş olan ivme değeri (yapı önem katsayısı 1.4) kullanılmıştır (Şekil 2.3). T_e idealize edilmiş yatay yük-yer değiştirme eğrisinden elde edilen eşdeğer periyot ve g ise yerçekimi ivmesidir.

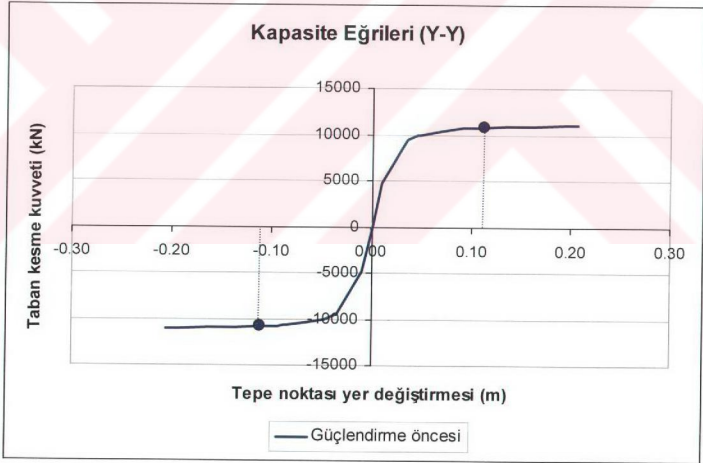


Şekil 2.3 Elastik tasarım ivme spektrumu (ABYYHY, 1998)

Mevcut taşıyıcı sistemin, statik itme çözümlemesiyle elde edilen kapasite eğrileri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te verilmiştir. Bu kapasite eğrilerinin idealize edilmesiyle elde edilen parametreler (akma taban kesme kuvveti, akma yer değiştirmesi, eşdeğer periyot, en büyük yer değiştirme) Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Çizelgede, +X ve -X (Çizelge 2.2'de +Y ve -Y) yönleri için verilmiş ilk satırlar, statik itme çözümlemesi ile elde edilen eğrinin idealize edilmesiyle bulunan değerlerdir. (2.1) eşitliği ile bulunan en büyük yer değiştirme değeri (u_1) ile kapasite eğrisinin son noktası (ilk iterasyonda hedef yer değiştirme için tahmin edilen nokta, $u_{1\text{tahmin}}$) arasında çok fark olduğu için (%5'ten fazla), ikinci adımda; kapasite eğrisi, ilk adım sonunda (2.1) ile bulunan en büyük yer değiştirme (0.138m) esas alınarak ikinci kez idealleştirilmiştir. Bu adımda bulunan en büyük yer değiştirme değeri ile bir önceki adımda bulunan arasında çok küçük bir fark vardır (0.138m ve 0.137m). Bu durumda tahmin edilen en büyük yer değiştirme değeri 0.137m'dir.



Şekil 2.4 X-X doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme öncesi)



Şekil 2.5 Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme öncesi)

Çizelge 2.1 X-X doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme öncesi)

	T_i	T_e	V_y (kN)	u_y (m)	u_{tahmin} (m)	u_t (m)
+X	0.53	0.60	7700	0.035	0.163	0.138
		0.59	7820	0.035	0.138	0.137
-X	0.53	0.56	-7650	-0.030	-0.162	-0.127
		0.56	-7475	-0.030	-0.127	-0.128

Çizelge 2.2 Y-Y doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme öncesi)

	T_i	T_e	V_y (kN)	u_y (m)	u_{tahmin} (m)	u_t (m)
+Y	0.41	0.48	10200	0.030	0.206	0.108
		0.49	9800	0.030	0.108	0.111
-Y	0.41	0.49	-10300	-0.030	-0.206	-0.110
		0.50	-10025	-0.030	-0.110	-0.111

Güçlendirme öncesi taşıyıcı sistemin, ABYYHY’te verilen tasarım depremi altındaki davranışına ilişkin bazı parametreler Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi)

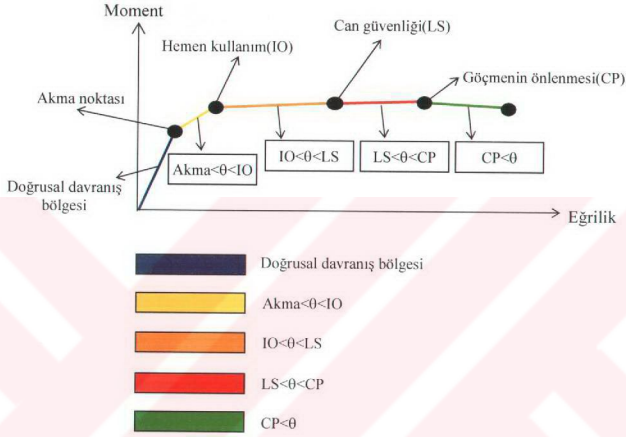
		u_t (m)	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_t/u_y)$	V_y/W	V_t/W
Güçlendirme öncesi	+X	0.137	3.95	3.91	0.22	0.25
Güçlendirme öncesi	-X	-0.128	4.31	4.27	0.21	0.25

Çizelge 2.4 Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi)

		u_t (m)	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_t/u_y)$	V_y/W	V_t/W
Güçlendirme öncesi	+Y	0.111	3.65	3.70	0.28	0.31
Güçlendirme öncesi	-Y	-0.111	3.55	3.70	0.28	0.31

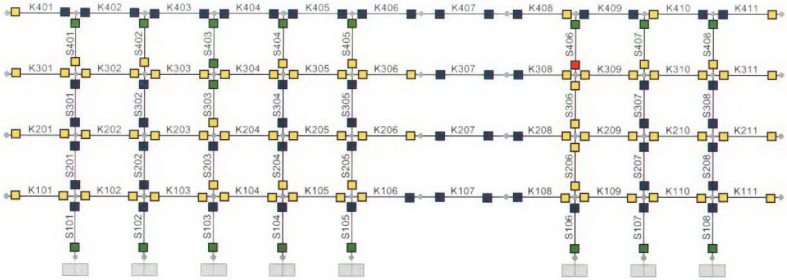
2.5 Performans Değerlendirmesi

Hedef yer değiştirme altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak doğrusal olmayan şekil değiştirmeler FEMA-356'da verilen kriterlere göre değerlendirilmiştir. Göz önüne alınan performans seviyeleri Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilmiştir. Mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının performans seviyeleri madde 2.5.1 ve 2.5.2'de görülebilir. Hedeflenen performans seviyesi, tüm elemanlar için "can güvenliği" performans seviyesidir.

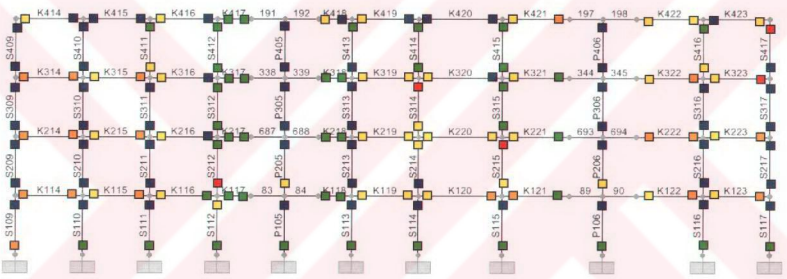


Şekil 2.6 Göz önüne alınan performans seviyeleri

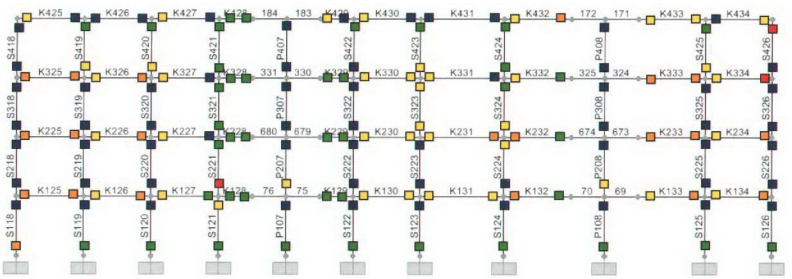
2.5.1 Pozitif Yönde (+X,+Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri



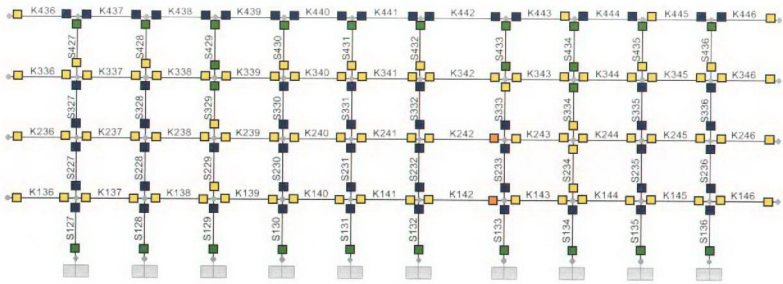
Şekil 2.7 A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



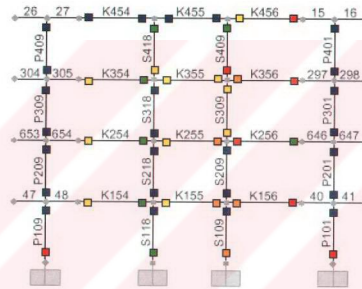
Şekil 2.8 B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



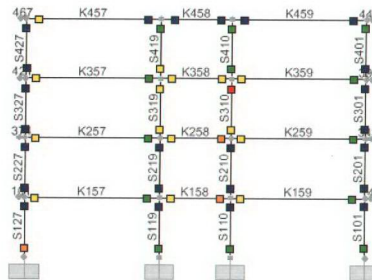
Şekil 2.9 C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

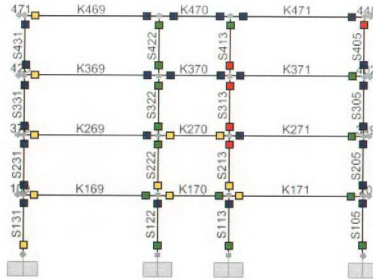


Şekil 2.10 D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

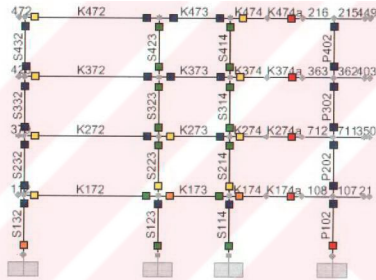


Şekil 2.11 1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

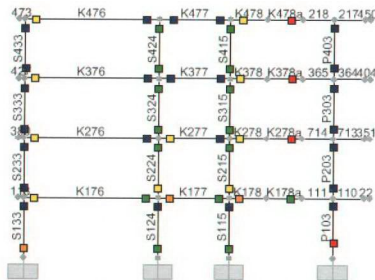




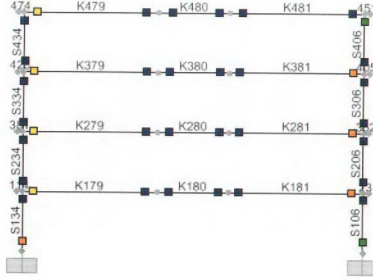
Şekil 2.16 6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



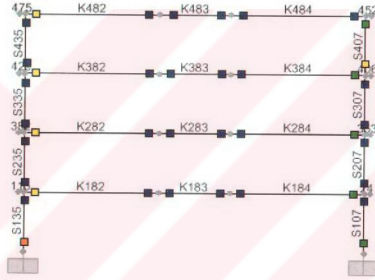
Şekil 2.17 7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



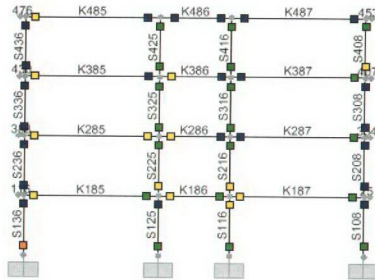
Şekil 2.18 8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



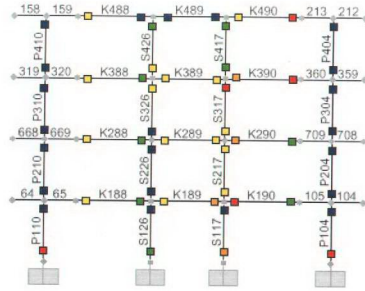
Şekil 2.19 9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 2.20 10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

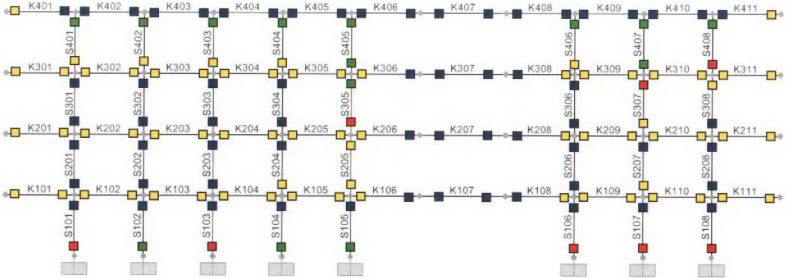


Şekil 2.21 11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

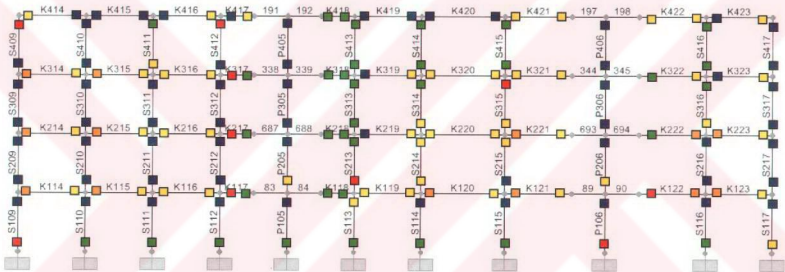


Şekil 2.22 12-12 aks taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

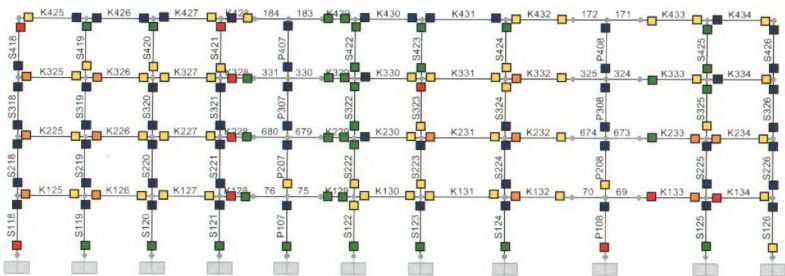
2.5.2 Negatif Yönde (-X,-Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri



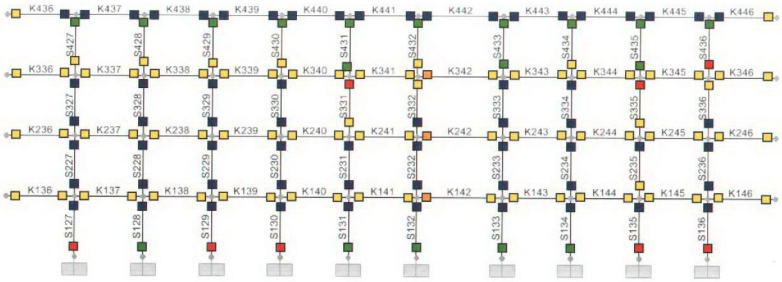
Şekil 2.23 A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



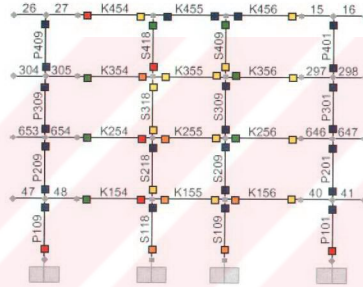
Şekil 2.24 B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



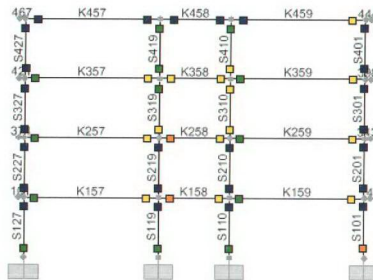
Şekil 2.25 C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



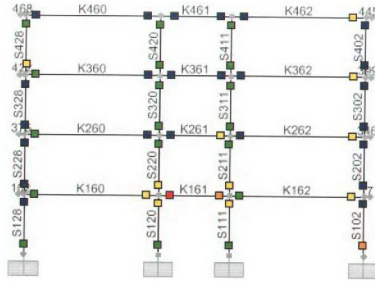
Şekil 2.26 D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



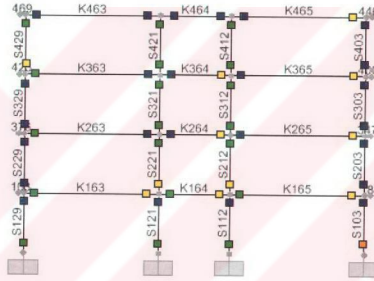
Şekil 2.27 1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



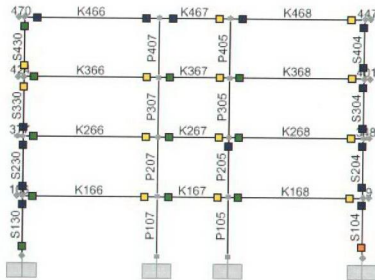
Şekil 2.28 2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



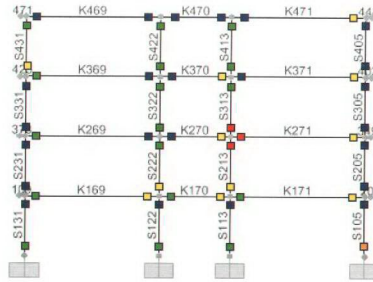
Şekil 2.29 3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



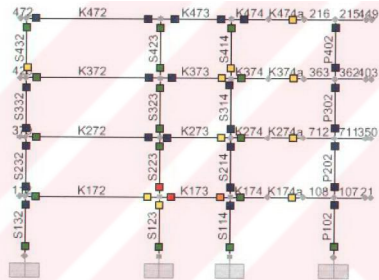
Şekil 2.30 4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



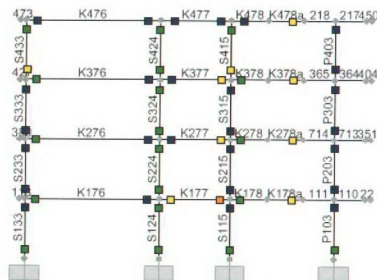
Şekil 2.31 5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



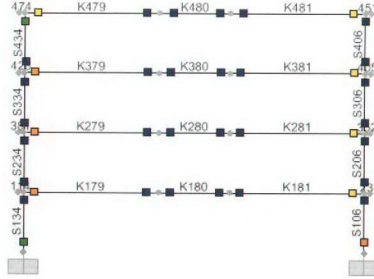
Şekil 2.32 6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 2.33 7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



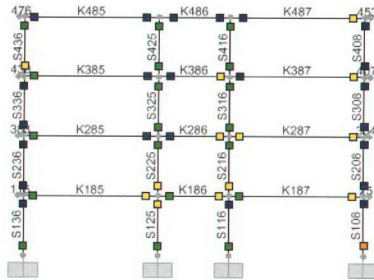
Şekil 2.34 8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 2.35 9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 2.36 10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

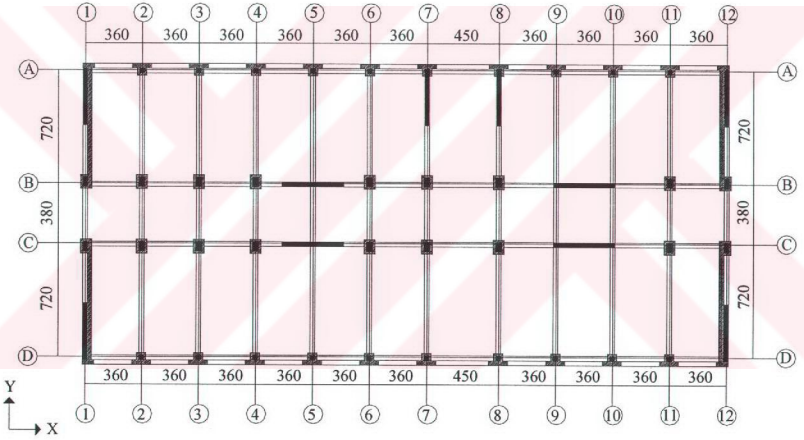


Şekil 2.37 11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

3. GELENEKSEL YÖNTEMLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

3.1 Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistemi

Güçlendirme projesi çerçevesinde yapının tüm kolonları mantolanmış ve Y-Y doğrultusundaki perdeler büyütülmüştür. Bununla beraber, X-X doğrultusunda, her iki dış aksa yapı dışından yeni kirişler eklenmiş ve bu kirişler dış akslardaki mevcut çerçevelerle beraber çalışmak üzere birleştirilerek bir çeşit yeni betonarme çerçeve oluşturulmuştur. Mevcut kirişlere ise herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Taşıyıcı sisteme ilave edilen elemanlarda kullanılan beton sınıfı C25, çelik sınıfı ise eğilme donatıları için S420a ve kayma donatıları için de S220'dir. Güçlendirme sonrası taşıyıcı sistem planı Şekil 3.1'de verilmiştir.

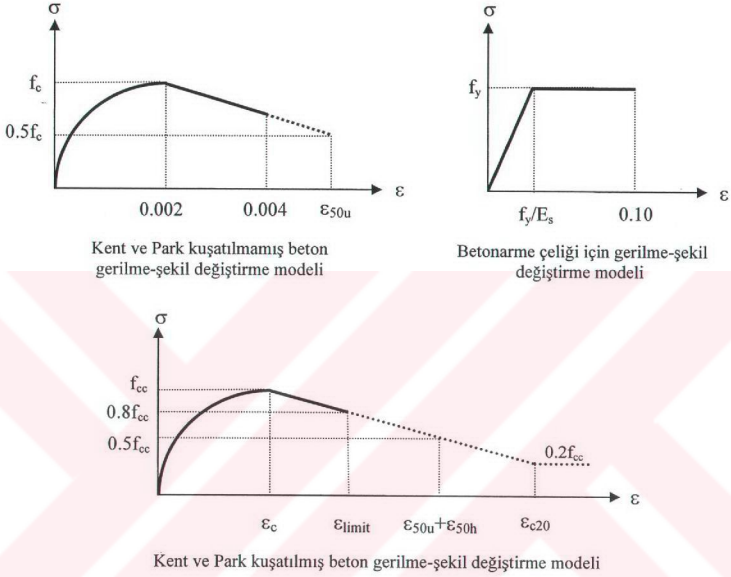


Şekil 3.1 Yapının güçlendirme sonrası taşıyıcı sistem planı

3.2 Kullanılan Malzeme Modelleri

Bu incelemede; beton davranış modeli olarak, Kent ve Park tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılmıştır (*Kent ve Park, 1971*). Mevcut taşıyıcı sistemde, etriye çap ve aralıkları için projede verilen değerlere ne derece uyulduğuna dair her hangi bir veri bulunmadığından, kuşatma etkisi dikkate alınmamıştır. Taşıyıcı sisteme ilave edilen elemanlarda ise önemli sayılabilecek bir kuşatma etkisinin bulunacağı öngörülmüş ve bu etki

hesaplara yansıtılmıştır. Kuşatılmamış beton için, maksimum birim kısalma 0.004 alınmıştır (Ersoy ve Özcebe, 2001). Betonarme çeliği için kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli ideal elastoplastiktir ve ilgili parametreler TS500'den alınmıştır. Kullanılan tüm gerilme-şekil değiştirme modelleri Şekil 3.2'de görülebilir.



Şekil 3.2 Kullanılan malzeme modelleri

3.3 Diğer Tasarım Parametreleri

Plastik mafsalların taşıyıcı sistem elemanlarının uçlarında oluşacağı kabul edilmiş ve plastik mafsal boyları için kesit yüksekliği yarısı " $h/2$ " değeri kullanılmıştır (ATC-40). Kat kütle ve yüksekliklerinin her katta hemen hemen aynı olması göz önünde bulundurularak, statik itme çözümlemesinde yatay yük dağılımı üçgen seçilmiştir. Statik itme çözümlemesi SAP2000 yazılımı ile yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının yük-şekil değiştirme ilişkilerini tanımlamak üzere kirişler için moment-eğrilik diyagramları, kolon ve perdeler için ise akma yüzeyleri tanımlanmıştır. Kolonlarda ve perdelerde, kesitin aktıktan sonraki rijitliği "0" yani yük-şekil değiştirme ilişkisi ideal elastoplastik alınmıştır. Bu diyagramlar ve akma yüzeyleri MATLAB yazılımı ile hazırlanan programlarla elde edilmiş ve

yapılan kabuller Ek 1’de açıklanmıştır.

3.4 Kapasite Eğrileri ve En Büyük Yer Değiştirmelerin Hesabı

Yapının her iki doğrultudaki kapasite eğrileri ve tasarım depremi altında oluşacak en büyük doğrusal olmayan yer değiştirme değerleri bölüm 2.4’te açıklandığı gibi hesaplanmıştır.

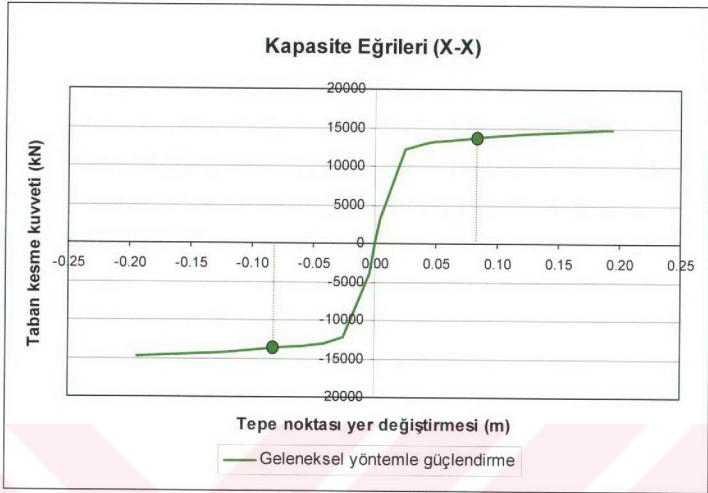
GYG (Geleneksel Yöntemlerle Güçlendirilmiş) taşıyıcı sistemin, statik itme çözümlemesiyle elde edilen kapasite eğrileri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’te verilmiştir. Bu kapasite eğrilerinin idealize edilmesiyle elde edilen parametreler (akma taban kesme kuvveti, akma yer değiştirmesi, eşdeğer periyot, en büyük yer değiştirme) Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Çizelgede; +X ve -X (Çizelge 3.2’de +Y ve -Y) yönleri için verilmiş ilk satırlar, statik itme çözümlemesi ile elde edilen eğrinin idealize edilmesiyle bulunan değerlerdir. (2.1) eşitliği ile bulunan en büyük yer değiştirme değeri (u_t) ile kapasite eğrisinin son noktası (ilk iterasyonda hedef yer değiştirme için tahmin edilen nokta, u_{tahmin}) arasında çok fark olduğu için (%5’ten fazla), ikinci adımda; kapasite eğrisi, ilk adım sonunda (2.1) ile bulunan en büyük yer değiştirme (0.085m) esas alınarak ikinci kez idealleştirilmiştir. Bu adımda bulunan en büyük yer değiştirme değeri ile bir önceki adımda bulunan arasında çok küçük bir fark vardır (0.085m ve 0.083m). Bu durumda tahmin edilen en büyük yer değiştirme değeri 0.083m’dir.

Çizelge 3.1 X-X doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)

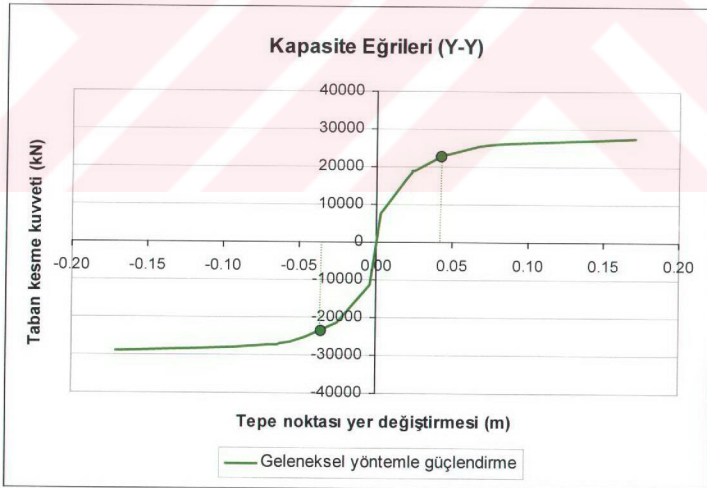
	T_i	T_e	V_y (kN)	u_y (m)	$u_{tahmin}(m)$	$u_t(m)$
+X	0.31	0.39	13150	0.0245	0.194	0.085
		0.38	12650	0.023	0.085	0.083
-X	0.31	0.40	-13150	-0.0253	-0.194	-0.086
		0.39	-12650	-0.023	-0.086	-0.084

Çizelge 3.2 Y-Y doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)

	T_i	T_e	V_y (kN)	u_y (m)	$u_{tahmin}(m)$	$u_t(m)$
+Y	0.17	0.28	23900	0.025	0.171	0.044
		0.28	19700	0.020	0.044	0.045
-Y	0.17	0.27	-26000	-0.025	-0.170	-0.042
		0.24	-20100	-0.015	-0.042	-0.037
		0.24	-20300	-0.015	-0.037	-0.037



Şekil 3.3 X-X doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)

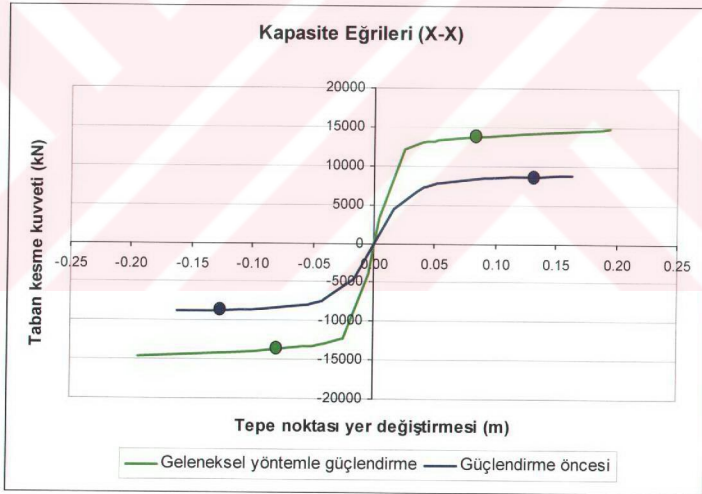


Şekil 3.4 Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)

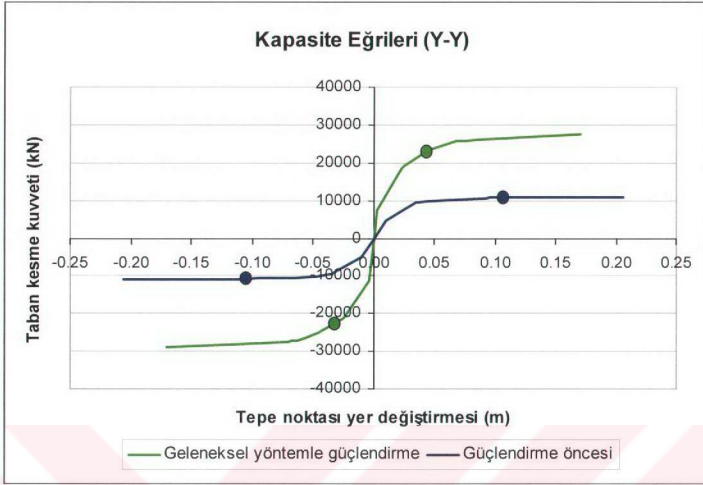
Güçlendirme öncesinde ve sonrasındaki taşıyıcı sistemlerin, ABYYHY’te verilen tasarım depremi altındaki davranışlarına ilişkin bazı parametreler Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te; karşılaştırmalı kapasite eğrileri ve performans noktaları Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.3 X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)

		$u_i(m)$	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_i/u_y)$	V_y/W	V_i/W
Güçlendirme öncesi	+X	0.137	3.95	3.91	0.22	0.25
Güçlendirme sonrası	+X	0.083	3.33	3.61	0.36	0.39
Güçlendirme öncesi	-X	-0.128	4.31	4.27	0.21	0.25
Güçlendirme sonrası	-X	-0.084	3.33	3.65	0.36	0.39



Şekil 3.5 X-X doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri



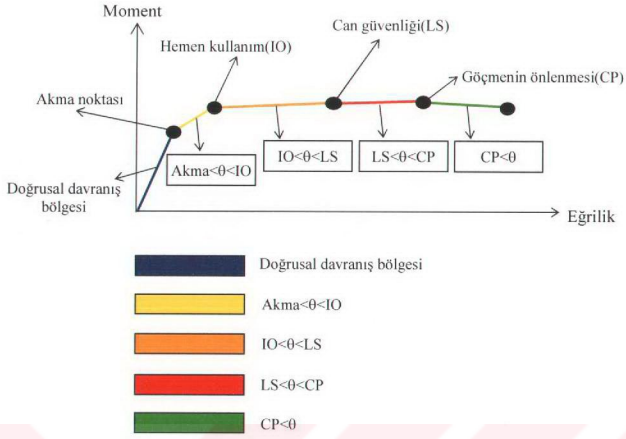
Şekil 3.6 Y-Y doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri

Çizelge 3.4 Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)

		$u_i(m)$	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_e/u_y)$	V_y/W	V_f/W
Güçlendirme öncesi	+Y	0.111	3.65	3.70	0.28	0.31
Güçlendirme sonrası	+Y	0.045	2.14	2.25	0.56	0.65
Güçlendirme öncesi	-Y	-0.111	3.55	3.70	0.28	0.31
Güçlendirme sonrası	-Y	-0.037	2.08	2.47	0.57	0.66

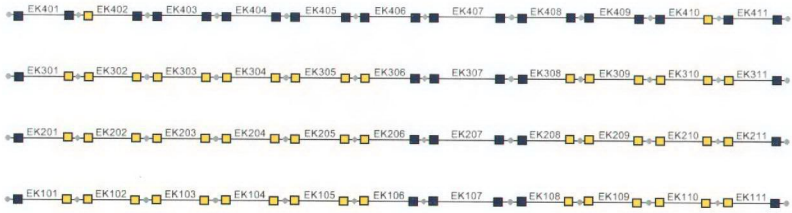
3.5 Performans Değerlendirmesi

Hedef yer değiştirme altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak doğrusal olmayan şekil değiştirmeler FEMA-356'da verilen kriterlere göre değerlendirilmiştir. Göz önüne alınan performans seviyeleri Şekil 3.7'de şematik olarak gösterilmiştir. Mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının performans seviyeleri madde 3.5.1 ve 3.5.2'de görülebilir. Hedeflenen performans seviyesi, tüm elemanlar için “*can güvenliği*” performans seviyesidir.

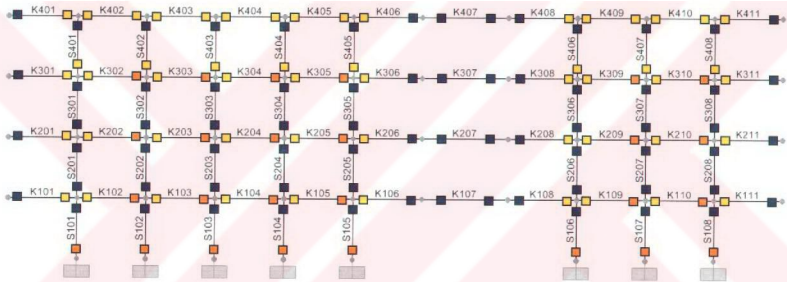


Şekil 3.7 Göz önüne alınan performans seviyeleri

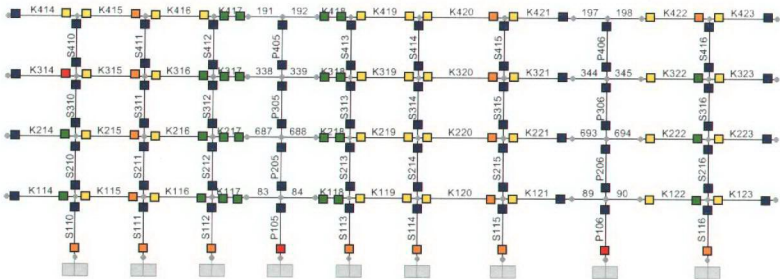
3.5.1 Pozitif Yönde (+X,+Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri



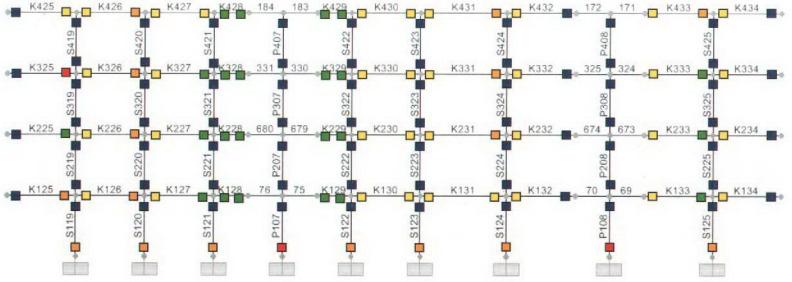
Şekil 3.8 A'-A' aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



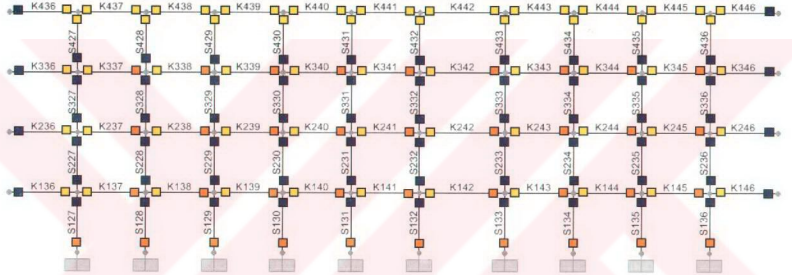
Şekil 3.9 A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



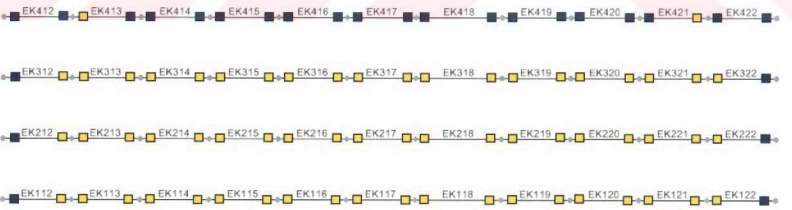
Şekil 3.10 B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



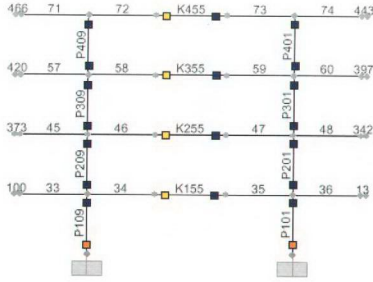
Şekil 3.11 C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



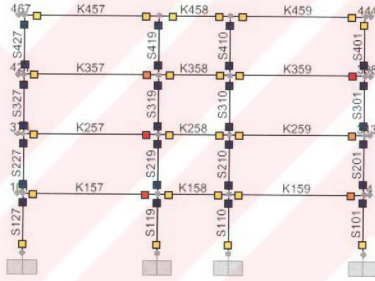
Şekil 3.12 D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



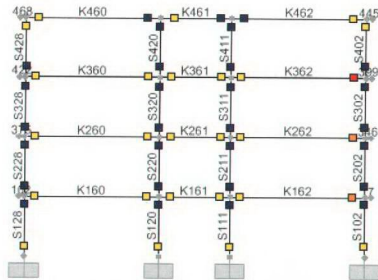
Şekil 3.13 D¹-D¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



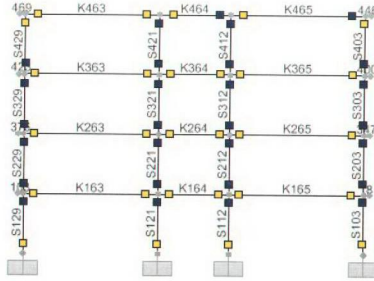
Şekil 3.14 1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



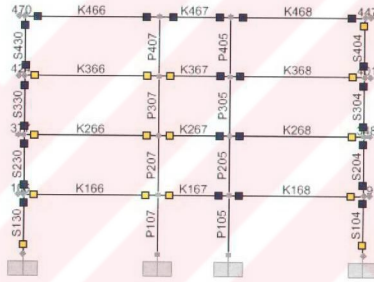
Şekil 3.15 2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



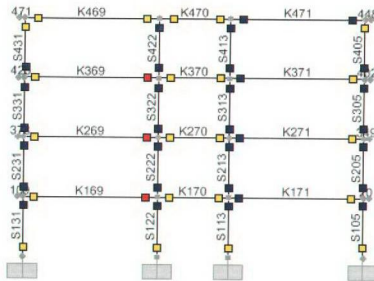
Şekil 3.16 3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



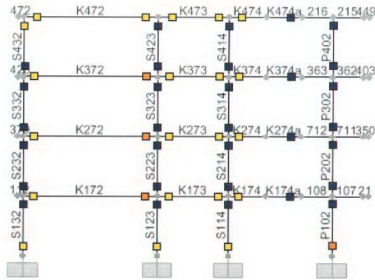
Şekil 3.17 4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



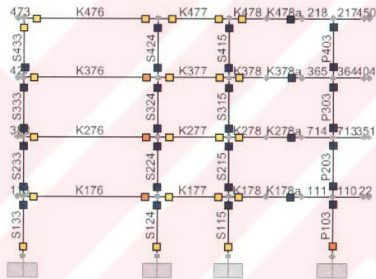
Şekil 3.18 5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



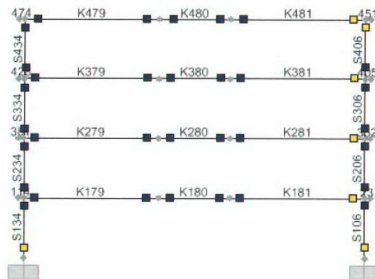
Şekil 3.19 6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



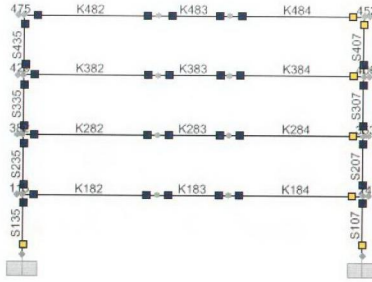
Şekil 3.20 7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



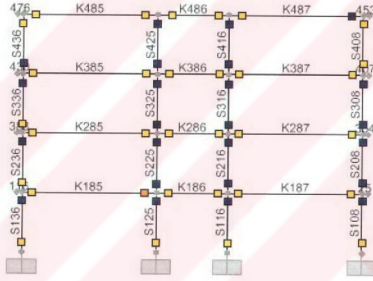
Şekil 3.21 8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



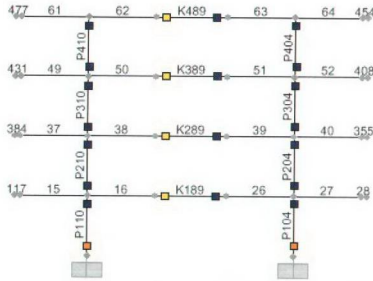
Şekil 3.22 9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 3.23 10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

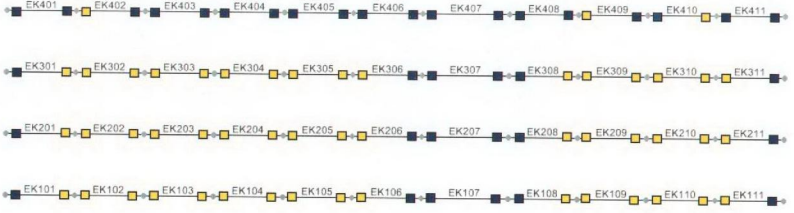


Şekil 3.24 11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

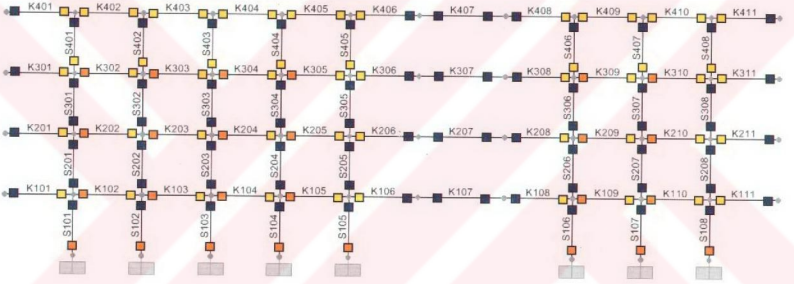


Şekil 3.25 12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

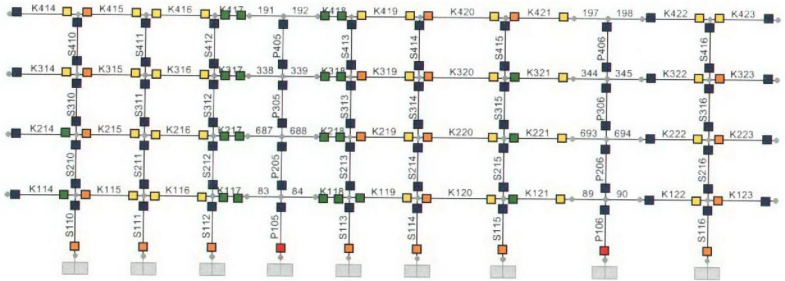
3.5.2 Negatif Yönde (-X,-Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri



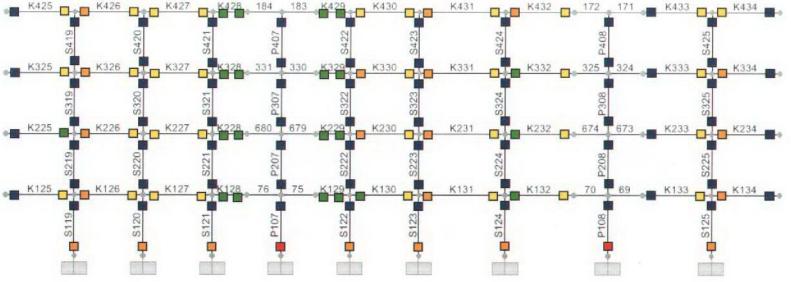
Şekil 3.26 A'-A' aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



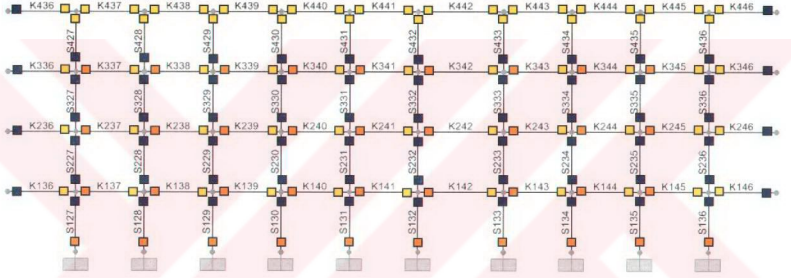
Şekil 3.27 A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



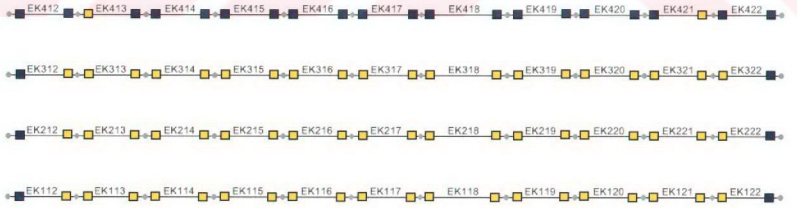
Şekil 3.28 B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



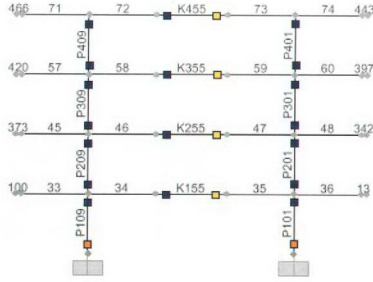
Şekil 3.29 C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



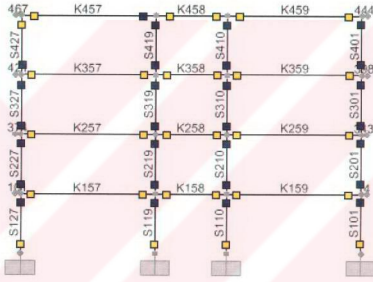
Şekil 3.30 D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



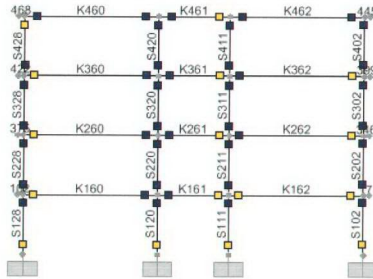
Şekil 3.31 D¹-D¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



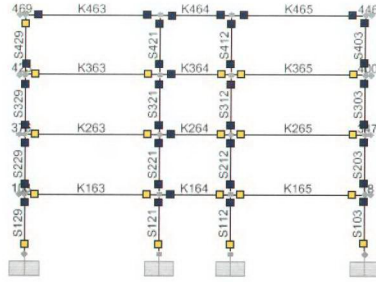
Şekil 3.32 1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



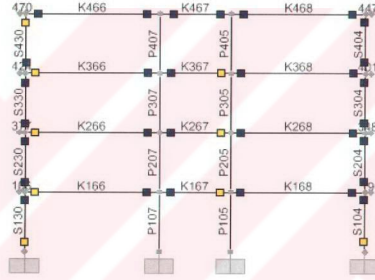
Şekil 3.33 2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



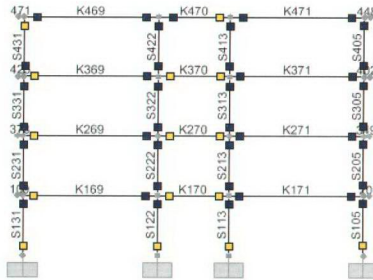
Şekil 3.34 3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



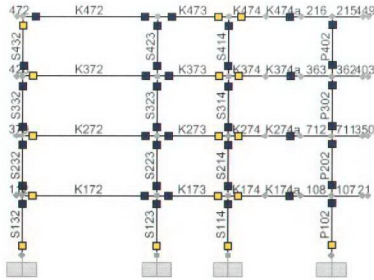
Şekil 3.35 4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



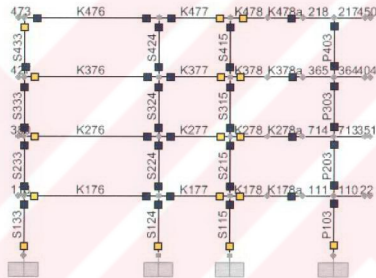
Şekil 3.36 5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



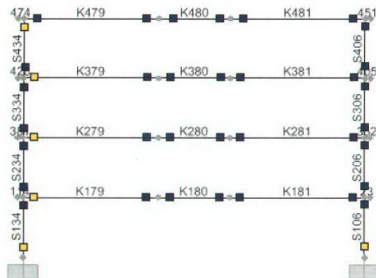
Şekil 3.37 6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



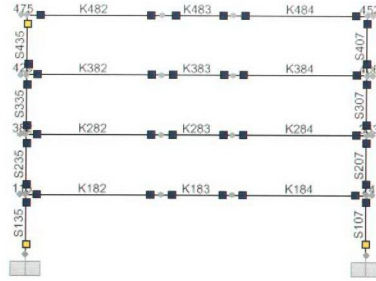
Şekil 3.38 7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



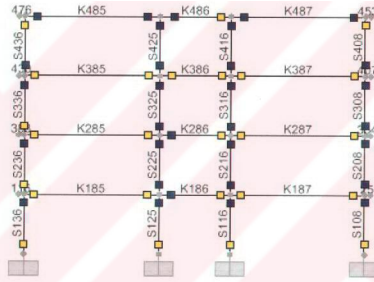
Şekil 3.39 8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



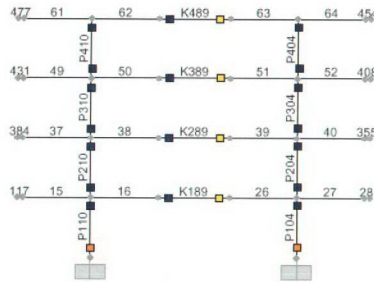
Şekil 3.40 9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 3.41 10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 3.42 11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

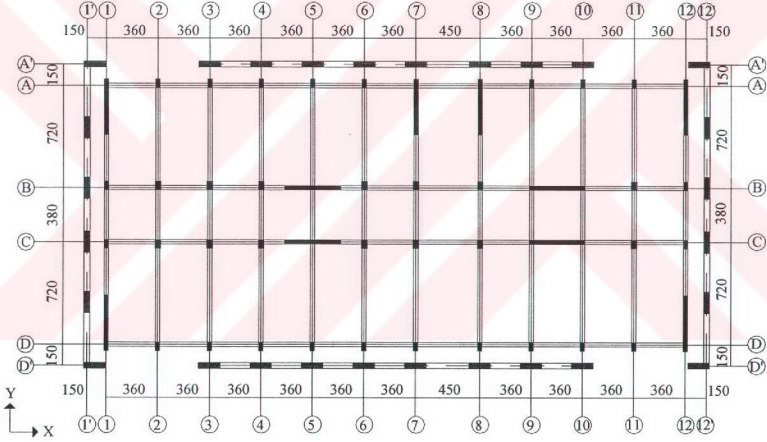


Şekil 3.43 12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

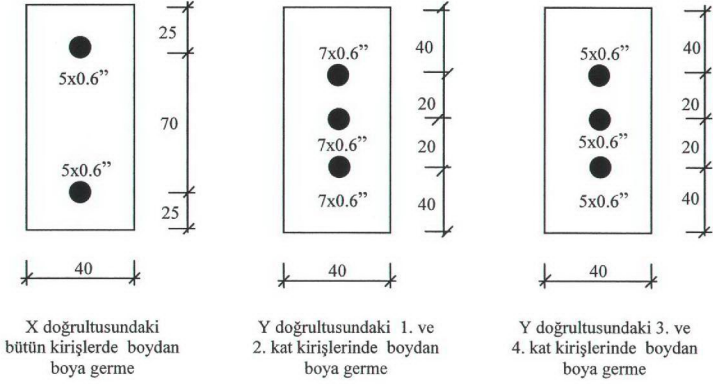
4. ALASAWA YÖNTEMİYLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

4.1 Yapının Güçlendirme Sonrası Taşıyıcı Sistemi

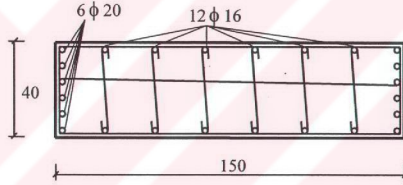
Yapıya; güçlendirme aşamasında dört kenarı boyunca betonarme ard-germeli çerçeveler eklenmesi ve bu çerçevelerin kat hizalarında betonarme plaklarla mevcut sisteme birleştirilmesi tasarlanmıştır. Eklenen çerçeveler ön-dökmümlü çerçeveler olup, kolonları yapı yüksekliğince sürekli olarak devam etmektedir. Kiriş-kolon birleşim bölgelerinde ard-germe halatları kullanılarak, düğüm noktalarında birleşim sağlanmaktadır. Yapıya ilave edilen çerçevelerde kullanılan beton sınıfı C50, donatı sınıfı ise S420'dir. Güçlendirme sonrası taşıyıcı sistem planı Şekil 4.1'de, eklenen ard-germeli çerçevede kullanılan kiriş kesitleri Şekil 4.2'de ve tipik bir kolon kesidi Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1 Yapının güçlendirme sonrası taşıyıcı sistem planı



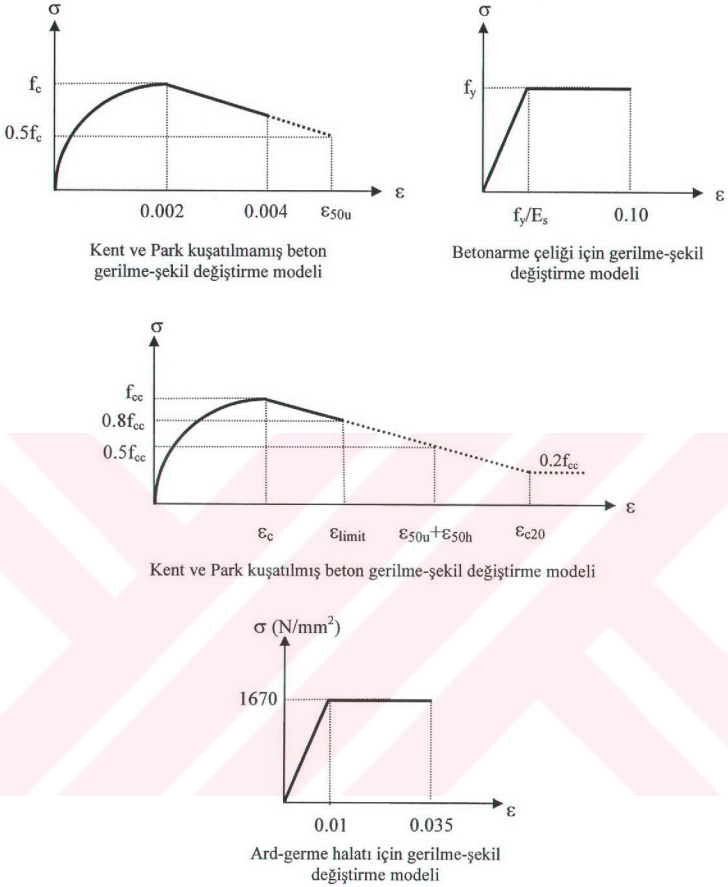
Şekil 4.2 Ard-germeli çerçevede kiriş kesitleri



Şekil 4.3 Ard-germeli çerçevede tipik kolon kesidi

4.2 Kullanılan Malzeme Modelleri

Bu incelemede; beton davranış modeli olarak, Kent ve Park tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılmıştır (Kent ve Park, 1971). Mevcut taşıyıcı sistemde, etriye çap ve aralıkları için projede verilen değerlere ne derece uyulduğuna dair her hangi bir veri bulunmadığından, kuşatma etkisi dikkate alınmamıştır. Taşıyıcı sisteme ilave edilen elemanlarda ise önemli sayılabilecek bir kuşatma etkisi öngörülmüş ve bu etki hesaplara yansıtılmıştır. Betonarme çeliği için kullanılan gerilme-şekil değiştirme modeli ideal elastoplastiktir ve ilgili parametreler TS500'den alınmıştır. Ard-germe halatları için kullanılan gerilme-şekil değiştirme değerleri tamamen test sonuçlarından hareketle belirlenmiştir (Testler üretici firma tarafından yapılmıştır). Kullanılan tüm gerilme-şekil değiştirme modelleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Kullanılan malzeme modelleri

4.3 Diğer Tasarım Parametreleri

Plastik mafsalların taşıyıcı sistem elemanlarının uçlarında oluşacağı kabul edilmiş ve plastik mafsalları için kesit yüksekliği yarısı " $h/2$ " değeri kullanılmıştır (ATC-40). Kat kütle ve yüksekliklerinin her katta hemen hemen aynı olması göz önünde bulundurularak, statik itme çözümlemesinde yatay yük dağılımı üçgen seçilmiştir. Statik itme çözümlemesi SAP2000 yazılımı ile yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının yük-

şekil değiştirme ilişkilerini tanımlamak üzere kirişler için moment-eğrilik diyagramları, kolon ve perdeler için ise akma yüzeyleri tanımlanmıştır. Kolonlar için yük-şekil değiştirme ilişkisi, mevcut kolonlarda elastoplastik, ilave kolonlarda ise ikili doğrusal (akma sonrası rijitliği başlangıç rijitliğinin %5'i) olarak alınmıştır. Bu diyagramlar ve akma yüzeyleri MATLAB yazılımı ile hazırlanan programlarla elde edilmiş ve yapılan kabuller Ek 1'de açıklanmıştır.

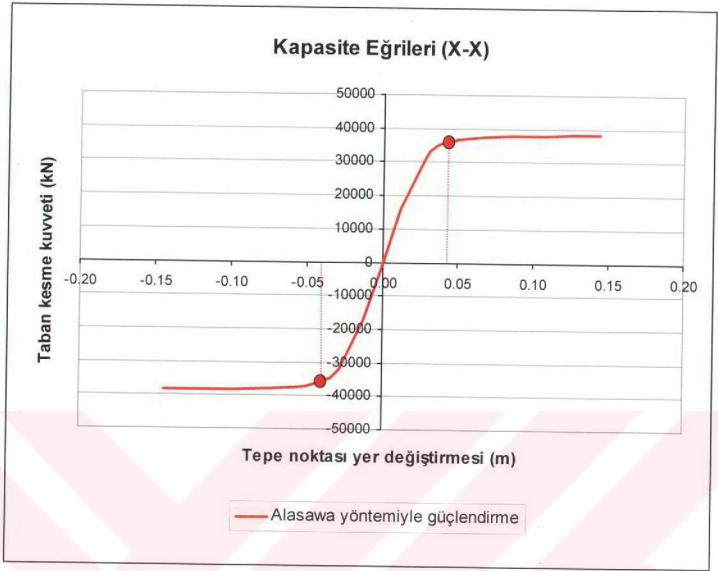
4.4 Kapasite Eğrileri ve En Büyük Yer Değiştirmelerin Hesabı

Yapının her iki yöndeki kapasite eğrileri ve tasarım depremi altında oluşacak en büyük doğrusal olmayan yer değiştirme değerleri bölüm 2.4'te açıklandığı gibi hesaplanmıştır.

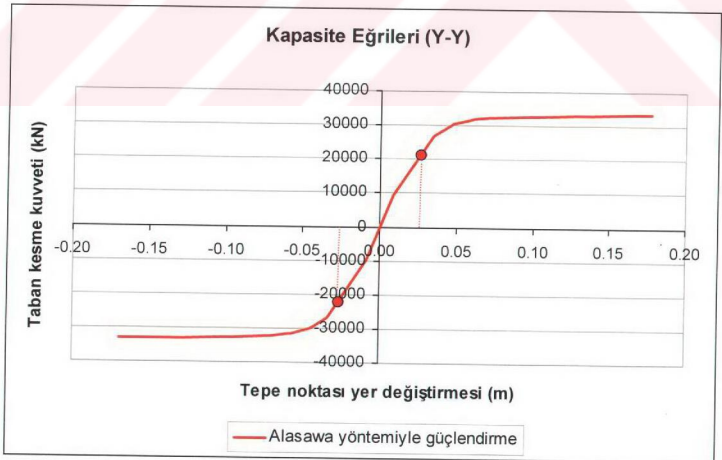
AYG (Alasawa Yöntemiyle Güçlendirilmiş) taşıyıcı sistemin, statik itme çözümlemesiyle elde edilen kapasite eğrileri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu kapasite eğrilerinin idealize edilmesiyle elde edilen parametreler (akma taban kesme kuvveti, akma yer değiştirmesi, eşdeğer periyot, en büyük yer değiştirme) Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Çizelgede, +X ve -X (Çizelge 4.2'de +Y ve -Y) yönleri için verilmiş ilk satırlar, statik itme çözümlemesi ile elde edilen eğrinin idealize edilmesiyle bulunan değerlerdir. (2.1) eşitliği ile bulunan en büyük yer değiştirme değeri (u_t) ile kapasite eğrisinin son noktası (ilk iterasyonda hedef yer değiştirme için tahmin edilen nokta, u_{tahmin}) arasında çok fark olduğu için (%5'ten fazla), ikinci adımda; kapasite eğrisi, ilk adım sonunda (2.1) ile bulunan en büyük yer değiştirme (0.048m) esas alınarak ikinci kez idealleştirilmiştir. Bu adımda, (2.1) ile bulunan en büyük yer değiştirme değeri ile bir önceki adımda bulunan arasında da %5'ten fazla fark olduğu için üçüncü adıma geçilir. Üçüncü adım sonunda bulunan en büyük yer değiştirme değeri (u_t) ile bir önceki adımda bulunan yer değiştirme değeri (u_{tahmin}) neredeyse eşittir (0.044m). Bu durumda tahmin edilen en büyük yer değiştirme değeri 0.044m'dir.

Çizelge 4.1 X-X doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)

	T_i	T_e	V_y (kN)	u_y (m)	u_{tahmin} (m)	u_t (m)
+X	0.28	0.32	37700	0.0344	0.144	0.048
		0.31	35600	0.03	0.048	0.044
		0.30	35650	0.03	0.044	0.044
-X	0.28	0.32	-36500	-0.0344	-0.144	-0.049
		0.31	-36700	-0.0312	-0.049	-0.044
		0.30	-36450	0.0305	-0.044	-0.0435



Şekil 4.5 X-X doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)



Şekil 4.6 Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri (Güçlendirme sonrası)

Çizelge 4.2 Y-Y doğrultusunda idealleştirme sonucu elde edilen parametreler (Güçlendirme sonrası)

	T_i	T_e	V_y (kN)	u_y (m)	$u_{tahmin}(m)$	$u_t(m)$
+Y	0.23	0.26	31650	0.0375	0.177	0.031
		0.23	Elastik	Elastik	0.031	0.025
-Y	0.23	0.27	-31650	-0.0375	-0.170	-0.035
		0.23	Elastik	Elastik	-0.035	-0.025

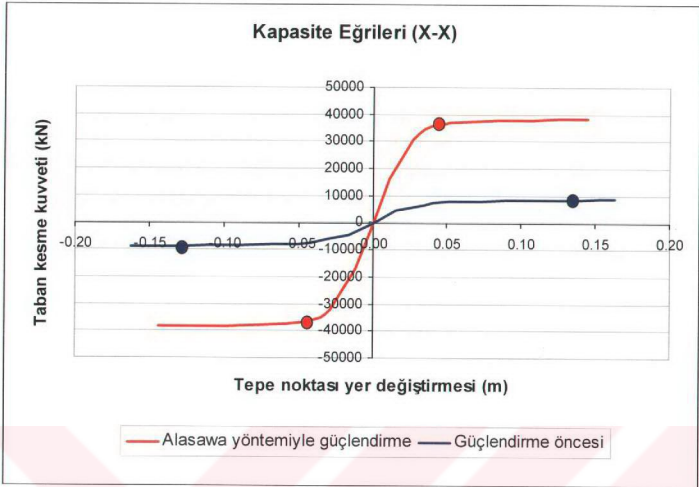
Güçlendirme öncesinde ve sonrasındaki taşıyıcı sistemlerin, ABYYHY’te verilen tasarım depremi altındaki davranışlarına ilişkin bazı parametreler Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te; karşılaştırmalı kapasite eğrileri ve performans noktaları Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)

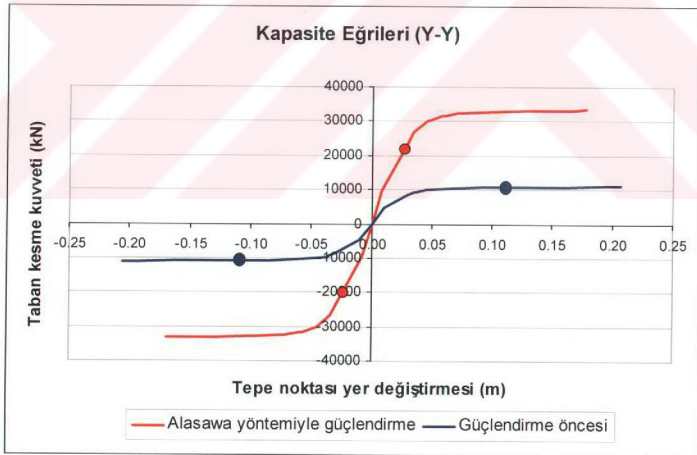
		$u_t(m)$	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_t/u_y)$	V_y/W	V_t/W
Güçlendirme öncesi	+X	0.137	3.95	3.91	0.22	0.25
Güçlendirme sonrası	+X	0.044	1.18	1.46	1.01	1.02
Güçlendirme öncesi	-X	-0.128	4.31	4.27	0.21	0.25
Güçlendirme sonrası	-X	-0.0435	1.16	1.43	1.03	1.03

Çizelge 4.4 Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar (Güçlendirme öncesi ve sonrası)

		$u_t(m)$	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_t/u_y)$	V_y/W	V_t/W
Güçlendirme öncesi	+Y	0.111	3.65	3.70	0.28	0.31
Güçlendirme sonrası	+Y	0.025	Elastik	Elastik	Elastik	0.57
Güçlendirme öncesi	-Y	-0.111	3.55	3.70	0.28	0.31
Güçlendirme sonrası	-Y	-0.025	Elastik	Elastik	Elastik	0.57



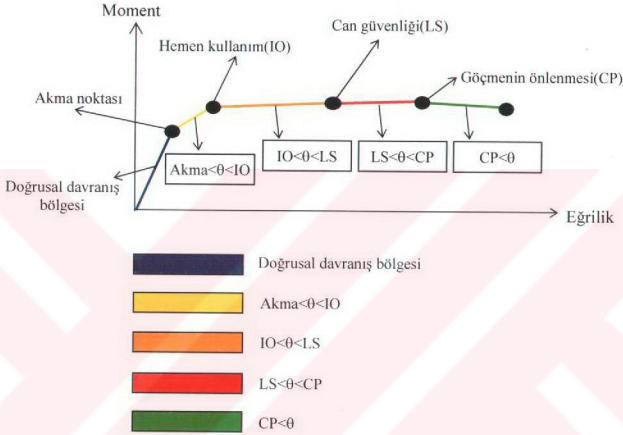
Şekil 4.7 X-X doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri



Şekil 4.8 Y-Y doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri

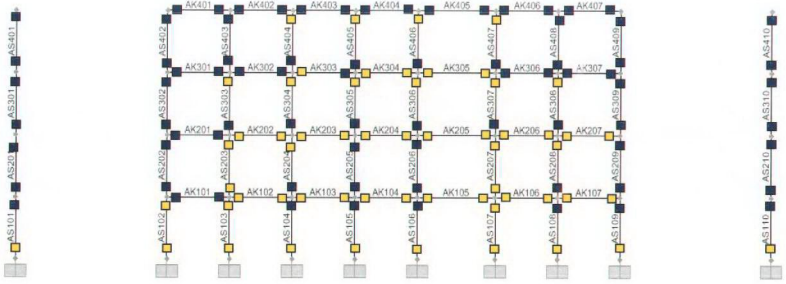
4.5 Performans Değerlendirmesi

Hedef yer değiştirme altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak doğrusal olmayan şekil değiştirmeler FEMA-356'da verilen kriterlere göre değerlendirilmiştir. Göz önüne alınan performans seviyeleri Şekil 4.9'da şematik olarak gösterilmiştir. Mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının performans seviyeleri madde 4.5.1 ve 4.5.2'de görülebilir. Hedeflenen performans seviyesi, tüm elemanlar için “*can güvenliği*” performans seviyesidir.

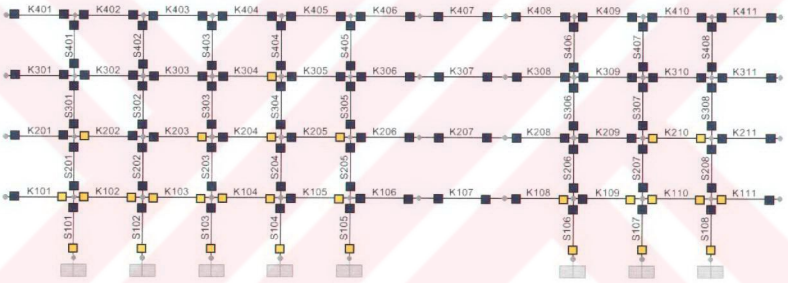


Şekil 4.9 Göz önüne alınan performans seviyeleri

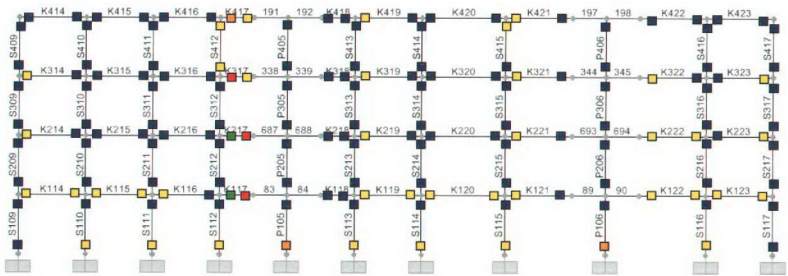
4.5.1 Pozitif Yönde (+X,+Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri



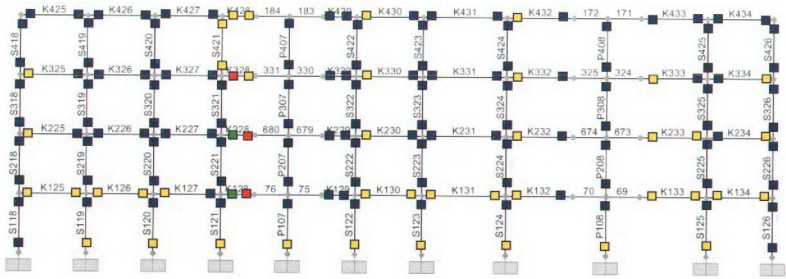
Şekil 4.10 A¹-A¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



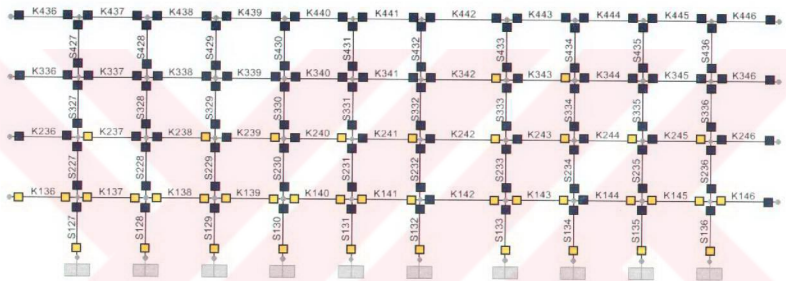
Şekil 4.11 A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



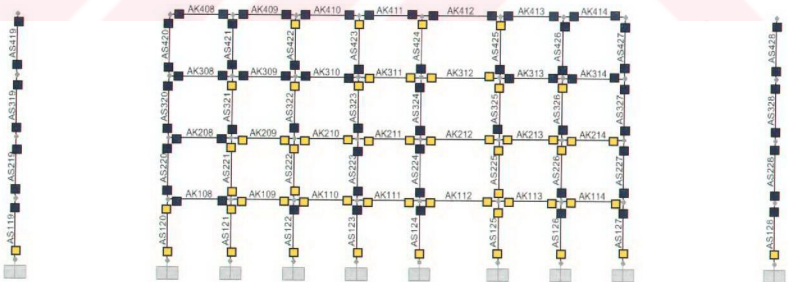
Şekil 4.12 B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



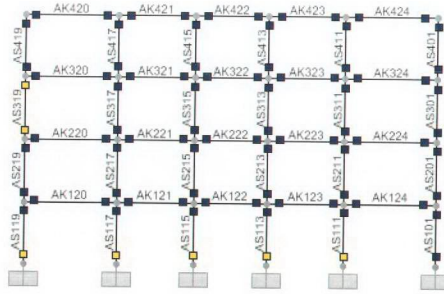
Şekil 4.13 C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



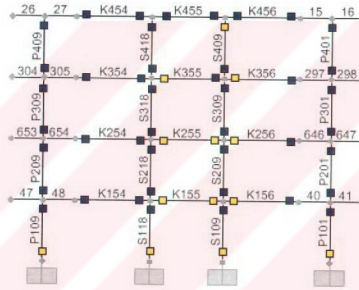
Şekil 4.14 D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



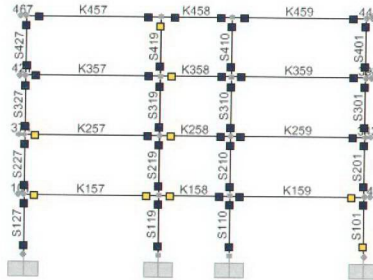
Şekil 4.15 D¹-D¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



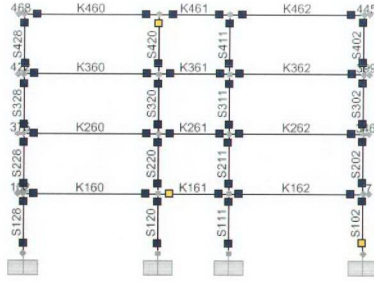
Şekil 4.16 1¹-1¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



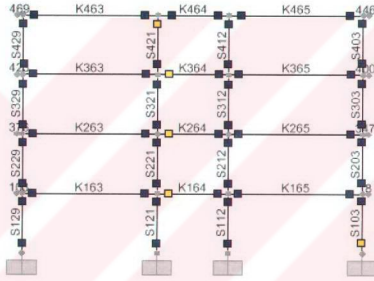
Şekil 4.17 1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



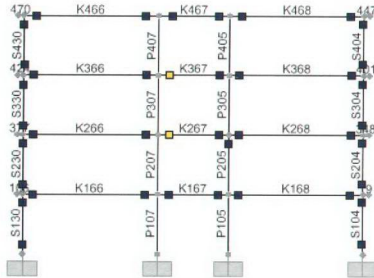
Şekil 4.18 2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



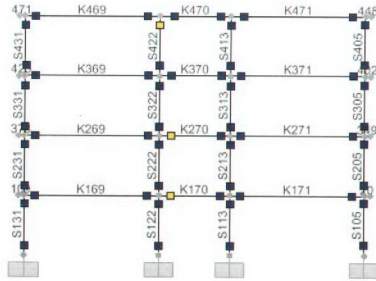
Şekil 4.19 3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



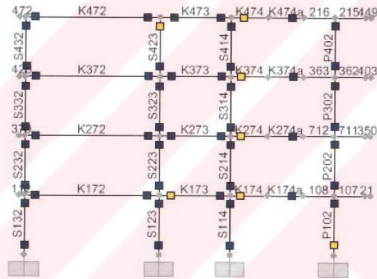
Şekil 4.20 4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



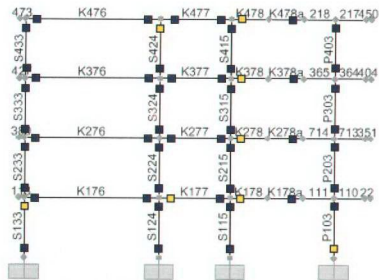
Şekil 4.21 5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



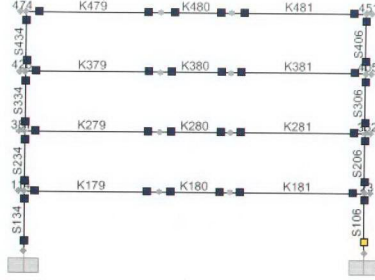
Şekil 4.22 6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 4.23 7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



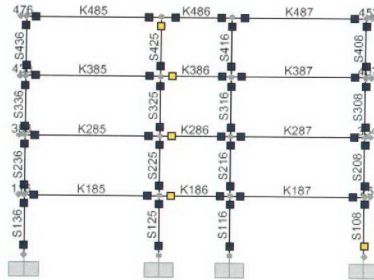
Şekil 4.24 8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



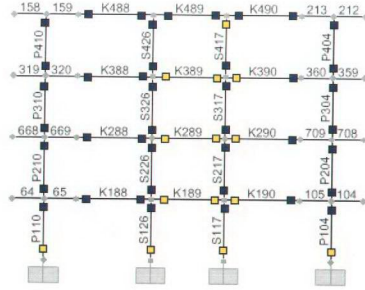
Şekil 4.25 9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



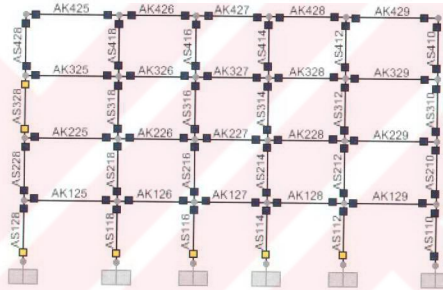
Şekil 4.26 10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 4.27 11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

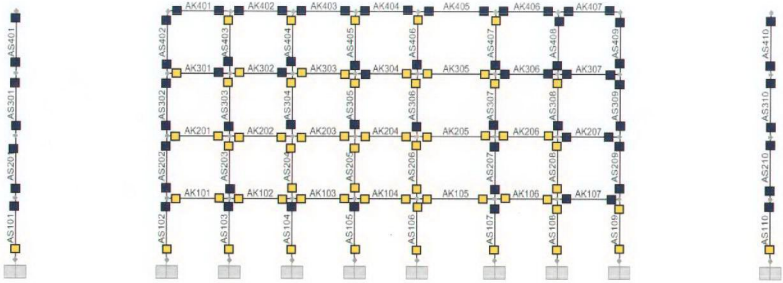


Şekil 4.28 12-12 aks taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

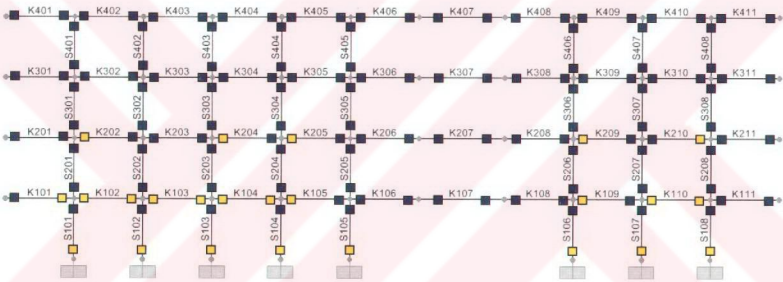


Şekil 4.29 12¹-12¹ aks taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

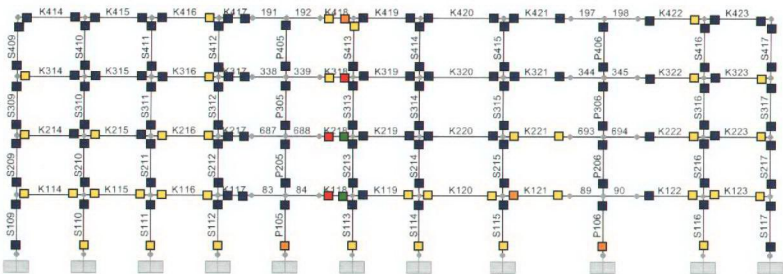
4.5.2 Negatif Yönde (-X,-Y) Yapılan Çözüm Sonucu Bulunan Performans Seviyeleri



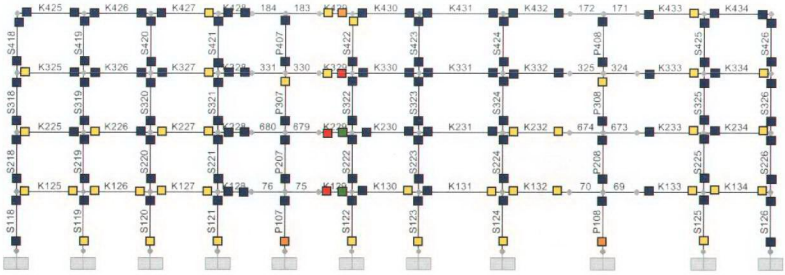
Şekil 4.30 A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



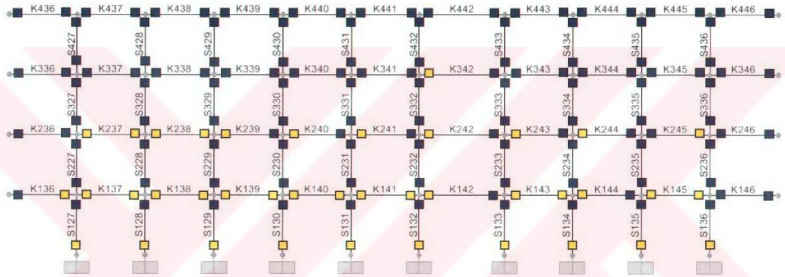
Şekil 4.31 A-A aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



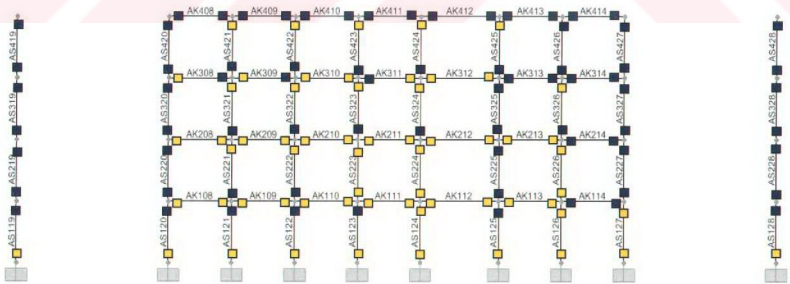
Şekil 4.32 B-B aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

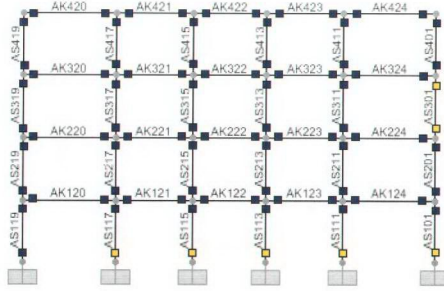


Şekil 4.33 C-C aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

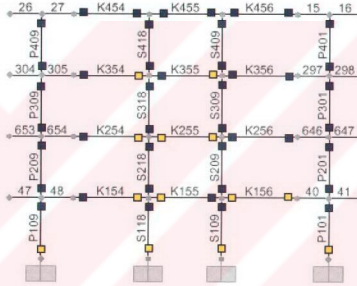


Şekil 4.34 D-D aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

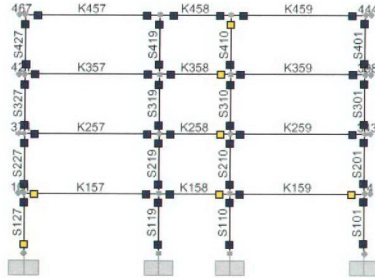




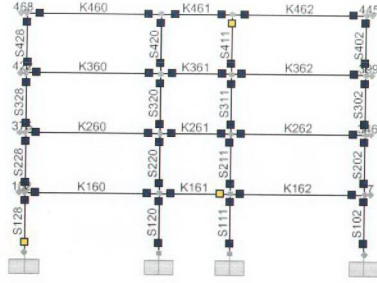
Şekil 4.36 1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



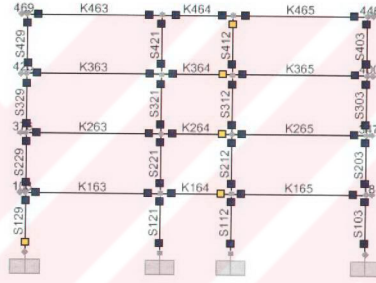
Şekil 4.37 1-1 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



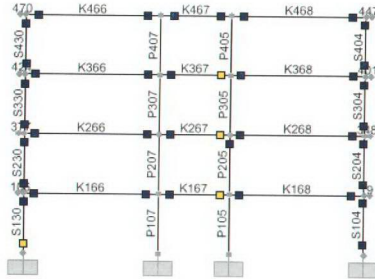
Şekil 4.38 2-2 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



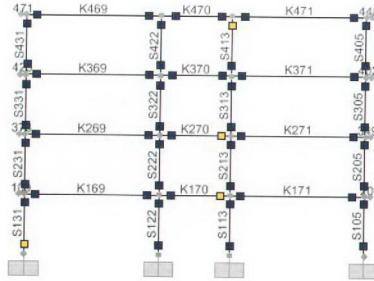
Şekil 4.39 3-3 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



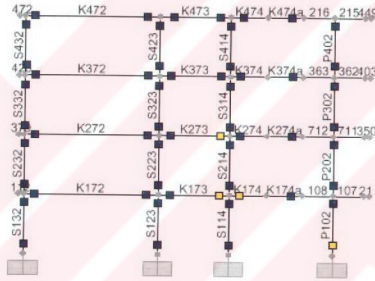
Şekil 4.40 4-4 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



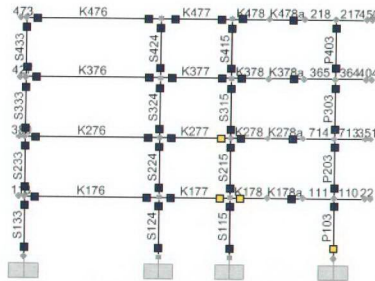
Şekil 4.41 5-5 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



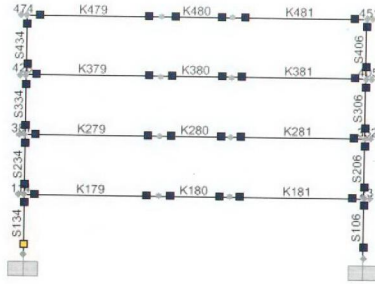
Şekil 4.42 6-6 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 4.43 7-7 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



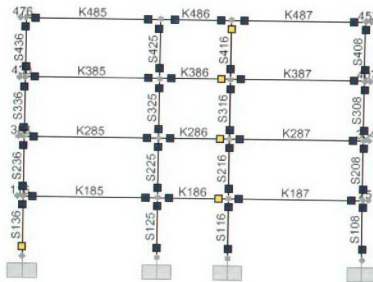
Şekil 4.44 8-8 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



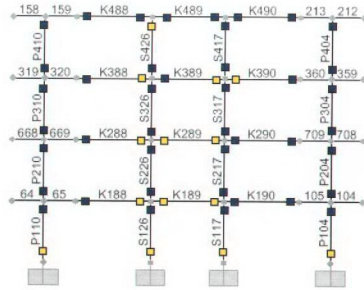
Şekil 4.45 9-9 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



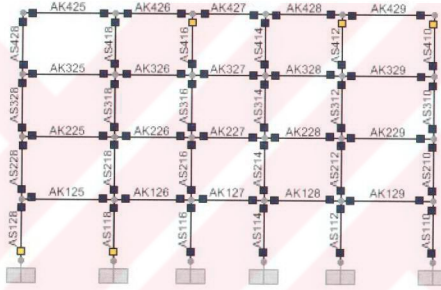
Şekil 4.46 10-10 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 4.47 11-11 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 4.48 12-12 aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri



Şekil 4.49 12¹-12¹ aksı taşıyıcı sistem elemanları performans seviyeleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki farklı yöntem (Geleneksel ve Alasawa yöntemi) kullanılarak güçlendirilmiş bir ilköğretim okulu binasına, güçlendirme öncesi ve sonrası taşıyıcı sistemleri esas alınarak doğrusal olmayan statik itme çözümlemesi uygulanmış ve ABYYHY’te verilen tasarım depremi altında taşıyıcı sistem elemanları için FEMA-356 esas alınarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu bölümde bu üç sistemin (Güçlendirme öncesi sistem, Geleneksel yöntemlerle güçlendirilmiş sistem ve Alasawa yöntemiyle güçlendirilmiş sistem) statik itme çözümlemesi sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

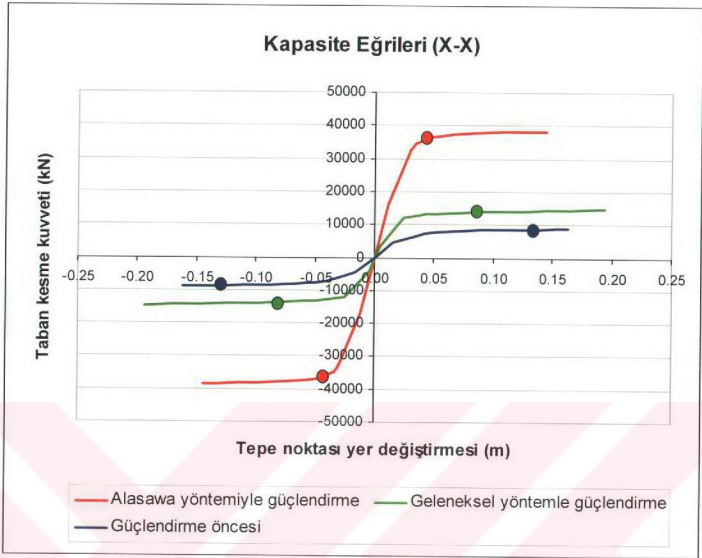
Şekil 5.1 ve 5.2’de üç sistemin statik itme çözümlemesi sonucu bulunan kapasite eğrileri, Çizelge 5.1 ve 5.2’de de bazı yapısal davranış parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 X-X doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar

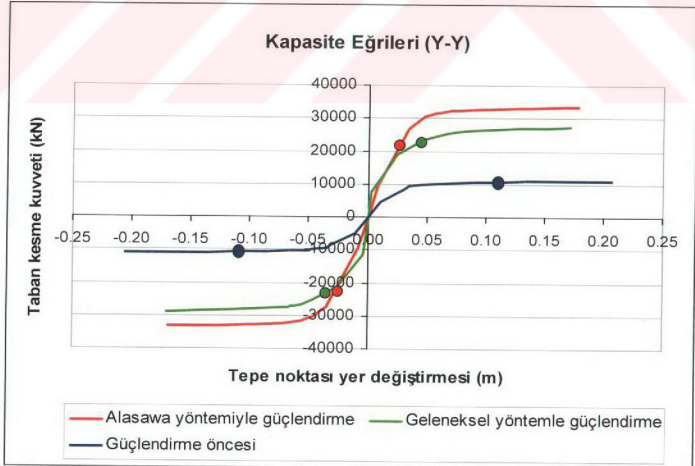
		$u_t(m)$	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_t/u_y)$	V_y/W	V_t/W
Güçlendirme öncesi	+X	0.137	3.95	3.91	0.22	0.25
Geleneksel yöntemlerle güçlendirme (GYG)	+X	0.083	3.33	3.61	0.36	0.39
Alasawa yöntemiyle güçlendirme (AYG)	+X	0.044	1.18	1.46	1.01	1.02
Güçlendirme öncesi	-X	-0.128	4.31	4.27	0.21	0.25
Geleneksel yöntemlerle güçlendirme (GYG)	-X	-0.084	3.33	3.65	0.36	0.39
Alasawa yöntemiyle güçlendirme (AYG)	-X	-0.0435	1.16	1.43	1.03	1.03

Çizelge 5.2 Y-Y doğrultusu için statik itme çözümlemesi ve katsayılar yöntemiyle elde edilen sonuçlar

		$u_t(m)$	$R(V_e/V_y)$	$\mu(u_t/u_y)$	V_y/W	V_t/W
Güçlendirme öncesi	+Y	0.111	3.65	3.70	0.28	0.31
Geleneksel yöntemlerle güçlendirme (GYG)	+Y	0.045	2.14	2.25	0.56	0.65
Alasawa yöntemiyle güçlendirme (AYG)	+Y	0.025	Elastik	Elastik	Elastik	0.57
Güçlendirme öncesi	-Y	-0.111	3.55	3.70	0.28	0.31
Geleneksel yöntemlerle güçlendirme (GYG)	-Y	-0.037	2.08	2.47	0.57	0.66
Alasawa yöntemiyle güçlendirme (AYG)	-Y	-0.025	Elastik	Elastik	Elastik	0.57



Şekil 5.1 X-X doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri



Şekil 5.2 Y-Y doğrultusu karşılaştırmalı kapasite eğrileri

Elde edilen kapasite eğrileri, yapısal davranış parametreleri ve taşıyıcı sistem elemanlarının performans değerlendirmeleri ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

- Geleneksel yöntemlerle güçlendirilmiş (GYG) sistemde, X-X doğrultusunda eklenen çerçevelerden dolayı yapının eşdeğer yatay rijitliği her iki yönde de (pozitif ve negatif) güçlendirme öncesi sisteme göre yaklaşık 2 kat artmıştır. Y-Y doğrultusunda ise, eklenen perdeler sayesinde güçlendirme öncesi sisteme göre pozitif yönde yaklaşık 3 kat, negatif yönde de yaklaşık 4 kat artış olmuştur.
- Alasawa yöntemi ile güçlendirilmiş (AYG) sistemde, X-X doğrultusunda eklenen ard-germeli çerçeveler sayesinde yapının eşdeğer yatay rijitliğinde her iki yönde de, güçlendirme öncesi sisteme göre yaklaşık 4 kat artış olmuştur. Y-Y doğrultusunda ise, güçlendirme öncesi sisteme göre her iki yönde de yaklaşık 3 kat artış olmuştur.
- GYG sistemi ile AYG sistemi, eşdeğer yatay rijitlikleri bakımından karşılaştırıldığında, AYG sisteminin X-X doğrultusunda her iki yönde de GYG sisteminden yaklaşık 2 kat daha fazla yatay rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. Bununla beraber Y-Y doğrultusunda, pozitif yönde her iki sistemin eşdeğer yatay rijitliği neredeyse aynı iken, negatif doğrultuda, GYG sisteminin AYG sisteminden yaklaşık 1.5 kat daha fazla yatay rijitliğe sahip olduğu görülmüştür.
- GYG sistemi, X-X doğrultusunda, her iki yönde de güçlendirme öncesi sisteme göre yaklaşık 1.5 kat daha fazla yatay yük kapasitesine sahiptir. Y-Y doğrultusunda ise, her iki yönde de güçlendirme öncesi sisteme göre yaklaşık 2 kat daha fazla yatay yük kapasitesine sahiptir.
- AYG sistemi, X-X doğrultusunda, her iki yönde de güçlendirme öncesi sisteme göre yaklaşık 4.5 kat daha fazla yatay yük kapasitesine sahiptir. Y-Y doğrultusunda ise, her iki yönde de güçlendirme öncesi sisteme göre yaklaşık 3 kat daha fazla yatay yük kapasitesine sahiptir.
- GYG sistemi ile AYG sistemi, yatay yük kapasiteleri bakımından karşılaştırıldığında, X-X doğrultusunda, AYG sisteminin her iki yönde de GYG sisteminden yaklaşık 3 kat daha fazla yatay yük kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Bununla beraber Y-Y doğrultusunda, AYG sisteminin her iki yönde de GYG sisteminden yaklaşık 1.25 kat daha fazla yatay yük kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.
- Güçlendirme öncesi taşıyıcı sistemde, X-X doğrultusunda her iki yönde de, perdelerle bağlanan kirişler hariç neredeyse tüm kirişlerde can güvenliği sağlanmış, buna rağmen, kolonların ve perdelerin neredeyse tümünün zemin kat tabanlarında göçmenin önlenmesi

performans seviyesi aşılmıştır.

- GYG sistemde, X-X doğrultusunda her iki yönde de, yapı yatay rijitliğinin artmasıyla yer değiştirme talebinde yaklaşık ortalama %40 azalma meydana gelmiştir. Bununla beraber, perdeler bağlanan kirişler hariç neredeyse tüm kirişlerde can güvenliği sağlanmıştır. Tüm kolonlarda can güvenliği sağlanırken, zemin kat perde tabanlarında can güvenliği performans seviyesi aşılmıştır.
- AYG sistemde, X-X doğrultusunda her iki yönde de, yapı yatay rijitliğinin artmasıyla yer değiştirme talebinde yaklaşık ortalama %65 azalma meydana gelmiştir. Bununla beraber, perdeler bağlanan kirişler hariç tüm kirişlerde ve kolonlarda hemen kullanım performans seviyesinin altında kalmıştır. Perdelerin tümünde ise, sadece zemin kat tabanlarında mafsallaşma oluşmuş ve can güvenliği performans seviyesinin altında kalmıştır.
- Güçlendirme öncesi taşıyıcı sistemde, Y-Y doğrultusunda her iki yönde de, taşıyıcı sistem elemanlarının önemli bir bölümünde can güvenliği, hatta göçmenin önlenmesi performans seviyesi aşılmıştır.
- GYG sistemde, Y-Y doğrultusunda her iki yönde de, yapı yatay rijitliğinin artmasıyla yer değiştirme talebinde yaklaşık ortalama %65 azalma meydana gelmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarında ise, pozitif yönde, birkaç kiriş hariç neredeyse tüm kirişlerde ve perdelerde can güvenliği sağlanmış, kolonların tümünde hemen kullanım performans seviyesinin altında kalmıştır. Negatif yönde ise, kolon ve kirişlerin tümünde hemen kullanım performans seviyesi aşılmaz iken, perdelerde de can güvenliği performans seviyesinin altında kalmıştır.
- AYG sistemde, Y-Y doğrultusunda yapı neredeyse doğrusal davranmaktadır. Süneklik talebi birden küçük hesaplanmış olmasına rağmen, bazı taşıyıcı sistem elemanlarında çok önemli sayılamayacak doğrusal ötesi şekil değiştirmeler ortaya çıkmaktadır. Çelişki gibi gözükse de bu durum, süneklik isteminin, idealize edilerek ikili doğrusal hale getirilmiş kapasite eğrisi ile hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim bu doğrultuda elde edilen doğrusal olmayan şekil değiştirme değerlerinin tamamı hemen kullanım performans seviyesinin altındadır.

Taşıyıcı sistem elemanları için FEMA-356 esas alınarak yapılan performans değerlendirmesi sonuçları, üç sistem için karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3 ve 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Taşıyıcı sistem elemanlarında karşılaştırmalı performans değerlendirmesi

X-X Doğrultusu	KİRİŞLER	KOLONLAR	PERDELER
Güçlendirme Öncesi	4. katta perdelerle bağlanan kirişler göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamış, diğer kirişlerin hemen tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. 1., 2. ve 3. katta perdelerle bağlanan kirişler göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamış, diğer kirişlerin hemen tümü can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.	4. kat kolonları üst kesitlerinin hemen tümü göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamıştır. 2. ve 3. kat kolonlarının birkaçı can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamış, diğer kolonların tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. - Zemin kat kolonları alt kesitlerinin hemen tümü göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamıştır.	3. ve 4. kat perdeleri elastik bölgede kalmıştır. 2. kat perdeleri hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. - Zemin kat perdeleri alt kesitleri can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamıştır.
Geleneksel yöntemlerle Güçlendirilmiş Sistem (GYG)	4. katta perdelerle bağlanan kirişler göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamış, diğer kirişlerin hemen tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. 1., 2. ve 3. katta perdelerle bağlanan kirişler hariç, diğer kirişlerin hemen tümü can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.	4. kat kolonlarının tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. 2. ve 3. kat kolonlarının tümü elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat kolonlarının tümü can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.	- Normal kat perdelerinin tümü elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat perdelerinin alt kesitleri can güvenliği performans seviyesini sağlamamıştır.
Alasawa Yöntemiyle Güçlendirilmiş Sistem (AYG)	4. katta perdelerle bağlanan kirişler can güvenliği performans seviyesini sağlamış, diğer kirişlerin hemen tümü elastik bölgede kalmıştır. 1., 2. ve 3. katta perdelerle bağlanan kirişler can güvenliği performans seviyesini sağlamamış, diğer kirişlerin hemen tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır.	4. kat kolonlarının tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. 2. ve 3. katta, eklenen çerçevede kolonların tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamış, mevcut çerçevede kolonlar elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat kolonlarının tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır.	- Normal kat perdelerinin tümü elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat perdelerinin alt kesitleri can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.

Çizelge 5.4 Taşıyıcı sistem elemanlarında karşılaştırmalı performans değerlendirmesi

Y-Y Doğrultusu	KİRİŞLER	KOLONLAR	PERDELER
Güçlendirme Öncesi	4. katta, birkaç kiriş can güvenliği performans seviyesini sağlamamış, diğer kirişlerin tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. 1., 2. ve 3. katta kirişlerin önemli bir bölümü can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamıştır.	- Normal katlarda, kolonların önemli bir bölümü can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamıştır. - Zemin kat kolonları alt kesitlerinin hemen tümü can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamıştır.	- Normal kat perdelerinin tümü elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat perdeleri alt kesitleri can güvenliği ve göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlamamıştır.
Geleneksel yöntemlerle Güçlendirilmiş Sistem (GYG)	Negatif yöndeki tüm kirişler hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır. Pozitif yönde de çoğu kiriş hemen kullanım performans seviyesini sağlamış, bazıları ise hemen kullanım ve can güvenliği performans seviyesini sağlamamıştır.	Kolonların tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamakla beraber, önemli bir kısmı elastik bölgede kalmıştır.	- Normal kat perdelerinin tümü elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat perdelerinin tümü can güvenliği performans seviyesini sağlamıştır.
Alasawa Yöntemiyle Güçlendirilmiş Sistem (AYG)	Kirişlerin tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamakla beraber, önemli bir kısmı elastik bölgede kalmıştır.	- Normal kat kolonlarının birkaçı hariç tümü elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat kolonların tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır.	- Normal kat perdelerinin tümü elastik bölgede kalmıştır. - Zemin kat perdelerinin tümü hemen kullanım performans seviyesini sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (1998), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Aköz, F., Kabay, N., (2000), Necdet Semker İlköğretim Okulu Betonarme Malzemeleri Kalite Raporu, Rapor No: AV-13-4, YTÜ İnşaat Fakültesi.
- ATC-40, (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council.
- Celeb,Z., Kumbasar, N. (2000), Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celeb, Z., (2000), “Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi – Genel Kurallar”, TMMOB İnşaat Müh. Odası İstanbul Şubesi.
- Chopra, A.K., (1995), Dynamic of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Ersoy, U., Özcebe, G., (2001), Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- FEMA-356, (2000) Presandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- Kırçıl, M.S., (2002), Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, TMMOB İnşaat Müh. Odası İstanbul Şubesi Bülteni, Sayı 60/61/62.
- Kırçıl, M.S., Hancıoğlu, B., Polat, Z. (2003), “Geleneksel Yöntemlerle Güçlendirilmiş bir Yapının Doğrusal Olmayan Statik Analiz ile Değerlendirilmesi”, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Krawinkler,H. and Seneviratna, G.D.P.K, (1998), “Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation”, Engineering Structures, Vol.20, pp. 452-464.
- MATLAB Release 13, (2002), The Mathworks Inc.
- Özaydın, K., Yıldırım, S., Yıldırım M., (2000), Necdet Semker İlköğretim Okulu Sahasına İlişkin Geoteknik Değerlendirme Raporu, Rapor No: AV-13-2, YTÜ İnşaat Fakültesi.
- Park, R., Paulay, T., (1975), Reinforced Concrete Structures, John Wiley and Sons.
- SAP2000 User’s Manual, (2002), Structural Analysis Program Nonlinear Version 8.08, Computers and Structures Inc.
- TS500, (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tubitak, İMO, Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi, Kurs Notları.

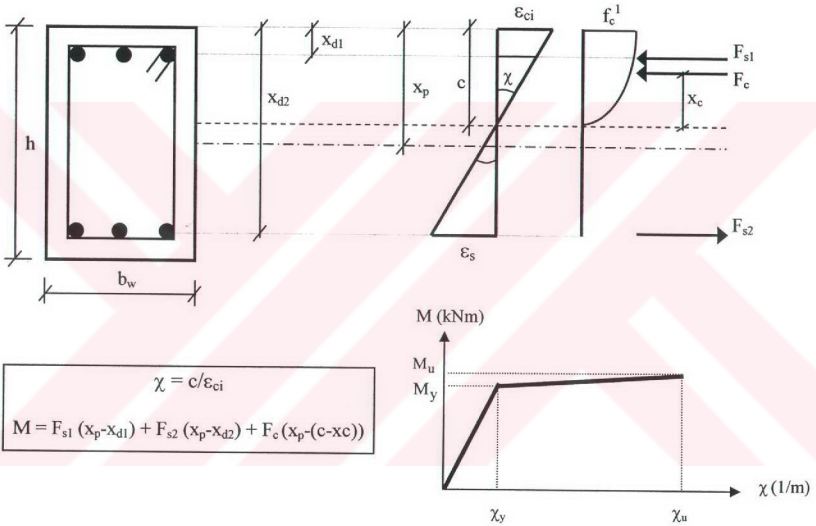
EKLER

Ek 1 Bilgisayar programları



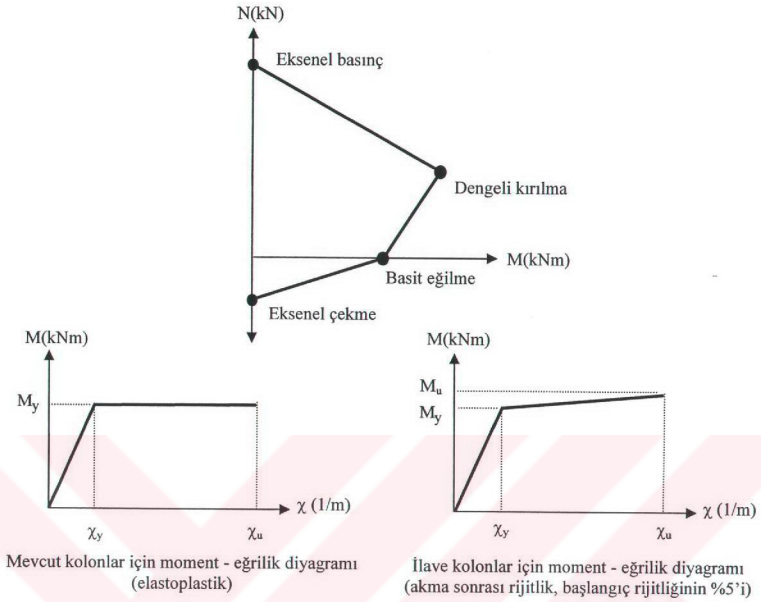
Ek 1 Bilgisayar programları

Moment-eğrilik ilişkileri ve akma yüzeyleri MATLAB yazılımı kullanılarak hazırlanan programlarla elde edilmiştir. Kirişlerin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere hazırlanan moment-eğrilik diyagramlarının elde edilmesi için yazılan program basınç bölgesi beton lifindeki kısalma (ϵ_{ci}) için 20 farklı değeri göz önüne alır. Bu değerlerin her biri için tarafsız eksen derinliğini değiştirmek suretiyle, kesitte, basınç ve çekme kuvvetlerinin eşitlendiği tarafsız eksen derinliği değerini bulur. Bu şekil değiştirme durumu için moment ve eğrilik hesaplar (Şekil Ek 1.1).



Şekil Ek 1.1 Kirişler için moment-eğrilik diyagramı

Kolonlardaki normal kuvvet değişimini dikkate almak üzere akma yüzeyleri çizilmiştir. Hazırlanan program akma yüzeylerinin, basit basınç, dengeli kırılma, basit eğilme ve basit çekme noktalarını hesaplayıp, bu noktaları doğrularla birleştirerek yaklaşık bir akma yüzeyi çizer (Şekil Ek 1.2).



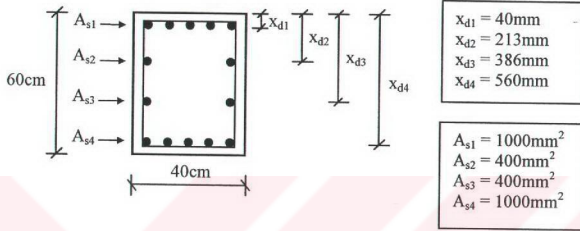
Şekil Ek 1.2 Kolonlar için akma yüzeyi

Bu programlarda yapılan kabuller aşağıda belirtilmiştir:

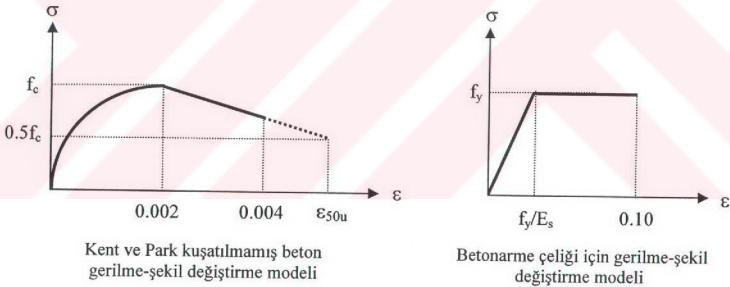
- Mantolanmış kolonlarda, mevcut kolona dış mantonun ne mertebede kuşatma etkisi yaratacağı belirsiz olduğundan, akma yüzeylerinin belirlenmesinde güvenli tarafta kalıp, mevcut kolon kuşatılmamış kabul edilmiştir.
- Mevcut kesit ile yeni eklenen kesit arasındaki uyum sorununu göz önüne almak için, monolitik olarak hesaplanan kapasitenin ve rijitliğin %90'ı dikkate alınmıştır (*Tubitak, İMO kurs notları*).
- Yeni eklenen kesitlerde beton dayanımı olarak hesap dayanımı, mevcut kesitlerde laboratuvar sonuçları dikkate alınmıştır.
- Mantolanmış kesitlerde, eğer mevcut kesit (kuşatılmamış) ezilirse, beton basınç dayanımı sabit $0.5f_c$ alınmıştır.
- Düşey taşıyıcı elemanlar için akma yüzeyi belirlenirken, dengeli limit durumda, kuşatılmamış kesit için maksimum birim kısalma $\epsilon_{cu} = 0.004$; kuşatılmış kesitlerde $0.8f_c$ 'ye karşılık gelen birim kısalma kabul edilmiştir (*Gündüz, A*).

Örnek olmak üzere; bir kiriş kesiti için moment – eğrilik ilişkisi ve bir kolon kesiti için dört noktalı yaklaşık akma yüzeyi aşağıda belirlenmiştir.

Güçlendirme öncesi ve AYG taşıyıcı sistemlerinde yer alan; S110 no'lu kolon için dört noktalı yaklaşık akma yüzeyi belirlenmiştir. Kesitin geometrik özellikleri Şekil Ek 1.3'te, kullanılan malzeme modelleri de Şekil Ek 1.4'te gösterilmiştir. Beton basıç dayanımı 14 N/mm^2 , kullanılan donatı S220 sınıfı çeliktir.



Şekil Ek 1.3 Kesit geometrik özellikleri



Şekil Ek 1.4 Kullanılan malzeme modelleri

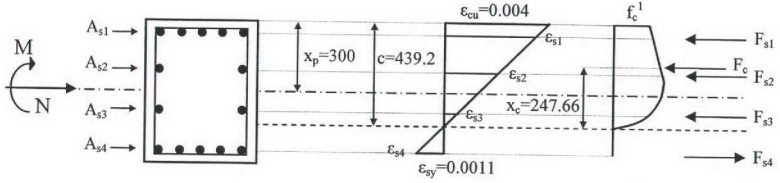
- Eksenel basınç ($M = 0$)

$$N_r = 0.85f_c b h + A_{st} f_y$$

$$N_r = 3472 \text{ kN}$$

- Dengeli durum ($\epsilon_{cu} = 0.004$, $\epsilon_{s4} = \epsilon_{sy} = -0.0011$)

$$c = 0.004 \frac{600 - 40}{0.0011 + 0.004} = 439.2 \text{ mm}$$



Şekil Ek 1.5 Dengeli durum için beton şekil değiştirme dağılımı ve iç kuvvetler

Beton basınç kuvveti :

$$\epsilon_{50u} = \frac{3 + 0.285 \times 0.85 \times f_c}{142 \times 0.85 \times f_c - 1000} \geq \epsilon_{co}$$

$$\epsilon_{50u} = 0.0093$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\epsilon_{50u} - \epsilon_{co}} = 68.49$$

$$f_c^1 = f_c [1 - Z_u (\epsilon_{ci} - \epsilon_{co})]$$

$$f_c^1 = 0.85 \times 14 \times [1 - 68.49(0.004 - 0.002)] = 10.26 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{c,1} = \frac{2}{3} \left(\frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_{cu}} c \right) f_c^1 b = \frac{2}{3} \times \left(\frac{0.002}{0.004} 439.2 \right) \times 0.85 \times 14 \times 400 = 696890 \text{ N (Parabolik kısım)}$$

$$F_{c,2} = \frac{1}{2} (f_c + f_c^1) \left(c - \frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_{cu}} c \right) b$$

$$F_{c,2} = \frac{1}{2} \times (0.85 \times 14 + 10.26) \times \left(439.2 - \frac{0.002}{0.004} 439.2 \right) \times 400 = 973400 \text{ N (Doğrusal kısım)}$$

$$F_c = F_{c,1} + F_{c,2} = 1670300 \text{ N}$$

$$x_{c,1} = \frac{5}{8} c \frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_{cu}} = 137.25 \text{ mm (Parabolik kısım)}$$

$$x_{c,2} = \frac{1}{3} \left(c - c \frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_{cu}} \right) \left(\frac{2f_c^1 + f_c}{f_c^1 + f_c} \right) + c \frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_{cu}} = 326.71 \text{ mm (Doğrusal kısım)}$$

$$x_c = \frac{F_{c,1}x_{c,1} + F_{c,2}x_{c,2}}{F_c} = 247.66 \text{ mm}$$

Donatıların taşıdığı kuvvetler :

$$\epsilon_{s1} = 0.0036 ; \epsilon_{s2} = 0.0021 ; \epsilon_{s3} = 0.0005 ; \epsilon_{s4} = -0.0011$$

$$F_{s1} = A_{s1}f_y = 220000 \text{ N } (\epsilon_{s1} > \epsilon_{sy})$$

$$F_{s2} = A_{s2}f_y = 88000 \text{ N } (\epsilon_{s2} > \epsilon_{sy})$$

$$F_{s3} = \epsilon_{s3}E_sA_{s3} = 40000 \text{ N } (\epsilon_{s3} < \epsilon_{sy})$$

$$F_{s4} = A_{s4}f_y = -220000 \text{ N } (\epsilon_{s4} = \epsilon_{sy})$$

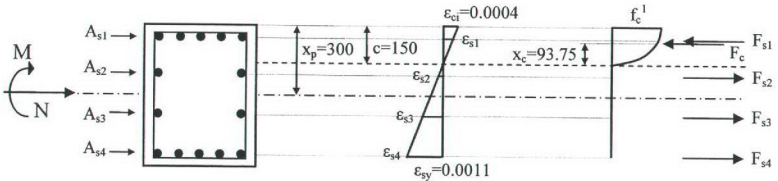
$$N = (1670300 + 220000 + 88000 + 40000 - 220000) \times 10^{-3} = 1798 \text{ kN}$$

$$M = \left[1670300 \times (300 - (439.2 - 247.66)) + 220000 \times (300 - 40) + \right. \\ \left. 88000 \times (300 - 213) + 40000 \times (300 - 386) - 220000 \times (300 - 560) \right] \times 10^{-6} = 300 \text{ kNm}$$

$$N_b = 1798 \text{ kN} ; M_b = 300 \text{ kNm}$$

- Basit eğilme ($N = 0$)

Basit eğilme noktası için iteratif bir çözüm yapılmıştır. İlk adım için tarafsız eksen derinliği $c = 150 \text{ mm}$ varsayılmıştır.



Şekil Ek 1.6 Basit eğilme durumu için beton şekil değiştirme dağılımı ve iç kuvvetler

$$\epsilon_{ci} = 0.0011 \frac{150}{560 - 150} = 0.0004$$

Beton basınç kuvveti :

$$f_c^1 = 0.85 \times 14 \times \left[\frac{2 \times 0.0004}{0.002} - \left(\frac{0.0004}{0.002} \right)^2 \right] = 4.28 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c = \frac{2}{3} \times 150 \times 4.28 \times 400 = 171200 \text{ N}$$

$$x_c = \frac{5}{8} 150 = 93.75 \text{ mm}$$

Donatıların taşıdığı kuvvetler :

$$\epsilon_{s1} = 0.0003 ; \epsilon_{s2} = -0.00017 ; \epsilon_{s3} = -0.00063 ; \epsilon_{s4} = -0.0011$$

$$F_{s1} = \epsilon_{s1} E_s A_{s1} = 60000 \text{ N } (\epsilon_{s1} < \epsilon_{sy})$$

$$F_{s2} = \epsilon_{s2} E_s A_{s2} = -13600 \text{ N } (\epsilon_{s2} < \epsilon_{sy})$$

$$F_{s3} = \epsilon_{s3} E_s A_{s3} = -50400 \text{ N } (\epsilon_{s3} < \epsilon_{sy})$$

$$F_{s4} = A_{s4} f_y = -220000 \text{ N } (\epsilon_{s4} = \epsilon_{sy})$$

$$N = (171200 + 60000 - 13600 - 50400 - 220000) \times 10^{-3} = -52.8 \text{ kN}$$

$$N \neq 0$$

$N < 0$ olduğu için basınç bölgesinin artırılması gerekmektedir. Bu nedenle, 2. adımda tarafsız eksen derinliği "c" ilk adımdan daha büyük bir değer seçilir.

$c = 164 \text{ mm}$ seçilmiştir ;

$$\epsilon_{ci} = 0.0011 \frac{164}{560 - 164} = 0.00046$$

Beton basınç kuvveti :

$$f_c^1 = 0.85 \times 14 \times \left[\frac{2 \times 0.00046}{0.002} - \left(\frac{0.00046}{0.002} \right)^2 \right] = 4.84 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c = \frac{2}{3} \times 164 \times 4.84 \times 400 = 211669 \text{ N}$$

$$x_c = \frac{5}{8}164 = 102.5 \text{ mm}$$

Donatıların taşıdığı kuvvetler :

$$\epsilon_{s1} = 0.00034 ; \epsilon_{s2} = -0.00014 ; \epsilon_{s3} = -0.00062 ; \epsilon_{s4} = -0.0011$$

$$F_{s1} = \epsilon_{s1} E_s A_{s1} = 68000 \text{ N } (\epsilon_{s1} < \epsilon_{sy})$$

$$F_{s2} = \epsilon_{s2} E_s A_{s2} = -11200 \text{ N } (\epsilon_{s2} < \epsilon_{sy})$$

$$F_{s3} = \epsilon_{s3} E_s A_{s3} = -49600 \text{ N } (\epsilon_{s3} < \epsilon_{sy})$$

$$F_{s4} = A_{s4} f_y = -220000 \text{ N } (\epsilon_{s4} = \epsilon_{sy})$$

$$N = (211669 + 68000 - 11200 - 49600 - 220000) \times 10^{-3} \cong 0$$

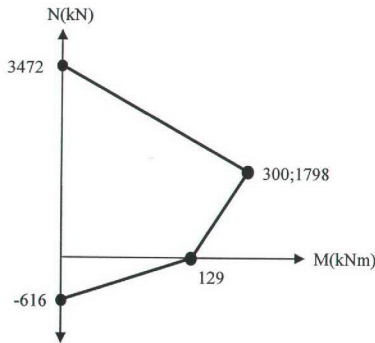
$$M = \left[211669 \times (300 - (164 - 102.5)) + 68000 \times (300 - 40) - \right. \\ \left. 11200 \times (300 - 213) - 49600 \times (300 - 386) - 220000 \times (300 - 560) \right] \times 10^{-6} = 129 \text{ kNm}$$

$$N_r = 0 ; M_r = 130 \text{ kNm}$$

- Eksenel çekme ($M = 0$)

$$N_r = -A_{st} f_y$$

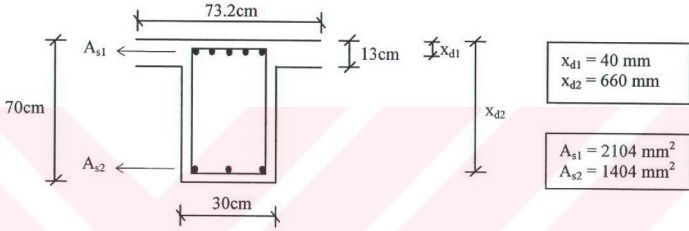
$$N_r = -616 \text{ kN}$$



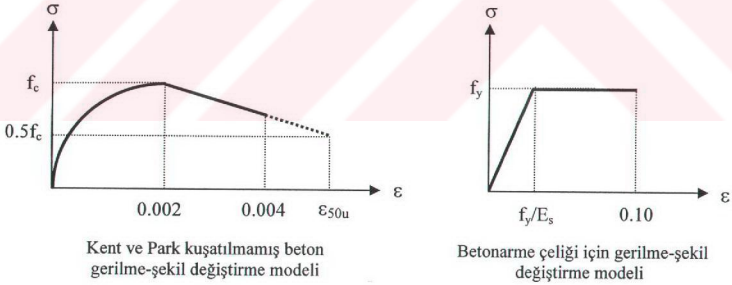
Şekil Ek 1.7 Dört noktalı yaklaşık akma yüzeyi

Güçlendirme öncesi ve sonrası, tüm taşıyıcı sistemlerde yer alan; K121 no'lu kirişin sol mesnet kesiti için moment - eğrilik ilişkisi belirlenmiştir. Kesitin geometrik özellikleri Şekil Ek 1.8'de, kullanılan malzeme modelleri de Şekil Ek 1.9'da gösterilmiştir. Beton basınç dayanımı 14 N/mm^2 , kullanılan donatı S220 sınıfı çeliktir.

Moment - eğrilik ilişkisini gösteren eğri, yeterli sayıda noktanın bulunması ve bunların birleştirilmesinden elde edilir. Eğrinin üzerinde bir noktayı belirleyen M_1 ve χ_0 değerleri, daha önce özetlenen şekilde hesaplanır. Burada, örnek olarak yalnız bir noktanın elde edilmesi gösterilecektir.



Şekil Ek 1.8 Kesit geometrik özellikleri



Şekil Ek 1.9 Kullanılan malzeme modelleri

Öncelikle plastik ağırlık merkezi (x_p) hesaplanır:

$$x_p = \frac{0.85 \times 14 \times \left[732 \times 130 \times 130 / 2 + 300 \times 570 \times (570 / 2 + 130) \right] + 220 (1404 \times 660 + 2104 \times 40)}{0.85 \times 14 \times (732 \times 130 + 300 \times 570) + 220 \times (1404 + 2104)}$$

Gövde kısmı için;

$$F_{cg} = \frac{2}{3} \times (200 - 130) \times 0.82 \times 300 = 11480 \text{ N}$$

$$x_{cg} = \frac{5}{8} \times (200 - 130) = 43.75 \text{ mm}$$

$$F_c = F_{ct} + F_{cg} = 204200 \text{ N}$$

Donatıların taşıdığı kuvvetler :

$$\varepsilon_{s1} = 0.00016 ; \varepsilon_{s2} = -0.00046$$

$$F_{s1} = \varepsilon_{s1} E_s A_{s1} = 67328 \text{ N} \quad (\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy})$$

$$F_{s2} = \varepsilon_{s2} E_s A_{s2} = -129168 \text{ N} \quad (\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sy})$$

$$N = (204200 + 67328 - 129168) \times 10^{-3} = 142.36 \text{ kN}$$

$$N \neq 0$$

$N > 0$ olduğu için basınç bölgesinin azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle, 2. denemede tarafsız eksen derinliği “c” ilk denemeden daha küçük bir değer seçilir.

$c = 138 \text{ mm}$ seçilmiştir ;

Beton basınç kuvveti:

Tabla kısmı için;

$$\varepsilon_{c1} = \varepsilon_{ci} = 0.0002 ; f_{c1} = 0.85 \times 14 \times \left[\frac{2 \times 0.0002}{0.002} - \left(\frac{0.0002}{0.002} \right)^2 \right] = 2.26 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{c2} = 0.0002 \times \frac{138 - 130}{138} = 0.00001 ;$$

$$f_{c2} = 0.85 \times 14 \times \left[\frac{2 \times 0.00001}{0.002} - \left(\frac{0.00001}{0.002} \right)^2 \right] = 0.12 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ct} = \frac{2}{3} \times 138 \times 2.26 \times 732 - \frac{2}{3} \times (138 - 130) \times 0.12 \times 732 = 151729 \text{ N}$$

$$x_{ct} = \frac{\left[(138 \times 5/8) \times \frac{2}{3} \times 138 \times 2.26 \times 732 - (8 \times 5/8) \times \frac{2}{3} \times 8 \times 0.12 \times 732 \right]}{151729} = 86.54 \text{ mm}$$

Gövde kısmı için;

$$F_{cg} = \frac{2}{3} \times (138 - 130) \times 0.12 \times 300 = 192 \text{ N}; x_{cg} = \frac{5}{8} \times (138 - 130) = 5 \text{ mm}$$

$$F_c = F_{ct} + F_{cg} = 151921 \text{ N}$$

Donatıların taşıdığı kuvvetler :

$$\varepsilon_{s1} = 0.00014 ; \varepsilon_{s2} = -0.00075$$

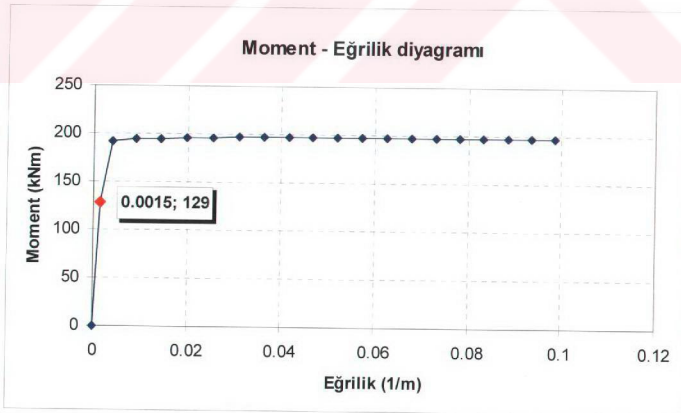
$$F_{s1} = \varepsilon_{s1} E_s A_{s1} = 58912 \text{ N} (\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{sy}); F_{s2} = \varepsilon_{s2} E_s A_{s2} = -210600 \text{ N} (\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{sy})$$

$$N = (151921 + 58912 - 210600) \times 10^{-3} \cong 0 \text{ kN}$$

$$M = \left[151729 \times (289.52 - (138 - 86.54)) + 192 \times (289.52 - (138 - 5)) \right] \times 10^{-6} = 129 \text{ kNm}$$

$$+ 58912 \times (289.52 - 40) - 210600 \times (289.52 - 660)$$

$$\chi = \frac{\varepsilon_{ci}}{c} = 0.0015 \text{ 1/m}$$



Şekil Ek 1.11 Moment-eğrilik diyagramı

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi — 21.06.1980

Doğum yeri — İstanbul

Lise — 1994-1997 — Bursa Özel Namık Sözeri Lisesi

Lisans — 1997-2001 — Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği BölümüYüksek Lisans — 2001- — Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı**Çalıştığı kurum**

2001-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

