

**SEÇİLEN BİR KAMU BİNASININ
DOĞRUSAL ÖTESİ DAVRANIŞINDA
BETON DAYANIMI VE ETRİYE ARALIĞININ ETKİSİ**

İrfan KOÇAK

**Şubat, 2007
DENİZLİ**

**SEÇİLEN BİR KAMU BİNASININ DOĞRUSAL ÖTESİ
DAVRANIŞINDA BETON DAYANIMI VE ETRİYE ARALIĞININ
ETKİSİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

İrfan KOÇAK

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL

**Şubat, 2007
DENİZLİ**

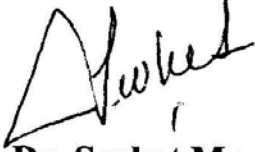
YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

İrfan KOÇAK tarafından Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL yönetiminde hazırlanan “Seçilen Bir Kamu Binasının Doğrusal Ötesi Davranışında Beton Dayanımı ve Etriye Aralığının Etkisi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



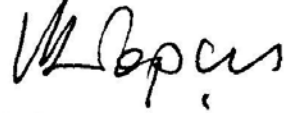
Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL

(Yönetici)



Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL

(Jüri Üyesi)



Prof. Dr. Muzaffer TOPCU

(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.../.../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL

Müdür

TEŞEKKÜR

Öncelikle Yüksek Lisans tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL'e teşekkürü borç bilir, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL'e minnettarlığımı belirtir, analiz aşamalarında yardımlarından dolayı Araş. Gör. Salih YILMAZ'a, Araş. Gör. Hayri Baytan ÖZMEN'e ve İnş. Yük. Müh. Hüseyin BİLGİN'e teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca her yönden desteklerini esirgemeyen eşsiz dostlarım Araş. Gör. Hüseyin CEYLAN, Araş. Gör. Ali Haydar KAYHAN, Fatma KAYHAN ve Ozan KAYHAN için hiçbir teşekkür cümlesinin yeterli geleceğini sanmıyorum.

Bu çalışmada ve hayatımda her zaman yanımda olan ve yokluğunu düşünemediğim Meral KIRIKLAR'a minnettarlığım sonsuzdur.

Hayatım boyunca benim için maddi manevi hiçbir fedakarlıktan kaçmayan, bana her zaman moral ve motivasyon kaynağı olan güzel aileme teşekkür etmenin benim için yaptıkları yanında ne kadar anlamsız kalacağını, haklarını hiçbir şekilde ödeyemeyeceğimi belirtirim.

İrfan KOÇAK

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : İrfan KOÇAK

ÖZET

SEÇİLEN BİR KAMU BİNASININ DOĞRUSAL ÖTESİ DAVRANIŞINDA BETON DAYANIMI VE ETRİYE ARALIĞININ ETKİSİ

KOÇAK, İrfan
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL

Şubat 2007, 115 sayfa

Son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremler, okul binalarının yetersiz deprem performansına sahip olduğunu göstermiştir. Kalitesiz imalat, yetersiz işçilik ve bakım sebebiyle, bir çok okul binası bu yıkıcı depremlerden etkilenmiştir

Bu çalışmada tip projeye göre imal edilen bir okul binasının, farklı beton dayanımı ve sargı donatısı miktarları için doğrusal ötesi davranışını değerlendirmek amaçlanmıştır. Çalışma için 1. ve 2. deprem bölgelerinde inşa edilen 24 derslikli 8841-Y1 nolu tip proje seçilmiştir. Mevcut yapılardaki beton dayanımı olarak üç farklı tipik değer gözönüne alınmıştır: 10, 13 ve 16 MPa. Sargı donatısı oranını ifade etmek üzere, yetersizden ve yeterli miktarı temsil eden üç farklı etriye aralığı seçilmiştir: 250, 150 ve 100mm.

Sonuçlar göstermiştir ki hem beton dayanımı ve hem de sargı donatısı seçilen binanın doğrusal ötesi davranışında etkilidir. Daha yüksek beton dayanımı yatay yük taşıma kapasitesinde az da olsa artışa sebep olurken, sargı donatısındaki artış, maksimum deplasman kapasitesini yükseltmektedir. Belirtmek gerekir ki, düşük beton dayanımı ve göreceli olarak düşük sargı donatısına sahip yapı dikkate değer deplasman kapasitesine sahip olmasına rağmen, önemli miktarda kolonda kesme hasarı oluşmaktadır. Bunun sebebi, yatay yük taşıma kapasitesinin önemli bir kısmını, yapıda bulunan ciddi boyutlardaki perdelerin sağlamasıdır. Çalışmada ayrıca seçilen binanın yatay yük kapasitesinin, 1998 Afet Yönetmeliği açısından yetersiz olduğu görülmüştür. Farklı oranda perde ilavesi şeklinde önerilen bazı güçlendirme seçenekleri ile yapının kapasitesi artırılmıştır. İlave perdeler, kapasite üzerinde ciddi artışa sebep olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kamu binaları, statik itme analizi, doğrusal ötesi davranış, beton dayanımı, sargı donatısı miktarı

Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL
Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU
Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL

ABSTRACT

EFFECT OF CONCRETE STRENGTH AND TRANSVERSE REINFORCEMENT AMOUNT ON NONLINEAR BEHAVIOUR OF A SELECTED PUBLIC BUILDING

KOÇAK, İrfan

Ms. Sc. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL

February 2007, 115 pages

Recent devastating earthquakes in Turkey have emphasized inadequate seismic performance of school buildings. Many school buildings are affected by destructive earthquakes due to poor quality of construction, poor workmanship, and lack of maintenance.

This study aims to evaluate nonlinear behavior of a school building with template design for different concrete strength and transverse reinforcement amount observed in existing public buildings. Template design 8841-Y1 with 24-classrooms and constructed in the first and second seismic zones is selected for study. Three concrete strength values typical in existing public buildings were considered as 10, 13 and 16 MPa. Transverse reinforcement amount was represented with spacing; three spacing values were taken as 250, 150, and 100 mm representing poor to well confinement spacing values, respectively.

The results showed that both concrete strength and transverse reinforcement amount have effects on nonlinear behavior of the selected building. The better concrete strength provides a slightly higher lateral load capacity while the increase in transverse reinforcement amount improves ultimate displacement capacity. It should be noted that although the building with the poor concrete strength and relatively small amount of transverse reinforcement has a fair displacement capacity, there were significant number of columns suffered from shear failures at the level of lateral load capacity loss. Loss in several columns did not affect capacity curve due to major lateral load capacity of shear walls. Another outcome is that the selected building has no sufficient lateral load capacity compared to 1998 Turkish Earthquake Code. Several strengthening alternatives as different amount of additional shear walls were used to increase the capacity of the building.

Keywords: Public building, pushover analysis, nonlinear behavior, concrete strength, transverse reinforcement amount

Asst. Prof. Dr. Mehmet İNEL

Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU

Asst. Prof. Dr. Şevket Murat ŞENEL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu	I
Teşekkür	II
Bilimsel Etik	III
Özet	IV
Abstract	V
İçindekiler	VI
Şekiller Dizini	VII
Tablolar Dizini	XI
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini	XII
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Problemin Tanımı	2
1.3 Amaç	3
1.4 Yöntem ve Kapsam	4
1.5 Tezin Düzeni	5
2. LİTERATÜR BİLGİSİ	6
2.1 Önceki Depremler Hakkındaki Çalışmalar	6
2.1.1 Bingöl deprem raporu	6
2.1.2 Erzincan deprem raporu	11
2.2 Deprem Yönetmelikleri	13
2.2.1 1975 Afet Yönetmeliği	13
2.2.2 1998 Afet Yönetmeliği	15
2.2.3 2007 Deprem Yönetmeliği	17
2.3 Akademik Çalışmalar	19
2.3.1 ATC 40	20
2.3.2 FEMA 273, 274, 356, 440	20
2.3.2 Diğer çalışmalar	21
3. DOĞRUSAL ÖTESİ ANALİZ	23
3.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri	23
3.1.1 Enerji sönümü ve süneklik	24
3.1.2 Plastik mafsallık kavramı	25
3.2 Doğrusal Ötesi Analiz	27
3.2.1 Doğrusal olmayan statik itme analizi ile şekil değiştirme kapasitesinin belirlenmesi	29
3.2.2 Kapasite spektrumu yöntemi	31
3.2.2.1 Performans seviyeleri	32
3.2.2.1.1 Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri	32
3.2.2.1.2 Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri	33
3.2.2.1.3 Bina performans seviyeleri	35
3.2.2.2 Deprem hareketi	36

3.2.2.3 Yapı kapasitesi	37
3.2.2.4 Performans noktasının belirlenmesi	38
3.2.3 Deplasman katsayıları yöntemi	45
4. DOĞRUSAL ÖTESİ ANALİZ MODELİNİN HAZIRLANMASI	51
4.1 Giriş	51
4.2 Seçilen Okul Binası Hakkında Genel Bilgiler	51
4.3 Taşıyıcı Sistem Modelinin Oluşturulması	52
4.3.1 Kat kalıp planları	53
4.3.2 Eleman kesit ve donatı özellikleri	53
4.3.3 Taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen yükler	54
4.4 Sargılı Beton Davranış Modeli	56
4.4.1 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli	57
4.4.2 Sargılı beton davranış modelinin oluşturulması	61
5. MODELLERİN ANALİZİ VE ANALİZ SONUÇLARI	64
5.1 SAP2000® Yazılımında Doğrusal Ötesi Statik İtme Analizi	64
5.2 SAP2000® Yazılımında Doğrusal Ötesi Statik İtme Analizi Sonuçları ...	67
5.2.1 Modellerin elde edilen kapasite eğrileri	69
5.2.2 Modellerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	76
5.2.2.1 Beton sınıfının kapasiteye etkisi	76
5.2.2.1.1 Beton sınıfına göre kapasite sonuçların değerlendirilmesi	79
5.2.2.2 Etriye aralığının kapasiteye etkisi	79
5.2.2.2.1 Etriye aralığına göre kapasite sonuçların değerlendirilmesi ...	79
5.2.3 Modellerin kapasitelerinin AY98 (1998)'e göre değerlendirilmesi...	82
5.3 Yatay Yük Taşıma Kapasitesini Arttırmak İçin Çözüm Önerileri	85
6. SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR	92
EKLER	94
ÖZGEÇMİŞ	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Çeltiksuyu YİBO pansiyon binası	7
Şekil 2.2 Yetersiz sargı donatısı	8
Şekil 2.3 Düzensiz granülometriye sahip agrega	9
Şekil 2.4 Pansiyon binasının katlarının bir biri üstüne çökmesi	9
Şekil 2.5 Zayıf betonun dağılması	10
Şekil 2.6 SSK binasının depremden önce ve sonra görünümü	11
Şekil 2.7 Sağlık Meslek Lisesi binasının depremden önce ve sonra görünümü..	11
Şekil 2.8 Yapısal burulma sonucu çökmüş bir bina	12
Şekil 2.9 Kısa kolon ve yumuşak kat hasarları	12
Şekil 2.10 DY07 (2006)'da hasar sınırları	19
Şekil 3.1 Yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri	24
Şekil 3.2 Betonarme kesitte moment-eğrilik ilişkisi	25
Şekil 3.3 Konsol kolonda eğilme momenti ve eğriliğin değişimi	26
Şekil 3.4 Yapının doğrusal ötesi davranışı	28
Şekil 3.5 İtme şekli ve kapasite eğrisi	29
Şekil 3.6 Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları	33
Şekil 3.7 Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi..	38
Şekil 3.8 Lineer olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi	39
Şekil 3.9 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	40
Şekil 3.10 Elastik istem spektrumunun ivme - yer değiştirme formatına dönüştürülmesi	41
Şekil 3.11 Histeretik söküme eşdeğer viskoz sönümün belirlenmesi	42
Şekil 3.12 İndirgenmiş talep spektrumunun elde edilmesi	43
Şekil 3.13 Performans noktasının bulunması	43
Şekil 3.14 Sünek olan (a) ve sünek olmayan (b) bir yapıda performans seviyeleri	46

Şekil 3.15	İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi	47
Şekil 3.16	Farklı R ve α değerleri için deplasman oranları	50
Şekil 4.1	8841-Y1 Tip proje kalıp planı	52
Şekil 4.2	Yük tanımlamaları	54
Şekil 4.3	DL + LL yük kombinasyonu	55
Şekil 4.4	DL + 0.6 LL yük kombinasyonu	55
Şekil 4.5	Taşıyıcı sistemin SAP2000® yazılımındaki üç boyutlu modeli	56
Şekil 4.6	Moment-eğrilik ve moment-dönme değerleri	57
Şekil 4.7	Geliştirilmiş Kent ve Park modeline ait gerilme-şekil değiştirme grafiği	58
Şekil 4.8	Plastik mafsalları ayarlarının tanımlanması	61
Şekil 4.9	Malzeme özelliklerinin tanımlanması	62
Şekil 4.10	Örnek bir aks için SAP2000® yazılımında elemanlara atanmış plastik mafsallar	63
Şekil 5.1	X yönü için statik itme analizi tanımlama penceresi	65
Şekil 5.2	Y yönü için statik itme analizi tanımlama penceresi	65
Şekil 5.3	X yönünde statik itme analizi yük uygulanması için tanımlama penceresi	66
Şekil 5.4	Y yönünde statik itme analizi yük uygulanması için tanımlama penceresi	66
Şekil 5.5	SAP2000® yazılımında elde edilmiş örnek bir kapasite eğrisi	67
Şekil 5.6	SAP2000® yazılımında tablo verisi haline getirilen kapasite eğrisi ...	68
Şekil 5.7	Örnek bir aks için elemanlardaki plastik mafsalların hasar durumları.	68
Şekil 5.8	Örnek bir perde elemanın mafsallaşması	69
Şekil 5.9	X yönünde C10 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri	70
Şekil 5.10	Y yönünde C10 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri	71
Şekil 5.11	X yönünde C13 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri	72
Şekil 5.12	Y yönünde C13 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri	73
Şekil 5.13	X yönünde C16 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri	74
Şekil 5.14	Y yönünde C16 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri	75
Şekil 5.15	X yönünde beton sınıfına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması ...	77
Şekil 5.16	Y yönünde beton sınıfına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması ...	78
Şekil 5.17	X yönünde etriye aralığına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması .	80

Şekil 5.18	Y yönünde etriye aralığına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması .	81
Şekil 5.19	C10, S=25 cm modeli X yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)'e göre taban kesme kuvveti	83
Şekil 5.20	C10, S=25 cm modeli Y yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)'e göre taban kesme kuvveti	83
Şekil 5.21	C16, S=15 cm modeli X yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)'e göre taban kesme kuvveti	84
Şekil 5.22	C16, S=15 cm modeli Y yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)'e göre taban kesme kuvveti	84
Şekil 5.23	X yönünde iki, Y yönünde iki perde ilavesi	85
Şekil 5.24	X yönünde dört, Y yönünde iki perde ilavesi	86
Şekil 5.25	C10, S=25 cm modeline ait normal ve güçlendirilmiş durum kapasite eğrileri	87
Şekil 5.26	C16, S=15 cm modeline ait normal ve güçlendirilmiş durum kapasite eğrileri	88
Şekil Ek1	İncelenen binanın ilk üç katının kalıp planı.....	113
Şekil Ek2	İncelenen binanın son iki katının kalıp planı.....	114

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Bingöl’de son altmış yılda meydana gelen aletsel olarak büyük depremler	7
Tablo 2.2 1975 Afet Yönetmeliğine göre K katsayıları	14
Tablo 3.1 Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri	32
Tablo 3.2 Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri	34
Tablo 3.3 Bina yapısal performans seviyeleri	35
Tablo 3.4 Çok seviyeli hedef performansın tanımlanması	37
Tablo 3.5 Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı	44
Tablo 5.1 İlave perde elemanlarının kesit ve donatı özellikleri	76
Tablo 5.2 İlave perde elemanlarının kesit ve donatı özellikleri.....	86
Tablo Ek.1 Kolon elemanlara ait kesit ve donatı özellikleri	95
Tablo Ek.2 Kiriş elemanlara ait kesit ve donatı özellikleri	97
Tablo Ek.3 Perde elemanlara ait kesit ve donatı özellikleri	111

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER TANIM

a	Zemine bağlı katsayı
A_0	Etkin yer ivme katsayısı
A_0	Sargı donatısı kesit alanı
b_k	Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu
C	Deprem katsayısı
C_0	1975 Afet Yönetmeliğinde deprem bölgesi katsayısı
C_0	Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı
C_1	Lineer elastik yer değiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yer değiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısı
C_2	Çevrimsel enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısı
C_3	İkinci mertebe etkileri nedeniyle artan yer değiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı
C_m	Etkili kütle katsayısı
C_y	Yatay dayanımın sismik ağırlıkla normalize edilmesi ile elde edilen katsayı
D_y	Akma deplasmanı
D_{max}	Maksimum deplasman
D_u	Nihai deplasman
F	1975 Afet Yönetmeliğinde depreme dayanıklı boyutlandırmada kullanılacak statik eşdeğer yatay yük
f_c	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{cc}	Sargılı beton basınç dayanımı
f_{yw}	Sargı donatısının minimum akma dayanımı
g	Yerçekimi ivmesi
g_i	i.kattaki sabit yükler toplamı
H	Toplam bina yüksekliği
h_k	Kesit yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
K	1975 Afet Yönetmeliğinde yapı tipi katsayısı
L_p	Plastik mafsallık boyu
l_s	Kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu
M_y	Akma anındaki moment
M_{max}	Maksimum moment
M_u	Nihai moment
N	Binanın kat sayısı
n	Hareketli yük katılım katsayısıdır
P	Eksenel yük
PF_1	1. moda ait modal katılım çarpanı

SİMGELER TANIM

q_i	i.kattaki hareketli yükler toplamı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S	Etriye aralığı
S	Spektrum katsayısı
$S(T)$	Periyoda bağlı ivme spektrumu katsayısı
S_a	Spektral ivme
S_d	Spektral deplasman
T	Yapının elastik doğal titreşim periyodu
T_B	Zemin karakteristik köşe periyodu
T_e	Etkin doğal periyot
T_0	Temel altı zemin(ler)in hakim periyodu
V_T	Taban kesme kuvveti
V_y	Akma anındaki kesme kuvveti
V_{max}	Maksimum kesme kuvveti
V/W	Binaya etkiyen yatay kuvvetin toplam bina ağırlığına oranı
W	Toplam bina ağırlığı
w	Ağırlık
Z_u	Sargısız beton gerilme–birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi
Z_c	Sargılı beton gerilme - birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi
α	Doğal moda ait modal kütle katsayısı
β_{eq}	Yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm oranını
β_o	Eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen çevrimsel sönümü
Δ/H	Binanın yaptığı deplasmanın toplam bina yüksekliğine oranı
δ_{maks}	Yapının tepe noktası yatay yer değiştirmesi
ϵ_c	Beton birim şekil değiştirmesi
ϵ_{co}	Sargısız betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme
ϵ_{coc}	Sargılı betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme
ϵ_{cu}	Sargısız beton için en büyük birim şekil değiştirme
ϵ_{c20}	Sargılı beton için $0.2 f_{cc}$ gerilme değerine karşılık gelen birim şekil değiştirme
ϕ_y	Akma anındaki eğrilik
ϕ_u	Nihai eğrilik
$\phi_{tepe,1}$	Birinci moda ait en üst kattaki genlik
$\phi_{i,1}$	Birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik
κ	Yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen bir katsayı
μ	Süneklik katsayısı
ρ_s	Sargı donatısının hacimsel oranı
σ_c	Beton basınç gerilmesi
θ_y	Akma anındaki dönme
θ_{pl}	Plastik dönme

1.GİRİŞ

1.1 Genel

Deprem, yerkabuğunu oluşturan tabakaların hem kendi yapıları içinde hem de birbirleri arasında oluşan gerilme artışlarının harekete dönüşmesi ile oluşan bir doğal afettir. Buna bağlı olarak da, depremsellik olarak tabir edilen bir bölgenin deprem açısından yoğunluğu, üzerinde bulunduğu yerkabuğunun yapısı ile alakalıdır. Dünya üzerinde yılda ortalama yediyüz hasar verici deprem meydana gelmektedir. Deprem, özellikle günümüz teknolojileriyle ne zaman oluşacağı hakkında önceden kesin bilgiye ulaşılamadığı için doğal afetler arasında ayrı bir özelliğe sahiptir. Bu nedenle, depreme ve depremle yaşamaya hazırlıksız bölgelerde bu doğal afet büyük yıkımlara ve acılara sebep olmuştur ve olacaktır.

Türkiye, deprem açısından dünyanın en yoğun bölgelerinin biri üzerindedir. Her gün bizim hissettiğimiz veya hissetmediğimiz birçok deprem meydana gelmektedir. Türkiye'nin toplam nüfusunun %98'i, yüzölçümünün de %96'sı deprem riski altındadır. Ayrıca ülke yüzölçümünün %42'si ve nüfusunun %44'nün birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu yoğun deprem faaliyetlerinin üzerine, bir de ülkemizde sıklıkla gözlenen, çarpık yapılaşma, kalitesiz malzeme kullanımı ve özensiz imalat eklenince, oluşan yıkıcı depremlerin faturası çok daha ağır olmaktadır.

Bilindiği üzere deprem ile birlikte bir enerji açığa çıkar. Depremlerin büyüklükleri açığa çıkardıkları enerji ile ifade edilir. Bu enerji, yerkabuğu üzerinde dalgalarla yayılır, yerkabuğunda oluşan çatlamlar, yarılmalar ve yeryüzünde bulunan yapılarda oluşan hasarlar ile sönmülenir. Yapının yatay yük taşıma kapasitesini kaybetmeden hasar görebilme yeteneğine süneklik denir. Süneklik ise yapının malzeme kalitesine, elemanların sünek davranabilecek biçimde donatılandırılmış (özellikle sargılanmış) olmasına bağlıdır.

Hiçbir uyarı vermeden ansızın oluşan bu doğal afetin yol açtığı can ve mal kayıplarının mümkün olduğunca azaltılabilmesi için, deprem mühendisliği alanında yaşanan gelişmelere paralel olarak sürekli yenilenen yönetmelikler geliştirilmektedir. Bu şekilde, depreme dayanıklı yapı tasarımı için gerekli minimum koşullar tanımlanmaktadır. Günümüzde yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998'de (AY98 1998) amaç olarak, şiddetli depremlerde can ve mal kayıplarına sebep olabilecek kısmi ya da tümünden göçmenin önlenmesi amaçlanmaktadır.

Yeni yapılacak binaların tasarımında kullanılacak deprem yükünün belirlenmesi konusunda, gerek yoğun ve uzun süreli kullanım özellikleri ile gerekse olası bir deprem sonrası bu yapılara duyulacak ihtiyaç sebebi ile, hastane, okul ya da benzeri eğitim yapıları gibi kamu binalarına ayrı bir önem gösterilmektedir. Dolayısıyla, yapılara etkiyecek tasarım deprem yükünün hesabında bina önem katsayısı (I), bir parametre olarak kullanılmaktadır. AY98 (1998)'den önce yürürlükte olan 1975 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te (AY75 1975) okul ve hastane binaları için bina önem katsayısı $I=1.5$ alınmakta idi (işyeri ve konutlar için $I=1$). AY98'de de hastaneler için $I=1.5$, okul ve eğitim yapıları için $I=1.4$ alınmaktadır

AY98 (1998)'de birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, bina önem katsayısı 1.4 ve 1.5 olan yapılar için süneklik düzeyi yüksek sistemlerin seçilmesinin zorunlu olduğu belirtilmektedir. Bu şart, AY98 (1998)'de kamu binalarının tasarımına verilen önemin net olarak ortaya konduğunu gösteren hususlardan birisidir.

1.2 Problemin Tanımı

Ülkemizdeki pek çok yapı AY75 (1975) hükümleri dikkate alınarak yapılmıştır. AY98 (1998) yayınlanana dek yapılan kamu binaları da buna dahildir. Zamanına göre çağdaş bir yönetmelik olan AY75 (1975), aradan geçen zaman içerisinde doğal olarak geçerliliğini yitirmiş ve yerini deprem mühendisliğinde son yıllarda yaşanan gelişmelerin pek çoğunu kapsayan bir yönetmelik olan AY98 (1998)'e bırakmıştır. Doğal olarak 1998 öncesi yapılan yapılar, AY98 (1998)'in öngördüğü güvenlik düzeyine sahip değildir. Ancak halen hizmet vermeye devam etmektedirler.

Bir yapının deprem davranışını olumlu yönde etkileyen faktörlerden en önemlileri, uygun taşıyıcı sistem seçimi, donatı detaylarının özenli uygulanması ve kaliteli malzeme kullanımıdır. Ancak daha önceki depremlerde hasar gören yapılar incelendiğinde, ne yazık ki bu konularda büyük eksiklerin olduğu görülmüştür. Özellikle ülkemizde, kalitesiz beton kullanımı ve birleşim bölgelerindeki sargı donatısı sıklaştırmalarının uygulanmamasıyla sıklıkla karşılaşmıştır. Dolayısıyla bu yapılar için depreme dayanıklılıktan bahsetmek oldukça güçtür. Bu noktada, mevcut yapıların incelenmesi ve gerekli olanların güçlendirilmesi ile olası depremlerde meydana gelebilecek hasarın ve kayıpların azaltılması önemli bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır.

1.3 Amaç

Ülkemizde çoğu kamu binası tip projeler hazırlanıp bunlara göre inşa edilmiştir. Yani aynı projeye sahip bir kamu binası ülkemizin birden çok bölgesinde inşa edilmiş ve kullanılmaktadır. Yönetmelik değişikliklerinde ise mimari proje aynen kalmakta ve buna bağlı olarak statik proje yeni yönetmelik şartlarına göre yeniden düzenlenmektedir. Ayrıca, Türkiye’deki kamu binalarının genel olarak malzeme kalitesi ve imalat aşamasındaki uyulması gereken kurallar konusunda bir çok eksikliği olduğu bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla kamu binalarının hızlı bir şekilde incelenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması çok önemlidir. Tip projeye sahip bir kamu binasının incelenmesiyle, ülkemizin ayrı yerlerinde aynı tip projeye sahip binalar da incelenmiş olacaktır. Böylece incelemelerde daha kolay ve daha çabuk yol alınacaktır.

Bu çalışmada, okul binası olarak hizmet veren ve 1975 Afet Yönetmeliği şartlarına göre tasarlanmış 8841-Y1 tip numaralı bina seçilmiş ve doğrusal ötesi analiz yöntemleri kullanılarak incelenmesi amaçlanmıştır. Kamu binalarındaki önemli eksikler olarak bilinen kalitesiz malzeme kullanımı ve yetersiz sargı donatısı sıklaştırmasının, tip projenin deprem performansına etkisinin değerlendirilebilmesi amacıyla, değişik beton dayanımı ve sargı aralıkları için ayrı ayrı analiz edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.4 Yöntem ve Kapsam

Seçilen 8841-Y1 tip numaralı okul binasının öncelikle mevcut projesinden yararlanılarak bilgisayar ortamında SAP2000[®] yazılımı kullanılarak üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli oluşturulmuştur. Yine mevcut projeden yararlanılarak taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları, donatı miktarları ve düzenleri, kullanılan malzeme (beton, çelik) özellikleri ve birleşim detayları elde edilmiştir. Bu detaylar ayrıntılı olarak incelenmiş ve veri kaynağı olarak kullanılmıştır.

Sargılı beton davranışı için Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli kullanılmıştır. Elde edilen taşıyıcı sistem elemanlarının özellikleri kullanılarak, birleşim bölgeleri için plastik mafsallar oluşturulmuştur. Plastik mafsalların üretiminde CapCad yazılımı kullanılmıştır. Bu şekilde her birleşim için moment-eğrilik değerleri ve bu değerler kullanılarak da moment-dönme değerleri elde edilmiştir. Perde elemanlar için ise FEMA 356 (2000)'deki kriterler baz alınarak moment-eğrilik ve buna bağlı moment-dönme değerleri elde edilmiş, plastik mafsallar oluşturulmuştur.

Bu çalışmada ayrıca kullanılan okul binasının malzeme kalitesi bakımından değişik beton sınıflarına (C10, C13, C16) ve sargı donatısı detayları bakımından değişik donatı aralıklarına (S=10, S=15, S=25 cm) göre sargılı beton davranış modelleri ve buna bağlı olarak moment-eğrilik ve moment-dönme değerleri elde edilmiştir.

Her bir değişik durum için elde edilen bu plastik mafsal özellikleri, SAP2000[®] yazılımına aktarılmış ve her bir elemana, o elemana ait plastik mafsal özellikleri atanarak, üç boyutlu model analize hazır hale getirilmiştir.

Analiz yöntemi olarak Doğrusal Ötesi Statik İtme Analizi (Pushover Analysis) kullanılmıştır. Doğrusal ötesi statik itme analizi ile yapının mevcut hali ve değişik durumlar için öngörölmüş hali analiz edilerek, yapı kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bu kapasite eğrileri karşılaştırılarak, göz önüne alınan değişik durumların bina kapasitesi üzerindeki etkisi görölmüş nedenleri üzerinde tartışılmıştır.

1.5 Tezin Düzeni

Son yıllarda mevcut yapıların deprem açısından incelenmesi oldukça güncel bir konudur. Dolayısıyla bu konu ile ilgili çok olmamakla birlikte önceden yapılmış çalışmalar vardır. Ayrıca, başka bir önemli konu ise daha önceki depremlerde oluşan hasarların incelenmesidir. Bu konuyla ilgili olarak, daha önce ülkemizde yaşanmış yıkıcı depremler için raporlar hazırlanmıştır. *İkinci bölümde* bu konuyla ilgili önceden yapılmış çalışmalardan ve önceki depremlere ait raporlardan söz edilmiş, bilgiler verilmiştir.

Bu çalışmada seçilen örnek kamu binası modelinin, doğrusal ötesi analizi için araç olarak doğrusal ötesi statik itme analizi kullanılacaktır. Doğrusal ötesi statik itme analizi günümüzde oldukça ilgi gören çalışma konularındandır. *Üçüncü bölümde* doğrusal ötesi analiz yöntemleri ve doğrusal ötesi statik itme analizi hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, seçilen okul binasının üç boyutlu yapı modelinin SAP2000[®] yazılımında oluşturulması, taşıyıcı sistem elemanları için değişik beton sınıfları ve değişik sargı donatısı aralıklarına göre sargılı beton davranış modellerinin CapCad yazılımında oluşturulması hakkında bilgiler verilmiştir.

Doğrusal ötesi analiz yöntemleri kullanılarak hazırlanan modellerin analizi için gereken parametreleri, kullanılan bilgisayar yazılımında tanımlamak gerekmektedir. Analiz yapıldıktan sonra ise, sonuçlar değerlendirilirken titiz davranmak gerekir. Özellikle taşıyıcı sistem bakımından karmaşık yapılarda çok fazla sonuç parametresi bulunmaktadır. Bu parametrelerin incelenip gerekli değerlerin özellikle grafik olarak derlenmesi sonuçların daha kolay yorumlanmasını sağlamaktadır. *Beşinci bölümde* hazırlanan modelin SAP2000[®] yazılımında analizi hakkında bilgiler verilmiş, elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiş ve sonuçlara göre değişik beton sınıfları ve değişik sargı donatısı aralıklarının kapasiteye etkilerinden söz edilmiş, mevcut yönetmelik şartlarına göre değerlendirmeler yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Son olarak *altıncı bölümde* seçilen yapının belirtilen durumlar altında analizlerinde ulaşılan sonuçlar ve bunlar hakkında öneriler belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1 Önceki Depremler Hakkındaki Çalışmalar

Ülkemizde bilindiği gibi çok sayıda yıkıcı depremler yaşanmıştır. 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri ve 2003 Bingöl depremi binaların en çok hasar gördüğü depremler arasındadır. Özellikle 1992 Erzincan ve 2003 Bingöl depremlerinde kamu binalarında gözlenen hasarlar rapor haline getirilmiştir. Bu bölümde bu raporlardan kısaca bahsedilecektir.

2.1.1 Bingöl deprem raporu

Bu rapor , 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminden sonra Pamukkale Üniversitesi Yapı Anabilim Dalı tarafından hazırlanmıştır (Kaplan vd 2003). Deprem bölgesinde hasar durumları ve hasar gören binaların malzeme kaliteleriyle ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların sonuçları ve bunlarla ilgili öneriler bu raporda derlenmiştir.

Aletsel büyüklüğü 6.4 olan bu depremde Bingöl Valiliğinden alınan bilgilere göre, 308 yapının yıkıldığı, 2566 yapının ağır hasar gördüğü, 2546 yapının hafif hasarlı olduğu belirtilmiştir ve 174 kişi hayatını kaybetmiş, 520 kişide yaralanmıştır.

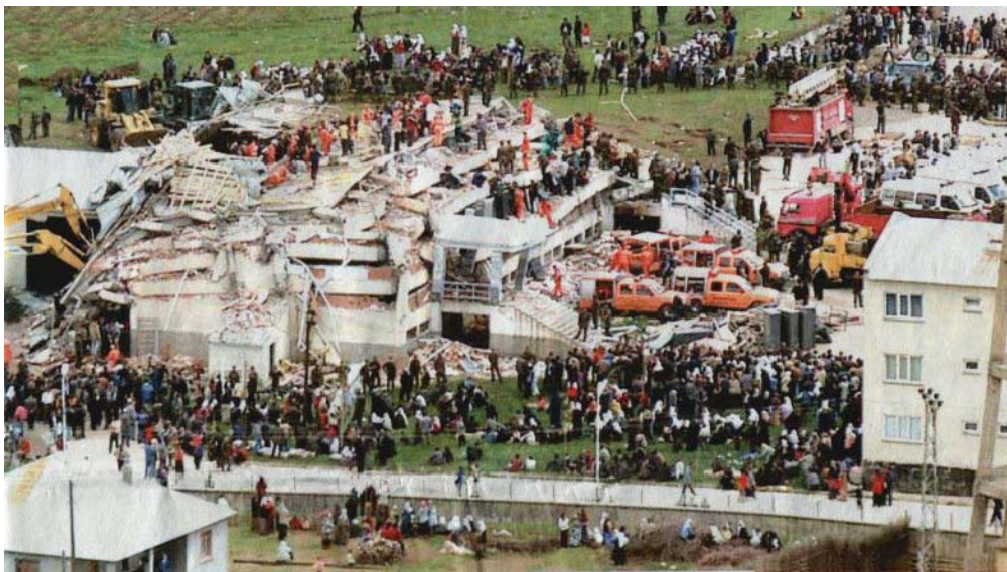
Bingöl depreminde en çok eğitim binalarının hasar görmesi dikkati çekmiştir. Burada daha önce de depremler meydana gelmiş ve yapılar yıkılmıştır. Son altmış yılda meydana gelen ve aletsel olarak ölçülen büyük depremler Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Raporda özellikle vurgulanan konulardan biri mühendislik unvanının gerektirdiği şartlardır. İnşaat mühendislerinin görevleri, insanların içinde yaşadıkları mekanları güvenli, ekonomik ve fonksiyonel olacak biçimde planlamak ve inşa etmektir. Bu amacın gerçekleştirilmesi için, inşaat mühendisleri, projelerinde ve uygulamalarında gelişen teknolojilerden yararlanmak, yapılarda kullanılacak malzemeleri iyi seçmek zorundadırlar.

Tablo 2.1 Bingöl’de son altmış yılda meydana gelen aletsel olarak büyük depremler

Tarih	Büyükklük (Md)
15.12.1934	5.8
28.05.1940	5.2
20.08.1966	5.5
24.09.1968	5.1
22.05.1971	6.7
01.05.2003	6.4

Türkiye’nin topraklarının %80’inden çoğu deprem kuşağında yer almaktadır. 1992 yılından beri meydana gelen orta şiddetteki bir depremin bile büyük can ve mal kayıplarına neden olduğu düşünülürse konunun önemi daha iyi anlaşılabilir. Bingöl depremindeki resimlerin korkunç görüntülerinin nedenleri; eksik ve kalitesiz malzeme kullanımı, bakımsız beton, plansız yapılaşma, kontrolsüz proje ve en önemlisi de depreme dayanıklı olmayan yapı üretimidir. 6.4 büyüklüğündeki bir depremde, mühendislik açısından cinayet sayılabilecek uygulamalar ile ortaya çıkan bir çok betonarme yapı yıkılmış ya da ağır hasar görmüştür. Bingöl’ de yapıların yıkılmasında en fazla rol oynayan faktör beton kalitesidir. Son yıllarda depremde hasar gören ve yıkılan yapılar arasında beton kalitesi en düşük olan yapıların Bingöl’ de olduğu gerçeği göz ardı edilmemelidir. En acısı ise, Bingöl depreminde, bir çok deprem yaşadktan sonra ve yeni yönetmelik yayınlandıktan sonra yapılan bir çok okul yapısı yıkılmış yada hasar görmüş olmasıdır.

**Şekil 2.1** Çeltiksuyu YİBO Pansiyon Binası

Raporda özellikle eğitim binalarında oluşan hasarlar incelenmiştir. Bu eğitim kurumlarından en önemlisi ve depremin en ağır faturasını ödeyen Çeltiksuyu Yatılı Bölge İlköğretim Okulu (YİBO) dur. Bu binada yaklaşık 100 ilköğretim öğrencisi hayatını kaybetmiştir. Çeltiksuyu köyünde bulunan YİBO' nun pansiyon binası Bodrum + 4 katlıdır. Eğitim binası ise Bodrum + 3 katlıdır. YİBO 'nun eğitim binasının zemin katı, pansiyon binasının ise tamamı göçmüştür (Şekil 2.1).

Bu pansiyon binası incelendiğinde, göçme ve hasar görme nedeni olarak, beton kalitesi ve donatı detaylarında yapılan hatalar göze çarpmaktadır. Hem göçen pansiyon bloğunda hem de eğitim bloğunda kolon kiriş birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Yetersiz sargı donatısı

Beton üretiminde düzensiz granülometriye sahip dere malzemesi kullanılmış, kolon kiriş birleşim bölgesinde dağılan beton içerisinde 15 cm büyüklüğüne varan taş parçaları tespit edilmiştir (Şekil 2.3). Odalardaki çelik dolapların kolonlardan daha iyi taşıyıcı özellikte olması da trajikomik bir olaydır (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 Düzensiz granülometriye sahip agrega



Şekil 2.4 Pansiyon binasının katlarının bir biri üstüne çökmesi

Raporda ayrıca Bingöl depreminde hasar gören diğer kamu binalarının da incelenmesine yer verilmiştir. Eğitim binaları olarak, Kaleönü İlköğretim Okulu, Sarıçiçek Köyü İlköğretim Okulu, Mehmet Akif İlköğretim Okulu, Bingöl Lisesi eğitim ve pansiyon binası, Karaelmas İlköğretim Okulu, Hulusi Bey İlköğretim Okulu, Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi, Bingöl Merkez YİBO, Genç çocuk yuvası, Genç İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü ve Atatürk İlköğretim Okulu, Çaytepe PİO, Genç YİBO incelenmiştir. Ayrıca Bingöl Devlet Hastanesi, Emniyet Müdürlüğü Lojmanı ve Bölge Trafik Denetleme Amirliği Hizmet Binası, Bingöl Holding Fabrikası, Bingöl Belediyesi Hizmet Binası, kent içinde hasar gören bazı binalar ve yığma yapılar hakkında da incelemelerde bulunulmuştur.

Raporda betonarme yapılar için sonuç olarak kullanılan malzemenin özellikle betonun kalitesizliği ve uygun olmayan işçilikten kaynaklanan hasar nedenlerinden bahsedilmiştir. Beton karışımında uygun reçetenin uygulanmamış olması sonucu ortaya çıkan kalitesiz beton, depremde yapının yıkılmasına neden olmuştur. Özellikle düğüm noktalarında tespit edilen 150-200 mm büyüklüğündeki çakıl (taş) parçaları oldukça dikkat çekicidir. Buradan, inşaat işi ile ilgilenenlerin beton üretimi konusunda yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olmadıkları gerçeği ortaya çıkmaktadır. Depremde yıkılan ya da hasar gören yapılara kullanılan agregalardan alınan örneklerin incelenmesinde, agregalarda yıkanabilir madde içeriğinin fazla olduğu görülmüştür. Bu da beton basınç dayanımını önemli ölçüde düşürmüştür. Hasar gören bir yapının kolonunda toprak parçacıkları tespit edilmiştir. AY98 (1998)'de birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde üretilecek betonların en az C20 olması gerektiği yer almaktadır. Bingöl'de üretilen betonların çoğu C10'un bile altındadır Bingöl'deki özel ve kamu yapılarında kullanılan betonlar basınç dayanımlarının ortalama 10 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değer yönetmelikte olması gereken değer yarısına yakındır. Bu şekildeki beton ile üretilen elemanların betonarme olarak nitelendirilmesi imkansızdır. Betonarme yapılardaki beton basınç dayanımları bu kadar düşük olmasının nedenlerinden birisi de beton üretiminin el ile yapılmasıdır. Yıkılan bir çok yapıda donatı detaylarında uygulama hataları yapılmıştır. En fazla 10 cm olması gereken yerlerde 60 cm ye varan etriye aralığı gözlenmiştir. Etriyelerde kancalar, 135° kıvrılmamış 90° de bırakılmıştır. Sünek çerçeve olarak projelendirilen yapılarda, düğüm noktalarında yeterli süneklik sağlanmamıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Zayıf betonun dağılması

Raporda özellikle kamu binalarında oluşan hasarlar hakkında sonuç olarak kamu yapılarının ihalesine, yapımına ve denetimine gereken özen gösterilmediğine dikkat çekilmiştir. Yıkılan eğitim binalarının çoğunun 1997 sonrası yapılmıştır. Çünkü bu dönemde daha fazla okul binasına ihtiyaç duyulmuş ve bunun üzerine bazı yapılar kısa sürede ihale edilerek yapılmıştır.

2.1.2 Erzincan deprem raporu

Bu rapor , 13 Mart 1992 Erzincan depreminden sonra İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi tarafından hazırlanmıştır (İMOD 1993). Deprem bölgesi incelenmiş, hasar gören yapılar hakkında araştırmalar yapılmıştır. Araştırma sonuçları ve deprem hakkındaki bilgiler bu raporda derlenmiştir.

Erzincan depreminde de kamu binaları ağır hasarlar almıştır. Özellikle SSK Hastanesi ve Sağlık Meslek Lisesi bazı blokları tamamen göçmüş diğer blokları da kullanılamaz hale gelmiştir. Yapılan incelemelerde yine kalitesiz beton kullanımı ve donatı detay hataları gözlenmiştir (Şekil 2.6, Şekil 2.7).



Şekil 2.6 SSK binasının depremden önce ve sonra görünümü



Şekil 2.7 Sağlık Meslek Lisesi binasının depremden önce ve sonra görünümü

Raporda bahsedilen en önemli hasar sebepleri yapısal burulma, kısa kolon davranışı ve yumuşak kat davranışıdır. Ayrıca donatı detaylarındaki yetersiz sargılama hasar gören yapılar içinde sıklıkla görülen eksiklerdendir (Şekil 2.8, Şekil 2.9).



Şekil 2.8 Yapısal burulma sonucu çökmüş bir bina



Şekil 2.9 Kısa kolon ve yumuşak kat hasarları

Raporda vurgulanmak istenen önemli konulardan biri de kamu binalarının deprem açısından yeterli olarak inşa edilmemesidir. Mali kaynakları çok iyi kullanmak zorunda olan ülkemiz insanları ve idarecileri ellerine geçen her fırsatı en iyi şekilde değerlendirmek ve kaybetmemek zorundadır. Depremlerde uğranan zararlardan ders alınarak bundan sonra daha bilinçli hareket etmek zorunludur. Özellikle kamu binalarını yapan müteahhit firmalar ve bunları denetleyen eden kontrol mühendisleri bu konuda çok duyarlı olmalıdırlar. İnşaatin her aşamasında gerekli gözlemler yapılmalı, bütün ayrıntılara dikkat edilmelidir. Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların birbirine bağlantı detayları projede ve uygulamada özenle teşkil edilmelidir. Yapı elemanları kendilerinden beklenen deprem davranışını gösterebilmelidir. Bir tek eleman ya da bölge kalıcı şekil değiştirmelerin odağı olmamalıdır.

2.2 Deprem Yönetmelikleri

2.2.1 1975 Afet Yönetmeliği

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası 1972’de 4 bölge olarak yenilenmiştir. 1973’ de yeni bir yönetmelik için başlatılan komite çalışmaları hesap esasları bakımından California hesap kurallarını belirten SEAOC kitapçığını model olarak almakla beraber ilk defa olarak betonarme yapıların imalinde gözetilecek konstrüktif detaylara ağırlık verdi. Resmi Gazete’nin 9.6.1975 tarih ve 15260 sayısında yayınlanan Yönetmelik artık bütün yapılar için Türk Standartlarına ve Bayındırlık Bakanlığı’nın “Genel Teknik Şartnamesi”ne uygunluk şartı aramaktaydı (AY75 1975).

1975 tarihli Afet Yönetmeliğine göre yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılacak statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$F = C \cdot W \quad (2.1)$$

Burada;

F : depreme dayanıklı boyutlandırmada kullanılacak statik eşdeğer yatay yük,

C : deprem katsayısı,

W : toplam bina ağırlığıdır.

$$C = C_0 \cdot K \cdot S \cdot I \quad (2.2)$$

Burada;

C_0 : deprem bölgesi katsayısı,

K : yapı tipi katsayısı,

S : spektrum katsayısı,

I : yapı önem katsayısıdır.

C_0 , 1. derece deprem bölgesi için 0.10, 2. derece deprem bölgesi için 0.08, 3. derece deprem bölgesi için 0.06, 4. derece deprem bölgesi için 0.03’tür.

K, en başta çerçeve sisteminin düktil olup olmamasına, ikinci derecede de bölme duvarlarının dayanım ve enerji yutabilme yeteneklerine bağlıdır. Hesap yapılırken eğer

sargı donatısı, birleşim noktasının kayma donatısı, v.b. bakımlardan yalnızca TS500'ün hükümlerini yerine getirmekle yetinilirse ortaya “düktil olmayan sistem” çıkmış olmaktadır(TS500 2000). Yani, daha büyük bir taban kesme kuvveti için hesap yapılması istenirse Deprem Yönetmeliğinin detaylandırma ve hesaplama ilkelerinin tamamı göz ardı edilebilir. Bunun cezası sadece K'nin büyümesidir. K, betonarme ya da yatay ve düşey donatılı yığma bölme duvarlı düktil çerçeveler için 0.80 alınmaktadır, ayrıca 1975 tarihli afet yönetmeliğinde belirtildiği gibi tanımı ayrıca yapılmamış tüm taşıyıcı sistemler için K=1.00'dir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2 1975 Afet Yönetmeliğine göre K katsayıları

Çerçeve Türü	Bölme Duvarı Özellikleri		
	Betonarme veya Donatılı Kargir	Donatısız Kargir	Hafif Bölme Duvarı veya Prefabrike Eleman
Düktil	0.6	0.8	1.0
Düktil Olmayan	1.2	1.5	1.5

S, bina doğal periyoduna bağlı olarak hesaplanabilmektedir (Denklem 2.3).

$$S = \frac{1}{|0.8 + T - T_0|} \leq 1.0 \quad (2.3)$$

Burada ;

T : Yapının birinci mod periyodu

T₀ : Temel altı zemin(ler)in hakim periyodu.

I, Afet yönetimi açısından önem arz eden veya insan yığılmalarının olduğu yapılarda I = 1.5 olmaktadır. Yapı ağırlığı W' nin hesaplanmasında gene faydalı yüklerin bir kısmı (yüzde 30 gibi) hesaba dahil edilmekteydi. Okullar için I=1.50 , özel konutlar için I=1.00 , hastaneler için ise I=1.50 alınmaktadır.

Ayrıca yatay yükün hesabında kullanılacak olan toplam bina ağırlığı W'nin hesabı;

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (2.4)$$

olup burada W kat ağırlığı;

$$W_i = g_i + n \cdot q_i \quad (2.5)$$

ile hesaplanmaktadır.

Burada;

- g_i : i.kattaki sabit yükler toplamı,
- q_i : i.kattaki hareketli yükler toplamı,
- n : hareketli yük katılım katsayısıdır.

2.2.2 1998 Afet Yönetmeliği

1997 yılında Resmi Gazetede yayınlanan ve 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (AY98 1998) ile yapı projelendirilmesinde ve üretiminde çok daha bilimsel ve bağlayıcı şartlar ortaya konulmuştur.

Bu yönetmeliğe göre yapıya gelecek eşdeğer statik deprem yükü katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır;

$$C = \frac{A_0 \cdot I \cdot S(T)}{R} \quad (2.6)$$

Burada;

- A_0 : etkin yer ivme katsayısı,
- I : bina önem katsayısı,
- $S(T)$: ivme spektrumu katsayısı,
- R : taşıyıcı sistem davranış katsayısıdır.

A_0 , 1. derece deprem bölgesi için 0.4, 2. derece deprem bölgesi için 0.3, 3. derece deprem bölgesi için 0.2, 4. derece deprem bölgesi için 0.1'dir.

I, hastaneler için 1.5, okullar için 1.4, konutlar için 1.0 alınmaktadır.

Ayrıca $S(T)$ ivme spektrumu aşağıdaki durumlar için bazı formüller ile hesaplanmaktadır;

$$S = 2.5 \quad T < T_B$$

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

$$S \geq 0.1 R \quad T > T_B$$

Burada;

T : yapının elastik doğal titreşim periyodu,

T_B : zemin karakteristik köşe periyodu olup zemin sınıfına bağlı olarak değişmektedir.

Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı süneklik düzeyi yüksek sistemlerde taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$ alınmaktadır.

Genel olarak AY98 (1998)'in en önemli hususlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Bina düzensizliklerinin ve bunların sonuçlarının açıkça belirtilmiş olması
- Taban kesme kuvveti katsayısının sistem davranış katsayısı ile daha rasyonel ilişkilendirilmesi
- Zemin hakim periyodu kavramının vazgeçilerek, zemin yapısının spektrum eğrileri üzerindeki düzeltmelerle T_A ve T_B karakteristik periyot değerleri ile ifade edilmesi
- Yapı davranış katsayısının küçük periyotlu yapılarda daha küçük olmasının sağlanması
- Binaların çoğunda daha güvenilir (üç boyutlu, dinamik, spektral) hesaplama metotlarının kullanılmasının zorlanması
- Ortogonal tesirlerin, mod birleştirme kurallarının rasyonel araştırma sonuçları ile ispatlanmış ifadeler ile hesaba dahil edilmesi

- Hesapla bulunan kat arası yer değiştirmelerin sınırlandırılması
- Kısa kolon imalının zorlaştırılması
- Kolon ve kiriş kesme kuvvetlerinin uçlardaki mafsallaşma momentleri cinsinden ifade edilmesi
- Perde duvarı hesap ve imalat kurallarının Eurocode tarzı rasyonel ifadesi
- Perde duvarı miktarlarının ampirik bilgiler ışığı altında formülasyonu
- Perde uç elemanları için kısıtlayıcı şartların getirilmesi
- Perdelerdeki nominal gerilmelerin sınırlandırılması

Bunların ortadaki problemi çözüme kavuşturmak için yeterli olup olmaması her şeyden önce uygulanmasına bağlıdır. Uygulamanın da hem şantiyede hem de büroda olması gereklidir. Bu yönetmelik ile TS500 (2000) ve Deprem Yönetmeliği arasında önceki yönetmeliklerde olmayan bağlayıcılık ilişkileri kurulmuştur. Böylece şartnameler arasında bağlayıcılıktaki boşluklar ortadan kalkmıştır.

2.2.3 2007 Deprem Yönetmeliği

2006 yılında yayınlanan, 2007 yılının Mart ayında yürürlüğe girecek olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te, AY98 (1998)'den farklı olarak bazı değişiklikler ve yenilikler yapılmıştır (DY07 2006) . Öncelikle yangın ve sel gibi afetlerle ilgili bölümler çıkarılmıştır. Onun için DY07 (2006), afet değil bir deprem yönetmeliğidir. Betonarme yapıların tasarımı açısından da bazı değişiklikler yapılmıştır. Çelik yapıların tasarımı için bilgilendirme eki olan “Moment Aktaran Çerçevelerde Kiriş – Kolon Birleşim Detayları (Bölüm 4A) eklenmiştir. Ahşap ve kerpiç binalarla ilgili bölümler kaldırılmıştır. Asıl önemli olarak, DY07 (2006) ile ülkemizde mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili hususların yer aldığı ilk yönetmelik yürürlüğe girmiş olacaktır.

Betonarme yapıların tasarımı bakımından yapılan değişiklikler şunlardır ;

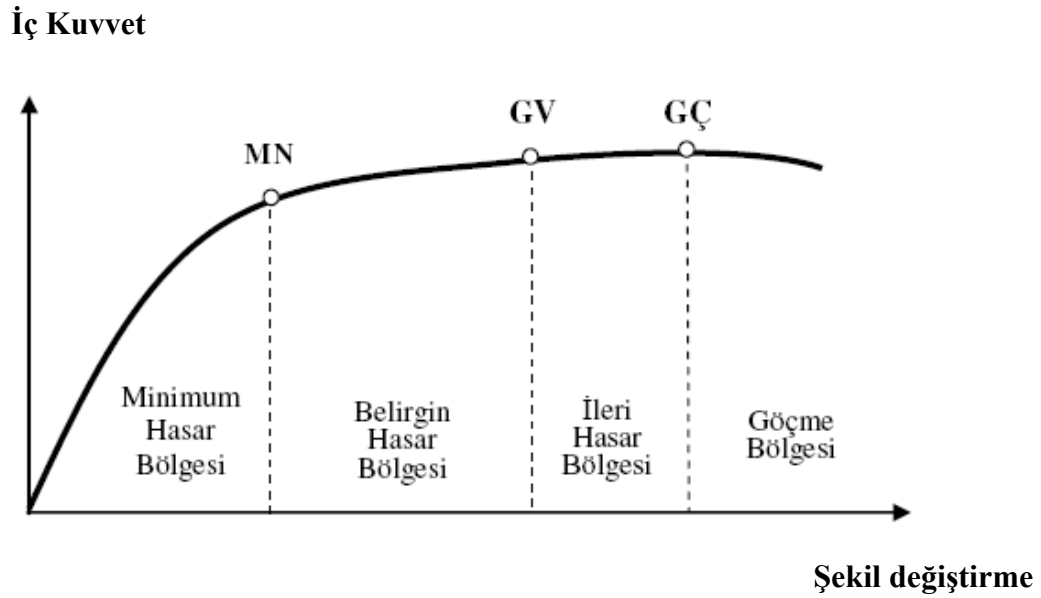
- AY98' de görelî kat ötelenme sınırı 0.0035 veya 0.02 / R olarak verilmektedir. DY07' de ise bu durum için 0.0035 sınırı kaldırılarak sadece 0.02 / R sınır olarak kabul edilmektedir.

- AY98 (1998)'de, B2 düzensizliği olarak verilen Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (*Yumuşak Kat*) düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} 'nin "1.5" dan fazla olması durumu olarak tanımlanmaktadır. DY07 (2006)'da ise bu düzensizlik, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} 'nin "2.0" den fazla olması durumu olarak tanımlanmaktadır.

Eklenen Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi (Bölüm 7) bölümü için DY07 (2006)'da mevcut yapıların değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilecek iki yöntem yer verilmiştir. Bunlar, doğrusal ve doğrusal ötesi yöntemlerdir. Her iki yaklaşım da DY07 (2006)'da yer alıyorsa da, bu konu ile ilgilenecek olan uygulamacı mühendislerin çoğunun daha önceki analiz ve tasarım alışkanlıklarından dolayı doğrusal yöntemi ağırlıklı olarak kullanacakları tahmin edilmektedir.

Bu yeni bölümde, değerlendirilecek ya da güçlendirilecek binalar için deprem performansları, hem düşey yüklerin hem de deprem etkilerinin birleşik etkileri altında belirlenmektedir. Binaların deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon, perde) deprem performansının bir bütünü olarak ifade edilmektedir. Yapı elemanlarının performansı, kesit hasar bölgeleri ile tanımlanmıştır. Yani herhangi bir elemanın en fazla hasarlı kesiti belirlenerek, bu kesitin hasar durumu, kesitin ait olduğu elemanın hasar durumu olarak kabul edilmektedir. Kesitin hasar durumunun belirlenmesi için, analiz neticesinde elde edilecek iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler, yönetmelikte tanımlanan hasar sınırları ile karşılaştırılmaktadır. Kesit hasar sınırlarını belirlemek için üç sınır durum tanımlanmıştır (Şekil 2.10). Bunlar minimum hasar sınırı (MN), güvenlik sınırı (GV) ve göçme sınırı (GÇ)' dir. Minimum hasar sınırı, kesitin elastik ötesi davranışının başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranış sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranış sınırını temsil etmektedir. Kritik kesitleri MN' ye ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesinde, MN ile GV arasında kalan elemanlar belirgin hasar

bölgesinde ve GV ile GÇ arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde kabul edilmektedir. Bu şekilde, maksimum hasar durumuna sahip kesitinin hasar durumu ile elemanın hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenmiş olmaktadır. eğer bina istenilenden daha fazla hasar görecektir durumda ise, güçlendirilerek istenilen hasar bölgesine çekilebilir.



Şekil 2.10 DY07 (2006)'da hasar sınırları

2.3 Akademik Çalışmalar

Yer değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmalarını sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yer değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings* - ATC 40 (1996) ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* - FEMA 273 (1997), FEMA 356 (2000) raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenip geliştirilmesiyle, elde edilen sonuçları içeren FEMA 440 (2005) taslak raporu hazırlanmıştır. ATC 40 (1996), FEMA 356 (2000) ve FEMA 440 (2005) raporlarındaki Kapasite Spektrumu ve Deplasman Katsayıları Yöntemleri hakkında, “Performansa Dayalı Tasarım ve Doğrusal Ötesi Analiz” başlığı altındaki 3. bölümde ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

2.3.1 ATC 40

Bu raporda, grafiksel bir prosedür sayesinde yapının kapasitesi yapıdaki deprem talebi ile karşılaştırılmaktadır. Yapının kapasitesi, elastik ötesi statik itme analizi ile belirlenen kuvvet-deplasman eğrisi (kapasite eğrisi) ile temsil edilmektedir. İtme analizinden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistemin spektral ivmelerine ve spektral deplasmanlarına dönüştürülür. Bu spektral değerler kapasite spektrumunu tanımlar. Deprem talepleri yüksek sönümlü elastik spektrum ile tanımlanmaktadır. Ancak, bu spektrum da kapasite spektrumu gibi spektral ivme-spektral deplasman formatında ifade edilir. Aynı grafik üzerinde çizilen talep ve kapasite spektrumlarının kesişimi, elastik olmayan dayanım ve deplasman talebini verir. Tepe deplasmanı performans noktasına ulaşmış yapıda, kesitlerdeki iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyesini ifade eden sınırlar ile karşılaştırılarak yapının performans düzeyi belirlenir (ATC 40 1996).

2.3.2 FEMA 273, 274, 356, 440

Belirli bir değerden daha yüksek periyoda sahip elastoplastik sistemlerin maksimum deplasmanının, aynı periyot ve sönüme sahip elastik sistemlere yaklaşık olarak eşit olması “eş deplasman” prensibi olarak bilinmektedir. Daha küçük periyotlu sistemler için ise elastik deplasmandan daha yüksek bir maksimum deplasman oluşmaktadır. Bu

varsayımdan yola çıkarak elastik deplasman değerinin farklı katsayılarla artırılarak doğrusal ötesi davranış gösteren sistemin deplasman talebinin belirlenmesi yöntemine “Deplasman Katsayıları Metodu” denilmektedir. Bu metot FEMA 273 (1997), FEMA 274 (1997) ve FEMA 356 (2000)’de yer almaktadır. Daha sonra, ATC 40 (1996) ile birlikte bu çalışmaların sonuçlarının irdelenip geliştirilmesiyle, elde edilen sonuçları içeren FEMA 440 (2005) hazırlanmıştır.

2.3.3 Diğer çalışmalar

Betonarme perdeli, çerçeve, perdeli-çerçeve veya dolgu duvarlı sistemlerin ele alındığı çalışmada bu sistemlerin deprem risklerinin belirlenmesi için bir yaklaşım sunulmuştur (Gülkan vd 1997). İki temel unsura dayanan bu yaklaşımın amacı olarak binaların elastik ötesi yer değiştirmelerini periyodun fonksiyonu olarak ifade edebilmektir. Bu temel unsurların birincisi, olası yer hareketlerinden yola çıkarak sistemin karşılaşacağı göreceli ötelenmelerin ortaya konulması, ikincisi ise, taşıyıcı sistemin bu talebi karşılayabilmesi için gerekli perde, kolon veya dolgu duvar alanlarının belirlenmesidir.

Genel deprem tasarımı, pratik yöntemler kullanılarak taban kesme kuvvetinin tümü bina deplasmanında tutulmuştur. Bu durum aynı zamanda bilim açısından da etkili olmuştur. Gelişen sismik tasarımı, ilk yükleme dizaynı, elastik olmayan deformasyonlar enerji seviyelerini ölçülebilir düzeyde tutup binalardaki kuvvetin azalması ile ileri gitmektedir. Binalarda oluşan bu davranış faktörleri dayanım gücü, düktilite, enerji yutabilme ve dağıtabilen etkilerdir. Taban kesme kuvveti tasarımıyla ilk yükleme de oluşan kuvvetteki ilerleme sonuçları, deformasyon seviyelerinde kontrol edilmektedir. Buna karşılık performans-taban kesme tasarımı oluşumu ters yöndedir (Bommer and Elnashi 1998).

Geçen 30 yıl boyunca, araştırmacılar ve mühendisler binaların sismik dizaynı ile gelişen prosedürleri deneyip depremin yeraltı hareketlerine karşılık elastik olmayan kısmını gösterdiler. Araştırmacılar ve mühendisler genellikle gelişen elastik ötesi tasarım prosedüründe dinamik, mekanik, malzeme ve benzer yada benzer olmayan deneysel verileri kullandılar. İlk olarak farklı yöntem ve farklı yollar benzer problemlerde çözüldü. Mühendislik metodlarında bir çok performans-taban kuvveti

yeniden gözden geçirip, çözüm sonuçlarını kullandılar (Freeman 1998). Gelişim süresince bu periyot Kapasite Spektrum Metodu ve doğrusal ötesi statik analiz metodu olarak bu metotta kullanıldı.

Yapılan binaların deprem performansının belirlenebilmesi ya da hasar görme olasılığının kolay ve hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için yeni bir yöntem ileri sürülmüştür (Pay 2001). Bu yöntem 6 kattan daha az yükseklikteki betonarme binalar için geliştirilmiştir. Kat sayısı, rijitlik, kapalı çıkma ve yumuşak kat ve aksların sürekliliği parametrelerinin binanın hasar görme riski üzerindeki etkileri araştırılmış ve bu parametrelere bağlı olarak doğrusal bir denklem ile binanın performans indisi tanımlanmaktadır. Bu çalışmada Bolu, Düzce ve Kaynaşlı' da yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bina ve hasar verileri kullanılmıştır.

3. DOĞRUSAL ÖTESİ ANALİZ

3.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri

Yapıya etkiyen deprem çok kısa süreli, dinamik bir etkidir ve yapı bu kısa zamanda önemli bir yatay kuvvet ile zorlanır. Bu etki yer hareketinin, zeminin ve yapının özelliklerine bağlıdır (kütle, sönüm, rijitlik, periyot, yer ivmesi vb.).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının ender görülebilecek şiddetli depremler karşısında elastik sınırlar içinde kalamayacağı, çeşitli yerlerde plastik mafsalları oluşumlarının yani hasarın gözleneceği öngörülmekte, ancak can güvenliğinin sağlanması için yapının kısmen veya tamamen göçmemesi yaklaşımı benimsenmektedir.

Yapı, tasarım için kullanılan depremlerde plastik deformasyon yapacak yani hasar görecektir. Bu sayede yapı deplasman yaparak enerji tüketebilecektir. Enerji tüketimini sağlayacak plastik mafsalları oluşumu ise istenen seviyelerde kalmalıdır. Yani enerji tüketim sürecinde yapıda göçme olmamalıdır. Düşük veya orta şiddetteki yer hareketleri daha sık meydana gelmektedir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hasar yaratmamalı ya da oluşacak hasar hafif ve onarılabilir olmalıdır. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel felsefesi bu şekilde özetlenebilir.

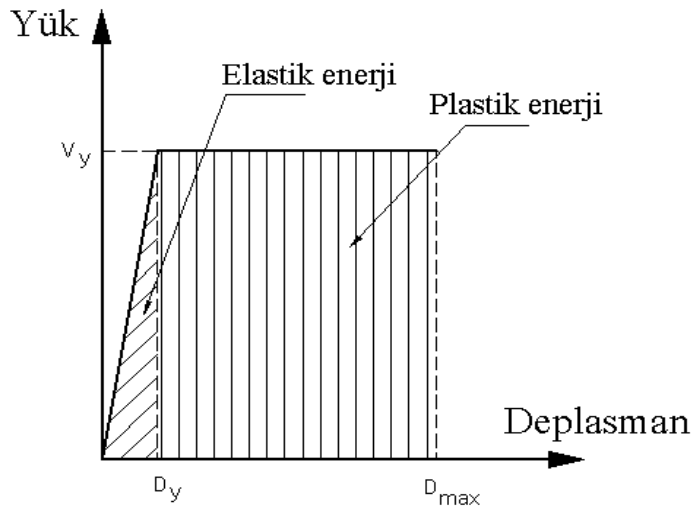
Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli koşullarından birisi de yanal ötelenmenin sınırlandırılması yani yapının belirli bir rijitliğe sahip olmasıdır. Eğer herhangi bir depremde katlar arası yer değiştirme farkı büyük olursa yapıya etkiyecek ikinci mertebe momentleri artacak ayrıca yapısal olmayan elemanlarda oluşacak hasarın maliyeti de yükselecektir. Aynı zamanda büyük deplasman, hasarın artması demektir. Bu sebeple özellikle düşey taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında tasarımcının, yapının yanal rijitliğini yüksek tutması gerekmektedir.

3.1.1 Enerji sönümü ve süneklik

Yapının ve zeminin özelliklerinden dolayı, deprem etkisi ile ortaya çıkan enerji, yapılarda değişik türden sönümlerle azalır. Bu sönümler, yapının rijitliği, geometrik boyutları ve kullanılan malzemenin yanında depremin büyüklüğü ile de ilgilidir (Celep ve Kumbasar 2000). Yapılar, elemanlarının plastik ötesi davranışının yanında, yapısal olmayan elemanlarının enerji tüketimine katkısı, temel-zemin etkileşimi gibi farklı nedenlerle de enerji tüketebilirler.

Betonarme elemanlar için yük-deformasyon eğrisinin altında kalan alan yapılan işe eşittir ve betonarme elemanın enerji tüketme gücünü göstermektedir. Betonarme elemanların elastik enerji tüketme güçleri kısıtlıdır. Plastik enerji tüketme gücü ise malzeme kalitesi ve donatı detaylarına bağlı olarak artabilmektedir. Şekil 3.1’de yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri idealize edilmiştir. Şekilde V_y ve D_y sırasıyla akma anındaki yük ve deplasman değerlerini, D_{max} ise maksimum deplasmanı ifade etmektedir.

Plastik deplasman veya plastik enerji tüketimi söz konusu olunca bir kavram daha ön plana çıkmaktadır, bu da sünekliktir. Süneklik bir kesitin, bir elemanın ya da bir taşıyıcı sistemin dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, deplasman yapabilme özelliğinin ölçüsü olarak tanımlanabilir (Celep ve Kumbasar 2000).



Şekil 3.1 Yapı elemanlarının enerji tüketme güçleri

Yapı ve yapı elemanlarında “süneklik oranı” (μ) bir yapı ya da yapı elemanının yapabileceği maksimum deplasmanın, akma deplasmanına oranı olarak da ifade edilebilir. Sünek yapı deyimi ile, depremin enerjisini kalıcı deformasyon yaparak tüketen fakat yıkılmayan yapı anlaşılmaktadır (Bayülke 2001). Süneklik ifadesi ise Denklem 3.1’de verilmiştir.

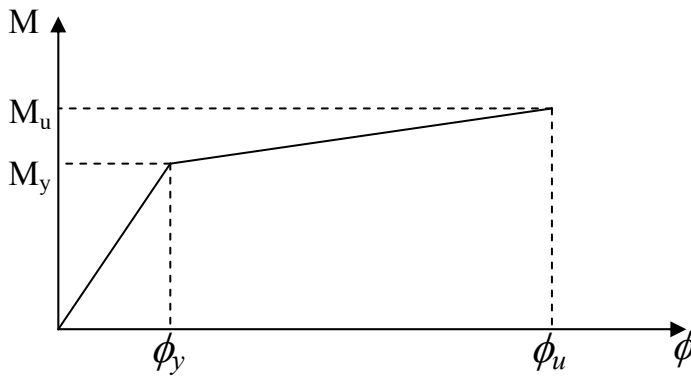
$$\mu_D = \frac{D_{\max}}{D_y} \quad (3.1)$$

Eğer süneklik moment altında herhangi bir kesitte oluşacak eğrilik ile ifade ediliyorsa eğrilik sünekliği, yük altındaki bir elemanın şekil değiştirmesine bağlı olarak ifade ediliyorsa şekil değiştirme sünekliği, ya da kesitin dönmesi dikkate alınıyorsa dönme sünekliği olarak tanımlanır.

3.1.2 Plastik mafsalsal kavramı

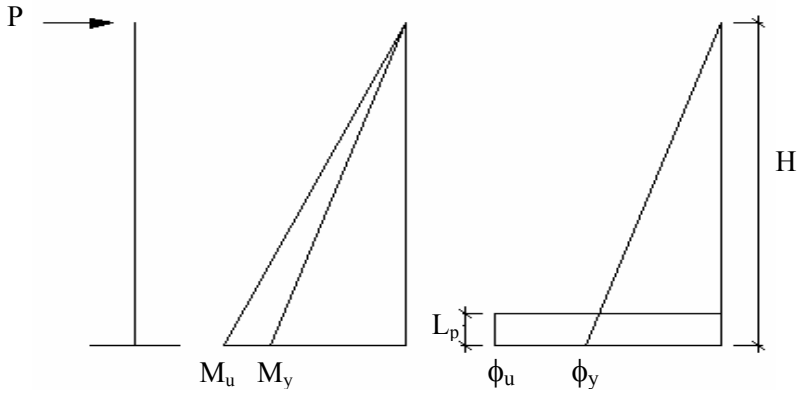
Şekil 3.2’ de idealize edilmiş moment-eğrilik ilişkisi incelendiğinde esas olarak iki değişim bölgesi gözlenir: elastik ve plastik bölgeler. Şekilde M_y ve ϕ_y akma anındaki moment ve eğrilik değerlerini, M_u ve ϕ_u ise nihai moment ve eğrilik değerlerini ifade etmektedir.

Momentin küçük değerleri için moment-eğrilik ilişkisi doğrusal ve elastik kabul edilebilir. Ancak momentin artmasıyla kesitte gerilmeler de artmakta, çekme bölgesindeki beton çatlamaktadır. Buna bağlı olarak beton ve çeliğin doğrusal ötesi gerilme-şekil değiştirme bölgeleri kesitin davranışında etkili olmaya başlamaktadır.



Şekil 3.2 Betonarme kesitte moment-eğrilik ilişkisi

Şekil 3.3' te bir konsol kolonda momentin ve eğriliğin değişimi görülmektedir. Kolonda momentin artması ile mesnede yakın bir bölgede çatlaklar, boyu L_p (plastik mafsalsal boyu) olan bir bölgede yoğunlaşmakta ve buna bağlı olarak plastik eğrilik belirgin biçimde artmaktadır. Eğriliğin, dolayısıyla plastik dönmelerin belirli bir bölgede yoğunlaşması plastik mafsalsal kabulü olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.3 Konsol kolonda eğilme momenti ve eğriliğin değişimi

Plastik mafsalsal boyu kesitin moment-eğrilik diyagramına, eğilme momentinin eleman boyunca değişimine, kesit boyutlarına ve elemana etkiyen normal kuvvete bağlıdır. Ancak yaklaşık olarak elemanın eğilmeye çalışan boyutunun yarısı alınabilmektedir (Moehle 1992).

Eleman boyunca eğriliğin değişimi bilindiğinde dönme ve deplasman değerleri hesaplanabilmektedir. Bu hesabın kolayca yapılabilmesi için eğriliğin eleman boyunca değişimi elastik ve plastik olarak iki bölgeye ayrılmıştır (Şekil 3.3). Buna göre P yükünün uygulandığı konsol ucunun dönmesinin hesabı için elastik ve plastik dönme değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu iki değer toplamı ise konsol ucundaki toplam dönmeyi verir. Elastik davranış sınırı olan akma anındaki dönme ve plastik dönme değerleri (θ_y ve θ_{pl}) aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır:

$$\theta_y = \frac{\phi_y H}{2} \quad (3.2)$$

$$\theta_{pl} = (\phi_u - \phi_y) L_p \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 ile elde edilen θ_{pl} aynı zamanda plastik mafsalin dönmesi olarak adlandırılmaktadır.

Elde edilen dönmelere bağlı olarak deplasmanlar da aşağıdaki denklemlerle elde edilebilir:

$$D_y = \theta_y \left(\frac{2H}{3} \right) \quad (3.4)$$

$$D_{pl} = \theta_{pl} \left(H - \frac{L_p}{2} \right) \quad (3.5)$$

Konsol ucundaki toplam deplasman ise akma anındaki deplasmanın ve plastik deplasmanın toplanması ile elde edilir:

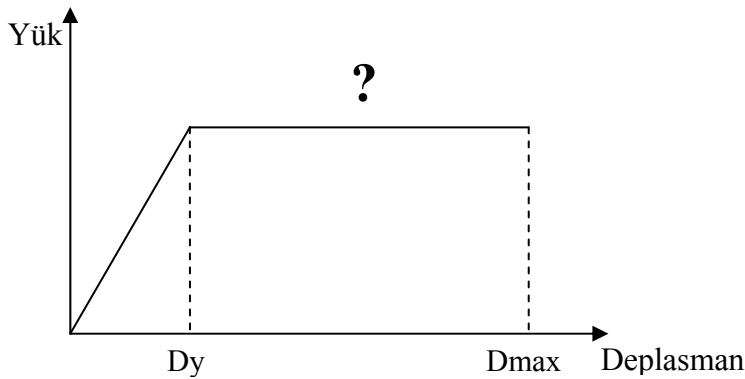
$$D = D_y + D_{pl} \quad (3.6)$$

3.2 Doğrusal Ötesi Analiz

Depremde meydana gelen yapısal hasarların, yönetmeliklerin öngördüğü yükler altında elemanların mevcut dayanım kapasitelerinin aşılması ile değil, sünek davranması öngörülen yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinin aşılması sonucu olduğu uzun bir süredir bilinmektedir. Deprem mühendisliğinde özellikle son yıllarda meydana gelen gelişmeler, yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde ya da yeni yapıların deprem tasarımında *yer değiştirmeye bağlı tasarım* veya *şekil değiştirmeye bağlı tasarım* ilkesinin ön plana çıkmasını sağlamıştır.

Geleneksel analiz yöntemleri (doğrusal analiz) yapıların elastik kapasitelerinin belirlenmesinde veya ilk akmanın nerede oluşabileceğini görmede iyi bir araç olmasına rağmen, gerek hasarın oluşma mekanizmasını gerekse akmadan sonra kuvvetin yeniden dağılımı konusunda bize bir fikir verememektedir. Yapının doğrusal sınırın ötesinde bir maksimum deplasman sınırı olduğu kabul edilmekte fakat bu sınırlar arasında kalan bölge için herhangi bir yorum yapılamamaktadır (Şekil 3.4). Ayrıca yapının doğrusal

ötesi davranış ile meydana gelecek (kontrollü) hasar sonucunda enerji sönümlemesi beklenmekte, fakat bu hasarın boyutları ve yapı içerisindeki dağılımı sorularına cevap verilememektedir. Bunlar ve bunlara benzer nedenler doğrusal ötesi analiz yöntemlerinin geliştirilmesi gereğini ortaya koymuştur. Doğrusal ötesi analiz yöntemleri ile yapıda hasar mekanizması daha gerçekçi bir şekilde gözlenebilmekte, yapının doğrusal kapasitesi (akma sınırı) aşıldığında nasıl davranacağı daha iyi anlaşılabilir.



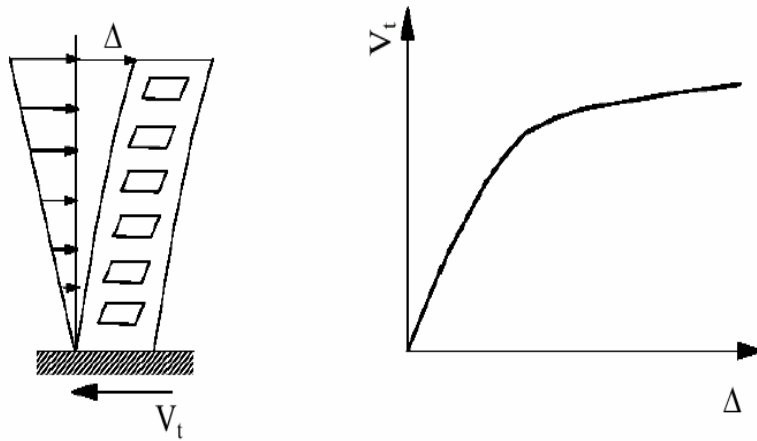
Şekil 3.4 Yapının doğrusal ötesi davranışı

En temel doğrusal ötesi analiz yöntemi Zaman Tanım Aralığında Analiz Yöntemidir (Time History). Ancak bu yöntemin uygulanması zor ve zaman alıcı olduğundan pratikte uygun bir yöntem değildir. Genel olarak mühendislik pratiği doğrusal davranışa koşullandırılmış biçimde gelişmektedir. Bundan farklı olarak doğrusal ötesi davranışın göz önüne alınmasını zorunlu kılan bu yaklaşımın mühendislik pratiğine sokulmasında yaşanabilecek sorunların aşılması için önerilen basitleştirilmiş çözüm, doğrusal ötesi statik yöntem ve yöntemin temel aracı ise Statik İtme Analizidir (Pushover Analysis). Bu yöntemlere Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC 40 1996) ve Deplasman Katsayıları Yöntemi (FEMA 356 2000) örnek olarak verilebilir. Bu yöntemlerde yapı şekil değiştirme kapasitesinin ve dolayısıyla maksimum deplasmanın elde edilebilmesi için analiz aracı olarak Statik İttirme Analizi (Pushover Analysis) kullanılmaktadır.

Ayrıca 2007 yılında yürürlüğe girecek olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DY07 2006)'daki mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi adı altındaki bölüm incelendiğinde, Statik İtme Analizinin bu bölümün belkemiğini oluşturduğu görülmektedir.

3.2.1 Doğrusal ötesi statik itme analizi ile şekil değiştirme kapasitesinin belirlenmesi

Statik itme analizi, önceden belirlenmiş bir dağılıma göre sisteme etki ettirilen yatay yüklerin adım adım arttırılması (yapısal stabilite bozuluncaya kadar ya da önceden belirlenen limite kadar) ve her adımda elde edilen iç kuvvetler, yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmelerin hesaplanması olarak tanımlanabilir. Statik itme analizi sonucunda, yapının global itme eğrisi yani kapasite eğrisi (pushover curve), analizin her adımında elde edilen taban kesme kuvveti ve en üst kattaki yatay yer değiştirmenin doğrusal ötesi değişimini göstermektedir (Şekil 3.5). Böylece yapı üst katının deplasmanına bağlı olarak diğer yapı elemanlarında oluşabilecek şekil değiştirmeler elde edilebilmektedir.



Şekil 3.5 İtme şekli ve kapasite eğrisi

Tüm yapının doğrusal ötesi davranışı, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinin doğrusal ötesi davranışının bir bütünü olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarındaki doğrusal ötesi davranış ise kritik kesitlerde oluşması öngörülen plastik mafsallarla temsil edilmektedir. Her taşıyıcı sistem elemanı için kesit özellikleri, donatı durumu, kullanılan malzeme özellikleri (donatı ve beton sınıfı) ve elemana etkiyen düşey yüke bağlı olarak elde edilen yük-deplasman ilişkileri yardımı ile plastik mafsal özellikleri belirlenmektedir. Yapının yük-deplasman grafiği üzerinde belirlenen limit noktalara (kesitte oluşacak maksimum eğilme, maksimum kesme kuvveti vs.), statik itme analizi sonucunda ulaşıp ulaşılamadığı, ulaşmakta ise hangi adımda ulaşıldığı kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

Statik itme analizi yapılacak bir yapı için öncelikle, yapıyı oluşturan bütün elemanların boyutları ve malzeme özellikleri dikkate alınarak taşıyıcı sistemin modellenmesi gerekir. Taşıyıcı sistem üzerinde plastik mafsall oluşması beklenen özellikle kolon-kiriş birleşim bölgeleri için kesit özellikleri (beton ve donatı sınıfı, donatı dizaynı, eksenel yük) belirlenir ve plastik mafsallar oluşturulur. Oluşturulan bu plastik mafsallar, taşıyıcı sistem üzerinde ilgili kesitlere atanır. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için gereken ve deprem yükünün yapı yüksekliği boyunca nasıl dağıldığını gösteren yük deseni (load pattern) belirlenir. Önceden belirlenen bir deplasman sınırı için veya yapı stabilitesi bozulana kadar arttırılan yükler altında sistemin analizi yapılarak adım adım kapasite eğrisi oluşturulur.

Yapının yatay olarak itilmesi için değişik yük desenleri kullanılabilir. Yöntemin tanımlandığı ATC 40 (1996)'da, Statik İtme Analizi'nde kullanılmak üzere, yapı davranışına bağlı olarak önerilen itme şekilleri tanımlanmıştır.

Deprem ile yapıya etkiyen yatay yükün tamamı en üst kat seviyesinden etkilmesi bu itme şekillerinden biridir. Böylece diğer kat seviyelerine başka yük tanımlanmaz.

Bir başka itme şeklinde ise çatıya ilave yük koyulmadan, her kat seviyesine eşdeğer deprem yükü yönteminden hesaplanan deprem yükleri etkitilir.

İlk mod şekli ile kat kütlelerinin çarpımının oranları olan yatay yüklerin kat seviyelerine etkilmesi diğer bir itme şeklidir. Böyle bir itme şekli, yapının birinci moduna ait tepkisinin elde edilmesini sağlar. Birinci mod şeklinin baskın olduğu binalarda (genellikle birinci mod titreşim periyodunun 1 saniyeden küçük binalar) kullanılabilir.

Yapıda ilk elemanın akma görüldükten sonra, yük dağılımının deforme olmuş şekil ve davranışa uyacak şekilde düzenlendiği ve daha çok yumuşak kat oluşması olası olan yapılar için önerilen bu itme şekli de kullanılmaktadır.

Yüksek frekanslı modların katkıları da dikkate alındığı ve bu modların etkilerine göre kat seviyelerine yüklerin etkitildiği itme şekli özellikle yumuşak kat davranışı olan ve düzensizliklerin bulunduğu yapılar için kullanılabilir.

Statik itme analizinde mafsal yerlerinin, özelliklerinin, boylarının ve çeşitlerinin belirlenmesinden, yapının itilmesine kadar pek çok parametrenin doğru bir şekilde seçilmesi önemlidir. Bunun için yapının deprem yükleri altında nasıl davranacağı konusuna hakim olmak gerekmektedir. Doğru oluşturulmamış bir modelle yapılacak bir analiz ile, gerekirse yapılacak yapı güçlendirilmesi için doğru çözüm önerileri üretilmesinin mümkün olmadığı açık bir gerçektir. Statik itme analizi kullanılarak özellikle yumuşak kat ve kısa kolon gibi düşey düzensizliklere sahip yapılarda göçme mekanizmalarını yakalamakta oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Statik itme analizi yapıların dinamik yanal yükler altındaki doğrusal ötesi davranışının incelenebileceği bir statik analiz yöntemidir. Bu yöntemin ortaya koyduğu en önemli yenilik taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal ötesi davranışı ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistem göçme mekanizmaları ve oluşacak hasarlar hakkında gerçekçi fikirler verebilmesidir. Yöntemin dünya çapında ve ülkemizde yönetmeliklere girmeye başladığı görülmektedir.

Kapasite eğrisinin elde edilmesiyle, yapının deprem yükleri altında nasıl bir şekil değiştirme karakterine sahip olduğu anlaşılacaktır. Bundan sonra ise oluşabilecek depremin yapıdan ne kadar deplasman talep ettiği ve yapının bu talebe karşılık verip veremeyeceği önemlidir. Bunların da değerlendirilmesi için ATC 40 (1996)'da verilen Kapasite Spektrumu Yöntemi ve FEMA 356 (2000)'de verilen Deplasman Katsayıları Yöntemi en çok kullanılan yöntemlerdir.

3.2.2 Kapasite spektrumu yöntemi

Performansa dayalı yapı tasarımında, bir yapının deprem performansı iki soruya cevap verilerek tanımlanır. Binada deprem sonrası nasıl bir hasar seviyesi ve bununla ilgili olarak nasıl bir performans seviyesi kabul edilecektir? Bunların belirlenmesinde hangi deprem esas alınacaktır? Bu iki sorunun cevabının birleştirilmesi ile *Bina Deprem Performans Amacı* tanımlanır.

3.2.2.1 Performans seviyeleri

Performans seviyeleri (performance levels) verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir. Yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Dolayısıyla her yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin bir kombinezonu olarak belirlenir.

3.2.2.1.1 Taşıyıcı elemanlar için performans seviyeleri

Taşıyıcı elemanlar için tanımlanan performans seviyeleri ve performans aralıkları Tablo 3.1 de özetlenmiştir.

Tablo 3.1 Taşıyıcı elemanların performans seviyeleri

Performans seviyesi	Performans aralığı	Kod
Hemen kullanım (immediate occupancy)		S-1
	Hasar kontrol (damage control)	S-2
Can güvenliği (life safety)		S-3
	Sınırlı güvenlik (limited safety)	S-4
Göçmenin önlenmesi (collapse prevention)		S-5

Hemen kullanım performans seviyesi (S-1): Taşıyıcı sistem hasarı çok azdır. Mevcut yapının deprem öncesindeki dayanım, rijitlik ve sünekliği deprem sonrasında da aynen korunmaktadır.

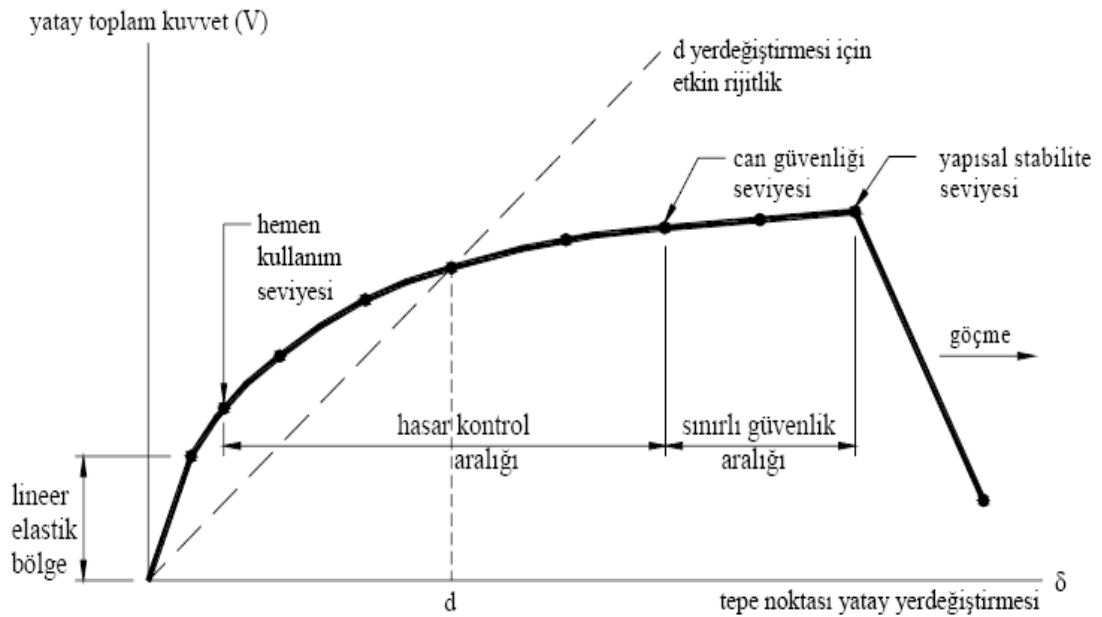
Hasar kontrol performans aralığı (S-2): Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır.

Can güvenliği performans seviyesi (S-3): Taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşabilir. Buna karşılık, bölgesel veya toptan göçme söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

Sınırlı güvenlik performans aralığı (S-4): Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir.

Göçmenin önlenmesi (stabilitenin korunması) performans seviyesi (S-5): Yapıyı bölgesel veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda büyük hasar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı stabilitesini korumakla birlikte, önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır.

Bu performans seviyeleri ve aralıkları, *kapasite eğrisi* olarak tanımlanan toplam yatay kuvvet-tepe noktası yatay yer değiştirmesi ($V-\delta$) diyagramı üzerinde şematik olarak işaretlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları

3.2.2.1.2 Taşıyıcı olmayan elemanlar için performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan yapı elemanları için performans seviyeleri Tablo 3.2 de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri

Performans seviyesi	Kod
Kullanıma devam (operational)	N-A
Hemen kullanım (immediate occupancy)	N-B
Can güvenliği (life safety)	N-C
Azaltılmış hasar (hazards reduced)	N-D
Performansın dikkate alınmadığı seviye	D-E

Kullanıma devam performans seviyesi (N-A): Taşıyıcı olmayan elemanlar ile tesisatta ve diğer ekipmanda hasar oluşmaz veya ihmal edilebilecek kadar az hasar meydana gelir. Bu hasar, yapının ve ekipmanın kullanımını engellemez.

Hemen kullanım performans seviyesi (N-B): Taşıyıcı olmayan elemanlarda, depremin etkisiyle ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Bazı eleman ve ekipmanın onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa zamanda giderilerek yapı kullanılmaya devam eder.

Can güvenliği performans seviyesi (N-C): Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta hasar oluşabilir. Ancak, binanın içinde veya dışındaki ağır elemanlarda, yaralanmalara neden olabilecek makine devrilmesi, kopmalar, düşmeler söz konusu değildir. Tesisat ve ekipmanda onarım ve yenilenme olmadan çalışmayabilir.

Azaltılmış hasar performans seviyesi (N-D): Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman ve tesisatta ciddi hasar meydana gelebilir. Ancak, dış cephe kaplamalarının dökülmesi, asma tavanların düşmesi gibi insanların gruplar halinde yaralanmalarına neden olabilecek hasar oluşmaz.

Performansın dikkate alınmadığı seviye (N-E): Bazı hallerde, yapının davranışını ve kullanımını etkilemeyen bazı ikincil elemanlar için performansın dikkate alınmasına gerek olmayabilir.

3.2.2.1.3 Bina performans seviyeleri

Binanın toplam yapısal performans seviyesi, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Tablo 3.3’ te bu performans seviyelerinin olası kombinasyonları yer almaktadır. Tabloda **KÖ** ile belirtilen kombinezonlar, kullanılması önerilmeyen performans seviyelerini göstermektedir.

Tablo 3.3 Bina yapısal performans seviyeleri

Taşıyıcı olmayan eleman performans	Taşıyıcı eleman performans seviyeleri				
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
N	1-A	2-A	KÖ	KÖ	KÖ
N	1-B	2-B	3-B	KÖ	KÖ
N	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
N	KÖ	2-D	3-D	4-D	5-D
N	KÖ	KÖ	3-E	4-E	5-E

Bir binaya ait performans hedefinin belirlenmesinde, çoğu kez bu performans birleşimlerinden biri esas alınmaktadır.

1-A, Kullanıma devam (operational) yapısal performans seviyesi (S1 + NA): Binada hasar yoktur veya kolaylıkla onarılabilecek düzeyde sınırlı hasar mevcuttur. Yapı sistemi deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Bina kullanıma devam edilebilecek durumdadır.

1-B, Hemen kullanım (immediate occupancy) performans seviyesi (S1 + NB): Oldukça az yapısal hasar vardır. Yapı orijinal dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde korumaktadır. Yapısal olmayan elemanlar güvenlidir ve genellikle çalışabilir durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür.

3-C, Can güvenliği (life safety) performans seviyesi (S3 + NC): Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli ölçülerde hasar mevcuttur. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin bir bölümünü kaybetmiş durumdadır. Ancak yapısal ve yapısal olmayan elemanların can güvenliğini tehdit etmesi söz konusu değildir. Yapı onarılmaya muhtaçtır ve onarılmadan kullanılması uygun değildir.

5-E, Göçmenin önlenmesi-yapısal stabilitenin korunması (collapse prevention) performans seviyesi (S5 + NE): Yapı taşıyıcı sistemi ancak düşey yükler altında stabilitesini korumaktadır. Binanın artçı depremlere karşı dayanımı kalmamıştır ve kullanılmaması gerekir. Onarılması da çok kere pratik veya ekonomik bakımdan uygun değildir.

3.2.2.2 Deprem hareketi

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

ATC 40 (1996) projesinde üç farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır. Diğer bir deyişle, üç ayrı sismik risk seviyesi göz önüne alınmaktadır.

Servis (kullanım) depremi (SE) : 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

Tasarım depremi (DE) : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. 1998 Türk deprem yönetmeliğinde tanımlanan tasarım depremine benzer bir spektrum esas alınmıştır.

En büyük deprem (ME) : Belirli bir bölgede, jeolojik veriler çerçevesinde, meydana gelebilecek en büyük deprem hareketidir. 50 yılda aşılma olasılığı % 5 , dönüş periyodu yaklaşık 1000 yıldır. Bu depremin etkisi tasarım depreminin 1.25-1.50 katı

dolaylarındadır. Bu depremin ATC 40 (1996) daki en büyük depreme karşı geldiği, ancak etkisinin daha büyük olduğu söylenebilir.

Bir yapıda, belirli bir deprem hareketi altında tek bir performans hedefi öngörülebileceği gibi, birden fazla yer hareketi altında çok seviyeli performans hedefleri de esas alınabilir. Tablo 3.4 de, çok seviyeli performans hedefi için bir örnek verilmiştir.

Tablo 3.4 Çok seviyeli hedef performansın tanımlanması

Yer hareketi	Bina performans seviyesi		
	Kullanıma Devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği
Servis depremi (SE)			
Tasarım depremi (DE)			
En büyük deprem (ME)			

3.2.2.3 Yapı kapasitesi

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi talep (demand) ve kapasite (capacity) dir. Talep yapıya etkileyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

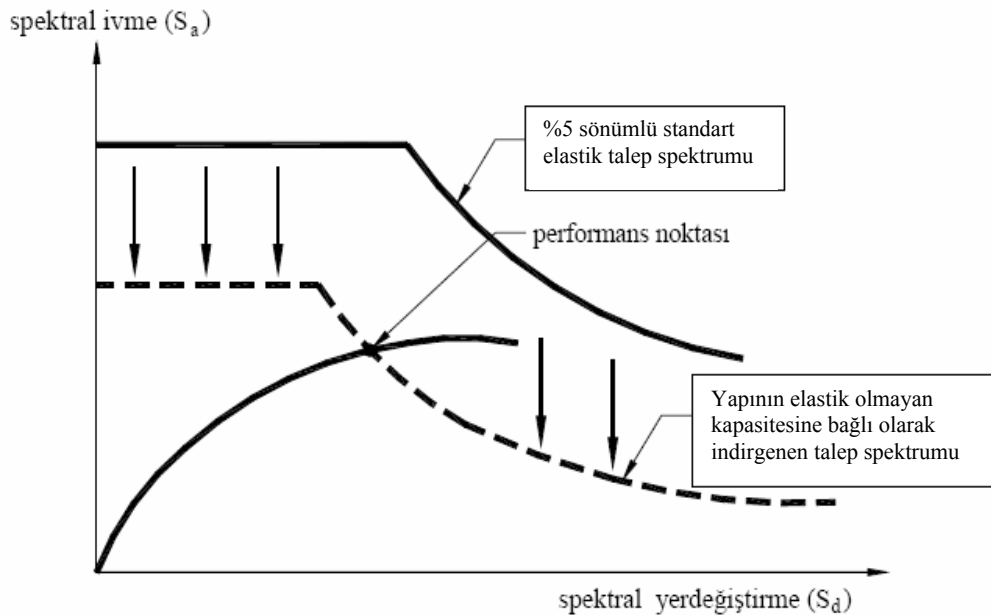
Yapı kapasitesi, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin bir birleşimi olarak tayin edilir. Lineer elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi istendiğinde, genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre sistem hesabı yapılması gerekmektedir.

Yapı kapasitesi, kapasite eğrisi (*pushover curve*) ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için temel araç olan Statik İtme Analizi (*pushover analysis*) kullanılarak, yapı sistemi sabit düşey kuvvetler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar analiz edilir.

Yapı kapasite eğrisi, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik deprem kuvvetleri altında yapılan hesap ile belirlenir. Diğer bir deyişle, yapının davranışında birinci doğal titreşim modunun etkin olduğu varsayılır. Bu varsayım, özel periyodu $T=1.00$ sn den daha küçük olan yapılar için geçerli olabilir. Birinci doğal titreşim periyodu 1.00 sn yi aşan yapılarda, daha yüksek modların etkilerinin göz önüne alınması gerekmektedir. Diğer taraftan, burulma titreşimlerinin etkin olduğu yapı sistemlerinde, burulma titreşimi modları da hesaba katılmalıdır.

3.2.2.4 Performans noktasının belirlenmesi

Artan deprem yükleri altındaki bir yapıda doğrusal ötesi şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu şekil değiştirmeler yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla deprem talebini azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen doğrusal ötesi şekil değiştirmelere bağlı olarak, elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin çakıştığı nokta belirlenir. Performans noktası adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir (Şekil 3.7). Bu yöntemde üç temel büyüklüğün belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar *kapasite*, ve *performans noktasıdır*.



Şekil 3.7 Kapasite spektrumu yöntemi ile performans noktasının belirlenmesi

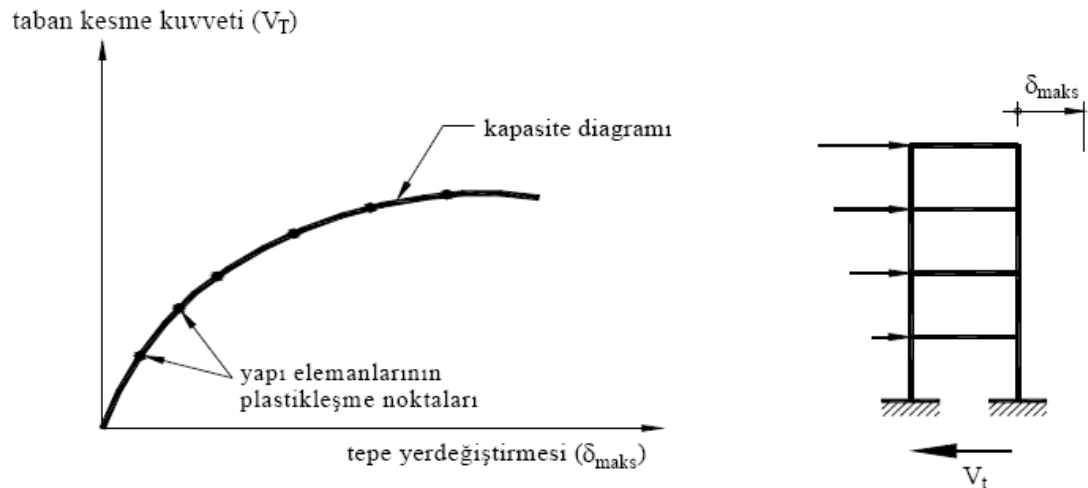
Elde edilen kapasite eğrisi (Şekil 3.8), talep spektrumu ile karşılaştırılabilmesi için spektral formata ($S_a - S_d$) dönüştürülür (Şekil 3.9). Ancak, talep spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için, çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin de eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem, birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı (α_1) ve modal katılım çarpanı (PF_1) kullanılarak aşağıdaki (Denklem 3.7- Denklem 3.9) bağıntılar ile yapılabilmektedir.

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1} / g) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i / g) \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2 / g) \right]} \quad (3.7)$$

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad (3.8)$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1} / g)}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2 / g)} \right] \quad (3.9)$$

$$S_d = \frac{\delta_{maks}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (3.10)$$

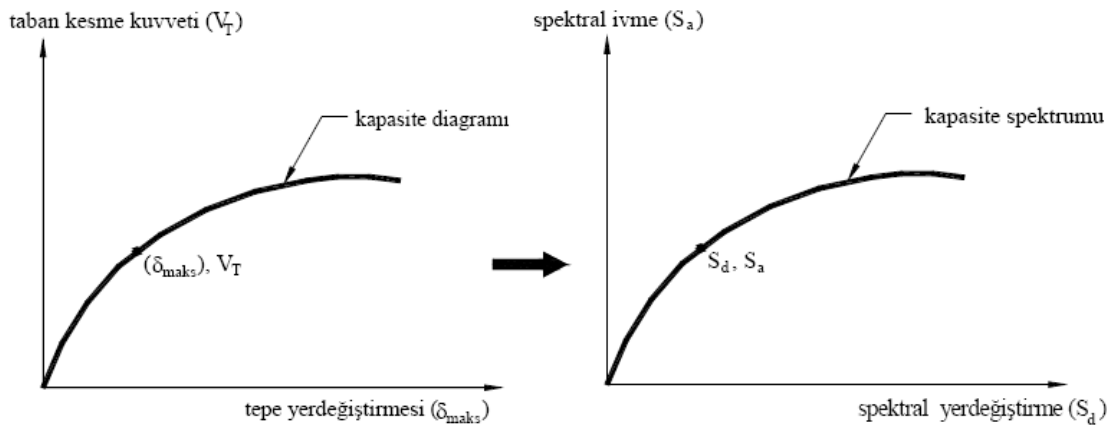


Şekil 3.8 Lineer olmayan teori ile kapasite eğrisinin elde edilmesi

Bu bağıntılarda;

- S_a : spektral ivme
 S_d : spektral yer değiştirme
 V_T : toplam taban kesme kuvveti
 δ_{maks} : yapının tepe noktası yatay yer değiştirmesi
 W : yapının toplam ağırlığı
 $\phi_{tepe,1}$: birinci normal moda ait en üst kattaki genlik
 $\phi_{i,1}$: birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik
 N : binanın kat sayısı
 w_i/g : (i) numaralı katın kütlesi

olarak tanımlanmaktadır.

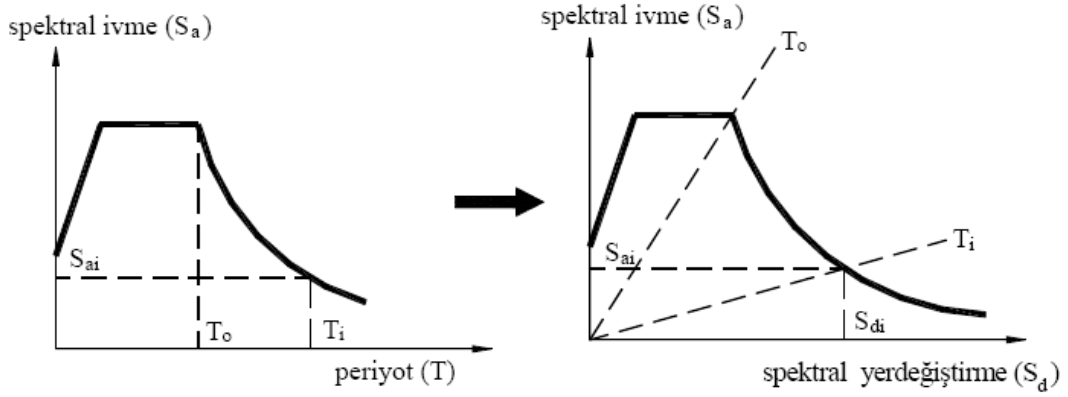


Şekil 3.9 Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite spektrumu ile aynı eksen takımı üzerinde gösterilebilmesi için, elastik talep spektrumunun da spektral ivme – spektral yer değiştirme formatına dönüştürülmesi gerekir. Bunun için, spektral ivme ile spektral yer değiştirme arasındaki

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (3.11)$$

bağıntısından yararlanılır (Şekil 3.10). Burada T , yapı sisteminin birinci doğal periyodunu göstermektedir.



Şekil 3.10 Elastik talep spektrumunun ivme-yer değiştirme formatına dönüştürülmesi

Kapasite ve elastik talep spektrumları, aynı spektral ivme – spektral yer değiştirme ($S_a - S_d$) koordinat sisteminde ifade edildikten sonra, deprem etkileri altında yapı sisteminde oluşan doğrusal ötesi şekil değiştirmeler nedeniyle artan sönüm oranına bağlı olarak, elastik talep spektrumunun indirgenmesi gerekir. İndirgeme işlemi için etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır.

Etkili sönüm yüzdesi, histeretik ve viskoz sönüm toplamının kritik sönüme oranı olarak tanımlanır. Viskoz sönüm genellikle % 5 olarak alınmaktadır. Histeretik sönüm ise kapasite spektrumunu içeren histeresizin alanı ile ilgilidir ve eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir. Kapasite spektrumunun iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesi halinde, etkili sönüm yüzdesi için,

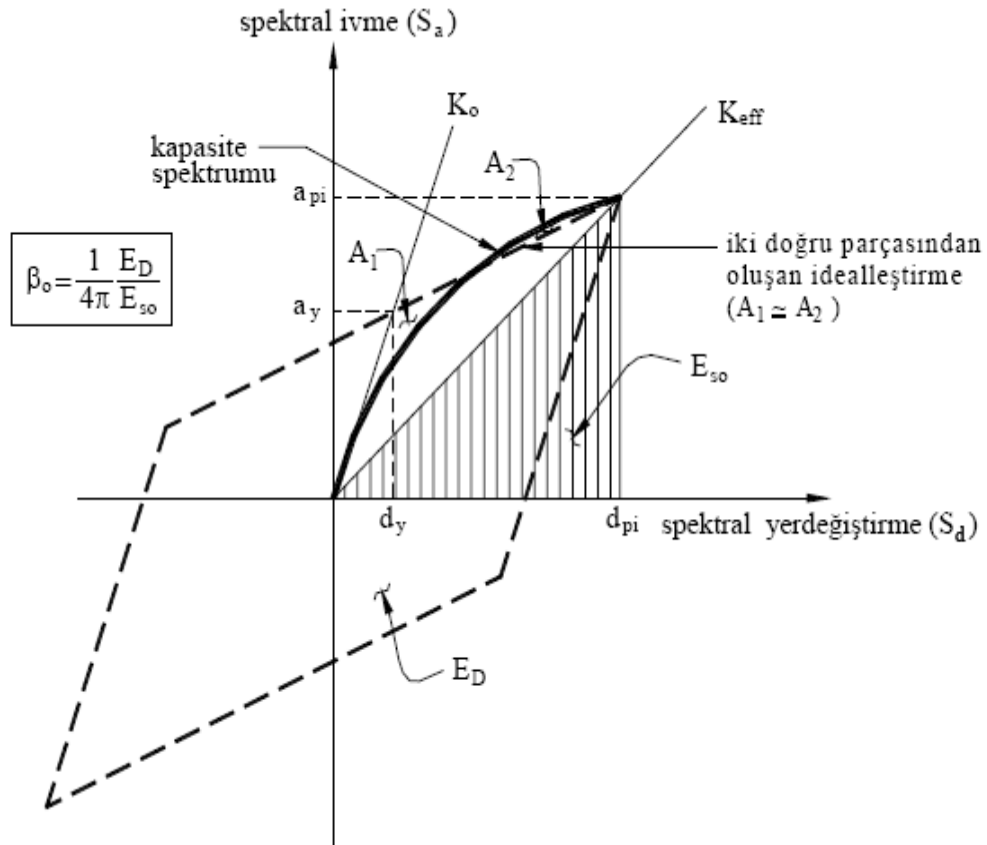
$$\beta_{eq} = \kappa \beta_o + 5 = \frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (3.12)$$

bağıntısı yazılabilir (Şekil 3.11). Burada,

β_{eq} : yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm oranını

β_o : eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeretik sönümü

κ : yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ile depremin süresine bağlı olarak belirlenen ve değeri $0.33 \leq \kappa \leq 1.00$ arasında değişen bir katsayı göstermektedir.



Şekil 3.11 Histeretik sönüme eşdeğer viskoz sönümün belirlenmesi

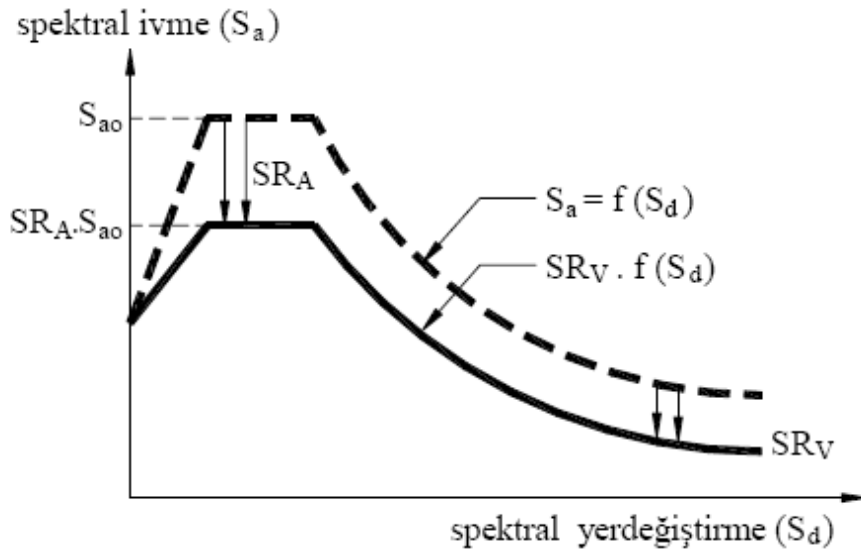
Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, etkili sönüm oranının hesaplanabilmesi için, performans noktasının başlangıçta bilinmesi veya tahmin edilmesi gerekmektedir.

Spektral ivme-spektral yer değıştirme ($S_a - S_d$) koordinat sisteminde ifade edilen elastik istem spektrumunun yatay koluna ve azalan bölümüne uygulanacak indirgeme katsayıları, β eq etkili sönüm oranına bağılı olarak, sırasıyla,

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \quad (3.13)$$

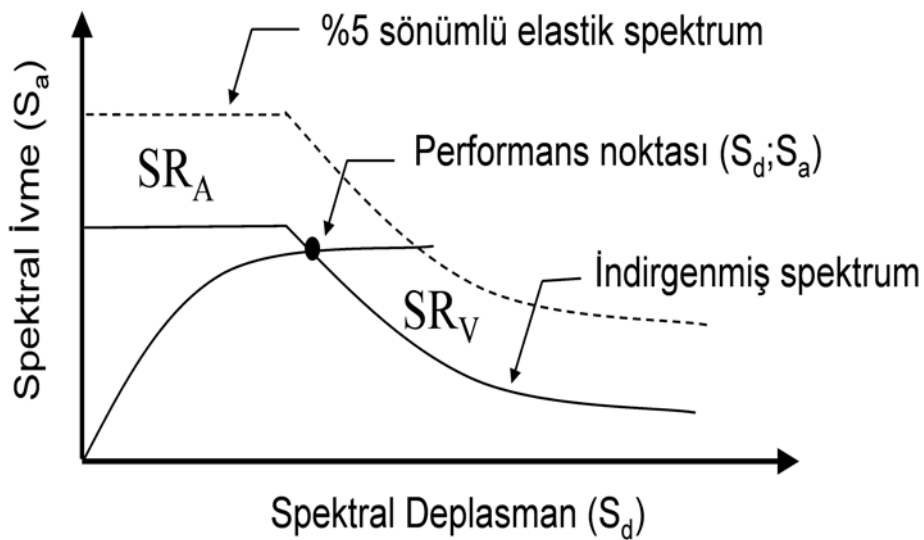
$$SR_V \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eq})}{1.65} \quad (3.14)$$

formülleri ile hesaplanır (Şekil 3.12)



Şekil 3.12 İndirgenmiş talep spektrumunun elde edilmesi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş istem spektrumunun kesim noktası, öngörülen deprem etkisi altında yapının performans noktasını vermektedir. Yapının performans noktası bu şekilde bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin (yer değiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler vb.) performans noktasındaki değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır. Bu sınır değerler, belirli bir deprem hareketi altında öngörülen performans seviyesinin gerçekleşebilmesi için, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyelerinin üst sınırlarını vermektedir.



Şekil 3.13 Performans noktasının bulunması

Kapasite spektrumu yönteminde performans noktasının bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen d_{pi} yer değiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerin birbirine eşit veya yeterince yakın olması halinde performans noktası bulunmuş olur (Şekil 3.13) ve ardışık yaklaşıma son verilir.

Performans noktasının bulunmasından sonra, binanın ön görülen performans seviyesinin koşullarını sağlayıp sağlamadığı, ilgili seviye için ön görülen sınırların kontrol edilmesiyle sağlanır.

Binalar için genel kabul kriterleri, düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası görelî ötelemeler sınırıdır. Binanın performans noktasındaki toplam yatay yük kapasitesinin, ilerleyen yükleme adımlarında oluşan plastik mafsallarla %20 den daha fazla azalmaması gerekir. Bu suretle deprem etkisindeki yükleme çevrimleri sonucu oluşan dayanım azalması sınırlandırılır. Hasarın performans seviyelerine bağlı olarak sınırlandırılması için, binanın katlar arası yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranının Tablo 3.6' da verilen sınırları aşmaması gerekir. Bu suretle hasar sınırlaması yanında, ikinci mertebe etkilerinin de sınırlandırılması gerçekleşir. Tablo 3.6' da verilen yapısal stabilite durumunda her kat için yapılacak kontrolde V_i deprem kat kesme kuvveti, P_i düşey yüklerden oluşan kat eksenel kuvvetidir.

Tablo 3.5 Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı

	Performans Seviyeleri			
Katlar arası yer değiştirme / kat yüksekliği sınırı	Hemen Kullanım	Hasar Kontrolü	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Maksimum toplam oranı	0.01	0.01 - 0.02	0.02	0.33 V_i / P_i
Maksimum elastik ötesi yer değiştirme oranı	0.005	0.005 - 0.015	sınır yok	sınır yok

3.2.3 Deplasman katsayıları yöntemi

FEMA 356 (2000), önce FEMA 273 (1997) ve FEMA 274 (1997) olarak binaların deprem güçlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak, verilen performans kavramına dayalı yöntemlerin yeni proje oluşturulmasında da kullanılması mümkündür. ATC 40 (1996)'daki kayıtların ilerisine giderek, FEMA 356 (2000) bütün binaları kapsamak üzere hazırlanmış olup, kabul kriterleri doğrusal olan ve olmayan çözümleme sonuçları için de verilmiştir. Bu belgede açıklanan ana kavram ATC 40 (1996)'da verilenin benzeridir.

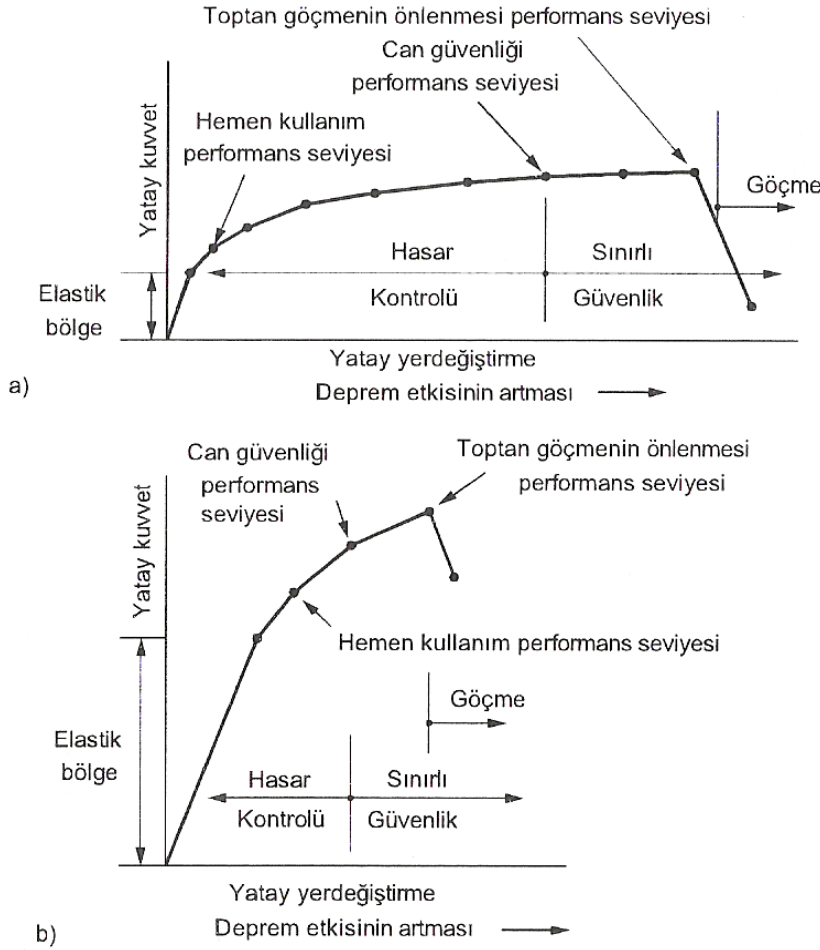
FEMA 356 (2000)'de da bina için öngörülen performans seviyeleri ATC 40 (1996)'daki ile benzerdir. Sadece yapısal stabilite performans seviyesi, toptan göçmenin önlenmesi performans seviyesi olarak isimlendirilir.

Sünek bir yapıda artan taban kesme kuvvetine bağlı olarak meydana gelen yanal yer değiştirme ve performans seviyeleri Şekil 3.14.a' da gösterilmiştir. Hemen kullanım seviyesinde hasar sınırlı kalmıştır. Bina ilk rijitliğinin büyük bir kısmını veya muhtemelen hepsini korumaktadır. Toptan göçmenin önlenmesi seviyesinde, binada önemli hasar meydana gelmiştir. Bu seviyenin üstüne çıkıldığında, bina kararsız duruma gelecek ve göçecektir. Can güvenliği seviyesinde binada önemli hasarlar meydana gelmiş ve bina ilk rijitliğinin önemli bir kısmını kaybetmiştir. Bununla beraber, göçme ortaya çıkmadan oluşacak ek yanal yer değiştirme kapasitesi bulunmaktadır.

Genel olarak, can güvenliği seviyesini sağlayan binanın, toptan göçmeye erişmeden en az %33 daha fazla yanal yer değiştirme yapacağı kabul edilir. Şekil 3.14(b) sünek olmayan davranış durumunda taban kesme kuvveti ile yanal yer değiştirme eğrisi görülmektedir. Tanımlanan üç performans seviyesinin burada daha küçük aralıklarla oluştuğu görülmektedir.

Taşıyıcı sistemin Statik İtme Analizi ile artan yatay yükler ve sabit düşey yükler altında yatay yer değiştirme kapasitesi hesaplanır. En üst kat için öngörülen hedef yer değiştirme, tasarım depreminde ortaya çıkması beklenen yer değiştirme olarak kabul edilir. Doğrusal ötesi davranış göz önüne alındığı için, bulunan kesit tesirleri tasarım depreminde ortaya çıkması olası olan etkiler olarak kabul edilebilir. Hedef yer

değiştirmeler, taşıyıcı sistemin doğrusal ötesi davranışını ve performans noktasındaki sönümü göz önüne alan bir çözümleme ile hesap edilir. Böyle bir yöntem FEMA 356 (2000)'de *Deplasman Katsayıları Yöntemi* olarak isimlendirilir. Bu yöntem ATC 40 (1996)'da da *Kapasite Spektrumu Yöntemi*' ne paralel olarak verilmiştir.

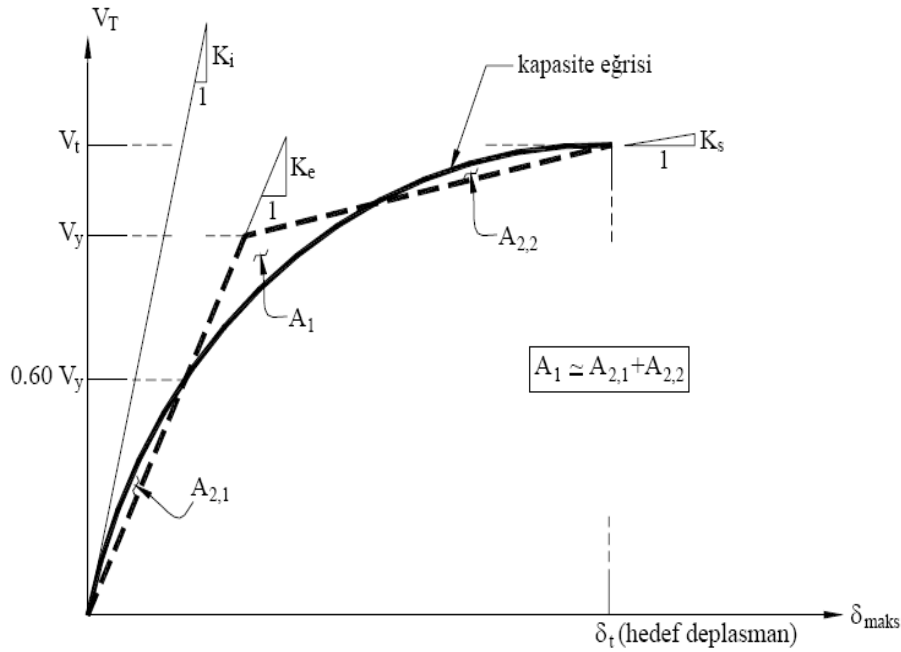


Şekil 3.14 (a) Sünek olan ve (b) sünek olmayan bir yapıda performans seviyeleri

Yer değiştirme katsayısı yöntemi, kapasite spektrumu yöntemine benzer olarak, kapasite ve talebin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yer değiştirme talebi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu durumda, kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine de gerek olmamaktadır.

Deplasman katsayısı yönteminde önce V_T taban kesme kuvveti ile δ_{maks} tepe noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir.

Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük deseni seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, lineer olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği (K_s) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diyagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0.60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme-yanılma yöntemi uygulanması gerekir (Şekil3.15)



Şekil 3.15 İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi

Yapı sisteminin etkin periyodu,

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.14)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduktan sonra, hedef yer değiştirme,

$$\delta_r = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (3.15)$$

formülü ile elde edilir. Bu formüldeki katsayı ve büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır.

C_0 : çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı

C_1 : lineer elastik yer değiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yer değiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısıdır. Eş deplasman prensibi gereği periyodu, zemin spektrumunun eşit ivme bölgesinden eşit hız bölgesine geçtiği periyottan (T_B) büyük yapılar için 1 değerini alır. Diğer durumlarda aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$C_1 = \frac{1.0 + (R-1)T_B / T_e}{R} \geq 1.0 \quad T_e < T_B \quad (3.16)$$

$$R = \frac{S_a}{C_y} C_m \quad (3.17)$$

Bu denklemlerde;

C_y : Yapının yatay dayanım katsayısı,

C_m : Efektif kütle katsayısı, birinci moda ait modal kütle katılım oranı olarak alınabilir.

C_2 : histeresiz enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısıdır. FEMA 356 (2000)'de Tablo 3.3'ten belirlenmektedir. Doğrusal ötesi prosedürlerde 1.0 olarak alınabilir.

C_3 : ikinci mertebe etkileri nedeniyle artan yer değiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısıdır. Pozitif akma sonrası rijitliğe (α) sahip yapılarda 1.0 olarak alınır. Negatif akma sonrası rijitliğe sahip yapılar için :

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{1.5}}{T_e} \quad (3.18)$$

S_a : göz önüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen ve g yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivmedir.

Bu katsayı ve büyüklüklerin hesabına yönelik ayrıntılı bilgi FEMA 273 (1997), FEMA 274 (1997) ve FEMA 356 (2000) dokümanlarında bulunmaktadır.

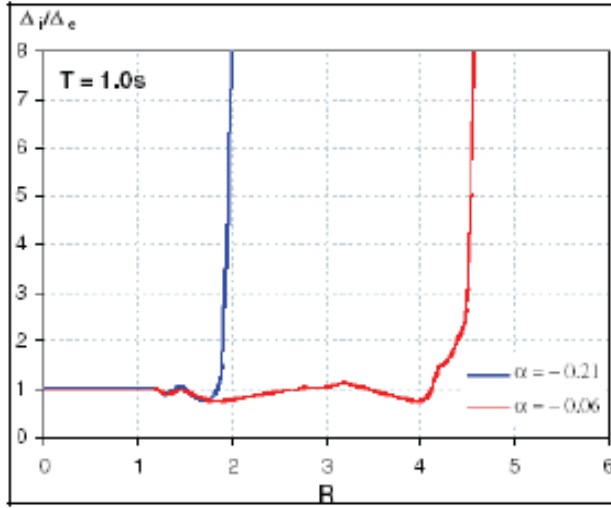
FEMA 356 (2000) ve ATC 40 (1996) dokümanlarının yenilenmiş hali niteliğinde olan FEMA 440 (2005)'de, FEMA 356 (2000)'de verilen yöntem bazı değişikliklerle geliştirilmiştir. C_1 ve C_2 katsayılarının belirlenmesinde yeni denklemler önerilmiştir. C_3 katsayısı yerine ise negatif akma sonrası rijitliğe sahip yapılar için elastik kuvvet talebi ve yatay dayanımın oranını veren R değerlerine üst sınır getirilmiştir.

$$C_1 = 1.0 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (3.19)$$

a : Zemine bağlı katsayı

$$C_2 = 1.0 + \frac{1}{800} \left(\frac{R-1}{T_e} \right)^2 \quad (3.20)$$

Negatif akma sonrası rijitliğe sahip (akma sonrasında artan deplasman ile dayanım kaybına uğrayan) sistemlerin dinamik stabilite kaybına uğradıkları yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Şekil 3.15'te farklı R değerleri için bir yapıya ait inelastik deplasmanın elastik deplasmana oranı verilmektedir. Şekil 3.16'da α değerine bağlı olarak belirli R değerinden sonra deplasmanların çok hızlı biçimde artışı görülmektedir. Bu nedenle bu tür yapılar için C_3 katsayısı yerine maksimum R değeri belirlenmesi önerilmiştir.



Şekil 3.16 Farklı R ve α değerleri için deplasman oranları

Yer değiştirme katsayısı yönteminde de, hedef yer değiştirmenin bulunması için bir ardışık yaklaşım yolunun izlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta seçilen ve T_e etkin doğal periyodunun hesabına esas olan δ_t yer değiştirmesi ile hesap sonucunda bulunan değerlerin eşit veya birbirine yeterince yakın olması halinde hedef yer değiştirme bulunmuş olur ve ardışık yaklaşıma son verilir.

Öngörülen deprem etkisi altındaki hedef yer değiştirme bulunduktan sonra, performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bunun için, sisteme ait büyüklüklerin (yer değiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler vb.) değerleri kendilerine ait sınır değerler ile karşılaştırılır.

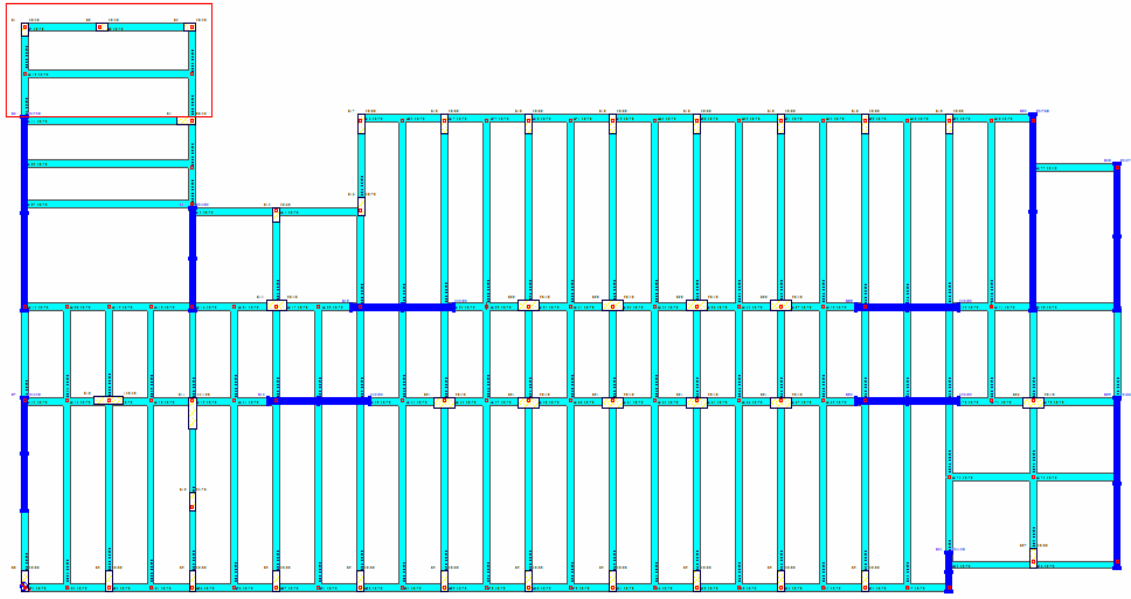
4. DOĞRUSAL ÖTESİ ANALİZ MODELİNİN HAZIRLANMASI

4.1 Giriş

Mevcut yapıların deprem yeterliliğini belirlemek için öncelikle yapının taşıyıcı sistemini bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellemek gerekir. Modelin oluşturulmasında, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların boyutları, kesit özellikleri, donatı düzenleri, malzeme bilgileri önemlidir. Bu bölümde seçilen kamu binasının üç boyutlu modelinin SAP2000[®] yazılımı, taşıyıcı sistem elemanlarının sargılı beton davranış modellerinin 105M024 numaralı Tübitak projesi için hazırlanan (İnel, Özmen ve Bilgin 2007) yazılım kullanılarak oluşturulması hakkında bilgiler verilecektir.

4.2 Seçilen Okul Binası Hakkında Genel Bilgiler

■ Proje Adı	: 24 Derslikli Temel Eğitim Okulu
■ Proje Tip No	: 8841-Y1
■ Yapı Türü	: Okul Binası
■ Yapı Sistemi	: B. A. Karkas
■ Bina Yapım Tarihi	: 1983
■ Uygulanan Deprem Yönetmeliği	: 1975 A.B.Y.Y.H.Yönetmeliği
■ Deprem Bölgesi	: 1
■ Kat Sayısı	: Bodrum + 4
■ Kat Alanı	: 855 m ²
■ Kat Yüksekliği	: 3.40 m
■ Bina Yüksekliği	: 17 m
■ Derslik Sayısı	: 24
■ Blok Sayısı	: 1
■ Tasarım Beton Sınıfı	: B 225
■ Tasarım Donatı Sınıfı	: St I



Şekil 4.1 8841-Y1 Tip proje kalıp planı

Şekil 4.1’de kalıp planı gösterilmekte olan seçilen okul binası, gerek kat düzleminde gerekse bina yüksekliğince genel olarak sürekli bir yapıya sahiptir. Sadece Şekil 4.1’de dikdörtgen içinde gösterilen elemanlar 3. ve 4. katlarda bulunmamaktadır. Kolonların yönleri bakımından bina genelinde iyi bir dağılım görülmektedir. Projelendirme aşamasında, kolon boyutları üzerlerine gelen düşey yükler dikkate alınarak üst katlara doğru azaltılmıştır. Ayrıca perdeler açısından da oldukça cömert davranılmıştır. Özellikle binanın geometrik olarak zayıf yönü olan kısa doğrultuda ciddi boyutlarda perdeler yer verilmiştir. Perdeler kısa doğrultuda dış akslara ve merdiven boşluklarının kenarlarına, uzun doğrultuda ise koridor akslarına yerleştirilmiştir. Kirişler kısa doğrultuda sık ve kolon aksları arasında saplama olarak yerleştirilerek dersliklerin bulunduğu kısımda küçük ve tek yönlü döşemeler oluşturulmuştur. Bina geometri ve taşıyıcı sistem elemanlarının teşkili açısından ilk bakışta iyi bir izlenim oluşturmaktadır.

4.3 Taşıyıcı Sistem Modelinin Oluşturulması

Taşıyıcı sistem modelinin bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak oluşturulması için öncelikle mevcut sistemin varsa projesinden, yoksa yerinde yapılan rölevesinden faydalanmak gerekir. Bu şekilde elde edilen kat kalıp planları, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların boyutları, kesit özellikleri, donatı durum ve düzenleri ile elemanlara etkiyen

yük durumları bilgisayar ortamında modellemede veri olarak kullanılır. Bu çalışmada seçilen okul binası için mevcut projesinde bulunan eleman detaylarından faydalanılarak eleman özellikleri elde edilmiş ve taşıyıcı sistem modellenmiştir.

4.3.1 Kat kalıp planları

Seçilen okul binası hakkındaki genel bilgilerde de görüldüğü gibi, okul binası toplamda beş kattan oluşmaktadır (Bodrum + Zemin + 1.Kat + 2.Kat + 3.Kat). Bu katlarda farklı olarak 2. ve 3. katlarda, Şekil 4.1’de dikdörtgen içinde gösterilen elemanların devam ettirilmemiş olmasıdır. Kat kalıp planları ekler bölümünde verilmiştir (Şekil Ek1 ve Şekil Ek2).

4.3.2 Eleman kesit ve donatı özellikleri

Seçilen okul binasında, her katta ve her iki yönde toplam taşıyıcı sistem elemanları olarak 11 adet perde, 40 adet kolon ve 122 adet kiriş eleman bulunmaktadır. Bu çalışmanın ana amacı olan binanın yatay kuvvet taşıma kapasitesi açısından özellikle perde elemanların önemi büyüktür. Seçilen okul binasının kat planında X yönündeki toplam perde alanı 4.45 m^2 , Y yönünde ise 8.40 m^2 ’dir. Kat alanına göre oranları ise X yönünde %0.52, Y yönünde ise %0.98’dir. Kiriş elemanlar ise katlardaki K94 ve K45 kirişleri $30 * 40 \text{ cm}$, diğer tüm kirişler $30 * 70 \text{ cm}$ boyutlarındadır. Kolon elemanlardan sadece S03 elemanı bodrum ve zemin katta bulunup, diğer katlarda bulunmamaktadır. Bunun dışında diğer bütün kolon elemanlar bina yüksekliğince sürekliliğe sahiptir. Genel olarak kolon elemanların dış akslarda bulunanlarının uzun kenarları Y yönünde, iç akslarda bulunanların ise X yönünde yerleştirilmiştir.

Elemanların kesit ve donatı özellikleri binanın mevcut projesindeki açılımlardan ve detaylardan alınmıştır. Alınan bu özellikler elemanların bulunduğu katlar dikkate alınarak isimlendirilmiş ve tablo haline getirilmiştir. Bu tablolar yardımıyla elemanların boyut özellikleri, SAP2000[®] yazılımında oluşturulan üç boyutlu taşıyıcı sistem modelinde ilgili elemanlara tanımlanmıştır.

Ekler olarak verilen bölümde Tablo 4.1’ de kolon elemanlara ait, Tablo 4.2’ de kiriş elemanlara ait ve Tablo 4.3’ de perde elemanlara ait boyut ve donatı miktarları gösterilmiştir.

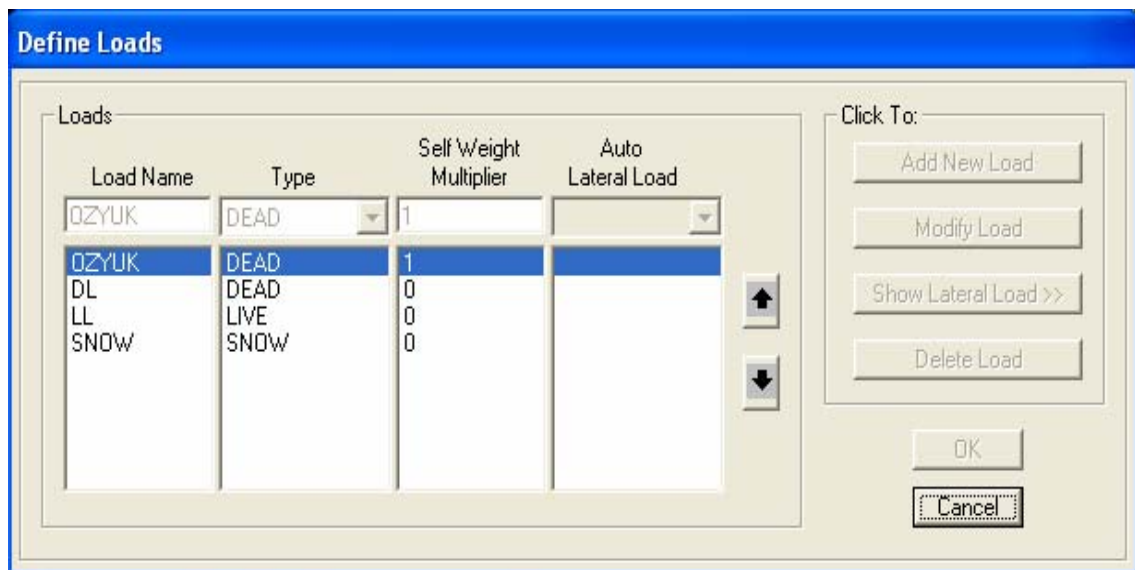
4.3.3 Taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen yükler

Binanın üç boyutlu modeli SAP2000[®] yazılımında kolon, kiriş ve perdelerden oluşturulmuştur. Döşemeler için ise, oluşturdukları yüklerin kirişlere aktarılmasıyla tanımlanmıştır.

Seçilen okul binası için döşeme kalınlığı $d_d = 10$ cm olup, tesviye betonu kalınlığı $d_t = 3$ cm, mozaik döşeme kaplaması $d_m = 2,5$ cm olarak kabul edilmiştir.

Katlarda ölü yük olarak $g = 0,40$ t/m², hareketli yük olarak $q = 0,35$ t/m² (sınıflarda) ve $q = 0,5$ t/m² (koridorlarda) kabul edilmiştir. Duvar yükü olarak dış duvarlar için 0,70 t/m, iç duvarlar için 0,85 t/m kabul edilmiştir. Çatı katında $g = 0,30$ t/m², $q = 0,15$ t/m², $q_k = 0,075$ t/m² (kar yükü) hesaplanmıştır.

Bu değerler kullanılarak kirişlere gelen yükler hesaplanmıştır. SAP2000[®] yazılımında ölü yükler için DL, hareketli yükler için LL ve kar yükü için SNOW olmak üzere yük tanımlamaları yapılmıştır (Şekil 4.2). Bu yük tanımlamaları kullanılarak da $DL + LL$ ve $DL + 0.6LL$ yük kombinasyonları oluşturularak kirişlere ilgili yüklemeler yapılmıştır (Şekil 4.3, 4.4). İkinci kombinasyondaki LL' in katsayısı olan "0.6", AY98 (1998)'deki eşdeğer deprem yükü yönteminde okullar için kullanılan hareketli yük katılım katsayısıdır.



Şekil 4.2 Yük tanımlamaları

Response Combination Data

Response Combination Name DL+LL

Combination Type Linear Add

Define Combination of Case Results

Case Name	Case Type	Scale Factor
DL	Linear Static	1.
DL	Linear Static	1.
LL	Linear Static	1.
OZYUK	Linear Static	1.
SNOW	Linear Static	1.

Add

Modify

Delete

OK Cancel

Şekil 4.3 DL + LL yük kombinasyonu

Response Combination Data

Response Combination Name DL+0.6LL

Combination Type Linear Add

Define Combination of Case Results

Case Name	Case Type	Scale Factor
DL	Linear Static	1.
DL	Linear Static	1.
LL	Linear Static	0.6
OZYUK	Linear Static	1.
SNOW	Linear Static	0.6

Add

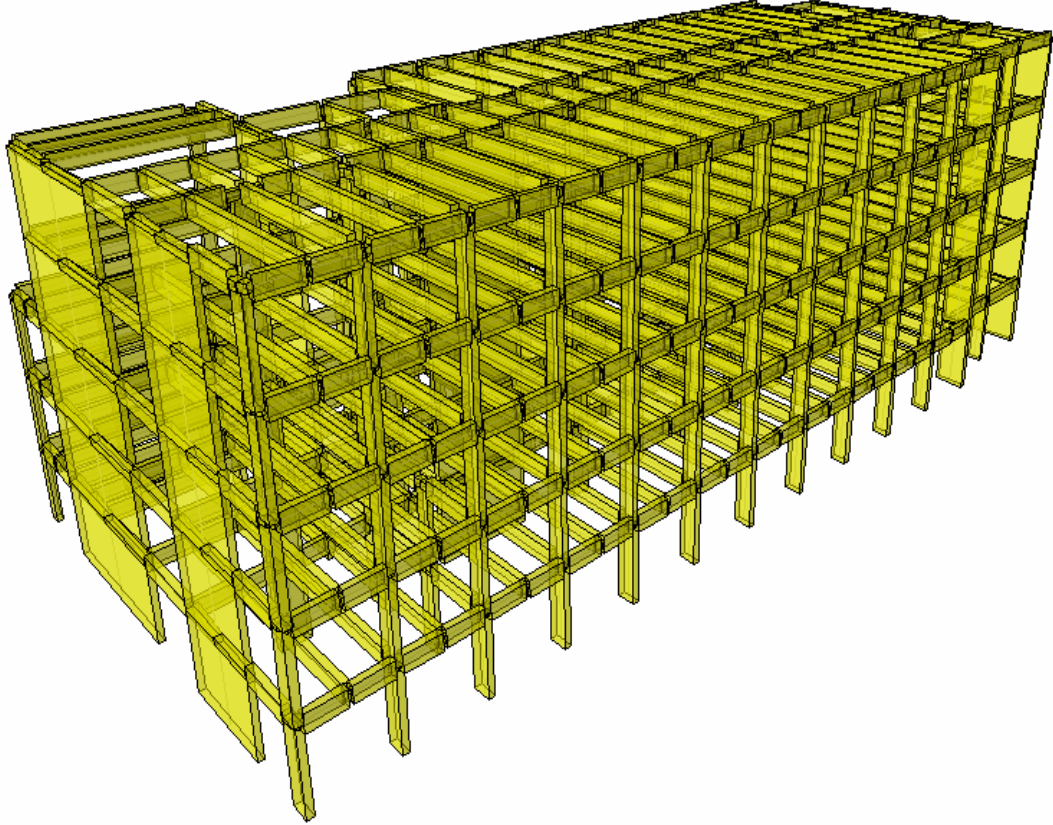
Modify

Delete

OK Cancel

Şekil 4.4 DL + 0.6 LL yük kombinasyonu

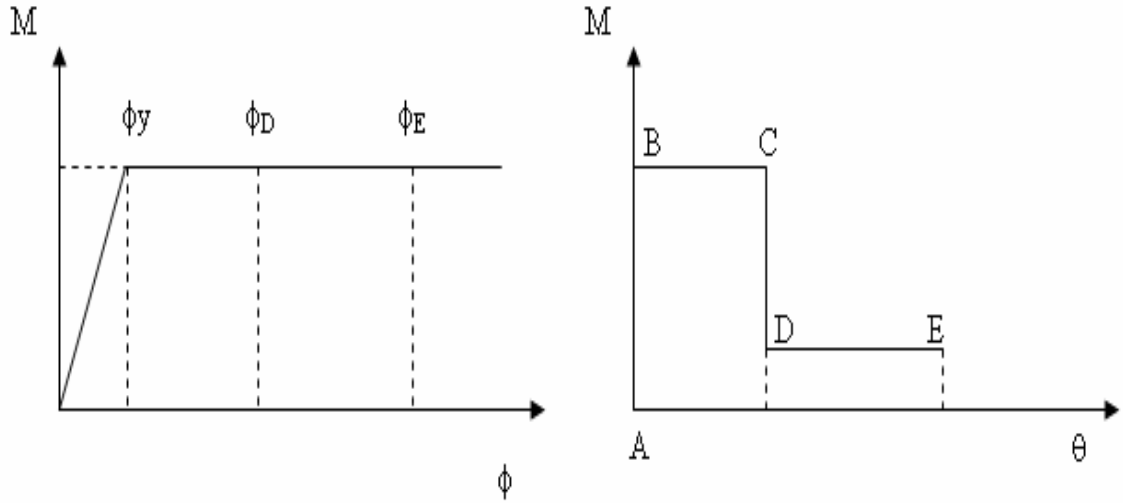
Böylece taşıyıcı sistemin bilgisayar ortamında üç boyutlu modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.5). Doğrusal ötesi analiz yapabilmek için taşıyıcı sistem elemanları üzerinde son olarak elemanların sargılı beton davranış modellerinin oluşturulması ve bu modeller aracılığıyla elde edilen plastik mafsallık özelliklerinin ilgili elemanların kritik kesitlerinde tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 4.5 Taşıyıcı sistemin SAP2000® yazılımındaki üç boyutlu modeli

4.4 Sargılı Beton Davranış Modeli

Seçilen okul binasında taşıyıcı sistem elemanlarının sargılı beton davranış modellerini oluşturmak için Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli kullanılmıştır (Kent ve Park 1969). Taşıyıcı sistem elemanlarının kritik kesitlerindeki moment – eğrilik değerleri, bu model aracılığıyla hesaplanan gerilme – birim şekil değiştirme değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Moment – eğrilik değerlerinden moment – dönme değerleri türetilerek, taşıyıcı sistem elemanlarının kritik kesitlerine etki eden momentler altındaki dönme değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.6). Bu çalışmada bilgisayar ortamında bu hesaplamaları yapmak için 105M024 numaralı Tübitak projesi için hazırlanan (İnel, Özmen ve Bilgin 2007) yazılım kullanılmıştır.

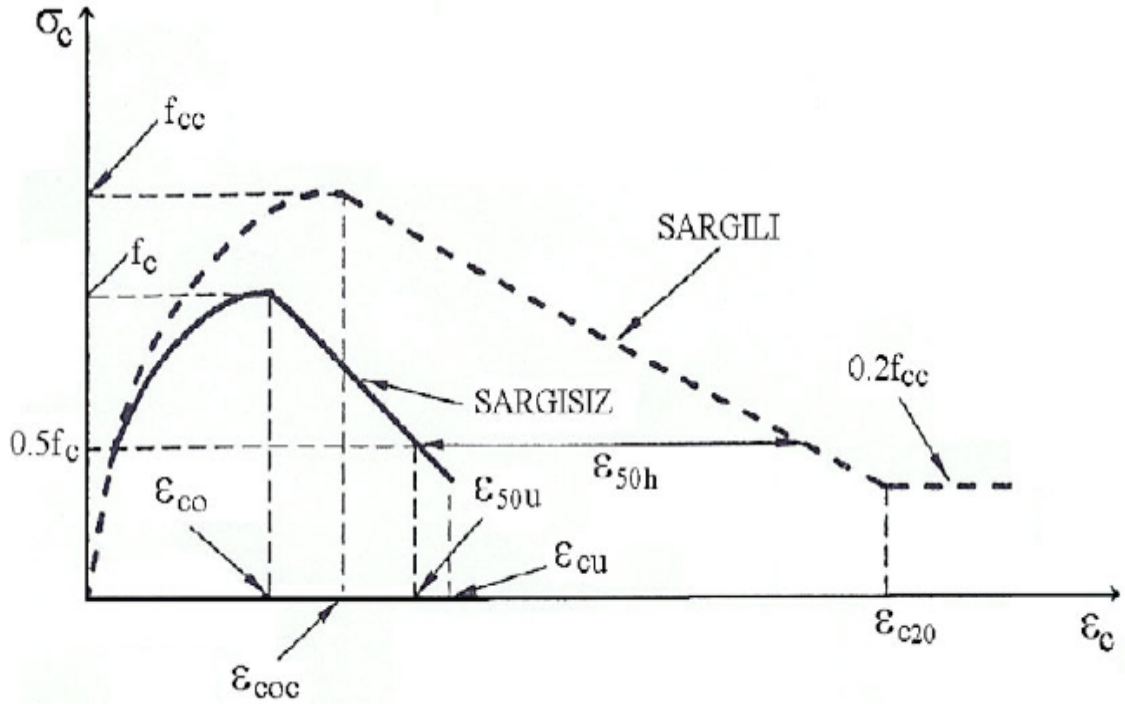


Şekil 4.6 Moment-eğrilik ve moment-dönme değerleri

4.4.1 Geliştirilmiş Kent ve Park modeli

Bu model, Roy ve Sözen tarafından sargılı beton için önerilen gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisinden esinlenerek geliştirilmiştir (Roy ve Sözen 1964). Şekil 4.7’de gösterildiği gibi, sargılı ve sargısız beton için iki ayrı gerilme - birim şekil değiştirme eğrisi önerilmektedir (Kent ve Park 1969). Sargı nedeni ile beton dayanımının f_c ’den f_{cc} ’ye, maksimum gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirmenin ise ϵ_{co} ’dan ϵ_{coc} ’ye yükseldiği varsayılmaktadır. Hem sargılı hem de sargısız beton için önerilen eğrilerin ilk bölümleri ikinci derece bir parabol varsayılmıştır. Eğrilerin gerilme azalmasını gösteren ikinci bölümleri ise, eğimi eksi olan düz çizgilerle gösterilmiştir. Sargılı betonun eğimi, sargısız betona oranla daha küçüktür. Sargısız betonda maksimum birim şekil değiştirme ϵ_{cu} iken, sargılı betonda böyle bir sınır yoktur. Sargısız beton için sınır olarak $\epsilon_{cu} = \epsilon_{50u}$ veya basit olarak $\epsilon_{cu} = 0,004$ alınabilir (Ersoy ve Özcebe 2001).

Sargılı beton modeli çekirdek olarak tanımlanan ve fret veya etriye ile sınırlanan beton kütlesi için, sargısız beton modeli ise çekirdek dışında kalan kabuk betonu için geçerlidir. Geliştirilmiş Kent ve Park modelindeki gerilme – şekil değiştirme eğrilerini tanımlayan bağıntılar Denklem 4.1 – Denklem 4.10’ da verilmiştir (Kent ve Park 1969).



Şekil 4.7 Geliştirilmiş Kent ve Park modeline ait gerilme – şekil değiştirme grafiği

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (\text{Sargısız beton için}) \quad (4.1)$$

ε_{co} , normal dayanımlı betonlar için yaklaşık 0,002 alınabilir.

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{coc}} \right)^2 \right] \quad (\text{Sargılı beton için}) \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_{coc} = K\varepsilon_{co} \quad (4.3)$$

Doğrusal eğri (Gerilmenin azaldığı bölüm)

Sargısız beton için,

$$\sigma_c = f_c [1 - Z_u (\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \quad (4.4)$$

$$Z_u = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{co}} \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,285 f_c}{142 f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad (4.6)$$

Sargılı beton için,

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad (4.7)$$

$$\sigma_c = f_{cc} [1 - Z_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})] \geq 0,2 f_{cc} \quad (4.8)$$

$$Z_c = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (4.9)$$

$$\varepsilon_{50h} = 0,75 \rho_s \left(\frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (4.10)$$

Bu ifadelerde;

- f_c : Sargısız betonun basınç dayanımı (Genelde $f_c = f_{ck}$ alınır.)
 f_{cc} : Sargılı beton dayanımı $f_{cc} = f_{cl} = K f_c$
 ε_{coc} : Sargılı betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme
 ε_{co} : Sargısız betonda maksimum gerilme altındaki birim şekil değiştirme
 Z_u : Sargısız beton gerilme – birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi
 Z_c : Sargılı beton gerilme - birim şekil değiştirme eğrisinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi
 b_k : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu (mm)
 h_k : Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanını büyük boyutu (mm)
 ρ_s : Sargı donatısının hacimsel oranı
 σ_c : Beton basınç gerilmesi
 ε_c : Beton birim şekil değiştirmesi
 ε_{cu} : Sargısız beton için en büyük birim şekil değiştirme
 ε_{c20} : Sargılı beton için $0.2 f_{cc}$ gerilme değerine karşılık gelen birim şekil değiştirme

$$\rho_s = \frac{A_o l_s}{s b_k h_k} \quad (4.11)$$

Burada;

- A_o : Sargı donatısı kesit alanı (mm²)
 l_s : Kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu (mm)
 f_{yw} : Sargı donatısının minimum akma dayanımı (MPa)
 s : Sargı donatısı aralığı (mm)
 b_k : Kesit genişliği (mm)
 h_k : Kesit yüksekliği (mm)

4.4.2 Sargılı beton davranış modelinin oluşturulması

Taşıyıcı sistem elemanlarına ait boyut, donatı şekli ve düzeni, malzeme özellikleri, Kent ve Park modeli ile elde edilen sargılı beton davranış modeli kullanılarak plastik mafsalların oluşturulması için bilgisayar ortamında 105M024 numaralı Tübitak projesi için hazırlanan (İnel, Özmen ve Bilgin 2007) yazılım kullanılmıştır.

Bu yazılımda öncelikle plastik mafsal ayarlarının yapılması gereklidir. Bu çalışmada plastik mafsalların oluşturulması için kullanılan kriterler, 105M024 numaralı Tübitak projesi için hazırlanan (İnel, Özmen ve Bilgin 2007) yazılımın plastik mafsal ayarları penceresinde oluşturulmuş ve Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Plastik mafsal ayarlarında Şekil 4.6’da gösterilen moment – dönme grafiğindeki C ve E noktaları için gereken f_{cc} , ϵ_{cc} , M_{max} ve ϵ_{su} değerleri Şekil 4.10’ daki gibi tanımlanmıştır. Daha önce de bahsettiğimiz gibi sargılı beton davranış modeli olarak Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli seçilmiştir. Plastik mafsal boyu olarak kesit yüksekliğinin yarısı ($L_p=h/2$) kullanılmıştır. Yazılımda kesme mafsalları için, kesme kapasitesinin hesabında TS500 (2000)’de önerilen şekilde betonun ve sargı donatısının kesme kapasiteleri ayrı ayrı elde edilerek toplanmaktadır.

Şekil 4.8 Plastik mafsal ayarlarının tanımlanması

Malzeme özelliklerinin (beton ve çelik) tanımlanması için gereken kriterler, örnek olarak beton sınıfı C10 ve donatı sınıfı BÇ I olan model için, 105M024 numaralı Tübitak projesi için hazırlanan (İnel, Özmen ve Bilgin 2007) yazılımın malzeme özellikleri penceresinde oluşturulmuş ve kuvvet – birim şekil değiştirme eğrileri üzerinde Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Beton dayanımı için bu çalışmanın amaçları içinde olan farklı beton sınıflarına göre analiz için C10, C13 ve C16 betonları için gereken değerler tanımlanmıştır.

Malzeme Özellikleri

BETON

$f_{co} = 100 \text{ kg/cm}^2$

$\epsilon_c = 0.002$

$k_3 = 1$

$a = 0.5$

$\epsilon_{ca} = 0.004$

☒ Beton Çekme Dayanımını Dikkate Al

ÇELİK

$f_{sy} = 2200 \text{ kg/cm}^2$

$f_{su} = 3300 \text{ kg/cm}^2$

$\epsilon_{sy} = 0.0011$

$\epsilon_{sp} = 0.01$

$\epsilon_{su} = 0.18$

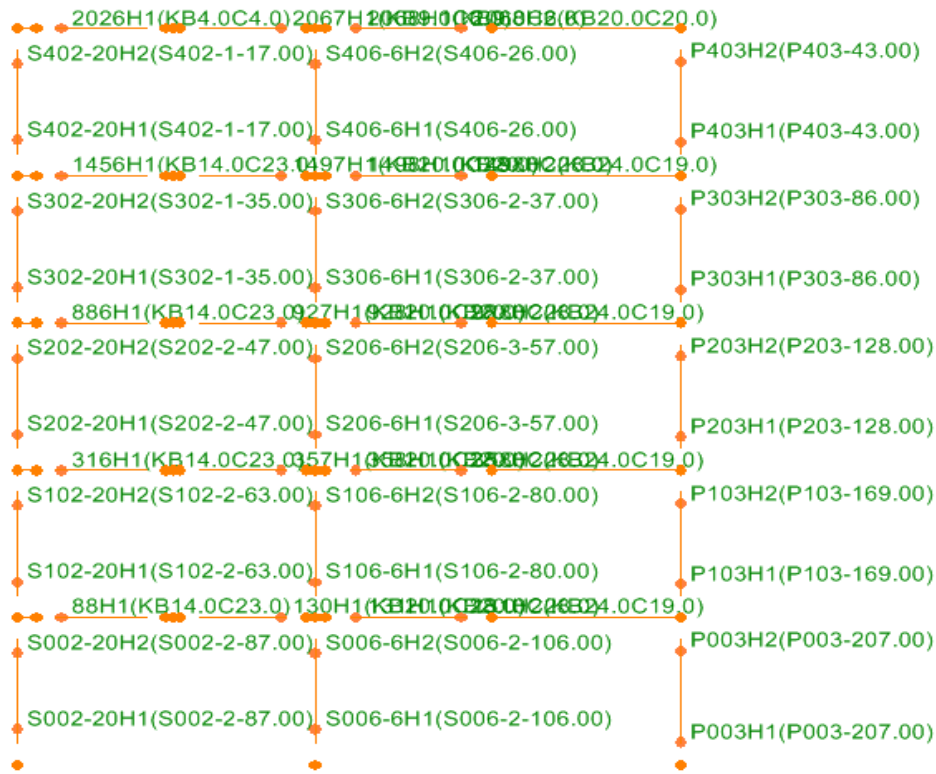
$E = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

$E_{sh} = 15000 \text{ kg/cm}^2$

Tamam İptal

Şekil 4.9 Malzeme özelliklerinin tanımlanması

Taşıyıcı elemanların kesit ve donatı düzenlerini 105M024 numaralı Tübitak projesi için hazırlanan (İnel, Özmen ve Bilgin 2007) yazılımında her eleman için girilerek, yazılım plastik mafsalları üretmeye hazır hale getirilmiştir. Üretilen mafsalları bilgileri SAP2000[®] yazılımına aktararak, bu yazılımında her eleman için o elemana ait plastik mafsalları özellikleri tanımlanmış olmaktadır. Tanımlanan bu plastik mafsalları özelliklerini SAP2000[®] yazılımında her elemanın kritik kesitlerine atanarak, üç boyutlu model doğrusal ötesi analize hazır hale getirilmiş olur. Şekil 4.10’da örnek bir aks için SAP2000[®] yazılımında tanımlanmış ve ilgili elemanlara atanmış olan plastik mafsalları gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Örnek bir aksta SAP2000[®] yazılımında elemanlara atanmış plastik mafsallar

Bu işlemler sırasıyla her kolon, kiriş ve perde elemanlar için yapılmıştır. Perde elemanların plastik mafsalları oluşturulurken FEMA 356 (2000) kriterleri dikkate alınmıştır. Bu çalışmada giriş bölümünde de bahsedildiği gibi, seçilen okul binasının farklı beton sınıfları (C10, C13, C16) ve taşıyıcı sistem elemanlarındaki farklı etriye aralıklarına (S=10, S=15, S=25 cm) göre doğrusal ötesi analizi yapılmıştır. Dolayısıyla taşıyıcı sistem elemanlarının hepsine, bu farklı beton sınıfı ve etriye aralıkları için ayrı ayrı plastik mafsallar üretilerek atanmıştır ve farklı birer model olarak analiz için hazırlanmıştır.

5. MODELLERİN ANALİZİ VE ANALİZ SONUÇLARI

5.1 SAP2000® Yazılımında Doğrusal Ötesi Statik İtme Analizi

Hazırlanmış üç boyutlu taşıyıcı sistem modellerinin analizi için öncelikle SAP2000® yazılımında statik itme analizi parametrelerinin oluşturulması gereklidir.

Modellerin öncelikle modal analizi yapılmıştır. Statik itme analizinde kullanılacak yatay yük deseni her bir yönde 1. mod dikkate alınarak belirlenmiştir.

Taşıyıcı sistemin artan yatay kuvvetlerin etkisiyle itilmesi esnasında aynı zamanda sistemin düşey yükler ile yüklü olması gereklidir. Dolayısıyla, sistem statik itme analizi öncesinde düşey yükler (DL + 0.6LL) ile yüklenmiştir. Bu yükleme durumu “*pushgrav*” olarak isimlendirilmiştir.

Şekil 5.1 ve 5.2’ de modelin X ve Y yönlerinde statik itme analizi için SAP2000® tanımlama pencereleri görülmektedir. X yönündeki statik itme analizi için “*pushx*”, Y yönündeki statik itme analizi için “*pushy*” analiz isimleri verilmiştir. Bu analiz pencerelerinde analiz yönünden bağımsız olarak, analiz tipi *doğrusal ötesi (nonlinear) statik*, analiz başlangıcı için ilk durum düşey yüklerin tanımlandığı “*pushgrav*” yükleme olarak tanımlanmıştır. Yatay yük deseninde uygulanacak yükler için X yönünün ilk modu olan 1. mod durumu, Y yönünün ilk modu olan 2. mod durumunun kullanılması tanımlanmıştır.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te gösterilen SAP2000® yük uygulanması için tanımlama penceresinde ise X ve Y yönleri için yapılacak statik itme analizin deplasman kontrollü olması seçilmiştir. Yapının X yönü için U1, Y yönü için U2 doğrultusunda, en üst katın ağırlık merkezi olan 1567 no’lu noktadan 50 cm’e kadar itilmesi istenmiştir. Sistem aslında elemanlarının doğrusal ötesi davranışlarına göre deplasman yapacaktır. Bu sınır değer girilmesi ile analizin herhangi bir alt sınır durumunda kesilmesi engellenmiş olmaktadır.

Analysis Case Data - Nonlinear Static

Analysis Case Name pushx **Set Def Name**

Analysis Case Type Static

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case pushgrav

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

☐ Linear

☒ Nonlinear

Modal Analysis Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODES

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1.
Mode	1	1.

Add

Modify

Delete

Other Parameters

Load Application Displ Control Modify/Show...

Results Saved Multiple States Modify/Show...

Staged Construction No Modify/Show...

Nonlinear Parameters User Defined Modify/Show...

OK

Cancel

Şekil 5.1 X yönü için statik itme analizi tanımlama penceresi

Analysis Case Data - Nonlinear Static

Analysis Case Name pushy **Set Def Name**

Analysis Case Type Static

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case pushgrav

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

☐ Linear

☒ Nonlinear

Modal Analysis Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODES

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	1.
Mode	2	1.

Add

Modify

Delete

Other Parameters

Load Application Displ Control Modify/Show...

Results Saved Multiple States Modify/Show...

Staged Construction No Modify/Show...

Nonlinear Parameters User Defined Modify/Show...

OK

Cancel

Şekil 5.2 Y yönü için statik itme analizi tanımlama penceresi

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

Monitored Displacement

☒ DOF at Joint

☐ Generalized Displacement

OK Cancel

Şekil 5.3 X yönünde statik itme analizi yük uygulanması için tanımlama penceresi

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

Monitored Displacement

☒ DOF at Joint

☐ Generalized Displacement

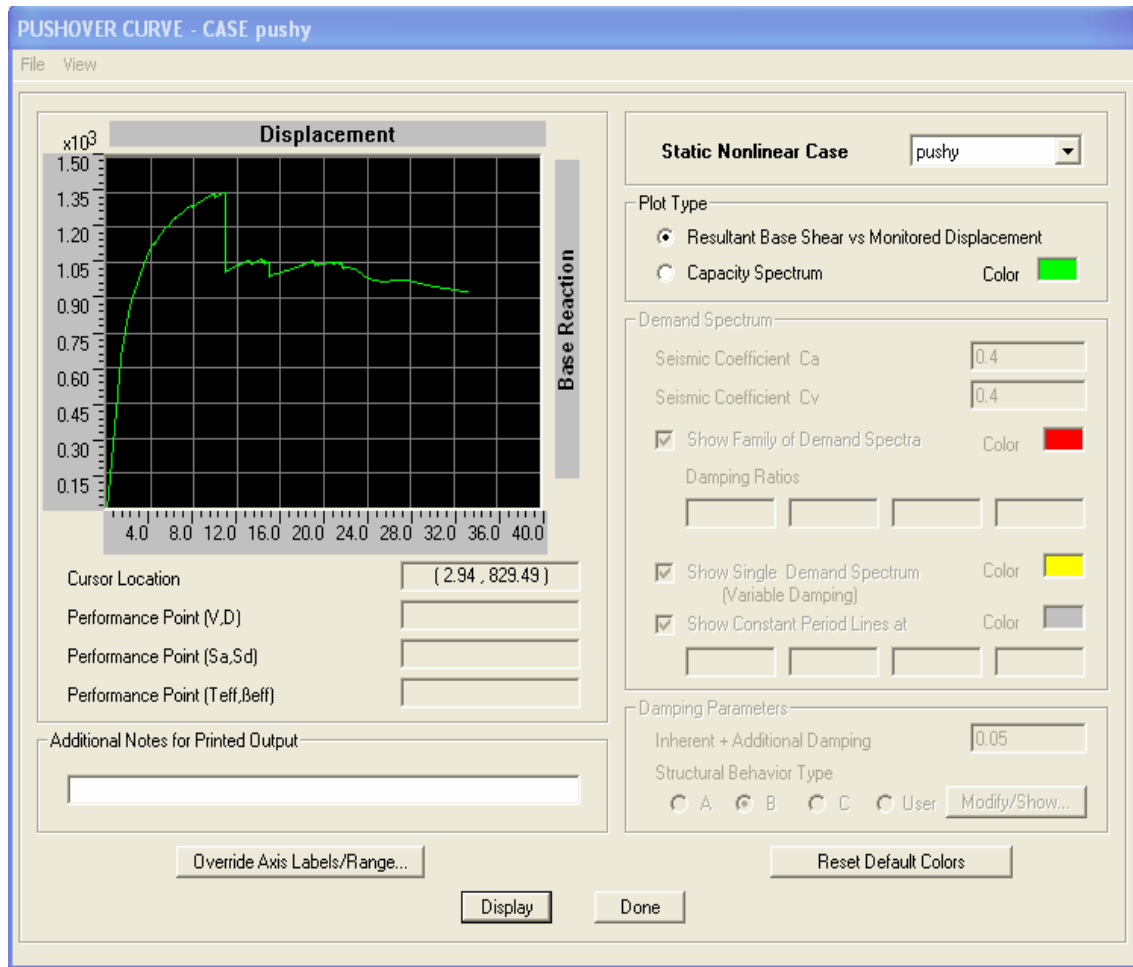
OK Cancel

Şekil 5.4 Y yönünde statik itme analizi yük uygulanması için tanımlama penceresi

Oluşturulan bu analiz parametreleriyle modellerin doğrusal ötesi statik itme analizleri yapılmıştır. Taşıyıcı sistem modelinin oldukça karmaşık ve eleman sayısının fazla olması nedeniyle, analizler oldukça uzun sürmüştür.

5.2 SAP2000® Yazılımında Doğrusal Ötesi Statik İtme Analizi Sonuçları

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, seçilen okul binasının üç boyutlu taşıyıcı sistem modelinin beton sınıfı olarak C10, C13 ve C16, elemanların etriye aralıkları olarak da S=10, S=15 ve S=25 cm olması durumları için SAP2000® yazılımında ayrı ayrı doğrusal ötesi statik itme analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonucunda her bir model için (toplam 9 model ve her modelde birbirine dik X ve Y yönü) kapasite eğrileri hesaplanmıştır. Bu başlık altında her bir model için kapasite eğrileri, binaya etkiyen yatay kuvvetin toplam bina ağırlığına oranı (V/W) ve çatı katın yatay deplasmanının toplam bina yüksekliğine oranı (Δ/H) olarak verilecek ve beton sınıfı ve etriye aralığının kapasite üzerinde etkileri bu oranlarla değerlendirilecektir. Taşıyıcı sistemin DL+0.6LL düşey yüklemesi altında toplam ağırlığı 5800 ton ve toplam bina yüksekliği 17 m'dir.

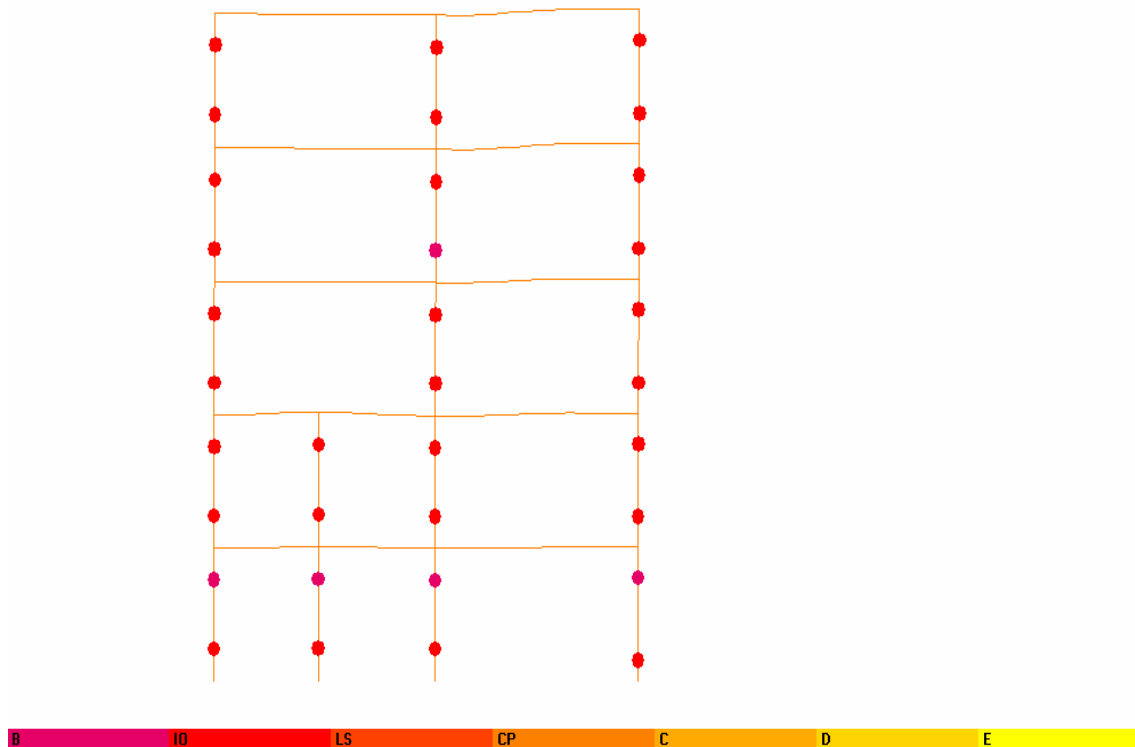


Şekil 5.5 SAP2000® yazılımında elde edilmiş örnek bir kapasite eğrisi

Şekil 5.5'te SAP2000[®] yazılımında elde edilen örnek bir kapasite eğrisi gösterilmektedir. Bu kapasite eğrisi bir tablo verisi haline de getirilebilir böylece Excel[®] veya başka bir yazılım ile de kullanılabilir (Şekil 5.6). Daha önce de bahsettiğimiz gibi kapasite eğrisi adım adım arttırılan yatay kuvvetler altında sistem elemanlarının yaptığı deplasmanlardan oluşmaktadır. SAP2000[®] yazılımında herhangi bir adımda herhangi bir elemandaki plastik mafsalların hasar durumları gözlenebilir. Şekil 5.7'de örnek bir aks için elemanlardaki plastik mafsalların hasar durumları gösterilmektedir.

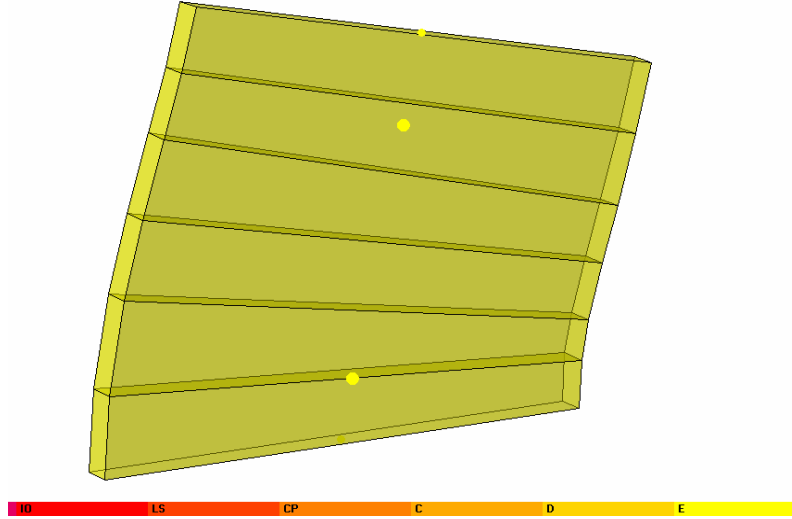
PUSHOVER CURVE											
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
93	17.8991	1033.5897	801	428	385	28	11	0	9	21	1683
94	18.0865	1035.7755	798	427	386	28	13	0	10	21	1683
95	18.0874	1046.0441	794	430	387	28	13	2	10	19	1683
96	18.1010	1046.3982	794	429	388	28	13	2	10	19	1683
97	18.1303	1046.8755	794	429	388	28	13	2	10	19	1683
98	18.9900	1056.7556	774	438	388	33	19	2	10	19	1683
99	19.0752	1057.5950	770	440	389	33	19	2	11	19	1683
100	19.0761	1047.6025	769	440	389	33	20	2	10	20	1683
101	19.1125	1048.2714	767	442	389	33	19	2	11	20	1683
102	19.1134	1041.4094	767	441	390	33	19	2	11	20	1683
103	19.1161	1041.4907	767	441	390	33	18	2	12	20	1683

Şekil 5.6 SAP2000[®] yazılımında tablo verisi haline getirilen kapasite eğrisi (ton, cm)



Şekil 5.7 Örnek bir aks için elemanlardaki plastik mafsalların hasar durumları

Ayrıca ihtiyaç duyulması halinde, statik itme analizi sonucunda herhangi bir adımda, elemanlardaki mesnet reaksiyonları, kesit tesirleri, herhangi bir noktanın deplasmanı da görülebilir.

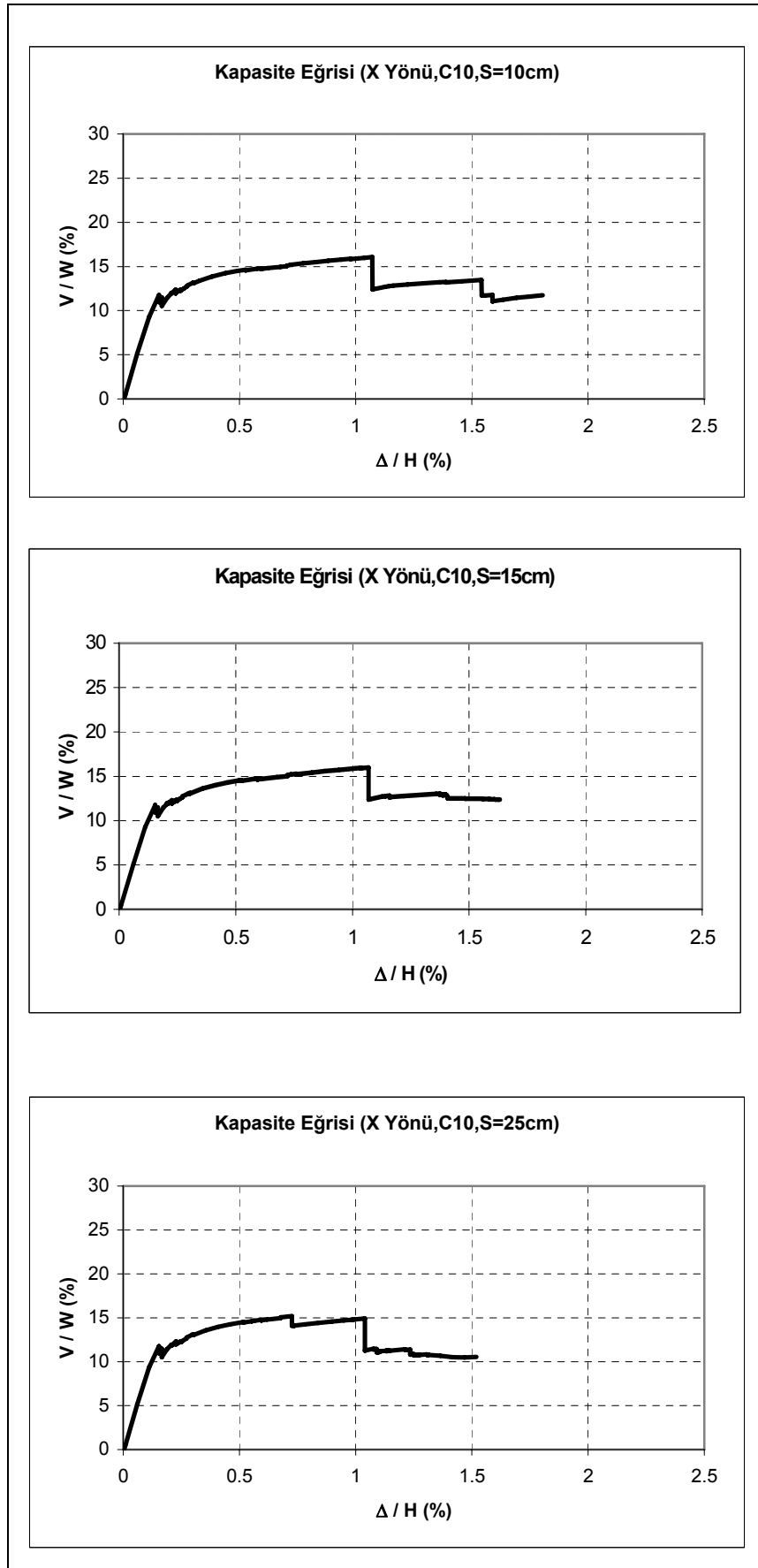


Şekil 5.8 Örnek bir perde elemanın mafsallaşması

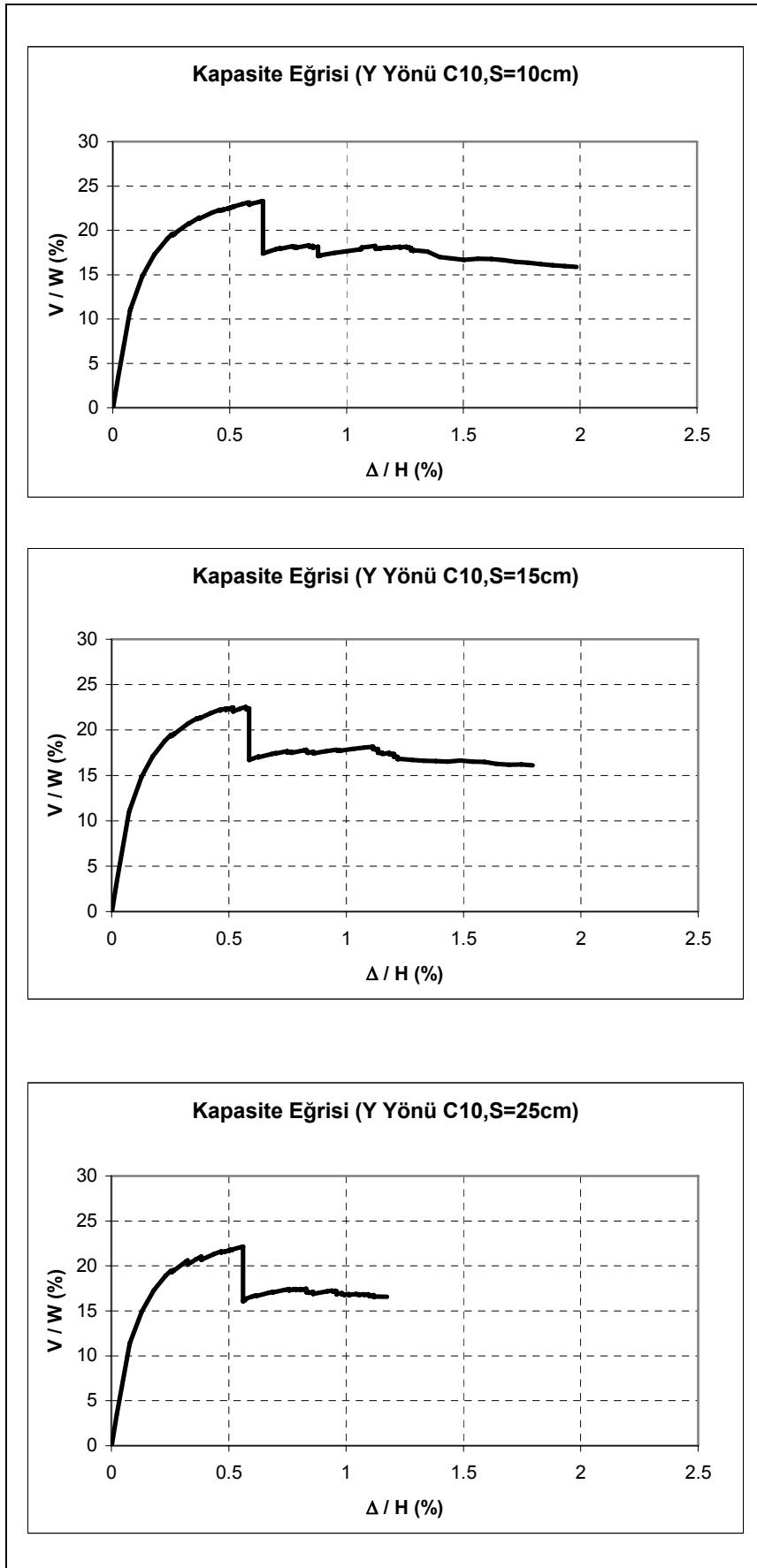
Sistem bazında yapılan incelemelerde kapasite eğrisi, sistemin akma anındaki deplasmanını, yatay yük taşıma kapasitesini ve yapabileceği maksimum deplasmanı göstermek için iyi bir araçtır. Bu çalışmada tüm modeller için elde edilen kapasite eğrileri genel olarak incelendiğinde farklı beton sınıfları ve etriye aralıkları için bahsi geçen özellikler net olarak görülmektedir. Kapasite eğrilerinde dikkat çeken en önemli özellik belirli bir deplasmanda, yatay kuvvet taşıma kapasitesindeki belirgin düşüşlerdir. Bu düşüşlerin sebebi sistemdeki perde elemanların mafsallaşarak, yatay yük taşıma kapasitelerini büyük ölçüde kaybetmesidir. Perdelerin devreden çıktığı deplasman seviyeleri de değerlendirilmelerde dikkate alınmalıdır. Çünkü bu seviyeler sistem kapasitesi açısından kritik noktalardır. Şekil 5.8’de örnek bir perde elemanın mafsallaşması gösterilmiştir. Bu çalışmada kapasite eğrileri elde edilen modellerin, model başlıkları altında elde edilen akma deplasmanları, yatay yük taşıma kapasiteleri ve maksimum deplasmanları değerlendirilmiştir.

5.2.1 Modellerin elde edilen kapasite eğrileri

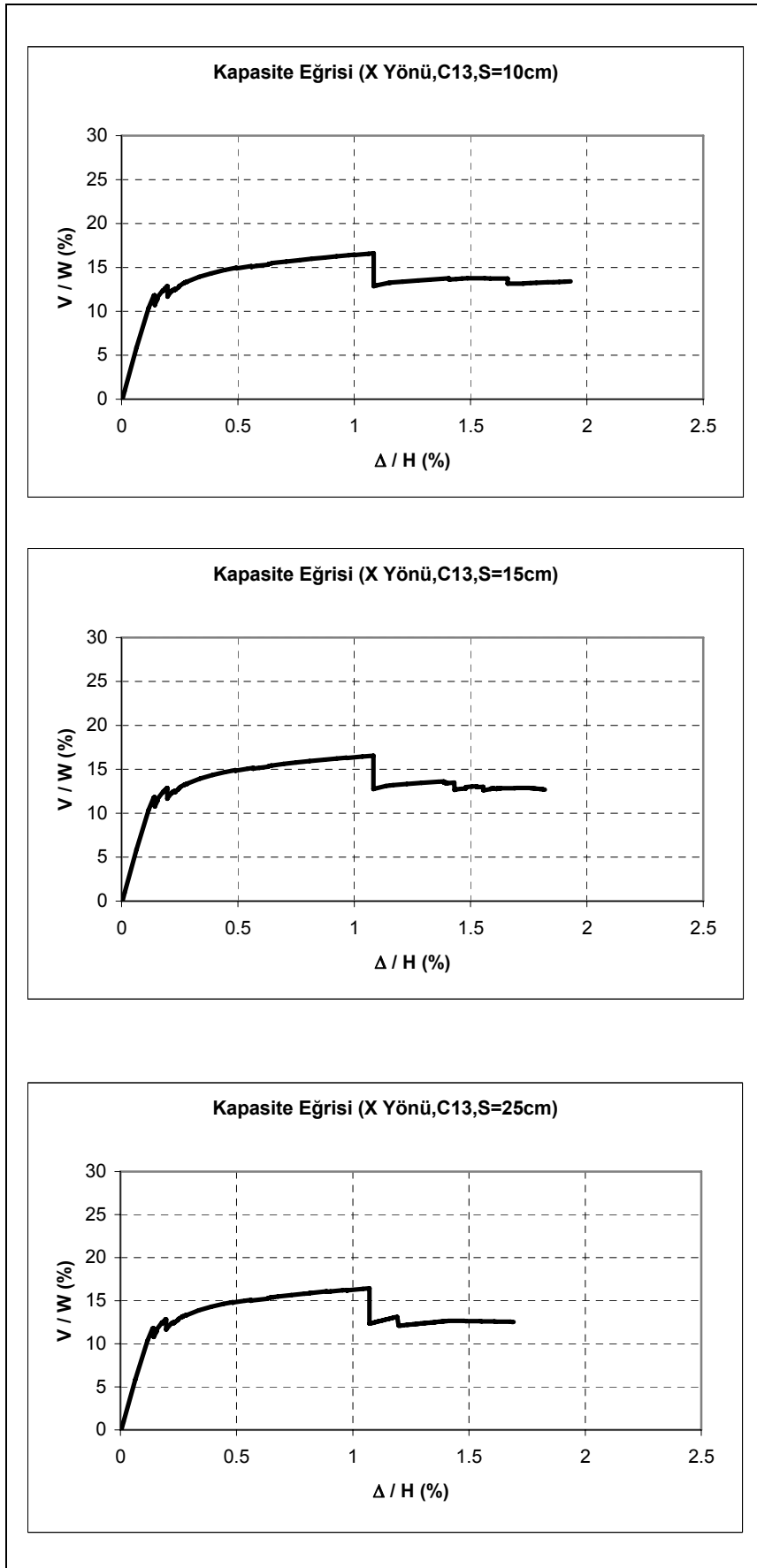
Doğrusal ötesi statik itme analizi kullanılarak, değişik beton sınıfı ve etriye aralıklarına sahip modellerin X ve Y yönleri için elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.9 – 5.14’te verilmiştir.



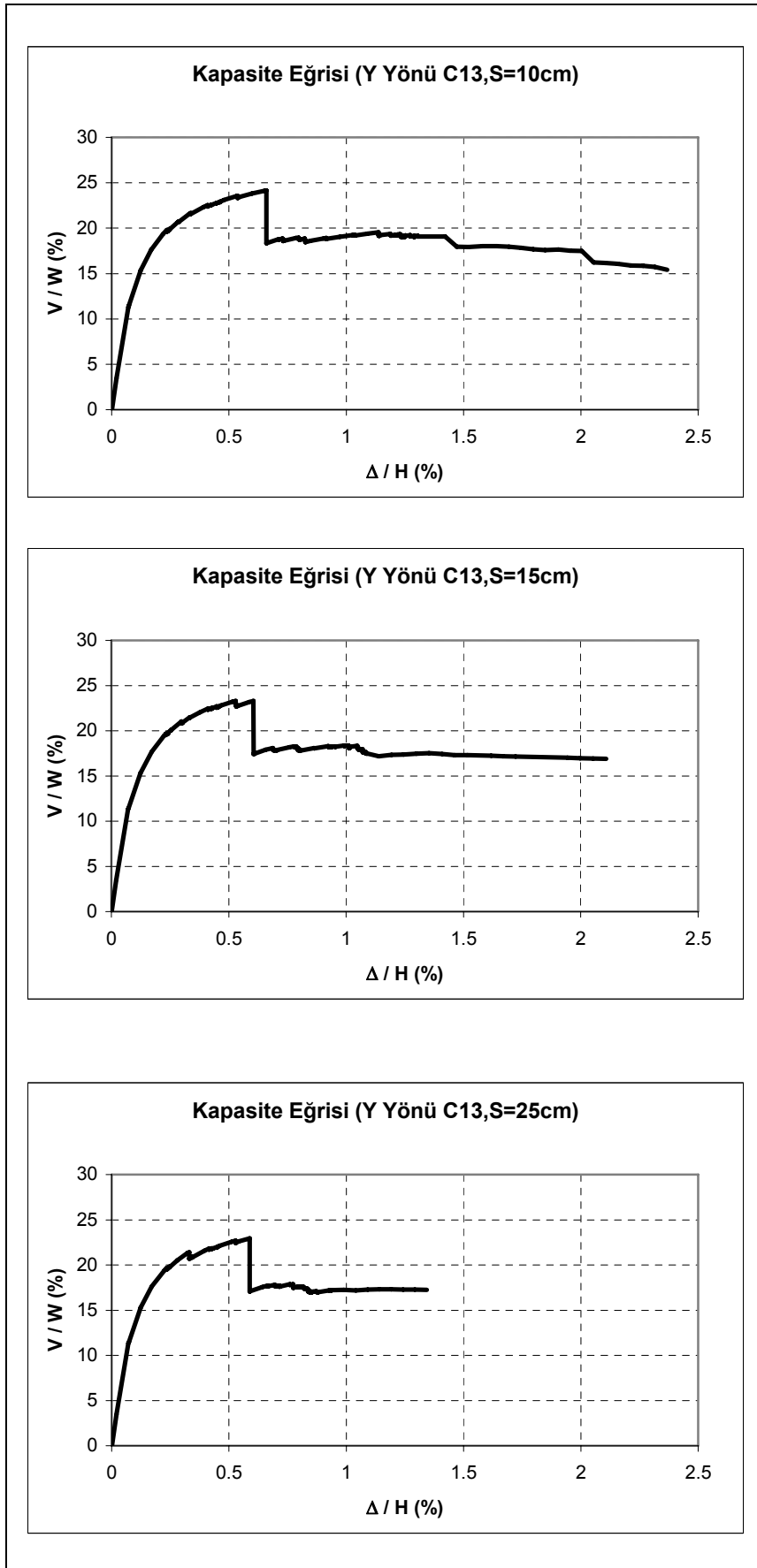
Şekil 5.9 X yönünde C10 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri



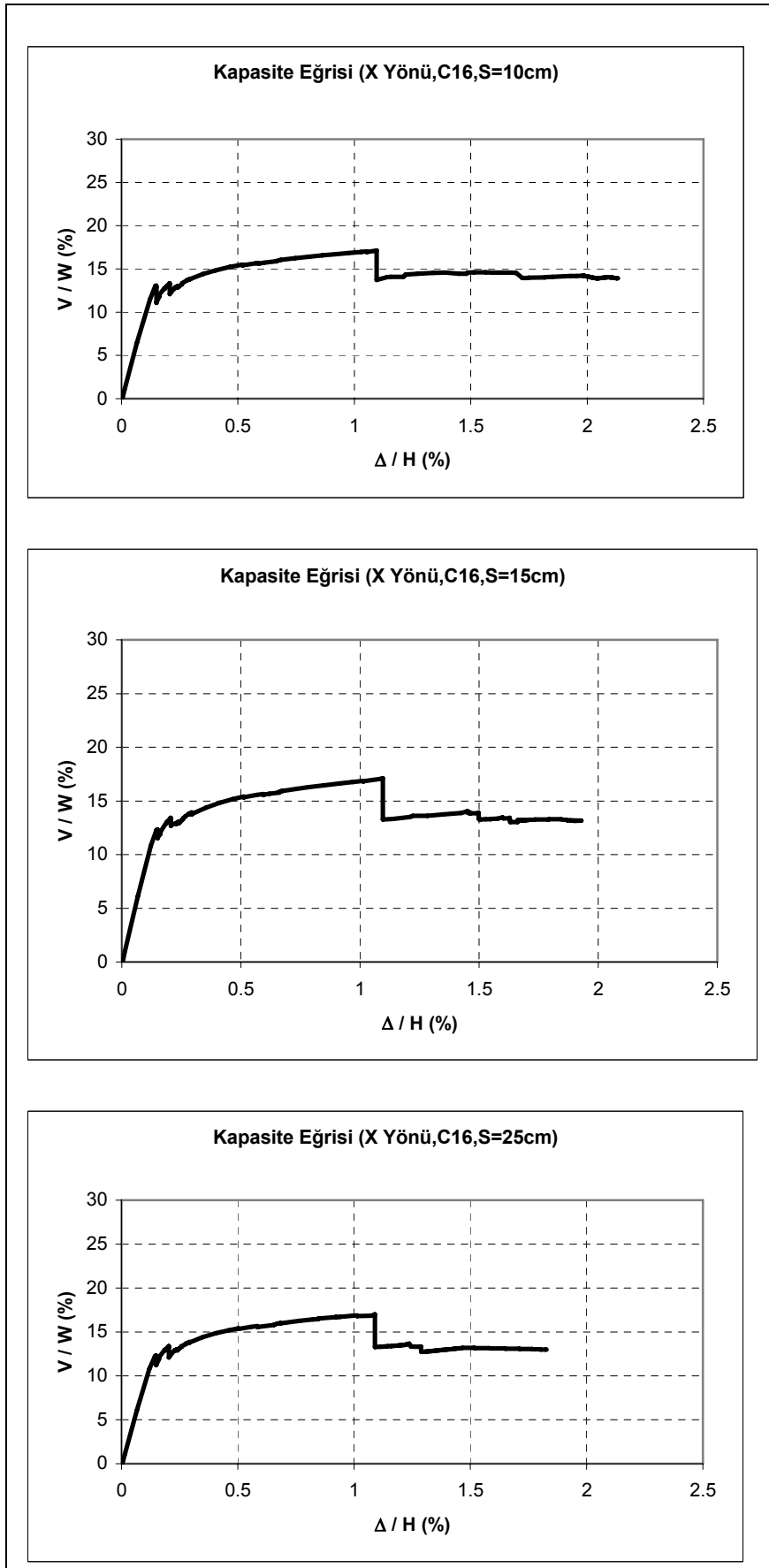
Şekil 5.10 Y yönünde C10 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri



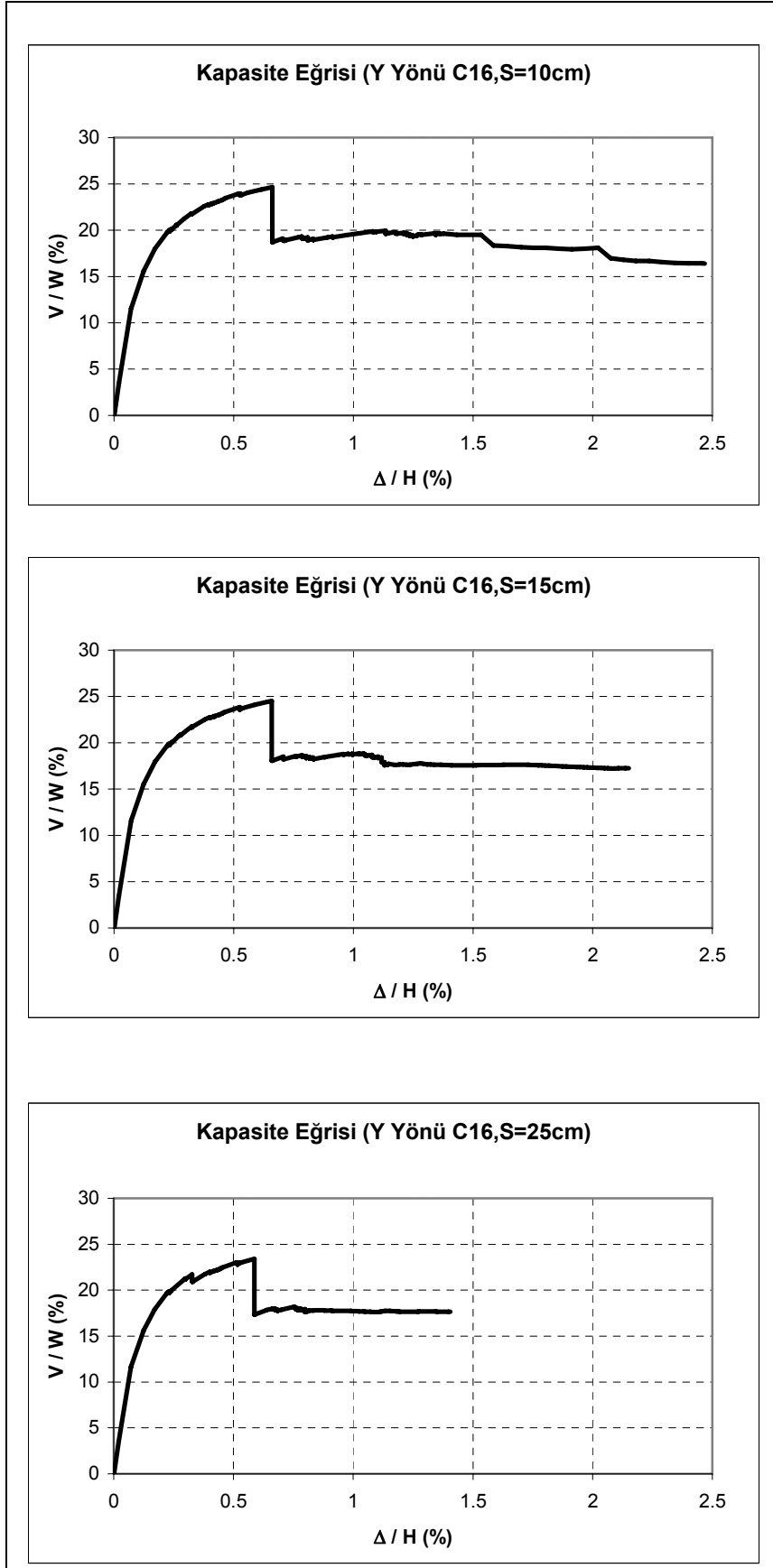
Şekil 5.11 X yönünde C13 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri



Şekil 5.12 Y yönünde C13 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri



Şekil 5.13 X yönünde C16 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri



Şekil 5.14 Y yönünde C16 beton sınıfına sahip modellerin kapasite eğrileri

Değişik beton sınıfı ve etriye aralığına sahip modellerin elde edilen kapasite eğrilerine ait V/W ve Δ/H değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Modellerin kapasite eğrilerine ait V/W ve Δ/H değerleri

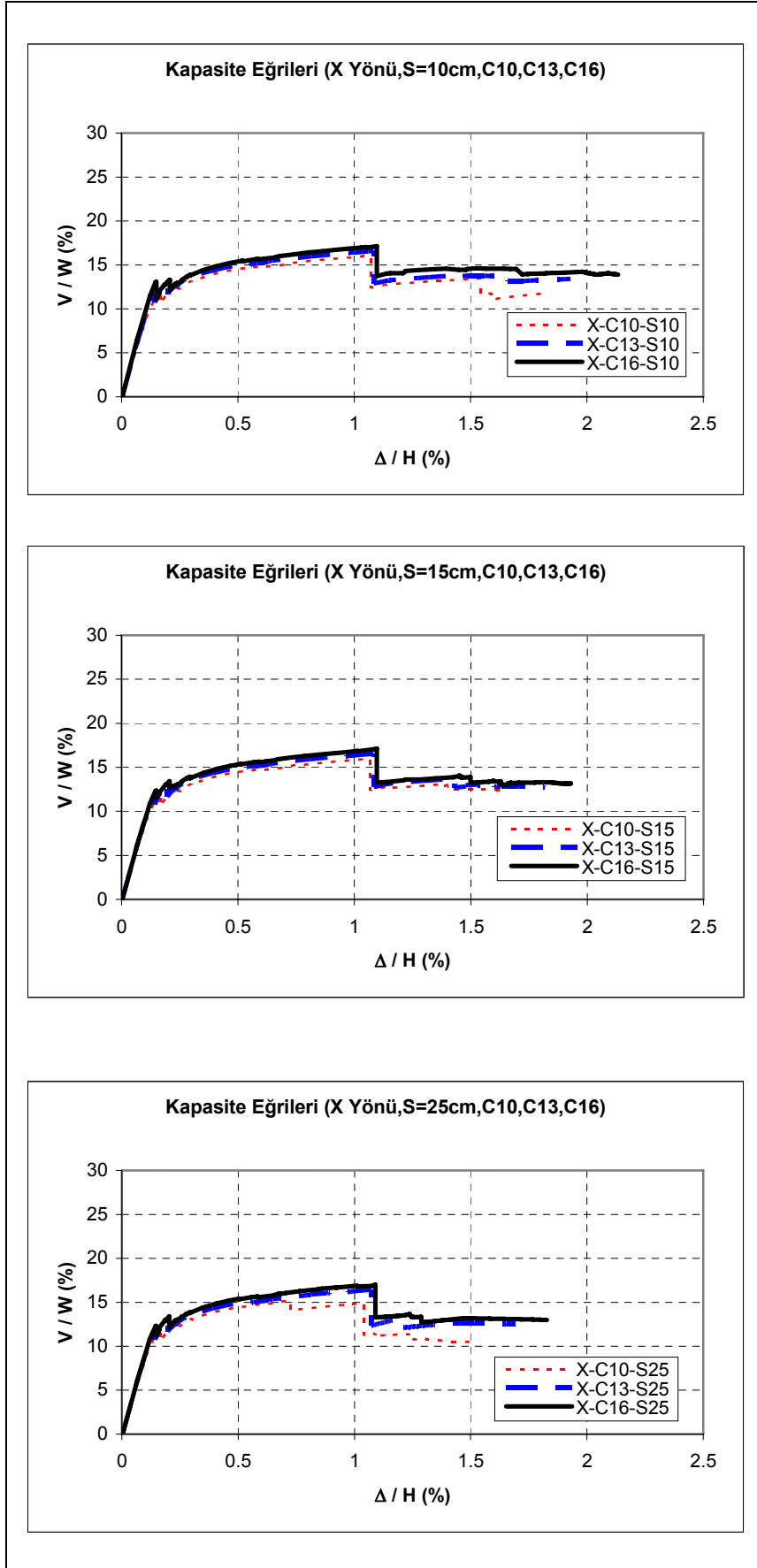
Yön	Beton Sınıfı	Etriye Aralığı	$V/W_{\max}$ (%)	$\Delta/H_{\max}$ (%)
X Yönü	C10	S=10 cm	16	1.8
		S=15 cm	16	1.7
		S=25 cm	15	1.5
	C13	S=10 cm	17	1.9
		S=15 cm	17	1.8
		S=25 cm	17	1.7
	C16	S=10 cm	17	2.2
		S=15 cm	17	1.9
		S=25 cm	17	1.8
Y Yönü	C10	S=10 cm	24	2.0
		S=15 cm	23	1.8
		S=25 cm	22	1.2
	C13	S=10 cm	24	2.4
		S=15 cm	24	2.2
		S=25 cm	23	1.3
	C16	S=10 cm	25	2.5
		S=15 cm	25	2.2
		S=25 cm	24	1.4

5.2.2 Modellerin kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

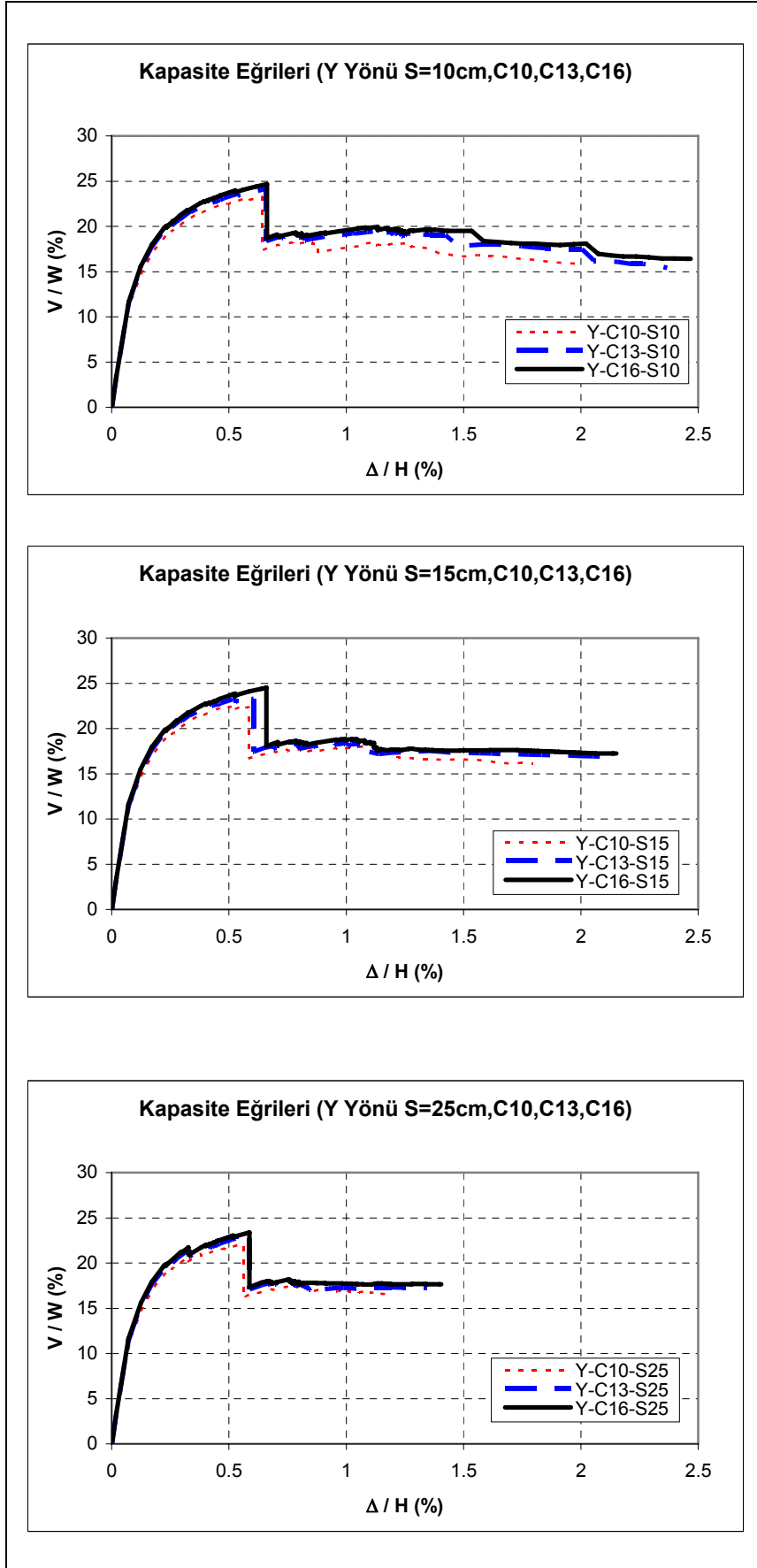
Farklı beton sınıflarına ve etriye aralıklarına sahip dokuz modelin X ve Y yönlerindeki statik itme analizleriyle elde edilen kapasite eğrileri bir önceki başlık altında gösterilmiştir. Bu çalışmanın ana amacı doğrultusunda, bu dokuz modelin kapasite eğrileri karşılaştırılarak, beton sınıfı ve etriye aralığının yapı kapasitesi üzerindeki etkisi bu başlık altında incelenmiştir.

5.2.2.1 Beton sınıfının kapasiteye etkisi

Bu başlık altında aynı etriye aralığına fakat farklı beton sınıflarına sahip elemanlardan oluşan modellerin X ve Y yönlerinde statik itme analizi ile elde edilmiş kapasite eğrileri karşılaştırılacaktır. Böylece beton sınıfının yapı kapasitesi üzerinde etkisi incelenmiş olacaktır. Aynı etriye aralığına ve değişik beton sınıfına sahip modellerin X ve Y yönlerinde elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.15 X yönünde beton sınıfına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.16 Y yönünde beton sınıfına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

5.2.2.1.1 Beton sınıfına göre kapasite sonuçların değerlendirilmesi

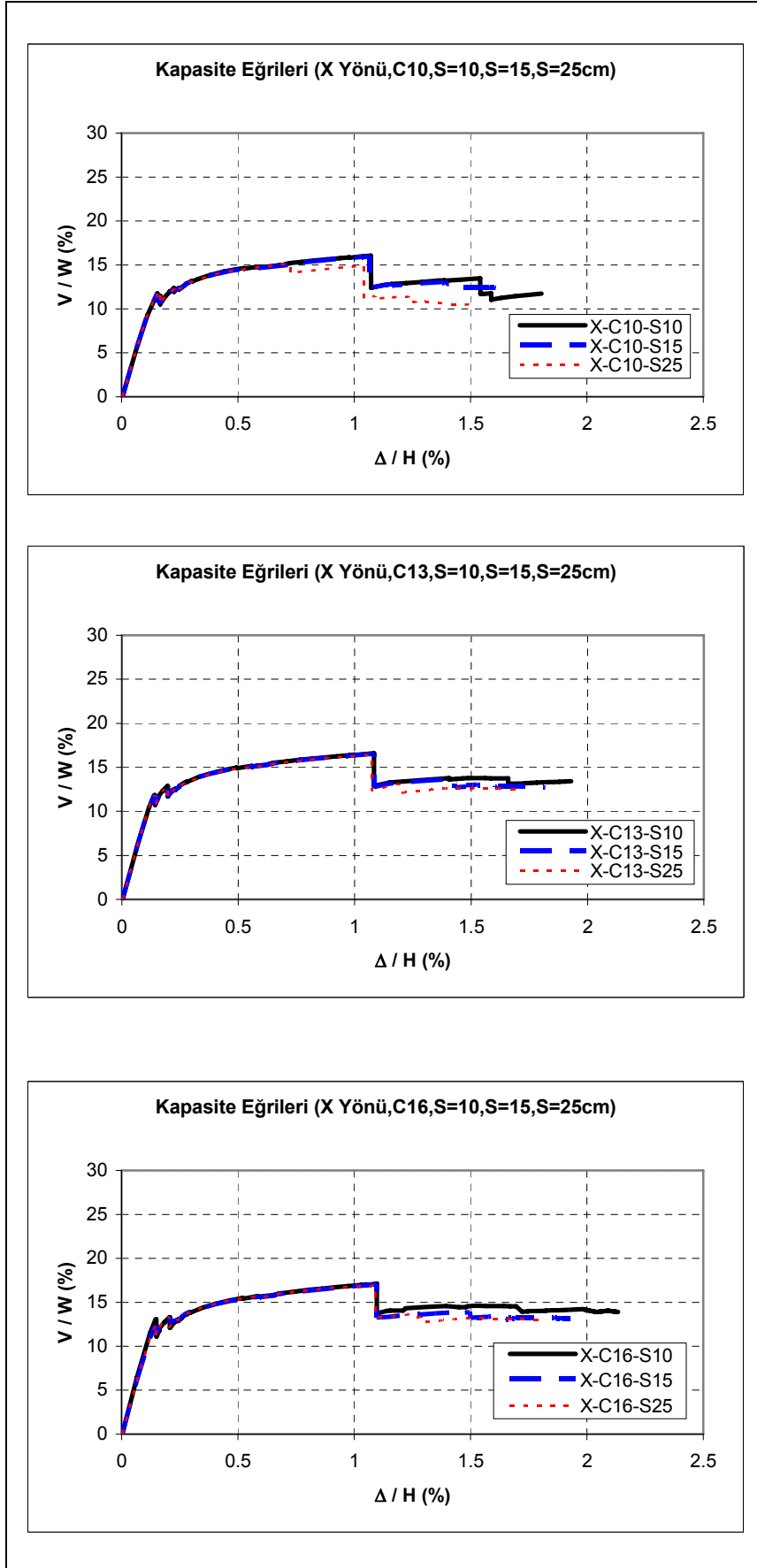
Aynı etriye aralığı ve değişik beton sınıfına göre karşılaştırılan kapasite eğrileri incelendiğinde, statik itme analizi yapılan modellerin beton sınıflarındaki değişimin, yatay kuvvet kapasitelerini ve maksimum deplasmanlarını etkilediği anlaşılmıştır. Beton dayanımı azaldıkça, modellerin yatay yük taşıma kapasitelerinde ve maksimum deplasmanlarında düşüşlerin olduğu görülmüştür. Özellikle Y yönündeki yatay kuvvet taşıma kapasitelerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Çünkü modellerdeki perde elemanlar Y yönünde daha büyük boyutlarda ve daha sıklıkla kullanılmıştır. Ayrıca modellerin maksimum deplasmanlarında da değişimler görülmüştür. Beton sınıfının azalmasıyla modellerin sünekliği de azaldığı için maksimum deplasmanları da azalmıştır. Ancak beton sınıfındaki değişimin, modellerin akma deplasmanlarını çok fazla etkilemediği görülmüştür.

5.2.2.2 Etriye aralığının kapasiteye etkisi

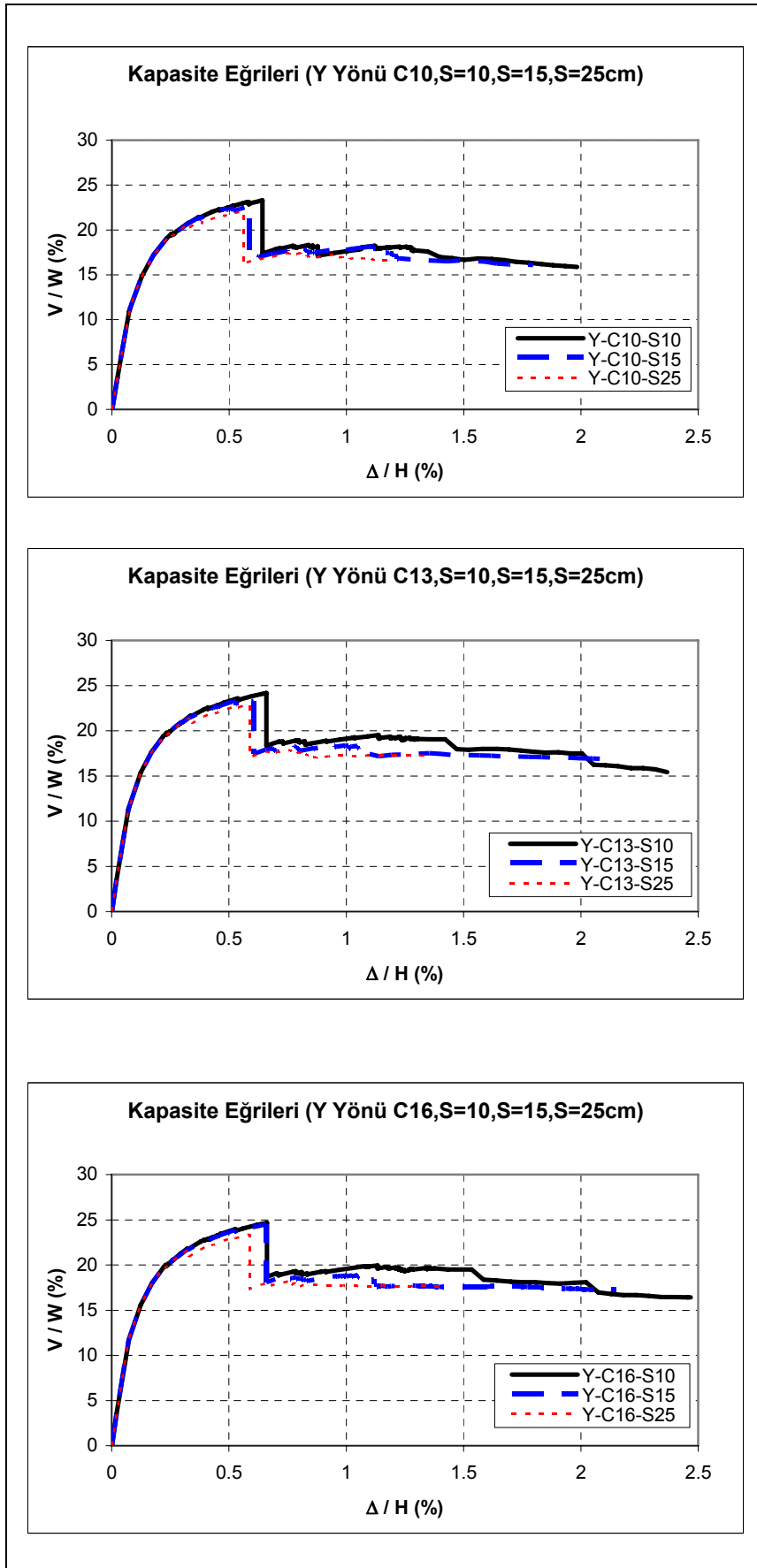
Bu başlık altında aynı beton sınıfına fakat farklı etriye aralıklarına sahip elemanlardan oluşan modellerin X ve Y yönlerinde statik itme analizi ile elde edilmiş kapasite eğrileri karşılaştırılacaktır. Böylece etriye aralığının yapı kapasitesi üzerinde etkisi incelenmiş olacaktır. Aynı beton sınıfına ve değişik etriye aralıklarına sahip modellerin X ve Y yönlerinde elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilmiştir.

5.2.2.2.1 Etriye aralığına göre kapasite sonuçların değerlendirilmesi

Aynı beton sınıfı ve değişik etriye aralıklarına göre karşılaştırılan kapasite eğrileri incelendiğinde, statik itme analizi yapılan modellerin etriye aralıklarındaki değişimin, özellikle maksimum deplasmanlarının etkilediği anlaşılmıştır. Etriye aralığı arttıkça, modellerin maksimum deplasmanlarında belirgin düşüşlerin olduğu görülmüştür. Bunun sebebi etriye aralığının artmasıyla, modellerin sünekliğinin azalmasıdır. Ayrıca modellerin yatay kuvvet taşıma kapasitelerine bakıldığında, maksimum deplasmanlar kadar belirgin olmasa da değişimler görülmüştür. Etriye aralığının artmasıyla yatay kuvvet taşıma kapasiteleri azalmıştır. Ancak etriye aralığındaki değişimin, modellerin akma deplasmanlarını çok fazla etkilemediği görülmüştür.



Şekil 5.17 X yönünde etriye aralığına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.18 Y yönünde etriye aralığına göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

5.2.3 Modellerin kapasitelerinin AY98 (1998)'e göre değerlendirilmesi

Bu başlık altında, değişik beton dayanımı ve etriye aralığına göre kapasite eğrileri elde edilen C10, S=25 cm ve okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, S=15 cm modelleri, AY98 (1998)'de öngörülen taban kesme kuvveti açısından değerlendirilmiştir.

AY98 (1998)'de eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapıya etkiyecek taban kesme kuvvetinin hesabında Denklem 5.1 kullanılmaktadır.

$$V_T = \frac{A_0 \cdot I \cdot S(T)}{R} \cdot W \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'de A_0 etkin yer ivmesi katsayısını, I bina önem katsayısını, $S(T)$ ivme spektrumu katsayısını, R taşıyıcı sistem davranış katsayısını ve W deprem hesabına esas bina ağırlığını ifade etmektedir.

Seçilen okul binası 1. derece deprem bölgesindedir ve betonarme perdeli çerçeve taşıyıcı sisteme sahiptir. Bu sebeple $A_0=0.4$, $I=1.4$ alınmıştır.

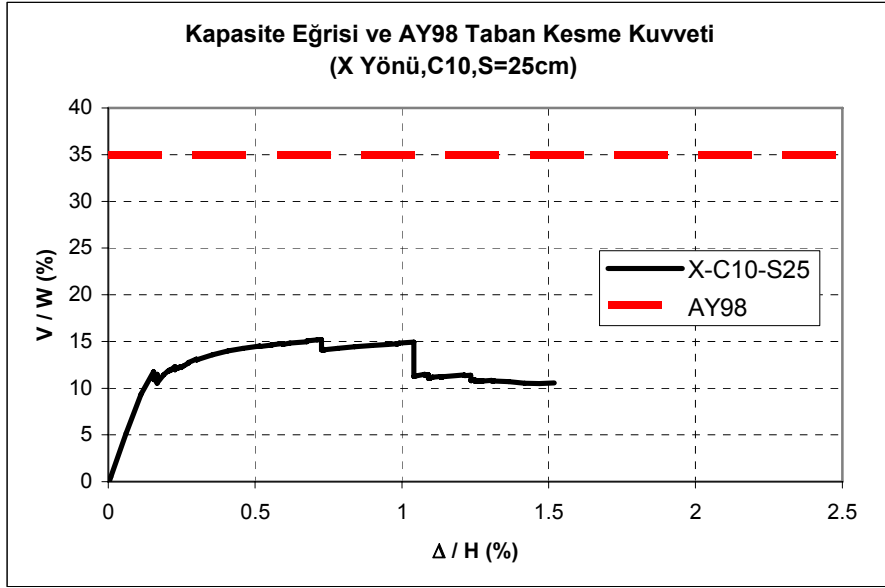
C10, S=25 cm modeli için, süneklik düzeyi normal sistem seçilmiş ve $R=4$ alınmıştır. C10, S=25 cm modelinin X yönündeki etkin periyodu $T_e=0.60$ ve Y yönünde ki etkin periyodu $T_e=0.46$ 'dır. Zemin sınıfı olarak Z3 alınmıştır. Dolayısıyla AY98 (1998)'de zemin sınıfına göre dikkate alınması gereken ivme spektrumunda bu model için $S(T)=2.5$ 'dir.

C16, S=15 cm için süneklik düzeyi normal sistem seçilmiş ve $R=6$ alınmıştır. C16, S=15 cm modelinin X yönündeki etkin periyodu $T_e=0.59$ ve Y yönünde ki etkin periyodu $T_e=0.44$ 'dür. Zemin sınıfı olarak Z3 alınmıştır. Dolayısıyla AY98 (1998)'de zemin sınıfına göre dikkate alınması gereken ivme spektrumunda bu model için $S(T)=2.5$ 'dir.

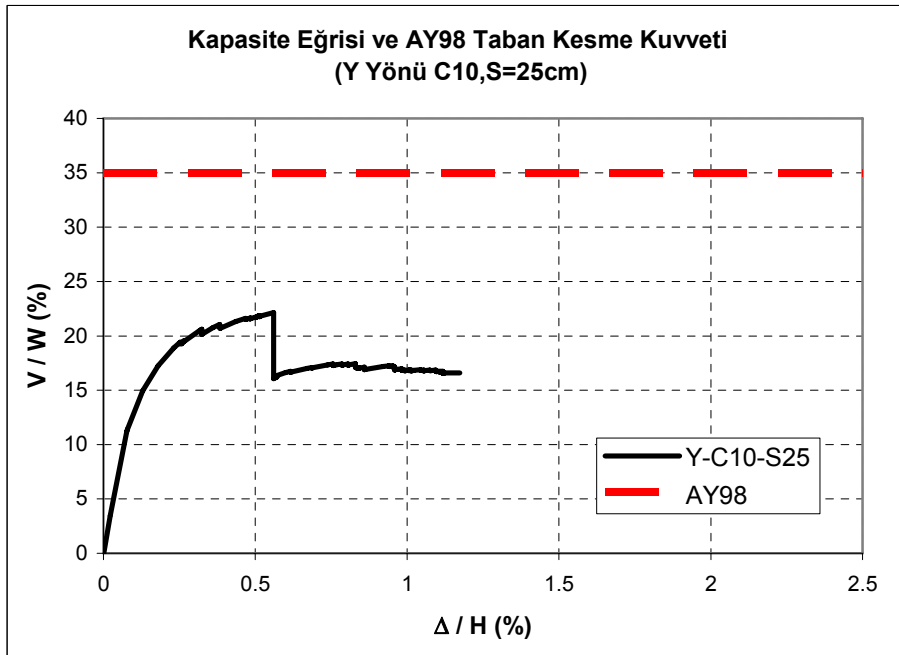
Seçilen okul binası için deprem hesabına esas bina ağırlığı $W=5800$ ton'dur.

Bu durumlarda AY98 (1998)'e göre modellere etki edecek taban kesme kuvveti C10, S=25 cm modeli için $V_T=2030$ ton, C16, S=15 cm modeli için $V_T=1353$ ton olarak hesaplanmıştır. Bu değerler bina ağırlığının sırasıyla %35 ve %23'ünü ifade etmektedir.

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de C10, S=25 cm modeli için X ve Y yönlerinde kapasite eğrileri ve AY98 (1998)’e göre modele etkiyecek taban kesme kuvveti verilmiştir.



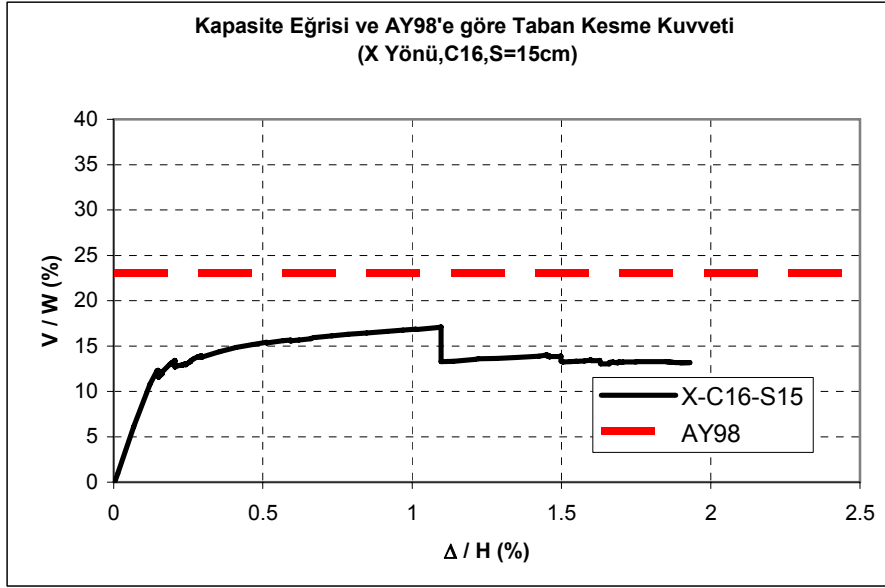
Şekil 5.19 C10, S=25 cm modeli X yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)’e göre taban kesme kuvveti



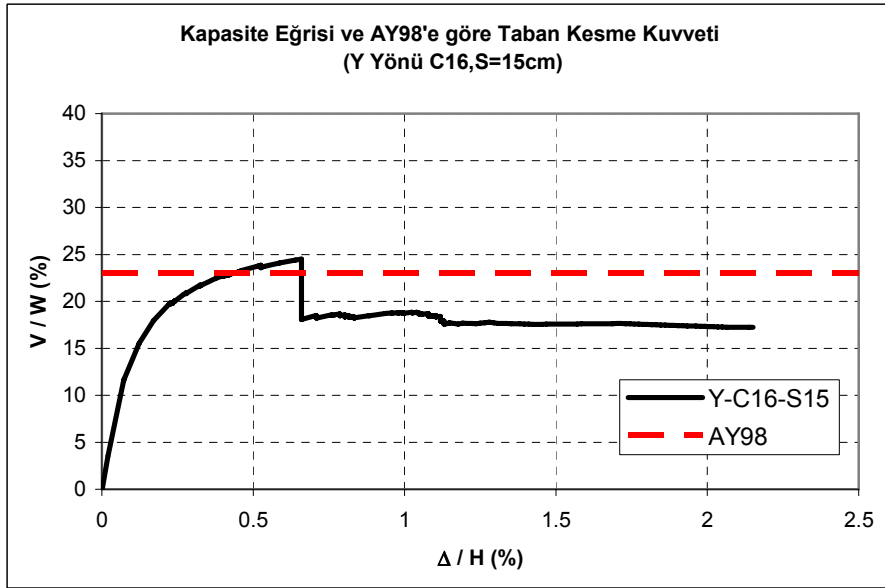
Şekil 5.20 C10, S=25 cm modeli Y yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)’e göre taban kesme kuvveti

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de görüldüğü gibi C10, S=25 cm modeli her iki yönde AY98 (1998)’e göre modele etkiyecek taban kesme kuvvetini karşılamamaktadır.

Şekil 5.21 ve 5.22’de C16, S=15 cm modeli için X ve Y yönlerinde kapasite eğrileri ve AY98 (1998)’e göre modele etkiyecek taban kesme kuvveti verilmiştir.



Şekil 5.21 C16, S=15 cm modeli X yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)’e göre taban kesme kuvveti



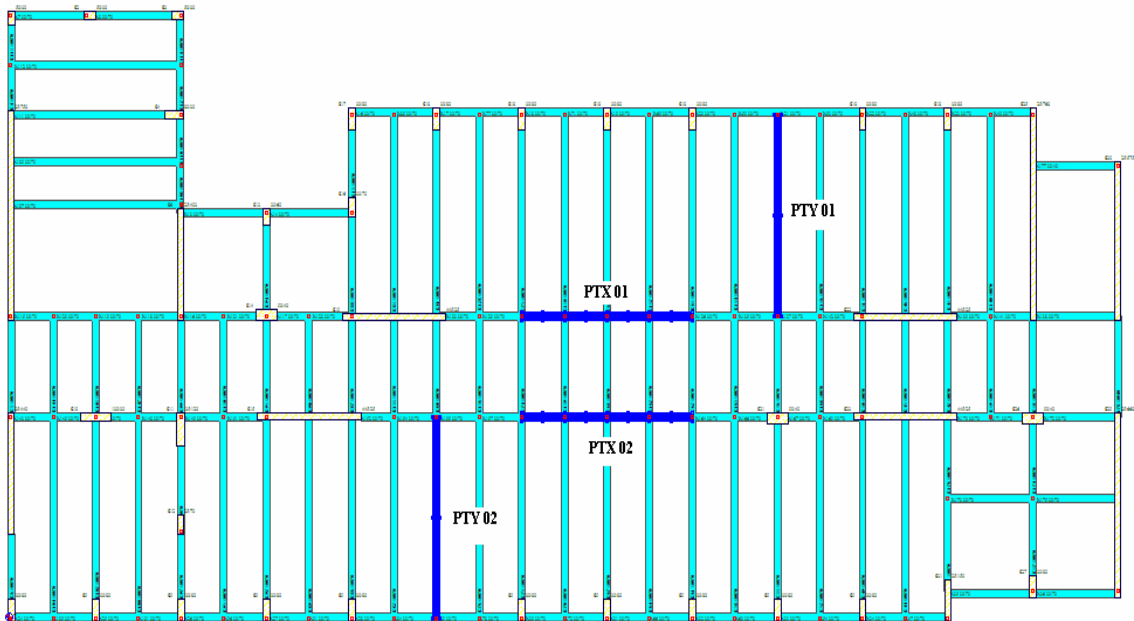
Şekil 5.22 C16, S=15 cm modeli Y yönündeki kapasite eğrisi ve AY98 (1998)’e göre taban kesme kuvveti

Şekil 5.21 ve 5.22’de görüldüğü gibi C10, S=25 cm modeli her iki yönde AY98 (1998)’e göre modele etkiyecek taban kesme kuvvetini karşılamamaktadır.

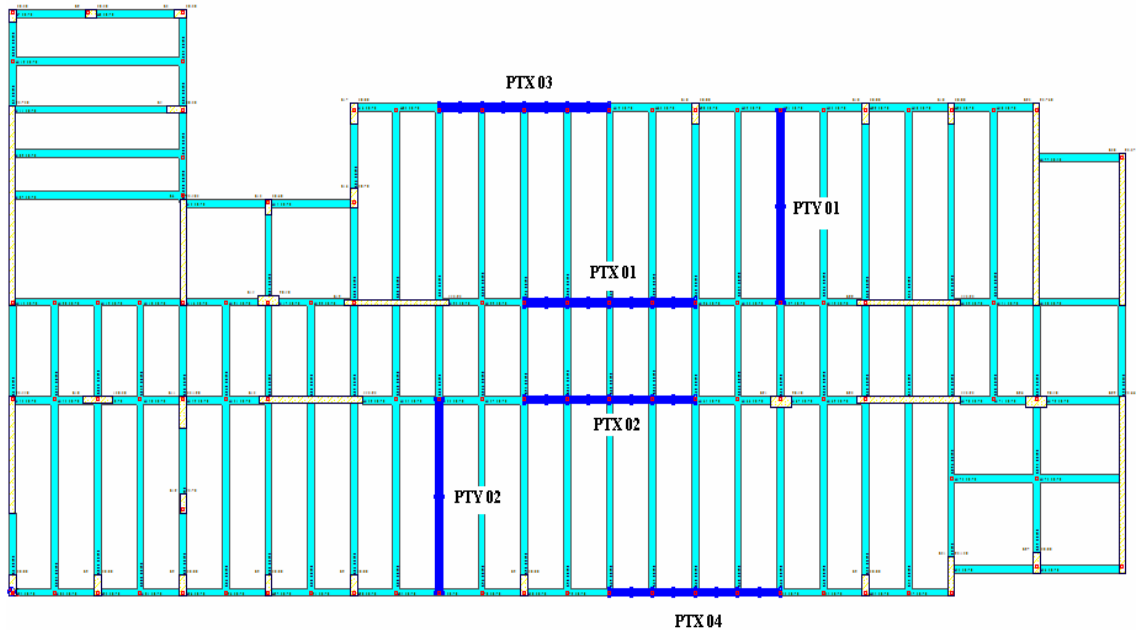
5.3 Yatay Yük Taşıma Kapasitesini Arttırmak İçin Çözüm Önerileri

Yapılan analizlerde görüldüğü gibi, seçilen okul binasının her iki yönde yatay yük taşıma kapasitesi AY98 (1998)'e göre yeterli değildir. Dolayısıyla binanın güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapısal güçlendirmelerde, yatay yük taşıma kapasitesini arttırmak için en ideal ve pratik çözüm sisteme perde ilavesi yapılmasıdır. İlave perde elemanları kullanılarak projelendirilen yapısal güçlendirmelerde öncelikle perde elemanların kullanılacağı yerlerin belirlenmesi gerekir. İlave edilecek perde elemanların yerleri belirlenirken, taşıyıcı sistem rijitliği bakımından rijitlik merkezinin gereğinden fazla yer değiştirerek binaya fazladan burulma kuvvetlerinin etki etmemesi ayrıca binanın mimari kullanım fonksiyonlarının da bozulmaması gerekmektedir. İlave edilecek perde elemanların yerleri belirlendikten sonra perdelerin istenilen yük taşıma kriterlerine ve mevcut yönetmeliklere göre tasarlanarak detaylandırılması gerekir.

Bu çalışmada, oluşturulan taşıyıcı sistem modellerinden C10, S=25 cm modeline ve okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, S=15 cm modeline, yatay yük taşıma kapasitelerinin artırılması için, X yönünde 1. seçenek olarak iki, 2. seçenek olarak dört perde, Y yönünde ise tek seçenek olarak iki perde ilave edilmiştir (Şekil 5.23, Şekil 5.24). İlave edilen perdeler, istenilen yük taşıma kriterlerine ve AY98 (1998) şartlarına göre tasarlanmıştır.



Şekil 5.23 X yönünde iki, Y yönünde iki perde ilavesi



Şekil 5.24 X yönünde dört, Y yönünde iki perde ilavesi

İstenilen yük taşıma kriterlerine ve AY98 (1998) şartlarına göre tasarlanan perdelerin kesit ve donatı özellikleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 İlave perde elemanlarının kesit ve donatı özellikleri

Perde	Boyut			Başlık		Gövde	
	Kısa	Uzun	Başlık	adet	ϕ	adet	ϕ
PTX 01,02 03,04	30	750	75	24	16	18	16
PTY 01,02	30	800	75	24	16	18	16

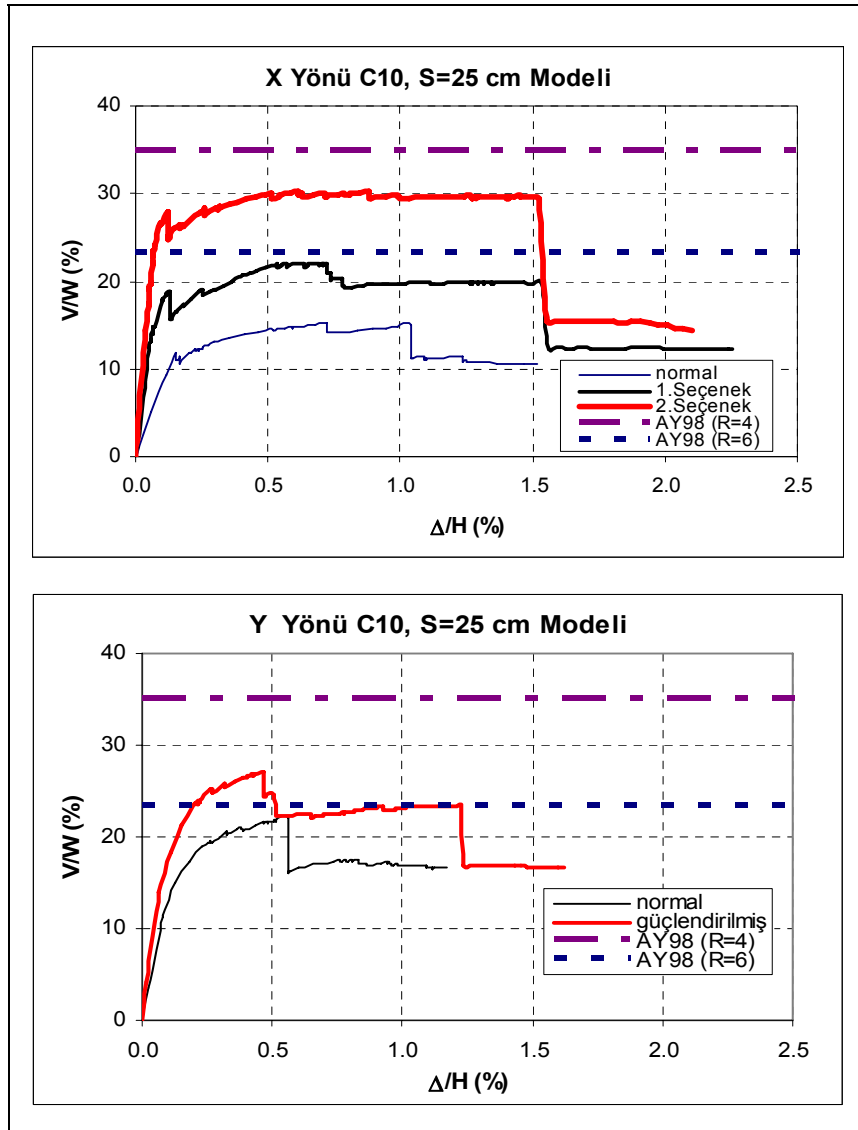
Belirtilen seçeneklerde perde ilavesi ile güçlendirilmiş modellerin doğrusal ötesi statik itme analizleri yapılmış ve yatay yükler altındaki kapasite eğrileri elde edilmiştir. C10, S=25 cm modelinin elde edilen bu kapasite eğrileri Şekil 5.25’te, okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, S=15 cm modelinin kapasite eğrileri Şekil 5.26’da gösterilmiştir.

Yapılan perde ilavelerinin bina ağırlığını arttırdığı için AY98 (1998)’e göre öngörülen taban kesme kuvvetinin bu ağırlığa göre hesaplanması gereklidir. İlave edilen perdelerle binanın toplam ağırlığı, 1. seçenek için 6180 ton’a, 2. seçenek için 6363 ton’a yükselmiştir. Bir önceki başlık altında bu modellerin AY98 (1998)’e göre öngörülen taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Aynı şartlarda ($A_0=0.4$, $I=1.4$, $S(T)=2.5$), sadece bina ağırlığının değiştirilmesiyle yapılan yeni hesaplamalarda C10, S=25 cm modelinin

öngörülen taban kesme kuvveti bina ağırlığının % 35'i olarak ($R=4$) 1. seçenek için 2163 ton, 2. seçenek için 2227 ton, okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, $S=15$ cm modelinin öngörülen taban kesme kuvveti ise bina ağırlığının % 23'ü olarak ($R=6$) 1. seçenek için 1442, 2. seçenek için 1485 ton hesaplanmıştır.

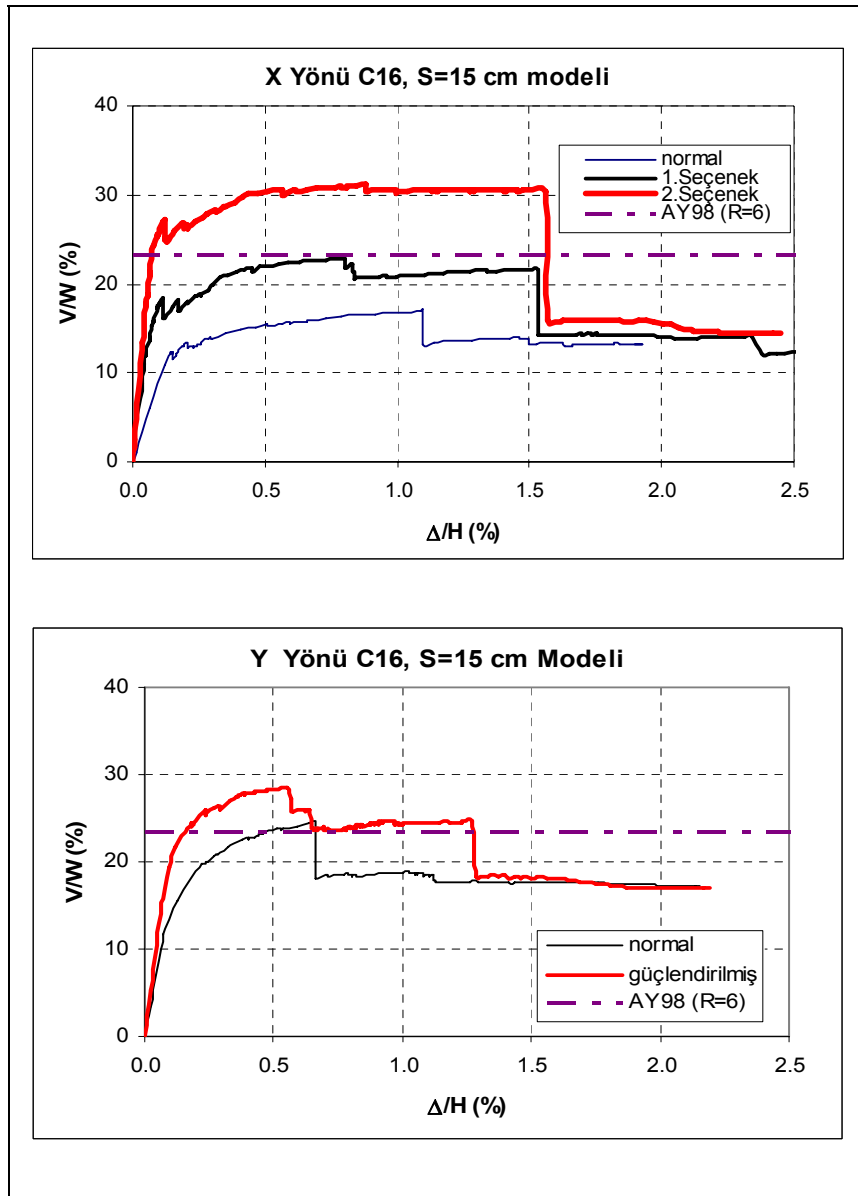
C10, $S=25$ cm modeli, yapılan güçlendirme önerileri sonrası süneklik düzeyi yüksek sistem kabul edilerek taşıyıcı sistem davranış katsayısını $R=6$ alınırsa, AY98 (1998)'e göre öngörülen taban kesme kuvveti bina ağırlığının %23'ü olarak hesaplanır.

Modellerin önceki durumları ile güçlendirilmiş durumlarına ait heri iki yöndeki kapasite eğrileri, C10, $S=25$ cm modeli için Şekil 5.25, okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, $S=15$ cm modeli için Şekil 5.26'da gösterilmiştir.



Şekil 5.25 C10, $S=25$ cm modeline ait normal ve güçlendirilmiş durum kapasite eğrileri

Şekil 5.25'te görüldüğü gibi, C10, S=25 cm modeli için önerilen güçlendirme seçenekleri sonucunda, yatay yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmıştır. Güçlendirme öncesi ve sonrası durum için AY98 (1998) tarafından öngörülen taban kesme kuvveti ile karşılaştırma yapılırsa; R=4 alınarak belirlenen taban kesme kuvveti her iki yönde önerilen güçlendirme seçenekleri için de karşılanamamaktadır. R=6 alındığında öngörülen taban kesme kuvveti X yönünde 2. güçlendirme seçeneği ile karşılanabilmektedir. Aynı şekilde Y yönü için de sadece R=6 için öngörülen taban kesme kuvveti karşılanabilmektedir.



Şekil 5.26 C16, S=15 cm modeline ait normal ve güçlendirilmiş durum kapasite eğrileri

Okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, S=15 cm modeli için, güçlendirme öncesi ve sonrasında elde edilen kapasite eğrileri de Şekil 5.26'da verilmiştir. AY98 (1998) tarafından öngörülen taban kesme kuvveti ile karşılaştırma yapılırsa; X yönünde ise 1. seçenek ile önerilen güçlendirme için öngörülen taban kesme kuvveti karşılayamayan model, 2. seçenek ile, öngörülen taban kesme kuvvetini karşılar duruma gelmiştir. Aynı model, Y yönü için önerilen güçlendirme seçeneği ile öngörülen taban kesme kuvvetini karşılar duruma gelmiştir.

6. SONUÇLAR

- Aynı etriye aralığı ve değişik beton dayanımına göre karşılaştırılan kapasite eğrileri incelendiğinde, statik itme analizi yapılan modellerin beton dayanımlarındaki değişimin, yatay kuvvet kapasitelerini ve maksimum deplasmanlarını etkilediği anlaşılmıştır. Beton dayanımı azaldıkça, modellerin yatay yük taşıma kapasitelerinde ve maksimum deplasmanlarında düşüşlerin olduğu görülmüştür. Beton dayanımının azalmasıyla modellerin sünekliği de azaldığı için maksimum deplasmanları da azalmıştır. Beton dayanımındaki değişimin, modellerin akma deplasmanlarını çok fazla etkilemediği görülmüştür.
- Aynı beton dayanımı ve değişik etriye aralıklarına göre karşılaştırılan kapasite eğrileri incelendiğinde, statik itme analizi yapılan modellerin etriye aralıklarındaki değişimin, özellikle maksimum deplasmanları etkilediği anlaşılmıştır. Etriye aralığı arttıkça, modellerin maksimum deplasmanlarında düşüşlerin olduğu görülmüştür. Etriye aralığının artmasıyla, modellerin yatay kuvvet taşıma kapasitelerine bakıldığında maksimum deplasmanlar kadar belirgin olmasa da değişimler görülürken yatay kuvvet taşıma kapasiteleri azalmıştır. Etriye aralığındaki değişimin, modellerin akma deplasmanlarını çok fazla etkilemediği görülmüştür.
- C10, S=25 cm modeli için AY98 (1998)'e göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=4$, C16, S=15 cm modeli için 6 alınmış ve yapılan hesaplamalarda AY98 (1998)'e göre modellere etki edecek taban kesme kuvveti C10-S=25 cm modeli için $V_T=2030$ ton, C16-S=15 cm modeli için $V_T=1353$ ton olarak belirlenmiştir. Bu değerler bina ağırlığının sırasıyla %35 ve %23'ü kadardır.
- C10-S=25cm ve C16-S=15cm modeli hem X hem de Y yönünde AY98 (1998)'e göre yapıya etkiyecek taban kesme kuvvetini karşılamamaktadır.

- Güçlendirme seçenekleri olarak, 1. seçenekte X yönünde iki, Y yönünde iki, 2. seçenekte X yönünde dört, Y yönünde dört perde ilavesi önerilmiştir. Perde ilaveleri bina ağırlığını arttırdığı için AY98 (1998)'e göre öngörülen taban kesme kuvvetinin bu ağırlığa göre hesaplanması gereklidir. İlave edilen perdelerle binanın toplam ağırlığı, 1. seçenek için 6180 ton'a, 2. seçenek için 6363 ton'a yükselmiştir.
- Sadece bina ağırlığının değiştirilmesiyle yapılan yeni hesaplamalarda C10, S=25 cm modelinin öngörülen taban kesme kuvveti bina ağırlığının % 35'i olarak (R=4) 1. seçenek için 2163 ton, 2. seçenek için 2227 ton, okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, S=15 cm modelinin öngörülen taban kesme kuvveti ise bina ağırlığının % 23'ü olarak (R=6) 1. seçenek için 1442, 2. seçenek için 1485 ton hesaplanmıştır
- C10, S=25 cm modeli, yapılan güçlendirme önerileri sonrası süneklik düzeyi yüksek sistem kabul edilerek taşıyıcı sistem davranış katsayısını R=6 alınırsa, AY98 (1998)'e göre öngörülen taban kesme kuvveti bina ağırlığının %23'ü olarak hesaplanmıştır.
- C10, S=25 cm modeli için önerilen güçlendirme seçenekleri sonucunda, yatay yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmıştır. Güçlendirme öncesi ve sonrası durum için AY98 (1998) tarafından öngörülen taban kesme kuvveti ile karşılaştırma yapılırsa; R=4 alınarak belirlenen taban kesme kuvveti her iki yönde önerilen güçlendirme seçenekleri için de karşılanamamaktadır. R=6 alındığında öngörülen taban kesme kuvveti X yönünde 2. güçlendirme seçeneği ile karşılanabilmektedir. Aynı şekilde Y yönü için de sadece R=6 için öngörülen taban kesme kuvveti karşılanabilmektedir.
- Okul binasının mevcut durumunu temsil eden C16, S=15 cm modeli için, AY98 (1998) tarafından öngörülen taban kesme kuvveti ile karşılaştırma yapılırsa; X yönünde 1. seçenek ile önerilen güçlendirme için öngörülen taban kesme kuvveti karşılayamayan model, 2. seçenek ile, öngörülen taban kesme kuvvetini karşılar duruma gelmiştir. Aynı model, Y yönü için önerilen güçlendirme seçeneği ile öngörülen taban kesme kuvvetini karşılar duruma gelmiştir.

KAYNAKLAR

- ATC 40 (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, Redwood City, California, 336-467.
- AY75 (1975) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve Iskan Bakanlığı*, Ankara, 88s.
- AY98 (1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve Iskan Bakanlığı*, Ankara, 86s.
- Bayülke, N. (2001) Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, İzmir, 261 s.
- Bommer J. J. and Elnashai A. S. (1998) Displacement Spectra For Seismic Design, *Journal of Earthquake Engineering*, 3(1): 1-32
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2000) Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul, 596 s.
- DY07 (2006) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve Iskan Bakanlığı*, Ankara, 159s.
- Ersoy U. ve Özcebe G. (2001) Betonarme, *Evrin Yayınevi*, Ankara. 773 s.
- Freeman S.A. (1998) Development and Use of Capacity Spectrum Method, *Proceedings of the Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, Washington, 34-78.
- FEMA 273 (1997) NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings , *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 400 pages.
- FEMA 274 (1997) NEHRP Commentary on the NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 400 pages.
- FEMA 356 (2000) Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 481 pages
- FEMA 440 (2005) Improvement of Nonlinearar Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 421 pages.
- Gülkan, P., Sözen, M.A., Ersoy, U., Yorulmaz, M. ve Aşkar, G. (1997) Betonarme Binaların Güvenliğinin Tespiti için Alternatif Yaklaşım, *Türkiye Deprem Vakfı Yayınları*, İstanbul, 97(11): 77-114.

- İnel, M., Özmen, H. ve Bilgin, H. (2007) İnşaat Mühendisliği Bölümü, “105M024 Numaralı Tübitak Projesi”, **Pamukkale Üniversitesi**, Denizli
- İMOD (1993) Erzincan Depremi Raporu, **İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi**, İstanbul, 93 s.
- Kaplan, H., Yılmaz, S., Binici, H., Yazar, E. ve Çetinkaya, N. (2003) İnşaat Mühendisliği Bölümü, “01 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Mühendislik Raporu”, **Pamukkale Üniversitesi**, Denizli, 58 s.
- Kent D.C. and Park R. (1969) Flexural Members with Confined Concrete, **ASCE Journal of the Structural Division**, 97(7): 45-123.
- Moehle, J., P. (1992) Displacement Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes, **Earthquake Spectra**, 8(3): 403-428.
- Pay, A. C. (2001) A New Methodology for The Seismic Vulnerability Assesment of Existing Buildings in Turkey, Yüksek Lisans Tezi, **Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara.
- Roy H.E.H., Sozen M.A. (1964) Ductility of Concrete-in Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, **American Concrete Institute/American Society of Civil engineers**, Detroit, 213-224.
- Sucuoğlu, H., Ersoy, U., Tankut, T., Özcebe, G., Gülkan, P., Erberik, A., Akar, S., Bakır, S., Yılmaz, T., Yılmaz, Ç. ve Gür, T., (1999) İnşaat Mühendisliği Bölümü, Marmara Depremi Raporu, **Ortadoğu Teknik Üniversitesi**, Ankara, 175 s.
- TS500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 67s.

EKLER

Bu bölümde, modellemede kullanılmış olan, Tablo Ek.1’de kolon elemanlarına ait, Tablo Ek.2’de kiriş elemanlara ait ve Tablo Ek.3’de perde elemanlara ait kesit ve donatı özellikleri, Şekil Ek1 ve Şekil Ek2’de seçilen okul binası tip projesinin kat kalıp planları verilmiştir.

Tablo Ek.1 Kolon elemanlara ait kesit ve donatı özellikleri

Kolon	Boyutlar		Kısa Kenar		Orta		Etriye		
	B	H	adet	ϕ (mm)	adet	ϕ (mm)	ϕ (mm)	Aralık(cm)	
S001	30	80	4	22	2	14	10	20	8
S002	30	80	4	20	2	14	8	20	5
S003	25	70	4	18	2	14	8	20	6
S004	30	130	6	22	6	14	10	20	5
S005	35	120	6	22	4	14	10	20	7
S006	40	90	6	22	4	14	10	20	5
S007	40	90	6	24	4	14	10	20	5
S008	30	60	4	20	2	14	8	20	5
S009	30	70	4	20	2	14	8	20	5
S010	30	80	4	22	2	14	10	20	6
S011	30	50	4	24	2	14	10	20	8
S012	30	50	4	18	2	14	8	19	6
S013	30	60	4	18	2	14	8	20	5
S101	30	70	4	22	2	14	10	20	8
S102	30	70	4	20	2	14	8	20	5
S103	25	60	4	16	2	14	8	19	6
S104	30	130	6	22	6	14	10	20	5
S105	30	120	4	24	4	14	10	20	5
S106	40	80	6	22	2	14	10	20	6
S107	40	80	6	24	2	14	10	20	6
S108	30	60	6	20	2	14	8	20	5
S109	30	70	4	20	2	14	8	20	5
S110	30	70	4	22	2	14	10	20	7
S111	30	50	6	22	2	14	10	20	10
S112	30	50	4	18	2	14	8	20	6
S113	30	60	4	18	2	14	8	20	5
S201	30	70	6	22	2	14	10	20	8
S202	30	70	4	20	2	14	8	20	5
S204	35	80	4	22	2	14	10	20	6
S205	30	100	4	22	2	14	10	20	8
S206	35	80	8	24	2	14	10	20	6
S207	35	80	8	24	2	14	10	20	6
S208	30	60	4	20	2	14	8	20	5
S209	30	70	4	20	2	14	8	20	5
S210	30	70	4	22	2	14	10	20	7
S211	30	50	6	22	2	14	10	20	8
S212	30	50	4	18	2	14	8	20	6
S213	30	60	4	18	2	14	8	20	5
S301	30	60	4	24	2	14	10	20	8
S302	30	60	4	18	2	14	8	20	5
S303	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S304	30	80	4	20	2	14	8	20	5
S305	30	80	4	20	2	14	8	20	5
S306	30	80	6	24	2	14	10	20	6
S307	30	80	6	24	2	14	10	20	6
S308	30	50	4	16	2	14	8	19	5
S309	30	50	4	16	2	14	8	19	5
S310	30	60	8	22	2	14	10	20	8

Kolon	Boyutlar		Kisa Kenar		Orta		Etriye		
	B	H	adet	ϕ (mm)	adet	ϕ (mm)	ϕ (mm)	Aralik(cm)	
S401	30	60	6	22	2	14	10	20	10
S402	30	60	4	18	2	14	8	20	5
S403	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S404	30	80	4	20	2	14	8	20	5
S405	30	80	4	20	2	14	8	20	5
S406	30	80	6	26	2	14	10	20	6
S407	30	80	6	26	2	14	10	20	6
S408	30	50	4	16	2	14	8	19	5
S409	30	50	4	16	2	14	8	19	5
S410	30	60	10	24	2	14	10	20	8

Tablo Ek.2 Kiriş elemanlara ait kesit ve donatı özellikleri

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K050	2 2	20 12	1	24	2	12	2 2	24 12	2	18	2	12
K250,350	2 2 1	12 26 16	2 2	16 26	2	12	3 2 1	26 12 16	2 3	16 24	2	12
K450	1 2 1	22 12 16	2 1	16 22	2	12	2 2 1	26 12 16	2 2	16 26	2	12
K051,151 K251,351	2 6 1	12 26 16	5 2	26 16	2	12	6 2 1	26 12 16	2 5	16 26	2	12
K451	5 2 1	26 12 16	2 5	16 26	2	12	5 1 2	26 16 12	5 2	26 16	2	12
K150A							6 2 1	22 12 16	1 2	22 16	2	12
K150	6 2 1	22 12 16	2 1	16 22	2	12	4 3	24 16	2 2	24 16	2	12
K051,151A	3 2	16 12	1 2	20 16	2	12	1 2 1	26 12 16	2 1	16 20	2	12
K251A	3 2	26 12	1	18	2	12	1 2	18 12	1	12	2	12
K054	2 2 1	24 12 22	2	22	2	12	2 2 1 1	20 12 22 16	2	22	2	12
K254	3 2	22 12	2	22	2	12	2 2 1 1	20 12 22 16	2	22	2	12
K454	3 1	12 18	2	16	2	12	2 1 1	12 18 16	2	16	2	12
K055	2 2 1 1	20 12 22 16	2	16	2	12	1 2	16 12	2	16	2	12
K255	2 2 1 1	20 12 22 16	2	16	2	12	1 2	16 12	2	16	2	12
K455	2 1 1	12 18 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K354	2 3	12 22	2	22	2	12	2 2 1 1	20 12 22 16	2	22	2	12
K355	2 2 1 1	20 12 22 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K052,252 K352	2 1	12 20	2	20	2	12	1 2 1 1	18 12 20 16	2	20	2	12
K452	2 1	12 18	2	16	2	12	1 2 1 1	14 12 18 16	2	16	2	12

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K053,253 K352	1 2 1 1	18 12 16 20	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K453	1 1 1 2	14 16 18 12	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K352A	2 1	12 20	2	20	2	12	3 1	20 16	2	20	2	12
K353A	3 1	20 16	2	16	2	12	1 2 2	22 20 16	2	16	2	12
K315A	1 2 2	22 20 16	2	16	2	12						
K156							4 2	20 12	2	20	2	12
K156A	4 2	20 12	2	20	2	12	2 2	12 20	2	20	2	12
K156B	2 2	12 20	2	20	2	12	1 2 1 1	22 12 16 20	2 2	20 16	2	12
K157	1 2 1 1	22 12 16 20	2	16	2	12	2 2 1	20 12 16	2	16	2	12
K056	1 2 1	18 12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K056A	2 2	12 16	4	16	2	12	1 2 2	14 12 16	4	16	2	12
K057	1 2 2	14 12 16	4 2	16 12	2	12	1 1 2	14 16 12	2	16	2	12
K256,356	2 2 1	24 12 20	2	20	2	12	2 2 1 1	24 12 20 16	2	20	2	12
K456	1 2 1	14 12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K257,357	2 2 1 1	24 12 20 16	2	16	2	12	1 2 1	20 12 16	2 1	16 14	2	12
K358,458	2 2 1	24 12 16	3	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K058,158	2 2 1	26 12 16	2 1	16 24	2	12	1 2 2	18 16 12	4	16	2	12

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K258	2 2 1	26 12 18	1 2	24 16	2	12	2 2 1	18 12 16	4	16	2	12
K058,158A	1 2 2	18 12 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K258A	2 2 1	12 18 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K059,159	2 3 1	12 20 24	2	24	2	12	2 2 1 1	12 22 24 16	2	24	2	12
K259,359	2 2 1	12 20 22	2	22	2	12	2 1 1 1	12 26 22 16	2	22	2	12
K459	3 1	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K060,160	2 2 1 1	12 22 24 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K260,360	2 1 1 1	12 26 22 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K460	2 2	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K061,161	2 2	12 16	2	16	2	12	2 1 1	12 20 16	2	16	2	12
K261,361	2 2	12 16	2	16	2	12	2 1 1	12 18 16	2	16	2	12
K461	2 2	12 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K064,164 K264,364 K464	2 1	12 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K065,165 K265,365	2 2 1	20 12 22	2	22	2	12	1 2 1 1	26 12 22 16	2	22	2	12
K465	3 1	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K066,166 K266,366	1 2 1 1	26 12 22 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K466	2 2	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K067,167 K267,367	2 2	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K467	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	16					2	16				
K068,168	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K268,368	2	16					2	16	1	12		
K468	2	12	2	16	2	12	1	16	2	16	2	12
	2	16					2	12				
K069,169	2	12	2	20	2	12	3	16	2	20	2	12
K269,369	1	22					1	22				
K469	2	12	2	16	2	12	3	16	2	16	2	12
	1	18					1	18				
K070,170	3	16	2	16	2	12	3	16	2	16	2	12
K270,370	1	22					1	22				
K470	3	16	2	16	2	12	4	16	2	16	2	12
	1	18										
K071,171	3	16	2	20	2	12	2	12	2	20	2	12
K271,371	1	22					1	22				
K471	4	16	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
							1	16				
K072,172	3	22	2	22	2	12	1	12	2	22	2	12
K272,372	2	12					2	20				
							1	22				
							1	16				
K472	2	12	2	16	2	12	2	16	2	16	2	12
	1	16										
K073,173	1	12	2	16	2	12	1	12	2	16	2	12
K273,373	2	20					2	20				
	1	22					1	16				
	1	16					1	22				
K473	2	16	2	16	2	12	2	16	2	16	2	12
K074,174	1	12	2	22	2	12	2	20	2	22	2	12
K274,374	2	20					2	12				
	1	22					1	22				
	1	16										
K474	2	16	2	22	2	12	2	20	2	16	2	12
							2	12				
							1	16				
K077,177	3	22	2	22	2	12	1	24	2	22	2	12
K277,377	2	12					3	20				
							1	18				
K477	3	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	1	16					2	16				
K078,178	1	24	2	16	2	12	1	24	2	16	2	12
K278,378	3	22					3	22				
	1	18					1	18				
K478	2	16	2	16	2	12	2	16	2	16	2	12
	2	12					2	12				
K075,175	2	12	2	20	2	12	3	16	2	20	2	12
K275,375	1	20					1	20				
K475	2	12	2	16	2	12	4	16	2	16	2	12
	1	16										
K076,176	3	16	2	16	2	12	3	16	2	16	2	12
K276,376	1	20					1	20				
K476	4	16	2	16	2	12	4	16	2	16	2	12
K079,179	3	22	2	22	2	12	1	24	2	22	2	12
K279,379	1	12					1	20				
							1	22				
							1	16				

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K479	3 1	12 16	2	16	2	12	1 2 2	12 14 16	2	16	2	12
K080,180 K280,380	1 2 1 1	24 20 22 16	2	16	2	12	1 2 1 1	24 20 22 16	2	16	2	12
K480	1 2 2	12 14 16	2	16	2	12	1 2 1 1	24 20 22 16	2	16	2	12
K079,179A K279,379A	1 2 1 1	24 20 22 16	2	16	2	12	3 2	22 12	2	22	2	12
K479A	1 2 2	12 14 16	2	16	2	12	3 1	12 16	2	16	2	12
K081,181 K281,381	2 1	12 22	2	20	2	12	3 1	16 22	2	20	2	12
K481	2 1	12 16	2	16	2	12	4	16	2	16	2	12
K082,182 K282,382	3 1	16 22	2	16	2	12	3 1	16 22	2	16	2	12
K482	4	16	2	16	2	12	3 1	16 18	2	16	2	12
K081,181A K281,381A	3 1	16 22	2	20	2	12	2 1	12 22	2	20	2	12
K481A	3 1	16 18	2	16	2	12	2 1	12 18	2	16	2	12
K083,183 K283,383	3 2 1	26 12 24	2	24	2	12	2 1 1	20 24 18	2	24	2	12
K483	1 2 1	22 12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K084,184 K284,384	2 1 1	20 14 18	2	16	2	12	1 1 2 1	16 22 20 18	2	16	2	12
K484	2 2	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K085,185 K285,385	1 1 1 2	16 22 18 20	2	22	2	12	2 2 1	12 20 22	2	22	2	12
K485	2 2	12 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K086,186 K286,386	2 1	12 16	2	16	2	12	1 2 1 1	18 12 16 20	2	16	2	12
K087,187 K287,387	1 2 1 1	18 12 16 20	2	20	2	12	2 1	12 20	2	20	2	12

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K486	2 1	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K487	2 2	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K488	2 2	12 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K089,189 K289,389	2 2 3	12 22 24	3	24	2	12	2 1 5	12 20 24	3 2	24 20	2	12
K489	2 1	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	4 1	16 12	2	12
K090,190 K290,390	2 1 5	12 20 24	3 2	24 20	2	12	3 2 1	24 12 20	2 4	20 24	2	12
K490	2 2	12 16	4 1	16 12	2	12	3 2 1	26 12 16	3 2	26 16	2	12
K091,191 K291,391 K157A	2 1	12 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K194,294 K394	6 2 1	26 12 16	5 2	26 16	2	12	6 2 1	26 12 16	5 2	26 16	2	12
K494	5 2 1	26 12 16	5 2	26 16	2	12	5 2 1	26 12 16	5 2	26 16	2	12
K094 (30 * 40)	6 2 1	26 12 16	2 5	16 24			6 2 1	26 12 16	2 5	16 24		

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K037	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	2	18					4	18				
K237,337	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K437	1	16					2	16				
K038	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K238,338	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K438	2	16					2	16				
K039	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K329,339	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K439	2	16					2	16				
K040	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K240,340	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K440	2	16					2	16				
K041	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K241,341	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K441	2	16					2	16				
K042	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K242,342	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K442	2	16					2	16				
K043	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K243,343	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K443	2	16					2	16				
K044	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K244,344	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K444	2	16					2	16				
K045	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K245,345	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K445	2	16					2	16				
K046	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	4	18					4	18				
K246,346	2	12	2	16	2	12	2	12	3	18	2	12
K446	2	16					2	16				
K047	3	12	3	18	2	12	3	12	2	16	2	12
	4	18					1	16				
K247,347	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K447	2	16					1	16				
K137A	0	0	0	0	0	0	2	18	2	16	2	12
							2	12				
							2	16				
K137	2	18	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	12					2	16				
	2	16										
K138	2	12	4	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	16					2	16				
K139	2	12	4	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	16					2	16				
K140	2	12	4	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	16					2	16				

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K141	2 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K142	2 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K143	2 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K144	2 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K145	2 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K146	2 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K147	2 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K048	4 2	12 18	3	18	2	12	3 4	12 18	6	18	2	12
K148,248 K348,448	3 1	12 18	2 1	16 12	2	12	2 2	12 18	4	16	2	12
K049	3 4	12 18	6	18	2	12	3 2	12 18	3	18	2	12
K149,249 K349,449	2 2	12 18	4	16	2	12	3 1	12 18	2	16	2	12
K197	2 1	12 24	2	24	2	12	1 2 1 1	26 12 16 24	2	24	2	12
K198	1 2 1 1	26 12 24 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K092,192 K292,392	2 1	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	2	16	2	12
K093	2 2	12 16	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K195	2 1	12 18	2	18	2	12	2 2 1	16 12 18	2	18	2	12
K196	2 1 2	16 18 12	2	16	2	12	2 1	12 16	2	16	2	12
K026	2 1	12 24	2	22	2	12	2 2 1 1	12 20 24 22	2 2	22 20	2	12
K126,226 K326	2 1 1	12 14 16	2 1	16 12	2	12	2 2 2	12 24 16	4 2	16 18	2	12
K426	2 1	12 18	2	18	2	12	3 2	12 16	4 2	16 18	2	12
K027	2 2 1 1	12 20 24 22	2 2	22 20	2	12	2 1 2	12 24 22	4	20	2	12
K127,227 K327	2 2 2	12 24 16	4 2	16 18	2	12	2 2 2	12 22 16	4	16	2	12

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K427	3 1 1	12 16 18	2 2	18 16	2	12	2 3	12 16	4	16	2	12
K028	2 1 2	12 24 22	4	20	2	12	2 3 1	12 26 22	2	20	2	12
K128,228 K328	2 2 2	12 22 16	4	16	2	12	2 4 1	12 24 16	2 2	24 16	2	12
K428	2 3	12 16	4	16	2	12	2 2 1	12 24 16	3	16	2	12
K029,129	7	26	4	26			5	26	5	24		
K229,329	2 6 1	12 26 18	4 2	26 18	2	12	5 2 2	24 12 18	4 3	18 26	2	12
K429	2 3 1	12 26 16	2 2	26 16	2	12	2 2 2	22 12 16	1 4	26 16	2	12
K030,130	5	26	4	26			3	24	2	20		
K230,330	5 2 2	24 12 18	4 3	18 26	2	12	2 2 2	12 26 18	1 4	24 18	2	12
K430	2 2 2	22 12 16	4 1	16 26	2	12	3 2	12 18	4 1	18 24	2	12
K031,131	3	24	1	24			3	22	2	20		
K231,331	2 2 2	26 12 18	4 1	18 24	2	12	2 2 2	26 12 18	4 1	18 24	2	12
K431	3 2	12 16	4	16	2	12	2 2	12 16	4	16	2	12
K032,132	3	22	2	20			3	24	2	20		
K232,332	2 2 2	26 12 18	4 1	18 24	2	12	2 2 2	26 12 16	1 4	24 18	2	12
K432	2 2	12 16	4 1	16 24	2	12	3 2	12 16	4	16	2	12
K033,133	3	24	2	20			5	26	4	24		
K233,333	2 2 2	26 12 18	4 1	18 24	2	12	5 2	24 16	3 4	26 18	2	12
K433	3 2	12 16	4	16	2	12	2 2 2	12 22 16	4 2	16 20	2	12
K034,134	5	26	4	24			7	26	4	26		
K234,334	5 2 2	24 12 18	3 4	26 18	2	12	2 1 1	12 26 18	2	18	2	12
K434	2 2 2	22 12 16	4 2	16 20	2	12	3 1	26 16	2 3	16 22	2	12
K035,135 K235,335	8 1 2	26 16 12	5 2	26 16	2	12	4 2 2	24 12 16	4 4	16 24	2	12

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K435	5	26	2	16	2	12	4	26	4	16	2	12
	2	12	3	22			2	12	2	20		
	1	16					2	16				
K036,136 K236,336	4	24	4	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	12	2	24			1	16				
	2	16										
K436	4	26	4	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	12	2	20			1	16				
	2	16										
K016	2	12	2	24	2	12	2	12	2	24	2	12
	3	24					5	24	2	16		
							1	16				
K116	2	12	2	24	2	12	2	12	2	24	2	12
	2	24					4	24	2	16		
K216	2	12	2	26	2	12	2	12	2	26	2	12
	2	26					2	26	2	16		
							3	24				
K316	2	12	3	24	2	12	2	12	2	20	2	12
	4	26					7	26	3	24		
K416	2	12	2	20	2	12	1	22	2	20	2	12
	1	20					1	20	2	16		
K017	2	12	2	16	2	12	2	12	3	24	2	12
	5	24	2	24			4	26	4	16		
	1	16					2	16				
K117	4	24	2	24	2	12	5	26	4	26	2	12
	1	16	2	16			1	18	4	16		
	2	12					1	16				
K217	3	24	4	16	2	12	5	24	4	26	2	12
	2	26					1	16	4	16		
	1	16					1	18				
	2	12					2	12				
K317	2	12	3	24	2	12	2	12	4	26	2	12
	7	26	2	20			3	26	2	20		
	1	20					1	16	2	16		
							1	20				
K417	2	12	2	20	2	12	2	12	1	22	2	12
	1	22	2	16			2	20	4	16		
	3	20					1	16				
	1	16										
K018	2	12	4	16	2	12	6	26	4	24	2	12
	4	26	4	26			2	12	2	16		
	2	16					1	16				
K118	5	26	4	16	2	12	7	26	2	16	2	12
	2	12	4	26			1	18	5	26		
	1	18										
	1	16										
K218	2	12	4	26	2	12	6	26	2	16	2	12
	5	24	4	16			1	18	4	26		
	1	16										
	1	18										
K318	2	12	3	24	2	12	2	12	2	16	2	12
	3	26	2	20			6	26	3	26		
	1	16	2	16			1	16				
	1	20										
K418	2	12	1	22	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	20	4	16			3	26	2	26		
	1	16					1	16				

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K019,119	7	26	4	26			5	26	4	26		
K219,319	4	26	2	18	2	12	2	12	1	26	2	12
	2	12	3	26			2	26	4	18		
	1	18					2	18				
K419	2	12	2	26	2	12	2	22	1	26	2	12
	3	26	2	16			2	12	4	16		
	1	16					2	16				
K020,120	5	26	4	26			3	24	2	26		
K220,320	2	26	4	18	2	12	2	26	4	18	2	12
	2	12	1	26			2	18	1	16		
	2	18					2	12				
K420	2	22	1	26	2	12	3	16	4	16	2	12
	2	12	4	16			2	12				
	2	16										
K021,121	3	24	2	26			3	24	2	22		
K221,321	2	26	4	18	2	12	2	26	4	18	2	12
	2	12	1	16			2	12	1	16		
	2	18					2	18				
K421	2	12	4	16	2	12	3	16	4	16	2	12
	3	16	2	26			2	20				
K022,122	3	24	2	22			4	26	4	24		
K222,322	2	12	4	18	2	12	3	26	4	18	2	12
	2	26	1	16			2	12	1	16		
	2	18					2	18				
K422	2	20	4	16	2	12	2	22	4	16	2	12
	3	16					2	20	2	20		
K023,123	4	26	4	24			7	26	4	26		
K223,323	3	26	4	18	2	12	4	26	2	18	2	12
	2	12	1	16			1	18	3	26		
	2	18										
K423	2	20	4	16	2	12	3	26	2	16	2	12
	2	22	2	20			1	16	3	22		
	2	16										
K024,124 K224,324	2	12	4	24	2	12	2	12	2	20	2	12
	6	24	2	20			3	24				
							1	20				
							1	18				
K424	2	12	2	16	2	12	2	12	4	16	2	12
	3	24	1	26			2	24				
	1	16					2	16				
K025,125 K225,325	2	12	2	18	2	12	2	12	2	18	2	12
	3	24					1	18				
	1	18										
	1	20										
K425	2	24	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	12					1	16				
	2	16										
K415	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	1	16					1	16				
K012,112 K212	2	12	2	24	2	12	2	12	2	24	2	12
	2	24					2	24				
							3	22				

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K013,113	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K213,313	1	16					2	16				
K413	2	12	2	16	2	12	1	18	2	16	2	12
	1	16					2	12				
							1	16				
K014,114	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K214,314	2	16					1	16				
K414	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	16					1	16				
K011,111	1	14	2	22	2	12	2	12	2	22	2	12
K211	2	12					1	22				
	1	22										
K411	2	12	2	18	2	12	2	12	2	18	2	12
	1	20					1	20				
K110,210	1	18	2	20	2	12	1	18	2	20	2	12
K310	2	12					2	12				
	1	20					1	20				
K410	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	1	16					1	16				
K010	2	20	3	18			2	20	3	18		
	3	12					3	12				
	2	18					2	18				
K002	4	12	2	18	2	12	4	12	2	18	2	12
	3	18					6	18				
K102,202	3	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K302,402	1	16					2	16				
K003	4	12	2	18	2	12	3	12	2	18	2	12
	6	18					6	18				
K103,203	3	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K303,403	2	16					2	16				
K004	6	18	2	18	2	12	3	12	2	18	2	12
	3	12					6	18				
K104,204	2	16	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K304,404	3	12					2	16				
K005	3	12	2	18	2	12	3	12	2	18	2	12
	6	18					6	18				
K105,205	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K305,405	2	16					2	16				
K006	3	12	2	18	2	12	3	12	2	18	2	12
	6	18					6	18				
K106,206	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K306,406	2	16					2	16				
K007	3	12	2	18	2	12	3	12	2	18	2	12
	6	18					6	18				
K107,207	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K307,407	2	16					2	16				
K008	3	12	3	18	2	12	3	12	3	18	2	12
	6	18					6	18				
K108,208	2	12	2	16	2	12	3	12	2	16	2	12
K308,408	2	16					2	16				

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K067,167	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K267,367	2	16					2	16				
K467	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	2	16					2	16				
K068,168	2	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
K268,368	2	16					2	16	1	12		
K468	2	12	2	16	2	12	1	16	2	16	2	12
	2	16					2	12				
K069,169	2	12	2	20	2	12	3	16	2	20	2	12
K269,369	1	22					1	22				
K469	2	12	2	16	2	12	3	16	2	16	2	12
	1	18					1	18				
K070,170	3	16	2	16	2	12	3	16	2	16	2	12
K270,370	1	22					1	22				
K470	3	16	2	16	2	12	4	16	2	16	2	12
	1	18										
K071,171	3	16	2	20	2	12	2	12	2	20	2	12
K271,371	1	22					1	22				
K471	4	16	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
							1	16				
K072,172	3	22	2	22	2	12	1	12	2	22	2	12
K272,372	2	12					2	20				
							1	22				
							1	16				
K472	2	12	2	16	2	12	2	16	2	16	2	12
	1	16										
K073,173	1	12	2	16	2	12	1	12	2	16	2	12
K273,373	2	20					2	20				
	1	22					1	16				
	1	16					1	22				
K473	2	16	2	16	2	12	2	16	2	16	2	12
K074,174	1	12	2	22	2	12	2	20	2	22	2	12
K274,374	2	20					2	12				
	1	22					1	22				
	1	16										
K474	2	16	2	22	2	12	2	20	2	16	2	12
							2	12				
							1	16				
K077,177	3	22	2	22	2	12	1	24	2	22	2	12
K277,377	2	12					3	20				
							1	18				
K477	3	12	2	16	2	12	2	12	2	16	2	12
	1	16					2	16				
K078,178	1	24	2	16	2	12	1	24	2	16	2	12
K278,378	3	22					3	22				
	1	18					1	18				
K478	2	16	2	16	2	12	2	16	2	16	2	12
	2	12					2	12				
K075,175	2	12	2	20	2	12	3	16	2	20	2	12
K275,375	1	20					1	20				
K475	2	12	2	16	2	12	4	16	2	16	2	12
	1	16										
K076,176	3	16	2	16	2	12	3	16	2	16	2	12
K276,376	1	20					1	20				
K476	4	16	2	16	2	12	4	16	2	16	2	12

Kiris 30 * 70	Sol Mesnet						Sag Mesnet					
	Ust		Alt		Govde		Ust		Alt		Govde	
	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)	Adet	φ (mm)
K009	4 6	12 18	3	18	2	12	3 1 3	12 14 18	3 1	18 12	2	12
K109,209 K309,409	3 1	12 16	2	16	2	12	3 1 1	12 14 16	3 1	18 12	2	12
K001,101 K201	1 2 1	14 12 24	2	24	2	12	2 2 1	26 12 24	2	24	2	12
K401UA	2 1	12 18	2	16	2	12	1 1	20 18	2	16	2	12
K001,101 K201C	2 1	12 24	2	24	2	12	2 1	12 24	2	24	2	12
K001A,101 K201A	2 1	12 16	2	16	2	12	2 2	12 16	4	16	2	12
K001B,101 K201B	2 2	12 16	2	16	2	12	2 2	16 12	2 1	16 12	2	12

Tablo Ek.3 Perde elemanlar için kesit ve donatı özellikleri

Perde	Boyut			Başlık Bölgesi		Gövde	
	B	H	Başlık	adet	cap(mm)	adet	cap(mm)
P001	25	757.5	75	10 8	26 12	6	12
P002	25	402.5	37.5	5 4	24 12	6	12
P003	25	767.5	75	7 10	26 12	6	12
P004	25	585	62.5	5 8	26 12	6	12
P005,006 P007,008	25	445	50	7 6	26 12	6	12
P009	25	440	50	5 6	26 12	6	12
P010	25	667.5	62.5	8 8	26 12	6	12
P011	30	150	12.5	2 2	26 12	6	12
P101	25	757.5	75	6 10	26 12	6	12
P102	25	402.5	37.5	5 4	22 12	6	12
P103	25	767.5	75	6 10	26 12	6	12
P104	25	585	62.5	5 8	20 12	6	12
P105,106 P107,108	25	445	50	5 6	22 12	6	12
P109	25	440	50	3 8	26 12	6	12
P110	25	667.5	62.5	5 8	26 12	6	12
P111	30	150	12.5	2 2	22 14	6	12
P201	25	757.5	75	5 8	20 12	6	12
P202	25	402.5	37.5	3 4	22 12	6	12
P203	25	767.5	75	5 10	20 12	6	12
P204	25	585	62.5	2 8	22 12	6	12
P205,206 P207,208	25	445	50	3 6	24 12	6	12
P209	25	440	50	2 6	22 12	6	12
P210	25	667.5	62.5	3 8	22 12	6	12
P211	30	150	12.5	2 2	22 12	6	12

Perde	Boyut			Başlık Bölgesi		Gövde	
	B	H	Başlık	adet	cap(mm)	adet	cap(mm)
P301	25	757.5	75	2 6	22 12	6	12
P302	25	402.5	37.5	2 4	22 12	6	12
P303	25	767.5	75	2 6	22 12	6	12
P304	25	585	62.5	2 4	20 12	6	12
P305,306 P307,308	25	445	50	3 4	20 12	6	12
P309	25	440	50	2 4	22 12	6	12
P310	25	667.5	62.5	2 4	20 12	6	12
P311	30	150	12.5	2 2	22 12	6	12
P401	25	757.5	75	2 6	20 12	6	12
P402	25	402	37.5	2 4	20 12	6	12
P403	25	767.5	75	2 6	22 12	6	12
P404	25	585	62.5	2 4	20 12	6	12
P405,406 P407,408	25	445	50	2 4	20 12	6	12
P409	25	440	50	2 4	22 12	6	12
P410	25	667.5	62.5	2 4	20 12	6	12
P411	30	150	12.5	2 2	20 12	6	12

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kütahya'nın Simav ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini yine aynı ilçede tamamladı. 2000 yılında Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans öğrenimini bu bölümde 2004 yılında bölüm ikinciliğiyle tamamladı. Aynı yıl Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans programına gerekli yeterlilikleri sağlayarak kabul edildi. Bu süre zarfında özel bir inşaat firmasında şantiye şefi olarak çalıştı.