

R
150
407



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Depremde Hasar Gör. Bir Yap. Bet. Takv.

Yüksek Lisans Tezi

SERKAN ADA

Ref
İNS
395
2001

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

844

DEPREMDE HASAR GÖRMÜŞ BİR YAPININ
BETONARME TAKVİYESİ

İnş. Müh. Serkan ADA

F.B.E İnşaat Anabilim Dalı Mekanik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL

İSTANBUL, 2001

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : R 150
407

Kayıt No 1239

Geldiği Yer Fen Bilimleri Enst.

Tarih 04.03.2002

Fiyat 1.380.000 TL

Fatura No x

Ayniyat No 1/1

Ek x

XI-69

DEPREMDE HASAR GÖRMÜŞ BİR YAPININ
BETONARME TAKVİYESİ

407

İnş. Müh. Serkan ADA

F.B.E İnşaat Anabilim Dalı Mekanik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL

E. Köksal

Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL

Prof. Serkan GATGAZ
İSTANBUL, 2001

E. Akşu

Doç. Dr. Talay AKŞU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1 GİRİŞ	1
1.1 Betonarme Yapı Elemanlarının Deprem Davranışı	1
1.1.1 Kiriş Davranışı	1
1.1.2 Kolon Davranışı	3
1.1.3 Perde Davranışı	4
1.2 Betonarme Taşıyıcı Sistemler	5
1.3 Yapının Deprem Dayanımı İçin Sağlanması Gereken Koşullar	7
1.3.1 Dayanım	8
1.3.2 Süneklik	11
1.3.3 Sınırlı Yanal Ötelenme	12
2 BETONARME YAPILARDA GÖZLENEN KUSURLAR, HASAR TÜRLERİ VE NEDENLERİ	13
2.1 Betonarme Yapılarda Depremden Oluşan Hasarın Nedenleri	13
2.2 Sık Gözlenen Hasar Türleri ve Bunların Önemi	18
2.2.1 Betonarmede Çatlama ve Ezilme	18
2.2.2 Hasar Türleri	22
3 ZEMİN SORUNLARI	24
4 BETONARME YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRMESİ	26
4.1 Genel	26
4.2 Yapı Elemanlarının Onarımı/Güçlendirilmesi	27
4.2.1 Kirişler	28
4.2.2 Kolonlar	29
4.3 Sistem İyileştirme	34
4.4 Uyarı ve Öneriler	36
5 DEPREMİN YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	41

6	STA4CAD PROGRAMINA DATA HAZIRLANMASI.....	50
6.1	Kat Bilgileri.....	51
6.2	Aks Bilgileri	52
6.3	Döşeme Bilgisi	53
6.4	Kiriş Bilgilerinin Girilmesi	55
6.5	Kiriş Dış Yükleri	57
6.6	Dikdörtgen ve Daire Kolon Bilgisi	58
6.7	Kolon Dış Yükleri	60
6.8	Poligon Kolon Bilgisi.....	60
6.9	Döşeme Şeritleri Bilgisi	61
6.10	Proje Opsiyonları.....	62
6.11	Beton ve Çelik Malzeme Bilgileri.....	63
6.12	Kat Kopyalama.....	64
7	SONUÇLAR	65
	KAYNAKLAR.....	67
	EKLER.....	68
	ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGE LİSTESİ

E	X yönü deprem yükü
F	Y yönü deprem yükü
G	Sabit yük
I	Bina önem katsayısı
i	Çubuk elemanın başlangıç ucu
j	Çubuk elemanın son ucu
k	Yay katsayısı
M	Moment
m	Metre
m	Kütle
MPa	Megapascal
n	Hareketli yük katılım payı
N	Normal kuvvet
ν	Sönüm katsayısı
q	Hareketli yük
Q	Kesme kuvveti
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
t	Ton
T	Periyot
$T_A - T_B$	Spektrum karakteristik periyotları
ω	Açısal frekans
x	Deplasman
x'	Hız
x''	İvme
[K]	Sistem rijitlik matrisi
[M]	Kütle matrisi
[X]	Mod vektörleri matrisi

KISALTMA LİSTESİ

TDY97	Türkiye Deprem Yönetmeliği 1997 (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1997)
TS498	Türk Standardı No:498
TS500	Türk Standardı No:500
UBC97	Uniform Building Code 1997

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Kirişlerde donatı akması	2
Şekil 1.2 Plastik mafsal	2
Şekil 1.3 Üç mafsal oluşumu.....	3
Şekil 1.4 Kolonlarda beton ezilmesi	4
Şekil 1.5 Kolonlarda eksenel yük ve süneklik	4
Şekil 1.6 Kolon etriyesi.....	4
Şekil 1.7 Perdede eğilme ve kesme kırılması.....	5
Şekil 1.8 Taşıyıcı sistemler	6
Şekil 1.9 Davranış katsayısı	7
Şekil 1.10 Kiriş kesme kuvveti	9
Şekil 1.11 Kolon kiriş mekanizmaları.....	10
Şekil 1.12 Kolon kiriş taşıma gücü momentleri.....	10
Şekil 1.13 Dolgu duvarlar	11
Şekil 1.14 Katlar arası ardışık yer değiştirme	12
Şekil 2.1 Süreksiz çerçeveler	13
Şekil 2.2 Taşıyıcı sistemde asimetri ve dolgu duvarlar	14
Şekil 2.3 Kısa kolon ve pencere boşlukları	15
Şekil 2.4 Asmolen döşeme ve kolon uç dönmeleri	15
Şekil 2.5 Kolonun eksenel yük ve eğilme altındaki davranışı	16
Şekil 2.6 Eksenel yük etkisi	17
Şekil 2.7 Betonda çatlak	18
Şekil 2.8 Betonda ezilme.....	19
Şekil 2.9 Sargılı beton	19
Şekil 2.10 Kirişteki eğilme çatlakları.....	20
Şekil 2.11 Kirişteki kesme çatlakları.....	21
Şekil 2.12 Kolondaki kesme çatlakları.....	21
Şekil 2.13 Kiriş ve kolon uçlarındaki eğilme çatlakları	21
Şekil 2.14 Dolgu duvarlarda oluşan çatlaklar	22
Şekil 3.1 Sıvılaşma potansiyeli abağı.....	25
Şekil 4.1 Tam manto kesiti.....	29
Şekil 4.2 Civatalarla güçlendirme	29
Şekil 4.3 Çelik manto uygulaması.....	31
Şekil 4.4 Betonarme manto uygulaması.....	32
Şekil 4.5 Manto donatısındaki düzenlemeler	33
Şekil 4.6 Dolgulu çerçeve örneği	36
Şekil 4.7 Perde takviyesi görünüşü	38
Şekil 4.8 Perde takviyesi detayları	39
Şekil 4.9 Perdé takviyesi kesiti	40
Şekil 5.1 İzmit Depreminde farklı zeminlerdeki yer hareketleri.....	43
Şekil 5.2 İzmit Depreminde yer hareketinin elastik yatay kuvvet spektrumları	43
Şekil 5.3 İdeal elastoplastik yapı modeli.....	45
Şekil 5.4 Elastoplastik yatay kuvvet spektrumu ($\mu = 4$).....	46
Şekil 5.5 Türkiye deprem yönetmeliği tasarım spektrumları	46
Şekil 5.6 Farklı yapı türlerinin yıkılma özellikleri.....	49
Şekil 6.1 Yapı genel bilgileri menüsü	50
Şekil 6.2 Kat bilgileri menüsü.....	51
Şekil 6.3 Aks yönü ve aks bilgi menüleri	52
Şekil 6.4 Eğik aks bilgisi.....	52
Şekil 6.5 Döşeme bilgi menüsü.....	53
Şekil 6.6 Plak kalınlığı, sabit yük, hareketli yük seçim menüsü.....	54

Şekil 6.7 İnteraktif döşeme tariflenmesi	54
Şekil 6.8 Döşeme kot farkı, Bo-Bt-d-t değerleri	55
Şekil 6.9 Kiriş bilgi menüsü.....	56
Şekil 6.10 Kiriş boyut ve yük menüsü	56
Şekil 6.11 Kirişin interaktif tarifi	57
Şekil 6.12 Kiriş ilave yük bilgi menüsü	58
Şekil 6.13 Kolon bilgi menüsü.....	59
Şekil 6.14 Kolon boyutları düzenleme menüsü	59
Şekil 6.15 Kolon ilave yük bilgi menüsü	60
Şekil 6.16 Poligon kolon bilgi menüsü	60
Şekil 6.17 Poligon kolon düzenleme menüsü	61
Şekil 6.18 Plak sürekliliği menüsü.....	62
Şekil 6.19 Proje analiz opsiyonları menüsü	62
Şekil 6.20 Deprem spektrum değerleri menüsü	63
Şekil 6.21 Yapı malzemesi menüsü	63
Şekil 6.22 Genel kat kopyalama menüsü	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 7.1 Mantolanmamış haldeki kat kesme kuvvetleri.....	66
Çizelge 7.2 Mantolanmış haldeki kat kesme kuvvetleri	66
Çizelge 7.3 Mantolanmamış haldeki kolon kesit tesirleri	66
Çizelge 7.4 Mantolanmış haldeki kolon kesit tesirleri	66

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen Altınsoy Mühendislik'ten Sn. Metin ERDOĞAN'a, meslektaşım Sn. Fatih YEŞİLSELVE'ye, okulumuz öğretim üyelerinden Sn. Yrd. Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ'e ve tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL'a katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

ABSTRACT

ÖZET

Bu çalışmada depremde hasar görmüş olan bir yapı incelenmiş ve betonarme takviye projesi yapılmıştır.

Bu çalışma yapılırken ilk olarak Bölüm 1’de betonarme yapı elemanlarının deprem davranışı incelenmiştir.

Bölüm 2’de betonarme yapılarda oluşan hasarlar ve türleri incelenmektedir.

Deprem sırasında yapıların hasar görmesinde zeminin de büyük ölçüde etkisi vardır, bu etkilerde Bölüm 3’te ele alınmıştır.

Betonarme yapıların depremde hasar gördükten sonra yapı elemanlarının onarımı ve güçlendirilmesi Bölüm 4’te gösterilmiştir.

Bölüm 5’te depremin yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bölüm 6’da bu çalışmayı yaptığımız STA4CAD V.9 programına data hazırlanması , verilerin girişi ve sonuçların alınması anlatılmıştır.

Bu bilgilerin ışığında depremde hasar görmüş olan yapı incelenmiş , hasar tespitleri ve nedenleri saptanmıştır. Daha sonra bu yapının yeni deprem yönetmeliğine göre betonarme takviye projesi yapılmış, sonuçlar bölümü olan Bölüm 7’de de yapının eski ve yeni halinin kat kesme kuvvetlerine bakılarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapının eski ve yeni durumuna ait statik hesaplar Ekler bölümünde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Betonarme, onarım güçlendirme, deprem yönetmeliği, kesit tesirleri, deprem hasarları.

ABSTRACT

In this study, a reinforced concrete building, damaged in 1999-Marmara Earthquake, has been examined and a repair-strengthen project has been performed.

During the study, the earthquake response of the building has been examined in Chapter 1.

The type of damages of reinforced concrete structures have been described in Chapter 2.

The soil structure on which the building has been set up has a great affect during the earthquake. Those affects are examined in Chapter 3.

Repairing and strengthening of a damaged reinforced concrete building has been mentioned in Chapter 4.

In Chapter 5, the affects of the earthquake has been examined.

How to input data and how to get results in STA4CAD V.9, the structural analysis program used for the investigation, has been defined in Chapter 6.

In Chapter 7, all the damages of the building and its reasons has been summarized. Repairing and strengthening projects of the damaged reinforced concrete building has been performed with respect to Earthquake Codes for Reinforced Concrete Structures-1997, and former and new inner forces have been compared and results have been presented.

All former and new numerical structural analysis results have been presented in Appendix.

Key words : Reinforced concrete, repairing and strengthening, earthquake codes, inner forces and moments, earthquake damages.

1. GİRİŞ

1.1 Betonarme Yapı Elemanlarının Deprem Davranışı

Betonarme homojen olmayan ve davranışı doğrusal elastik olmayan bir yapı malzemesidir. Davranışın zamana ve yük geçmişine de bağlı olması sorunu daha da karmaşık bir duruma sokar ve ideal malzeme varsayımı ile geliştirilen hesap yöntemlerini geçersiz kılar. Burada betonarme davranışı ile bazı ilkeler kısaca irdelenecektir.

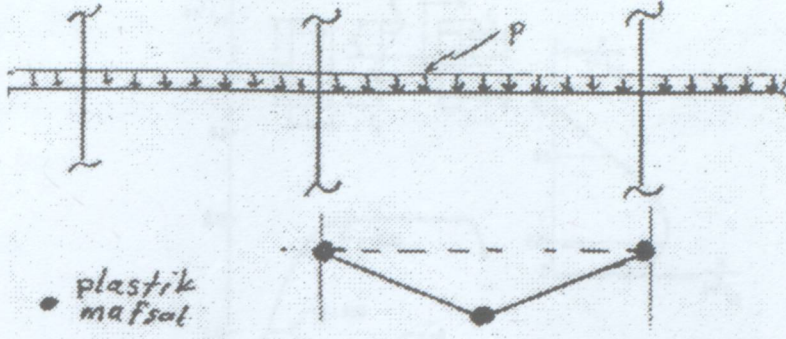
1.1.1 Kiriş Davranışı

Eğilme altındaki kiriş davranışında donatının önemi büyüktür. Yönetmelikte donatı oranı ($p-p'$) sınırlanarak kirişin sünek davranması sağlanmıştır. "Denge altı" olarak adlandırılan bu kirişin davranışına donatı hakimdir ve moment-birim eğrilik ilişkisi Şekil 1'de gösterildiği gibi hemen hemen elasto plastiktir. Eğilme çatlaması düşük yükler altında oluşur ve kirişin eğilme rijitliğini yaklaşık %30 oranında azaltır. Betonarmede çatlaklar asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşur, bu nedenle kesmenin büyük olmadığı yörelerde eğilme çatlakları eksene diktir ve çatlak genişliği çekme bölgesinden basınç bölgesine doğru azalır. Donatı çatlamayı önleyemez. Yeterli ve iyi yerleştirilmiş donatı çatlak genişliğinin kabul edilebilir düzeyde kalmasını sağlar.

Herhangi bir kiriş eğilme altında taşıma gücüne basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile ulaşır. Yönetmeliğin öngördüğü denge altı kirişlerde beton ezilme konumuna ulaşmadan çok önce donatı akmıştır (Şekil 1.1) Donatının daha önce akması, kirişin sünek davranmasını sağlar.

Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, donatı aktıktan sonra birim eğrilik, dolayısıyla sehim sabit varsayılabilir bir moment altında hızla artar. Bu davranış "plastik mafsallık" olarak adlandırılır. Plastik mafsallığın klasik mafsaldan tek farkı, serbest dönmenin sabit bir moment altında olmasıdır (akma momenti = taşıma gücü) (Şekil 1.2) Plastik mafsallaşma, yani sabit moment altında birim dönmenin hızla artması moment uyumuna yol açar, diğer bir kesitte moment artarken mafsallaşan kesitte sabit kalır. Kiriş göçme konumuna üç mafsallık oluştuktan sonra ulaşır, Şekil 1.3. Göçme durumuna gelindiğinde oluşacak moment diyagramı doğrusal çözümlemelerden elde edilecek diyagramdan çok farklı olabilir. Kirişin herhangi bir kesitindeki taşıma gücü momenti basit olarak aşağıdaki denklemle gösterilebilir.

$$M_u = A_s f_y d \quad (1.1)$$



Şekil 1.3 Üç mafsall oluşumu

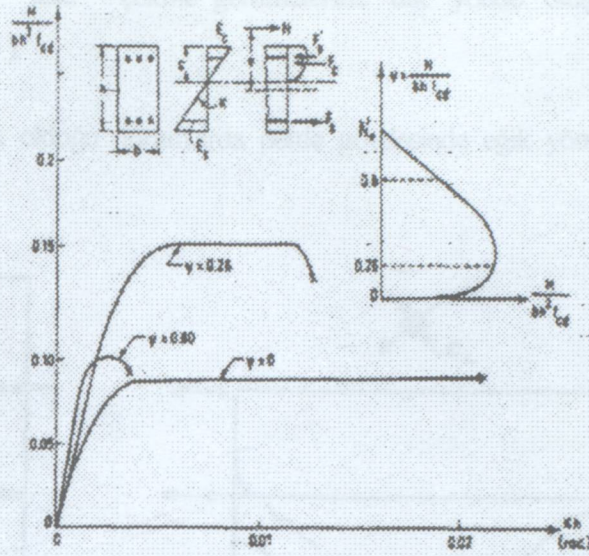
1.1.2 Kolon Davranışı

Eğilme ve aksenal basınç altındaki bir eleman kırılma konumuna iki biçimde ulaşabilir. Eğer aksenal yük düzeyi düşükse, kırılma biçimi denge altı kirişe benzer, başka bir deyişle önce çekme donatısı akar, sonra basınç bölgesindeki beton ezilir. Davranış oldukça sünektir ve bu süneklik aksenal yük düzeyi arttıkça azalır. Büyük aksenal yükler altında kırılma, çekme donatısı akmadan basınç bölgesindeki betonun ezilmesiyle oluşur. Bu tür kırılmada süneklik yoktur. Özetlemek gerekirse, kolonlarda süneklik aksenal yük düzeyine bağlıdır, (Şekil 1.4.) Kolonun aksenal yük kapasitesi N_0 olarak tanımlanırsa, sünekliğin N/N_0 oranı arttıkça azaldığı söylenebilir. Bu azalma (Şekil 1.5)'teki A eğrisi ile gösterilmiştir. Kolonun sünekliğini artırmanın bir yolu, N/N_0 oranını düşük tutmaktır. Bu da kesit boyutlarını artırarak sağlanabilir. Kolon sünekliği etkili sargı donatısı ile de artırılabilir. Bu artışın ne denli etkili olabileceği (Şekil 1.5)'teki B eğrisinden izlenebilir.

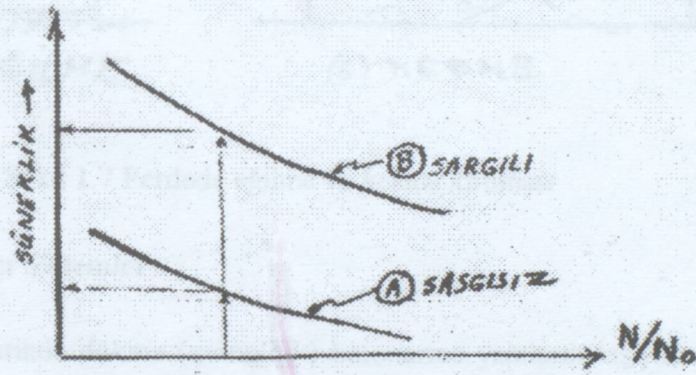
Kolonun taşıma gücüne basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile ulaşacağı daha önce söylenmişti. Betonun ezilmesi ile tüm basıncı almak zorunda kalan boyuna donatı bu konumda burkulur. Burkulma, sık yerleştirilmiş sargı donatısı ile geciktirilebilir.

Kolonlar özellikle yanal yükler altında (deprem, rüzgar, vb.) büyük kesme kuvveti alabilirler. Bu tür kolonların kesmeden kırılması mutlaka önlenmelidir. Bu yeterli ve iyi düzenlenmiş kesme donatısı (etriye) ile sağlanır.

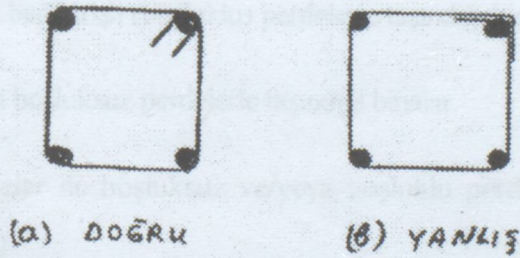
Kolon etriyesinin sargı olarak etkili olabilmesi için etriye uçlarının (Şekil 1.6(a))'da gösterildiği gibi göbeğe bükülerek kenetlenmesi gerekir. Etriye kenetlenmesi (Şekil 1.6(b))'deki gibi yapıldığı takdirde basınç altında uçlar açılacak ve etkili bir sargı sağlanamayacaktır.



Şekil 1.4 Kolonlarda beton ezilmesi



Şekil 1.5 Kolonlarda eksenel yük ve süneklik



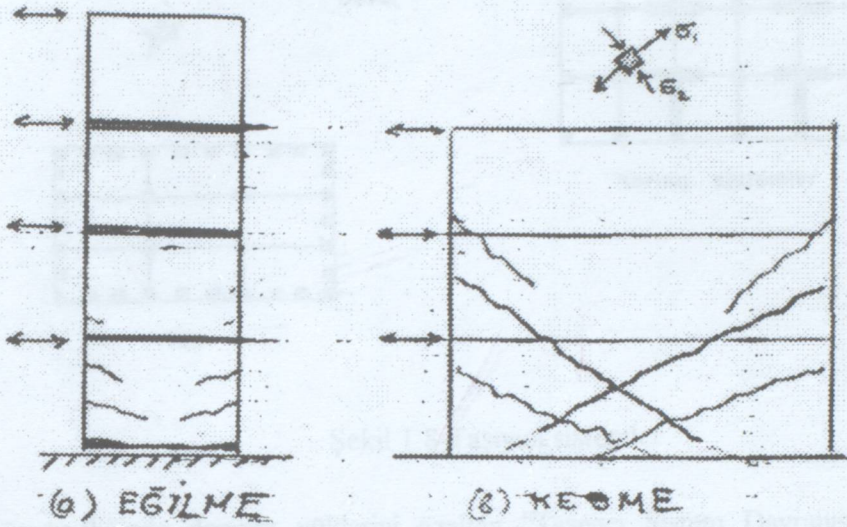
Şekil 1.6 Kolon etriyesi

1.1.3 Perde Davranışı

Perde kırılma konumuna kesme veya eğilme nedeni ile ulaşabilir. Eğilme kırılmasına (Şekil 1.7(a))'da gösterildiği gibi oluşan eğilme çatlağı boyunca donatının akması ile ulaşılır. Kesmenin davranışa

hakim olduğu durumlarda asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan eğik çatlaklar kırılmaya neden olur, (Şekil 1.7(b)).

Asal basınç gerilmelerinin yüksek olduğu durumlarda perde gövdesinde eğik yönde ezilme olur ve donatı burkudur.



Şekil 1.7 Perdede eğilme ve kesme kırılması

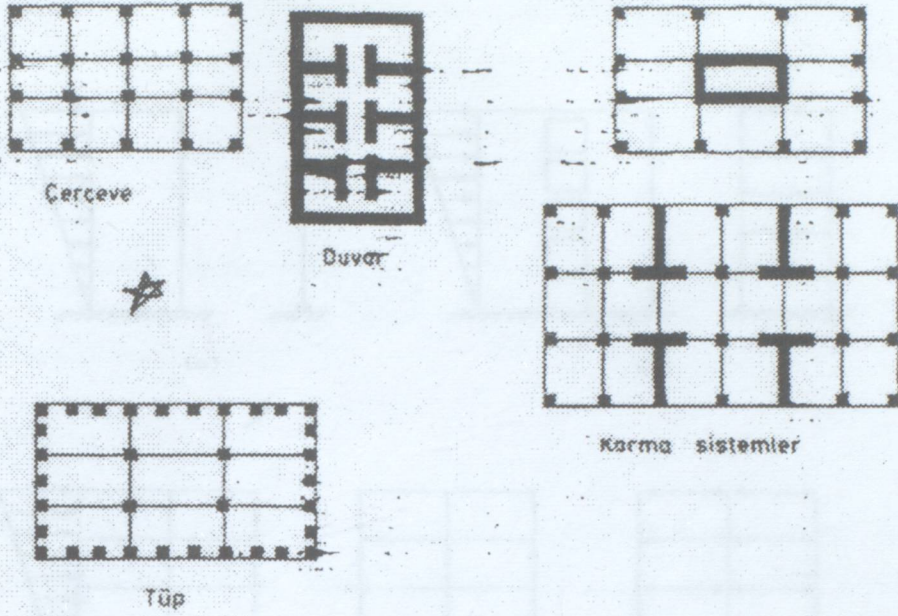
1.2 Betonarme Taşıyıcı Sistemler

1997 Yönetmeliğinde, yerinde dökme (monolitik) betonarme yapıların taşıyıcı sistemi aşağıda gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır.

- Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.
- Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.
- Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.
- Deprem yüklerinin, çerçeveler ile boşluksuz ve/veya boşluklu perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar (karma sistemler).

Bunlara ek olarak, yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan "Tüp Sistemler" de vardır.

Yukarıda sözü edilen taşıyıcı sistemler (Şekil 1.8)'de gösterilmiştir.

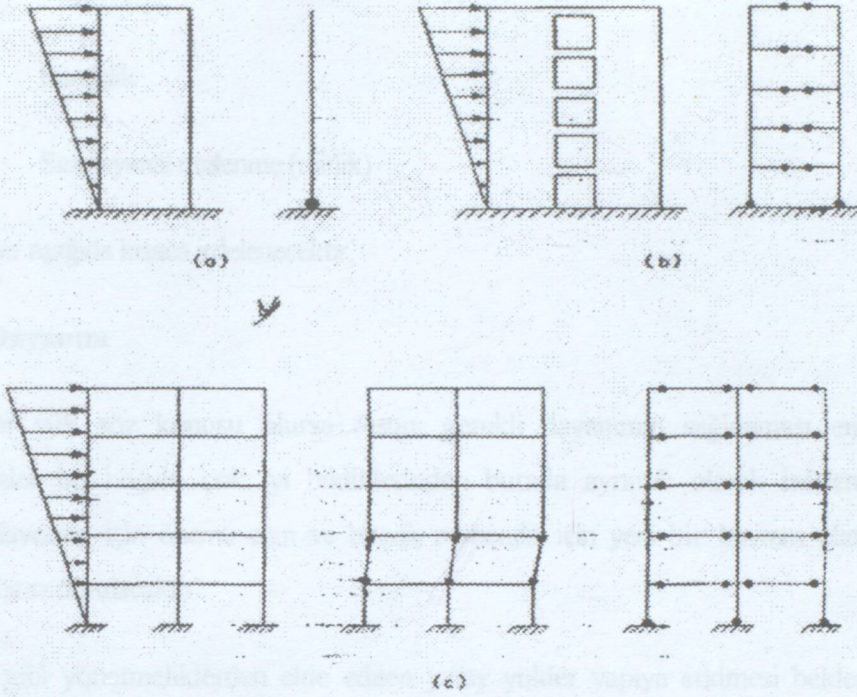


Şekil 1.8 Taşıyıcı sistemler

1997 Yönetmeliğinde deprem yüklerini azaltan "Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R", her sistem için ayrı ayrı verilmiştir. Çerçeve için $R=8.0$ alınırken, tüm deprem yüklerinin boşluksuz perdelerle taşındığı durumlarda $R=6.0$ kullanılması öngörülmektedir. Perde boşluklu olduğunda, davranış katsayısı 6.0'dan 7.0'ye yükseltilmektedir.

Bu sistemler için neden değişik davranış katsayıları öngörüldüğü (Şekil 1.9)'dan anlaşılabilir. Şekilde gösterildiği gibi, deliksiz perde duvar göçme konumuna (mekanizma) abanda oluşan plastik mafsalla oluşur. Bu durumda tüm enerjinin tek bir mafsalda tüketilmesi gerekmektedir. 1997 Yönetmeliğinde perde duvarları teşvik amacıyla $R=6.0$ seçilmiştir. Gerçekte R'nin daha küçük olması gerekirdi.

(Şekil 1.9)'daki delikli perde plastik mafsallar bağ kirişlerinin uçlarında da oluştuğundan enerji tüketimi tek plastik mafsalda olmamaktadır. Bu nedenle $R=7.0$ 'dir. Çerçevesel taşıyıcı sistemler göçme konumuna, (Şekil 1.9)'da gösterildiği gibi değişik mekanizmalarla ulaşabilir. Kiriş kolondan sünek olduğundan sağda gösterilen "kiriş mekanizması" tercih edilmelidir. Enerji birçok noktada tüketildiğinden bu tür sistem için yönetmelikte $R=8.0$ verilmiştir.



Şekil 1.9 Davranış katsayısı

1.3 Yapının Deprem Dayanımı İçin Sağlanması Gereken Koşullar

Deprem yapıya etkisi düşey yük etkisinden çok değişiktir. Deprem dinamik bir olaydır ve depremin yapıya etkisi yer hareketinin özellikleri yanında yapının dinamik özelliklerine bağlıdır (rijitlik, peryod, sönüm vb.). Yapının dinamik özelliklerini belirleyen rijitlik, bilindiği gibi malzemenin gerilme-deformasyon ilişkisi yanında, eylemsizlik momentine bağlıdır. Betonarme gibi, çatlayan, doğrusal elastik olmayan bir malzemeden yapılmış elemanların rijitliğini doğru olarak kestirebilmek oldukça zordur ve sağlam bir davranış bilgisini gerektirir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımındaki temel varsayımlardan biri, yapının ender oluşan şiddetli bir deprem altında elastik sınırlar içinde kalamayacağı, çeşitli yerlerde donatının akması ile plastik mafsallar oluşacağıdır. Bu tür depremde önemli olan insan hayatının kurtarılması olduğundan, yapının ayakta kalması önemlidir. Yapısal hasarın oluşması doğaldır. Bu hasarın da onarılabilecek düzeyde kalması elbette tercih edilir. Yapının bu konumda ayakta kalabilmesi yeterli enerjinin tüketilebilmesi ile mümkündür. Enerji tüketimi en fazla büyük dönmelerin olduğu plastik mafsallarda oluşur. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yapılırken bu husus unutulmamalıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında sağlanması gereken üç koşul vardır.

- a. Dayanım
- b. Süneklik
- c. Sınırlı yanal ötelenme (rijitlik)

Bu koşullar aşağıda kısaca irdelenecektir.

1.3.1 Dayanım

Hangi tür yük söz konusu olursa olsun, gerekli dayanımın sağlanması en önemli koşuldur. Mühendisler bu koşulu çok iyi bildiklerinden burada ayrıntılı olarak irdelenmeyecektir. Ancak, deprem davranışı için önemli olan ve birçok mühendis için yeni bir kavram olan "kapasite dizaynı" üzerinde biraz durulacaktır.

Bilindiği gibi yönetmeliklerden elde edilen yatay yükler yapıya etkimesi beklenen yüklerden çok küçüktür. Yapının sünek davranacağı varsayımı ile gerçek yükler, davranış katsayısı olan R 'ye bölünerek büyük oranda azaltılmaktadır. Bu nedenle, yönetmelik yüklerini kullanarak yapılan hesap sonucu elemanlarda hesaplanan iç kuvvetlere bakarak elemanın elastik kalıp kalmadığını kestirmek son derece yanıltıcıdır. Gerçekçi yaklaşım, hesaplanan iç kuvvetleri bir yana bırakarak, kritik noktalarda donatının aktığını ve bu noktalarda kesitin moment kapasitesine ulaştığını varsaymaktır. Bu ilkeye göre kiriş ve kolon uçlarında plastik mafsalları oluşturduğu varsayılmıştır. Plastik mafsaldaki kesit kapasitesi taşıma gücü yöntemi ile kolayca hesaplanabilir.

Betonarmede kesme kırılması eğilmeye oranla çok daha gevrek bir kırılma türü olduğundan, depremde kesme kırılmasının kesinlikle önlenmesi gerekir. Yapıya uzun bir süre içinde etkiyecek depremin yapıda oluşturacağı kuvvetleri gerçekçi olarak kestirmek mümkün olmadığından, yönetmelikte verilen deprem kuvvetine göre yapılan hesaplara dayanarak kesme kırılması olup olmayacağını gerçekçi olarak saptamak mümkün değildir. Yapıya etkiyecek gerçek kuvvetler kestirmenin mümkün olmamasına karşın, eleman kapasitesinin yükten bağımsız olarak hesaplanması mümkündür. Bu durumda kiriş ve kolonun uçlarında mafsalları oluşturduğu varsayımı ile hesaplanacak moment kapasiteleri temel alınarak kesme kuvveti hesaplanabilir. Kesme hesabında bu kuvvet esas alındığında, artık elemanın kesmeden kırılması mümkün değildir.

Depremde donatının akması bir yana, büyük deformasyonlar sonucu donatıda pekleşme de mümkün olduğundan, taşıma gücü hesaplanırken donatı dayanımı f_{yd} değil $1.2f_{yk}$ alınmalıdır. Şekil

1.10(a)'da gösterilen kiriş için kesme kuvveti V_e aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l_n} \quad (1.2)$$

Denklem (2)'deki V_{dy} kirişin kolon yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvvetidir.

$$M_{pi} = 1.4M_{ri} \ll 1.4(A_{si} \cdot f_y d \cdot d) \quad (1.3)$$

$$M_{pj} \gg 1.4M_{rj} = 1.4(A_{si} \cdot f_y d \cdot d) \quad (1.4)$$

Benzer bir biçimde(Şekil 1.10(b))'deki kolon için hesap kesme kuvveti de hesaplanabilir.

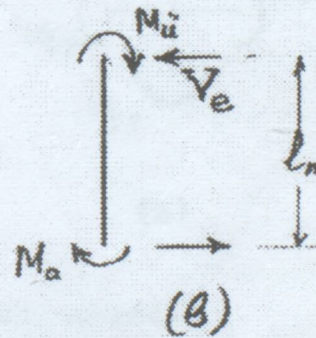
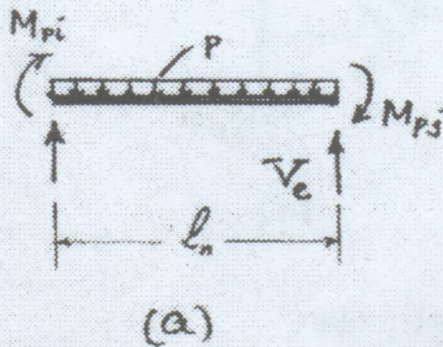
$$V_e = (M_a + M_u) / l_n \quad (1.5)$$

M_a ve M_u kolonun alt ve üst ucundaki momentlerdir. Plastik mafsallaşmanın kirişlerde "olduğu" durumlarda Denklem (3) ve (4)'ten hesaplanan moment kapasitelerinin toplamı alt ve üstteki kolonlara dağıtılır. Plastik mafsallaşmanın kolonlarda olduğu durumlarda, kolon ucundaki moment kapasiteleri temel alınır.

$$M_a = M_{pi} \ll 1.4M_{ri} \quad (1.6)$$

$$M_u = M_{pj} = 1.4M_{rj} \quad (1.7)$$

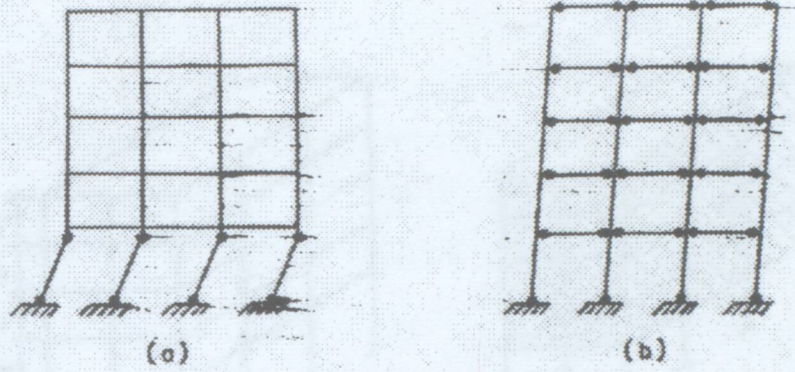
Kolonlarda taşıma gücü momenti eksenel yüke bağlı olduğundan, basit bir denklem verilemez. Çeşitli yük kombinasyonlarından elde edilen yükler arasında en kritik momenti veren seçilmelidir.



Şekil 1.10 Kiriş kesme kuvveti

Bir çerçeve göçme konumuna yeterli sayıda plastik mafsall oluşması ile ulaşır. Göçme mekanizması Şekil 11'de gösterildiği gibi iki ayrı biçimde oluşabilir. Şekil 11(a)'da gösterilen kolon mekanizmasıdır. Bu tür göçmede mekanizma kolon uçlarındaki plastik mafsallarda oluşur. Şekil 1.11(b)'de gösterilen ise, kiriş mekanizmasıdır. Kolon (özellikle eksenel yük düzeyi yüksekse)

kiriş göre çok daha gevrek bir davranış gösterdiğinden, (Şekil 1.11)'deki (b) mekanizması (a)'ya tercih edilmelidir. Yönetmeliklerde bu tercih "kuvvetli kolon - zayıf kiriş" ilkesiyle ifade edilir. Göçmenin (a) yerine (b) mekanizması ile oluşması taşıma gücü temel alınarak sağlanabilir.

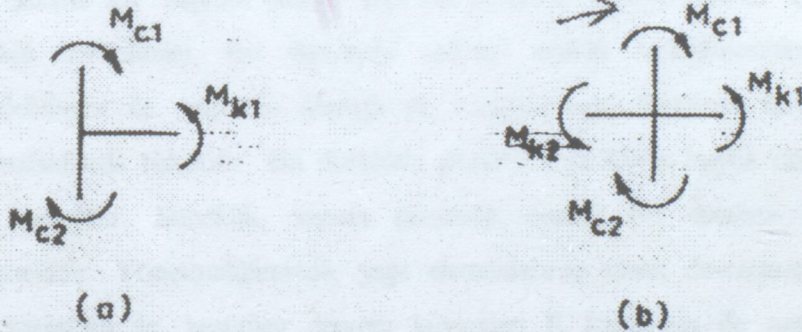


Şekil 1.11 Kolon kiriş mekanizmaları

Şekil 12'de kiriş ve kolonlar için gösterilen momentler "taşıma gücü momentleridir". Kuvvetli kolon - zayıf kiriş ilkesi, 12(a) ve (b)'deki durumlar için aşağıdaki koşullarla sağlanır.

$$\text{Şekil 12(a)} \quad (M_{c1} + M_{c2}) > M_{k1} \quad (1.8)$$

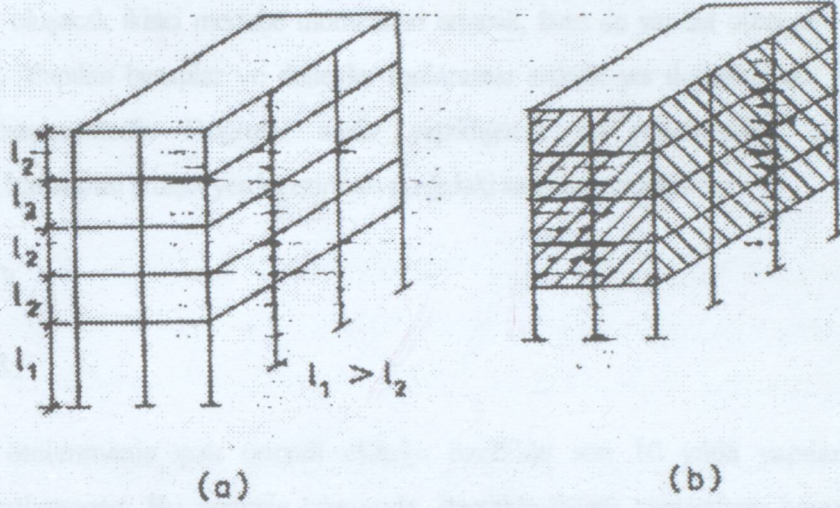
$$\text{Şekil 12(b)} \quad (M_{c1} + M_{c2}) > (M_{k1} + M_{k2}) \quad (1.9)$$



Şekil 1.12 Kolon kiriş taşıma gücü momentleri

Bu konuyu geçmeden önce (Şekil 1.11(a))'da gösterilen kolon göçme mekanizmasını biraz irdelemek gerekir. Görüldüğü gibi bu mekanizma oluştuğunda, yapının üstü adeta rijit bir cisim gibi deplasman yapmıştır. Bu durum "yumuşak kat" olarak adlandırılmaktadır. Yumuşak katın en büyük dezavantajı, kolon mafsallaşması nedeni ile sünekliğin sınırlı kalması ve hasar sonrası onarımın güçlüğüdür. Ayrıca tüm enerji tüketimi tek katta yoğunlaşmaktadır.

Yumuşak kat Denklem (1.8) ve (1.9) ile ifade edilen ilke sağlansa bile oluşabilir. Bunun nedeni hesapta genelde ihmal edilen dolgu duvarların etkisidir. (Şekil 1.13(b))'de gösterildiği gibi, üst katların konut, zemin katında ticari amaçlarla kullanılması sonucu üst katlardaki dolgu zemin katta bulunmayabilir. Bu durumda zemin kat düzeyinde (Şekil 1.13(a))'daki gibi yumuşak kat oluşabilir.



Şekil 1.13 Dolgu duvarlar

1.3.2 Süneklik

Daha önce çok şiddetli bir deprem altında yapı elemanlarının elastik sınırlar içinde kalmasının mümkün olmadığı belirtilmişti. Bu durumda yapının ayakta kalabilmesinin ancak yeterli enerjisinin tüketilebilmesi ile mümkün olacağı da vurgulanmıştı. Enerjinin büyük bir yüzdesi oluşan plastik mafsallarda tüketilir. Bu durumda plastik mafsalların büyük dönme yeteneğine sahip olmaları önemlidir. Süneklik, taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan enerji tüketebilme yeteneğidir. Yönetmeliğimizde, yapı elemanlarının sünek davranarak yeterli enerjiyi tüketebilecekleri varsayımı ile, kestirilen deprem kuvvetleri R katsayıları ile azaltılmaktadır. Bu nedenle Yönetmelikteki kuvvetler kullanılarak yapılan bir tasarımda süneklik mutlaka sağlanmalıdır. Süneklik sağlanmadığı takdirde yönetmelikteki süneklik düzeyi "normal sistemler" temel alınmalı ve R katsayısı yarı yarıya azaltılmalıdır. Sünekliğin sağlanabilmesi için aşağıdaki koşullara dikkat edilmelidir.

- Kiriş ve kolon uçları sık ve kapalı etriyelerle sarılmalıdır.
- Yönetmelikteki kenetlenme ve bindirme boylarına uyulmalıdır.

- Kiriş ve kolonlarda kapasite dizaynı yapılarak kesme kırılması önlenmelidir.
- Yönetmelikte öngörülen donatı sınırlarına ve detaylarına uyulmalıdır.

1.3.3 Sınırlı Yanal Ötelenme

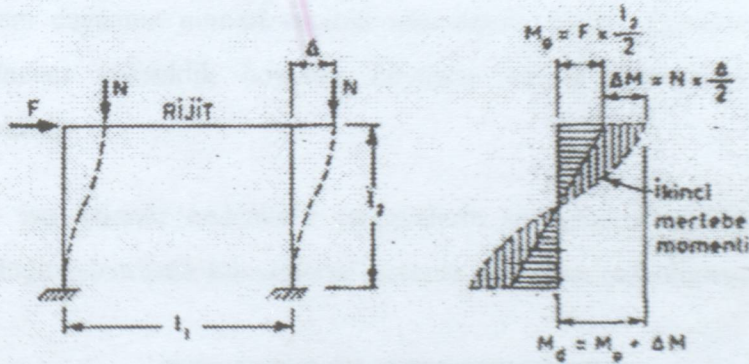
Depremde katlararası ardışık yer değiştirme büyük olduğu takdirde Şekil 14'te gösterildiği gibi hem $N_d(8)$ ile oluşacak ikinci mertbe momentleri artacak, hem de yapısal olmayan hasarın maliyeti çok artacaktır. Yapılan hesaplar ve deneyler katlararası ardışık yer değiştirmenin 0.01'i geçmemesi gerektiğini göstermektedir. Doğrusal analiz yapıldığında ve yönetmeliğin öngördüğü yükler kullanıldığında, katlararası ardışık yer değiştirmesi aşağıdaki sınırları aşmamalıdır.

$$\delta_i \leq 0.0035h_i \quad (1.10)$$

$$\delta_i \leq 0.02h_i/R$$

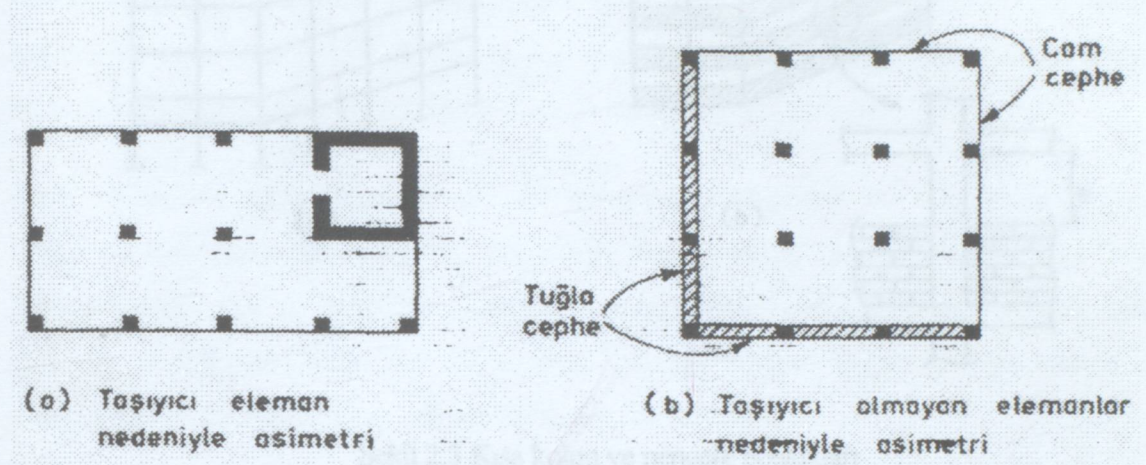
Sınırlı yanal ötelenmenin çok önemli olduğu özellikle son 10 yılda yapılan gözlemler ve deneylerle kanıtlanmıştır. Bu nedenle tasarımda, özellikle düşey taşıyıcıların boyutlarında cömert davranılması gerekmektedir. Başka bir deyişle yapının yanal rijitliğinin yüksek tutulması gerekir.

(İMO 1999)



Şekil 1.14 Katlar arası ardışık yer değiştirme

Yapıda simetri olmaması burulma momentlerinin oluşmasına neden olur. Burulma momentleri, özellikle çevre kolonlarına ek kesme kuvvetleri getirir. Simetrinin bozulması (Şekil 2.2(a))'da gösterildiği gibi taşıyıcı sistemden kaynaklanabileceği gibi, hesapta dikkate alınmayan dolgu duvarlardan da kaynaklanabilir, (Şekil 2.2(b)).



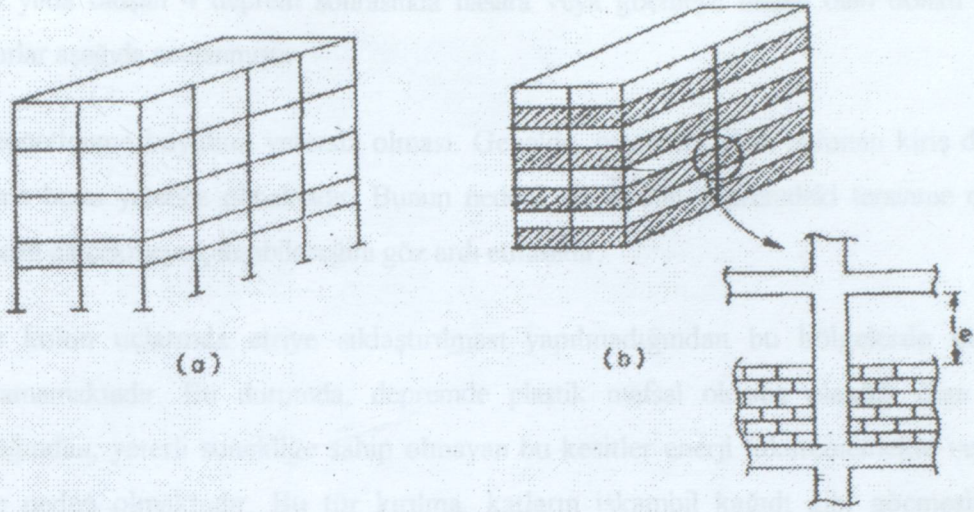
Şekil 2.2 Taşıyıcı sistemde asimetri ve dolgu duvarlar

Ülkemizde rastlanan en yaygın hasar, yumuşak veya zayıf kattan kaynaklanmaktadır. Deprem Yönetmeliği'ne göre, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının bir üsttekine oranı 0.8'den azsa, zayıf kat oluşur.

Yumuşak kat ise bir katın (özellikle zemin kat) diğerlerine göre daha az rijit olmasından kaynaklanır. Yumuşak kat oluşumu Şekil 1.13(a) ve (b)'de gösterildiği gibi, taşıyıcı sistem veya dolgu duvar nedeniyle oluşabilir.

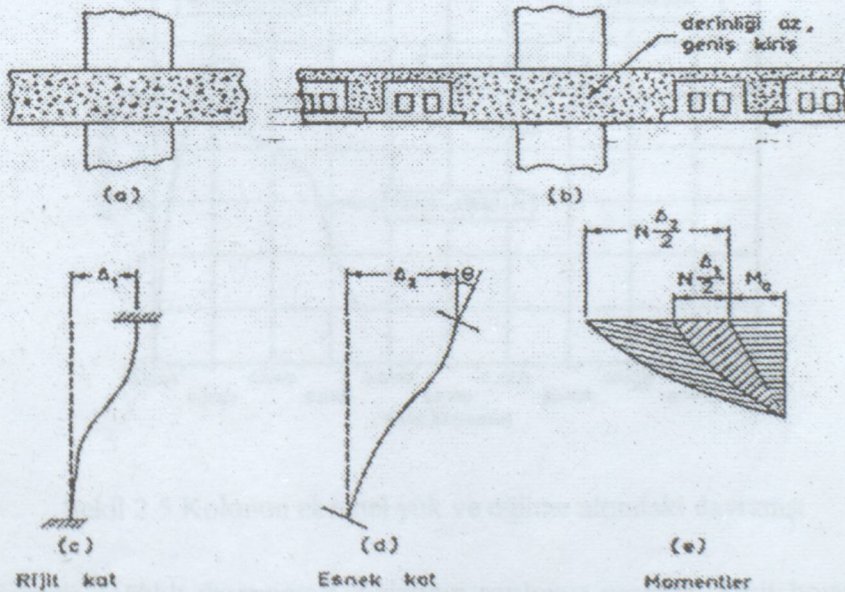
Diğer bir sistem zayıflığı da kısa kolondur. Şekil 2.3(a) ve (b)'de gösterildiği gibi, kısa kolon taşıyıcı elemanlar nedeniyle oluşabileceği gibi, duvardan duvara uzanan pencereler nedeniyle de oluşabilir. Hesapta dolgu duvarlar ihmal edildiğinden, bu ikinci tür kolayca gözden kaçabilir. Şekil 2.3(b)'de gösterildiği gibi burada kolonun etkili boyunu kısaltan dolgu duvardır. Herhangi bir kolon deprem etkileri altında her iki ucunda da taşıma gücüne erişebilir. Bu durumda uçlardaki moment kapasiteleri M_{pi} ve M_{pj} olursa, kolonu zorlayan kesme kuvveti aşağıdaki gibi ifade edilir.

Kolonun kesit boyutları ve donatısı sabit tutulursa M_{pi} ve M_{pj} sabit kalır. Bu kolonun boyu üçte birine indirilirse, Denklem (1 l)'den elde edilen kesme kuvveti üç katına çıkar. Kısa kolonun sorunu, boy kısalması ile aşırı büyüyen kesme kuvvetidir. Çok kısa kolonlarda, sık etriye yerleştirilirse bile oluşan kesme kuvvetini karşılamak mümkün olmaz.



Şekil 2.3 Kısır kolon ve pencere boşlukları

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan asmolen türü döşemelerde, eğer döşeme derinliğinde, basık, geniş yastık kirişler kullanılıyorsa, kat düzeyindeki eğilme rijitliği düşük olacağından kolon uçlarında büyük dönmeler olacaktır. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi kolon uçlarının dönmesi yanal ötelenmeyi, dolayısıyla ikinci mertebe momentlerini artıracaktır. Kirişsiz döşemeler için de aynı durum söz konusudur. Tehlikeli büyüklüklere erişen ikinci mertebe etkilerinin yol açacağı tehlikeler gözönünde bulundurularak, 1997 Yönetmeliği'nde bu tür sistemlerde tüm deprem yüklerinin perdelerce karşılanması öngörülmektedir.



Şekil 2.4 Asmolen döşeme ve kolon uç dönmeleri

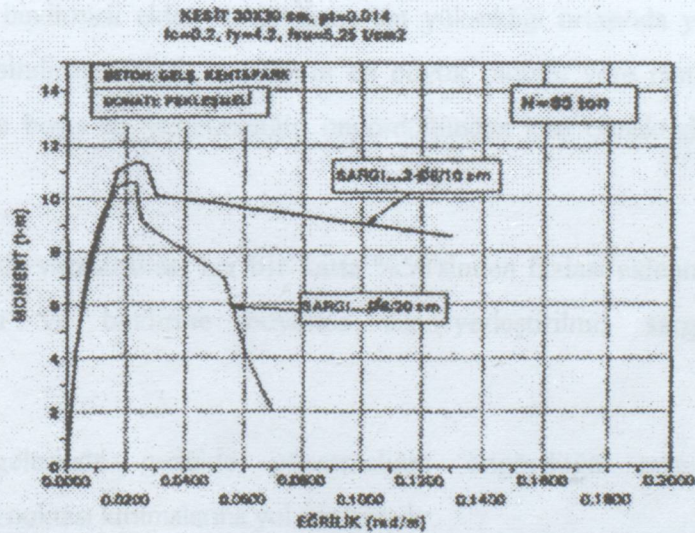
b. Donatı Detayı Yetersizliği

Son yedi yılda oluşan 4 deprem sonrasında hasara veya göçmeye neden olan donatı detayı ile ilgili kusurlar aşağıda sıralanmıştır.

Donatı kenetlenme boyunun yetersiz olması. Genelde, mesnette altta bulunan kiriş donatısının kenetlenme boyu yetersiz olmaktadır. Bunun nedeni, projenin depremdeki tersinme dolayısıyla bu donatının da çekmeye çalışabileceğini göz ardı etmesidir.

Kiriş ve kolon uçlarında etriye sıklaştırılması yapılmadığından bu bölgelerde sargı etkisi oluşturulamamaktadır. Bu durumda, depremde plastik mafsal oluşma olasılığı olan bölgeler sarılmadığından, yeterli sünekliğe sahip olmayan bu kesitler enerji tüketememekte ve kırılarak göçmeye neden olmaktadır. Bu tür kırılma, katların iskambil kağıdı gibi göçmesine neden olduğundan insanların binadan sağ çıkma olasılığı da azalmaktadır.

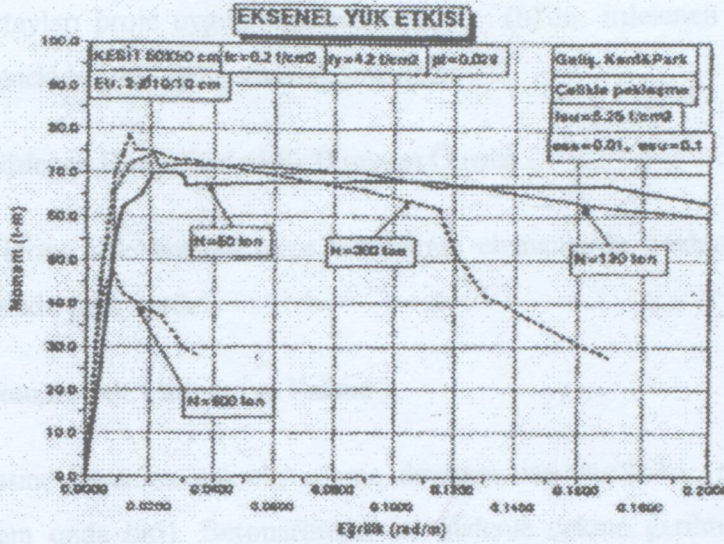
Unutulmaması gereken, şiddetli depremlerde binanın ayakta kalabilmesinin yeterli enerji tüketimine bağlı olduğudur. Enerji tüketimi sünekliğe, süneklik de eleman uçlarındaki sargı donatısına bağlıdır. Şekil 19'da sargı donatısı dışında iki özdeş kolonun eksenel yük ve eğilme altındaki davranışları gösterilmiştir. Erzincan, Dinar, Ceyhan ve Marmara depreminde hasar gören yapılarıdaki sargı donatısına sahip kolonun (08/20 cm), yönetmeliğe uygun donatılmış ($2-\sqrt{8}/10$ cm) kolona göre ne kadar yetersiz kaldığı bu şekilden açıkça görülebilir.



Şekil 2.5 Kolonun eksenel yük ve eğilme altındaki davranışı

Kolonun depremde sağlıklı davranması, uçlarının sarılması yanında, kesit boyutlarının büyük seçilmesine de bağlıdır. (Şekil 2.6)'da boyutları ve sargı donatısı 1997 Yönetmeliği'ne uygun

seçilen bir kolonun değişik düzeyde eksenel yükler altındaki davranışı gösterilmiştir. Eksenel yük yönetmelik sınırlarında tutulduğunda, davranış sağlıklı olmaktadır.



Şekil 2.6 Eksenel yük etkisi

Sargı olarak yerleştirilen etriyelerin uçları, Şekil 6(a)'daki gibi 135° bükülerek çekirdeğe kenetlenmelidir. Ülkemizde bu yapılmamaktadır. Şekil 6(b)'de etriye uçlarının kenetlenmesi kabuk betonu içinde kalmaktadır. Kabuk dökülünce etriye açılmakta ve sargı etkisi yok olmaktadır.

Kolon boyuna donatısındaki bindirmeli ekler olabildiğince kat yüksekliği ortasında yapılmalıdır. Kat düzeyinde oluşturulan bindirme ekleri, momentin en büyük olduğu yere rastlamaktadır. Ülkemizde genelde bindirme boyu da yönetmeliğin öngördüğünden kısa olmaktadır. Bu, son derece yanlış ve tehlikelidir.

Bindirmeli ekler kat düzeyinde yapılacaksa, her bir katta %50'sinden fazlası eklenmeli, yeterli bindirme boyu sağlanmalı ve bindirme boyunca sık yerleştirilmiş sargı donatısı bulundurulmalıdır.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde genelde yönetmeliğin öngördüğü sargı donatısı konmamaktadır. Bu da düğüm noktası kırılmalarına yol açmaktadır.

c. Yapım Hataları

Ülkemizde maalesef etkin bir denetim yapılmamaktadır. Bu nedenle yapım aşamasında oluşan kusurları iki grupta toplayabiliriz :

Beton kalitesinin kötü olması nedeniyle, dayanım düşük çıkmakta, betonun aderans (kenetlenme) özelliği kaybolmaktadır.

Donatı detayları proje uygun yapılmamakta ve (b)'de irdelenen ve donatıdan kaynaklanan kusurlar genelde yapım aşamasında oluşmaktadır.

2.2 Sık Gözlenen Hasar Türleri Ve Bunların Önemi

Hasar türlerine irdilemeden önce betonarme elemanlarda gözlenen çatlak ve ezilmelerin irdelenmesinde yarar vardır.

2.2.1 Betonarmede Çatlama ve Ezilme

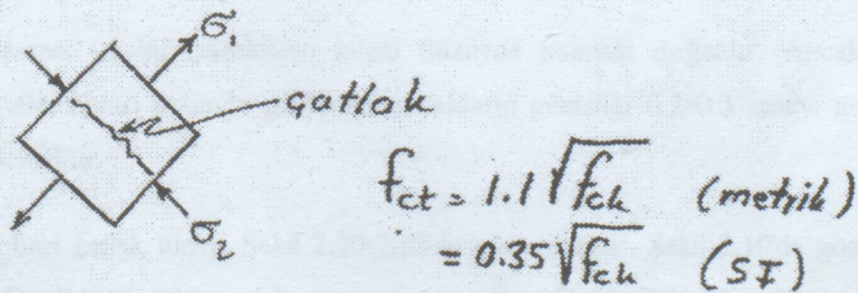
Beton, basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise düşük bir malzemedir (yaklaşık basınç dayanımının onda biri). Betonarmede, bu nedenle çekme gerilmelerini alma görevi donatıya yüklenir.

Betonarme bir elemanda en dış çekme lifindeki birim uzama 0.0001-0.00015 büyüklüğüne ulaştığında beton çatlar. Gerilme cinsinden çatlama dayanımı Denklem (12)'deki gibi ifade edilebilir.

$$f_{ct} = 1.1 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{metrik})$$

$$= 0.35 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{SI}) \quad (2.5)$$

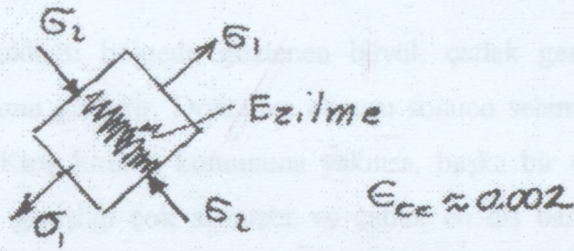
Şekil 2.7'de gösterildiği gibi betonda çatlak, asal çekme gerilmelerine dik çatlakların genişlemesini önleyerek kılcal düzeyde kalmasını sağlar. Donatı, olabildiğince asal çekme gerilmeleri doğrultusunda yerleştirilmelidir. Çatlama, betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle doğal bir olaydır.



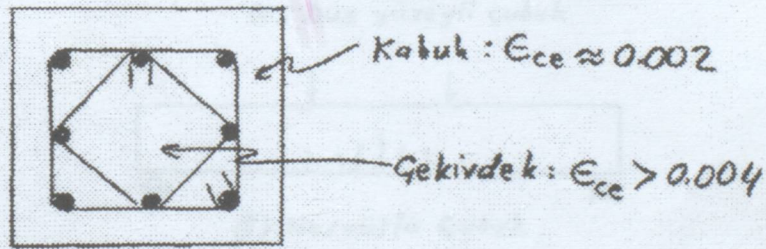
Şekil 2.7 Betonda çatlak

Betonun basınç dayanımı yüksektir. Çekme gerilmelerinin yeterli donatı ile karşılandığı durumlarda, asal basınç gerilmeleri doğrultusunda birim kısalma büyük değerlere ulaşarak betonun ezilmesine neden olabilir, (Şekil 2.8). Betonun birim ezilme kısalması birçok değişkene bağlıdır. Bunların içinde en önemlilerinden biri sargı etkisidir. Sargı, betonun ezilme birim kısalmasını yükseltir. Ezilme birim kısalması sargısız betonda (örneğin kabuk betonunda) 0.002 dolaylarında iken, sargılı betonda (örneğin çekirdek betonu) bu değer 0.004 veya daha yüksek olur, (Şekil 2.9).

Beton basınç altında ezildikten sonra, o bölgedeki boyuna donatı daha kolay burkulur. Sık yerleştirilmiş etriye burkulmayı geciktirir.



Şekil 2.8 Betonda ezilme



Şekil 2.9 Sargılı beton

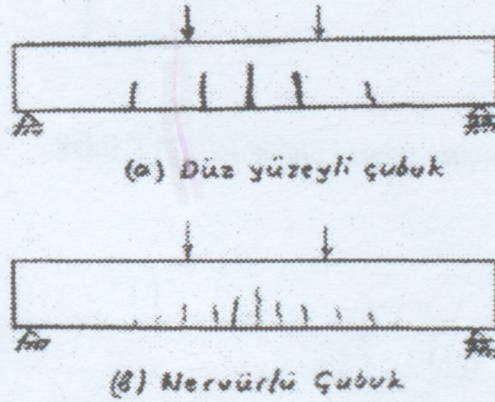
Betonun çatlaması ve bu çatlakların kılcal düzeyde kalması doğaldır. Ancak mevcut bir binadaki yapı elemanları üstünde gözlenen çatlakların genişliği 0.2-0.3 mm'yi geçerse, burada bir sorun var demektir.

Çok rastlanan bazı çatlak türleri Şekil 2.10-2.12'de gösterilmiştir. Şekil 2.10'da gösterilen eğilme çatlamasıdır. Görüldüğü gibi çatlak elemanı eksenine diktir. Bilindiği gibi büzülme ve ısı düşmesi elemanda eksenel çekme gerilmeleri oluşturur. Pratikte en sık rastlanan eksenel çekme çatlakları büzülme ve ısı düşmesinden kaynaklanır. Büzülme ve ısı düşmesi nedeniyle

oluşan eksenel çekme çatlaklarının kabul edilebilir sınırı aşması (genelde 0.3 mm sınırı) boyuna donatının yetersizliğinden ve/veya iyi dağıtılmamış olmasından kaynaklanır. Büzülme çatlakları genelde kiriş eksenine dik oluşur ve elemanın dört yüzünde süreklidir.

Şekil 2.10(a) ve (b)'de düz ve nervürlü çubuklarla donatılmış bir kirişteki eğilme çatlakları gösterilmiştir. Görüldüğü gibi çatlaklar asal çekme gerilmelerine dik yönde oluştuğundan, momentin sabit olduğu bölgede kiriş eksenine diktir, kesmenin bulunduğu bölgede eğikleşmiştir. Kirişlerde eğilme çatlama oluşması kesit hesabındaki felsefeye uygundur ve bu nedenle doğaldır. Eğilme çatlakları çekmenin en büyük olduğu yüzden basınç bölgesine doğru genişliği azalarak uzanır. Nervürlü donatı kullanıldığında çatlak sayısı artar ve çatlak genişliği azalır. Bu sağlıklı bir davranıştır.

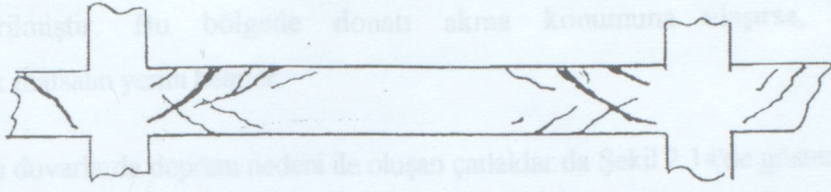
Momentin maksimum olduğu bölgede gözlenen büyük çatlak genişlikleri genelde çekme donatısının akmış olduğunu gösterir. Donatının akması sonucu sehimde de aşırı büyüme olur (sehim gözle görülür). Kiriş kırılma konumuna yakınsa, başka bir deyişle basınç bölgesinin ezilmesi yakınsa, çatlak genişliği çok artmıştır ve çatlak en dış basınç yüzüne yaklaşmıştır. Basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile, varsa basınç donatısı da burkular.



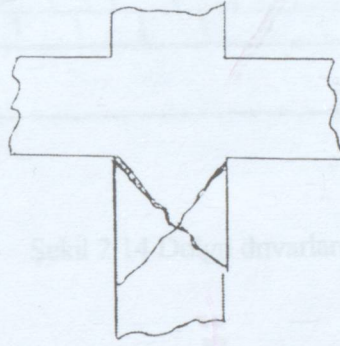
Şekil 2.10 Kirişteki eğilme çatlakları

Şekil 2.11 ve 2.12'de kiriş ve kolonda kesme çatlakları gösterilmiştir. Bu tür çatlak eğiktir ve yaklaşık kiriş eksenine 45° 'lik bir açı yapar. Kesme çatlağının genişliğinin fazla olması kesme donatısının yetersiz kaldığını gösterir. Bu duruma gelmiş bir kesme çatlağı tehlikelidir. Eğilme çatlama oluşmasının neden olacağı kırılmanın sünek olmasına karşın, kesme çatlağının neden olacağı kırılma son derece gevrek olabilir. Bu nedenle bu gibi durumlarda bir an önce önlem alınmalıdır (kirişin dikmelerle desteklenmesi gibi).

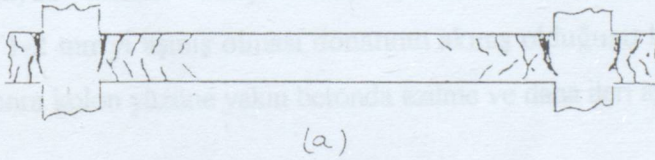
Depremde kiriş ve kolon uçlarında eğilme nedeniyle oluşan çatlaklar Şekil 2.13(a) ve (b)'de



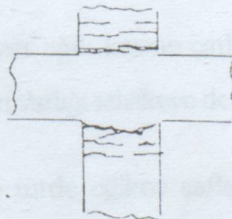
Şekil 2.11 Kirişteki kesme çatlakları



Şekil 2.12 Kolondaki kesme çatlakları



(a)

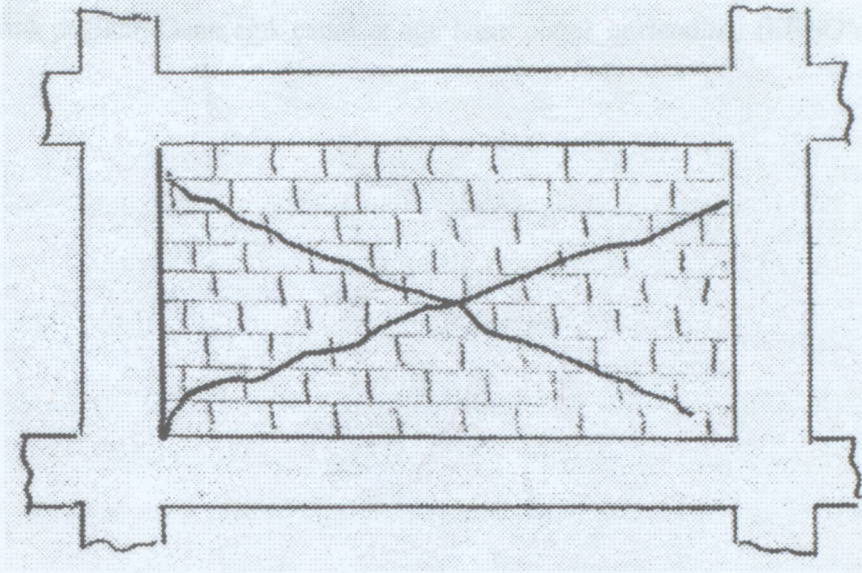


(b)

Şekil 2.13 Kiriş ve kolon uçlarındaki eğilme çatlakları

gösterilmiştir. Bu bölgede donatı akma konumuna ulaşırsa, söz konusu çatlaklar plastik mafsallın yerini belirler.

Dolgu duvarlarda deprem nedeni ile oluşan çatlaklar da Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Dolgu duvarlarda oluşan çatlaklar

2.2.2 Hasar Türleri

Burada çok sık rastlanan hasar türleri kısaca irdelenecektir.

Kirişlerde eğilme veya kesme hasarları yaygındır. Kirişin eğilmeden ağır hasarlı sayılabilmesi için Şekil 2.13(a)'da mesnet dolaylarındaki çatlakların çok genişlemiş olması gerek. Çatlak genişliğinin 1-2 mm'yi aşmış olması donatının akmış olduğunu kanıtlar. Donatı akma konumuna ulaştıktan sonra kolon yüzüne yakın betonda ezilme ve daha ileri aşamada boyuna donatıda burkulma görülür.

Kirişte, Şekil 2.11'dekine benzer eğik kesme çatlakları varsa ve bu çatlaklar genişlemişse, ağır hasar vardır. Geniş kesme çatlaklarının varlığı tehlikeye de işaretir.

Kolonlarda Şekil 2.13(b)'deki türde eğilme çatlakları genişlemişse o bölgede boyuna donatı akmış demektir. Daha ileri bir aşamada beton ezilmiş ve boyuna donatı burkulmuşsa, hasar ağırdır.

Kolonlarda oluşan eğik kesme çatlakları (Şekil 2.12), o bölgede yeterli etriye yoksa ani ve gevrek kırılmaya neden olur. Kolonda gelişmiş, genişlemiş kesme çatlakları ağır hasarın işaretidir.

Perde duvarlarda Şekil 1.7(a)'da gösterilen türde çatlaklar, eğilme çatlaklarıdır. Bu çatlaklar

genişlemişse, donatı akma konumuna erişti demektir. Eğer duvardaki eğilme çatlakları nedeniyle donatı akmış ve perde uçlarındaki beton ezilmeye başlamışsa, hasar ağırdır. Özellikle boyuna donatıda gözlenen burkulma, ağır hasar işaretidir.

Perde duvarda Şekil 1.7(b)'de gösterilen türde eğik kesme çatlakları oluşabilir. Bunlar kılcal düzeyde kalırsa, kritik değildir. Geniş eğik çatlaklar ağır hasar olarak nitelendirilir.(ERSOY 1996)

3. ZEMİN SORUNLARI

Zeminler mühendislik davranışı olarak iki ana gruba ayrılmaktadır: i. Kohezyonlu zeminler (killer); ü. Kohezyonsuz zeminler (kumlar). Yaygın olarak rastlanılan şilt türü zeminler ise plastiklik özelliklerine göre bu iki gruptan birine dahil edilmektedir.

Deprem hareketinin yarattığı tekrarlı yüklemeler zeminlerde boşluk suyu basınçlarının yükselmesine neden olmaktadır. Boşluk suyu basınçlarındaki bu artış Normal Konsolide (nispeten yumuşak) killerde kayma dayanımında önemli ölçüde bir azalma ve yumuşamaya neden olmakta ve zeminin gerek kısa sürede gerekse uzun sürede taşıma gücü kaybına neden olmaktadır.

Boşluk suyu basınçlarının artması suya doygun siltli, kumlu zemin tabakalarında daha etkin rol oynamaktadır. Deprem ivmesine, zemin türü ve sıklığına, zeminin yüzeyden derinliğine, yeraltı suyu tablasına bağlı olarak oluşan dinamik boşluk suyu basınçları zemindeki efektif gerilmeleri sıfır değerine kadar indirgeyebilmekte ve sonuçta zemin mukavemetini tamamen kaybederek sıvı gibi davranmaktadır. Yatay zemin tabakalarında yer alan kumlu zeminlerin sıvılaşması sonucu binalar zemin içine batmakta, dönmekte, aşırı oturmalar meydana gelebilmekte veya zemin içine gömülü yapılar zemin yüzüne çıkabilmektedir. Genellikle zemin yüzeyinden 10-15m derinliklerde yer alan su tablası altındaki gevşek siltli kum ve kumlar yüksek oranda sıvılaşma potansiyeline sahiptir.

Zeminlerin sıvılaşma potansiyeli gözlemlere dayalı ampirik yöntemlerle belirlenmektedir. Sıvılaşma kriterleri genellikle standart penetrasyon (SPT) veya konik penetrasyon (CPT) deneylerinde ölçülen zemin dirençleri cinsinden ifade edilmektedir. En yaygın olarak kullanılan ve SPT direncine bağlı sıvılaşma potansiyeli abağı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu abakta düşey eksen tekrarlı yük kayma gerilmesinin efektif düşey gerilmeye oranı; yatay eksen ise zeminin SPT ile ölçülen direncidir. Tekrarlı kayma gerilmesi oranı γ :

$$\gamma = 0.65 \frac{a_{\max} G_0}{g G_0'} r_d$$

bağıntısından hesaplanmakta olup,

$a_{\max}$ = zemin yüzeyindeki deprem ivmesi

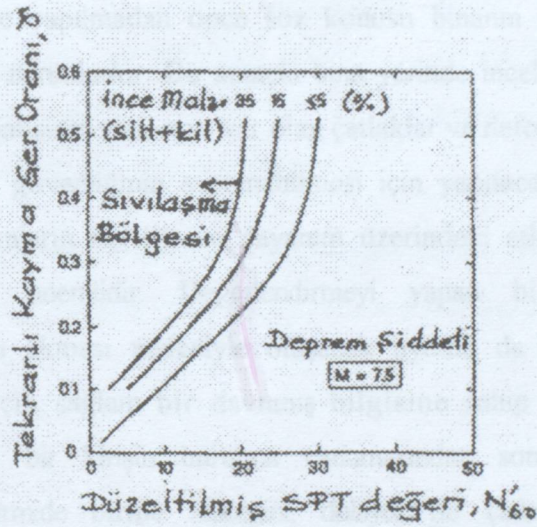
g = yerçekimi ivmesi

$GO, GO' =$ zemindeki toplam ve efektif gerilme

$r_d =$ derinlik faktörüdür.

Bu abaktan da görüldüğü gibi sıvılaşma potansiyeli deprem ivmesi (a/g), derinlik (GQ), yeraltı suyu durumu (GO / GO'), zemindeki ince malzeme oranı (kil+silt) ve zemin direncine (N_{60}) bağlıdır.

Marmara 1999 depreminde yerleşim bölgelerinin çoğunlukla yumuşak/gevşek şilt ve kumların olduğu akarsu sedimanları üzerinde yer alması nedeniyle yoğun olarak sıvılaşma problemi yaşanmıştır. Sıvılaşma potansiyeline karşı alınacak önlemler kapsamında, sıvılaşma bölgesini geçen derin temeller veya çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri (taş kolonlar, derin sıkıştırma metodları vb.) söz konusudur. (TANKUT 1993)



Şekil 3.1 Sıvılaşma potansiyeli abacı

4. BETONARME YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1 Genel

Bu bölümde onarım ve güçlendirme yöntemlerine girmeden önce birkaç tanım yapmak uygun olacaktır.

Güçlendirme, hasar görmemiş bir yapı veya yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Burada anahtar sözcük, "Hasarsız" dır.

Onarım, hasar görmüş bir yapı veya yapı elemanını öngörülen bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Anahtar sözcük "Hasarlı" dır.

Hasar görmüş yapılarda onarımın yanı sıra güçlendirme de yapılabilir.

Onarım ve güçlendirme yapılmadan önce söz konusu binanın yapısal açıdan o andaki durumunun saptanması zorunludur. Bu amaçla bina yerinde incelenir. İnceleme yapılırken eleman boyutları ve donatısının yanı sıra, var olan çatlaklar ve deformasyonlar da işaretlenir. Binanın o andaki yapı güvenliğinin saptanabilmesi için yapılacak yapısal çözümlemede, çatlama ve deformasyonların rijitlik ve dayanım üzerindeki etkilerini kestirebilmek için davranış bilgisi çok önemlidir. Değerlendirmeyi yapan bir mühendisin çatlama, deformasyon ve donatı akması nedeniyle oluşacak uyumu da (redistribution) gerçekçi olarak saptayabilmesi için sağlam bir davranış bilgisine sahip olması gerekir. Örneğin, normal donatıya sahip bir kirişin burulma çatlamasından sonra, burulma rijitliğinin çatlama rijitliğinin yirmide birine ineceğini, dolayısı ile çatlama kesitin mafsalları gibi davranarak kirişin daha fazla burulma momenti almasına engel olacağını ve sistemde büyük çapta uyum olacağını bilmesi gerekir. Benzer bir biçimde, döşemenin zımbalama dayanımında ve konsolun eğilme davranışında uyum olamayacağını da bilmelidir. Binanın var olan durumu ile yapı güvenliğinin belirlenmesi de davranış bilgisini zorunlu kılar.

Onarım ve güçlendirme için yapılan işlemlerin eleman rijitliklerine ve binanın rijitlik merkezine etkisinin saptanması, yapı güvenliğinin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Onarım ve güçlendirmeyle kompozit hale gelmiş elemanların rijitliklerinin kestirilmesi sağlam bir davranış bilgisi olmadan yapılamaz.

Hasar görmüş bir yapıda onarım yapılmadan önce mutlaka hasar nedeni ile ilgili gerçekçi bir teşhis (tanı) yapılmalıdır. Teşhis yapılmadan yapılan onarımın yararlı olacağı kuşkuludur. Bazı durumlarda teşhis konulmadan yapılan onarım yarar yerine zarar bile getirebilir.

Nitekim deprem sonrası yapılan incelemelerde teşhis konulmadan yapılan yanlış onarımların büyük hasara neden olduğu gözlenmiştir. Teşhisin doğru yapılabilmesi ancak sağlam bir davranış bilgisi ile mümkündür. Teşhiste en güvenilir veri çatlak ve deformasyondur. Çatlak betonarmenin bir anlamda dilidir. Tıp doktoru nasıl teşhis koymadan hastayı dinlerse, mühendis de çatlak ve deformasyonları incelemelidir.

Depreme karşı yapılacak onarım ve güçlendirmede belgeler üzerinde ve yerinde yapılacak incelemeler tamamlandıktan sonra, mevcut yapıdaki yapı güvenliğinin saptanması gerekir. Bu saptanma yapılırken, bir önceki bölümdeki üç koşul (dayanım, süneklik ve sınırlı yanal ötelenme) temel alınmalıdır. Onarım veya güçlendirme yapılarak değiştirilen yapı için de bu koşulların sağlandığı mutlaka kanıtlanmalıdır.

Onarım ve güçlendirme, kolon, kiriş ve perde gibi yapı elemanlarına uygulanabilir. Ancak bazı durumlarda eleman onarımı veya güçlendirmesi yerine, "sistem iyileştirilmesine" gidilmesi gerekebilir. Sistem iyileştirilmesi, mevcut çerçevelerin arasına yerleştirilecek perde duvarlarla (yerinde dökme veya prefabrik) veya çelik çaprazlarla yapılır. Sistem iyileştirilmesini gerektiren durumlar şöyle özetlenebilir.

- Onarılacak veya güçlendirilecek çok sayıda yapı elemanı vardır. Örneğin, binadaki hiçbir kolon ve kirişte sargı donatısı yoktur. Tüm elemanların onarılması veya güçlendirilmesi çok külfetli ve zaman alıcıdır.
- Yapı, yeterli yanal rijitliğe sahip değildir.
- Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan yumuşak kat, zayıf kat, kısa kolon gibi önemli sistem zayıflıkları vardır.

Betonarme dolgu duvarlarda sistem iyileştirilmesi yapıldığında, tüm yatay kuvvet dolgulu çerçeve tarafından alındığında, çerçeve elemanlarının onarılıp güçlendirilmesine gerek kalmaz. Bu hem parasal, hem de zaman açısından büyük bir avantajdır. Ancak ağır hasar gören kolonların onarılması gerekir. Sistem iyileştirilmesi depreme karşı çok pratik ve güvenilir bir onarım ve güçlendirme yöntemidir.

4.2 Yapı Elemanlarının Onarımı/Güçlendirilmesi

Deprem sonrasında binada yalnızca bazı elemanlar hasar görmüşse veya bazı zayıflıklar içeriyorsa, buna karşın diğerleri yönetmelik koşullarını sağlıyorsa, bina sistem olarak yeterli yanal rijitliğe sahip ve iyi ise o elemanların onarımı/güçlendirilmesi yeterli olabilir. Benzer

biçimde değerlendirilen bir yapıda sorun bazı yapı elemanları ile sınırlıysa eleman bazında güçlendirme yapılabilir. Bu bölümde kiriş ve kolonlara uygulanan onarım/güçlendirme yöntemleri kısaca tanıtılacaktır.

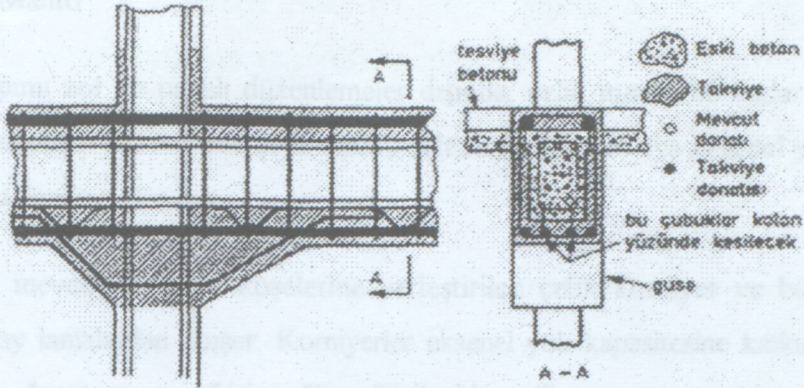
4.2.1 Kirişler

Kiriş onarım ve güçlendirmesinde çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan biri, yüksek dayanımlı yapıştırıcılar kullanılarak yapıştırılan çelik plaka veya karbon lifleri ile kiriş kapasitesini artırmaktır. Yapıştırılan plaka belirli bir yerde kesileceğinden, soruna betonarme donatısının kesilmesi ile paralellik kurarak bakılabilir. Önemli olan, plakayı gereksinme duyulmayan noktada kesmemek, yaklaşık bu noktayı kiriş derinliği kadar geçtikten sonra kesmektir. Plakanın kesildiği yerde gerilme yığılmaları olacağından, bu uçlara birer kelepçe geçirerek kiriş gövdesine bağlamak gerekir.

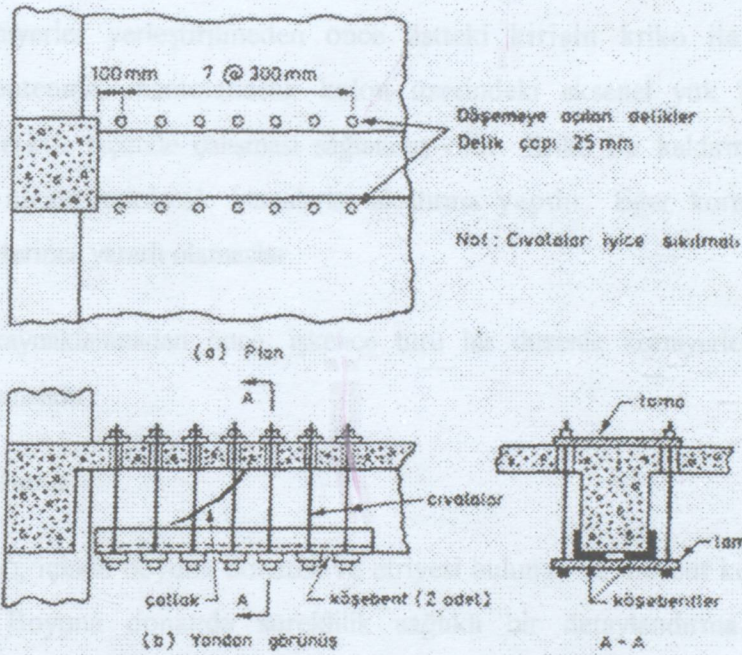
İkinci yöntem, tam veya kısmi manto uygulamaktır. Tam manto Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu şekilde çeşitli olanaklar birarada gösterilmiştir. Örneğin çoğu kez guse yapmaya gerek yoktur. Kiriş mantolamanın en büyük avantajı, mantoya hem boyuna donatı, hem de etriye yerleştirmek olanağı olduğundan, eğilme dayanımı yanında kesme dayanımı da artırılabilir. Doğal olarak mantoyu kısmi manto olarak altta veya üstte uygulamak da mümkündür. Manto yapılırken yeni yerleştirilen manto donatısı ile mevcut boyuna donatı arasında bir bağ sağlanması uygun olur. Bu bağ, boyuna donatılara kaynaklanan U ve Z çubukları ile sağlanabilir.

Onarım/güçlendirme ile kirişin eğilme kapasitesi artırılırken, bunun depremde sınır durumda kirişe etkiyecek kesme kuvvetini artıracığı unutulmamalıdır. Kapasite tasarımı yaklaşımı ile onarım/güçlendirme sonrasındaki kesme güvenliği mutlaka kontrol edilmelidir.

Şekil 4.2'de özel bir güçlendirme yöntemi gösterilmektedir. Bu yöntemle birkaç binada kesme çatlağı bulunan kirişler onarılıp güçlendirilmiştir. Burada temel ilke, cıvatalardan oluşan dış etrilyelerle kesme dayanımını artırmaktır.



Şekil 4.1 Tam manto kesiti



Şekil 4.2 Civatalarla güçlendirme

4.2.2 - Kolonlar

Betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesinde iki ayrı tür manto uygulanabilir; (a) çelik manto ve (b) betonarme manto. Manto türü seçilirken amaç iyi belirlenmeli ve çelik veya betonarme mantının bu amaca uygun olup olmadığı saptanmalıdır. Her iki tür mantının tasarımı kadar yapımı da büyük önem taşır. Onarım/güçlendirme projesinde detaylar, yapımda ise bilinç ve titizlik çok önemlidir. Küçük bir detay hatası veya yapımdaki küçük bir hata, mantoyu etkisiz kılabilir.

(a) Çelik Manto

Çok özel, yapımı zor ve pahalı düzenlemeler dışında, çelik manto ile katlar arası moment aktarımı sağlanamaz. Bu nedenle çelik manto salt sünekliği ve-veya eksenel yük kapasitesini artırmak için kullanılır.

Çelik manto, mevcut kolonun köşelerine yerleştirilen çelik korniyer ve bunları kaynakla birleştiren yatay lamalardan oluşur. Korniyerler eksenel yük kapasitesine katkıda bulunurken, yatay lamalar dıştan sargı etkisi sağlar. Tipik bir çelik manto uygulaması Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Korniyerler aşağıda ve yukarıda rijit çelik plakalara yaslanmalı ve iyice sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırma, korniyerler yerleştirilmeden önce üstteki kirişin kriko ile kaldırılması ile sağlanır. Bu yöntemde, mantolanacak kolon üzerindeki eksenel yük kaldırılacağından, mantonun daha etkili biçimde çalışması sağlanmış olur. Kriko ile kaldırma yapılamıyorsa, alttaki plakanın altına çakılacak kamalarla sıkıştırma yapılır. Eğer korniyerler yeterince sıkıştırılmazsa, yeterince yararlı olamazlar.

Yatay lamalar kaynaklanmadan önce, işkence türü bir düzenle korniyerlerin kolona iyice yaslanması sağlanmalıdır.

(b) Betonarme Manto

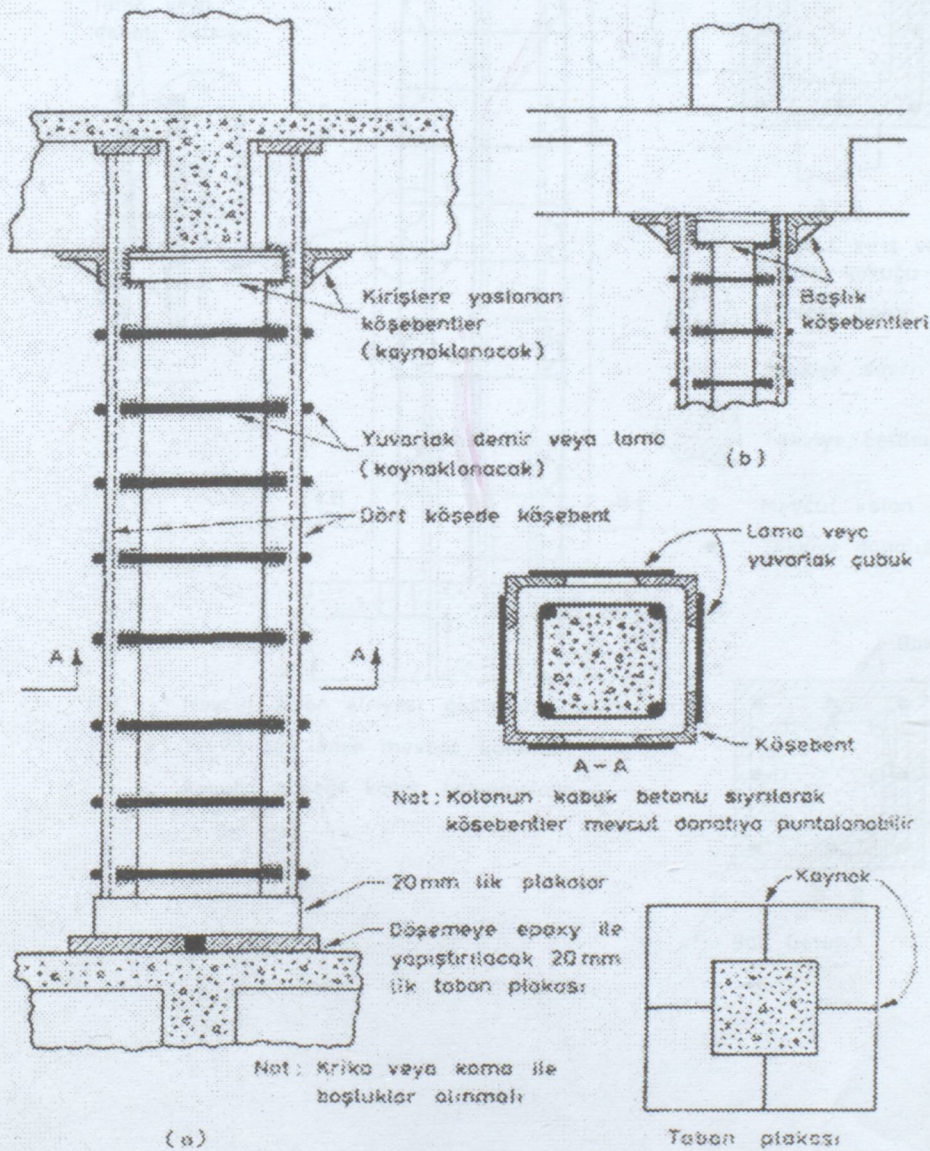
Betonarme manto, içinde boyuna donatısı ve etriyesi bulunan ve mevcut kolonu saran yeni bir katmandır. Boyuna donatıda süreklilik sağlıklı bir detaylandırma ile sağlanırsa, katlararası moment aktarımı mümkün olur. Betonarme manto uygulanmadan önce, mevcut kolonun kabuk betonu kırılmalı ve en az yeni boyuna donatının yarısı U veya Z çubuklarla mevcut boyuna donatıya kaynaklanmalıdır. Tipik bir betonarme manto Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Gösterilen mantoda, delinen döşemelerden manto boyuna donatısı bir yukarı ve bir aşağı kata geçirilerek süreklilik dolayısıyla moment aktarımı sağlanmıştır. Bu, her zaman mümkün olmayabilir. Donatı sürekli yapılamıyorsa kirişe Hilti ile açılacak deliklere filiz yerleştirilerek bunların epoxy ile kenetlenmesi sağlanır. Delik derinliği donatı çapının 15 katından az olmamalıdır. Delik çapı da donatı çapından yaklaşık 5 mm daha büyük olmalıdır. Donatı sürekliliğini sağlamak için kullanılan diğer bazı düzenlemeler Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Betonarme manto ile kolonun hem eksenel yük kapasitesi, hem de moment kapasitesi

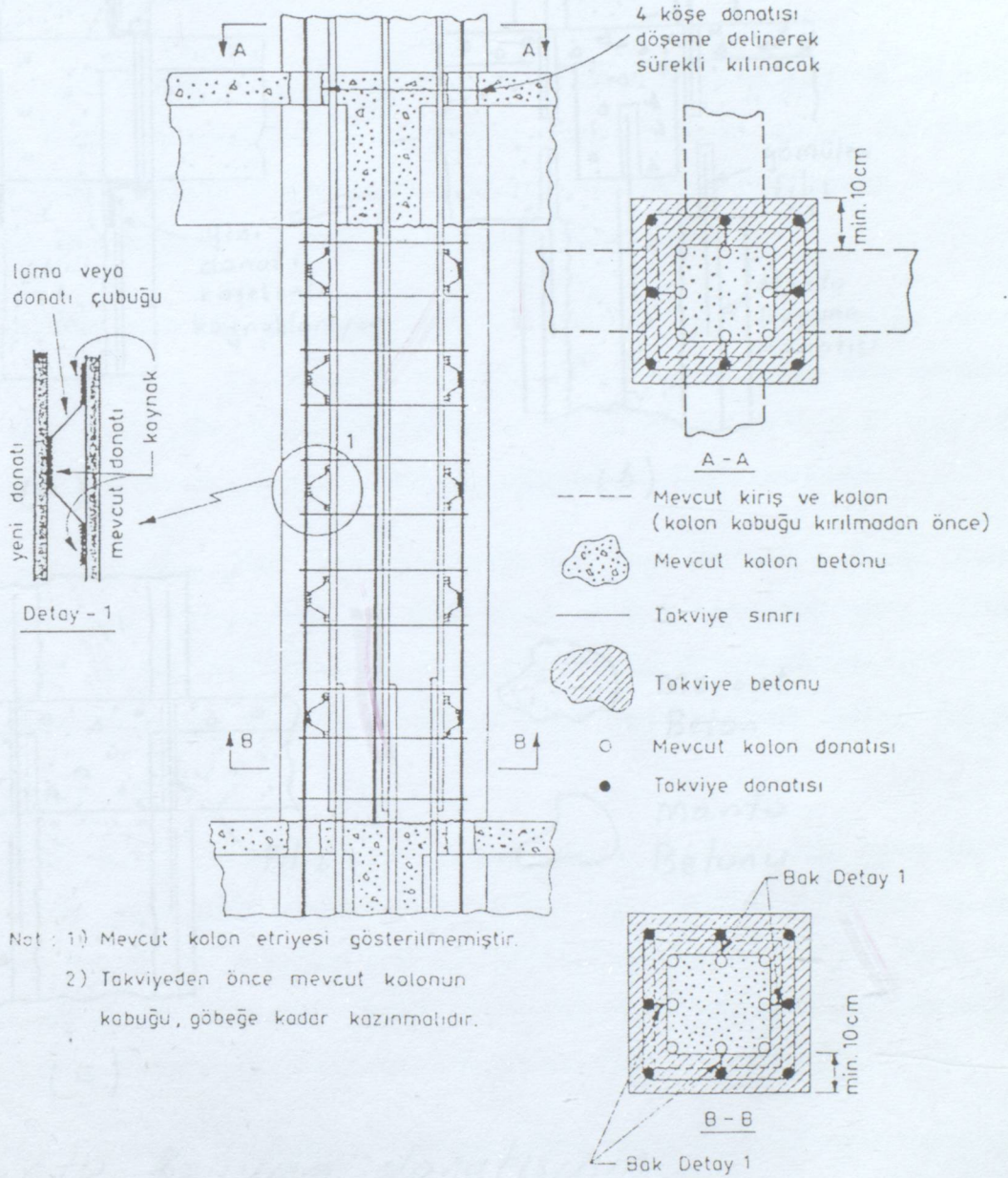
artırılabilir. Şekil 4.2'de gösterilen manto ara boyuna donatısı özel ankrajla mevcut betona tutturulmamışsa manto ile sağlanan ek süneklik sınırlı olur.

Mantonun etriyelerini genelde iki parçadan yapmak uygun olur. Bu iki U şeklindeki parça montaj aşamasında kaynaklanır.

Mantonun kalıbı, üç yüzünde tam yapılırken dördüncü yüzde yarım yapılmaktadır. Amaç, mantoyu iki aşamada dökerek betonun iyi yerleşmesini sağlamaktır. Ayrıca en üstte 100 mm kadar bir bölümün boş bırakılması ve bir hafta kadar sonra burayı büzülmeyen özel harçla (non-shrink morlar) doldurulması mantonun daha etkili çalışmasını sağlayacaktır.

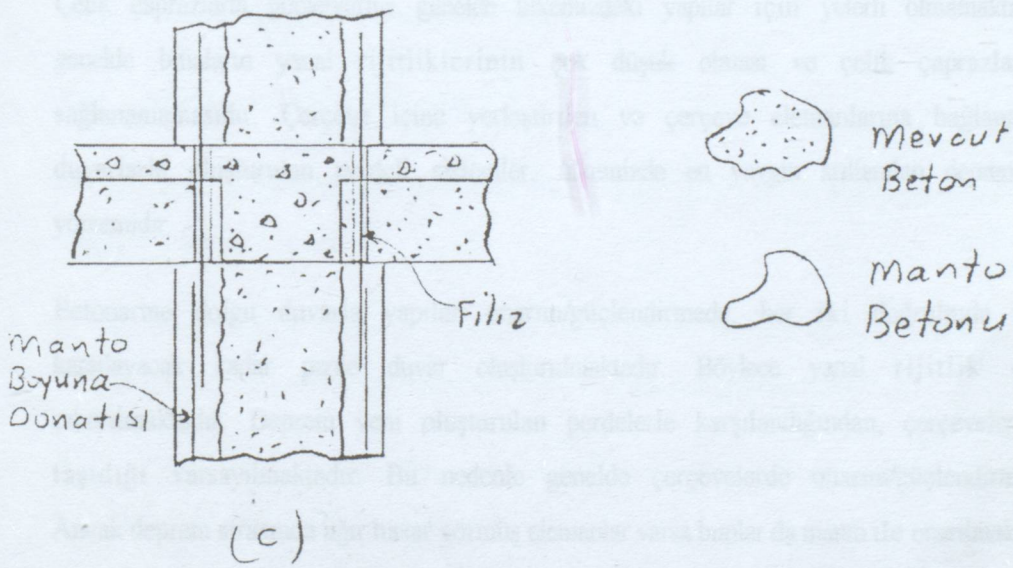
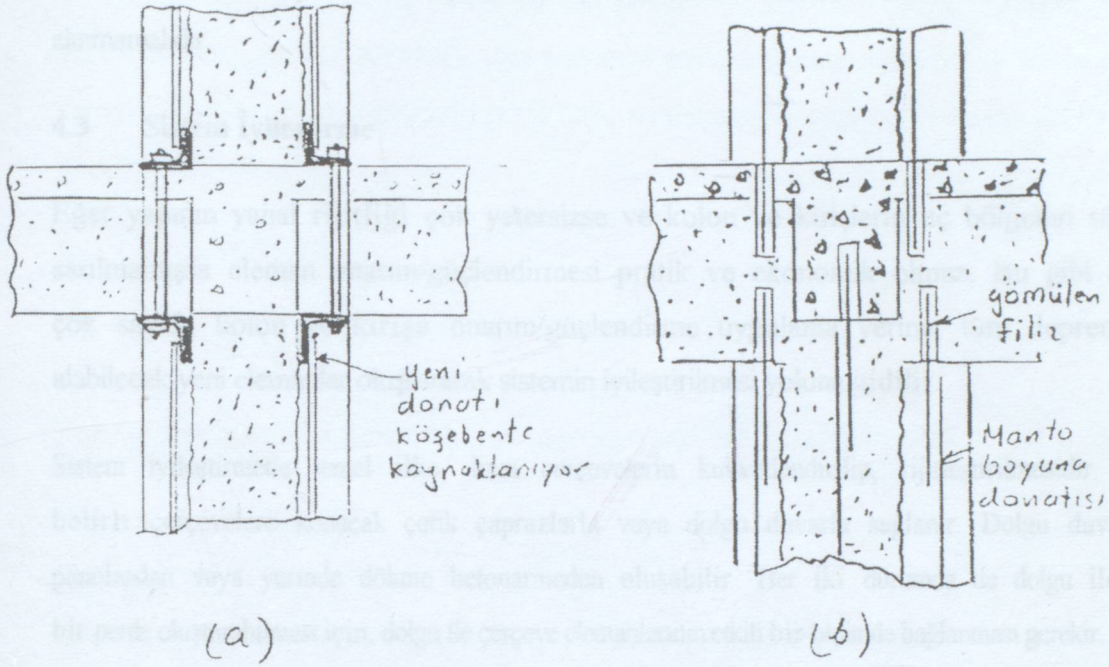


Şekil 4.3 Çelik manto uygulaması



Şekil 4.4 Betonarme manto uygulaması

(c) Diklat Edilecek Bir Husus



Manto boyuna donatısının
sürekliliğinin sağlanması
için yapılabilecek düzenlemeler.

Şekil 4.5 Manto donatısındaki düzenlemeler

(c) Dikkat Edilecek Bir Husus

Eğer onarım mantosu yapılmadan önce krikolarla kolonun eksenel yükü kaldırılmamışsa, mantolu kolonun eksenel kapasitesi hesaplanırken içindeki mevcut kolonun beton ve donatı alanı dikkate alınmamalıdır.

4.3 Sistem İyileştirme

Eğer yapının yanal rijitliği çok yetersizse ve kolon ve kirişlerin uç bölgeleri sık etriye ile sarılmamışsa eleman onarım/güçlendirmesi pratik ve ekonomik olmaz. Bu gibi durumlarda çok sayıda kolon ve kirişe onarım/güçlendirme uygulama yerine, tüm deprem kuvvetini alabilecek yeni elemanlar oluşturarak sistemin iyileştirilmesi yoluna gidilir.

Sistem iyileştirmede temel ilke, bazı çerçevelerin kuvvetlendirilip, rijitleştirilmesidir. Bu işlem, belirli çerçevelere konacak çelik çaprazlarla veya dolgu duvarla sağlanır. Dolgu duvar prefabrik panolardan veya yerinde dökme betonarmeden oluşabilir. Her iki durumda da dolgu ile çerçevenin bir perde oluşturabilmesi için, dolgu ile çerçeve elemanlarının etkili bir biçimde bağlanması gerekir.

Çelik çaprazlarla güçlendirme genelde ülkemizdeki yapılar için yeterli olmamaktadır. Bunun nedeni, genelde binaların yanal rijitliklerinin çok düşük olması ve çelik çaprazlarla yeterli rijitlik sağlanamamasıdır. Çerçeve içine yerleştirilen ve çerçeve elemanlarına bağlanan betonarme dolgu duvarlarla oluşturulan perdeli sistemler, ülkemizde en yaygın kullanılan deprem onarım/güçlendirme yöntemidir.

Betonarme dolgu duvarla yapılan onarım/güçlendirmede, her iki doğrultuda tüm deprem etkisini karşılayacak kadar perde duvar oluşturulmaktadır. Böylece yanal rijitlik de istenen düzeye çıkarılmaktadır. Deprem yeni oluşturulan perdelerle karşılandığından, çerçevelerin salt düşey yük taşıdığı varsayılmaktadır. Bu nedenle genelde çerçevelerde onarım/güçlendirme gerekmemektedir. Ancak deprem sırasında ağır hasar görmüş elemanlar varsa bunlar da manto ile onarılmaktadır.

Dolgulu çerçeve ile onarım / güçlendirme ülkemizde deprem sonrası en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Genelde hasar gören yapılarda hemen tüm kiriş ve kolonların yetersiz olması ve yönetmelik koşullarını sağlamaması, binaların büyük bir çoğunluğunun yanal rijitliğinin düşük olması bu yöntemi çekici kılmaktadır. Dolgulu çerçeve ile onarım/güçlendirme, Erzincan, Dinar ve Ceyhan depremlerinden sonra yaygın olarak kullanılmıştır.

Dolgulu çerçevelerin davranışını anlayabilmek için ODTÜ'de 1970 yılından bu yana yoğun deneysel ve analitik araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların ve o zamandan beri yapılan

uygulamaların ışığında geliştirilen yöntem ve ilkeler aşağıda özetlenmiştir.

Dolgulu Çerçeve için ilkeler, Detaylar ve Öneriler :

a. Her bir doğrultuda oluşturulacak dolgulu çerçeve duvarlarının kesit alanlarının (o doğrultuda yalnız kuvvetli yöndeki perdeler), bina katlarının toplam alanına oranı 0.0025'ten az olmamalıdır. Ayrıca hiçbir zaman o doğrultuda perde kesit alanlarının toplamı, binanın tabandaki kesit alanının 0.01'den az olmamalıdır

$$\Sigma A_w \geq 0.0025 \Sigma A_{pi}$$

$$\geq 0.01 A_{pt}$$

Taşıyıcı yapı zayıflıklar içeriyorsa (yumuşak veya zayıf kat, kısa kolon gibi)

$$\Sigma A_w \geq 0.003 \Sigma A_{pi}$$

alınmalıdır.

ΣA_w - o doğrultuda kuvvetli yönde olan perde duvarların toplam kesit alanı

ΣA_{pi} - tüm katların plan alanlarının toplamı

A_{pt} - binanın tabandaki plan alanı

b. Dolgulu çerçeveler (perde duvar) olabildiğince her iki doğrultuda simetriyi bozmayacak bir biçimde yerleştirilmelidir.

c. Oluşturulacak perdelerde yatay ve düşey yönde iki sıra donatı yerleştirilmeli ve donatı oranı 97 yönetmeliğinde sünek perdeler için öngörülenden az olmamalıdır.

d. Oluşturulacak perdeler, çerçeve kolon ve kirişlerine açılacak deliklere epoxy ile kenetlenen filizlerle bağlanmalıdır.

e. Filizlerin çerçeve elemanlarına gömülme boyu en az 10 ϕ , tercihen 15 ϕ olmalıdır. Delik çapı filiz çapından 5 mm büyük olmalıdır. Filizler nervürlü donatıdan oluşturulmalıdır. Filizler perde içine en az 35 ϕ kadar uzatılmalıdır.

f. Kolon ve kirişe yerleştirilen filizlerin toplam kesit alanı, o yöndeki perde donatısı toplam kesit alanından az olmamalıdır. Bu amaçla genelde ϕ 20/500 filiz yerleştirilmektedir.

g. Perde mutlaka bir temele bağlanmalıdır. Perdenin altında sürekli temel varsa bunlara

açılacak deliklere epoxy ile kenetlenen filizlerle bu perde mevcut temele bağlanmalıdır. Temele açılacak deliğin derinliği en az 20ϕ olmalıdır.

Perdenin altında temel yoksa mutlaka temel yapılmalı ve bu temel dübellerle mevcut temel sistemine bağlanmalıdır.

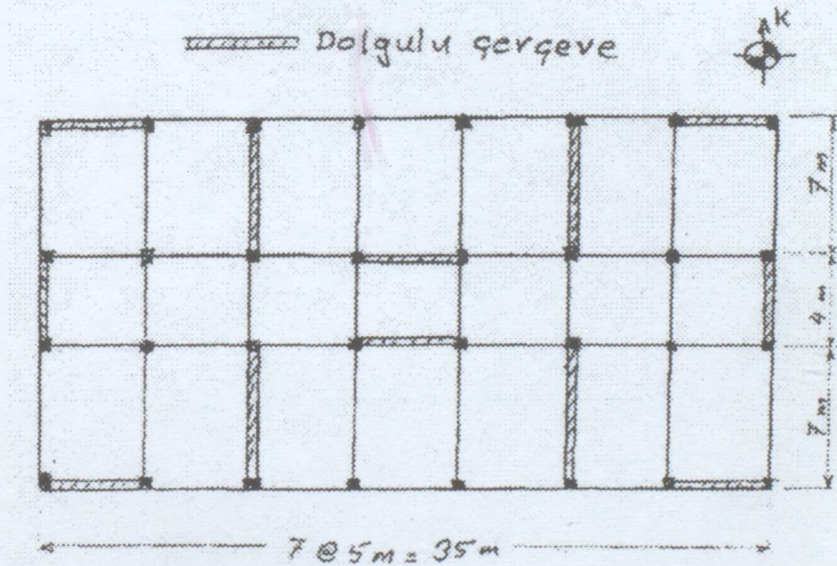
Perdeyi temele bağlayan filizlerin toplam kesit alanı, perdenin düşey donatı alanı toplamının en az iki katı olmalıdır. Temel filizleri perde içine en az 35ϕ uzatılmalıdır. Ceyhan uygulamasında temel filizi olarak $\phi 20/200$ mm seçilmiştir.

Perde uygulaması ve detayı ile ilgili örnekler Şekil 4.6-4.9'da verilmiştir.

Yukarıda öngörülen koşullara uygun dolgulu çerçeve oluşturulursa, hasarlı kolonların salt düşey yük taşıma kapasiteleri kontrol edilecek, gerekirse bu kolonlar güçlendirilecektir.

Perdeye (dolgulu çerçeve) gelen zorlamalar nedeniyle, kesme gerilmesi hiçbir zaman 1.5 MPa (15 kgf/cm^2)'ı geçmemelidir.

Perde yerleştirilirken simetrisinin bozulmamasına olabildiğince dikkat edilmelidir.



Şekil 4.6 Dolgulu çerçeve örneği

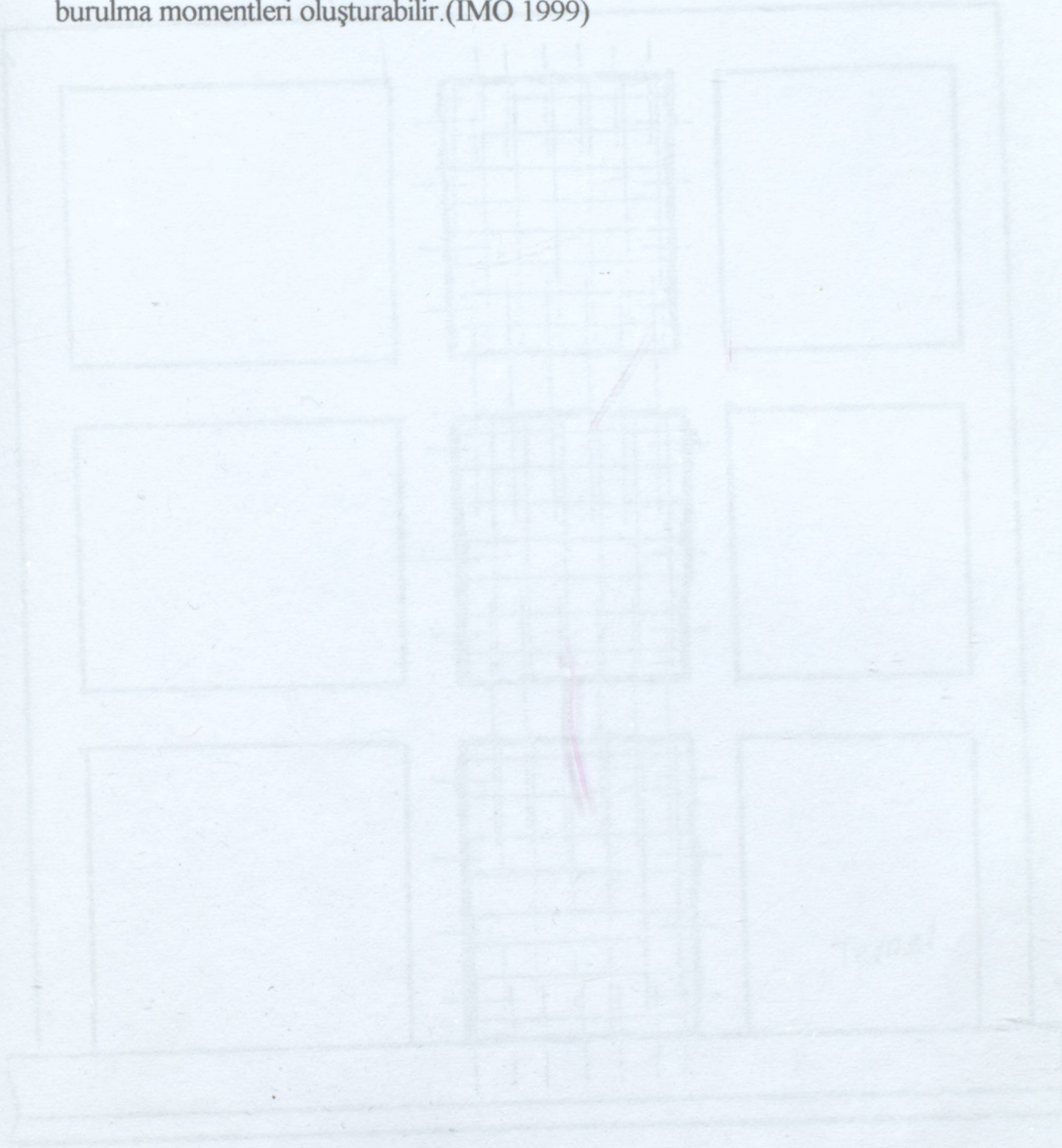
4.4 Uyarı Ve Öneriler

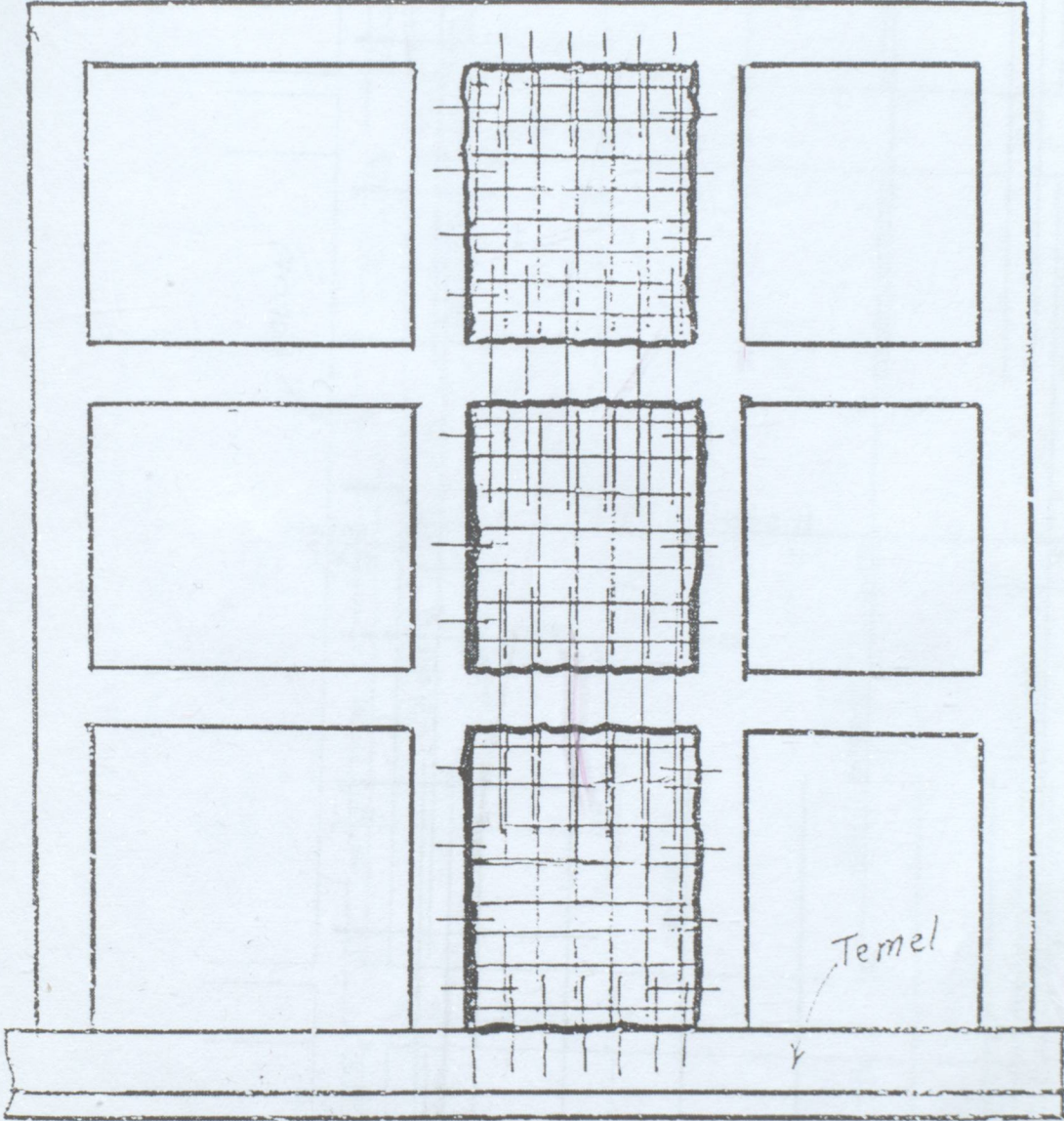
- Bilinçsiz yapılan onarım/güçlendirme yarar yerine zarar getirebilir.
- Kolonların mantolanması yanal rijitliği artırır ve binanın periyodu değişir. Bu değişiklik binaya

daha büyük eylemsizlik kuvvetleri getirebilir. Bu nedenle kontrol yapılmalıdır.

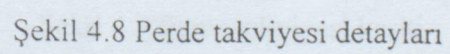
c) Dolgulu çerçeve ile güçlendirilen yapının periyodu büyük oranda değişir. Yeni durum mutlaka kontrol edilmelidir.

d) Mantolanan kolonlar ve/veya oluşturulan dolgulu çerçeveler simetriyi bozarak önemli burulma momentleri oluşturabilir.(İMO 1999)





Şekil 4.7 Perde takviyesi görünüşü



Şekil 4.8 Perde takviyesi detayları



5. DEPREMİN YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Deprem güvenliği olan yapıların tasarımı esasında bir belirsizlikler manzumesidir. Belirsizliklerin iki önemli kaynağı vardır. Birinci derecede önemli belirsizlik kaynağı, deprem yer hareketinin kendisidir. Hiçbir depremde birbirine benzeyen iki ayrı yer hareketi ölçülmemiştir. İkinci derecede önemli belirsizlik ise inşa edilmiş yapıların deprem etkileri altında gösterdiği gerçek dayanımdır. Zira analitik olarak hesapladığımız yapı dayanımı ile gerçek yapı dayanımı arasında önemli farklar olması için ileride sayacağımız pek çok belirsizlik nedeni vardır.

Bu belirsizliklerin tespit edilmesinden sonra karşımıza bir de teknik zorluklar ve yetersizlikler çıkar. Zorlukların temel nedeni, yapı sistemlerinin kuvvetli depremler altındaki özelliklerinin hesaplanabilmesi için üç boyutlu elastik ötesi dinamik analiz yapma kabiliyetinin olmasıdır. Basit bir elastik yapının dinamik analizi dahi oldukça karmaşıktır. Böyle olunca üç boyutlu elastik ötesi dinamik yapı analizi sadece akademik bir hayalden ibaret olmaktadır. Zaten 2000 yılına girerken hala bu işi yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilebilmiş değildir. Olsa bile kaç kişi kullanabilecektir?

Yaptığımız bu karamsar giriş meselenin karmaşıklığını anlamak ve buna karşın yapılabileceklerin sınırlarını çizmek bakımından gerekmiştir. Öncelikle bu meseleyi hassas biçimde bir fizik problemi çözer gibi teorik olarak çözmemizin mümkün olmadığını anlamamız gerekir. İşte mühendisler bu durumlar için gereklidir. Teorik çözümleri olmayan fizik konularına mühendisçe yaklaşmanın yöntemleri vardır. Önce belirsizlikler içinde belirli olan unsurlar dikkatle ayıklanmalıdır. Sonra yaklaşık hesap yöntemleri ile bu unsurların sebep-sonuç ilişkileri kurulmalıdır. Yaptığımız bunca varsayım ve basitleştirme sonucunda elde ettiğimiz çözümlerin ne denli güvenilir olduğunu anlamak ise başka bir meseledir. Bu noktada artık deneyimlerin devreye girmesi gereklidir. Evvelce yapılmış çözümlerdeki yetersizlikler anlaşılmalı ve giderilmeli, böylece daha güvenli bir noktaya ulaşılmalıdır. Diğer bir deyişle, depreme dayanıklı yapı tasarımı eski yıkıntılar üzerine yıkıntı olmamasını umduğumuz yapılar yapmanın çabasıdır. Şimdi bu çabanın hikayesini yazmanın zamanıdır.

Birinci Sorun: Deprem Yer Hareketi Şiddetinin Karmaşıklığı

Kuvvetli bir deprem sırasında yerin gerilen sert dış kabuğu kilometrelerce derinlikteki bir noktadan yırtılmaya başlar ve bu yırtılma fay olarak adlandırdığımız zayıf düzlem boyunca yaklaşık 3 km/saniye hızla ilerleyerek gerilme boşalınca kadar devam eder. 1999 İzmit depreminde birkaç yüzyılda biriken gerilme Kuzey Anadolu Fayı'nın Yalova-Akyazı

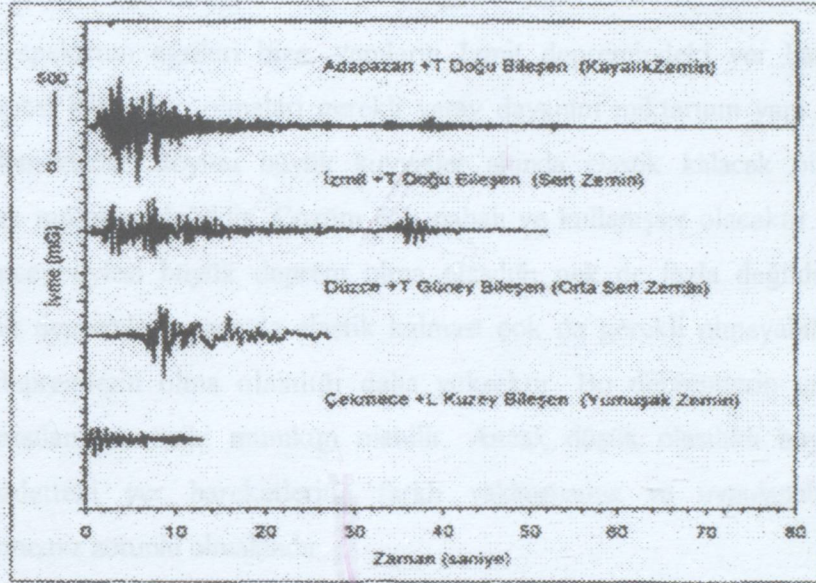
arasındaki 130 km'lik kısmının $130/3 \sim 45$ saniye süren kırılması ile boşalmıştır. Deprem odağı 18 km derinde olduğuna göre kırılan fay yüzeyi yaklaşık 250 km^2 dir. Bu şiddetli kırılma sırasında fay yüzeyinin iki karşılıklı yakası birbirine sürtünerek ayrılır ve fay yüzeyinde titreşim meydana getirir. Titreşimler sismik dalgalar olarak titreşimin kaynağından yer kabuğunun diğer bölgelerine yayılır. Bizim yer hareketi olarak hissettiğimiz ayağımızın veya binamızın altından geçip giden titreşim dalgalarıdır.

Her depremin bir tane büyüklüğü (magnitude) olmasına karşın yer kabuğunun değişik noktalarında hissedilen yer titreşimlerinin farklı şiddetleri vardır. Tıpkı patlayan bir bombanın tek bir patlayıcı miktarı olması, ancak farklı konumlarda değişik basınç yaratması gibi. Depremde enerji kaynağı olan yırtılan faydan yayılan sismik dalgalar, yer kabuğunun oldukça heterojen katmanlarından geçerken çok karmaşık biçimde kırılma ve yansımalara uğrarlar ve yer yüzünün farklı noktalarına çok farklı özelliklerle ulaşırlar. İzmit depremi sırasında depremden çok etkilenen İzmit, Adapazarı, Düzce ve Çekmece 'de kaydedilen yer ivmelerinin Doğu-Batı yönlü kayıtları Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Aynı deprem dört ayrı konumda birbirine hiç benzemeyen yer hareketi sinyalleri yaratmıştır. Bunlar arasında bazı ortak özellikler bulmak mümkündür. Örneğin hepsinin süresinin uzun olması bir büyük depremin göstergesidir (Düzce ve Çekmece kayıtları erken kesilmiştir). Ancak zemin koşullarının rolü de önemlidir. Adapazarı'nda güneydeki kayalık tepeler üzerinde alınan kayıt yüksek frekans içeriği ile zeminin bir özelliğini yansıtmaktadır. Ne var ki Adapazarı'nın yıkılan kesimi zayıf alüvyon üzerindedir ve bu bölgede yer kaydı yoktur. Çekmece 'deki kayıt benzer bir alüvyon tabaka üzerinde alınmıştır ve çok farklıdır. Yüksek frekanslar kaybolmuş, periyodik bir özellik ortaya çıkmıştır. Yer hareketine hakim olan periyod zeminin titreşim periyodunu yansıtmaktadır. Düzce ve İzmit kayıtları ise orta sertlikte zeminlerin özelliklerine sahiptir. Bunlar dışında söylenebilecekler azdır. Artık yer hareketinin mühendisçe tanımını yapmak gereklidir.

Çözüm: Elastik Deprem Spektrumları

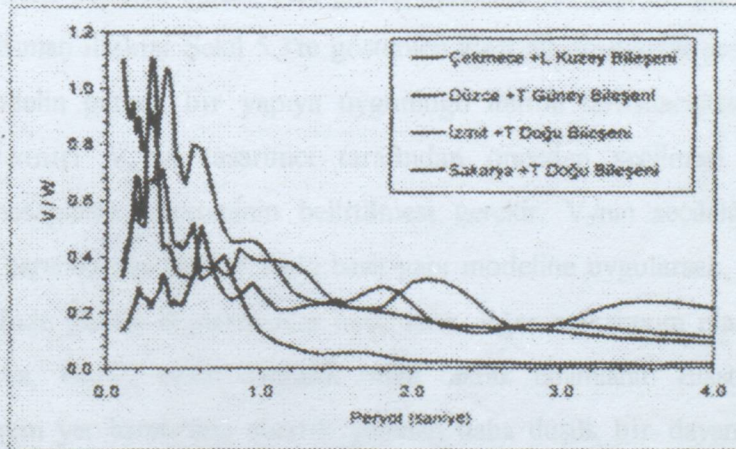
Şekil 5.1'deki karmaşık yer sinyallerini kullanarak bir yapının dinamik analizini yapabiliriz. Ancak bu pek ümitli bir çaba değildir. Öncelikle bu deprem sinyallerinin sonra olacak depremlerdeki hareketleri ne denli doğru temsil edeceği belirsizdir. Sonra herhangi bir yapıyı ayrıntılı olarak modellemek ve dinamik analizini yapmak bize sadece o yapı ile ilgili kısıtlı bilgi verir. Halbuki tasarıma yapıların genel karakterlerinin yansıtılması gerekir. Bu belirsizlikleri çözmede mühendisliğin sunduğu harika çözüm deprem spektrumu'dur. Deprem hareketi sırasında elastik bir yapının öne çıkan ve davranışını kontrol eden temel dinamik özelliği hakim yanal titreşim periyodudur. Karmaşık bir elastik yapıyı sadece hakim yanal titreşim periyoduyla

ifade edilen tek dereceli bir dinamik sisteme indirgeyebilirsek mesele oldukça basitleşecektir. Üstelik tasarım için bu basit sistemde deprem süresi boyunca meydana gelen yatay kuvvetleri ve deplasmanları da bilmemiz gerekemeyebilir. En büyük değerleri bilmek yeterlidir. Eğer basitleşmiş yapıımız deprem sırasında en büyük etkilere karşı elastik kalabiliyorsa, daha düşük etkiler önemli olmayacaktır. İşte hem yapının en basit ifadesi, hem de deprem yer hareketinin yapıdaki etkisinin en basit ifadesi deprem spektrumu tanımında birleşmektedir. Şekil 5.2 İzmit depremindeki dört yer hareketinin elastik yatay kuvvet spektrumlarını göstermektedir.



İzmit depreminde farklı zeminlerde kaydedilen yer hareketleri

Şekil 5.1 İzmit depreminde farklı zeminlerdeki yer hareketlerei



İzmit depremi yer hareketlerinin elastik yatay kuvvet spektrumları

Şekil 5.2 İzmit depreminde yer hareketinin elastik yatay kuvvet spektrumları

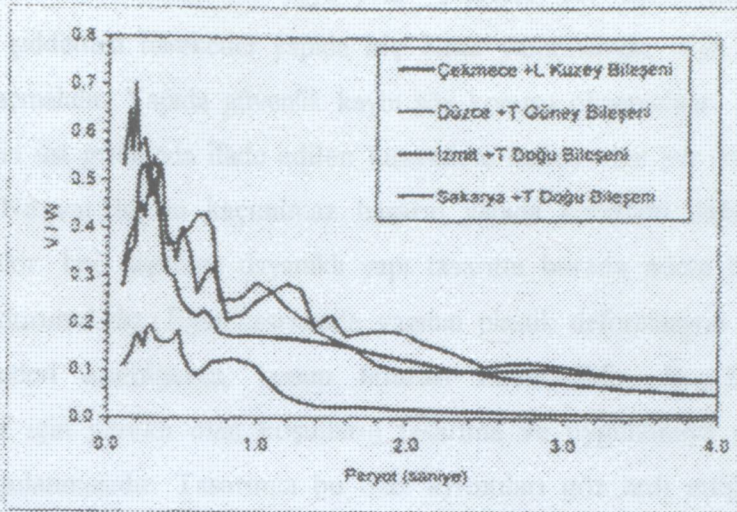
Şekildeki spektrum eğrileri, yer hareketlerinin kaydedildiği zeminlerin özelliklerini bir ölçüde yansıtmaktadır. Sert zeminler kısa periyodlu (az katlı) yapılarda, yumuşak zeminler ise uzun periyodlu (çok katlı) yapılarda daha fazla yatay kuvvet oluşmasına neden olmaktadır. Diğer yandan spektrum eğrileri sadece en yüksek etkileri tanımladığı için depremin süresi burada kaybolmaktadır. Halbuki İzmit depreminin uzun süresi yapı hasarlarının artmasında etkilidir. Demek ki spektrumun getirdiği basitliklerden yararlanırken arada kaybettiği önemli bilgileri de göz önünde bulundurmamız gereklidir.

İkinci Sorun: Elastik Deprem Kuvvetlerinin Yüksekliği

Şekil 5.2'deki spektrum eğrileri bize, yapıların İzmit depremindeki yer hareketleri altında elastik kalabilmesi için sahip olmaları gerekli yatay dayanım miktarının yapı ağırlığından fazla olduğunu söylemektedir. Böylesi büyük kuvvetler altında elastik kalacak bir yapı tasarımı hedeflemek pek mümkün değildir. Çözüm çok pahalı ve kullanışsız olacaktır. Üstelik yapının yaşamı süresince böylesi büyük deprem olma olasılığı pek de fazla değildir. Bu durumda yapıların büyük depremler sırasında elastik kalması çok da gerekli olmayabilir. Aynı süreçte daha küçük depremlerin olma olasılığı daha yüksektir. Bu depremlerin yaratacağı elastik kuvvetlerin karşılanması belki mümkün olabilir. Ancak düşük olasılıklı büyük depremlerin yaratacağı şiddetteki yer hareketlerine farklı yaklaşmamız ve uygulanabilir mühendislik çözümleri getirmemiz zorunlu olmaktadır.

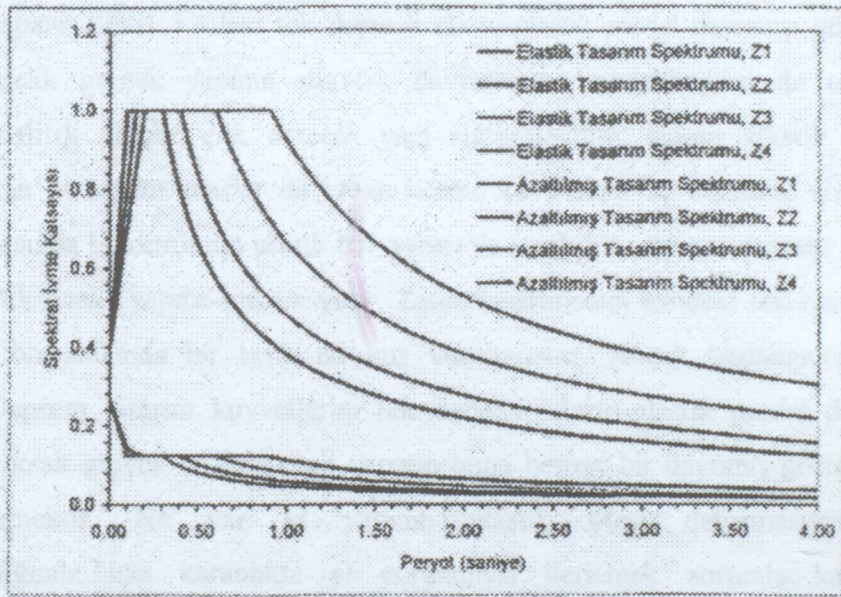
Çözüm: Azaltılmış Tasarım Spektrumları

Tek dereceli basit dinamik yapıımız eğer kuvvetli deprem etkisi altında elastik kalmayacaksa tek çaresi elastik ötesi deforme olmak, yani plastik deformasyon yapmaktadır. Böyle bir sistemin yatay kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 5.3'te gösterilen ideal elasto-plastik yapı modeli ile temsil edilebilir. Bu modelin gerçek bir yapıya uygunluğu ileride tartışılacaktır. Ancak buradaki elastik dayanım sınırı V_e 'nin tasarımcı tarafından önceden seçilmesi veya bir tasarım yönetmeliği ile hesaplama yönteminin belirtilmesi gerekir. V_e 'nin seçildiğini varsayarsak ve Şekil 5.1'deki yer hareketlerini Şekil 5.3'teki basit yapı modeline uygularsak, elastik deplasman sınırı U_e 'nin ötesinde plastik deplasmanlar hesaplarız. Eğer maksimum plastik deplasman U_m olarak hesaplanırsa, U_m/U_e oranı süneklik oranı olarak tanımlanır. Elasto plastik yapıdan beklediğimiz, deprem yer hareketine elastik yapıdan daha düşük bir dayanımda ancak plastik deformasyon yaparak tepki vermesidir. Eğer biraz daha ileri mühendislik yöntemleri kullanırsak, herhangi bir yer hareketi altında elasto-plastik sistemin belirli bir süneklik oranı için ne kadar elastik dayanıma gereksinimi olduğunu hesaplayabiliriz. Hesap sonucunu da elasto-plastik



İzmit depremi yer hareketlerinin elasto-plastik yatay kuvvet spektrumları ($\mu=4$)

Şekil 5.4 Elasto-plastik yatay kuvvet spektrumu($\mu=4$)



Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım Spektrumları

Şekil 5.5 Türkiye deprem yönetmeliği tasarım spektrumları

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri

Şekil 5.5'de iki farklı seviyede deprem etkileri tanımlanmıştır. Tasarım depremi olarak tanımladığımız alt grup spektrumları, yukarı gruptaki spektrum eğrilerini elasto-plastik davranış kabulü ile azaltılması halindedir. Dolayısıyla azaltılmış dayanımlar için tasarlanmış yapılar şiddetli deprem etkisi altında plastik deformasyon yapacak, yani hasar görecektir. Diğer yandan orta veya hafif şiddetli deprem etkilerine hasar görmeden karşı koyabileceklerdir. İşte

deprem tasarımı ilkesi budur. Az veya orta şiddette yer hareketleri daha sık meydana gelebilir. Bu şiddetteki hareketler yapıda hiç hasar yaratmamalı, veya çok hafif, onarılabilir hasarlara yol açmalıdır. Yapıda güvenlik kaybı söz konusu olmamalıdır. Ancak yüksek şiddette, yani Şekil 5.5'in üst grubunda ifade edilen kuvvetlere neden olan yer hareketleri yapıda hasar yaratacaktır. Ne var ki bu kaçınılmaz hasarın yapıda kontrollü dağılması, çökmeye neden olmaması gerekir. İşte depreme dayanıklı yapı tasarımı burada adeta bıçak sırtındadır. Hata kabul etmez durumdadır. Eğer tasarımda yapının plastik deformasyon yapabileceği kabulü ile tasarım kuvvetleri azaltılıyorsa, bunun faturası ödenmelidir. Bu fatura, yapının esnek davranabilmesi için gerekli olan koşulların tasarıma ve uygulamaya yansıtılması, bazı özel detayların uygulanmasıdır. Tasarımcı bu özel ayrıntıları göz ardı ettiği takdirde büyük risk aldığı bilmelidir. Zaten bilinçli bir tasarımcı bunu asla yapmaz, deprem cahili tasarımcılar ise böyle bir riskin ayırdında bile değildir. Onlar cahil cesaretine sahiptir.

Sorun: Tek Dereceli Basit Elasto-Plastik Yapı Modelinin Geçerliliği

Gerçek bir yapının Şekil 5.3'deki tek dereceli elasto-plastik model davranışı göstermesi kolay değildir. Üstelik gerçek yapının plastik davranışının modellenmesi de oldukça zordur. Elimizdeki analitik araçlar çok dereceli yapı sistemlerinin sadece elastik sınırlar içinde analizine imkan verir. Bu sınırlar da taban kesme kuvvetinin V_c değerine ulaşmasına kadar geçerlidir. Esasında bu durumun pratik bir yararı da vardır. Azaltılmış deprem kuvvetleri bize doğrusal elastik analiz yapma imkanı verir. Zaten tasarımcının elindeki tek araç da neredeyse budur. Yani bir anlamda bir taşla iki kuş vurulmuştur. Ancak başlangıçtaki sorun hala mevcuttur. Deprem tasarım kuvvetlerini tek dereceli elasto-plastik model davranışını esas alarak azaltıyorsak gerçek çok dereceli yapının buna benzer bir davranış göstereceğini kabul ediyoruz demektir. Ne var ki yapının elastik ötesi deformasyon özelliklerini hesaplayamadığımız için karanlıkta el yordamıyla ilerlemek zorunda kalırız. Tasarım yönetmelikleri de tasarımcıya buradan sonra pek fazla ışık tutamaz. Bu noktada kötü tasarımcı gözlerini kapar ve işi oluruna bırakır. İyi tasarımcı ise yapısındaki plastik deformasyon mekanizmalarını zihninde canlandırarak tasarım dayanımı V_c 'nin aşılması durumunda yapısının artan kuvvetleri nasıl dağıtacağını ve nasıl deforme olacağını sezmeye çalışır. Tasarımcının bu durumda iki önemli endişesi olması gerekir. Birincisi yapı elastik durumdan plastik duruma dengesini ve kararlılığını yitirmeden geçebilecek midir? İkincisi, plastik durumda artan yatay yükler altında tasarım dayanımını koruyarak sünek biçimde deforme olabilecek midir? Eğer bunu başarabiliyorsa deprem sırasında yön değiştiren yükler altında enerji tüketebilecek ve tasarım sırasında kendisine biçilen R değerini hak etmiş olacaktır. Peki tasarımcı karanlıkta yolunu

nasıl bulacaktır?

Çözüm: Kapasite Tasarımı

Gerçek çok dereceli yapı sistemi elastik dayanım sınırını aşıp plastik duruma geçtiğinde aslında yapıda hasar meydana gelmeye başlar. Yapıda kuvvet dağılımları da doğrusal elastik analiz araçlarıyla hesaplanamaz duruma gelir. Bu durumda yapılacak olan, artan yükler altında hasarın kontrollü biçimde dağılmasını sağlamaktır. Artık doğrusal elastik analiz araçları bir kenara bırakılmalı, hasarın kontrolü için kapasiteler dikkate alınmalıdır. Yapıdaki elemanların belirli hiyerarşik bir sıra içinde ve en fazla süneklik göstereceği kırılma modunda kapasitelerine ulaşmaları istenir. Kapasite tasarımı yöntemi, yapının düşey ve yatay yükler altında kararlılığını yitirmeden plastik deformasyonların tüm elemanlara olabildiğince yayılmasını hedefler. Böylece yapıya yapabileceği en fazla yatay ötelenme imkanı sağlanmış olur.

Kapasite tasarımında, eleman düzeyinde en fazla deformasyona imkan veren sünek kırılma modu eğilmedir. Kesme veya basınç kırılması ise çok gevrektrir. Eleman kapasitelerinin tasarımında basınç ve kesme kapasiteleri eğilme kapasitesinin üstünde tutularak eğilme kırılmasına öncelik verilir. Betonarme elemanlarda eğilme kırılmasının veya kesit akmasının daha da sünek olabilmesi için sargılama donatısı kullanılır. Özellikle kolonlarda sargılama donatısı çok önemlidir.

Yapı sistemi düzeyinde ise artan yatay yükler altında kırılma hiyerarşisinin sağlanması gereklidir. Bir çerçeve sisteminde bunu sağlamanın yolu önce eksenel yük taşımayan ve yapının kararlılığında etkisi az olan kirişlerin akması, sonra sıranın kolonlara gelmesi gerekir. Kolonların da üst katlardan alta doğru akması tercih edilir, ancak alt kat kolonları her zaman daha fazla zorlandığı için bu pek mümkün değildir. Kapasite tasarımında kirişlerin kolonlardan önce akmasını sağlamanın bir yolu, düğüm noktalarında toplam kolon akma kapasitelerini toplam kiriş akma kapasitelerinden yüksek tutmaktır. Eğer çerçeve sistemi yerine perde-çerçeve sistemi kullanılırsa bu durumda daha olumlu plastik deformasyon özellikleri elde edilir. Perde-çerçeve sistemlerinin kırılma hiyerarşisinde önce kirişler, sonra da perde elemanlarında akma olur. Kolonlar daha esnek olduğu için perde aktığında elastik kalırlar ve düşey yükü rahatlıkla taşımaya devam ederler. Böylece kararlılık ve denge kaybına ancak büyük ötelenmelerde ulaşılır. Bu sistemlerde perdenin kesme veya ezilme kırılması moduna girmesi mümkündür. Dolayısıyla perdenin sünek kırılma sağlaması için yapılacak detaylandırma çok önemlidir. Deprem Yönetmeliklerinde bu detaylar verilmektedir. Şekil 5.6'da farklı özelliklere sahip sistemlerin plastik mafsallı oluşturmadaki hiyerarşileri ve buna bağlı olan kapasite eğrileri

gösterilmektedir.(İMO 1999)

Bu bölümde STACAD programına çözümlü yapılacak bina ile ilgili genel bilgiler girilmektedir. Bu bölümde bina türleri, bina sınıfları, bina sınıfları birer birer ifade edilmiştir.

5.2.1. BİNA TÜRÜ

YAPI TÜRÜ

KAT SAYISI

DEPREM KATISI

DEPREM YAPISI

DEPREM YAPISI

ZEMİN PERİYODU

HAREKETLİ YÜK KATSAYISI

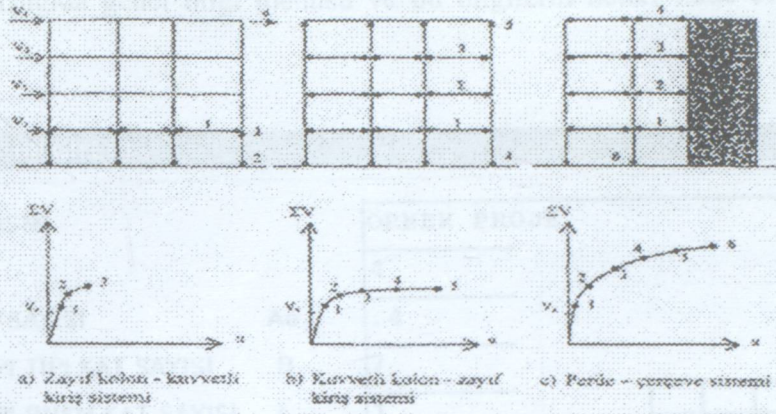
DEPREM YÜKÜ ALT YÜK

ZEMİN YATIRAK KATSAYISI

ZEMİN EMNİYET GERİLMESİ

DEPREM YÜKÜ EKSANTERSİTESİ

ROBAL ANALİZ KİL. YÜK BRANŞ



Farklı yapı türlerinin yıkılma özellikleri

Şekil 5.6 Farklı yapı türlerinin yıkılma özellikleri

Şekil 6.1 Yapı genel bilgileri menüsü

Yapı proje ismi

Projenin 40 karakterlik özel tanımlamasıdır.

Kat sayısı

Yapının toplam kat sayısı

Deprem katsayısı

Deprem bina katsayısı

Deprem yapı tipi katsayısı

Deprem yapı tipi katsayısı, bina türüne göre belirlenir.

Deprem yapı bina katsayısı

Deprem yapı bina katsayısı, bina türüne göre belirlenir.

Zemin periyodu

Deprem yapı bina katsayısı, bina türüne göre belirlenir.

Hareketli yük katsayısı

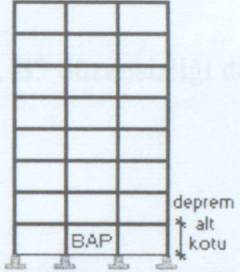
Deprem yapı bina katsayısı, bina türüne göre belirlenir.

Hareketli yük katsayısı, bina türüne göre belirlenir.

6. STA4CAD PROGRAMINA DATA HAZIRLANMASI

Bu bölümde STA4CAD programına çözümü yapılacak bina ile ilgili genel bilgiler girilmektedir. Aşağıda genel bilgi menüsü ve bu bilgilerin neleri ifade ettikleri birer birer ifade edilmiştir.

YAPI GENEL BİLGİLERİ		ÖRNEK PROJE
YAPI PROJE ISMI		4
KAT SAYISI		.4
DEPREM KATSAYISI	Ao	.4
DEPREM YAPI TİPİ KAT SAYISI	R	7
DEPREM YAPI ÖNEM KAT SAYISI	I	1
ZEMİN PERİYODU	Tb	.4
HAREKETLİ YÜK KATSAYISI	n	.3
DEPREM YÜKÜ ALT YÜKSEKLİĞİ	(m)	0
ZEMİN YATAK KATSAYISI	(t/m ³)	3000
ZEMİN EMNİYET GERİLMESİ	(t/m ²)	20
DEPREM YÜKÜ EKSANTİRİSİTESİ		.05
MODAL ANALİZ Min. YÜK ORANI		.9



Şekil 6.1 Yapı genel bilgileri menüsü

- Yapı proje ismi : Projenin 40 karakterlik özel tanımlamasıdır.
- Kat sayısı : Yapının toplam kat sayısı
- Deprem katsayısı : Deprem bölge katsayısı
- Deprem yapı tipi katsayısı : Deprem yönetmeliğinde tanımlanan yapı davranış katsayısıdır.
- Deprem yapı önem katsayısı : Deprem yönetmeliğinde tanımlanan yapı önem katsayısı
- Zemin periyodu : Deprem yönetmeliğinde tanımlanan, zemin cinsine göre alınması gereken T_a - T_b değerlerinin T_b 'ye göre verilmiş değeri
- Hareketli yük katsayısı : Deprem yönetmeliğinde tanımlanan yapı tipine göre alınan hareketli yükün deprem hesabında alınması gereken parametre.

Deprem alt kotu yüksekliği : Yapının her iki yönünde kat yüksekliğinde rijit bodrum perdesi olması durumunda, bodrum üst kat kotu

Zemin yatak katsayısı : Zemin cinsine bağlı olarak alınan zemin yatak katsayısı

Zemin emniyet gerilmesi : Zemin emniyet gerilmesi (t/m^2)

Deprem yükü eksantirisitesi : Deprem eksantirisitesi minimum %5 bina genişliği alınmalıdır, ancak analiz sonuçlarında deprem raporu tarafından uyarı olması durumunda verilen değer alınmalıdır.

Modal analiz min. Yük oranı : Deprem raporunda A1, B2, B3 düzensizliği durumunda β katsayısı 1.0 alınmalıdır.

6.1 Kat Bilgileri

Bu bölümde programa hesabı yapılacak modelin katların kotları, z düzleminde bir referans noktasına göre interaktif olarak girilir. Böylece hem kat kotları hem de kat yükseklik bilgileri tanımlanmış olur. Aynı menüde görüldüğü üzere benzer olan katlar ve kat isimleri de girilebilir.

KAT BİLGİLERİ				
	Kat sembol	Kat koordinatı (m)	Kiris benzer kat çizimi	Kat aplikasyon açıklaması
1. kat	B	3	1	BODRUM
2. kat	Z	6	2	ZEMİN
3. kat	1	9	3	1. NORMAL
4. kat	2	12	3	2. NORMAL
5. kat		0	0	
6. kat		0	0	
7. kat		0	0	
8. kat		0	0	
9. kat		0	0	
10. kat		0	0	

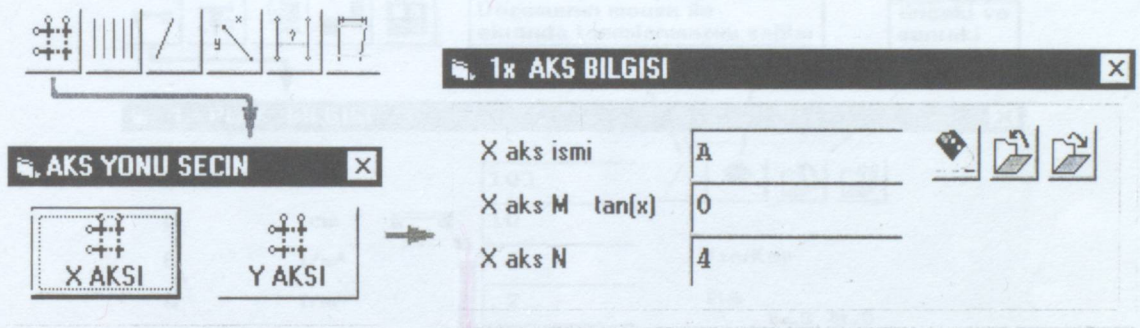
Kısaltılmış kat ismini girin.
Z, B, B1, 1, 2 gibi

Şekil 6.2 Kat bilgileri menüsü

- Kat sembolü : Proje mimari tanımı için kullanılan katın çıkış ve çizimlerinde eleman indislerinin katını tanımlar
- Kat koordinatı : Yapının en alt kotu 0 kabul edilerek verilen katların statik kotu
- Kiriş benzer kat çizimi : Sadece kiriş çizimleri için gerekli olan ve kiriş çizimlerinde aynı açılımda çizimlerin birlikte yapılmasını sağlar.
- Kat aplikasyon açıklaması : Çizimlerin aplikasyon tanımında kullanılır.

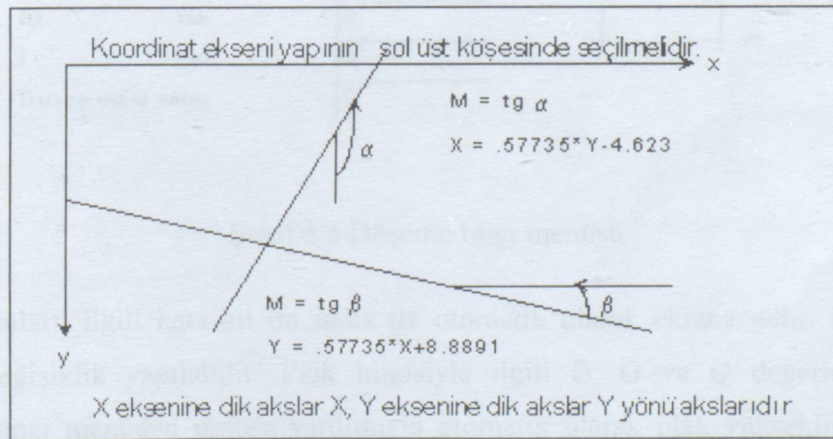
6.2 Aks Bilgi Girişi

Eleman bilgilerinin girilebilmesi için öncelikle akslarının oluşturulması gerekir. Akslar yapının her katında ortak olarak kullanılabilir. Proje uygulamasının başında girilebildiği gibi sonrada girilebilir ve düzeltme yapılabilir.



Şekil 6.3 Aks yönü ve Aks bilgi menüleri

İstenilirse bu bölümden de x, y aksı bilgileri buradan girilebilir. Çizimlerde aksın mimari tanımını sağlayan aks ismi buradan girilebilir..



Şekil 6.4 Eğik aks bilgisi

Modelimizin sağ üst köşesi başlangıçta (0,0) koordinat noktası olarak kabul edilmektedir. Bu başlangıç noktası kullanılarak aks sistemi oluşturulur. Aşağı ve sağ yönlerdeki artışlar pozitif kabul edilir. Gerekli durumlarda negatif mesafe girilerek de aks tanımlaması yapılmaktadır.

Bu programda da her aksın kesişim noktası birer düğüm noktasını ifade etmektedir. Aplikasyonda her elemanın akslarla geometrik yeri tarif edildiği için öncelikle akslar oluşturulmalıdır.

6.3 Döşeme Bilgisi

STA4CAD programında bilgi girişi sırası ile ilgili bir zorunluluk yoktur. Ancak aplikasyonu daha iyi göstermesi açısından önce plakların tercih edilmesi daha uygundur.

YAPIL ELEMENLARI	
PLAK NO	101
D cm	10
G t/m ²	.5
Q t/m ²	.2
Sol aks	1X
Sag aks	2X
Ust aks	1Y
Alt aks	2Y
Yon	0
Kot	0
Bo cm	0
Bt cm	0
t cm	0
Dusey egim yonu	0

UserKey

Plak

Bo=0 Bt=0

Asmolen

Yon=0 Yon=1 Yon=2

x1 x2 y1 y2

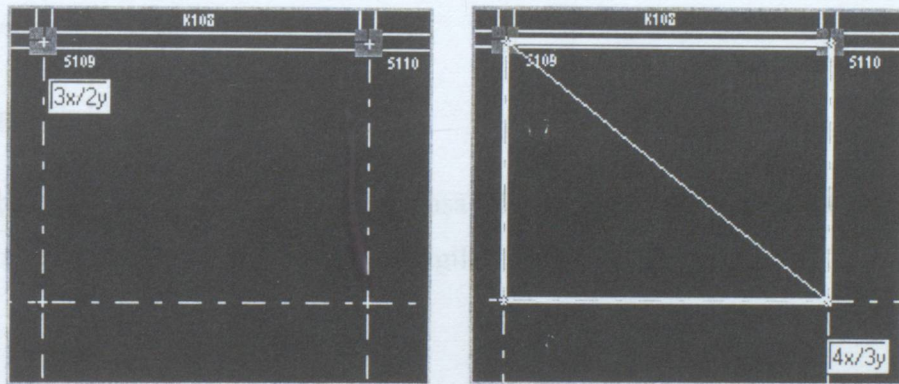
Şekil 6.5 Döşeme bilgi menüsü

Döşeme numaraları, ilgili kata ait ön indis ile otomatik olarak ekrana gelir. İstenilirse bu numaralarda değişiklik yapılabilir. Plak bilgisiyle ilgili D, G ve Q değerleri girilirken aşağıdaki yardımcı menüden mouse yardımıyla otomatik olarak plak yüksekliğini de ilave ederek işler.

plak	asmolen	ytong	kaset	MARLEY KAP. OD G = .148 t/m ²	HAREKETLİ YUK P = .15 t/m ²
10	5/25	5/25	5/25	FAYANS KAP. OD G = .169 t/m ²	HAREKETLİ YUK P = .2 t/m ²
11	5/28	5/28	5/28	KARO KAP. ODA G = .211 t/m ²	HAREKETLİ YUK P = .3 t/m ²
12	5/30	5/30	5/30	DUSUK DOSEME G = .532 t/m ²	HAREKETLİ YUK P = .35 t/m ²
13	5/35	5/35	5/35	CATI DOSEMESI G = .149 t/m ²	HAREKETLİ YUK P = .5 t/m ²
14	7/27	7/27	7/27	MERDIVEN G = .191 t/m ²	HAREKETLİ YUK P = .75 t/m ²
15	7/30	7/30	7/30		
16	7/32	7/32	7/32		
17	7/35	7/35	7/35		
18					
20					

Şekil 6.6 Plak kalınlığı, sabit yük, hareketli yük seçim menüsü

Şekil 6.5'te görülen döşeme bilgi menüsünde aks bilgilerine kadar olan bilgiler işlendikten sonra, aks tanımlanmamış ise aks tanım tuşu ile aplikasyon üzerinde mouse yardımıyla kolayca tanımlanabilir.

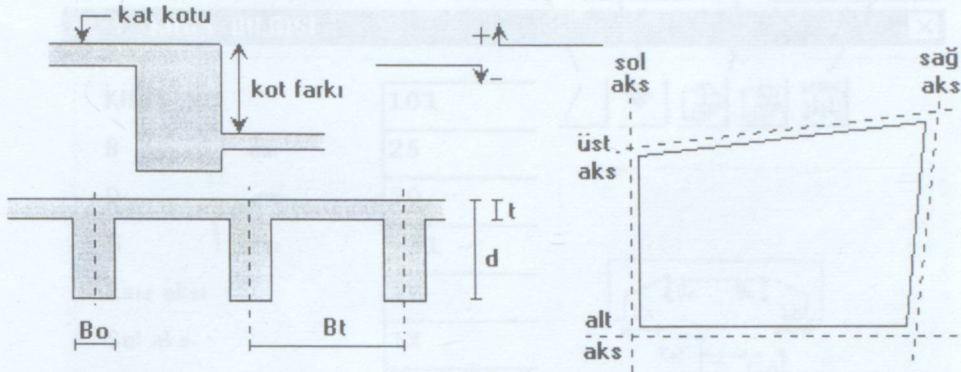


Şekil 6.7 İnteraktif döşeme tariflenmesi

Plak döşeme olarak sınırlandırılacak bölgenin sol üst aks kesişim noktası işaretlenir. Grid noktası üzerine gelindiğinde kesişen aksların isimleri ekranda oluşur, bu kesişim onaylanırsa ikinci işleme yani sağ alt aks kesişimine geçilir. Aynı şekilde bu grid üzerine gelindiğinde de kesişen iki aksın adı ekrana gelir ve döşemenin yerleşeceği konumu gösterir. Bu gösterim de onaylanınca plak döşeme tariflenmiş olur.

Plak döşeme sınırları tanımlandıktan sonra plak döşemenin çalışma yönü tarif edilmelidir. Hesap sırasında yük aktarımı bu yönler göre yapılacaktır. "0" tipi çift doğrultuda çalışan döşemeyi, "1" x yönünde çalışan döşemeyi, "2" ise y yönünde çalışan döşemeyi ifade etmektedir.

Döşeme kat kotunda değil ise döşeme bilgi menüsünde yer alan kot bölümüne bu fark yazılmalıdır.



Şekil 6.8 Döşeme kot farkı , Bo-Bt-d-t değerleri

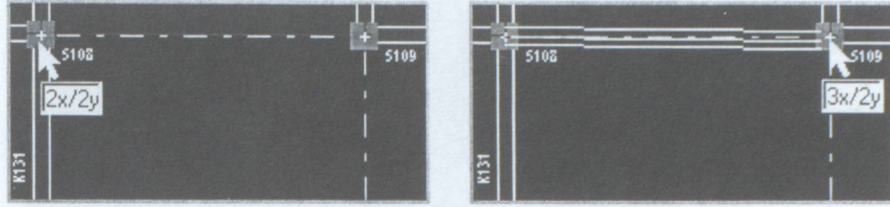
Nervürlü döşeme kullanılması halinde Bo nervür genişliği, Bt nervür aksları arasındaki mesafe, d nervür yüksekliği ve t döşeme kalınlığı da şekil 6.5'teki menüye işlenmelidir.

Aynı menüde yer alan düşey eğim yönü bölümüne "0" yazılması halinde ilgili döşemenin x-y düzleminde yatay olarak yer aldığını ifade eder.

6.4 Kiriş Bilgilerinin Girilmesi

Kiriş tarifi için ilk yapılması gereken işlem aşağıda görülen tablonun doldurulmasıdır. Bu bölümde bu tabloda yer alan değerlerle ilgili bilgiler verilecektir..

Kirişler üzerine yazılacak yük “G” bölümüne direkt olarak yazılabildiği gibi yukarıdaki menüden de programın yük kütüphanesinde yer alan seçeneklerden de faydalanılabilir. Herhangi bir yük yazılmadığı durumlarda yalnızca kirişin zati ağırlığı hesaba katılacaksa “Kiriş Ölü Yük” seçeneği işaretlenir ve program zati ağırlığı hesaplayıp “G” yükü olarak yazar.



Şekil 6.11 Kirişin interaktif tarifi

Kirişin konumlanacağı akslar elle tabloya işlenebileceği gibi grafik editör üzerinde mouse yardımıyla da işaretlenebilmektedir. İlgili kesişim noktalarının işaretlenmesiyle otomatik olarak kiriş kalıp planında çizilecektir. Kiriş aksı tanımında önce sol uç, sonra sağ uç işaretlenir.

Şekil 6.9’da yer alan tablodaki Dxy seçeneğinde ise kirişin yerleştirildiği aksa göre sapması yazılacaktır.

Kirişin Do, La ve Lb değerleri guse veya değişken kesit için verilebildiği gibi, kirişin uç mesnet şartlarının tanımında da kullanılabilir. Do guse yüksekliği, La ve Lb sırasıyla sol ve sağ guse genişliklerini ifade etmektedir. Fakat Do’nın “0” olması ve La ve Lb’nin “-1” olması durumunda iki ucu mafsallı kiriş tariflenmiş olur.

6.5 Kiriş Dış Yükleri

Kirişe ait dış yükler girilmek isteniyorsa aşağıdaki şekilde bulunan tiplerde tanımlanan parametrelerin girilmesi gerekmektedir.

Kirişlerde özellikle kaset düzenlemeleri gibi modellerde kirişlerin kesim noktalarında düğüm noktaları oluşturabilmek için aynı isimde parçalara ayrılması gerekir. Ancak bu parçalama kolonlara kadar devam etmelidir. Yani parçalanmış kiriş, bağlı olduğu kirişlerinde parçalanması durumunda doğru sonuç verecektir. Bu kirişlerin ortak düğüm noktalarında üst moment oluşması durumunda aynı isim verilmesi yerine ayrı isim verilmesi uygun olacaktır.

ELEMAN ILAVE YUKLERI

No	G1	Q1	G2	Q2	A1	A2
1	.3	.2	.4	.3	0	3

(t,m)

Şekil 6.12 Kiriş ilave yük bilgi menüsü

6.6 Dikdörtgen Ve Daire Kolon Bilgisi

Kolon tarifi için şekil 6.13'te görülen tablo doldurulmalıdır. Bu bölümde bu tabloda yer alan değerlerle ilgili bilgiler verilecektir.

Bu tabloda ilk olarak girilecek kolonun numarası istenir. Bundan sonra kolon boyutlarını ifade eden Bx ve By değerleri girilecektir. Kirişlerdeki gibi kolonlarda da boyut bilgileri istenirse yardımcı tablodan işaretlenebilir.

Kolon tipi bölümüne "1" yazılması durumunda dikdörtgen kesitli kolon , "2" yazılması durumunda ise daire kesitli kolon tarif edilebilmektedir. Dairesel kesitli kolonda sadece Bx olarak daire çapı kabul edilmektedir.

YAPİ ELEMANLARI

kolon aksını mouse ile işaretlenmesini sağlar.

kolonu siler

kolon dış yük bilgileri

1. KOLON BİLGİSİ

KOLON NO	101		/			
Bx	cm	70				
By	cm	30				
Kolon tipi		1				
Kolon x aksı		1				
Kolon y aksı		1				
Dx	cm	0				
Dy	cm	0				
Aci	*	0				
Kolon alt kotu	m	0				

☐ Üst kat kolon boyutlarının değişimi

kolonun altında ve üzerindeki kolonların boyutlarının değiştirilmesi

S201 (40/40) ← kolonun üzerindeki ve altındaki kolonları gösterir

Şekil 6.13 Kolon bilgi menüsü

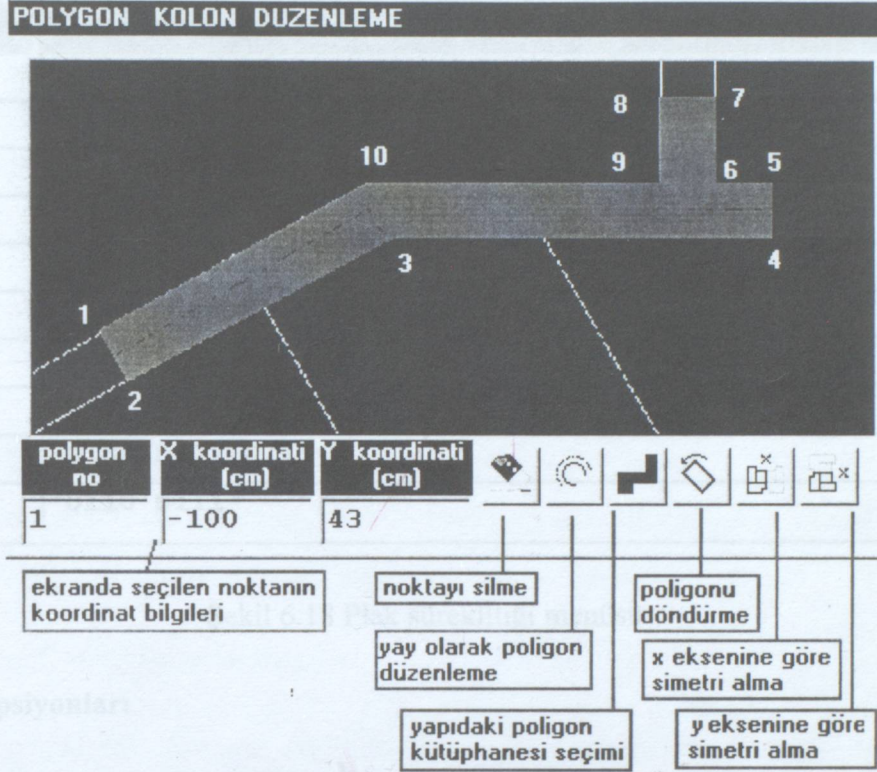
Kolon tipi belirtildikten sonra kolonun yerleştirileceği aks kesişimi tabloya işlenebileceği gibi grafik editör üzerinde de mouse yardımıyla işaretlenebilir. Bu işlemin ardından tabloya kolonun yerleştirildiği akslara göre eksantrisitesi işlenir. Ayrıca kolonun akslara paralel olmaması halinde x eksenine göre açı verilmelidir.

Kolon boyutları düzenleme

	Bx cm	By cm																																									
S301	20	140	User key <table border="1"> <tr><td>20</td><td>70</td><td>120</td><td>170</td></tr> <tr><td>25</td><td>75</td><td>125</td><td>175</td></tr> <tr><td>30</td><td>80</td><td>130</td><td>180</td></tr> <tr><td>35</td><td>85</td><td>135</td><td>185</td></tr> <tr><td>40</td><td>90</td><td>140</td><td>190</td></tr> <tr><td>45</td><td>95</td><td>145</td><td>195</td></tr> <tr><td>50</td><td>100</td><td>150</td><td>200</td></tr> <tr><td>55</td><td>105</td><td>155</td><td>205</td></tr> <tr><td>60</td><td>110</td><td>160</td><td>210</td></tr> <tr><td>65</td><td>115</td><td>165</td><td>215</td></tr> </table>	20	70	120	170	25	75	125	175	30	80	130	180	35	85	135	185	40	90	140	190	45	95	145	195	50	100	150	200	55	105	155	205	60	110	160	210	65	115	165	215
20	70	120		170																																							
25	75	125		175																																							
30	80	130		180																																							
35	85	135		185																																							
40	90	140		190																																							
45	95	145		195																																							
50	100	150		200																																							
55	105	155		205																																							
60	110	160		210																																							
65	115	165	215																																								
S201	20	140																																									
S101	20	140																																									

Şekil 6.14 Kolon boyutları düzenleme menüsü

Her elemanda olduğu gibi burada da tabloya ilk yazılması gereken poligon kolonun nılacağı numaradır. Poligon kolonlar tanımlanırken yerleşimi ifade edecek akslar mutlaka poligonun içinde yer almalıdır. Kolon elemanlardaki gibi önce x sonra y aksı olarak tanımlanmalıdır.



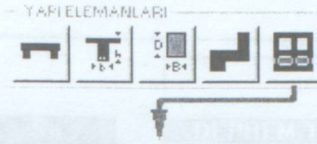
Şekil 6.17 Poligon kolon düzenleme menüsü

Poligonlarda 50 noktaya kadar tanım yapılabilir. Mouse yardımıyla grafik editör üzerinde veya sayısal olarak noktaların koordinatları girilebilir

6.9 Döşeme Şeritleri Bilgisi

Plak ve asmolenlerin statik analizde kullanılan sürekliliğinin belirlenmesi yukarıdaki döşeme şeritleriyle yapılmaktadır. Sürekliliği verilmeyen plaklar dört tarafı serbest oturan döşeme olarak kabul edilirler. Her iki yönde süreklilik kontrolü program tarafından otomatik olarak yapılır, istenirse üzerinde değişiklikler yapılabilir. Buradaki “-” işareti plağın bir mesnete oturduğunu ifade eder eğer verilmez ise program, o yönde plağın ilgili ucunun boş olduğunu anlayacaktır ve plak mesnet şartlarını analizde dikkate alacaktır. Burada verilen plak mesnet şartları ve sürekliliği analize paralel olarak çizimlerde de dikkate alınacaktır.

otomatik plakların
sürekliliğini hazırlar



PLAK SUREKLILIGI		
	Yon x, y	PLAK SUREKLILIGI - MESNET , + ALT SATIR
1	X	-D101-D102-D117-D110-D109-
2	X	-D104-D106-
3	X	-D107-D108-D116-D115-
4	X	-D111-D109-
5	X	-D114-D112-
6	X	-D103-D118-
7	Y	-D101-D104-D107-
8	Y	-D102-D103-
9	Y	-D109-D112-D115-
10	Y	-D110-D111-

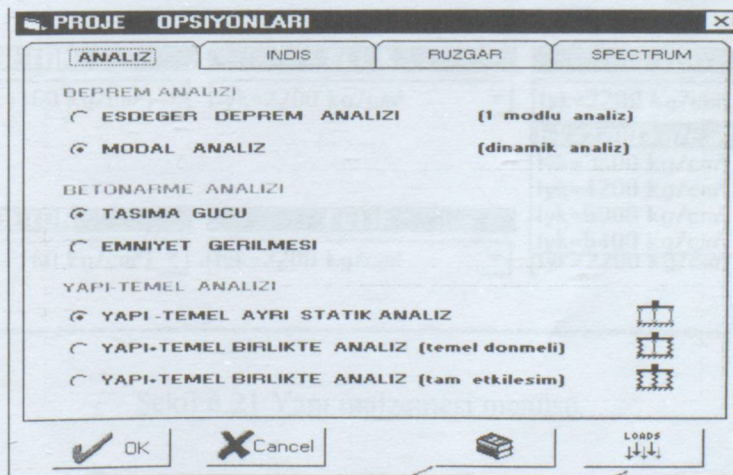
Şekil 6.18 Plak sürekliliği menüsü

6.10 Proje Opsiyonları

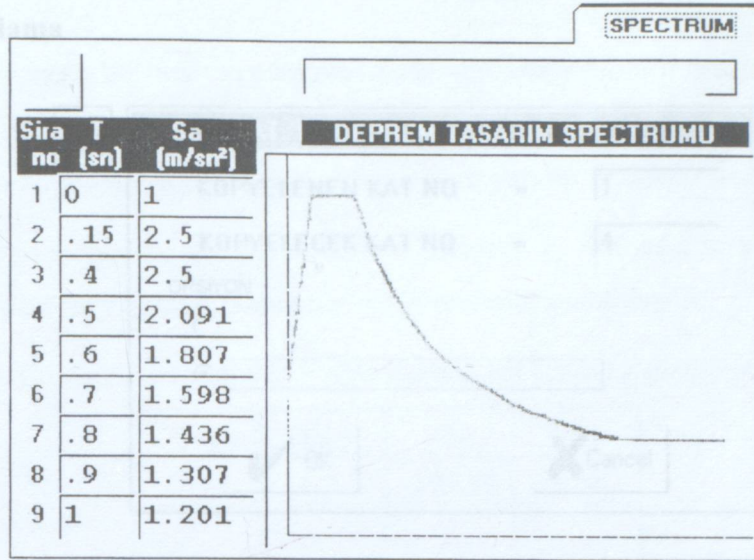
Bu bölümde yapılacak analiz ile ilgili bilgiler programa girilmektedir.

Deprem yönetmeliğinde belirtilen iki hesap yöntemi “Eşdeğer Deprem Analizi” ve “Modal Analiz” yöntemlerinden hangisi ile hesap yapılacağı belirlenecektir.

Betonarme kesit hesaplarında ise “Taşıma Gücü” yöntemiyle hesap yapılması gerekmektedir. Ayrıca analizin temel ile birlikte veya ayrı ayrı yapılabilmesi de mümkündür.



Şekil 6.19 Proje analiz opsiyonları menüsü



Şekil 6.22 Genel kat kopyalama menüsü

Şekil 6.20 Deprem spektrum değerleri menüsü

Deprem tasarım spektrum değerleri TDY 1997 yönetmeliğine göre otomatik olarak alınabilmekte olduğu gibi kullanıcı tarafından da tasarlanabilmektedir.

6.11 Beton ve Çelik Malzeme Bilgileri

Plak, kiriş ve kolonlarda elastisite modülüne karşılık gelen malzeme sınıfları bu bölümde seçilmektedir. Analiz sonrasında elemanlardaki betonarme hesaplar bu malzeme kalitesine göre hesaplanır.

YAPI MALZEMESİ

PLAK / KOLON

BETON	CELIK
BS16 (fck=160 kg/cm ²)	fyk=2200 kg/cm ²

OK
Cancel

KIRIŞ

BETON	CELIK	ETRIYE
BS16 (fck=160 kg/cm ²)	fyk=2200 kg/cm ²	fyk=2200 kg/cm ²
		fyk=3600 kg/cm ²
		fyk=4200 kg/cm ²
		fyk=5000 kg/cm ²
		fyk=5400 kg/cm ²
		fyk=2200 kg/cm ²

KOLON

BETON	CELIK
BS16 (fck=160 kg/cm ²)	fyk=2200 kg/cm ²

Şekil 6.21 Yapı malzemesi menüsü

6.12 Kat Kopyalama

GENEL KAT KOPYELEME

KOPYELENEN KAT NO =

KOPYELECEK KAT NO =

OPSIYON

☐

OK

Cancel

Şekil 6.22 Genel kat kopyalama menüsü

Ekranda oluşturulmuş bir katın başka bir kata kopyalanmasını sağlayan modüldür. Sadece bir kat kopyalanabildiği gibi aradaki katlar da kopyalanabilir.

Çizelge 7.2 Mantolama yapıldığı kat kesme kuvvetleri

T _{yg}	T _{yg}	T _{ye}	T _{sf}
-5.02	-1.09	-215.26	0.55
T _{yg}	T _{yg}	T _{ye}	T _{sf}
-1.01	-0.12	-0.93	-427.37

Elde edilen kesme kuvvetleri incelendiğinde mantolama yapıldığı kat kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmektedir. Bunun nedeni yeni çözüme ilave edilen duvarlar ve mantolama kolonlarıdır. Ancak bu durumda hesap sonuçlarından da takip edilebileceği üzere mevcut kesillerin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra model üzerinde seçilen diğer mantolama kolonlarına her bir çözüme göre kesme kuvvetlerine göre kesilme testleri çizelgede çizilmiştir. Sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 7.3 Mantolama yapıldığı kat kesme kuvvetleri

Kolon No	H _x	H _y	N	T _x	T _y	M _x	M _y	K _g
S120	25	50	12.307	0.13	0.13	-0.69	0.32	3.13
S121	25	50	12.001	0.13	0.13	0.73	0.13	3.13
S137	25	50	16.373	0.13	0.04	-0.76	0.13	3.13
S138	25	50	16.701	0.13	0.04	-0.76	0.13	3.13

7. SONUÇLAR

Depremde hasar görmüş bir binanın mantolanmasının incelenebilmesi amacıyla örnek seçilen bir bina modelinin, ilk olarak mevcut hali STA4CAD programı ile çözülmüştür. Bu çözümün ardından gerekli mantolama ve yeni perde ekleme işleri yapıp yeniden çözdürülmüştür.

İki çözümün karşılaştırılması amacıyla her iki haldeki I. Kat kesme kuvvetleri toplamı aşağıdaki çizelgede x ve y yönleri olarak tüm yüklemelerde sunulmuştur.

Çizelge 7.1 Mantolanmamış haldeki kat kesme kuvvetleri

T _{xg}	T _{xq}	T _{xe}	T _{xf}
-4.04	-0.77	-179.62	5.68
T _{yg}	T _{yq}	T _{ye}	T _{yf}
-1.46	-0.57	-7.45	-256.81

Çizelge 7.2 Mantolanmış haldeki kat kesme kuvvetleri

T _{xg}	T _{xq}	T _{xe}	T _{xf}
-5.02	-1.09	-215.26	0.55
T _{yg}	T _{yq}	T _{ye}	T _{yf}
-1.01	-0.52	-0.93	-427.37

Elde edilen kesme kuvvetleri incelendiğinde mantolanmış durumdaki kesme kuvvetlerinin arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni yeni çözümde ilave edilen perdeler ve mantolanmış kolonlardır. Ancak bu durumda hesap sonuçlarından da takip edilebileceği üzere mevcut kesitlerin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Daha sonra model üzerinde seçilen tipik mantolanmış kolonların her iki çözüm için tüm yükleme durumlarına göre kesit tesirleri aşağıdaki çizelgelerde karşılaştırma amacıyla sunulmuştur.

Çizelge 7.3 Mantolanmamış haldeki kolon kesit tesirleri

Kolon No	B _x	B _y	N	T _x	T _y	M _x	M _y	A _s
S120	25	50	17.307	0.17	0.15	-0.69	0.32	3.13
S121	25	50	15.011	0.45	0.15	0.73	0.31	3.13
S137	25	50	16.274	0.22	0.08	-0.79	-0.37	3.13
S138	25	50	16.781	0.53	0.09	0.79	-0.38	3.13

Çizelge 7.4 Mantolanmış haldeki kolon kesit tesirleri

Kolon No	Bx	By	N	Tx	Ty	Mx	My	As
S185	55	80	44.811	2.49	2.1	-6.79	3.2	38.49
S186	55	80	44.39	3.68	2.19	6.84	3.33	38.49
S187	55	80	32.915	3.05	1.42	-7.4	-3.34	38.49
S188	55	80	33.484	4.52	6.3	7.52	-3.5	38.49

İMO, (1999), "Betonarme Binaların Osmun ve Güçlendirilmesi", İnşaat Mühendisleri Odası, Tıbbak

KAYNAKLAR

Ersoy, U., Tankut, T. ve Suleiman, R., (1993) "Behavior of Jacketed Columns", ACI Structural Journal, V.90, No.3

Ersoy, U., (1996), "Seismic Rehabilitation", 11th World Conference on Earthquake Engineering, V.2, Mexico

İMO, (1999), "Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi", İnşaat Mühendisleri Odası, Tübitak

EKLER

- Ek 1 Takviye yapılmamış halin statik analizi
Ek 2 Takviyeli halin statik analizi

Doğum yeri İstanbul

Lise 1989-1992 Özel Üsküdar Fen Lisesi

Lisans 1992-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1999-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Mekatronik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1997-1999 Akın Yapı Endüstri A.Ş. (Sanayi Şefi)

1999-Devam ediyor Özgür Yapı Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti. (Sanayi Şefi)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	24.06.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1989-1992	Özel Üsküdar Fen Lisesi
Lisans	1992-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Mekanik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1997-1999	Alp Yapı Endüstri A.Ş. (Şantiye Şefi)
1999-Devam ediyor	Özgür Yapı Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti.(Şantiye Şefi)

