

104203

TASARIM YÜKÜ AŞILAN BİR  
BETONARME BİNANIN GÜÇLENDİRME  
YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANİSTON MERKEZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Osman ALTINER

(501940034011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 1999

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gülten GÜLAY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Süheyl AKMAN

Doç. Dr. Engin ORAKDÖĞEN

HAZİRAN 2001

104203

## BİRİNCİ ÖNSÖZ

Betonarme yapılar, ömürleri boyunca büyük dış etkilere maruz kalabilmekte, taşıma kapasitelerinin arttırılması gereği ortaya çıkabilmektedir. Aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde son yıllarda artan kaçak yapılaşma; projeye, yönetmeliklere ve temel mühendislik prensiplerine uygun olmayan, deprem güvenliği bir soru işaretinden ibaret olan binaları beraberinde getirmiştir. Bunun sonucunda yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanların, söz konusu dış etkilere karşı güçlendirilmesi veya takviye edilmesi gündeme gelmektedir.

Betonarme yapılarda taşıma kapasitesinin yükseltilmesi; temel, kolon, perde, kiriş ve döşemelerde yapılacak güçlendirmelerle gerçekleşeceğinden, çözümün sağlanması için yapı elemanları ve mimarî kullanım işlevi arasında bir optimizasyona gidilmesi gereklidir. Bu çalışmada, konuyla ilgili olarak derlenen teorik ve uygulamaya dönük bilgiler aktarıldıktan sonra; mevcut yedi katlı betonarme bir binanın, iki yığma kat ilave edildikten önceki ve sonraki durumu incelenmiş; daha sonra perdelerle güçlendirme uygulanarak yapının taşıma kapasitesi yeniden değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında sabırla yardımcı olup her türlü desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Gülten Gülay'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca böyle hayatî ve her zaman güncelliğini koruyan bir konuya yönelmemde büyük pay sahibi olan kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Süheyl Akman'a burada teşekkürlerimi belirtmeyi bir borç bilirim.

Yine her zaman bana inanan ve beni teşvik eden aileme de buradan sonsuz teşekkürler ediyorum.

MAYIS 1999

OSMAN ALTINER

## İKİNCİ ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi ve savunularak başarılı bulunması, 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminin yaklaşık iki ay öncesine rastlamaktadır. Geçtiğimiz yüzyılın en büyük deprem facialarından birinin gerçekleşip de, deprem endişesiyle yaşamak kavramının alışkanlık haline dönüşmesinden kısa bir süre öncesinde, bu tür bir tez çalışmasının yapılması ilginç olmuştur. Nitekim sonraki dönemlerde araştırmacılar yoğun olarak bu konulara yönelmişler, çok sayıda tezler üretilmiş, kitaplar yayınlanmış ve yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır.

Kamu sektöründe, yöneticilik düzeyinde yoğun bir sorumluluk ve çalışma sürecine geçilmesi nedeniyle, bu tez çalışması Enstitüye zamanında teslim edilememiştir. Daha sonra geçen iki yıllık süre zarfında, inceleme konusu bina, deprem ivmesinin yapı üzerinde ne ölçüde gerçekleştiği bilinmemekle birlikte, iki büyük deprem geçirmiştir. Bina bu depremleri, mevcut ilave katlı ve takviye uygulanmamış haliyle hasarsız denebilecek düzeyde atlatmıştır. Ayrıca aynı semtte, hasara uğrayıp, güçlendirilen pek çok bina da tespit edilmiştir.

Geçen süre zarfında, bu çalışmada uygulandığı üzere, mevcut binanın röleve projesi üzerinden gidilip, hesabın doğrusal olarak yapılması; daha sonra gereğince güçlendirilen sistemin yeniden hesaplanarak, yönetmelik koşullarının sağlandığının gösterilmesi, sıkça kullanılan bir yöntem olmuştur. Ancak, gelişmelerin hızla ilerlemesiyle, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanma oranı artmış, performans bazlı tasarım, plastik itme analizi gibi ileri teknikler ülkemizde de kullanım alanı bulmuştur.

Veri girişinin önceki versiyonlara oranla, çok daha pratik hale getirildiği ve uluslararası düzeyde tescil görmüş olan SAP 2000 adlı bilgisayar program kullanımının yaygınlaşması üzerine, tez Enstitüye teslim edilmeden önce, bu programdan da yararlanılmıştır. İnceleme konusu binaya ilişkin olarak, SAP 2000 adlı programdan elde edilen bazı sonuçlar ve şekiller teze ilave edilmiştir.

Nihayet, bana hep inanarak, kendi aile mülkiyetimize ait bir bina üzerinde yürüttüğüm ve uzunca süren bu tez çalışmasının bitmesini sabırla bekleyen ve yeni platformlarda farklı hedeflere doğru yönelmemde daima arkamda olan aileme tekrar teşekkürler ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>BİRİNCİ ÖNSÖZ</b>                                                           | ii              |
| <b>İKİNCİ ÖNSÖZ</b>                                                            | iii             |
| <b>KISALTMALAR</b>                                                             | vii             |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                           | viii            |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                           | ix              |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                                          | xi              |
| <b>ÖZET</b>                                                                    | xiii            |
| <b>SUMMARY</b>                                                                 | xv              |
| <br>                                                                           |                 |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                | 1               |
| 1.1. Genel Bilgiler                                                            | 1               |
| 1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı                                                | 3               |
| 1.3. Konuyla İlgili Yayınlanmış Bildiriler                                     | 4               |
| <br>                                                                           |                 |
| <b>2. MEVCUT BETONARME YAPILARDA GÜVENLİĞİN BELİRLENMESİ</b>                   | 7               |
| 2.1. Giriş                                                                     | 7               |
| 2.2. Yapı Güvenliği                                                            | 8               |
| 2.2.1. Malzeme katsayıları                                                     | 9               |
| 2.2.2. Yük katsayıları                                                         | 9               |
| 2.3. Yapı Elemanlarının Davranış Biçimleri ve Yapı Güvenliğine Katkı Düzeyleri | 10              |
| 2.3.1. Döşemeler                                                               | 10              |
| 2.3.2. Kirişler                                                                | 11              |
| 2.3.3. Kolonlar                                                                | 11              |
| 2.3.4. Kiriş-kolon birleşim bölgeleri                                          | 11              |
| 2.3.5. Perdeler                                                                | 14              |
| 2.3.6. Temeller                                                                | 15              |
| 2.4. Betonarme Yapı Güvenliğinde Diğer Unsurlar                                | 15              |
| 2.4.1. Ön Bilgiler                                                             | 15              |
| 2.4.2. Betonarmenin uyum özelliğinin katkısı                                   | 16              |
| 2.4.3. Yapının durumu                                                          | 17              |
| 2.4.4. Beton dayanımında zamanla olan değişim                                  | 17              |
| 2.5. Mevcut Yapının Malzeme Özelliklerinin Kontrolü                            | 18              |
| 2.5.1. Beton basınç dayanımının yerinde ölçümü                                 | 18              |
| 2.5.2. Donatının kontrolü                                                      | 19              |
| 2.6. Yapı Elemanlarının Şekil Değiştirme Kontrolü                              | 20              |

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. MEVCUT BİNALARIN 1997 DEPREM YÖNETMELİĞİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ</b>       | <b>21</b> |
| 3.1. Giriş                                                                            | 21        |
| 3.2. Depreme Dayanıklı Tasarım Yaklaşımı                                              | 21        |
| 3.3. Hesap Yöntemleri Açısından Değerlendirme                                         | 24        |
| 3.4. Malzeme Dayanımlarının Sınırlandırılması                                         | 25        |
| 3.5. Konstrüktif Kurallarda Yeni Düzenlemeler                                         | 26        |
| 3.6. Uygulama Projesi Çizimlerine İlişkin Yeni Kurallar                               | 28        |
| <b>4. MEVCUT BETONARME BİNALARDA GÜÇLENDİRME</b>                                      | <b>30</b> |
| 4.1. Giriş                                                                            | 30        |
| 4.2. Güçlendirme Gerekleri                                                            | 30        |
| 4.3. Güçlendirme İlkeleri                                                             | 31        |
| 4.4. Güçlendirme Yöntemleri                                                           | 32        |
| 4.4.1. Mevcut elemanların güçlendirilmesi                                             | 32        |
| 4.4.1.1. Döşemelerin güçlendirilmesi                                                  | 33        |
| 4.4.1.2. Kirişlerin güçlendirilmesi                                                   | 34        |
| 4.4.1.3. Kolonların güçlendirilmesi                                                   | 35        |
| 4.4.1.4. Birleşim yerlerinin güçlendirilmesi                                          | 38        |
| 4.4.1.5. Perdelerin güçlendirilmesi                                                   | 40        |
| 4.4.1.6. Temellerin güçlendirilmesi                                                   | 40        |
| 4.4.2. Taşıyıcı sistemin yeni elemanlarla güçlendirilmesi                             | 42        |
| 4.4.2.1. Sisteme yeni perdeler eklenmesi                                              | 43        |
| 4.4.2.2. Bölme duvarlarının perdeleştirilmesi                                         | 45        |
| 4.4.2.3. Çelik diyagonal elemanlarla güçlendirme                                      | 51        |
| <b>5. SAYISAL İNCELEMELER</b>                                                         | <b>54</b> |
| 5.1. Kat İlavesi Yapılmamış Mevcut Binanın 1997 Deprem Yönetmeliğine Göre Çözümlemesi | 54        |
| 5.1.1. Mevcut binanın tanıtılması                                                     | 54        |
| 5.1.2. Yapı sisteminin hesabı                                                         | 64        |
| 5.1.3. Hesap sonuçlarının değerlendirilmesi                                           | 65        |
| 5.2. Kat İlavesi Yapılmış Mevcut Binanın Çözümlemesi                                  | 68        |
| 5.2.1. İlave yüklerin yapının mekanik modelinde göz önüne alınması                    | 68        |
| 5.2.2. Yapı sisteminin hesabı                                                         | 69        |
| 5.2.3. Hesap sonuçlarının değerlendirilmesi                                           | 69        |
| 5.3. Mevcut Binanın Güçlendirilmesi                                                   | 71        |
| 5.3.1. Güçlendirme sisteminin oluşturulması                                           | 72        |
| 5.3.2. Perdeleştirilecek çerçeve gözlerinin plandaki yerlerinin tespiti               | 72        |
| 5.3.2.1. Perdelerin X doğrultusunda teşkili                                           | 72        |
| 5.3.2.2. Perdelerin Y doğrultusunda teşkili                                           | 75        |
| 5.3.3. Güçlendirilmiş binanın çözümlemesi                                             | 78        |
| 5.3.4. Hesap sonuçlarının değerlendirilmesi                                           | 80        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>                                                        | <b>83</b> |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                           | 85 |
| <b>EKLER</b>                                                               | 87 |
| <b>EK A</b> İncelenen binaya ilişkin taşıyıcı sistem ve ötelenme şekilleri | 87 |
| <b>EK B</b> Hesap sonuçlarına ilişkin bazı değerler                        | 93 |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                            | 97 |



## KISALTMALAR

|            |                                                                                                                       |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1975-DY    | :1975 Tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.                                                |
| 1997-DY    | :1997 Tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.                                                |
| ACI 318-89 | :American Concrete Institute, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, 1989.                               |
| IDS 98     | :”ideSTATİK IDS 98 3D INTEGRATED DESIGN & DEVELOPMENT SYSTEM” adlı inşaat ve deprem mühendisliği bilgisayar programı. |
| SAP 2000   | :”Structural Analysis Program NonLinear Version 7.12” adlı inşaat ve deprem mühendisliği bilgisayar programı.         |
| TS-498     | :”Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” adlı Türk Standardı.                     |
| TS-500     | :”Betonarme Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları” adlı Türk Standardı.                                                  |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                    | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Tablo 2.1 : Beton dayanımının betonun yaşı ile değişimi                                                                            | 17              |
| Tablo 5.1 : Mevcut binada kolon boyutları ve donatılar                                                                             | 59              |
| Tablo 5.2 : Mevcut binada kiriş boyutları ve donatılar                                                                             | 62              |
| Tablo 5.3 : Kat ilavesi yapılmamış mevcut binada 1997 deprem yönetmeliğine göre boyut ve donatı açısından yetersiz kalan elemanlar | 67              |
| Tablo 5.4 : Kat ilavesi yapılmış mevcut binada 1997 deprem yönetmeliğine göre boyut ve donatı açısından yetersiz kalan elemanlar   | 71              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|            |                                                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1  | : Betonarme çerçeveli yapıda zemin katta mafsallaşarak yıkılma                                                 | 12              |
| Şekil 2.2  | : Çerçeveli yapılarda giriş uçlarında mafsallaşma ile yıkılma mekanizması                                      | 13              |
| Şekil 2.3  | : Çerçeveli yapılarda kolon uçlarında mafsallaşma ile yıkılma mekanizması                                      | 13              |
| Şekil 2.4  | : Perde temellerinde dönme sonucunda olan göçme mekanizması                                                    | 14              |
| Şekil 2.5  | : Betonarmedeki uyum olayının oluşturduğu yük dağılımının çerçeveli yapıda orta kolon üzerinde örnek gösterimi | 16              |
| Şekil 2.6  | : Farklı hava sıcaklığında yeni dökülmüş betonda dayanım kazanımı                                              | 18              |
| Şekil 3.1  | : Spektrum katsayısının periyoda göre değişimi                                                                 | 22              |
| Şekil 3.2  | : Zemin kat kolonlarının kesme ve basınç kırılması ile yıkılma mekanizması                                     | 23              |
| Şekil 3.3  | : Kolonlarda kullanılacak özel deprem etriye ve çirozları                                                      | 26              |
| Şekil 4.1  | : Döşemenin kalınlaştırılması                                                                                  | 33              |
| Şekil 4.2  | : Kirişin dört yanından mantolanması                                                                           | 34              |
| Şekil 4.3  | : Kirişin üç yanından mantolanması                                                                             | 34              |
| Şekil 4.4  | : Kirişlerde çelik levha yapıştırma ile güçlendirme                                                            | 36              |
| Şekil 4.5  | : Kolonun mantolama ile güçlendirilmesi                                                                        | 37              |
| Şekil 4.6  | : Kolonların kanat eklenerek güçlendirilmesi                                                                   | 38              |
| Şekil 4.7  | : Kiriş-kolon birleşim bölgesinin çelik lamalarla sarılarak güçlendirilmesi                                    | 39              |
| Şekil 4.8  | : Kiriş-kolon birleşim bölgesinin mantolama ile sarılarak güçlendirilmesi                                      | 39              |
| Şekil 4.9  | : Kiriş-kolon birleşim bölgesinin çelik levha ve bulonlarla güçlendirilmesi                                    | 40              |
| Şekil 4.10 | : Perdenin güçlendirilmesi                                                                                     | 41              |
| Şekil 4.11 | : Temelin kolonla beraber güçlendirilmesi                                                                      | 42              |
| Şekil 4.12 | : Temelin dişle güçlendirilmesi                                                                                | 42              |
| Şekil 4.13 | : Güçlendirme perdesinin donatılarının döşemeden geçişi                                                        | 44              |
| Şekil 4.14 | : Güçlendirme perdesinin mevcut kolonları sarması                                                              | 44              |
| Şekil 4.15 | : Güçlendirme perdesinin mevcut kirişi sararak yükselmesi                                                      | 44              |
| Şekil 4.16 | : Güçlendirme perdesi temeli                                                                                   | 45              |
| Şekil 4.17 | : Perdelerin çerçeveler ile birlikte çalışması için uygun detaylar                                             | 46              |
| Şekil 4.18 | : Kolonlara bağlanmamış perde duvarla güçlendirme                                                              | 47              |
| Şekil 4.19 | : Perdenin çerçevenin hemen yanına uygulanması                                                                 | 48              |
| Şekil 4.20 | : Perde duvarı betonlama yöntemleri                                                                            | 49              |
| Şekil 4.21 | : Çerçevelerin güçlendirme sistemlerinin karşılaştırılması                                                     | 50              |

|            |   |                                                                                                    |    |
|------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.22 | : | Çerçeve açıklığına bulonlu çelik diyagonal elemanlar yerleştirilmesi                               | 51 |
| Şekil 4.23 | : | Çerçeve açıklığına kaynaklı diyagonal çelik elemanlar yerleştirilmesi                              | 52 |
| Şekil 4.24 | : | Diyagonal – Çerçeve bağlantı detayları                                                             | 53 |
| Şekil 5.1  | : | Normal Kat Mimarî Yerleşim Planı                                                                   | 55 |
| Şekil 5.2  | : | Mevcut Binanın X Doğrultusundaki Kesiti                                                            | 57 |
| Şekil 5.3  | : | Mevcut Binanın Y Doğrultusundaki Kesiti                                                            | 58 |
| Şekil 5.4  | : | Mevcut Binanın Bodrum Kat Tavanına Ait Kalıp Planı                                                 | 60 |
| Şekil 5.5  | : | Mevcut Binanın Zemin Ve Normal Kat Tavanlarına Ait kalıp Planı                                     | 61 |
| Şekil 5.6  | : | Mevcut Binaya Ait Temel Planı                                                                      | 63 |
| Şekil 5.7  | : | Mevcut Binanın Kat İlavesiz Hesabında X ve Y Doğrultuları İçin Kat Eşdeğer Yatay Kuvvetleri        | 66 |
| Şekil 5.8  | : | Kat İlaveli Mevcut Binanın Hesabında X ve Y Doğrultuları İçin Kat Eşdeğer Yatay Kuvvetleri         | 70 |
| Şekil 5.9  | : | Güçlendirilmiş Binanın Bodrum Kat Tavanına Ait Kalıp Planı                                         | 73 |
| Şekil 5.10 | : | Güçlendirilmiş Binanın Zemin Ve Normal Kat Tavanlarına Ait Kalıp Planı                             | 74 |
| Şekil 5.11 | : | Güçlendirilmiş Binanın X Doğrultusundaki Kesiti                                                    | 76 |
| Şekil 5.12 | : | Güçlendirilmiş Binanın Y Doğrultusundaki Kesiti                                                    | 77 |
| Şekil 5.13 | : | Kat İlaveli Binanın Güçlendirilmiş Hesabında X ve Y Doğrultuları İçin Kat Eşdeğer Yatay Kuvvetleri | 79 |
| Şekil 5.14 | : | Güçlendirilmiş Binaya Ait Temel Planı                                                              | 81 |

## SEMBOL LİSTESİ

|            |                                                                                                                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A(T)$     | : Spektral ivme katsayısı                                                                                                                                                    |
| $A_o$      | : Etkin yer ivmesi katsayısı                                                                                                                                                 |
| $A_c$      | : Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı                                                                                                                        |
| $A_t$      | : Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında kullanılan eşdeğer alan                                                                                                       |
| $A_{wj}$   | : Binanın temel üstündeki ilk katında j'nci perdenin brüt enkesit alanı                                                                                                      |
| $b_w$      | : Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı                                                                                                                          |
| $C_t$      | : Eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı                                                       |
| $d$        | : Enkesit yararlı yüksekliği                                                                                                                                                 |
| $E$        | : Deprem etkisi                                                                                                                                                              |
| $E_c$      | : Beton elastisite modülü                                                                                                                                                    |
| $EI$       | : Eğilme rijitliği                                                                                                                                                           |
| $E_s$      | : Beton çeliği elastisite modülü                                                                                                                                             |
| $F$        | : Zorlama (kuvvet)                                                                                                                                                           |
| $f_{ck}$   | : Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı                                                                                                                           |
| $f_{yk}$   | : Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı                                                                                                                               |
| $f_{yw}$   | : Enine donatının karakteristik akma dayanımı                                                                                                                                |
| $G$        | : Öz ağırlık                                                                                                                                                                 |
| $h$        | : Enkesit yüksekliği                                                                                                                                                         |
| $h_i$      | : Binanın i'nci katının kat yüksekliği                                                                                                                                       |
| $H_{cr}$   | : Kritik perde yüksekliği                                                                                                                                                    |
| $H_j$      | : Binanın i'nci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği                                                                                                           |
| $H_w$      | : Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği                                                                                        |
| $I$        | : Bina önem katsayısı                                                                                                                                                        |
| $l_w$      | : Perdenin plandaki uzunluğu                                                                                                                                                 |
| $M$        | : Eğilme momenti                                                                                                                                                             |
| $M_{ra}$   | : Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda, fcd ve fyd'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti                                                                  |
| $M_{ri}$   | : Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde, fcd veya fyd'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti                                                  |
| $M_{rj}$   | : Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde, fcd veya fyd'ye göre hesaplanan negatif veya pozitif taşıma gücü momenti                                                  |
| $M_{rū}$   | : Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda, fcd ve fyd'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti                                                                  |
| $N$        | : Hareketli yük katılım katsayısı                                                                                                                                            |
| $N$        | : Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı ( Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı) |
| $N_{dmax}$ | : Yük katsayıları kullanılarak, sadece düşey yüklere göre veya düşey yükler ve deprem yüklerine göre hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü                       |

|               |                                                                                                                                       |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $N_0$         | : Aksenal basınç altında taşıma gücü                                                                                                  |
| $Q$           | : Hareketli yük                                                                                                                       |
| $R$           | : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı                                                                                                  |
| $R_a(T)$      | : Deprem yükü azaltma katsayısı                                                                                                       |
| $S(T)$        | : Spektrum katsayısı                                                                                                                  |
| $T$           | : Bina doğal titreşim periyodu                                                                                                        |
| $T_A, T_B$    | : Spektrum karakteristik periyotları                                                                                                  |
| $V_c$         | : Betonun kesme dayanımına katkısı                                                                                                    |
| $V_e$         | : Kolon ve kirişte enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti                                                                   |
| $V_r$         | : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı                                                                                    |
| $V_t$         | : Eşdeğer deprem yükü yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) |
| $W$           | : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı; rüzgar yükü                                          |
| $Y$           | : Mod birleştirme yönteminde hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı                                                        |
| $\gamma_{mc}$ | : Betona uygulanan malzeme katsayısı                                                                                                  |
| $\gamma_{ms}$ | : Çeliğe uygulanan malzeme katsayısı                                                                                                  |



# **TASARIM YÜKÜ AŞILAN BİR BETONARME BİNANIN GÜÇLENDİRME YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

## **ÖZET**

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, tasarım yüklerinin üstünde yüklere maruz kalmış mevcut betonarme binaların güçlendirilmesi konusu ele alınmış; hasar görmemiş örnek bir bina üzerinde sayısal incelemeler yapılarak, işletme yükleri altında yeterli taşıma kapasitesi elde edilmeye çalışılmıştır. Sayısal incelemelerde, taşıyıcı sistem elemanlarının, yapıyı etkileyen yükleri, yürürlükteki yönetmelikler çerçevesinde taşıma yeterliğine sahip olup olmadığının, bilgisayar programlarından yararlanmak suretiyle araştırılması amaçlanmıştır. Hesaplarda giriş verileri olarak mevcut binanın röleve projesindeki eleman boyutları ve karakteristik değerler kullanılmıştır.

Altı bölüm halinde sunulan bu çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılarak ilgili tanımlar verilmiş; çalışmanın amaç ve kapsamı anlatılmış; konuyla ilgili yayınlanmış bildiriler gözden geçirilmiştir.

İkinci bölüm, mevcut betonarme yapılarda güvenliği etkileyen faktörlerin irdelenmesine ayrılmıştır. Bu kapsamda yapı elemanlarının yük etkisi altında davranış biçimlerine yer verilmiş ve malzeme özelliklerinin değerlendirmesi yapılmıştır.

1975 deprem yönetmeliğine göre projelendirilmiş mevcut binaların, 1997 deprem yönetmeliğindeki farklılıklar bakımından genel bir değerlendirilmesinin yapılması ise üçüncü bölüme konu edilmiştir.

Dördüncü bölümde ise, tasarım yüklerinin üstünde düşey yüklere maruz kalmış betonarme binaların, olası bir depremde hasar görmelerini önlemek üzere takviye edilmesi ele alınmıştır. Bu doğrultuda, güçlendirme gerekleri, ilkeleri ve yöntemleri açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, seçilmiş mevcut betonarme bir bina ile ilgili üç değişik durumu içeren çözümler yer almıştır. İlk kısımda, 1975 deprem yönetmeliğinden yararlanarak boyutlandırılmış olan bu binanın hesabı, 1997 deprem yönetmeliği kullanılarak yapılmış; kesitlerinde yetersizlik saptanan elemanlar belirlenmiş ve böylelikle şartname değişikliğinin binada takviye ihtiyacı doğurduğu vurgulanmıştır. İkinci kısımda, ilave yığma kat yüklerinden gelen etkiler yapının mekanik modelinde göz önüne alınmış, artan bina ağırlığı altında yapı sistemi yeniden analiz edilmiştir. Hesap sonuçlarına göre, yetersiz eleman sayısı artış göstermiş, deplasmanların sınırlanma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Üçüncü ve son kısımda, bazı çerçeve gözlerindeki boşluklu tuğlalardan oluşan dolgu duvarlar kaldırılıp, bunların yerine donatılı beton duvar yerleştirilerek perde davranışı elde edilmesi düşünülmüş;

böylece yapının taşıyıcı sisteminde çerçevelerin yanısıra, rijitliği yüksek perdelerin de yer alması sağlanmıştır. Yapı sistemi, bu şekliyle yeniden analize tabi tutulmuş ve güçlendirme öncesindeki durumla mukayese edilmiştir.

Altıncı bölümde bu çalışmada elde edilen sonuçların genel bir değerlendirilmesi yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.



# **THE EVALUATION OF AN OVERLOADED REINFORCED CONCRETE BUILDING IN TERMS OF STRENGTHENING**

## **SUMMARY**

In this study, which is presented as a Msc. thesis, the strengthening of overloaded reinforced concrete buildings was taken into consideration; numerical examinations on an undamaged sample building were made, to attempt establishing sufficient carrying capacity under variable design loads. With the help of a computer software, structural members were tested for sufficiency of carrying the loads which affect the building within the limits of national seismic code. In calculations, the element dimensions and the characteristic values from the project of the existing building in question were used as inputs.

In the first chapter of this study which is presented as a total of six chapters, an introduction was given along with the affiliated definitions; then the purpose and the scope of the study were explained and literature about the subject was discussed.

The second chapter is to study the factors which effect the safety in existing reinforced concrete buildings. In this concept, the ways of behaviour of the structural elements under external effects were studied and the properties of the material were evaluated.

The existing buildings designed in accordance with Turkish Earthquake Code 1975 and the difference between National Earthquake 1997 were evaluated in general in the chapter three.

In the fourth chapter, the strengthening of the reinforced concrete buildings which were subjected to vertical loads exceeding the design loads were discussed in order to prevent damage in a possible earthquake. In this context, the necessity, the principles and the methods of the strengthening were studied.

The fifth chapter includes the analysis of three different status regarding a selected existing reinforced concrete building. In the first part, the calculations of this building which was constructed in accordance with National Earthquake Code 1975 were done using National Earthquake Code 1997; the elements with insufficient sections were determined and therefore it was considered that the change in the code had resulted in the necessity of strengthening in the building. In the second part, the effects of the masonry floor loads were studied on the mechanical model of the building and the structure was analysed again with increased building load. The results showed that the number of the insufficient elements had increased and a necessity to limit the displacements had been exceeded. In the third and the last part, the filled walls constructed by hallowtile in some frames were replaced by reinforced concrete walls in order to achieve a shear behaviour, so that, besides the frames,

shear walls with high rigidity has been established in the structure of the building too. This new structural system was analysed again and compared to the status before the strengthening.

In the sixth chapter, the results of these studies were evaluated in general, and some suggestions were made.



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Genel Bilgiler

Taşıyıcı sistemler öz ağırlık, ilave ağırlıklar, hareketli yükler, deprem ve rüzgar etkileri, sıcaklık değişimleri, rötre ve sünme, mesnet çökmeleri, çarpma, patlama, dış ortamın etkileri, yaşlanma, yangın ve yorulma gibi türlü etkilere maruz kalabilirler. Bu etkiler altında yapıda bazı kusurlar veya özellik ve güvenlik kayıpları beklenebilir.

Yapılar ve dolayısıyla yapı elemanları, daima normal kullanım esnasında etki etmesi beklenen yüklerden daha büyük yükleri taşıyacak şekilde boyutlandırılır. Bu ek taşıma gücü oluşturmanın başlıca nedenleri, aşırı yüklenme ve düşük dayanım olarak ifade edilebilecek iki grupta toplanabilir.

Yapılar söz konusu olduğunda, bunların inşa edilişlerinde, kendilerinde değişiklikler yapılmasında, inşaattan sonraki devam ettiriliş, kullanım ve bakımlarında; toplumun ve bireylerin güvenliklerinin, sağlıklarının tehlikeye girmemesi ve duruma göre içlerindeki malların da riske atılmaması esas alınır.

Bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını önceki veya mevcut durumunun üzerine çıkarmak amacıyla yapılan değişikliğe “güçlendirme” denir. Yapının yetersiz kapasitede projelendirildiğinin veya inşa edildiğinin anlaşılması halinde veya yapının kullanım amacının ya da koşullarının değişmesi nedeniyle, daha ağır yüklere maruz kalmasının gündeme gelmesi durumunda; yapı hasarlı olmadığı halde takviyesi söz konusu olur.

Yapının kabul edilebilir bir güvenliğe (özellikle de deprem güvenliğine) çıkarılması için onarım ve güçlendirme dahil olmak üzere yapılan işler ise “rehabilitasyon” olarak adlandırılır. Bazı hallerde de yükleri azaltarak istenen güvenlik derecesine ulaşmak olasıdır.

Güçlendirme için önce yapının mevcut taşıma kapasitesi belirlenir ve güçlendirme gerekleri saptanır. Yapının güçlendirilmesi işinin en zor yönü mevcut yapının değerlendirilmesidir. Çoğu zaman mühendis, statik ve betonarme hesap ve çizimleri olmayan binalarla karşılaşır. Bu belgelerin hepsinin veya bir kısmının olmaması, tam olsa bile imalatla bunlara ne kadar uyulduğunun bilinmemesi nedeniyle problem tamamen çözülemez. Eldeki proje ile mevcut yapı arasında önemli farklılıklar olabilir. Mevcut yapının taşıyıcı sistem düzeni, kolon-kiriş birleşim bölgeleri, burulma etkileri, dayanım, kütle ve rijitlik sürekliliği özellikle göz önünde bulundurulmalıdır. Örnek olarak yük altında aşırı sehim, deformasyon yapmış ve büyük çatlaklar oluşmuş bir yapı veya yapı elemanı, yükünü taşıırken zorlanıyor demektir [1, 2].

Güçlendirme uygulanabilirlik yönünden yapının fonksiyonel gereksinimleri ile uyuşmalı, ekonomik ve sosyal düşünceler ile estetik kavramı arasında bir optimizasyon sağlanmalıdır.,

Mevcut binaların güçlendirme öncesi durumunu belirlemeye ve taşıyıcı sistem hesap modelini oluşturmak için gerekli bilgilere ulaşmak üzere uygulama projelerinin yanında, yapı üzerinde gerçekleştirilecek araştırma, inceleme, ölçüm, deney ve gözlem sonuçlarına ihtiyaç duyulur [3].

Bunlar arasında aşağıda belirtilen işlemler sayılabilir :

- a) Taşıyıcı sisteme ait röleve hazırlanması.
- b) Betonarme projede mevcut donatı detaylarına ne derecede uyulduğunu saptamak üzere, bir çok noktada donatı ölçümü<sup>(\*)</sup> yapılması.
- c) Schmidt çekici ve ultrases deneyleri yapılması, binanın çeşitli yerlerinden karot alınması ve bunlardan elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapılarak mevcut beton kalitesinin ve dayanımının güvenilir bir değerinin elde edilmesi.
- d) Bölgenin zemin profilini araştırmak üzere, bina yakınında bir muayene çukuru açılması.

---

<sup>(\*)</sup> Mevcut betonarme elemanlarda donatı kontrolü, Bölüm 2.5.2' de konu edilmektedir.

- e) Binaya yakın yerde dinamik sonda deneyleri yapılması.
- f) Cep penetrometresi ve arazi Vane aletleri ile deneyler yapılması.
- g) Açılan kuyudan alınacak numuneler üzerinde elek-hidrometre analizi, kıvam limitleri, tabii birim hacim ağırlıklarının tespiti ve tabii su muhtevasının tayini deneylerinin yapılması.
- h) Taşıyıcı sistem hesap modelini doğrudan etkileyebilecek ve deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde gözönünde tutulması gereken hususların varlığının saptanması için taşıyıcı sistem üzerinde incelemeler yapılması.
- i) Taşıyıcı olmayan yapı elemanların hesap modeline olan dolaylı etkilerini ortaya çıkarmak üzere, bina üzerindeki duvarlarda, tesisatta<sup>(\*)</sup> ve merdivenlerde gözlemler yapılması.

Yukarıda sıralanan işlemlerden ancak “a”, “h”, ve “i” maddelerinde belirtilenlerin bireysel olarak gerçekleştirilme olanağı bulunabilmiş; bu nedenle öncelikle, resmî belgelerine kolaylıkla ulaşılabilecek, hakkında mümkün olduğunca çok bilgi elde edilebilecek, yapımcılarıyla sıklıkla görüşülebilecek, ayrıca mühendislik hesap ve analizleri açısından cazip özellikler taşıyan bir bina tercih edilmiştir.

## 1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, inşaat esnasında plandaki ve düşeydeki boyutları değiştirilmiş, tasarım yükleri dışında ekstra yüklere maruz kalmış yapıların, değişen yönetmelik koşullarını da dikkate alarak, geliştirilmiş etkin bilgisayar programlarından yararlanıp, deprem bölgelerindeki mevcut betonarme binalardan biri örnek seçilmek suretiyle, güçlendirme öncesi ve sonrası taşıma kapasitelerinin şartnamelere uygunluğunun araştırılmasıdır. Bu amaca uygun olarak deprem güvenliği yeterli olmayan yapılarda, yetersizliklerin nedenlerini saptayarak güçlendirmeye esas olacak verilerin elde edilmesi de bu çalışmanın kapsamına girmektedir.

<sup>(\*)</sup> Elektrik, telefon, su, atık su ve özellikle sonradan eklenen doğal gaz tesisat boruları, taşıyıcı sistem elemanlarının zedelenmesine yol açabilmektedir.

- b) Binanın kat ilavesi olmadan önceki aslî halinin taşıyıcı sistem hesap modelinin oluşturulması; paket program ile bilgisayar ortamında yeni deprem yönetmeliğine göre analizi ve yeterlilik düzeyinin, yapısal sistem ve eleman bazında yorumlanması.
- c) Binanın ilave yığma katlar eklendikten sonra, ancak güçlendirmeden önceki durumuna ait taşıyıcı sistem hesap ve yükleme modelinin teşkil edilmesi; yürürlükteki yönetmeliklere göre hesaplanması ve binanın bu halinin değerlendirilmesi.
- d) Taşıyıcı sistemin takviye edilme gereğinin söz konusu olması üzerine, bodrum katın çevre perdeleriyle rijitleştirilmesi; bunun yanında tüm katlarda düşey ve özellikle de yatay yükleri taşıtmak; ayrıca kat yerdeğiştirmelerinin sınırlandırmasını sağlamak üzere, her iki doğrultuda ikişer adet perdenin, çerçeve gözlerindeki dolgu duvarlarının donatılı betonla doldurulması suretiyle taşıyıcı sisteme eklenerek, yeni hesap modelinin oluşturulması; yapısal analiz ve son durumun yorumlanması.
- e) Sonuçların karşılaştırılması ve önerilerin ortaya konulması.

İzleyen bölümlerde mevcut betonarme yapıların güvenlik düzeylerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili genel bilgiler verilecek; sonra yönetmelikler bakımından değerlendirmeler yapılacak ve son olarak da bu bilgiler ışığında, yukarıdaki kapsamda belirtilen aşamalar, örnek yapı üzerinde sırasıyla ele alınacaktır.

### **1.3 Konuyla İlgili Yayınlanmış Bildiriler**

Yakın tarihlerde ülkemizde gerçekleştirilen ulusal ve uluslararası sempozyum ve çalışmalarda deprem, onarım ve güçlendirme konularıyla ilgili birçok bildiri

yayınlanmıştır. Bu tez çalışmasına ışık tutabilecek olan söz konusu bildirilerden bazılarına, özetler halinde aşağıda yer verilmiştir :

- Dinar Depreminin Düşündürdükleri [4] :

Bu bildiride, Afyon ilinin Dinar ilçesinde 1 Ekim 1995 tarihinde gerçekleşen 5.9 büyüklüğündeki depremin bilançosu verilmiş ve özellikle betonarme binalardaki hasarların teknik nedenleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca, ülkemizde deprem hasarlarının azaltılmasını amaçlayan öneriler sıralanmıştır.

- Betonarme Perde Kullanımının Uygulamaya Yönelik Önemi [5]:

Betonarme yapılarda bölgesel göçmeleri önleyerek, sünekliği arttırmanın güçleştiği, düşey yöndeki yapısal düzensizliklerin etkisizleştirilmek istendiği durumlarda, taşıyıcı sistemin yatay rijitliğini arttırıcı önlemler alınmasının yararının vurgulandığı bu bildiride; mevcut yapılar için de yapıya perde eklenmesinin ya da bazı elemanların perdeleştirilmesinin düşünülebileceği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra perde boyutlarının yapı yüksekliğince değişimine de dikkat edilmesi ve perdenin ortaya koyacağı yapısal değişikliğin tüm yönleriyle göz önünde bulundurulması gereğine işaret edilmiştir.

- Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi [6] :

Bu çalışmada çok sayıda düzenli ve düzensiz tipik yapı üzerinde, “Eşdeğer Statik Yükler” ve “Modların Süperpozisyonu” yöntemleriyle deprem hesapları yapılmıştır. Sonuç olarak incelenen bütün durumlarda; Eşdeğer Statik Yükler Yöntemi ile çözümün, dinamik analiz çözümünden daha büyük değerler verdiği ve dolayısıyla dinamik analizin bir yaptırımından çok ekonomik bir önlem olduğu ortaya konulmuş; özellikle düzensiz yapılar için deprem yönetmeliklerinde başka yapısal ve caydırıcı önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır.

- Mevcut Binalara Kat Eklenmesi ve Bir Öneri [7] :

Bu bildiride, güçlendirmenin ekonomik temelini oluşturmak için çeşitli modeller üzerinde durulmakta; uygun görülen yapılara kat eklenmesinden sağlanan ekonomik katkının o yapının güçlendirilmesinde kullanılması önerilmekte ve bu önerinin teknik yönü sayısal olarak örneklenmektedir.

- Yığma Yapıların Depreme Dayanıklılığı Açısından Boşluklu Tuğla Sorunu [8] :

Bu bildiride, yığma yapılarda boşluklu tuğla kullanımının deprem sırasında ortaya çıkardığı olumsuzluklara ve hasar biçimlerine değinilmiş; depreme dayanıklılık açısından tuğla duvar modülleri üzerinde kolayca uygulanabilecek bir deney önerilmiştir.

- Ülkemizde Yığma Yapıların Deprem Dayanımları [9] :

Taşıyıcı olmayan boşluklu tuğlaların, yığma yapıların deprem dayanımları üzerindeki olumsuz etkilerinin irdelendiği bu bildiride, ayrıca yığma yapıların deprem dayanımlarının belirlenmesi için basit bir hesap yöntemi önerilmektedir.

- Binaların Depreme Dayanımlarının Tayini Ve Güçlendirilmesi [10] :

Bu bildiride mevcut bir binanın şiddetli bir deprem esnasında yıkılmadan ve önemli yapısal hasarlara uğramadan taşıyabileceği maksimum yatay yüklerin tayin edilebilmesi için gerekli deneysel ve analitik çalışmalar gözden geçirilmiştir. Bunun yanında, zemin koşullarının saptanması, beton ve çeliğin dayanımlarının tayini, yapının taşıyıcı sisteminin yatay ve düşey yükler altında analizi, enkesit dayanımlarının tahmini ve güçlendirmeye gerek olup olmadığının belirlenmesi gibi çeşitli etüt ve incelemeleri içeren tümleşik bir çalışma programı önerilmiştir.

- Some Problems Of Strengthening Of Existing Buildings With New Structural Components [11]

Bu çalışmada mevcut yapı elemanlarının yeni yapısal elemanlarla güçlendirilmesinde karşılaşılan düzensizlik ve uyum sorunlarına değinilmiş; çözümlere ilişkin öneriler şekil ve detay resimleri ile birlikte verilmiştir.

## **2. MEVCUT BETONARME YAPILARDA GÜVENLİĞİN BELİRLENMESİ**

### **2.1 Giriş**

Yapıların ve yapı elemanlarının güvenliğinin belirlenmesi, fiziki olarak yapıya ve yapı elemanına ne kadar yük geldiğinin ve yapının bu gelen yükün ne kadar üzerinde bir yükü taşıyabileceğinin ortaya konulmasıdır. Yapıların mevcut durumlarıyla ne kadar güvenli olduklarının değerlendirilmesinde yol gösterici bir yönetmelik yoktur. Bu açıdan böyle bir değerlendirme yapmak, bir yapının tasarımı sırasındaki hesaplarını yapmaktan farklıdır. Yapı tasarımı sırasında yol gösterici yönetmelik ve standartlardan yararlanılır; ancak mevcut bir yapının güvenlik raporunu hazırlayacak mühendis, bilgi, deneyim ve önsezisiyle baş başadır [1-3].

Mevcut yapının statik hesap ve çizimleri çoğu zaman yoktur; varsa bile imalat sonrasındaki durumla karşılaştırma ve yeniden düzenleme zorunluluğu vardır. Yapı güvenliğini belirleme amacına yönelik çalışmalarda, zamanın ve kullanım koşullarının, malzeme üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Yine değişik yapı elemanlarının ve zeminlerin, çeşitli yük etkileri altında davranış biçimlerinin yapı güvenliğine katkıları incelenmelidir. Bunun yanında mühendis, büyük bir olasılıkla kendi tasarım felsefesinden başka bir biçimde yapılmış bir yapı ile karşı karşıyadır. Bilgiler toplanıp değerlendirmeler tamamlandıktan sonra yapının yıkılması ya da takviyesi söz konusu olabilecek veya hangi güçlendirme sisteminin uygulanacağına karar verilecektir.

Yapı güvenliğini belirlemede en önemli hesap yaklaşımının adı “Taşıma Gücü” yöntemidir. Çünkü herhangi bir yapı elemanının kırılması veya görevini yapamaz duruma gelmesi için gereken yükün, yani taşıma kapasitesinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesap da betonarme yapılarda; ancak taşıma gücü yöntemleri ile mümkün olur [2].

Burada sözü edilen güvenlik, projelendirilmede ve imalatla yapılan dikkatsizlikleri, örneğin, taşıyıcı sistemin yanlış modellenmesi, beton dayanımının düşük olması, beton ile donatı arasındaki aderansın ortaya çıkmaması veya kenetlenme boyunun sağlanmaması gibi durumları içeren bir kavram veya büyüklük değildir. Güvenlik, gerekli özen gösterildiği halde elde olmayan veya öngörülemeyen nedenler sonucu meydana gelebilecek olumsuzlukların karşılanması için gereklidir.

## 2.2 Yapı Güvenliği

Yapının en elverişsiz yükler altında göçmemesi ve servis yükleri altında aşırı deformasyon, çatlama ve rahatsız edici titreşim oluşmadan hizmet vermesi, yapının güvenlik içinde olduğunu gösterir. Bu durum şöyle ifade edilebilir [12] :

$$\text{DAYANIM} > \text{YÜK ETKİSİ}$$

Burada dayanım, herhangi bir yapı elemanının eğilme ve burulma momenti, kesme ve eksenel yük taşıma gücü ile çatlama ve deformasyon limitleri olmaktadır. Yük etkisi ise yine elemana gelen eğilme ve burulma momentleri, kesme ve eksenel yükler ile oluşan sehim ve çatlakların boyutlarıdır. Dayanım ve yük etkisi aynı cinsten ifade edilmelidir. Örneğin, eğer yük etkisi öngörülen yükleme altında belirli bir kesitte oluşan eğilme momenti ise, dayanım da o kesitin moment kapasitesi, diğer bir deyişle moment taşıma gücüdür.

Dayanım ile yük etkisi arasındaki oransal ilişki yapının güvenlik katsayısıdır:

$$\text{Güvenlik} = \text{Dayanım} / \text{Yük Etkisi} > 1.0$$

Bu katsayının kesinlikle 1'den büyük olması, diğer bir deyişle bir güvenlik payının bulunması gerekir. Bu fazlalığın bulunması, yapılar ya da yapı elemanları için yapılan dayanım ve yük etkisi hesaplarında ortaya çıkan belirsizliklere karşı emniyet payı bulundurmak amacına yöneliktir. Ayrıca malzeme özelliklerinde olabilecek zayıflama ve kötüleşmelerin de malzeme katsayılarıyla karşılanması gerekir. Diğer bir deyişle malzeme dayanımında olabilecek azalmalar, malzemenin daha düşük bir dayanımdaymış gibi kullanılması ile; yüklerde olabilecek artışlar ise gerçekte gelenden daha büyük bir arttırılmış yük kullanılıp dikkate alınarak, gerekli güvenlik payı oluşturulmaya çalışılmaktadır.

### 2.2.1 Malzeme Katsayıları

Betonarme yapılarda kullanılan beton ve donatının malzeme katsayıları TS 500'de verilmektedir. TS 500'e göre yerinde dökme betonun malzeme katsayısı 1.50'dir. Bu, betonun basınç dayanımında %50'ye varan sapmalar olabileceğinin kabulü demektir. Yine TS 500'e göre prefabrike yapı elemanlarında betonun malzeme katsayısı 1.40 alınırken, betonda kalite denetiminin gerektiği gibi yapılamayacağı kuşkusunu bulunan durumlarda,  $\gamma_{mc}=1.70$  veya daha büyük alınmalıdır.

TS 500'e göre inşaat demiri için malzeme katsayısı  $\gamma_{ms}=1.15$  olarak verilmektedir. Donatı için malzeme katsayısının daha düşük olmasının nedeni, fabrikada yapılan üretimde kalite kontrolünün yerinde dökme betona oranla çok daha iyi gerçekleştirilmesidir. Ancak donatının, özellikle yumuşak inşaat demirinin akma dayanımının, öngörülen dayanımdan %30-40 kadar daha fazla olabildiği de bilinmektedir.

Bitmiş yapılardaki beton dayanımının projesinde öngörülenden daha düşük olması ve donatı dayanımının da hesaplarda öngörülenden daha büyük olması, fiilen birçok betonarme yapı elemanında dengeli kırılma için gereken miktardan daha fazla donatının bulunmasına ve dolayısıyla tahmin edilenden daha ani ve gevrek kırılmalara yol açabilmektedir [12].

### 2.2.2 Yük Katsayıları

Yapıların ve yapı elemanlarının tasarım hesaplarında kullanılacak yüklerde meydana gelebilecek olağandışı durumları karşılamak üzere yük katsayıları, yapı elemanının kendi ağırlığı (G) için 1.4, hareketli yük (Q) için 1.6, rüzgar (W) için 1.3 ve deprem (E) için 1.0 olarak verilmektedir [3]. Bu etkilerin birlikte olması halinde ise gelen yük F:

$$F = 1.4G + 1.6Q \quad (2.1)$$

$$F = 1.0G + 1.0Q + 1.0E \quad (2.2)$$

$$F = 0.9G + 1.0E \quad (2.3)$$

$$F = 0.9G + 1.3E \quad (2.4)$$

olarak verilmektedir [13]. Yük katsayılarının seçiminde yapıya gelecek yüklerdeki belirsizlikler ve hesaplarda yapılan kabullerin yaklaşıklıkları etkili olmaktadır.

### 2.3 Yapı Elemanlarının Davranış Biçimleri Ve Yapı Güvenliğine Katkı Düzeyleri

Betonarme yapı elemanlarının yapı güvenliği üzerindeki etkileri veya önemleri farklıdır. Bir kiriş çatlağı ile kolon çatlağı arasında yapının güvenliği bakımından fark vardır. Yapı elemanlarının önemlerinde olan bu farklılık Amerikan Betonarme Yönetmeliği'nde (ACI 318-83) verilen eleman katsayıları ile de dikkate alınmaktadır. Bu katsayıların yüksek olduğu elemanlar daha yüksek bir emniyet payı ile tasarlanmış olmaktadır. Söz konusu katsayılar, elemanların hesaplanmış yük taşıma kapasiteleriyle çarpılmakta olduğundan, bu katsayıların küçük olması ilgili elemanın daha büyük bir kapasitede hesaplanmasını gerektirmektedir. Bu yönetmeliğe göre eleman katsayıları şöyledir [14] :

|                  |             |                    |
|------------------|-------------|--------------------|
| Basit eğilme     | 0.90        | (Kiriş)            |
| Eksenel Çekme    | 0.90        | (Diyagonal Eleman) |
| Eksenel Basınç   | 0.70        | (Etriyeli Kolon)   |
| Eksenel Basınç   | 0.75        | (Fretli Kolon)     |
| Kesme ve Burulma | 0.85        |                    |
| Bileşik Eğilme   | 0.70 – 0.90 |                    |

Burada özellikle kolonların eleman katsayılarının kirişlere göre önemli ölçüde küçük tutulduğu görülmektedir. Bu durum eksenel yük ve eğilme momenti ile zorlanan kolonların, yalnızca eğilmeye maruz kirişlerden daha önemli olduğunu gösterir. Ayrıca kolonlar düşey yükleri de taşıdıklarından yapının ayakta durmasının sağlayan elemanlardır ve elbette daha önemlidirler.

#### 2.3.1 Döşemeler

Betonarme yapılarda döşemeler en güvenli yapı elemanlarıdır. Büyük şekil değiştirmeler yaparak büyük yükler taşıyabilirler. Plak döşemelerinin kendi ağırlığı ve hesaplarda alınan hareketli yükün toplamının 4-5 katını, büyük sehim yaparak ve çatlayarak taşıyabildiği deneylerle gösterilmiştir. Eğilme etkilerine karşı direnci yüksek olan plakların, özellikle kirişsiz döşemelerin kesme etkilerine karşı dirençleri

azdır. Kirişsiz döşemede kolona aktarılabilecek kesme kuvveti kapasitesi çok hassastır. Bu kapasitenin aşılması, plağın ani ve gevrek göçmesine neden olur [2].

### 2.3.2 Kirişler

Kirişler plak döşemeler kadar olmasa da güvenli yapı elemanlarıdır. Betonarmedeki “adaptasyon olayı”<sup>(\*)</sup> sayesinde aşırı zorlanan kirişler şekil değiştirmeler yaparak, zorlamalarını komşu elemanlara aktarırlar. Öte yandan mesnet donatısı yetersiz olan bir kiriş, yalnızca açıklıktaki boyuna donatısı ile basit kiriş gibi davranabilir. Ancak sehim, iki ucu ankastre kirişe göre daha fazladır.

Kirişlerin donatıları genellikle dengeli kırılma için gereken miktardan daha az olduğu için kırılma, çekme donatısının akmaya başlamasıyla gerçekleşir. Bu kırılma sünek ve nispeten yavaş bir özellik taşıdığından zayıflama belirtileri gösterir ve ani göçme olmadığından önlem alınmasına fırsat verir. Kirişlerin onarım ve güçlendirilmesi mümkün ve kolonlara göre daha kolaydır [12].

### 2.3.3 Kolonlar

Betonarme yapıların en kritik elemanları arasında yer alır. Normal kuvvet eğilme momentine göre daha hakimdir. Deprem hareketinin her iki yönde ve her iki doğrultuda meydana gelebilmesi, genel olarak kolonların her iki ekseninde simetrik donatılmasını gerektirir. Kolonlarda göçme sırasında genellikle betonun davranışı etkili olur. Taşıma kapasitesi aşıldığında, hasar aniden gelişip hızla yıkılmaya varabilir. Çerçevesel yapılarda depremden meydana gelen eğilme momenti, kolonda doğrusal bir değişim göstererek, kolon uçlarını en fazla zorlar. Bu bölgelerde sünekliği arttırmak için etriye sıklaştırılması önerilir. Bir anlamda betonarme bir yapının güvensizliğinin belirlenmesi, kolon ve perde duvarlarının, düşey ve yatay yükleri taşımadaki güvenlik paylarının belirlenmesi olarak algılanabilir [2].

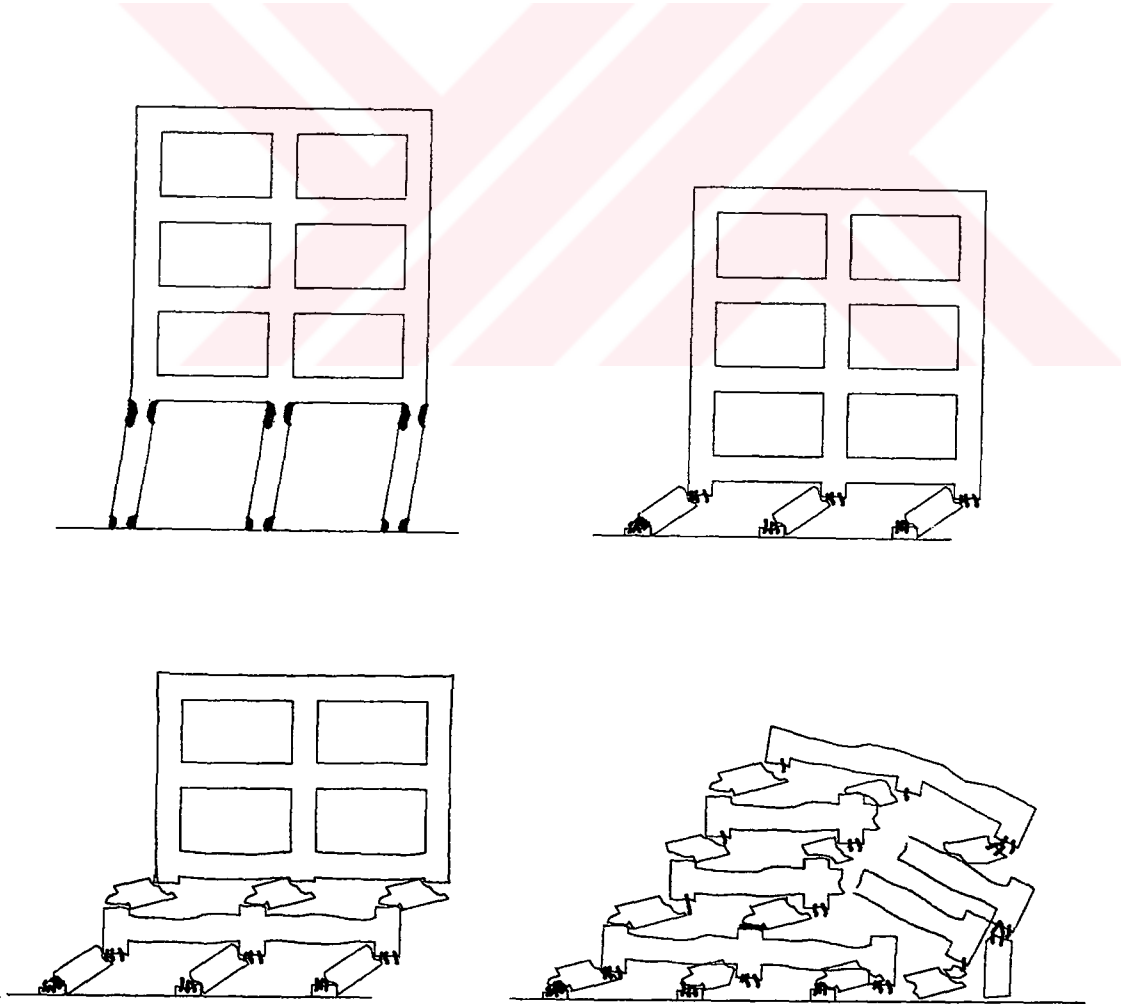
### 2.3.4 Kiriş – Kolon Birleşim Bölgeleri

Kiriş ve kolon davranışlarının istenen düzeyde olması için, bunların birleşim bölgelerinde uygun şekilde boyutlandırılma ve düzenleme yapılmış olması önemlidir.

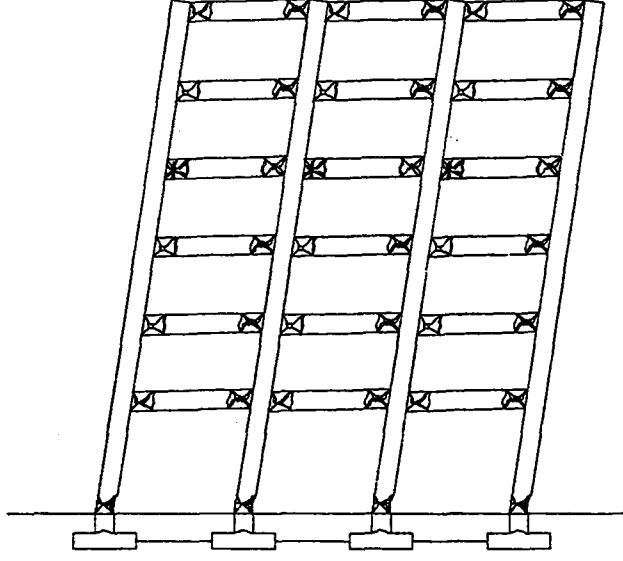
---

<sup>(\*)</sup> Betonarmenin uyum özelliğine Bölüm 2.4.2’ de değinilmektedir.

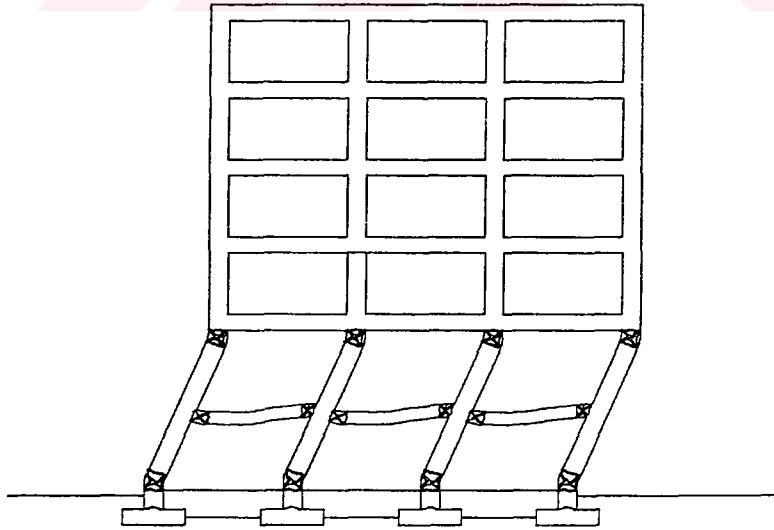
Deprem hasarlarının önemli bir bölümü birleşim bölgesinde veya yakınında oluşmaktadır. Birleşim bölgelerinde meydana gelen bir dayanım veya rijitlik kaybı, çerçevede büyük yanal yerdeğiştirmelere, ikinci mertbe etkilerinin doğmasına ve sistemin tamamen göçmesine neden olabilir (bkz. Şekil 2.1). Büyük bir deprem durumunda mafsallaşmanın kirişlerde ortaya çıkması ve deprem enerjisinin bu yolla yutulması istenir (bkz. Şekil 2.2). Kolonların alt ve üst uçlarında plastik mafsallar oluşmasıyla ortaya çıkabilecek göçme, birbirini takip edecek göçmelere ve büyük can kaybına neden olacağı için önlenmelidir (bkz. Şekil 2.3). Bu düşünce, kuvvetli kolon-zayıf kiriş ilkesi olarak ifade edilir. Bu durumda sistem, kirişlerde çok sayıda plastik mafsal oluşmasından sonra ve bu nedenle çok daha sünek bir davranış sonucu göçebilir veya büyük oranda enerji yutarak depremi karşılar. Burada kullanılan kuvvetli ve zayıf sözcükleri görecelidir; zayıf denilen eleman ve kesitler de yönetmeliklerdeki yükleme şekillerini öngörülen güvenlikle karşılamalıdır [3].



Şekil 2.1 Betonarme çerçeveli yapıda zemin katta mafsallaşarak yıkılma.



Şekil 2.2 Çerçeveseli yapılarda kiriş uçlarında mafsallaşma ile yıkılma mekanizması.

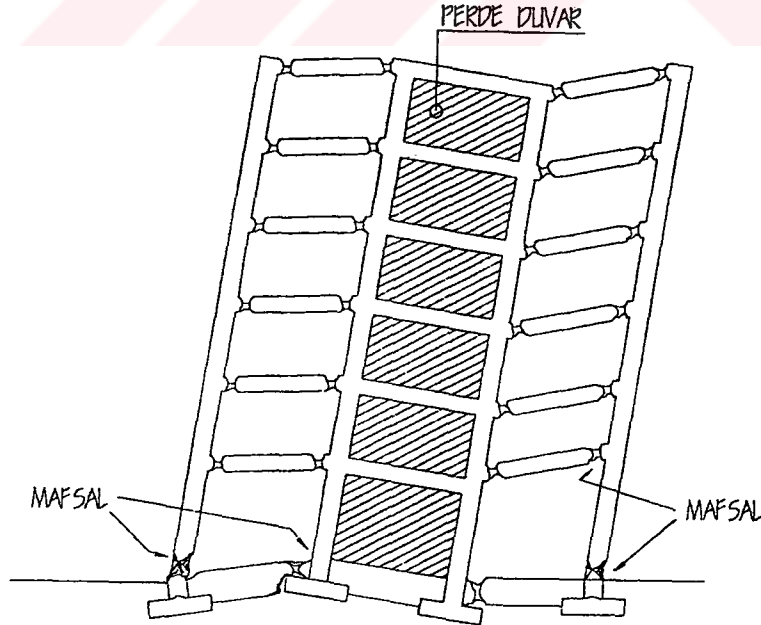


Şekil 2.3 Çerçeveseli yapılarda kolon uçlarında mafsallaşma ile yıkılma mekanizması.

### 2.3.5 Perdeler

Perdeler pek çok yüksek yapıda yatay yüklerin karşılanmasında etkili bir şekilde kullanılır. Çerçevelerle birlikte veya bağ kirişleriyle beraber gruplar halinde düzenlenebilirler. Plandaki yer ve biçimleri genellikle mimari kullanım amaçlarına bağlıdır. Yüksek binalarda yanal yerdeğiştirmeleri sınırlamaları en önemli tercih sebebidir. Perdeler büyük depremlerde genellikle plastik şekil değiştirmelerle yatay kuvvetlerin dinamik etkisine karşı koyarlar. Özenle düzenlenen perdeler toplam göçmeyi önledikleri gibi, yapısal olmayan hasarların sınırlandırılmasında da işe yararlar. Tek başına bulunan bir perde, betonarme konsol kiriş gibi davranır. Ancak dar kesit yanal burkulma kuşkusu uyandırır da, kat döşemeleri yeterli bir yanal rijitlik oluşturarak bu tehlikeyi ortadan kaldırır [3].

Perdelerin yatay yükleri karşılaması bakımından kat döşemelerine olan bağlantısına özen gösterilmeleri ve mümkün olduğunca daha fazla düşey yük taşıtılması sağlanmalıdır. Büyük yatay rijitliği nedeniyle depremden gelen yatay yüklerin büyük bir kısmını taşıyacak olan perdenin tabanında büyük eğilme momentleri oluşacaktır. Bu nedenle perde temelinin, dönme eğilimini azaltacak önlemler alınması gerekmektedir. Aksi halde çerçeveler bundan olumsuz yönde etkilenecektir (bkz. Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Perde temellerinde dönme sonucunda oluşan göçme mekanizması.

### 2.3.6 Temeller

Yapının bütünsel güvenliği açısından en önemli elemanları temelleridir. Onarım ve güçlendirilmeleri diğer yapı elemanlarına göre oldukça zor ve pahalıdır. O nedenle tasarım ve yapım esnasında özel bir emek harcanması, sonradan pek çok zahmetli işlere gerek bırakmayacaktır.

## 2.4 Betonarme Yapı Güvenliğinde Diğer Unsurlar

### 2.4.1 Ön Bilgiler

Bir yapının ömrü boyunca etkisi altında kalması söz konusu olabilecek yüklere güvenlikle karşı koyabilmesi, yaygın deyim ile sağlamlığı kesin olarak belirlenebilecek bir özellik değildir. Yüklerin ve dayanım özelliklerinin değişen değerlerine bağlı olarak istatistiksel anlamda belirlenebilir.

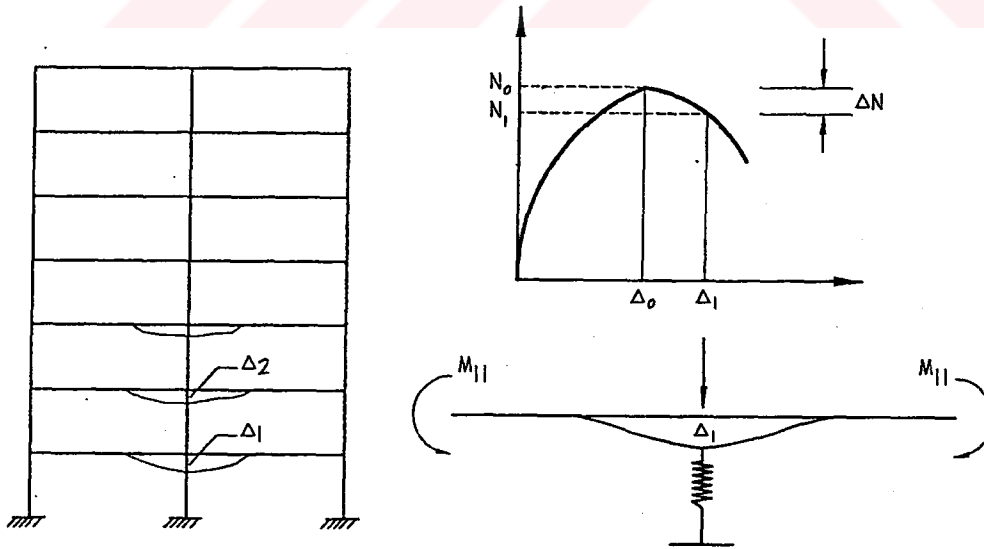
Yapıyı zorlayan önemli etkilerden biri olan depreme karşı güvenliğin sağlanmasında, önce taşıyıcı sistemin tasarımının özenli yapılması çözümlemeden daha önemlidir. İyi bir tasarımda, taşıyıcı sistemin analizde göz önüne alınan davranış şekliyle, deprem altındaki davranış birbirine yakın olur. Simetriden ayrılma sonucu ortaya çıkan burulma ve her türlü süreksizlik, taşıyıcı elemanların kesit tesirlerini arttıracaktır. Bu tür tasarım mimari taleplere cevap vermeyebilir; ancak simetri ve düzgünlük sağlayıp, kütle, geometri, rijitlik ve dayanımda süreksizliklerden kaçınmaya çalışarak, önemli ölçüde ekonomi sağlanacağını bilinciyle bir optimizasyona gidilmelidir. Yüklerin kısa yoldan zemine iletilmesi, düşey yüklerde olduğu gibi, yatay yüklerde de önemlidir.

Seyrek meydana gelecek şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının üzerinde şekil değiştirerek karşılaması öngörülür. Böyle bir durumda eğer yapı sünekse, zeminden yapıya yayılan deprem enerjisinin büyük bir kısmı, akmaya ulaşan kesitlerde yutulur. Taşıyıcı sistemin sünek olması için birleşim bölgelerindeki donatılarda kenetlenmenin sağlanmış olması; sünekliğin gereği olan plastikleşme bölgelerinin, mekanizma durumu gerçekleşmeden meydana gelebilmesi için de; sistemin yüksek mertebeden hiperstatik olması gerekir [2,3].

#### 2.4.2 Betonarmenin Uyum Özelliğinin Katkısı

Uyum fazla zorlanan bir lifin, kesitin ya da elemanın zorlamaları komşu lif, kesit ya da elemana aktarabilme özelliğidir. Örneğin mesnetlerinde moment taşıma gücüne ulaşılan bir kirişin düşey yükünün artması ile birlikte, eğilme momenti artık mesnet tarafından taşınmaz; fakat kiriş açıklığı tarafından taşınmaya başlar. Bir anlamda kesit zorları, fazla zorlanan kesitlerden daha az zorlanan kesite, yani mesnetlerden açıklığa aktarılmaktadır. Buna “moment uyumu” ya da momentin yeniden dağılımı denir. Bu olay aynı eleman içinde kuvvet aktarımıdır. Plastik mafsallaşma olan kesitlerin aynı zamanda büyük dönmeler yapması söz konusu olduğu için kesitlerde yeterli dönme kapasitesinin bulunması gerekir [12].

Çok katlı bir yapının bodrum kat kolonu, eksenel yük altında taşıma gücüne ulaşır ve ezilmeğe başlarsa, artan deformasyonla yükler daha az zorlanan komşu kolonlara aktarılabilir (bkz. Şekil 2.5). Bunun için kolonun yeterli sünekliğe ve üstteki kirişlerin de deformasyon nedeni ile oluşacak zorlamaları taşıyabilecek kapasiteye sahip olmaları gerekir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere,  $N_0$  yükü altında deformasyonu  $\Delta_0$ ’ dan  $\Delta_1$ ’ e ulaşan kolonda, “adaptasyon” sayesinde  $\Delta N$  kadar normal kuvvet azalması ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 2.5 Betonarmedeki uyum olayının oluşturduğu yük dağılımının çerçeveli yapıda orta kolon üzerinde örnek gösterimi.

### 2.4.3 Yapının Durumu

Güvenliğinin belirlenmesi ya da değerlendirilmesi istenen bina projesiz yapılmış olabilir. Projesi varsa bile tasarım ve uygulamada bugünden farklı güvenlik katsayıları ve malzeme kullanılmış olabilir. Yapının projesindeki boyutları, donatıları, beton dayanımı farklılık arz edebilir. Betonarme elemanların boyutlarının ancak 10 mm mertebesindeki hassasiyetle imal edilebilmesi, kesit ve dolayısıyla rijitliklerde değişikliklere sebep olur. Bunun gibi aks aralarında ve kat yüksekliklerinde de benzer mertebelerde hatalara sıkça rastlanır. Aslında her yapıda imalat sonundaki durum, projeden az veya çok farklıdır. Bu farkın belirlenmesi gerekir. Benzer şekilde, donatının betonarme kesitte, olması gerekenden farklı bir yükseklikte olması elemanın kapasitesini değiştirir. Beton dış ortam tesirlerinden olumsuz etkilenmiş olabilir. Yapı bir yangın geçirmişse, donatı yüksek sıcaklıktan etkilenmiş olabilir. Yapının mevcut durumunun saptanması için bu tür olguların araştırılması gerekmektedir [15].

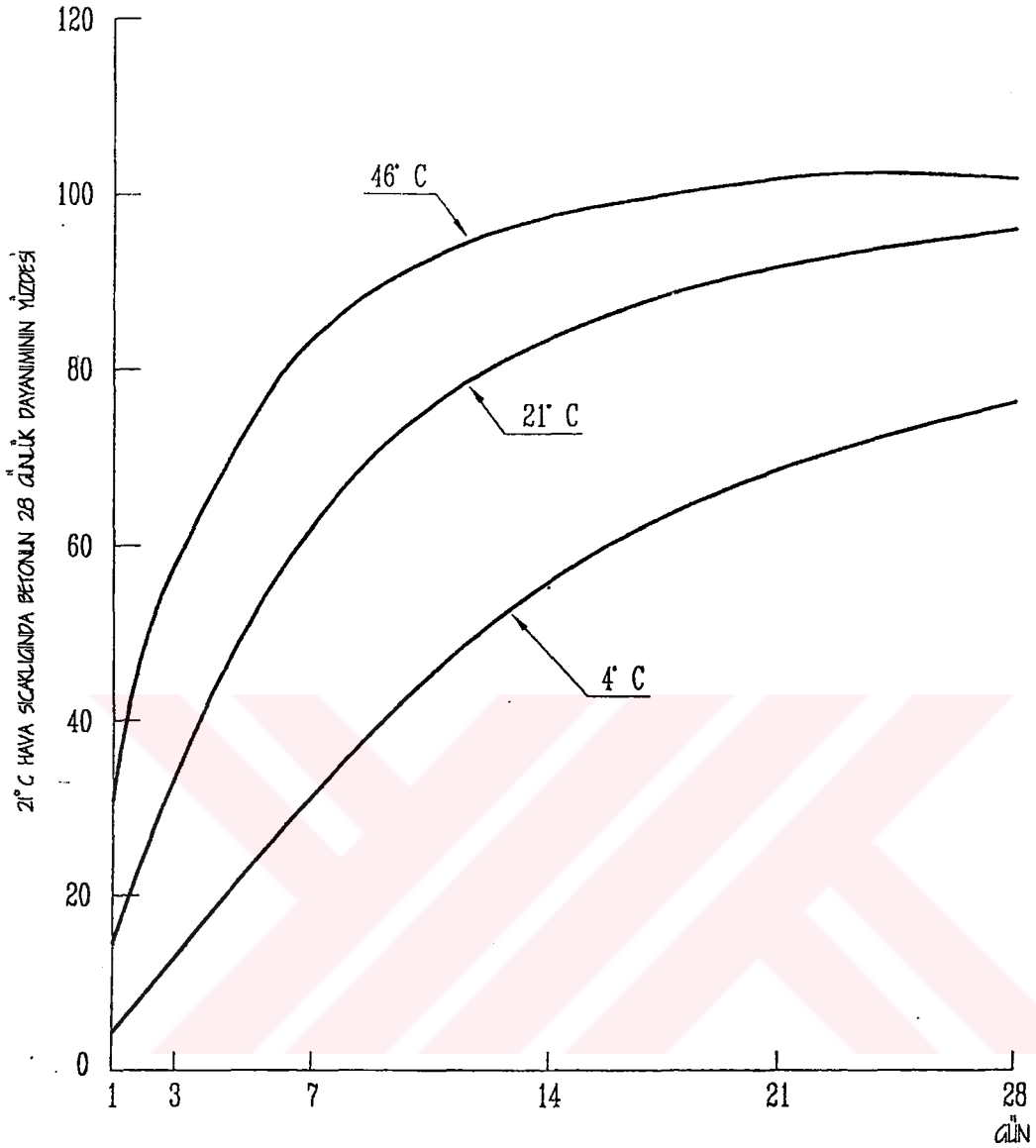
### 2.4.4 Beton Dayanımında Zamanla Olan Değişim

Betonarme yapı elemanı hesaplarında, betonun 28 günlük silindir basınç dayanımı kullanılır. Oysa ki betonun basınç dayanımı giderek azalan bir hızla artmaktadır. Pratik olarak 1 yıldan daha eski ve iyi korunmuş betonun basınç dayanımı, 28 günlük silindir dayanımının %30 kadar daha fazlası olabilir (bkz. Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Beton Dayanımının Betonun Yaşı İle Değişimi

| BETONUN YAŞI (GÜN)      | 3    | 7    | 28   | 90   | 360  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| NORMAL ÇİMENTO          | 0.40 | 0.65 | 1.00 | 1.20 | 1.35 |
| ÇABUK SERTLEŞEN ÇİMENTO | 0.55 | 0.75 | 1.00 | 1.15 | 1.20 |

Beton döküldükten sonra standart basınç dayanımına ulaşması için geçen zaman hava sıcaklığına bağlıdır (bkz. Şekil 2.6). Soğuk havalarda bu dayanıma ulaşmak yavaş olmaktadır. Beton dayanımında sünme den dolayı azalma olabileceği de yapı güvenliği ile ilgili incelemelerde gözönünde tutulmalıdır [2].



Şekil 2.6 Farklı hava sıcaklığında yeni dökülmüş betonda dayanım kazanımı.

## 2.5 Mevcut Yapının Malzeme Özelliklerinin Kontrolü

### 2.5.1 Beton Basınç Dayanımının Yerinde Ölçümü

Mevcut betonarme yapı elemanlarının güvenliğinin belirlenmesinde, eleman betonunun basınç dayanımının olabildiğince doğru olarak belirlenmesi gerekir. Bunun için en çok uygulanan yöntemlerden biri, tahribatlı bir yöntem olan karot alınması ve bunun üzerinde basınç deneyi yapılmasıdır. Kırılmak üzere alınacak bu

örneklerin yapı için daha az kritik olan perde ve döşemelerden temin edilmesi tercih edilir. Betonun basınç gerilmesi altında olduğu bölgelerden karot alınmamalıdır. Kırıktan karot alınmasının kaçınılmaz olduğu durumlarda, bu numuneler kayma gerilmelerinin düşük olduğu kısımlardan çıkarılmalı, basınç bölgesi mümkün olduğunca örselenmemeli ve çekme donatısı kesilmemelidir. Ayrıca betonarmede donatının yerini gösteren cihazlar kullanılarak, beton alınacak yerde donatının bulunmadığı kontrol edilmeli ve karot alınırken donatılar kesilmemelidir. Karot boşlukları derhal betonla doldurulmalıdır. Kırılma deneyi sonrasında, numune ebadının standart boyutlardan farklı olması durumunda, bir boyut düzeltme faktörü uygulanarak elde edilen beton dayanımı düzeltilmelidir [12].

Yerinde beton basınç dayanımını belirlemede kullanılan diğer yöntemler ise, ses hızı ve yüzey sertliği gibi tahribatsız yöntemlerdir. Schmidt beton tabancası yöntemi, betonun üzerine vurulan ağırlığı geri sektirme esasına dayanır ve kolayca uygulanabilen bir yöntemdir; ancak elde edilen sonuçların güvenilirliği azdır. Bu yöntemden yararlanmak için beton örnekler üzerinde tabanca ile ölçüm yapmak; daha sonra aynı örneklerin basınç dayanımlarını preste kırarak ölçmek ve en sonunda da geri sekme değeri ile o inşaatda kullanılan betonun basınç dayanımını ilişkilendirmek gerekmektedir. Bulunan ilişki yalnızca o inşaatteki betonlar için geçerli kabul edilebilir [12,2].

Beton dayanımı ile ilgili olarak dikkate alınması gereken nokta, betonun yapı elemanı içindeki yeridir. Örnek olarak beton dökülme sırası nedeni ile kolonların alt uçlarındaki betonun, döküm sırasında bütün kolon yüksekliği boyunca gelen betonun baskısı altında sıkışma sonucu daha yoğun olduğu ve daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu ileri sürülmektedir [2].

#### 2.5.2 Donatının Kontrolü

Betonarme yapı elemanının içindeki donatının çapı, cinsi ve yerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Donatının yeri ve dolayısıyla sayısının belirlenmesinde, manyetik alan ilkesine göre çalışan cihazlar kullanılabilir. Ancak çapı ve nervürlü olup olmadığının tespiti, betonun kırılarak gözle görülmesi ve ölçülmesi ile mümkün olmaktadır. Genel olarak her bir elemanda, kolon gibi aynı çapta donatı kullanılacağından, bir tanesinin boyutunun tespit edilmesinden sonra, diğerlerinin

yerlerinin belirlenmesiyle, sayıları da hesaplanmış olacaktır. Ancak çok daha önemli olan donatıların bindirme ve ankraj boylarını kestirmek hemen hemen imkansızdır. Donatı sayısı ve çapı ile ilgili bilgiler kesit hesaplarına olanak tanır; ancak sünek davranış tahmini yapmak için aderans ve ankraj boylarını bilmek lazımdır [2].

## **2.6 Yapı Elemanlarının Şekil Değiştirme Kontrolü**

Güvenlik düzeyinin belirlenmesi istenen betonarme yapılarda, rahatsız edici çatlakların, sehimin, titreşimin, oturmanın veya benzeri durumların olup olmadığı araştırılmalıdır. Kolonların düşeylikleri kontrol edilmelidir. Döşeme ve kiriş elemanlarında meydana gelen sehimin yönetmelik sınırlarını aşp aşmadığı incelenmelidir. Amerikan Betonarme Yönetmeliği'ne göre, kiriş ve döşemelerde izin verilebilecek en büyük açıklık sehim miktarı,  $L/240$  olarak verilmektedir [14]. Burada "L" eleman açıklığıdır.

Eğer döşeme ve kirişlerde bu miktarı aşan sehimler varsa, elemanda çatlak olmasa da kullanma açısından problemli olduğu anlaşılabacaktır. Genellikle aşırı sehim, elemanın narinliğinden kaynaklanır. Bu tip aşırı sehimleri olan döşemelerde titreşimler de kullanıcıları rahatsız edecek boyutlarda olmaktadır.

### **3. MEVCUT BİNALARIN 1997 DEPREM YÖNETMELİĞİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

#### **3.1 Giriş**

Yeni deprem yönetmeliğinin 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe girmesiyle, 22 yıldan uzun bir süre uygulanan 1975 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'in (1975-DY) kullanımı son bulmuştur. 1975 yönetmeliği [17] hazırlandığı tarih itibarıyla modern bir yönetmelik olmasına karşın, gerek hesap kuralları ve gerekse özellikle betonarme binalarla ilgili yaklaşımları bakımından, genel olarak 1960'lı yılların deprem mühendisliği bilgisini yansıtan bir dokümandır [16]. Oysa 1997 yılında küçük değişikliklerle yeniden düzenlenerek yayınlanan ve 1998 başında yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” (1997-DY), deprem mühendisliğinde son yıllarda dünyada yaşanan yoğun gelişmeleri yansıtmaya çalıştığından daha kapsamlı bir niteliğe sahip olmuştur.

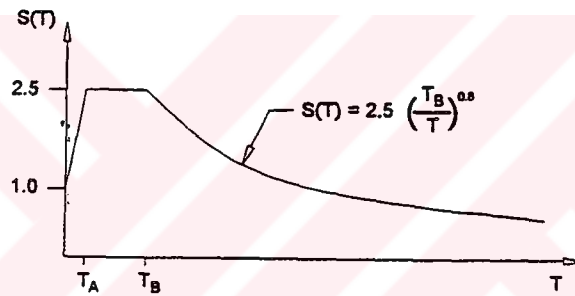
1997 yönetmeliği [18] depreme dayanıklı tasarıma yeni bir bakış açısı getirmiştir. Bu yeni tasarım felsefesi, yürürlükten kaldırılmış bulunan önceki yönetmeliğe göre projelendirilmesi gerçekleştirilmiş olan yapıların, yeni yönetmelik karşısındaki durumlarının değerlendirilme düşüncesinin doğmasına neden olmuştur. İzleyen kısımlarda, mevcut betonarme binaların depreme dayanıklılık durumu hususunda, 1975-DY ve 1997-DY arasındaki farklılıklar bakımından değerlendirmeler yapılacaktır.

#### **3.2 Depreme Dayanıklı Tasarım Yaklaşımı**

1975 deprem yönetmeliği [17], yapay ve itibarî bir büyüklük olan “deprem katsayısı” kavramına dayanır. Dünyada son yıllarda geliştirilen modern yönetmeliklerin ortak noktası ise, deprem etkisinin öncelikle “doğrusal elastik tasarım spektrumu” ile ifade

edilmesidir. Bu paralelde hazırlanan 1997 deprem yönetmeliğinde, tasarım ivme spektrumunda deprem tehlikesini belirleyen temel parametre, deprem bölgelerine göre değişik değerler alan ve  $A_{0g}$  simgesi ile gösterilip “etkin yer ivmesi” olarak adlandırılan büyüklüktür. Bu büyüklük, yönetmelikte tanımlanan Bina Önem Katsayısı’nın  $I=1$  değerini aldığı binalar için, 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olan depremi karakterize etmektedir. Bir ila dördüncü derece deprem bölgeleri arasında  $A_{0g}$  değeri 0.40g, 0.30g, 0.20g ve 0.10g değerlerini almaktadır [18].

Şekil 3.1’de verilen Spektrum Katsayısı  $S(T)$ , tasarım ivme spektrumunun ( $A_{0g}I$ ) ile normalize edilmiş biçimine karşılık gelmektedir. Spektrumun şeklini tanımlayan  $T_A$  ve  $T_B$  değerleri, zemin gruplarının ve en üstteki zemin tabakası kalınlığının belirlediği yerel zemin sınıflarına bağlı olarak tanımlanan “spektrum karakteristik periyotları”dır.

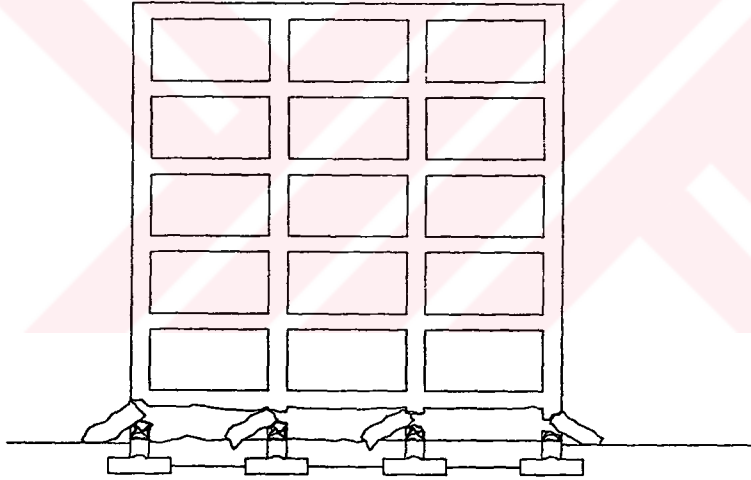


Şekil 3.1 Spektrum katsayısının periyoda göre değişimi.

Yönetmelikte, eşdeğer doğrusal hesapta göz önüne alınacak “tasarım deprem yükleri”, yukarıda tanımlanan tasarım ivme spektrumuna göre belirlenen elastik deprem yüklerinin, “ $R_a$ ” ile simgelenen “Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı”na bölünmesi ile elde edilen yükler olarak tanımlanmıştır.  $R_a$  katsayısının yönetmelikte bu şekilde adlandırılması, elastik davranışa karşı gelen deprem yüklerinin, depremde aktarılan enerjinin binada yutulması ve aynı zamanda binanın yedek dayanım kapasitesinin varlığı sayesinde azaltıldığını doğrudan vurgulamaya yöneliktir.  $R_a$  katsayısı, yönetmelikte “süneklik düzeyi yüksek” ve “süneklik düzeyi normal” olan çeşitli taşıyıcı sistemler için tanımlanan “Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı”  $R'$  ye ve doğal titreşim periyodu  $T$  ye bağlı olarak ifade edilmiştir.  $T > T_A$  için  $R = R_a$  olmakta;  $0 \leq T \leq T_A$  aralığında ise, normalleştirilmiş deprem yükünü tanımlayan  $S(T)/R_a$  büyüklüğü,  $T = 0$  da  $R_a = 1$  olacak şekilde enterpolasyonla bulunmaktadır.

Yukarıda belirtildiği gibi, 1997 deprem yönetmeliğinde taşıyıcı sistemler, “süneklik düzeyi yüksek” ve “süneklik düzeyi normal” olan sistemler olarak sınıflandırılmışlardır. Çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemlerde “yüksek süneklik düzeyi” nin iki temel koşulundan birincisi, “kolonların kirişlerden daha güçlü olması” koşuludur.<sup>(\*)</sup> Deprem sırasında plastik mafsalların kolonlarda değil, kirişlerde oluşmasını; böylece bir yandan kararlı bir enerji tüketimi sağlanırken, diğer yandan toptan göçme veya kat göçmesi mekanizmalarını önlemeyi öngören bu koşul, tasarım depremi altında binada “kontrol edilebilir hasar” ı kabul eden ve temel amaç olarak can kaybını önlemeyi hedefleyen modern depreme dayanıklı tasarım felsefesinin açık bir ifadesi olmaktadır [16].

Kolonların kirişlerden daha güçlü olmasını tamamlayan ikinci temel süneklik koşulu ise; hem kolonlarda, hem de kirişlerde plastik mafsallar oluşması öncesinde, kayma göçmesinin önlenmesidir (bkz. Şekil 3.2). <sup>(\*\*)</sup>



Şekil 3.2 Zemin kat kolonlarının kesme ve basınç kırılması ile yıkılma mekanizması.

(\*) 1997 deprem yönetmeliğinde “Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon – kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.  $(M_{ra} + M_{rb}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj})$ ” maddesi yer almaktadır.

(\*\*) Şiddetli depremlerde düşey yüke rağmen kiriş momentlerinde ve kesme kuvvetlerinde tersinmeler oluşur. Eğik çatlakların her iki yönde de gelişmesi sonucu, beton basınç bölgesince taşınan kesme kuvveti büyük ölçüde azalır. Şiddetli deprem etkisi altında hem üstteki hem de alttaki boyuna donatı, tersinme nedeni ile mesnet yakınlığında akma konumuna erişeceğinden, bu bölgelerde çatlak genişliğinin büyük olacağı açıktır. Çatlakların her iki yönde gelişmesi ve genişliklerinin fazla olması nedeniyle bu kısımlardaki beton ufalanacak ve çatlak yüzünde oluşan kayma dayanımı büyük ölçüde azalacaktır. Yapıya etkiyen deprem kuvvetinin tam olarak saptanması olanaksız olduğundan, kapasiteden gidilerek hesaplanan kesme kuvveti daha sağlıklı sonuç verir. Bu tür bir hesapta kirişin eğilmedeki taşıma gücü temel alındığından, kesme dayanımının eğilme dayanımından daha büyük olması dolayısıyla sünek davranış garantilenmiş olur [12].

Bu nedenle kolon ve kirişlerdeki tasarım kesme kuvvetinin, plastik mafsallarda oluşacak “pekleşmeli taşıma gücü momentleri” ile uyumlu olacak şekilde hesaplanması öngörülmektedir. Çerçeve sistemler için tanımlanan bu iki temel koşul, literatürde “kapasite tasarımı” yaklaşımı olarak adlandırılmaktadır. Bu yaklaşım izlenerek yapılacak tasarım, tanımlanan deprem yüklerine göre yapılan analizle elde edilecek iç kuvvetlerden bağımsızdır ve bu özellik, yeni yönetmeliğin eskisine oranla en önemli farkını oluşturmaktadır.

### 3.3 Hesap Yöntemleri Açısından Değerlendirme

1997 deprem yönetmeliği, deprem analizine ilişkin olarak getirdiği kurallar ve koşullar bakımından da eski yönetmeliğe oranla önemli farklılıklar içermektedir. 1975 yönetmeliğinde [17] tek analiz yöntemi olarak verilen “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ne ek olarak yeni yönetmelikte “Mod Birleştirme Yöntemi” ne de ağırlıklı olarak yer verilmiş; böylece normalize edilmiş spektrumdan yararlanılarak çok modlu spektral analiz olanağı sağlanmıştır. Ayrıca yeni yönetmelikte, özel durumlarda doğrusal olmayan deprem hesabı yapılabilmesi imkanı sağlayan “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri” de yer bulmuştur [18].

Kontrollü hasar kavramını ve kapasite tasarımı ilkesini benimseyen Yeni deprem yönetmeliği, 1975 deprem yönetmeliğinden farklı olarak düzensiz binalara ilişkin, nitel anlamda bir takım koşullar tanımlamıştır. Bu bağlamda belirli düzensizlik durumlarında, belirli yükseklikleri aşan binalarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ nin kullanımına sınırlamalar getirilmiştir. Ancak yine de, bu yöntemin kullanım alanı oldukça geniştir. Bu yaklaşımın ardındaki düşünce, temel düzenlilik koşullarını sağlayan ve belirli yükseklik sınırlarını aşmayan binalarda, yukarıda belirtilen kapasite tasarımı ilkesinin doğru biçimde uygulanmasının, ayrıntılı deprem analizinden çok daha önemli olduğudur [16].

1997 yönetmeliğinde deprem analizine ilişkin getirilen en önemli koşullardan biri de, gerek Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nde ve gerekse Mod Birleştirme Yöntemi’nde üç boyutlu analiz yapılması zorunluluğudur. Böylece iki boyutlu idealleştirmenin deprem davranışının doğasına aykırı olduğu ve ek burulma etkilerinin göz önüne

alınmasıyla simetrik binalarda bile iki boyutlu davranışın esasen mümkün olmadığı vurgulanmıştır.

Kesit hesaplarında ise “Emniyet Gerilmeleri Yöntemi” terk edilmiş ve yeni yönetmelikte “Bütün deprem bölgelerinde betonarme elemanların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında ve donatı hesaplarında, TS-500’de verilen Taşıma Gücü Yöntemi’nin kullanılması zorunludur” cümlesi yer almıştır [18].

### 3.4 Malzeme Dayanımlarının Sınırlandırılması

1997 deprem yönetmeliğinde beton ve çelik kalitelerine ilişkin bazı koşullar yer almıştır. Bu koşullar şu şekilde ifade edilmiştir [18] :

#### 7.2.5. Malzeme Dayanımları

7.2.5.1 - Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C16 (BS16)’dan daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz. Ancak birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, aşağıda tanımlanan binalarda C20 (BS20) veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılması zorunludur.

(a) Taşıyıcı sistemi sadece süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan binalar,

(b) Taşıyıcı sistemden bağımsız olarak Bölüm 6’daki Tablo 6.3’e göre Bina Önem Katsayısı  $I=1.5$  ve  $I=1.4$  olan tüm binalar.

7.2.5.2 - Tüm deprem bölgelerinde, TS-500’deki tanıma göre beton kalite denetimi olmaksızın beton üretimi ve vibratörsüz beton yerleştirmesi yapılmayacaktır.

7.2.5.3 - Aşağıda 7.2.5.4’te belirtilen elemanlar hariç olmak üzere, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420’den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılmayacaktır. Kullanılan donatının kopma birim uzaması %10’dan az olmayacaktır. Donatı çeliğinin deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımı, ilgili çelik standardında öngörülen karakteristik akma dayanımının 1.3 katından daha fazla olmayacaktır. Ayrıca, deneysel olarak bulunan ortalama kopma dayanımı, yine deneysel olarak bulunan akma dayanımının 1.25 katından daha az olmayacaktır.

7.2.5.4 - Kirişli sistemlerin döşemelerinde, kirişsiz döşemelerde, dişli döşeme tablalarında, bodrum katların çevresindeki dış perde duvarlarının gövdelerinde, deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca perdeler tarafından taşındığı ve 7.6.1.2’de Denk.(7.14) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı perde gövdelerinde ve prefabrike binalarda öngerme çeliği olarak S420’den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılabilir.

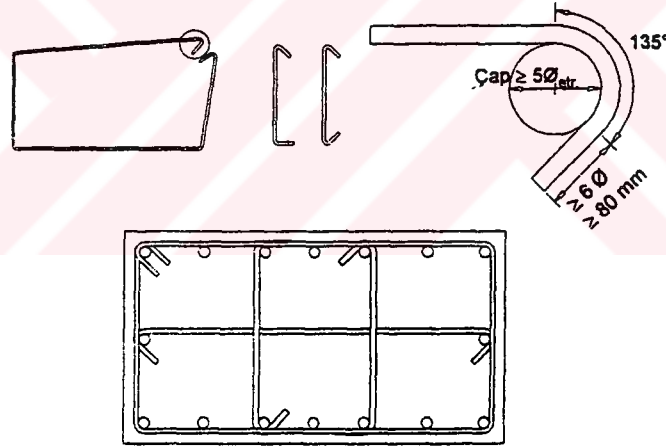
Beton dayanımındaki yetersizlikler, yurdumuzda son yıllarda meydana gelen Erzincan (1992), Dinar (1995) ve Adana (1998) depremlerinde ortaya çıkan hasarların oluşmasında büyük paya sahiptir. Yukarıdaki alıntıdan, yeni yönetmeliğin beton dayanımını iyileştirici düzenlemelere önem verdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca dinamik deprem kuvvetlerinin daha sünek yapı elemanlarıyla karşılanmasını

sağlamak üzere, donatı çeliği kullanımında da iyileştirici bazı önlemler alındığı görülmektedir.

### 3.5 Konstrüktif Kurallarda Yeni Düzenlemeler

Yeni yönetmelik, yapıyı oluşturan elemanların enkesitleri, enine ve boyuna donatılarıyla ilgili pek çok değişiklik öngörmektedir. Yapı elemanlarının süneklik düzeyini artırma amacına yönelik olduğu söylenebilecek bu düzenlemelerden belli başlı olanları aşağıda belirtilmiştir :

- “Bütün betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde “özel deprem etriyesi” ve “özel deprem çirozu” olarak adlandırılan enine donatılar kullanılacaktır.” (bkz. Şekil 3.3). Bu etriye ve çirozların kullanımında belirgin bir sıkılaştırma göze çarpmaktadır.



Şekil 3.3 Kolonlarda kullanılacak özel deprem etriye ve çirozları.

- “Kolonlarda minimum enkesit alanı 75000 mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.” Böylece en küçük dikdörtgen kesitli kolon (25X30) cm boyutlarına çıkarılmıştır. Minimum donatı oranı %1 olarak sabit kalmıştır. “Ayrıca kolonun brüt enkesit alanının, Denklem 3.1’de belirtilen koşulu sağlaması öngörülmüştür.”

$$A_c \geq N_{dmax} / (0.50 f_{ck}) \quad (3.1)$$

- “Kolonlarda, uygulamada sıkça rastlandığı gibi boyuna donatıların kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu, TS-500’de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyunun en az 1.5 katı olacaktır. Temelden çıkan kolon filizlerinde de bu koşula uyulacaktır.” Yönetmelik bu yaptırımla, boyuna donatılarının bindirmeli eklerinin, kolon orta bölgesinde yapılmasını özendirmektedir.
- Kolonlarla birlikte çerçeve oluşturan veya perdelerle kendi düzlemleri içinde bağlanan kirişlerin enkesit boyutlarına ilişkin önemli düzenlemeler getirilmiştir : “Kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacaktır. Gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir. Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm’ den az olmayacaktır. Kiriş yüksekliği, serbest açıklığın ¼’ünden ve kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından fazla olmayacaktır.” Bu düzenlemenin uygulamada mimarî istekleri zorlayıcı yönleri ortaya çıkmıştır. Örneğin minimum kiriş gövde genişliğinin  $b_w = 25$  cm oluşu, bölme duvarları üzerinde pek arzu edilmeyen dış problemini ortaya çıkarmaktadır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgeleri için, kuşatılmış veya kuşatılmamış birleşim kavramları söz konusu edilmiştir. Kirişlerin bu bölgelerine konulacak enine donatı miktarı, kuşatılmamış birleşimlerde daha fazla olmaktadır.
- En çok dikkat çeken düzenleme perdelerde yapılmıştır. “Perdelerin, planda uzun kenarının kalınlığına oranı minimum yediye çıkarılmıştır. Deprem yüklerinin tamamı bina yüksekliği boyunca sadece perdeler tarafından taşınmayan binalarda, perde kalınlığı 20 cm’ den ve kat yüksekliğinin 1/15’inden az olmayacaktır.” Ayrıca “kritik perde yüksekliği” kavramı getirilmiştir.
- Eleman bazında getirilen düzenlemeler yanında, uygulamada mimarî sebeplerden dolayı sıkça rastlanan bir taşıyıcı sistem düzensizliği olan durum; “Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin

üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez” ifadesi ile kullanım dışı bırakılmıştır.

### 3.6 Uygulama Projesi Çizimlerine İlişkin Yeni Kurallar

1997 deprem yönetmeliği yürürlüğe girmeden önce, betonarme yapıların deprem davranışının iyileştirilmesi için uygulama projelerinde bulundurulan yegane çizim, kolon ve kiriş birleşim bölgelerine ait etriye sıklaştırmasını gösteren genelleştirilmiş detay resimleriydi. Değişen yönetmelikle birlikte, betonarme uygulama projesi çizimlerine ilişkin yeni düzenleyici kurallar koyulmuştur. Bunların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır [18] :

- Tasarımda gözönüne alınan Etkin Yer İvmesi Katsayısı,<sup>(\*)</sup> Bina Önem Katsayısı, Yerel Zemin Sınıfı, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, bütün kalıp planı paftalarında belirtilecektir.
- Özel deprem etriyelerine ve özel deprem çirozlarına ait kanca kıvrım detayları, kolon, perde ve kiriş detay paftalarının her birinde mutlaka gösterilecektir.
- Her bir kolon-kiriş düğüm noktasında, alttaki kolondan yukarıya uzatılan donatıları ve kolona bağlanan tüm kirişlerin boyuna donatılarını planda gösteren yatay kesitler alınacak, böylece kolon ve kiriş donatılarının birleşim bölgesinde betonun uygun olarak yerleştirilmesine engel olmayacak biçimde düzenlendiği açık olarak gösterilecektir.
- Boyuna ve enine donatıları tümü ile aynı olan her bir kolon tipi için boyuna kesitler alınarak donatıların düşey açılımları yapılacaktır. Kolonlarda boyuna kesitler; donatı ek bölgelerini, bindirme boylarını, kolonun üst ucundaki kolon-kiriş birleşim bölgesini de içerecektir. <sup>(\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Taban kesme kuvveti hesabında kullanılan etkin yer ivmesi katsayısı, 1. ile 4. Derece deprem bölgeleri arasında  $A_0=0.40$  ile  $0.10$  arasında değişmektedir. (  $V_t \geq 0.10 A_0 I W$  )

<sup>(\*\*)</sup> Uygulama projesi çizimlerindeki hacim artışında en büyük payı olan düzenleme, bu olmuştur.

- Her bir kolon tipi için ayrı ayrı olmak üzere, sarılma bölgelerinin uzunlukları, bu bölgelere, kolon orta bölgesine ve üstteki kolon kiriş birleşim bölgesine konulan enine donatıların çap, sayı ve aralıkları ile enkesitteki açılımları çizim üzerinde açık olarak gösterilecektir.
- Her bir perde tipi için boyuna kesitler alınarak donatıların düşey açılımları yapılacaktır. Perde boyuna kesitinde kritik perde yüksekliği açık olarak belirtilecektir. Bu yükseklik boyunca ve diğer perde kesimlerinde kullanılan enine donatıların çap, sayı ve aralıkları ile açılımları çizim üzerinde açık olarak gösterilecektir.
- Kiriş detay çizimlerinde, her bir kiriş için ayrı ayrı olmak üzere, kiriş mesnetlerindeki sarılma bölgelerinin uzunlukları, bu bölgelere ve kiriş orta bölgesine konulan enine donatıların çap, sayı ve aralıkları ile açılımları çizim üzerinde açık bir şekilde gösterilecektir.

Betonarme yapıların deprem sırasında hasar görme nedenleri arasında önemli yer tutan, konstrüktif kurallara uyulmaması ve imalat kusurlarının en aza indirilmesinde; 1997 yönetmeliğinin getirdiği düzenlemeyle uygulama projelerine eklenen ve yukarıda listelenen detaylı çizim ve açıklamaların faydalı olacağı tabiidir.

## **4. MEVCUT BETONARME BİNALARDA GÜÇLENDİRME**

### **4.1 Giriş**

Mevcut yapıların taşıyıcı sistemlerinin taşıma kapasitelerinin belirlenmesinin, inşaat mühendisliğinin en zor konuları arasında bulunduğuna şüphe yoktur. Bunun sebeplerinden biri, yapı hakkındaki bilgilerin her şeye rağmen tam olarak elde edilememesidir. Yapının hesap ve uygulama projelerinin varlığı, bu eksikliğin giderilmesinde yeterli olmamaktadır. Çünkü bu projelerin ne kadar sağlıklı uygulandığı, belirsizliğini korumaktadır. Bu nedenle mevcut binaların iyileştirilmesi işi, çok gelişmiş analiz yöntemlerinin kullanıldığı bir yaklaşım veya her bir iyileştirmenin deneyim ve önseziye bağlı bir sanat yaklaşımı gibi ele alınabilmektedir [19].

Betonarme taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi için kullanılan yöntemler, hasar görmüş veya görmemiş binalarda pek fazla farklılık gerektirmemektedir. Bu tez çalışmasında tasarım yükü, ilave yığma katlar eklenmek suretiyle aşılmış; ancak henüz hasar görmemiş veya deprem geçirmemiş bir bina ele alındığından; güçlendirmeyle beraber anılan, çatlakların onarımı veya hasarlı kısımların düzeltilmesi gibi konulara girilmeyecek; yapının taşıma kapasitesinin artırılması esas alınacaktır.

### **4.2 Güçlendirme Gerekleri**

Mevcut yapıların hasar görmeden önce güçlendirilmesi için öne sürülebilecek bir kaç temel gerekçe vardır. Bunların başlıcaları şunlardır :

- Binaların eski yönetmeliklere göre yapılmasından dolayı, yeni yönetmelik bakımından yetersiz kalabilmesi.

- Binaların projelendirme aşamasında ve inşa sürecinde, yönetmeliklere uygun olarak yapılmadığının ortaya çıkması.
- Taşıyıcı sistemin bina ömrü boyunca tasarımda öngörülen yükten daha fazlasına maruz kalması.

#### 4.3 Güçlendirme İlkeleri

Betonarme yapılarda, ihtiyaca göre değişik güçlendirme sistemleri kullanılabilmektedir. Ancak her sistemin uygulanmasında gözönüne alınması gereken bazı ortak ilkeler vardır [2] :

- Yapının sünekliğinin artırılması : Süneklik yapının enerji tüketme gücüdür. Betonarme yapılar rijit kolon-kiriş birleşimleri yakınlarında hasar meydana gelip plastik mafsallar oluşmasıyla depremin enerjisini tüketme eğilimindedirler. Yapıyı rijitleştirici önlemler genellikle sünekliği arttırmayan uygulamalardır.
- Yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi : Zemin hakim periyodu ile yapının asal titreşim periyodu birbirine çok yakınsa, deprem sırasında rezonans oluşmaması için, yapının dinamik özelliklerini değiştirecek önlemler alınabilir. Yapının sönüm oranının artırılması ve katlar arasında rijitlik değişimlerinin uyumlu olmasının sağlanması, yapının dinamik özelliklerini iyileştirici önlemlerdendir.
- Yapının ağırlığının azaltılması : Depremde yapıya gelen kuvvet yapının ağırlığı ile orantılı olduğu için, ağırlık azaltılması oranında deprem kuvvetinde azalma sağlanabilir. Yapıyı hafifletmek her zaman mümkün olmayabilir. Ancak bu olanaktan yararlanma yolları aranmalıdır. Örneğin; yapıyı hafifletmek için tuğla bölme duvarlarının yerine daha hafif alçı, gazbeton ya da ahşap panolu bölme duvarları yapılabilir. Yapının üst katlarından bir ya da birkaçı yıkılabilir. Yapıda çatı yalıtımı için konulmuş ağır malzemeler, daha hafifleriyle değiştirilebilir. Yapı içindeki kalın sıvalar ya da varsa dış yüzündeki taş kaplamalar kaldırılabilir.

Merdivenlerden taşıyıcı sisteme gelen yükleri azaltmak için, merdiven yüklerini doğrudan zemine aktaran düzenlemeler yapılabilir.

- Yapının taşıma gücünün artırılması : Taşıma gücünün artırılması, yapıya yatay ve düşey yüklerin aktarılmasında yardımcı olacak yeni elemanlar eklenmesi ve/veya mevcut elemanların enkesitlerinin genişletilmesi ile yapılır. Güçlendirme ile genellikle yapının aşırı yüklere, çok ciddi hasar olmadan karşı koyması amaçlanır.
- Burulma etkisinin azaltılması : Yapının katlarındaki ağırlık ve rijitlik merkezlerinin birbirinden uzak olması, burulma etkisi ile birçok yapıda deprem sırasında hasara yol açmaktadır. Örneğin perde duvarlarının yapının bir yanında toplanmış olması burulma oluşturabileceği gibi, taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının katlarda dengeli bir biçimde yerleştirilmemiş olması da benzer bir etkiye neden olabilmektedir.<sup>(\*)</sup> Güçlendirmede eklenen perdelerin de burulma etkisi yaratabilecekleri gözönünde tutulmalı; yerleştirilmeleri sırasında, rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe mümkün olduğu kadar az tutulmalıdır.

#### 4.4 Güçlendirme Yöntemleri

Betonarme yapılar mevcut elemanların iyileştirilmesiyle veya yeni elemanlar eklenmesiyle güçlendirilebilir. Her iki sistemde de eski ve yeni elemanların birlikte çalışmasının tam olarak sağlanmasının büyük önemi vardır. Bunun için, mevcut kısmın yüzeyini pürüzlendirmek ve/veya epoksi türü reçineler sürmek; ilave eğik donatı çubukları kaynaklamak; betonarme veya çelik bağlantılar, dübeller kullanmak yollarına gidilebilir. Dayanımda artış ve sünekliğin ıslahı ancak bu birlikte çalışmanın sağlanmasıyla söz konusu olabilir.

##### 4.4.1 Mevcut Elemanların Güçlendirilmesi

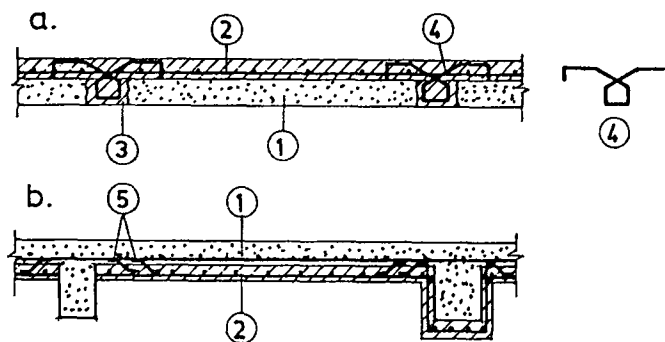
Betonarme yapı elemanlarının her biri için kendilerine özgü güçlendirme şekilleri vardır. Bunlar arasında kesitin betonarme ilave ile güçlendirilmesi, çelik profil, şerit

<sup>(\*)</sup> Bu örnekte sözü edilen durumlarda, sırasıyla rijitlik merkezi ve ağırlık merkezi yer değiştirmekte; bunun sonucunda birbirinden uzaklaşan merkezler ilave burulma etkilerine neden olmaktadır.

veya levhalarla takviyesi gibi uygulamalar sayılabilir. Çelik profiller ve levhalarla yapılan gömlek giydirme güçlendirmesinde, yeni eklenen çelik parçaların yangına ve korozyona karşı korunması bakımından gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Betonarme mantolama böyle bir koruma önlemini gerektirmez; fakat inşaatı çok daha zordur [1].

#### 4.4.1.1 Döşemelerin güçlendirilmesi

Döşemeler genel olarak düşey yükleri aktarmak için tasarlanırlar. Fakat klasik plak davranışı ötesinde, bir levha davranışıyla yatay diyafram etkisi göstermeleri ve yapının bütün yatay yük taşıyıcı elemanlarıyla uyumlu olmaları gerekir. Güçlendirme, döşeme mukavemeti yetersiz olduğunda veya yeni eklenen deprem perdelerinin birleşim bölgelerinde uygulanır. Üstten yeni beton tabakası eklenebileceği gibi, alttan püskürtme beton uygulayarak döşemenin dayanımı artırılabilir (bkz. Şekil 4.1). Bu arada yeni kısımlara uygun donatılar da yerleştirilmelidir. Yeni donatının mevcut olana kaynaklı parçalarla bağlanması, sistemin bütünlüğü açısından uygun olur. Yeni ve mevcut döşeme arasında kayma gerilmesi geçişinin sağlanması için yüzeyin pürüzlendirilmesiyle birlikte, donatı veya çelik profil parçalarından yararlanabilir. Döşeme kalınlığının üstten artırılması, hem faydalı yüksekliği artırır; hem de mesnetlerde negatif moment için ilave donatı koymaya imkan verir. Ayrıca diyafram etkisi bakımından daha büyük bir rijitlik sağladığı için özellikle tercih edilir [1,3].



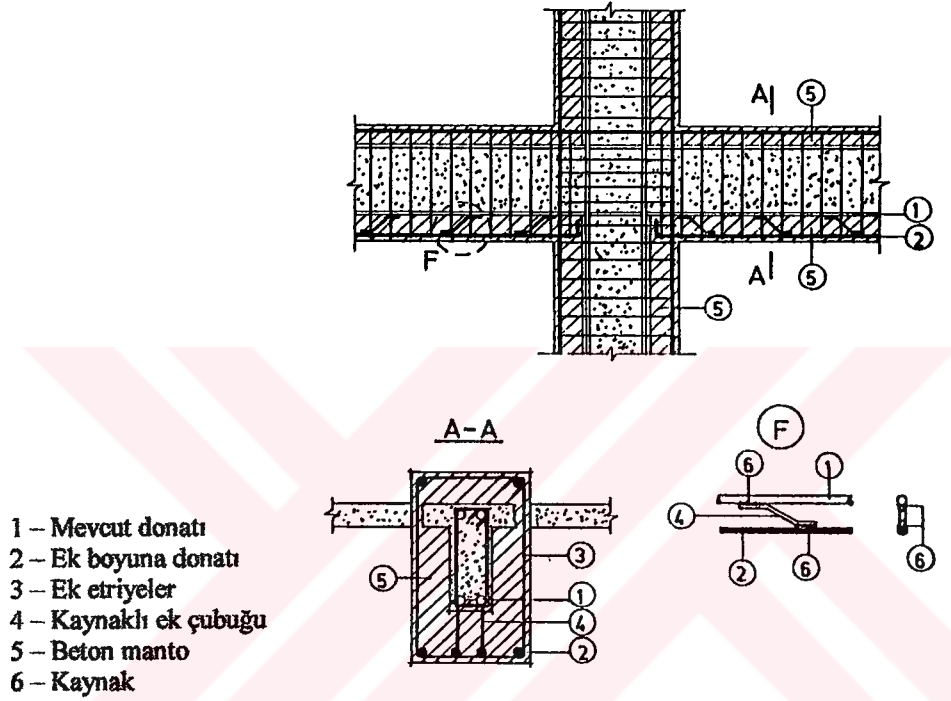
- 1 - Mevcut döşeme
- 2 - Ek donatı
- 3 - Dübel
- 4 - Bükük ankraj çubukları
- 5 - Kaynaklı birleştirme çubukları

Şekil 4.1 Döşemenin kalınlaştırılması (a: üstten; b: alttan)

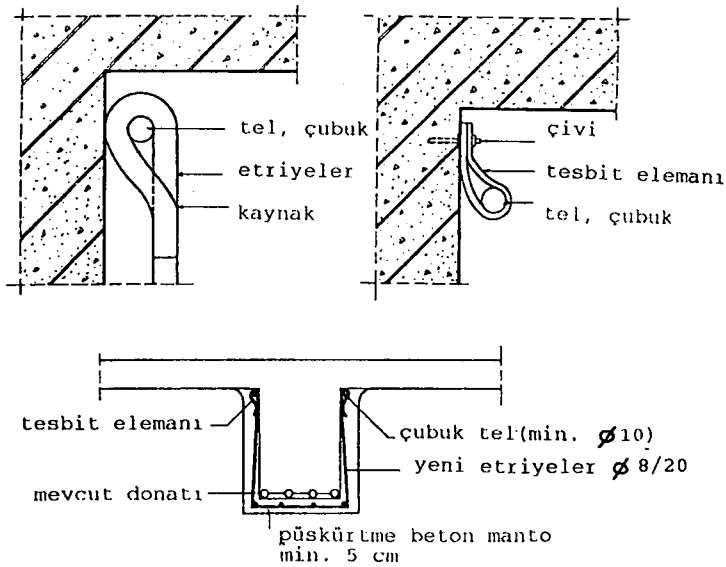
#### 4.4.1.2 Kirişlerin güçlendirilmesi

Dayanım ve rijitliği yeterli olmayan kirişler türlü biçimlerde güçlendirilebilir. Bu güçlendirmelerde komşu kolonları da dikkate alarak, kuvvetli kiriş - zayıf kolon türünden bir birleşim bölgesi meydana getirilmemesi için çaba harcanmalıdır.

Kirişler gerekli durumlarda, dört veya üç tarafından beton manto giydirilerek güçlendirilebilir (bkz. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Kirişin dört yanından mantolanması



Şekil 4.3 Kirişin üç yanından mantolanması

Mevcut ve ilave betonun bütünleşmesini sağlamak amacıyla, eski betondaki örtü tabakasının kaldırılması ve yüzeyin temizlenmesi gerekir. Donatı düzeninde uygun kenetlenme sağlanması, kaynaklama veya kenetleme plakaları kullanılmasıyla mümkün olabilir. Yeni donatılar döşemedeki deliklerden geçerek kirişi çevreleyen etriyelerle sarılmalıdır. Döşeme delikleri, güçlendirme kirişine beton dökülmesinde de işe yarayabilir. Güçlendirme için koyulan donatılar, köşegen yönündeki çubuklarla veya çelik plakalarla mevcut donatılara bağlanmalıdır.

Kirişin yalnız mesnet bölgesinin güçlendirilmesi ile yetinilecekse, mesnette döşeme kırılarak açılır; mesnet bölgesi için gerekli ek donatı yerleştirilerek etriyelerle sarılır. Kiriş kesitinin genişletilmesi tek veya çift taraflı olabilir.

Yapılan deneylerde, kirişin askıya alınarak, yükü boşaltılmış durumda yapılan güçlendirmenin daha yüksek dayanım sağladığı ve yük altında deformasyonların daha küçük olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle işlem sırasında kiriş yükünün boşaltılmasında fayda vardır [2].

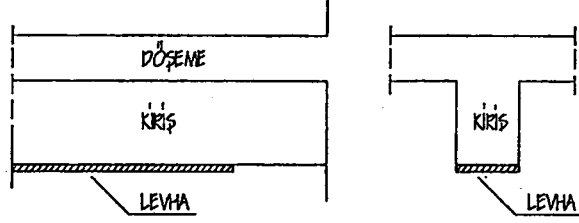
Kiriş güçlendirilmesinde diğer bir yöntem, çelik levha yapıştırılmasıdır (bkz. Şekil 4.4). Plake beton tekniği olarak da anılan bu yöntemde, kirişin alt ve/veya yan yüzeylerine yapıştırılan çelik levha elemanları, eğilme ve kesme etkilerine karşı büyük mukavemet artışı sağlamaktadır. Ekonomik ve çok kolay uygulanabilecek bir teknik olmasına rağmen sıcaklık ve yangın için özel izolasyon önlemlerinin alınması zorunludur [20].

#### 4.4.1.3 Kolonların güçlendirilmesi

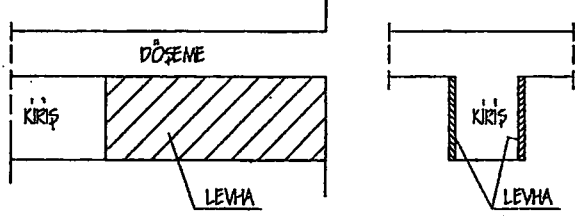
Kolonların eğilme dayanımında artış, kesit alanının büyütülmesiyle ve yeni donatılar eklemek suretiyle sağlanır. Buna karşılık kesme kuvveti dayanımı ve süneklik ise enine donatının sıklaştırılmasıyla iyileştirilir. Yapının planında kolonların kesitlerini birbirine yaklaştırmak, sistemin davranışının dengeli olmasını sağlar.

Kolonun taşıma gücünün arttırılması için yaygın olarak kullanılan bir yöntem, mantolamadır. Mantolamada mevcut kolona, beton kesiti ve donatı eklenir. Mevcut ve yeni kolon bütünleşmesini sağlamak için, ara yüzün pürüzlendirilmesi gereklidir. Manto kalınlığının betonlama sırasında boşluk kalmaması için 10 cm den az olmaması uygundur [3].

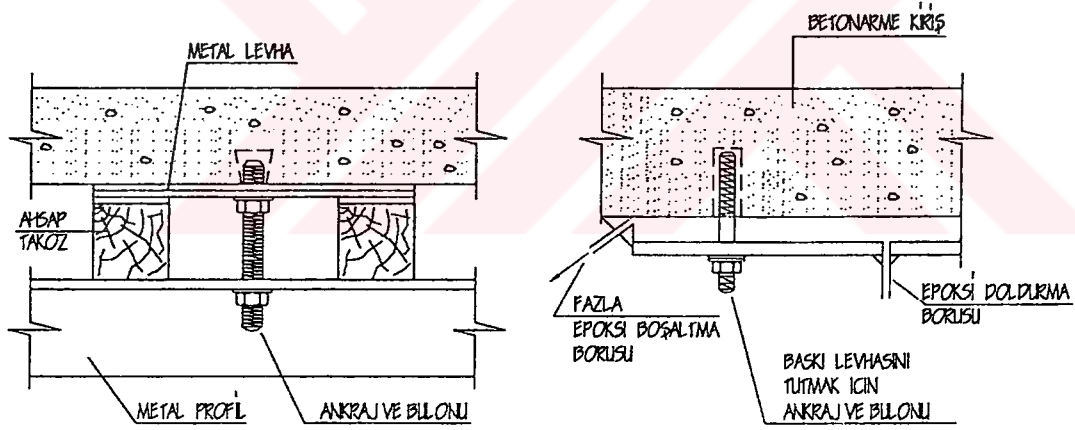
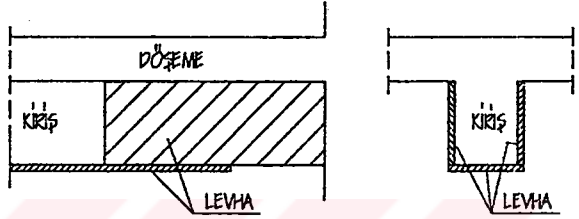
- a) POZİTİF MOMENT TAŞIMA  
GÜCÜNÜ ARTIRMAK İÇİN  
KİRİŞ ALTINA LEVHA YAPIŞTIRMA



- b) KESME KUVVETİ TAŞIMA  
GÜCÜNÜ ARTIRMAK İÇİN  
KİRİŞ YANINA LEVHA YAPIŞTIRMA



- c) HEM MOMENT HEM  
KESME İÇİN LEVHA YAPIŞTIRMA

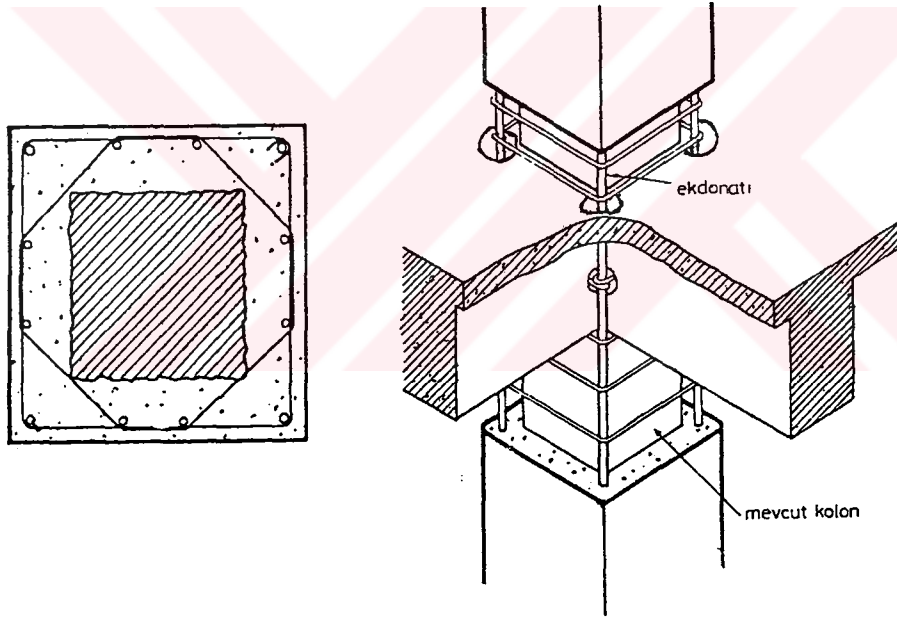


Şekil 4.4 Kirişlerde çelik levha yapıştırma ile güçlendirme.

Uygulamadaki duruma göre kolon bir, iki, üç ve dört tarafından mantolanabilir (bkz. Şekil 4.5). Ancak tüm çevreyi kaplayan bir mantolamanın tercih edilmesinde yarar vardır. Bu suretle mevcut ve yeni kolon arasında tam bir kuvvet iletişimi sağlanabilir. Tüm çevrenin mantolanmaması durumunda, mevcut kolonun boyuna donatısının ve etriyesinin ortaya çıkarılarak, yeni etriyelerin bunlara doğrudan veya bir bağ parçasıyla kaynaklanması gereklidir. Dört taraftan mantolamada yüzey

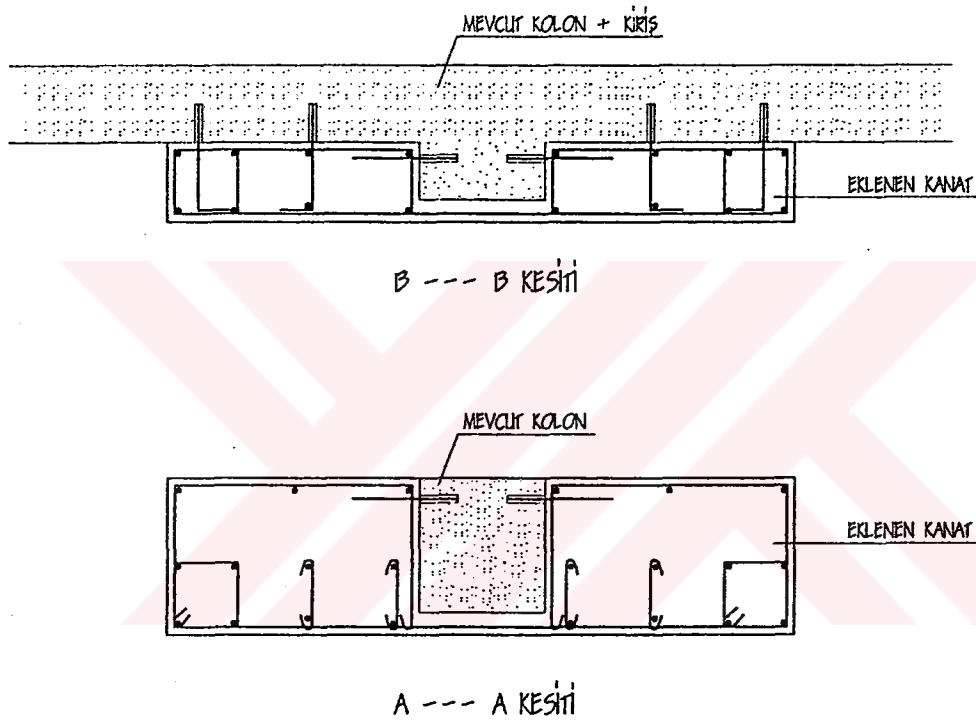
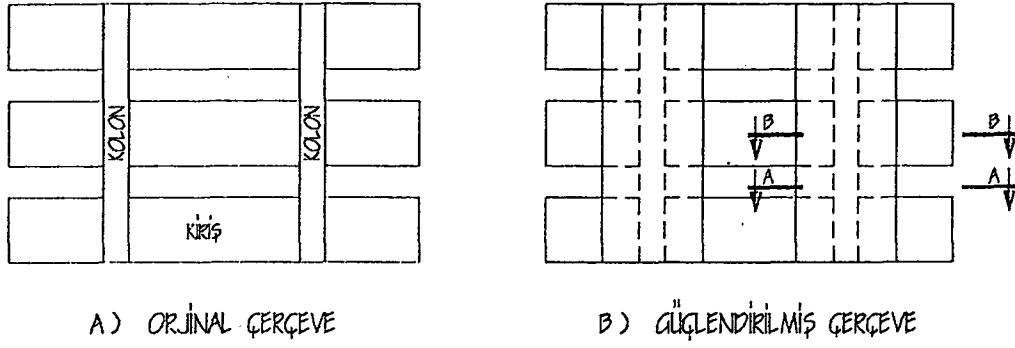
pürüzlendirilmesi genellikle yeterli olursa da, büyük etkiler söz konusu olduğunda beton örtü tabakasının kaldırılması uygun olur.

Kolonun normal ve kesme kuvvet kapasitelerinin artırılmasında, manto donatılarının kat döşemesini delerek, kiriş-kolon birleşim bölgesine geçmesine ihtiyaç olmayabilir. Ancak, bu durumda kolonun moment kapasitesi arttırılmadığı gibi, birleşim bölgesi de güçlendirilmemiş olur. Eğer yapının güçlendirilmesi sırasında yatay deprem yüklerinin karşılanması için perdeler öngörülmüşse, bu tür mantolama kabul edilebilir. Aksi takdirde, döşemde açılacak deliklerden boyuna donatının devam ettirilmesi ve bu deliklerin beton dökme yi sağlayacak büyüklükte olması gerekir. Ayrıca, kolonlar için öngörülen konstrüktif kurallara manto kısmında da uyulmalıdır. Kirişlerde olduğu gibi kolon güçlendirmesi öncesinde, kolon yükünün askıya alınması halinde mantolama çok daha etkili olmaktadır.



Şekil 4.5 Kolonun mantolama ile güçlendirilmesi

Kolon güçlendirmesinde etkili olan diğer yöntemler arasında, “çelik kafes içine alma” ve “kanat ekleme” sayılabilir. Bunlardan kanat ekleme yönteminde, kolon adeta bir perdeye dönüştürülmekte, eğilme ve kesme kuvveti taşıma gücü 2-3 kat artabilmektedir (bkz. Şekil 4.6), [2].



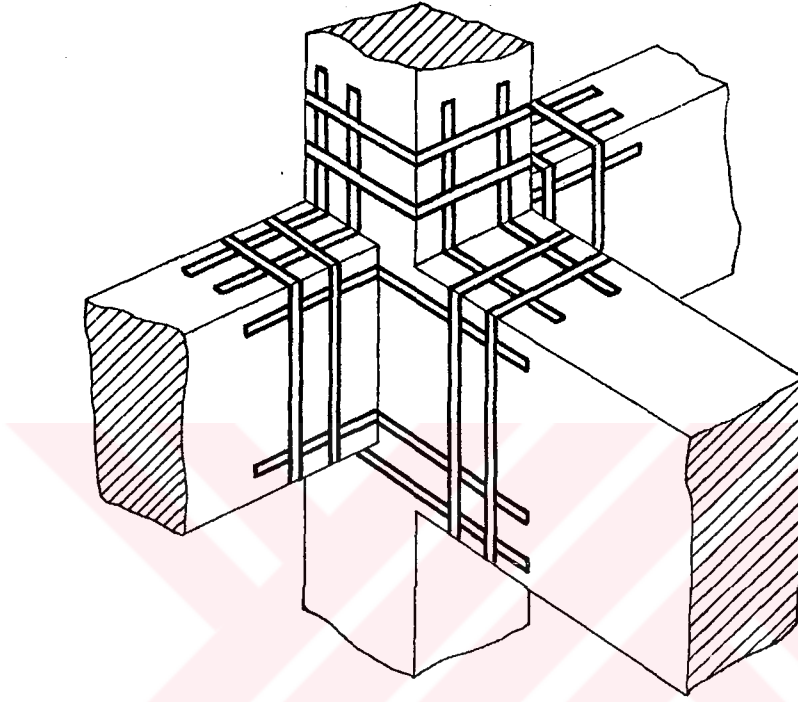
Şekil 4.6 Kolonların kanat eklenerek güçlendirilmesi.

#### 4.4.1.4 Birleşim yerlerinin güçlendirilmesi

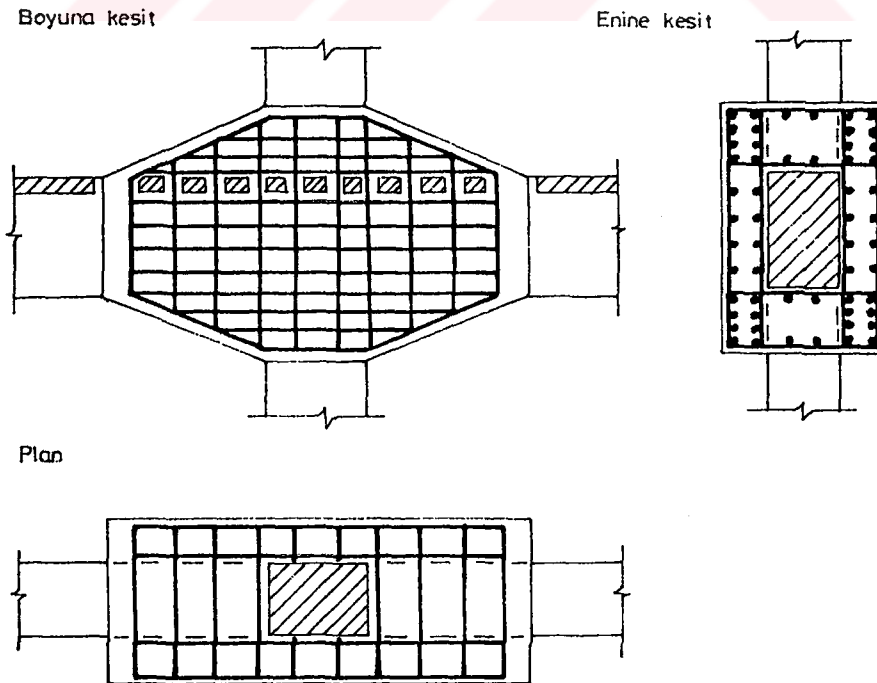
Depremlerde en çok hasar gören kiriş-kolon birleşim bölgeleri, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve güçlendirilmesi de en zor olan kısımlarını oluşturur. Birleşim bölgesinde farklı doğrultulardaki elemanlar birleşerek, kesit etkileri birbirleriyle dengelenir. Deprem yükleri altında bu bölgede kesme kuvveti dayanımının ve donatı kenetlenmelerinin yeterli olmaması, en çok rastlanan hasar türlerini oluşturur. Ayrıca büyük zorlanmalarda, birleşim bölgesine birleşen kesitlerde meydana gelen plastik mafsallar sonucu, büyük dönmeler, donatıda aderans çözülmesi sonucu kaymalar ve geniş çatlaklar oluşabilir. Deprem etkisinde birleşim bölgesinin iki tarafındaki eğilme

momentinin farklı işarette olması, kiriş kesitinde farklı gerilme durumları doğmasına ve bu yüzden donatının birleşim bölgesinden koparılma istenmesine yol açar [3].

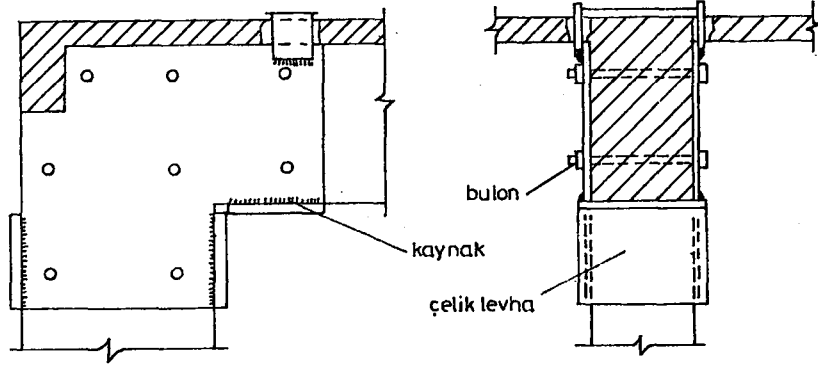
Kiriş-kolon birleşim bölgeleri; çelik lamalarla sarılarak, mantolanarak veya çelik levhalar yapıştırılarak güçlendirilebilir. Bu yöntemlerle ilişkin detaylar, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.7 Kiriş-kolon birleşim bölgesinin çelik lamalarla sarılarak güçlendirilmesi.



Şekil 4.8 Kiriş-kolon birleşim bölgesinin mantolama ile sarılarak güçlendirilmesi.



Şekil 4.9 Kiriş-kolon birleşim bölgesinin çelik levha ve bulonlarla güçlendirilmesi.

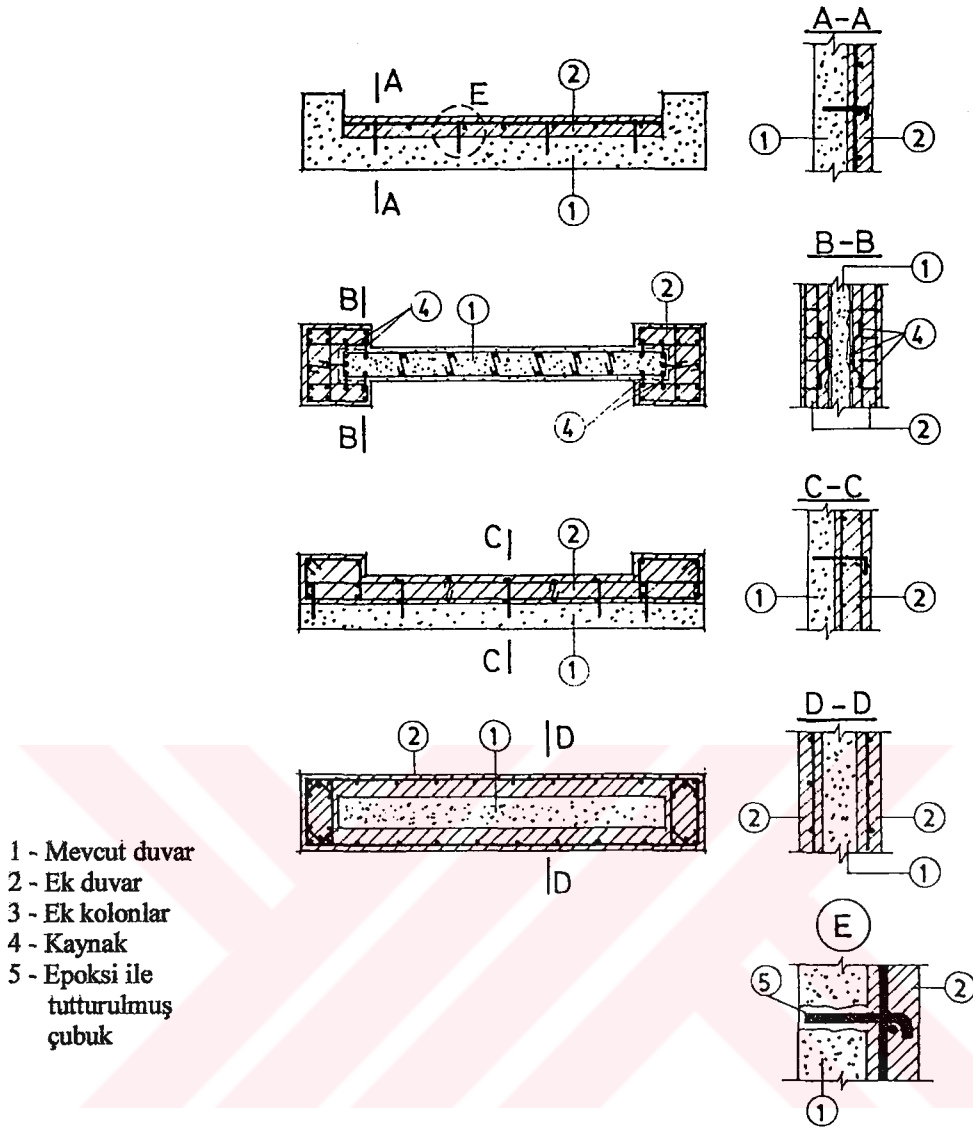
#### 4.4.1.5 Perdelerin güçlendirilmesi

Perdeler deprem yüklerinin karşılanmasında, rijitlik ve dayanım bakımından taşıyıcı sistemin en önemli elemanlarıdır. Perdenin yetersiz kalması durumunda, kalınlığını arttırarak, rijitliğini ve dayanımını yükseltmek daha uygundur. Kalınlığın arttırılması sırasında ek donatıların yerleştirilmesi ve uygun başlık yapılması gerekli olabilir (bkz. Şekil 4.10). Yeni donatıların mevcut olanlara bağ parçalarıyla kaynaklanması ve mevcut beton yüzeyinin pürüzlendirilmesi bütünleşmeyi sağlayacaktır. Aradaki bağ kuvvetlerinin iletimini sağlamak için dikiş çubuklarının kullanılması ve mevcut perde yüzeyine epoksi uygulanması gerekebilir. Perdenin eğilme dayanımı, yeni başlık kısımlarının ilavesi ve gerekli donatı düzeninin sağlanması ile arttırılabilir [3].

#### 4.4.1.6 Temellerin güçlendirilmesi

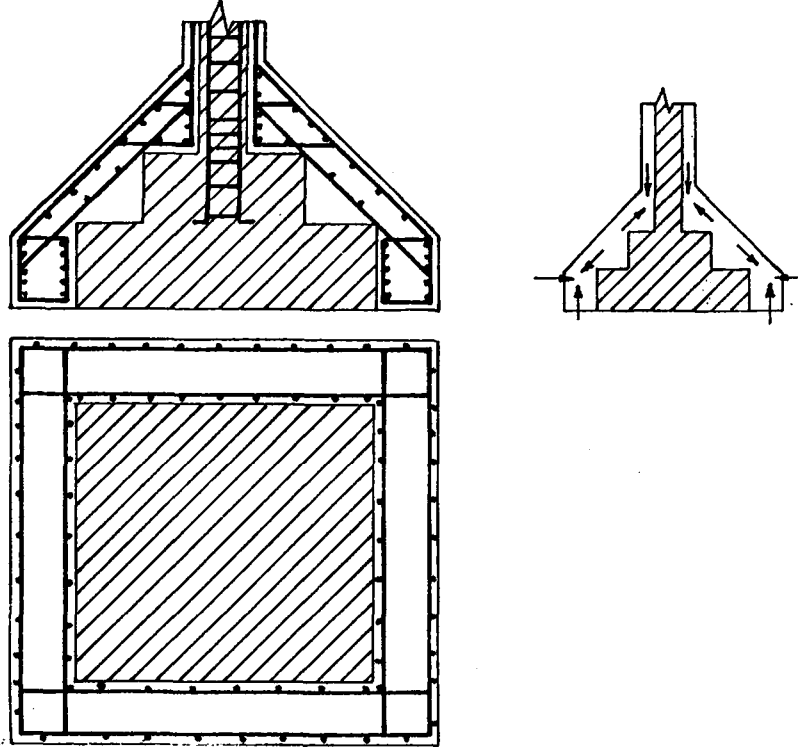
Diğer yapı elemanlarına göre daha zor ve pahalı olan temel güçlendirilmesi şu durumlarda gerekli olur :

- Kötü zemin koşulları nedeniyle temelde büyük oturmalar.
- Büyük deprem yüklerinden dolayı temel yapısında hasar.
- Yönetmelik değişikliklerinden kaynaklanan yetersizlikler.
- Yapı yüklerinde güçlendirmeden ileri gelen artmalar.
- Sonradan eklenen katlardan gelen ilave yükler.

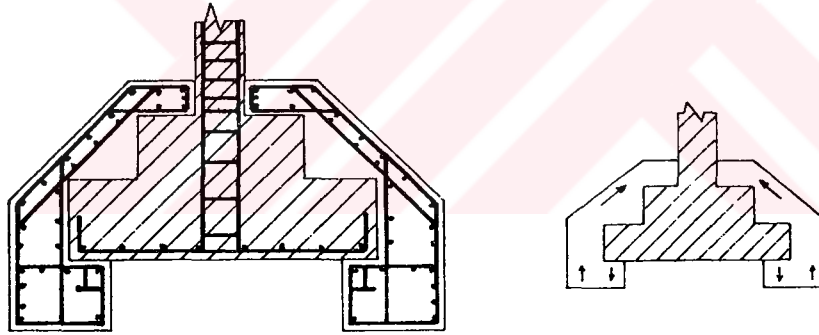


Şekil 4.10 Perdenin güçlendirilmesi.

Temel sisteminin güçlendirilmesinde, mevcut temele ilave yapılabildiği gibi, yeni temel de düzenlenebilir veya temel zemini iyileştirilip taşıma gücü arttırılabilir. Şekil 4.11’de kolonu da mantolanarak güçlendirilen bir temeldeki mantolama şekli görülmektedir. Sadece temelin güçlendirilmesine bir örnek de Şekil 4.12’de verilmiştir. Temelden üst yapıya aktarılacak tepkiyi eski temel vasıtası ile iletebilmek için, temel pabucu çevresinde ek dişler oluşturulmuştur. Bu iki tür temel güçlendirilmesinde, temel zemini ile üst yapı arasında yük aktarılış biçiminin değişeceğine ve bu nedenle en çok zorlanan kesitlerin farklı yerlerde oluşacağına dikkat edilmelidir. Ayrıca, iki beton yüzeyinden kayma gerilmeleri iletimi için dikiş çubukları veya beton yüzeyine epoksi uygulanması gerekebilir.



Şekil 4.11 Temelin kolonla beraber güçlendirilmesi.



Şekil 4.12 Temelin dışı ile güçlendirilmesi.

#### 4.4.2 Taşıyıcı Sistemin Yeni Elemanlarla Güçlendirilmesi

Mevcut yapının yanal yük dayanımı, yeni yapı elemanlarının eklenmesiyle artırılabilir. Bu elemanlar uygun prolendirildiğinde, deprem etkisinin büyük bir kısmına karşı koyarak, mevcut taşıyıcı sistemin yükünü oldukça azaltırlar. Kullanılacak yeni taşıyıcı elemanların, tüm sistemin deprem davranışını değiştirebileceği göz ardı edilmemelidir. Güçlendirme için öngörülen yeni elemanlarla sistemin rijitliği arttırılacağı için, genellikle deprem kuvvetleri hem artış, hem de değişik bir dağılım gösterir. Yeni elemanların yapı içinde düzgün

dağıtılmasıyla, etkilerin belli bir bölgede yığılması ve istenmeyen burulma tesirlerinin meydana gelmesi önlenmiş olur. Eski ve yeni elemanlar arasındaki kuvvet geçişinin ve bütünleşmenin sağlanması için ara bölgelerin özenle ele alınması ve projelendirilmesi gerekir [3].

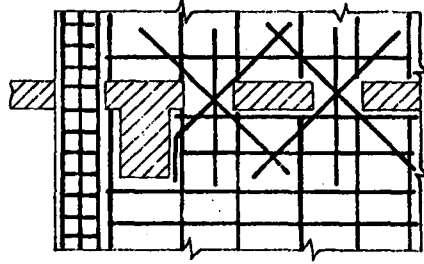
#### 4.4.2.1 Sisteme yeni perdeler eklenmesi

Mevcut yapıların depreme karşı davranışlarının iyileştirilmesinde yaygın olarak rastlanan bir yöntemdir. Binanın içine veya dışına yerleştirilebilirler. Perdelerin çevrede ilave edilmesi, binanın iç hacimlerinin bölümlendirilmesini bozmayacağından tercih edilebilir. Ancak, içeride ilave edilen perdelerin inşaatı daha kolay olup, taşıyıcı sisteme olan bağlantısı daha etkilidir. Perde yerlerine karar verilirken, yatay yükler altında ilave burulma momentine yol açılmamalı; kütle ve rijitlik merkezleri olabildiğince çakıştırılmaya çalışılmalıdır. Kayma kuvvetlerinin aktarılması ve perdenin betonlanması, döşemede açılacak uygun çapta deliklerle sağlanır. Burada en önemli ilke, mevcut sistemle ilave perdenin birlikte çalışmasının temin edilmesidir. Bağlantı için gerekirse ek döşeme teşkil edilebilir.

Perde başlık kısımlarının genişletilmesine, başlık donatılarının kat döşemelerini elverişli yerlerde kesmelerine ve eklerinin yapılmasına dikkat edilmelidir. Döşeme deliklerinden geçirilecek çapraz donatılar, gövdede kesilen donatıların görevini üstlenebilir (Şekil 4.13). Bazı hallerde perdelerin mevcut kolonları kapsayacak biçimde tasarlanması sözkonusu olur. Bu sayede mevcut ve yeni sistem etkili bir şekilde bütünleşir (Şekil 4.14). Buna benzer olarak, perdelerin kat kirişlerini içine alacak şekilde kalınlaştırılması, birlikte çalışma güvenliğini ve yatay kuvvetlerin iletilme etkinliğini sağlayacaktır (Şekil 4.15).

Taşıyıcı sisteme eklenecek perdelerin projelendirilmesi sırasında özen gösterilmesi gereken çok önemli bir husus da temel düzenidir. Perde donatılarının temele kenetlenmesi ve ilave temellerin mevcutlarla çalışma birlikteliğinin temin edilmesi amaçlanmalıdır. Dikiş donatıları yerleştirmek ve temelin ortak yüzeyine epoksi sürmek bu amacın gerçekleştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca perde ana donatıları, temelde açılmış deliklere epoksi ile yerleştirilerek bağlantı sağlanabilir. Perdeler büyük deprem kuvveti aldıklarından, bulundukları bölgedeki tekil temeller birleştirilerek büyük bir perde temeli oluşturulması gerekebilir (Şekil 4.16). Eğer

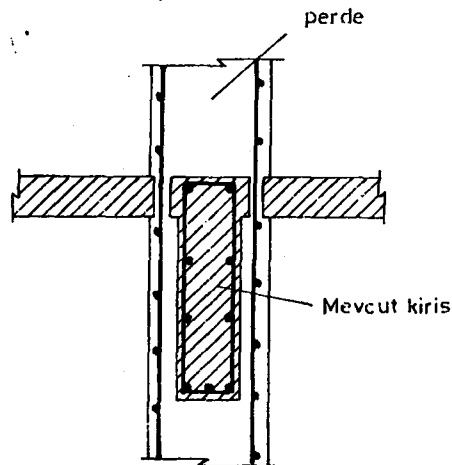
zeminin taşıma gücü yetersizse, temel genişletilmesine ilaveten, zemin iyileştirilmesine de gidilebilir.



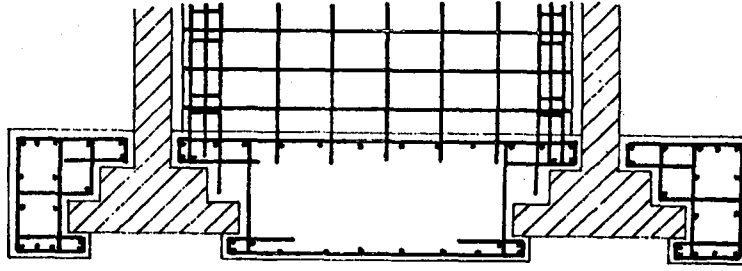
Şekil 4.13 Güçlendirme perdesinin donatılarının döşemeden geçişi.



Şekil 4.14 Güçlendirme perdesinin mevcut kolonları sarması.



Şekil 4.15 Güçlendirme perdesinin mevcut kirişi sararak yükselmesi.



Şekil 4.16 Güçlendirme perdesi temeli.

#### 4.4.2.2 Bölme duvarlarının perdeleştirilmesi

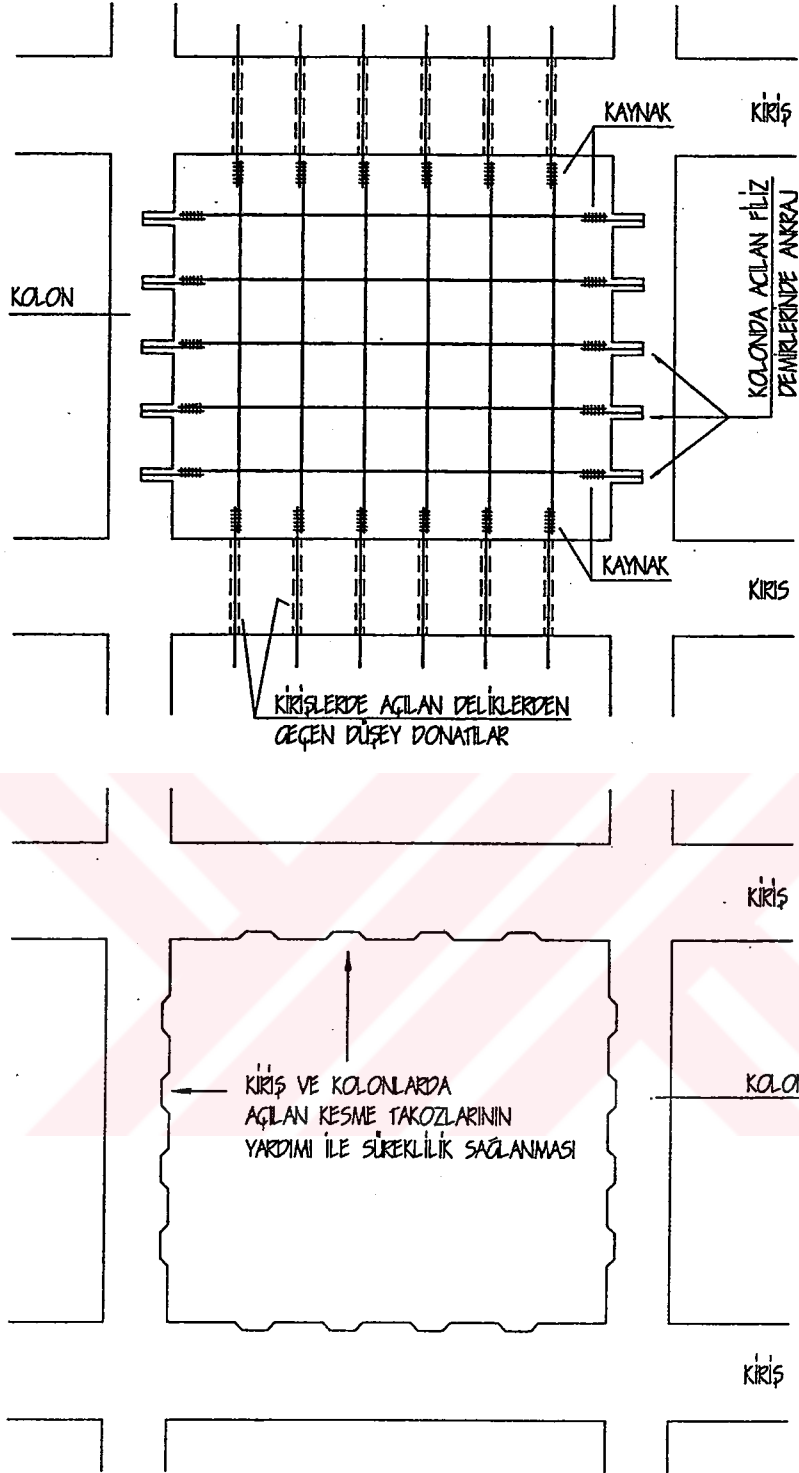
Şiddetli depremlerde, çerçevelerdeki ötelenmeye karşı koyamayan dolgu duvarlarda “X” biçiminde çatlaklar oluşmaktadır. Böyle bölme duvarları değişik yöntemlerle modifiye edilerek, perde davranışı elde edilebilmektedir. Bu yöntemler;

- Donatısız yığma duvarlarla,
- Donatılı yığma duvarlarla,
- Prefabrik panolarla,
- Yerinde dökme betonarme perde duvarla,

olarak sıralanabilir. Yapılan deneysel araştırmalar, bunlar arasında yapının rijitliğine en etkili katkıyı sağlayan yöntemin “yerinde dökme betonarme perde duvar” olduğunu ortaya koymuştur [2]. Burada bilgi verilecek olan yöntem budur.

Yerinde dökülen betonarme perde duvarların, çerçeveye bağlantısı büyük önem taşır. Perdenin yatay donatıları kolon içine ankre edilmiş filizlere kaynakla bağlanırlarken,<sup>(\*)</sup> düşey donatılar kirişlerde açılan deliklerden geçirilebilir veya kirişlerde açılmış yuvalarda yer alan bağlantı filiz demirlerine kaynaklanabilirler. Yine birlikte çalışma ilkesi gereğince, çerçevenin perdeye temas edecek yüzeylerinde kesme takozları oluşturulmalıdır (Şekil 4.17). Perde temelden başlayıp en üst kata kadar sürekli olmalıdır. Perde duvarının herhangi bir katta kesilmesi, o katta arzu edilmeyen gerilme yığılmasına ve deprem davranışının aniden değişmesine neden olmaktadır. Ayrıca perdenin yatay yük hesabından bulunan miktarda yatay yükü taşıyabilecek şekilde boyutlandırılması gereklidir.

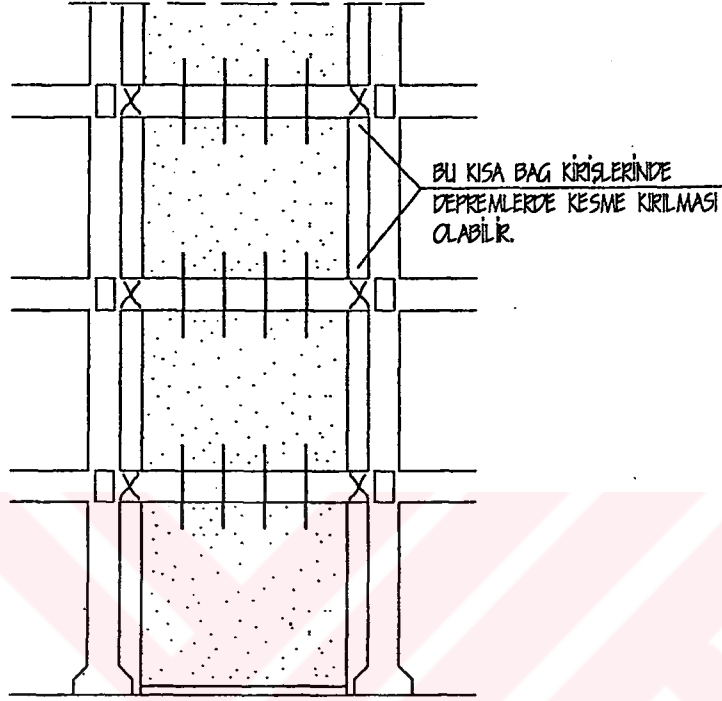
<sup>(\*)</sup> Kolon dayanımının yeterli olduğu durumlarda.



Şekil 4.17 Perdelerin çerçeveler ile birlikte çalışması için uygun detaylar.

Perdeler uçlarına flanş olan kolonlarla I kesitli elemanlar gibi çalıştıklarından, depremde ortaya çıkan eğilme momentinden dolayı, kolonlarda büyük basınç ve çekme kuvvetleri oluşabilmektedir. Eğer bu kolonlar yeterli bir güvenliğe sahip değilse, güçlendirmeye kolonlarında mantolanmak suretiyle dahil edilmesi gerekecek

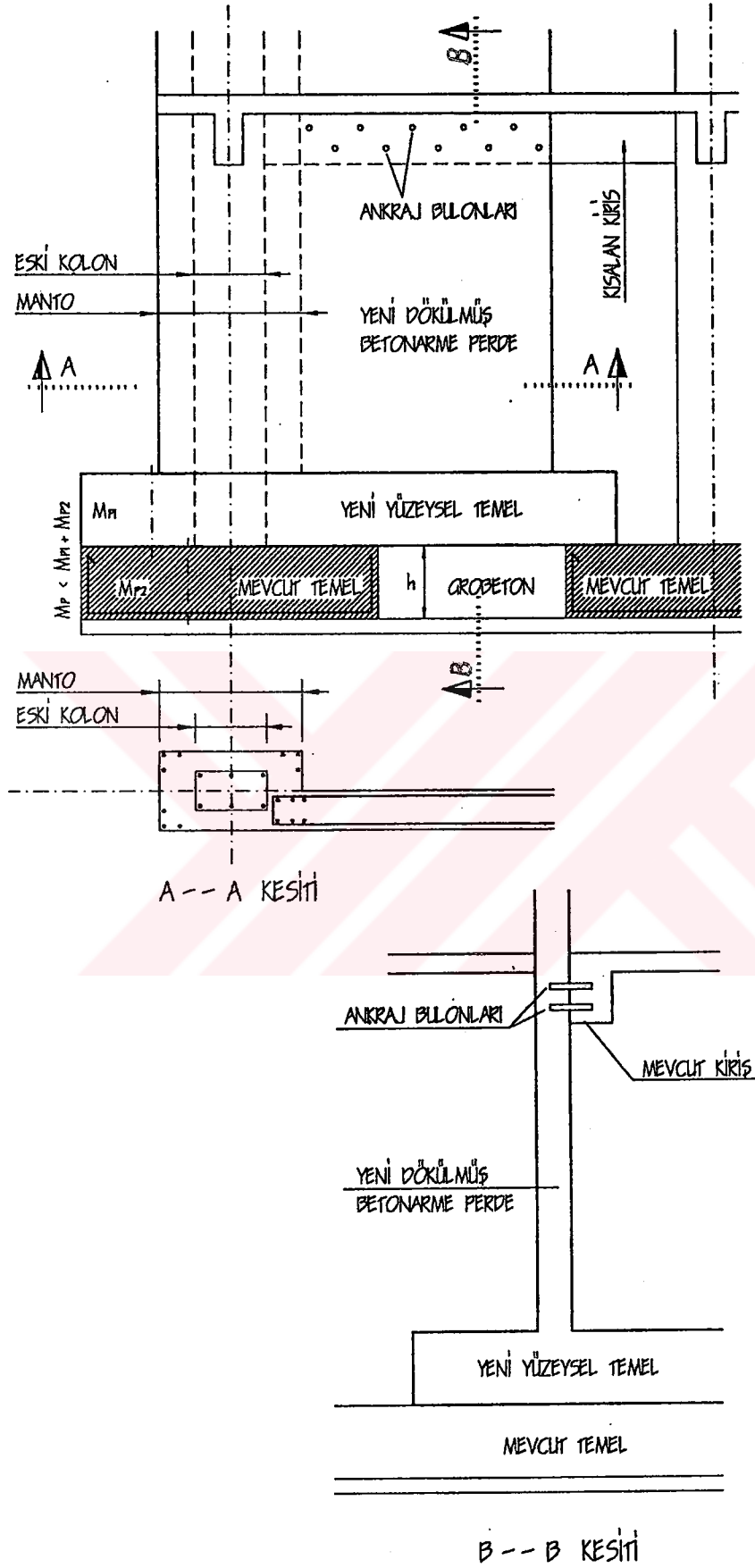
veya derz bırakılıp perdeyle bağlantı yapılmayacaktır. Bu ikinci durumda da perde ile kolon arasında kalan çok kısa kirişlerde, yatay yüklerden dolayı kesme kırılması beklenir. Ancak bu kısımlar bağ kirişi gibi çalışacaklardır ve bu tür kırılmaların yapı güvenliği açısından pek bir sakıncası da yoktur (Şekil 4.18).



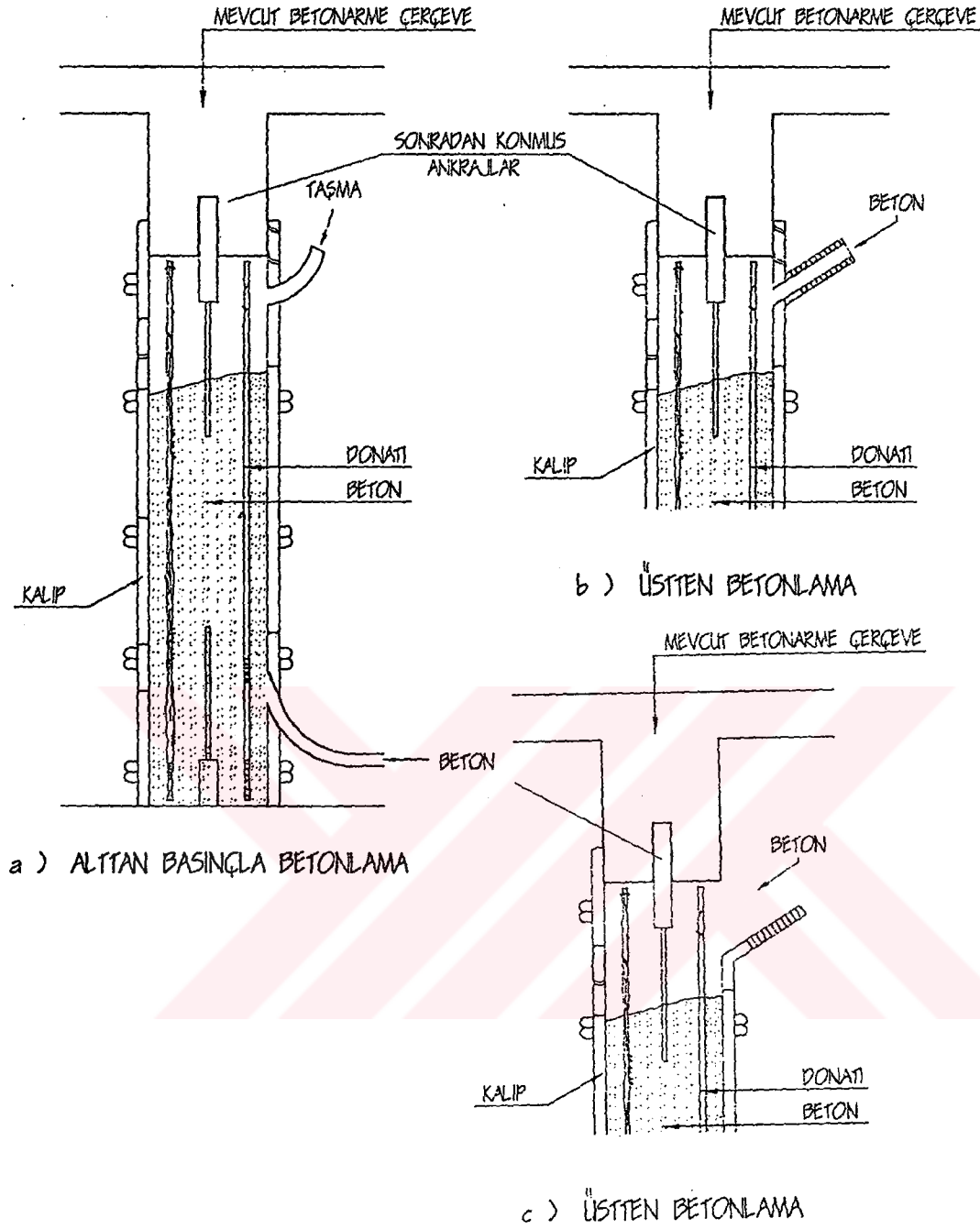
Şekil 4.18 Kolonlara bağlanmamış perde duvarla güçlendirme.

Betonarme perde duvarlarla güçlendirmede, duvarların çerçeve içine konulması yerine, 1992 Erzincan Depremi sonrasında uygulandığı üzere, perdeler çerçevenin hemen yanına yapılabilir. Şekil 4.19'da şematik olarak gösterilen bu uygulamada, çerçeve kolonları perdeyle beraber manto içine alınır ve kirişlerse çok sayıda ankraj bulonu ile perdelerle bağlanır.

Yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirme uygulamasında, perde betonunun dökülmesi önemli bir sorun olarak ortaya çıkar. Özellikle kiriş altına gelen yere beton doldurmak güçtür. Şekil 4.20'de gösterildiği gibi, aşağıdan basınçla beton pompalama ya da duvarın üst tarafından dökme yöntemleri uygulanabilir. Özellikle kirişlerin hemen altındaki bölgeye genleşen bir çimentoyla yapılmış harç doldurulması uygun olacaktır.



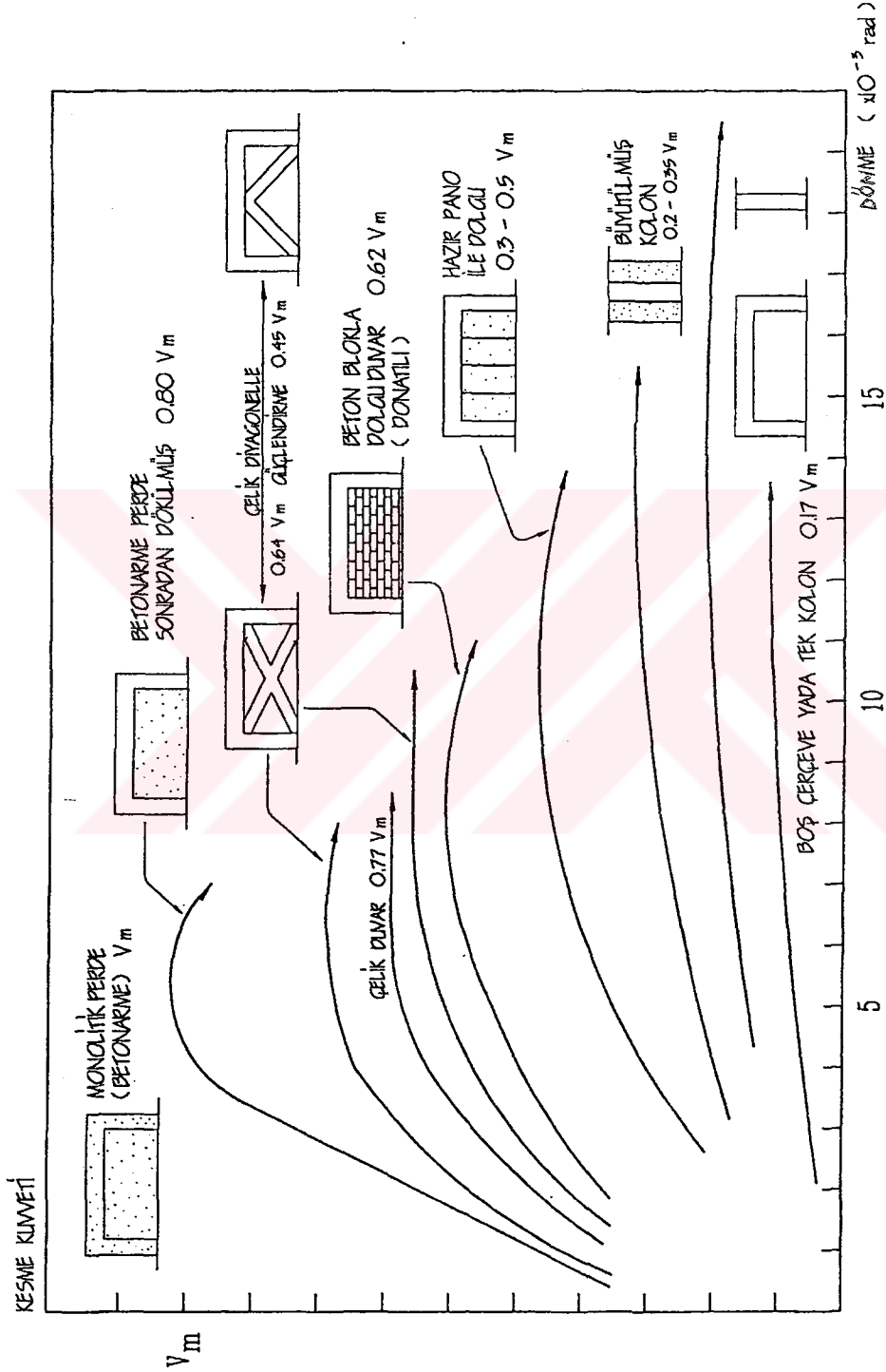
Şekil 4.19 Perdenin çerçevenin hemen yanına uygulanması.



Şekil 4.20 Perde duvarı betonlama yöntemleri.

Çerçevelerin perde duvara çevrilmesi ile yapıya rijit elemanlar yerleştirilmektedir. Yani olası bir depremde gelen kuvvetlerin büyük bölümü, bu yeni elemanlar tarafından taşınacaktır. Bu ise, perde temellerinde büyük döndürme momentlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Bu nedenle yapıya perde eklenmesi ile birlikte, bu perdelerin yeterli temelinin de bulunması gerekmektedir. Eğer perde temelleri, kolon temelleriyle birleştirilebilirse, perde temeli deprem sırasında döndürülmeye

zorlandığında, yapının düşey yüklerini taşıyan diğer kolonların temelleriyle bağlantılı olduğu için, bu kolonların düşey yükleri, perde temelinin dönmesini azaltacak ve temel altında büyük zemin gerilmelerinin oluşması önlenecektir.

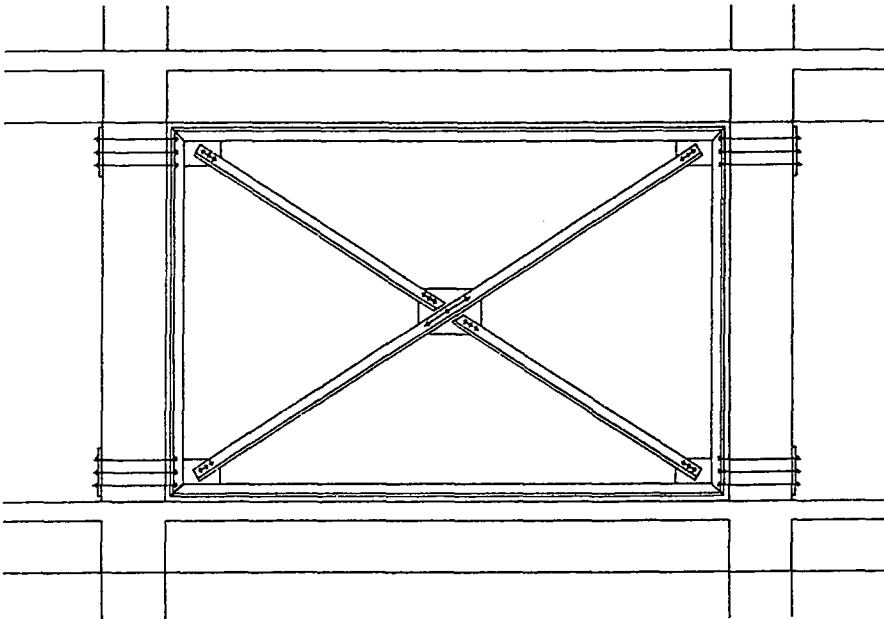


Şekil 4.21 Çerçevelerin güçlendirilme sistemlerinin karşılaştırılması.

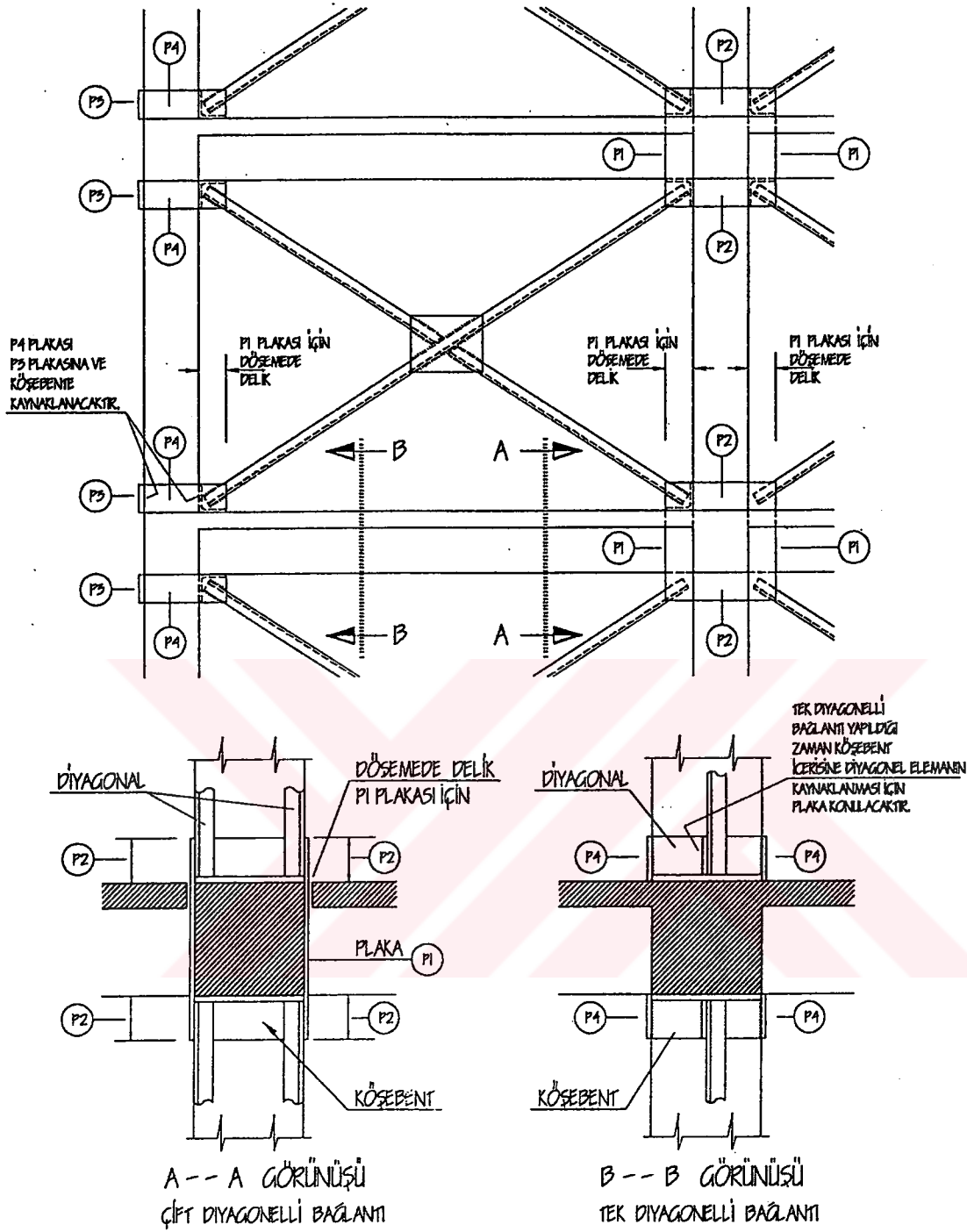
Çerçevelerde perde davranışı veren yöntemlerin; rijitlik artışı, ek taşıma gücü, süneklik ve kesme kuvveti dayanımı açısından karşılaştırılması, deneysel araştırmalara konu olmuştur [2]. Şekil 4.21’de, değişik biçimde güçlendirilmiş çerçevelerin artan yatay yük altında karşılaştırmalı şekil değiştirme eğrileri verilmiştir.

#### 4.4.2.3 Çelik diyagonal elemanlarla güçlendirme

Betonarme perde duvarların konulması, yapının ağırlığının ve dolayısıyla yapıya gelen deprem yüklerinin artmasına neden olur. Bu artıştan kaçınmak, veya yapının ağırlığını arttırmadan rijitliğini, ya da daha da önemlisi, sünekliğini arttırmak için, çerçeve boşlukları arasına çelik çerçeveler ya da diyagonal elemanlar konularak güçlendirme yapılabilir. Bu tip güçlendirme, diğer yöntemlere oranla çok daha kısa bir sürede gerçekleştirilebilmektedir. Çerçeve betonarme kolonlara özel bir biçimde bağlanır. Bu bağlantı, Şekil 4.22’de gösterildiği gibi bulonlarla veya Şekil 4.23’de görüldüğü gibi kaynaklarla yapılabilir. Bulonlu bağlantının kaynaklı bağlantıya oranla daha iyi bir sıkıştırılma özelliği vardır. Bununla birlikte, bulonlu bağlantılar kolonun dış yüzünde olabileceği gibi, betonarme kolon delinip içinden geçirilerek de yapılabilir. Çelik çerçeveler, yatay kuvvet taşıma gücü bakımından, betonarme perdelerle göre daha zayıf kalırlar; üstelik daha pahalıdırlar. Ancak çabuk uygulanabildiklerinden, deprem sonrasında hasarlı bölümlerin desteğe alınmasında, acil olarak kullanılabilme üstünlükleri vardır.



Şekil 4.22 Çerçeve açıklığına bulonlu çelik diyagonal elemanlar yerleştirilmesi.

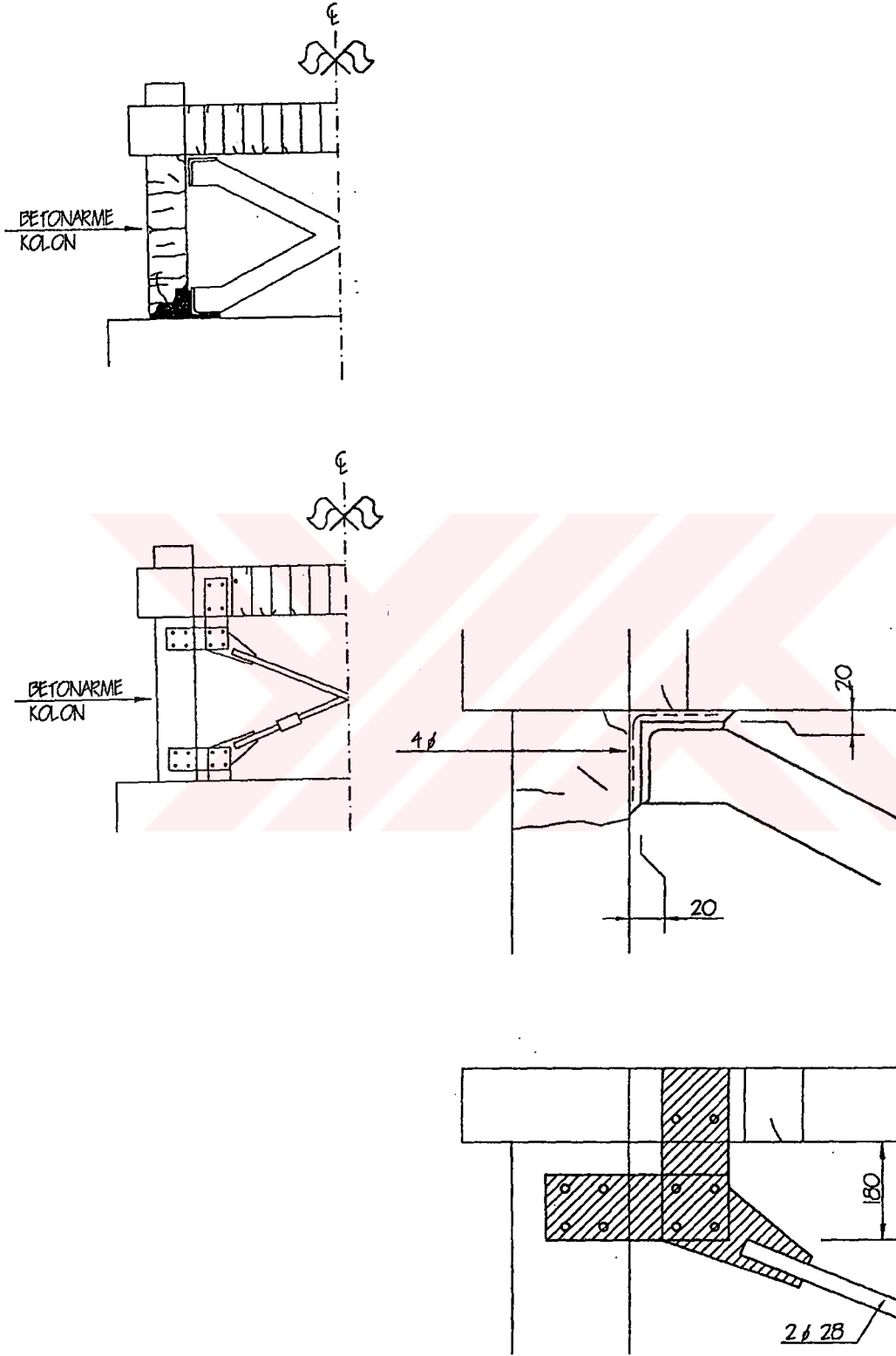


Şekil 4.23 Çerçeve açıklığına kaynaklı diyagonal çelik elemanlar yerleştirilmesi.

Bu sistemde çelik diyagonal elemanlar, çerçeve içinde değişik biçimlerde dizayn edilebilirler. Bu özellik kullanılarak, pencere ve kapı boşlukları kapatılmadan güçlendirme işlemi yapılabilir.

Çelik çerçeve ile güçlendirmenin en önemli sorunu, çelik ve betonarme çerçeve arasında kuvvet aktarımıdır. Bu sorunun çözümü için, birleşim yerlerindeki

ayrıntılara çok özen gösterilmelidir (Şekil 4.24). Ayrıca her çelik elemanında olduğu gibi, yangın türü zararlı dış etkenlere karşı önlemler alınması gerektiği hatırla tutulmalıdır.



Şekil 4.24 Diyagonal – Çerçeve bağlantı detayları.

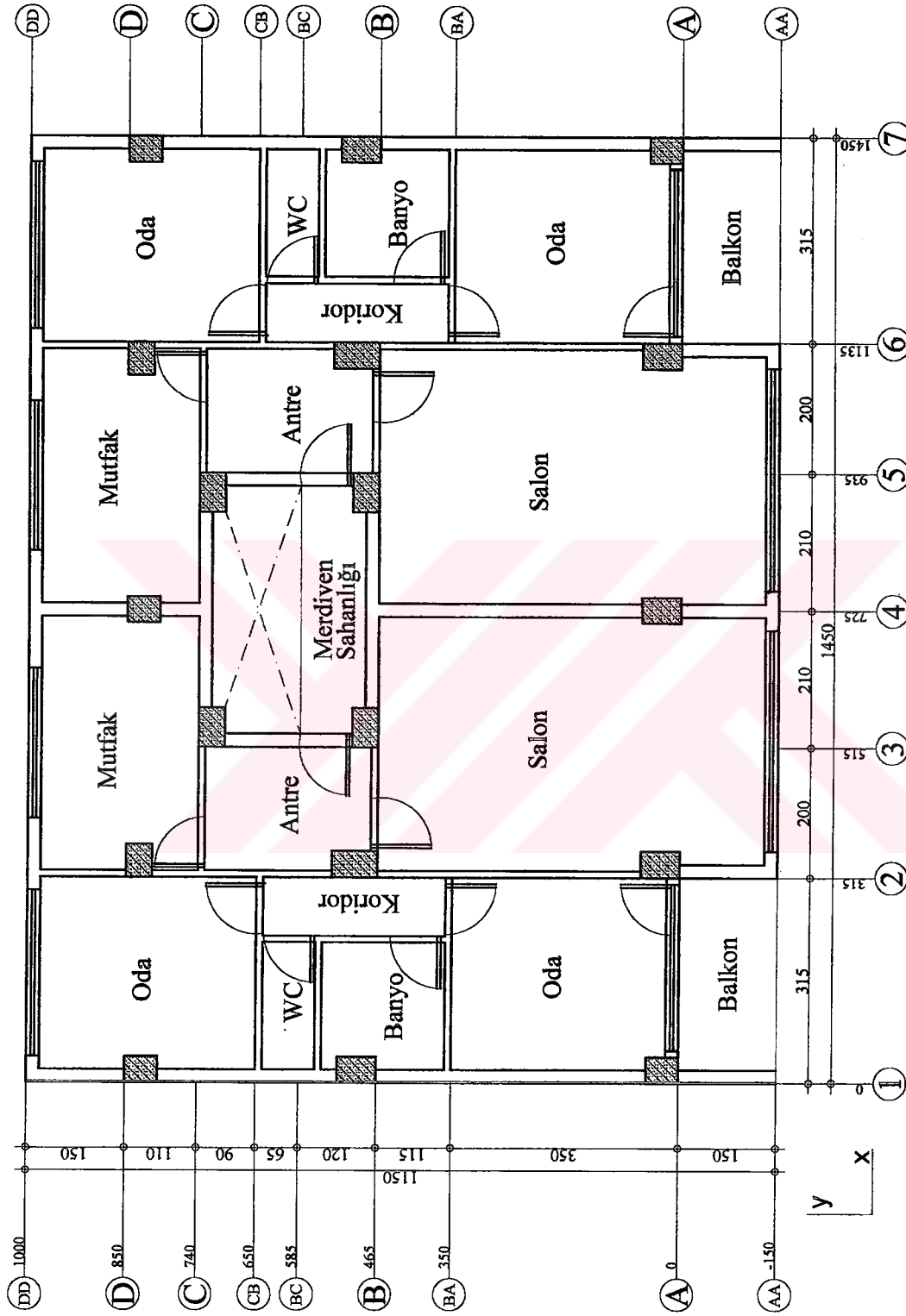
## 5. SAYISAL İNCELEMELER

Bu bölümde, örnek olarak seçilmiş bir betonarme binanın; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997) [18] esasları ile Betonarme Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları (TS 500) [13] ve Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498) [21] adlı Türk Standartları'nda bulunan hükümler çerçevesinde, değişik durumlara göre hesapları yapılmıştır. Deprem hesaplarında “Mod Birleştirme Yöntemi”, betonarme kesit hesaplarında “Taşıma Gücü Yöntemi” kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında yapılan hesaplarda, İDS 98 [22] ve SAP 2000 [23] adlı paket programlardan yararlanılmıştır.

### 5.1 Kat İlavesi Yapılmamış Mevcut Binanın 1997 Deprem Yönetmeliğine Göre Çözümlemesi

#### 5.1.1 Mevcut Binanın Tanıtılması

İnceleme konusu bina; İstanbul İli, Bahçelievler İlçesi, Şirinevler Mahallesi, Mehmet Akif Caddesi, 4. Sokak, 13 pafta, 5715 parsel, 29 kapı nolu yerde bulunmaktadır. İlgili resmî belgeleri elde etmek için Bahçelievler Belediyesi' ne müracaat edilmiş; binanın statik hesapları, mimari ve betonarme projeleri, arşiv dosyasından geçici olarak temin edilmiştir. Mimari proje üzerinde yapılan incelemeden, binanın 1 bodrum, 1 zemin ve 5 de normal olmak üzere 7 kattan oluştuğu; bodrum katın sığınak, kömürlükler ve plastik imalathanesi; zemin katın dört adet dükkan ve normal katların, her katta çift daire olmak üzere, toplam on daire olarak tasarlandığı anlaşılmaktadır. İmar durumuna göre, arsa üzerinde binanın ön cephesi yola, sol yan ve arka cepheleri bahçeye bakmakta; sağ yan cephe ise komşu parseldeki binaya bitişik olmaktadır. Binanın mevcut haliyle normal katlarına ait mimari kat planı Şekil 5.1'de ölçekli olarak verilmiştir. Çatı ise, ahşap taşıyıcı üzerine kiremit örtüsü biçiminde projelendirilmiştir.



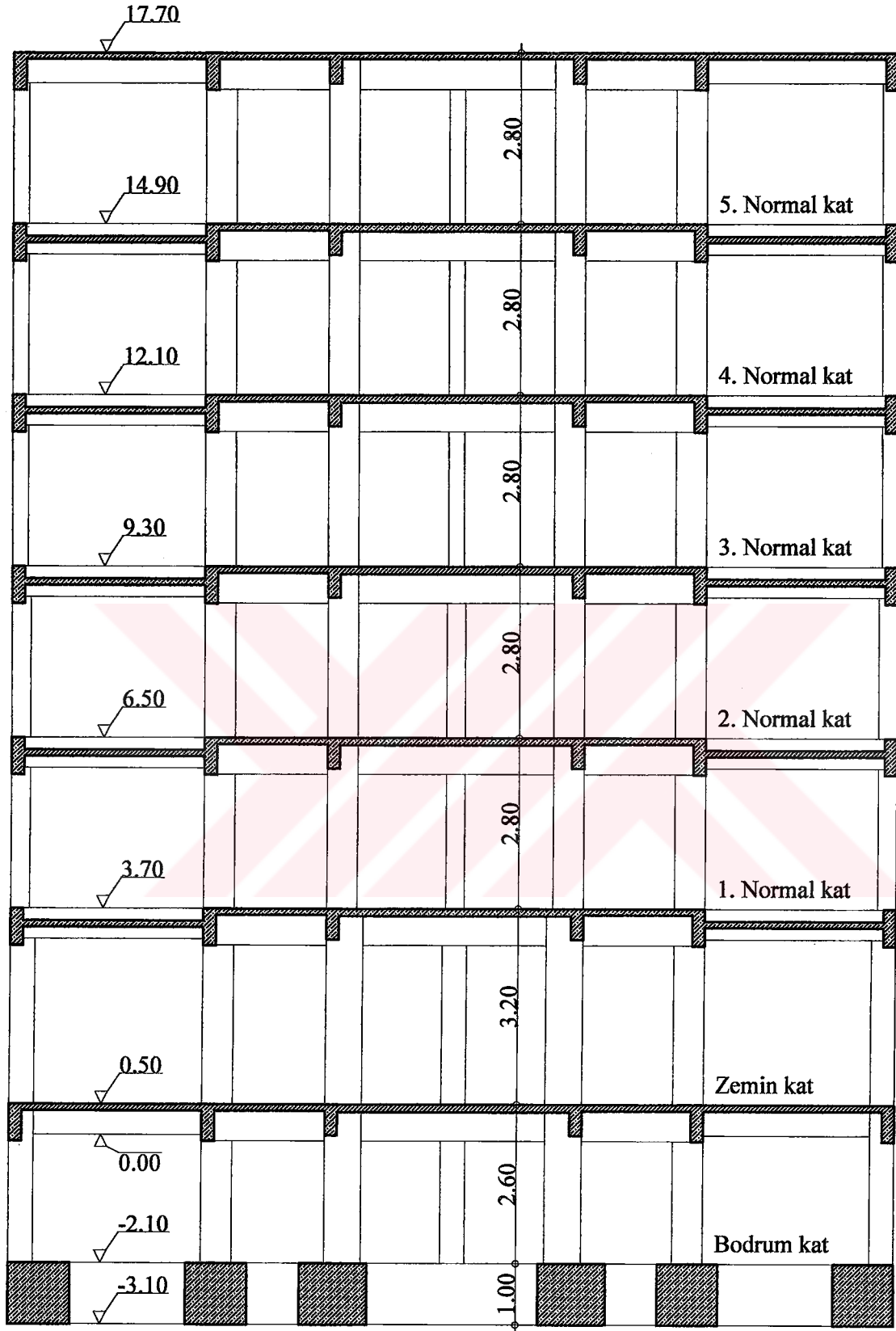
Şekil 5.1 Normal Kat Mimari Yerleşim Planı Ölçek : 1/100

Statik ve betonarme hesaplarında, beton sınıfı olarak B160 (BS14), beton çeliği sınıfı olarak St I (BÇI) kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem kolon ve kirişlerden oluşan çerçevelerden ibaret olup, perde bulunmamaktadır. Statik ve betonarme projelerin hazırlanmasında esas alınması gereken standart ve yönetmeliklere tam olarak uyulmadığı, projeler üzerinde yapılan incelemelerden anlaşılmaktadır. Binanın mevcut haliyle X ve Y doğrultularındaki kesitleri, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' te gösterilmektedir.

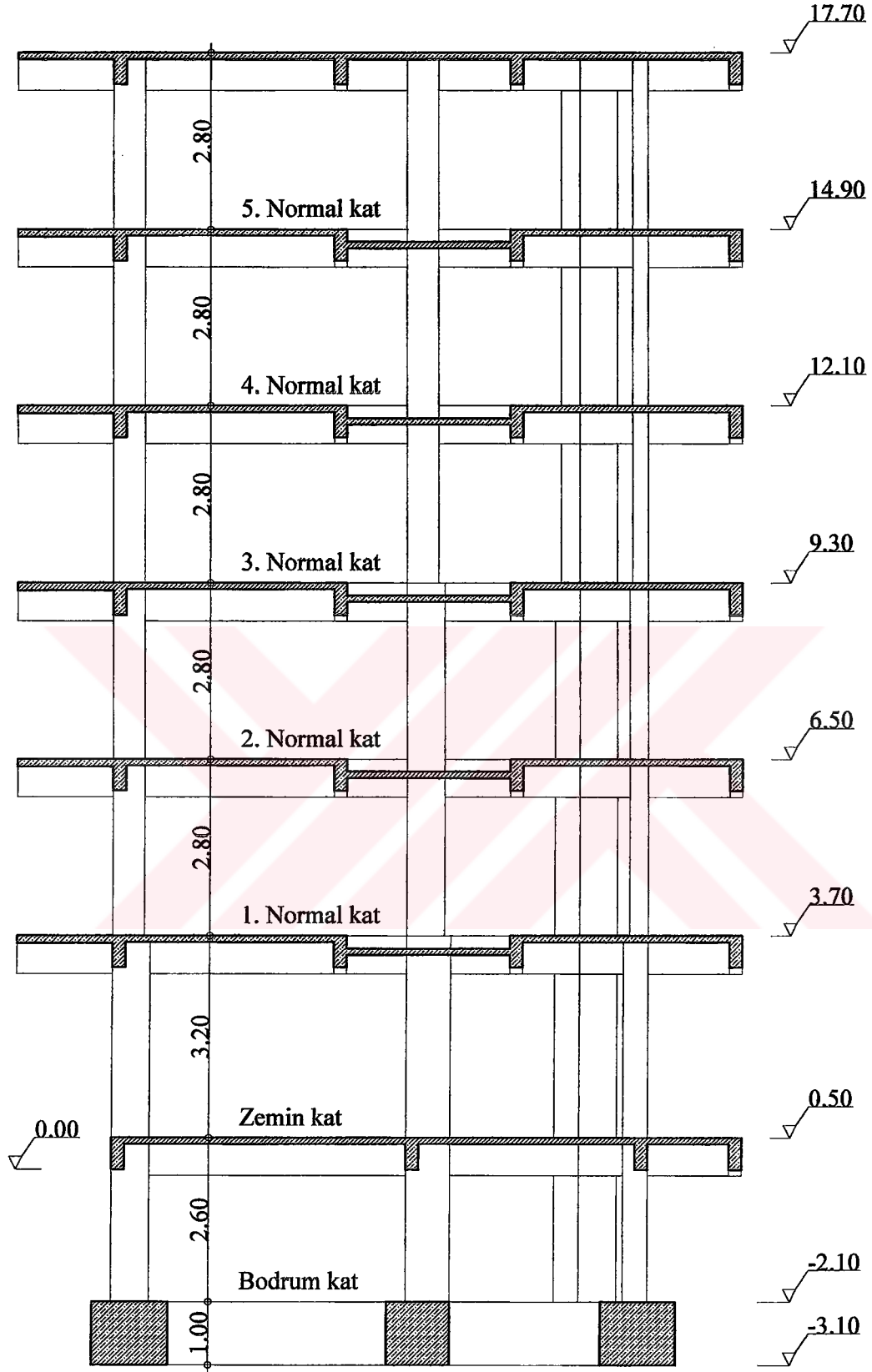
İlgili evrakların incelenmesi ve bina sahipleriyle yapılan görüşmeler sonucunda; projelerin tasdikinin, temel ruhsatının alınmasının ve inşaat başlanmasının 1970'li yılların sonlarında gerçekleştiği anlaşılmıştır. Meslekleri inşaatçılık olan binanın sahipleri aynı zamanda arsanın sahipleridir ve inşaatı da kendileri yapmışlardır. 1980'li yılların başında kat adedi yönünden projeye uygun olarak; bir bodrum, bir zemin ve beş normal kat seviyesinde, iskelet ve tuğla duvarlar tamamlanarak yapıma son verilmiştir. İnşaat uzun süre bu haliyle kalmış, yapı sahipleri 1990'lı yılların başlarında, proje ve ruhsat dışında, mevcut binanın üzerinde bir tam ve bir de çekme olmak üzere iki yığma kat daha oluşturmuşlardır.

İnşaat mahallinde yapılan incelemede binanın rölevesi çıkartılmış ve mevcut bina ile onaylı projesi arasında bir takım uyumsuzluklara rastlanmıştır :

- 1) Binanın plandaki boyutları 14.00 x 8.50 m olması gerekirken, 14.50 x 8.50 m olarak ölçülmüştür.
- 2) Arka cephede yapılan çıkma 1.00 m olması gerekirken, 1.50 m olduğu görülmüştür.
- 3) Binanın kat yüksekliklerinin projedeki değerlerinden, zemin katta 30 cm, normal katlarda 20 cm daha küçük olduğu saptanmıştır.
- 4) Mimari projede iç ve dış duvarlar 10 cm, merdiven duvarları 20 cm olarak tasarlandığı halde, yerinde yapılan araştırmada, dış duvarlar ve simetrik iki daire arasına rastlayan duvar kalınlıklarının 20 cm'ye çıkarıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.2 Mevcut Binanın X Doğrultudaki Kesiti Ölçek : 1/100



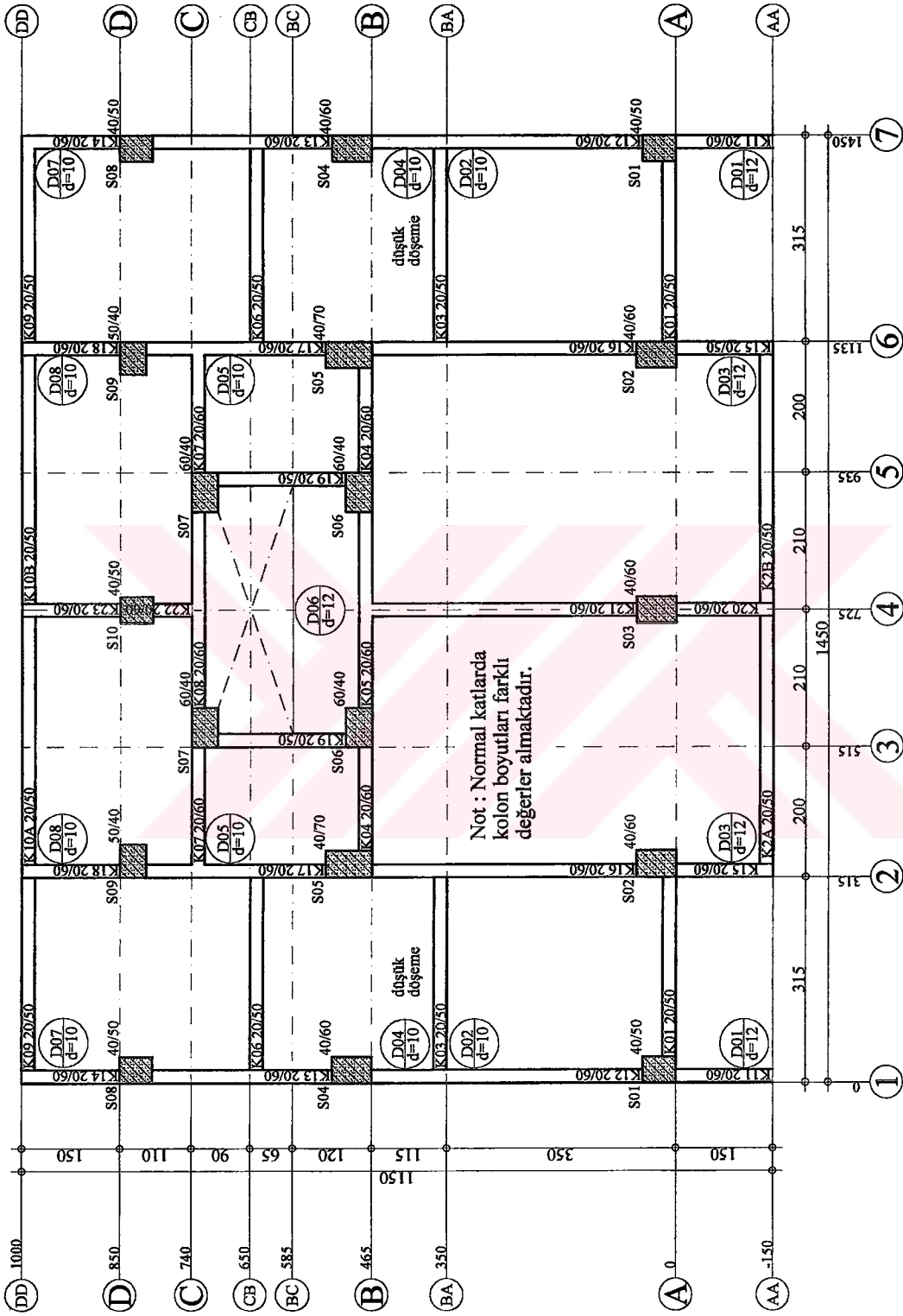
Şekil 5.3 Mevcut Bina'nın Y Doğrultudaki Kesiti Ölçek : 1/100

- 5) Yapının temelleri projesinde tasarlanandan daha güvenli olacak şekilde sadece tek doğrultuda sürekli değil, her iki doğrultuda sürekli ızgara temel olarak inşa edilmiştir.
- 6) Projede “BA” aksında bulunan S4 kolonu, yerinde “B” aksına kaydırılarak “S5” ve “S6” kolonlarıyla aynı aksa getirilmiştir.
- 7) Betonarme projesinde bazı kolonların uzun ve kısa doğrultuları yönünden, mimari projeden farklılıklar taşıdığı belirlenmiştir. Statik projede merdiven kovanında bulunan kolonların uzun doğrultularının hatalı tasarlandığı anlaşılmış; inşaat esnasında bu kolonlar mimari zorunluluklara cevap verecek şekilde döndürülmüşlerdir.
- 8) Beşinci normal kat kolonları projenin dışına çıkılarak küçültülmemiş, üçüncü ve dördüncü normal katlardaki kolon boyutları son katta da aynen devam ettirilmiştir.
- 9) İlave yığma katlar, kalınlıkları 10 ila 20 cm arasında değişen boşluklu tuğla duvarların üzerine, kalınlıkları 10 ila 12 cm arasında değişen betonarme döşemeler teşkil edilmek suretiyle meydana getirilmiştir.

Tablo 5.1 Mevcut Binada Kolon Boyutları (cm) ve Donatılar

| KOLON ADI | BODRUM VE ZEMİN KAT | 1. VE 2. NORMAL KAT | 3., 4. VE 5. NORMAL KAT |
|-----------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| S1        | 40/50 (10φ16)       | 30/50 (8φ16)        | 25/50 (8φ16)            |
| S2        | 40/60 (12φ16)       | 40/50 (10φ16)       | 30/50 (8φ16)            |
| S3        | 40/60 (12φ16)       | 40/50 (10φ16)       | 30/50 (8φ16)            |
| S4        | 40/60 (12φ16)       | 40/50 (10φ16)       | 30/50 (8φ16)            |
| S5        | 40/70 (14φ16)       | 40/60 (10φ16)       | 40/50 (10φ16)           |
| S6        | 60/40 (12φ16)       | 60/30 (10φ16)       | 50/30 (8φ16)            |
| S7        | 60/40 (12φ16)       | 50/40 (10φ16)       | 50/30 (8φ16)            |
| S8        | 40/50 (10φ16)       | 30/50 (8φ16)        | 25/50 (8φ16)            |
| S9        | 50/40 (10φ16)       | 50/30 (8φ16)        | 50/25 (8φ16)            |
| S10       | 40/50 (10φ16)       | 30/50 (8φ16)        | 25/50 (8φ16)            |





Şekil 5.5 Mevcut Binanın Zemin Ve Normal Kat Tavanlarına Ait Kalıp Planı Ölçek : 1/100

Binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkartılırken, tüm kolonların simetrik olarak Tablo 5.1'deki ebatlara sahip olduğu görülmüştür.

Mevcut kolon pirsantajlarının betonarme projesindeki gibi en az % 1 minimum donatı oranı koşulunu sağladığı varsayılmaktadır. Tüm kolon etriyeleri ise  $\phi 8/20$ ' dir.

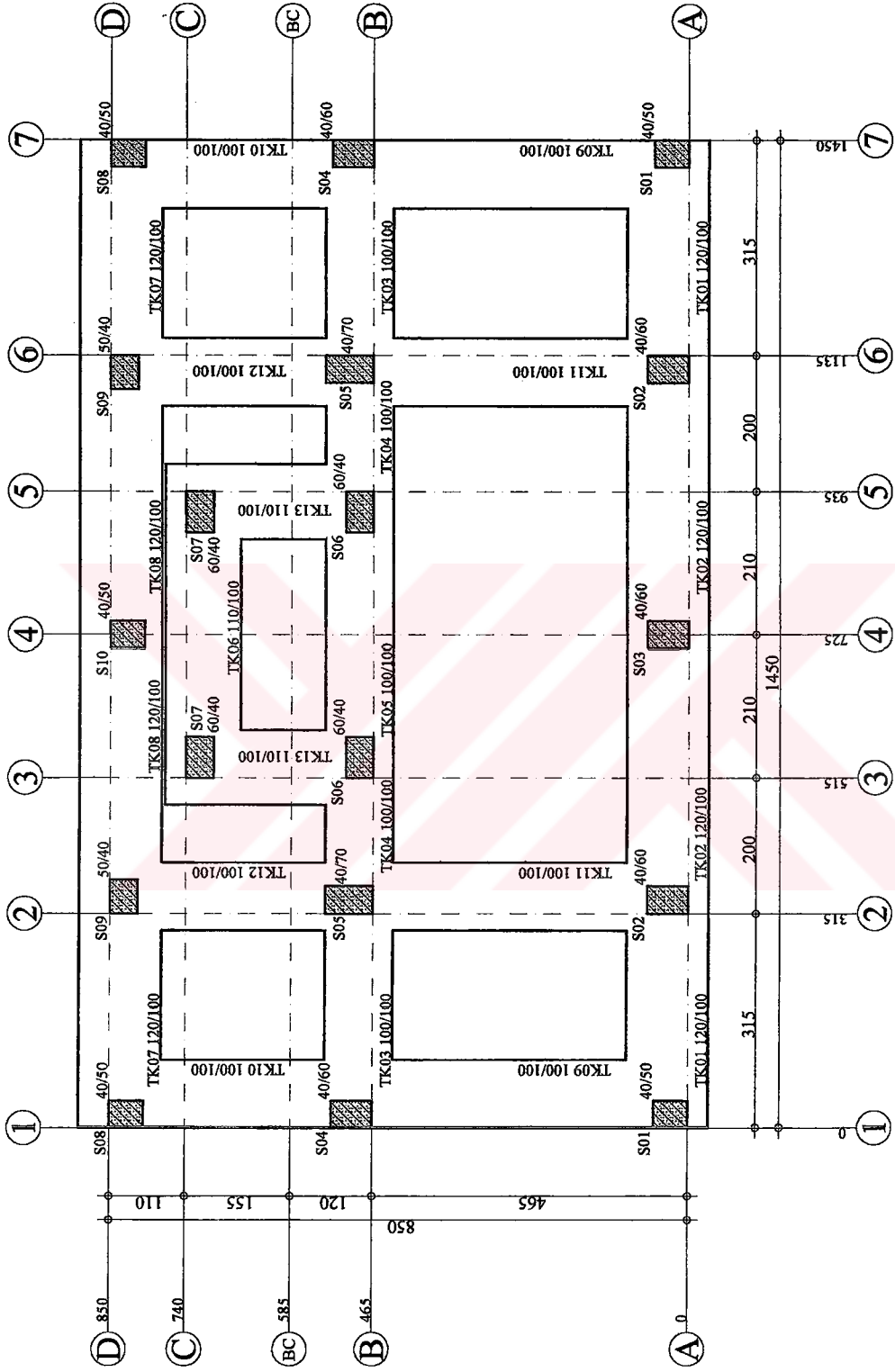
Kirişlerde ise açıklık ve yük alanına bağlı olarak, yine mevcut proje uyarınca en azından düşey yükleri elastik sınırlar içerisinde taşıyabilecek miktarda donatı bulunduğu kabul edilmiştir. Bu kabul, belirgin sehim yapan elemanlara rastlanmaması gözlemiyle de desteklenmektedir. Kiriş boyutlarında da binanın genel özelliğine paralel olarak simetri sağlanmaktadır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 Mevcut Binada Kiriş Boyutları (cm) ve Donatılar (Montaj-Pilye-Düz)

| KİRİŞ ADI | BODRUM KAT                                  | ZEMİN VE NORMAL                             |
|-----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| K1        | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 16-2 $\phi$ 16) |
| K2A-K2B   | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 16-2 $\phi$ 16) | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K3        | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 14-2 $\phi$ 14) | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 14-2 $\phi$ 14) |
| K4        | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K5        | 20/60 (2 $\phi$ 12-3 $\phi$ 16-4 $\phi$ 16) | 20/60 (2 $\phi$ 12-2 $\phi$ 14-2 $\phi$ 12) |
| K6        | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K7        | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K8        | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K9        | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K10A-K10B | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K11       | Mevcut değil                                | 20/60 (3 $\phi$ 12-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 12) |
| K12       | 20/60 (2 $\phi$ 12-2 $\phi$ 14-2 $\phi$ 14) | 20/60 (2 $\phi$ 12-2 $\phi$ 14-2 $\phi$ 14) |
| K13       | 20/60 (2 $\phi$ 12-2 $\phi$ 14-2 $\phi$ 14) | 20/60 (2 $\phi$ 12-2 $\phi$ 14-2 $\phi$ 14) |
| K14       | 20/60 (3 $\phi$ 14-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 12) | 20/60 (3 $\phi$ 14-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 12) |
| K15       | Mevcut değil                                | 20/60 (4 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) |
| K16       | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 16-2 $\phi$ 16) | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 16-2 $\phi$ 16) |
| K17       | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 16-2 $\phi$ 16) | 20/60 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 16-2 $\phi$ 16) |
| K18       | 20/60 (4 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) | 20/60 (4 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) |
| K19       | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) | 20/50 (2 $\phi$ 12-1 $\phi$ 12-2 $\phi$ 12) |
| K20       | Mevcut değil                                | 20/60 (6 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) |
| K21       | 20/60 (2 $\phi$ 12-3 $\phi$ 16-3 $\phi$ 16) | 20/60 (2 $\phi$ 12-2 $\phi$ 14-3 $\phi$ 14) |
| K22       | 20/60 (3 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) | 20/60 (3 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) |
| K23       | 20/60 (3 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) | 20/60 (3 $\phi$ 16-0 $\phi$ 00-3 $\phi$ 14) |

Not : Mevcut binanın projesinden tüm kiriş etriyeleri,  $\phi 8/20$  olarak saptanmıştır.

Mevcut binanın bodrum ve zemin kat tavanlarına ait kalıp planları Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmektedir.



Şekil 5.6 Mevcut Binaya Ait Temel Planı Ölçek : 1/100

Döşemelerde de gözle görülür bir sehim olmadığından enkesit ve donatı yönünden bir problem olmadığı anlaşılmaktadır.

Binanın temellerinde de TS500'deki minimum koşulların sağlandığı konusunda, inşaatın yapımcılarıyla mutabık kalınmıştır. Kolonlar temele ankastre olarak mesnetlenmiş kabul edilebilir. Mevcut binanın temel planı Şekil 5.6'da verilmektedir.

#### 5.1.2 Yapı Sisteminin Hesabı

Binanın hesabında TS498'deki yük esasları kullanılmıştır. Bina, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997)'e göre, 2. Deprem Bölgesi'nde yer almaktadır. Hesaplarda bilgisayardan yararlanılmıştır Yapı Y doğrultusunda simetrik olduğu halde, ek dışmerkezlik etkilerinin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem kuvvetleri kaydırılmış kütle merkezilerine etki ettirilmiştir. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır. Hesaplarda kullanılan parametrelerden başlıcaları ise şöyledir :

Bina önem katsayısı ( $I$ ) : 1

Yapı tipi katsayısı ( $K_x$ ) : 1

Yapı tipi katsayısı ( $K_y$ ) : 1

Zemin hakim periyodu ( $T_0$ ) : 0.42 sn

Çelik güvenlik katsayısı : 1.15

Beton güvenlik katsayısı : 1.50

Zatî yük faktörü : 1.4

Hareketli yük faktörü : 1.6

Beton sınıfı : C16 (BS20)

Çelik sınıfı : S220 (BÇİ)

Zemin Sınıfı : Z3 ( $T_a = 0.15$ ,  $T_b = 0.60$ )

Hesaba katılacak titreşim modu sayısı : 4

Bina taşıyıcı sisteminin süneklik düzeyi : Normal

Bina taşıyıcı sisteminin davranış katsayısı : 4<sup>(\*)</sup>

### 5.1.3 Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Oluşturulan taşıyıcı sistem hesap modeli, bilgisayar programı aracılığıyla, 1997 deprem yönetmeliği esas alınarak analize tabi tutulurken; betonarme kesit hesapları da eşzamanlı olarak yapılmış ve bazı yapı elemanlarında olumsuzluklara rastlanmıştır (Tablo 5.3). Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, Şekil 5.7'deki bina kesiti üzerinde şematik olarak temsil edilmiştir.

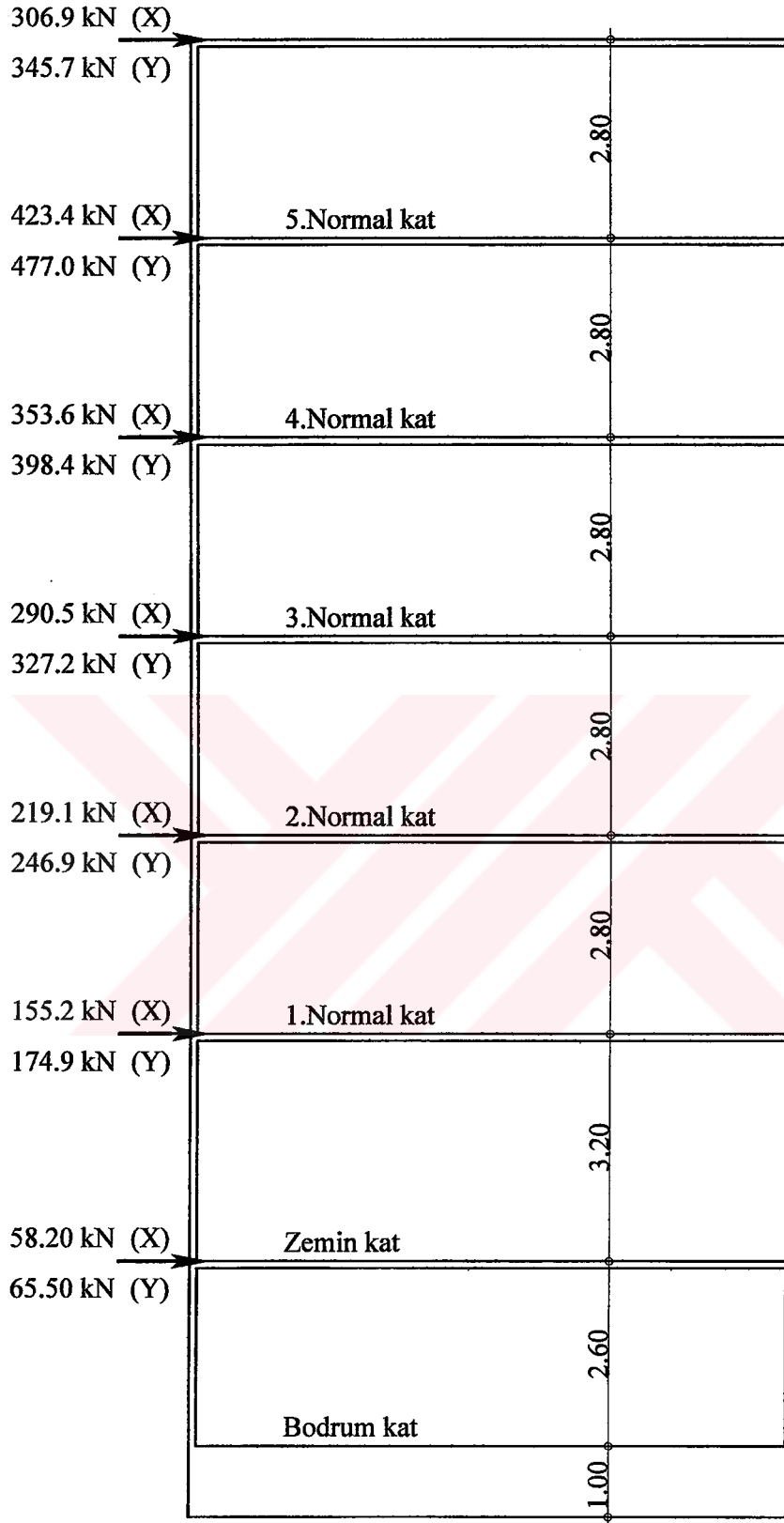
Kolonlarda genel olarak maksimum pirsantaj değerlerine ulaşılmamıştır. Ancak merdiven kovanının köşelerinde yer alan S6 ve S7 kolonlarındaki donatı oranları bazı katlarda % 3'ün üzerine çıkarak yönetmeliklerin öngördüğü maksimum pirsantaj değerlerine yaklaşılmıştır. Kolonlardaki mevcut donatıların minimuma yakın miktarda olduğu bilindiğinden bu kolonların, mevcut haliyle yetersiz kaldıkları söylenebilir.

Kirişlerde ise yetersiz eleman sayısı daha fazla olmuştur. K4, K5, K8 ve K17 kirişleri başta olmak üzere, bir çok kiriş çerçevelerde oluşan büyük mesnet momentleri karşısında yetersiz kalmış, donatı oranları yönetmelik sınırlarını aşarak enkesit boyutlarının büyütülmesini zorunlu kılmıştır. Kaldı ki yeni deprem yönetmeliği kolonlarla birlikte çerçeve oluşturan kirişlerde minimum gövde genişliğini 25 cm ile sınırlamıştır.

Binanın bu haliyle güçlü bir depreme yakalanması durumunda, anılan kirişlerin mesnet bölgelerinde plastik kesitler oluşacağı düşünülebilir. Bu durumun mevcudiyeti ve oluşan plastik mafsalların dönme kapasitesinin aşıp aşılmayacağı, malzemenin orantı sınırından sonraki lineer olmayan davranışının gözönüne alındığı teorilerin de hesap yönteminde kullanılmasıyla anlaşılabilir.

---

(\*) Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı olarak, 1997 yönetmeliğinin yerinde dökme betonarme binalar için öngördüğü en elverişsiz değer olan "4" alınmıştır.



Şekil 5.7 Mevcut Bina'nın Kat İlavessiz Hesabında X ve Y Doğrultuları İçin Kat Eşdeğer Yatay Kuvvetleri (R=4)

Tablo 5.3 Kat ilavesi yapılmamış binada 1997 deprem yönetmeliğine göre boyut ve donatı açısından yetersiz kalan elemanlar

| eleman | Bodrum | Zemin | 1.norm. | 2.norm. | 3.norm. | 4.norm. | 5.norm. |
|--------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| S6     |        |       | X       |         | X       |         |         |
| S7     |        |       | X       | X       | X       |         |         |
| K1     | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K3     | X      |       |         |         |         |         |         |
| K5     | X      | X     | X       | X       | X       |         |         |
| K6     | X      |       |         |         |         |         |         |
| K7     | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K8     | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K12    | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K13    | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K15    |        | X     |         |         |         |         |         |
| K16    | X      | X     | X       | X       | X       |         |         |
| K17    | X      | X     | X       |         |         |         |         |
| K19    | X      | X     | X       |         |         |         |         |
| K21    | X      | X     | X       | X       | X       |         |         |
| TK7    | X      |       |         |         |         |         |         |

Not : Kesitleri yetersiz elemanlar "X" ile gösterilmiştir.

Temel hesaplarında zemin emniyeti, temel kirişi altındaki ortalama zemin gerilmesi ile kıyaslanmıştır. Uzun süreli ağır yük altında sıkışmış olan temel zemininin oturmalarını tamamlayarak metrekarede 300 kN'luk taşıma gücüne erişmiş olduğu kabul edilmiştir. Hesaplarda negatif zemin gerilmesi kontrolü de programa yaptırılmıştır.

Yapılan analizde temellerde genel olarak bir sorun çıkmadığı söylenebilir. Yalnızca binanın arka köşelerine tekabül eden uzun doğrultudaki sürekli temel kirişlerinde zemin emniyeti çok az farkla aşılmıştır. Bunun da kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı, temeller yönünden herhangi bir takviye işlemine gerek olmadığı düşünülebilir.

1997 deprem yönetmeliği esasları altında yapılan hesaplama ve karşılaştırmalar, mevcut binanın kat ilavesi yapılmadan önceki durumunun, bile bazı kolon ve kiriş elemanlarında taşıma kapasitesini yükseltmeye ve genel olarak taşıyıcı sistemin rijitliğini arttırmaya yönelik takviye işlemleri gerektirdiğini ortaya koymuştur. Ancak

binanın bu haliyle elde edilen veriler güçlendirmeye esas olan veriler değildir. Asıl veriler bir sonraki bölümde, mevcut ilave katların da gözönüne alındığı analiz sonucunda elde edilecektir.

## **5.2 Kat İlavesi Yapılmış Mevcut Yapının Hesabı**

Aslı haliyle dahi yönetmelik koşullarını sağlayamayan inceleme konusu bina, ilave yığma katların ilave yük etkileri karşısında, kuşkusuz daha olumsuz durumlar sergileyecektir. Üstelik maruz kalınan bu yükler, yapıyı en çok zorlayacak yer olan en üst katta toplanmaktadır. Yatay yükler altında meydana gelecek kat yerdeğiştirmeleri, bu ağır düşey yük altında, ikinci mertebe etkilerine neden olacaktır. Bu nedenle deplasmanların sınırlanması gerekecektir.

### **5.2.1 İlave Yüklerin Yapının Mekanik Modelinde Gözönüne Alınması**

Yapılacak olan işlem, ilave yükleri de gözönüne alarak, Kısım 5.1'deki hesabı yinelemek olacaktır. Ancak bu noktada ilave katlardan gelen sabit ve hareketli yüklerin nasıl bir modelle taşıyıcı sisteme aktarılacağı önem kazanmaktadır.

İki adet yığma kat olduğuna göre, binadaki toplam kat adedini yediden dokuza çıkarmak ve hesabı buna göre yapmak, bir görüş olarak ileri sürülebilir. Fakat bu model, kolonların sürekli olarak üst katlara devam etmemesi nedeniyle gerçeği tam olarak yansıtamaz.

Gerçeğe daha yakın olabilecek bir diğer görüş ise; ilave katların sabit ve hareketli yüklerini ayrı ayrı hesaplayıp, mevcut binanın en üst katı olan ve yığma katların oturduğu yedinci kat döşemesine tatbik etmektir. Bu bölümdeki hesaplarda uygulanan model de budur.

Birinci ilave katın yüksekliği 2.80 m, onun da üzerinde yer alan tama yakın çekme katın yüksekliği ise 2.60 m' dir. Bu katlardaki döşeme plaklarını taşıyan duvarların ağırlıkları tek tek hesaplanmış ve kat alanına bölündüğünde, beher katta metrekareye ortalama 3.5 kN şiddetinde sabit yayılı yüke eşdeğer yük aktardığı bulunmuştur.

Döşemelerden gelen sabit yükler ise, 10 cm plak kalınlığı için ortalama  $4.0 \text{ kN/m}^2$  dir. Yine ilave katlar konut amacıyla kullanılacağından, hareketli yükler  $2.0 \text{ kN/m}^2$  alınacaktır.

Bu durumda;  $(3.5 + 4.0) \times 2 = 15.0 \text{ kN/m}^2$  şiddetindeki sabit yük, yedinci betonarme kat döşemelerinin sabit yüklerine ilave edilecektir.

Aynı zamanda;  $2.0 \times 2 = 4.0 \text{ kN/m}^2$  şiddetindeki hareketli yük ise, yine yedinci betonarme kat döşemelerinin hareketli yüklerine ilave edilecektir.

Böylelikle taşıyıcı sistemin analizinin, yine yedi katlı bir yapı biçiminde yapılmasına imkan sağlanmaktadır.

## 5.2.2 Yapı Sisteminin Hesabı

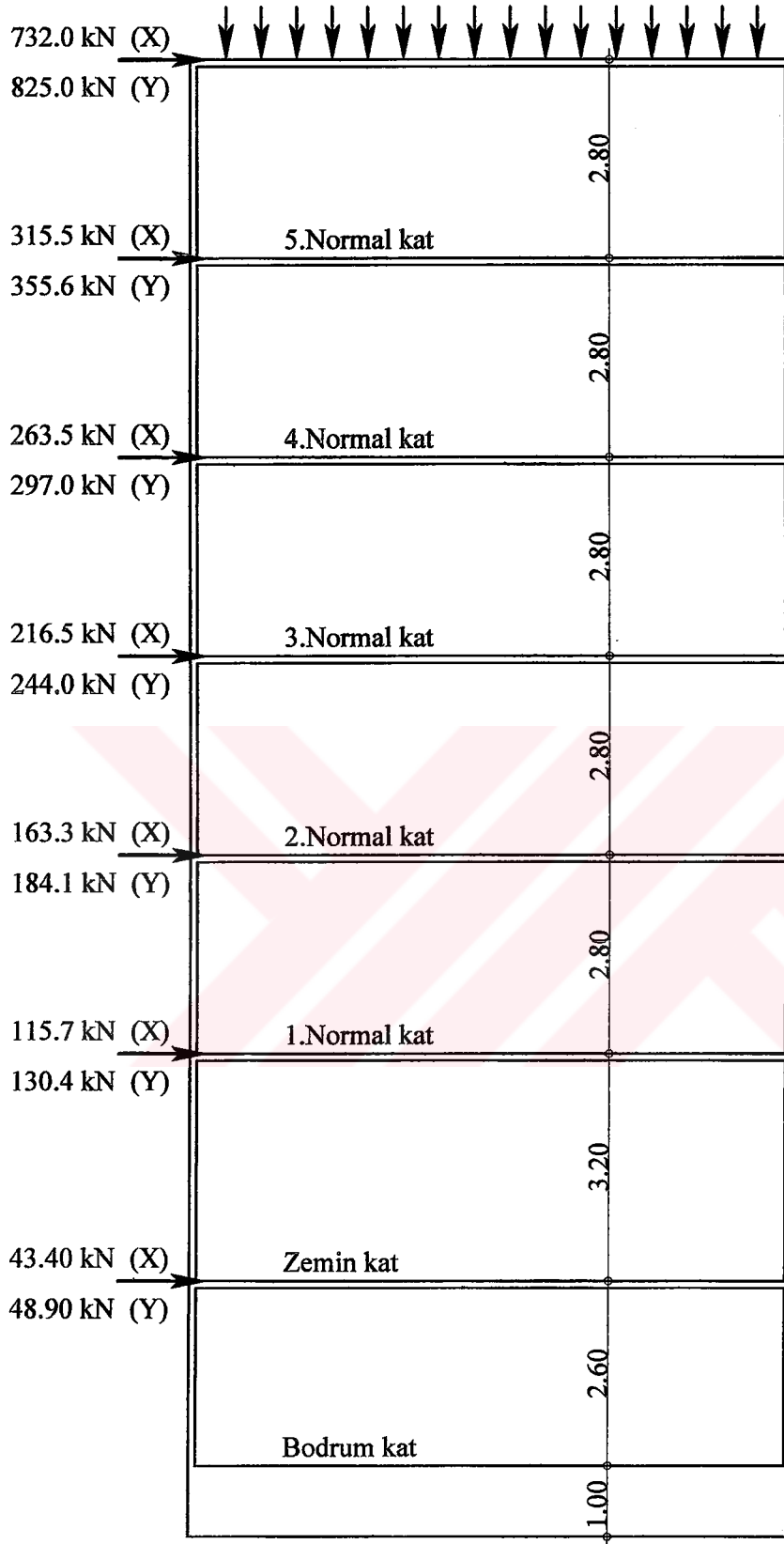
Artan yükler bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra, Kısım 5.1.2'deki hesap tekrar edilmiştir. Hesaplar ve sonuçlarına ilişkin bazı bilgiler eklerde verilmiştir.

## 5.2.3 Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Analiz sırasında en üst kat için bulunan eşdeğer deprem kuvvetleri, X (uzun) doğrultusunda  $306.9 \text{ kN}$ ' dan  $732.0 \text{ kN}$ ' a; Y (kısa) doğrultusunda ise  $345.7 \text{ kN}$ ' dan  $825.0 \text{ kN}$ ' a çıkmıştır. Ayrıca toplam bina eşdeğer yatay kuvveti ise yaklaşık  $50 \text{ kN}$  civarında artış göstermiştir. Bunun yanında alt katlara gelen eşdeğer yatay yüklerde azalma meydana gelmiş olması dikkat çekicidir. İlave kat ağırlıklarının bina hesabına olan en çarpıcı etkisi bu üç husus olmuştur. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Şekil 5.8'de, bina kesiti üzerinde şematize edilmiştir.

Kesitleri yetersiz eleman sayısı  $85'$  ten  $100'$  e çıkmıştır (Tablo 5.4). Bir önceki hesapta zorlanan merdiven kolonlarına, simetri eksenindeki ön ve arka kolonlar ile yine arka aksta bulunan S9 kolonları da katılmıştır. Simetri ekseninde bulunan K20, K21, K22 ve K23 kirişleri yığma katların yükleri altında ezilerek ciddi biçimde takviye gerektirmektedirler.

Temellerde ise durum çok olumsuz değildir. Zemin emniyet gerilmesi, önceki duruma ilaveten sadece binanın "A" aksındaki temel kirişleri altında aşılacaktır.



Şekil 5.8 Kat İlaveli Mevcut Bina'nın Hesabında X ve Y Doğrultuları İçin Kat Eşdeğer Yatay Kuvvetleri ( $R=4$ )

Tablo 5.4 Kat ilavesi yapılmış mevcut binada 1997 deprem yönetmeliğine göre boyut ve donatı açısından yetersiz kalan elemanlar

| eleman | Bodrum | Zemin | 1.norm. | 2.norm. | 3.norm. | 4.norm. | 5.norm. |
|--------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| S3     | XX     |       |         |         |         |         |         |
| S6     |        |       | X       |         | X       |         |         |
| S7     |        |       | X       | X       | X       | XX      |         |
| S9     | XX     |       |         |         |         |         |         |
| S10    | XX     |       |         |         |         |         | XX      |
| K1     | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K3     | X      |       |         |         |         |         |         |
| K5     | X      | X     | X       | X       | X       | XX      |         |
| K6     | X      |       |         |         |         |         |         |
| K7     | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K8     | X      | X     | X       | X       | XX      |         |         |
| K12    | X      | X     | X       | X       | XX      |         |         |
| K13    | X      | X     | X       | X       |         |         |         |
| K15    |        | X     |         |         |         |         |         |
| K16    | X      | X     | X       | X       | X       | XX      | XX      |
| K17    | X      | X     | X       | XX      |         |         |         |
| K19    | X      | X     | X       |         |         |         |         |
| K20    |        |       |         |         |         |         | XX      |
| K21    | X      | X     | X       | X       | X       |         | XX      |
| TK1    | XX     |       |         |         |         |         |         |
| TK2    | XX     |       |         |         |         |         |         |
| TK7    | X      |       |         |         |         |         |         |

1.Not : Kesitleri kat ilavesiz hesapta yetersiz kalan elemanlar "X" ile gösterilmiştir.

2.Not : Kesitleri kat ilaveli hesapta yetersiz kalan elemanlar "XX" ile gösterilmiştir.

Sonuç olarak ilave kat yüklerine maruz kalan bu binada güçlendirme gereğinin kaçınılmaz olduğu anlaşılmaktadır. İzleyen kısımda güçlendirme sistemine karar verilecek ve güçlendirilmiş bina yeniden analiz edilecektir.

### 5.3 Mevcut Binanın Güçlendirilmesi

Önceki kısımda yapılan hesaplarda, binanın üzerinde bulunan yığma katları yönetmelik esasları dahilinde taşıyamadığı ortaya konulmuş; rijitliğinin artırılarak çerçeve elemanlarının rahatlatılması gereği ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca beşinci normal kat tavanındaki bazı kirişlerin takviyesi gündeme gelmiştir. Buna göre güçlendirme sisteminin seçimi için, önceki bölümlerde verilen bilgilerin ışığı altında değerlendirme yapılacaktır.

### 5.3.1 Güçlendirme Sisteminin Oluşturulması

Seçilecek güçlendirme sistemi, yapının yatay rijitliğini arttırarak, kat yerdeğiştirmelerini sınırlayacak nitelikte olmalıdır. Böylece büyük kat deplasmanlarının ikinci mertebe etkilerine yol açması da önlenmiş olacaktır.

Yatay rijidite denilince ilk akla gelen ve deprem kuvvetlerini en etkili karşılayan yapı elemanı perdedir. Binada yeni perde oluşturulacak uygun mekan olmadığından, bazı dolgu duvarlarının donatılı beton duvarlarla değiştirilmesi en makul yöntem olarak akla gelmektedir. Perde davranışı gösterebilecek çelik çaprazlar yerleştirme metoduna, bağlantı detaylarındaki güçlükler nedeniyle rağbet edilmeyecektir. Ayrıca bodrum kattaki rijitliği en üst düzeye çıkaracak olan çevre perdeleri uygulaması da yapılacaktır (Şekil 5.9). Bu sayede üst katlara devam eden perde tabanlarında oluşan büyük devrilme momentleri dolayısıyla, perde temellerindeki dönme problemine de bir çözüm getirilmiş olacaktır.

### 5.3.2 Perdeleştirilecek Çerçeve Gözlerinin Plandaki Yerlerinin Tespiti

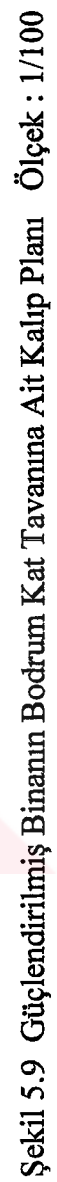
“4 – 4” aksı etrafında simetrik olan yapıda, burulmaya meydan vermemek suretiyle ve binanın mimarî kullanım özellikleri değiştirilmeden donatılı betonla doldurulabilecek çerçeve gözleri aşağıda değerlendirilmiş ve en uygun seçim yapılmaya çalışılmıştır (Şekil 5.10).

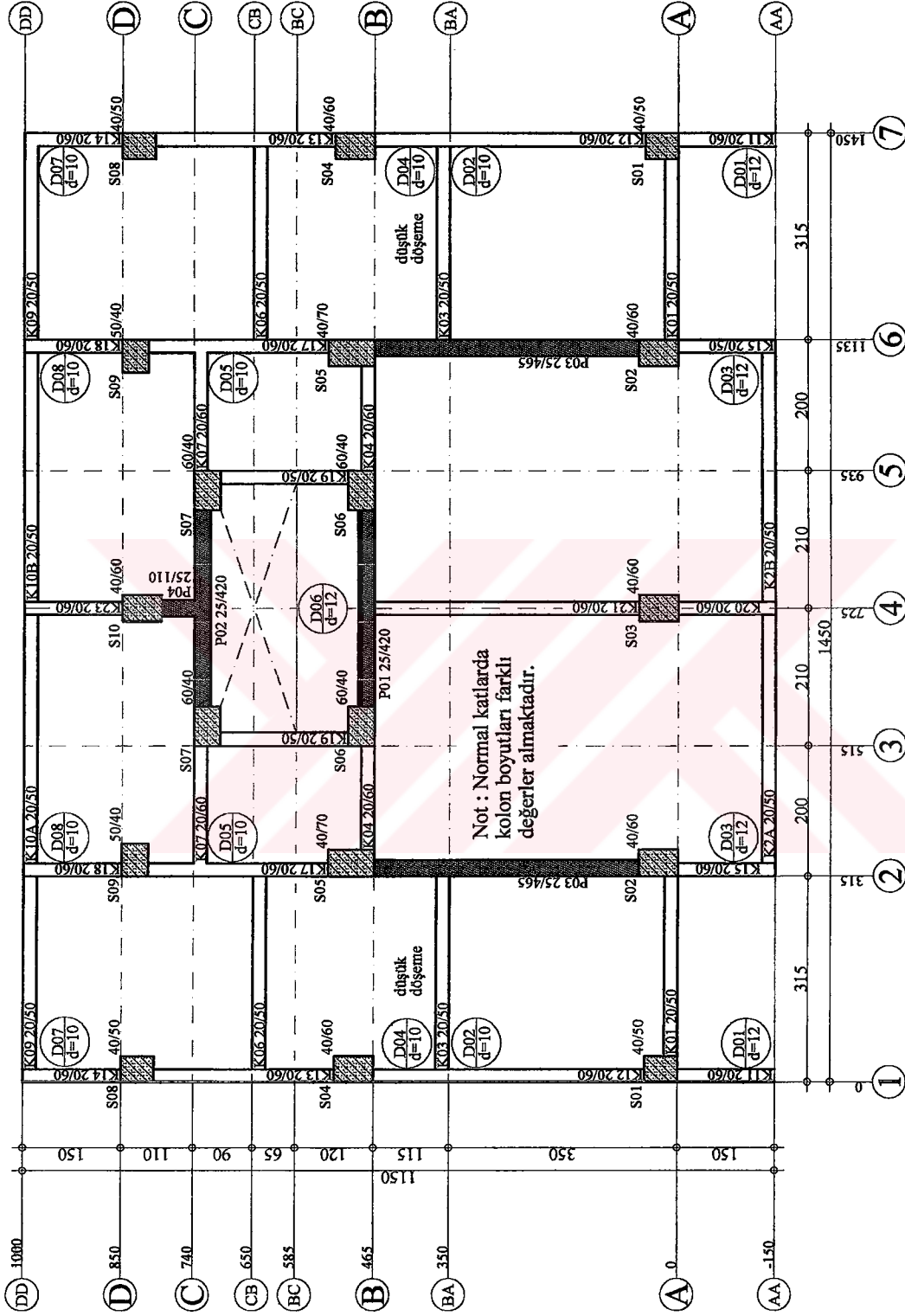
#### 5.3.2.1 Perdelerin X doğrultusunda teşkili

Bu doğrultuda betonarmeyle doldurulabilecek çerçeve sayısı oldukça sınırlıdır. Binanın pencere boşluklarının bulunduğu ön ve arka cephe bu doğrultuda bulunmaktadır. Ayrıca bina çıkmalarının varlığı nedeniyle, ön ve arka kolon akslarına fazla kiriş isabet etmemiş; kirişler genellikle çıkma ucundan geçirilmiştir.

S1 ve S2 kolonları arasında balkona çıkış kapısı ve odaya ait pencere boşluğu bulunmaktadır. Bu nedenle bu çerçevenin doldurulması binanın mimarî kullanımını bozacaktır.

S5 ve S6 kolonları arasında da salona giriş kapısı vardır. Çok zorunda kalınırsa bu boşluk kapatılıp, K16 kirişinin K3 ve S5 elemanları arasında kalan kısmından salona





girilebilir. Ancak bu durum, hem binanın mimarî kullanım amacını olumsuz yönde etkileyecek, hem de kısa doğrultuda S2 ve S5 kolonları arasındaki elverişli dolgu duvarın perdeye dönüştürülmesini engelleyecektir.

BA ve CB akslarındaki K3 ve K6 kirişleri diğer kirişlere oturmaktadır, uçlarında perde uç bölgesi olabilecek birer kolon yoktur. Ayrıca bu akslarda perde altına gelecek mevcut sürekli temel de yoktur. Bu nedenle bu kirişlerden de yararlanılması uygun olmaz.

“C” aksında K17 ve S7 kolonları arasında mutfak giriş kapısı bulunmaktadır. Çok zor durumda kalınırsa mimarî kullanım değiştirilerek mutfağa odadan giriş kapısı açılabilir. Ancak bu bölge, nispeten binanın ağırlık merkezinden uzakta kaldığı için burulma etkileri doğuracaktır.

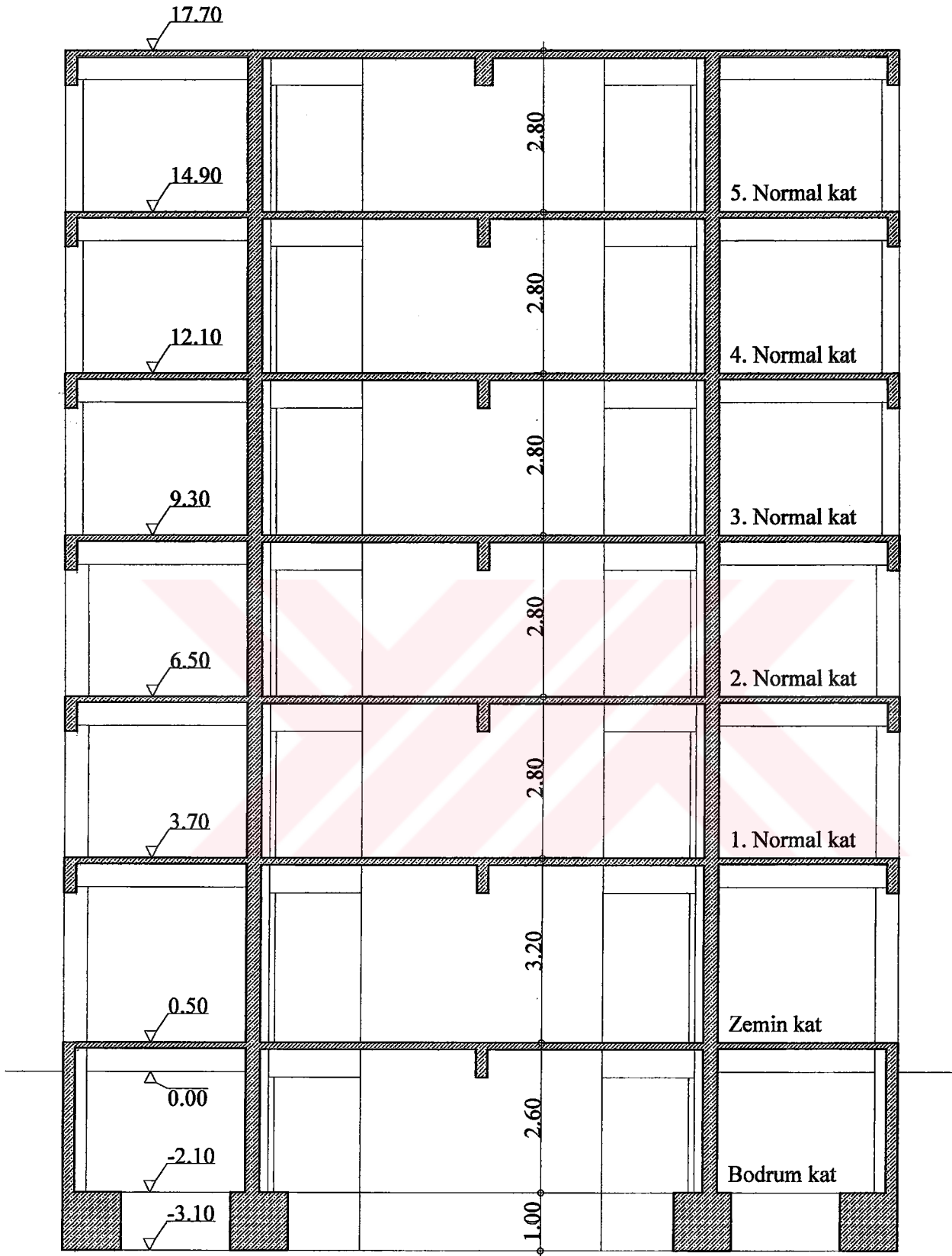
“D” aksındaki kolonlar arasında perde oluşturulması mimarî kullanım açısından olanaksızdır. Aynı durum “A” aksındaki S2 ve S3 kolonları arasında da söz konusudur.

Geriye “B” ve “C” aksları üzerinde yer alan, simetrik S6 – S6 ve S7 – S7 kolonları arasındaki kısımlar kalmaktadır. Gerçekten de bu kolonlar arasında duvar boşluğu bulunmamaktadır. Simetrik iki S6 kolonu arasında oluşturulabilecek perdenin binanın ağırlık merkezine çok yakın olduğu için fazlaca burulma etkisi doğurmayacağı düşünülebilir. Ancak bu perde binanın uzun doğrultusunda tek başına yeterli rijitlik sağlamayabilir. Bu nedenle simetrik iki S7 kolonu arasında da aynı uzunlukta bir perde teşkil edilecektir. S7 – S7 perdesinin burulma düzensizliğine etkisi ise yapısal analiz sonucunda ortaya çıkacaktır.

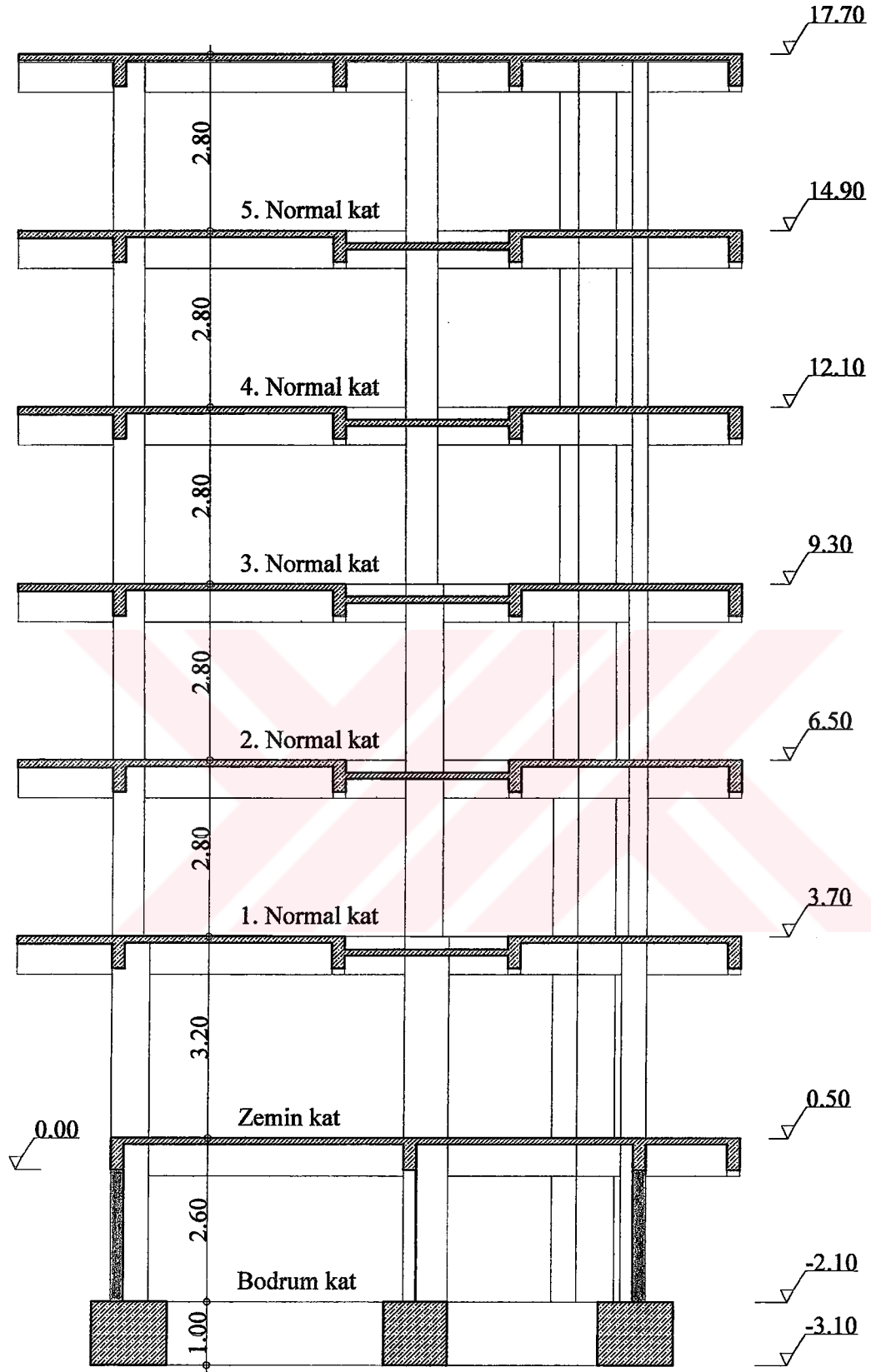
#### 5.3.2.2 Perdelerin Y doğrultusunda teşkili

Yapının plandaki boyutları açısından, ilk bakışta bu doğrultuda daha zayıf olduğu düşünülebilir. Ancak bu doğrultuda uzun doğrultuya nazaran daha çok çerçeve bulunmaktadır. Üstelik kolonların daha rijit olan uzun doğrultuları, genellikle yapının kısa doğrultusuna paraleldir.

“1” ve “7” aksları binanın dış yan cephelerinden geçmektedir ve buralarda pencere boşluğu yoktur. Ancak bina kenarlarındaki dolgu duvarların boşaltılması ve kalıp



Şekil 5.11 Güçlendirilmiş Binanın X Doğrultudaki Kesiti Ölçek : 1/100



Şekil 5.12 Güçlendirilmiş Binanın Y Doğrultudaki Kesiti Ölçek : 1/100

oluşturulması işleminin bina yüksekliği boyunca iskele gerektirmesi; bunun yanısıra perde donatılarının çerçeve kirişinin her iki yüzünden geçerken bina gabarisinin dışına taşması gibi olumsuzluklar, çerçeve seçim tercihinin iç akslarda aranmasına yol açmıştır.

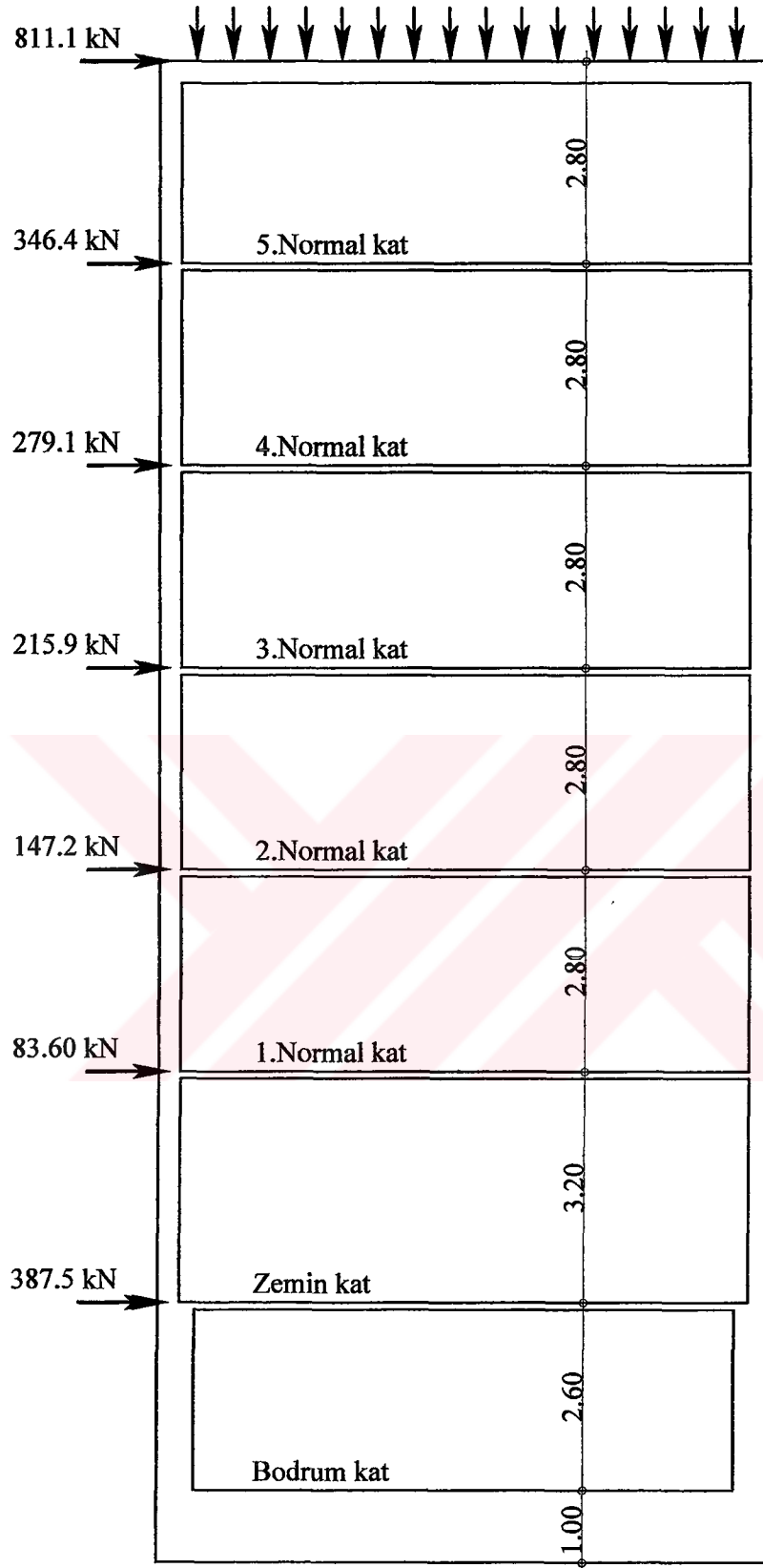
“3” ve “5” akslarındaki S6 ve S7 kolonları arasında daire giriş kapıları vardır. Bu kısımların da kapatılması düşünülemez. Ayrıca buralarda perde oluşturulsa bile plandaki boylarının kısalığı nedeniyle, yapı için yeterli rijitlik sağlanamayacağı değerlendirilmiştir.

“4” aksında perde haline getirilebilecek kısım K21 kirişidir. Ancak bu kirişin bir ucu K5 kirişine mesnetlenmiştir. Bununla birlikte K5 kirişi zaten uzun doğrultuda perdeye dönüştürüleceğinden, K21 kirişinin de perdeleştirilmesiyle planda “ T ” biçiminde bir perde sistemi elde edilecektir. Her ne kadar birbiriyle kesişen perdelerin hesap modellenmesinde güçlükler varsa da, bu sistem kabul edilebilir bir çözüm alternatifi olarak dikkate alınabilir. Bu aksta yer alan K22 kirişinin altındaki kısa dolgu duvarının perdeleştirilmesinin ise, plandaki uzunluğunun enine oranı 7’ nin çok altında kalması nedeniyle sistem rijitliğine etkin bir katkı yapması beklenemez.

Geriye kalan simetrik “2” ve “6” akslarında bulunan K16 kirişlerinin perdeye dönüştürülmesi halinde, altındaki dolgu duvarlarda kapı boşluğu içermemesi, zemin katta dükkan bölme duvarlarına isabet etmesi, plandaki boylarının etkin bir rijitlik temin edebilmesi ve sistem simetrisine uyum sağlaması unsurları gözönünde tutulduğunda, bu seçeneğin daha uygun bir çözüm olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Aynı akslarda yer alan simetrik K17 kirişleri, altlarında koridor geçişi olması dolayısıyla değerlendirme dışı tutulmuşlardır.

### 5.3.3 Güçlendirilmiş Binanın Çözümlemesi

Güçlendirilmiş binaya ilişkin kesitler Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de, bodrum çevre perdelerini de içerecek şekilde verilmiştir. Mevcut yapıya süneklik düzeyi yüksek perdelerin ilave edilmesinden sonra taşıyıcı sistemin sünekliğinde bir artış olacağından, davranış katsayısı her iki doğrultuda  $R_x = R_y = 5$  alınabilir. Ayrıca bodrum katın çevresinde rijit betonarme perde duvarları oluşturulacağından, bodrum



Şekil 5.13 Kat İlaveli Binanın Güçlendirilmiş Hesabında X ve Y Doğrultuları İçin Kat Eşdeğer Yatay Kuvvetleri (R=5)

kata ve üst katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri, 1997 deprem yönetmeliği' nin 6.7.2.4 maddesi uyarınca ayrı ayrı hesaplanacaktır.

#### 5.3.4 Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapısal analizle bulunan kat deprem kuvvetleri incelendiğinde, bu kuvvetlerin her iki doğrultuda eşitlendiği ve büyüklüklerinin yaklaşık olarak; 2., 3., 4. Ve 5. Normal katlarda güçlendirme öncesi durumda, X ve Y doğrultularında hesaplanan kat deprem kuvvetleri arasında yer aldığı gözlenmiştir. Zemin ve 1. Normal kat deprem kuvvetlerindeki farklılıklar, bu kuvvetlerin hesabının, rijit bodrum katın üstündeki ilk kattan başlatılmasından ileri gelmiştir (Şekil 5.13).

Güçlendirme neticesinde binanın kat deplasmanlarının sınırlandırılmasında bir problem kalmamıştır. Perdeler her iki doğrultuda yatay kuvvetlerin büyük çoğunluğunu alarak, çerçeveleri rahatlatmışlar; alt katlardan itibaren kolon ve kiriş kesitleri mevcut durumlarıyla genel olarak yeterli hale gelmişlerdir.

Yine de perde uçlarına isabet eden kolonlarda mantolama yapılarak, perde uç kuvvetlerinin büyük değerleri altında ortaya çıkabilecek olumsuz durumların önüne geçilmesinde yarar vardır.

Güçlendirme perdelerinin yararlı etkileri alt katlarda daha çok görülmüştür. Bununla birlikte perdeler, beşinci normal kat tavanında ağır ilave yığma kat yüklerini taşıyan bazı kirişlerin rahatlamasını da sağlamıştır. Ancak bu kattaki kirişlerin bir kısmı halâ, yığma yapının duvarlarından gelen büyük düşey yükleri taşımaya devam etmek durumundadır. Özellikle simetri aksında bulunan K20, K21, K22 ve K23 kirişleri, her iki taraflarından büyük açıklıklı döşemelere mesnet olduklarından büyük düşey yüklere maruz kalmaktadır.

Yapılan betonarme hesaplarında 20/60 cm ebadında olan K20 ve K21 kirişlerinin, en az 30/60 cm ebadındaki bir kirişin taşıma gücüne çıkarılacak şekilde takviye edilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Bu arada S3 kolonu da bu katta kendisine birleşen kirişlerden gelen büyük mesnet momentlerine maruz kaldığından, 30/50' cm den 30/60 cm boyutlarındaki bir kolonun taşıma gücüne yükseltilmesi gerekmektedir. Kolonun bu yeni boyutlarının,



ikinci normal kat tavanında aynı boyutlara ulaşacak şekilde, 3. ve 4. normal katta da devam ettirilmesi uygun olacaktır.

Aynı durum S10 kolonu için de söz konusudur. Bu kolon yığma katları taşıyan en üst betonarme katta, konsol kirişten gelen büyük eğilme momenti etkisi altında yetersiz kalmıştır. Yapılan hesaplar, enkesit boyutlarını 25/50 cm' den 30/60 cm' ye çıkaracak düzeyde bir kesit artışı sağlanması gerektiğini göstermiştir. Mantolamayla sağlanabilecek olan bu artış, kolon enkesit boyutlarını alt katlardan daha büyük kıldığından, büyümenin temele kadar indirilmesinde yarar vardır.

K22 kirişinde de mevcut haliyle kayma güvenliği sağlanamamış, gövde yüksekliğinin arttırılması yetersiz kalınca, altında 50 cm uzunluğunda kalmış olan kısa dolgu duvarı kaldırılıp, yerine donatılı beton doldurularak yeni yapılacak P2 güçlendirme perdesiyle bütünleştirilmesi uygun görülmüştür.

Mevcut 20/60 cm ebadındaki K23 konsol kirişindeki yetersizlik ise, taşıma gücünü 25/60 cm ebadında ve aynı donatı oranındaki bir kirişinkine çıkaracak şekilde, yanal yüzlerden epoksi ile çelik plakaj yapılması suretiyle giderilebilir.

Temel hesaplarında önceki kısımlarda, bodrum çevre ve güçlendirme perdelerinin olmadığı hallerde birkaç noktada aşılın ortalama zemin güvenlik gerilmeleri, yapılan bu son hesapta daha dengeli değerler olarak, 300 kN/m<sup>2</sup> sınırının altında kalmıştır. Bu durum, boşluklu tuğla dolgu duvarları kaldırılıp, güçlendirme perdeleriyle yapı ağırlığı arttığı halde, bodrum çevre perdelerinin meydana getirdiği rijitlik sayesinde, perde ve kolon eğilme momentlerinin yatay yüklerden gelen bileşenlerinin, temele saplanma noktalarında büyük değerler alamamasıyla açıklanabilir (Şekil 5.14).

Hesap sonuçlarına ilişkin olarak SAP 2000 ile elde edilen bazı karakteristik değerler ve şekiller, cildin son kısmında yer alan ekler bölümünde verilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tamamına yakın bir kısmı deprem bölgesi olan ülkemizde sık rastlanan bir durum olan, mevcut binalara kat ilave edilmesinin, taşıyıcı sistem üzerindeki olumsuz etkileri ele alınmış ve bu olumsuzlukların nasıl giderilebileceği, örnek bir bina üzerinde incelenmiştir.

Sayısal uygulamalara geçmeden önce, çalışmaya ışık tutacak yönetmelikler, standartlar, yapı güvenliği ve güçlendirme sistemleri gibi konularla ilgili yayınlar araştırılmış ve derlenen bilgiler daha sonra örnek bina üzerindeki incelemelere yansıtılmaya çalışılmıştır.

Araştırma ve değerlendirmeler, inceleme konusu binanın mevcut haliyle yetersiz olduğunu göstermiş ve güçlendirmeye esas olacak veriler ortaya çıkarılmıştır. Taşıyıcı sistem takviye edildikten sonra yapının, yatay ve düşey yükleri taşıma kapasitesine eriştiği hesapla gösterilmiştir.

Sayısal irdelemelerde analiz sonuçlarının yürürlükteki yönetmeliklere uygunluğunun sağlanması esas alınmıştır. Bu kapsamda, üç ayrı duruma göre yapılan hesaplarda da, hangi elemanların veya yerdeğiştirmelerin, hangi nedenlerle şartnamelerdeki sınırların dışına çıkmakta olduğuna bakılmıştır.

Genel olarak bu konu ile ilgili araştırmaların en güç yönünün, mevcut yapının gerçek taşıma kapasite düzeyini belirlemek olduğu söylenebilir. Eğer bina kayda değer bir deprem geçirmişse, elemanların ve düğüm noktalarının rijitliğinde önemli düşüşler meydana gelmiş, taşıyıcı sistem yumuşamış olabilir. Bu nedenle güçlendirme çalışmaları sonucunda mevcut taşıyıcı sistem dışında elde edilen dayanım, büyük ölçüde tek başına yeterli olabilmelidir.

Bununla birlikte güçlendirme sisteminin yapının mevcut taşıyıcı sistemiyle ne derece bütünleşeceği de gözönünde tutulmalıdır. Bu amaçla mevcut ve yeni elemanlar arasında kuvvet aktarımının sağlanması için ara bölgelerin özenle ele alınması ve

projelendirilmesi gerekir. Eklenen elemanlar yapının sünekliğini arttıracak özellikler taşımalıdır.

Yapı malzemesinin dayanımının zamanla değişmiş olduğu da dikkate alınmalıdır. Örneğin beton dayanımı zamanla artar; ama sönmeden dolayı azalır. Ayrıca, yorulma ve korozyon gibi etkenlerin de malzemeyi zayıflatmış olabileceği hatırd tutulmalıdır.

 ng r len yüklere karşı koyacak olan, hesaplanan yapı değil, inşa edilen gerçek yapıdır. Bu nedenle binanın özelliklerini tam olarak tanımaya çalışılmasına büyük önem verilmelidir. Karotlar mümkün olduğunca döşemelerden alınmalıdır. Kiriş ve özellikle kolonlardan karot alınmasından kaçınılmalıdır.

Olabildiğince sünek bir yapı elde edilmeye çalışılmalıdır. Büyük zorlamalar altında elastik davranışın ötesinde şekil değiştirmeler oluşacaktır. Böyle bir durumda yapının elastik sınırı geçip sönerek, kesit zorlarında önemli artmalar olmadan şekil değiştirme yapması istenir. Bu yolla depremin dinamik etkisi ısı enerjisine dönüşerek yutulmakta ve sönümlenmektedir.

 nceki yıllarda yapılan binalardaki çoğu  er eve kirişlerinin gövde genişliklerinin, şu anda yürürlükte olan yönetmelik koşulunu ( $bw \geq 25$  cm) sağlamadığı gözlenmektedir. Bunun yanısıra kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulunun sağlanmaması; yine kolonlarda sık olmayan enine donatı düzeni, kullanılan betonun yetersiz kalitesi, kat yerdeğiştirmelerinin sınırlanmasındaki eksiklikler; eski binaların yeni deprem yönetmeliğiyle uyumsuzluğu konusunda en çok göze batan özellikler olmaktadır.

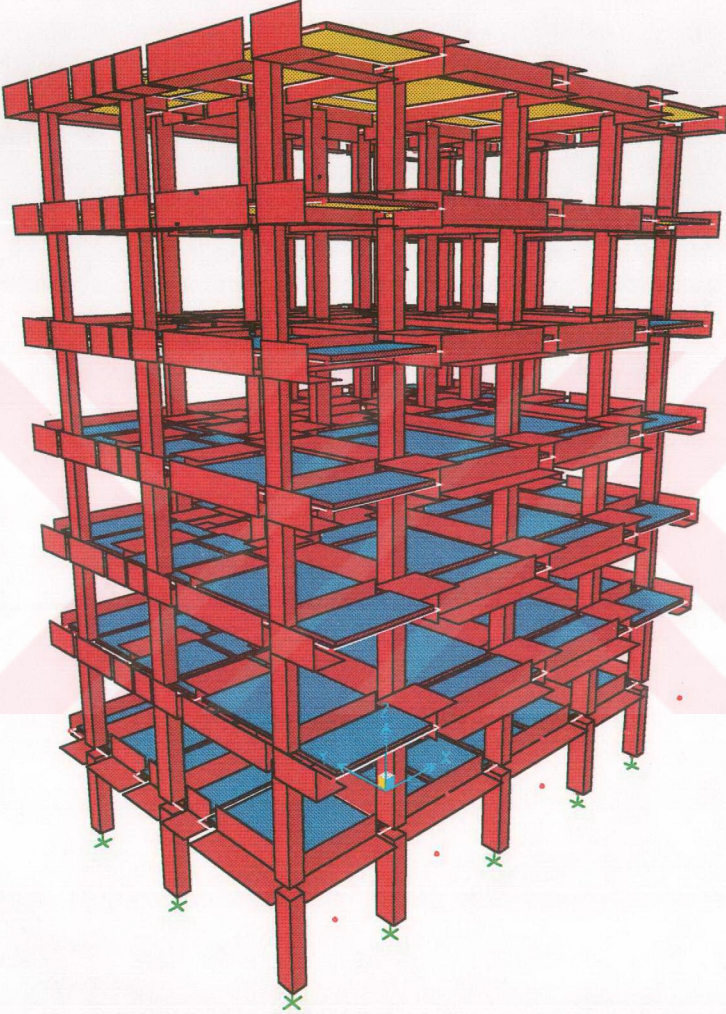
Bu çalışmada yürütülen işlemler, yerinde yapılacak aletsel ve deneysel çalışmalar da eklenmek kaydıyla, hasar görmüş veya görmemiş benzer binaların, yapı olarak veya eleman bazında taşıma kapasitelerinin yönetmelik sınırları içinde olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılabilir. Ancak taşıyıcı sistemin hesap modelinin gerçeğe en yakın seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Demir, H.**, 1992. Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Bayülke, N.**,1995. Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.
- [3] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**,1993. Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- [4] **Tezcan, S. ve İpek, M.**, 1996. Dinar Depremi'nin Düşündürdükleri, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [5] **Karadoğan, F., Karayel, V. ve Anaç, A.**, 1996. Betonarme Perde Kullanımının Uygulamaya Yönelik Önemi, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [6] **Özmen, G., Pala, S., Orakdöğen, E., Gülay, G.**, 1996. Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [7] **Karadoğan, F., İlki, A., Yüksel, E., Eröz, A.**, 1996. Mevcut Binalara Kat Eklenmesi ve Bir Öneri, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [8] **Akman, M.S.**, 1996. Yığma Yapıların Depreme Dayanıklılığı Açısından Boşluklu Tuğla Sorunu, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [9] **Sucuoğlu, H.**, 1996. Ülkemizdeki Yığma Yapıların Deprem Dayanımları, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [10] **Tezcan, S.**, 1996. Binaların Depreme Dayanımlarının Tayini Ve Güçlendirilmesi, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [11] **Ignatiev, N.**, 1998. Some Problems Of Strengthening Of Existing Buildings With New Structural Components, *The Second Japan-Turkey Workshop On Earthquake Engineering*, İstanbul, February.
- [12] **Ersoy, U.**, 1985. Betonarme Temel İlkeler Ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Yayınevi, İstanbul.

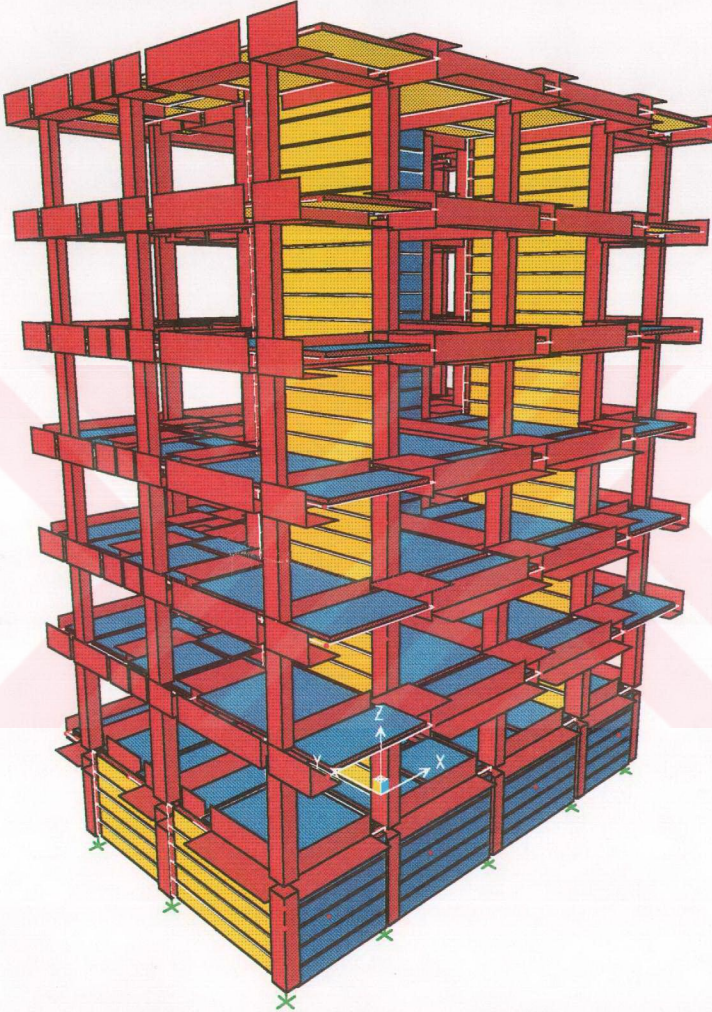
- [13] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [14] **American Concrete Institute**, 1984. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-M83), Detroit.
- [15] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 1996. Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- [16] **Aydınöğlu, M.N.**, 1996. Yeni Deprem Yönetmeliğinin Tasarım Felsefesi Ve Mühendisin Eğitimi, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [17] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1975. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [18] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1997. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [19] **Boduroğlu, M.H. ve Özdemir, P.**, 1996. Betonarme Yapıların Depreme Karşı Dayanımlarının Değerlendirilmesi, *TÜBİTAK Deprem Sempozyumu*, Ankara, 15-16 Şubat.
- [20] **Akman, M.S. ve Gülenler, M.C.**, 1978. Betonarme Elemanların Polimerle Yapıştırılmış Çelik Levhalarla Takviyesi, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi*, Ankara, 25-27 Ekim.
- [21] **TS-498**, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [22] **IDS 98**, 1998. “İdeSTATİK IDS 98 3D Integrated Design & Development System” adlı inşaat ve deprem mühendisliği bilgisayar programı, *ideYapı*, Bursa.
- [23] **SAP 2000**, 1999. “Structural Analysis Program NonLinear Version 7.12” adlı inşaat ve deprem mühendisliği bilgisayar programı, *Computers and Structures, Inc.*, California, USA.

## EK A İNCELENEN BİNAYA İLİŞKİN TAŞIYICI SİSTEM VE ÖTELENME ŞEKİLLERİ



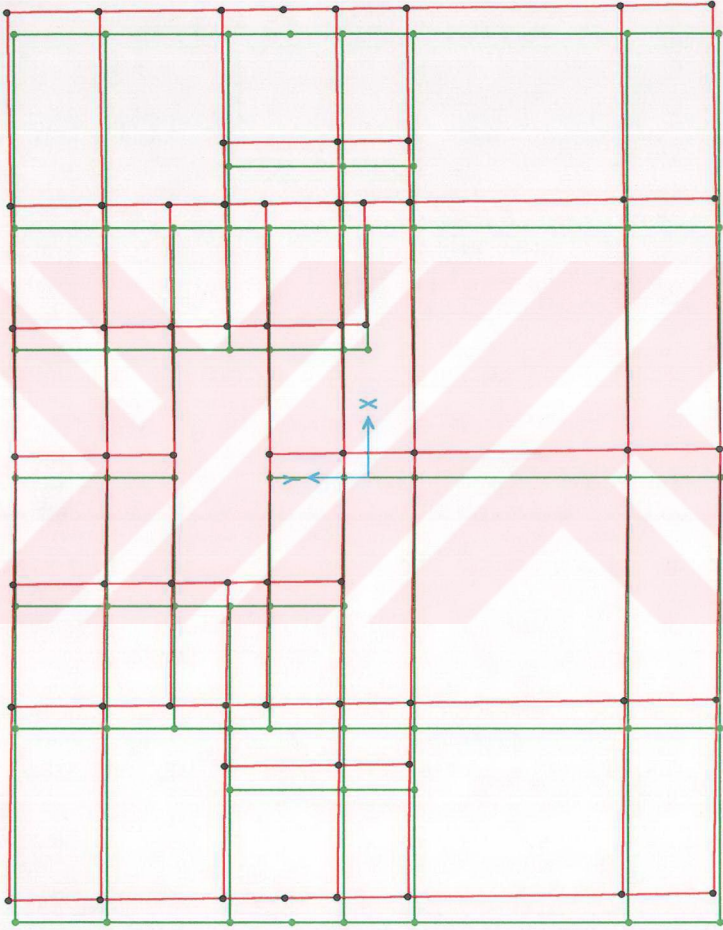
Şekil A1 Güçlendirilmemiş binaya ait taşıyıcı sistemin üç boyutlu görünümü

## EK A İNCELENEN BİNAYA İLİŞKİN TAŞIYICI SİSTEM VE ÖTELENME ŞEKİLLERİ



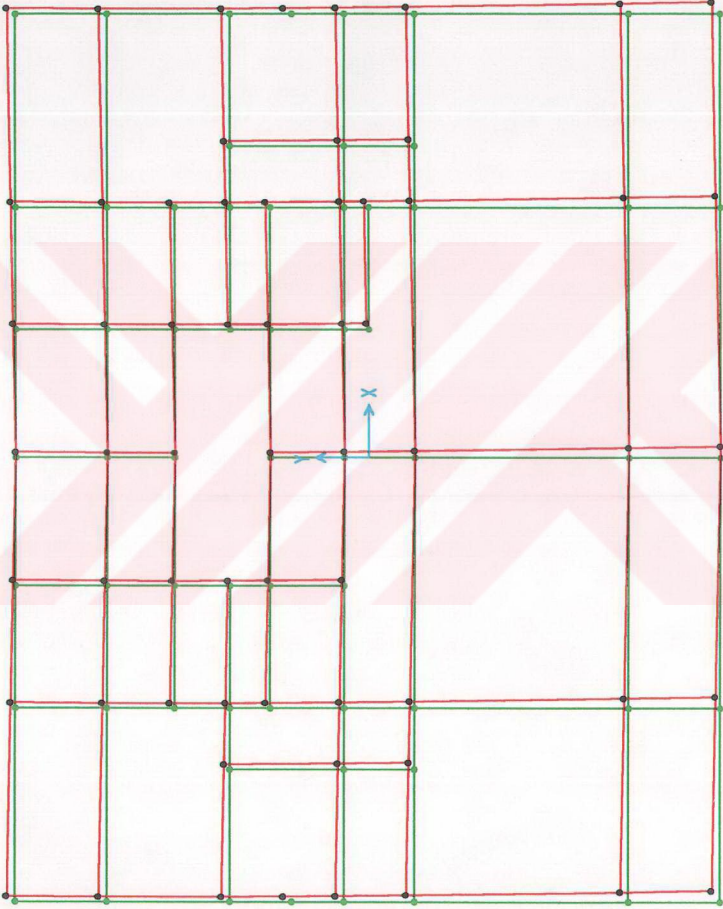
Şekil A2 Güçlendirilmiş binaya ait taşıyıcı sistemin üç boyutlu görünümü

EK A İNCELENEN BİNAYA İLİŞKİN TAŞIYICI SİSTEM VE ÖTELENME  
ŞEKİLLERİ



Şekil A3 Güçlendirilmemiş binada X doğrultusundaki deprem kuvvetlerinin yol  
açtığı ötelenme biçimi

EK A İNCELENEN BİNAYA İLİŞKİN TAŞIYICI SİSTEM VE ÖTELENME  
ŞEKİLLERİ



Şekil A4 Güçlendirilmiş binada X doğrultusundaki deprem kuvvetlerinin yol  
açtığı ötelenme biçimi