

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**17 AĞUSTOS 1999 İZMİT DEPREMİNİN YAPILAR
ÜZERİNDEKİ HASARLARI ve BU HASARLARA
KOROZYONUN ETKİSİ**

İnş. Müh. Tolga ARKOÇ

106412

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106412

Tez Danışmanı

: Yrd. Doç. Dr. Nilgün AKTAN

Prof. Naci Yüçelen
N. Yüçelen

N. Aktan

Doç. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL
T. Aksoy

İSTANBUL, 2001

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 17 Ağustos 1999 İzmit Depreminin Jeolojik ve Sismik Özellikleri.....	2
2. BETONARME MÜHENDİSLİK YAPILARINDA 17 AĞUTOS DEPREMİ SONRASI BEKLENEN HASAR	4
3. MÜHENDİSLİK YAPILARINDA DEPREMDEN ÖTÜRÜ MEYDANA GELEN HASARLAR	9
3.1 Mimari ve Taşıyıcı Sistem Tasarımından Kaynaklanan Hasarlar	9
3.1.1 Yumuşak kat oluşumundan kaynaklanan hasarlar	9
3.1.2 Kısa kolon oluşumundan kaynaklanan hasarlar.....	12
3.1.3 Bloklar arası dilatasyon derzlerinin yeterli olmamasından meydana gelen hasarlar	14
3.1.4 Kuvvetli giriş - zayıf kolon oluşumu sonucu meydana gelen hasarlar.....	16
3.1.5 Yapı sistemi plan ve kesitlerinde ani rijitlik değişimi sonucu meydana gelen hasarlar	18
3.1.6 Yapı sistemi plan ve kesitlerinde simetriden ayrılınması sonucu meydana gelen hasarlar	20
3.1.7 Binalarda burulma etkisinin ortaya çıkmasıyla oluşan hasarlar	22
3.1.8 Yapı ağırlığının gereğinden fazla olması nedeniyle meydana gelen hasarlar	24
3.2 Yetersiz Donatı ve Detaylandırma Kusurlarından Kaynaklanan Hasarlar.....	26
3.2.1 Kolon - giriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar	26
3.2.2 Kolon ve girişlerde yetersiz detaylandırma ve donatı kullanımı sonucu meydana gelen hasarlar.....	28
3.2.3 Kolonlarda aşırı basınç etkisi ile meydana gelen hasarlar.....	31
3.3 Binanın Kullanım Amacının Zamanla Değişmesi Sonucu Meydana Gelen hasarlar	32

4.	DONATININ KOROZYONU	33
4.1	Çeliğin Korozyonu	33
4.2	Beton İçindeki Donatı Çeliğin Korozyonu.....	35
4.3	Donatı Korozyonuna Etki Eden Faktörler.....	38
4.3.1	Karbonatlaşma	38
4.3.2	Betonda klorür etkisi	40
4.4	Korozyon Hasarları	43
4.5	Korozyon ve Deprem Hasarına Uğramış Kesitin Taşıma Gücü	47
4.	SONUÇLAR.....	50
KAYNAKLAR.....		52
EKLER		54
Ek 1 İ.Ü. Eczacılık Fakültesi Malzeme Denetim Raporu		54
Ek 2 İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi C Blok binası kat planları.....		62
ÖZGEÇMİŞ.....		69



SİMGE LİSTESİ

a_b	Dengeli durumda beton eşdeğer gerilme bloğu derinliği
A_s	Çekme donatısı alanı
A_s'	Basınç donatısı alanı
b	Kolon genişliği
B_a	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
B_{ax}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_{ay}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
d'	Pas payı
E	Hücre potansiyeli
e	Eksantriklik
f_{cd}	Beton hesap dayanımı
f_{yd}	Çelik akma dayanımı
h	Kolon uzunluğu
l_n	Kısa kolonun boyu
M	Molarite
M_a	Kolon serbest yüksekliğinin alt ucunda oluşan moment
M_r	Taşıma gücü momenti
$M_{\bar{u}}$	Kolon serbest yüksekliğinin üst ucunda oluşan moment
N_r	Normal kuvvet taşıma gücü
n	Elektrokimyasal reaksiyonda alınıp verilen elektron sayısı
V_e	Kolonlarda enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti
z_s	Donatı moment kolu
α	Deprem derzi boşluklarının hesabında kullanılan katsayı
Δ_i	i'inci kattaki göreceli kat ötelemesi
η_{bi}	i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

BÇ	Beton Çeliği
GMT	General Mean Time
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
SHE	Standart Hidrojen Elektrodu
TS	Türkiye Saati
USGS	United States Geological Survey



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	İzmit depremi eş şiddet haritası	3
Şekil 1.2	KAF'taki hareketin yıllara göre dağılımı	3
Şekil 3.1	Zemin kat kolon uçlarında mafsallaşma	9
Şekil 3.2	Adapazarı'nda zemin katında yüksek dükkan boşluğu nedeniyle çok büyükmiktarda öteleme yapmış bina	10
Şekil 3.4	Yüksek tavan kotu ve bölme duvar bulunmaması nedeniyle hasara uğramış bina giriş katı	11
Şekil 3.5	Kısa kolon hasarı oluşumu.....	12
Şekil 3.6	Kısa kolon oluşumu durumunda enine donatı yerleştirilmesi	13
Şekil 3.7	Kocaeli Alkali Fabrikası, kısa kolonda kesme kırılması	13
Şekil 3.8	Komşu binanın çarpması sonucu oluşan hasar	14
Şekil 3.9	Göçme mekanizmasının kiriş yüzünde oluşması.....	16
Şekil 3.10	Kolonların kirişlerden daha kuvvetli olması koşulu.....	16
Şekil 3.11	Göçme mekanizmasının kolonlarda oluşması	17
Şekil 3.12	Kolon kiriş birleşiminde hasarın kolonda başlaması	17
Şekil 3.13	Katlar arası rijitlik farklılığı.....	18
Şekil 3.14	Ani rijitlik değişimi.....	18
Şekil 3.15	Döşeme süreksizlikleri.....	19
Şekil 3.16	Birbirine paralel olmayan çerçeve aks düzeni	20
Şekil 3.17	Deprem açısından iyi yapı biçimleri.....	21
Şekil 3.18	Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı planları.....	21
Şekil 3.19	Kesit düzensizlikleri	21
Şekil 3.20	Kat içindeki maksimum ötelemenin sınırlandırılması	22
Şekil 3.21	Perdelerin burulmaya katkısı	23
Şekil 3.22	Düzce'de burulmaya açan banka.....	23
Şekil 3.23	Ekstra ağırlığa neden olan kalın döşeme kaplaması	24
Şekil 3.24	Adapazarı Ticaret ve Sanayi Odası, geniş açıklıklı ve ağır döşemeli yapı.....	25
Şekil 3.25	Birleşim bölgesinde meydana gelen iç kuvvetler	26
Şekil 3.26	Deprem Yönetmeliği'ne göre donatı yerleşimi	27
Şekil 3.27	Yüksek donatı yüzdesi nedeniyle kolonda aderansın kaybolması.....	28
Şekil 3.28	Kancalı basınç donatısının etkisi	29
Şekil 3.29	Özel deprem çirozları	29

Şekil 3.30	Boyuna donatı bindirilmesinin yapıldığı bölgede yetersiz etriye ve kenetlenme boyu	30
Şekil 3.31	Betonarme kolonda basınç kırılmasının gelişimi	31
Şekil 3.32	Yalova'da daha sonra yapılan dört katlı üst bölümü çökmüş betonarme yapı..	32
Şekil 4.1	Beton içindeki donatının korozyonu ve pasivasyon tabakasının oluşumu	35
Şekil 4.2	Korozyon ürünün meydana getirdiği hacim artışı	41
Şekil 4.3	Klorür varlığında elektro kimyasal korozyon.....	42
Şekil 4.4	Donatıdaki hacim artışı.....	43
Şekil 4.5	Mukavemetini yitirmiş donatı.....	43
Şekil 4.6	Çelik donatıda pas oluşumunun temsili çizimi.....	44
Şekil 4.7	Betonarme elemanın su kotuna yakın bölgesinde korozyon hasarı.....	45
Şekil 4.8	Deniz yapısında korozyon hasarı.....	46
Şekil 4.9	Eczacılık Fakültesi hasarlı zemin kat kolonu	47

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	17 Ağustos 1999 İzmit depreminin değişik kurumlarca hesaplanmış parametreleri	2
Çizelge 2.1	Deşitirilmiş Mercalli şiddet cetveli.....	4
Çizelge 2.2	Şiddet, zemin ivmesi ve yapı tiplerine göre hasar	5
Çizelge 2.3	Değişik şiddetlerden etkilenmiş insan ve konut sayılarının durumları.....	7
Çizelge 2.4	Farklı derecelerde etkilenmiş konut sayılarının yüzdeleri.....	7
Çizelge 2.5	Konutlarda beklenen hasar miktarları.....	8
Çizelge 4.1	Elektrod potansiyelleri.....	34
Çizelge 4.2	Korozyona bağlı donatı çap değişimleri.....	48
Çizelge 4.3	Kolon normal kuvvet taşıma gücü kapasitesi değerleri.....	49
Çizelge 4.4	X-X Yönü kolon moment taşıma gücü kapasitesi değerleri.....	49
Çizelge 4.5	Y-Y Yönü kolon moment taşıma gücü kapasitesi değerleri.....	49



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, bana değerli zamanını ayıran ve yol gösteren kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilgün AKTAN'a, maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen aileme ve emeği geçen diğer herkese teşekkür ederim.

Tolga ARKOÇ

İstanbul - 2001



ÖZET

17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen deprem felaketinden yaklaşık on beş milyon insan çeşitli derecelerde etkilenmiştir. Deprem, Kuzey Anadolu Fayı'nın batı ucundaki hareketlenmeler sonucu, Gölyaka - Karamürsel arasındaki bölgede şiddetli olarak hissedilmiştir. Bu bölgenin, önceki deprem bölgelerinden farklı olarak, nüfus ve yapılaşma yönünden yoğun olması, felaketin boyutlarını artırmıştır. Normal koşullar altında bu büyüklükteki bir depremden orta veya az hasarlı olarak çıkması beklenen pek çok betonarme bina, ağır hasar görerek can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu da göstermektedir ki, inşaat sektöründeki hatalar halen devam etmektedir.

Bu çalışmada, deprem sonrası meydana gelen yapı hasarları gösterilerek, devam etmekte olan hatalı yapı imaline ve mevcut yapıların durumuna dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Deprem bölgesinde görülen hasarlar, taşıyıcı sistem tasarımına ve eleman tasarımına göre sınıflandırılmıştır. Tespit edilen görüntülerle bu yapı hasarlarının günümüzdeki durumu belgelenmeye çalışılmıştır. Kötü işçilik, eksik malzeme, yanlış yerleşim, hatalı dizayn, v.b. gibi uygulamaların, yürürlükteki deprem yönetmeliğe göre gerçekte nasıl olmaları gerektiği açıklanmıştır.

Son bölümde, çeliğin korozyonu konusu işlenmiştir. Korozyon mekanizması açıklanarak, korozyona neden olan faktörler belirtilmiştir. Daha sonra, çeliğin donatı olarak betonun içindeki rolü göz önüne alınmıştır. Donatı çeliğin korozyonu incelenerek, neden olduğu hasarlar gösterilmiştir. Bu hasarların etkisinin belirlenmesi amacıyla 17 Ağustos depreminde hasar görmüş İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi binasında yerinde inceleme ve ölçümler yapılmıştır. Elde edilen bulguların ışığında örnek bir sayısal çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada, efektif olarak çalışan kesiti belirlenen korozyonlu bir betonarme kolonun depremde hasar görmesi sonucu kapasitesindeki değişim taşıma gücü prensibine göre hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler :

Deprem, tasarım, hasar, işçilik, çelik donatı, korozyon.

ABSTRACT

Fifteen million people have been effected to various extends during the earthquake disaster in 17 August 1999. The earthquake has been most severely felt in the area between Gölyaka and Karamürsel due to the ground motions occurred at the west end of North Anatolian Fault. Comparatively high population and dense housing in this region have increased the degree of disaster when previous earthquakes are in concern. Many of the buildings in this area, which under normal conditions would be effected light to medium levels, have been severely damaged causing loss of many lives and national wealth. This picture shows that mistakes in construction industry are still going on.

The objective of this study is to draw attention to defective building construction and to the conditions of the existing buildings, with regards to damages after the earthquake. The damages observed in the earthquake area have been classified according to the defects in supporting system design and element design. These building damages have been documented by pictures taken. Incorrect applications, such as poor workmanship, insufficient material, incorrect design and installation, etc. have been explained showing how they should have been done according to our current building code.

At last chapter, steel corrosion has been studied. Corrosion mechanism has been explained and factors effecting corrosion have been listed. Henceforth, the role of steel in concrete as reinforcement material has been taken into consideration. Corrosion of reinforcement steel has been studied and damages it has caused have been documented. An inspection to find out the results of these damages at İstanbul University, Pharmacology Faculty building, which was damaged during the earthquake of 17.08.1999, has been carried out using visual inspection and measurement methods. With respect to this inspection, effective cross section of corroded reinforced concrete columns has been determined and changes in capacity after the earthquake have been analysed according to ultimate state.

Key Words :

Earthquake, design, damage, workmanship, steel reinforcement, corrosion.

1. GİRİŞ

Son yüzyılda Türkiye’de doğal afetlerin neden olduğu fiziksel ve ekonomik kayıpların çok büyük bir kısmı depremlerin payına düşmektedir. Bu dönemde depremler ülkemizde 80.000 can kaybı ile 586.000 yapının yıkılmasına veya ağır hasar görmesine neden olmuştur. En son olarak yoğun yerleşim ve sanayi bölgesinin yer aldığı ülkemizin kuzeybatı kesiminde 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen büyük depremle ülke ekonomisi ve nüfusu büyük yara almıştır.

Son deprem çok geniş ve yoğun bir alanı etkilediği için hasarın yaygınlığı ve boyutu büyümüştür. Yapıların deprem yönetmeliğine göre tasarlanıp inşa edilmemiş olması, beton dayanımlarının proje dayanımlarının çok altında olması, etriye sıklaştırma kurallarına uyulmamış olması ve zemin katı iş yeri olan yapıların kolonları ve bölme duvarlarının az yapılmış olması depremde zarar görmelerine neden olmuştur. Boşluklu ve geçirimli betondaki deniz kumu ve çakıl ise, içerdikleri tuz nedeniyle donatıları korozyona uğratmıştır. Deprem zararlarını en aza indirmenin tek yolu, depreme karşı yeterli dayanıma sahip olacak şekilde bina inşa etmek ve bunu yapının servis ömrü boyunca korumasını sağlamaktır. Bu çalışmada, bu kurallara nasıl uyulmadığı ve bunun sonucunda ne gibi hasarlar meydana geldiği ortaya konmuştur.

Deprem sonrası yapılan hasar tespit gezilerinde, özellikle bodrum katlarda, betonarme yapının maalesef büyük miktarda korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Bu durum mühendislik camiasında bugüne kadar ihmal edilen korozyon gerçeğinin büyüklüğünü ortaya çıkarmıştır. Bu gerçekten yola çıkarak, yapının durabilitesini azaltan donatı korozyonunun kapasitede meydana getirdiği kayıplar bu çalışmada ortaya konmaya çalışılmıştır.

1.1 17 Ağustos 1999 İzmit Depreminin Jeolojik ve Sismik Özellikleri

17 Ağustos 1999 İzmit depremi, yerkabuğunu oluşturan levhaların hareketlerinden oluşmuş tektonik bir depremdir. Deprem, Türkiye saati ile 03:01:37'de meydana gelmiştir. Depremin değişik kurumlarca hazırlanmış kaynak parametreleri aşağıdaki gibidir .

Çizelge 1.1 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin değişik kurumlarca hesaplanmış parametreleri

KURUM	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	Md
Afet İşleri Gen. Müd. Deprem Araştırma Dairesi	17.08.1999 00:01:39.07 (GMT)	40.70 N	29.91 E	15.9 km	7.4	6.7
Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi	17.08.1999 03:01:37.6 (TS)			18 km		7.4
USGS	17.08.1999 00:01:39.8			17 km	7.4	

Deprem Kuzey Anadolu Fay Hattının (KAF) batı ucundaki hareketlenmeler sonucu oluşmuştur. KAF'ın Gölyaka-Karamürsel arasında uzanan yaklaşık 100-120 km'lik bölümü kırılmıştır. Deprem Gölyaka-Karamürsel arasında uzanan dört fay segmentini kıran birkaç şoklu yırtılmadan oluşmuştur. Dış merkezi Gölcük olan ilk ana şok, Gölcük-Sapanca Gölü arasında uzanan 40 km'lik bölümü ve Gölcük-Karamürsel arasında deniz içersinde uzanan 20-30 km'lik bölümü; dış merkezi Sapanca Gölü-Akyazı arasında kalan ikinci ana şok ise Sapanca Gölü-Gölyaka arasında uzanan 50 km'lik bölümü kırmıştır. Her iki yırtılma, dış merkez ortada olacak şekilde iki yöne yayılmıştır. Bu nedenle, ilk şok 3 m'lik sağ yönlü yatay atıma, ikinci şok 1.5 m'lik yatay atıma neden olmuş ve iki kırığın çakışma bölgesinde 4.5 m'lik yatay atım gelişmiştir (Afet İşleri D., 2000).

Deprem merkez üssüne en yakın ivme kaydı, İzmit Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır. Buna göre, maksimum ivme kuzey-güney doğrultusunda 163 mg, doğu-batı doğrultusunda 220 mg ve düşey doğrultuda 123 mg'dir.

2. BETONARME MÜHENDİSLİK YAPILARINDA 17 AĞUSTOS DEPREMİ SONRASI BEKLENEN HASAR

Mühendislik yapılarında meydana gelen hasarlar, depremin şiddetinin belirlenmesi için bir gösterge teşkil etmektedir. Bu şiddet ölçümü, aşağıda verilen Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli' ne göre yapılabilir.

Çizelge 2.1 Değiştirilmiş Mercalli şiddet cetveli

Şiddeti	Tanımı	Zemin İvmesi cm/sn ²
I	Yalnız duyarlı aletler algılar	~ 1
II	Özellikle üst katlarda, dinlenmekte olan kimselerce hissedilir. Hassas bir biçimde asılı olan cisimler sallanabilir	2 ~ 3
III	Bina içinde hissedilir, fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. Duran otomobiller, yanından kamyon geçmiş gibi sallanır.	3 ~ 7
IV	Binanın içinde çoğunluk ve dışarıda az kimse tarafından hissedilir. Gece bazı kimseler uyanır, kapı kacak, kapı pencere sallanır.	7 ~ 15
V	Hemen herkes hisseder. Tabaklar, sıvalar, pencereler kırılır, uzun cisimler oynar.	15 ~ 30
VI	Herkes hisseder, birçoğu korkup dışarı fırlar. Bacalar sıvalar düşer. Hafif hasarlar olur.	30 ~ 70
VII	Herkes dışarı kaçır. Yapıda, sağlamlığına bağlı olarak değişen hasarlar oluşur. Otomobil sürücüleri algılar.	70 ~ 150
VIII	Duvarlar çerçevelerinden ayrılıp dışarı fırlar. Anıtlar, bacalar, duvarlar devrilir. Kum ve çamur fişkirir.	150 ~ 300
IX	Yapılar temelinden ayrılır, çatlar, eğilir. Zemin ve yeraltı boruları çatlar.	300 ~ 700
X	Kagir çerçeve yapıların çoğu tahrip olur. Zemin çatlar, raylar eğilir. Toprak kaymaları olur.	700 ~ 1500
XI	Yeni tip yapılar ayakta kalabilir, köprüler tahrip olur. Yeraltı boruları kırılır. Toprak kayar. Raylar bükülür.	1500 ~ 3000

XII	Hemen her şey harap olur. Toprak yüzeyinde dalgalanma görülür. Cisimler havaya fırlar.	3000 ~ 7000
-----	--	-------------

Deprem şiddeti yapılarda meydana gelen hasar ve yıkılma düzeyini esas aldığı için depremin mutlak ölçüsü olamaz, yapılar için göreceli bir ölçümdür. Burada ana kriter yapı tipidir (betonarme, yığma, ahşap, vs. gibi). Yapı tiplerini aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

- A tipi : Kesme taş, moloz ve kerpiçten yapılan çamur harçlı köy tipi evler
- B tipi : Tuğla, briket, çimento harçlı kesme taş binalar, yarı ahşap binalar, prefabrike binalar
- C tipi : Betonarme binalar, iyi inşa edilmiş yarı ahşap binalar

Aynı deprem, düşük kalitede, mukavemet yönünden zayıf sistemlere sahip yapıda şiddetli, sağlam yapılarda daha az şiddetli hissedilebilir. Yapı tiplerine göre beklenebilecek hasarlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.2 Şiddet, zemin ivmesi ve yapı tiplerine göre hasar. (Deprem Müh. D., 1999)

Şiddet	Zemin İvmesi (0.1-0.5s periyot aralığında cm/s^2)	Zemin Titreşim Hızı (0.5-2s periyot aralığında cm/s)	Yapı Tipleri		
			A	B	C
V	12-25	1.0-2.0	Q1		
VI	25-50	2.1-4.0	Q2 N1	Q1	
VII	50-100	4.1-8.0	Q4 N3	Q2	Q1
VIII	100-200	8.1-16.0	Q5 N4	Q4 N3	Q3 N2
IX	200-400	16.1-32.0	N5	Q5 N4	Q4 N3

X	400-800	32.1-64.0	P5	N5	Q5 N4
---	---------	-----------	----	----	----------

Not : Q → %5, az yapıda

N → %50, çok yapıda

P → %75, pek çok yapıda

- 1 → Hafif hasar : İnce sıva çatlakları meydana gelir ve parçacıklar dökülür
- 2 → Orta hasar : Duvarlarda küçük çatlaklar meydana gelir ve sıva parçaları dökülür, bacalar çatlar ve parçaları düşer
- 3 → Ağır hasar : Duvarlarda derin çatlaklar meydana gelir, sıva parçaları düşer
- 4 → Yıkıntı : Duvarlar yarılr, binaların bazı kısımları yıkılır, binalar birleşen yerlerinden ayrılır
- 5 → Ağır yıkıntı : Binaların tamamı yıkılır

Depremden etkilenen illerin il merkezlerinin depremin merkez üssüne uzaklıkları İzmit 12 km, Adapazarı 39 km, Yalova 59 km, Bilecik 61 km, İstanbul 85 km, Bursa 94 km, Eskişehir 113 km, Bolu 142 km, Zonguldak 180 km ve Tekirdağ 210 km'dir.

Depremden İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Bolu, Bursa, Zonguldak, Eskişehir ve Yalova şehirleri önemli derecede etkilenmiştir. Depremin Türkiye'nin önemli sanayi merkezlerinin bulunduğu, şehirleşme ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bir bölgede oluşması can ve mal kaybının çok olmasına sebep olmuştur. Yukarıda saydığımız illerin 1997 yılı resmi nüfus sayımı sonuçlarına göre toplam nüfusu yaklaşık on altı milyon kişidir. Buradan depremin ne kadar çok kişiyi etkilediğinin görülmesi mümkündür.

17.08.1999 tarihinde meydana gelen İzmit depreminden 11.807.738 kişi VI şiddetinde, 1.521.558 kişi VII şiddetinde, 666.936 kişi VIII şiddetinde, 676.122 kişi IX şiddetinde ve 419.699 kişi X şiddetinde etkilenmiştir. Aşağıdaki çizelgede ne kadar sayıda insan ve konutun hangi şiddette etkilendiği ve bu şiddetin kaç km² alanda etkili olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Değişik şiddetlerden etkilenmiş insan ve konut sayılarının durumları

ŞİDDET	Yüzölçümü (km ²)	Nüfus	Konut Sayısı
VI	35.200	11.807.738	2.762.044
VII	7.955	1.521.558	355.920
VIII	4.396	666.936	156.008
IX	1.216	676.122	158.157
X	294	419.699	98.175
Toplam	49.061	15.090.056	3.530.304

Çizelgede konut sayıları Devlet İstatistik Enstitüsü verileri kullanılarak, depremde etkilenen illerin hane halkı büyüklüklerinin ortalamasının nüfus sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir.

Aşağıdaki çizelgede ise değişik şiddetlerde etkilenen konutların kaç tanesinin ve yüzde kaçının ağır, orta ve hafif hasara uğradığı gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Farklı derecelerde etkilenmiş konut sayılarının yüzdeleri

ŞİDDET	AĞIR	%	ORTA	%	AZ	%
VI	1.111	0.04	6.023	0.22	6.496	0.24
VII	3.241	0.91	9.514	2.67	9.232	2.59
VIII	4.398	2.82	6.883	4.41	8.289	5.31
IX	24.824	15.70	28.726	18.16	35.977	22.75
X	32.458	33.06	15.009	15.29	18.786	19.14
Toplam	66.032		66.155		78.780	

Depremde etkilenen konutların tümünü C tipi, yani betonarme bina olarak kabul edersek, yukarıda verilen yapı tiplerine göre hasar çizelgesine (Çizelge 2.2) istinaden yapılacak hesaplamalarla, konutlarda beklenen hasar aşağıdaki şekilde (Çizelge 2.5) tahmin edilebilir.

Çizelge 2.5 Konutlarda beklenen hasar miktarları

ŞİDDET	Ağır Yıkıntı	%	Yıkıntı	%	Ağır Hasar	%	Orta Hasar	%	Hafif Hasar	%
VI										
VII									17.796	5
VIII					7.800	5	78.000	50		
IX			7.908	5	79.079	50				
X	4.909	5	49.088	50						

Yukarıdaki çizelgeyi gerçekte meydana gelen hasar miktarıyla (Çizelge 2.4) karşılaştırdığımız zaman aradaki farkın çok büyük olduğu görülmektedir.

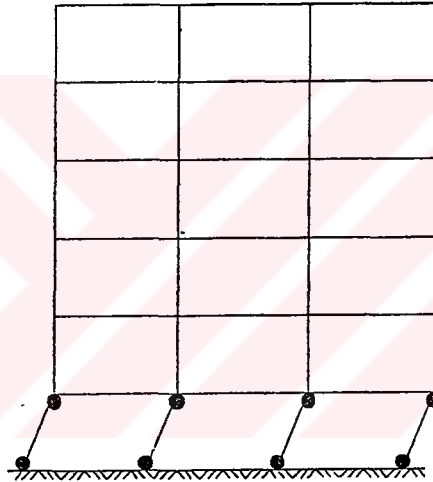


3. MÜHENDİSLİK YAPILARINDA DEPREMDEN ÖTÜRÜ MEYDANA GELEN HASARLAR

3.1 Mimari ve Taşıyıcı Sistem Tasarımından Kaynaklanan Hasarlar

3.1.1 Yumuşak kat oluşumundan kaynaklanan hasarlar

Deprem etkisi dışında kolonlar çok fazla eğilme etkisi almamaktadır. Deprem etkisi altında normalden çok fazla uç momentleri oluşmasına rağmen ekonomik yapı üretimi kaygısıyla kolon kesitlerinde narinlik görülmektedir. Bunun sonucunda yapılarda aşağıdaki mekanizma ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.1 Zemin kat kolon uçlarında mafsallaşma (Arslan, 1996).

Bu narinliği arttıran bir başka unsur da, maalesef yine ticari kaygılarla deprem kuvvetlerinin maksimum olarak etki ettiği zemin katların yüksekliğinin arttırılması ve kolonların diğer katlara göre daha uzun yapılmasıdır.

17 Ağustos 1999 depreminde de hasarlı binalara baktığımız zaman, belediyeler tarafından onaylanan uygulama projelerinde olmamasına rağmen, binaların giriş katlarının ticari hacimler (dükkan, market, galeri, depo, v.b.) olarak kullanılmaları, yeterli rijitliğe sahip olmayan katların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bazı binalarda ise yer kazanmak amacıyla zemin kat kolonlarının kesildiği bile gözlenmiştir. Sistemin yanal rijitliğinin yetersiz olması,

betonarme elemanların büyük deformasyonlar yapmasına yol açmıştır. Bunun sonucu da kalıcı deformasyonlar ve çoğu kez de ağır hasarlar görülmüştür.

1997 yılında yürürlüğe giren, afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmeliğe göre, bu tür yapısal sistem uygulamaları " *düşey doğrultuda düzensizlik* " kabul edilmiştir. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği ve komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olarak iki bölüme ayrılmıştır. Bunlardan birinci durumda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde bir kattaki *etkili kesme alanı*'nın, bir üst kattaki *etkili kesme alanı*'na oranının %80'den küçük olması, ikicisinde de yine birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötlemeinden %50 fazla olması düzensizlik olarak kabul edilmiştir. Bunlardan kaçınılması ve bu bağlamda taşıyıcı sistem hesabında göz önüne alınmayan, ancak kendi düzlemlerinde önemli derecede rijitliğe sahip olabilen dolgu duvarlarının bazı katlarda ve özellikle binaların giriş katlarında kaldırılması ile oluşan ani rijitlik ve dayanım azalmalarının olumsuz etkilerini gidermek için bina taşıyıcı sisteminde gerekli önlemlerin alınması önerilmiştir.

17 Ağustos 1999'da Adapazarı'nda yıkılan pek çok yapının zemin katı iş yeridir. Zemin katının iyi bir iş yeri olması için kolonlar ve bölme duvarları az yapılmış, ön cepheye olabildiğince az kolon konulmuş, zemin kattaki iş yerlerinin yüksekliği normal katlardan daha fazla tutulmuştur.



Şekil 3.2 Adapazarı'nda zemin katında yüksek dükkan boşluğu nedeniyle çok büyük miktarda öteleme yapmış bina (Bayındırlık ve İskan B., 2000).

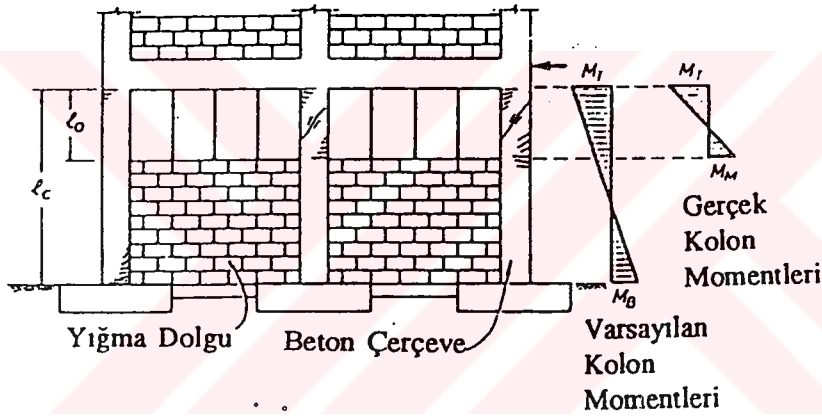
Deprem bölgesindeki binalarda yukarıda bahsi geçen hükümlere uyulmadığı için zemin kat kolonları kırılarak binalar hasara uğramıştır. Bunun ileri ki bir safhası olarak giriş katı çöktükten sonra giriş katı konumuna gelen birinci kat kolonlarına, normalde birinci kat için hesap edilen kuvvetten fazla kuvvet gelmiştir. Deprem uzun olması ve özellikle Adapazarı'nda kuvvetli artçı şokların yaşanması hasarın bu aşamaya ulaşmasına neden olmuştur (Karaesmen, 1999).



Şekil 3.4 Yüksek tavan kotu ve bölme duvar bulunmaması nedeniyle hasara uğramış bina giriş katı.

3.1.2 Kısa kolon oluşumundan kaynaklanan hasarlar

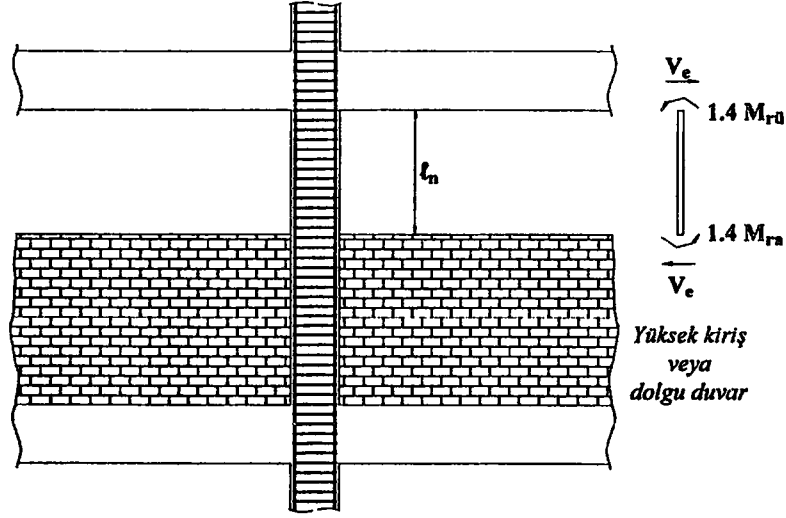
17 Ağustos 1999 depremi sonrası yapılarda gözlenen bir başka önemli hasar nedeni de kısa kolon oluşumudur. Bu oluşumdan meydana gelen hasara " *Kısa Kolon* " hasarı denir. Bu hasar, bir tür kesme kırılması hasarıdır. Kolon boyunun çeşitli nedenlerle projede öngörülenden daha kısa olması ya da taşıyıcı olmayan elemanların, bölme duvarı, kat yüksekliğine ulaşmayan kapıların üzerine yerleştirilen lentoların, derinliği yüksek kiriş, yüksek kotlardaki sahanlık ve kiriş bağlantıları ile rijit bağlı merdiven plakaları ve benzerlerinin, kolonun yatay deformasyon yapmasını önlemesi sonucu kolon projede öngörülenden daha rijit olur. Artan rijitlikleri dolayısıyla kolonlar daha fazla deprem yükü, yani kesme kuvveti alırlar. Bunun sonucunda kolonlarda kesme kırılması görülür.



Şekil 3.5 Kısa kolon hasarı oluşumu (O.D.T.Ü., 1994).

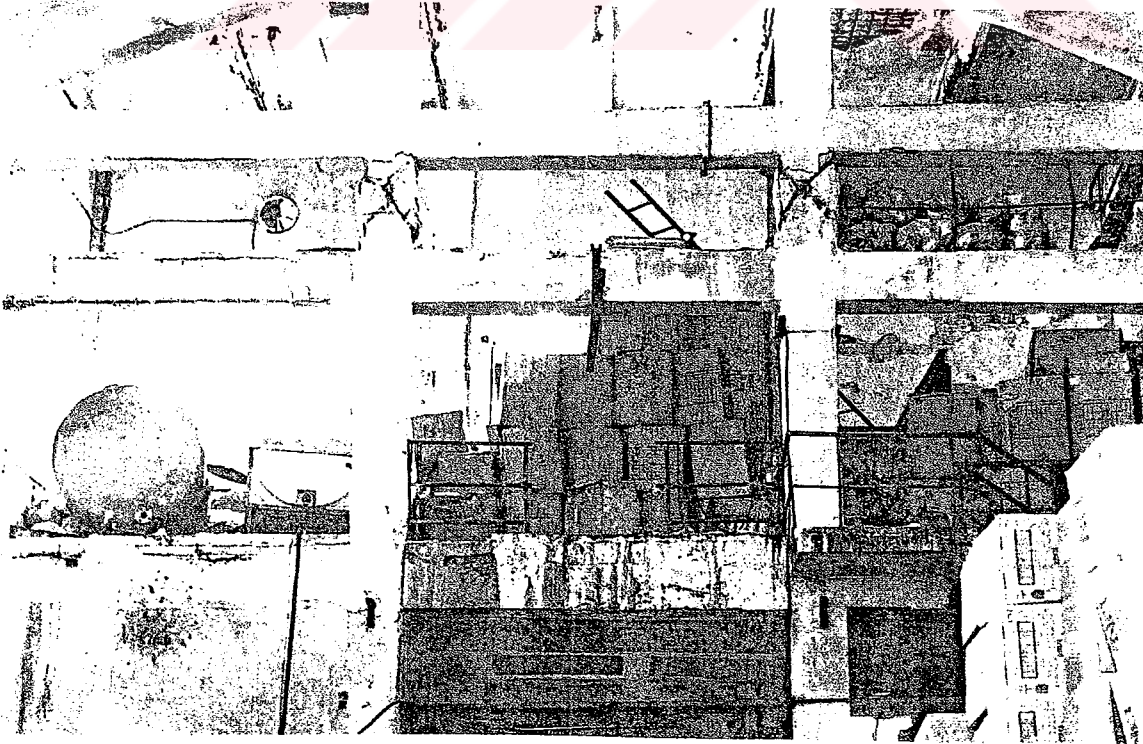
Deprem yönetmeliğimizde kısa kolon oluşumuna mimari açıdan çözüm bulunamaması durumunda boyuna ve enine donatıda bazı iyileştirilmeler önerilmiştir. Kolonlarda enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti V_e , kolon serbest yüksekliğinin alt ucunda oluşan M_a ve kolon serbest yüksekliğinin üst ucunda oluşan M_b momentlerinin toplamının kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliğine bölünmesi ile elde edilmektedir. Kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda M_a ve M_b değerlerinin pekleşmeli değerleri veya bu değerlerin % 40 fazlası, kolon boyu da, kısa kolonun boyu kadar, l_n , alınarak hesap yapılması önerilmiştir.

Ayrıca, kısa kolon boyunca kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanarak dolgu duvarlar arasında kalarak kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilecektir denmektedir.



Şekil 3.6 Kısa kolon oluşumu durumunda enine donatı yerleştirilmesi (Deprem Y., 1998).

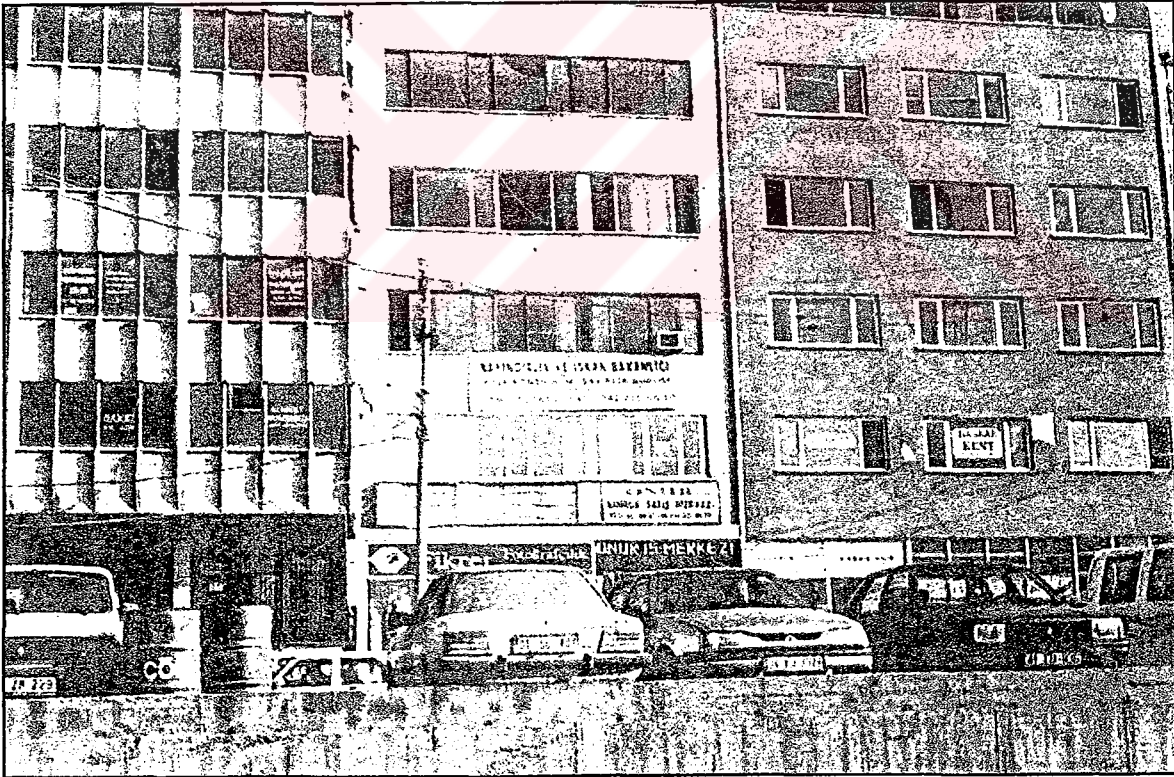
Deprem bölgemizdeki binalarda kısa kolon oluşumuna neden olan en yaygın uygulamalar dolgu duvarlarda bant pencereler bırakılması ve giriş katı ticari amaçla yüksek yapılan binalarda bir de bu hacme asma kat eklenmesidir. Bu uygulamalar normalde zaten zemin kat olmasından dolayı büyük deprem kuvvetine maruz kalan kolonların bir de artan rijitlikleri nedeniyle ekstra aldıkları kesme kuvvetleri sonucu gevrek kırılmalarına yol açmıştır.



Şekil 3.7 Kocaeli Alkali Fabrikası, kısa kolonda kesme kırılması (Bayın. ve İskan B., 2000).

3.1.3 Bloklar arasında dilatasyon derzlerinin yeterli olmamasından meydana gelen hasarlar

Depremde meydana gelen hasarlardan bir bölümünün nedenini de bitişik nizam yapılarındaki bloklar arası boşlukların yetersizliğidir. Yan yana inşa edilmiş bitişik nizam yapılarda deprem esnasında meydana gelecek salınımların komşu binalara zarar vermesini engellemek amacıyla binalar arasında bir miktar boşluk bırakılması öngörülmüştür. Mimari açıdan farklı özelliklere sahip binalar, dinamik özelliklerinin de farklılaşması sonucu deprem esnasında eş olmayan salınımlar yaparlar. Kat yüksekliklerinin farklılığı, yapının toplam boyunun farklı olması, kat kütlelerinin değişikliği yapıların salınım modlarının değişmesine ve birbirinden farklı titreşim periyotlarına geçerek çarpışmalara yol açmıştır. En yaygın hasar biçimi, yanal deprem yükleri altında rijit kalan kat döşemelerinin komşu binaların kolonlarına çarparak hasara yol açmasıdır. Yüksekliği kısa olan binalar daha yüksek olan komşu binalara göre rijit davranarak daha fazla salınım yapan yüksek binalarda hasarlar meydana getirmiştir.



Şekil 3.8 Komşu binanın çarpması sonucu oluşan hasar (Gülkan, 1999).

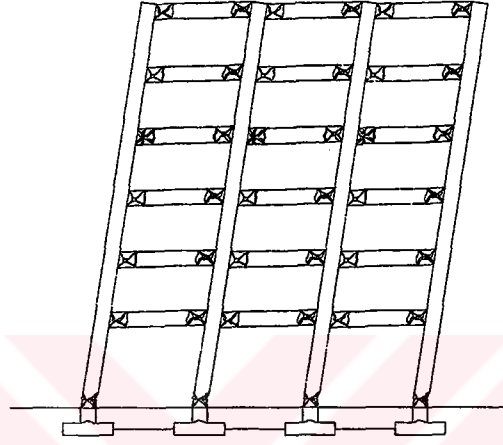
Deprem bölgesindeki şehir merkezlerinde yüksek rant nedeniyle bitişik nizam yapılaşmaya izin verilmesi ve yönetmeliğimizde öngörülen deprem derzlerinin uygulanmaması çok yaygındır. Derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yer

değiştirmelerin mutlak değerlerinin toplamı ile bir α katsayısının çarpılması sonucu elde edilmektedir. Bu α katsayısı taşıyıcı sistem katsayısı R'nin; komşu binanın kat yüksekliğinin aynı olması durumunda 4'e, farklı yükseklikte bulunması durumunda 2'ye bölünmesi ile elde edilmektedir. Ayrıca 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm, 6 m'den sonraki her 3 m için bu değere 10 mm eklenmesi alt sınırdır (Deprem Y., 1998).



3.1.4 Kuvvetli kiriş - zayıf kolon oluşumu sonucu meydana gelen hasarlar

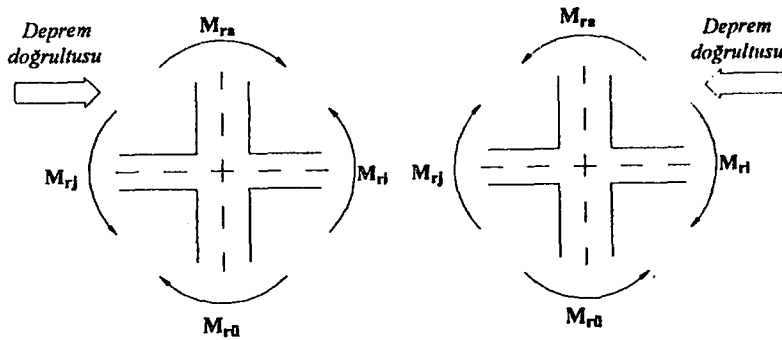
Deprem sonrası meydana gelen hasarların bir diğer nedeni ise çerçeve sistemlerinde zayıf kolonların ve güçlü kirişlerin bulunmasıdır. Sistemin sünek davranışının sağlanabilmesi için mekanizmaların kolonlar yerine öncelikle süneklik düzeyi yüksek kiriş yüzlerinde oluşması gerekmektedir. Bu sayede, aşağıdaki şekilde gösterilen davranış gerçekleşerek binanın göçme mekanizmasına geçmeden önce maksimum enerji tüketmesi hedeflenmektedir.



Şekil 3.9 Göçme mekanizmasının kiriş yüzünde oluşması (Bayülke, 1995).

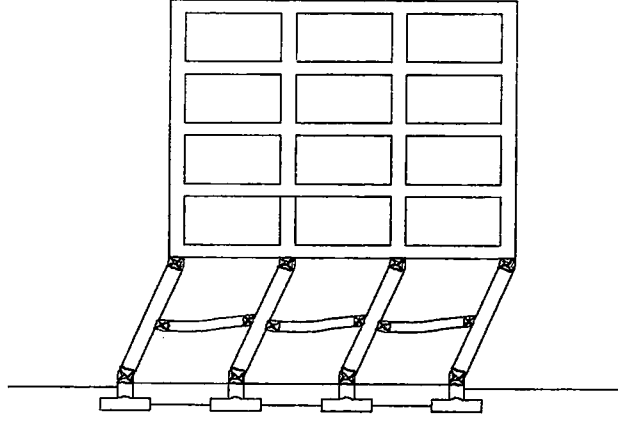
1975 yönetmeliğinde bu kavramı öngören herhangi bir hüküm olmaması, bu yönetmeliğe göre yapılan yapılarda zaten böyle bir mekanizmanın beklenmemesi gerektiğini göstermektedir. Yürürlükteki deprem yönetmeliğinde ise sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşimlerinden oluşan taşıyıcı sistemlerde, 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 olması öngörülmektedir.

$$(M_{ra} + M_{rb}) > 1.2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (3.1)$$



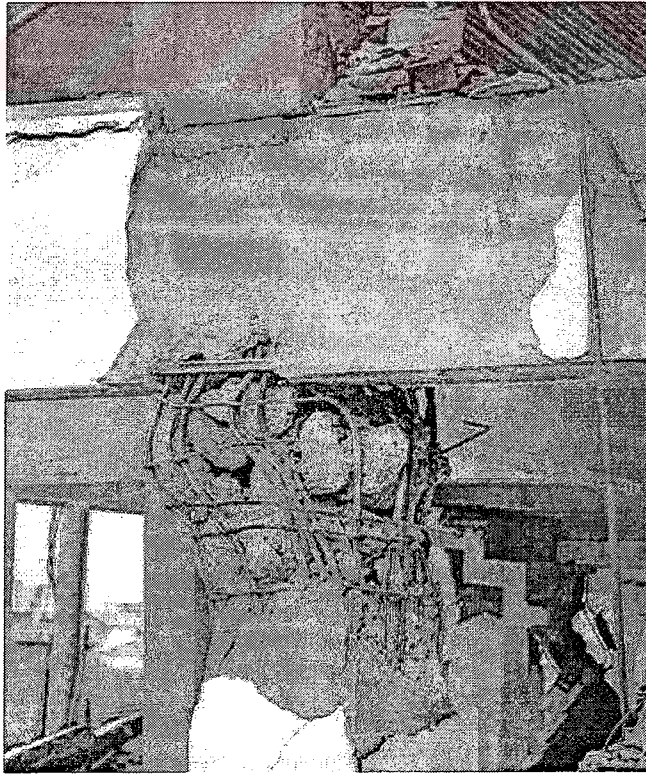
Şekil 3.10 Kolonların kirişlerden daha kuvvetli olması koşulu (Deprem Y., 1998).

Narin kolonları olan yapılarda depremde mafsallaşma kolonlarda olur. Yalnızca zemin kat kolonlarında mafsallaşma, aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi yapının hemen yıkılması için yeterlidir. Oysa yukarıdaki koşula uygun yapılmış yapıda, mafsallaşma kiriş uçlarında oluşacağından yapının yıkılması için bütün kiriş uçlarının mafsallaşması gerekir.



Şekil 3.11 Göçeme mekanizmasının kolonlarda oluşması (Bayülke, 1995).

Eski yapılarda çoğu zaman düşey yüklere göre tasarlanmış, kirişlere göre daha küçük boyutta narin kolonlar ve derinlikleri normalden fazla kirişler gözlenmektedir. Kiriş derinliğinin pencere kotlarına uydurulması, kirişlerin kolonlara nazaran daha mukavim olmasının başka bir nedenidir.



Sekil 3.12 Kolon kiriş birleşiminde hasarın kolonda başlaması.

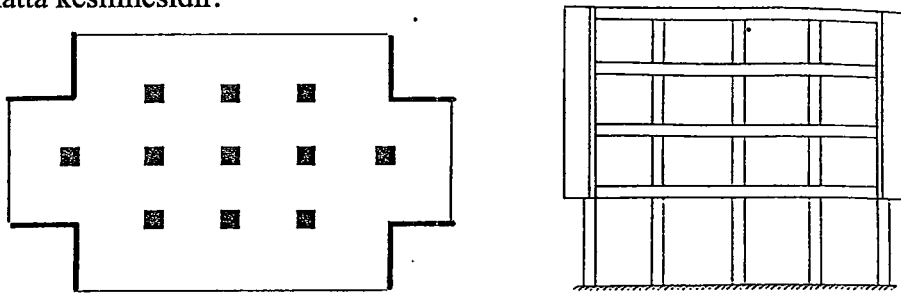
3.1.5 Yapı sistemi plan ve kesitlerinde ani rijitlik değişimi sonucu meydana gelen hasarlar

Yapı sisteminin düzensiz ve süreksiz olarak oluşturulmasından ötürü binaların rijitliklerinde de aynı şekilde düzensizlikler ve süreksizlikler görülmektedir. En yaygını komşu katlar arası rijitlik farklılıklarına yol açan uygulamalar olan yumuşak katlardır. İptal edilen bölme duvarları nedeniyle zemin katlarda kolonların yanal rijitlikleri üst katlara göre azalmıştır. Aldıkları daha fazla kesme kuvveti etkisiyle kırılmışlardır. Benzer şekilde kat yüksekliklerinin farklı olması yumuşak kat oluşumuna neden olmaktadır.



Şekil 3.13 Katlar arası rijitlik farklılığı (O.D.T.Ü., 1994).

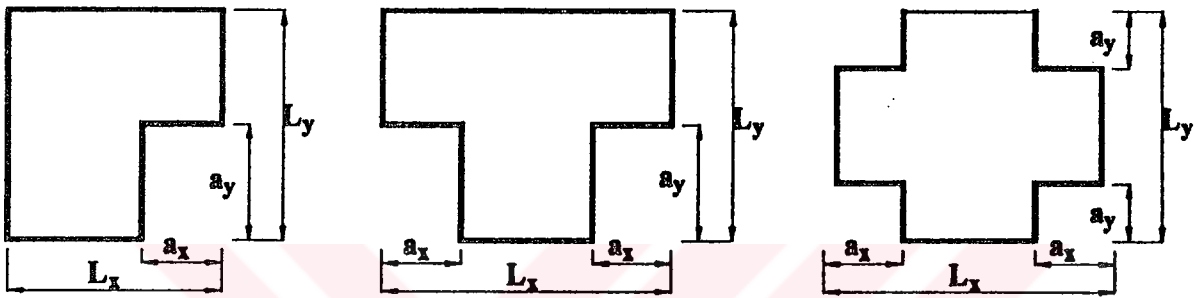
Mobilya mağazaları başta olmak üzere binanın tümünün ticari amaçla kullanıldığı yapılarda sıkça gözlenen bir düzensizlik ise köşelerde konuşlandırılan L ve I şeklindeki perdelerin zemin katta kesilmesidir.



a) Plan Şekil 3.14 Ani rijitlik değişimi. b) Cephe

Zemin kattaki kolon ekseninin üst katlarda yer kazanmak amacıyla guseler vasıtasıyla kaydırılarak ötelenmesi, katlar arasında düşey eksenin sürekli davranışının bozulmasına yol açmıştır. Birbirini takip eden katlarda dikdörtgen kolonların aplikasyon yönleri değiştirilerek düşey aksın rijitliğinde farklılıklara yol açılmıştır.

Kat planında çıkıntılar ve boşluklar olması kat planında rijitlik farklılıklarına yol açmıştır. Döşemelerin rijit diyafram şeklinde çalışmalarını engellemektedir. Afet yönetmeliğinde bu gibi süreksizlikler bulundukları doğrultunun %20'siyle sınırlandırılmıştır.



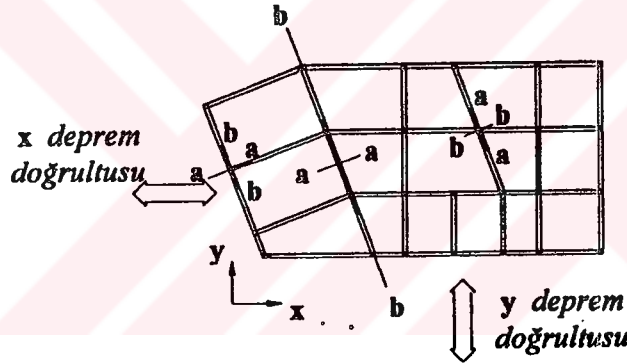
A3 türü düzensizlik durumu:

$a_x > 0.2 L_x$ ve aynı zamanda $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 3.15 Döşeme süreksizlikleri (Deprem Y., 1998).

3.1.6 Yapı sistemi plan ve kesitlerinde simetriden ayrılınması sonucu meydana gelen hasarlar

Deprem hasarının en yaygın olarak görüldüğü durumlardan biri de yapı sisteminin plan ve kesitlerde simetrik olmadığı durumdur. Arazi rantının yüksek olduğu sanayileşmiş deprem bölgesi ve tatil beldesi olarak kabul edilen Marmara Denizi kıyısındaki bölgelerde imar düzenin yetersiz kaldığı görülmektedir. Hızla artan talepler sonucu gelişmiş ve keyfi uygulamalarla parselasyon yapılmıştır. Bitişik nizam yerleşim olan bölgelerde binaların oturduğu alanın simetriden, basitlikten uzak olduğu görülmektedir. Böyle bir alana oturan binada birbirine paralel olmayan akslar, eksenden kaydırılmış kolonlar, kirişlere eksantrik oturan kirişler oluşturulmuştur. Afet yönetmeliğinde, plandaki asal eksenlerin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu için asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetlerin hesabının aşağıdaki formüle göre yapılması tavsiye edilmiştir.



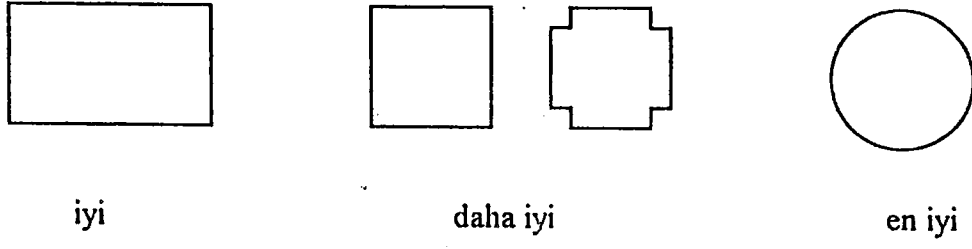
Şekil 3.16 Birbirine paralel olmayan çerçeve aks düzeni (Deprem Y., 1998).

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad (3.2)$$

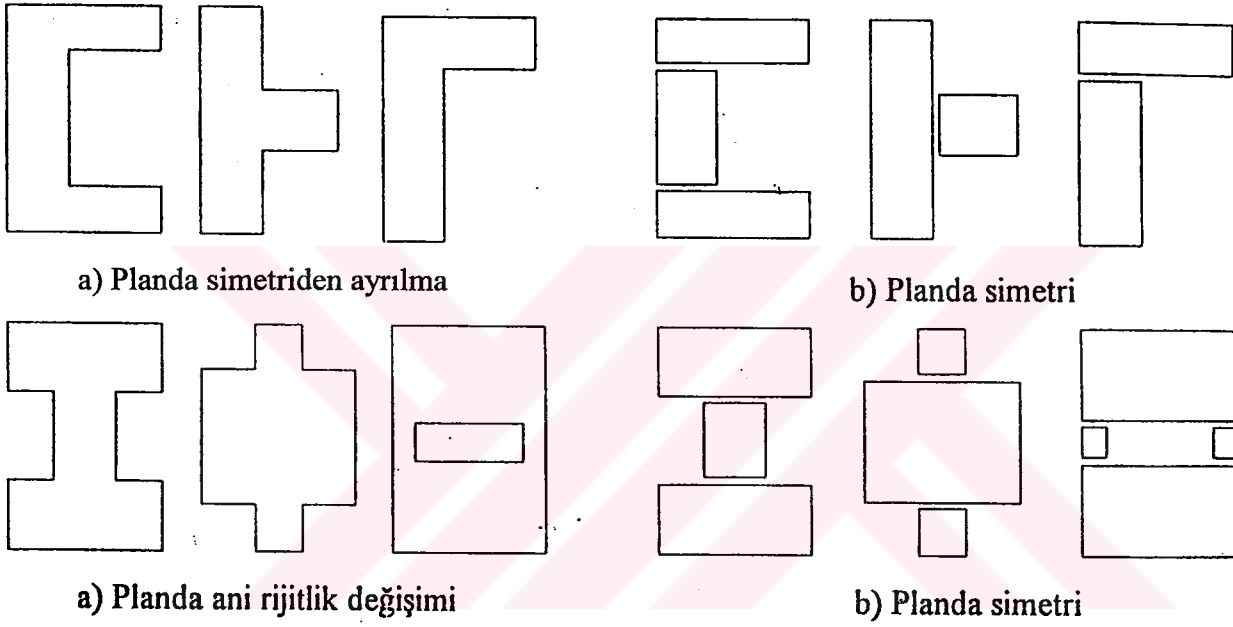
$$B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki işlemler a eksenine ve buna dik b eksenine için, x ve y doğrultuları ve yönleri göz önüne alınarak en elverişsiz sonucu verecek şekilde yapılmalıdır.

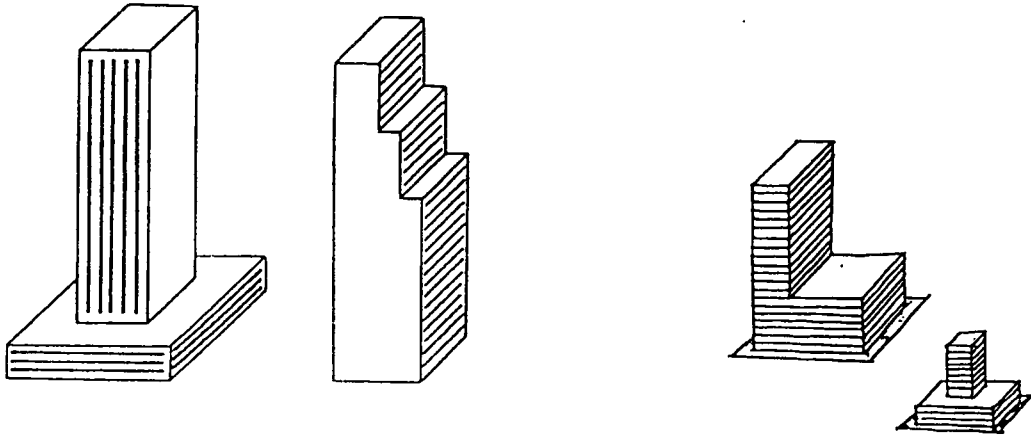
Basit ve düzenli yapılara nazaran uygulaması daha zor olan bu tür sistemlerin yapımına bir de uygulama hataları eklenmiştir. Mimari nedenlerle binanın simetrik tasarlanmasının mümkün olmadığı durumlarda binalar aşağıdaki gibi basit planlı parçalara bölünmelidir.



Şekil 3.17 Deprem açısından iyi yapı biçimleri.



Şekil 3.18 Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı planları.



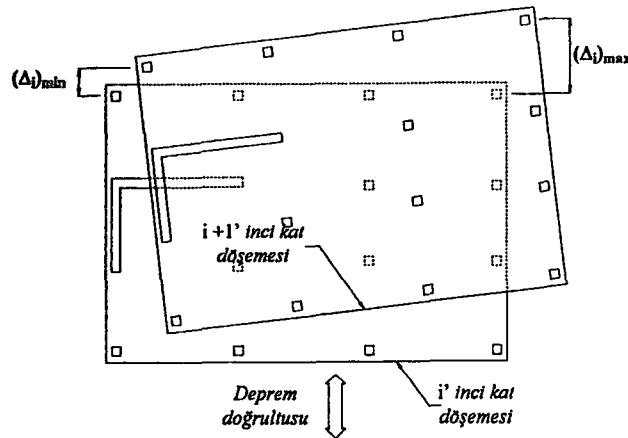
3.1.7 Binalarda burulma etkisinin ortaya çıkmasıyla oluşan hasarlar

Planı ve düşey taşıyıcı elemanların konumları düzenli ve simetrik olmayan yapılarda, deprem esnasında oluşan momentlerin eksantrik etkimesi sonucu yapılarda burulma etkisi ortaya çıkmıştır. Deprem kuvveti, deprem esnasında yer hareketi ivmesinin zemin koşullarına göre değişerek binaya etkidiği değerinin, yapının kütlesiyle çarpılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvetin bileşkesinin etkidiği nokta, yapıda kütle merkezidir. Rijitlik merkezi ise, yapıdaki yatay yükleri taşıyan düşey elemanların aktarmakta olduğu kesme kuvvetlerinin bileşkesinin geçmekte olduğu noktadır. Bu iki merkezin çakışmaması durumunda, deprem anında yapıda eksantrik olarak etkiyen iki kuvvet oluşmaktadır. Yapı rijitliği yeterli olup deprem kuvvetini yenebilse bile, eksantrik etki binanın bu iki merkez arasından geçen bir düşey eksen etrafında dönmesine, burulmasına neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı düşey elemanlar rijitlikleri ve dönme eksenine olan mesafeleri ile orantılı olarak ilave burulma momentleri ile zorlanmaktadır.

Yapılarda perde duvarlar, sıklıkla asansör boşlukları ve merdiven kovalarının etrafına yerleştirilmiştir. Perdeler bu konumları itibarıyla planda kütle merkezine yakın simetrik konuşlandırılmadığı için burulma etkisi ortaya çıkmıştır.

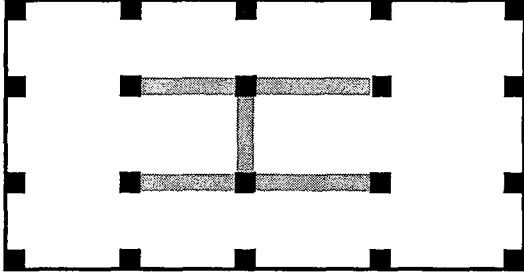
Afet yönetmeliğimizde de burulma düzensizliği olarak adlandırılan bu durum birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir kattaki en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranının % 20'den fazla olmaması sınırlaması getirilerek önlenmeye çalışılmıştır.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2, \quad (\Delta_i)_{\text{ort}} = 1/2 [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}] \quad (3.4)$$

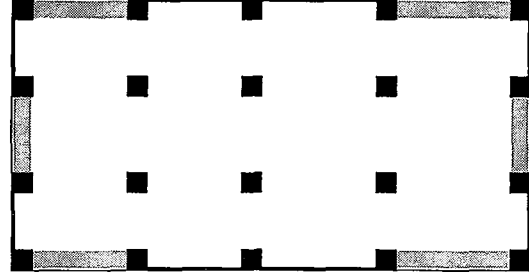


Şekil 3.20 Kat içindeki maksimum ötlemenin sınırlandırılması (Deprem Y., 1998).

Deprem perdelerin planda simetrik olarak konulmasına ilave olarak binanın en dışına yerleştirilmeleri planın tüm kesitinin burulma rijitliğini arttırmaktadır.



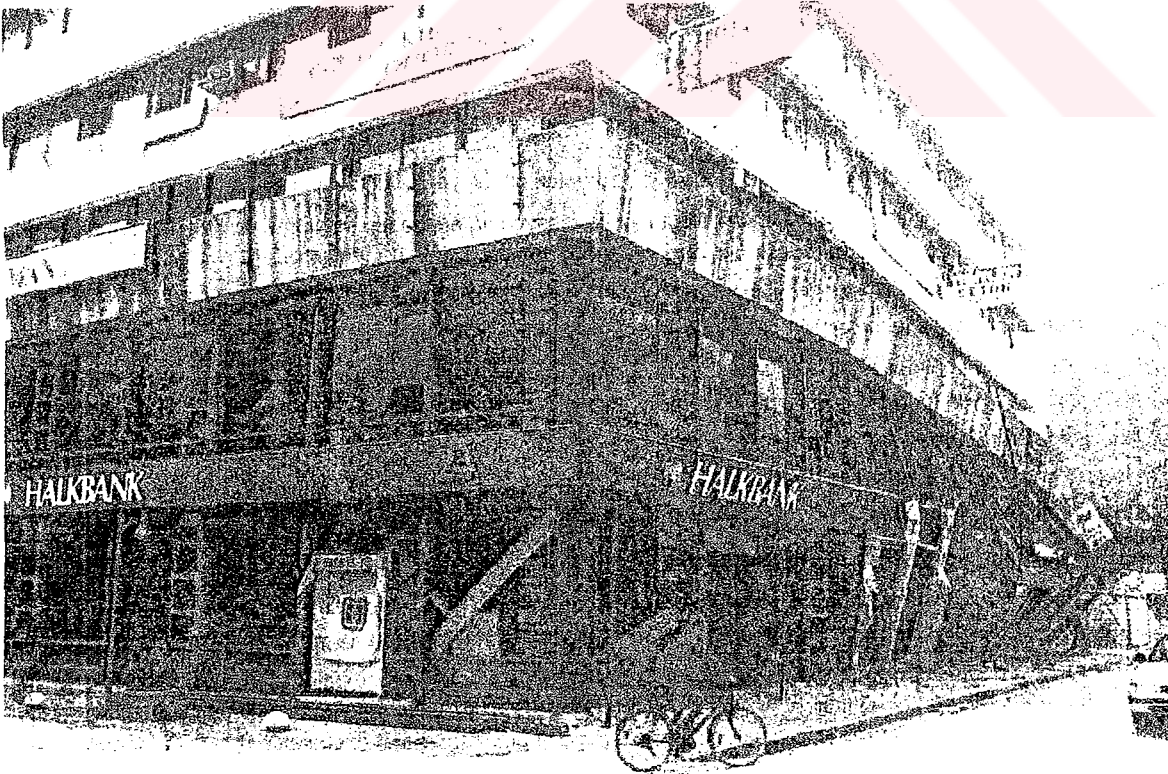
Perdelerin burulmaya katkısı küçük



Perdelerin burulmaya katkısı büyük

Şekil 3.21 Perdelerin burulmaya katkısı

Burulma etkisinin bariz bir örneği aşağıdaki fotoğrafta görülmektedir. 17 Ağustos depremi sonrası Düzce'deki bu binada yer alan Halk Bankası diğer maliklerle düşülen itilaflar sonucu takviyesini kendi yaptırmıştır. Bu nedenle planda 1/4'lük kısmı oluşturan Halk Bankası köşe uçta nispeten daha rijit bir bölge oluşturarak Düzce depremi esnasında burulmaya yol açmıştır.



Şekil 3.22 Düzce'de burulmaya yol açan banka (Sucuoğlu, 1999).

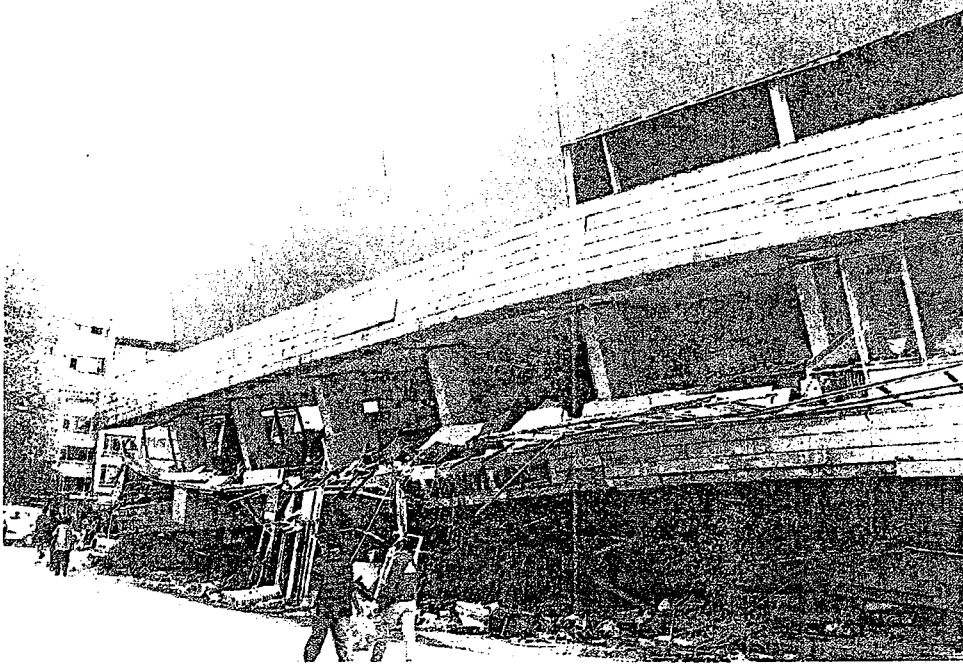
3.1.8 Yapı Ağırlığının gereğinden fazla olması nedeniyle meydana gelen hasarlar

Deprem esnasında yapıya etkiyen kuvvetler yapının ağırlığı ile orantılıdır. Yapı ağırlığı arttıkça yapıya etkiyen deprem kuvveti artmaktadır. Ancak yapı ağırlığının artmasını engellemek için taşıyıcı sistem elemanları kesitlerinde küçük kesitler tercih edilmesi yerine, döşeme kaplaması, bölme duvar dolgu malzemesi, dış cephe kaplaması gibi elemanların oluşturduğu sabit yüklerden kesintiler yapılması uygun olacaktır. Zira, gereğinden küçük seçilen taşıyıcı kesitler deprem yükleri etkisi altında yaptıkları büyük yatay ötelenmeler sonucu ikinci mertebeden momentlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Aşağıdaki fotoğrafta görülen binada kat döşemesinin üstüne gayri ciddi bir şekilde gereğinden fazla dolgu malzemesi ile aşırı kalın bir kaplama uygulanmıştır. Bu nedenle tabliye sabit yükü öngörülenden fazla olmuştur. Dolayısıyla, kat tabliyeleri hizasında etkidiği farz edilen yatay deprem kuvvetleri öngörülenden fazla tabliye ağırlığı nedeniyle artarak depremde daha fazla hasara neden olmuştur.



Şekil 3.23 Ekstra ağırlığa neden olan kalın döşeme kaplaması.



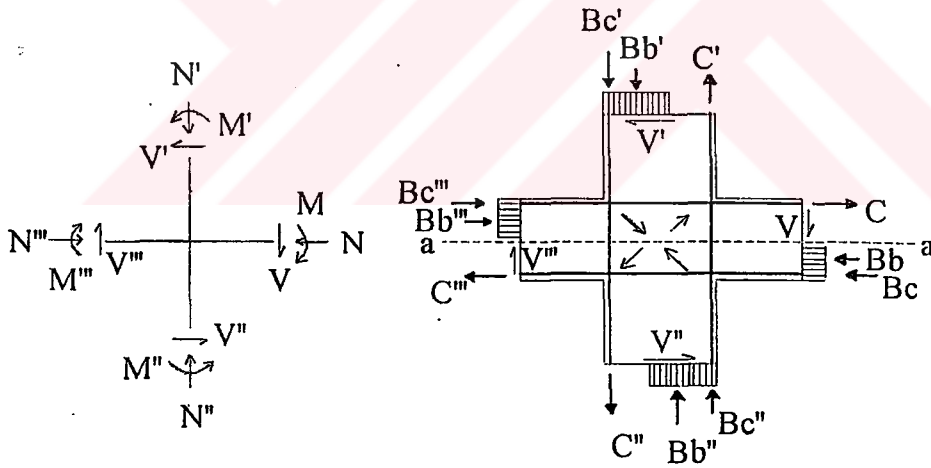
Şekil 3.24 Adapazarı Ticaret ve Sanayi Odası, geniş açıklıklı ve ağır döşemeli yapı
(Bayındırlık ve İskan B., 2000).

3.2 Yetersiz Donatı ve Detaylandırma Kusurlarından Kaynaklanan Hasarlar

3.2.1 Kolon - kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar

Deprem sırasında bir yapıda yerden gelen enerjinin, yapılacak deformasyonlarla tüketilmesi istenir. Ancak, elasto-plastik sınıra varılması halinde arzu edilmeyen deformasyonları alacak olan birleşim noktalarının detayları, donatı yerleşimleri ve beton kalitesi önem kazanmaktadır. Bu yüzden deprem esnasında doğal olarak en fazla hasarın meydana geldiği bölge kolon ve kirişlerin birleşim bölgeleri olmuştur. Yeterli sünekliği sağlayacak şekilde donatılmayan ve boyutlandırılmayan bu bölgeler istenildiği kadar enerji tüketmeden kalıcı deformasyonlar yapmışlar, ikinci mertebe etkilerin oluşmasına neden olmuşlardır.

Sünekliğin sağlanması aslında direkt olarak bu birleşim bölgeleri dönme kapasitelerinin artırılmasıyla elde edilebilir. Bu da, etriye yani enine donatı sıklaştırması ile olmaktadır. Etriye aralığının küçülmesi hem sarılmamış beton hacmini azaltmakta, hem de betondaki kemerlenme etkisini artırarak etriyenin etkinliğini sağlamaktadır.

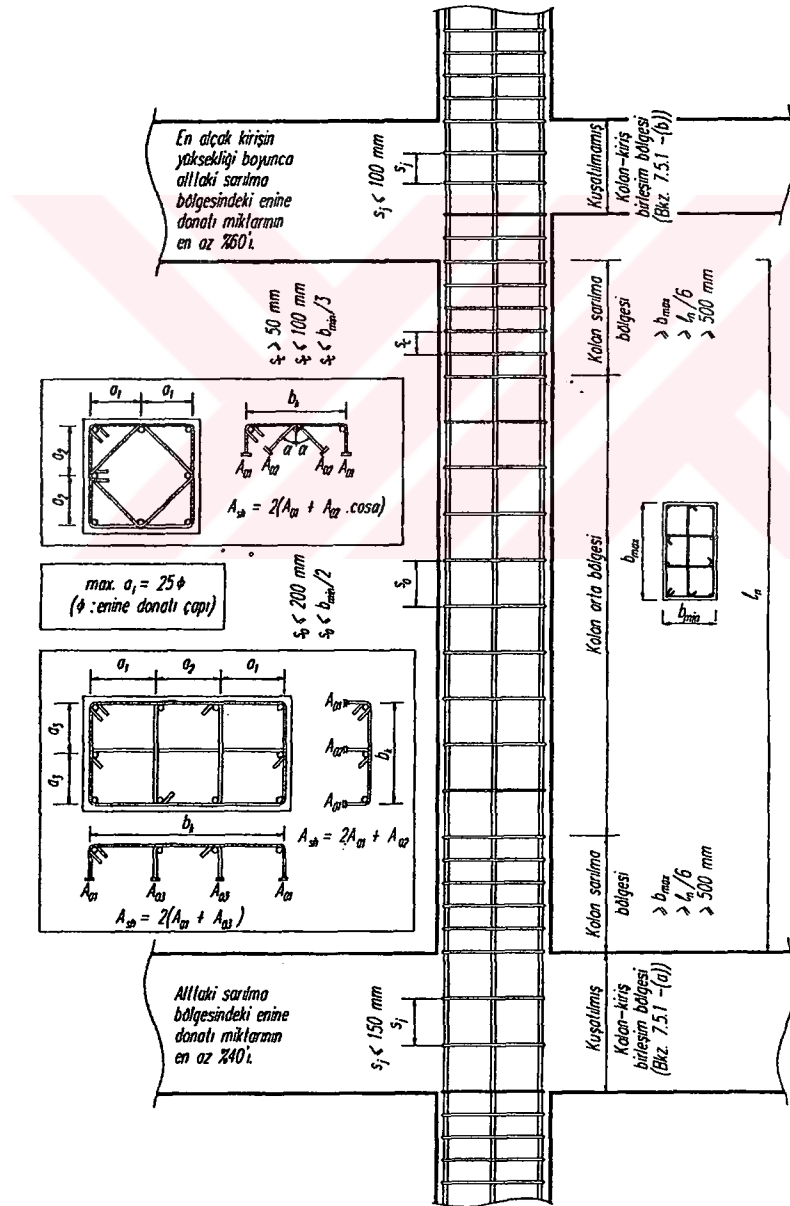


Şekil 3.25 Birleşim bölgesinde meydana gelen iç kuvvetler (Arslan, 1996).

Birleşim bölgesi çekirdeğinde diyagonele dik doğrultuda oluşan çekme gerilmeleri altında betonda çatlak oluşmaktadır. Yatay yükün tersinir etkimesi sonucunda ilk oluşan çatlağa dik doğrultuda yeni çatlak oluşmaktadır. Ek yerindeki betonun dört parçaya ayrılması (X şeklinde), bunların birbirine sürtünerek aşınmaları ve ufalanmaları deprem süresinin uzamasıyla meydana gelmektedir. Boyuna ve enine doğrultudaki etriye donatılarıyla oluşturulan kafes sistem analojisiyle beton çekme ve basınç çubuklarının oluşturduğu kesme

kuvveti taşınabilmektedir. Ayrıca oluşan çatlakların daha geniş alanda, daha küçük boyutta kalması ve donatıdaki pekleşmenin daha geniş bir alana yayılması sağlanacaktır.

Tüm Türkiye'de olduğu gibi deprem bölgesindeki mevcut betonarme yapılarda kullanılan etriyeler, pratik olarak bütün eleman boyunca 25-30 cm aralıkla konulmuştur. Oysa deprem açısından gereken miktar kiriş ve kolon ortalarında kabaca 20 cm ara ile, eleman uçlarında en az 50-60 cm'lik bir bölgede 10 cm ara ile olmalıdır. Bu etriyeler bütün boyuna demirlere tek tek el ile bağlanmalıdır. Bazen bu bağlantı yapılmadığı zamanlarda dökülen beton bütün etriyeleri söküp kolonun dibine yığmakta ve kolonda boyuna demirlerde metrelerce aralıkta hiç etriye bulunmamaktadır.



Şekil 3.26 Deprem Yönetmeliği'ne göre donatı yerleşimi (Deprem Y., 1998).

3.2.2 Kolon ve kirişlerde yetersiz detaylandırma ve donatı kullanımı sonucu meydana gelen hasarlar

Yetersiz detaylandırma ve donatı kullanımı sonucu yapı sistemi yeterli sünekliği sağlayamamıştır. Birleşim yerlerinde, donatı kenetlenme boylarının yetersizliği ve şekli, donatının daha akma sınırına gelmeden betondan sıyrılmasına, ya da betonu patlatarak aderansını kaybetmesine yol açmıştır. Düktilitenin sağlanması donatının akma sınırını geçerek pekleşme yapması ve daha fazla gerilme taşıyarak dönme kapasitesini tam olarak kullanılabilmesi ile mümkündür. Tabi bu aşamada beton da parçalanmadan, basınç kuvvetlerini taşıyarak, donatı ile aderans içinde davranmalıdır.



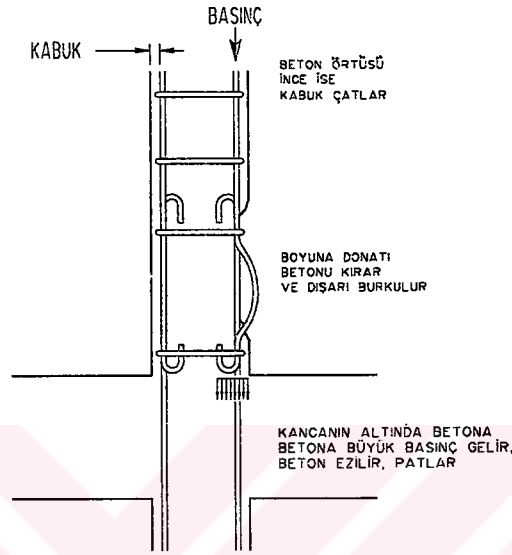
Şekil 3.27 Yüksek donatı yüzdesi nedeniyle kolonda aderansın kaybolması (Özcebe, 1999).

Yukarıdaki fotoğrafta deprem bölgesinde hasar görmüş bir yapıda birbirini takip eden komşu katlarda kolon boyuna donatısının bindirilmesi hem kolon yüzeyine yakın hem de yetersiz bir mesafede yapılmıştır. Afet yönetmeliğimizde bindirmeli ek yapılan kesitlerde boyuna donatı oranı %6'yı geçmeyecektir denmesine rağmen bu kurala uyulmamıştır. Çok sayıda demir çubuk ile donatılmış kolonda bir de kiriş yüzeyine denk gelen donatı bindirmesi ile adeta donatıdan bir perde oluşturularak beton ve donatının aderansına şans verilmemiştir. Bu durumda dengeli kırılma yerine betonda yaşanan basınç artışı ile dış kabuk patlayarak donatılar açıkta kalıvermiştir. Etriye yerleştirilmesi ise söz konusu bile değildir.

Basınca çalışan donatıda ek yapılırken donatının detaylandırılmasına dikkat edilerek, kolon kesitinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye

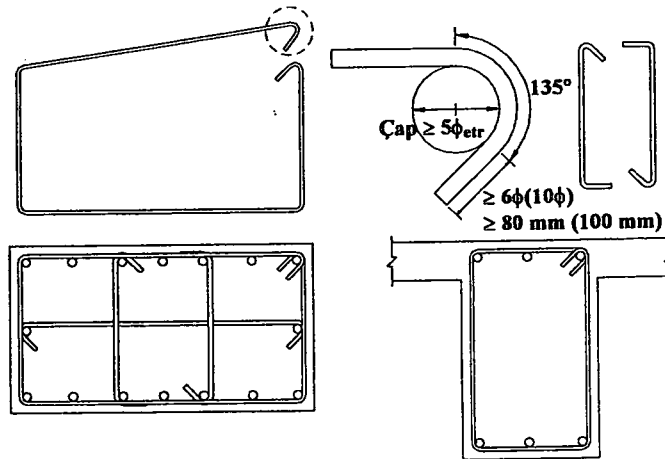
göre eğimi 1/6'dan fazla yapılmamalıdır. Aksi takdirde aşırı eğik yerleştirilen donatı deprem esnasında kıvrım noktasından daha da bükülerek beton kabuğu patlatıp aderansı bozmaktadır.

Kancalı kenetlenme aderans boyunu kısalttığı için tercih edilse bile, kanca geometrisinden dolayı kancanın bulunduğu bölgede gerilme birikimleri oluşmaktadır. Bu yüzden kancalı ekten kaçınarak aderans arttırıcı nervürlü çeliklerin kullanılması daha uygundur (Bayülke, 1998).



Şekil 3.28 Kancalı basınç donatısının etkisi (Bayülke, 1998).

Bu gerilme artışlarının betonun çatlatmasından korunmak için donatı etriye veya fretlerle sarılmalıdır. Fakat, uygulamadaki hatalardan ötürü etriyeler açılarak görevlerini yerine getirememiştir. Bu hatalar, etriyelerin her iki ucunda aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 135 derece yapılmaması, boyu enine nazaran uzun olan dikdörtgen kolonlarda boyuna donatıların deprem çirozları ile bağlanmamasıdır.



Şekil 3.29 Özel deprem çirozları (Deprem Y., 1998).

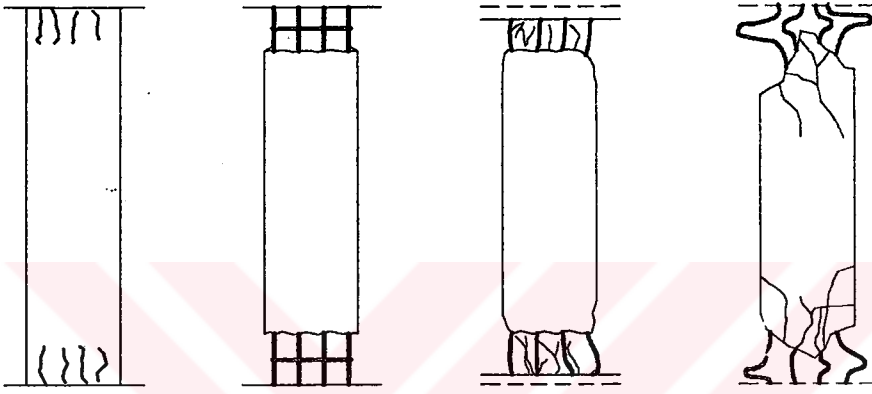


Şekil 3.30 Boyuna donatı bindirilmesinin yapıldığı bölgede yetersiz etriye ve kenetlenme boyu



3.2.3 Kolonlarda aşırı basınç etkisi ile meydana gelen hasarlar

Deprem esnasında kolonlarda basınç kırılması yaşandığı görülmektedir. Normalde deprem esnasında basınç kırılmasının yaşandığı durum, kolon eksenel yükünün kolon taşıma kapasitesinin %50'sinden fazla olduğu durum olmaktadır. Basınç kırılması kolonda gevrek ve ani bir kırılma biçimidir. Kolon boyuna donatısının aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi akma gerilmesine ulaşmadan betonun ezilerek çatlaması biçiminde gelişmektedir.



Şekil 3.31 Betonarme kolonda basınç kırılmasının gelişimi (Bayülke, 1995).

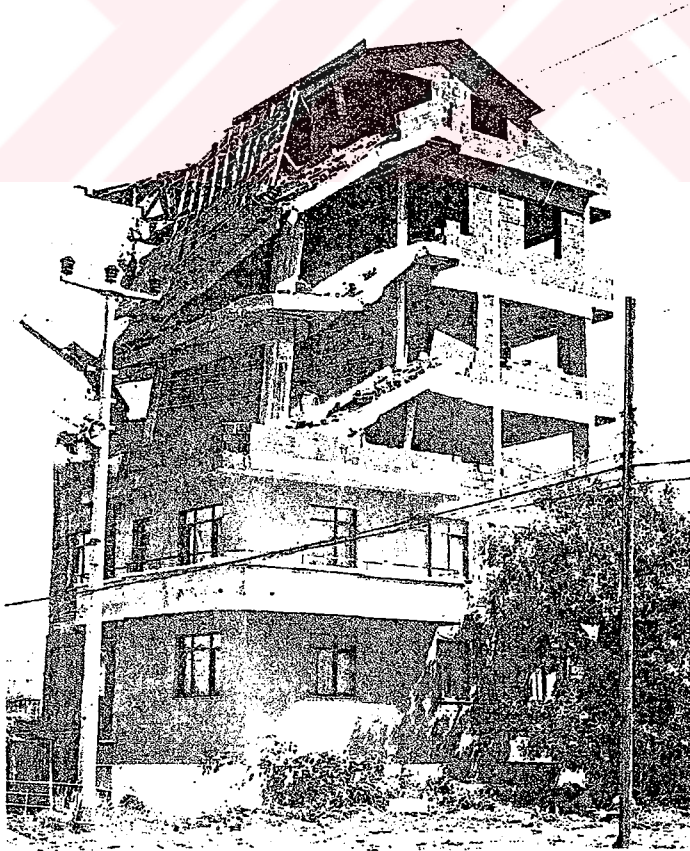
Depremde hasar gören binalarda ise bu durum daha çok beton dayanımının projede öngörülenden çok daha düşük olması nedeniyle gelişmiştir. Uç bölgelerindeki beton kabuğu patlayan ve çekirdeği ezilen kolonlar, boylarının kısalması ile birlikte kalıcı deformasyonlar yaparak ikinci mertebe momentlerin ortaya çıkmasına neden olmuşlardır.

Kolonlarda ayrıca kolon-kiriş birleşim bölgesinde de basınca dayalı hasar gelişmiştir. Bunun nedeni ise, yetersiz donatı ve malzeme kalitesine sahip kolonda, dolgu duvarlardan dolayı oluşan diyagonal kuvvetin bulunduğu gözün kolon-kiriş birleşim yerlerinde basınç etkisi meydana getirmesidir. Basınç etkisi ile çatlaklar oluşan beton çekirdek daha sonra tersinir çekme kuvveti etkisi ile dökülmektedir.

3.3 Binanın Kullanım Amacının Zamanla Değişmesi Sonucu Meydana Gelen Hasarlar

Bina tasarlanırken hazırlanan statik proje yapının öngörülen ömrü süresince taşıyacağı yük ve bu yüklerden meydana gelen etkilere yıkılmadan ve aşırı deformasyona uğramadan karşı koyması esasına göre hazırlanmaktadır. Ancak ülkemizde çok yaygın bir şekilde, yapı rantının yüksekliği nedeniyle, mimari olarak tasarlanan kullanım amacının dışına çıkılmaktadır. Projede gözükmediği halde binanın üstüne kaçak katların çıkıldığı veya çatı döşemelerinin normal kata dönüştürüldüğü gözlenmektedir. Bunda, belediyelerin denetim eksikliği ve kat sınırlamalarının zamanla değiştirilmesi rol oynamaktadır.

Başta hesaplanan sabit ve hareketli yük değerleri binaya yapılan ilaveler nedeniyle geçerliliğini kaybetmekte ve deprem gibi eksterem bir yükleme sırasında limit değerler kolaylıkla aşılmaktadır. Binalara etkiyen deprem kuvvetinin büyüklüğü yapı ağırlığıyla doğru orantılı olduğundan yapılacak ilaveler beklenen deprem kuvvetlerinden daha fazla kuvvetin etkimesine yol açmaktadır.



Şekil 3.32 Yalova'da daha sonra yapılan dört katlı üst bölümü çökmüş betonarme yapı.

4. DONATININ KOROZYONU

4.1 Çeliğin Korozyonu

Korozyon, çevrenin elektro-kimyasal etkisi ile metallerde meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Korozyona uğrayan metallerde metal elektron kaybederek oksitlenir ve metal iyonuna dönüşür. Elektro-kimyasal bir süreç olan korozyon, birbirinden ayrı şekilde fakat aynı zamanda meydana gelen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından oluşur. Oksidasyon, sulu ortamda metalin elektron kaybederek katyona dönüşmesidir; elektron kaybeden metal elemana anot ve oksidasyona anot reaksiyonu adı verilir.



Redüksiyon, oksidasyon sırasında ortaya çıkan elektronların sarf edilerek birikmesini engelleyen bir reaksiyondur. Bu reaksiyona katot reaksiyonu denmektedir. En yaygın olan redüksiyon reaksiyonları hidrojen gazının açığa çıkması ve oksijen gazının redüklenmesidir.



Elektro-kimyasal sürecin sürekliliği için anot reaksiyonunun mutlaka katot reaksiyonu ile tamamlanması gerekmektedir. Anot reaksiyonunda meydana gelen metal iyonu, bulunduğu sulu ortam içinde çözülür, dağılır ve/veya çökelen bir korozyon ürünü meydana getirir, böylece anot olan metalde bir malzeme kaybı, yani hasar oluşur. Korozyonun sürekliliği için bir diğer koşul da katot ve anotun elektriksel akım geçişinin sağlayan bir iletkenle bağlı olmaları ve anotta açığa çıkan elektronların katoda iletilmesidir.

Elektrolit bir ortama daldırılmış bir metal elektrokimyasal bir yarı hücre oluşturur. Fakat bu yarı hücrenin elektro kimyasal potansiyeli (voltajı) ölçülemez, bunun yerine potansiyeli sıfır olarak kabul edilen Hidrojen'in yarı hücresi ile karşılaştırılır.

Metaller, kendi iyonlarından 1 mol içeren eriyikler içine daldırılarak yarı hücreler teşkil edilmiş ve bu yarı hücreler standart hidrojen elektrodu ile elektriksel yolla birleştirilerek piller

meydana getirilmiştir. Bu pillerin voltajları saptanarak, elementlerin aşağıdaki tabloda gösterilen standart hidrojen elektrodu (SHE) cinsinden standart potansiyelleri (E_0') belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 Elektrod potansiyelleri (Akman, 1992).

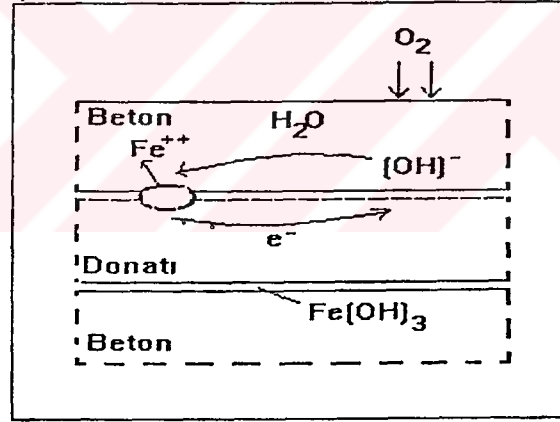
Elementin Adı	Standart Potansiyeli (Volt) E_0'
Altın (Au)	+1.68
Civa (Hg)	+0.85
Gümüş (Ag)	+0.80
Bakır (Cu)	+0.34
Hidrojen (H)	0.00
Demir (Fe^{3+} ferric)	-0.045
Kurşun (Pb)	-0.12
Kalay (Sn)	-0.14
Nikel (Ni)	-0.23
Kadmiyum (Cd)	-0.40
Demir (Fe^{2+} ferrous)	-0.44
Krom (Cr)	-0.71
Çinko (Zn)	-0.76
Alüminyum (Al)	-1.7
Magnezyum (Mg)	-1.9
Lityum (Li)	-3.05

Yukarıdaki metallere ikisi elektrolitik bir ortamla birleştirildiğinde bir tam elektrokimyasal hücre oluştururlar, bu bir galvanik çiftidir. Elementlerden standart potansiyeli yüksek olan katotu, diğeri anodu oluşturur. Buradan, anot olup hasar göreceğ elementin elektromotif seriyeye göre daha düşük standart potansiyeli sahip olan element olduğ anlaşılmaktadır.

4.2 Beton İçindeki Donatı Çeliğin Korozyonu

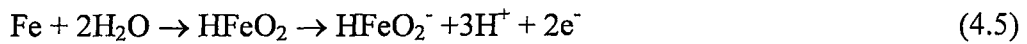
Beton içindeki çeliğin korozyonu elektro-kimyasal bir süreçtir. Çelik yüzeyinde farklı elektro-kimyasal potansiyele sahip anodik ve katodik bölgeler, çimento hidratlarındaki tuz çözeltilerinin oluşturduğu elektrolit ile birleşir. Donatının kendisi de elektronları ileten elektronik iletkeni teşkil eder (Akman, 1992).

Beton alkalinitesi, yani pH'ı yüksek bir ortamdır. Çelik yüzeyinde karalı, koruyucu bir oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka elektriksel direnci artırarak anodik akım yoğunluğunu kısıtlar. Bu olaya alkalın pasivasyonu denmektedir. Ancak betonun pH'ının çeşitli nedenlerle 11'in altına düşmesi halinde donatı yüzeyindeki pasif demiroksit tabakası tahrip olur. Bu nedenler, betonun geçirimsizliğinin sağlanamamasına bağlı olarak, ortamda su ve hidrojen bulunması ve betonda karbonatlaşmanın yaşanmasıdır. Aşağıdaki şekilde su ve hidrojen bulunan bir ortamda oksijen difüzyonu ile donatı yüzeyinde pasif ferrihidroksit $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ tabakasının oluşumu görülmektedir (Neville ve Brooks, 1987).



Şekil 4.1 Beton içindeki donatının korozyonu ve pasivasyon tabakasının oluşumu (Neville ve Brooks, 1987).

Beton içindeki donatı için önemli anodik reaksiyonlar,



ve katodik reaksiyonlar,

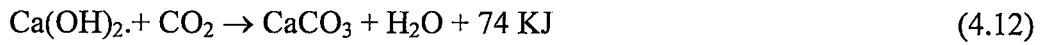


şeklindedir.

Katotta açığa çıkan hidroksil, anotta açığa çıkan demir iyonları ile birleşerek (4.10) reaksiyonu ile gösterilen ferrohidroksite, sonra daha kararlı ferrihidroksite (4.11) dönüşmektedir.



Hava ile irtibat halinde olan bir betonarme yapıda, beton içindeki su ve O_2 miktarı, korozyonun oluşmasına neden olabilecek seviyededir. Yeterli yoğunlukta ve yeterli pas payına sahip bir betonarme elemanda betondaki su miktarı fazla olsa bile O_2 difüzyonu azaldığı için korozyon tehlikeli sınırlara ulaşmamaktadır. Beton gibi alkalinitesi yüksek bir ortam, çelik yüzeyinde kararlı, koruyucu bir oksit tabakası oluşmasına yardımcı olmaktadır. Betonun alkalinitesi hidrate olmuş çimentonun içerdiği $Ca(OH)_2$ ile sağlanmaktadır. $Ca(OH)_2$ zamanla havadaki CO_2 ile birleşerek karbonatlaşır (4.12), nötürleşerek alkalinitesini kaybeder.



Öte yandan Cl^- iyonlarının varlığı pH değerini düşürerek korozyonu kolaylaştırır ve yerel, derin paslanmalara yol açabilir.

Betonun dayanımını ve geçirimliliğini, dolayısıyla donatı korozyonunu en fazla etkileyen faktör beton içindeki toplam boşluk oranıdır. Beton içindeki boşluklar, agrega tanelerinin bünyesi içindeki boşluklar, agrega taneleri arasında kalan boşluklar, betonun farklı oturmasının yol açtığı boşluklar, agrega-çimento ara yüzünde oluşan boşluklar ve sertleşmiş çimento hamuru içindeki boşluklar olarak sayılabilir. Bunlardan agrega tanesi içindeki boşluklar, agreganın mensubu olduğu doğal taşın özelliklerine bağlıdır ve beton geçirimliliğindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Betonun iyi yerleştirilememesi nedeniyle çimento hamurunun agrega daneleri arasına girmediği durumda, agrega daneleri arasında

meydana gelen boşluklar taze beton özelliklerine ve işçiliğe bağlı denetlenebilir boşluklardır. Taze betonda agrega-çimento ara yüzünde ve agrega daneleri arasında 10^{-4} cm'den büyük boyutta küresel makro boşluklar veya kılcal boşluklar vardır. Bundan başka taze betonun oturmasının herhangi bir nedenle engellenmesi ve özellikle iri agrega danelerinin donatıya veya kalıba sürtünmesi nedeni ile askıda kalması sonucu, iri agrega danelerinin altında meydana gelen boşluklar, betondaki çeper etkisi dikkate alınarak azaltılabilir. Ayrıca çimento pastası hacminin yaklaşık %12'si oranında jel boşlukları, %7'si oranında makro boşluklar ve su/çimento oranının fonksiyonu olan kılcal boşluklar hidrasyon sonucu meydana gelmektedir. Beton üretiminde silis dumanı ve puzolan gibi özgül yüzeyi çok yüksek katkı maddeleri kullanılarak boşluk oranı azaltılabilir. Bu sayede korozyona neden olan CO_2 ve Cl^- gibi faktörlerin donatıya ulaşması engellenebilir (Yüzer, 1998).

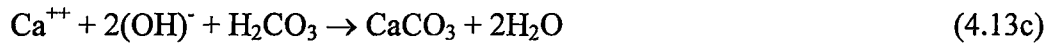


4.3 Donatı Korozyonuna Etki Eden Faktörler

4.3.1 Karbonatlaşma

Fiziko-Kimyasal bir süreç olan karbonatlaşma, ortamın alkalinitesini düşürerek, anodik akım yoğunluğunun kısıtlanmasına yardımcı olan koruyucu oksit tabakasının tahrip olmasına neden olur. Betonun alkalinitesi, hidrate olmuş çimentonun içerdiği Ca(OH)_2 ile sağlanır ve pH 12 civarındadır. Ancak Ca(OH)_2 zamanla havadaki CO_2 ile reaksiyona girerek CaCO_3 'e dönüşür ve pH azalır (Akman, 1992). Atmosferdeki miktarı hacimce %0.03 olan CO_2 'nin kırsal bölgelerde bile karbonatlaşmaya olan etkisi söz konusudur. CO_2 konsantrasyonu arttıkça karbonatlaşma oranı artmaktadır (Neville ve Brooks, 1987). Karbonatlaşma derinliğinin birkaç mm ile sınırlı olduğunun bilinmesine karşın kusurlu betonda bazen bu derinliğin 10 cm'den de fazla olduğu tespit edilmiştir.

Karbonatlaşmamış bölgedeki boşluk suyunda çözünen havanın karbondioksiti bikarbonata dönüşür (4.13a), boşluk suyunda çözünen bir diğer madde Ca(OH)_2 'dir (4.13b). Ayrışan Ca(OH)_2 , H_2CO_3 ile reaksiyona girerek karalı haldeki CaCO_3 'e ve suya dönüşür. Rutubetli bodrum katlarında su alan duvarlarda çiçeklenme şeklinde ortaya çıkan da bu reaksiyonun ürünü olan CaCO_3 'tür (4.13c).



Bu olay, boşluk suyunda $(\text{OH})^-$ iyon miktarının azalmasına, pH'ın düşmesine ($\text{pH} < 8-10$) ve pasivasyon niteliğinin kaybolmasına neden olur.

Betonda karbonatlaşma derinliği, CO_2 difüzyonundan başka su/çimento oranı, beton basınç dayanımı, bağlayıcının tipi ve miktarı, başlangıçtaki serbest kireç miktarı, ortamın bağıl nemi ve sıcaklığı gibi faktörlerden etkilenir.

Karbonatlaşma sürecinde ortamın neminin de etkisi vardır. %100 nem ve %25'in altındaki nemde karbonatlaşma olmamaktadır. Düşük nemde, çimento pastasındaki boşluklarda yetersiz

su bulunacağından CO_2 karbonik aside (4.13a) denkleminde olduğu gibi dönüşemeyecektir. Yüksek nem olması halinde ise, boşluklar su ile dolacağından CO_2 beton içinde ilerleyemeyecektir (Neville, 1992).

İyi yerleştirilmiş, iyi kür edilmiş, boşluksuz ve geçirimsiz bir betonda yeterli pas payı ile birlikte beton örtü donatıyı karbonatlaşmaya yol açan etkilerden koruyabilecektir.



4.3.2 Betonda klorür etkisi

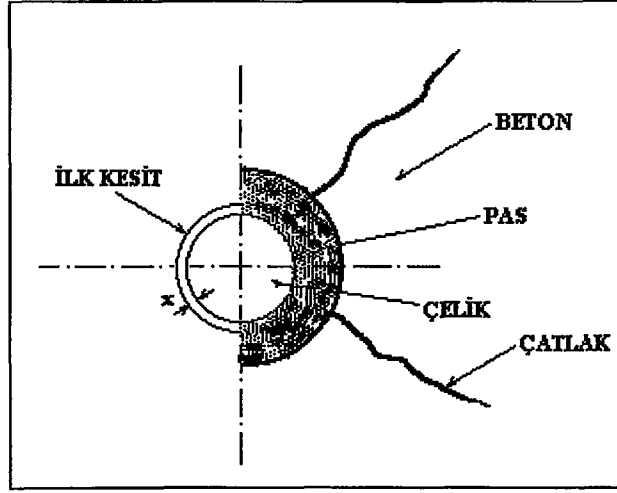
Koruyucu oksit tabakasının bozulmasına ve beton malzemenin oluşturduğu yüksek alkalitenin düşmesine neden olan bir başka unsur, ortamda Cl^- iyonlarının varlığıdır. Klorür iyonları, betona dış ortamdan difüzyonla veya önceden hammaddeler yoluyla girmektedir. Beton üretim aşmasında kullanılan agrega, çimento, katkı maddeleri veya karma suyu içerdikleri klorür iyonları nedeniyle donatı korozyonuna neden olmaktadır.

Betonda ek özellikler elde etmek amacıyla üretim sırasında çimento ağırlığının %1-3'ü oranında katkı maddesi katılmaktadır. Beton üretiminde silis dumanı, uçucu kül gibi puzolan malzemeler kullanıldığında, bu malzemelerin özgül yüzeylerinin fazla olması nedeniyle ortamda bulunan Cl^- iyonları daha fazla adsorbe edilmektedir. Ancak puzolan malzemeler kullanıldığında işlenebilirliğin sağlanabilmesi için akışkanlaştırıcı veya süperakışkanlaştırıcı maddelerin kullanılması gerekmektedir. Süperakışkanlaştırıcılar anionik türde katkı maddeleri oldukları için, çimento hamuru tarafından bu katkı maddesi içindeki Cl^- iyonları adsorbe edilememekte ve boşluk suyu içinde kalmaktadır. Bu yüzden boşluk suyundaki serbest Cl^- iyonu konsantrasyonu artmaktadır (Haque ve Kayyali, 1995a).

Beton içindeki klorürün bir kısmı hidrasyon ürünleri ile bağlanmış durumdadır. Bir kısmı da çimento hidratları tarafından adsorbe edilmektedir. Bağlanmayan veya adsorbe edilmeyen Cl^- iyonları serbest halde kalır ve hasara yol açar. Klorürün dışardan beton prizini yapıp hidrasyon sona erdikten sonra penetre etmesi halinde hasar yapıcılığı daha fazla olmaktadır. Çünkü bu durumda klorürün büyük bir bölümü serbest klorür olarak boşluk suyuna geçmektedir (Haque ve Kayyali, 1995b).

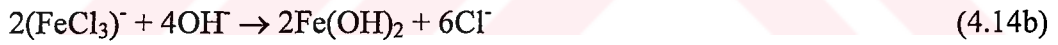
Klorür iyonu nedeni ile donatı hasarında ilk önce Cl^- iyonları beton örtüye penetre ederek difüzyona başlarlar. Burada difüzyonun gecikmesinde beton örtü kalınlığının rolü ortaya çıkmaktadır. Fakat, betonun ülkemizde inşaatlarda sıkça kullanılan deniz kumu ile üretilmesi durumunda deniz suyundan gelen Cl^- iyonları difüzyona ihtiyaç duymadan doğrudan donatıya ulaşmaktadır. Difüzyon ile donatıya ulaşan Cl^- iyonları aşağıdaki şekilde olduğu gibi donatıda hacim artışına neden olmaktadır. Ortamdaki oksijen ve nem bu olayın hızını etkilemektedir. Hacim artışı sonucu donatı etrafındaki betonda basınç çatlakları oluşmaktadır. Çatlakların oluşumunu takiben difüzyon miktarının da artması ile bu süreç artarak hızlanmaktadır. Donatı

boyunca çatlakların oluşmasından sonra beton örtüde parça atmalar başlamaktadır, burada fiktif betonarme kesitte meydana gelen değişiklikler sonucu elmanın taşıdığı yük kapasitesi aşmakta ve statik yükler de hasara neden olan faktörler arasına girmektedir.



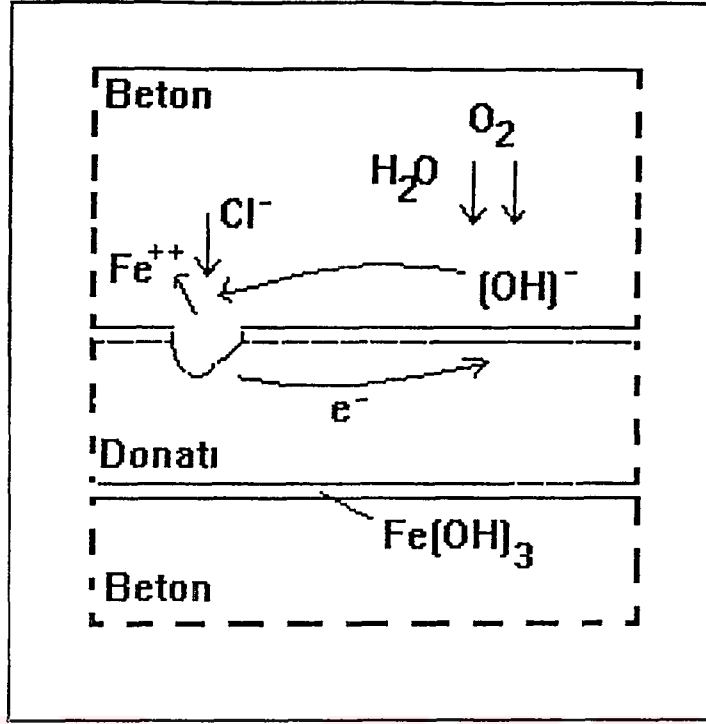
Şekil 4.2 Korozyon ürününün meydana getirdiği hacim artışı.

Klorür henüz korozyona uğramamış beton üzerinde etkiyerek, anodik reaksiyonun oluşmasında bir katalizör rolü oynamaktadır.



4.14a ve 4.14b reaksiyonlarında ortaya çıkan ara ürün $(\text{FeCl}_3)^-$ iyonu, metal Fe'nin oksitlenmesine ve kararsız $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yeşil demir oksite dönüşmesine sebep olmaktadır. Bu oksit ise hemen kararlı olan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 'e yani pasa dönüşmektedir.

Şekil 4.3'te de görüldüğü gibi klorür bazen oyuklanma türünde korozyona neden olmaktadır. Korozyonun şiddetli olduğu yerlerde oluşan çukurcuklar donatı kesitinde ani küçülmelere neden olmaktadır. Bu çukurcukların yapının maksimum yük taşıyan düğüm noktası kesitlerinde meydana gelmesi durumunda yapıda çok fazla zayıflık ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.3 Klorür varlığında elektro-kimyasal korozyon (Neville ve Brooks, 1987).

Korozyonun şiddetine serbest Cl^- miktarının tek başına etkisinden öte Cl^-/OH^- oranının daha belirleyici etkisi olmaktadır. Donatı-beton ara yüzündeki boşluk suyunun Cl^-/OH^- oranı sınır değeri için genelde kabul edilen tek bir değer olmamakla beraber, bu oran için klorürün dışardan etkimesi durumunda 0.3, herhangi bir nedenle taze betona klorür karışması durumunda 0.6 kritik değeri kullanılmaktadır. Taze betona Cl^- karışması ve Cl^-/OH^- molar oranın 0.6'yı aşması durumunda, koruyucu film tabakasının geçirimli ve karasız hale gelmesi nedeniyle çelik, korozyona karşı uzun süre korunamamaktadır (Haque ve Kayyali, 1995b).

Korozyonun hızını etkileyen diğer faktör, beton üzerinde oluşan çatlaklardır. Sertleşmiş betonda çatlakların bulunması, klorür difüzyonunu artırmaktadır. Önceden çatlak oluşturulmuş betonarme kirişlerde yapılan deneylerde, donatıya kadar uzanan 0.4 mm genişliğindeki çatlakların yeterli pas payı olduğu müddetçe yapının durabilitesine zarar vermediği gözlenmiştir (Yüzer, 1998).

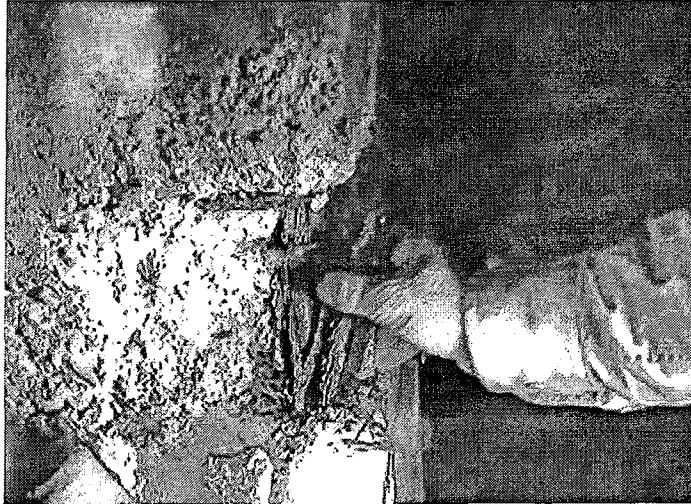
4.4 Korozyon Hasarları

Betonarme elemanlarda meydana gelen korozyon hasarının asıl zararı donatı çeliğindeki kayıplardan çok oksitlerin oluşmasından kaynaklanmaktadır. Sırf korozyon hasarından kaynaklanan yapısal göçmeler çok nadir görülmektedir. Korozyondan kaynaklanan en yaygın hasar biçimi, donatı hacminin artması ve beton kabuğun parçalanmasıdır.



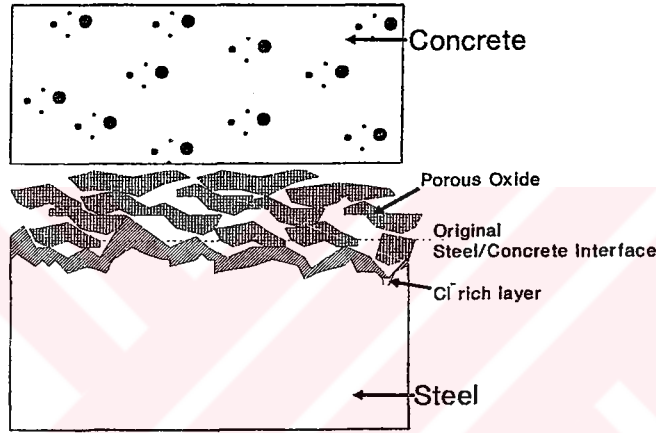
Şekil 4.4 Donatıdaki hacim artışı.

Çok fazla korozyona uğrayan çelik malzeme zamanla tamamen oksitlenerek tümüyle mukavemet yönünden zayıf korozyon ürününe dönüşmektedir. Bu ürün ise istendiğinde elle bile parçalanabilecek fiziksel özelliklere sahip olmaktadır.



Şekil 4.5 Mukavemetini yitirmiş donatı.

Beton içindeki donatı çeliğin korozyonuna etkiyen faktörler ile diğer korozyon problemlerini karşılaştırdığımızda en önemli faktör, meydana gelen ürünün hacmi ve meydana geldiği yer olmaktadır. Suya maruz yapılarda yoğun bir oksit meydana gelmekte ve meydana gelen demir oksit harcanan demirin genellikle iki misli hacme sahip olmaktadır. Böyle sulu ortamlarda meydana gelen oksitin tamamına yakını suyla birlikte uzaklaşmakta veya dış yüzeyde tortu olarak birikmektedir. Beton içindeki çelikte ise korozyon ürünün uzaklaştıracak su mekanizması yoktur. Çünkü beton gözeneklerdeki hücre suyu statik durumdadır. Bu da bütün oksitin donatı-beton ara yüzünde biriktiği anlamına gelmektedir. Diğer bir sorunda Şekil 4.6'da görüldüğü gibi oksitin yoğun değil boşluklu olması ve çok fazla hacim artışına sebep olmasıdır. Bu artış harcanan çeliğin on katına kadar varabilmektedir (Broomfield, 1997).



Şekil 4.6 Çelik donatıda pas oluşumunun temsili çizimi (Broomfield, 1997).

Beton malzemenin içinde meydana gelen korozyon ürünün yarattığı hacim artışı betonun çekme dayanımının düşük olması sayesinde betonda çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. 100 μ m'den daha az çelik kaybının bile betonda çatlamanın başlamasına yeterli olacağı ileri sürülmektedir. Yüzer, N. 1998 yılında betonarme numuneler üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarda 10-50 μ 'luk donatı kaybı ile oluşan ürünün hacim artışının betonda çatlak oluşumuna neden olduğunu göstermiş ve donatı ağırlık kaybı sınır değeri için %0.5'i önermiştir. Gerçek kayıp miktarı elmanın; dış kabuk, köşegen sayısı, donatı mesafesi, donatı çapı gibi geometrik özelliklerine göre değişmektedir.

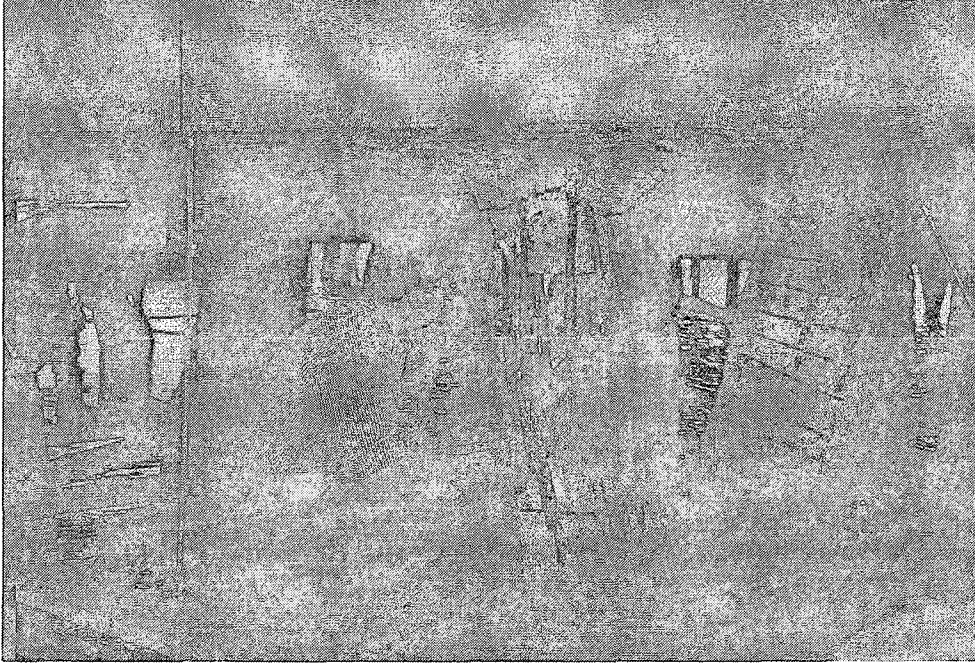
Köşeler, korozyona uğrayan betonarme elemanda ilk önce çatlama başlıyan bölgeler olmaktadır. Zira, bu bölgeler şekil geometrisi itibarıyla koroziif malzemenin en şiddetli nüfuz ettiği bölgelerdir. Ara donatı yüzü boyunca da korozyonun donatıda meydana getirdiği hacim artışına bağlı olarak çatlaklar oluşmaktadır.

Betonarme elemanın çekme bölgesinde çalışan bir donatı çeliğinin etrafında, çeliğin çekme gerilmesinin aşıldığı durumlarda 0.5 mm'den küçük, donatıya dik çatlaklar oluşmaktadır. Ortamda, önceden klor bulunmaması, nem ve karbonatlaşmanın düşük olması ve pasif alkali oksit tabakasının oluşması halinde bu çatlaklar korozyonu hızlandırmamaktadır. Bu tarz çatlaklar da ancak deprem gibi tersinir yüklerin etkidiği, ısı genleşmenin yaşandığı durumlarda olmaktadır. Fakat açık kalan çatlağın genişliği 0.5 mm'yi aştığında bu durum korozyonun hızlanmasına neden olmaktadır (Broomfield, 1997). Depremden sonra birçok yapıda bu tarz çatlakların meydana geldiği düşünülecek olursa mevcut korozyonun artacağı görülmektedir.

En büyük donatı hasarı deniz suyunun yüzeyindeki bölgede olmaktadır. Buradaki hasar farklı O_2 konsantrasyonundan doğmaktadır. Su üstünde, yani havada kalan bölgede O_2 miktarı tabiatıyla su içindeki bölgeye göre çok yüksektir, böylece su içindeki yüzeysel bölge anot olmakta ve hasara uğramaktadır. Suyun seviyesinin değişken olması anodik bölgenin daha genişlemesine neden olmakta ve hasar alçak ve yüksek su seviyeleri arasında yayılmaktadır (Akman, 1992).



Şekil 4.7 Betonarme elemanın su kotuna yakın bölgesinde korozyon hasarı



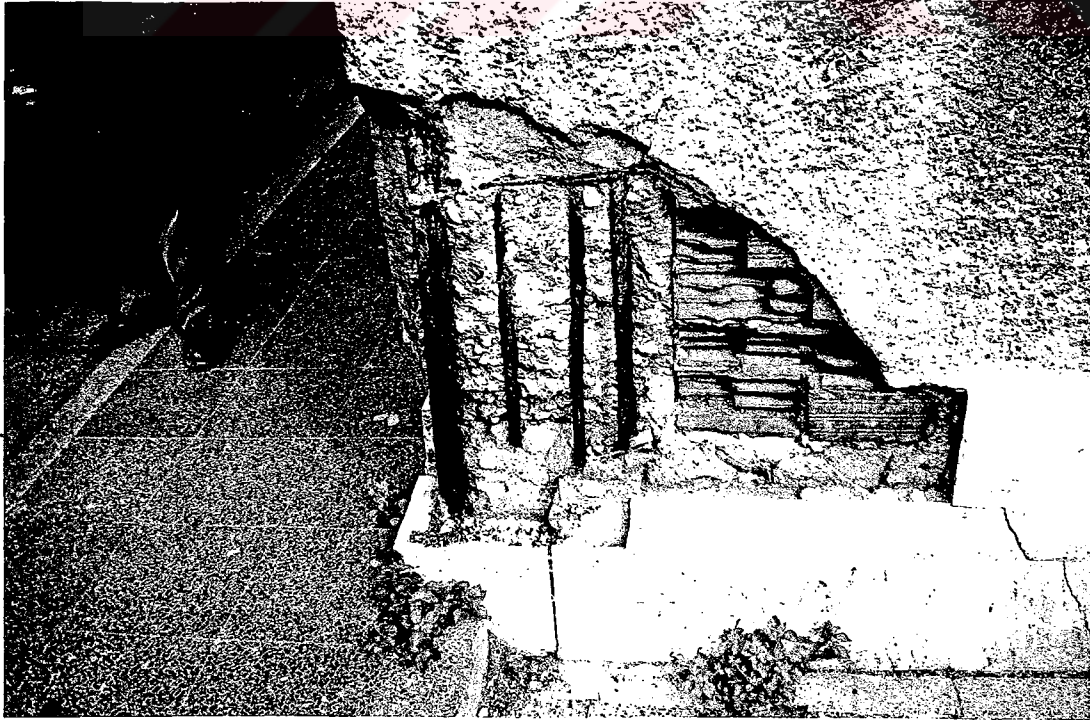
Şekil 4.8 Deniz yapısında korozyon hasarı

Petkim Yarımca kompleksine ait olan yukarıdaki fotoğraflarda da görüldüğü gibi su yüzeyi bölgesine yakın donatılar korozyona uğramıştır. 17 Ağustos depremi esnasında etkiyen yükler altında hasar görmeleri kaçınılmaz olmuştur. Bu durum, korozyona uğramış kesitlerin deprem performansının ne kadar düşük olduğunu göstermektedir.

4.5 Korozyon ve Deprem Hasarına Uğramış Betonarme Kesitin Taşıma Gücü

Bu bölümde, uzunca yıllar korozyona uğramış betonarme kolonların deprem etkisine de maruz kalmalarıyla birlikte, meydana gelecek hasarın taşıma gücünde ne gibi değişiklikler yaratacağının tahminine ilişkin taşıma gücü hesapları yapılmıştır.

Hesaplar, Ek 1’de mimari kat planları sunulan İstanbul Üniversitesi Vezneciler Kampüsü’ndeki Eczacılık Fakültesi C Blok içinde, hasar tespit ettiğimiz kolonlar için yapılmıştır. Hesaplarda iki durum dikkate alınmıştır. Birinci durumda betonarme kolon kesitinin inşa edildiği tarihteki boyutları, ikinci durumda korozyona uğramış donatı çapları ve çatlamış beton kesitin boyutları dikkate alınmıştır. Birince durumda tüm boyutlar olduğu gibi hesaba girerken, ikinci durumda betonarme kolon kesitin pas payı olarak adlandırılan dış kabuğunun hasar görüp çatladığı, dolayısıyla beton kesitle beraber çalışıp taşıma gücüne katkı yapmadığı varsayılmıştır. Bu varsayımda, korozyon hasarları bahsinde anlatılan korozyon ürününün meydana getirdiği hacim artışı, depremde meydana gelen kalıcı deformasyonların neden olduğu beton kesitteki çatlaklar ve hasar görmüş elemanda bizzat yaptığımız gözlemler rol oynamıştır. Kolon donatılarının mevcut durumunun tespiti içinse kompas vasıtası ile yerinde çap ölçümleri yapılmıştır. Tespit edilen çap değerleri ikinci durum hesapları için donatı alanlarının bulunmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Eczacılık Fakültesi hasarlı zemin kat kolonu.

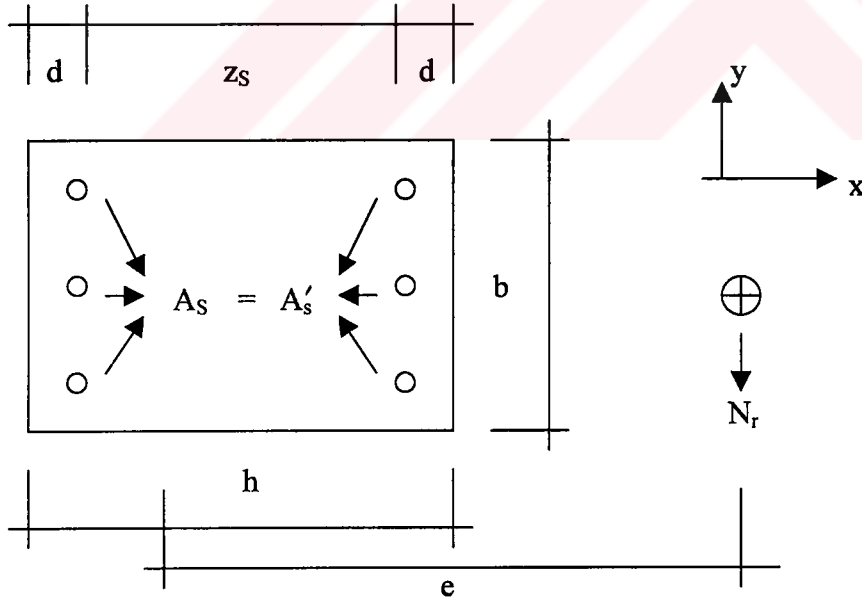
Hesaplarda, beton ve donatı çeliklerinin kalitesinin belirlendiği Eczacılık Fakültesi binasından alınana karot numunelerin İnşaat Mühendisleri Odası'nın Beton Araştırma ve Geliştirme Laboratuvar'ında tespit edilmiş değerlerine istinaden Prof. Dr. Erbil Öztekin'in hazırladığı 22.06.2000 tarihli Malzeme Denetim Raporu dikkate alınmıştır. Ek 2'de de sunulan bu rapordaki bilgilerin ışığında bodrum katlar için Beton Sınıfı 20 ve diğer katlar için 16 kabul edilmiştir. Çelik donatıların ise düz, nervürlü BÇ I'inci sınıf oldukları ve hesap akma, çekme ve kopma-uzama oranı sınırını sağladıkları kabul edilmiştir.

Kolonların taşıma gücünün bulunmasında, hesap kolaylığı açısından betonun elastisite modülü E_s 'nin zamana bağlı değişimi ihmal edilmiş ve sabit bir değer kabul edilerek beton sınıfına göre TS500'den alınmıştır. Taşıma gücü hesabı da yine hesap kolaylığı sağlaması için dengeli kırılma durumuna göre yapılmış ve $\sigma_s' = f_{yd}$ olarak çelik sınıfına göre TS500'den alınmıştır. Hesaplar, normal kuvvet taşıma gücü N_r için (4.15)'e, moment taşıma gücü M_r için (4.16)'ya göre yapılmıştır.

$$N_r = 0.85 f_{cd} a_b b + f_{yd} (A_s' - A_s) \quad (4.15)$$

$$M_r = N_b (h - a_b) / 2 + A_s' f_{yd} z_s \quad (4.16)$$

$$z_s = h - 2d', \text{ donatı moment kolu.}$$



Çizelge 4.2 Korozyona bağlı donatı çap değişimleri.

Kolon No.	S 122	S131	S 137	S 303	S 336
Başlangıç çapı	Ø 16	Ø 20	Ø 20	Ø 20	Ø 20
Güncel çap	Ø 15	Ø 18	Ø 18	Ø 18	Ø 17

Çizelge 4.3 Kolon normal kuvvet taşıma gücü kapasitesi değerleri.

Kolon No.	N_r , Başlangıç	N_r , Korozyonlu	Taşıma Gücü Kaybı
S 122	1328.75 kN	1065.87 kN	% 20
S 131	1877.47 kN	1550.30 kN	% 17
S 137	1328.77 kN	1065.79 kN	% 20
S 303	892.21 kN	696.89 kN	% 22
S 336	892.21 kN	696.89 kN	% 22
Ortalama taşıma gücü kaybı			% 20,2

Çizelge 4.4 X-X Yönü kolon moment taşıma gücü kapasitesi değerleri.

Kolon No.	M_r , Başlangıç	M_r , Korozyonlu	Taşıma Gücü Kaybı
S 122	171.63 kNm	121.84 kNm	% 29
S 131	230.57 kNm	159.75 kNm	% 31
S 137	188.27 kNm	130.48 kNm	% 31
S 303	174.02 kNm	124.69 kNm	% 28
S 336	235.26 kNm	159.90 kNm	% 32
Ortalama taşıma gücü kaybı			% 30,2

Çizelge 4.5 Y-Y Yönü kolon moment taşıma gücü kapasitesi değerleri

Kolon No.	M_r , Başlangıç	M_r , Korozyonlu	Taşıma Gücü Kaybı
S 122	214.40 kNm	157.67 kNm	% 27
S 131	409.51 kNm	300.70 kNm	% 27
S 137	211.08 kNm	147.42 kNm	% 30
S 303	174.02 kNm	124.69 kNm	% 28
S 336	174.02 kNm	115.80 kNm	% 33
Ortalama taşıma gücü kaybı			% 29

Taşıma gücündeki kayıplar yukarıdaki tablolarda da görüldüğü gibi ortalama %30'lar mertebesinde çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR

Körfez depremi, ülkemizin gerek nüfus gerekse ekonomik aktivite bakımından en ağırlıklı bölgesinde etkili olmuştur. Bu bölge Türkiye'nin nüfus itibarıyla % 23'lük bir kısmına karşılık gelmektedir. Ekonomik yönden ise depremde etkilenen bölgenin Gayri Safi Hasıla içindeki payı % 34.7 olmuştur. Buradan hareketle depreme dayanıksız yapı üretiminin sosyo-ekonomik yönden faturasının çok ağır olduğu görülmektedir.

Bu deprem sonrasında da, salt mimari kullanım amacıyla taşıyıcı sistem tasarımına önem verilmediği gözlenmiştir. Hasarın büyük bir bölümü zemin katın açık çerçeve olarak bırakılması sonucu yumuşak kat oluşumu ile ortaya çıkmıştır. Yapı plan ve kesitlerindeki düzensizlikler, burulmaya; bitişik nizam binalarda, çarpışmayla gelen hasara yol açmıştır. Yine taşıyıcı sistem tasarımında, çerçevenin yatay yük altında en fazla zorlanan kiriş-kolon kesitlerinde kuvvetli kiriş-zayıf kolon oluşumuyla karşılaşılmıştır. Mafsallaşma istendiği gibi kiriş yüzünde değil kolonlarda meydana gelerek yapının sünekliğini yok etmiştir. Bunda yanlış ve yetersiz donatı detaylandırılması ve kolon uç bölgelerinde yetersiz etriye sıklaştırması büyük rol oynamıştır. Bu yanlışlıkların sebebi yanlış tasarımla beraber uygulama esnasındaki denetimsizlik ve bilgi eksikliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Ehil olmayan usta başı, kalfa gibi kişilerce inşa edilmiş binalar ucuz maliyetlerini gösterir şekilde yetersiz kesitleri ve donatısıyla ayakta kalamamıştır. Pek çok binada maliyeti düşürmek amacıyla müteahhitlerin eksik malzeme kullanmasına göz yumulmuştur. Bu da karşımıza projede öngörülenin altında beton dayanımı ve eksik donatı demiri olarak çıkmıştır.

Hasarın büyük olmasında ve çok sayıda yapının yıkılmasında Adapazarı'nda olan sivilaşma olayı ve zemin taşıma gücünün çok düşük olması da etkili olmuştur. Körfeze boşalan akarsu delta düzlüklerinde ve sonradan ıslah edilmiş alanlarda deprem etkisi zeminin büyütmesinden ötürü daha şiddetli hissedilmiştir. Bu alanları imara açmanın çok yanlış bir uygulama olduğunun üzerinde durulması gerekmektedir.

Hasar görmüş yapılarda betonun basınç dayanımı hazır beton kullanımının azlığı nedeni ile çok düşük kalmıştır. Beton içindeki deniz kumu ve çakılı, içerdikleri tuz nedeniyle donatıların korozyonuna neden olmuştur. Betondaki deniz kabuğu gibi organik malzemeler basınç dayanımını azalttığı gibi geçirimsizliği bozarak korozyonu artırmıştır. Ayrıca kalorifer

dairelerinde yıllarca yakılan kükürtlü kömürler ve küllerinden çıkan kükürt dioksit gazları da, nemli ortamlarda sülfürik aside dönüşmüş ve korozyona neden olmuştur.

Yukarıda sayılan eksiklikler tek başına mutlak yıkıcı etkiye sahip olmamakla birlikte diğer eksiklikler ile birleştğinde yıkıcı etki yaratmaktadır. Bundan kaçınmanın yolu ise yapıların oluşabilecek deprem kuvvetlerine karşı yeterli dayanıklılıkta yapılması ve bunun yapının tüm ömrü boyunca korunmasıdır. Yapılarda mukavemet ve durabilite birlikte düşünölmelidir. Çünkü korozyon gibi faktörler yapının yaşı ile birlikte sonradan ortaya çıkmaktadır ve deprem gibi bir afet anında etkili olmaktadır. Bunu sağlamanın yolu, yapıları 1997’de yayınlanan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılarla İlgili Yönetmelik” esaslarına göre tasarlamak ve inşaat aşamasında bu tasarıma tam olarak uymaktır.



KAYNAKLAR

- Akman, M. S., (1992), “Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi”, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Arslan, G., (1996), “Türkiye’de Şiddetli Depremlerin Mühendislik yapılarında Oluşturduğu Hasarın Nedenlerinin Araştırılması ve Sınıflandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydinoğlu, N., (1999), “Son Depremden Çıkardığımız Dersler”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 403:44-51.
- Başegmez, C., (2000), “Betonarme Yapılarda Pas Payının Önemi”, Hazır Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, 39:92-93.
- Bayülke, N., (1998), “Deprem Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir.
- Bayülke, N., (1995), “Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir.
- Berktaş, İ., (1995), “Betonarme Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları”, İstanbul.
- Boduroğlu, H., (1994), “Betonarme Binaların Depreme Göre Tasarımı”, Türkiye Deprem Vakfı Yayını, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Broomfield, J., (1997), “Corrosion of Steel in Concrete”, E & FN as an Imprint of Chapman & Hall, London, UK.
- Erdik, M. ve Durukal, E., (1999), “17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Meydana Gelen Yer Hareketi İle İlgili Ön Değerlendirme”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 403:16-23.
- Ersoy, U., (1999), “Marmara Depremi ile İlgili Bir İrdeleme”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 403:37-39.
- Gülkan, P., (1999), “Ülkemizdeki 1999 Depremlerinin İnşaat Mühendisliği Pratiği Açısından Getirdiği Sorumluluklar”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 404:34-43.
- Haque, M. N. Ve Kayyali, O. A., (1995a), “Free and Water Soluble Chloride in Concrete”, Cement and Concrete Research, 25(3): 531-542.
- Haque, M. N. Ve Kayyali, O. A., (1995b), “Aspects of Chloride Ion Determination in Concrete”, ACI Materials Journal, 92(5): 532-541.
- İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, (1999), “17 Ağustos 1999 Körfez Depremi Değerlendirme Raporu”, İstanbul Bülten, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayını, 44-45:7-20.
- İ.T.Ü., (1999), “17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi İ.T.Ü. Ön Değerlendirme Raporu”, İstanbul Bülten, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayını, 44-45:28-33.
- Karaesmen, E., (1999), “Kocaeli Depremi”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 403:24-35.

Neville, A. M. ve Brooks, J. J., (1987), Concrete Technology, Longman Scientific and Technical, New York, 275-282.

O.D.T.Ü. Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, (1994), “Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar İçin Hasar Tespit Formu Hazırlanması”, O.D.T.Ü. Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Raporu, Ankara.

Özcebe, G., (1999), “Ülkemizdeki Depremlerden Sonra Gözlenen Betonarme Yapı Hasarları”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 404:47-51.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2000). “17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1998), “Afet Bölgelerinde yapılacak Yapılar hakkında Yönetmelik”, Ankara.

TMMOB, (1999), Deprem Semineri Dökümü, 06.11.1999, İstanbul

Türk Standartları Enstitüsü, (1985), “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Ankara.

Sucuoğlu, H., (1999), “Onarım ve Güçlendirme Uygulamaları Üzerine Düşünceler”, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, 404:52-57.

Yüzer, N., (1998), “Silis Dumanı katkılı Betonarme Elemanlarda Klorür Etkisinin Hızlandırılmış Korozyon Deneyi İle Araştırılması”, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ek 1 İ.Ü. Eczacılık Fakültesi Malzeme Denetim Raporu

MALZEME DENETİM RAPORU

İ.Ü.ECZACILIK FAKÜLTESİ

Prof. Dr. Erbil ÖZTEKİN

Tonozlu Sokak Seçgir Apt. 25/20

Suadiye – İSTANBUL

22/06/2000

İstanbul, 23/06/2000

MALZEME DENETİM RAPORU
İ.Ü. ECZACILIK FAKÜLTESİ – C BLOK

PMM Parlar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.

İstanbul Beyazıt'taki İ.Ü. Eczacılık Fakültesi binalarından C Bloкта yapılan incelemenin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

1- BETON KALİTESİ

Beton kalitesini belirlemek üzere binadan 10 adet karot alınmıştır, iki adedi deneye tabi tutulamayacak biçimde çıkmış, biri de aşırı basık olmuştur. Değerlendirmeye alınan 7 karotun ikisi 2. Bodrum katından, biri 1. Bodrum kattan, ikisi 1. kattan birer tanesi de 2. ve 3. katlardandır.

Karotların alımında ve deneylerinde T S 10465/Kasım 1992 "Beton Deney Metodu – Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin

E.Ö.Ş.

Tayini (Tahribatlı Metot) “ Türk standardına uyulmuş, işlemler İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Beton Araştırma Geliştirme Laboratuvarı’na gerçekleştirilmiştir.

Karot çapı 9.9 cm’dir. Karot başları elmas testere ile kesilmiş, toz kükürtle alt üst başlık yapılmış ve basınç deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

KAROT No	KAT	YAPI ELEMANI	KAROT YÜKSEKLİĞİ (CM)	KIRILMA YÜKÜ (TON)	BASINÇ DAYANIMI (KGF/CM2)
CBK2-K1	2. Bodrum	Kolon G-5	10.2	18.3	238
CBK2-K2	2. Bodrum	Asansör Perdesi	10.2	22.1	287
CBK1-K3	1. Bodrum	Kolon F-2	10.2	19.6	255
C1NK-K5	1. Kat	Asansör Perdesi	9.4	12.7	165
C1NK-K9	1. Kat	Kolon K-6	9.6	15.4	200
C2NK-K6	2. Kat	Kolon K-7	8.2	15.9	207
C3NK-K7	3. Kat	Asansör Perdesi	10.2	6.2	81
ORTALAMA					205

T S 10465 uyarınca tabloda karot basınç dayanımları betonun eşdeğer küp basıncı dayanımı olarak kabul edilmektedir. Standarda göre beton kalitesinin B 160’ı tutması için aşağıdaki iki koşulun birlikte sağlanması gerekmektedir.

$$\text{Ortalama} > 0.85(160+30) = 162 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{En küçük tekil değer} > 0.85 \times 160 = 136 \text{ kgf/cm}^2$$

Bina genelinde ortalama mukavemet 205 kgf/cm²’dir, sınırı aşmaktadır; en küçük tekil değer 81 kgf/cm²’dir, sınırın altında kalmaktadır, **BETON KALİTESİ B 160 (BS14)** ‘ü tutmamaktadır.

Ancak 3. kattan alınan 81 kgf/cm²’lik karot dışında en küçük mukavemet 165 kgf/cm²’dir, bu karotta yanlışlık olma olasılığı söz konusudur. Bu karot dışlanırsa BS 14 (B160) kalitesi tutulmaktadır. Bu nedenle 3. kattan tekrar karot alınıp durumun kontrol edilmesinde yarar görülmektedir.

E.Ö.

3. kattan tekrar alınan iki karota ait sonuçlar ekli raporda yer almaktadır. Asansör perdesinde eski karotun yanından alınan numunenin basınç dayanımı 138 kgf/cm², aynı katta başka bir kolondan alınan numunenin basınç dayanımı 168 kgf/cm² çıkmıştır. İki numunenin de sonucu B160 (BS 14) koşulunu sağlamaktadır. Dolayısı ile bina genelinde, 3. Kat dahil, beton kalitesinin B160 (BS 14) olduğu kabul edilebilir.

Bodrum katlarındaki yüksek basınç dayanımı değerleri (ortalama 260, en küçük tekil değer 238 kgf/cm²) bu iki kat için beton sınıfının BS20 kabul edilmesine izin vermektedir.

2- ÇELİK DONATILAR

Binada ulaşılabilen hemen her kolon veya perdede pakometre ile donatı sayısı kontrol edilmiş, bazılarında pas payı betonu kırılarak kompasla çap okunmuştur. Donatı sayısına ve çapına ilişkin bilgiler ana raporda yer alacaktır.

Hasar görmemiş binada kolon veya perde kırıp donatı çubuğunu kesip çıkararak deneye tabi tutmak söz konusu olmadığından çelik kalitesi belirlenmemiştir. Açılan donatıların düz, nervürlü oldukları görülmüştür. İ.T.Ü. Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda 1988-98 döneminde biriken deney sonuçlarına göre (520 deney) B Ç I çeliklerinin %100'ü akma sınırını, %99.2'si çekme dayanımı sınırını, %97.3'ü kopma uzama oranı sınırını sağlamaktadır (1). Dolayısı ile donatı kalitesine ilişkin ciddi bir endişe söz konusu değildir.

2. bodrum katta ve dış cephede açığa çıkarılan donatılarda kayda değer korozyon görülmüştür. Öyle ki bazı etriye donatıları elimizde kalmıştır. Korozyona karşı önlem alınması gereklidir.

3- SONUÇ

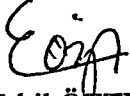
Binada beton kalitesi B160 (BS 14)'dür. İki bodrum kat için beton sınıfı BS 20 olarak da kabul edilebilir.

Donatıda kayda değer korozyon mevcuttur, önlem alınması gereklidir.



4- KAYNAKÇA

- (1) S. AKYÜZ, M. UYAN, H. YILDIRIM, “Türkiye’de kullanılan çelik çubuklar üzerine istatistik bir değerlendirme”, Hazır Beton Dergisi, Yıl 6, Sayı 35, Sayfa 93-100, Ekim 1999



Prof. Dr. Erbil ÖZTEKİN

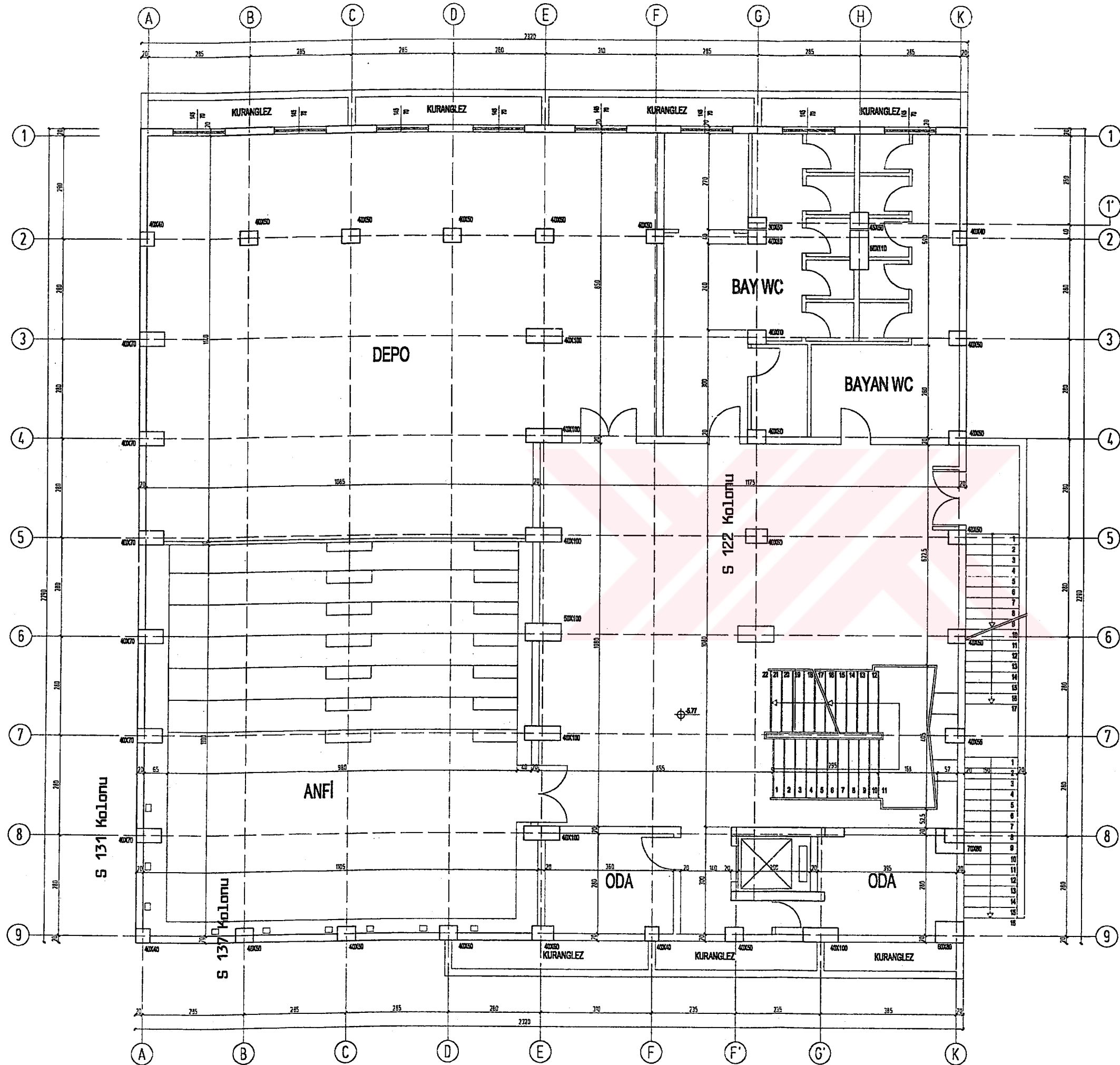
Eki: İ.M.O. Beton Ar-Ge Laboratuvarı Raporları



KAROT NO	BLOK	KAT	YAPI ELEMANI	ÇAPI (cm)	YÜK (cm)	KIRILMA YÜKÜ (ton)	EŞDEĞER KUP DAY. (N/mm ²)	NOT
K4	C	Zemin		9.9	6.5	16.8	18.8	-
K3	"	1.Bodrum		"	10.2	19.6	25.4	-
K5	"	1.Nor.		"	9.4	12.7	16.5	-
K6	"	2.Nor.		"	8.2	15.9	19.2	-
K1	"	2.Bodrum		"	10.2	18.3	23.8	-
K8	"	1.Nor		"	-	-	-	St dışı
K2	"	2.Bodrum		"	10.2	22.1	28.7	-
K7	"	3.Nor.		"	"	6.2	8.0	-
K5	"	1.Nor.		"	9.6	15.4	20.0	-
KX	"	Bodrum		"	-	-	-	Segregasyon
ORTALAMA							20.1	-

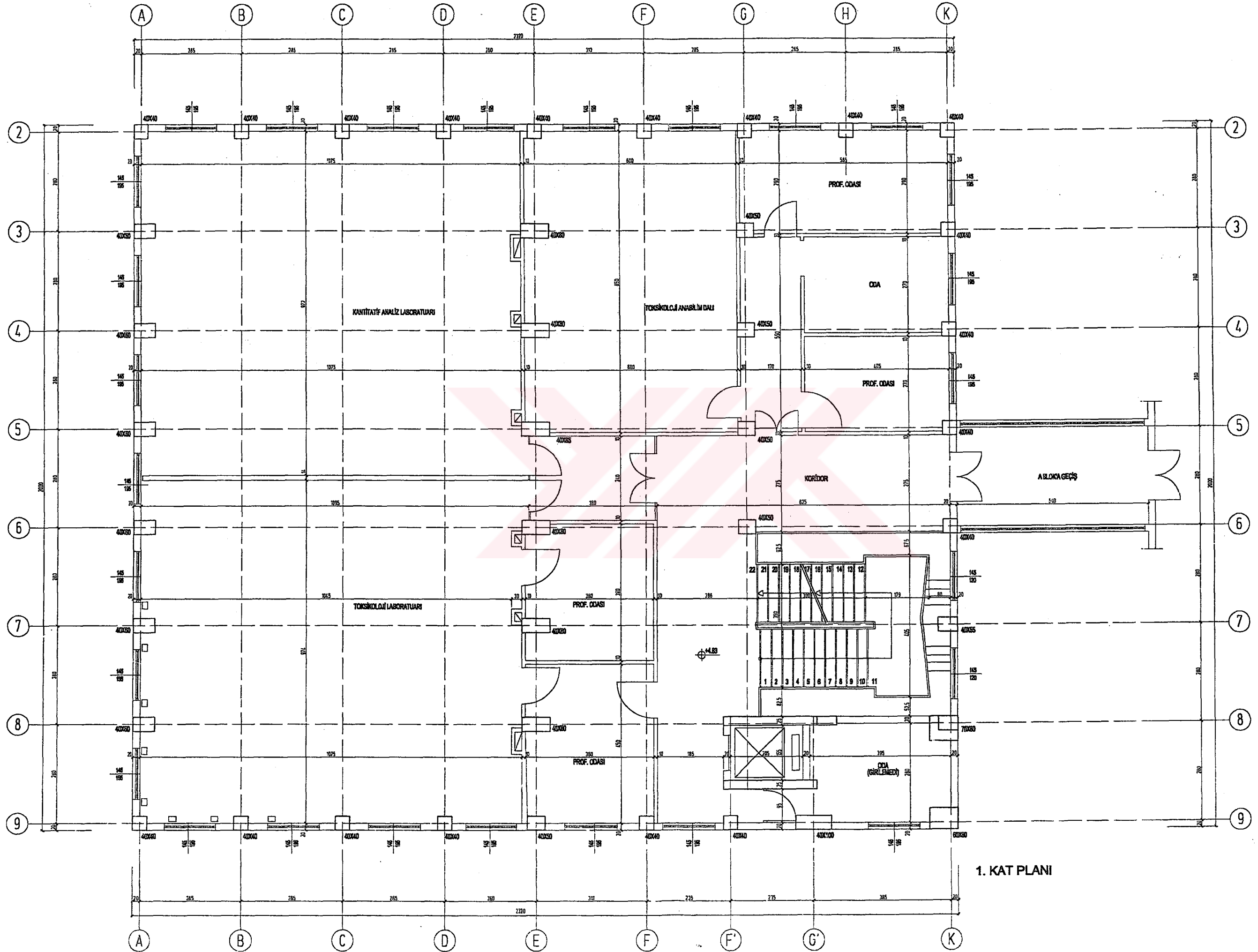
KAROT NO	BLOK	KAT	YAPI ELEMANI	ÇAPI (cm)	YÜK (cm)	KIRILMA YÜKÜ (ton)	EŞDEĞER KÜP DAY. (N/mm ²)	NOT
K1	C	3.Normal	Perde	9.9	10.3	10.6	13.8	-
K2	"	"	Kolon	"	"	12.9	16.8	-
ORTALAMA							15.3	-

Ek 2 İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi C Blok Binası Kat Planları

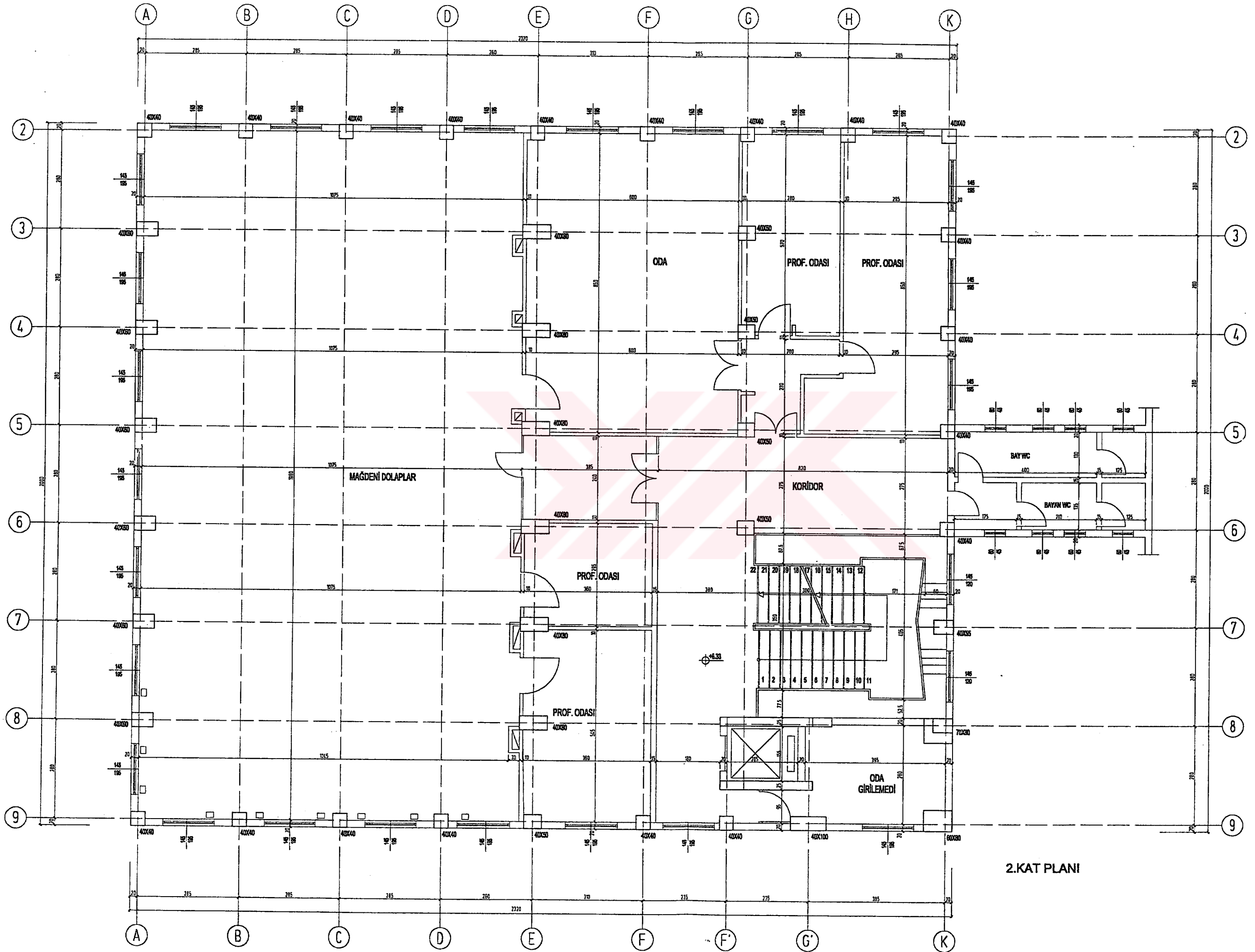


2. BODRUM KAT PLANI

1.BODRUM KAT PLANI



1. KAT PLANI



2.KAT PLANI

3. KAT PLANI

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	10.06.1976	
Doğum yeri	Nazilli-Aydın	
Lise	1987-1994	Edirne Anadolu Lisesi
Lisans	1994-1998	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1998-Devam ediyor Tekno Temsilcilik ve Dış Ticaret Ltd. Şti.,
Mümessillik.

