

57426

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE ŞİDDETLİ DEPREMLERİN
MÜHENDİSLİK YAPILARINDA OLUŞTURDUĞU
HASARIN NEDENLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE
SINIFLANDIRILMASI**

İnş. Müh. Güray ARSLAN

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. H. İlhan BERKTAY

İSTANBUL, 1996

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ.....	1
1. DEPREMLERİN OLUŞUMU, ÖZELLİKLERİ VE DEPREM ÇEŞİTLERİ	1
1.1.1. Tektonik depremler	1
1.1.2. Volkanik depremler	3
1.1.3. Çöküntü depremleri	3
1.1.4. Yapay depremler	4
1.2. Deprem şiddet ve büyüklüğü	4
2. BETONARME MÜHENDİSLİK YAPILARINDA DEPREM ETKİSİ İLE HASARIN OLUŞMA NEDENLERİ	11
2.1. Mimari ve taşıyıcı sistem tasarımının deprem etkisine uygun olmaması	14
2.1.1. Yumuşak kat oluşumu	14
2.1.2. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışı	18
2.1.3. Kısa kolon oluşumu	20
2.1.4. Binalarda burulma etkisinin ortaya çıkması	23
2.1.4.1. Planda kütle ve rijitlik merkezinin çakışmaması nedeniyle burulma etkisinin ortaya çıkması	24
2.1.4.2. Dolgu duvarlarının bazı binalarda asimetri oluşturması	25
2.1.5. Bloklar ya da ayrı kısımlar arasında dilatasyon derzlerinin yeterli olmaması	26
2.1.6. Yeterli yanal rijitlik sağlanması için perde duvar kullanılmaması	28
2.1.7. Merdiven-kat döşemesi birleşim bölgesinde meydana gelen hasarlar	31
2.1.8. Düzensiz taşıyıcı sistem seçimi	32
2.1.9. Yapının, planda basit ve simetrik olmaması	33
2.1.10. İstinat duvarında yatay yer değiştirme ile meydana gelen hasar	34
2.1.11. Ani rijitlik değişimleri	35
2.1.12. Yapı ağırlığının gereğinden fazla olması	36

2.2. Boyut ve donatı yetersizliği, donatı detaylandırma kusurları	37
2.2.1. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar	37
2.2.2. Kiriş ve kolon donatılarının aderans boyunun yetersiz oluşu	44
2.2.3. Kiriş ve kolonlarda yetersiz etriye kullanımı	49
2.2.4. Kesiti ince uzun kolonlarda tek sıra etriye kullanılması ve ara donatıların çirozla bağlanmamasından oluşan hasarlar	51
2.2.5. Kolonlarda diyagonal doğrultudaki basınç etkisi ile kesme kırılması hasarı	52
2.2.6. Statik ve betonarme hesabın yetersiz olması	54
2.2.6.1. Kirişlerde deprem etkisi gözönüne alınmaması nedeniyle mesnetlerde alt ve üst donatı yetersizliği	54
2.2.6.2. Kullanım amacının zamanla değişmesi	54
2.2.7. Donatı çizimlerinin yetersiz olması	54
2.3. Denetimsizlik ve kötü malzeme kullanımı	56
2.3.1. Bazı binalarda yeterli beton dayanımına ulaşamaması	56
2.3.1.1. Killi agrega nedeniyle	56
2.3.1.2. Betonun karıştırılması ve sıkıştırılmasında yeterli özen gösterilmemesi	56
2.3.2. Birleşim bölgesinde karışım dışı malzemeye rastlanması	57
2.4. Zemin koşullarının deprem hasarına etkisi	58
2.4.1. Zemin tabakaları tarafından deprem hareketinin yükseltgenmesi	58
2.4.2. Yapıların rezonansı	63
2.4.3. Gelişen göçmeler	64
2.4.4. Titreşim enerjisinin yayılması	67
2.4.5. Farklı oturmalar	68
2.5. Yapının deprem yönetmeliği hiç olmadığı bir dönemde ya da yeterli deprem güvenliği sağlamayan eski tarihli bir yönetmeliğe göre yapılması	68
2.6. Yapının hesap ve detaylandırılmasında tüm yönetmeliklere uyulmasına rağmen meydana gelen hasarlar	69
2.6.1. Yapının ekonomik ömrü süresince beklenenden daha şiddetli deprem olması	69
2.6.2. Yüzey tabakasında bölge topografyası ve jeolojik süreksizliklerin etkisi	70
2.6.3. Doğal çevre koşullarının deprem etkisiyle yaptığı hasarlar	71

2.6.3.1. Tsunami (Deniz taşması)	71
2.6.3.2. Bölgenin jeolojik yapısı ve yapının topografik konumu	75
2.7. Taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasarlar	76
2.7.1. Dolgu duvarda meydana gelen hasar	76
2.7.2. Baca yıkılması	80
2.7.3. Yapı iç ve dış kısımlarında estetik yapı elemanlarında kopma hasarları	80
2.7.4. Duvar kaplamaları hasarı	80
2.7.5. Pencere camları kırılma hasarı	80
3. SONUÇLAR	81



TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőmesinde, bana değerli zamanını ayıran ve yol gosteren kıymetli hocam Sayın Prof.H.İlhan BERKTAY'a ve maddi, manevi her turlu desteği benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Güray ARSLAN

İstanbul-1996

ÖZET

Türkiye yeryüzündeki önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Türkiye ve çevresi bu kuşağın en canlı kesitini oluşturmaktadır. Bugüne kadar ülkemizde pekçok hasar yapan şiddetli depremler olmuş, bunlar önemli can ve mal kayıpları ile sonuçlanmıştır.

Bu çalışmada, depremlerin oluşumu, özellikleri ve deprem çeşitleri incelenmiş ve Türkiye’de hasar yapan şiddetli depremler kronolojik sırada verilmiştir. Mevcut kaynaklar taranarak betonarme mühendislik yapılarında deprem hasarı sistematik olarak yedi ana başlık ve kendi içerisinde alt bölümlere ayrılarak araştırılmıştır.

Betonarme mühendislik yapılarında deprem etkisi ile hasarın oluşma nedenlerinin ana başlıkları şunlardır:

1. Mimari ve taşıyıcı sistem tasarımının deprem etkisine uygun olmamasından,
2. Boyut ve donatı yetersizliği, donatı detaylandırma kusurları,
3. Denetimsizlik ve kötü malzeme kullanımı,
4. Zemin koşullarının deprem hasarına etkisi,
5. Yapının deprem yönetmeliği hiç olmadığı bir dönemde ya da yeterli deprem güvenliği sağlamayan eski tarihli bir yönetmeliğe göre yapılması,
6. Yapının hesap ve detaylandırılmasında tüm yönetmeliklere uyulmasına rağmen meydana gelen hasarlar,
7. Taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasarlar,

Böylece yapıda ve yapı elemanında görülen hasarın hangi nedenle oluştuğu açıklığa kavuşturulmuştur. Projesi ve uygulaması yapılan ve yapılacak olan yapılarda, can ve mal kaybının en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Ülkemizde deprem yükleri altında en fazla hasar zemin katın açık çerçeve olarak bırakılması sonucu yumuşak kat oluşumu ile ortaya çıkmaktadır. Yine mimari kullanım nedeniyle, kuvvetli kiriş-zayıf kolon oluşumu, kısa kolon oluşumu ve binalarda burulma etkisinin ortaya çıkmasından kaçınılamamıştır. Çerçeve sistemlerde yatay yük altında en çok zorlanan kesitler birleşim bölgesindeki kiriş ve kolon kesitleridir. Kiriş kolon birleşim bölgelerinde etriye aralıklarının sıklaştırılmasına yeterli özen gösterilememiştir. Boyut ve donatı yetersizliği, donatı detaylandırma kusurlarına dikkat edilmemesine denetimsizlik ve kötü malzeme kullanımı da eklendiğinde kalıcı şekil değiştirmelerin belirli bölgelerde yığılmalarına, erken bölgesel çökmelere ve buna bağlı olarak da genel göçmelere neden olmuştur.

ABSTRACT

Turkey is being located on one of the most hazardous fault, Alp-Himalayas Fault. Therefore, an immense number of earthquakes was recorded which causes severe damage and lose of life in Turkey.

In this research, the occurrence and the classification of earthquakes are investigated and the most hazardous earthquakes in Turkey are categorized according to the chronological order. Examining the existing documents, seven major title and subtitles are prepared to cover earthquake damage to structures systematically.

Major causes of earthquake damage to structures can be picked up as follows:

- 1: The unproper choice of architectural and structural systems,
2. Poor reinforcement workmanship and design,
3. The lack of kontrol and the use of poor quaility material,
4. The effect of the conditions of the ground geology,
5. Non-existence of earthquake standards which specify the design of the structure decrease the safety.
6. Although the appropriate design principles were considered, there is still some sort of damage,
7. Damage of nonstructural parts of the building.

So, the causes of damage at the structure and structural elements are clarified. For the structural systems at construction or desing stages, the aim of the study is to prevent the lose of life and the economic hazards.

The cut of structural walls on the base-floor is the cause of the most hazardous type of damage by accuring the soft-story at the base of the building during the earthquake. The necessity for open space in the ground floors of many buildings, especially along the main streets (in commerical centers, hotels, some public buildngs and shops) created flexible stories with non-ductile columns (since no special precation was taken) which lead to failure. Again for architectural purposes, occurrence of strong beam-weak column, and short columns and torsion effect will be presented. No lateral reinforcement was placed at the beam-column joints. The spacing of lateral reinforcement should be reduced at the joints of the structural systems. The insufficient size and amount of structural elements and the reinforcement, the unproper details of the placement of the structural material, the lack of the kontrol and the use of poor quaility material will cause the permanent deformations by causing the localization of stress and stram so that the premature local failures and eventually total collapse of the structure.

1.GİRİŞ

1.1. DEPREMLERİN OLUŞUMU, ÖZELLİKLERİ VE DEPREM ÇEŞİTLERİ

Yerkabuğunun belirli bölgelerinde çeşitli etkilerden biriken şekil değiştirme enerjisinin ani olarak ortaya çıkması sonucu depremler oluşmaktadır.

Depremler oluşlarına göre dörde ayrılır.

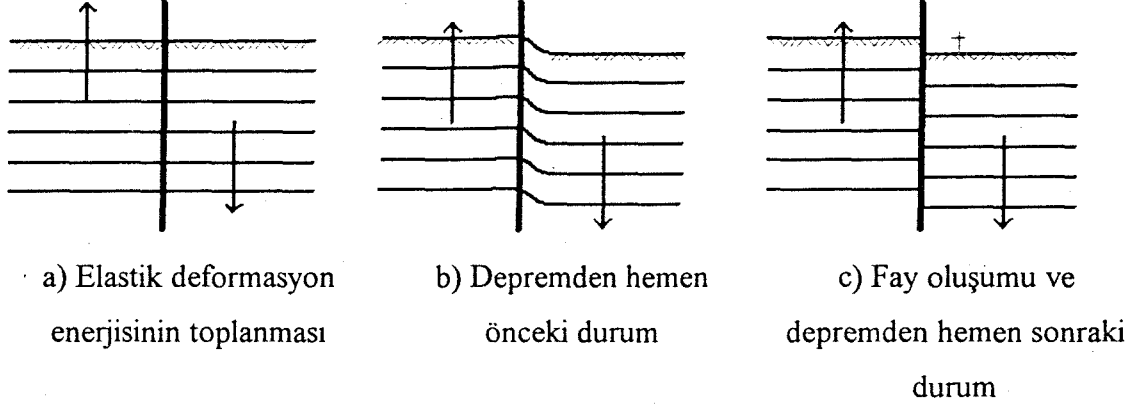
1.1.1. Tektonik Depremler

Yerkabuğunu oluşturan levha hareketlerinden kaynaklanan tektonik depremler, tektonik kuvvetlerin meydana getirdiği gerilme etkisi ile kabukta fay adı verilen kırıkların başlangıç noktalarından boşalıp, dalgalar halinde yayılmaya başlayan elastik deformasyon enerjisinin kabukta meydana getirdiği titreşimlerdir. Bu nedenle yer kabuğunun tektonik bakımdan aktif olan bölgeleri bu tür depremlerin en sık oluştuğu bölgelerdir.

Geçmiş jeolojik zamanlar içinde oluşmuş ve daha sonra aktivitesini kaybetmiş faylar depremlere neden olmazlar. Ancak, çok şiddetli depremler sırasında bazı pasif fayların da harekete geçtiği ve yeni depremlere neden olduğu görülmüştür.

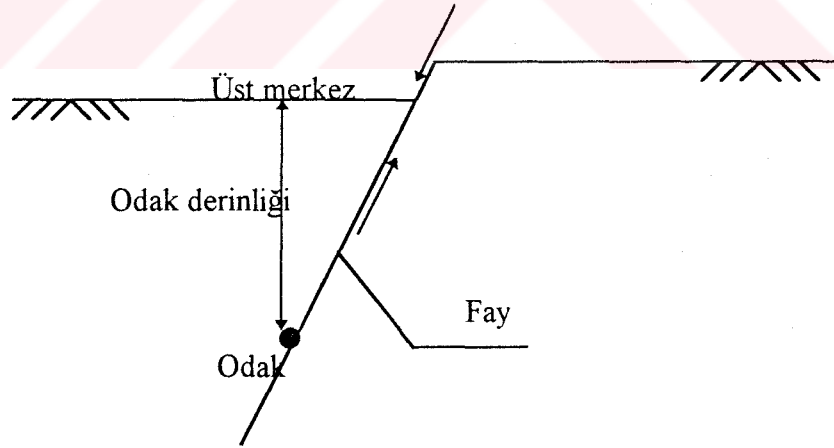
Yerkabuğunu oluşturan plakalar kendisini oluşturan faylar boyunca birbirine göre kaymakta veya biri diğeri üzerine çıkabilmektedir. Bu hareketlerin ve yer kabuğu altında sıvı halde bulunan mağmanın basıncında soğuma veya benzeri nedenlerle meydana gelen basınç değişimleri yer kabuğunda gerilmeler oluşturmaktadır. Yer kabuğunda artan gerilmeler zayıf olan faylar boyunca veya belirli zayıf bölgelerde yer kabuğu taşıma gücünü aşarak ani bir kayma olmasına neden olur. Böylece, uzun zamanda toplanan şekil değiştirme enerjisi kabukta yeni fay oluşumuyla yer kabuğunun taşıyabileceği seviyeye ani boşalma ile iner. Bu tür bölgelerde depremin meydana gelme zaman aralığı büyüdükçe, kabukta zamanla toplanan enerji miktarı artar ve bu durum meydana gelecek yer hareketinin daha şiddetli olması sonucunu meydana getirir. Yer kabuğunda ani boşalan enerji, deprem dalgaları (sismik dalgalar) olarak yayılıp titreşimler şeklinde etkili olurlar. (Şekil 1.1.)

Tektonik depremlerde faylanmanın başlangıç bölgesi depremin odağıdır. Deprem odağından yayılmaya başlayan deprem dalgaları her doğrultuda hızla ilerler. Odak noktasının üzerine rastlayan nokta episantr olarak adlandırılır. Depremin en şiddetli olarak hissedildiği alan burasıdır. Bazen çok hafif bir depremde de bu bölgede hasar oluşmaktadır.



Şekil 1.1. Fay oluşumu ve depremden sonraki durum

Üst merkezden uzaklaştıkça depremin etkisi azalmaktadır. Deprem dalgasının oluşup yayılmaya başladığı nokta ile bu noktadan yeryüzüne çıkılan dikin yeryüzünü kestiği yer olan üstmerkez arasındaki uzaklığa odak derinliği adı verilir. (Şekil 1.2.)



Şekil 1.2. Deprem hareketine ait büyüklükler

Depremler odak derinliklerine göre üçe ayrılır.

- a) Sığ depremler; Odak derinlikleri 0-60 km arasında olan depremler
- b) Orta derinlikte depremler; Odak derinlikleri 60-300 km arasında olan depremler
- c) Derin depremler; Odak derinlikleri 300-700 km arasında olan depremler

Yurdumuzdaki depremlerin odak derinliği genellikle 7-30 km arasındadır. Depremlerin oluşum sıklığı derinlikle azalır. Dar bir alanda etkili olan sığ depremler daha hasar yapıcıdır. Buna karşın orta ve derin odaklı depremlerin enerjileri geniş bir alanda yayıldığından, yapacakları hasar azalmaktadır.

1.1.2. Volkanik Depremler

Yeryuvarındaki yüksek sıcaklıklı Litosfer tabakasının üst kısmı iletim yoluyla soğumaktadır. Bu nedenle Litosfer boyunca sıcaklık ve onunla doğrudan ilgili olan basınç değişir. Yüksek sıcaklık bölgelerinde ısı akışı, örtü tabakasının altında birikime böylece aktif gerilmelerin yoğunlaşmasına neden olur. Gerilmeler tampon örtü tabakasının altında kendini gösterir ve bu tabaka tarafından ya absorbe edilir veya yerkabuğundaki bu tabakalarda hafif titreşimler oluşturur.

Volkanik depremler oluşumunda iki duruma dikkat etmek gerekmektedir.

- a) Konsantre olmuş ısı akışı küçük derinlikli yüzeylere yönelir. Yerkabuğundaki sürükleyici kuvvet, yüzeye ulaşan gerilmelerin dağılması şeklinde küçük şiddetli depremleri oluşturur.
- b) Çok sayıda geniş çaplı ısı akışı geniş bir yüzeyi etkiler Ergime sırasındaki deformasyon farklı yerlerde, aynı anda ve hafifçe faz farkı göstererek oluşmasına neden olur. Daha sonra yerkabuğundaki sürükleyici kuvvetler önemli bir deprem başlatır.

1.1.3. Çöküntü Depremleri

Yeraltında tuz, jips, anhidrit kireçtaşı v.b. mineral ve/veya kayalardan oluşan bölgelerde, bu birimlerin suyla teması durumunda fiziksel ve kimyasal ayrışmanın bir sonucu olarak malzeme kayıpları, buna bağlı olarakta büyük yeraltı boşlukları, mağaralar oluşmaktadır. Ayrıca, yeraltı maden işletmelerince açılıp daha sonra boş bırakılan galeriler büyük hacimler kaplayabilmektedir. Yeraltında bulunan boşlukların tavanları, üstte bulunan yükü taşıyamayacak hale geldiğinde çökmeler oluşur ve bunun bir sonucu olarak sarsıntılar

meydana gelir. Çöküntü depremleri, volkanik depremler gibi yersel olup, yalnızca çöküntünün meydana geldiği alanın yakın çevresinde etkili olur.

1.1.4. Yapay Depremler

Dünyada, hızla gelişen nükleer teknolojiler sonucu çeşitli amaçlarla yeraltında büyük ölçekli patlatmalar şeklinde deneyler yapılmaktadır. Bu patlatmalar nedeniyle oluşan deprem etkisi de belirli bir bölgede hissedilmektedir. Ancak bu titreşimler denetim altında ve bilinçli yapıldıklarından yeryüzündeki yapılarda hasar yapmaları önlenmiştir.

Yapay depremler de çöküntü ve volkanik depremlerde olduğu gibi patlamanın gerçekleştiği alanın yakın çevresinde etkili olmaktadır.

1.2. Depremin Şiddet ve Büyüklüğü

Yerkabuğunun belirli derinliklerinde odaktan yayılmaya başlayan deprem dalgalarının yeryüzünde meydana getirdiği etki, hasarın derecesi ile belirlenir. Deprem şiddeti doğal olarak depremin merkez üstünde en yüksek değerine ulaşırken, buradan uzaklaştıkça azalmaktadır. Deprem şiddetleri için farklı farklı şiddet tanımları olmakla beraber, en yaygın olarak kullanılan Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli'dir. Tablo 1.1'de de görülebileceği gibi en düşük şiddet I, duyarlı aletlerle kaydedilen depremi; en büyüğü XII, tam yıkıma karşı gelen depremi göstermektedir. Bu şiddet ölçüsü, yapıların hasar ve yıkılma düzeyini esas aldığından, depremin mutlak ölçüsü olarak alınamaz. Aynı deprem, kötü yapılmış düşük mukavemetli yapıda şiddetli, sağlam yapılardan oluşan bir bölgede daha az şiddetli görülebilir. Aynı şekilde ıslak dolgu zeminlerde, kaya zeminlere göre daha fazla etkiye bulunmaktadır. Deprem bölgesinde görülen hasar durumuna göre aynı şiddette olan noktaların birleştirilmesi ile eşşiddet (izoseist) eğrileri çizilir.

Tablo 1.1. Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli [13]

Şiddeti	Tanımı	Zemin İvmesi cm/s 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	Bina içinde çoğunluk ve dışarıda az kimse tarafından hissedilir. Gece bazı kimseler uyanır, kap-kacak, kapı-pencere sallanır.	7~15
V	Hemen herkes hisseder. Bazı 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 kaçar. Yapıda sağlamlığına bağlı olarak değişen hasarlar oluşur. Otomobil sürücüleri de algılar.	70~150
VIII	Duvarlar çerçevelerden 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	Kargir ve 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 herşey harabolur. toprak yüzeyinde dalgalanma görülür. Cisimler havaya fırlar.	3000~7000

Deprem büyüklüğü hakkında bilgi verebilecek en iyi ölçü, hareket sırasında açığa çıkan enerji miktarıdır. Bunu ölçmek veya hesaplamak güç olduğu için değişik büyüklük tanımları getirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanı, C.F.Richter tarafından ortaya atılan magnitüd ölçüsüdür. Ancak Magnitüd de tek başına deprem hasarının ölçüsü olmaz. Çünkü; aynı magnitüdü bir derin diğeri sığ odaklı iki depremin yapacağı hasar ve hissedilme alanları

farklıdır. Derin deprem geniş bir alanda hissedilirken hasarın yoğun olduğu alan küçük olur. Sığ deprem ise daha geniş bir alanda çok hasar yapıcı olurken hissedilme alanı küçük olur. Yurdumuz için değişik yerel M Richter ölçüsü ve merkezüstü I_0 şiddeti arasında $M=0.593I_0+1.63$ bağıntısı önerilmiştir. [13]

Tablo 1.2. 1900-1994 Yıllarında Türkiye’de hasar yapan depremler [8]

No	Yer	Tarih	Derinlik	M	I_0	Yıkık veya Ağır H.	Can Kaybı
1.	Çankırı	9.3.1903		6.2		3000	4
2.	Malazgirt	28.4.1903		6.7	IX	4500	2626
3.	Zara	10.2.1905		5.8		1500	
4.	Çemiş Kezek	4.12.1905	30	6.8		15	
5.	Mürefte	9.8.1912	16	7.3		5540	216
6.	Afyon- Bolvadin	4.10.1914	15	5.1		1700	400
7.	Çaykara	13.5.1924	30	5.3		700	50
8.	Pasinler	13.9.1924	10	6.9		4300	310
9.	Afyon-Dinar	7.8.1925	20	5.9	IX	2043	3
10.	Milas	8.2.1926	30	4.7		598	2
11.	Finike	18.3.1926	10	6.9		190	27
12.	Kars	22.10.1926	10	5.7	VIII	1100	355
13.	İzmit- Torbalı	31.3.1928	10	7.0	IX	2100	50
14.	Sivas-Suşehri	18.5.1929	10	6.1	VIII	1357	64
15.	Hakkari Sınırı	6.5.1930	70	7.2	X	3000	2514
16.	Denizli-Çivril	19.7.1933	40	5.7	VIII	200	20
17.	Bingöl	15.12.1934		4.9		200	12
18.	Erdek	4.1.1935	30	6.7	IX	600	5
19.	Digor	1.5.1935	60	6.2		1300	200

20.	Kars-Kötek	23.3.1936	30	4.5		100	
21.	Kırşehir	19.4.1938	10	6.6	IX	3860	149
22.	Kırşehir	16.12.1938	10	4.8		300	
23.	İzmir-Dikili	22.9.1939	10	7.1	IX	1235	60
24.	Tercan	21.11.1939	80	5.9		500	43
25.	Erzincan	26.12.1939	20	7.9	X-XI	116720	32962
26.	Niğde	10.1.1940		5.0		586	58
27.	Kayseri-Develi	20.2.1940	30	6.7	VIII	530	37
28.	Yozgat	13.4.1940	30	5.6		1250	20
29.	Muğla	23.5.1941	40	6.0		500	2
30.	Van-Erciş	10.9.1941	20	5.9	VIII	600	194
31.	Erzincan	12.11.1941	70	5.9		500	15
32.	Muğla	13.12.1941	30	5.7		400	
33.	Bigadiç-Sındırgı	15.11.1942	10	6.1	VIII	1262	7
34.	Osmancık	21.11.1942	80	5.5		448	7
35.	Çorum	11.12.1942	40	5.9		816	25
36.	Niksar-Erbağ	20.12.1942	10	7.0	IX	32000	3000
37.	Adapazarı-Hendek	20.6.1943	10	6.6	IX	2240	336
38.	Tosya-Ladik	26.11.1943	10	7.2	IX-X	25000	2824
39.	Bolu-Gerede	1.2.1944	10	7.2	IX-X	20865	3959
40.	Düzce	10.2.1944	10	5.4		900	
41.	Mudurnu	5.4.1944	10	5.6		900	30
42.	Gediz-Uşak	25.6.1944	40	6.2	VIII	3476	21
43.	Ayvalık-Edremit	6.10.1944	40	7.0	IX	1158	27
44.	Adana-Ceyhan	20.3.1945	60	6.0	VIII	650	10
45.	Van	20.11.1945	10	5.8		1000	
46.	Kadınhan-İlgın	21.2.1946	60	5.6	VIII	509	2

47.	Varto-Hınıs	31.5.1946	60	5.7	VIII	1986	839
48.	Harmancık	5.2.1949	40	5.2		150	
49.	İzmir-Karburun	23.7.1949	10	7.0	IX	824	1
50.	Karlıova	17.8.1949	40	7.0	IX	3000	450
51.	Kığı	4.2.1950	30	4.6		100	20
52.	İskenderun	8.4.1951	50	5.7		13	6
53.	Kurşunlu	13.8.1951	10	6.9	IX	3354	52
54.	Hasankale	3.1.1952	40	5.8	VIII	701	133
55.	Misis	22.10.1952	70	5.5		511	10
56.	Yenice-Gönen	18.3.1953	10	7.4	IX	9670	265
57.	Karaburun	2.5.1953	60	5.1		73	
58.	Edirne	18.6.1953	30	5.1		323	
59.	Kurşunlu	7.9.1953	40	6.4	VIII	230	2
60.	Aydın-Söke	16.7.1955	40	7.0	IX	470	23
61.	Eskişehir	20.2.1956	40	6.4	VIII	1219	2
62.	Fethiye	25.4.1957	80	7.1	IX	3100	67
63.	Bolu-Abant	26.5.1957	10	7.1	IX	4201	52
64.	Başköy	7.7.1957	60	5.1		300	
65.	Köyceğiz	25.4.1959	30	5.7	VIII	59	
66.	Hınıs	25.10.1959	50	5.0		300	18
67.	Bitlis	26.2.1960	40	4.0		80	
68.	Germencik	10.4.1960	40	4.4		100	
69.	Tokat	26.7.1960	40	4.6		22	
70.	Marmaris	23.5.1961	70	6.5		61	
71.	Muş	10.2.1962		4.0		97	
72.	İğdır	4.9.1962	40	5.3			1
73.	Denizli	11.3.1963	40	5.5		54	

74.	Çınarcık-Yalova	18.9.1963	40	6.3	VII	230	1
75.	Denizli	22.11.1963	60	5.1		298	
76.	Siirt	24.3.1964		4.0		100	1
77.	Malatya	14.6.1964	3	6.0	VIII	678	8
78.	Manyas	6.10.1964	24	7.0	IX	5398	23
79.	Denizli-Honaz	13.6.1965	33	5.7	VIII	488	14
80.	Karlıova	31.8.1965	33	5.6		1500	
81.	Varto	7.3.1966	26	5.6	VIII	1100	14
82.	Adana-Bahçe	7.4.1966		4.8		100	
83.	Varto	12.7.1966		4.0		90	12
84.	Varto	19.8.1966	26	6.9	IX	20007	2394
85.	Adana-Bahçe	7.4.1967	32	5.3		91	
86.	Adapazarı	22.7.1967	33	7.2	IX	5569	89
87.	Pülümür	26.7.1967	30	6.2	VIII	1282	97
88.	Akyazı	30.7.1967	18	6.0			2
89.	Amasya-Bartın	3.9.1968	5	6.5	VIII	2073	29
90.	Bingöl-Elazığ	24.9.1968	8	5.1			2
91.	Fethiye	14.1.1969	22	6.2		42	
92.	Gönen	3.3.1969	6	5.7		20	1
93.	Demirci	23.3.1969	9	6.1	VII	1100	
94.	Demirci	25.3.1969	37	6.0		1826	
95.	Alaşehir	28.3.1969	4	6.6	VIII	4372	41
96.	Karaburun	6.4.1969	16	5.6		443	
97.	Gediz	28.3.1970	18	7.2	IX	9452	1086
98.	Çavdarhisar-Kütahya	19.4.1970	18	5.9		41	
99.	Demirci	23.4.1970	28	5.7		150	
100.	Gürün	2.7.1970	19	4.8	VIII	150	1

101.	Burdur	12.5.1971	30	6.7	VIII	1389	57
102.	Bingöl	22.5.1971	3	6.7	VIII	5617	878
103.	Sarıkamış	22.3.1972	2	4.7		100	
104.	Ezine	26.4.1972	25	5.0		400	
105.	Van	16.7.1972	46	5.2		400	1
106.	İzmir	1.2.1974	31	5.2	VI	47	2
107.	Lıce	6.9.1975	32	6.9	VIII	8149	2385
108.	Kars-Susuz	25.3.1976	25	5.1	VI	762	2
109.	Doğu Beyazıt	2.4.1976	14	4.8	VI	236	5
110.	Ardahan	30.4.1976		5.0		300	4
111.	Denizli	19.8.1976		4.9	VII	887	4
112.	Çaldıran-Muradiye	24.11.1976	10	7.2	IX	9552	3840
113.	Lıce	25.3.1977	29	4.8		210	8
114.	Palu	26.3.1977	25	5.2		842	8
115.	İzmir	9.12.1977		4.8		11	
116.	İzmir	16.12.1977	24	5.3		40	
117.	Foça	14.6.1979		5.9		22	
118.	Antakya	30.6.1981	63	4.4		2	
119.	Muş-Bulanık	27.3.1982	38	5.2		424	
120.	Biga	5.7.1983	7	4.9		85	3
121.	Erzurum-Kars	30.10.1983	16	6.8	VIII	3241	1155
122.	Erzurum-Balkaya	18.9.1984	10	5.9		187	3
123.	Malatya-Sürgü	5.5.1986	10	6.8	VII	824	8
124.	Sürgü-Malatya	6.6.1986	11	5.6		1174	1
125.	Kars-Akyaka	7.12.1988	5	6.9		546	4
126.	Erzincan-Tunceli	13.3.1992	27	6.8	VIII	6702	653

2. BETONARME MÜHENDİSLİK YAPILARINDA DEPREM ETKİSİ İLE HASARIN OLUŞMA NEDENLERİ

2.1. Mimari ve taşıyıcı sistem tasarımının deprem etkisine uygun olmamasından,

2.1.1. Yumuşak kat oluşumu,

2.1.2. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışı,

2.1.3. Kısa kolon oluşumu,

2.1.4. Binalarda burulma etkisinin ortaya çıkması,

2.1.4.1. Planda kütle ve rijitlik merkezinin çakışmaması nedeniyle burulma etkisinin ortaya çıkması,

2.1.4.2. Dolgu duvarlarının bazı binalarda asimetri oluşturması,

2.1.5. Bloklar ya da ayrı kısımlar arasında dilatasyon derzlerinin yeterli olmaması,

2.1.6. Yeterli yanal rijitlik sağlanması için perde duvar kullanılmaması,

2.1.7. Merdiven-kat döşemesi birleşim bölgesinde meydana gelen hasarlar,

2.1.8. Düzensiz taşıyıcı sistem seçimi

2.1.9. Yapının, planda basit ve simetrik olmaması,

2.1.10. İstinat duvarında yatay yer değiştirme ile meydana gelen hasar,

2.1.11. Ani rijitlik değişimleri,

2.1.12. Yapı ağırlığının gereğinden fazla olması,

2.2. Boyut ve donatı yetersizliği, donatı detaylandırma kusurları,

2.2.1. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar,

2.2.2. Kiriş ve kolon donatılarının aderans boyunun yetersiz oluşu,

2.2.3. Kiriş ve kolonlarda yetersiz etriye kullanımı,

2.2.4. Kesiti ince uzun kolonlarda tek sıra etriye kullanılması ve ara donatıların çirozla bağlanmaması,

2.2.5. Kolonlarda diyagonal doğrultudaki basınç etkisi ile kesme kırılması hasarı,

2.2.6. Statik ve betonarme hesabın yetersiz olması,

2.2.6.1. Kirişlerde deprem etkisi gözönüne alınmaması nedeniyle mesnetlerde alt ve üst donatı yetersizliği,

2.2.6.2. Kullanım amacının zamanla değişmesi,

2.2.7. Donatı çizimlerinin yetersiz olması,

2.3. Denetimsizlik ve kötü malzeme kullanımı,

2.3.1. Bazı binalarda yeterli beton dayanımına ulaşılamaması,

2.3.1.1. Killi agrega nedeniyle,

2.3.1.2. Betonun karıştırılması ve sıkıştırılmasında yeterli özen gösterilmemesi,

2.3.2. Birleşim bölgelerinde karışım dışı malzemeye rastlanması,

2.4. Zemin koşullarının deprem hasarına etkisi,

2.4.1. Zemin tabakalarının deprem hareketinin yükseltgenmesi,

Sıvılaşma,

2.4.2. Yapıların rezonansı,

2.4.3. Gelişen göçmeler,

2.4.4. Titreşim enerjisinin yayılması,

2.4.5. Farklı oturmalar,

2.5. Yapının deprem yönetmeliği hiç olmadığı bir dönemde ya da yeterli deprem güvenliği sağlamayan eski tarihli bir yönetmeliğe göre yapılması,

2.6. Yapının hesap ve detaylandırılmasında tüm yönetmeliklere uyulmasına rağmen meydana gelen hasarlar,

2.6.1. Yapının ekonomik ömrü süresince beklenenden daha şiddetli deprem olması,

2.6.2. Yüzey tabakasında bölge topografyası ve jeolojik süreksizliklerin etkisi,

2.6.3. Doğal çevre koşullarının deprem etkisiyle yaptığı hasarlar,

2.6.3.1. Tsunami (Deniz taşması)

2.6.3.2. Bölgenin jeolojik yapısı ve yapının topografik konumu,

2.7. Taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasarlar,

2.7.1. Dolgu duvarda meydana gelen hasar,

2.7.2. Baca yıkılması,

2.7.3. Yapı iç ve dış kısımlarında estetik yapı elemanlarında kopma hasarları,

2.7.4. Duvar kaplamaları hasarı,

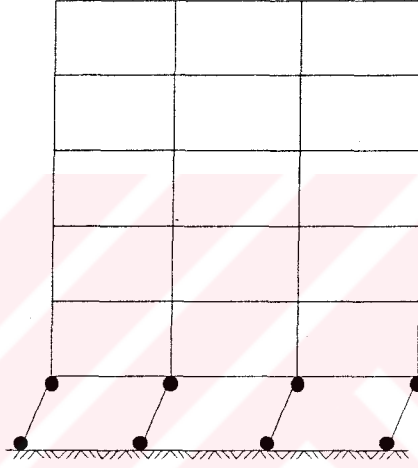
2.7.5. Pencere camları kırılma hasarı,

2. BETONARME MÜHENDİSLİK YAPILARINDA DEPREM ETKİSİ İLE HASARIN OLUŞMA NEDENLERİ

2.1. Mimari ve taşıyıcı sistem tasarımının deprem etkisine uygun olmaması

2.1.1. Yumuşak kat oluşumu

Eğilme etkisi altındaki kolonların sünekliliği, kirişlere oranla daha azdır. Şekil 2.1.'deki mekanizmada olduğu gibi gevrek olan kolonların büyük enerji tüketmeleri beklenmektedir.



Şekil 2.1. Zemin kat kolon uçlarında mafsallaşma

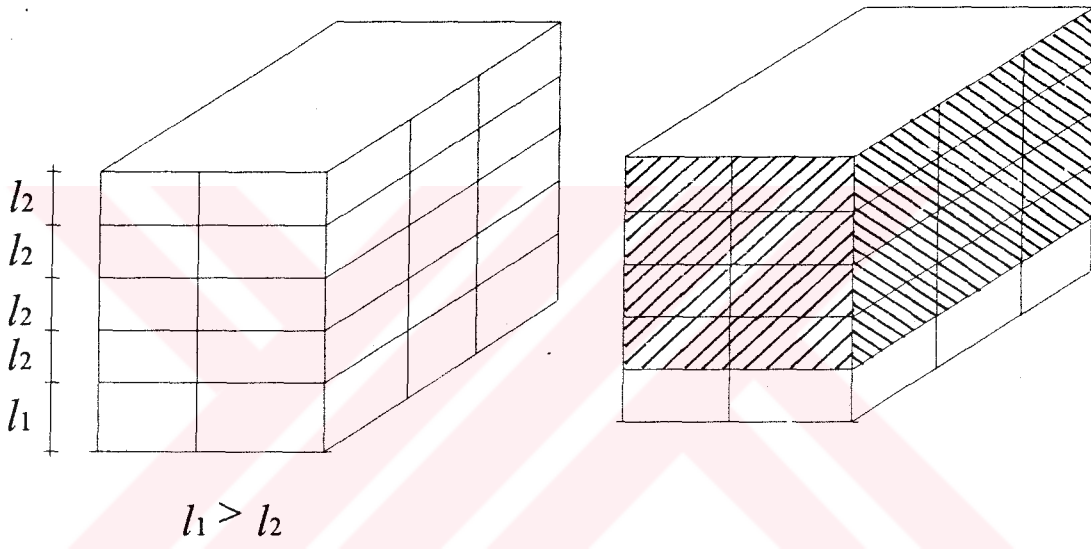
Bunun sağlanması olanaksız olmasa bile oldukça zordur. Kolonların bu düzeyde enerji tüketmesi sağlanmadığında, “yumuşak kat” oluşmasıyla zayıf kat kolonlarının kesilmesi tüm binanın göçmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarımında yumuşak kattan kaçınılması gerekir.

Yumuşak kat Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi iki nedenle oluşabilir.

a) Kat yüksekliklerinin farklı olması nedeniyle çok narin kolonlar oluşmasından,

b) Bazı binalarda zemin katın önemli bir kısmı ticari amaçla kullanılmaktadır. Üst katlara göre dış ve bölme duvarlarının sözkonusu katta az olması sonucu betonarme yapılarda göçme ve ağır hasara neden olan “yumuşak kat” oluşmaktadır.

Depremın yapılarda en etkili olduğu kısım zemin katlardır. Üst katlara gidildikçe deprem etkisi azalır. Bölme duvarları, esas taşıyıcı elemanlardan sayılmasalarda diğer elemanların rijitliğini artırarak dayanım artımına yardımcı olur. Bölme duvarlarının önemli ölçüde az olduğu zemin kattaki taşıyıcı sistem elemanları daha fazla zorlanmaktadır. Sözkonusu katta çok büyük gerilmeler ve yatay ötelenmeler oluşmaktadır. Birinci katın yapacağı rölatif



Şekil 2.2. Yumuşak kat oluşumları

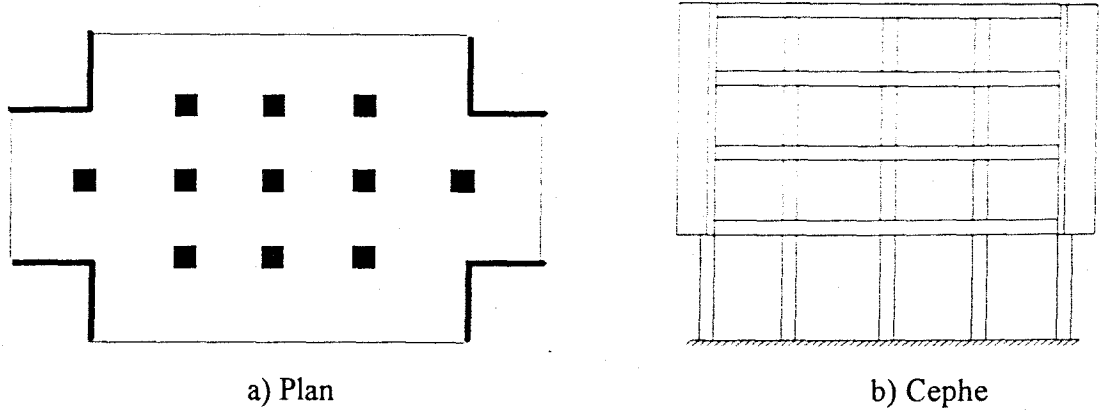
deplasman sonucu, ikinci mertebeden momentler oluşmaktadır ve zemin kat kolonlarının maruz kalacağı tesirler artmaktadır. Bu durumda, mafsallaşma tek katta yoğunlaştığından, yapı göçmese bile büyük yer değiştirmeler nedeni ile hasar büyük olacak ve onarım güçleşecektir. Bu nedenle, katlar arası yer değiştirmenin sınırlandırılması gerekmektedir.



Şekil 2.3. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde yumuşak kat oluşumu hasarı [4]

Yurdumuzdaki depremlerde, üst katlara göre dış ve bölme duvarlarının önemli ölçüde az olması, betonarme yapılarda göçme ve ağır hasara neden olmuştur. Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi, bazı yapıların boyu bir kat boyu kısalmaktadır. Bodrum ya da zemin katı yok olduğu halde üst katları sağlam kalmış bir çok yapı bulunmaktadır.

Ayrıca, üst katlarda dekoratif amaçla perde duvar yapılması ve perde duvarların zemin katta kesilmesi sonucu, zemin katta çok büyük gerilmeler ve yatay ötelenmeler oluşturmaktadır. Örneğin, 13 Mart 1992 Erzincan depreminde “yerle bir olan iki yapıda dört köşede düzenlenen L biçimindeki perdeler zemin kat düzeyinde aniden kesit boyutları oldukça küçük kolonlara dönüştürülmüştür.” [19](Şekil 2.4.)



Şekil 2.4. Ani rijitlik değişimi [19]

Şekil 2.1.'de gösterilen mafsal mekanizmasından bina göçmese bile aşırı yanal ötelenmeye neden olmuştur.(Şekil 2.5.) Bu tür hasarın en büyük sakıncası onarımın çok güç hatta çoğu kez olanaksız olmasıdır.



Şekil 2.5. Zemin kat kolonlarında mafsallaşma [19]

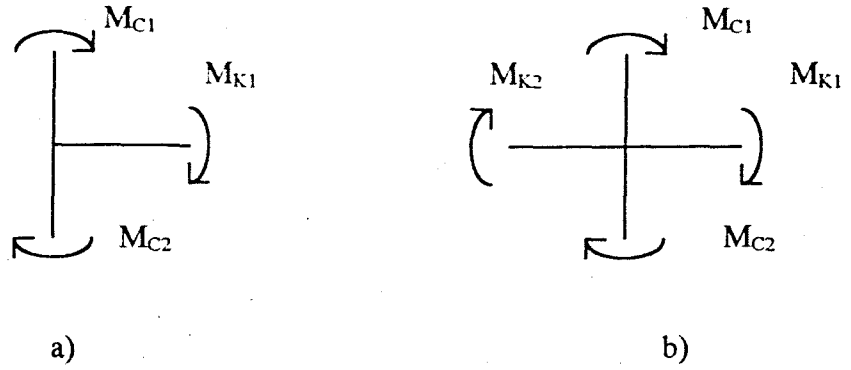
2.1.2. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon davranışı

Betonarme çerçeveli yapıların gereken sünekliliğe ulaşamamasında, süneklilik için çok gerekli olan kuvvetli kolon-zayıf kiriş davranışı yerine, kuvvetli kiriş- zayıf kolon düzenlemesi oluşturulmasıdır. Bu tür binalarda kolon kesit boyutları küçük seçildiğinden, kolonlar oldukça narindir. Kirişler ise tam tersine gereğinden de derin yapılmıştır. Bunun nedeni, kiriş boyutlarının pencere boşluklarına uydurulmasıdır. Kolon kesit boyutlarının küçük ve kiriş derinliklerinin fazla olması nedeniyle “kuvvetli kiriş- zayıf kolon” davranışı oluşturulmasıdır. Hasar çok sünek olan kirişler yerine, sünekliliği az olan kolonlara kaydırılmıştır.



Şekil 2.6. Kuvvetli kiriş - zayıf kolon [19]

Plastik mafsalların, gevrek kolonlar yerine, sünek kirişlerde oluşabilmesi için bir düğüm noktasındaki kolonların moment taşıma güçlerinin toplamı, bu bölgeye saplanan kirişlerin(kirişsiz döşemelerde döşeme şeritlerinin) taşıma güçlerinin toplamından en az %20 büyük olması gerekir. Şekil 2.7.'de bir düğüm noktasındaki momentler gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kolon-kiriş düğüm noktalarında hesaplanan taşıma gücü momentleri

Şekilde gösterilen momentler hesapla bulunan momentler değil, tasarımda oluşturulan boyutlar ve donatıya göre hesaplanan taşıma gücü momentleridir. Sağlanması gereken koşul aşağıda verilmiştir.

Dış düğüm noktası

$$(M_{c1}+M_{c2}) \geq 1.2 M_{k1}$$

İç düğüm noktası

$$(M_{c1}+M_{c2}) \geq 1.2 (M_{k1}+M_{k2})$$



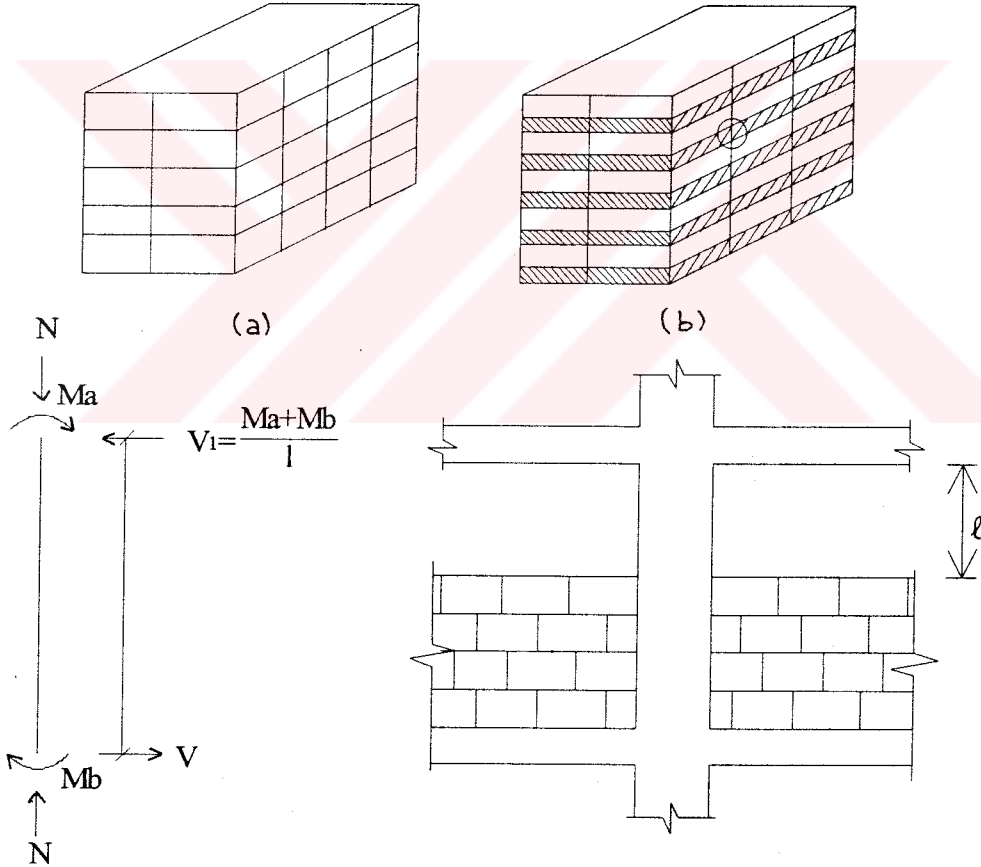
Şekil 2.8. Kirişte mafsallaşma örneği (Dinar Lisesi) [27]

Bu suretle plastikleşmenin, önce kirişte başlaması ve göçme mekanizması kontrol edilerek büyük hasarın önlenmesi amaçlanır. Kirişlerdeki mafsallaşmaya örnek 1995 Dinar depreminde Dinar Lisesi'nden görülmektedir. (Şekil 2.8.) Koşul sağlanmadığında, mafsallaşmanın gevrek davranışlı kolonlarda oluşması kaçınılmaz olmaktadır.

Taşıyıcı sistemde kolonlar çok zayıf olduğundan, genelde birleşim bölgesinin zayıflığı (yetersiz etriye kullanımı) bir sorun çıkarmamaktadır. Ancak, kolonlar dayanabilseydi, etriyesiz birleşim bölgeleri davranışı mutlaka olumsuz yönde etkileyecekti.

2.1.3. Kısa kolon oluşumu

Türkiye'de meydana gelen birçok şiddetli depremde kısa kolon oluşmasından kaynaklanan hasarlar görülmektedir. Genelde mimariden kaynaklanan, özellikle alt katların dolgu



Şekil 2.9. Kısa kolon Oluşumları

duvarlarında kolondan kolona uzanan bant şeklinde pencere boşlukları bırakılmaktadır. Bu tür düzenlemede dolgu duvarlarının, kolonun deformasyonunu önlemesi nedeni ile kolonlar kısa kolonlara dönüşmektedir. (Şekil 2.9.)

Ayrıca kısa kolon oluşmasına, kat yüksekliğine ulaşmayan kapıların üzerine yerleştirilen lento tipindeki bağlantılar, mimari nedeni ile yapıya girişlerde kattaki kiriş yüksekliğini bozan düşük kottaki kiriş ve yüksek kotlardaki sahanlık ve kiriş bağlantıları ile rijit bağlı merdiven plakları sebep olurlar. (Şekil 2.10.)



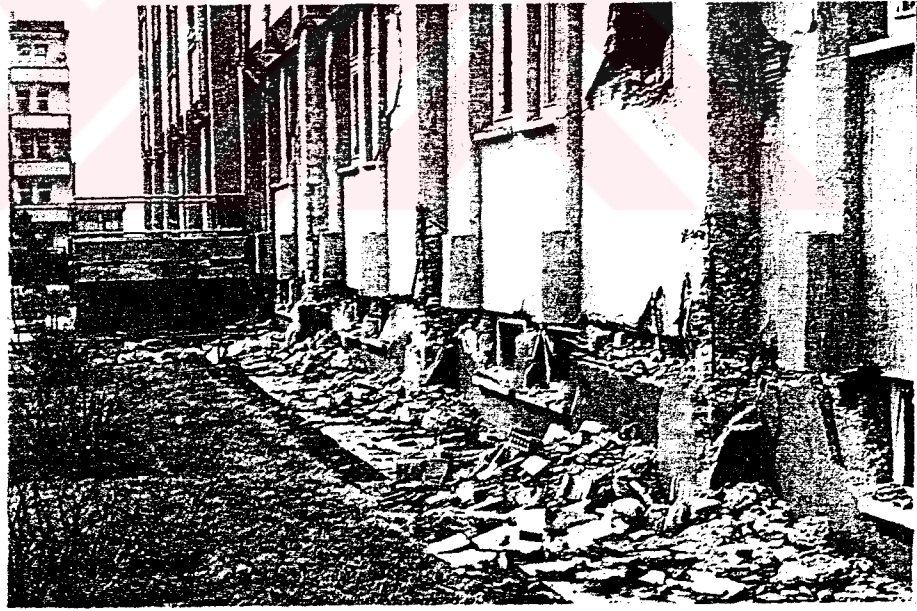
Şekil 2.10. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde kısa kolon hasarı [4]

Bilinçli ya da bilinçsiz kısaltılan kolonlar, artan rijitlikleri dolayısı ile daha fazla deprem yükü alırlar ve kesme kuvveti etkisi ile ağır hasar görmektedir. Kolonların projelendirilmesinde bu husus gözönüne alınması gerektiği halde alınılmamaktadır.

Kısa kolonlarda, kesme kırılması oluşmaktadır. Bu tür kırılmayı önlemek oldukça zordur. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelikte de kısa kolon oluşturulmasından kaçınılması tavsiye edilmektedir. Ancak zorunlu durumlarda, iki tedbirden birinin uygulanması önerilmektedir.



a)



b)

Şekil 2.11.a-b Kısa kolon çalışması hasarı [4]

a) Kolon, boydan boya sarılma bölgesindeki gibi, enine donatı ile sarılmalıdır. Bu durumda, kolon boyunun kısılması nedeni ile artan rijitliği, kat kesme kuvvetlerinin dağılımı ve periyod hesaplarında dikkate alınmalıdır.

b) Dolgu duvar ve çerçeve arasında boşluk bırakılarak (kolayca ezilebilen dolgu malzemesi kullanılarak) çerçevenin dolgu duvardan bağımsız davranması sağlanmalıdır.

Şekil 2.11.'te alt kat dolgu duvarında bant şeklinde pencere boşlukları oluşturulmasından meydana gelebilecek kısa kolon çalışması hasarı görülmektedir.

2.1.4. Binalarda burulma etkisinin ortaya çıkması

Taşıyıcı sistemler üç boyutlu olup, bazı simetri özelliklerinden yararlanılarak düzlem çerçeve olarak incelenebilir. Bu durumda, düzlem çerçevede görülmeyen burulma etkisi ortaya çıkar. Burulma etkisinde, katlar öteleme hareketi yanında dönme hareketi de yaparlar. Burulma etkisinin ortaya çıkmaması için teorik koşul, rijitlik merkezi ile deprem etkisinde kütle merkezinin üst üste düşmesidir. Deprem ivmesi ve yapının kütesine bağımlı olarak ortaya çıkan yatay deprem kuvvetlerinin bileşkesi kütle merkezinden geçer. Bu kuvvetler, yatay yük taşıyıcı düşey elemanlarca, o elemanların yatay rijitlikleri ile orantılı olarak paylaşılıp temele aktarılır. Her elemanın aktarmakta olduğu kesme kuvvetlerinin bileşkesi, rijitlik merkezinden geçer. Kata etkiyen dış kuvvet kat rijitlik merkezinden geçiyorsa, dönme olmaksızın sadece öteleme yer değiştirmesi meydana gelir. Kolonlardaki kesme kuvveti, kat kesme kuvveti ve kat burulma momentinden meydana gelmek üzere iki bölümden oluşur.

1975 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar yapılar hakkında yönetmeliğin 13.6 ıncı maddesinde, "Yatay burulma momenti; binalar, heriki doğrultuda herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında hesapla bulunan eksantrikliğe, yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki en büyük bina boyutunun %5'i eklenerek bulunacak burulma momentlerine göre irdelenecektir" şeklinde tanımlanmaktadır. Binalar simetrikte olsalar, yine %5 eksantrisite varlığının kabul edileceği ön görülmektedir. Bir binada eksantriklik, kolonların simetrik yerleştirilmemesinden ve kütlelerin üniform dağılmamasından meydana gelir. Ayrıca kütle merkezinin yeri, kattaki sabit ve hareketli yüklerin kütle dağılımına da bağlıdır.

Hareketli yüklerin değişken olmasından dolayı, kütle merkezinin yerini kesin olarak belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle, kütle ve rijitlik merkezinin üst üste düşmesi hemen hemen hiç gerçekleşmez. Kütle merkezi, yaklaşık olarak döşeme altındaki kolon ve perdelerle gelen normal yüklerin veya döşemeyi meydana getiren alan parçalarının ağırlık merkezi olarak kabul edilir.

Şiddetli deprem altında, deprem dalgalarının binada yayılışı gayri simetrik olabileceği gibi malzeme akma sınırına kadar zorlanacağından, kolon uçlarında oluşabilecek mafsallar aynı anda oluşmayabilir. Böylece, kütle ve rijitlik merkezi çakışan binalarda da depremde eksantrisite meydana gelebilir.

Yukarıda belirtilen nedenlerle, yönetmelikte simetrik binalarda da minimum %5 eksantrisite kabul edilmesini ve eksantrikliği olan binalarda da bina genişliğinin %5'i kadar ilave yapılması öngörülür.

Taşıyıcı sistemde, burulma momentinden meydana gelecek ek etkilerin azaltılması için, planda rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakıştırılmasına önprojelendirme döneminden başlayarak çaba harcanmalıdır. Bu amaçla, gerekirse taşıyıcı sistem planda derzlerle düzgün dikdörtgen kısımlara ayrılabilir.

2.1.4.1. Planda kütle ve rijitlik merkezinin çakışmaması nedeniyle burulma etkisinin ortaya çıkması

Deprem ivmesi ve yapının kütlelerine bağlı olarak ortaya çıkan deprem kuvvetlerinin bileşkesi yapı kütle merkezinden geçer. Rijitlik merkezi ise, yapıdaki yatay yük taşıyıcı düşey elemanların aktarmakta olduğu kesme kuvvetleri bileşkesinin geçtiği noktadır. Bu iki merkezin çakışmaması durumunda, yapıya gelen deprem kuvvetleri yapının düşey bir eksen çevresinde burulmasına yol açar. Rijitlikleri ile orantılı kuvvet alan taşıyıcı elemanlar, rijitlik merkezine olan uzaklıklarına göre, burulma momentinden meydana gelen etkileri de almaya başlar. Bu nedenle, bazı düşey taşıyıcı elemanlar büyük ölçüde zorlanır.

Yapılarda perde duvarları genellikle asansör boşlukları veya merdivenlerin çevrelerine yerleştirilmektedir. Yapı planında simetrik konumda olmayan ve kütle merkezi ile rijitlik

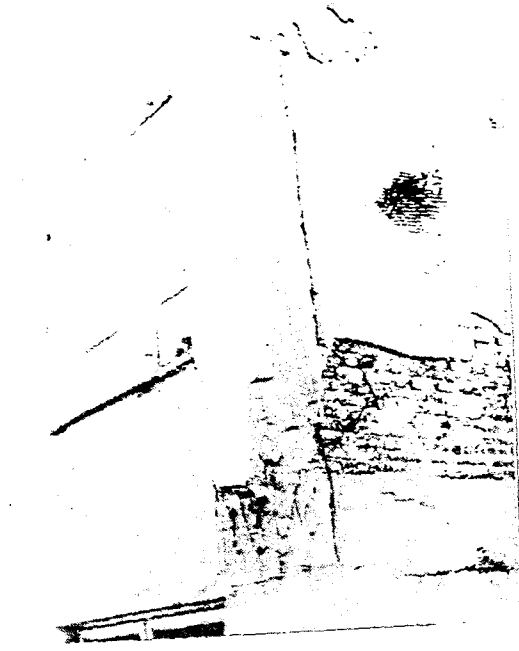
merkezi çakışmayan yapılarda deprem sırasında burulma etkilerinden ağır hasar meydana gelmektedir.

1967 Adapazarı Depreminde Sakarya Vilayet Konağı'nda perde duvarların yapının merkezinde olmayan, merdiven kenarında ve asansör boşluğu çevresinde olması, yapıda burulma etkileri doğurmuş ve bu durum yapının depremde gördüğü hasarda büyük rol oynamıştır.[7]

Asansör boşluğu ve çevresinde perde duvar yerleştirilmiş ve simetrik konumda değilse, yapıda burulma etkisinin oluşmasını önleyecek ve yapı rijitlik merkezi ile kütle merkezinin birbirine çok yakın olmasını sağlayacak başka perde duvarlar da konulmalıdır. Ayrıca perde duvarların, yapı dış kısımlara yakın yerleştirilmesi, yapının tüm plan kesitinin burulma rijitliğini artırarak deprem etkilerinin daha düşük düzeyde kalmasını sağlar.

2.1.4.2. Dolgu duvarlarının bazı binalarda asimetri oluşturması

30 Ekim 1983 Erzurum Depremi'nde, taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve olan Narman Hükümet Konağı'nın yan cephelerinde farklı kalınlık ve rijitlikte dolgu duvar teşkil edilmek sureti ile burulma eksantrikliği büyütülmüştür. Binanın sol yan cephesinde, bu yüzden önemli deplasmanlar meydana gelmezken, sağ yan cephesinde büyük deformasyonlar oluşmuş ve detay hatalarının da eklenmesiyle binada ağır hasar meydana gelmiştir. (Şekil 2.12-2.13.) Bunun sonucu, bir taraftan çerçevede bu noktaların maruz kaldığı zorlamaların büyük olması, diğer taraftan da çerçeve gözünü tamamen dolduran tuğla dolgu duvarının diyagonal doğrultularda basınç çubuğu gibi çalışarak düğüm noktasına büyük yatay kuvvetler aktarması bu noktaları söktürmesi şeklinde ağır ve önemli hasar ortaya çıkarmıştır. Bu tür hasarlar, dolgu duvarlarının doldurduğu gözlerin dört köşesinde, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, kenar düğümlerde ve alt katlarda daha büyük ölçüde meydana gelmiştir. Hasarın bu şekilde oluşması, düğüm noktalarının bir tarafından irtibatlı olması yüzünden daha zayıf, alt katlarda deprem kesme kuvvetlerinin ve momentlerin daha büyük şiddetle olması ile açıklanabilir. [17]



Şekil 2.12. Duvarın diyagonal doğrultudaki basıncı ile etriyesiz teşkil edilmiş köşenin, kesme kuvvetini karşılamayarak dağılışı[17]



Şekil 2.13. Duvarın kayma deformasyonları bariz olarak gözlenebiliyor.[17]

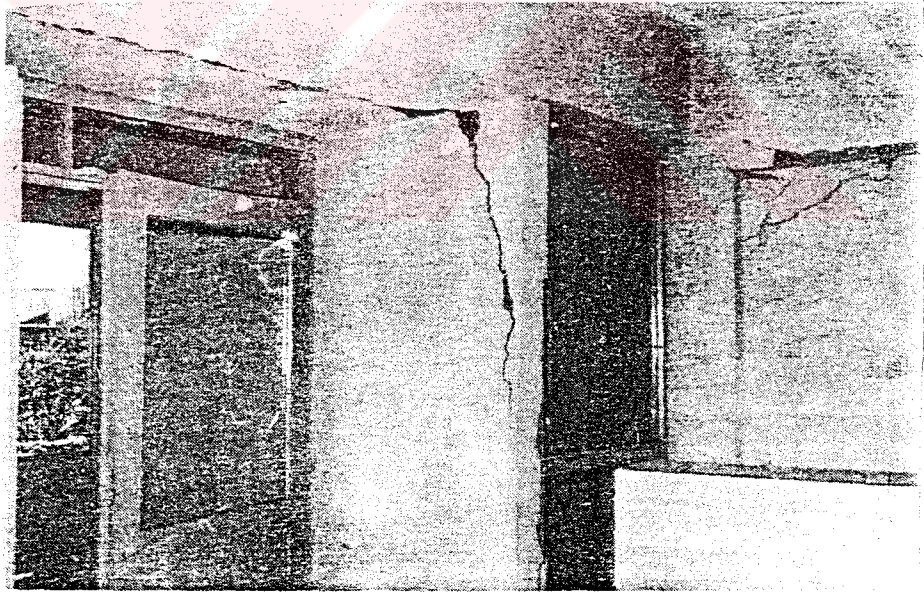
2.1.5. Bloklar ya da ayrı kısımlar arasında dilatasyon derzlerinin yeterli olmaması

Çok katlı binalarda deprem hasarlarının bir bölümü, genişleme derzi ile ayrılmış veya bitişik nizamda inşa edilmiş binaların çarpışması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bitişik nizamlı yapılarda binaların mimari ve taşıyıcı sistem açısından farklılıklar olması, farklı dinamik özellikler oluşturmaktadır.

Yapıların kat düzeyinde kütle farklılaşması, yapı yükseklik farkları ve kat döşemeleri farklı düzeyde olan bina çerçeveleri nedeniyle titreşim periyotları farklı olan bitişik binaların deprem sırasında birbirine eş olmayan salınımlar yaparak çarpışmalarına sebep olmaktadır. Şekil 2.14.'de 13 Mart 1992 Erzincan depreminde farklı yükseklikte ve kat düzeyleri birbirine eş olmayan binalardaki çarpışma ve daha rijit olan kısa yapıların uzun yapılara kat hizalarında yaptığı hasar görülmektedir. Çarpışma süresince iki sistem birbirine enerji aktarmaktadır.



Şekil 2.14. Farklı yükseklikte bitişik binalarda çarpışma hasarı[19]



Şekil 2.15. Narman Hükümet Konağı'nda iki ayrı blok çarpışma ve sürtünmesinden ayrılma ve ufalanma hasarı [17]

30 Ekim 1983 Erzurum depreminde Narman Hükümet Konağı'nda iki ayrı blok çarpışması ve sürtünmeden ayrılma ve ufalanmalar meydana gelmiştir. Şekil 2.15.'de blok çarpışması ve sürtünmesinden meydana gelen hasar görülmektedir.



Şekil 2.16. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde Hükümet Caddesinde çarpışan binalar[4]

2.1.6. Yeterli yanal rijitlik sağlanması için perde duvar kullanılmaması

Yapıların deprem yükleri altında yeterli performansı ve güvenliği, gerekli dayanım, rijitlik ve süneklik koşulları ile sağlanabilmektedir. Bu faktörlerin herhangi birisindeki farklılaşım yapının davranışı ve dinamik karakteristiklerini önemli ölçülerde değiştirecektir. Özellikle deprem etkilerinin çok önemli olduğu bölgelerde katlar arası rölatif deplasmanların sınırlandırılması ikinci mertebe etkilerin kontrolü bakımından gerekmektedir. Yanal deplasmanlar yapılarda ancak yanal rijitliği büyük yapı elemanları ile azaltılmakta ve kontrol edilmektedir.[11] Betonarme perdeler, yapılarda yanal rijitliğin ve dayanımın artırılması amacıyla oluşturulan ekonomik elemanlardır. Perdeler, yatay yüklerden oluşan eğilme

momenti, kesme kuvveti ile düşey yüklerden meydana gelen normal kuvvet etkisi altındadır. Ayrıca, bölme duvar görevi yapması da ekonomik bir eleman olmasını sağlar.

Yapı taşıyıcı sisteminde çekirdeklerin planda kenara yerleştirilmesinde gözlenen hasar, kenardaki çekirdek ile döşemeler arasında yırtılmalar olabilmektedir. Yapı planında binanın ortasında ve simetrik konumda bulunan boşluklu perdeler genellikle iki sıralı derin kirişlerle birbirine bağlanır. Çekirdekler arasındaki bağlantı kirişlerinde yapı yüksekliği boyunca onarılabilir kesme hasarı görülebilmektedir. Kirişlerde fazla miktarda boyuna donatı gözönüne alındığında, kiriş uçlarında eğilme mafsallarının oluşturulması güçleşmektedir.

Katlar arası deformasyonu azaltan, böylece hasar kontrolüne olanak sağlayan sünek perde duvarları kullanılarak bina maliyetinin önemli bir yüzdesine sahip olan mimari elemanların hasar düzeyi azaltılabilir.

1992 Erzincan depreminde, projesi Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ya da Milli Savunma Bakanlığı tarafından yaptırılmış konut ve lojman tipi yapılarda deprem hesabı ekonomik olmayan kolon ve kiriş boyutları çıkardığı için tasarımcılar deprem yüklerini en ekonomik olarak taşıyan perdeli-çerçevesiz taşıyıcı sistemlere yönelmek zorunda kalmışlardır.[11]

Bazı binalarda zemin katın ticari amaçla açık çerçeve olarak bırakılması ile binaların alt kat rijitlikleri üst katlara göre daha zayıf kalmaktadır. Deprem yükleri altında bu kat düzeyindeki kolon stabilitesini kaybeden pek çok yapıda yumuşak kat oluşumu ortaya çıkmıştır. Bu bölgesel yumuşaklık perde duvar kullanımı ile giderilebilir. Ülkemizdeki depremlerde yapılarda yumuşak kat oluşumu ile pek çok bina çökmüş veya ağır hasara uğramış ve onarımı imkansız hale gelmiştir.

Kirişsiz döşemeli yapılarda döşeme ve kolonların oluşturduğu çerçevelerin yatay yüklerle karşı çoğunlukla yeterli rijitlik sağlayamadıkları için, deprem perdeleri ile yapının rijitleştirilmesi uygundur.[14]

Yapıların yatay yükler altındaki rijitliğini artırmak için deprem perdeleri yapılmalıdır. Ancak, yapının yatay yükler altında çok rijit davranmaması ve sünek davranış ile deprem etkilerinin sönümlenmesi istenilmektedir.

13 Mart 1992 Erzincan depreminde, Ulular Okulu'nda perde duvar oranının %1.3 olduğu yönde taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan hiçbir elemanda hasar gözlenmemiş, buna karşın perde duvar oranının %0.5 olduğu yönde perde duvar ve bölme duvarlarda ağır hasar oluşmuştur. Ancak, bu yöndeki çerçevelerde önemli bir hasar gözlenmemiştir. Söz konusu binanın donatı detayı ve yapım kusurları bakımından diğerlerinden pek farklı olmadığı gözönünde bulundurulursa, perde duvarın ne denli olumlu bir etki yaptığı açıkça görülür.[20]

Kolon ve perde kesitleri, taşıyıcı sistemin iki doğrultudaki rijitliğini birbirine yaklaştıracak şekilde belirlenmelidir. Böylece, iki yöndeki deprem etkisinin uyumlu olarak mukavemeti sağlanır.

13 Mart 1992 Erzincan depreminde bazı perdeli-çerçevesel yapılarda perde duvar ve narinlik oranları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Perdeli çerçevesel yapıların narinlik ve perde oranları [11]

Yapı cinsi	Proje Yılı	Narinlik Oranı		Perde Duvar Oranı %	
		Kısa Yön	Uzun Yön	Kısa Yön	Uzun Yön
1102B Sosyal Konut	1975	1.93	0.90	0.435	0.317
MSB Lojmanı	1982	1.25	0.71	0.664	0.722
10227 Lojman	1975	1.48	0.76	2.33	1.07
11181 Lojman	1989	1.53	0.75	0.69	0.42

Milli Savunma Bakanlığı lojmanı dışındaki yapıların projeleri Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Mesken (1102b tipi) ve yapı işleri genel müdürlükleri tarafından geliştirilmiştir. Bu yapıların hepsi, 5 katlı olup yükseklikleri 14.00 m ile 15.70 m arasında değişmektedir. Narinlik oranları ise yükseklik/o yöndeki derinlik olarak hesaplanmıştır.[11]

Kat plan alanının %0.40'ü kadar perde duvarı bulunan 5 katlı betonarme yapıların bile hemen hemen hiç hasar görmemesi çok az miktarda bile olsalar perde duvarların depreme karşı son derece etkili oldukları bir kez daha kanıtlanmıştır.[11]

Ülkemizdeki yapıların tasarım ve yapımı aşamasında görev yapanların eğitim düzeyi, anlayış ve yaklaşımları dikkate alınarak yapılabilecek hatalar tolere edilmelidir. Bu nedenle çerçeve

türü taşıyıcı sistemler tasarlanırken iki yönde yeterli rijitliğe sahip perde duvarları oluşturulmalıdır. Ayrıca perde duvarlarının, heriki yöndeki rijitliği birbirine yakın olmalıdır. Perde duvarlı yapılardaki hasar düzeyi çerçevesel binadaki gibi genel göçme durumunda oluşmamakta ve hasar onarılabilir düzeyde kalmaktadır.

2.1.7. Merdiven- kat döşemesi birleşim bölgesinde meydana gelen hasarlar

Deprem yükleri altında merdivenler diyagonal kiriş gibi çalışırlar. Bu nedenle merdivenlerin bulunduğu akslar, çerçevelerin en rijit kısımlarıdır. Yapılarda deprem yükleri altında taşıyıcı çerçeve elemanlara gelen kuvvetler eleman rijitlikleri ile orantılıdır. Merdivenlerin bulunduğu akslar, depremde büyük yatay kuvvetler etkisindedir. Deprem yükleri etkisinde diyagonal kiriş gibi çalışan merdiven elemanlarında çekme kuvvetleri oluşur ve büyük hasarlar meydana gelebilmektedir.

30 Ekim 1983 Erzurum depreminde, betonarme çerçevesel Narman Hükümet Konağı'nda merdivenlerin kat döşemeleri ile birleşim yerlerinde hasar gözlenmiştir. (Şekil 2.17.)



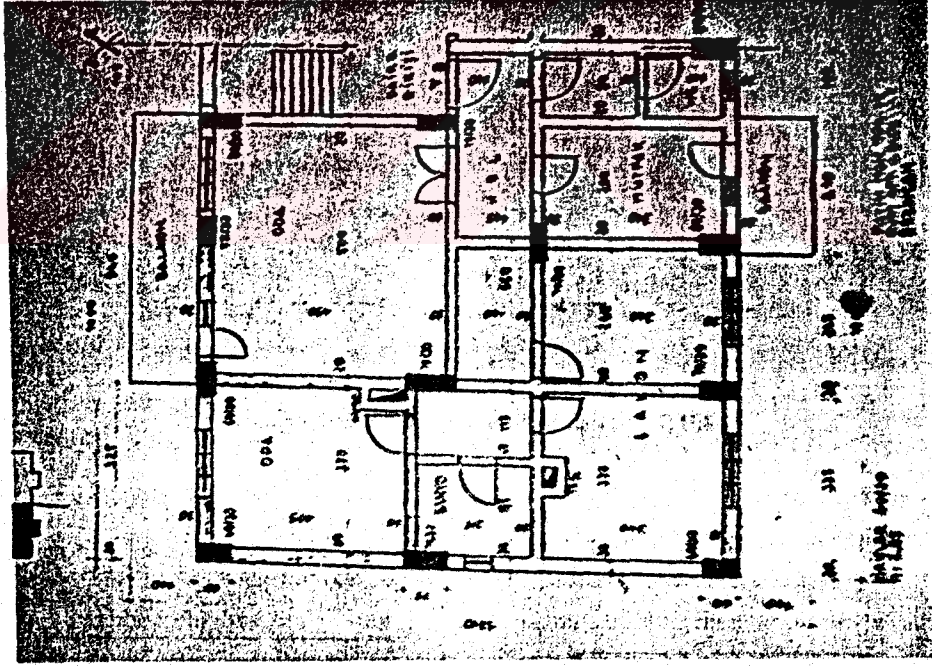
Şekil 2.17. Merdiven-kat döşemesi birleşim bölgesinde meydana gelen hasar [17]

Merdiven döşemesi-kat tabliyesi birleşim yerlerinde donatıların sürekliliğine, yeterli aderans ve ankrajına, betonun sıklığına ve birleşim yerlerinin sağlamlığına itina gösterilmelidir.

Yapıların deprem anında güvenle ve kısa sürede boşaltılabilmesi için, merdiven elemanların hasar görmemesi gerekir. Bu hasarı önlemek için, merdivenlerin bir ucundan çerçevelere ankastre, diğer uçlarından kayıcı mesnetli olarak yapılmalıdır. Bir başka çözüm yolu ise, merdivenlerin bulunduğu kısımları yapıdan derzlerle ayırarak ayrı bloklar halinde tasarlanmalıdır. Ayrı blok olarak tasarlanan merdivenler, ana yapının depreme karşı mukavemetinden daha yüksek bir mukavemete sahip olacak şekilde hesaplanmalıdır. Ancak, deprem derzleri ile merdivenlerin ana yapıdan ayrılması maliyeti artırmaktadır.

2.1.8. Düzensiz taşıyıcı sistem seçimi

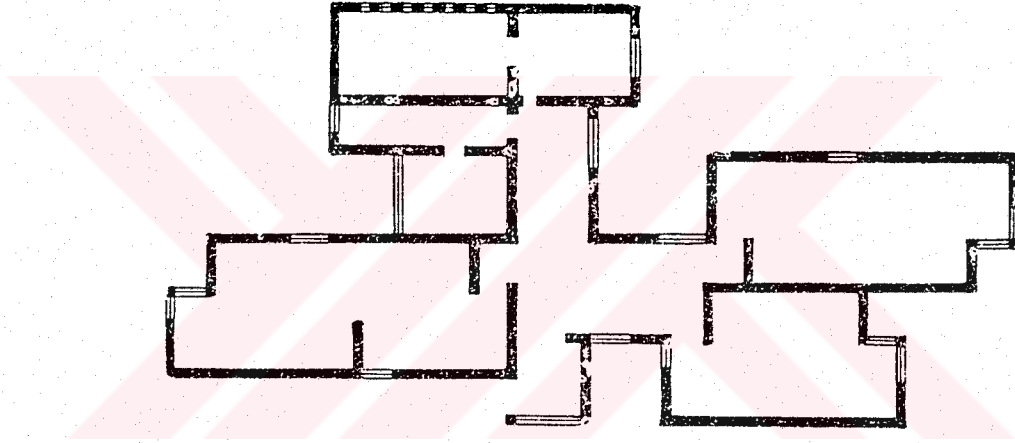
Ülkemizde deprem yükü etkisinde hasarlı bir çok yapıda yatay yüklere karşı çerçeveler tam olarak oluşturulmamıştır. 1992 Erzincan Depreminde de “ Binaların birçoğunda çerçevelerin sürekli olmasına hiç bir özen gösterilmemiştir. Mimariye uyabilmek için çerçevelerin kesilmesinde, kolonların eksenden kaydırılmasına ve kirişlerin kolonlara eksantrik oturtulmasında hiç bir sakınca görülmemiştir.” [19] (Şekil 2.18.)



Şekil 2.18. Düzensiz taşıyıcı sistem seçimi [19]

2.1.9. Yapının, planda basit ve simetrik olmaması

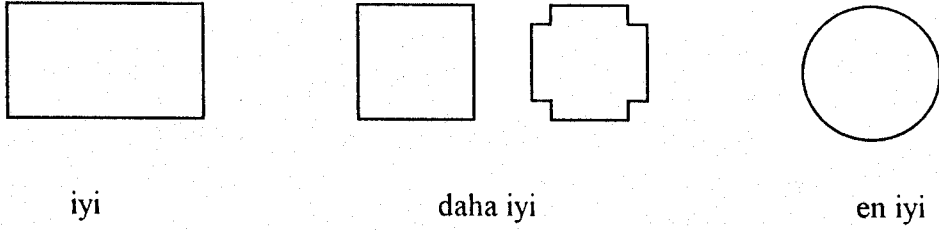
Deprem açısından en uygun yapı planı daire veya kare olan yapılardır. Bu tür yapılar, simetrik oldukları için, her yönde aynı oranda deprem kuvvetlerine maruz kalırlar ve aynı ölçüde rijitliğe sahiptir. Planı dairesel olan yapı en ideali olmakla beraber analizi güç ve mimari kullanım açısından uygun değildir. Kareye yakın dikdörtgen planlı yapılar basitlik ve simetri açısından uygundur. Basit ve düzenli yapıların yapımı kolay ve yapımda hata yapma olasılığı azdır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ilave olarak ortaya çıkan burulma etkilerini gözönüne almak uzun işlemler gerektirir. Üç boyutlu çerçeve hesapları ile burulma etkisi hesaplara katılabilirse de düşey taşıyıcı elemanlarda kesit boyutlarının artmasına sebep olmaktadır.



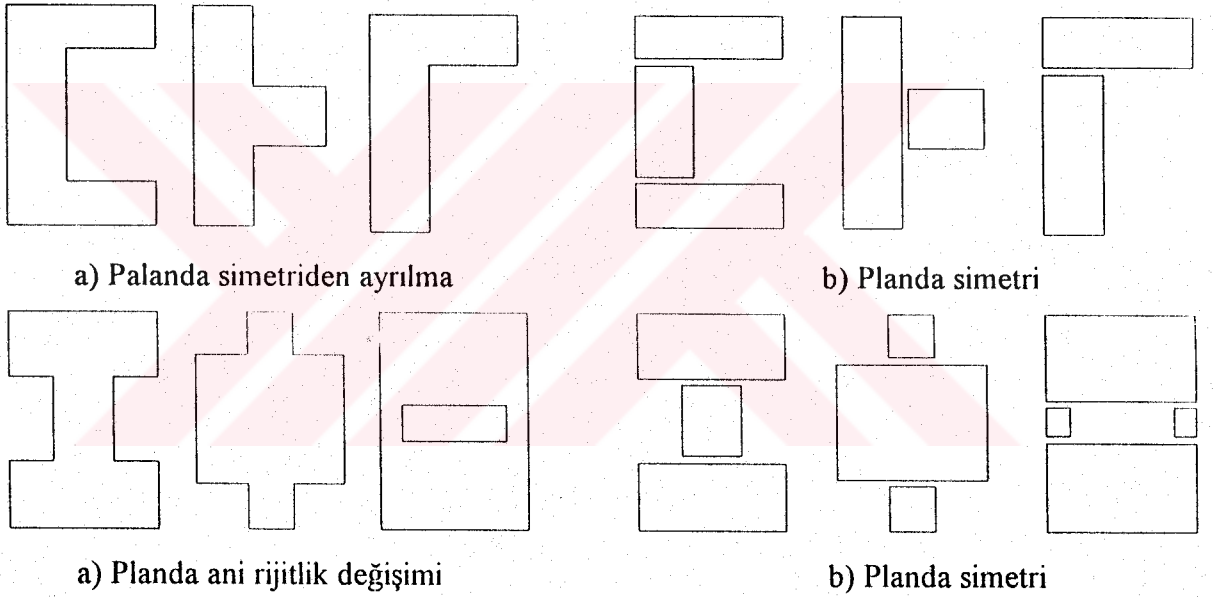
Şekil 2.19. 1966 Varto depreminde enkaz haline gelmiş yapının planı görülmektedir.[10]

L,T,H,U,Y gibi plan konumları olan yapılarda deprem yükleri etkisinde burulma etkileri oluşabilmektedir. Bu tür yapılarda, rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakışmaması, düşey taşıyıcı elemanları ilave burulma momentlerine maruz bırakmaktadır. Bazen simetri de yeterli olmayabilir. Örneğin, + şeklinde yapı simetrik olmasına rağmen, düzensiz bir yapı kabul edilir. Planda simetrik olmayan ve düzensiz yapıların depremde hasar görme olasılığı fazladır. Binaların dış kısmına ve binaya bağlı olarak düzenlenen merdiven ve asansörler,

rijitlik ve kütle merkezinin birbirinden uzaklaşmasına sebep olur. Mimari zorunluluklar binanın simetrik düzenlenmesini imkansız kılar ise bu durumda yapı planda basit parçalara bölünebilir.



Şekil 2.20. Deprem açısından iyi yapı biçimleri gösterilmektedir.



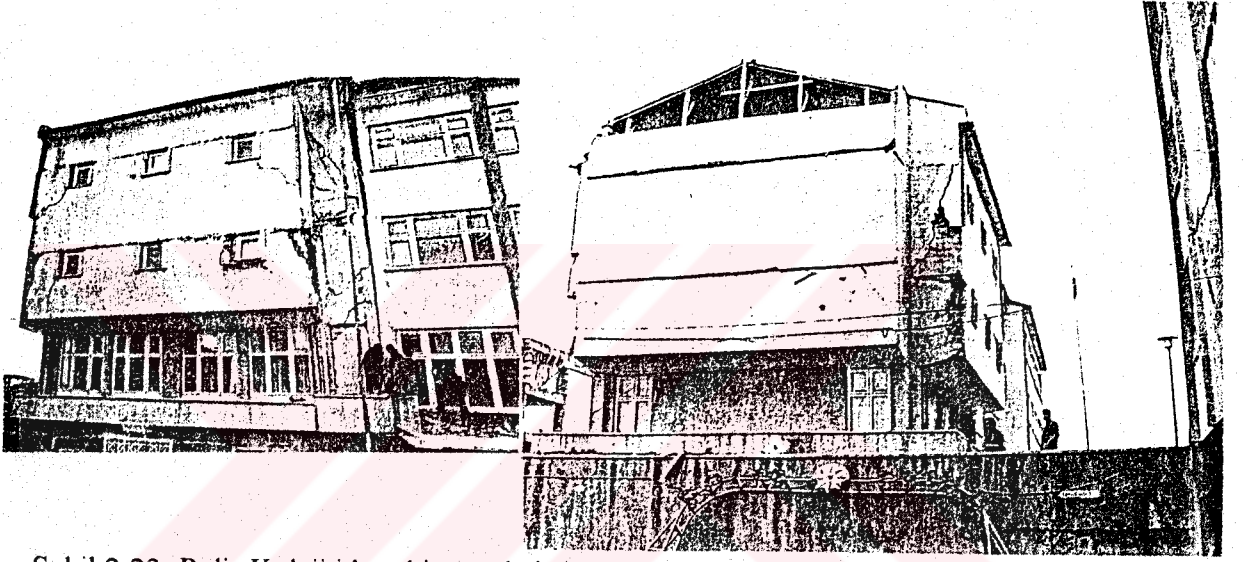
Şekil 2.21-22. Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı planları görülmektedir.[14]

2.1.10. İstinat duvarında yatay yer değiştirme ile meydana gelen hasar

Deprem sırasında meydana gelen zemin itkisi ile istinat duvarlarında atalet kuvvetleri oluşur. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliğe göre istinat duvarları ve palplanş perdeleri , “toprak basınçları hesabında zemin kayma mukavemeti açısı, linci ve

2inci deprem bölgelerinde 6 derece, 3üncü ve 4üncü deprem bölgelerinde 4 derece azaltılacaktır.” Böylece çoğu zaman önemsenmeyen ve deprem etkisinde boyut kontrolü yapılmayan istinat duvarında küçük şiddetli depremlerde bile önemli yatay yer değiştirmeler meydana gelmektedir.

13 Mart 1992 Erzincan depreminden sonra Polis Koleji idare binasının yakınında bulunan istinat duvarında yatay yer değiştirmeler meydana gelmiştir. İstinat duvarı deprem sırasında yaklaşık 4 cm dışa doğru hareket etmiş ve 2 m yakınında bulunan binada tamiri mümkün olmayan önemli kaymalara neden olmuştur.[4]



Şekil 2.23. Polis Koleji idare binasında istinat duvarındaki kaymadan dolayı meydana gelen hasar [4]

2.1.11. Ani rijitlik değişimleri

Yapılarda alt kattan başlayıp üst katlara doğru ağırlık ve rijitlikte uyumlu bir azalma olmaktadır. Aynı yapının bölümleri arasında büyük alan ve yükseklik farkları olması sakıncalıdır. Yapı üzerinde alan olarak asıl yapıdan daha küçük ve yüksek bölümler deprem etkisinde, ana yapıdan farklı davranışlar göstermekte ve daha büyük yatay kuvvete maruz kalmaktadır. Bu tür ayrı bölümlerin deprem hesabı, ana yapıdan daha yüksek bir yatay kuvvete göre hesaplanmalıdır.

2.1.12. Yapı ağırlığının gereğinden fazla olması

Depremlerde yapılara gelen kuvvetler yapının ağırlığı ile orantılıdır. Yapı ağırlığı arttıkça yapıyı etkileyecek deprem kuvvetleri de büyümektedir. Ancak yapı ağırlığını azaltmak amacıyla, taşıyıcı çerçeve elemanların kesitleri gereğinden küçük yapılırsa, deprem yükleri etkisi altında yapı büyük yatay ötelemeler yapmaktadır. Bu büyük yatay ötelemeler sonucu, ikinci mertebeden momentler oluşmakta ve yapının göçme olasılığı artmaktadır.

Betonarme bir yapının hafif olması için, ağır süsleyici dış cephe kaplamalarının kullanılmaması, dolgu ve bölme duvarlarının hafif olması, balkonların önlerinde alt kata kadar sarkan korkuluk ve üzerine çakıl serilmiş düz çatılar yapılmaması gibi önlemler alınmalıdır.

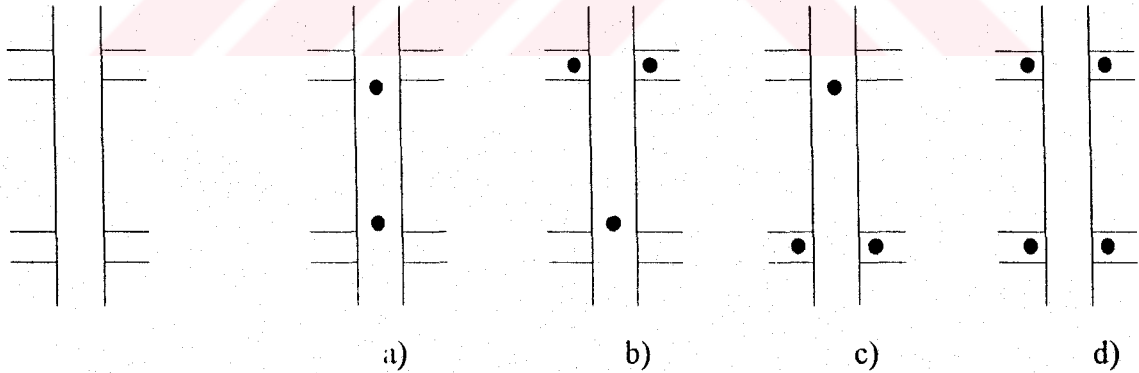


2.2. Boyut ve donatı yetersizliği, donatı detaylandırma kusurları

2.2.1. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar

Kolon-kiriş birleşim bölgesinde (kiriş yüksekliği ve kolon genişliği ile tanımlanan bölge) elemandan elemana yük aktarımı sırasında şekil değişikliği olmaktadır. Şekil değiştirmeler deprem etkisi ile elastik sınırı aşarak kalıcı şekil değiştirmelere dönüşebilmektedir. Kesitler yönetmeliklere uygun şekilde donatılmadıkça ve boyutları tayin edilmezse, birleşim bölgesindeki dayanım ve rijitlik kaybı, çerçevede kalıcı şekil değiştirmelerin (2° mertebeye etkilerin) belirli bölgelerde yığılmasına neden olur. Bu durumda yapı depreme karşı beklenen dayanıma ulaşamamaktadır. Taşıyıcı sistem üzerinde oluşması istenen ve tasarlanan kalıcı şekil değiştirmelerin yerleri ve sınırları kontrol altında tutulmak zorundadır. Kalıcı şekil değiştirme yığılmaları, erken bölgesel çökmelere ve buna bağlı olarakta genel göçmelere sebep olabilir.

Düğün noktasında birleşen kiriş ve kolonların davranışlarından, yatay yük altındaki taşıyıcı sistemin çalışma biçimi hakkında fikir elde edilir. Çerçeve sistemlerde yatay yük altında en çok zorlanan kesitler birleşim bölgesindeki kiriş ve kolon kesitleridir. Yatay yüklerin artmasıyla bu kesitlerde büyük şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Kesit etkilerinde önemli bir artış olmadan şekil değiştirmelerin arttığı bu bölgelerde plastik mafsallar

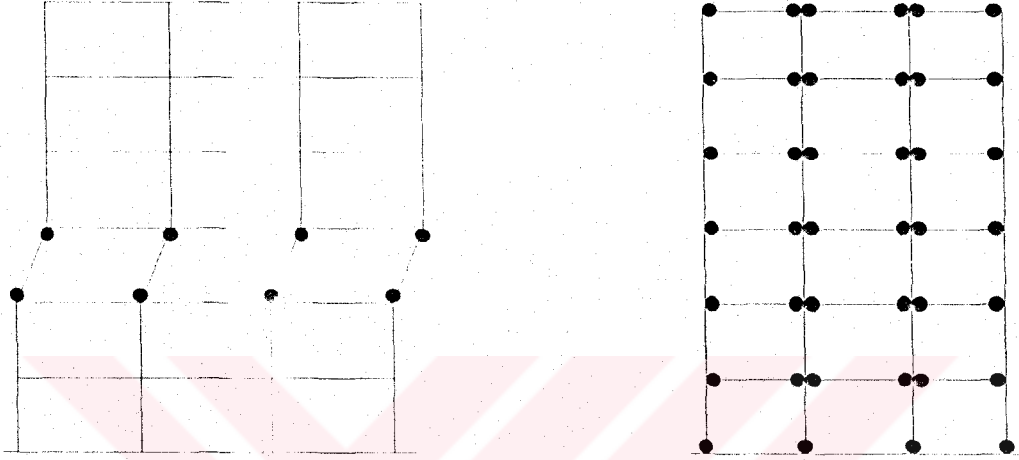


- a) kolon uçlarında mafsallaşma b) kolon alt ucunda mafsallaşma
c) kolon üst ucunda mafsallaşma d) kiriş uçlarında mafsallaşma

Şekil 2.24. Göçme mekanizması türleri [14]

oluşmaktadır. Mafsalların çoğalması ile taşıyıcı sistem göçme mekanizmasına geçer. Sistemin göçme biçimi plastik mafsalların sistemde meydana gelme şekline bağlıdır. Şekil 2.24.'de bir katta meydana gelebilecek çeşitli mafsallaşma türleri verilmiştir.

Plastik mafsalların sistemde meydana getirebileceği göçme türleri Şekil 2.25.'de verilmektedir.



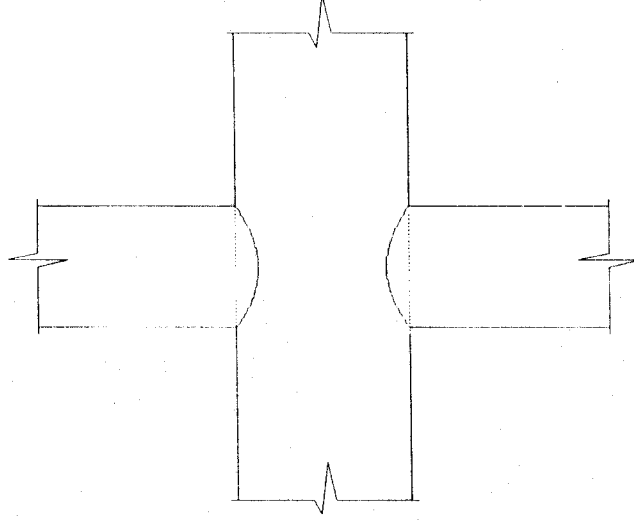
a) kat kolonlarının kirişlerden önce göçmesi

b) kirişlerin kolonlardan önce göçmesi

Şekil 2.25. Çerçeve göçme türleri

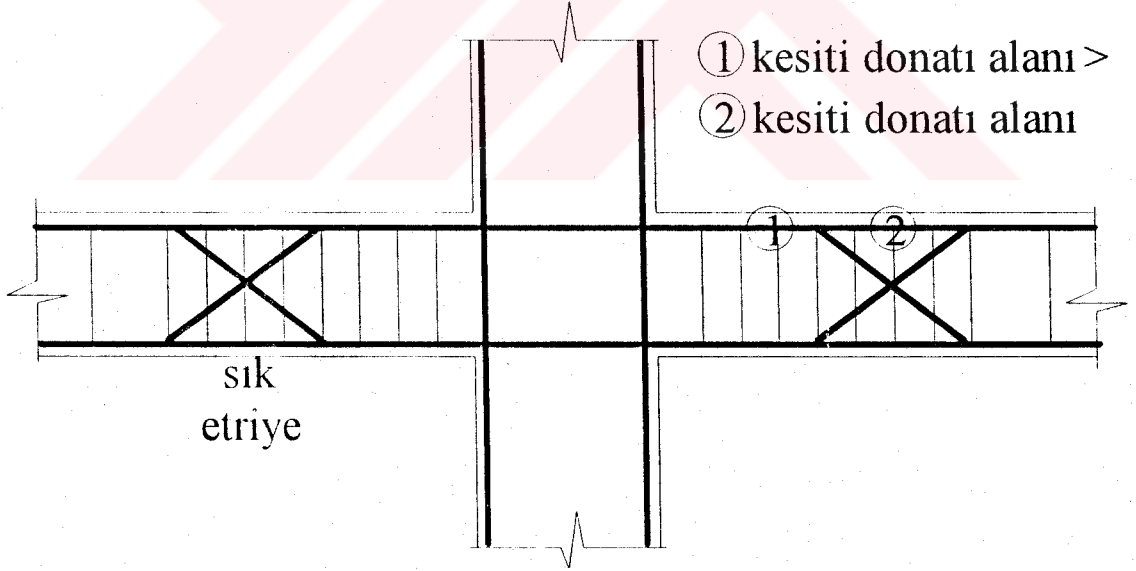
Şiddetli bir depremde mafsallaşmaların kirişlerde ortaya çıkması ve deprem enerjisinin bu suretle yutulması istenir. Uygun boyutlandırılıp donatılan kirişler kolonlara göre daha sünektir. Basit eğilme etkisindeki kirişlerde çekme donatısı sınırlandırılarak kırılma biçimi denetlenebilmektedir. Bileşik eğilme etkisindeki bir kolonda düktil davranış, konstruktif önlemlerle sağlanmaya çalışılır. Örneğin, kolon- kiriş birleşim bölgelerinde etriye aralıkları sıklaştırılarak beton kesit sarılır. Böylece, dönme kapasitesi artırılır. Birleşim bölgesindeki kiriş ve kolonlarda yeterli dayanım ve rijitliğin ortaya çıkması, kiriş ve kolonun bütünleşerek çalışması ile sağlanır. Bir kattaki kolonların alt ve üst uçlarında plastik mafsallar oluşması, çerçeve sistemde birbirini takip eden göçmelere ve can kayıplarına neden olabilmektedir. (Şekil 2.25.a)

Düğüm noktalarında meydana gelen bir başka olay da, plastik mafsallar kiriş uçlarında meydana gelirken kolon kesitinin zayıflamasıdır. (Şekil 2.26.) Bunun için kiriş plastik mafsal noktalarının, kolon yüzünden kiriş yüksekliği kadar uzaklaştırılması gerekmektedir.



Şekil 2.26. Kolon kesitinde zayıflama

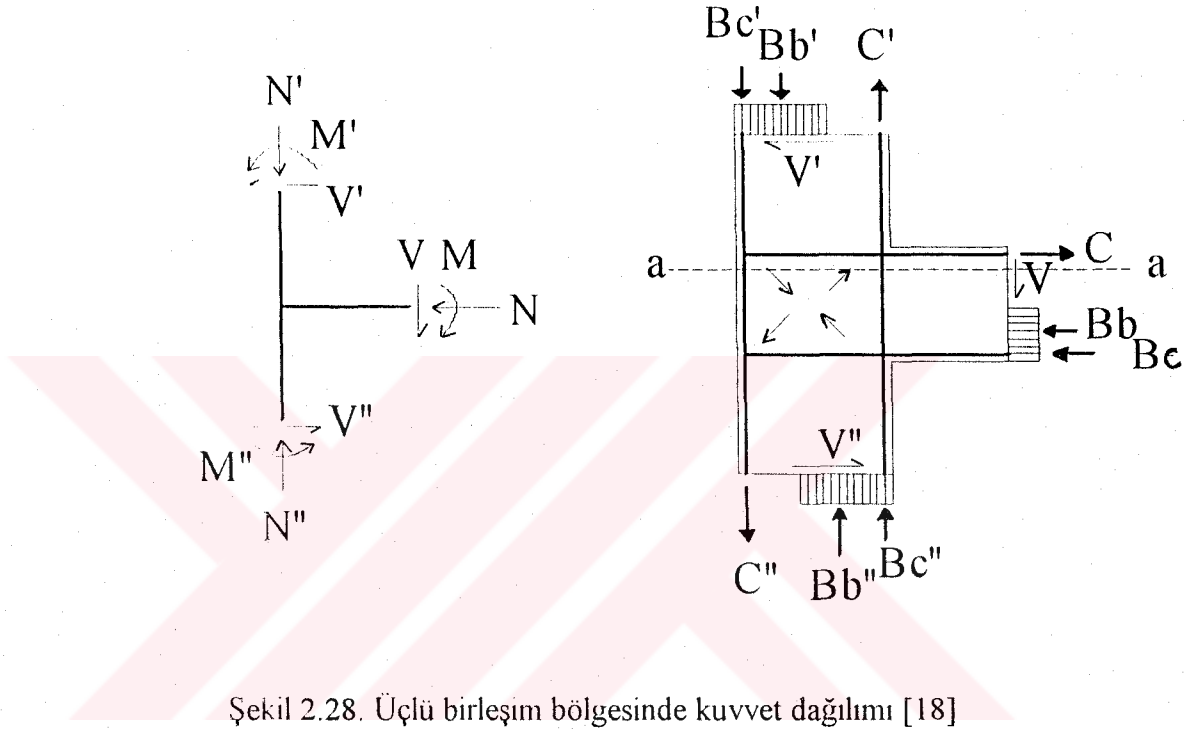
Kiriş plastik mafsal noktalarının kolon yüzünden uzaklaştırılması için, eğilme donatısı olarak



Şekil 2.27. Kiriş donatı detayı [5]

plyelerin de kullanılması sonucu, eğilme donatısındaki akmanın kolon yüzünden uzakta oluşması ile temin edilir. Pliyeler 45° eğimli teşkil edilmelidir. Bu donatıların bulunduğu bölge plastikleşme bölgesi olduğu için sık etriye ile donatılmalıdır. (Şekil 2.27.)

Birleşim bölgelerinde yatay ve düşey aksenal kuvvetlerle, eğilme momenti etkir. Yatay yükün yön değiştirmesi çekme ve basınç kuvvetlerini birbirine dönüştürecekler. Birleşim bölgesinde kesme dayanımı oluşmasına iki etken katkıda bulunmaktadır.

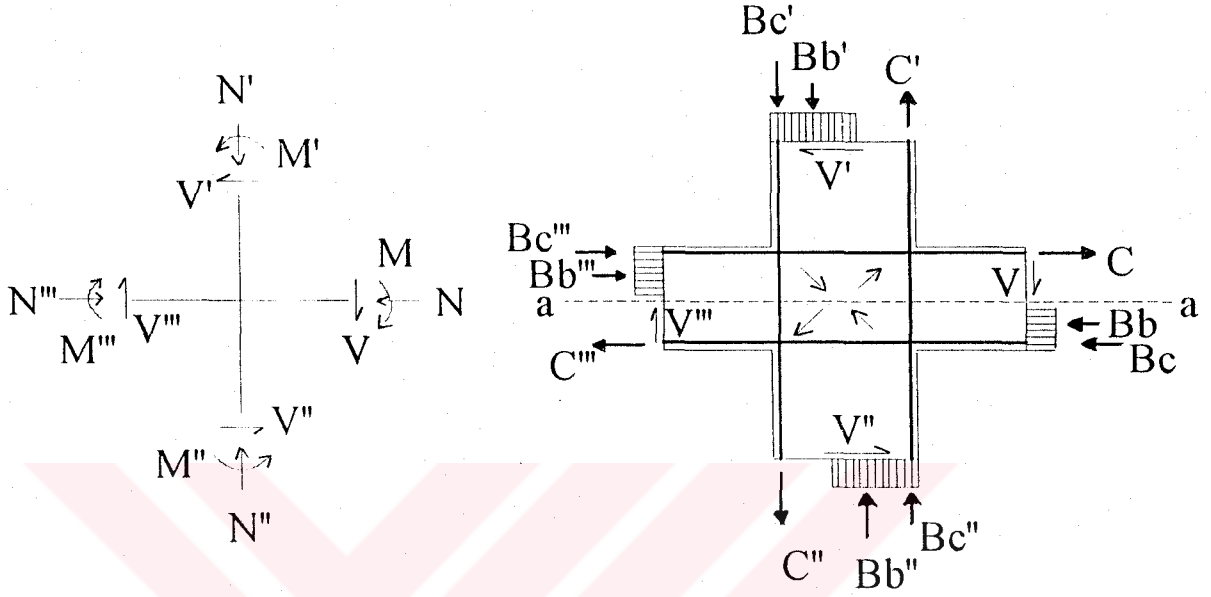


Şekil 2.28. Üçlü birleşim bölgesinde kuvvet dağılımı [18]

-Köşegen doğrultusunda beton basınç çubuğu meydana gelmektedir. Ancak kalıcı şekil değiştirmelerin artması ve oluşan çatlakların birleşim bölgesine ilerlemesi bu etkiyi azaltmaktadır.

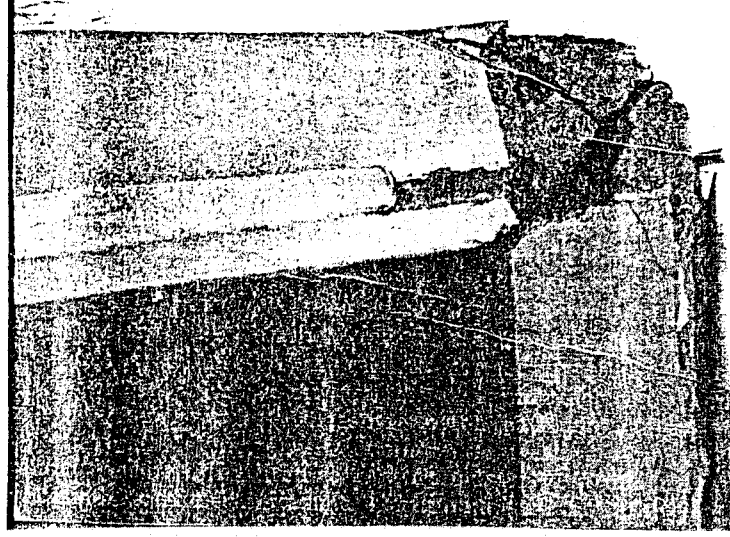
- Birleşim bölgesindeki mevcut yatay ve düşey donatı ile betonun oluşturduğu kafes sistem analogisiyle kesme kuvvetinin taşınmasıdır. Bu önemli katkının ortaya çıkması için düşey donatı yanında yatay donatıda bulundurulmalıdır. Bu nedenle; birleşim bölgesinde kolon etriyelerinin sürekliliği sağlanmalıdır.

Çok katlı çerçevelerin iç kolonlarının kirişlerle oluşturduğu dörtlü birleşim bölgelerinde meydana gelebilecek iç kuvvetlerin en elverişsiz durumu Şekil 2.29.a'da gösterilmiştir. Bu durumda a-a kesitindeki kesme kuvveti esas alınarak gerekli etriye alanı hesaplanarak yerleştirilmelidir.



Şekil 2.29. Dörtlü birleşim bölgesinde iç kuvvetler [18]

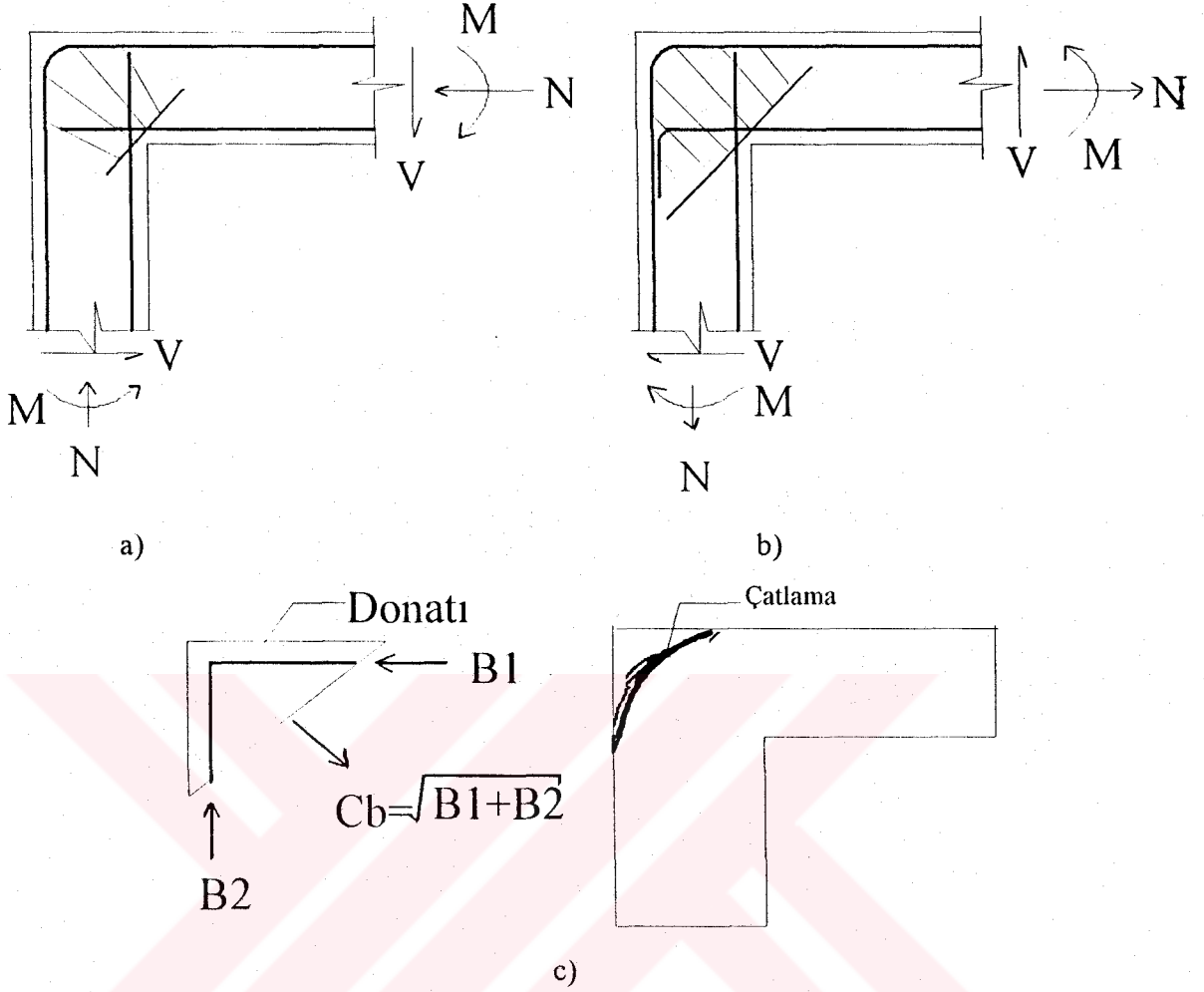
Şekil 2.30.'deki birleşim bölgesinde diyagonale dik doğrultuda oluşan çekme gerilmeleri altında betonda çatlama beklenir. Yatay yükün yön değiştirmesi durumunda, ilk oluşan çatlakla dik doğrultuda yeni çatlak oluşur. Ek yerindeki betonun dört parçaya ayrılması (x şeklinde), bunların birbirine sürtünerek aşınmaları ve ufalanmaları deprem süresinin uzaması ile görülmektedir. Bu şekilde çatlama birleşim bölgesindeki betonun kesme gerilmesi taşıması mümkün değildir. Kesme gerilmesini karşılayacak etriye konulmaması sonucu çatlaklar gittikçe açılarak büyümüştür. Anlatılan mekanizmaya uygun durum 1970 Gediz depreminde bir benzin istasyonu garajındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde görülmektedir. Fakat, bu birleşim bölgesinde, bir doğrultuda çatlama tamamen oluşmuş, diğer doğrultuda çatlama yeni başlamış ve pek fazla açılmadan deprem süresi bitmiştir. (Şekil 2.30.)



Şekil 2.30. 1970 Gediz depreminde kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı [9]

Tasarımda gözönüne alınan deprem şiddetine göre yukarıda gözlenen hasarın meydana gelmemesi için şekil 2.31.a'da görüldüğü gibi bir miktar eğik etriye bulundurulmalıdır. Şekil 2.31.b'de iç kuvvetler yön değiştirmiş durumdadır. Şekil 2.31.c 'de görüldüğü gibi, dış yüzdeki donatıda meydana gelen basınç kuvvetleri nedeni ile, betonda eğik çekme gerilmeleri oluşur. Önlem alınmadığında 1970 Gediz depreminde görüldüğü gibi çatlama ve kırılma oluşmaktadır. Bu nedenle eğik etriye miktarı, C_b kuvvetini karşılayacak şekilde düzenlenmelidir.

Deprem etkime yönüne göre kolonun bir yüzünde çekme gerilmelerinden dolayı betonda çekme çatlakları oluşurken, diğer yüzü betonda basınç gerilmeleri etkisiyle ezilme meydana gelmektedir. Yatay kuvvetin yön değiştirmesi ile çekme çatlağı olan taraftaki betonda ezilme, basınç çatlağı olan taraftaki betonda da çekme gerilmeleri etkisiyle beton dökülmektedir. Eğer kolon uçlarında yeterli etriye sıklaştırılması yapılmamış ise betondaki ezilme ve dökülmeler kolonun çekirdek bölgelerinde de devam etmektedir. Kolon betonunun ezilip parçalanması sonucu, kolon düşey yükleri taşıyamayarak etriyeler açılır ve boyuna boyuna donatı dışarı doğru burkularak kolon boyu kısalmaktadır. Yatay yükler altında en yüksek momentler kolon uçlarında olduğundan kayma, eğilme ve normal gerilmelerin düktil bir



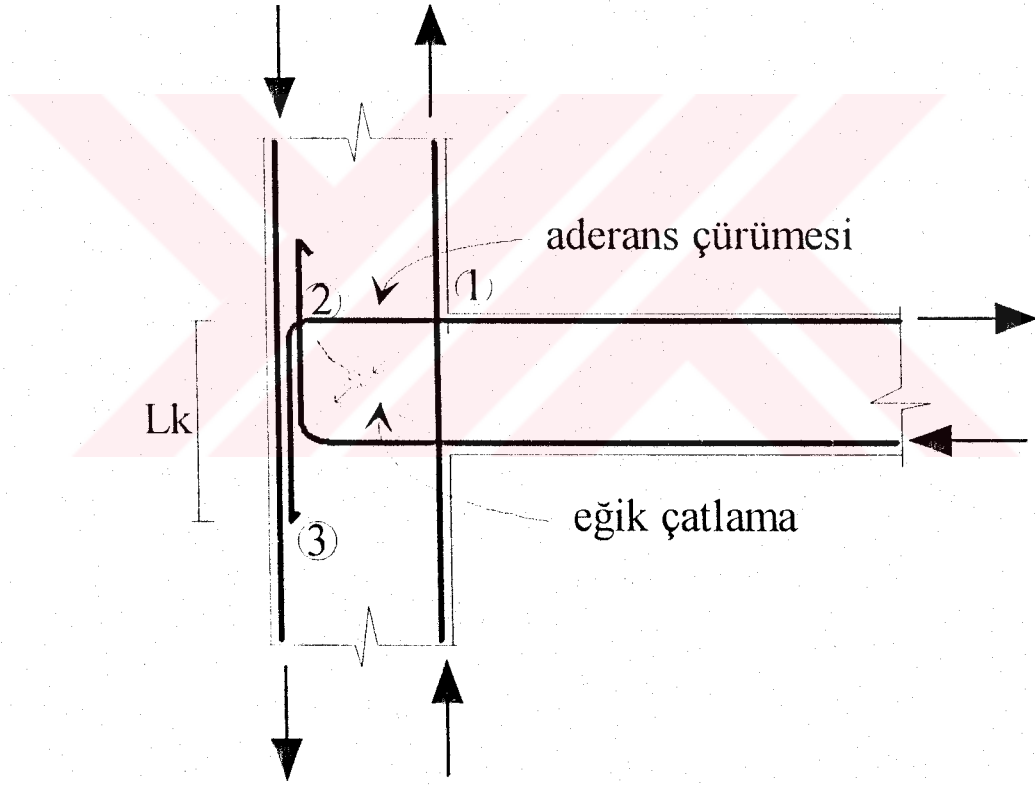
Şekil 2.31. İkili birleşim bölgesinde meydana gelen iç kuvvetler ve meydana gelen hasar [13]

davranışla karşılanabilmesi için kolon uçlarında yeterli etriye sıklaştırılması yapılmalıdır. Bu durumda çekirdek betonunda ya fazla çatlak oluşmamakta ya da deprem çok şiddetli olduğu zaman çatlaklar oluşmaktadır. Ayrıca oluşan çatlakların daha geniş alanda daha küçük boyutta kalmasını sağlayacak ve donatıdaki pekleşme daha geniş alanda gerçekleşecektir. Sonuç olarak, yönetmeliklerin öngördüğü hesap yolları izlenmeli ve yapı elde edilen sonuçlara uygun inşa edilmelidir. Bu yapılmadıkça, kalıcı şekil değiştirmelerin bina genelinde yayılması ve yapının depreme karşı güvenliğinin artırılması sağlanamaz. Bölgesel göçmeyle başlayan yıkılma binada ağır hasara sebep olmaktadır.

2.2.2. Kiriş ve kolon donatılarının aderans boyunun yetersiz oluşu

Kirişlerde görülebilecek bir aderans zayıflaması, duktiliteyi önemli ölçüde azaltabilir. Kenetlenme ve bindirme boylarına özel dikkat gösterilmelidir. Ayrıca, nervürlü çubukların kullanılması tercih edilmelidir.

Şekil 2.32.'de gösterilen birleşim bölgesinde, donatının büküldüğü 2 noktada önemli gerilme birikimleri oluşmaktadır. Yüksek basınç gerilmeleri etkisi ile 2 noktadaki beton ezilmektedir. Betonun ezilmesi ile donatı betonla olan aderansını kaybederek betondan sıyrılmaya başlar. Donatının betondan sıyırılması ile donatı akma gerilmesine ulaşamaz. Kirişlerde duktiliteye ulaşmak için donatının akması ve kalıcı deformasyon bölgesine girmesi gereklidir. Birleşim bölgesinde kiriş boyuna donatısı yeteri kadar ankre edilmezse ve bir zayıflama olursa, donatı akma gerilmesine ulaşamaz ve kalıcı deformasyon bölgesine

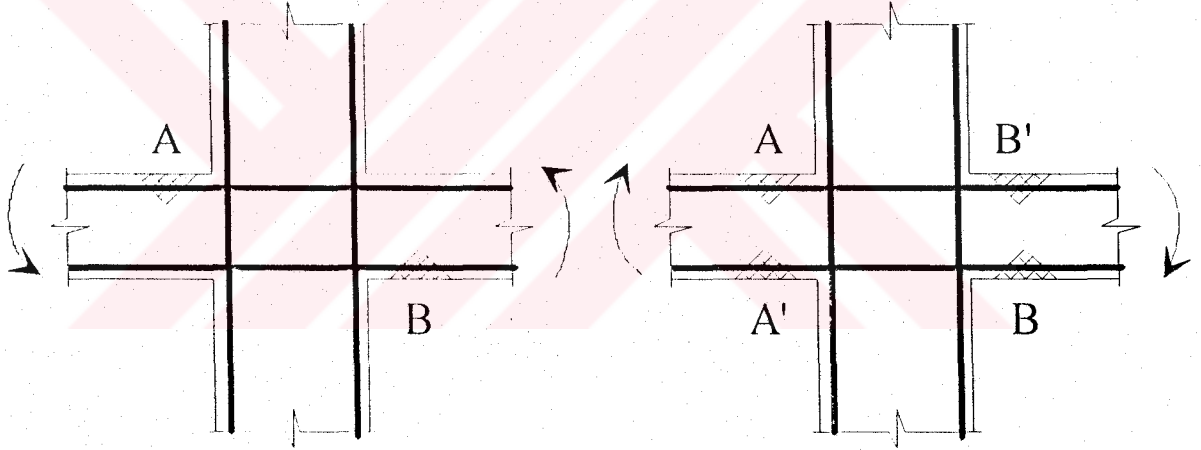


Şekil 2.32. Kiriş boyuna donatısının kolona ankre edilmesi [18]

girmeden yerinden sıyrılabilir. Böylece kiriş, dönme kapasitesine erişmemektedir. Kiriş donatısının sıyrılması ile kiriş kolondan ayrılarak düşebilir “Yükün yön değiştirerek tekrarlanması sonucu, üst donatıda 1-2 noktaları arasında aderansın önemli ölçüde azaldığı, yapılan deneylerde gözlenmiştir. Bu nedenle donatının, şekilde gösterildiği gibi 2-3 parçasının bükülmesi gerekir.”[18]

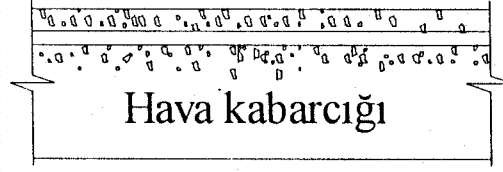
2 bölgesindeki betonun ezilmesini önlemek için kiriş çekme donatısı çok geniş çaplı bir daire ile bükülmelidir. Kiriş çekme ve kolon boyuna donatısının betondan fırlayıp birleşim bölgesinin dışına çıkması, donatıların kolon etriyelerine tesbit edilmesi ile önlenebilir.

Şiddetli depremlerde birleşim bölgesinde çekme ve basınç kuvvetleri birbirine dönüşmektedir. Şekil 2.33.a'daki gibi bir yükleme A ve B noktalarındaki çekme bölgesindeki betonda çatlaklar oluşturmaktadır. Yatay yükün yön değiştirmesi sonucu A' ve B' noktalarındaki betonda da çatlaklar oluşmaktadır. Yatay yük yön değiştirdiğinde A ve B noktalarındaki çatlaklar kapansa da betonla donatı arasındaki aderans zayıflamaktadır.



Şekil 2.33. Deprem etkisinde moment yön değişimi [9]

Kiriş üst seviyesindeki donatı aderans boyu %40 artırılmalıdır. Bunun nedeni, taze betondaki hava kabarcıklarının betonun vibre edilerek sıkıştırılması sırasında yukarı doğru çıkarak kiriş üst donatısı etrafında birikmesi betonla donatı arasındaki aderansı zayıflatmasıdır. (Şekil 2.34.)



Şekil 2.34. Betondaki hava boşluklarının kesit üst bölgesinde yoğunlaşması

Kolonlarda da, kirişlerde olduğu gibi eğik çekme kırılmalarını ve aderans zayıflamalarını önleyecek tedbirler alınmalıdır. Bu tedbirler, sık olarak yerleştirilen enine donatı, yeterli kenetlenme ve bindirme boylarının sağlanması ile özetlenebilir.

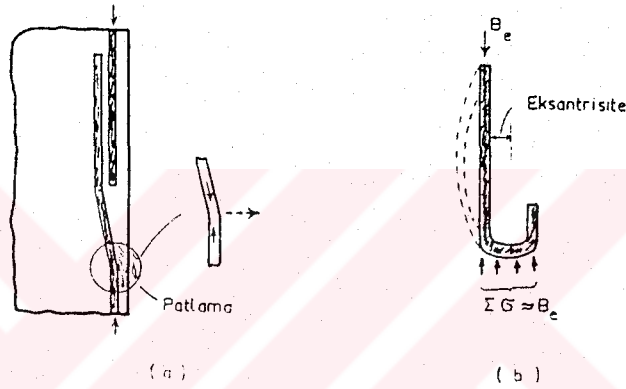
Kolon donatısındaki ekler kiriş düzeyinde yapılmamalıdır. Çünkü, deprem yükleri altında en büyük gerilmeler bu bölgede meydana gelmektedir. Bu nedenle, bindirmeli eklerin mümkün olduğu kadar birleşim bölgesinden uzakta ve şaşırtmalı olarak düzenlenmesi uygun



Şekil 2.35. Yetersiz kenetlenme nedeniyle yapıdan ayrılmış kolonlar [27]

olmaktadır. Şekil 2.35.'de Dinar Depreminde kolon boyuna donatısındaki yetersiz kenetlenme nedeni ile meydana gelen hasar görülmektedir. “Yapı enkazlarında sapasağlam kirişler ve sapasağlam kolonlar bulunmaktadır. Yetersiz kenetlenme nedeni ile, bunların birbirinden kolayca ayrılabilmiş olduğu düşünülmektedir.”[27]

Basınca çalışan donatıda bindirmeli ek yapılırken, gerilmelerin önemli bir yüzdesi, betona yaslanan çubuk ucundan aktarılmaktadır. Bu nedenle, eklenen çubuk uçlarında meydana gelen aşırı basınç gerilmeleri nedeni ile betonun patlamasına sık sık rastlanılmaktadır. Eklenen donatıya kanca yapılırsa betonun patlama olasılığı artacağından, basınç donatısında kesinlikle kanca yapılmamalıdır.

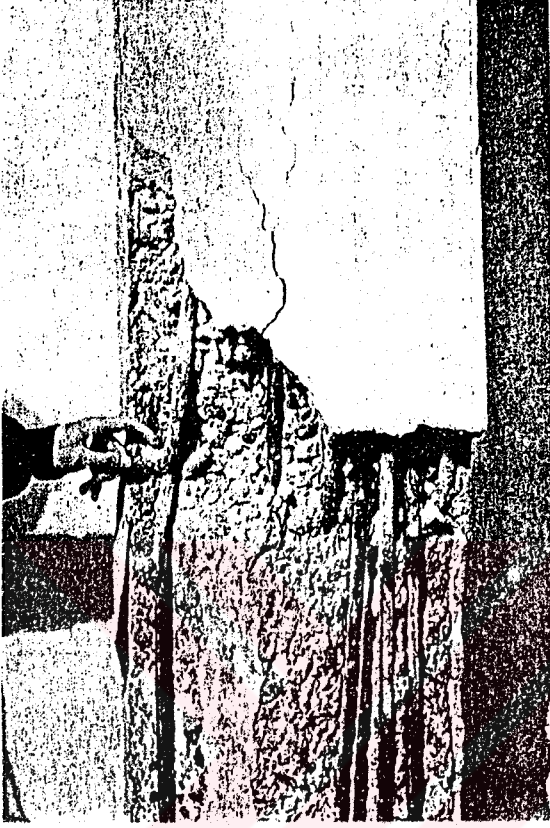


Şekil 2.36. Basınca çalışan donatıda betonun patlaması hasarı [18]

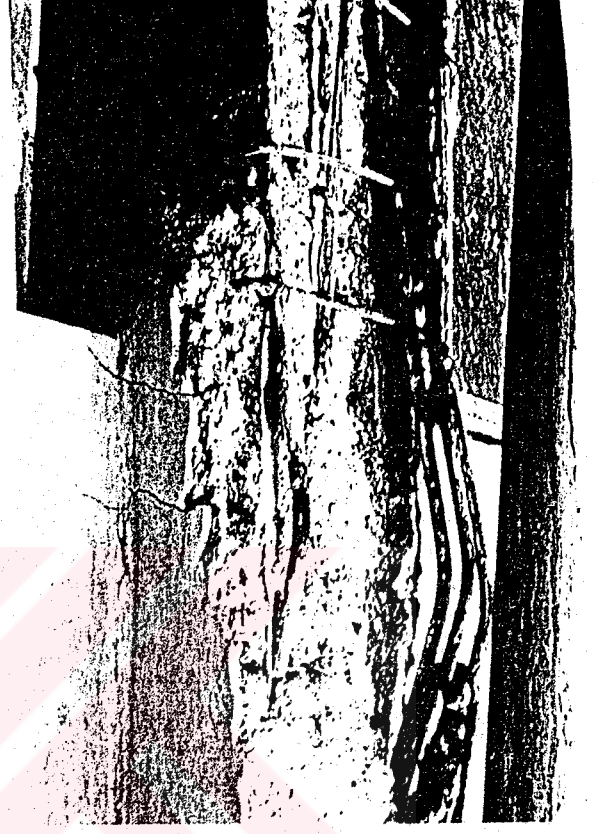
Alt ve üst kolon boyutlarının farklı olması nedeni ile, birleşim bölgesinde boyuna donatının eğimli yapılması zorunludur. Şekil 2.36.a'da gösterildiği gibi eğim donatıyı dışa doğru iten kuvvet oluşturmaktadır. Eğimin 1/6'dan fazla olması sağlanarak kuvvet etkisi sınırlandırılabilir.

Basınç donatısı eklerinde, çubuk uçlarında oluşan basınç gerilmeleri ve donatı eğimi nedeni ile meydana gelecek yanal kuvvet etkilerini zararsız konuma getirmek için donatı fret veya etriye ile sarılmalıdır.

Şekil 2.37.'te görüldüğü gibi bindirme boyları çok kısa tutulmuştur. Eklenen donatıya kanca yapılarak örtü betonun patlaması ve boyuna donatıların enine donatı ile sarılmaması sonucu meydana gelen hasarı oldukça artırmıştır.

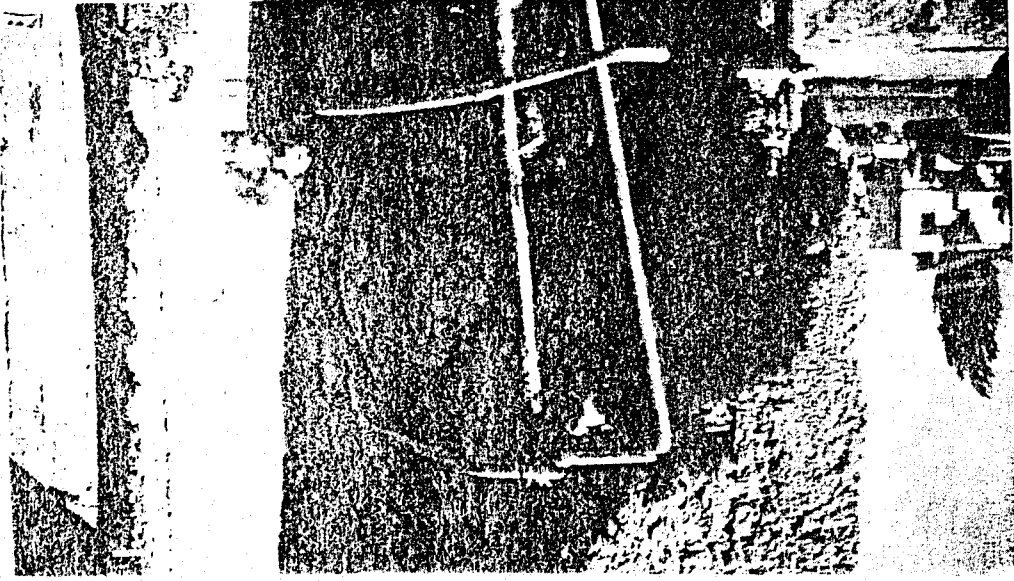


Şekil 2.37. Kolon bindirme ekleri [19]



Şekil 2.38. Sargı donatısı yetersizliği [19]

Kolon etriye kancaları 135 derece bükülerek göbeğe ankre edilme yerine, 90 derece bükülerek bindirme yapılmıştır. Bu tür etriyelerin, sargı donatısı olarak beklenen dayanıma ulaşması olanaksızdır. Şekil 2.38.'de etriyelerin açılarak etkisiz duruma geldikleri görülmektedir. Şekil 2.39.'da Sargılama etkisi bulunmayan 1995 Dinar Depremi'nde 90 derece kancalı etriye örneği görülmektedir.



Şekil 2.39. 90° kancalı etriye örneği [27]

2.2.3. Kiriş ve kolonlarda yetersiz etriye kullanımı

Kolonların deprem yükü altında kesme güvenliği düşünülmediğinden, mevcut etriyeler depremin neden olduğu kesme kuvvetlerini alabilecek kapasiteye sahip değildir. Kesme kuvveti dayanımı yetersiz kolonlarda kesme çatlakları oluşmaktadır. Kesme çatlakları kolonda yaklaşık 45 derece eğimli çatlaklar olarak görülmektedir. Şekil 2.40.'de 13 Mart



Şekil 2.40-41. Kolonlarda kesme kırılması hasarı [4]

1992 Erzincan depreminde bir binada çatlağın iki yönde meydana gelmesi, depremin yön değiştiren tekrarlı bir etki olmasındandır. Kesme kuvveti dayanımının yetersiz olması, bu elemanda eğilme momenti kapasitesinin artaya çıkmasını önlemektedir. (Şekil 2.40.)

Kolon sarılma ve orta bölgesinde etriye çap ve aralığının yönetmeliklere uygun olmamasından kesme kırılmaları oluşmaktadır. (Şekil 2.42-43-44)



Şekil 2.42. Dört katlı bir yapının birinci katında kesme kırılması hasarı [16]

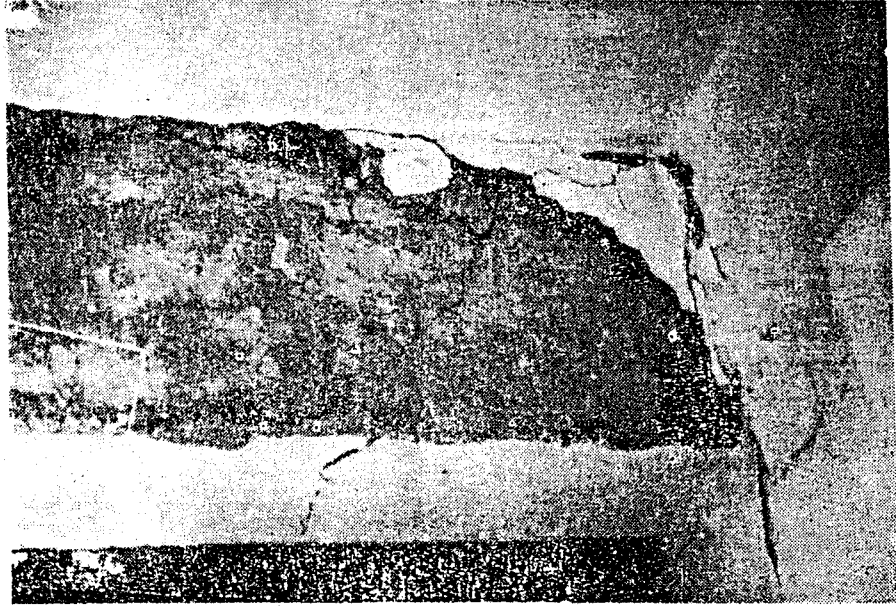


Şekil 2.43. Köşe kolonda kesme kırılması hasarı [16]



Şekil 2.44. Kolonda kesme kırılması hasarı [16]

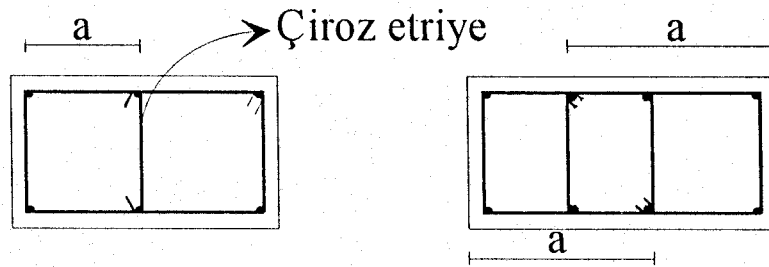
24 Kasım 1976 Çaldıran depreminde Çaldıran Seyyar Jandarma Tabur Komutanlığı binasında, yapının içerisinde dar bir koridor tavanındaki derin kirişlerde, salınım sırasında, kirişlerin iç kuvvetlerinin yön değiştirdiğini belirleyen iki yönlü diyagonal çekme çatlaklarının meydana geldiği gözlenmiştir. Şekil 2.45.'de kirişte meydana gelen diyagonal çatlaklar görülmektedir. [30]



Şekil 2.45. Kısa ve derin kirişte diyagonal çatlaklar [30]

2.2.4. Kesiti ince uzun kolonlarda tek sıra etriye kullanılması ve ara donatıların çirozla bağlanmamasından oluşan hasarlar

Kesiti ince uzun kolonlarda ara donatıların tek sıra etriyelere tesbit edilmesi, etriyelerin mesnetlenmemiş kenar uzunluğu a 'yı artırmaktadır. Mesnetlenmemiş kenar uzunluğunu azaltmak amacıyla özel çiroz bağlantıları kullanılmalıdır. (Şekil 2.46) Çiroz veya çift sıra etriye ile enine ve boyuna donatı dıştan kavranmalıdır. Böylece, etriye kolon içinde boyuna donatı ile rijit bir çelik kafes meydana getirerek beton dökümü sırasında donatının oynamaması ve önceden tasarlanan yerinde kalması sağlanır.



Şekil 2.46. Kolon kesiti

Ayrıca, kesiti ince uzun kolonlarda ara boyuna donatılar etriye ve çirozla bağlanmamış olduğundan, sargı etkisi oluşmamaktadır. Şekil 2.47.'de bu sebeple meydana gelen hasar görülmektedir.



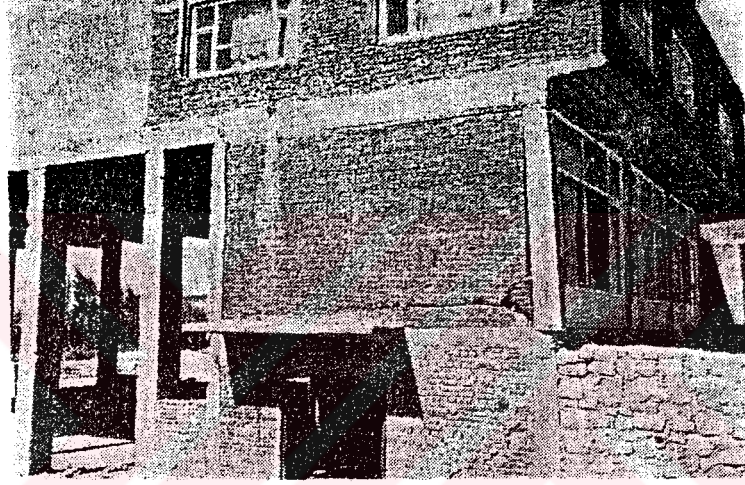
Şekil 2.47. Ara donatısı tutulmamış kolonlar [19]

2.2.5. Kolonlarda diyagonal doğrultudaki basınç etkisi ile kesme kırılması hasarı

Orta şiddetli bir depremde betonarme çerçevelerde katlar arasında büyük yer değiştirmeler meydana gelmektedir. Kolonlarda kesme kırılması, dolgu duvarlarının bulunması nedeniyle, kolonların katlar arası açıklıkta serbestçe deformasyon yapamamasından kaynaklanır. Diyagonal doğrultudaki basınç ve çekme kuvvetleri yapı eleman rijitliklerine bağımlı olarak hasar oluşturur. Enine donatısı yetersiz ve iyi düzenlenmemiş kolonlarda, dolgu duvarlardan dolayı oluşan diyagonal doğrultudaki basınç kuvveti etkisi ile, kolonlarda kesme kırılması

hasarı olmaktadır. Bu tür hasarlar, dolgu duvarın doldurduğu gözlerin dört köşesinde, kolon-kiriş birleşim yerlerinde, özellikle alt katlarda, kenar düğümlerde gözlenmektedir. Hasarın alt katlarda daha çok oluşması, deprem kesme kuvvetlerinin ve momentlerinin daha büyük şiddette olması ile açıklanabilir.

6 Eylül 1975 Lice depreminde bodrum ve zemin katı betonarme ve birinci katı tuğla yığma binanın, zemin katında dolgu duvar betonarme kolonu basınç etkisi ile alt başından koparmıştır. Arka taraftaki betonarme çerçevede hasar olmamıştır. [29]



Şekil 2.48. Lice eski Belediye binasında dolgu duvarın betonarme kolonda basınç etkisi [29]

2.2.6. Statik ve betonarme hesabın yetersiz olması

2.2.6.1. Kirişlerde deprem etkisi gözönüne alınmaması nedeniyle mesnetlerde alt ve üst donatı yetersizliği

Proje yapılırken deprem hesabı hiç yapılmadığından veya depremin kirişlerde tersinir etkiler oluşturacağı dikkate alınmadığından kiriş alt ve üst donatısı çok az ve yetersiz kullanılmaktadır.

2.2.6.2. Kullanım amacının zamanla değişmesi

Projecinin amacı, mühendislik yapısını öngörülen ömrü süresince karşılayacağı yük ya da yük etkilerine yıkılmadan ve aşırı deformasyona uğramadan karşı koyması gerekir. Ancak, yapının mimari tasarımıda belirtilen kullanım amacının zamanla değişmesi ile boyutlandırma gözönüne alınan sabit ve hareketli yük değerlerinde artmalar olabilmektedir. Ayrıca, yurdumuzda belediye kat sınırlamaları değişebilmekte ve çatı döşemeleri normal kata dönüşebilmektedir. Tasarımcı bu durumlardaki sabit ve hareketli yük miktarındaki artmayı tahmin etmelidir. Bu yüzden, ileride yapının limit duruma gelmesini önleyecek tedbirler almak durumundadır.

Deprem yükü etkisi, yapı ağırlığı ile orantılı olarak arttığından yapıdaki yük artışı yapıyı beklenen deprem kuvvetlerinden daha fazla yüke maruz bırakmaktadır. Bu nedenle, yapısal özellikler içerisinde yük artımı da gözönünde bulundurularak hesaplar yapılmalıdır.

2.2.7. Donatı çizimlerinin yetersiz oluşu

Depreme dayanıklı tasarım ile ilgili hesapların üretime yansıtılması “çizimler” aracılığı ile olur. Her yapı, kendisini oluşturan elemanların bünyesine ve bunların birleştirilme biçimine bağlı olan özel bir davranış biçimine sahiptir ve deprem sırasında bu davranış biçimi yapının kaderini tayin eder.[24] Betonarme yapılarda en önemli noktalardan biri özellikle donatı düzeni ile ilgili olarak sünekliliği artırıcı koşulların çizimlere yansıtılmamasıdır. Donatı düzeni ile ilgili olarak, kolon ve kirişlerin mesnetlere yakın bölgelerindeki etriyelerin sıklaştırılması, çekme donatısının belirli sınırları aşmaması ve donatı kenetlenme boylarının hesaplanarak çizimlerde gösterilmesi gibi önlemlerin alınmaması yapıda yerel ve bölgesel göçme hasarının oluşmasına yol açmaktadır.

Yapının belirli bölgelerinde, tasarımcının kesit zorlarına bağımlılıktan sıyrılıp, kuvvet ve gerilme akışını yerel olarak izlemesi zorunludur. Kolon-kiriş birleşimleri, perde boşluklarının etrafı, kirişlerin (döşemelerin) perdelerle saptıkları bölgeler, kolon ve perdelerin radyelere birleştikleri bölgeler ve tüm diğer süreksizlik bölgeleri özel olarak incelenmesi ve detaylandırılması gerekli bölümlerin başında gelir.[24] Detaylandırmada tasarımcının amaçladığı yapıyı çizimlere olduğu gibi yansıtması gereklidir. Herhangi bir nokta veya detay, şantiyedeki uygulayıcının sorumluluğuna bırakılmamalıdır.



2.3. Denetimsizlik ve kötü malzeme kullanımı

2.3.1. Bazı binalarda yeterli beton dayanımına ulaşamaması

2.3.1.1. Killi agregaya nedeniyle

Deprem kuşağında bulunan ülkemizde deniz veya göl yatağından çıkarılan agregalar hiçbir işlemden geçirilmeden yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde yapılarda hasarın artmasına sebep olarak, beton dayanımının öngörülen dayanıma ulaşamaması gösterilebilir. Beton agregası, Fırat nehri yatağından toplanmış ve hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılmış ve birçok yapıda beton içerisinde kil topraklarına rastlanmıştır.

2.3.1.2. Betonun karıştırılması ve sıkıştırılmasında yeterli özen gösterilmemesi

Betonun karıştırılmasında karışım oranlarının daha önceden belirlenmemesi, ince daneli agreganın fazla kullanılması ile betonun yerleştirilmesinde vibratör kullanılmaması sonucu beton dayanımı düşük olmaktadır. Yapı betonunda boşlukların bulunması donatıda aderans çözümlerine neden olur.

13 Mart 1992 Erzincan depreminden sonra Erzincan'dan getirilen beton parçaları laboratuvarında kesilerek numune hazırlanmıştır. Numunelerin, betonun zaten hasar gördüğü göz önünde bulundurularak, çok miktarda çatlak vb. gibi hataları içermemesi bakımından çok büyük boyutlarda öte yandan, istatistiksel olarak da yüksek görünür dayanımlar vermemesi açısından da küçük boyutlarda olmamasına özen gösterilmiş ve 10 cm'lik küpler halinde hazırlanmıştır. Beton numunelerin alındığı 10 yapının üçü kamu, üçü özel, dördü de kooperatif yapısıdır. Sonuçlar tablo 2.2.'de verilmiştir. [19]

Tablo 2.2. Beton basınç dayanım değerleri [19]

Basınç dayanımı kgf/cm ²	Kamu	Özel	Kooperatif konutu
Yapı tipi	97-138	104-147	101-115

Görüldüğü gibi beton basınç dayanım değerleri, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'de B225 (~BS20) ve TS500'deki B160 (BS14) sınıfından daha

düşük olmaktadır. Beton kalitesi bakımından enkötü durum kooperatif konutlarında sözkonusudur. Beton kalitesi düşüklüğüne, proje hataları da eklendiğinde, depremin binalardaki hasar etkisi artmaktadır.



Şekil 3.49-50. 13 Mart 1992 Erzincan depreminde bir yapıda betondaki boşluk ve beton kalitesi [16]

2.3.2. Birleşim bölgelerinde karışım dışı malzemeye rastlanması

Denetimsizlik ve bilgi yetersizliği nedeniyle, kat döşemeleri ile kolon birleşim bölgeleri beton dökülmeden temizlenmediği için karışım dışı malzemeler (çimento torbası, ahşap testere tozu ve tuğla parçaları) beton içerisinde kalmaktadır. Bu durum, betonarme yapıların monolitik davranma özelliğini ortadan kaldırmış olan süreksizlikleri meydana getirir. Depremde, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan düğüm noktaları bölgesinde kuvvet iletimi kesintiye uğramaktadır.

2.4. Zemin Koşullarının Deprem Hasarına Etkisi

Yapıların zemin üzerine mesnetlenmiş oluşu ve deprem dalgalarının zeminden yapıya doğru yayılmasıyla, yapılara depremler tarafından verilen hasarın zemin koşullarından etkilenmesi doğaldır. Deprem hasarı; zemin tabakalarının yapısına, yapı tipine, deprem şiddetine ve depremin odak noktasına olan uzaklığına göre değişiklik göstermektedir. Zemin mukabelesi ve onunla ilgili hasarda, en etkili faktör, zemin şartlarının ivme seviyelerini yükseltici özelliklerdir. Bazı durumlarda, geniş çapta bir toprak kütesinin kayması, zemin üzerine inşa edilmiş yapıların hasarı ile sonuçlanabilir. Ayrıca, depremin sebep olduğu titreşimler ile gevşek daneli zeminlerin yüzeyinde farklı oturmalar görülmektedir.

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağında bulunması nedeni ile, bölgelerin jeolojik yapısı, fay kırıkları ve zeminin jeofizik özellikleri araştırılarak tasarım aşamasında yapıları depreme dayanıklı yapmak için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Zeminler her inşaat sahasında birbirinden farklı özellikler gösterebilen malzemelerdir. Temel zeminin doğal durumdaki özelliklerinin arazi ve laboratuvar deneyleri ile doğru olarak saptanarak, her problem ve koşul için ilgili deneylerin kullanılması, hesapların geçerliliği açısından önemlidir.

Zemin koşullarına bağlı olarak deprem hasarlarını etkileyen faktörler beş ana başlık altında toplanabilir:

1. Zemin tabakaları tarafından deprem hareketinin yükseltgenmesi
2. Yapıların rezonansı
3. Gelişen göçmeler
4. Titreşim enerjisinin yayılması
5. Farklı oturmalar

Deprem etkisindeki yapılar, zemin koşullarına bağlı olarak yukarıdaki etmenlerden bazılarında yararlı yönde etkilenirken bazılarında da ters yönde etkilenir.

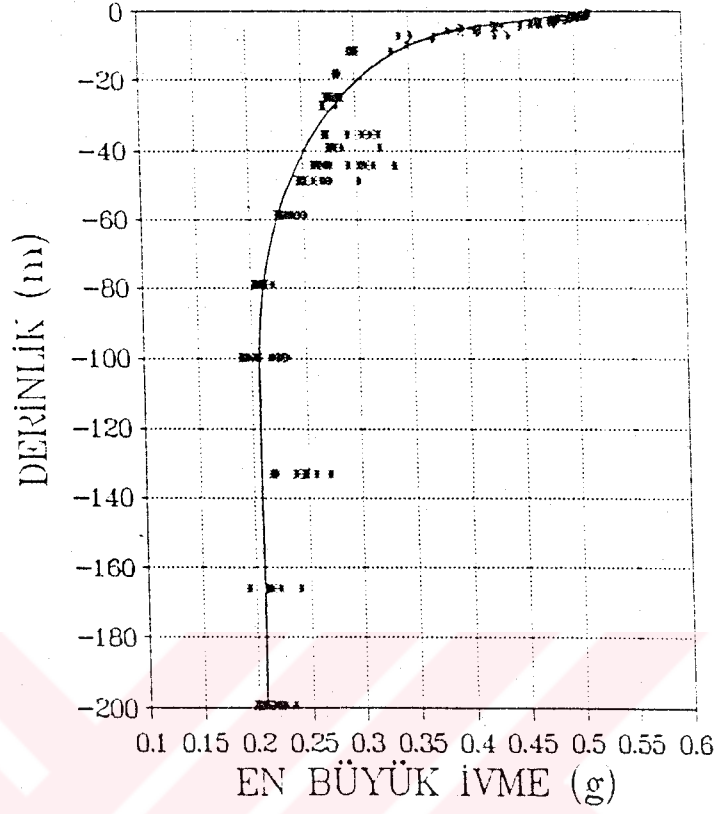
2.4.1. Zemin tabakaları tarafından deprem hareketinin yükseltgenmesi

Deprem dalgası, zemin yüzeyinde dalga periyodunun yüzey tabakasının doğal periyoduna (zemin hakim periyodu) eşit olmasıyla aşırı şekilde yükseltgenmektedir. Böylece

yükseltgenme, yüzey tabakasına özel bir periyodla gelen dalğanın rezonansı olarak açıklanabilir. Zemin şartlarının ivme seviyelerini yükseltici özellikleri ile yüzey tabakasının yumuşaklığı arttıkça deprem hasarı artmaktadır. Örneğin; dolgu zeminlerle kaplı bir vadide farklı yüzey tabakası derinliklerinin büyültücü etkilerinden dolayı ivme genliklerinde önemli farklar olabilmektedir. Sert zeminlerin hakim periyodlarının, yumuşak zeminlere göre daha küçük olması nedeni ile sert zeminler, gelen deprem dalgalarını yumuşak zeminlere göre daha fazla büyültmektedir. “Depremde sağlam tabaka üzerinde yer alan zemin tabakaları, özelliklerine bağlı olarak, deprem titreşim genliklerinde bir büyüme ve deprem etkisinde de bir artışa yol açabilir. Bu tür bir etki, zemin tabakalarının hakim periyodunun birbirine eşit veya yakın olması” [22] halinde de deprem dalgası zemin tabakaları tarafından yükseltgenmektedir. “Yapı hakim periyodu da bu civarda ise çifte rezonans sözkonusu olur. Bu durumda hakim periyoda eşit ya da buna yakın periyoda sahip dalgaların genlikleri önemli miktarda artmakta ve önemli hasarlara sebep olmaktadır.” [22]

13 Mart 1992 Erzincan Depremi esnasında kaydedilen yatay ivme kayıtlarından en büyük ivme değerine sahip olan doğu-batı bileşeni dikkate alınarak en büyük ivmenin derinlikle değişimi araştırılmıştır. İnönü mahallesinde değişik kurumlar tarafından yapılmış sondajlardan bu bölgenin zemin tabakalaşması ve özellikleri 200 m derinlik boyunca yaklaşık olarak belirlidir. İnönü mahallesinde diğer sonda deney sonuçları da dikkate alınarak, deprem kaydından zemin büyültme etkileri arındırılmıştır. Şekil 2.51.’de de görüldüğü gibi, 100 m’den daha derinlerde pratik olarak enbüyük ivme değerinde bir değişiklik olmamakta, 10-100 m aralığında büyültme etkisi sınırlı bir değerde kalmaktadır. En büyük büyültme etkisi yüzeyden itibaren 0-10 m derinliğindeki tabakalardan dolaydır.

Erzincan kalın alivyon tabakası üzerine kurulmuş bir şehirdir. Bu nedenle gözönüne alınan derinlik, dinamik sonda değerleri yoluyla elde edilen eşdeğer SPT darbe sayıları $N=50$ değerine ulaştığı ve dinamik sonda aleti ile geçilemeyen derinlik ana tabaka derinliği olarak seçilmiştir. Erzincan’ın İnönü mahallesinde SPT- $N=50$ değerine 8m derinde ulaşılmıştır.



Şekil 2.51. Erzincan depreminde İnönü Mahallesi'nde en büyük ivmenin derinlikle değişimi[22]

13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Yavuz Selim Mahallesi'nde üç hasar bölgesi için çakıl derinliği, en büyük ivme ve zemin hakim periyodlarının ortalamaları incelendiğinde çakıl tabakası derinliği azaldıkça, zemin hakim periyodu azalmakta ve depremin hakim periyodu ile çakılma olasılığı artmaktadır. Yapı hakim periyodlarının da bu aralıkta kalması halinde yapılar çifte rezonans etkisinde kalabilmektedir. Aşağıdaki tabloda üç farklı hasar bölgesinde kalan inceleme noktaları için zemin yüzeyindeki kayıtlar kullanılarak hesaplanmış spektrumlar verilmiştir. Hafif hasardan ağır hasara doğru spektral ivmeler artmaktadır. [22]

Tablo 2.3. Hasar bölgelerine göre deprem özellikleri [22]

Hasar Derecesi	Çakıl Tabakası Derinliği(m)	En büyük ivme (g)	Zemin hakim Periyodu (saniye)
Hafif	7	0.49	0.54
Orta	6	0.58	0.40
Ağır	2.5	0.68	0.18

30 Ekim 1983 Erzurum-Kars depreminde, deprem merkezinden yaklaşık 12 km ve birbirinden yaklaşık 3 km uzaklıkta olan Koyunören köyü ve Otluktepe köyleri ele alındığında, iki köy arasında çok büyük hasar farklılığı görülmektedir. Zemin tabakasının sert ve kalınlığının az olduğu bir yamaçta kurulmuş olan Koyunören köyü tamamen yıkılırken, aynı tip yapılardan oluşan fakat daha kalın bir alivyon tabakası üzerine kurulmuş olan Otluktepe köyünde hasar çok daha sınırlı kalmıştır. Buna ek olarak Koyunören köyünün bulunduğu yamacın büyük bir heyelan alanı içinde bulunması hasarın daha da artmasına yol açan bir yerel koşul olarak ortaya çıkmaktadır.[2]

Sıvılaşma

Depremler ve dinamik yükler altında suya doymun kohezyonsuz zeminlerde büyük hasara yol açabilen kritik mukavemet kaybı ve “sıvılaşma” problemleri meydana gelmektedir.

Sıvılaşma, gevşek-orta sıklıkta suya doymun kohezyonsuz zeminlerde görülür. “Depremlerde suya doymun kumlu zemin tabakalarında sıvılaşmanın oluşmasına yol açan ana neden, yer titreşimlerinden meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri sonucunda, boşluk suyu basıncının çevre basıncına eşit bir değere gelecek şekilde artabilmesidir. Kohezyonsuz zeminler, özellikle sıvılaşma olasılığı açısından kumlu zeminler, tekrarlı yükler altında bulduklarından daha sıkı konuma geçmek isterler. Suyu doymun zeminlerde ise, tekrarlı yükler altında, kumlu zeminlerde gözlenen hacimsel sıkışmaya daneler arasını dolduran boşluk suyu engel olmaktadır. Suyun sıkışabilirliği zemin dane yapısına karşın çok küçük olması boşluk suyu basıncının artmasına yol açar.”[1] İnce-orta kumlarda permeabilite

yüksek olmasına karşın, deprem sırasında süre açısından drenaj yolunun uzunluğu nedeni ile boşluk suyu basıncındaki sönüm miktarı ihmal edilebilmektedir. “Boşluk suyu basıncının ani ve sürekli olarak artması zemin daneleri arasında bulunduğu düşünülen efektif çevre gerilmesinin azalmasına hatta ”sıfır” olmasına yol açar. Dairesel malzeme olan kumlarda efektif çevre gerilmesinin sıfır olması kayma mukavemetini yok eder, zemin elemanı artık bir sıvı gibi davranır ve büyük şekil değiştirmeler gösterir.” [1]

Sıvılaşmaya etki eden faktörler;

- Dane özellikleri
- Dane yapısı
- Relatif sıklık
- Yük altında bulunma süresi (tabakaların jeolojik yaşı)
- Gerilme tarihçesi
- Başlangıç kayma gerilmesinin mevcudiyeti



Şekil 2.52. 1992 Erzincan Depreminde Böğert- Ekşisu mevkinde sıvılaşma [19]

Gevşek- orta sıklıkta suya doymun kohezyonsuz zeminlerde orta-ince kumlarda, drenajsız halde tekrarlı yükler altında boşluk suyu basıncı sürekli olarak artmaktadır. 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde “Böğert Ekşisu mevkiinde, yeraltı suyunun zemin yüzeyine çok yakın

olması nedeniyle deprem sırasında zemin yüzeyinde ince kum ve silt kaynaması oluşmuş ve tipik bir sıvılaşma olayı göstermesi mümkün olmuştur.”(Şekil 2.52.) [19]

2.4.2.Yapıların rezonansı

Yapıların dinamik özelliklerinden dolayı, depremde yapıya gelen yer hareketinin hakim periyodu ile yapının doğal titreşim periyodu birbirine yakın ise rezonans oluşmakta ve yapılardaki hasar düzeyini artırmaktadır.

Yapıların en önemli dinamik özelliklerinden biri doğal titreşim periyodlarıdır. Peryod, yapının ağırlığı ve taşıyıcı sistemin yatay yüklere karşı rijitliğine bağlıdır.Yapı rijitliği gözönünde bulundurulmayan ampirik özel periyod formülleri çok dikkatli kullanılmalıdır. Çünkü; kullanılan bu formüller, ancak ölçmelerin yapıldığı tip yapılar için geçerlidir. Örneğin;

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}}$$

ABD’deki yapıların özel periyod ölçümlerinden yararlanılarak çıkarıldığından

Türkiye’de tasarımı yapılan yapılar için geçerliliği araştırılmalıdır.

1Ekim 1995 Dinar depremindeki tepki spektrumları incelendiğinde, depremin enbüyük zorlamaları doğal periyodu 0.2-0.4 saniye arasındaki bölgeye rastlayan yapılarda olmaktadır. Kent merkezindeki yapıların çoğu 2-5 katlı olduğundan ve doğal periyodların genellikle bu bölgeye rastlaması sonucu betonarme yapıların birçoğu yıkılmış ya da ağır hasar görmüştür. [27]

13 Mart 1992 Erzincan depremi kayıtları incelendiğinde, ivmenin 0.5g gibi çok büyük bir değere eriştiği, deplasmanların 30cm’yi geçtiği görülmektedir. Yer hareketinin periyodu , 3-5 katlı binalarda büyük hasar oluşturacak niteliktedir. Bir ve iki katlı binalar genelde elastik kalabilmişlerdir.[19]

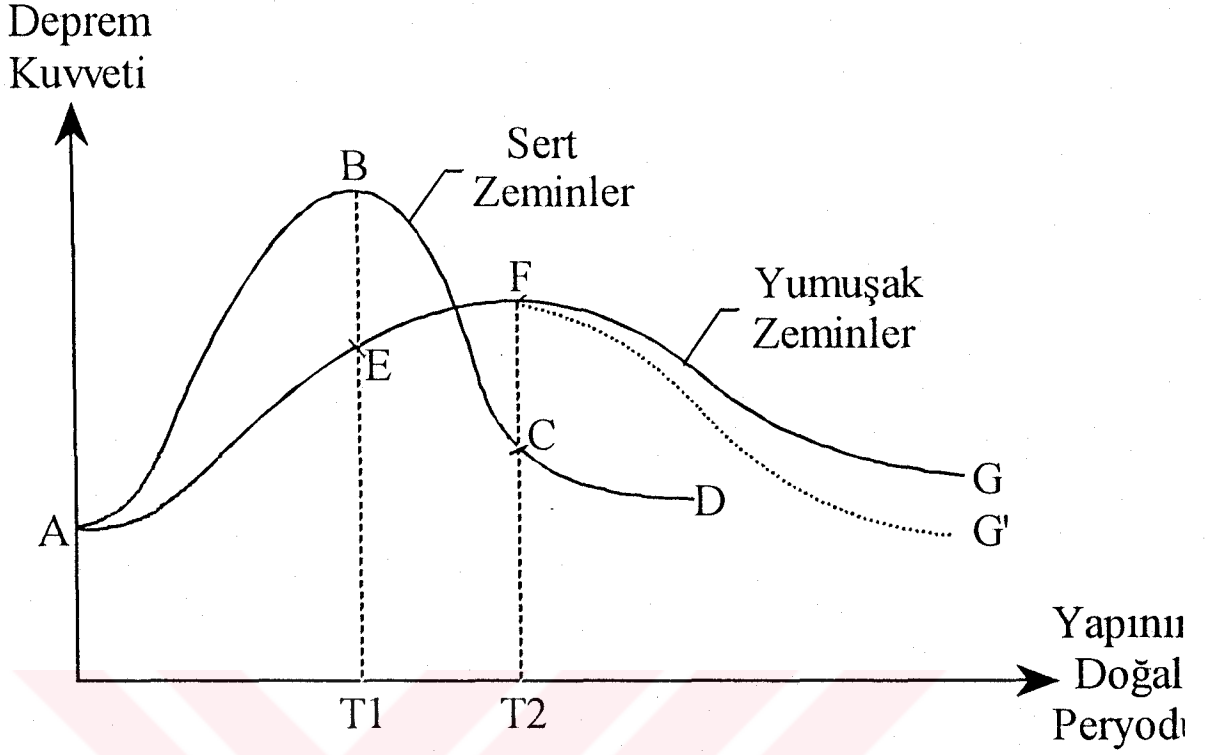
Zemin ve yapı hakim periyodlarının çakışmasına bir başka örnek, 28 Mart 1970 Gediz depreminde Bursa’da o sırada inşa edilmekte olan Fiat-Tofaş otomobil fabrikasında yapımı bitmiş tek katlı betonarme karkas binalarda meydana gelen hasarlar gösterilebilir.Bu olayda fabrika sahası deprem dış odak noktasından 135km uzakta, hasar şiddet skalasına göre beşinci bölge içinde kalmakta ve bu sahada en büyük yatay yer ivmesinin 0.04g civarında

olduğu tahmin edilmiştir.[31] Deprem dış odak noktasına 8km daha yakın olan Bursa kentinde hasar meydana gelmemiştir. Kent genelde daha katı ve az kalınlıkta bir zemin tabakası üzerinde yer almakta, Buna karşılık fabrika sahası kalınlığı 140km'den daha fazla olan bir alivyon tabakası üzerinde bulunmaktadır. Servis binalarından birinin bodrumuna sonradan yerleştirilen ivme kaydediciden elde edilen ivme davranış spektrumu $T=1.20$ saniye civarında çok belirgin bir tepe noktasını göstermektedir. Hasar gören binaların hesaplanan hakim periyodları ise $T=1.25$ saniye olarak bulunmuştur. Fabrika sahası içinde ve aynı zemin tabakaları üzerinde yer alan fakat hakim periyodları daha küçük olan daha az esnek yapılar ile hakim periyodları daha büyük daha büyük olan daha esnek yapılarda hemen hemen hiç hasar görülmemiştir. Bu durumda olayın tek nedeni olarak, zemin ve yapı hakim periyodlarının çakışması sonucunda rezonans durumunun meydana gelmiş olduğu düşünülebilir.[3]

2.4.3. Gelişen göçmeler

Kuvvetli yer hareketlerinden davranış spektrumu incelendiğinde deprem kuvveti sert zeminler için kısa periyotta belirli bir maksimum değerine sahip olurken, yumuşak zeminlerde daha yaygın bir periyod aralığında düşük düzeyde bir deprem kuvvetine sahip olmaktadır.(Şekil 2.53.) Deprem etkisindeki bir yapının periyodu T_1 olsun, yapının sert veya yumuşak zeminde olmasına göre yapıya gelen dalga büyüklüğü değişmektedir. Yapıda çatlama veya bölgesel hasar olursa, yapının doğal titreşim periyodu T_1 'den daha uzun örneğin T_2 'ye uzamaktadır.

Bu durumda yapı, sert bir zemin üzerinde bulunursa, gelen deprem kuvveti Şekil 2.53.'de görüldüğü gibi ABD eğrisinin aşağı doğru dik eğimi yüzünden oldukça küçük olmaktadır. Buna karşılık yumuşak zeminde yapıya gelen deprem kuvveti hemen hemen aynı veya Şekil 2.53.'deki gibi bazı özel durumlarda F noktasında gösterildiği gibi artabilir. İkinci durumda çatlama ya da bölgesel göçme gelişmeye devam eder ve yapının tümünün göçmesine neden olabilmektedir.



Şekil 2.53. Yapı doğal periyodu ile deprem kuvveti ilişkisi [23]

Ayrıca, yapıda doğal periyod uzamasıyla yerel kırılma veya çatlak oluştuğunda, sönüm artar. Dolayısıyla davranış eğrisi, göçmenin gelişmesiyle daha aşağıya inmeye yönelerek Şekil 2.53.'deki gibi FG eğrisi yerine FG' gibi belirli bir eğriyi izler. [23]

Yapılarda meydana gelen hasarlar zamanla biriken niteliğe sahip olduğu için, uzun süreli depremler, maksimum ivmeleri düşük de olsalar önemli hasarlar meydana getirebilirler. Yapının kuvvetli bir yükleme sonrasındaki periyodları, yükleme öncesine göre, daha uzun olabilir. Hafif bir depremden sonra periyod artışı, yapıda çatlaklar oluşturacak kadar şiddetli bir depremden sonra olacak artıştan daha az olmaktadır. Yapıdaki periyod artışı, yapının yay katsayısının azalmasına sebep olur ve yapıda ciddi taşıyıcı sistem hasarınının işaretidir.

Zemin-yapı etkileşimi konusunda yapılan çalışmalar sonucu, yapıların titreşim periyodlarının artışı ile yapı taban kesme kuvveti ve devrilme momentlerinde bir azalmanın olduğu görülmüştür.

Deprem etkisi altında yapı rijitliğinde önemli bir yumuşama olmaktadır. Kısaca bir yapının titreşim periyodu, çok değişik değerlerde olabilmekte ve yapının değerlendirilmesinde etkili bir ölçüt olarak gözönüne alınır. Bu nedenle yönetmeliklerde hesaplanmış periyod, yapının deprem öncesi düşük düzeylerdeki titreşim özelliklerini gösterir.

6 Eylül 1977 Lice depreminde Lice Belediyesi yeni binasında yapının uzun doğrultuda periyodu depremden sonra 0.315 saniye olarak ölçülmüştür. Yapının sadece taşıyıcı iskeletinin titreşime katkıda bulunduğu kabul edilerek yapılan hesapta yapının periyodunun 0.335 saniye olduğu, dolgu duvarlarının da elastik bölgedeki küçük genlikli titreşimler altındaki yapı mukabelesine katıldığı kabul edildiğinde yapı periyodu 0.27 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu durumda deprem sonrasında yapının elastik titreşimler bölgesindeki periyodunun 0.27 saniyeden 0.32 saniyeye yükseldiği anlaşılmaktadır, bu yapı rijitliğinin deprem nedeni ile %29 azaldığı şeklinde açıklanabilir.[29]

18 Kasım 1983'de Erzincan'da meydana gelen Richter ölçeğine göre 5.6 büyüklüğündeki deprem, iki dik yatay yönde maksimum 0.072g ve 0.04g genliğinde yer ivmelerine neden olmuştur. Bu hafif depremde hasar gören ve yeterli güçlendirici önlemler alınmayan yapıların tümü 1992'de çökmüştür.

1976'da Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi tarafından seçilen bazı binalarda titreşim deneyleri yapılmış ve doğal titreşim periyodları hesaplanmıştır. Aynı binalarda 1983 depreminden sonra da periyod ölçümleri tekrarlanmış ve yapılarıdaki periyod artışı gözlenmiştir. (Tablo 2.4.)

Yapı periyodunun iki katına çıkması yapı rijitliğinin dört kat azalmasının sonucudur. Tablo 2.4.'deki periyod artışlarından 1983'deki hafif şiddetli depremde tüm bu yapıların çok yumuşadığı görülmektedir. Aynı yapılar, 13 Mart 1992 depreminde çökmüş, önemli can ve mal kaybına neden olmuştur.

Tablo 2.4. 1992 Erzincan depreminde çöken bazı binalarda deprem sonrası periyod değişimleri[19]

Yapı	Plan Boyutları (m)		Kat Sayısı	Yükseklik (m)	Uzun Yön Periyodu (s)		KısaYön Periyodu (s)	
	Uzunluk	Genişlik			1976	1983	1976	1983
Urartu Oteli	60	18.75	4	16	0.15	0.59	0.32	0.43
Vakıf İşhanı	22.5	22.5	4	14	0.30	0.39	0.30	0.40
Belediye Ek Binası	80	15	5	16	0.5	0.69	---	0.45
Şeker Fab.Kireç Bacası	---	---	---	35	1.0	1.06	---	---

2.4.4. Titreşim Enerjisinin Yayılması

Deprem sırasında açığa çıkan titreşim dalgaları yer kabuğu ve yüzeyinde yayılır. Bu yayılma sırasında, geometrik olarak giderek büyüyen dalgaların şiddetinin azalması, dalgaların geçtikleri ortamlarda enerji kaybı ile sönmeye uğramaları sonucu yer hareketinin niteliği giderek değişmektedir. Dolayısıyla, depremin merkez üssünden (episantr) deprem dalgaları uzaklaştıkça zemin hakim titreşim periyodu artmaktadır. Çok katlı yapıların hakim titreşim periyodlarının da uzun oluşu sebebiyle çok katlı yapılar uzak depremlerden daha çok etkilenir.

Değişik zeminler için mukabele spektrumları araştırıldığında zemin yoğunluğu, penetrasyon darbe sayısının azalması ile yer hareketinin maksimum genliğinin gözlendiği periyod aralığı büyümektedir. Yerel koşullarla ilgili olarak, aynı büyüklük ve uzaklıktaki bir deprem farklı zemin koşullarında değişik etkiler meydana getirebilir. Sert zeminlerin hakim periyodları, yumuşak zeminlere göre daha küçüktür.

Yer hareketi içerisinde ki yüksek frekanslı, kısa periyodlu titreşimler, fazla uzaklara gidememektedir. Kısa periyodlu yer hareketleri uzaklık ile enerji kaybına uğramaktadır.

2.4.5. Farklı Oturmalar

Depremde, yeryüzünde yatay yer değiştirme yanında, dūřey yer değiştirme de görülür. Dūřey deprem ivmesi genellikle yatayın 1/2 veya 1/3 katı civarındadır. Ancak, deprem merkezine yakın olan yerlerde bu oran 2/3'e yaklaşırken, depremin merkezinden uzaklaştıkça 1/3'e kadar inebilmektedir. 1992 Erzincan depreminden kaydın episantra ve kent merkezine yakınlığı açısından dūřey ivme ile yatay ivme arasındaki ilişki görülebilir. Kent merkezinde alınan tek kaydın bileşkelerinin maksimum ivmeleri 0.49g (doęu-batı), 0.39g (kuzey-güney) ve 0.24g'ye (dūřey) ulaşmıştır.

Özellikle depremin merkezine yakın olan yerlerde dūřey ivme ile yatay ivme arasındaki oranın yüksek olması sonucu, yapılarda önemli dūřey ivmeler etkisinde kalacak konsol ve balkon gibi çıkma elemanlar ile dūřeydeki ereve süreksizliklerinden önemli hasar meydana gelmektedir.

Yapı altındaki zemin koşullarında düzensizlikler varsa, temellerde farklı dūřey deplasmanlar oluşabilir. Özellikle alanı büyük ve uzun kesitli yapılarda zemin yüzeyindeki kot farklarını ortadan kaldırmak amacıyla zeminde dolgu yapılması deprem kuvvetleri etkisi altında temas basıncında olan değişimler, binanın yapısal elemanlarında farklı oturmayı başlatacak ek gerilmelere neden olur. Üst yapıda oluşan bu ek gerilmeler, titreşim sonucu gerilmelerle birleşerek yapıya büyük hasarlar vermektedir.

2.5. Yapının deprem yönetmeliği hiç olmadığı bir dönemde ya da yeterli deprem güvenliği sağlamayan eski tarihli bir yönetmeliğe göre yapılması

Yapı tasarımında gözönüne alınan depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerinin henüz bulunmadığı ya da deprem dayanımı açısından yeterli önlemler içermeyen eski tarihli depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerine göre yapılmış yapıların depremde hasar görme olasılığı artmaktadır. Bu tür yapıların taşıma gücünü , rijitliğini ve dktilitesini artırmak için güçlendirme projeleri hazırlanmalıdır. Böylece eksik projelendirilmif veya inşa edilmiş bir yapının takviyesi sözkonusudur.

1992 Erzincan depreminde Sosyal Sigortalar Hastanesi'nin yıkılmasının nedenleri arasında deprem güvenliği açısından yetersiz olan 1961 yönetmeliğine göre yapılmış olmasının önemli bir payı vardır. [12]

2.6. Yapının hesap ve detaylandırılmasında tüm yönetmeliklere uyulmasına rağmen meydana gelen hasarlar,

2.6.1. Yapının ekonomik ömrü süresince beklenenden daha şiddetli deprem olması

Deprem kuvvetleri yerin ivmesi sonucu ortaya çıkan atalet kuvvetleridir. Bu kuvvetlerin şiddeti, yapının kütle ve rijitlik dağılımına, yer hareketinin frekans ve genliğine bağlıdır. 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte ve taslak yönetmelikte deprem kuvveti yaklaşık değerler olup, şiddetli bir depremde oluşacak kuvvetlerden çok düşüktür.

Deprem etkisindeki yapı büyük enerji yutmak durumundadır. Yapının herhangi bir yerinde eleman akma sınırı ötesinde zorlamalara maruz kalırsa, yapının taşıma gücünde bir azalma olmamalıdır. Yani yapı duktilite yeteneğini kaybetmemelidir. Yönetmelikte öngörülen koşullar, betonarme yapılarda çökmeyi önleyecek gerekli duktiliteyi sağlamak amacıyla yöneliktir.

Deprem için yönetmelikte projelendirmenin temel ilkeleri,

- a) Yapı, hafif depremde hiç hasar görmemelidir.
- b) Orta şiddetli depremde taşıyıcı sistemde hasar meydana gelmemeli fakat taşıyıcı olmayan elemanlar hasar görebilirler.
- c) Yapının ekonomik ömrü süresince o bölgede meydana gelebilecek en şiddetli depremler sırasında yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarında hasar meydana gelebileceği fakat taşıyıcı sistemin göçmemesi öngörülmektedir.

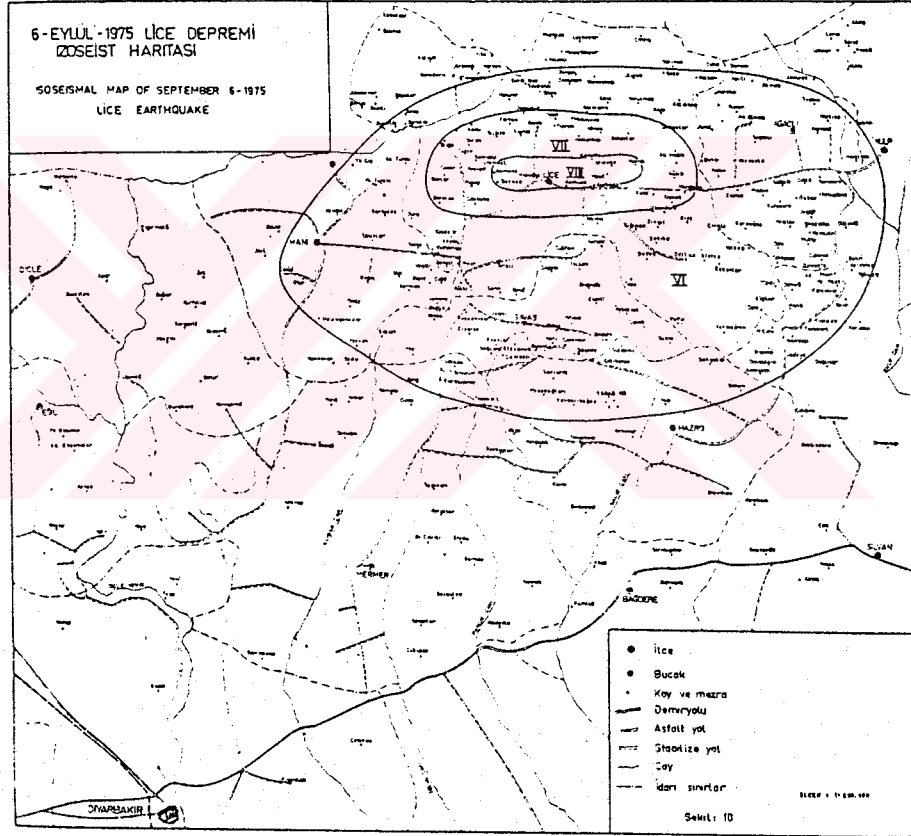
Görüldüğü gibi yönetmelikte deprem şiddetine göre yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarında hasar beklenilmektedir. Bunun nedeni, yapının deprem enerjisini yapacağı deformasyonlarla tüketebilmesi ve ekonomik sebeplerden ileri gelir.

1992 Erzincan depreminde Richter ölçeğine göre deprem odağında büyüklüğü 6.8 olan orta şiddetli bir depremdir. Erzincan'da deprem yönetmeliğine uygun yapıldığına inanılan

yapıların hepsi depremi hafif veya orta hasarla atlatmışlardır ki bu sonuç deprem tasarım ilkeleri ile uyumludur.[19]

2.6.2. Yüzey tabakasında kütle dağılımı ve jeolojik süreksizliklerin etkisi

6 Eylül 1975 Lice depreminde Kandilli rasathanesi anaşok magnitüdü $M=6.9$ olarak verilmiştir. Yerinde yapılan incelemeler sonucunda episantıral şiddet olarak $I_0=VIII$ (MSK) saptanmış ve çizilen izoseist haritası Şekil 2.54.'de verilmiştir. Haritadan görülebileceği gibi depremin, bölgenin güneyindeki hissedilme alanı daha geniş olmuştur. Bunun nedeni kuzeyde yüksek dağların oluşu ve bu bölgede jeolojik yapıda bir süreksizlik bulunuşu ile açıklanabilir.[29]



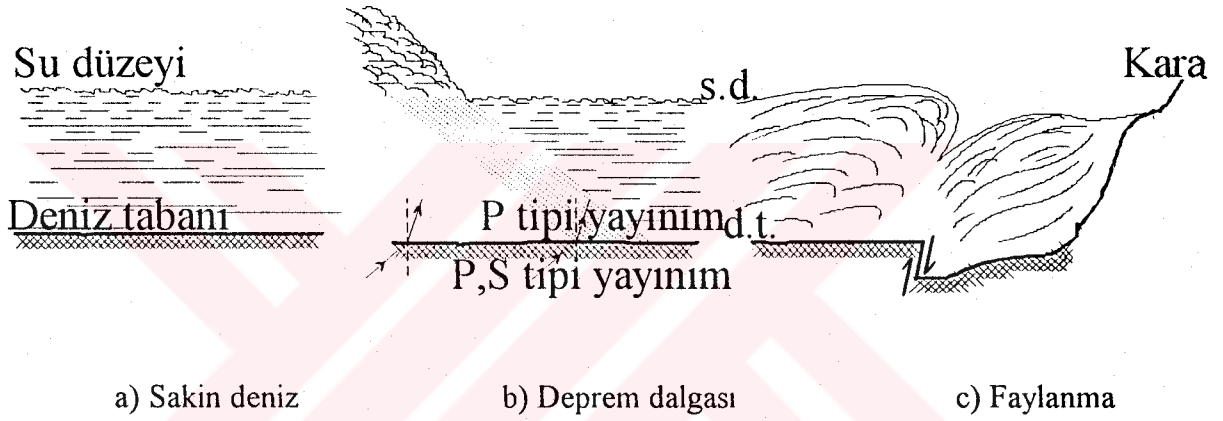
Şekil 2.54. 6 Eylül 1975 Lice depremi izoseist haritası [29]

2.6.3. Doğal çevre koşullarının deprem etkisi ile yaptığı hasar,

2.6.3.1. Tsunami (Deniz taşması) oluşumu

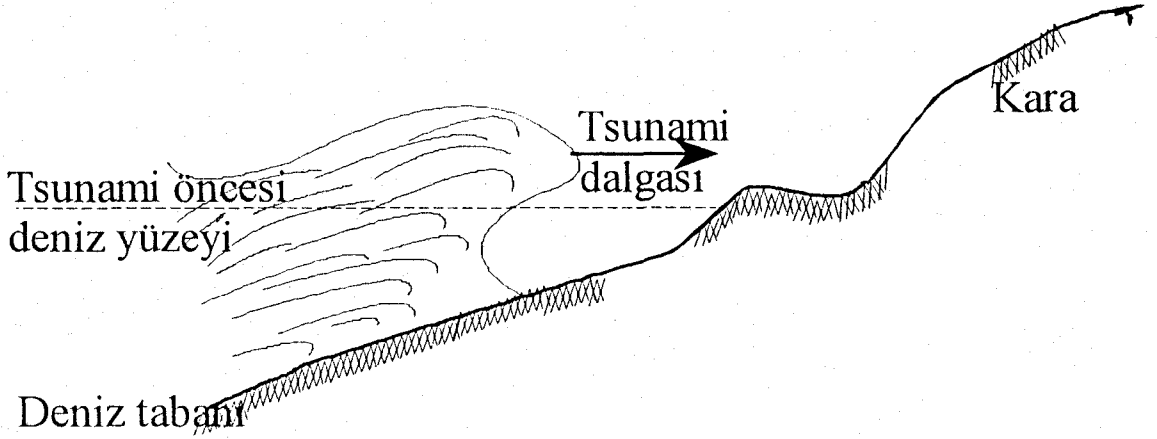
Denizin deprem, volkan veya kıyı heyelanı gibi olaylardan sonra önce çekilip (bazen çekilmeksizin) ve bir süre sonra belirli bir yükseklikte su duvarı gibi, dalgalar halinde kıyıya saldırışı deniz taşması (tsunami) olarak tanımlanabilir.

Her tsunaminin kendi karakteristikleri ve meydana gelme nedenleri olabilir. Japon araştırmacılara göre, genellikle tsunamilerin, eğim atımlı faylanmalarla ilişkili olduğu düşüncesi vardır. Türkiye kıyılarında gözlenen tsunamilere genellikle depremler neden olmuştur.



Şekil 2.55. Tsunami dalgası oluşumu [26]

Şekil 2.55.'de görüleceği gibi, deprem dalgasının deniz tabakasına erişmesi (b) veya tabanda bir fay oluşumu sonucu (c) durumu belirir; (b)'de dalga cephesinin, (c)'de ise ani kopmanın etkisi ile su kütlesi de denge konumunu değiştirir, dalgalanmaya başlar. Harekete başlayan su kütlesi sığ ve geniş kıyılarda dağılıp sakinleşir. Açık denizde U veya V şeklin körfeye yaklaşan dalga, derin su dalgasından sığ su dalgasına dönüşür; körfeye doğru su derinliği azaldıkça dalga hızı da azalır; böylesine hız azalması dalga boyunun azalmasını ve dalgaların kırılmasının gerektirir. Üst üste binen dalgalar (Şekil 2.56.), bir duvar şeklinde yükselir ve tsunamiyi oluşturur. [26]



Şekil 2.56. Kırılarak üst üste yığılan dalgalar [26]

Açık denizde seçilemeyecek nitelikte olan tsunami dalgaları U veya V biçiminde bir körfeze erişen dalga yüksekliği, körfez tabanının topografyası ve dalgayı oluşturan kaynağın gücü ile körfeze göre konumuna bağlıdır.

Sığ sularda, su derinliği dalga boyuna göre küçük olduğundan ilerleyen dalga uzun, derin sularda ise ilerleyen dalga kısa dalga olarak adlandırılır.

Açık denizden bir körfeze yaklaşan dalga, derin su dalgasından sığ su dalgasına dönüşür. Körfeze doğru su derinliği giderek azlıyorsa, dalga hızı da azalır. Bu değişme, dalganın kırılmasını sonuçlandırır. Açık denizde ilerleyen dalga, koy ve nehir ağızlarında duran dalgaya dönüşerek Şekil 2.56.'da görüntülediği gibi su duvarı şeklinde bir dalga olarak kıyıya erişir ve benzer dalgalar birbirini izler.[26]

Dalga yükseklikleri ve kıyıya etkileri, belirli körfezlerde, körfezin geometrisine bağlı olarak değişir.[26]

14 Aralık 1557 depreminden sonra taşan denizin, izmit körfezinde, kıydan 3 mil ilerlediği gözlenmiştir. (I.Françis, 1947)

14 Eylül 1509 İstanbul depreminde Marmara kıyısı surlarının yıkılmasında, deniz taşmasının payı depremden az değildir. (S.Calvi, 1941)

1894 İstanbul depreminde Eginitis'e göre en fazla hasar alan içerisinde kalan kıyılarda sular çalkalanmış ve bazı yerlerde deniz 50 m çekilip geri gelmiştir. Bazı yerlerde ise deniz önce

yükselmiş sonra çekilmiştir. Haliç'te ve Boğaz'da bitmiş ya da yapılmakta olan kayıkların çoğu ya batmış ya da hasar görmüştür. [21]

Tablo 2.5. Türkiye'yi etkilemiş tsunamiler [26]

Tarih		Bölgesi
1.	İ.Ö.1300	Çanakkale yöresi, Truva
2.	76-78	Kıbrıs, Larnaka, Baf, Salamis
3.	142	Fethiye Körfezi
4.	(261-262)	Anadolu'nun Güney Kıyıları
5.	325	İzmit Körfezi
6.	342	Kıbrıs, Larnaka
7.	344	Çanakkale yöresi
8.	24.8.358	Kocaeli Körfezleri
9.	Kasım 447	Marmara Kıyıları, İstanbul
10.	Ocak 450	Marmara Kıyıları, İstanbul
11.	26.9.488	İzmit Körfezi
12.	525	Anadolu'nun Güney Kıyıları
13.	Kış 529	Marmara'nın Trakya Kıyıları
14.	Kış 542	Batı Trakya Kıyıları, Bandırma Körfezi
15.	6.9.543	Edremit Körfezi
16.	15.8.553	İstanbul, Kocaeli Körfezleri, Deniz 2 mil ilerlemiştir
17.	15.8.554	Güney Batı Anadolu Körfezleri
18.	15.16.855	İstanbul ve İzmit Körfezi
19.	14.12.557	İstanbul, İzmit Körfezi, Deniz 3 mil ilerlemiş, 5 bin ölü
20.	715	İstanbul, İzmit Körfezi
21.	26.10.740	Marmara Kıyıları, İzmit Körfezi
22.	19.12.803	İskenderun Körfezi

23.	26.10.975	İstanbul, Marmara'nın Trakya Kıyıları
24.	989	İstanbul, Marmara Kıyıları
25.	990	İstanbul, Marmara Kıyıları
26.	Ocak 1039	İstanbul, Marmara Kıyıları
27.	23.9.1064	İstanbul, Bandırma Körfezi
28.	5.1222	Kıbrıs: Limasol, Baf
29.	12.2.1332	Marmara Kıyıları
30.	14.10.1344	İstanbul
31.	20.3.1389	Sakız Adası
32.	16.11.1403	Anadolu'nun Güney Kıyıları
33.	3.5.1481	Rodos Adası, Anadolu'nun Güney Kıyıları
34.	1489	Anadolu'nun Güney Kıyıları
35.	14.9.1509	İstanbul; Marmara Kıyısı Surlarını aşan dalgalar kentin birçok yerlerini ve Galata'yı sular altında bırakır. Binlerce can kaybı olur.
36.	5.4.1641	İstanbul, 136 gemi harab olur.
37.	30.11.1667	İzmir Körfezi
38.	10.7.1668	İzmir Körfezi
39.	22.5.1766	İstanbul
40.	23.5.1829	İstanbul
41.	28.2.1851	Fethiye Körfezi
42.	3.4.1851	Fethiye Körfezi
43.	23.5.1851	Rodos Adası
44.	12.5.1852	İzmir Körfezi
45.	8.9.1852	İzmir Körfezi
46.	9-13.2.1855	Fethiye Körfezi
47.	13.12.1856	Sakız Adası

48.	2.2.1866	Sakız Adası
49.	19.4.1878	İzmir Körfezi
50.	10.5.1878	Anadolu'nun Güney Kıyıları

2.6.3.2. Bölgelerin jeolojik yapısı ve yapının topografik konumu

Deprem bölgesinin topografyası ile jeolojik yapısı can ve mal kaybında önemli rol oynamaktadır. Köylerin yamaçlarda kurulması ve bölgenin jeolojisi ile birleşince yapıların deprem kuvvetlerine uygun boyutlandırılmasına donatılmasına rağmen hasara ve can kaybına engel olunamamaktadır.

6 Eylül 1975 Lice depreminde yamaç köyünde önemli kaya düşmeleri görülmüş ve bu köydeki hasarın ve can kaybının bir nedeni de yamaçlardan düşen kayaların evleri yıkması olmasındır.[29]

2.7. Taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasarlar

Çerçevelerde katlar arası yer değiştirmeler sonucu taşıyıcı olmayan kısımlarda hasar meydana gelmektedir. Taşıyıcı olmayan yapısal elemanlardaki hasar düzeyi yapı rijitliği ile ters orantılıdır. Yapı rijitliği artırılarak, depremde meydana gelecek şekil ve yer değiştirmeler küçültülür. Böylece taşıyıcı sistemde ve taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasar azaltılabilir. Deprem sırasında yapı içinde alet ve teçhizatın fonksiyonunu devam ettirebilmesi ve herhangi bir zarara uğramaması için yüksek rijitliğe sahip yapı tercih edilir. Elastik yapılarda, istenmeyen diğer bir durum, yatay yer değiştirmelerin büyümesiyle, normal kuvvetin ikinci mertebe moment etkisinin artmasıdır. Çerçevelerde katlar arası yer değiştirmeleri küçültmek ve normal kuvvetin ikinci mertebe momentini azaltmak için betonarme perdeler kullanılarak yapı rijitliği artırılır.

2.7.1. Dolgu duvarlarda meydana gelen hasar

Betonarme yapılarda deprem hasarı sıva çatlakları ile başlamaktadır. Eğer su ve tesisat boruları üzerinde ince (1-2 cm) bir sıva tabakası varsa ilk hasar bu bölgelerde görülür. Daha sonra betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki yüzeylerde sıva çatlakları oluşmaktadır. İlk olarak kiriş ile dolgu duvar üst yüzeyi arasında olurken daha sonra kolon ile dolgu duvarı arasında ortaya çıkmaktadır.

Donatısı iyi düzenlenmiş kiriş ve kolonların meydana getirdiği çerçevelerde orta şiddetli bir depremde katlar arası büyük yer değiştirmeler meydana gelir. Duvar düzleminde etkiyen kesme kuvvetinden oluşan diyagonal doğrultudaki basınç ve çekmeler, depremde bu kuvvetlerin yön değiştirmesiyle bölme duvarında X çatlakları oluşur. Dolgu duvar hasarının ileri aşamasında duvardan kırılmış ve ezilmiş tuğla ya da biriket parçaları düşmektedir.

Bölme duvarlarının bulunması çerçeveye ek bir rijitlik kazandırır, yapının periyodunu küçültür ve yapıdaki kuvvet dağılımına etkili olur. Bölme duvarında meydana gelen hasarla deprem enerjisinin bir kısmı yutulur.

Dolgu duvarındaki eğik çatlaklar, çoğunlukla tuğlalar arasındaki inşaat derzlerini takip ederler. Bu derzlerin yeterince özenle ve tam dolu olarak yapılmamış olmaları ve derzleri

kısmen dolduran harcın mukavemetinin daha düşük mukavemette bulunması ile açıklanabilir.[17]

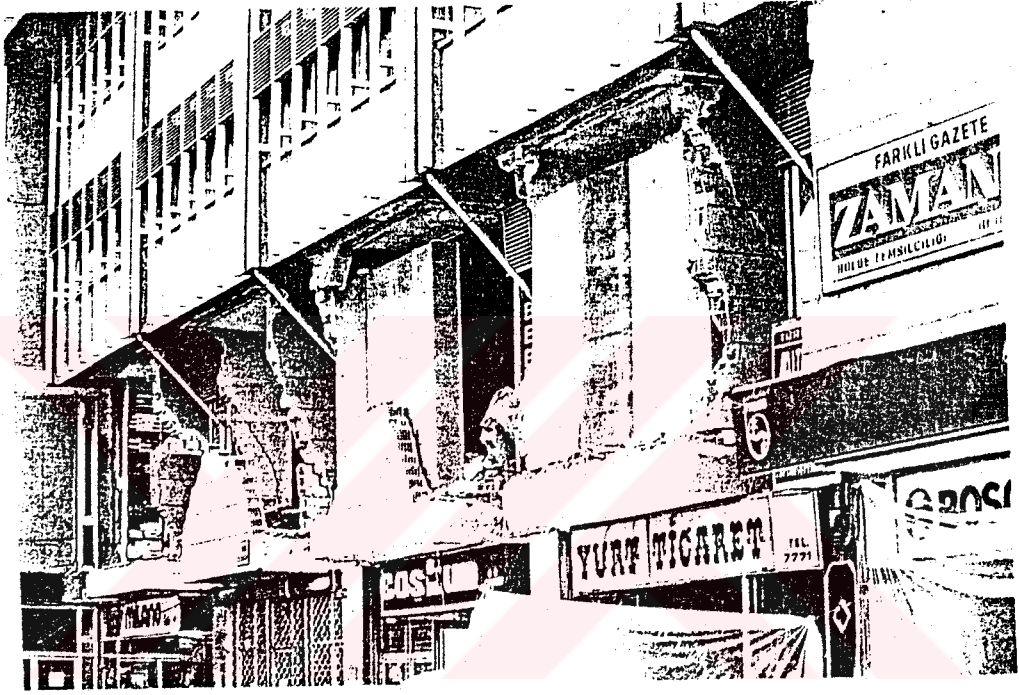
30 Ekim 1983 Erzurum depremi sırasında Narman Hükümet Konağı'nda betonarme karkas sistemde dogu ve bölme duvarlarında deprem hasarları; duvar üst seviyesi ile üstündeki kiriş veya döşeme arasında ayrılmalar; duvarın dış duvar olması halinde duvar üst seviyesinin dış yüzünde sıva dökülmeleri; duvar ile bunu çevreleyen kolon arasında ayrılmalar ve çatlamlar; duvar düzleminde etkiyen kesme kuvvetinden oluşan diyagonal doğrultudaki basınç ve çekmeler ve depremde bunların yön değiştirmesiyle meydana gelen X şeklinde çatlaklar veya kırılmalar; duvar köşelerinde ezilmeler tarzında kendini göstermektedir. [17]



Şekil 2.57. 1983 Erzurum depreminde Narman Hükümet Konağı bölme duvarında X şeklinde kesme çatlakları [17]

Dolgu duvarlar betonarme çerçeve tarafından tüm olarak çerçevenememiş ise, duvarın kaymasına ve burulma etkisi ile zorlanmalara maruz kalır. Özellikle tavana kadar ulaşmayan dolgu duvarları bir bütün olarak düzlemleri dışına devrilebilir.

13 Mart 1992 Erzincan depreminde Kızılay İşhanı'nda betonarme çerçeveler tarafından çerçevenemeyen dolgu duvarındaki hasar düzeyi görülmektedir. (Şekil 2.58.)



Şekil 2.58. 1992 Erzincan depreminde Kızılay İşhanı'nda bölme duvar hasarı [4]

30 Ekim 1983 Erzurum depreminde Narman belediye binası düzlemine dik doğrultuda(enine) bağlantısı bulunmayan bir cephe kalkan duvarının deprem kuvvetleri etkisi ile devrilip yıkılarak aşağıya düşmesi Şekil 2.59.'da görülmektedir. Depremde bu ve buna benzer ağır kaplamaların koparak aşağıya düşmesi can güvenliği açısından büyük tehlike teşkil eder. [17]



Şekil 2.59. 1983 Erzurum depreminde Narman Belediye Binası'nda dolgu duvar hasarı

[17]

30Ekim 1983 Erzurum depreminde dolgu duvarı küçük moloz taşlarla yapılmış kalın bir duvar ise; düzlemindeki eğik basınç kuvvetleri etkisinde, duvarda, düzlemine dik doğrultuda şişme (göbeklenme) ortaya çıkmaktadır. (Şekil 2.60.) Narman Hükümet Konağı; binanın dar



Şekil 2.60. Taş duvar dış cephesinde şişme ve sıva dökülmesi hasarı [17]

cephelerinden birinde, bodrum ve zeminde binanın rijitlik dağılımının üniformluğu bozan rijit bir taş kagir duvar yer almaktadır. Duvar dışa ve içe doğru yer yer şişmiş, önemli deformasyonlar yapmış durumdadır. Resim, bu taş duvarındaki cephelerinde bir şişme ve sıva dökülmesini göstermektedir.[17]

2.7.2. Baca yıkılması

Bacalar, genellikle tuğla dolgu duvar olarak düzenlenirler. Dış duvarlarda yapılan bacaların çatı mahyasını geçme zorunluluğu olması bu elemanların oldukça uzun ve narin olmasına neden olur. Ayrıca iç duvarlarda da yapı yükseklik farklarından oluşan ters hava akımlarını ortadan kaldırmak amacıyla baca yüksekliği artırılmaktadır. Bacalarda, yapım hatalarının da elvermesiyle depremde can kayıplarına ve yaralanmalara sebep olmaktadır.

2.7.3. Yapı iç ve dış kısımlarındaki estetik yapı elemanlarında kopma hasarları

Yapı içinde veya dışındaki süs elemanları veya asılı elemanlar mesnetlerinden koparak can ve mal kaybına yol açmaktadır.

2.7.4. Duvar kaplamaları hasarı

İç ve dış duvarlarda fayans, karo mozayik, mermer ve benzeri kaplamaların deformasyon kabiliyetlerinin az olması dolayısıyla, deprem etkisinde, duvarın deformasyonuna uymayarak dökülürler. Mimari elemanlardaki bu tür hasarlar deprem hasar maliyetini artırmaktadır.

2.7.5. Pencere camları kırılma hasarı

Pencere cam bölümleri oldukça gevrek bir malzeme olduğundan, depremde yapının yatay ötelemelerine dayanamayıp aniden patlamalar görülür. Bu durumda deprem sırasında can kaybına kadar varabilen yaralanmalara sebep olur.

3. SONUÇLAR

Ülkemizdeki depremlerde, inşaat mühendisliği açısından bilinen önemli noktaların proje ve yapım aşamasında dikkate alınmaması deprem hasar maliyetinin artımına sebep olmuştur. Depremde bazı binalar çökmüş, benzer nitelikte bazı binalar ise depremleri az hasarlı veya hasarsız atlattıklarıdır. Bu çarpıcı zıtlık bize ülkemizde geçerli olan, tasarım ve yapım yönetmeliklerine uyulan yapıların ödüllendiği, uyulmayanların ise ağır biçimde cezalandırıldığını göstermektedir.

Bu çalışmada betonarme mühendislik yapılarında deprem hasarı sistematik olarak yedi ana başlık ve kendi içerisinde alt bölümlere ayrılarak araştırılmıştır. Deprem hasarı artımında en önemli etken salt mimari kullanım amacıyla taşıyıcı sistem tasarımına gerekli özenin gösterilmemesidir.

Ülkemizde deprem yükleri altında en fazla hasar zemin katın açık çerçeve olarak bırakılması sonucu yumuşak kat oluşumu ile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle pek çok bina çökmüş veya ağır hasara uğramış ve onarımı imkansız hale gelmiştir. Yine mimari kullanım nedeniyle, kuvvetli kiriş-zayıf kolon oluşumu, kısa kolon oluşumu ve binalarda burulma etkisinin ortaya çıkmasından kaçınılamamıştır. Çerçeve sistemlerde yatay yük altında en çok zorlanan kesitler birleşim bölgesindeki kiriş ve kolon kesitleridir. Kiriş kolon birleşim bölgelerinde etriye aralıklarının sıklaştırılmasına yeterli özen gösterilememiştir. Boyut ve donatı yetersizliği, donatı detaylandırma kusurlarına dikkat edilmemesine denetimsizlik ve kötü malzeme kullanımı da eklendiğinde kalıcı şekil değiştirmelerin belirli bölgelerde yığılmalarına, erken bölgesel çökmelere ve buna bağlı olarak da genel göçmelere neden olmuştur.

Ancak geçmiş yönetmeliklerin de yetersiz kalabileceği durumlar olabilmektedir. Bu yönetmeliklerin yetersiz kaldığı durumlarda, yapıların depremde hasar görme olasılığı artmaktadır. Özellikle kamu yapılarında (PTT, hastane okul, kamu v.b.) hareketli yük miktarının yüksek olması ile deprem hasarında can kaybı fazla olmaktadır. Bu tür

yapıların taşıma gücünü, rijitliğini ve düktilitesini artırmak için güçlendirme projeleri hazırlanmalıdır.

Ülkemizde yapıların tasarım ve yapımı aşamasında görev yapanların eğitim düzeyi, anlayış ve yaklaşımları dikkate alınarak proje aşamasında ve yapımında iyi bir denetimle hatalar azaltılabilir. Deprem etkisinde, perde duvarı bulunan yapılardaki hasar düzeyinin sınırlı kalması veya hiç hasar görmemesi, çok az miktarda bile olsa perde duvar kullanılmasının yapının davranışında etkili olduğu gözlenmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Ansal, A.M., 1982. "Kumlu Zemin Tabakalarında Sıvılaşma", Deprem Araştırma Bülteni, S.37, , s.s.21-95
- [2] Ansal, A.M., Erken, A., ve Yıldırım, H., 1984. "Depremlerde Zemin Tabakalarının Davranışına Dinamik Zemin Özelliklerinin Etkisi", Kuzey Anadolu 1.Ulusal Deprem Sempozyumu, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, s.s.1-17
- [3] Ansal, A.M., Erken, A., 1987. "Depremlerde Yerel Zemin Şartlarının Önemi", Türkiye İnşaat Mühendisliği, IX Teknik Kongre, 16-20 Kasım, s.s.165-180
- [4] Ansal, M.A., ve diğerleri, 1993. "Erzincan Depremi", T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi,
- [5] Altan, M., 1984. "Deprem Bölgelerinde Çerçeve Kirişleri ve Perde Bağ Kirişlerinin Donatı Miktarı ve Yerleştirilmesi", Deprem Araştırma Bülteni, S.47, , s.s.5-17
- [6]Altın, S., 1989. "Betonarme Perdelerin Tersinir Yükler Altında Davranışı", Deprem Araştırma Bülteni, S.67, s.s.5-16
- [7] Arıoğlu, Ü., Anadol, K., Arıoğlu, E., 1972. "1967 Akyazı Depreminde Ağır Hasar Gören Sakarya Valilik Binası Onarın ve Takviye Projesi", Türkiye'de Deprem Sorunu ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 2-5 Şubat, O.D.T.Ü. Ankara
- [8] Bağcı, G., ve diğerleri, 1991. "Türkiye'de Hasar Yapan Depremler", Deprem Araştırma Bülteni, S.69, ss.113-126, Ankara
- [9] Bayülke,N., 1974. "Kolon-Kiriş Ek Yerlerinin Yatay (Deprem) Kuvvetlere Dayanıklı Yapılması", Deprem Araştırma Bülteni, S.5, s.s.43-60

- [10] Bayülke, N., 1978. "Deprem Açısından Mimari Tasarım", Deprem Araştırma Bülteni, S.22, , s.s.43-60
- [11] Bayülke, N., Doğan, A., 1993. "Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar için 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Öğrettikleri", Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Ankara, s.s.121-135
- [12] Bayülke, N., 1995. "Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Yayını,
- [13] Celep, Z., Kumbasar, N., 1992. "Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş", İstanbul
- [14] Celep, Z., Kumbasar, N., 1993. "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", İstanbul
- [15] Çelebi, M., Çıtıptıoğlu, E.,1974. "Yapı Sistemlerinin Özel Periyodları", Deprem Araştırma Bülteni, S.7,
- [16] "Damage Report on 1992 Erzincan Earthquake"1992 , Turkey, AIJ./JSCE/BU
- [17] Demir, H., Polat, Z., 1985. "30 Ekim 1983 Erzurum Depremi Raporu", İMO İstanbul Şubesi, İstanbul
- [18] Ersoy, U.,Gülkan, P., 1975. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte Betonarme Yapılarla İlgili Bölümün Temel İlkeleri ve Açıklamalar", Deprem Araştırma Bülteni, S.10, s.s.1-44

- [19] Ersoy, U., ve diğeri, 1992. "13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu", T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, Ankara, s.s.1-100
- [20] Ersoy, U., 1993. "1992 Erzincan Depreminden Alınması Gereken Dersler", 2.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, s.s.395-403
- [21] Gündoğdu, O., 1991. "1894 Depremi ve İstanbul", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul ve Deprem Sempozyumu
- [22] Lav, A., Ansal, A.M., 1993. "Erzincan Depreminde Zemin Büyültmesi", 2.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, s.s.363-371
- [23] Ohsaki, Y., 1986. "Deprem Hasarı Üzerine Yerel Zemin Koşullarının Etkisi", Deprem Araştırma Bülteni, S.52, s.s.61-121
- [24] Özmen, G., 1991. "Depreme Dayanıklı Çok Katlı Yapılarda Tasarım ve Üretim İlkeleri", T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul ve Deprem Sempozyumu
- [25] Pampal, S., 1994. "Depremler", T.C. Gazi Üniversitesi Yayını, Ankara
- [26] Soysal, H., 1979. "Tsunami ve Türkiye Kıyılarını Etkilemiş Tsunamiler", Deprem Araştırma Bülteni, S.25, s.s.48-56
- [27] Tanku, T., ve diğeri, 1995. "1 Ekim 1995 Dinar Depremi Raporu", TÜBİTAK, İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, Ankara,
- [28] T.C.İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, 1975. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Ankara

[29] , T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, 1976. “6 Eylül 1975 Lice Depremi Lice Depremi Raporu, Ankara

[30] T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, 1977. “24 Kasım 1976 Çaldıran Depremi Raporu”, Ankara

[31] Tezcan, S.S., 1980. “Earthquake Desing Formula Considering Local Soil Conditions”, ASCE, J.of Structural Div., Vol 106, No ST1, pp. 69-86



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi : 20.03.1972

Doğum yeri : Bakırköy/İstanbul

Eğitim : Güngören İlkokulu, Güngören Ortaokulu, Bakırköy İzzet Ünver Lisesinde okudu.

1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1993-1994 Bahar yarıyılında aynı üniversiteden mezun oldu.

1994-1995 öğretim yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. Yüksek lisans öğretime devamla birlikte aynı Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.