

Deprem Nedeniyle Betonarme Yapılarda Oluşan Hasarlar

Yrd.Doç.Dr.Cahit GÜNER

Betonarme Yapılarda Deprem Etkisi ile Hasarın Oluşma Nedenleri



1. Mimari 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 bir yönetmeliğe göre yapılması,

6. Yapının hesap ve detaylandırmasında tüm yönetmeliklere uyulmasına rağmen meydana gelen hasarlar,

7. Taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasarlar,

1. Mimari Taşıyıcı Sistem Tasarımının Deprem Etkisine Uygun Olmamasından

1.1.Yumuşak Kat Oluşumu,

1.2.Kuvvetli Kiriş-Zayıf Kolon Davranışı,

1.3.Kısa Kolon Oluşumu,

1.4.Binalarda Burulma Etkisinin Ortaya Çıkması,

- Planda Kütle ve Rijitlik Merkezinin Çakışmaması Nedeniyle Burulma Etkisinin Ortaya Çıkması,
- Dolgu duvarların bazı binalarda asimetri oluşturması,

- Bloklar ya da ayrı kısımlar arasında dilatasyon derzlerinin yeterli olmaması
- Yeterli yanal rijitlik sağlanması için perde duvar kullanılmaması
- Merdiven-kat döşemesi birleşim bölgesinde meydana gelen hasarlar
- Düzensiz taşıyıcı sistem seçimi
- Yapının planda basit ve simetrik olmaması
- İstinat duvarında yatay yer değiştirme ile meydana gelen hasarlar,
- Ani rijitlik değişimi,

2. Boyut ve Donatı Yetersizliği, Donatı Detaylandırma Kusurları

- Kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan hasarlar
- Kiriş ve kolon donatılarının aderans boyunun yetersiz oluşu,
- Kiriş ve kolonlarda yetersiz etriye kullanımı,
- Kesiti ince uzun kolonlarda tek sıra etriye kullanılması veya ara donatıların çirozla bağlanmaması,
- Kolonlarda diyagonal doğrultudaki basınç etkisi ile kesme kırılması hasarı,
- Statik ve BA Hesabın yetersiz olması
 - Kirişlerde deprem etkisinin gözönüne alınmaması sebebiyle mesnetlerde alt ve üst donatı yetersizliği,
 - Kullanım amacının zamanla değişmesi,
 - Donatı çizimlerinin yetersiz olması

3. Denetimsizlik ve Kötü Malzeme Kullanımı

- Bazı binalarda yeterli beton dayanımına ulaşılamaması,
- Killi veya kirli agrega kullanımı,
- Betonun karıştırılması ve sıkıştırılmasında yeterli özenin gösterilmemesi,
- Birleşim bölgelerinde karışım dışı malzemeye rastlanması,

4. Zemin Koşullarının Deprem Hasarına Etkisi

- Zemin tabakalarınca deprem hareketinin yükseltgenmesi – Sıvılaşma,
- Yapıların rezonansı,
- Gelişen göçmeler,
- Titreşim enerjisinin yayılması,
- Farklı oturmalar,

6. Yapının hesap ve detaylandırmasında tüm yönetmeliklere uyulmasına rağmen meydana gelen hasarlar

- Yapının ekonomik ömrü boyunca beklenenden daha şiddetli deprem olması,
- Yüzey tabakasında bölge topoğrafyası ve jeolojik süreksizliklerin etkisi,
- Doğal çevre koşullarının deprem etkisiyle yaptığı hasarlar,
- Tsunami,
- Bölgenin jeolojik yapısı ve yapının topoğrafik konumu.

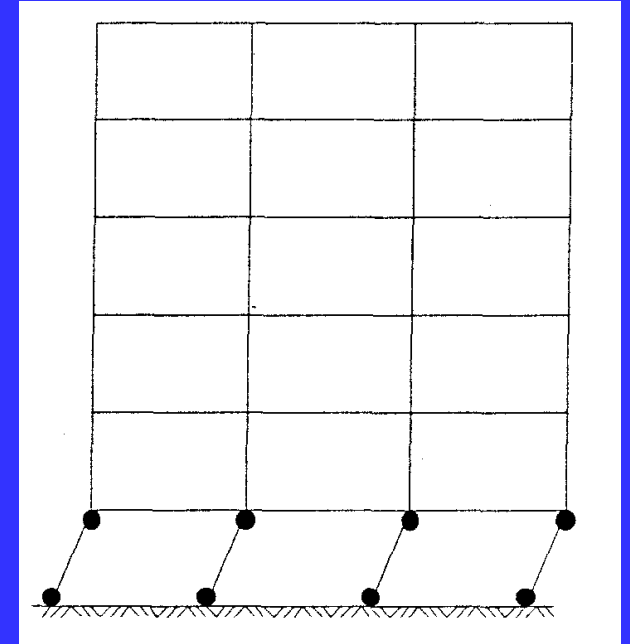
7. Taşıyıcı Olmayan Kısımlardaki Hasarlar

- Dolgu duvarda meydana gelen hasar,
- Baca yıkılması,
- Yapı iç ve dış kısımlarında estetik elemanlarda kopma hasarları,
- Duvar kaplamaları hasarı,
- Pencere camları kırılma hasarı,

1. Mimari Taşıyıcı Sistem Tasarımının Deprem Etkisine Uygun Olmamasından Kaynaklanan Hasar Türleri

1.1. Yumuşak Kat Oluşumu

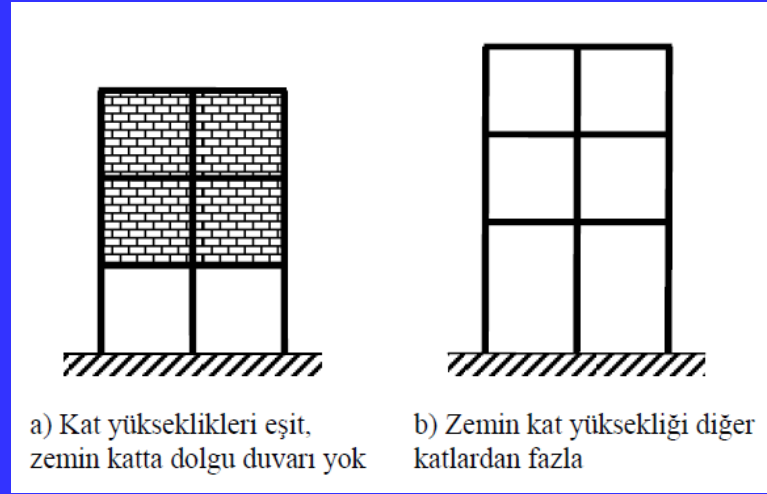
- Eğilme etkisi altında kolonların sünekliliği, kirişlere oranla daha azdır.
- Şekilde görülen mekanizmada olduğu gibi gevrek olan kolonların büyük enerji tüketmeleri beklenmektedir.



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.
- Dolayısıyla depreme dayanıklı yapı tasarımında yumuşak kattan kaçınılması gerekir.

Yumuşak Kat Düzensizliğine Neden Olan Faktörler



Yapıların genellikle zemin katı, bazen de üst katlarından bazıları, otopark veya ticari amaçla cam vitrin yapılmakta, diğer katlar ise dolgu duvar ile örülmektedir. Ükümüzde çok sık görülen bir uygulamadır.

Dolgu duvarlı katlar duvarsız veya vitrinli katlara göre çok daha rijit olmakta, duvarsız veya vitrinli katlar zayıf kalmaktadır.

Sadece yeni inşaatlarda değil, eski konutların iş yerine dönüştürülmesi sonucunda da bu durum ortaya çıkmaktadır.

Bu tür zayıf katlara “yumuşak kat” denilmektedir. Bir katın yüksekliğinin diğer katlardan fazla olması da yumuşak kat düzensizliğine neden olur.

Yumuşak Kat Düzensizliğine Örnekler 1



Zemin kat kolonlarında mafsallaşmalar

Yumuşak Kat Düzensizliğine Örnekler 2



Zemin kat kolon alt ve üst uçlarında
Meydana gelen mafsallaşmalar

Yumuşak Kat Düzensizliğine Örnekler 3

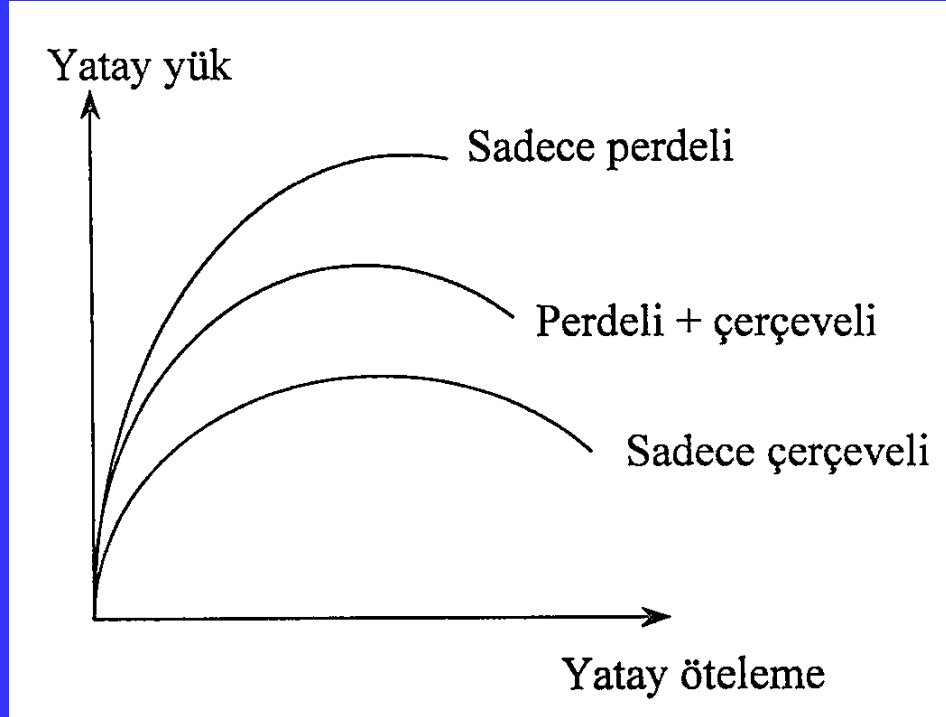


Zemin kat kolonlarında mafsallaşmalar

Yumuşak Kat Düzensizliğine Örnekler 3



Taşıyıcı Sistemlerin Yatay Yükler Altındaki Davranışı





Yumuşak kat, her katın
kolonlarının ve duvarlarının
kesit alanlarının
üst katlara göre daha küçük
olmasıdır.

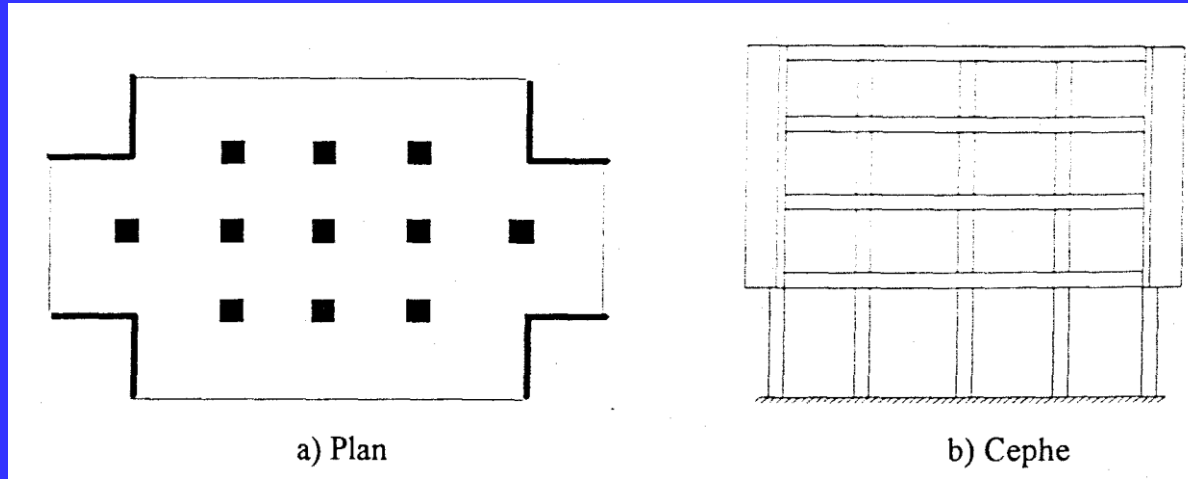
Deprem yapılar da en etkili olduğu kısım zemin katlardır. Üst katlara gidildikçe deprem etkisi azalır.

Yumuşak kat düzensizliği, çok katlı yapıların depremde yıkılmasının ana nedenidir.

Deprem kuvvetinden oluşan yatay yer değiştirmenin %70-80' i yumuşak katta oluşur.

Yumuşak kat kolonları aşırı yatay yer değiştirerek kırılırlar ve yapı aniden yıkılır.

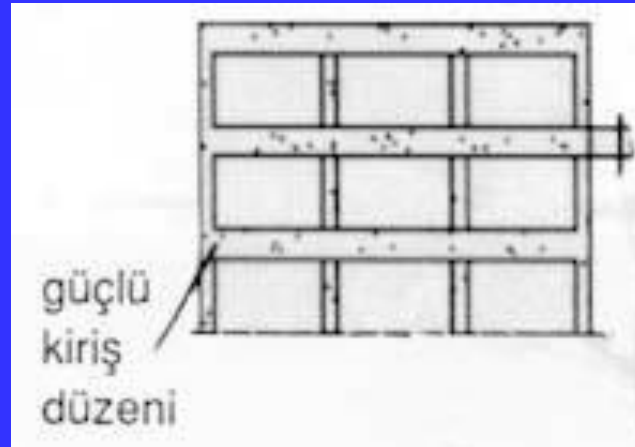
- Üst katlarda dekoratif amaçla perde duvar yapılması ve perde duvarların zemin katta kesilmesi sonucu, zemin katta çok büyük ötelenmeler ve yatay gerilmeler oluşturmaktadır.
- Örneğin 13 Mart 1992 Erzincan depreminde “yerlebir olan iki yapıda dört köşede düzenlenen L biçimindeki perdeler zemin kat düzeyinde aniden kesit boyutları oldukça küçük kolonlara dönüştürülmüştür.



Ani Rijitlik Değişimi

1.2.Kuvvetli Kiriş-Zayıf Kolon Davranışı

- Betonarme çerçeveseli yapıların gereken süneklığe ulaşamamasında, süneklilik için çok gerekli olan kuvvetli kolon- zayıf kiriş davranışı yerine, kuvvetli kiriş – zayıf kolon düzenlemesi oluşturulmasıdır.
- Bu tür binalarda kolon kesit boyutları oldukça küçük seçildiğinden, kolonlar oldukça narindir. Kirişler tam tersine gereğinden derin yapılmıştır. Bunun nedeni, kiriş boyutlarının pencere boşluklarına uydurulmasıdır.



Bir kuvvetli Kiriş-Zayıf Kolon Düzensizliği Sonucu Depremde Yıkılmış Yapı



Bu şekilde hasar çok sünek olan kirişler yerine, sünekliği az olan kolonlara kaydırılmıştır.

Kuvvetli Kiriş Zayıf Kolon Örnekleri 1

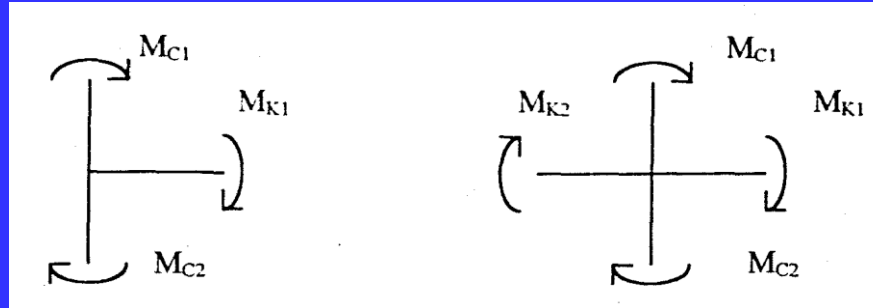


Kuvvetli Kiriş – Zayıf Kolon Düzensizliği Nedeniyle 2011 Van Depreminde Yıkılan Binalar



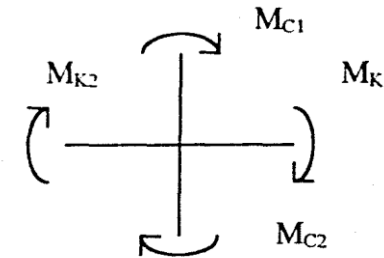
- Plastik mafsalların, gevrek kolonlar yerine, sünek kirişlerde oluşabilmesi için bir düğüm noktasındaki kolonların moment taşıma güçlerinin toplamı, bu bölgeye saplanan kirişlerin (kirişsiz döşemelerde döşeme döşeme şeritlerinin) taşıma gücü toplamından en az % 20 büyük olması gerekir.

Dış Düğüm Noktası



$$M_{c1} + M_{c2} \geq 1,2 M_{K1}$$

İç Düğüm Noktası



$$M_{c1} + M_{c2} \geq 1,2 (M_{K1} + M_{K2})$$

Kolon-Kiriş Düğüm Noktalarında Hesaplanan Taşıma Gücü Momentleri

1.3. Kısa Kolon Düzensizliği Oluşumu

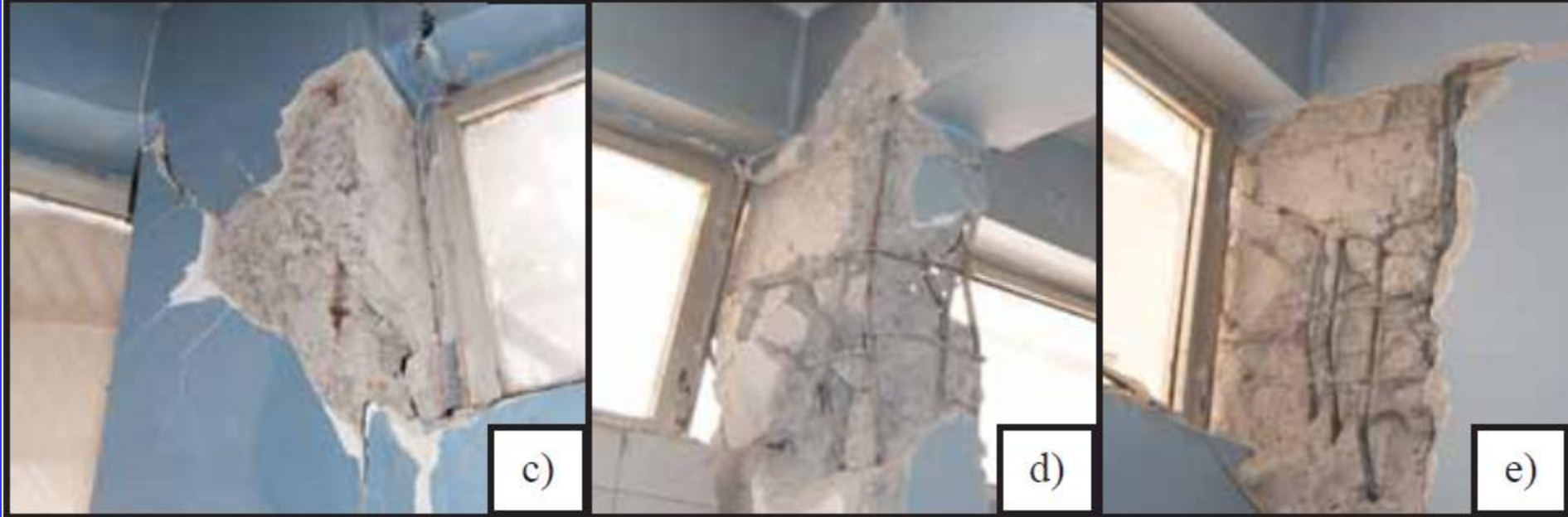
- Binalarda, özellikle dış duvarlarda, duvarlar üst tabliyeye kadar sürekli olarak yapılmadığı zaman deprem esnasında, kolonların bölme duvar örülmeyen kısımlarında kısa kolon etkileri ortaya çıkmaktadır.
- Genellikle sanayi türü yapılarda pencereler açmak ve ışıktan yararlanmak için dış duvarlarda boşluklar bırakılmaktadır. Bu duvarların kolon yüksekliği boyunca devam etmemesi durumunda ve bağlı bulunduğu çerçeveden de ayrılmamışlarsa deprem sırasında kolonlarda ağır hasarlar meydana gelebilmektedir.



Kısa kolon etkisi ile hasar gören bir yapı, Adapazarı depremi



Kısa kolon etkisi ile hasar gören bir yapı, Ceyhan depre

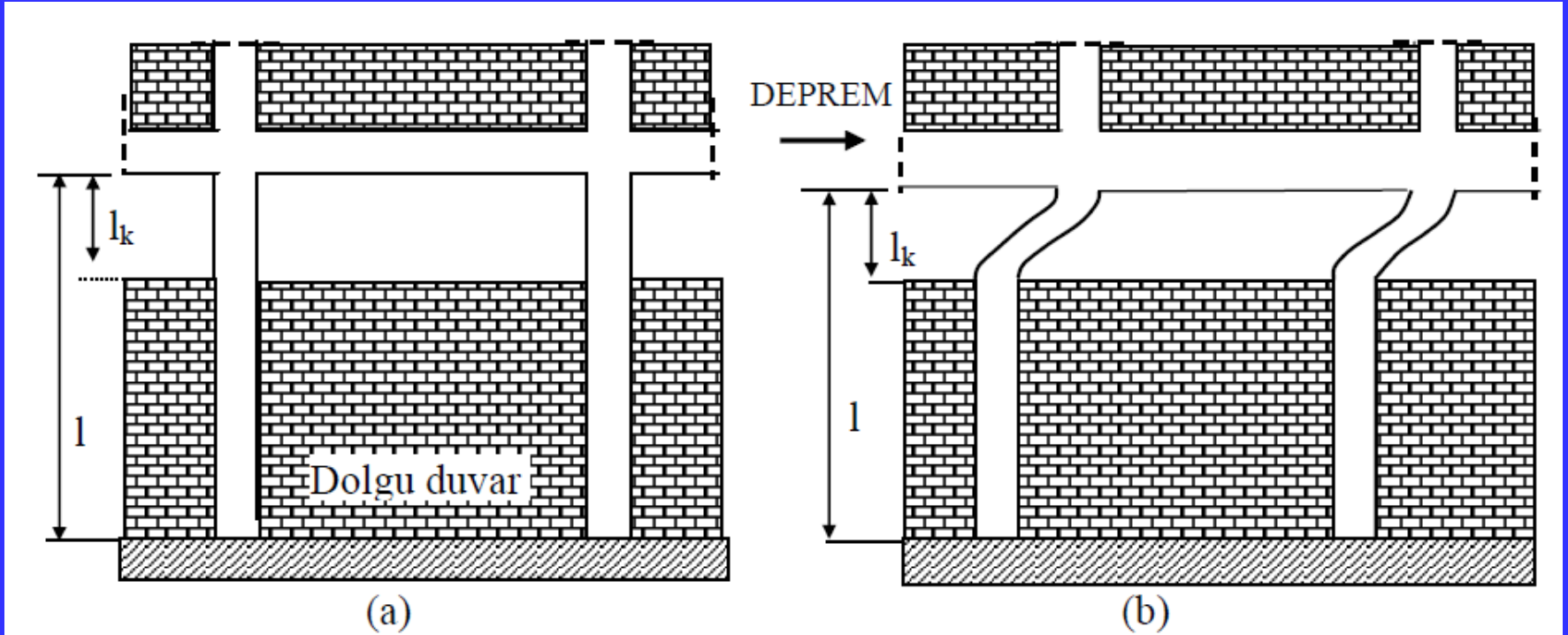


Kısa Kolon Düzensizliği Hasarları (Van Depremi-2011)

Kısa Kolon Davranışı Nedir ? 1

- Eğer duvarlar kısa olarak yapılıyor ve çerçevelere de bağlanıyorsa ana çerçevedeki kolonlar deprem sırasında meydana gelen yatay kuvvetler nedeniyle bağlı bulunduğu iki kat arasında duvarların kendi düzlemlerindeki rijitlikleri sonucu eğilememektedir.
- Böylece, kolonlar sadece duvarların üst kısmında bırakılan boşluk yüksekliği kadar bir kısımda eğilmeye zorlanmaktadır.
- Bu durumda kolonun bu kısmında çok büyük kesme kuvvetleri meydana gelmektedir.

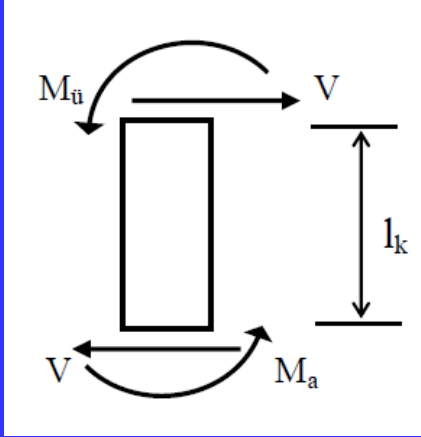
Kısa Kolon Davranışı Nedir ? 2



(a) Dolgu duvarlı yapı çerçevesi,

(b) Kısa Kolon davranışı

Kısa Kolona Etki Eden Momentler ve Kesme Kuvveti

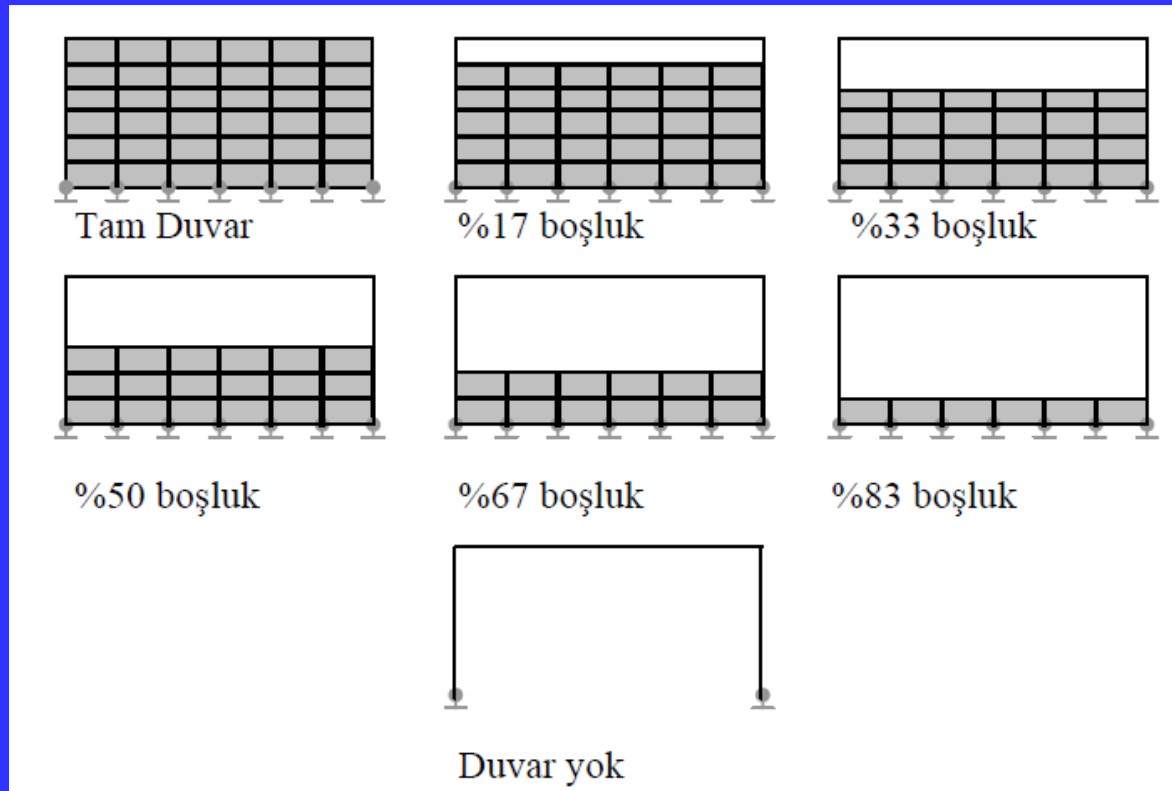


$$V = \frac{M_a + M_{\bar{u}}}{l_k}$$

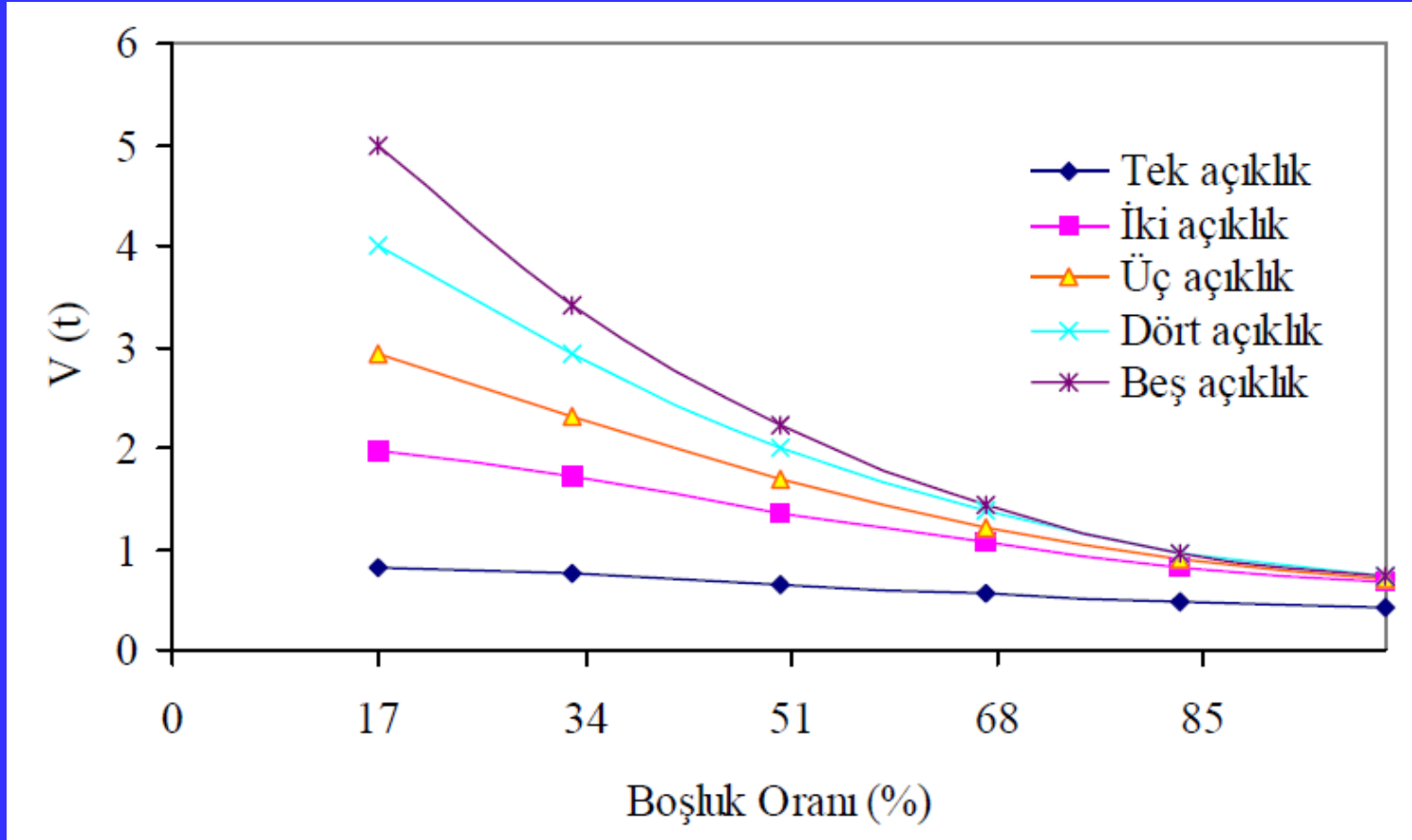
- Burada, M_a ve $M_{\bar{u}}$ kolonun duvar bağı olmayan bölümündeki alt ve üst kısımdaki momentleri, l_k kısa kolon boyunu göstermektedir.
- Yukarıdaki eşitlikten kolayca anlaşılacağı üzere kısa kolonda oluşan kesme kuvveti kısa kolonun yüksekliği l_k ile ters orantılıdır. Dolayısıyla l_k uzunluğu ne kadar kısa ise oluşacak kesme kuvveti de o kadar fazla olacaktır.

Kesme Kuvveti-Boşluk Oranı-Açıklık İlişkisinin İncelenmesi

- Yapıda kısa kolon etkisinin incelenmesi için yapı duvarlı ve duvarsız olarak modellenmiştir. Aşağıdaki modellere X yönünde eşdeğer deprem yükü verilerek deprem analizi yapılmıştır.



- Yapılan analizler sonucunda meydana gelen en büyük kesme kuvvet değerleri her açıklıktaki sistemler için %17 boşluğa sahip olan yapılarda meydana gelmiştir.
- Kısa kolon etkisi özellikle duvar yüksekliği % 50' den daha az olduğunda azalmaktadır. Örneğin, beş açıklıklı sistemde %17 boşluk oranında kesme kuvveti yaklaşık 5 t iken %50 oranında ise yaklaşık 2.2 t kadardır.
- Gülkan ve Wasti (1993) dolgu duvar yüksekliğinin çerçevenin iç yüksekliğinin %50-60'ından daha büyük olduğu durumlarda, giderek etkili olmaya başladığını göstermişlerdir.



Tek açıklıklı, iki açıklıklı, üç açıklıklı, dört açıklıklı ve beş açıklıklı sistemde yapılan analizler sonucunda meydana gelen kesme kuvvet oran değerleri yer almaktadır

Deprem yönetmeliği kısa kolon oluşturulmasından kaçınılmasını tavsiye etmektedir. Ancak zorunlu durumlarda iki tedbirden biri uygulanmalıdır:

1. Kolon, boydan boya sarılma bölgesindeki gibi enine donatı ile sarılmalıdır. Bu durumda kolon boyutunun kısalması ile artan rijitliği, kat kesme kuvvetlerinin dağılımını periyod hesaplarında dikkate alınmalıdır.
2. Dolgu duvar ve çerçeve arasında boşluk bırakılarak (kolayca ezilebilen dolgu malzemesi kullanılarak) çerçevenin dolgu duvardan bağımsız davranması sağlanmalıdır.

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 ötelenme hareketi yanında dönme hareketi de yaparlar.
- Burulma etkisinin ortaya çıkmaması için teorik koşul, rijitlik merkezi ile deprem etkisinde kütle merkezinin üst üste düşmesidir.

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

a. Planda Kütle ve Rijitlik Merkezinin Çakışmaması Nedeniyle Burulma Etkisinin Ortaya Çıkması

- Deprem ivmesi ve yapının kütesine 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.
- Örneğin 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 başa perde duvarlar da konulmalıdır.

- Ayrıca perde duvarların yapı dış kısımlara yakın yerleştirilmesi, yapının tüm plan kesitinin burulma rijitliğini arttırarak deprem etkilerinin daha düşük düzeyde kalmasını sağlar.

Nitekim 2011 Van depreminde bir binada köşeye yerleştirilmiş perde nedeniyle ağır burulma hasarları oluşmuştur.



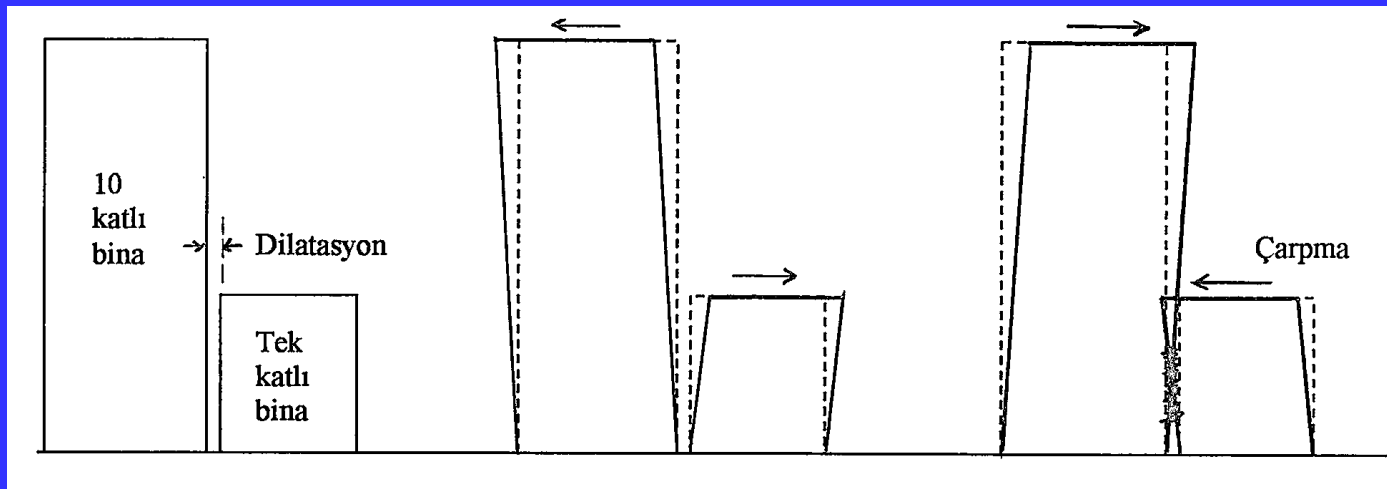
- Yapılan alışmalar geometri ve rijitlik dağılımı bakımından düzenli olan yapılarda da burulma düzensizliklerinin olabileceğini göstermiştir.
- Bu tür yapılarda burulma düzensizliğinin nedeni, kenar akslardaki rijitliklerin düşük olmasıdır. Burulma düzensizliklerini gidermek için, kenar akslardaki taşıyıcı elemanların boyutlarını artırmak gerekir.

b. Dolgu Duvarların Bazı Binalarda Asimetri Oluşturması

- Yapılarda farklı kalınlık ve rijitlikte dolgu duvar teşkil edilmek suretiyle burulma eksantrikliği büyütülebilir.
- Bu durum deprem anında yapıda farklı deplamanların oluşmasına ve ağır hasar almasına neden olur.

c. Bloklar Yada 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.



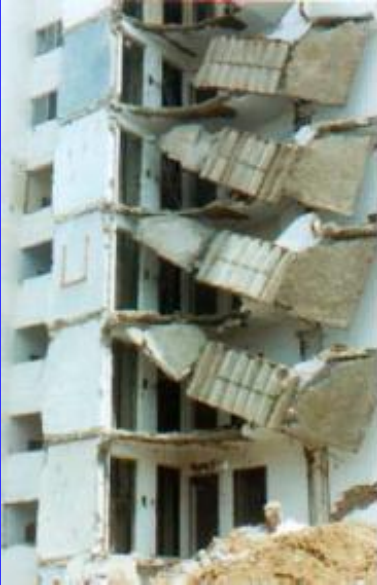
- Her yapının bir salınım periyodu vardır. Bunun için yapılar deprem sırasında aynı yönde salınım göstermedikleri zaman birbirleriyle çarpışarak yapının zarar görmesine sebep olmaktadır.



Farklı Salınım Peryodu Sonucu Devrilen Yapılar



Merdiven-Kat Döşemesi Birleşim Bölgelerinde 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 rijilikleri 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.



Merdiven ara sahanlıkları kısa kolon oluşumuna neden olabilir

Düzensiz Taşıyıcı Sistem Seçimi

- Gelişigüzel yerleştirilmiş taşıyıcı sistem burulmadan dolayı deprem anında yapının hasar görmesine neden olur.



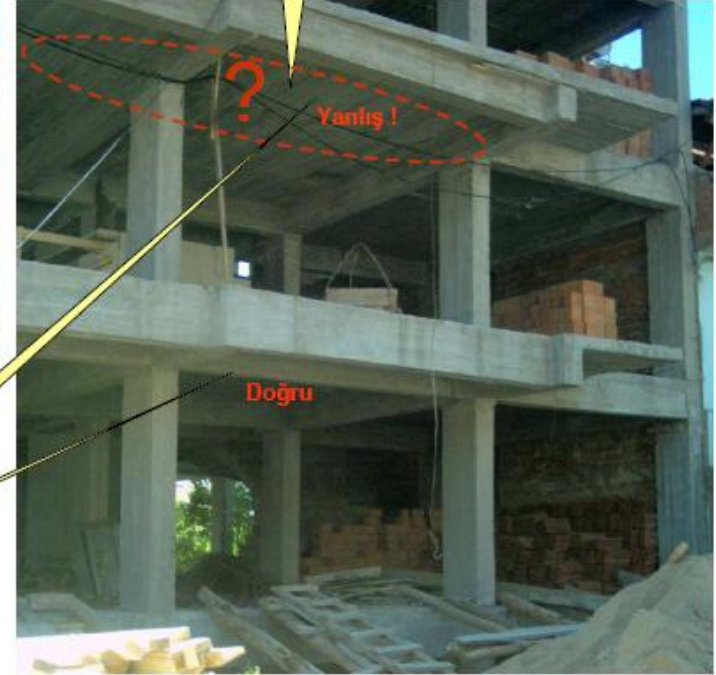
Gelişigüzel yerleştirilmiş kolonlar, Saplama ve süreksiz kiriş düzensizliği burulmaya neden olur.



Sürekli Kirişler

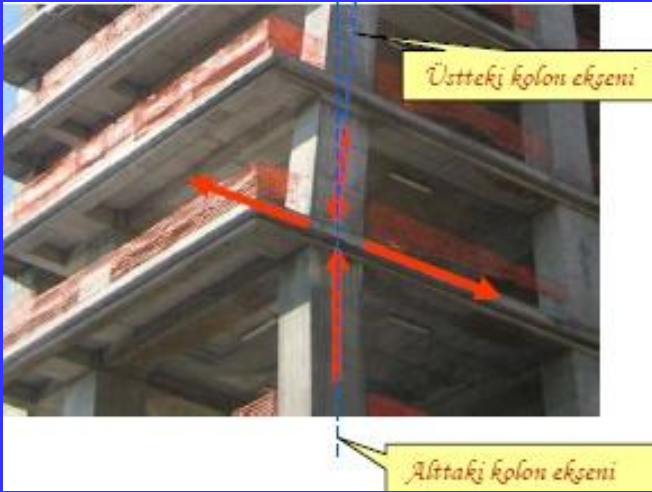


Burada kolonları bağlayan sürekli bir kiriş deneyim için şart!



Yanlış
Doğru





Çakışmayan Kolon Aksı ve Süreksizlikler



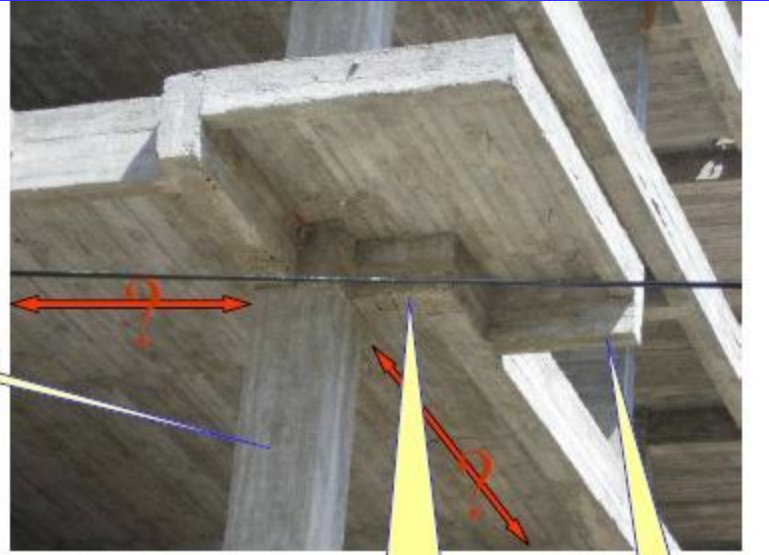




Köşe kolon

Burada kolonları bağlayan
kirişler mutlaka olmalı !

Doğru



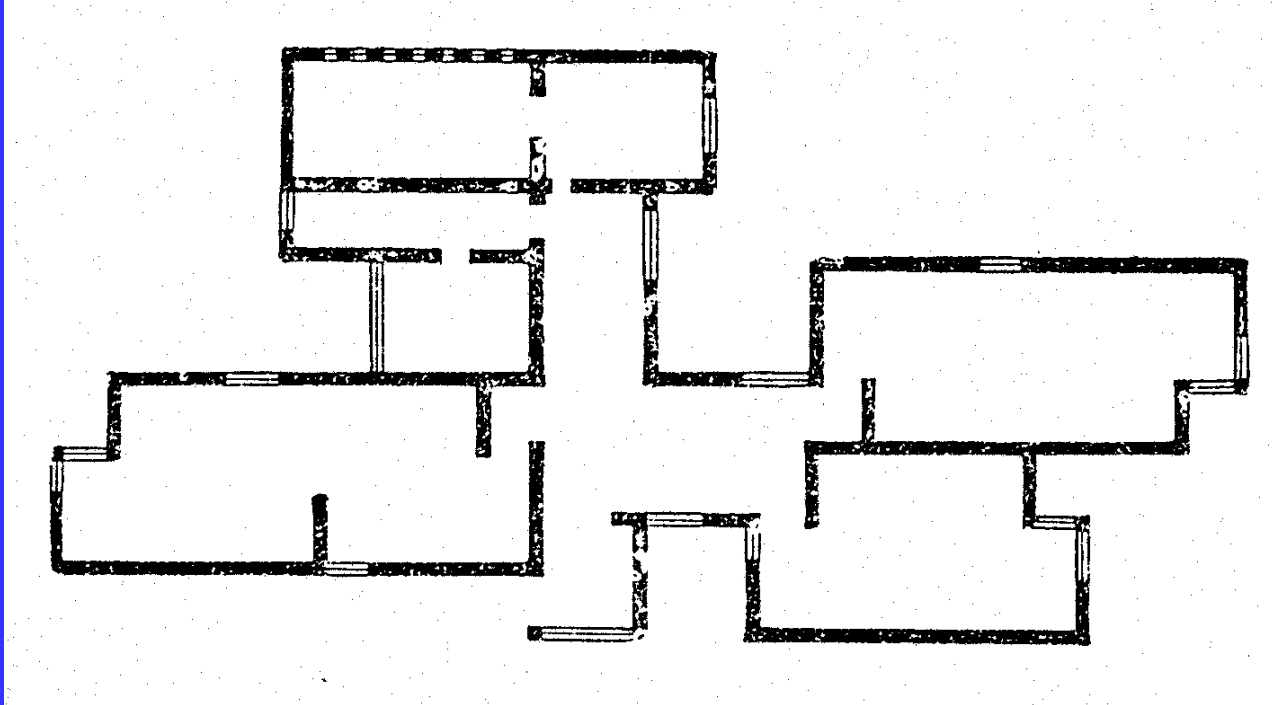
Köşe kolona bağlı ve
yapı içinde devamı
olmayan konsol

Konsolun
konsolu !

Yapının planda basit ve simetrik olmaması

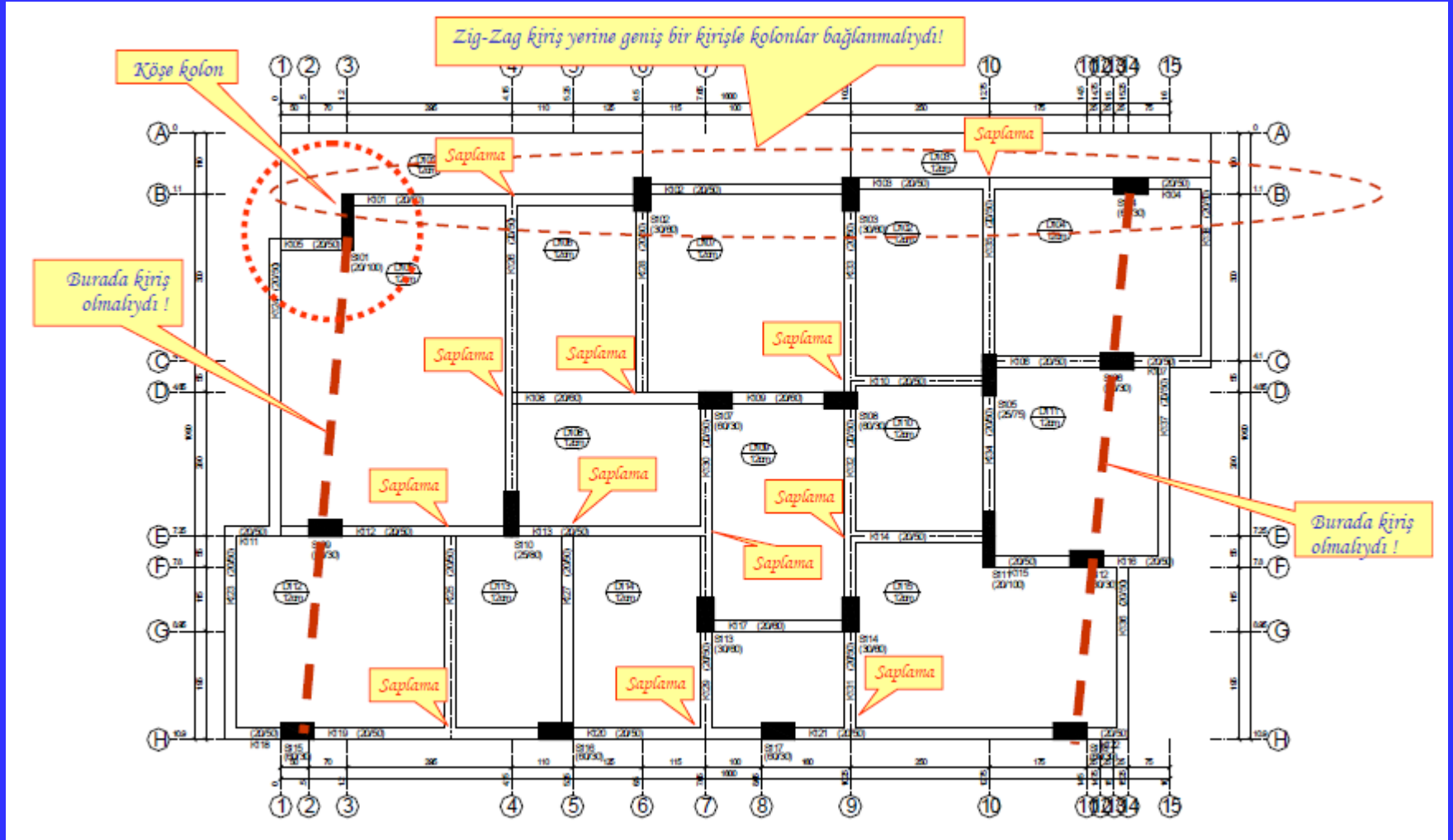
- Deprem açısından en uygun yapılar, plandaki geometrisi daire veya kare olan yapılardır.
- Bu tür yapılar, simetrik oldukları için, her yönde aynı oranda deprem kuvvetlerine maruz kalırlar ve aynı ölçüde rijitliğe sahiptirler.
- Planı dairesel olan yapı en ideali olmakla beraber analizi güç ve mimari açıdan uygun değildir.

Planda düzensizlikler

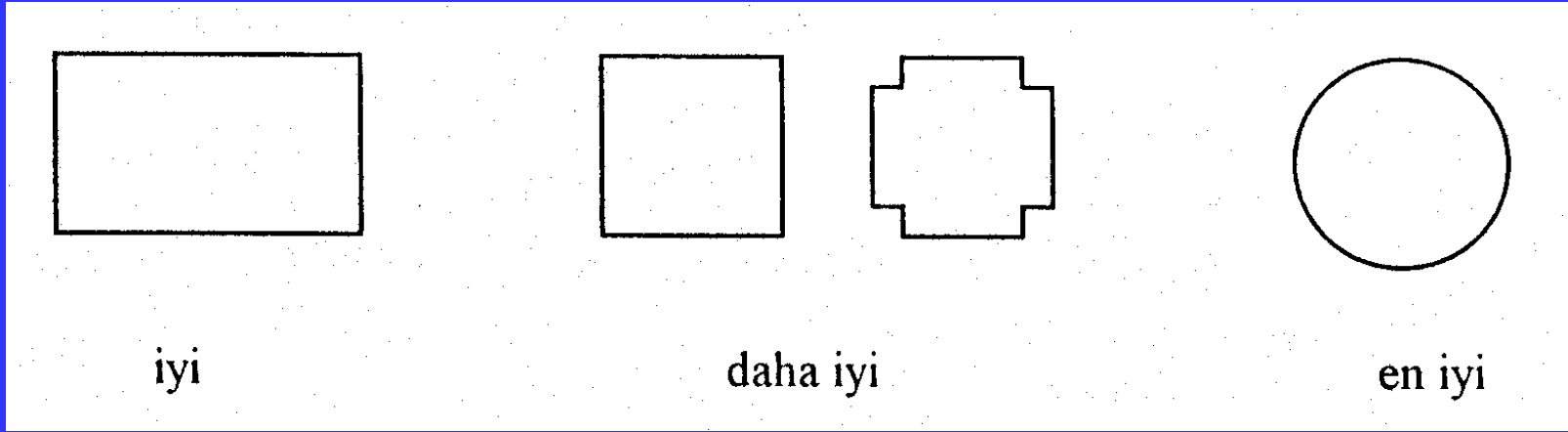


- Karmaşık ve düzensiz bir yapı planı
(Söz konusu yapı 1966 Varto depreminde yıkılmıştır.)

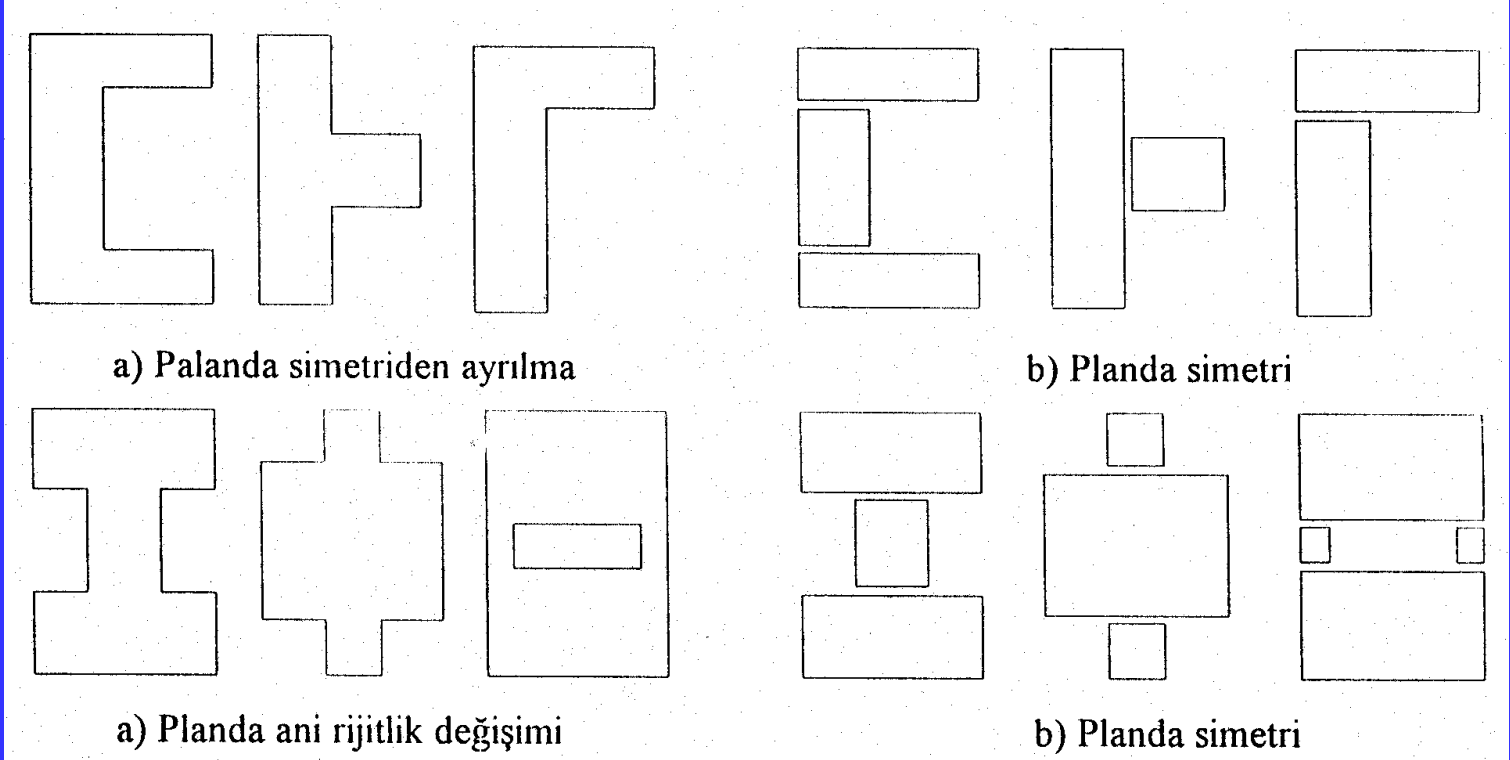
17 Ağustos Marmara Depreminde Yıkılan Bir Binanın Kalıp Planı



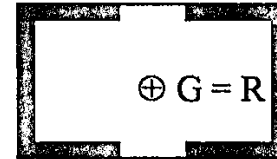
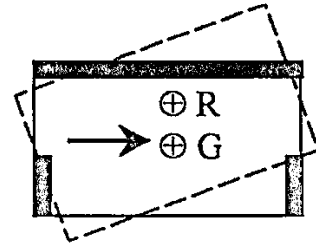
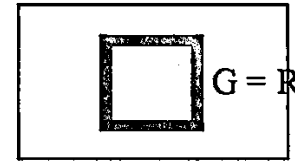
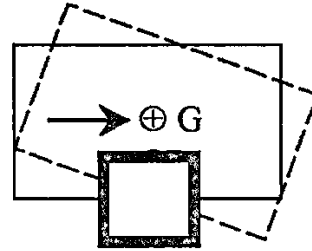
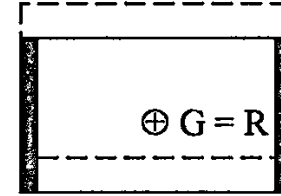
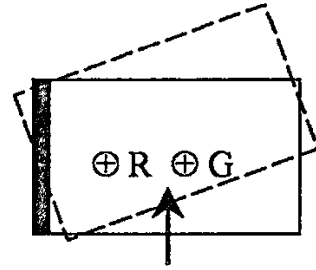
- L, T, H, U, Y gibi plan konumları olan yapılarda deprem yükleri etkisi altında burulma etkileri oluşabilmektedir.
- Bu tür yapılarda kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmaması, düşey taşıyıcı elemanları ilave burulma momentlerine maruz bırakmaktadır.
- Bazen simetri de yeterli olmayabilir.
- Örneğim + şeklinde yapı simetrik olmasına rağmen, düzensiz bir yapı kabul edilir.
-



Deprem açısından iyi yapı biçimleri



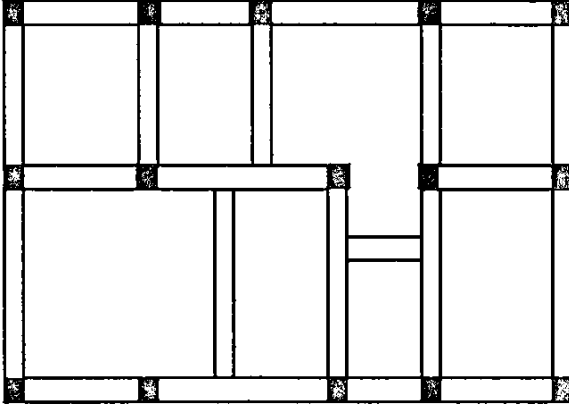
Deprem açısından uygun ve uygun olmayan yapı planları



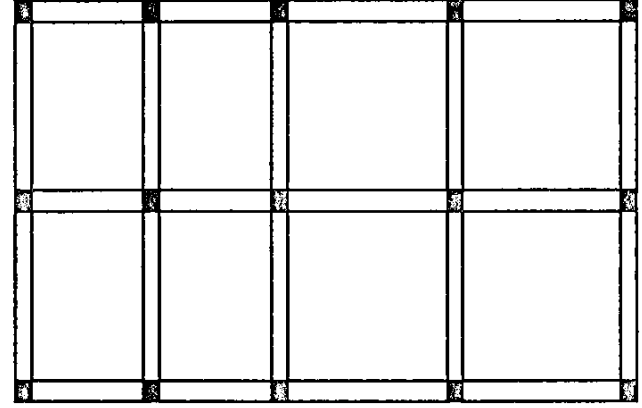
Uygun değil

Uygun

Simetri Düzensizlikleri



Uygun değil



Uygun

Mimari nedenle çerçevde süreksizlik

İstinat Duvarında Yatay Yer Değiştirme ile Meydana Gelen Hasar

- Deprem sırasında meydana gelen zemin itkisi istinat duvarlarında atalet kuvvetleri oluşturur.
- Bu da duvarda önemli yatay yer değiştirmelerin meydana gelmesine neden olur.

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.

Yapı Ağırlığının Gereğinden Fazla Olması

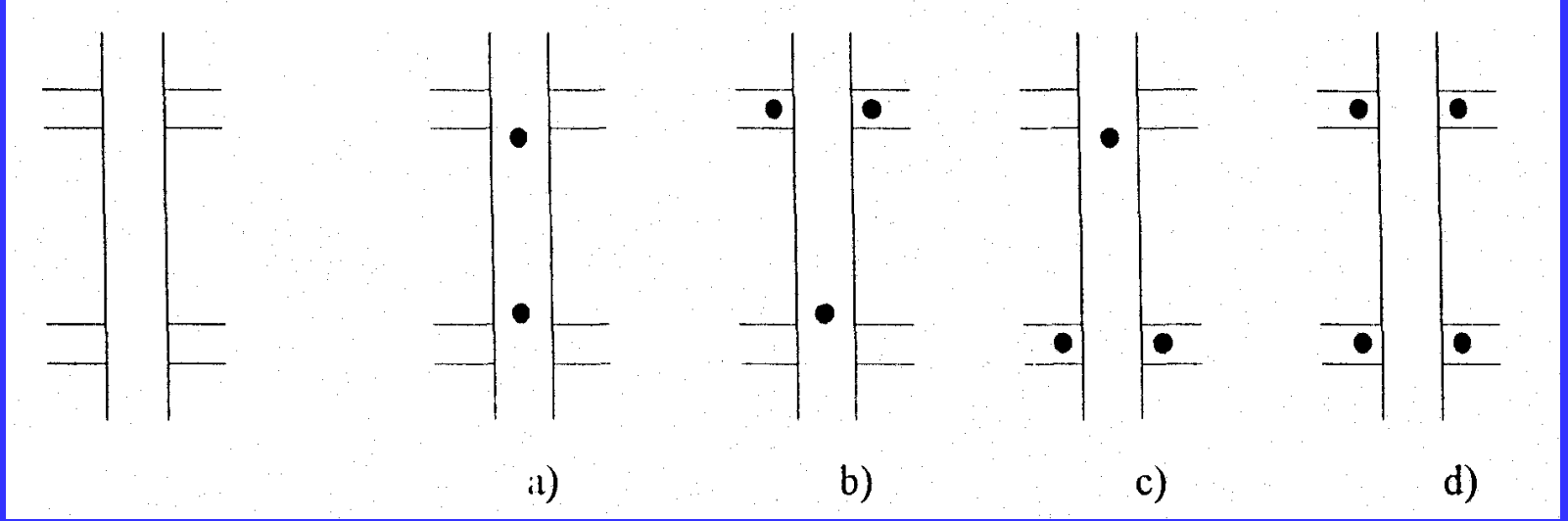
- Depremlerde yapılara gelen kuvvetler yapının ağırlığı ile orantılıdır.
- Yapı ağırlığı arttıkça yapıyı etkileyecek deprem kuvvetleri de büyümektedir.
- Yapının ağırlığını azaltmak için taşıyıcı sistem kesitleri gereğinden küçük yapılmamalıdır.
- Betonarme bir yapının hafif olması için, ağır, estetik görünümlü dış cephe kaplamalarının kullanılmaması, dolgu ve bölme duvarların hafif olması, balkonların önlerinde alt kata kadar sarkan korkuluk vb. yapılmaması gerekir.

2. Boyut ve Donatı Yetersizliği Kusurları

2.1.Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinde Oluşan Hasarlar

- Çerçeve sistemlerde yatay yük altında en çok zorlanan kesitler birleşim bölgelerindeki 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 oluşmaktadır.
- Mafsalların çoğlamasıyla taşıyıcı sistem göçme mekanizmasına geçer.

Çeşitli Göçme Mekanizmaları



a. Kolon uçlarında mafsallaşma

b. Kolon alt ucunda mafsallaşma

c. Kolon üst ucunda mafsallaşma

d. Kiriş uçlarında mafsallaşma

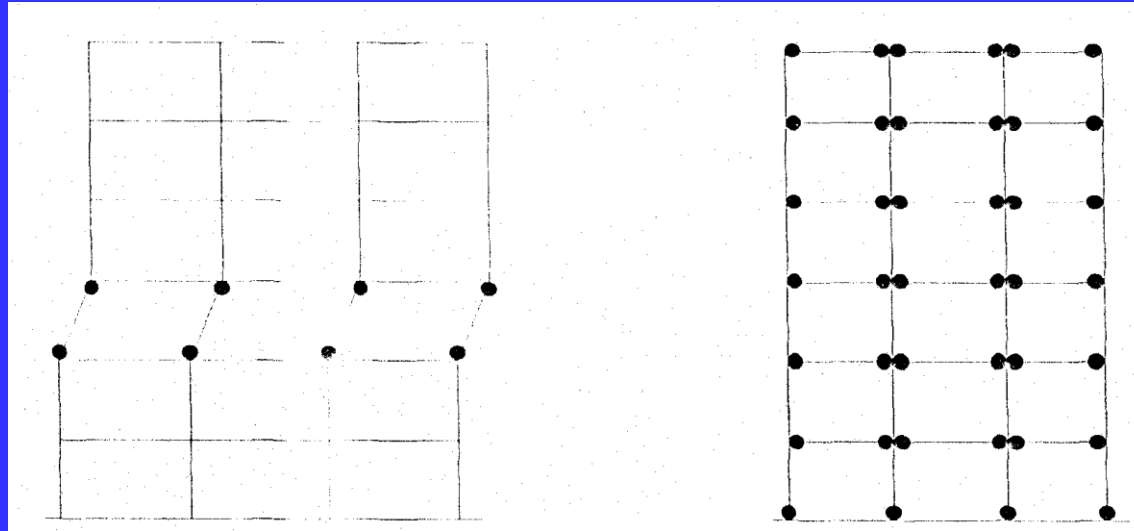
Kolon Uçlarında Mafsallaşma Sonucu Göçmeler



Kiriş Uçlarında Mafsallaşma



Plastik Mafsalların Sistemde Meydana Getirebileceđi Göçme Türleri



(a)

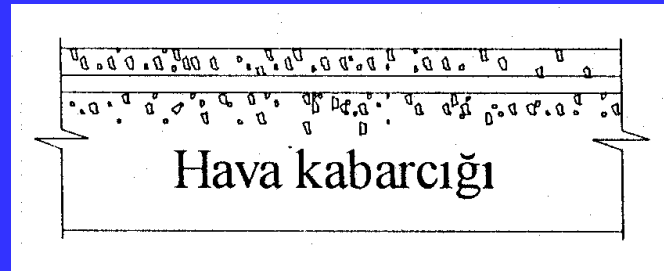
(b)

- a. Kat kolonlarının kirişlerden önce göçmesi
- b. Kirişlerin kolonlardan önce göçmesi

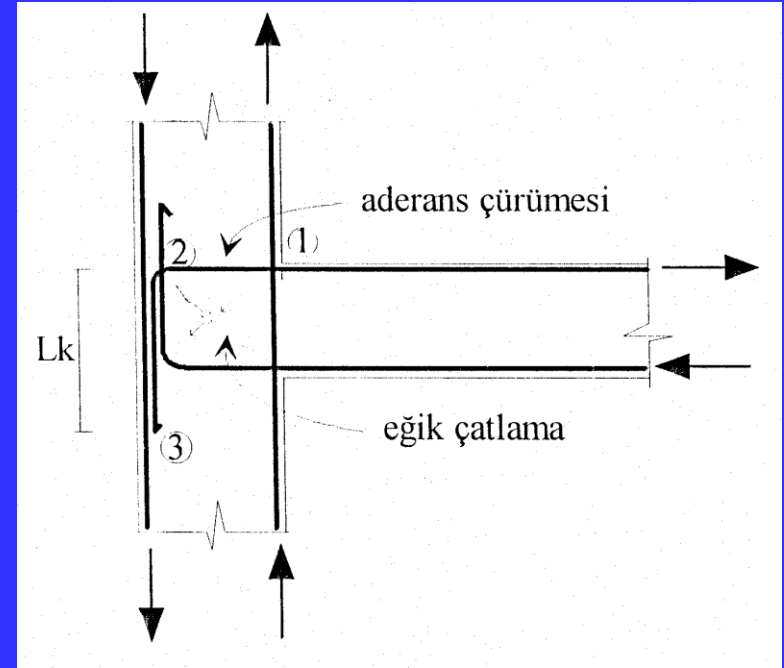
- Şiddetli bir depremde mafsallaşmanın kirişlerde oluşması bu suretle deprem enerjisinin yutulması istenir.
- Uygun boyutlandırılıp donatılan kirişler kolonlara göre daha sünektir.
- Basit eğilme etkisindeki kirişlerde çekme donatısı sınırlandırılarak kırılma biçimi denetlenebilir.
- Basit eğilme etkisi altındaki bir kolonda düktil davranış, konstrüktif önlemlerle sağlanmaya çalışılır.
- Örneğin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye aralıkları sıklaştırılarak beton kesit sarılır. Böylece dönme kapasitesi arttırılır.

2.2. Kiriş ve Kolon Donatılarının Aderans Boyunun Yetersiz Oluşu

- Kirişlerde görülebilecek aderans zayıflaması düktiliteyi önemli ölçüde azaltabilir.
- Kenetlenme ve bindirme boylarına dikkat edilmelidir.
- Kiriş üst seviyesinde donatı aderans boyu % 40 arttırılmalıdır. Bunun nedeni, taze betondaki hava kabarcıklarının betonun vibra edilerek sıkıştırılması sırasında yukarı doğru çıkarak kiriş üst donatısı etrafında birikmesi ve betonla donatı arasındaki aderansı zayıflatmasıdır.



- Kiriş donatısının sıyrılmasını önlemek için şekildeki gibi 2 ve 3 noktalarından bükülmesi gerekmektedir.
- Donatının betonla betonla sıyrılması ile donatı akma gerilmesine ulaşamaz.
- Kirişlerde düktiliteye ulaşmak için donatının akması ve kalıcı deformasyon bölgesine girmesi gereklidir.

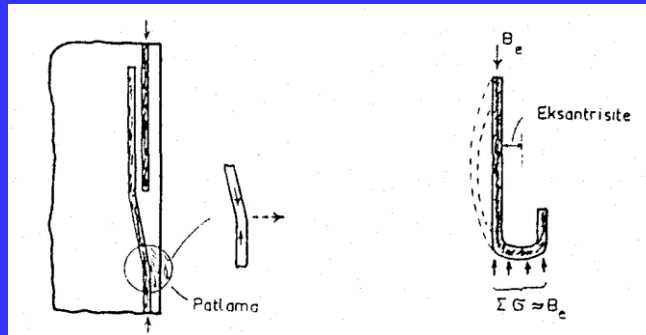


Donatının büküldüğü köşe noktalarındaki gerilme birikimlerinden kaynaklanan betonun ezilmesini önlemek için kiriş çekme donatısı çok geniş çaplı bir daire ile bükülmelidir.

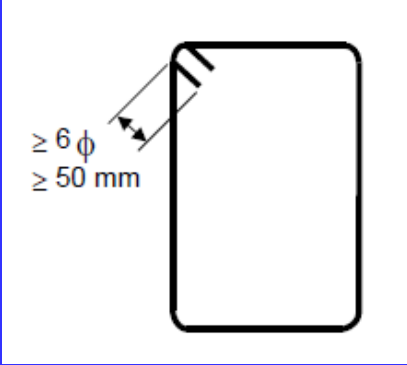
Kiriş çekme ve kolon boyuna donatısının betondan fırlayıp birleşim bölgesinin dışına çıkması, donatılarının kolon etriyelerine tespit edilmesiyle önlenemez.

Kolon donatısındaki ekler kiriş düzeyinde yapılmamalıdır. Çünkü deprem yükleri altında en büyük gerilmeler bu bölgede meydana gelmektedir.

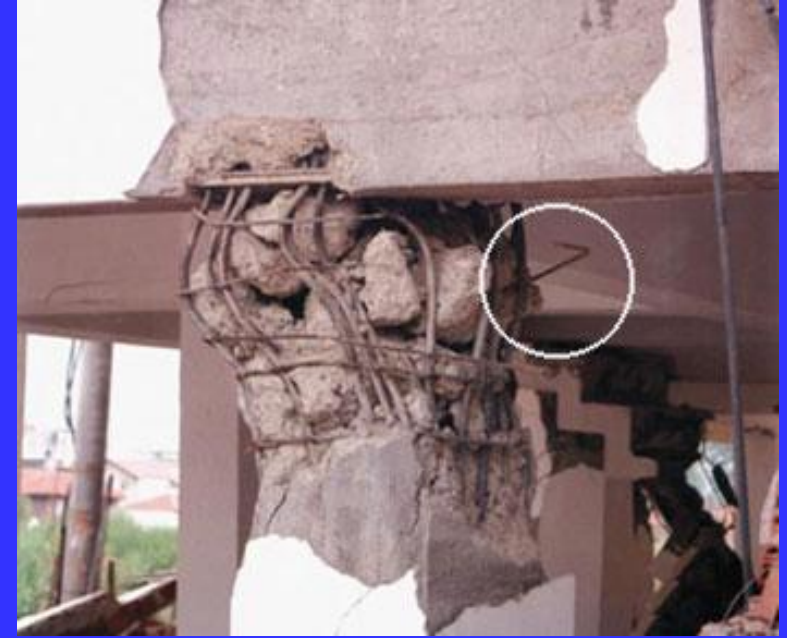
- Basınca çalışan donatıda bindirmeli ek yapılırken, gerilmelerin önemli bir yüzdesi betona yaslanan çubuk üzerinden aktarılmaktadır.
- Bu nedenle eklenen çubuk uçlarında meydana gelen aşırı basınç gerilmeleri nedeni ile betonun patlamasına sık sık rastlanılmaktadır.
- Eklenen donatıya kanca yapılır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



Etriyelerin burulma etkisi ile açılmalarını önlemek için şekilde gösterildiği gibi kancalarını 135 o bükülerek göbeğe ankre edilmelidir.



Burulmaya maruz elemanlar için etriye kenetlemesi



Şeyet etriyelerde 135 olik kanca yapılmazsa Deprem anında yatay kuvvetler sonucu oluşan basınç betonu ezerek patlatır ve etriyeler açılır.



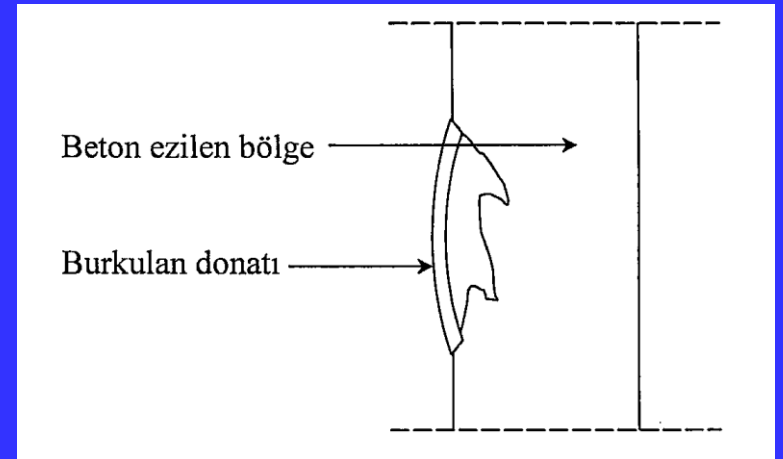
Yetersiz etriye kullanımı



Mafsallaşma

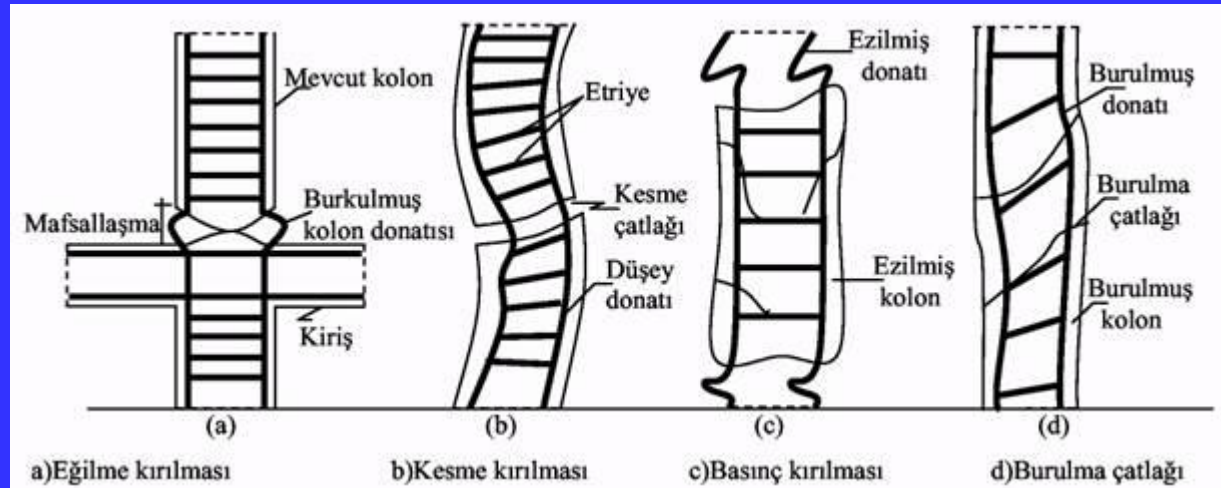


Mafsallaşma



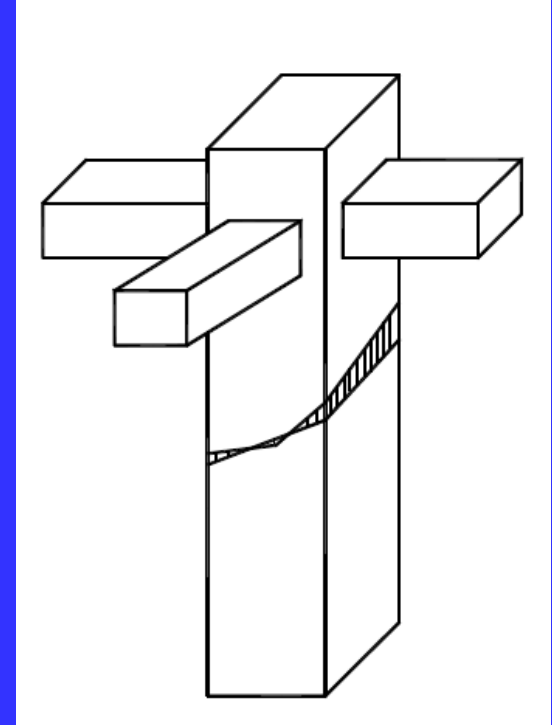
2.3. Kolonlardaki Hasarlar

- Kesme kuvveti dayanımı yetersiz kolonlarda kesme çatlakları görülür.
- Kesme çatlakları kolonda 45 eğimli çatlaklar olarak görülür.
- Kolonlardan görülen başlıca hasar tipleri şekilde verilmiştir.



Kolonlarda Burulma Hasarı

- Kolonlarda burulma nedeniyle ağır hasarlar oluşabilir.
- Burulmada kolonun birbirine komşu iki yüzünde diyagonal çekme çatlakları olurken diğer iki yüzünde diyagonal olarak betonda ezilmeler olur .



Kolonlarda Kesme Kırılması

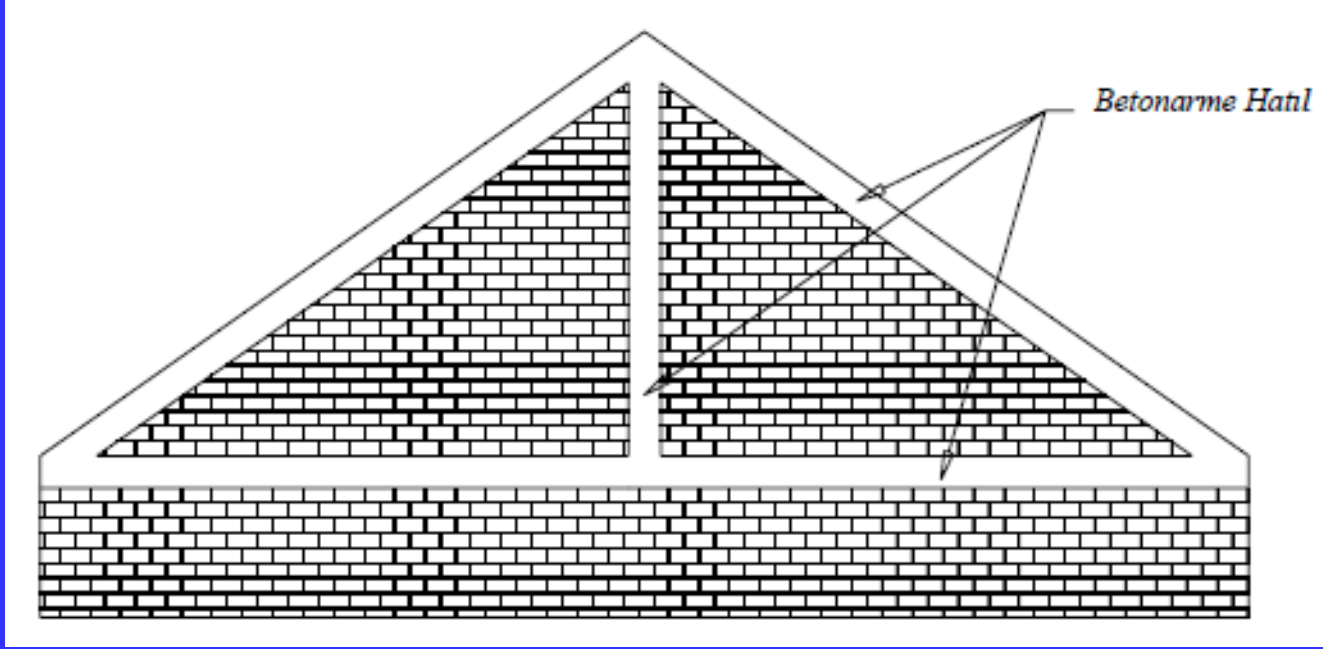
- Kolonlarda kesme kırılması, dolgu duvarlarının burulması nedeniyle, kolonların katlar arası açıklıkta serbestçe deformasyon yapamamasından kaynaklanır.
- Bu tip hasarlar genellikle deprem etkisinden dolayı alt katlarda daha fazla görülür.
- Sargı donatıları da iyi teşkil edilmemişse hasarın şiddeti artar.

7. Taşıyıcı Olmayan Kısımlardaki Hasarlar

Kalkan ve parapet duvarlar

İnşasına özen gösterilmeyen kalkan duvar ve parapetler depremde ve rüzgarda yıkılır.





2 m'den yüksek kalkan duvarlara düşey ve eğik hatılar yapılmalıdır.(Deprem Yönetmeliği 2007)

Çatıya sonradan eklenen kat veya sıvı tankı alt yapıdan farklı davranır



Çatılarla İlgili Önemli Hususlar

- Yığma binaların çatıları betonarme teras çatı, ahşap yada çelik oturtma çatı olarak yapılabilir.
- Kerpiç yığma binaların çatıları, dış duvarları en çok 50 cm aşacak biçimde saçaklı olarak ve olabildiğince hafif yapılacaktır. Kerpiç binaların çatıları ahşap makas veya betonarme plak olarak yapılabilir (Deprem Yönetmeliği, 2007).

- Teraslarda yığma duvar malzemesi ile yapılan korkulukların yükseklikleri 60 cm'yi geçmemelidir.
- Benzer şekilde yığma malzeme ile yapılan bahçe duvarı yükseklikleri de 1 m'yi geçmemelidir.

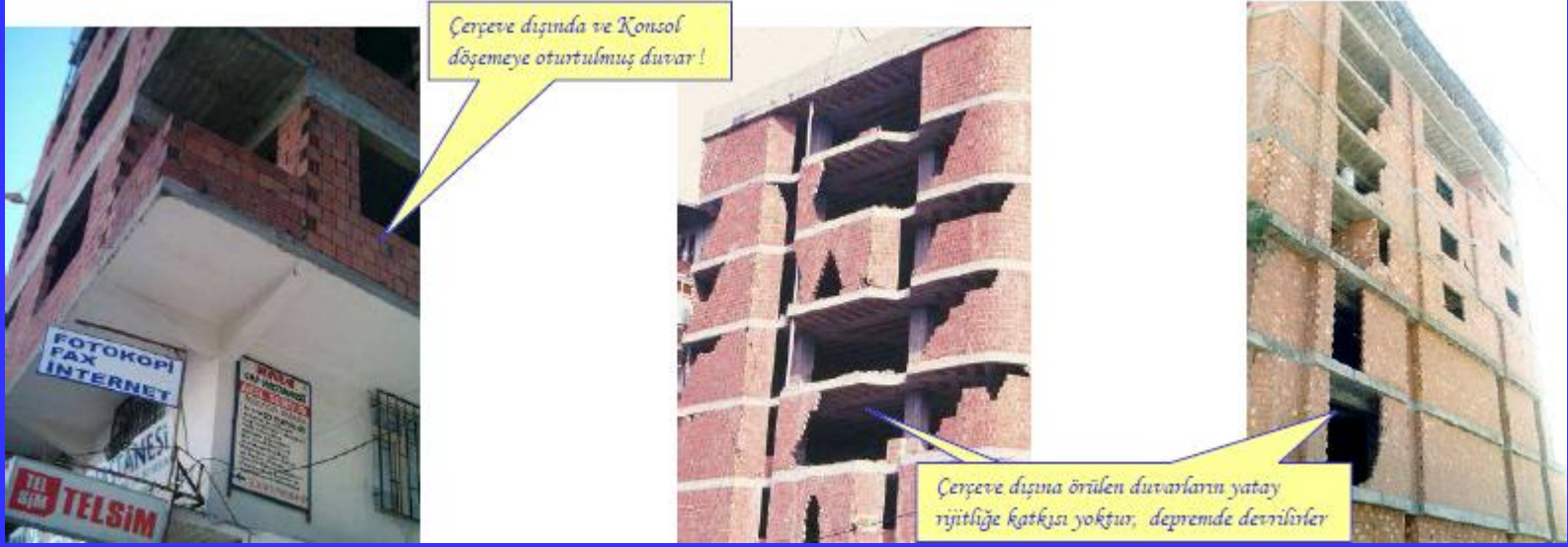
Dolgu Duvarlar

- Depremlerde sıva hasarlarından sonra ikinci aşamada görülen hasar türü dolgu duvar hasarıdır.
- Bu tür hasarlar düşük dayanımlı malzemelerle örülmüş duvarlarda daha çabuk ortaya çıkar.
- Tuğla duvarlarda hasar tuğlanın cinsine göre değişkenlik gösterir.
- Taşıyıcı çerçeveden ayrılmaları takiben duvarda kısaca X-şeklinde tarif edilebilecek çatlak ve yer yer sıvada dökülmeler görülür

Dolgu duvarlardaki X Őeklindeki atlaklar



Çerçeve dışına örülen duvarlar ve sandviç duvarlar depremde devrilirler



Çerçeve Dışına Örülen Dolgu Duvarlar Depremde Yıkılırlar (Van Depremi 2011)



Teşekkür Ederim

Yrd.Doç.Dr.Cahit GÜNER