Earthquake don't kill people, improperly designed structures do!

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI MİM-411

Giriş

Bir mimar ve mühendisin üstesinden gelmek zorunda olduğu en önemli problem, deprem karşısında can ve mal kaybını en aza indirecek hatta mümkünse önleyecek şekilde güvenli ve ekonomik tasarımlar yapmaktır. Kaliteli malzeme kullanımı, kaliteli işçilik ve denetimin yanı sıra yönetmeliklere uygun kaliteli tasarımla bir bütün oluşturan geçerli bir hesap yönteminin de kullanılması gerekir.

Yapısal elemanlar genellikle düşey yükleri aktaracak şekilde tasarlanmakta, deprem gibi kısa ve etkili yatay yükler göz ardı edilmektedir. Yapılarda genellikle, büyük bir hesap hatası veya malzeme sorunu yoksa düşey yüklerin aktarılmasında bir sorun yaşanmamaktadır. Hatta düşey olan taşıyıcı kolonlar, önemli bir tasarım hatası yapılmadıkça, hesabedilenin çok üzerinde yük taşıyabilmektedir.

Mimar, mesleği gereği, her türlü emniyet ve konfor şartlarını sağlayan binalar gerçekleştirmekle sorumludur. Bu sorumluluğunu yerine getirirken hem mesleki yeterliliğini ispatlar hemde kişisel kazanç sağlar.

Bir binanın depremlere karşı dayanımı sadece yönetmeliklere uygun hesaplamalar ile sağlanamayacağı için, tasarım, aynı zamanda yönetmeliklerin olumsuz özelliklerini gidermeye yönelik olmalıdır. *Taşıyıcı sistemi çok iyi hesaplanmış, ancak düzensiz taşıyıcı sisteme sahip bir yapının deprem davranışı, taşıyıcı sistemi kabaca hesaplanmış, ancak taşıyıcı sistemi oldukça düzenli olan bir yapının davranışından daha olumsuzdur.* Taşıyıcı sistemi iyi düzenlenmemiş bir yapının depremde davranışını hesapla artırmak mümkün değildir.

Gerek Türkiye'de gerekse dünyada depremlerden edinilen deneyimler depreme dayanıklı yapı tasarımının daha mimari tasarım sırasında başladığını ortaya koymaktadır. Depremlerde hasar gören yapıların hasar nedenleri bazen doğrudan doğruya mimari tasarım ile bağlantılı olmaktadır. Mimari tasarımda olabildiğince özgür davranmak normal koşullarda bile taşıyıcı sistem tasarımında güvenli bir çözüme ulaşılmasını güçleştirirken, deprem etkileri altında taşıyıcı sistem tasarımında çok daha önemli problemler yaratabilmektedir.

Düzenli taşıyıcı sistem seçimi, öncelikle mimari tasarım ile ilgilidir. Gerek planda ve gerekse düşey doğrultuda, mimari tasarımın olabildiğince karmaşıklıktan uzak, basit ve sürekli taşıyıcı sistemlerin kullanılabilmesine olanak verecek biçimde düzenlenmesi depreme karşı başarılı bir yapısal tasarımın ilk koşuludur. **"Basit güzeldir, basit gerçekten güzeldir."** Bu noktada, depreme dayanıklı yapı tasarımının sadece yapı mühendisi tarafından değil, mimar ile yapı mühendisinin hatta diğer meslek disiplinlerinin de ortak çabası ile gerçekleşebileceğini söylemek yerindedir.

5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu.: (Bu projedeki taşıyıcı sistem, mimari tasarımla bir bütündür. 5846 sayılı fikir ve sanat eserleri kanunu gereğince proje müellifi mimarın haberi ve onayı olmadan proje ve projedeki taşıyıcı sistemde değişiklik yapılamaz.

Son 20 yılda Türkiye'deki inşaat ve yapı sektöründe yaşanan hızlı değişim sonucu, yeni teknolojiler ve yeni yapım teknikleri kullanılmaya başlanmış, bununla birlikte bina tipolojilerinde farklılıklar ortaya çıkmıştır. Ancak ne var ki bu değişim sürecinde, kaçak yapılaşmada da artmalar olmuş, hatta mimari tasarım hatalarına sahip birçok binanın inşa edilmesine ve bunlara ruhsat verilmesine göz yumulmuştur. Bu açıdan başta ekonomik nedenler olmak üzere yapıya ilişkin yönetmelikler göz ardı edilmiş, "depreme dayanıklı yapı tasarımı" konusunda gereken özen gösterilmemiş, bunların sonucunda doğal bir olay olan depremin felakete dönüşmesine zemin hazırlanmıştır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramı genel anlamda binanın kendisi, oturduğu zemin ve çevresiyle olan ilişkisini kapsamaktadır. Binanın yüksekliği, üzerine inşa edileceği zemin durumu, taşıyıcı sistemi, komşu binalarla olan ilişkisi gibi belirleyici etkenlerin bir bütün halinde ele alınması ve mimari tasarım sürecinde baştan itibaren düşünülmesi

gerekmektedir. Bir binanın kütlesine ve iç bölümlenmelerine karar veren kişi olarak mimara, bu konuda büyük sorumluluklar düşmektedir. Bu bağlamda mimarın danışması gereken en önemli kaynak deprem yönetmelikleri olmalıdır.

Depreme karşı yapı güvenliğinin sağlanmasında önce taşıyıcı sistem tasarımının özenli bir şekilde yapılması önemlidir. Depremlerin oluşmasını engelleyemeyiz. Depreme dayanıklı yapı tasarımının her aşamasında (tasarım, proje, imalat, denetim) sorumlu kişilerin sorumluluk duygusu ile hareket etmesi gerekir. Hemen her deprem sonunda yapılan incelemelerde hasar gören yapıların tasarımının kötü, işçilik ve malzeme özellikle beton dayanımının yetersiz olduğu gözlenmiştir. (Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C25'den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz). Bununla birlikte donatı detaylarında yapılan kusurlarda hasar oranını arttırmıştır. Dolayısıyla bina tasarımından bina üretimine kadar bütün uygulamaların kaliteli ve denetimli olması gerekmektedir.

Mimar tasarım süreci içinde, bir yandan yapının mimari tasarımı ile uğraşırken, diğer yandan da taşıyıcı sistem kararlarını vermek durumundadır. Bu kararları en uygun biçimde verebilmesi için taşıyıcı sistem türlerini ve özelliklerini yeterince bilmesi, bunları doğru seçmesi ve doğru yerlerde kullanması gerekmektedir. Mimar bu aşamada ne kadar az hata yaparsa, ortaya çıkacak ürün de o denli başarılı olacaktır. Mimari ve taşıyıcı sistemin belirlenmesinden oluşan tasarım aşamasında, bölgenin depremselliği kesinlikle göz önüne alınmalı, tasarlanan yapının mimari geometrisi, planı ve taşıyıcı sistemi depreme uygun olmalıdır.

Yapı tasarımından başlayıp, üretim aşamasına kadar, estetik ve görünüş ile ekonomik olguların yanı sıra sağlamlık ve dayanıklılık da ön plana çıkartılmalıdır. Amaç nitelikli ve çağdaş yapı üretimi olup, yapı üretiminden amaçlanan yalnızca insanın yaşayacağı bir mekân olarak ele alınmamalıdır. Çağdaş ve nitelikli yapıdan kasıt, yapısal kirliliği olmayan, çevreyle uyumlu, estetik, amacına uygun, kullanışlı, yangın güvenliği olan, su ve ses yalıtımına sahip, mimari ve taşıyıcı sistemi iyi seçilmiş yapılardır. Böyle bir yapının oluşumunda bütün mesleki disiplinlere önemli görev ve sorumluluklar düşmektedir.

Mimari Tasarım süreci

Yapı tasarımı mimari ve taşıyıcı sistem tasarımı olarak iki ayrı evrede oluşmaktadır. Mimari tasarımda etkili olan faktörler yapının kullanma amacı ve mimari sanat anlayışı olarak nitelenebilir. Taşıyıcı sistem tasarımına etkiyen faktörler ise yapı malzemesinin nitelikleri ve yapıya gelen dış kuvvetler yanında mimari tasarım da bulunmaktadır. Yapı tasarımında mimari tasarım ile taşıyıcı sistem tasarımı arasında karşılıklı bir etkileşme bulunmaktadır.

Türkiye' de yapım uygulamasında mimari tasarım mimarların taşıyıcı sistem tasarımının da inşaat mühendislerinin ilgi alanı olması kabul edilmiştir. Ancak bu iki meslek disiplini arasında, mimari tasarım aşamasında karşılıklı danışma çok sınırlı kalmaktadır. Çeşitli nedenlerle genel olarak mimarlar yapıların taşıyıcı sistem tasarımı üzerinde durmamakta; inşaat mühendislerinin taşıyıcı sistemin bütün sorunlarını nasıl olsa çözecekleri ve işin bu yanının yalnızca inşaat mühendislerini ilgilendiren bir konu olduğu yaklaşımından giderek mimari tasarımlarında olabildiğince özgür davranmaktadırlar. Eğer depreme dayanıklı yapı tasarımı yalnızca taşıyıcı sistemin deprem etkilerinin de dikkate alınması ile yalnızca inşat mühendisine kalmış bir işlem olsaydı, mimari tasarım sırasında mimarların olaya deprem açısından yaklaşmalarının gerektiği ileri sürülmeyecekti.

İnşaat Mühendisinin görevi, kendisine verilen mimari projeye göre taşıyıcı sistemi oluşturmaktır. Bu nedenle, iyi bir taşıyıcı sistemin ilk şartı iyi bir mimaridir. Kötü mimarisi olan bir yapıyı Mühendisin "ince hesaplarla" ayakta tutması mümkün değildir. Mimar ve Mühendis, mimari projenin hazırlama aşamasından başlayarak, taşıyıcı sistem kararlaştırılıncaya kadar beraber çalışmalıdır. Ülkemizde bunun yapıldığını söylemek mümkün değildir.

MİMARIN HEDEFİ: Estetik, Fonksiyonellik →Eser

MÜHENDİSİN HEDEFİ: Güvenlik → Kutu

Uygulamada mimar mühendisi, mühendis de mimari hemen hiç görmez. Nadiren bir araya gelseler de birbirinin derdini pek anlamazlar. Mimar için estetik, mühendis için güvenlik ön plandadır. Mimar "eserinden" taviz vermek istemez, mühendis de "kutu" gibi bina ister.

Taşıyıcı sistem seçimi her projenin en önemli aşamasıdır ve deneyim gerektirir. Deneyim öğretilemez, görerek-yaşanarak zamanla kazanılır. Yeni bir mimar veya mühendis hemen büyük işlere soyunmamalı, önce deneyim kazanmalıdır. Yaşayarak öğrenmek, bedeli en ağır öğrenme biçimidir. Bir kez görmek, bin kez okumak ve dinlemekten belki daha öğreticidir. İlk büyük deneyim ilk proje ile kazanılır.

Bir mimar tasarımını yaptığı binanın taşıyıcı sistem seçiminde kazanılmış deneyimlerden yararlanmalı, meslektaşları ve mühendislerle eskizleri tartışmalı, gerekli özeni göstermeli ve yeterli zaman ayırmalıdır.

Mühendis taşıyıcı sistemi kararlaştırdıktan sonra çizim ve hesapları bilgisayarda yazılım ile gerçekleştirir. Yönetmeliklerin ağır koşulları ve zaman darlığı nedeniyle klasik el hesapları artık yetersiz ve gereksiz kalmaktadır. Bu nedenle; mimar-mühendis işbirliği, yönetmelik koşullarını yerine getirebilen iyi bir yazılım, yeterli zaman, iyi davranış bilgisi ve deneyim sahibi mimar ve mühendis iyi bir taşıyıcı sistem için ön şart olarak karsımıza çıkmaktadır.

Yapı tasarım ve üretim sürecinde *yapısal güvenliği etkileyen faktörleri* özetleyecek olursak;

Bina kullanım sınıfı, Deprem ve özellikleri, Yerel zemin ve geoteknik koşullar, Kullanılan yapısal malzemeler ve kalitesi, Mimari tasarım, Taşıyıcı sistem tasarımı, İmalattaki özen ve işçilik, Proje ve yapı denetimi olarak sıralayabiliriz.

Genel olarak bir mimar taşıyıcı sistem tasarımı yaparken şu ilkeleri gözetmek zorundadır.

1-Taşıyıcı sistem elemanları planlamada serbestlik sağlayacak ölçüde az yer kaplamalı; ısıtma, havalandırma, aydınlatma vb her türlü tesisatın uygun yerleştirilmesine, bunların bakım, onarımının kolay yapılmasına imkân sağlamalı;

2-Taşıyıcı sistem bütün elemanlarıyla yangına karşı dayanıklı olmalı, yangında göçmemeli, yangından sonra kullanılabilmeli;

3-Taşıyıcı sistem ses ve titreşimleri bir bölümden ötekine geçirmemeli; nem, su, ısı yalıtımı yapılmasını mümkün kılmalı,

4-Yapı hizmet ömrü boyunca etkiyen yükler altında tek tek elemanlarda ve taşıyıcı sistemin tümünde çatlama, aşırı şekil-değiştirme gibi bir kusur görülmemeli,

Depremlerde hasar gören yapılarda hasarın nedenleri aşağıda verildiği gibi sıralanabilir.

a. Taşıyıcı Sistem Hatası (Güçlü kiriş – zayıf kolon, zayıf kat, yetersiz boyut,v.b.)
b. Mimari Tasarım Hataları (Bant pencere, yumuşak kat, cephe süreksizlikleri v.b.)
c. Yetersiz ve Kalitesiz İşçilik (Enine donatı eksikliği, kötü beton uygulamaları, kalıpçılık hataları v.b.)
d. Kalitesiz Malzeme (Düşük beton dayanımı, kalitesiz demir donatı v.b.)
e. Yetersiz Mühendislik – Mimarlık Hizmeti (Projesiz, denetimsiz imalat v.b.)

Yıkıcı depremlerden çıkarılan dersler, depreme dayanıklı yapı tasarımı için aynı önemde ve aynı anda üç temel koşulun bir araya getirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

a. Depreme dayanıklı mimari tasarım
b. Yasa ve Yönetmeliklere uygunluk
c. Nitelikli malzeme, uygulama ve denetim

Mimari tasarım açısından hatalı ve eksik tasarım kararları, özellikle rezonans, burulma, farklı salınımlara bağlı gerilme yığılmaları, deprem yükleri altında bazı yapı bölümlerinin zayıflaması (yumuşak kat etkisi), deprem yüklerinin bazı elemanlar üzerinde yoğunlaşması (kısa kolon etkisi vb.) gibi etkenlere bağlı olarak yıkıcı hasarlara neden olabilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının amacı, birçok teorisyen tarafından farklı şekillerde yorumlanmakla beraber en çok kabul gören; "*Binanın bulunduğu bölgede oluşacak şiddetli bir depremde göçmenin ve can kaybının önlenmesidir.*"

Depreme dayanıklı yapı tasarımının amacı şunlar değildir,

- Hasarı sınırlamak
- Yapının fonksiyonuna devam etmesini sağlamak
- Kolay onarım durumu sağlamak

Bir yapı, tasarlanan kullanım ömrü boyunca uygun güvenilirlik derecesini sağlayacak ve ekonomik olacak tarzda tasarlanmalı ve inşa edilmelidir.

Yapı;

– İnşa edilmesi ve kullanım esnasında oluşması muhtemel bütün etkiler ve tesirlere direnç göstermeli,

– Kullanım için gerekli şartlara uygunluğu sürdürmelidir.

• Bir yapı, yeterli;

– Yapısal direnç,

– Kullanılabilirlik ve

– Dayanıklılığa sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bunlara kısaca "yapı tasarımın hedefleri" denilir.

Bir yapı için tehlikeli olan her durum bir "sınır durum" olarak adlandırılır. Yapı bu sınır duruma eriştikten sonra, artık tasarım hedeflerini yerine getiremez.

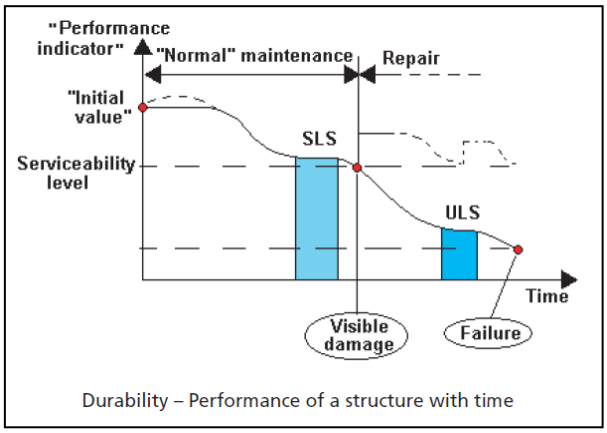
• İki tip sınır durumu vardır:

– Taşıma Gücü Sınır Durumu (ULS: Ultimate Limit State)

– Kullanılabilirlik Sınır Durumu (SLS: Serviceability Limit State)

• Taşıma Gücü Sınır Durumunu aşma yapının tamamının veya bir bölümünün göçmesine neden olur.

• Kullanılabilirlik Sınır Durumunu aşma ise, projenin gereksinimleri acısından yapıyı elverişsiz hale getirir (mesela, aşırı sehim yapmış bir betonarme döşeme).



Şekil 1:

Taşıyıcı sistem seçiminde temel kurallar

Düşey olsun yatay olsun, yükler en kısa yoldan temele ulaşmalı, yapı içinde dolanmamalıdır. Bunun anlamı şudur. Yapıya etkiyen yük, elektrik devresindeki kısa devreyi takip eden akım gibi davranmalıdır.

Döşemeler kirişlere oturmalı

Kirişler sürekli olmalı

Kirişlerin her iki ucu kolona oturmalı

Kolon kolona oturmalı-katlar arası kolon kesiti değişmemeli

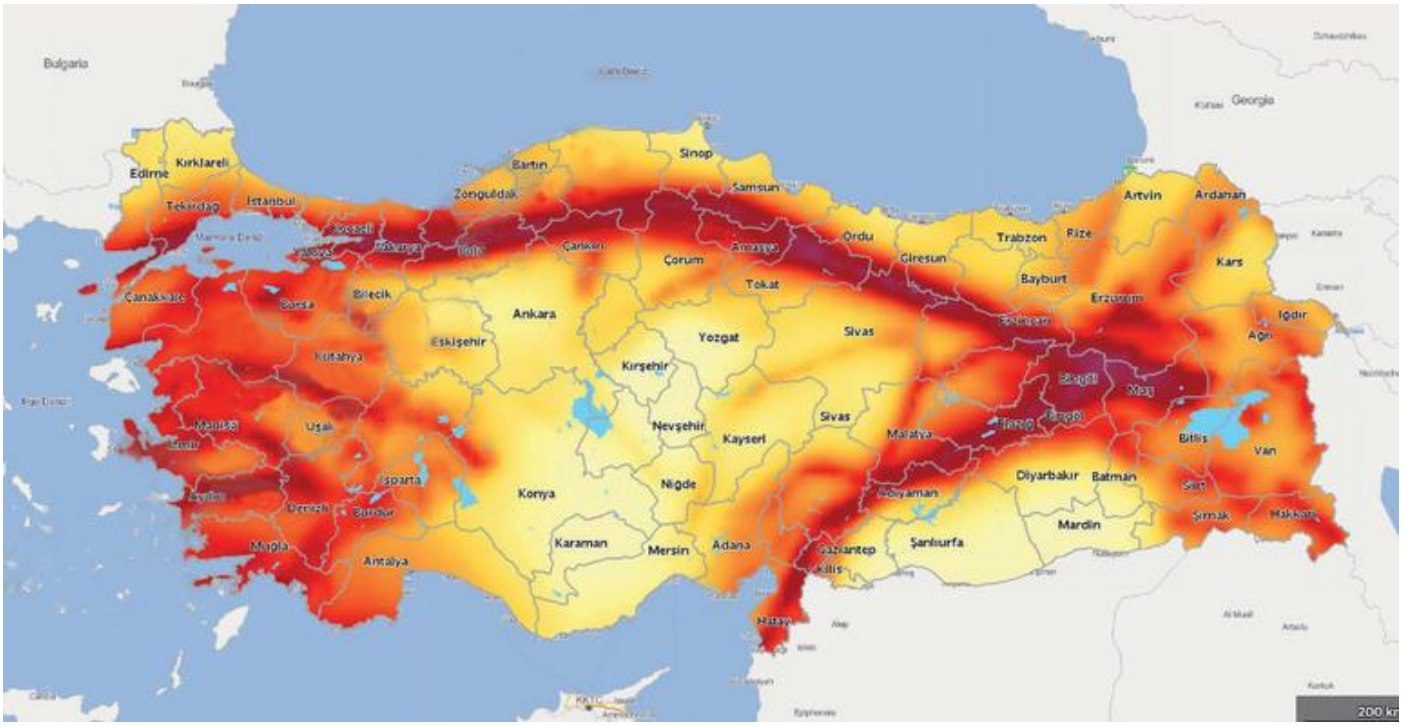
Kiriş- kolon aksları çakışmalı

Bir yöndeki kirişler birbirine paralel olmalı

Bir yöndeki kolonlar birbirine paralel olmalı

DEPREM

Önemli bir deprem kuşağında bulunan Türkiye' nin alan olarak %92' si, nüfus olarak %95' i aktif deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Büyük bir toprak kısmı bu kuşak üzerinde bulunan ülkemizde, oldukça sık deprem olmakta ve her depremde can ve mal kaybına uğranılmaktadır. 1900 – 2013 Yılları Arası, Türkiye ve Çevresinde 33 adet ($M \geq 7.0$) büyük deprem olmuştur. Özellikle 17 Ağustos Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri, "Meydana getirdiği yıkım, can ve mal kaybı, oluşturduğu şiddetin büyüklüğü" deprem olgusunun Türkiye için önemini bir kez daha ortaya çıkarmışlardır. Bu depremlerde de daha önceki depremlere benzer hasarların oluşmuş olması, Türkiye' de hala "depreme dayanıklı yapı" üretilemediğini, yaşanılan depremlerden gerekli dersin çıkarılmadığını göstermektedir.[1]

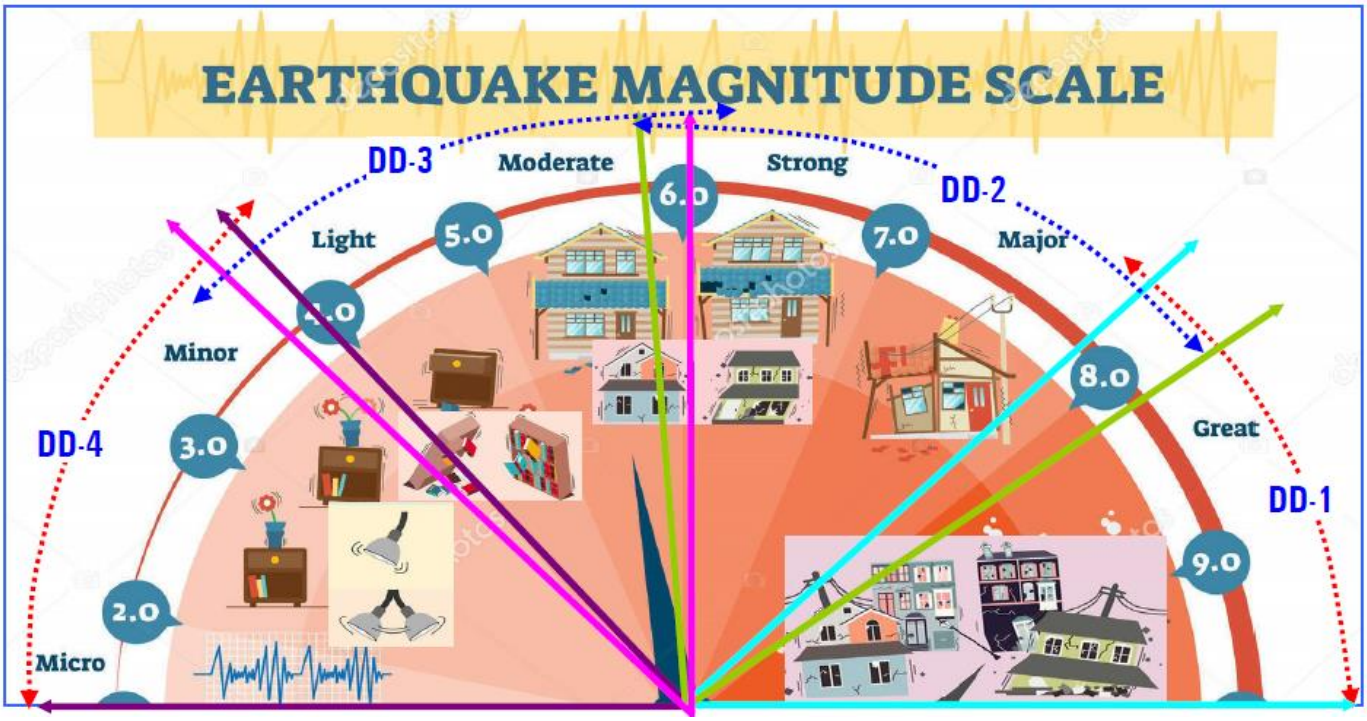


Şekil 2: 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Bu haritalara https://tdth.afad.gov.tr/ adresli internet sitesinden erişilebilir.

Depremlerin yeryüzünde can kaybı, yapı ve tesisler üzerinde oluşturmuş olduğu hasara göre sınıflandırılması "Deprem Şiddeti" adı verilen bir ölçeklemeye göre yapılmaktadır. Bu ölçekleme deprem-ölçerlerin bulunması öncesinde oluşturulmuş, yaşadığımız yüzyıl içinde geliştirilmiştir. Şiddet, büyüklükten farklı olarak, doğrudan yeryüzü zemin

1 **Depremin Magnitüdü Nedir?**
Depremin Magnitüdü, belli bir zaman diliminde kaydedilen sismogram üzerindeki deprem dalgalarının genliğinin logaritması olarak tanımlanır. (Richter-ML, mb, MS, MW)
Depremin Şiddeti Nedir?
Depremin yer yüzeyindeki etkileri depremin şiddeti olarak tanımlanır. Şiddetin ölçüsü, insanların deprem sırasında uykudan uyanmaları, mobilyaların hareket etmesi, bacaların yıkılması ve toplam hasar gibi çeşitli kıstaslar göz önüne alınarak yapılır. Şiddeti tanımlamak için birçok ölçek geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı "Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Ölçeğidir "(Modified Mercalli (MM) Intensity Scale). Bu ölçek, Romen rakamları ile belirlenen 12 düzeyden oluşur. Hiçbir matematiksel temeli olmayıp bütünü ile gözlemsel bilgilere dayanır.

yapısı ve yapılaşma koşulları ile ilişkilidir. Deprem şiddetini ölçmede birçok yöntem (Rossi-Forel, Mercalli-Sieberg, Omori-Cancani, Mercalli-Cancani, Mercalli, Medvedev-Sponheur Karnik ve Japon yöntemleri) bulunmakla birlikte en yaygın uygulananı Mercalli yöntemidir.



2018 yılında yürürlüğe giren TBDY' de ise dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1). DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2): DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *standart tasarım deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3): DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu *sık deprem yer hareketini* nitelemektedir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4): DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, *servis deprem yer hareketi olarak* da adlandırılmaktadır.

DEPREM DÜZEYİ	50 yılda aşılma olasılığı	Tekrarlanma periyodu (yıl)	Açıklama
DD-1	%2	2745	Çok seyrek olan en büyük deprem
DD-2	%10	475	Seyrek olan TASARIM DEPREMİ
DD-3	%50	72	Sık olan ama yıkıcı olmayan
DD-4	%68	43	Çok sık olan servis depremi

Deprem yönetmelikleri çerçevesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı, yukarıda tanımlanan dört düzeyden *binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi göz alınarak yapılır*. Bu aşama için kullanılan "Tasarıma esas deprem " belirli bir zaman dilimi içinde, ilgili coğrafi bölge için öngörülen belirli büyüklükteki bir depremin belirli bir

olasılıkla oluşabileceği esasına göre tanımlanır. Yönetmeliklerde bu şekilde tanımlanan depreme göre yapılan yapı tasarımının ilk iki aşamada öngörülen yapı davranışını güvenli bir biçimde sağlayacağı kabul edilir.

Yönetmeliklerde tanımlanan çok şiddetli depremin etkisi altında yapının göçmeksizin ayakta kalabilmesi, yapıda belirli bir dayanımın bulunmasıyla birlikte, önemli ölçüde enerji yutabilme kapasitesinin sağlanmış olmasına bağlıdır. Türkiye bina deprem yönetmeliği (2018), yapıların depreme dayanıklılığını, yapının deprem enerjisini tüketmesi ile korunmasını ve bu amaçla yapının yeterince sünek olmasını ister. Yönetmeliğin amacı, çok şiddetli depremlerde dahi yapının tamamen yıkılmamasıdır. Tasarım deprem yer hareketi altında binada meydana gelen deprem etkilerinin taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile azaltılması gerekir. Bunun için TBDY' de tanımlanan sünek tasarım ve kapasite tasarımı ilkelerine titizlikle uyulmalıdır.

Bütün deprem bölgelerinde, betonarme elemanların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında ve donatı hesaplarında TS-500'de verilen Taşıma Gücü Yönteminin kullanılması zorunludur.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında ana başvuru kaynağı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (18.03.2018) ve bu yönetmelik kapsamında ek olarak yayımlanan "Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar" Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği diye anılır.

Bu Yönetmelik hükümleri, yeni yapılacak binaların deprem etkisi altında tasarımı ile mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirme tasarımı için uygulanır.

Ayrıca Bu Yönetmelik hükümleri, deprem etkisi altında yerinde dökme ve önüretimli betonarme, çelik, hafif çelik, yığma ve ahşap malzemeden yapılan binaların deprem etkisi altında tasarımı için uygulanır.

Deprem yönetmeliklerinin amacı yapıların hasar görmesini engellemek değil, can kaybını önlemektir. Büyük bir depremde yapı büyük miktarda yapısal ve yapısal olmayan hasara uğrayabilir, fakat yapıda kısmen veya tamamen göçme olmadığı müddetçe, yönetmelikler amaçlarına ulaşmış olarak kabul edilir.

Yalnızca yönetmelik ve standart kurallarına uyularak hesaplanmış bir yapının depreme karşı davranışının iyi olamayacağı, geçerli bir hesabın yanı sıra, mimari ve taşıyıcı sistemin de düzgün seçilmiş ve oluşturulmuş olması gerekmektedir. Dolayısıyla daha başlangıçta mimari tasarımda yapılan hatalar, estetik ve görünüş kaygıları nedeniyle yapılan hatalı, yanlış geometri seçimleri yapıyı önemli ölçüde depreme karşı riske sokar. Oluşan bu riski de taşıyıcı elemanlarla gidermek mümkün olmaz. Bu nedenle tasarım aşamasında bazı *tasarım ilkelerine* uyulması zorunludur.

Estetik kaygılar ve mekânların çok amaçlı kullanılmak istenmesi yüzünden yapıların taşıyıcı sistemleri çoğu kez kendinden beklenen performansı gösterememekte ya da ekonomiklikten uzak olmaktadır.

Yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi ve bina performans düzeyleri TBDY'de şu şekilde sınıflandırılmıştır.

Bina Performans Hedefleri'nin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için Bina Performans Düzeyleri tanımlanmıştır:

a) Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.

b) Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

c) Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan kontrollu hasar düzeyine karşı gelmektedir.

d) Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

Tablo 1: TBDY Madde 3.1.2 Bina Önem Katsayıları (**BKS** = Bina Kullanım Sınıfı)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. **c)** Müzeler **d)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	**Diğer binalar** BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Betonarme yapılarda veya yapı elemanlarında sünekliğin sağlanması için aşağıdaki temel birtakım noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir;

• **Donatı oranının sınırlandırılması:** Bu husus mimardan çok yapısal hesapları yapan mühendisin problemidir. Mühendis geçerliği kabul edilmiş bir yapısal analiz programı kullanarak bu sorunun üstesinden gelebilir. Ancak mimar yapısal elemanların boyutlarını yeterli tasarlamış olmalı Betonun basınç altındaki davranışı elastik olmadığı gibi, aşırı yükleme ile kırılgan bir davranış gösterir. Kirişlerde süneklik, çekme (ρ) ve basınç donatısının (ρ') oranına bağlıdır. Kiriş ve döşemelerde kesite sünek olan donatı koyarak ve donatı miktarını sınırlandırıp betonun basınç altında kırılmasından önce donatısının akmaya ulaşmasını sağlayarak süneklik elde edilebilir.

• **Etriye yada enine spiral donatı kullanılması:** Kolonlarda beton genel olarak basınç altında bulunduğu için davranışının sünek olduğu söylenemez. Ancak etriyeler veya daha iyisi enine spiral donatılarla sınırlı bir süneklik elde etmek mümkündür.



Kuvvetli kiriş-zayıf kolon tasarımıyla oluşan deprem hasarı (Tam göçme).
Kolon mekanizması ile göçme modu.

Şekil 3

• **Kuvvetli kolon-zayıf kiriş teşkili**: Deprem yüklerinin karşılanmasında kiriş ve kolon birleşimlerinin yeterli sünekliğe sahip olacak şekilde düzenlenmesi önemlidir. Deprem yönetmeliğinde de belirtildiği gibi kolon-kiriş birleşim noktalarında sünekliğin kuvvetli kolon-zayıf kirişle sağlanması istenir. Başka bir deyişle kirişlerin daha sünek olması istenir ve hem göçmenin haberli olarak meydana gelmesi hem de kolonların mukavemetini kaybetmesiyle yapının elastik sınırlar içinde göçme durumuna gelmemesi sağlanmış olur.

• **Kolon-kiriş bağlantı noktalarında oldukça sık etriye kullanılması**: (sarılma bölgesi)Kiriş ve kolonlarda sık etriye düzeni kullanılarak, betonun hem dayanımını ve hem de sünekliği artırılmalıdır. Örneğin, depremde en çok zorlanması beklenen kolon-kiriş birleşim bölgelerine yakın kiriş ve kolon kesitlerinde etriye sıklaştırılmasının yapılması gibi.

• **Yeterli aderans, yeterli kenetlenme yapılması:** Moment etkisinde bulunan kiriş, döşeme, temel gibi yapı elemanlarında sünekliliği azaltan faktörlerden biri aderans zayıflaması, diğeri ise kesme kuvveti etkisidir. Yeterli aderans sağlanmaması kesme kuvvetini karşılayan iç kuvvet oluşumlarını azaltmaktadır. Aderansın sağlanması yeterli kenetleme boyu ve kenetleme boyunca sık etriye bulundurmakla temin edilebilir. Kesme kırılmasının önlenmesi, kesmenin maksimum olduğu bölgelerde yeterli etriye bulundurmakla mümkün olabilmektedir.

Deprem Riski Altındaki Yapılar

-Planda ve düşeyde simetrik olmayan sistemler (A ve B türü düzensizlikler)

-Kat alanları ve kat yükseklikleri yapı yüksekliği boyunca değişkenlik gösteren sistemler

-Diyaframda büyük boşluklar içeren ya da zayıf diyafram bağları olan sistemler

-Sistemdeki süreksizlikler nedeniyle yükleri en kısa yoldan zemine aktaramayan yapılar

-Bitişik düzende olan yapılar

-Büyük ağırlıkların, kütlelerin bulunduğu yapılar

-Yapıda yumuşak kat, kısa kolon bulunması

-Donatıda korozyon, yetersiz donatı yüzdesi, düşük beton kalitesi, kötü işçilik

-Olumsuz zemin koşulları, yetersiz temel bağlantıları

YAPI TAŞIYICI SİSTEMLERİ

Taşıyıcı sistemin seçilmesinde birçok etken vardır. Bu etkenler incelenerek yapının istenilen şartları sağlayan en uygun sistem seçilir. Taşıyıcı sistem seçilirken mimari ve mühendislik olarak yapının ihtiyaçlarını karşılaması gerekir. Bunların yanında seçilen taşıyıcı sistemin ekonomik olması da gerekir. Bazı durumlarda bina sahibinin mülkü için özel istekleri olabilir ve bunlarında mümkün olabildiğince ilgili imar ve yapı yönetmeliği ve standartları çerçevesinde yerine getirilmesi gerekir.

Taşıyıcı Sistemin Oluşturulması

Yapıların deprem davranışını belirleyen önemli özelliklerinden bir tanesi taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların, etkiyen kuvvetleri büyük dönmeler ve yerdeğiştirmeler oluşmadan ve sünek bir davranış göstererek zemine kadar güvenle aktarmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir.

Taşıyıcı sistem oluşturulurken genel olarak

• Yapı sisteminin basit olması

• Taşıyıcı elemanların kat planı içerisinde düzgün olarak yerleştirilmesi ve simetriye sahip olması

• Sistemin yüksek dereceden hiperstatik olması

• Her iki doğrultuda yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olması

• Burulma etkilerine karşı yeterli dayanım ve rijitliğin bulunması

• Döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterebilecek özelliklere sahip olması

• Temel sistemin gelen etkileri zemine güvenle aktarabilecek özelliklere sahip olması koşullarının olabildiğince sağlanması gerekmektedir.

Yeni yapılan her binanın her ne kadar başka binalara benzese de kendine özgü sorunları ve bunun çözümü için başkalarına benzemeyen çözüm yolları olabilmekte, farklı sistemlerde yapılar meydana gelmektedir. Bununla beraber yapı sistemi seçiminde -Yapının kullanım amacı -Yapının yüksekliği, -Yapı narinliği (narinlik oranı; yapı yüksekliği / yapı kısa kenar uzunluğu) -Yatay yüklerin büyüklüklerinin nitelikleri ve büyüklükleri -Yatay rijitlik kriterleri -Zeminin durumu -Yapıda kullanılacak temel yapı malzemelerinin mevcudiyeti ve maliyeti -Kalifiye işçilik ihtiyacı ve maliyeti -İnşaat tekniklerindeki gelişmişlik durumu -Yapım süresi gibi bazı ana kriterler de belirleyici rol oynamaktadır.

Bir yapının seçilen taşıyıcı elemanları ya da taşıyıcı sistemi, öncelikle mimari tasarıma ve yapının kullanım amacına uygun olmalıdır. Taşıyıcı elemanlar ne az kullanılmalı ne de yapıyı ağırlaştırmalıdır. Sistem makine, elektrik tesisatlarına kolay kullanım imkânı vermelidir. Sistem elemanları, ısı ve ses köprüsü oluşturmamalı, yangına karşı dayanıklı olmalıdır. Gerekiyorsa korunmalıdır. Bununla birlikte, en önemlisi de, olası bir deprem dâhil bütün yüklere karşı yapı yeterli dayanımı göstermelidir.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Türleri

Depreme karşı davranışları bakımından, betonarme binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri, üç sınıfa ayrılmıştır.

1-Süneklik düzeyi yüksek sistemler (SDY): Deprem enerjisinin çok büyük kısmının şekil değiştirmelerle karşılandığı sistemlere "Süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler denilir. Yönetmelikte belirtilen kurallara göre boyutlandırılarak donatılan kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve türü taşıyıcı sistemler, boşluksuz veya boşluklu (bağ kirişli) perdelerden oluşan taşıyıcı sistemler, bu iki tür sistemin birleşiminden oluşturulan perdeli çerçeveli taşıyıcı sistemler bu guruba girer. Şu anda yürürlükteki yönetmelik 7.3, 7.4 ve 7.6 maddeleri SDY taşıyıcı sistemlerin boyut ve donatı düzenleme kurallarından bahseder.

2-Süneklik Düzeyi Sınırlı Sistemler (SDS): Süneklik düzeyi sınırlı sistemler ise, deprem kuvvetinin şekil değiştirmelerle nispeten daha az karşılanabildiği, deprem kuvvetlerinin daha ziyade dayanımla karşılandığı sistemlerdir. Dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli betonarme çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler de, perde içermedikleri takdirde, *süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemler* olarak sınıflandırılırlar ve yalnızca DTS=3 ve DTS=4 olan binalarda kullanılmalarına müsade edilmiştir. DTS=1a, DTS=2a, DTS=3a ve DTS=4a olarak sınıflandırılan binalarda süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemler kullanılamaz. Şu anda yürürlükteki yönetmelik 7.7, 7.8 ve 7.10 maddeleri SDS taşıyıcı sistemlerin boyut ve donatı düzenleme kuralarından bahseder.

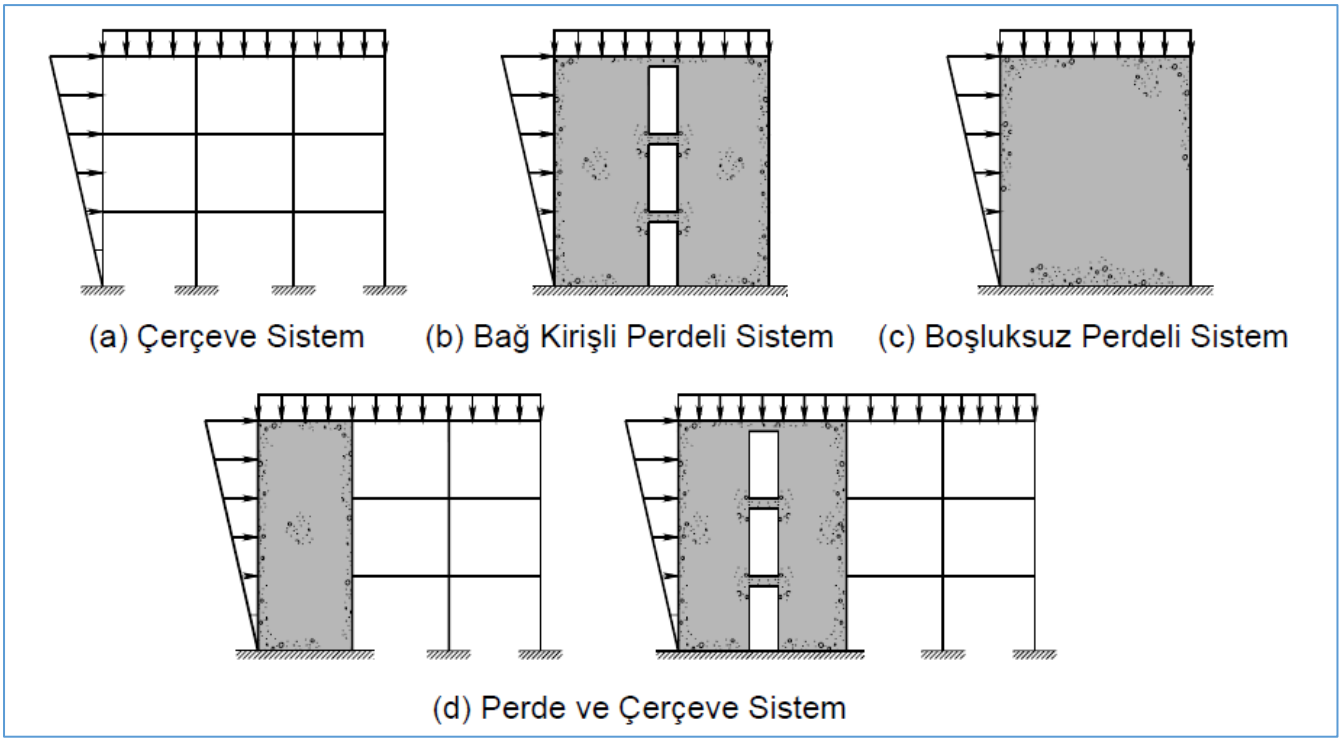
3-Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler: Süneklik düzeyi sınırlı çerçeve taşıyıcı sistemlerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler veya çelik çaprazlı çerçevelerle birlikte kullanılması ile oluşturulan sistemlerdir. (SDS Çerçeve+SDY Betonarme Perde). BYS ≤ 6 olan ve DTS=1a ve DTS=2a olarak sınıflandırılan binalarda *süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemler* kullanılamaz.

a) Çerçeve sistemler: Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar. Düşey ve yatay yüklerin tamamının kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçevenin taşıdığı sistemler

b) Bağ kirişli perdeli sistem: Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar. Perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişlerin bulunduğu sistemler

c) Boşluksuz perdeli sistem: Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar. Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişsiz perdelerle taşındığı sistemler.

d) Perde ve Çerçeve sistem: Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar. Çerçeveler ve boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar



Şekil 4: Taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması

Bu sınıflandırma esas olmak üzere genel olarak mimar ve mühendislerin yatay ve düşey yükleri aktarmak için tasarımına başvurduğu diğer yapı taşıyıcı sistemleri şunlardır.

a) Çerçevelerden oluşan sistemler (kolon-kiriş)

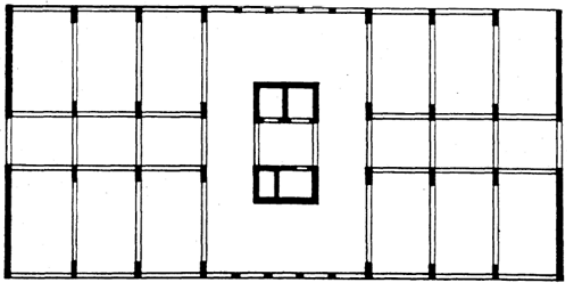
b) Perde veya kutu sistemler

c) Perde ve çerçevelerden oluşan sistemler

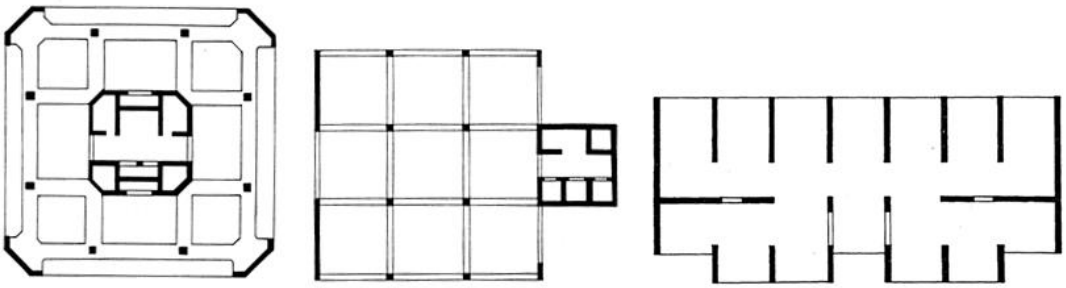
d) Tüp sistemler

e) Tüp, perde ve çerçevelerden oluşan sistemler.

Genelde çok katlı yapı tasarımında en çok kullanılan taşıyıcı sistem, perde (çekirdek) ve çerçevelerden oluşan sistemlerdir. Bu tür sistemler bir yandan mimari işlevlerle uyum içinde olup bu bakımdan önemli sakıncalar doğurmazlar, diğer yandan gerekli rijitlik ve sünekliği sağlayarak deprem etkilerine başarı ile karşı koyabilirler. Bu tür yapılarda, gerekli rijitlik öncelikle perde ve çekirdekler tarafından sağlanmaktadır. Bunların zorlanmasına neden olabilecek kadar şiddetli depremlerde ise sünek çerçeveler devreye girerek göçmeyi önlemektedir.

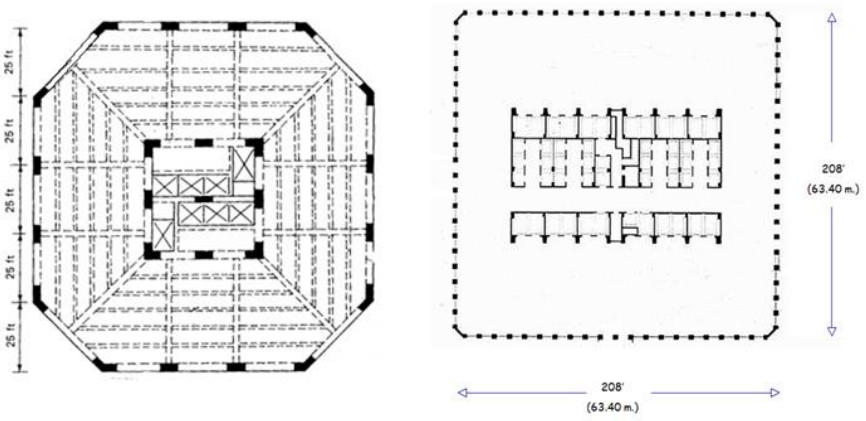


Şekil 5



Şekil 6

Betonarme çerçeve yapıların enerji tüketme güçleri azdır. Plastik enerji tüketme gücünde olabilmeleri için donatı, eksenel yük ve boyut ayrıntılarına, hem proje hem de inşaat sırasında özen göstermek gerekir. Bu tür yapılar deprem tehlikesinin az olduğu yerlerde çok katlı, deprem tehlikesinin biraz daha büyük olduğu yerlerde ise az katlı yapılmalıdır. Perde-çerçeve yapılarda ise, yanal ötelemeler kısıtlanmakta, perde duvarın hasar sonucu taşıma gücünün azalmasından sonra çerçeve ikinci savunma unsuru olarak devreye girmektedir. Deprem tehlikesinin orta ve daha yüksek olduğu bölgelerde yapıların perde-çerçeve şeklinde yapılması daha uygun olacaktır.



Şekil 7 : Geniş açıklıklı çerçeve TÜP sistem (Yandaki NY daki dünya ticaret merkezi İkiz kuleler)

Tablo 2 *Betonarme taşıyıcı sistemlerin bina kat adedine göre dağılımı verilmiştir (İ. Gülsoy,İTÜ FBE,2003).*

BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLER	
SİSTEM	**KAT ADEDİ** 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
İki yönlü döşeme ve kolonlar	
Perde ve mantar döşeme	
Perde kolon ve mantar döşeme	
İkiz perde duvarları	
Rijit çerçeve	
Geniş açıklıklı çerçeveli tüp	
Guseli kirişli rijit çerçeve	
Çekirdek sistemler	
Perde duvarı ve çerçeve	
Perde ve guseli kirişli çerçeve	
Sık yerleştirilmiş çerçeveli tüp	
Çerçeveli tüp ve çekirdek	
Kafes tüp	
Modüler tüp	

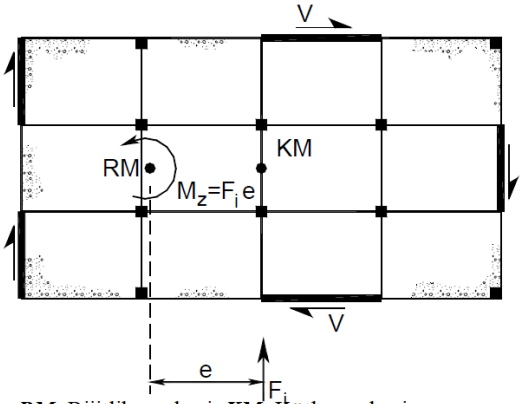
BETONARME PERDELER

Yatay kuvvetlere karşı en büyük direnci gösteren, yapının göçmesini zorlaştıran elemanlardır. Kolonlara kıyasla en kesitleri daha fazla olduğundan deprem kuvvetlerinin çok büyük bir kısmını taşırlar. Yatay yerdeğiştirmelerin küçük olmasını sağlar ve yapının burularak göçmesini önler. Perdeler, planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az altı olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Perde kesitler U, L ve T şeklinde olabilir. Bu perdelerin gövde bölgesindeki kalınlığı kat yüksekliğinin 1/6'sından ve 250 mm den küçük olmamalıdır.

Dikdörtgen perde veya perde kolu kalınlığı perdenin veya perde kolunun plandaki yanal doğrultuda tutulmamış boyunun 1/30'undan küçük olmayacaktır. Perde kolu her iki ucundan yanal doğrultuda bir perde ile tutulu ise, perde kolu kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 250 mm'den küçük olmayacaktır. Hw / lw > 2.0 olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulmalıdır.

Perdelerin Yerleşimi.

Perdeler yerleştirilirken planda her iki doğrultuda mümkün olduğunca simetrik yapılmalıdır. Perdelerin planda simetrik düzenlenmesi ile rijitlik merkezinin planda simetri merkezine yaklaşması sağlanır. Perdelerin kat planı içerisinde bir bölgede yoğunlaştırılmasından kaçınılmalıdır. Perdelerin kat planı içerisinde her iki yönde de bulunması uygun olmaktadır. Tek yönde perde kullanılması durumunda burulma stabilitesi bozuk bir taşıyıcı sistem oluşturulmuş olmaktadır. Genel tasarımda kabul gördüğü gibi planda rijit kısımların bir tarafta toplanması rijitlik merkezi ile kütle merkezinin birbirinden uzaklaşmasına neden olacaktır. Perdeler aynı zamanda yapının dış konturuna yakın akslarda planlanmalıdır. Enerji tüketme güçleri en yüksek olan yapılar perdeli yapılardır ve önemli yapıların bu tarzda yapılması önerilmektedir.



RM: Rijitlik merkezi ***KM:*** Kütle merkezi
M: Burulma momenti **e:** dışmerkezlik V: Kesme kuvveti

BETONARME PERDE TASARIMI:

Boşluksuz perdelerin yeterli kesme dayanımına sahip olmaları için binanın her bir doğrultusunda çalışan dikdörtgen perde veya perde kolu enkesit alanlarının toplamı olan ΣA_{wi} değeri, binanın her iki doğrultusunda Denk.(17.6) ve Denk.(17.7)'deki koşulların her ikisini de sağlayacaktır.

$$\sum A_{wi} \geq 0.0002 S_{DS}\left(g+0.3q\right)\sum A_{pi} \qquad \textbf{(17.6)}$$

$$\sum A_{wi} \geq 0.0007 S_{DS}\left(g+0.3q\right) A_{pt} \qquad \textbf{(17.7)}$$

$\boldsymbol{S_{DS}=S_S F_S}$

$\boldsymbol{S_{D1}=S_1 F_1}$

S_{DS}=Kısa peryot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)(afad.gov.tr den)

ΣA_{pi} =bina kat alanlarının toplamı, m^2

A_{pt}= bina taban alanı, m^2

g= sabit yük kN/m^2

q: hareketli yük kN/m^2

Düşey taşıyıcı elemanların enkesit alanlarının 17.6 ve 17.7 de verilen denklemlerle belirlenmesinde kullanılacak ortalama yayılı sabit yük ve ortalama yayılı hareketli yük değerlerinin toplamı olan (g+q) değeri 15 kN/m^2'den, (g+0.3q) değeri i se 13 kN/m^2'den az alınmayacaktır. Yayılı sabit yük değerleri, döşeme yükleriyle beraber yatay ve düşey taşıyıcı elemanların (kiriş, kolon, perde) ve taşıyıcı olmayan elemanların (bölme duvar) ağırlığını da içermelidir. Binanın çatı katına etki eden hareketli yük, 0.2 değerindeki yük katsayısıyla azaltılmış kar yükünü de içermelidir.

Uğur Ersoy' da yaptığı bir çalışmada 2 ile 8 katlı betonarme çerçeve bina katında her bir doğrultuda bulundurulması gereken en az perde duvar alanı, binadaki kat alanları toplamının bir yüzdesi olarak yazılabilecek şekilde aşağıdaki eşitliği önermiştir

$\Sigma A_{wi} \geq 0.0012 \cdot \Sigma A_{pi}$

$\Sigma Awi \geq 0.004\ A_{pt}$

ΣA_{pi} : Binanın kat alanlarının toplamı
ΣA_{pt} : Binanın tabandaki plan alanı

Perde duvarlar için verilen bu koşullar, her iki doğrultuda sağlanmalıdır.

TBDY'2018, Madde 7.6, Süneklik Düzeyi Yüksek Perdelerle ilgili bölümünde, perde gövde kalınlığının 200 mm'den ve binadaki en yüksek kat yüksekliğinin 1/20'sinden az olmamak koşulu ile birlikte, perdelerin toplam alanlarıyla ilgili aşağıdaki koşullar getirilmiştir.

$\Sigma Ag / \Sigma Ap \geq 0{,}002$ buradan bir kat için gerekli en küçük betonarme perde en kesit alanı

$\Sigma Ag = \Sigma Ap \cdot 0.002$ ifade si ile yaklaşık hesaplanabilir.

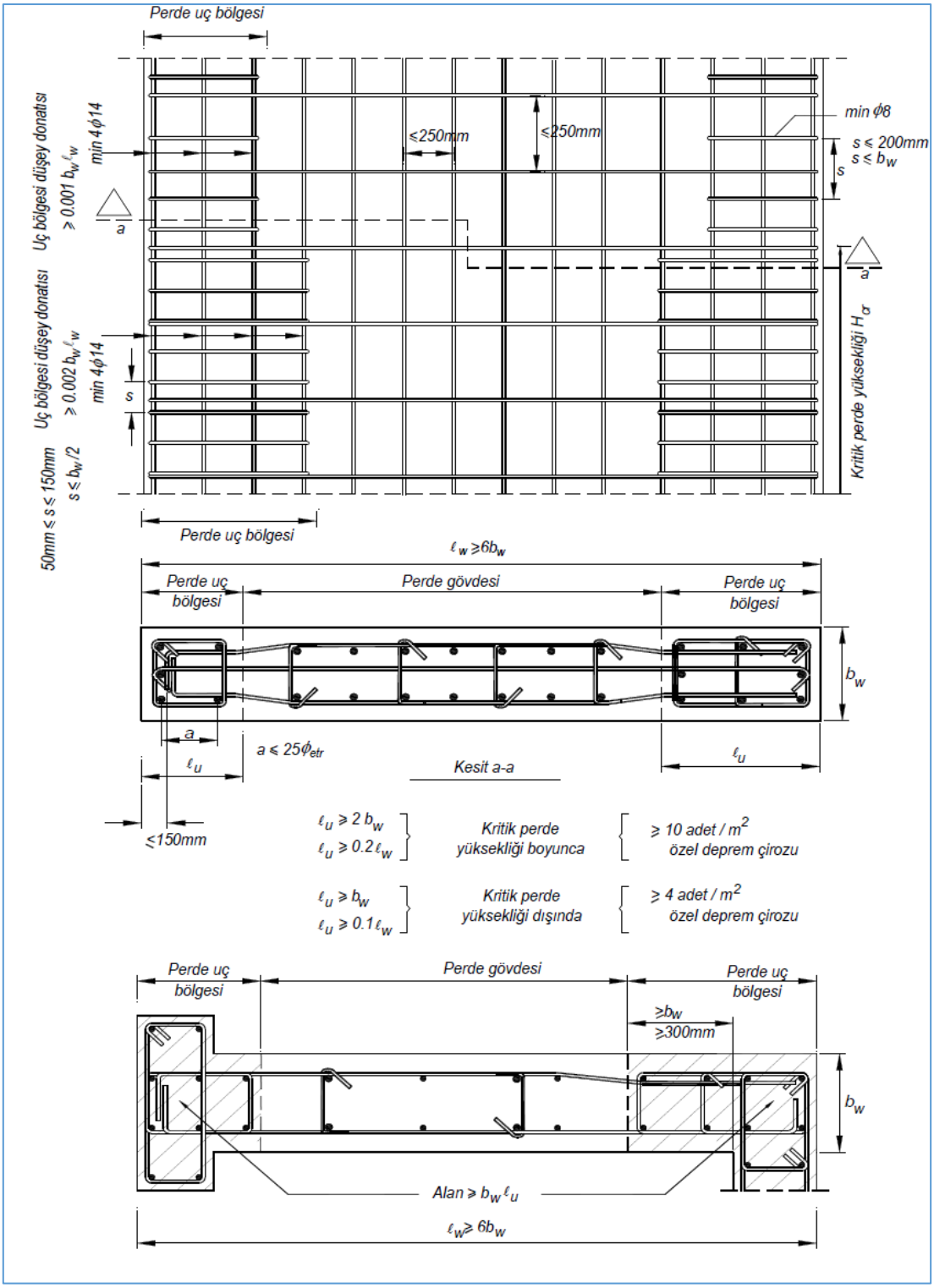
Mesela: 8 katlı bir yapının taban alanı 200 m^2 olduğu varsayılsın.

$\Sigma Ag = 8x200x0.002 = 3{,}2\ m^2$ olarak çıkar.

Perdenin kısa kenarının b_w=0.25 m. olduğu varsayılırsa,

b_w x l_w=3,2 l_w=12,8 metre çıkar. Simetrik olarak her köşeye bir perde koymuş olalım. Böylece bir perde kolonun uzunluğu l_w=12,8/4=3,2 metre olarak yaklaşık bir değer elde edilir.

ΣAp = Binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı
ΣAg = Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı



Şekil 8: Betonarme perdeler. (Detaylı bilgi için TBDY Madde 7.6 bakınız)

DÜZENSİZ BİNALARIN TANIMI

Betonarme binalarda sıkça rastlanan tasarım hatalarına düşmemek için özellikle deprem yönetmeliğinde tanımlanan düzensiz binaların tasarım ve yapımından kaçınılmalıdır. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan bina düzensizlikleri şunlardır.

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar Deprem yönetmeliği Tablo 3.6 ‘da, bunlarla ilgili koşullar ise 3.6.2’de verilmiştir.

Tablo 3,6 da tanımlanan düzensizlik durumlarına ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir:

3.6.2.1. – A1 ve B2 türü düzensizlikler, 4.6'da belirtildiği üzere, deprem hesap yönteminin seçiminde etken olan düzensizliklerdir.

3.6.2.2. – A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.

3.6.2.3. – B1 türü düzensizliğinin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, ηci'nin hesabında dolgu duvarları göz önüne alınmayacaktır. $0.60 \leq (\eta ci)_{min} < 0.80$ aralığında Tablo 4.1'de verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $1.25\ (\eta ci)_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman $\eta ci < 0.60$ olmayacaktır. Aksi durumda, **zayıf katın** dayanımı ve rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

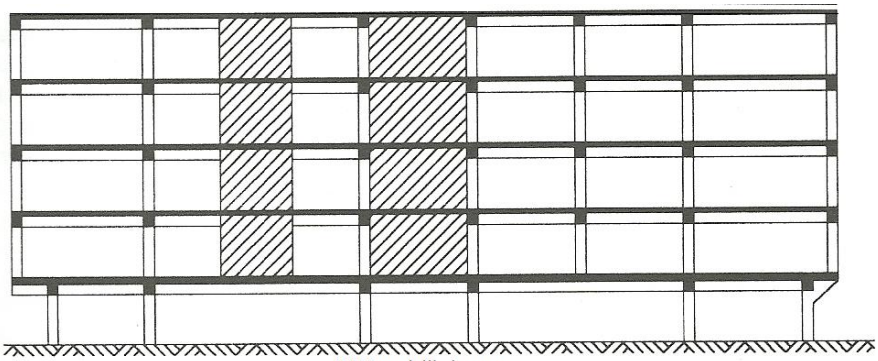
3.6.2.4. – B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar, bütün deprem bölgelerinde uygulanmak üzere, aşağıda belirtilmiştir:

(a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

(b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, **4.4.3'e** göre düşey deprem hesabı yapılması yeterlidir.

(c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

(d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



B Düzensizlik durumu

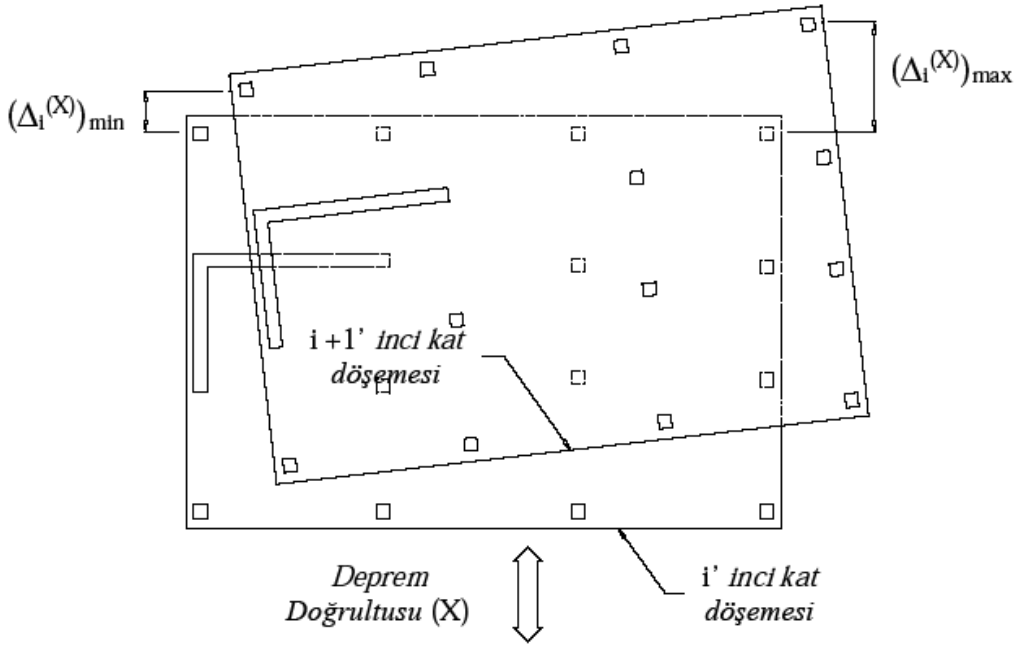


Şekil 9: Ön cephedeki yola çıkma yapılmış fakat araç trafiği göz ardı edilmiş.

Tablo 3: TBDY 2018'e göre düzensiz binaların tarifi

Tablo 3.6 – Düzensiz Binalar

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı* η_{bi}'nin 1.2'den büyük olması durumu (**Şekil 3.1**). $[\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{max} / (\Delta_i^{(x)})_{ort} > 1.2]$. *Göreli kat ötelemelerinin hesabı, ± %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak,* **4.7***'ye göre yapılacaktır.*	**3.6.2.1**
A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede (**Şekil 3.2**); I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu	**3.6.2.2**
A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (**Şekil 3.3**).	**3.6.2.2**
B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI	İlgili Maddeler
B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki *toplam etkili kesme alanı*'nın, bir üst kattaki *toplam etkili kesme alanı*'na oranı olarak tanımlanan *Dayanım Düzensizliği Katsayısı* η_{ci}'nin 0.80'den küçük olması durumu. $[\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80]$ *Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı*: $(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i$ Not: **4.9.1.3(b)**'de tanımlanan duvarlar için $A_k = 0$ alınacaktır.	**3.6.2.3**
B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki}'nin 2.0'den fazla olması durumu. $[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(x)}/h_{i+1})_{ort} > 2.0$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)}/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(x)}/h_{i-1})_{ort} > 2.0]$ *Göreli kat ötelemelerinin hesabı, ± %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak* **4.7***'ye göre yapılacaktır.*	**3.6.2.1**
B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu (**Şekil 3.4**).	**3.6.2.4**



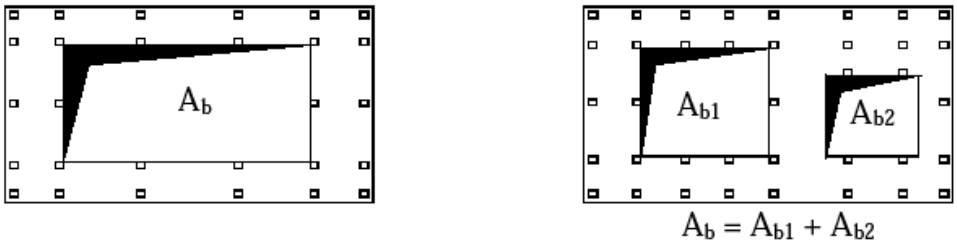
Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$(\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1/2\ [(\Delta_i^{(X)})_{max} + (\Delta_i^{(X)})_{min}]$

Burulma düzensizliği katsayısı: $\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort}$

Burulma düzensizliği durumu: $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 3.1

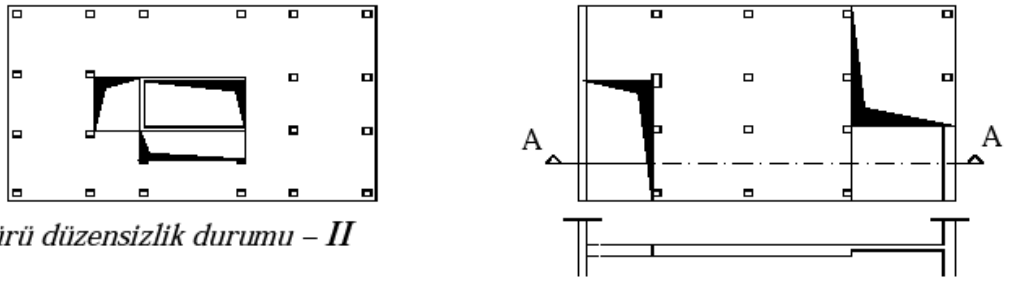


A2 *türü düzensizlik durumu –* **I**

$A_b / A > 1/3$

A_b : *Boşluk alanları toplamı*

A : *Brüt kat alanı*



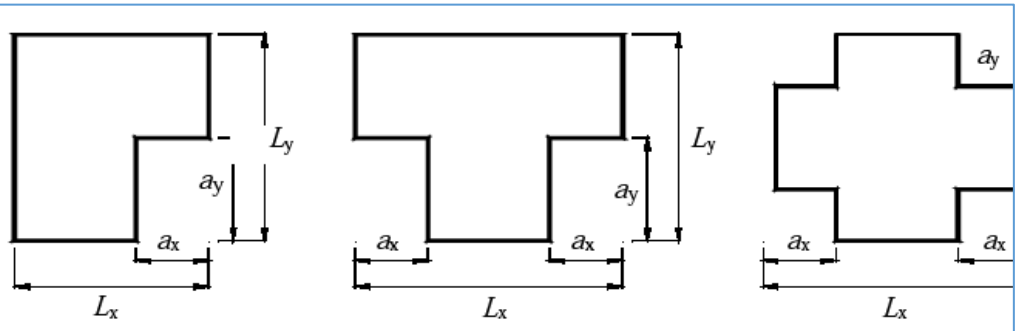
A2 türü düzensizlik durumu – ***II***

Kesit A-A

A2 türü düzensizlik durumu – ***II ve III***

Şekil 3.2

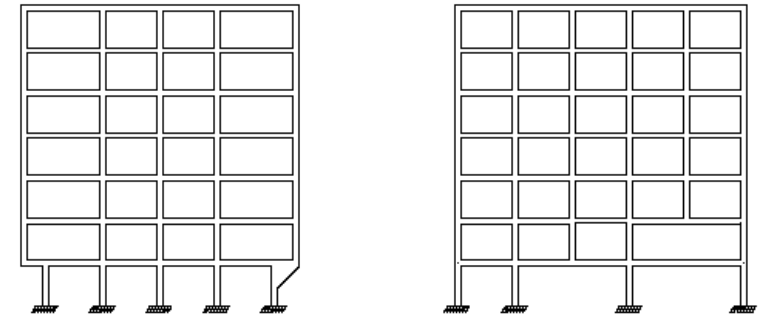
Şekil 10



A3 *türü düzensizlik durumu:*

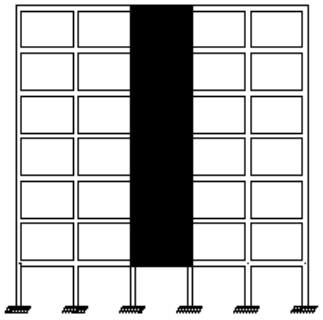
$a_x > 0.2\ L_x$ *ve aynı zamanda* $a_y > 0.2\ L_y$

Şekil 3.3

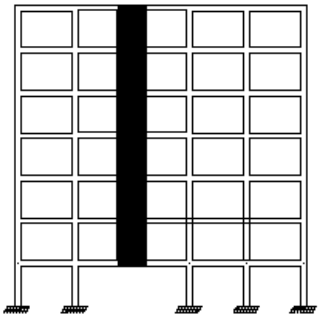


Bkz. **3.6.2.4 (a)**

Bkz. **3.6.2.4 (b)**



Bkz. **3.6.2.4 (c)**



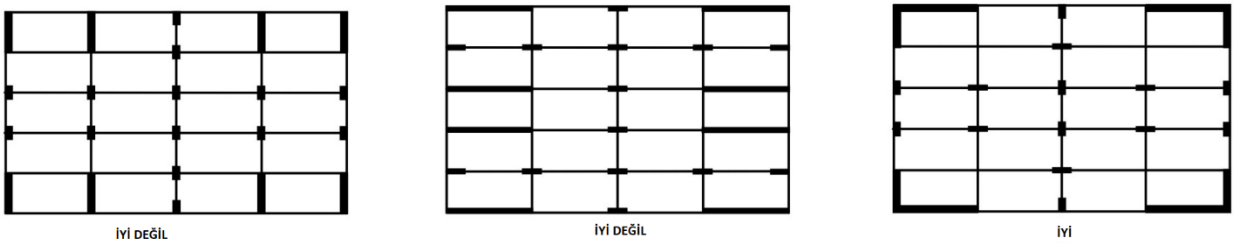
Bkz. **3.6.2.4 (d)**

Şekil 3.4

Şekil 11

TASARIMDA KAÇINILMASI GEREKEN ÖZEL DURUMLAR

1-BÜTÜN KOLON VE PERDELERİN AYNI DOĞRULTUDA OLMASI



Şekil 12

Tüm kolon ve perdelerin uzun kenarları yapının sadece bir yönünde olacak şekilde yerleştirmek çok sık yapılan yanlış bir tasarım şeklidir. Bu durumda yapı, yatay kuvvetlere karşı, bir yönde rijit, diğer yönde ise esnek olmaktadır. Bu düzensizliğin sebebi şunlar olabilir.

1-*Tüm kolon ve perdelerin kısa kenarlarının caddeye bakan cepheye paralel yerleştirilmek istenmesi:* Bu tasarımda kolon veya betonarme perdenin uzun kenarının caddeye veya manzaraya paralel olması istenmez.

2-Planda uzun yapılarda tüm kolon ve perde duvarların yapının planda kısa olan tarafına yerleştirilmek istenmesi: Yapının uzun kenarının cephe alanı, kısa kenarının cephe alanından büyüktür. Rüzgâr yükü cephe alanı ile orantılı olduğundan uzun kenarlı cephe alanına etkiyen rüzgâr kuvveti kısa kenarlı cephedekinden büyük olacaktır. Bu nedenle mühendis, rüzgâr kuvvetinin büyük olduğu yönde yapının daha rijit olmasını istemektedir.

Uygulamada depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından her iki düşünce de hatalıdır. Birinci durumda estetik kaygılar yapı güvenliğinin önüne geçmektedir. İkinci durumda ise yapının rüzgâr direnci düşünülmekte fakat deprem göz ardı edilmektedir. Oysa ülkemizde rüzgârdan çok deprem göz önüne alınmalıdır. Deprem kuvveti yapının kütlesi ile orantılıdır. Cephe alanları ile değil. Bu yüzden yapı her yönden gelebilecek deprem kuvvetine aynı rijitlikte cevap verebilmelidir.

Ne yapılmalı?

-kolon ve perdelerin her iki doğrultudaki rijitliklerinin toplamı eşit veya yakın olmalıdır.

-kolon ve perdeler her iki doğrultuda simetrik yerleştirilmelidir.

-Özellikle perdeler A1 türü düzensizliğin önüne geçmek için cephelere yakın yerleştirilmelidir.

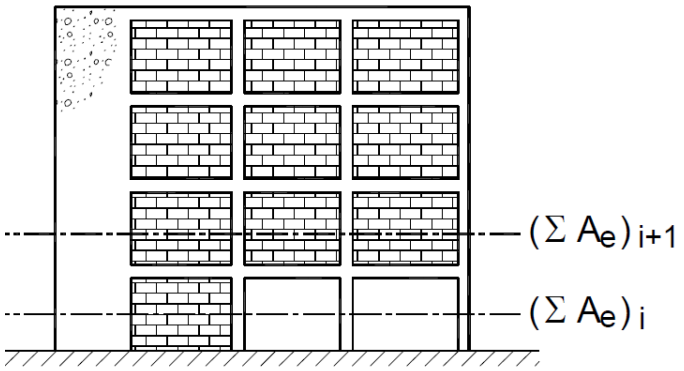
2-ZAYIF KAT

B1 (Komşu katlar arası dayanım farklılığı zayıf kat)

Binaların giriş katlarında, genellikle mağaza, restoran, banka vb. gelir getirici amaçlar nedeni ile dolgu bölme duvarları örülmez. Dolayısı ile böyle binalarda giriş katı, yanal ötelenmeler bakımından, üst katlara nazaran, relatif olarak önemli ölçüde zayıf olur. Yığma dolgu duvarlar bulundukları katın yatay deplasmanlarını azaltmada çok büyük rol oynarlar. Esasen, deprem esnasında zayıf katın hasar görmesinin başlıca nedeni, üst katlardaki yığma dolgu duvarlarının, zemin katta bulunmayışıdır.

Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat), taşıyıcı sistemin herhangi bir kattaki yatay yük taşıma kapasitesinin (dayanımının) bir üstteki kata göre ani olarak azaltılmasına ve böylece zayıf kat adı verilen oluşmasına karşı gelmektedir. Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı ηci 'nin 0.80'den küçük olması durumunda zayıf kat düzensizliğinin bulunduğu kabul edilmelidir,

$\eta ci = (\Sigma A_e)_i / \Sigma A_e)_{i+1} < 0.80$; (ΣA_e)=kolon+perde+0.15 kargir duvar kesit alanı



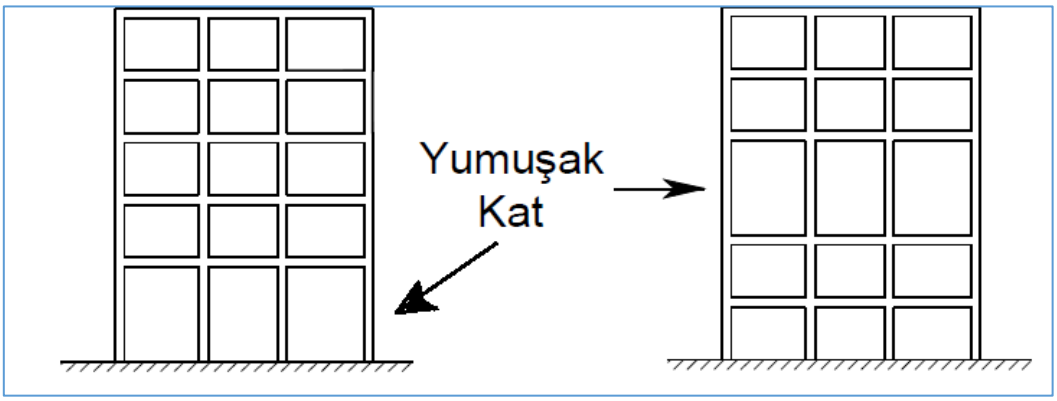
Şekil 13: B1; zayıf Kat (K Darılmaz)

Yığma dolgu duvarlarından yoksun olan zemin katın yatay deplasmanlara karşı direnci, yığma dolgu duvarları bakımından zengin olan üst katlara göre çok azdır. Bu yüzden düşey yönde rijitlik süreksizliği bulunan katlara zayıf kat denir. Mağaza, restoran ve banka gibi çeşitli ticari fonksiyonlara geniş alanlar sağlayabilmek için, dolgu duvar örülmeyen ve/veya kat yüksekliği göreceli olarak büyük olan zemin katlar, çok katlı binalarda deprem hasarlarının odak noktasıdır.

3- YUMUŞAK KAT

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat):

Yapıların genellikle zemin katı, bazen de ara katlarından bazılarının kat yüksekliği, otopark veya ticari amaçla diğer katlardan fazla yapılmaktadır. Ülkemizde çok sık görülen bir uygulamadır. Bu tür düzensiz tasarıma "yumuşak kat" denilmektedir. Bir katın yüksekliğinin veya zemin kat yüksekliğinin üst katlara nazaran daha fazla olması da, yumuşak kat düzensizliği yaratır.



Şekil 14: B2, Yumuşak kat düzensizliği



Prof. Dr. Kutlu Darılmaz (İTÜ İnşaat Fakültesi)



Zayıf Kat ve Yumuşak Kat Birlikte

Prof. Dr. Kutlu Darılmaz (İTÜ İnşaat Fakültesi)

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

Yumuşak kat kolonları aşırı yatay yer değiştirerek kırılırlar ve yapı aniden yıkılır. Deprem kuvvetinden oluşan yatay yer değiştirmenin %70-80' i yumuşak katta oluşur.

Ne yapılabilir?

•Yumuşak kat oluşum nedeni ortadan kaldırılabilir, vitrin yerine duvar yapılabilir.

•Otopark veya dükkân yapılmayabilir.

•Taşıyıcı sistem sadece kolonlardan oluşmamalı, perde taşıyıcıya ağırlık verilmeli, deprem kuvveti mutlaka perdeler ile karşılanmalıdır.

•Yumuşak kattaki tüm kolonlar kat yüksekliği boyunca sık etriye ile sarılmalıdır.

•Yumuşak kat kolon kesitleri büyük seçilebilir.

•Duvar bulunmayan katlarda pencere çerçeveleri, duvarın rijitliğini sağlayacak şekilde, çelik profillerden imal edilebilir.



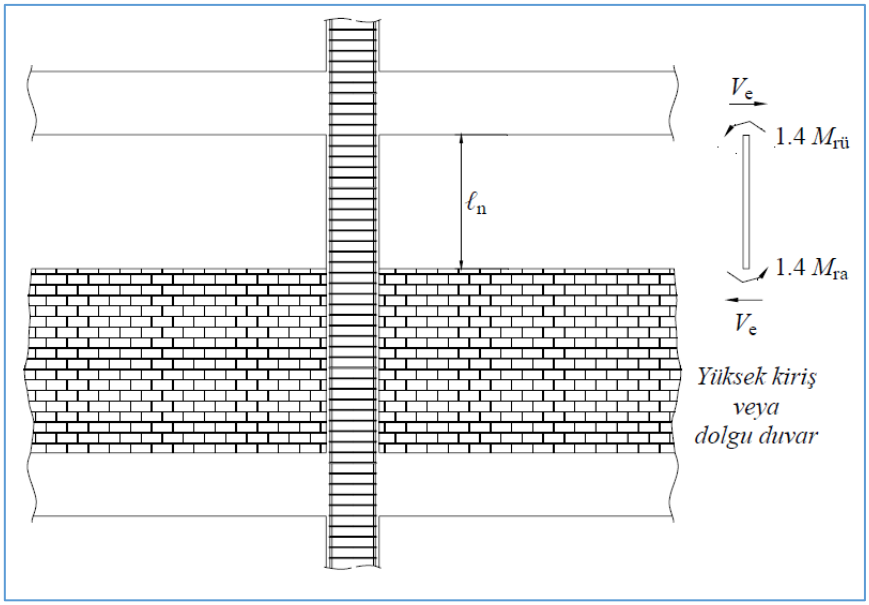
Şekil 15 :Yumuşak katın çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi



Şekil 16. Yumuşak kat ve depremdeki davranışı

4-KISA KOLON (TBDY 2018; MADDE 7.3.8)

Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarında kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşabilirler.



Şekil 17: TBDY ye göre kısa kolon ve kesme kuvveti hesabına esas ifadeler

Yapıdaki kolonların birinin veya bir kaçının diğerlerinden kısa olması bu düzensizliği oluşturur. Bodrum katların gün ışığından faydalanarak aydınlatılabilmesi için konulan bant pencereler, kat ara kirişleri, tesisat katı, asma kat, merdiven ara sahanlıkları, guseli kiriş ve guseli kolonlar, kademeli temeller kısa kolonların oluşumuna neden olurlar. Kısa kolonlar, diğer kolonlara nazaran çok daha rijit davranarak çok büyük kesme kuvvetlerinin etkisinde kalırlar. Gevrek olan kesme kırılması sonucu kolon taşıma gücünü yitirir ve yapı ağır hasar sonucu kısmen veya tamamen göçebilir.

Kısa kolon oluşumunu önlemek için mimar şunları yapabilir.

1-kısa kolon oluşum nedeni ortadan kaldırılır,

2-Bant pencereden vazgeçilir ve Pencereler küçültülerek, kolonun etrafına duvar örülebilir.

3-Kısa kolonların boyutlandırılması TBDY, Madde .7.3.8'e göre yapılmalıdır.

7.3.8. Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar TBDY 2018 den

Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarında kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşabilirler (Şekil 7.6). Kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda, enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti Denk.(7.5) ile hesaplanacaktır. Denk.(7.5)'teki eğilme momentleri, kısa kolonun alt ve üst uçlarında Ma ≈1.4Mra ve Mü ≈1.4Mrü olarak hesaplanacak, *l*n ise kısa kolonun serbest boyu olarak alınacak ve hesaplanan kesme kuvveti Denk.(7.7)de verilen koşulları sağlayacaktır. Kısa kolonun tüm boyunca, 7.3.4.1de kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanacaktır. Dolgu duvarlarının kolonlara tamamen bitişik olması durumunda kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilecektir (Şekil 7.6).

4- Kısa kolonlarda, kat yüksekliği boyunca etriye sıklaştırması yapılmalıdır. Betonun kesme dayanımına katkısı V_c=0 alınmalıdır.

5-Kolon ile dolgu duvar arasına bırakılan derz, elastik ve sıkışabilir bir malzeme ile doldurulması sağlanmalıdır. Burada duvarların devrilme güvenliği sağlanmalıdır.

6-Perde duvar yapımına ağırlık verilebilir.



Şekil 18:Kısa kolon hasarı

5-KADEMELİ TEMEL, KARMA TEMEL, FARKLI KAT SEVİYESİ

Bina temelleri deprem sırasında oluşacak gerilme artışlarından ve oturmadan dolayı üst yapıda hasara neden olmayacak biçimde zeminin özellikleri göz önüne alınarak düzenlenmelidir. Tekil temeller her iki doğrultuda, tek yönde sürekli temeller ise temel boy eksenine dik doğrultuda birbirlerine bağ kirişleriyle bağlanmalıdır.

Temel derinliği: Üst yapı yüklerini direkt olarak sağlam zemine aktaracak şekilde yeterli derinlikte yapılmalıdır.

Eğimi fazla olan arazilerde inşaa edilen yapılarda -temeller birbirlerine bağ kirişleriyle bağlanamadığı ve kısa kolon oluşturulduğu için-kademeli temel yapılmamalıdır. Kısa kolonlar büyük kesme kuvveti altında kalacağından bu gibi kaçınılmaz durumlarda büyük kesitli ve fazla donatılı yapılmalıdır.

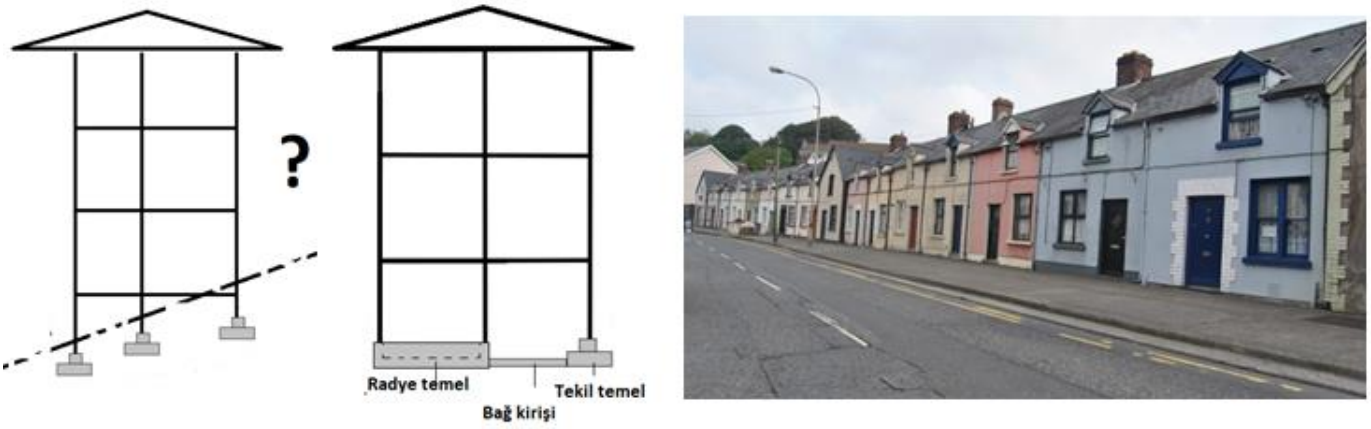
Yapı bloğu altındaki temel tipi aynı olmalıdır. Bir yapının temeli farklı tiplerde olamaz. Aksi durumda zeminde farklı gerilme oluşumları nedeniyle farklı zemin oturmaları gerçekleşir ve depremde farklı davranışlar sergilenir.

İmar yönetmeliğinde "Bitişik nizam", bir veya birden fazla komşu parsellerdeki binalara bitişik olan yapı nizamı olarak tanımlanmaktadır. Bitişik nizam yapıların temel derinliği ve kat seviyeleri aynı olmalıdır. Binalar arasında yeterli derz bırakılmalıdır.

Yüzeysel temellerde, temel taban kotu ile kaya üst kotu arasında kalınlığı 3 m'den fazla zemin bulunması durumunda ZA ve ZB sınıfı tanımlaması yapılmamalıdır.

Üst yapı tipi ne olursa olsun (betonarme, yığma, çelik, ahşap), yapı temeli mutlaka betonarme yapılmalıdır. Betonarme haricindeki diğer malzemeler dayanım ve zemin şartlarına dayanıklılık açısından uygun değildir.

Bina temeli, taşıyıcı sistemin çerçevelerden oluştuğu durumda radye veya sürekli temel, taşıyıcı sistemin perde ve çerçevelerden oluştuğu durumda ise radye temel olarak oluşturulmalıdır. (Daha fazla detay için TBDY 2018 Madde 17'ye bakınız)



Şekil 19. Eğimli arazide temel, farklı temel ve Bitişik nizam

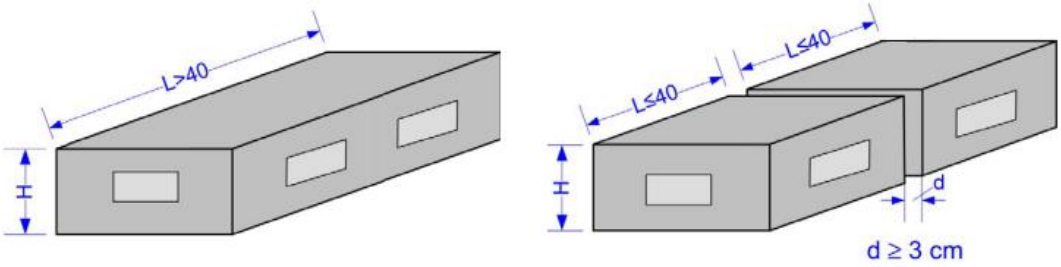


Şekil 20

6-DEPREM DERZLERİ

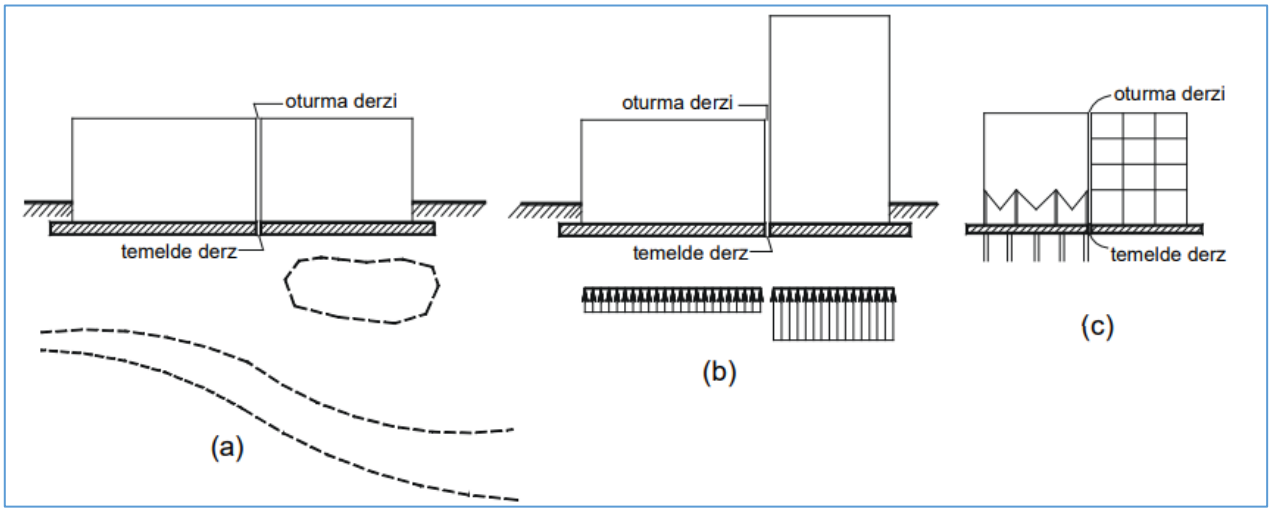
Zorunlu durumlarda rötre (büzülme), sıcaklık değişmesi, temelde farklı oturmalar gibi etkenleri de hesaba katarak boyutlandırma yapılabilir. Yapıyı derzlerle parçalara ayırmak, uygun yerlerde sürekliliği, bağlantıyı kesmekle bu etkiler ortadan kaldırılabilir.

(a) Genleşme Derzleri (Dilatasyon Derzleri). Betonarme yapıda rötre, sünme, sıcaklık değişmesi yüzünden meydana gelen boy değişiklikleri etkisini azaltmak için plandaki boyutlarını sınırlı tutmak amacıyla, yapı genleşme derzleriyle bloklara ayrılır.



Şekil 21

(b) Oturma Derzleri. Temel zemini özelliklerinin ya da yapı yüklerinin bütün alanda düzgün olmayışı yüzünden meydana gelecek farklı oturmaların ve dönmelerin yapıya zarar vermesini önlemek için yapılan derzlerdir. Çeşitli özellikteki zeminler üzerine inşa edilen yapı bölümleri ya da yan yana gelmiş, farklı karakterde, çeşitli biçimde yüklü yapı bölümleri oturma derzleriyle birbirinden ayrılırlar.



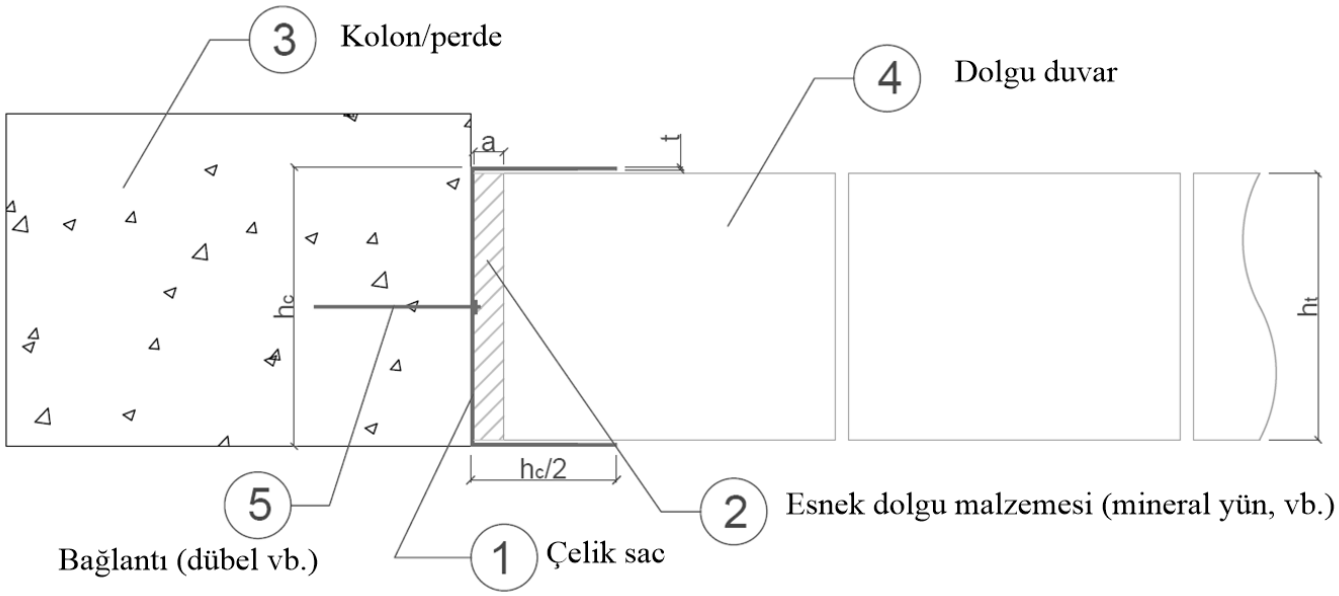
Şekil 22

(a) Farklı zemin şarttarı (b) Farklı yükler (c) Farklı temel ve üst yapı

(c) Yapısal Derzler. Sabit yükler, hareketli yükler ve dinamik etkilerden meydana gelecek şekil-değiştirmelerin engellenmesini önlemek, titreşimlerin bölgesel kalmasını sağlamak amacıyla yapılan derzlerdir.

Sıkça tekrarlanan DD-3 ve DD-4 deprem yer hareketleri altında dolgu duvarın hasar görmesinin engellenmesi amacı ile gevrek dolgu duvarlar ile bitişik olduğu kolonlar/perdeler arasında esnek derzler oluşturulur. Bu derzler, duvarın şekildeğiştirmesini engellemeyen esnek bir malzeme ile doldurulmalıdır.

Bu amaçla uygulanabilecek esnek derzler için örnek bir detaylandırma Şekil 23 de verilmektedir. Esnek derz, kolon/perde yüksekliği boyunca kolon/perde iç yüzlerine ve üst kiriş/döşeme alt yüzüne ankraj ile bağlanan bir C-profil ile sağlanmaktadır. Bu profil aynı zamanda deprem sırasında duvarın düzlem dışı hareketini de engellemektedir. Detayın uygulanmasında yangın, ısı, ses ve su yalıtımına ilişkin önlemler ayrıca alınmalıdır.



Şekil 23:*Gevrek dolgu duvarlar ile bitişik olduğu kolonlar/perdeler arasında esnek derz detayı*

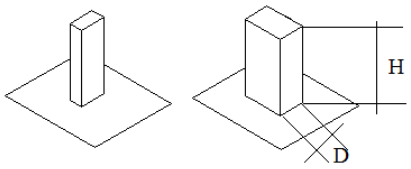
(d) Deprem Derzleri. Yapıyı deprem etkisiyle kendi içinde az zararlı titreşim yapabilecek bölümlere ayıran derzlerdir. Bırakılacak minimum derz boşluğu (d), 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir (TBDY). Yetersiz bırakılan derzlerde deprem anında çekiçleme etkisi görülebilir. Deprem derzi yapının yataydaki hareketi ile ilgilidir. Temelde yerdeğiştirme (deplasman) sıfıra yakın olduğundan (yanal deplasman) derz bırakılmasına gerek yoktur. Ancak deprem derzi ile ayrılmış blokların temelleri de ayrı yapılmalıdır.

Çekiçleme etkisi; Aralarında yeterli derz aralığı bırakılmamış bitişik nizam binalardan, devrilmeye karşı daha rijit olanının deprem etkisi altında, kendisinden daha az rijit komşu binaya salınım boyunca sürekli çarparak hasar vermesidir. Birçok imar yönetmeliği yapıların bitişik nizam da yapılmasına müsaade eder. Ancak bitişik yapılar deprem açısından sakıncalıdır. Farklı yükseklik veya kütledeki yapılar deprem esnasında farklı salınım yapmakta ve birbirlerine çarparak zarar verebilmektedirler.



Şekil 24. Çekiçleme etkisi ve yetersiz temel derinliği

7-DEVRİLME STABİLİTESİ



Şekil 25

Dar taban alanlarına ince uzun yapılar yapılmasından kaçınılmalıdır. Yapı yüksekliğinin genişliğine oranı (H/D< 6) 6 yı geçmemelidir. Blok başı veya ikiz nizam dar cepheli bodrumsuz çok katlı yapılar devrilmeye karşı zayıf rijitlik gösterir. Blokbaşında bulunan yapılarda çekiçleme etkisi devrilmeye neden olduğu gözlenmiştir. Yapının bodrum katının bulunmaması, cephesinin çok dar ve yüksekliğinin ise çok fazla olması nedeni ile yapı devrilmeye karşı koyamaz. Yapının temel derinliği yapı yüksekliğinin 1/6 sı kadar olmalıdır. Alttaki resimde 6 katlı binada 1/6 oranına göre en az 1 bodrum kat seviyesinde temel derinliği olması gerekirken temel derinliğinin ancak 1 m.'yi bulması yapının cephesi de çok dar olduğundan devrilmeye sebep olmuştur. Aşağıdaki fotoğrafta yetersiz temel derinliğinin yanında komşu binanın çekiçleme etkisi de binanın yıkılma sürecini hızlandırmıştır.





Yüzeye çok yakın ve uygun tasarlanmamış temel+zemin sistemi

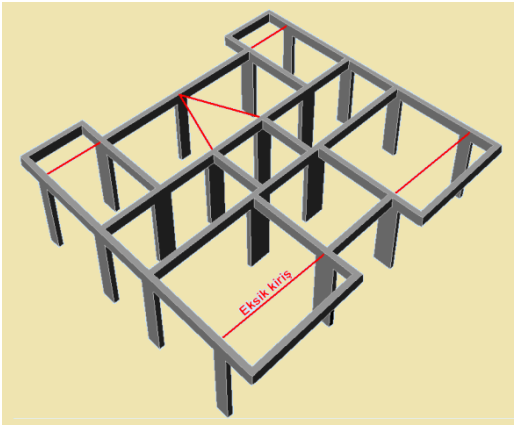
Şekil 26: *Yetersiz temel derinliği ve 1/6 oranı*



Şekil 27: Tasarım harikaları, (Encümen kararıyla yıktırıldılar)

8-ÇIKMALI YAPIDA KÖŞE KOLON

Genellikle köşe parsellerde her iki yola bakan kısımda yapı sahipleri evlerinde bu köşede çıkma (konsol) yapılmasını ve salonun burada olmasını ister ve aynı zamanda salonun içerisinden de sarkan kiriş ve kolon çıkmasını istemezler. Bu çok karmaşık durum da mimar temelden devam eden kolonun üst ucuna guse yaparak üst kat kolonunun sürekliliğini değiştirir. TBDY 2018'e göre taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B3) konusu olan bu durum yapının deprem karşısındaki güvenliğini düşürmektedir. Planda kirişler ve kolonlar sürekli olmalıdır. Herhangi bir tasarım kaygısından esas taşıyıcı olan bu elemanların sürekliliği bozulmamalıdır. Bazı tasarımlarda ise salonda sarkan kiriş istenmediği için salonun köşesine denk gelen kolona bağlanan kirişler yapılmamaktadır.

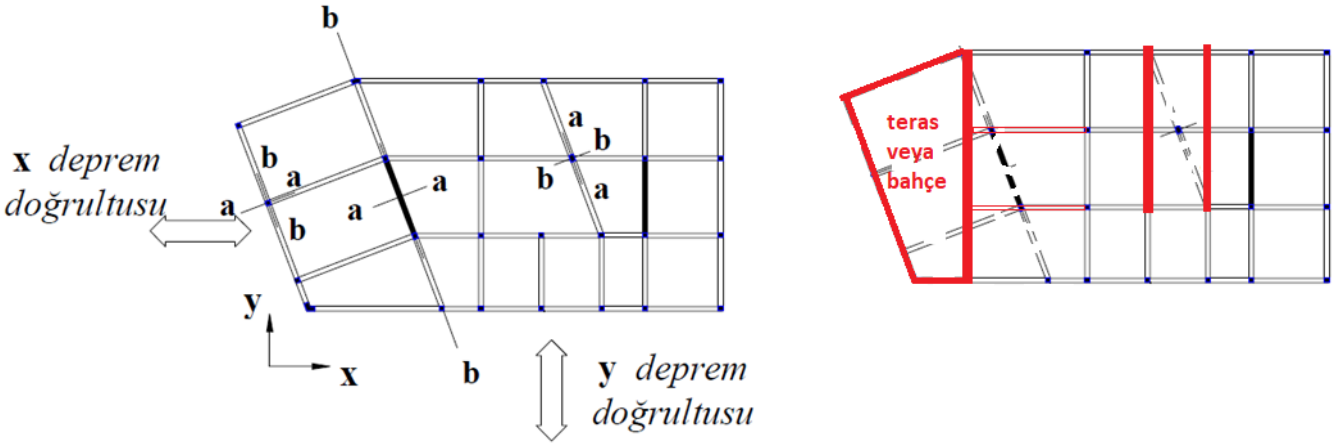


Şekil 28

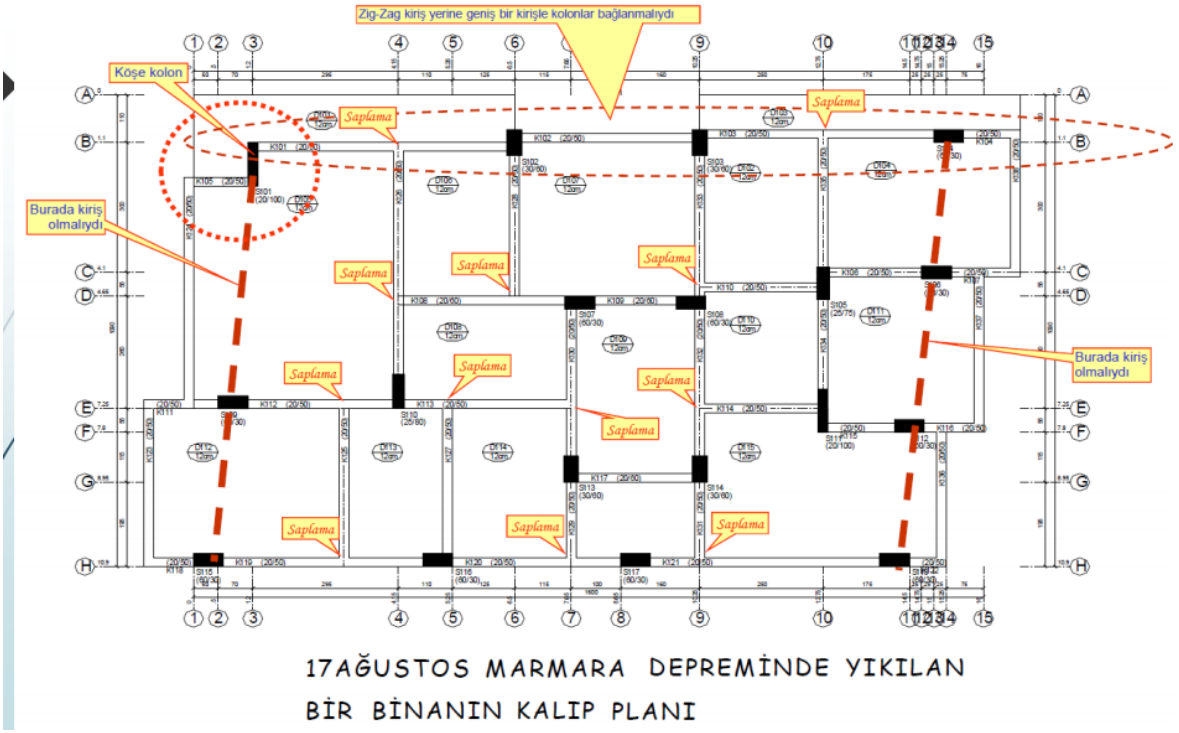
9-SİMETRİK OLMAYAN, DÜZENSİZ ŞEKİLLİ ARSA

(A4 - Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması): Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu (Bu düzensizlik durumu Bayındırlık ve İskan bakanlığının 1997 Deprem Yönetmeliği'nde vardı. Sonraki yönetmeliklerde kaldırıldı.)

Arsaların değerli olduğu yada imar planlarının doğru dürüst geliştirilemediği durumlarda yapı arsalarının düzensiz bir geometriye sahip olması sıkca karşılaşılan bir durumdur. Bu durumda mimari proje arsaya uydurulmaya çalışılır ki bu da taşıyıcı elemaların özellikle kirişlerin sürekli olmamasına ve simetriden kaçmasına sebep olur.



Depreme karşı yapının dayanımının artırılma yöntemlerinden birisi olan yapısal eleman eksenlerinin paralel olması şartını sağlama için mimarlar mesleki yeteneklerini kullanmalıdır.



Şekil 29: Eksik kiriş tasarımı (Yapılarda Hasar. G Yılmaz, S.U. UMU., bilecik.edu.tr)

10-SAPLAMA KİRİŞ, KOLONA YAKIN SAPLAMA KİRİŞ

Kirişlerin birleştiği noktalarda kolon olmalıdır. Bu durumda kiriş yükleri kısa yoldan kolonlara aktarılmış olur. Kirişin mesnetlerinden bir yâda ikisinin de kolon yerine bir başka kiriş olması durumunda yük aktarımında belirgin bir hata ortaya çıkar. Kirişin mesnet reaksiyonu saplandığı kirişe kesme kuvveti olarak etkiyeceğinden burada özel bir önlemin alınması gerekir. Saplama kiriş yapılmasının kaçınılmaz olduğu durumlarda saplama kiriş kısa tutulmalı ve saplandığı kiriş güçlü olmalıdır. Saplama bir kirişin başka bir kirişe saplama olarak tasarlanması durumundan kaçınılmalıdır.

Aynı şekilde kolona yakın mesafelerde de saplama kirişten kaçınılmalıdır. Kolon-kiriş aksları birbirleriyle çakışmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda perde kolon düşünülmeli yâda kolonu yönü değiştirilmelidir.



Şekil 30

11-AYDINLIK BOŞLUĞU

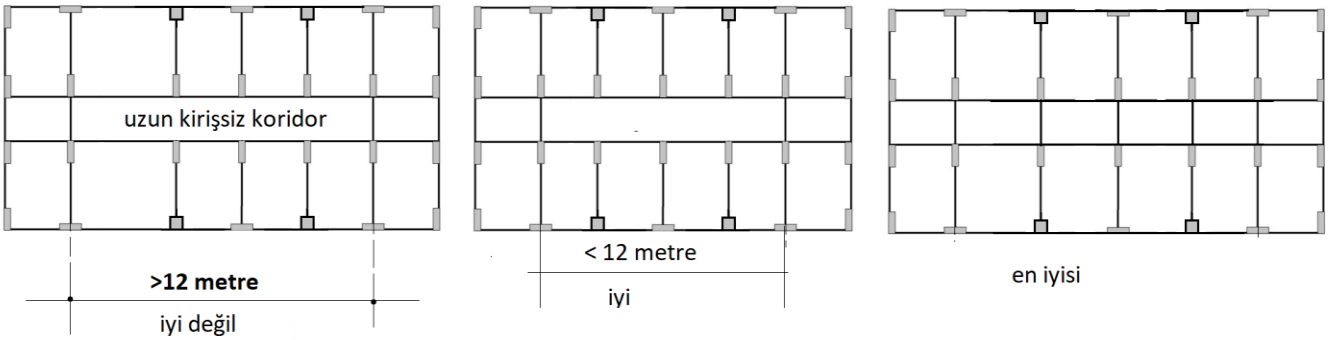
Özellikle bitişik nizamdaki yapılarda komşu arsaya bakan yapı cephelerinde bazı hacimlerin ışıklandırılması ve havalandırılması maksadıyla mimari boşluklar bırakılır. Bu boşluklarda genellikle kirişler sürekliliğini yitirirler. Buralarda kat döşemeleri de olmadığından yapının ağırlık merkezi değişir ve burulma düzensizliği oluşur. Aydınlık boşluğu bırakılması zorunlu ise mutlaka kirişlerin sürekliliği devam ettirilmelidir.



Şekil 31: Aydınlık boşluğu (İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu)

12-UZUN KİRİŞSİZ KORİDOR

Kat yüksekliğinin yetersiz olduğu tasarımlarda altında duvar olmayan kirişlerin tavandan sarkık şekilde görünmesi estetik açıdan pek istenmez. Genellikle koridorlarda rastlanan bu durumunun en belirgin sakıncası, tek doğrultuda çalışan döşeme tipinde olduğundan yatay kuvvet aktarımında sorun yaşanması ve döşemenin büzülerek katlar arası iletişimi kesmesidir. Bu durum kaçınılmazsa plak kalınlığı (hf) artırılabileceği gibi kirişsiz döşemenin uzunluğu 10-12 metreyi (donatı çubuğu uzunluğu) geçmemelidir. En iyisi çerçeve sisteminin sürekliliği için buralarda kirişleri kesmemek ve devam etmektir.



Şekil 32

DÜZENLİ YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ TASARIM KURALLARI

Tasarlanan yapının mimari geometrisi:

Bina dikdörtgene yakın bir kat planına sahip olmalıdır. Kat planında binanın uzun kenarı en fazla 30 m uzunluğunda, uzun kenarın kısa kenara oranı ise en fazla 4 olmalıdır. Bina taşıyıcı sistemi (çerçeve ve perdeler) kat planında birbirine dik doğrultulu (ortogonal) eksenler boyunca oluşturulmalı, taşıyıcı sistem eksenlerinde süreksizlik veya eksen dışına kayma bulunmamalıdır.

Bina kat planındaki en büyük açıklık 7.5 m, en küçük açıklık ise 3 m olmalıdır. Taşıyıcı sistemin her bir doğrultusunda en az iki açıklık bulunmalıdır. Asansör veya merdiven çevresinde oluşturulabilecek U veya C enkesitli perdelerin serbest uçları arasındaki açıklık hariç olmak üzere, her bir doğrultuda komşu iki açıklık arasındaki fark, iki açıklıktan uzun

olanın 1/5'inden fazla olmamalıdır. Binada konsol kirişler varsa, *konsol uzunluğu 2 m*'den ve komşu açıklığın 1/3'ünden fazla olmamalıdır.

Binada 4 m'den daha yüksek kat bulunmamalı, katlar arası yükseklik değişimi yüksek olan katın yüksekliğinin 1/5'inden fazla olmamalıdır.

Binada A2 – Döşeme Süreksizlikleri, A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması, B1 – Komşu Katlar Arasında Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) ve B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği düzensizlikleri bulunmamalıdır.

BİNA YÜKSEKLİK SINIFLARI (BYS)

Yığma bina ve diğer bina türleri için izin verilen en çok kat adetleri ve kat yüksekliklerini belirlemek için TBDY' de verilen "Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları"na bakmak gerekir. Bina yükseklik sınıfları deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz bina yükseklik sınıfına (BYS) ayrılmıştır.

Tablo 4: Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği H_N

Tablo 3.3 – Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \le 70$	$70 < H_N \le 91$	$91 < H_N \le 105$
BYS = 3	$42 < H_N \le 56$	$56 < H_N \le 70$	$56 < H_N \le 91$
BYS = 4	$28 < H_N \le 42$	$42 < H_N \le 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \le 28$	$28 < H_N \le 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \le 17.5$	$17.5 < H_N \le 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \le 10.5$	$10.5 < H_N \le 17.5$	
BYS = 8	$H_N \le 7$	$H_N \le 10.5$	

YIĞMA BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİ

Türkiye deprem yönetmeliğinin, **11. Bölümü**, "Deprem Etkisi Altında Yığma Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kuralları kapsamaktadır. Bu yönetmelikte yığma binalar dört şekilde sınıflandırılmıştır.

Donatısız Yığma yapı, taşıyıcı duvarları donatısız taş, tuğla, kerpiç gibi malzemelerden harç kullanılarak oluşturulan yapılardır. Bu tür yapıların süneklik düzeyi düşüktür.

Donatılı yığma bina, kargir birim ve harç kullanılarak oluşturulan taşıyıcı duvarlarda donatı yerleştirilmesi ile elde edilen süneklik düzeyi yüksek binalardır.

Kuşatılmış yığma bina ise, birbirlerine ve döşemeye betonarme olarak bağlı, taşıyıcı duvarların örülmesinden sonra ve bunları kalıp olarak kullanarak hazırlanan yatay ve düşey hatılların, teşkil edilmesi ile oluşturulan süneklik düzeyi sınırlı binalardır.

Donatılı panel sistemli bina ise, önüretimli donatılı gazbeton paneller arası yivlerde bulunan donatıların temele ve kat seviyelerindeki betonarme hatıllara bağlandığı ve düşey gazbeton panellerin yan yana getirilerek taşıyıcı duvarları teşkil

ettiği, yine donatılı gazbeton panellerin betonarme hatıllara bağlanarak döşemeleri meydana getirdiği süneklik düzeyi yüksek binaları kapsar.

Deprem Bölgesinde yapılacak yığma binaların izin verilen bina yükseklikleri TBDY de şu şekilde verilmiştir.

Tablo 5:

E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ	
E1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler	
E11. Donatılı yığma binalar	BYS ≥ 7
E12. Donatılı gazbeton panel binalar	BYS ≥ 7
E2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)	
E21. Kuşatılmış yığma binalar	BYS = 8
E22. Donatısız yığma binalar	BYS = 8

TBDY sayfa 38 Tablo 4.1

Yığma Bina Tasarım Kriterleri

Donatısız yığma binalar, donatılı yığma binalar ve kuşatılmış yığma binalarda rijit diyafram etkisini sağlamak üzere, en az 100 mm kalınlığında betonarme döşeme yapılacaktır. Bu döşeme en az 300 mm kesit yükseklikli ve 6φ12 boyuna, φ8/150 mm enine donatılı yatay hatıllara mesnetlenecektir. Yatay hatılların genişliği, en az duvar kalınlığı kadar olacaktır. Yatay hatılların düşeydeki aralığı 4 m'yi aşmayacaktır.

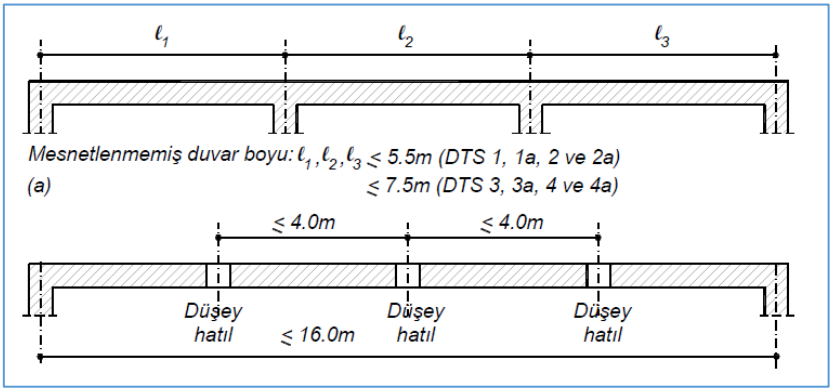
t_{ef} = Duvarın etkin kalınlığı, h_{ef} = Duvarın etkin yüksekliğini göstermek üzere yığma bina duvar kalınlıkları tabloda verilen değerlerden az olmamalıdır.

Tablo 6

Tablo 11.4 – Kesme Kuvveti Etkisindeki Yığma Duvarlarda Uygulanacak Geometrik Şartlar

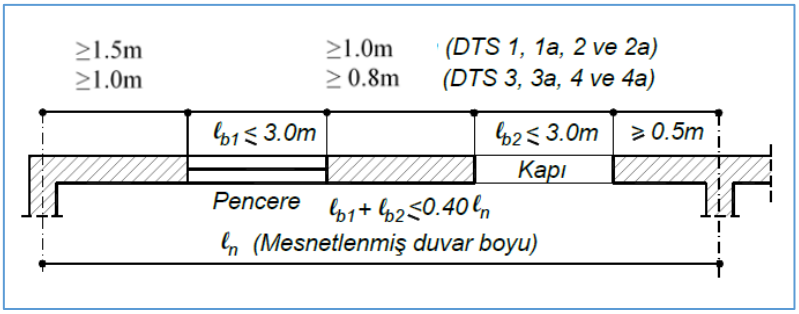
Yığma Tipi	$(t_{ef})_{min}$ *(mm)*	$(h_{ef} / t_{ef})_{max}$
Donatısız yığma, doğal veya yapay kesme taş ile	350	9
Donatısız yığma, diğer kargir birimler ile	240	12
Kuşatılmış yığma	240	15
Donatılı yığma	240	15
Donatılı panel sistemler	200	15

Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler, aşağıdaki şekilde verilen şartlara uymalıdır. Donatılı yığma ve donatılı panel sistemli binalarda Şekilde verilen boyut sınırları %20 arttırılabilir.



Şekil 33

Kapı ve pencere boşluklarının üstünde betonarme lentolar yapılmalıdır. Lentoların duvara oturan bölümlerinin boyu 200 mm'den az olmamalıdır. Lento yüksekliği 150 mm'den az olmayacaktır. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşluklarında aşağıdaki Şekil de verilen kurallara uyulacaktır.



Şekil 34

Kuşatılmış yığma binalarda yatay ve düşey hatıllar, yığma duvarlar örüldükten sonra ve duvarlar kalıp olarak kullanılarak dökülecektir. Bu sayede duvar örgü elemanının oluşturduğu dişler düşey hatıllarla kenetlenerek yapının göçme direncini artırır.

Düşey Hatıllar:

Kuşatılmış yığma binalarda düşey hatıl aşağıdaki durumlarda teşkil edileceklerdir:

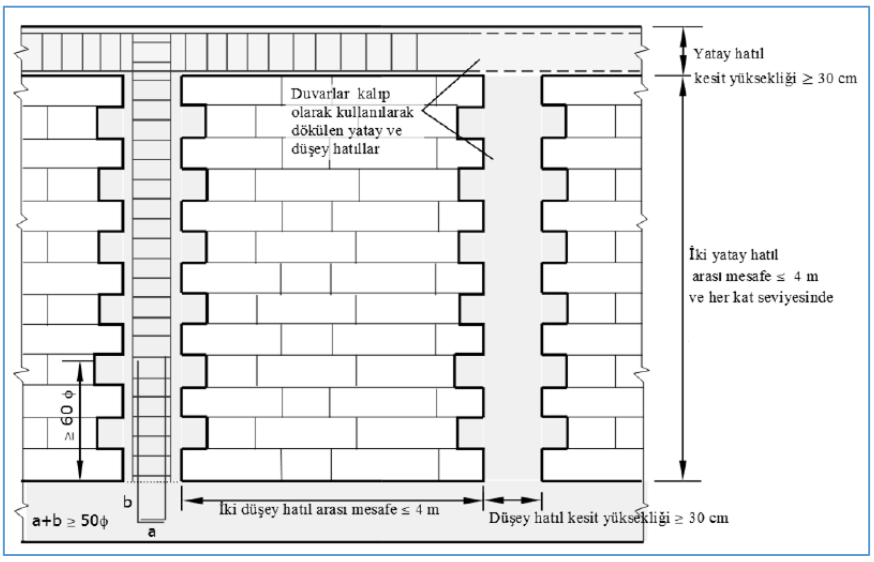
(a) taşıyıcı duvarların serbest kenarlarında,

(b) alanı 1.5 m^2'den daha büyük olan duvar boşluklarının her iki tarafında,

(c) her 4 m duvar uzunluğunda bir, hatıllar arası mesafe 4 m'yi geçmeyecek şekilde,

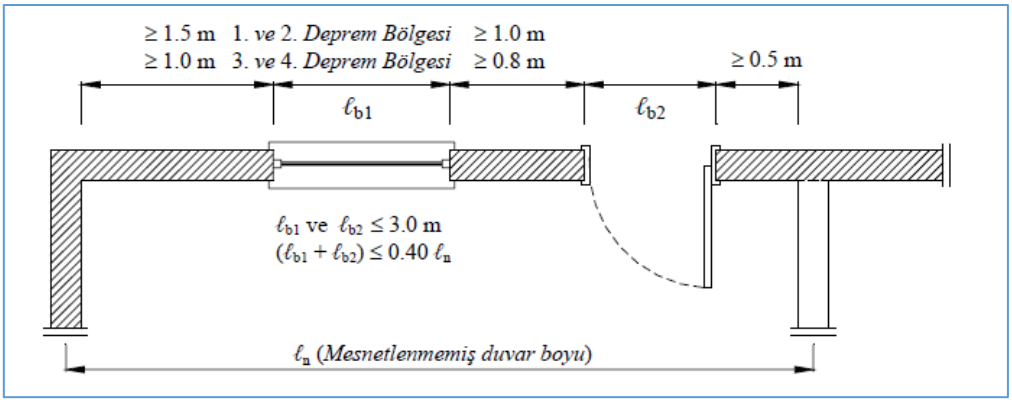
(d) iki taşıyıcı duvarın birbirine birleştiği yerlerde (eğer en yakın düşey hatıl 1.5 m'den daha uzakta ise).

Kuşatılmış yığma binalarda düşey hatılların enkesit yükseklikleri 300 mm'den ve bu hatıllarda boyuna donatı 6Ø12'den, enine donatı Ø8/150 mm'den az olmayacaktır. Düşey hatılların enkesit genişliği, en az duvar kalınlığı kadar olacaktır. Düşey hatıl donatılarında bindirmeli ekler 60 Ø'den daha kısa olmayacaktır.



Şekil 35

Pencere ve kapı boşlukları: Yığma binalarda kapı-pencere boşlukları herhangi bir depremde olası yerel hasarı önlemek açısından-aşağıda verilen Şekilde ki şartları sağlamalıdır.



Şekil 36

Sonsöz:

Yukarıda örneklerle anlatıldığı gibi depreme dayanıklı yapı tasarımı ve inşası için bütün meslek disiplinleri birlikte çalışmalıdır. Planlama, imar, tasarım ve inşanın her aşamasında deprem faktörü göz önünde tutulmalıdır. Deprem bölgelerinde arazi kullanım planları hazırlanırken, zemin durumları ve mikro bölgeleme haritaları oluşturulmalıdır. Yerleşim yerleri, kentsel fonksiyon alanları, sosyal ve kültürel faaliyet alanları afetlerden zarar görmeyecek şekilde seçilmelidir.

Yapıların depreme dayanıklı olması, bir depremde yıkılmamaları kadar depremden sonra da fonksiyonlarını yitirmemeleri ve büyük hasar görerek can ve mal kaybına yol açmamaları demektir. Bu ise mimari ve taşıyıcı sistem tasarım aşamasında da deprem etkilerinin göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Deprem mimari tasarımı ve dolayısıyla mimarın olanaklarını kısıtlayan en önemli faktördür. Türkiye'de genel olarak mimar, inşaat mühendisinin dışında mimari projeyi hazırlar, inşaat mühendisi de bu projeyi mimarın koyduğu kolon ve varsa perde elemanlara göre çözümünü yapar. Bu anlamda yapının depremdeki davranışı dikkatlice incelenmez. Depreme dayanıklı olmayı önleyen birçok faktör de gözardı edilmiş olur. Dolayısıyla mimarların depreme dayanıklı yapıda nelere dikkat etmeleri gerektiğinin bilincinde olması ve yapı tasarımında deprem olayının ülkemizin bir gerçeği olduğu ve dikkate alınması gerektiğini unutmamalıdır.

İnşaat mühendisleri arasındaki yoğun rekabet ortamı, bilgisayar programları ile kolay proje üretimi sonucu oluşan düşük proje ücretleri karşısında tasarımdan başlayıp, hesap, çizim ve detaylara kadar kaliteli bir proje yapılamamaktadır. Mezuniyet sonrası üniversitelerle olan ilişkiler kesilmekte, meslek odalarınca verilen kurs ve seminerlere olan ilgide son derece az olmaktadır.

Bu günkü Türkiye gerçeğinde okulundan yeni mezun olan bir inşaat mühendisi paket programların da yardımıyla projecilik yapmaktadır. Üniversitelerimizde deprem ve depreme karşı yapı davranışı konusunda yeterince eğitim alamayan mühendisin, bilgisayarın tasarım değil de analiz yaptığının bilincinde olması beklenmemelidir. Özellikle depreme dayanıklı yapı tasarımının ana öğesi plan sistem seçimi, sünekliği artırıcı sistem düzenlemeleri gibi konular doğrudan yapı mühendisinin deneyimine ve depreme dayanıklı tasarım felsefesine yatkınlığı ile ilgilidir. Bu nedenle elinde iyi bir program da olsa her tasarımcıyı salt bu nedenle uzman kabul etmemiz olanaklı değildir. Ayrıca programların kullanım kılavuzlarının da daha açık seçik hazırlanması, kullanıcının da teorik ve sayısal yöntemlerdeki kabulleri bilmesi, bu anlamda ne tür yapıları çözebileceğinin bilincinde olması gerekmektedir.

Mimarlara gelince, sadece tasarım yapmak veya çizim yapmak yetmiyor, sayısal olarak ta tasarımı hakkında yeterli bilgiye sahip olmalıdır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının Boyutları nasıl seçilir?

TS500/200 ve TBDY 2018 ve verilen minimum koşullara mutlaka uyulur.

Kolon ve perde boyutlandırılması yapılırken biraz korkak davranılır. Mimar tasarım gereği boyut verir mühendis yüklemelerden sonra bu boyutları kontrol eder. Yeterliyse donatır, yetersizse değiştirir.

Kirişler: Genişlik bw≥250 mm, yükseklik h≥300 mm, yükseklik ≥hf, yükseklik ≥ net açıklık/12.

Normal konut yapılarında 3~5 m açıklığa kadar : 250x500 mm, 4~7 m açıklığa kadar 250x600 mm. Ağır yükleri olan veya saplaması olan veya konsolları olan kirişler: 250x700 mm , 300x600 mm. Önemli yapılarda (I=1.5): 300x600 mm.

Kolonlar: Küçük kenar ≥300 mm, küçük kenar ≥ kat yüksekliği/20. b/h<2 dir.

Perdeler: Küçük kenar≥ 250 mm, küçük kenar ≥ kat yüksekliği/15, büyük kenar ≥ küçük kenarx6, en küçük kesit: 250x1750 mm. Önemli yapılarda: 300x2500 mm. Yüksek yapılarda boyutlar artırılmalıdır.

Kirişli döşemelerde: Kalınlık ≥100 mm, büyük döşemelerde kalınlık ≥120-150 mm, kirişsiz balkon döşemelerinde kalınlık ≥150mm, üzerinden hafif araç geçen döşemelerde kalınlık ≥150 mm, büyük boşlukları olan döşemelerde kalınlık ≥150-200 mm.

Kirişsiz ve dişli/asmolen döşemeden elden geldiğince kaçınılmalıdır.

KAYNAKLAR

Bu ders notunun hazırlanmasında aşağıdaki değerli çalışmalardan faydalanılmıştır.

-Taşıyıcı Sistem İlkeleri, Dr. Haluk Sesigür İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu, http://web.itu.edu.tr/haluk/tsi/tasiyici_sistem_ilkeleri.pdf

-Deprem Mühendisliğine Giriş, Z Celep, N Kumbasar, İstanbul, Beta Dağıtım,2000

-http://www.insaathaber.org/depreme-dayanikli-betonarme-yapı-tasarimi

-Gunay Ozmen; Depreme Dayanıklı Çok Katlı Yapılarda Tasarım Ve Üretim İlkeleri, Ata İnş.Aş.

-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar, 2007.

A. Esra İDEMEN. Bina Ağırlık Merkezi- Rijitlik Merkezi İlişkisini Mimari Tasarım Aşamasında Kuran Bir Uzman Sistem. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.2003.

Semih TEZCAN , Alpcan YAZICI , Zuhal ÖZDEMİR ve Aykut ERKAL

Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 16-20 October 2007, Istanbul, Turkey 339 Zayıf Kat – Yumuşak Kat Düzensizliği, Weak Storey – Soft Storey Irregularıty

M. Tolga AKBULUT, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Eğitimi Yaklaşımı, Deprem sempozyumu, Kocaeli,2005

Uğur ERSOY, İMO Teknik Dergi, 2013 6559-6574, Yazı 409, Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Öntasarımı İçin Basit Bir Yöntem

Dr. Hüseyin TEKEL, Betonarme Yapılarda %1 oranında Perde Kullanımının değerlendirilmesi, Turkiye Muhendislik Haberleri / Sayı: 444-445 - 2006/4-5

Kutlu DARILMAZ., Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş.,Yapı Yazılımı Yayınları.