

İMO İSTANBUL ŞUBESİ
2005 İLKBAHAR-YAZ DÖNEMİ MESLEKİÇİ EĞİTİM KURSLARI

**BETONARME BİNALARDA DEPREM PERDELERİNİN
YERLEŞİMİ VE TASARIMI**

Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Anabilim Dalı

NİSAN 2005

BETONARME BİNALARDA DEPREM PERDELERİNİN YERLEŞİMİ VE TASARIMI

Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Anabilim Dalı

1. GİRİŞ

Yapıların ömürleri içindeki en büyük etkiler genelde deprem ile oluşmaktadır. Ülkemiz alanının % 92'si, nüfusun % 95'i, büyük sanayi merkezlerinin % 98'i ve barajların %93'ü sismik hareketler açısından oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır [1]. Sosyal ve ekonomik sorunlar büyük şehirlere göçü artırmış ve buralarda yüksek yapı yapma zorunluluğunu doğurmuştur.

Ülkemizde ve dünyada son yıllarda meydana gelen şiddetli depremlerin ardından binalarda yapılan incelemeler doğrultusunda, perdeli binaların depreme karşı olan direncinin çerçevesi sistemlere oranla çok daha iyi olduğu ve daha az hasar gördüğü tespit edilmiştir.

Perdeler, yatay kuvvetler doğrultusunda rijitlikleri göz önüne alındığında yatay yer değiştirme sınırlandırmaları açısından en uygun yapı elemanı olarak görülmektedir. Tünel kalıp sistemli binalar ve prefabrike betonarme panolu yapılarda perdeli sistemler tek başına uygulanmaktadır. Perdeler, çerçevelerle birlikte kullanılarak perde-çerçeve karşılıklı etkileşimi ile yapıya özellikle süneklikle birlikte kazandırılan dayanım sebebi ile tercih edilmektedir. Ayrıca perdeler depremden hasar gören yapıların onarımı için en uygun ve ucuz bir yapı elemanıdır.

Yapıda kullanılacak perde boylarının belirlenmesi ve bunların planda uygun yerleşimi büyük önem arz etmektedir. Halen yürürlükte olan TDY98'deki bilgiler bu konuda yeterli değildir. U. Ersoy, 1-12 kat arasındaki konut ve işyerleri için, planda her bir deprem doğrultudaki toplam perde alanlarının, kat alanının %1.5'i oranında teşkil edilmesini uygun gören bir yaklaşım getirmektedir. E. Atımtay ise bu oranı her bir kat için ayrı ayrı vermiştir. Bu önerilerde, deprem yüklerinin belirlenmesinde etkili olan parametrelerin tam olarak göz önüne alınmadığı anlaşılmış ve bunun üzerine bu çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, kullanım genişliği göz önüne alınarak seçilen çeşitli kat adedi ve plan alanlarına bağlı olarak, yönetmelikte yer alan deprem bölgeleri ve zemin grupları çeşitliliğinde, konut, işyeri v.b gibi yapılarda, yalnız perdeli ve perde-çerçevesi sistemlere ait perde boyları belirlenmiş ve diyagramlar halinde verilmiştir. Bu şekilde, mimari projenin daha uygun hazırlanması, taşıyıcı sistemin daha kolay ve gerçekçi düzenlenmesi mümkün olabilmektedir. Verilen perde boyları kullanılarak kesin hesap yapıp yönetmelik koşulları kontrol edilecektir.

2. PERDELİ ve PERDE-ÇERÇEVELİ SİSTEMLER

2.1. Perde Elemanı

Yatay yüklerin taşınmasında etkili olarak kullanılan perdeler, plandaki uzun kenarının kısa kalınlığa oranı en az yedi olan, düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bir yapıda tek başına olabilen perdeler, çerçeve sistemiyle birlikte kullanıldığında, rijitlikleri fazla olduğundan, deprem veya rüzgardan oluşan yatay yüklerin tamamına yakınına karşılarlar.

Yüksek yapılarda, yatay yükler etkisinde kat yer değiştirmelerinin sınırlandırılması açısından, perdelerin kullanılması gereklidir. Döşemeler düzlemlerinde çok rijit olduklarından perdelerin rölatif hareketlerini engeller. Perdelerin, yapının güvenliğini sağlaması ve kat yer değiştirmeleri sınırlandırarak yapısal hasarları önlemeleri açısından etkili davrandıkları belirlenmiştir.

2.2. Perdelerin Şiddetli Depremlerdeki Davranışları

Perdeli sistemlerin, şiddetli depremlerde gösterdiği davranış incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- *Şili (Mayıs 1960)*: Portland Çimento Birliği'nin Gelişmiş Mühendislik Bülteni'nde; şiddetli depremlerde hasarları kontrol etmek hususunda betonarme perde duvarların uygun olduğu, perde duvarların çatlamasının söz konusu olduğu durumlar olduğu, ancak binaların bir bütün olarak performansını etkilemediği, tespit edilen donatı miktarının yönetmeliklerde belirlenenden az olmasına rağmen, donatıların duvarları iki doğrultuda bir arada tuttuğu, hasar oluşuktan sonra da duvarların işlevlerini sürdürdükleri belirtilmiştir.

- *Üsküp, Yugoslavya (Temmuz 1963)*: Bu depremde, yapı boyunca veya çekirdekte donatısız beton duvarlı bazı binalarda guseli kirişlerin alt kısımlarında oluşan az miktarda ayrılmalar hariç, katlar arası şekil bozukluklarının engellenmesi yüzünden hiçbir hasar meydana gelmemiştir. Çerçeve sistemli bazı binalar çökmüş ve çoğu da hasara uğramıştır.

- *Karakas, Venezuela (Temmuz 1967)*: Perdeli taşıyıcı sisteme sahip 17 katlı Plaza One binası, çevredeki binalardan bazılarının çökmesi, diğerlerinin büyük veya güçlendirilmesi mümkün olmayan hasarlara maruz kalmasına neden olan bu depremi hasarsız atlattır. Bu bölgede, nispeten esnek betonarme çerçeve ve kırılğan kil tuğla bölme duvarlara sahip çok katlı binaların bir bölümü çökmüş ve çoğunda büyük duvar hasarları oluşmuştur.

- *San Fernando, California (Şubat 1971)*: Perde-çerçeve sistemli, 6 katlı Indian Hill Tıp Merkezi orta derecede onarım gerektirecek şekilde depremde ayakta kalabilmiştir. Komşu 8 katlı Holly Cross Hastanesi büyük ölçüde hasar görmüş ve yıkılmıştır. Birçok bina ve köprüde büyük hasarlar meydana gelmiştir.

- *Managua, Nikaragua (1972)*: Şiddetli deprem, perdeli ve perdesiz binaların depreme dayanıklılık açısından farklarına ilişkin özellikle öğretici bir örnek olmuştur. Managua Milli Tiyatrosu, salonu çerçeveleyen beton duvar sayesinde hiçbir hasara uğramamıştır. 18 katlı Banco de Amerika ve 16 katlı Banco Central hasara uğramış ve yıkılmak zorunda kalmıştır. Öte yandan, çekirdek duvarlı karşılıklı etkileşim sistemli ve perde duvar iskeletli bir yapı olan Banco de Amerika ise çok az hasara uğramıştır. Birbirine yakın olan binalardan, beş katlı betonarme çerçevesiz Sigorta Binası büyük hasar görünürken, çerçeveye ek olarak nispeten büyük bir çekirdek içeren 5 katlı Enaluf Binası depremi hemen hemen hiç hasara uğramadan atlattır.

- *Bükreş, Romanya (Mart 1977)*: 35 adet çok katlı binanın çöktüğü depremde, koridorlar veya binalar boyunca beton duvarlar içeren yüzlerce yüksek apartman, hiç bozulmadan ve çoğunlukla da hasarsız olarak kalmıştır.

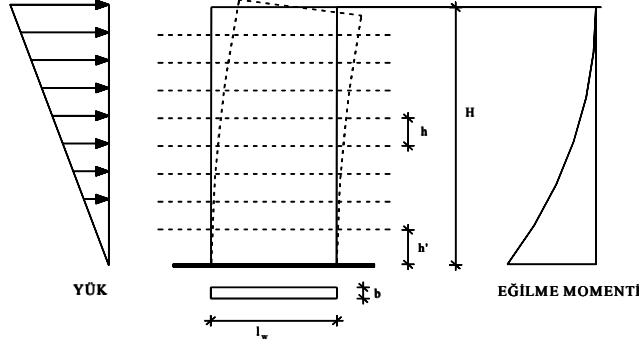
- *Mexico City (Ekim 1985)*: Şiddetli deprem, çok katlı binalarda çerçeveleri güçlendirmek için perde ilavesinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. 6 ile 15 katlı yaklaşık 280 adet bina depremde çökmüştür. Bunlardan hiçbirisinde perde duvar bulunmamaktadır.

- *Şili (1985)*: Büyük deprem olmasına rağmen hasarları az olmuştur. Bunun nedeni yaygın olarak kullanılan ve kaymayı kontrol etmek amacı ile binalara perdeler ilave edilmesi esasına dayanan mühendislik uygulamasıdır. Şili'deki perde detayları genel olarak ABD'deki sismik bölgelere ait düktil detay şartlarına uymamakta, fakat daha önceki ACI konvansiyonel detaylarına uymaktadır. 1960 ve 1985 depremlerinde Şili'deki binaların son derece iyi bir performans göstermeleri, perde duvarların sağladığı kayma kontrolünün, düktil olmayan iskelet elemanlarını koruyabileceğini göstermektedir.

- *Ermenistan (Aralık 1988)*: Beton duvarları çok katlı yapılara ilave etmenin faydaları veya tam tersine, perde duvarları ihmal etmenin olumsuz sonuçları bu depremde bir kez daha gözlenmiştir. Leninakan, Spitak, Krikovan ve Stepanaman kentlerinde çerçeve sistemli 72 bina çökmüş ve 149 bina da büyük ölçüde hasara uğramıştır. Büyük panolu 21 binanın tamamı depremi hiçbir hasar görmeden atlattır. Tümüyle harap olan Spitak şehrinde, ayakta kalan ve hasara uğramayan tek yapı, her iki doğrultuda büyük panel yapı olarak inşa edilmiş olan 5 katlı bir binadır [2].

2.3. Konsol Perdelerin Davranışı

Perdeler yatay yükler altında konsol kiriş gibi davranırlar (Şekil 2.1). Perdeler, kat seviyesinde döşemelerle rijit olarak bağlandığından, ince kesitlerine rağmen yanal burkulma tehlikesi minimum seviyededir. Perdelerde burkulmaya neden olan kritik boy olarak perde yüksekliği yerine, kat yüksekliğinin kabul edilmesi uygundur. Konsol perdeler yatay yüklerden oluşan eğilme momenti yanında, düşey yüklerden gelen aksel normal kuvvetin de etkisi altındadır.

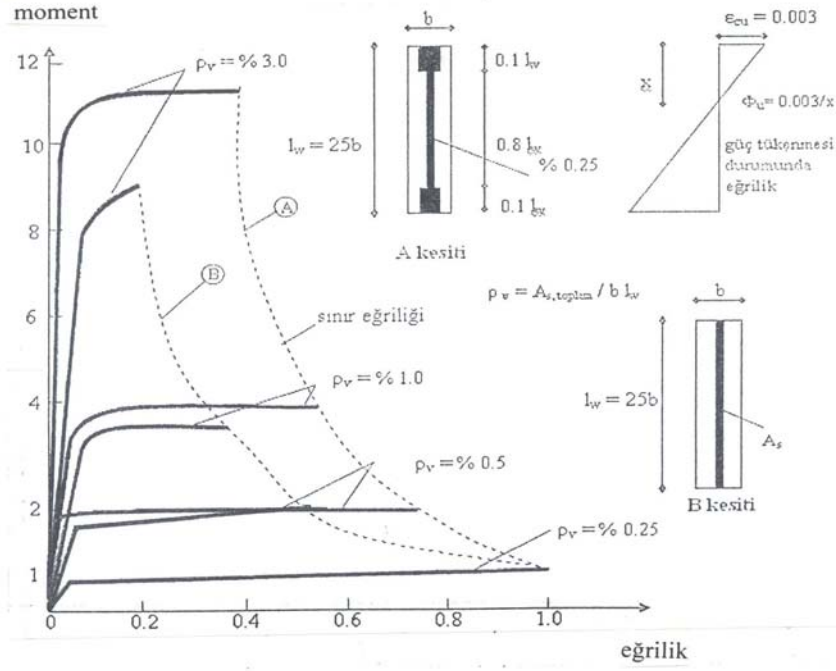


Şekil 2.1. Konsol perde

Karşılıklı etki diyagramları ile perdelerin dayanımı bulunabilir [3]. Kesitin taşıma gücü bulunurken gövdedeki düşey donatının da hesaba katılması ile ekonomi sağlanır. Perde-çerçeve sistemlerde, perdeler rijitlikleri nedeni ile önemli bir eğilme momenti taşıdıkları halde, normal kuvvetleri o kadar büyük değildir. Eğilme momentinin hakim olması perdenin temellerinde bir problem olarak ortaya çıkar. Normal kuvvet küçük olduğu için, çekme gerilmelerinin oluştuğu alanı azaltmak amacı ile büyük perde temeli yapılması veya komşu kolonları da içine alan ve bu suretle normal kuvveti arttıran bir temel yapılması gerekli olabilir. Perdelerin temelinde yeterli normal kuvvetin sağlanması ve her kat döşemesinden yatay kuvvetlerin alınabilmesi için döşeme ile perde arasında gerekli bağın oluşturulması önemlidir.

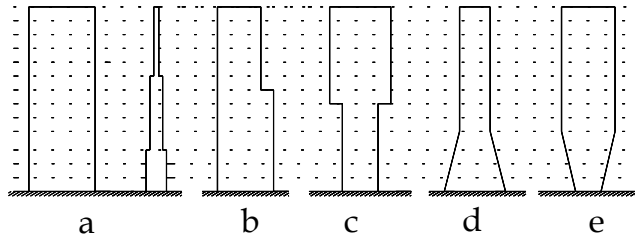
Yüksekliği az olan yapılarda deprem kuvvetleri küçük olduğundan ve mimari plana uygun olarak genelde perdeler gereğinden büyük yerleştirildiğinden aşırı zorlanmazlar. Bu durumda iki doğrultuda %0.25 oranında bir konstrüktif donatı tavsiye edilir. Böylece perdenin moment taşıma özelliği sağlandığı gibi, sünekliği de önemli ölçüde artar. Gövdede bulunan donatının kuvvet kolu küçük olduğundan etkili bir şekilde kullanılamaz. Perdelerde gövde donatısının artırılması ile taşınacak moment büyütülse de kesitin göçme durumunda ulaşabileceği eğrilik yani kesitin sünekliği azalır (Şekil 2.2).

Perdenin en çok zorlandığı mesnet kesitinde betonun en büyük kısılmasını büyütme ve böylece kesitin sünekliğini artırmak için, kolonlardaki gibi, mesnetten yukarı bölgede perdenin plandaki boyutuna yakın yükseklik boyunca etriyelerin sıklaştırılması uygundur. Bunun yanında perdelerde boyuna donatıların burkulmasını önlemek için bütün yükseklik boyunca yatay donatılara ihtiyaç vardır. Perdelerin eleman olarak burkulmasını önlemek, uç bölgelerinde beton basınç bölgesini büyütme ve zorlamayı hafifletmek için, özellikle binaların bodrum katlarında ve kritik perde yüksekliği boyunca, perde başlık bölgesi düzenlenmesi uygundur. Bir perdenin, dik doğrultuda başka bir perde ile birleşmesi durumunda başlık bölgesi doğrudan oluşturulmuş olur. Başlık bölgesi, yatay yükün belirli bir yönü için, tamamen basınç etkisi altında olacağından bu bölgenin kolonlardaki konstrüktif kurallara uyularak donatılması yerinde olur. Başlık bölgesinin bulunması perdenin eğilme momenti kapasitesini önemli derecede artırır. Hatta kesme kuvvetini eğilme momentinden daha kritik duruma getirebilir [4].



Şekil 2.2. Perde kesitinde eğilme momenti-eğrilik değişimi

Bina yüksekliği boyunca perdelerin enkesit boyutları sabit olduğu gibi, perde boy ve genişliği üst katlara doğru azaltılabilir (Şekil 2.3a). Bu durumdaki rijitlikleri, karşılıklı etkileşimi olan perdelerin bulunması halinde hesaba katmak gerekir. Perde genişliklerinin ani (Şekil 2.3b) veya sürekli (Şekil 2.3d) değiştiği durumlarda, rijitliklerinde daha büyük değişiklikler meydana gelir. Yukarı doğru incelen perdeler yapısal açıdan etkili olmakla birlikte, oluşabilecek plastik mafsalların boylarını ve yerlerini belirlemede dikkatli olunmalıdır. Yükseklik boyunca kalınlaşan perdelerin (Şekil 2.3c,e) yapısal olarak çok etkili olmadığı bilinmektedir. Plastik mafsallın perdenin temelinde oluşması halinde, mafsal boyunu önemli derecede sınırlandırmak gerekecektir. Bu tip perdeler süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle kullanılırsa, plastik mafsallı perde tabanında oluşması açısından bir avantaj sağlayacaktır [5].

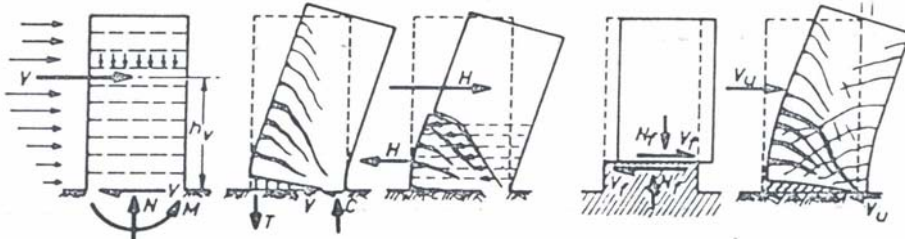


Şekil 2.3. Kesit boyutları yükseklikle değişen perdeler

2.4. Konsol Perdelerin Göçme Şekilleri

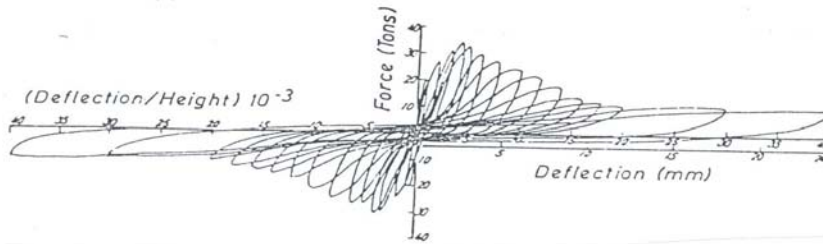
Sünek perdelerin tasarımında, kapasiteyi ve plastik şekil değiştirmelerden dolayı oluşan enerji sönümlemesinin, plastik mafsall bölgelerinde oluşacak eğilme yer değiştirmesinin kontrol etmesi istenir. Bu temel tasarım ilkesi, gevrek göçme mekanizmasının veya sınırlı sünekliğin oluşmasına izin vermez. Bu durum, kapasite boyutlandırma yöntemleri ile güç tüketmesi için istenen düzeni sağlayarak ve oluşabilecek plastik mafsall bölgelerinin uygun şekilde detaylandırılmasını sağlamakla mümkün olur.

Perdelerin göçme biçimleri çeşitli şekillerde olabilir. Eğilme göçmesinde, perdenin en büyük moment kısmındaki donatı elastik sınırı geçerek yatay plastik sınır içinde uzar ve akma platosundaki belirli bir uzamadan sonra pekleşme sınırına girilir ve donatıdaki sabit gerilme tekrar yükselmeye başlar. Bunun sonucu olarak, donatıdaki çekme kuvveti şiddeti de artar. Kesit içindeki kuvvet çiftlerinin büyümesiyle kesitin taşıyabileceği moment de artar. Oluşan bu pekleşmeli momentin ardından perde kesitindeki deformasyonlara bağlı göçme meydana gelir (Şekil 2.4a). Kırılma sırasında, betonun kesme dayanımı yüksek olup, betonda kesme kuvvetlerine bağlı olarak ortaya çıkan eğik asal çekme gerilmelerinden dolayı kesit kesme kapasitesine ulaşarak göçer (Şekil 2.4b). Diğer göçme biçimi perde ve temel birleşiminde kayma ile meydana gelir. Yanal deprem kuvvetinden dolayı oluşan gerilmelere bağlı perde-temel birleşiminde yeterli filiz donatısının olmaması nedeni ile perdenin rijit bir kütle hareketi yaparak yatay düzlem üzerinde kayması sonucu oluşan göçmedir (Şekil 2.4c). Son göçme şekli de eğilme ve taban kaymasının bir arada olması ile meydana gelen göçme şeklidir (Şekil 2.4d).



Şekil 2.4. Perdelerin göçme biçimleri

Tekrarlı yükler altındaki perdenin kaymadan dolayı oluşacak istenmeyen bir davranışına örnek verilmiştir. Özellikle enerji sönmeme yeteneği ve dayanım azalma hali oldukça şiddetlidir. İyi dizayn edilmiş, eğilme sünekliği için ve kapasite tasarım ilkeleri ile kayma göçmesine karşı boyutlandırılmış perdeler oldukça iyi davranış sergiler. Yer değiştirme sünekliği yaklaşık olarak 4 olduğunda iyi bir davranış elde edildiği görülür. Örnek perdenin ise %3 yanal değiştirmede yalnızca ikinci tekrardan sonra bu değerin 6 olduğunu gözlemlemekteyiz (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Kesme kırılması altında histeretik davranış

2.5. Perde Kesitlerini Düzenleme Şekilleri

Perde kesitleri, mimari kısıtlamalar ve deprem doğrultularında etkili çalışmasını sağlamak amacıyla I, T, L, H, C, U, Y gibi tasarlanabilir (Şekil 2.6). Perdenin minimum kalınlığı, beton ve donatı yerleşimini sağlamak, yangın riskini en aza indirmek için yönetmelikler tarafından belirlenmiştir. Deprem anında yatay kuvvetler perdeler üzerine etkili olmaya başladığında, kayma dayanımını ve stabiliteyi sağlamak için kalınlığı arttırmak gerekebilir. Ancak perde kesitinin iki ucunda gerilmeler büyük olacağı için, donatı perde uç bölgelerinde yoğunlaşır ve buralarda kalınlığın artmasıyla perde uç elemanları oluşturulur. Perde ucuna diğer doğrultuda başka bir perdenin birleşmesi durumunda, uç elemanı bu perde içinde oluşturulabilir.

Başlıklı perdeler, kiriş mesnetlenmesinde ve eğilme donatılarının yerleştirilmesinde kolaylık sağlar. Bunun yanında uç elemanlar perdenin yanal burkulma stabilitesini artırır ve potansiyel plastik mafsallarda bulunan basınç maruz betonun daha iyi sarılmasını sağlarlar. Böylece plastik mafsallarda sıkışan betonun erken dağılması önlenmiş olur. Perdelerin dik açı ile birleşmesi sonucunda, kanatlı perde şekilleri oluşur. Bu perdeler, binanın iki ana doğrultusunda da dayanım sağlarlar. Kanatlar basınç etkisinde oldukça sünek davranırlarken, T ve L kesitli perdelerde kanatlar çekmeye zorlandığında oldukça sınırlı sünekliliğe sahiptirler.



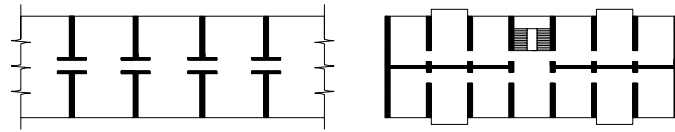
Şekil 2.6. Perde kesit şekilleri

2.6. Perdelerin Planda Yerleştirilmesi

Perdeler yatay ve düşey yükler ile burulma etkisi altındadır. Perdenin kesitine ve plandaki yerine göre eğilme momenti ve burulma dayanımı değişir. Bu durumda bazen perdelerin yerleri taşıyıcı sistem açısından pek uygun olmayabilir. Mimari plan ve döşemelerin büyüklüğü perde yerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Mimar ve inşaat mühendisinin birlikte çalışması depreme karşı taşıyıcı sistemin düzenlenmesi açısından daha uygundur.

Perdeler, burkulma stabilitesine sahip, rijitlikleri simetrik ve temelde devrilmeye karşı yeterli güvenliğe olmalıdır. Perdeleri planda yerleştirirken, beklenen plastik şekil değiştirmelerin bina planında düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamak uygundur. Aksi durumda, bazı perdeler aşırı, bazıları da kapasitelerinin altında zorlanacaktır. Perdeli bir yüksek yapıda yeterli rijitlik sağlanabilmesi için sistem çizgileri bir noktadan geçmeyen en az üç perde teşkil edilmelidir.

Bazen yapılar, deprem yüklerinin fazla olması ve özellikle deplasman koşulunu sağlamak üzere yalnız perdelerden teşkil edilebilir. Tünel kalıp ile yapılan binalarda yatay ve düşey yükler perdeler tarafından taşınır (Şekil 2.7). Yapının özellikle deprem etkisinde elastik davranışının sağlanması genellikle yönetmeliklerdeki minimum donatı şartlarına uyulması ile mümkündür.

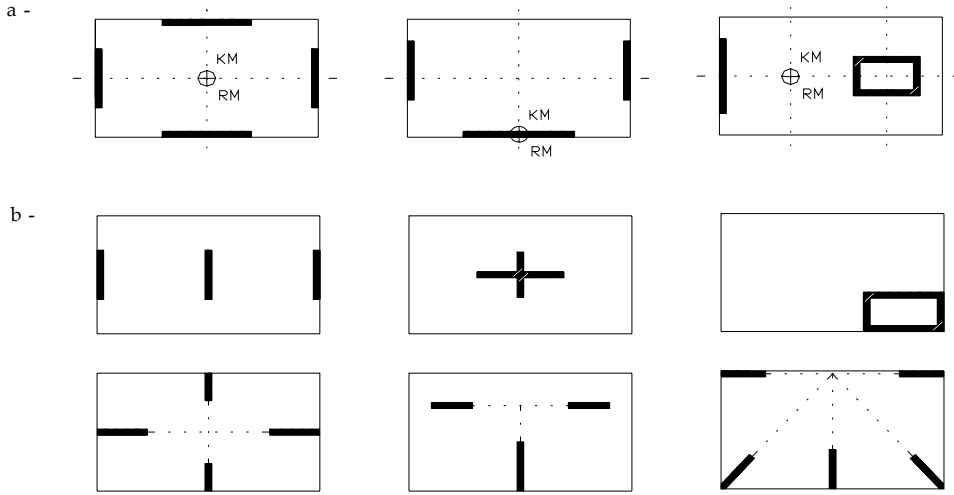


Şekil 2.7. Tünel kalıp sistemleri

Yapının rijitlik merkezini belirlemede etkili olan perdelerin yerleşim düzeni son derece önemlidir. Rijitlik ve kütle merkezlerinin birbirine yakın olması sistemin stabilitesini geliştirmektedir. Perdelerin burulma rijitliğine dikkat edilmesi gerekir. Kattaki burulma etkisi, düşey elemanların üzerine etkileyen kesme kuvvetinin moment koluyla çarpılması olduğuna göre, moment kolu en büyük olan perde veya çerçevede burulma etkisi daha büyük olacaktır [5].

Perdelere gelen burulma etkilerini azaltmak için perde sistemlerinin ideal şekilde düzenlenmesi gerekmektedir (Şekil 2.8a). Buna göre;

- a- Yapıda en büyük burulma rijitliğinin sağlanması için, perde duvarlar yapının çevresine dağıtılmalıdır. Aynı düzlemdeki perdeler, tek başlarına konsol giriş gibi çalışabildikleri gibi, birbirlerine bağ girişleri ile bağlanarak perde çifti olarak düzenlenebilirler.
- b- Perde duvarlar kat planı içinde, döşeme yüklerinin olabildiğince büyük kısmını, aksel kuvvet olarak temele aktaracak şekilde düzenlenmelidir. Bu şekilde perdede eğilme momenti için gereken donatı azalır.
- c- Çok katlı yapılarda deprem direncinin bir kaç perdede yoğunlaştırılması, temel sistemini bu noktalarda çok büyük deprem etkisine maruz bırakır. Bu durum, ekonomik olmayan ağır bir temel sistemini gerektirdiğinden kaçınılmalıdır.
- d- Perde duvarlar, çok katlı bir yapıda, her iki doğrultuda yerleştirilmelidir. Bu şekilde depremin güçlü yönde etkimesi durumunda bile, rijitlik merkezinin herhangi bir tarafında oluşabilecek olan mafsallaşmadan dolayı, rijitlik merkezinin kütle merkezi ile olan mesafesi artacak ve oluşacak burulmaya yardım edebilecek olan depreme dik yöndeki perdelerin yardımcı olması sağlanamayacaktır (Şekil 2.8b).
- e- Perdeler, simetrisi bozuk şekilde ve kat içinde belli bir bölgeye yoğunlaştırılmamalıdır. Perdelerin sistem çizgilerinin bir noktada kesişmeleri önlenmelidir (Şekil 2.8b) [7].



Şekil 2.8. Perdelerin planda düzenlenme şekilleri

Mimari açıdan uygun bir seçim olan merdiven kovaları ve asansör şaftları betonarme çekirdekleri oluşturur. Çok katlı binalarda, yatay kuvvetlere karşı dayanımı sağlamak için, çoğu zaman bu çekirdeklerden faydalanılmıştır. Burulma etkisine karşı ilave perdeler veya bina çevresinde çerçevelerin oluşturulması gerekebilir. Perde kesitleri, buldukları yere ve isteğe göre değişik şekillerde düzenlenebilir. Yatay kuvvetlerin profil kesitli perdelerle taşınması halinde, özel yöntemlerle kesit hesabı yapmak gerektirir.

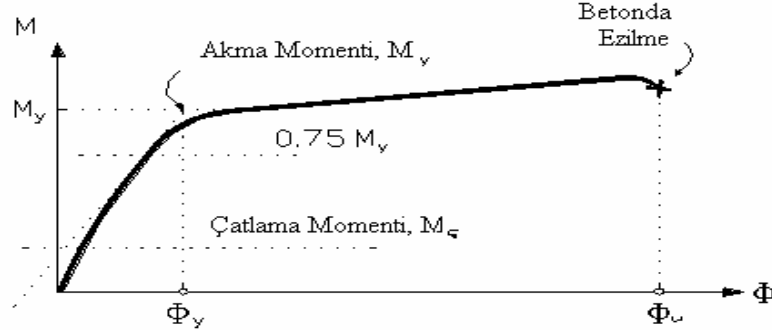
2.7. Yapı Özellikleri

a) Süneklik : Perde duvarların dayanımı kadar sünekliği de önemlidir. Deprem etkileri altında, perdeler sünek olarak eğilme kırılması oluşturmamalıdır. Betonarme taşıyıcı sistemlerde eğrilik ve ötelenme sünekliklerinden söz edilebilir. Eğrilik sünekliği, taşıyıcı elemanın kesit özellikleriyle ilgilidir. Ötelenme sünekliği ise yapının eleman kesitleri kadar, plan ve boy kesit özellikleri, açıklıkları, yükseklikleri ve mesnet şartları ile ilgilidir.

Eğrilik Sünekliği : Bu süneklik $N-M-\Phi$ ilişkisi üzerinde tanımlanabilir (Şekil 2.9). Bunun için, çekme donatısının akmasına karşılık gelen Φ_y ve basınç altında betonun ezilmesine tekabül

eden Φ_u değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değerler çizilen N-M- Φ ilişkisinden aşağıdaki şekilde hesap edilir (Şekil 2.9).

$$\mu_\Phi = \frac{\Phi_u}{\Phi_y} \quad (2.1)$$

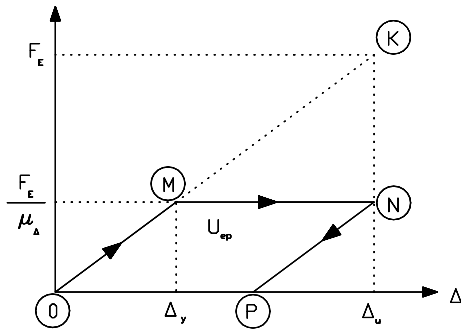


Şekil 2.9. N-M- Φ ilişkisi

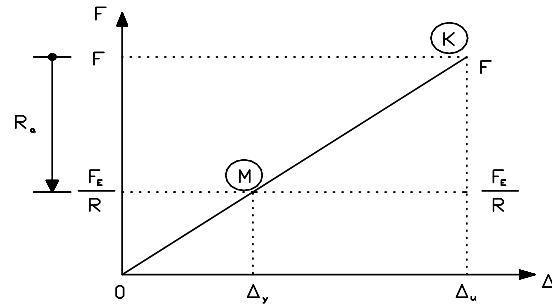
Ötelenme Sünekliği : Elasto-plastik sistemde, plastik mafsalsın oluştuğu M noktasına tekabül eden ötelenme Δ_y dir. Δ_u ile Δ_y arasındaki oran, taşıyıcı sistemin ötelenme sünekliği olarak tanımlanır. Deprem hesaplarında ötelenme sünekliği için μ_Δ nın yaklaşık 4~5 olması istenir. Başka bir deyişle, plastik mafsalsının oluşması anında Δ_y , taşıyıcı sistemde tüm güç tükenmesinin oluştuğu Δ_u 'ya ulaşincaya kadar 4~5 kez büyümelidir.

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \cong 4 \sim 5 \quad (2.2)$$

Elasto-plastik sistem M noktasında plastik konuma geldiği için kütleyle etki eden eylemsizlik kuvveti de M noktasında sınırlı kalır. Bu kuvvet, doğal olarak K noktasındaki F kuvvetinden defalarca küçüktür (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Elasto plastik davranış

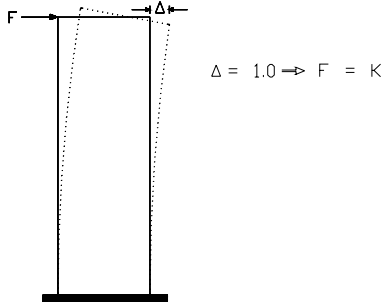


Şekil 2.11. Deprem yükü azaltma katsayısı

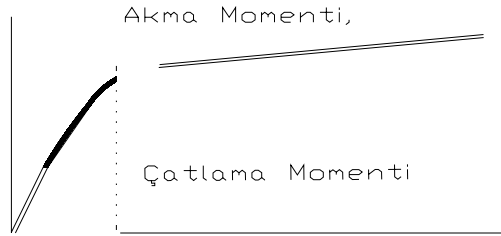
Elasto-plastik sistemde oluşan eylemsizlik kuvveti, elastik sistemdekinden μ_Δ kez daha küçük olup, bu katsayı deprem yükü azaltma katsayısı R_a olarak tanımlanır (Şekil 2.11).

b) Rijitlik : Yatay yükten kaynaklanan deformasyon rijitlik ölçüsü olarak tanımlanır. Aynı yanal yük etkisindeki elemanlardan, az deformasyon yapan bir elemanın diğerine göre daha rijit olduğu belirtilebilir. Rijitlik ile binanın kullanılabilirlik sınır durumunda oluşacak ötelenmeler belirlenir. Rijitlik unsuru deprem etkisindeki davranışlarda, hafif ve orta şiddetteki depremlerde yanal ötelenmelerin kalıcı ve büyük olmamasını, şiddetli sismik etkiler altında ise rijitliğin azalabilmesi ve bina doğal periyodunun büyüyerek sismik kuvvet oluşumunu aza indirmesini amaçlar. Depreme dayanıklı bir yapı yeterli rijitliğe sahip olmalıdır. Bu kavram ötelenme ve eğilme rijitliği olarak düşünülebilir.

Ötelenme Rijitliği : Yapının tümüyle ilgili olan bu rijitlik, yapıya etkiyen kuvvet ile yapının bu kuvvet altında ötelenmesi arasında ilişki kurar. Ötelenme rijitliği kolon, kiriş ve perdelerin kesit özelliklerinin yanında elemanların açıklık / uzunluk ve mesnet şartlarına da bağlıdır. $K_{\Delta}(\Delta) = F$ olarak tanımlanan rijitlikte, K_{Δ} rijitlik, F kuvvet, Δ ötelenmedir. $\Delta=1.0$ değerinde $K_{\Delta} = F$ olup, bu ötelenme rijitliği tanımıdır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Konsol perde üzerinde ötelenme rijitliğinin tanımlanması



Şekil 2.13. Moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki eğilme rijitliği

Eğilme Rijitliği : Yapı elemanının kesit özellikleriyle ilgili olan eğilme rijitliği, eleman kesiti üzerinde geliştirilen moment-eğrilik ilişkisi olarak ifade edilebilir. Eğilme rijitliğinin ölçüsü olan EI bu eğri üzerinde tanımlanır (Şekil 2.13). Kullanılabilirlik sınır durumu hesabındaki rijitlik, akma dayanımında kesitin taşıyabileceği momentin %75'i oranındaki kuvvetin ölçüsüdür. $K=0.75F_y / \Delta_y$.

Elemanların rijitliğinin binada süreklilik arz etmesine önemle dikkat edilmelidir. Zemin katın rijitliği düşük tutularak (yumuşak zemin kat) yapının kuvvetli yer hareketinden az etkilenmesinin sağlanması düşünülebilir. Burada amaç yapıyı sünger üzerindeki rijit blok gibi, kısa periyotlu zemin hareketinden korumaktır. Ancak bunun gerçekleşmesi için kolon uçlarında ideal plastik mafsallar yanında büyük kat yer değiştirmesine ihtiyaç vardır. İlk koşulun tam gerçekleşmemesi ve ikinci koşulda normal kuvvetten önemli ikinci mertebe etkiler ortaya çıktığı için yumuşak zemin kat ilkesinin tam tersine kaçınılması gereken bir durum olduğu belirlenmiştir. Bu tür binaların depremlerde çok kötü davrandıkları, bazı durumlarda toptan göçmenin meydana geldiği belirlenmiştir. Temellerde yapılan özel düzenlerle binaların yer hareketine karşı yalıtılması da esas olarak yumuşak zemin kat ilkesine dayanmakta ise de, yumuşak katlı binaların aksine bu tür düzenlerin başarı ile uygulandığı bilinmektedir.

Yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçerek, titreşim periyodunu belirli aralığa getirip deprem etkilerini küçültmek mümkündür. Bunun için ilk yapılacak iş, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak rezonans olayını önlemektir. Örneğin uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede, kısa periyotlu rijit az katlı yapılar uygundur. Genellikle bu tür bölgelerde derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürür ve geriye düşük frekanslı uzun periyotlu kısım kalır. Kayalık sert zemin bölgelerinde ise yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı hakim olur.

c) Dayanım : Bir yapı, kullanılabilirlik, hasarın sınırlandırılması ve yapı göçmesi sınır durumları olarak deprem etkisi altında boyutlandırılır. İlk durumunda, sık oluşan deprem etkilerinde yapıdaki kullanım durumunu etkileyecek sehim ve çatlakların oluşmaması istenir. Bunun için, bu deprem etkileri altında taşıyıcı sistem elastik davranacak şekilde boyutlandırılır. İkinci durumda, yapının orta şiddetteki depremleri güçlendirilebilecek hasarla karşılaşması istenir. Bu durumda kesitlerin yeterli dayanıma sahip olması gerekir. Bu dayanım hesabında malzemenin elastik olmayan davranışı göz önüne alınır. Ancak, yapının plastik davranışının