

BÖLÜM I

4. DEPREM ETKİSİNDEKİ ÇELİK BİNALAR

4.1. GİRİŞ	4/2
4.2. MALZEME VE BİRLEŞİM ARAÇLARI	4/2
4.2.1. Yapı Çeliği	4/2
4.2.2. Birleşim Araçları.....	4/2
4.3. ENKESİT KOŞULLARI	4/3
4.4. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	4/3
4.5. KAPASİTE TASARIMI İLKESİ VE UYGULAMALARI	4/4
4.5.1. Temel İlkeler.....	4/5
4.5.2. Kapasite Tasarımının Çelik Binalara Uygulanması.....	4/6
4.5.2.1. Güçlü Kolon Tasarımı	4/6
4.5.2.2. Kolonlarda Ani Göçmenin Önlenmesi	4/7
4.5.2.3. Birleşim Detaylarının Tasarımı	4/7
4.5.3. Arttırılmış Deprem Etkileri.....	4/8
4.5.4. İç Kuvvet Kapasiteleri ve Gerilme Sınır Değerleri.....	4/9
4.6. MOMENT AKTARAN ÇERÇEVELER	4/9
4.7. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDELER	4/10
4.8. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK DIŞMERKEZ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDELER.....	4/10
4.9. MOMENT AKTARAN ÇERÇEVELERDE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM DETAYLARI	4/12
4.10.KAYNAKLAR	4/13

4.1. GİRİŞ

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) dördüncü bölümü deprem bölgelerinde yapılacak tüm çelik binaların depreme dayanıklı olarak tasarımına yönelik kuralları içermektedir. Aşağıdaki bölümlerde bu kurallar, bunların dayandığı temel ilkeler ve uygulamaları gözden geçirilecektir.

4.2. MALZEME VE BİRLEŞİM ARAÇLARI

4.2.1. Yapı Çeliği

Deprem yönetmeliği kapsamında, gerek TS648 Standardında, gerekse uluslararası düzeyde kabul görmüş diğer standart ve yönetmeliklerde tanımlanan ve belirli özelliklere sahip olan tüm yapı çelikleri kullanılabilir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır.

(a) Yapı çelikleri kaynaklanabilme özelliğine sahip olmalıdır.

(b) Başlık levhalarının et kalınlığı en az 40 mm olan hadde profillerinde, kalınlığı en az 50 mm olan levhalarda ve bu levhalarla imal edilen yapma profillerde, ASTM A673 standartları uyarınca yapılan testlerde minimum Charpy-V-Notch (CVN) dayanımı (*çentik dayanımı*) değerinin 21°C'de 27 Nm (27 J) olması gerekmektedir. Böylece, kullanılan yapı çeliğinin kırılma olmaması, yeterli sünekliğe ve yorulma dayanımına sahip olması sağlanabilmektedir.

4.2.2. Birleşim Araçları

Yapı elemanlarının birleşim ve eklerinde kullanılan başlıca birleşim araçları bulonlar ve kaynaktır. Bu birleşim araçlarının uygulanmasında, sağlanması gereken başlıca koşullar aşağıda sıralanmıştır.

(a) Deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde kullanılacak bulonlar ISO 8.8 (akma dayanımı $\sigma_a=640 \text{ N/mm}^2$), 10.9 (akma dayanımı $\sigma_a=900 \text{ N/mm}^2$) veya daha yüksek kalitede olmalıdır. Ayrıca bu bulonlar, moment aktaran birleşimlerde kendilerine uygulanabilecek öngerme kuvvetinin tümü ile, diğer birleşim ve eklerde ise bu kuvvetin en az yarısı ile öngerilmelidir. Bu şekilde, bulonların çekme dayanımlarının artırılması, birleşimde aktarılabilecek kuvvetlerin bulonlara eşit olarak dağılması ve bulonlu birleşimin süneklik düzeyinin artırılması sağlanabilmektedir. Yatay yük taşıyıcı sistem içinde yer almayan, bu nedenle deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve ekleri ile ankraj bulonlarında ISO 4.6 (akma dayanımı $\sigma_a=240 \text{ N/mm}^2$) ve 5.6 (akma dayanımı $\sigma_a=300 \text{ N/mm}^2$) kalitesinde bulonlar kullanılabilir.

(b) Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun elektrot kullanılmalı ve elektrodun akma dayanımı birleştirilen malzemelerin akma dayanımlarından daha az olmamalıdır. Kaynaklarda kullanılan elektrotun minimum Charpy-V-Notch (CVN) dayanımı (*çentik dayanımı*) değeri -29°C'de 27 Nm (27 J) koşulunu sağlamalıdır. Moment aktaran çerçevelerin kiriş-kolon birleşim detaylarında tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı kullanılmalıdır.

(c) Aynı birleşim detayında, farklı davranış gösteren kaynaklı ve bulonlu birleşimlerin birarada kullanılmaması ve birleşimdeki iç kuvvetlerin bu iki birleşim elemanı arasında paylaştırılmaması gerekir.

4.3. ENKESİT KOŞULLARI

Yapı sistemini oluşturan, eğilme ve basınç etkisindeki çelik elemanların sağlaması gereken enkesit koşulları **Yönetmelik Tablo 4.3**'te verilmiştir. Yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarının, yerel burkulma olmaksızın, deprem etkileri altında yeterli düzeyde plastik şekildeğiştirme yapabilmeleri için, elemanların enkesit boyutları arasındaki *başlık genişliği/kalınlık*, *gövde yüksekliği/kalınlık* ve *çap/kalınlık* oranlarının tabloda verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Süneklik düzeyi yüksek sistemlerin plastik şekildeğiştirme kapasitelerinin göreceli olarak daha fazla olması gerektiğinden, bu sistemleri oluşturan elemanların sağlaması gereken enkesit koşulları da daha sınırlayıcı olmaktadır.

4.4. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri, süneklik düzeyleri ve depreme karşı davranışları bakımından iki sınıfa ayrılmıştır. Bu iki sınıfı oluşturan taşıyıcı sistemlerin türleri, sağlamaları gereken koşullar ve çelik binaların deprem hesaplarında kullanılacak *R taşıyıcı sistem davranış katsayısı*'nın belirlenmesine ilişkin hususlar aşağıda açıklanmıştır.

(a) Yönetmeliğin ilgili maddelerinde belirtilen tasarım kriterlerini ve koşulları sağlayan moment aktaran çerçeve türü taşıyıcı sistemler, merkezi çaprazlı çelik perdeler, dışmerkez çaprazlı çelik perdeler ve bu sistemlerin birleşiminden oluşan çaprazlı çelik perdeli-çerçeve sistemler *süneklik düzeyi yüksek sistemler* olarak isimlendirilir. Süneklik düzeyi yüksek sistemler, tasarım depremi altında, bu sistemlerin tasarımında esas alınan *R* katsayısı için öngörülen süneklik düzeyini sağlayacak şekilde, doğrusal-elastik sınır ötesinde şekildeğiştirme yapabilmelidir. Bu sistemlerde elastoplastik şekildeğiştirmelerin oluşması beklenen bölgeler, öngörülen yeterli süneklik düzeyine sahip olacak ve gevrek göçme meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılır.

(b) Yönetmeliğin ilgili maddelerinde belirtilen tasarım kriterlerini ve koşulları sağlayan moment aktaran çerçeve türü taşıyıcı sistemler, merkezi çaprazlı çelik perdeler ve bu sistemlerin birleşiminden oluşan çaprazlı çelik perdeli-çerçeve sistemler *süneklik düzeyi normal sistemler* olarak isimlendirilir. Süneklik düzeyi normal sistemler, tasarım depremi altında, bu sistemlerin tasarımında esas alınan *R* katsayısı için öngörülen sınırlı düzeyde sünekliği sağlayacak ve gevrek göçme meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılır.

(c) **Yönetmelik Tablo 2.5**'in, çelik bina taşıyıcı sistemlerinin boyutlandırılmasında uygulanacak *R* taşıyıcı sistem davranış katsayılarını içeren bir bölümü aşağıda verilmiştir.

(d) Tablodan görüldüğü gibi, çelik bina taşıyıcı sistemleri süneklik düzeyi yüksek veya normal betonarme perdelerle birlikte de kullanılabilir.

(e) Yukarıda belirtilen yatay yük taşıyıcı sistemlerin her iki yatay deprem doğrultusunda birbirinden farklı olması durumunda, her iki doğrultuda da aynı süneklik düzeyine sahip olmaları koşuluyla, farklı doğrultularda birbirinden farklı *R* katsayıları kullanılabilir.

(f) Bir deprem doğrultusunda süneklik düzeyi normal ve yüksek taşıyıcı sistemlerin birarada kullanılması ile oluşturulan *süneklik düzeyi bakımından karma sistemler*'de uygulanacak taşıyıcı sistem davranış katsayısına ilişkin esaslar yönetmeliğin ilgili maddelerinde verilmiştir.

Yönetmelik TABLO 2.5 – TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYISI (R)
(Çelik Bina Taşıyıcı Sistemleri)

ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

4.5. KAPASİTE TASARIMI İLKESİ VE UYGULAMALARI

Bina taşıyıcı sistemlerinin depreme dayanıklı olarak tasarımında, genel olarak, aşağıdaki iki farklı yaklaşımdan biri izlenebilir.

(a) Bina taşıyıcı sistemi, tasarım depremi altında doğrusal-elastik olarak davranacak şekilde boyutlandırılır. Diğer bir deyişle, tasarım depreminden oluşan iç kuvvetlerin kesitlerin elastik taşıma kapasitelerini aşmasına ve sistemde plastik şekildeğiştirmelerin meydana gelmesine izin verilmez. Böylece sistemin şekildeğiştirmeleri doğrusal-elastik sınırlar içinde kalır; yani tasarım depremi altında bina taşıyıcı sisteminde hasar oluşmaz. Görüldüğü gibi, bu tasarım yaklaşımında sistemin öngörülen deprem etkileri altındaki doğrusal-elastik davranışı ve performansı başlangıçta kolaylıkla tahmin edilebilmektedir. Ancak bu tasarım yaklaşımı genel olarak ekonomik değildir ve sadece önem derecesi yüksek olan binalara uygulanmaktadır.

(b) Diğer bir yaklaşımda, tasarım depremi altında bina taşıyıcı sisteminin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışı gözönüne alınır. Ancak bu davranışın, sistemde en uygun mekanizma durumunu oluşturması öngörülür ve sadece belirli elemanlarda doğrusal-elastik sınır ötesindeki şekildeğiştirmelere izin verilir. Yapı sistemi öngörülen davranış modeline uygun olacak şekilde boyutlandırılır. Görüldüğü gibi, bu tasarım yaklaşımı yeter derecede güvenli ve ekonomik sonuç verebilir. Ancak, bu yaklaşımın etkin olabilmesi için, boyutlandırmanın *kapasite tasarımı ilkeleri* çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

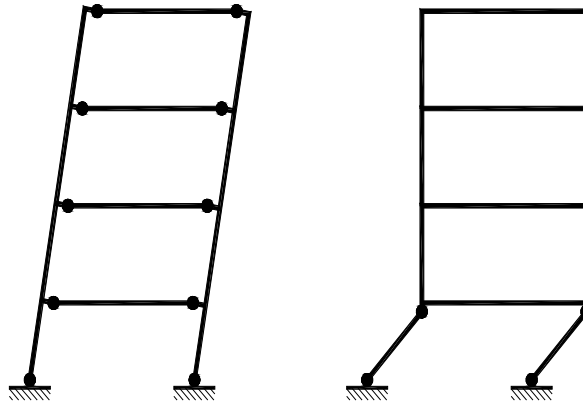
Aşağıda, çelik yapı sistemlerinde kapasite tasarımının temel ilkeleri ve gerekçeleri açıklanacak, bu ilkeler doğrultusunda yapılacak boyutlandırmada gözönüne alınması gereken hususlar tartışılacaktır.

4.5.1. Temel İlkeler

Kapasite tasarımının temel prensibi, deprem etkileri altında doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışına izin verilen bina taşıyıcı sistemlerinin aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde boyutlandırılmasıdır.

(a) Taşıyıcı sistem, tasarımda kullanılması öngörülen *taşıyıcı sistem davranış katsayısı* (R) için gerekli olan süneklik düzeyini sağlayacak şekilde, doğrusal-elastik sınır ötesinde şekil değiştirme yapabilmelidir. Sistemde elastoplastik şekil değiştirmelerin oluşması beklenen bölgeler, yeterli süneklik düzeyine sahip olacak, buna karşılık gevrek ve ani göçme meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılmalıdır.

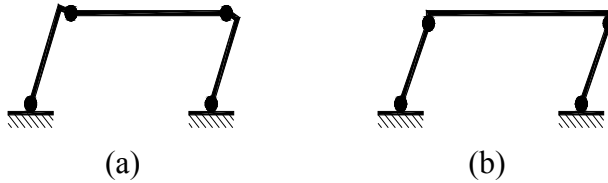
(b) Çerçeveler içeren sistemlerde kat mekanizması veya benzeri, sünek olmayan bölgesel ve ani göçme mekanizmalarının oluşmaması sağlanmalı (Şekil 4.1), bunun için gerekli önlemler alınmalı, örneğin *güçlü kolon tasarımı* uygulanmalıdır.



(a) Tümsel Mekanizma (b) Bölgesel Kat Mekanizması

Şekil 4.1. Çerçeve Sistemlerde Olası Mekanizma Durumları

(c) Bir düğüm noktasında birleşen kolonların eğilme momenti kapasiteleri toplamının, aynı düğüm noktasındaki kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri toplamından daha büyük olmasının öngörüldüğü güçlü kolon tasarımı ile, plastik mafsalların kirişlerde oluşması sağlanmakta ve dolayısıyla bölgesel kat mekanizması oluşumu önlenmektedir. Bununla beraber, tek katlı çerçevelerde ve çok katlı çerçevelerin en üst kat düğüm noktalarında, plastik mafsalların kirişlerde veya kolonlarda meydana gelmesi kat mekanizması oluşumunu değiştirmemektedir, Şekil 4.2. Bu nedenle, tek katlı binalarda ve çok katlı binaların kolonları üst kata devam etmeyen düğüm noktalarında, güçlü kolon tasarımının uygulanmasına gerek olmamaktadır.



(a)

(b)

Şekil 4.2. Tek Katlı Çerçevede Olası Mekanizma Durumları

(d) Sistemin tüm elemanları ve birleşim detayları, sünek şekilde değiştirilmelerinin oluşumundan önce, ani ve gevrek göçmeye neden olabilecek yetersizlikler meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılmalıdır.

(e) Kapasite tasarımı ilkesinin uygulanmasında, yapı çeliğinin akma gerilmesinde meydana gelebilecek olası artıştan, çeliğin pekleşmesinden, boyutlandırmada gözönüne alınan enkesit ve eleman özellikleri ile uygulama arasındaki farklılıklardan, yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sistemin davranışına olan katkılarından ve benzeri nedenlerden kaynaklanan dayanım fazlalıkları hesaba katılmalı, bu etkenlerin taşıyıcı sistemde meydana gelmesi öngörülen mekanizmaların oluşumunu engellemesi önlenmelidir.

(f) Özellikle kiriş-kolon birleşim bölgeleri, bu bölgede birleşen elemanların taşıma kapasitelerinden daha büyük bir kapasiteye sahip olacak şekilde boyutlandırılmalı, böylece birleşime giren elemanlarda plastik şekilde değişimlerin oluşması halinde de birleşimin iç kuvvet kapasitelerinin aşılmaması sağlanmalıdır.

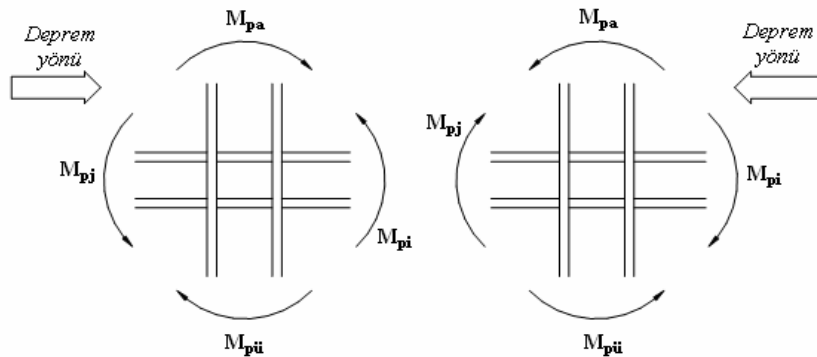
(g) Kapasite tasarımında, birleşimlerin iç kuvvet kapasitelerinin belirlenmesinde, hesaplanan kapasite büyüklükleri yapı sisteminin deprem etkileri altındaki doğrusal elastik davranışına ait büyüklüklerle veya artırılmış deprem yüklemeleri ile sınırlandırılmalı, diğer bir deyişle, bu sınır değerlerin aşılmasına gerek olmadığı gözönünde tutulmalıdır.

4.5.2. Kapasite Tasarımının Çelik Binalara Uygulanması

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre, deprem etkileri altındaki çelik binalarda kolonların, kiriş-kolon birleşim bölgelerinin, diğer birleşim detaylarının ve süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdelerin boyutlandırılmasında, kapasite tasarımı ilkesi aşağıdaki şekillerde uygulanmaktadır.

4.5.2.1. Güçlü Kolon Tasarımı

Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerde veya çelik perdeli-çerçeve sistemlerin çerçevelerinde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda, her bir kiriş-kolon düğüm noktasına birleşen kolonların eğilme momenti kapasitelerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının $1.1D_a$ katından daha büyük olmalıdır, Şekil 4.3.



Şekil 4.3. Kiriş-Kolon Düğüm Noktası ve Taşıma Gücü Momentleri

$$(M_{pa} + M_{pü}) \geq 1.1D_a (M_{pi} + M_{vi} + M_{pj} + M_{vj})$$

Yönetmelik Denk. (4.3)

Bu denklemde, M_{pa} , $M_{pü}$ düğüm noktasına birleşen alt ve üst kolonların eğilme momenti kapasitelerini, M_{pi} , M_{pj} düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerinin taşıma gücü momentlerini, M_{vi} ve M_{vj} ise, zayıflatılmış kiriş enkesitleri kullanılması veya kiriş uçlarında guseler oluşturulması halinde, kiriş uçlarındaki olası plastik mafsallardaki kesme kuvvetlerinden dolayı kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momentlerini göstermektedir. Plastik momentlerin kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerinde oluşması halinde, M_{vi} ve M_{vj} terimleri sıfır değerini almaktadır. Denklemdeki $1.1D_a$ katsayısı ile, D_a akma gerilmesi *arttırma katsayısı* olmak üzere, kirişlerin taşıma gücü momentlerindeki olası artış hesaba katılmaktadır.

Çelik yapı sistemlerinde güçlü kolon tasarımının başlıca amacı, yapı sisteminin doğrusal-elastik sınır ötesindeki şekildeğiştirmesi sırasında, düğüm noktalarındaki olası plastik mafsalların kolonlarda meydana gelmesinin ve buna bağlı olarak, sistemde kat mekanizmalarının oluşumunun önlenmesidir.

4.5.2.2. Kolonlarda Ani Göçmenin Önlenmesi

Çelik yapı sistemlerinin kolonları, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan eksenel kuvvet ve eğilme momentleri altında gerekli gerilme kontrollerini sağlamaları yanında, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde

$$1.0G + 1.0Q \pm \Omega_0 E \quad \text{Yönetmelik Denk.(4.1a)}$$

veya daha elverişsiz sonuç vermesi halinde

$$0.9G \pm \Omega_0 E \quad \text{Yönetmelik Denk.(4.1b)}$$

şeklinde tanımlanan arttırılmış yükleme durumlarından oluşan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın) yeterli dayanım kapasitesine sahip olmalıdır. Bu bağıntılarda, G , Q ve E sırasıyla sabit yükler, hareketli yükler ve deprem etkilerinden oluşan kolon eksenel kuvvetlerini, Ω_0 ise deprem etkilerine uygulanacak bir *büyütme katsayısı*'nı göstermektedir.

Kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerinin, arttırılmış deprem yükleri altında da kontrol edilmesinin başlıca nedenleri arasında, taşıyıcı sistem davranış katsayısına bağlı olarak azaltılan deprem yükleri ve devrilme momentlerinin yönetmelikte öngörülenden daha büyük değerler alabilmesi ve deprem hesaplarında çok kere gözönüne alınmayan düşey deprem etkileri bulunmaktadır. Bu olası durumlar nedeniyle artan kolon eksenel kuvvetlerinin kolonların eksenel yük taşıma kapasitesini aşması, yapı sisteminde eksenel yük taşıma kapasitesi yetersizliğinden kaynaklanan gevrek göçme riskini arttırabilmektedir. Bu duruma karşı bir önlem olmak üzere, deprem etkilerinden oluşan kolon eksenel kuvvetleri bir Ω_0 büyütme katsayısı ile arttırılır.

4.5.2.3. Birleşim Detaylarının Tasarımı

Süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeve sistemlerin kiriş-kolon birleşim bölgelerinin boyutlandırılmasında, kapasite tasarımı ilkesi aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır.

(a) Birleşimin kolon yüzündeki gerekli eğilme dayanımı, birleşen kirişin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasitesinin $0.8 \times 1.1D_a$ katından (D_a : akma gerilmesi arttırma katsayısı) daha az olmayacaktır. Ancak bu dayanımın üst sınırı, düğüm noktasına birleşen kolonlar tarafından birleşime aktarılan en büyük eğilme momenti ile

uyumlu olacaktır. Ayrıca birleşim detayının eğilme dayanımının, düşey yükler ve taşıyıcı sistem davranış katsayısının $R=1.5$ değeri için hesaplanan deprem yüklerinin ortak etkisi altında, düğüm noktasına birleşen kirişte meydana gelen eğilme momentini de aşmasına gerek olmamaktadır.

(b) Birleşimin boyutlandırılmasında esas alınacak V_e kesme kuvveti, V_{dy} düşey yüklerden oluşan basit kiriş kesme kuvvetini, l_n kirişin serbest açıklığını, M_{pi} ve M_{pj} ise, kirişin sol ve sağ uçlarındaki pozitif veya negatif eğilme momenti kapasitelerini göstermek üzere

$$V_e = V_{dy} \pm 1.1 D_a \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{l_n} \quad \text{Yönetmelik Denk.(4.5)}$$

denklemleri ile hesaplanacaktır.

Kiriş-kolon birleşim detayının yukarıdaki koşulları sağlayacak şekilde tasarımı ile, birleşimin eğilme ve kesme kapasiteleri aşılmaksızın, düğüm noktasında birleşen kirişlerin ve/veya kolonların elastik ötesi şekilde değiştirme yapabilmesi ve böylece yapı sisteminin öngörülen süneklik düzeyine erişmesi sağlanabilmektedir. Çeşitli nedenlerle düğüm noktasında birleşen kiriş ve kolonların eğilme momenti kapasitelerinin büyük değerler alması halinde, birleşimin yukarıdaki koşulları sağlayacak şekilde belirlenen eğilme dayanımı, tasarım depremi altında sistemin doğrusal-elastik davranışına karşı gelen eğilme momentinden daha büyük olabilir. Bu durumda, düşey yükler ile birlikte taşıyıcı sistem davranış katsayısının $R=1.5$ değeri için belirlenen deprem kuvvetleri altında, kolon yüzünde hesaplanan kiriş eğilme momenti için tasarım yapılabilen ve böylece, birleşimin doğrusal-elastik davranması sağlanmaktadır.

Kiriş-kolon birleşim detayında, kiriş ve kolon başlıklarının sınırladığı kayma bölgesinin kesme dayanımı, düğüm noktasında birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının 0.80 katından meydana gelen kesme kuvvetine eşit olarak alınacak, ayrıca kayma bölgesindeki kolon gövde levhasının kalınlığı, kayma bölgesinin çevre uzunluğunun 1/180 katından daha az olmayacaktır. Böylece, düğüm noktasında birleşen kirişlerin eğilme momenti kapasitelerine ulaşmaları halinde, birleşimde oluşacak kesme kuvveti nedeniyle kayma bölgesinin yerel burkulması (buruşması) önlenmektedir.

Süneklik düzeyi normal çelik çerçeve sistemlerin kiriş-kolon birleşim bölgelerinin boyutlandırılmasında ise, yukarıda belirtilen koşullara alternatif olarak, düşey yükler ve Ω_0 büyütme katsayısı ile arttırılan deprem etkileri altında kolon yüzünde meydana gelen kiriş eğilme momenti ve kesme kuvveti esas alınabilmektedir.

4.5.3. Arttırılmış Deprem Etkileri

Çelik yapı sistemlerinin kolonlarının aksel kuvvet altında boyutlandırılmasında, kolonların ek detaylarının tasarımında, süneklik düzeyi normal çerçeve sistemlerin kiriş-kolon birleşim detaylarında ve diğer birleşim detaylarında arttırılmış deprem etkileri gözönüne alınmaktadır. Arttırılmış deprem etkilerinin belirlenmesinde, **Yönetmelik Bölüm 2**'ye göre hesaplanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetlere uygulanacak Ω_0 büyütme katsayıları, taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak **Yönetmelik Tablo 4.2**'de verilmiştir.

Yönetmelik TABLO 4.2 – BÜYÜTME KATSAYILARI

Taşıyıcı Sistem Türü	Ω_o
Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler	2.5
Süneklik düzeyi normal çerçeveler	2.0
Merkezi çelik çaprazlı perdeler (süneklik düzeyi yüksek veya normal)	2.0
Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler	2.5

4.5.4. İç Kuvvet Kapasiteleri ve Gerilme Sınır Değerleri

Çelik yapı sistemlerinin, deprem etkileri altında kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda boyutlandırılmasında esas alınmak üzere, yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri ve birleşim elemanlarının gerilme sınır değerleri yönetmelikte tanımlanmıştır. Buna göre,

(a) Yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri:

$$\begin{aligned}
 \text{Eğilme momenti kapasitesi} &: M_p = W_p \sigma_a & W_p &: \text{plastik mukavemet momenti} \\
 & & \sigma_a &: \text{akma gerilmesi} \\
 \text{Kesme kuvveti kapasitesi} &: V_p = 0.60 \sigma_a A_k & A_k &: \text{kesme alanı} \\
 \text{Eksenel basınç kapasitesi} &: N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A & \sigma_{bem} &: \text{basınç emniyet gerilmesi} \\
 \text{Eksenel Çekme kapasitesi} &: N_{cp} = \sigma_a A_n & A &: \text{enkesit alanı} \\
 & & A_n &: \text{faydalı enkesit alanı}
 \end{aligned}$$

(b) Birleşim elemanlarının gerilme sınır değerleri:

$$\begin{aligned}
 \text{Tam penetrasyonlu küt kaynak} &: \sigma_a \\
 \text{Köşe kaynağı veya kısmi penetrasyonlu küt kaynak} &: 1.7 \sigma_{em} \\
 \text{Bulonlu birleşimler} &: 1.7 \sigma_{em}
 \end{aligned}$$

Burada σ_{em} , ilgili birleşim elemanına ait emniyet gerilmelerini (normal gerilme, kayma ve ezilme gerilmeleri) göstermektedir.

4.6. MOMENT AKTARAN ÇERÇEVELER

2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan moment aktaran çerçeveler süneklik düzeyleri bakımından ikiye ayrılırlar.

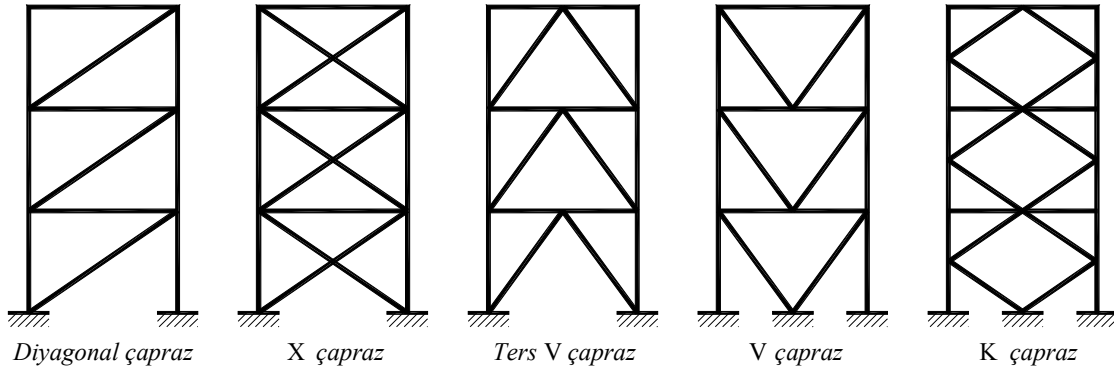
(a) *Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveler*: Bu tür çerçeve sistemler, deprem etkileri altında yüksek düzeyde plastik şekil değiştirme yapabilme kapasitesine sahip olan sistemlerdir. Bu sistemlerde plastik şekil değiştirmelerin büyük bir bölümünün kirişlerde, bir bölümünün de kiriş-kolon birleşimlerinin kayma bölgesinde meydana gelmesi öngörülür. Bunu sağlamak için, eleman enkesit boyutlarının yerel burkulmayı önleyecek sınırların içinde kalması, daha güçlü kolon tasarımı, kiriş-kolon birleşim detaylarının yeterli bir plastik dönme kapasitesine sahip olacak şekilde boyutlandırılması ve kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi gibi önlemler uygulanır.

(b) *Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler*: Bu tür çerçeve sistemler, deprem etkileri altında sınırlı düzeyde plastik şekil değiştirme yapabilen sistemlerdir. Bu sistemlerde daha güçlü kolon tasarımı uygulanmaz, eleman enkesitlerinin yerel burkulma kontrolleri için daha farklı narinlik koşulları gözönünde tutulur, kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi koşulu aranmaz ve kiriş-kolon birleşim bölgelerinde kiriş eğilme kapasitesi yerine arttırılmış deprem etkileri için boyutlandırma yapılır. Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerden farklı olarak, taşıyıcı sistemi sadece süneklik düzeyi

normal çelik çerçevelerden oluşan binalar birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, bina önem katsayısının $I=1.2$ ve $I=1.0$ olduğu hallerde ve bina yüksekliğinin $H_N \leq 16$ m olması koşulu ile uygulanabilirler.

4.7. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDELER

Merkezi çelik çaprazlı perdeler, çaprazların düğüm noktalarına merkezi olarak bağlandığı yatay yük taşıyıcı sistemlerdir, Şekil 4.4. Bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, çerçeve sistemlerle birlikte kullanılmadıkları sürece, tümüyle elemanların aksinel kuvvet dayanımları ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.4. Merkezi Çelik Çaprazlı Perdelerin Türleri

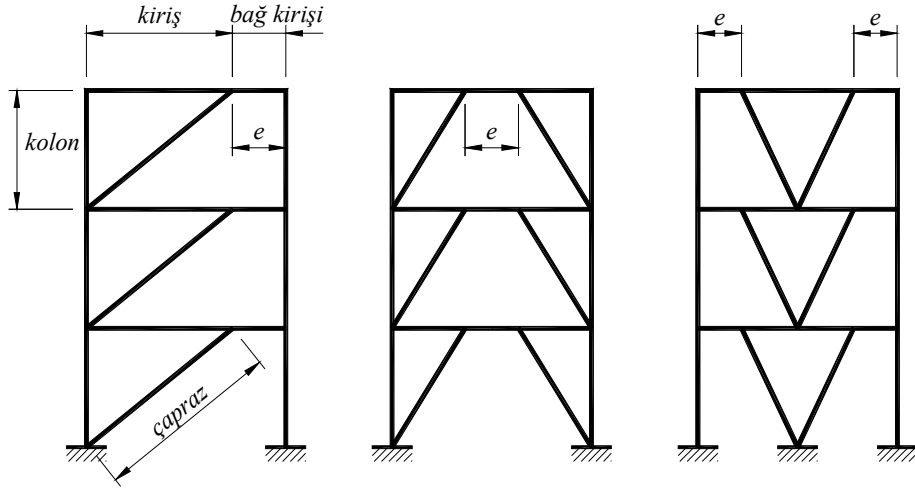
Merkezi çelik çaprazlı perdeler süneklik düzeyleri bakımından ikiye ayrılırlar.

(a) Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler: Deprem etkileri altında, öngörülen süneklik düzeyini sağlayacak şekilde doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapma kapasitesine sahip olan sistemlerdir. Bu sistemler, basınç elemanlarının bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılırlar. Sistemde yeterli süneklik düzeyini sağlamak için, eleman enkesit boyutlarının yerel burkulmayı önleyecek sınırların içinde bulunması, kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi, merkezi çapraz sistemlerinin üzerinde bulunduğu akslardaki yatay deprem kuvvetlerin çekme ve basınca çalışan elemanlar arasında ortak olarak paylaşılması gibi önlemler alınır.

(b) Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler: Bu tür sistemler, deprem etkileri altında sınırlı düzeyde plastik şekildeğiştirme yapabilen sistemlerdir. Bu sistemlerde eleman enkesitlerinin narinlikleri için daha farklı narinlik koşulları gözönünde tutulur, kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi koşulu aranmaz ve yatay deprem kuvvetlerinin tümünün sadece çekme çubukları tarafından karşılanmasına izin verilir.

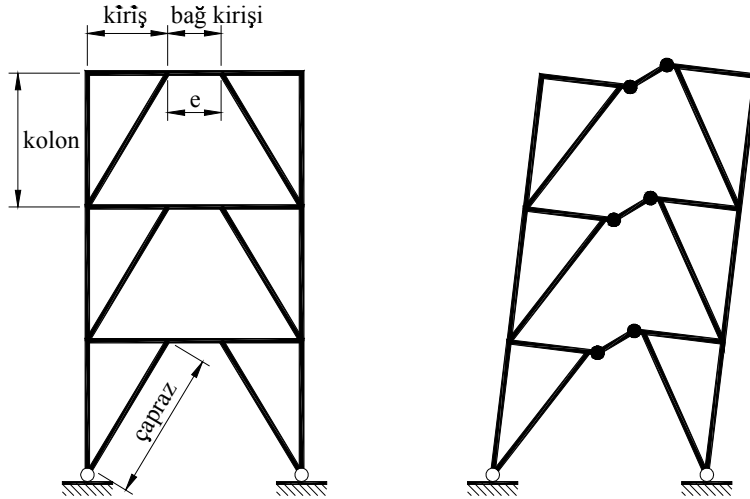
4.8. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK DIŞMERKEZ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDELER

Süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdeler, deprem etkileri altında, *bağ kirişi* adı verilen elemanların önemli ölçüde doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapabilme özelliğine sahip olduğu yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu sistemlerde, bağ kirişlerinin yerleşim düzeni çeşitli şekillerde olabilir, Şekil 4.5.



Şekil 4.5. Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdelerin Türleri

Süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdeler, bağ kirişlerinin plastik şekildeğiştirmesi sırasında, kolonların, çaprazların ve bağ kirişi dışındaki diğer kirişlerin doğrusal-elastik bölgede kalması sağlanacak şekilde boyutlandırılırlar. Diğer bir deyişle, bu sistemlerde plastik mafsalların bağ kirişlerinin uçlarında oluşması öngörülür, Şekil 4.6. Bunu sağlamak için, bağ kirişlerinin yeterli süneklik düzeyine sahip olması, plastik şekildeğiştirmeleri sırasında stabilitelerinin (kararlılıklarının) sağlanması ve plastik şekildeğiştirmelerden dolayı sistemde oluşan yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması amacıyla gerekli önlemler alınır. Bu önlemlere ek olarak, dışmerkez çelik çaprazlı perdelerin birleşim detayları, birleşen elemanların iç kuvvet kapasiteleri veya artırılmış deprem etkileri esas alınarak teşkil edilir.



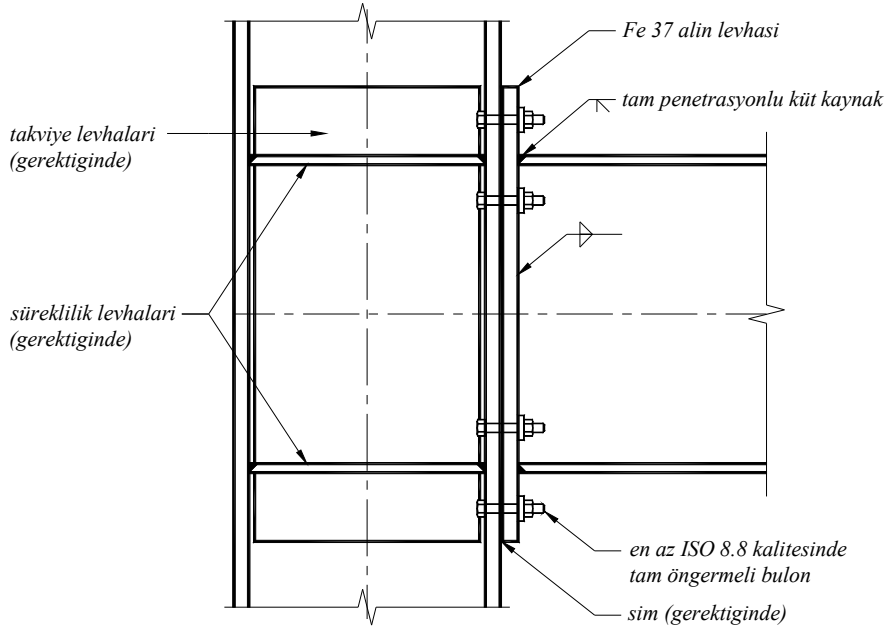
(a) Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perde

(b) Plastik Şekildeğiştirme Mekanizması

Şekil 4.6. Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perde ve Plastik Şekildeğiştirme Mekanizması

4.9. MOMENT AKTARAN ÇERÇEVELERDE KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM DETAYLARI

Deprem Yönetmeliği **Bilgilendirme Eki 4A**'da, en az 0.04 radyan *görelî kat ötelemesi açısı*'nı (görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği) sağlayabilecek dayanım ve şekildeğiştirme kapasitesine sahip olduğu deneysel ve/veya analitik yöntemlerle kanıtlanmış olan çeşitli bulonlu ve kaynaklı birleşim detayları verilmiştir. Bu detayların bir örneği **Yönetmelik Şekil 4A.1**'de görülmektedir. Bu birleşim detayları, süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinde, kendilerine ait uygulama sınırları çerçevesinde kullanılabilirler, **Yönetmelik Tablo 4A.1**. Süneklik düzeyi normal çerçevelerin moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinde ise, söz konusu detaylar koşulsuz olarak kullanılabilirler.



Yönetmelik Şekil 4A.1. Alın Levhalı Bulonlu Kiriş-Kolon Birleşim Detayı

Yönetmelik TABLO 4A.1 – ALIN LEVHALI BULONLU KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM DETAYININ UYGULAMA SINIRLARI

Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği	≤ 750 mm
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	≥ 7
Kiriş başlık kalınlığı	≤ 20 mm
Kolon enkesit yüksekliği	≤ 600 mm
Bulon sınıfı	8.8 veya 10.9
Bulon öngerme koşulları	Tam öngerme
Alın levhası malzeme sınıfı	Fe 37
Başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

Bu örneklere uygun olarak oluşturulan birleşim detaylarının dayanım hesapları ve kapasite kontrol tahkikleri, süneklik düzeyi yüksek ve normal çerçeveler için, yönetmeliğin ilgili bölümlerinde verilen esaslara uygun olarak yapılır.

4.10. KAYNAKLAR

- ANSI/AISC 341-05 (2005) Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction Inc, Chicago
- DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- FEMA-350 (2000) Recommended Seismic Design Criteria For New Steel Moment-Frame Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC
- Özer E (2007) “Kapasite Tasarımı İlkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul, 257-266
- Paulay T and Priestley MJN (1992) Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Inc, New York