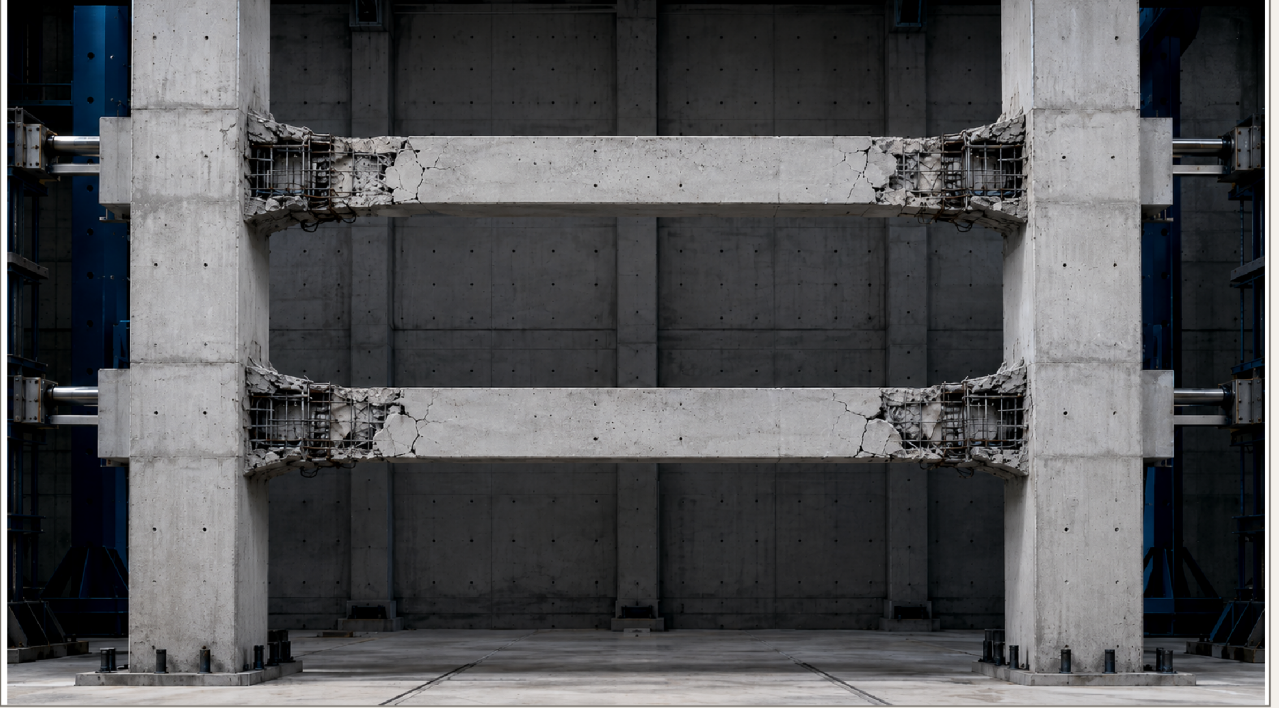




TBDY 2018

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş Prensibi Nedir?

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş ilkesi TBDY 2018'de nasıl uygulanır? Plastik mafsalların kirişlerde oluşması neden can güvenliği açısından kritiktir?



Depreme dayanıklı yapı tasarımında yalnızca kolon ve kirişlerin tek tek yeterli dayanıma sahip olması yeterli değildir. Taşıyıcı sistem doğrusal olmayan davranışa geçtiğinde **hangi elemanların önce plastikleşeceği ve plastik şekil değiştirmelerin bina boyunca nasıl dağılacığı** da kontrol edilmelidir.

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş ilkesi bu amaçla kullanılan temel kapasite tasarımı kurallarından biridir. Amaç, moment aktaran çerçevelerde plastikleşmenin mümkün olduğunca kiriş uçlarında gelişmesini teşvik etmek ve özellikle bir kattaki kolon uçlarında plastik mafsalların yoğunlaşmasıyla oluşabilecek kat mekanizması riskini azaltmaktır.

Bu yaklaşım, kolonların deprem boyunca mutlaka elastik kalacağını veya plastik mafsalların yalnızca kirişlerde oluşacağını garanti etmez. Esas amaç, kolonların kirişlere göre yeterli eğilme dayanımına sahip olmasını sağlayarak **istenmeyen kolon mekanizması yerine daha yaygın bir kiriş plastikleşme mekanizmasını teşvik etmektir**. Uluslararası deprem mühendisliği literatüründe de güçlü kolon-zayıf kiriş tasarımının temel amacı, doğrusal olmayan deformasyonların tek bir katta yoğunlaşmasını önlemek ve plastikleşmeyi bina yüksekliğine daha iyi dağıtmaktır.

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş Prensibi Nedir?

Moment aktaran betonarme bir çerçevede deprem sırasında kiriş ve kolon uçlarında büyük eğilme momentleri meydana gelir. Deprem şiddeti arttığında bazı kesitler elastik sınırı aşarak plastik davranış göstermeye başlayabilir.

Buradaki temel soru şudur: **Kiriş mi önce eğilme kapasitesine ulaşacak, yoksa kolon mu?**

Eğer kolonların eğilme kapasitesi kirişlerden düşükse, plastik mafsalların kolon uçlarında oluşması kolaylaşır. Özellikle aynı kattaki kolonların alt ve üst uçlarında plastikleşmenin yoğunlaşması durumunda, katın yatay deformasyonunun önemli bir kısmı bu katta toplanabilir ve bir **kat mekanizması** gelişebilir.

Güçlü kolon-zayıf kiriş yaklaşımında ise kolonların eğilme dayanımı kirişlerinkinden daha yüksek tutulur. Böylece doğrusal olmayan eğilme davranışının öncelikle kiriş uçlarında gelişmesi teşvik edilir.

Buradaki “zayıf kiriş” ifadesi, kirişin yetersiz veya dayanıksız tasarlanması anlamına gelmez. Kiriş yine bütün tasarım yüklerini güvenli biçimde taşımalıdır. “Zayıf” sözcüğü yalnızca **kolon ve kiriş arasındaki göreceli eğilme kapasitesini** ifade eder.

Yani amaç: Kirişi zayıflatmak değil, kolonu kirişe göre daha güçlü tutmaktır.

Plastik Mafsallar Neden Kirişlerde Oluşmalıdır?

Deprem sırasında plastik mafsal oluşması başlı başına bir tasarım hatası değildir. Süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerde belirli bölgelerde doğrusal olmayan davranış zaten tasarımın öngörülen bir parçasıdır.

Önemli olan plastik mafsalların **nerede ve hangi mekanizma içerisinde oluştuğudur.**

Kiriş uçlarında plastik mafsallar oluştuğunda, doğrusal olmayan deformasyonların farklı katlardaki çok sayıda kiriş ucuna yayılması mümkündür. Böylece yapı yüksekliği boyunca daha yaygın bir plastik mekanizma oluşabilir.

Buna karşılık kolon plastikleşmesinin belirli bir katta yoğunlaşması durumunda çok farklı bir davranış meydana gelebilir.

Bir kattaki kolonların hem alt hem üst uçlarında plastik mafsalların gelişmesi, o katın yatay deformasyon kapasitesinin hızla kullanılmasına ve görelî kat ötelemesinin o katta yoğunlaşmasına yol açabilir. Büyük görelî ötelemeler aynı zamanda ikinci mertebe, yani P-Delta etkilerini büyütür.

Bu nedenle deprem yönetmelikleri, moment aktaran sünek çerçevelerde mümkün olduğunca **kiriş mekanizmasını kolon mekanizmasına tercih eder.**

TBDY 2018 Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş Koşulu

TBDY 2018, bu prensibi Bölüm 7.3.5 altında “**Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu**” olarak düzenler.

Yönetmeliğe göre yalnız çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan ilgili taşıyıcı sistemlerde, bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, aynı düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki taşıma gücü momentlerinin toplamından en az %20 büyük olmalıdır.

TBDY 2018 Denklem 7.3:

$$M_{ra} + M_{r\ddot{u}} \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj})$$

şeklindedir.

Burada:

M_{ra} , düğüm noktasının altındaki kolonun ilgili uç taşıma gücü momentini,

$M_{r\bar{u}}$, düğüm noktasının üstündeki kolonun ilgili uç taşıma gücü momentini,

M_{ri} ve M_{rj} ise düğüm noktasına bağlanan kirişlerin kolon yüzlerindeki ilgili pozitif veya negatif taşıma gücü momentlerini ifade eder.

Kısaca:

$$\sum M_c \geq 1.2 \sum M_b$$

olmalıdır.

Yönetmeliğin istediği temel kapasite hiyerarşisi budur.

1.2 Katsayısı Ne Anlama Gelir?

Denklemdaki 1.2 katsayısı, kolonların moment kapasitelerinin kirişlerle yalnızca eşit olmasının yeterli olmadığını gösterir.

Eğer koşul yalnız:

$$\sum M_c \geq \sum M_b$$

şeklinde olsaydı, kolon ve kirişlerin teorik eğilme kapasiteleri birbirine çok yakın olabilirdi. Böyle bir durumda malzeme dayanımlarındaki değişimler, donatı miktarları, eksenel kuvvet değişimleri ve sistem davranışındaki belirsizlikler nedeniyle hangi elemanın önce plastikleşeceğini kontrol etmek daha zor olurdu.

TBDY bu nedenle kolon tarafında en az %20'lik bir kapasite farkı ister:

$$\frac{\sum M_c}{\sum M_b} \geq 1.2$$

Ancak bu katsayıyı yalnızca “çeliğin gerçek akma dayanımı beklenenden yüksek çıkabilir” şeklinde açıklamak doğru değildir.

1.2, yönetmeliğin kolon ve kirişler arasında istediği **minimum eğilme dayanımı hiyerarşisidir.**

Kolon ve Kiriş Moment Kapasiteleri Nasıl Karşılaştırılır?

Güçlü kolon-zayıf kiriş kontrolü, deprem analizinden elde edilen elastik moment taleplerinin basitçe birbirine bölünmesi değildir.

Karşılaştırılan büyüklükler **taşıma gücü momentleridir.**

TBDY’deki M_r değerleri, beton ve donatının tasarım dayanımları kullanılarak kesitin mevcut donatısına göre hesaplanan moment kapasiteleridir.

Bu nedenle: “Analizde kolon momenti kiriş momentinden büyük çıktı, güçlü kolon koşulu sağlanmıştır.” şeklinde bir değerlendirme doğru değildir.

Bir kolonun analiz momenti küçük olabilir ancak moment kapasitesi de küçük olabilir. Aynı şekilde bir kirişte analiz momenti büyük olsa bile kirişin taşıma gücü daha büyük olabilir.

Güçlü kolon-zayıf kiriş kontrolü **talep değil kapasite karşılaştırmasıdır.**

TBDY ayrıca Denklem 7.3’ün depremin her iki yönü için ayrı ayrı uygulanmasını ister.

Basit Bir Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş Hesabı

Bir kolon-kiriş düğüm noktasında kolon moment kapasitelerinin:

$$M_{ra} = 420 \text{ kNm}$$

ve

$$M_{r\ddot{u}} = 380 \text{ kNm}$$

olduğunu kabul edelim.

Kolonların toplam moment kapasitesi:

$$\sum M_c = 420 + 380 = 800 \text{ kNm}$$

olsun.

Aynı düğüme bağlanan kirişlerin ilgili moment kapasiteleri:

$$M_{ri} = 280 \text{ kNm}$$

ve

$$M_{rj} = 300 \text{ kNm}$$

ise:

$$\sum M_b = 280 + 300 = 580 \text{ kNm}$$

olur.

TBDY koşulu:

$$800 \geq 1.2(580)$$

yani:

$$800 \geq 696$$

şeklindedir.

Koşul sağlanmaktadır.

Kolon/kiriş kapasite oranı da:

$$\frac{800}{580} \approx 1.38$$

olarak bulunur.

Bu değer 1.2'den büyük olduğu için düğüm noktası Denklem 7.3'ü sağlar.

Ancak bu kontrol yalnızca ilgili deprem yönlerinden biri içindir. Yönetmelik koşulun depremin diğer yönü için de ayrıca kontrol edilmesini ister.

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş Koşulu Nerelerde Aranmaz?

TBDY 2018 Denklem 7.3 için üç özel durum tanımlar.

İlk olarak, düğüm noktasına birleşen kolonların **her ikisinde de**:

$$N_d \leq 0.10 A_c f_{ck}$$

koşulu sağlanıyorsa Denklem 7.3'ün sağlanması zorunlu değildir.

İkinci olarak, **tek katlı binalarda** ve çok katlı binalarda **kolonun üst kata devam etmediği düğüm noktalarında** Denklem 7.3 kontrol edilmez.

Üçüncü olarak, kirişlerin bağlandığı bir perdenin zayıf doğrultuda kolon gibi çalışması durumunda da Denklem 7.3'ün sağlanıp sağlanmadığına bakılmaz.

Burada özellikle ikinci madde için “tek katlı binada kat mekanizması oluşamaz” gibi bir gerekçe üretmek doğru değildir.

Tek katlı bir çerçevede de kolon plastikleşmesi ve yatay mekanizma oluşabilir. Yönetmeliğin söylediği şey yalnızca bu düğümlerde **Denklem 7.3 kontrolünün aranmadığıdır**.

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş Koşulu Sağlanmazsa Ne Olur?

TBDY 2018 açısından en önemli noktalardan biri, Denklem 7.3'ün **her tekil düğüm noktasında mutlaka sağlanmasının zorunlu olmamasıdır**.

Yönetmelik bunun için kat düzeyinde ek bir kontrol tanımlar.

Herhangi bir i. katta:

$$\alpha_i = \frac{V_{is}}{V_{ik}}$$

oranı hesaplanır.

Burada V_{ik} , ilgili katta göz önüne alınan deprem doğrultusundaki **tüm kolonların kesme kuvvetleri toplamıdır**.

V_{is} ise Denklem 7.3'ün hem alt hem de üst düğüm noktalarında sağlandığı kolonların kesme kuvvetleri toplamıdır.

TBDY'nin koşulu:

$$\alpha_i \geq 0.70$$

şeklindedir.

Başka bir ifadeyle, ilgili kattaki kolonların deprem kesme kuvvetlerinin yeterince büyük bir bölümü güçlü kolon-zayıf kiriş koşulunu sağlayan kolonlar tarafından taşıyorsa, bazı düğüm noktalarında Denklem 7.3'ün sağlanmamasına izin verilebilir.

Eğer:

$$0.70 \leq \alpha_i \leq 1.00$$

ise yönetmelik ilave kuvvet büyütme öngörür.

Denklem 7.3'ü hem alt hem de üst düğüm noktasında sağlayan kolonlara etkiyen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri:

$$\frac{1}{\alpha_i}$$

katsayısı ile büyütülür.

Böylece güçlü kolon koşulunu sağlayan kolonlara ek dayanım talebi getirilir.

Ancak:

$$\alpha_i < 0.70$$

olursa durum daha farklıdır.

TBDY, yalnız çerçevelerden veya perde-çerçeve birleşiminden oluşan ilgili sistemlerde bütün çerçevelerin artık **süneklik düzeyi sınırlı çerçeve** olarak değerlendirilmesini ister. Bu çerçevelerin süneklik düzeyi yüksek perdelerle birlikte karma sistem olarak kullanılması mümkündür.

Dolayısıyla: “Bir düğüm Denklem 7.3’ü sağlamadı, bina yönetmeliğe aykırıdır.” şeklinde bir sonuç her durumda doğru değildir.

TBDY konuyu yalnız düğüm bazında değil, **kat ve taşıyıcı sistem düzeyinde** de değerlendirir.

Sonuç

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş ilkesi, moment aktaran betonarme çerçevelerde doğrusal olmayan davranışın kontrol edilmesi için kullanılan temel kapasite tasarımı kurallarından biridir.

TBDY 2018’e göre temel koşul:

$$M_{ra} + M_{r\ddot{u}} \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj})$$

şeklindedir.

Bu koşulla kolonların toplam eğilme kapasitesinin, aynı düğüm noktasına birleşen kirişlerin toplam eğilme kapasitesinden en az %20 daha büyük olması hedeflenir. Denklem her deprem doğrultusunda ve depremin her iki yönü için ayrı ayrı kontrol edilir; kolon kapasiteleri hesaplanırken moment kapasitesini en olumsuz etkileyen eksenel kuvvet dikkate alınır.

Amaç kolonların hiçbir zaman hasar almamasını garanti etmek değildir. Amaç, plastik deformasyonların belirli bir kattaki kolonlarda yoğunlaşmasını ve kat mekanizması oluşmasını zorlaştırarak, daha yaygın ve sünek bir kiriş plastikleşme mekanizmasını teşvik etmektir.

Ayrıca Denklem 7.3’ün bazı düğüm noktalarında sağlanmaması otomatik olarak tasarımın geçersiz olduğu anlamına gelmez. TBDY, α_i oranı üzerinden kat düzeyinde ek bir kontrol yapar ve koşulun yeterli sayıda kolonda sağlanmasına bağlı olarak farklı tasarım hükümleri uygular.

Bu nedenle güçlü kolon-zayıf kiriş prensibi yalnızca tek bir moment oranı kontrolü değil; **taşıyıcı sistemin deprem sırasında nasıl plastikleşeceğini yönlendiren sistem düzeyinde bir tasarım yaklaşımıdır.**

Kaynaklar

1. Prof. Dr. Haluk Sucuoğlu & Prof. Dr. Sinan Akkar (2014). Deprem Mühendisliği Temel İlkeleri. ODTÜ Yayıncılık.
2. Prof. Dr. Ahmet Topçu. Betonarme II Ders Notları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Bizi Takip Edin

**LinkedIn**

Yapı Tasarım Akademisi

**YouTube**

Yapı Tasarım Akademisi

**Apple Podcasts**

Yapısal Podcast

**Instagram**

@yapitasarimakademisi

**Spotify**

Yapısal Podcast

**X (Twitter)**

@AkademisiYap

Bu belge eğitim amaçlı hazırlanmıştır. Proje ve uygulama kararlarında güncel yönetmelik ve ilgili standartlara başvurunuz. Hata bildirimi için: iletisim@yapitasarimakademisi.com