



TBDY 2018

Kapasite Tasarımı İlkesi Nedir?

Kapasite tasarımı ilkesi, güçlü kolon-zayıf kiriş prensibi, kesme güvenliği ve TBDY 2018'e göre depremde kontrollü hasar hiyerarşisinin mühendislik temelleri.



Kapasite tasarımı, deprem mühendisliğinde yapının yalnızca ne kadar dayanıklı olacağını değil, **dayanımı aşıldığında nasıl davranacağını** da kontrol etmeyi amaçlayan temel tasarım yaklaşımıdır. Büyük bir depremde taşıyıcı sistemin bütün elemanlarını elastik tutmak çoğu bina için ekonomik veya gerekli değildir. Bunun yerine belirli bölgelerde sünek doğrusal olmayan davranışa izin verilirken, kesme kırılması veya istenmeyen kat mekanizmaları gibi gevrek ve tehlikeli göçme biçimlerinin oluşması önlenmeye çalışılır.

Başka bir ifadeyle kapasite tasarımında mühendis, yapının dayanım sınırına ulaştığında hangi elemanların akmasına izin verileceğini ve hangi elemanların bu akmadan doğacak kuvvetlere karşı korunacağını önceden belirler. Amaç hasarı tamamen ortadan kaldırmak değil, **hasarın kontrollü ve öngörülebilir bir mekanizma içerisinde gelişmesini sağlamaktır.**

Kapasite Tasarımı Nedir?

Kapasite tasarımının temelinde basit bir fikir vardır: Bir taşıyıcı sistemde deprem sırasında doğrusal olmayan davranış kaçınılmaz olacaksa, bu davranış rastgele yerlerde ortaya çıkmamalıdır.

Bazı bölgeler büyük plastik şekil değiştirmeler yapabilecek şekilde tasarlanırken, sünek olmayan göçme mekanizmalarının oluşabileceği bölgeler daha yüksek kuvvetlere göre boyutlandırılır.

Bu nedenle kapasite tasarımı klasik anlamdaki: “Her elemanı deprem hesabından çıkan kuvvete göre boyutlandır.” yaklaşımından farklıdır.

Bir elemanın veya bağlantının tasarım kuvveti bazı durumlarda doğrudan analiz sonucunda elde edilen kuvvet değildir. Sistemde izin verilen sünek bölgenin ulaşabileceği **gerçekçi üst dayanım seviyesi** dikkate alınarak, bu durumda diğer elemanlara aktarılabilecek kuvvet hesaplanır.

Örneğin bir betonarme kirişin uçlarında eğilme plastik mafsalları oluşmasına izin veriliyorsa, kirişin kesme donatısı yalnız doğrusal analizden elde edilen kesme kuvvetine göre tasarlanmaz. Kiriş uçlarının eğilme kapasitelerine ulaşması halinde meydana gelebilecek kesme kuvveti de dikkate alınır.

Kapasite tasarımının özü tam olarak budur: **Sünek mekanizmanın kapasitesini belirle, sünek olmayan mekanizmaları bu kapasitenin oluşturabileceği kuvvetlere karşı koru.**

Kapasite Tasarımının Temel Amacı: Sünek Göçme Mekanizması

Depreme dayanıklı tasarımda yalnızca dayanım değil, **şekil değiştirme kapasitesi** de önemlidir.

Bir yapı elastik sınırını aştığında iki temel davranış ortaya çıkabilir:

- yapı büyük plastik deformasyonlar yaparak yük taşımaya devam edebilir,
- veya sınırlı deformasyon sonrasında ani dayanım kaybına uğrayabilir.

Kapasite tasarımı ilk davranışı tercih eder.

Sünek bir taşıyıcı sistem, bazı kesitlerde akma meydana geldikten sonra da önemli miktarda deformasyon yapabilir. Böylece yapının deprem sırasında ihtiyaç duyduğu plastik şekil değiştirme kapasitesi sınırlı ve önceden belirlenmiş bölgelerde sağlanabilir.

Buradaki amaç bütün taşıyıcı sistemi elastik tutmak değildir. Tam tersine, belirli bölgelerde plastikleşme **bilinçli olarak kabul edilir**.

Önemli olan plastikleşmenin:

- yeterli sünekliğe sahip bölgelerde oluşması,
- yapıya yayılmış bir mekanizma meydana getirmesi,
- ani dayanım kaybı oluşturan gevrek mekanizmaların daha önce devreye girmemesidir.

Bu yaklaşım özellikle yüksek süneklikli taşıyıcı sistemlerin tasarımında temel öneme sahiptir.

Kapasite Tasarımında Hasar Hiyerarşisi

Kapasite tasarımı aslında bir **dayanım hiyerarşisi** oluşturur.

Taşıyıcı sistemde bazı mekanizmaların diğerlerinden önce oluşması istenir.

Basitleştirilmiş olarak şu tür bir sıra düşünülebilir:

Kiriş eğilme plastikleşmesi → kolon eğilme mekanizmasından önce

Eğilme plastikleşmesi → kesme kırılmasından önce

Sünek eleman davranışı → gevrek birleşim veya bağlantı göçmesinden önce

Bu hiyerarşinin kurulabilmesi için yalnızca elemanların nominal tasarım kuvvetlerinin karşılaştırılması yeterli değildir.

Çünkü gerçek bir elemanın taşıma kapasitesi, hesapta kullanılan tasarım dayanımından daha yüksek olabilir.

Örneğin betonarme bir kiriş hesapta ihtiyaç duyulandan biraz daha fazla donatı içeriyorsa veya kullanılan çeliğin gerçek akma dayanımı karakteristik değerinden yüksekse kirişin gerçek eğilme kapasitesi hesapta beklenenden daha büyük olabilir.

Bu durumda kirişin ulaşabileceği daha yüksek eğilme kapasitesi, kolonlara, birleşim bölgelerine ve kirişin kendisine daha yüksek kesme kuvvetleri aktarabilir.

Kapasite tasarımı bu nedenle **analizden çıkan kuvveti değil, izin verilen sünek mekanizmanın gerçekten geliştirebileceği kuvvet seviyesini** dikkate alır.

Güçlü Kolon – Zayıf Kiriş İlkesi

Moment aktaran betonarme çerçevelerde kapasite tasarımının en bilinen uygulamalarından biri **güçlü kolon–zayıf kiriş** ilkesidir.

Temel amaç, kolon-kiriş birleşimlerinde kirişlerin eğilme kapasitesine kolonlardan önce ulaşmasını teşvik etmektir.

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

Kesme Güvenliği ve Kapasite Tasarımı

Kapasite tasarımının en önemli uygulamalarından biri **kesme güvenliği**dir.

Bir kirişin eğilme davranışının sünek olması için, kiriş uçlarında plastik mafsallar oluşmadan önce kesme kapasitesinin tükenmemesi gerekir.

Bu nedenle kesme hesabında yalnızca doğrusal deprem analizinden elde edilen kesme kuvvetini kullanmak yeterli değildir.

Kirişin iki ucunun da eğilme kapasitesine ulaşabildiği bir durum düşünelim. Uçlarda oluşabilecek kapasite momentleri, kiriş boyunca ilave bir kesme kuvveti meydana getirir.

TBDY 2018’de süneklik düzeyi yüksek betonarme kirişlerin enine donatı hesabına esas kesme kuvveti bu mantıkla belirlenir:

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{M_{pi} + M_{pj}}{\ell_n}$$

Burada:

- V_e : kapasite tasarımında esas alınan kesme kuvveti,
- V_{dy} : düşey yüklerden oluşan basit kiriş kesme kuvveti,
- M_{pi} ve M_{pj} : kiriş uçlarındaki kapasite momentleri,
- ℓ_n : kirişin net açıklığıdır.

Bu denklem kapasite tasarımının temel mantığını çok açık gösterir.

Deprem analizinden: “Kirişte şu kadar kesme kuvveti oluşuyor.” demek yerine: “Kirişin iki ucunda da beklediğimiz sünek eğilme mekanizması gerçekten oluşursa, bu kirişte oluşabilecek kesme kuvveti ne kadar olur?” sorusu sorulur. Kesme donatısı daha sonra bu kuvvete göre tasarlanır.

Dayanım Fazlalığı Katsayısı D ile Kapasite Tasarımının İlişkisi

Kapasite tasarımı ile yakından ilişkili bir başka kavram **Dayanım Fazlalığı Katsayısı D** ’dir.

TBDY 2018, D katsayısını akma dayanımının tasarım dayanımına göre fazlalığını temsil eden bir katsayı olarak tanımlar.

Bir sistemin gerçek dayanımı, tasarımda esas alınan minimum dayanımdan daha yüksek olabilir. Bu fazlalığın sünek mekanizma açısından genellikle olumlu olan etkisi, korunması gereken gevrek mekanizmalardaki kuvvet talebini de artırabilir.

Dolayısıyla gevrek davranışa karşı tasarlanan bölgelerde bu dayanım fazlalığının göz önüne alınması gerekir.

TBDY 2018’de Kapasite Tasarımı

TBDY 2018’de kapasite tasarımı tek bir denklem veya tek bir bölüm altında verilen bağımsız bir kontrol değildir.

Yönetmeliğin birçok farklı kuralında aynı tasarım felsefesi görülür.

Bunlardan bazıları:

- kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu,
- kirişlerin kesme güvenliğinin kapasite momentlerine göre kontrol edilmesi,
- kolonların kesme güvenliği,
- kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kesme güvenliği,
- perdelerin kapasite tasarımına göre kesme kontrolü,
- sünek olmayan davranışlarda Dayanım Fazlalığı Katsayısı’nın kullanılması,
- plastikleşmesi beklenen bölgelerde özel deprem donatılarının düzenlenmesidir.

Bütün bu kuralların ortak amacı aynıdır:

İzin verilen sünek mekanizma gerçekleşmeden önce istenmeyen gevrek bir mekanizmanın devreye girmesini önlemek.

Kapasite Tasarımı Olmazsa Ne Olur?

Bir taşıyıcı sistem yeterli dayanım ve sünekliğe sahip elemanlardan oluşsa bile doğru bir dayanım hiyerarşisi kurulmamışsa deprem davranışı beklenenden çok farklı olabilir.

Örneğin kirişin eğilme kapasitesi yüksek, ancak kesme kapasitesi yetersizse kiriş plastik mafsallık geliştirip sünek deformasyon yapamadan kesme kırılmasına uğrayabilir.

Benzer şekilde kirişleri çok güçlü, kolonları görece zayıf bir çerçevede plastikleşme kirişlere yayılmak yerine kolonlarda yoğunlaşabilir ve kat mekanizması gelişebilir.

Birleşim bölgesi yeterince güçlü değilse kiriş veya kolonların beklenen sünek davranışına ulaşılmadan düğüm bölgesinde ciddi kesme hasarı meydana gelebilir.

Bu örneklerin ortak özelliği şudur:

Elemanların tek tek yeterli görünmesi, yapının doğru göçme mekanizmasına sahip olduğunu garanti etmez.

Kapasite tasarımı eleman tasarımını sistem davranışıyla ilişkilendirir.

Sonuç

Kapasite tasarımı, deprem mühendisliğinde yalnızca elemanların ne kadar güçlü olduğunu değil, **hangi sırayla kapasitelerine ulaşacağını** kontrol eden tasarım yaklaşımıdır.

Büyük depremlerde bazı elemanlarda doğrusal olmayan davranışın oluşması kabul edilebilir. Ancak bu plastikleşmenin nerede oluşacağı ve hangi mekanizmaların bundan önce engellenmesi gerektiği tasarımın bir parçasıdır.

Bu nedenle kapasite tasarımının temel mantığı şu şekilde özetlenebilir:

Sünek bölgelerin kontrollü biçimde plastikleşmesine izin ver; gevrek bölgeleri ise bu plastikleşmenin oluşturabileceği gerçek kuvvetlere karşı koru.

Güçlü kolon–zayıf kiriş ilkesi, kapasite momentlerinden elde edilen kesme kuvvetleri, birleşim bölgesi güvenliği, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve özel deprem detaylandırması bu temel prensibin farklı uygulamalarıdır.

İyi bir deprem tasarımında amaç yapının hiç hasar görmemesi değildir. Amaç, şiddetli deprem etkileri altında hasarın **öngörülen, sünek ve kontrol edilebilir bir mekanizma içerisinde gelişmesini** sağlamaktır.

Kaynaklar

1. Prof. Dr. Nuray Aydınoglu: TBDY-2018 Deprem Yönetmeliğinin Gelişimi ve Performansa Göre Tasarım.
2. Prof. Dr. Zekai Celep: Deprem Mühendisliğine Giriş.
3. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı: Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar.

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