

Yapılarda Klasik ve Deprem Yalıtımlı Tasarımdaki Temel Farklar

(2019 Yeni Deprem Yönetmeliği Yaklaşımı)

Dünya’da güncel olarak kullanılan, uluslararası olarak kabul edilen ve modern denebilecek tüm deprem yönetmeliklerinde sabit mesnetli ankastre (klasik yapı) ve deprem yalıtımlı yapı tasarımı ile ilgili esaslar ayrı ayrı bulunmaktadır. Bu yönetmelikler arasında Eurocode (Avrupa şartnamesi), ASCE (Amerikan şartnamesi) ve 2019 yılında yürürlüğe girmiş olan Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar (ya da kısaca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – TBDY2019) da bulunmaktadır.

Deprem yönetmelikleri, yapılan devamlı çalışmalar, yaşanan depremler ile birlikte global olarak gelişen bilgi birikimi, güncel teknolojiler ve yaklaşımlar ile birlikte sürekli olarak güncellenmektedir. Örneğin, Türkiye Deprem Yönetmelikleri, 1998, 2007 ve son olarak 2019 yıllarında güncellenmiştir. Benzer şekilde ASCE de 2005, 2010 ve 2016 yıllarında güncel bilgi ve teknolojilere göre modernleştirilmiştir.

Diğer uluslararası yönetmelik ve şartnamelerde daha önceki yıllarda da kendine yer buluyor olmasına rağmen, deprem yalıtımı ile ilgili esaslar Türkiye Deprem Yönetmeliği’ne 2019 yılında ilk kez dahil edilmiştir. Böylece deprem yalıtımlı yapı tasarımının temel gereklilikleri ülkemiz koşulları için de belirlenmiştir. Birkaç küçük farklılık olsa da genel yaklaşım gereği hem deprem yalıtımlı hem de ankastre binaların (klasik yapı) tasarım esasları tüm bu deprem yönetmeliklerinde birbirlerine oldukça benzerdir.

Bu doküman, 2019 yılında yürürlüğe girmiş olan Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar (ya da kısaca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – TBDY2019) yönetmeliği özelinde, klasik ve deprem yalıtımlı yapıların tasarım ve performans hedefleri ile ilgili bilgileri özetlemektedir.

Deprem Etkileri Altında Klasik Bir Yapının Yönetmeliğe Uygun Tasarımı

Tüm yönetmelik ve şartnamelerde klasik bir yapının tasarım depremi altında (2019 Türkiye Deprem Yönetmeliği’nde DD-2 olarak belirtilen seviye) hasar alacağı kabulü yapılır ve bu hasarın kontrollü bir şekilde oluşabilmesi için “kapasite tasarımı” denilen yöntem uygulanır. Kapasite tasarımı ile “kuvvetli kolon-zayıf giriş” konsepti devreye girer ve yüksek sünekliğe sahip (ductile) yapılar elde edebilmek amacıyla özellikle kolon giriş bağlantı noktalarındaki donatı yerleşimleri bu tasarıma uygun olarak ayarlanır. Bu sayede, tasarım depremi altında yapının hangi elemanlarında plastik mafsallık (bir başka deyişle hasar) oluşacağı belirlenmiş olur. Bunun sonucunda da tasarım depremi altında hasar görecektir, ama insanların can güvenliğini sağlayacak (yıkılmayacak) yapılar tasarlanabilmektedir.

Deprem yönetmeliklerinde bulunan kuvvet azaltma katsayıları (R) tam da bu amaç için kullanılmaktadır. Yapının, deprem etkileri altında gerçekte hissedeceği kuvvetler belli bir oranda (seçilen R katsayısına göre) azaltılarak tasarım buna göre yapılır. Bu yaklaşımın temeli, yapısal elemanların “plastik” olarak davranacağı kısma geçeceği kabulüne dayanır. Yani, yapısal elemanlar deprem anında elastik davranmayacaklar ve hasar görecektir. Bu hasar, kapasite tasarımı ile kontrol edilmekte ve binanın göçmemesi sağlanmaktadır. Tüm deprem yönetmelikleri, klasik yapılar için bu yaklaşımı benimsemektedir.

2019 Türkiye Deprem Yönetmeliği’nde dört adet tasarım depremi seviyesi belirlenmiştir. Deprem seviyelerinin açıklamaları Şekil 1’de gösterilmiştir. Binaların, deprem etkileri altında sağlayabileceği hedef performans seviyeleri Şekil 2’de, klasik bina tipine bağlı olarak binanın

sağlaması gereken performans hedefleri ise Şekil 3'te sunulmuştur. Bu şekillerin tamamı 2019 yılında yürürlüğe girmiş olan Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar dokümanından alınmıştır.

2.2. DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYLERİ

Bu Yönetmelik kapsamında aşağıda belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

2.2.1. 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 nitelendirir. Bu deprem yer hareketi, *gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.2. 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 nitelendirir. Bu deprem yer hareketi, *standart tasarım deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.3. 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 nitelendirir.

2.2.4. 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 nitelendirir. Bu deprem yer hareketi, *servis deprem yer hareketi* olarak da adlandırılmaktadır.

Şekil 1: 2019 Türkiye deprem yönetmeliğinde bulunan deprem yer hareketi düzeyleri

3.4. BİNA PERFORMANS DÜZEYLERİ

Bina Performans Hedefleri'nin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için *Bina Performans Düzeyleri* 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, 3.4.4'te tanımlanmıştır.

3.4.1. Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.

3.4.2. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

3.4.3. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.

3.4.4. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

Şekil 2: 2019 Türkiye deprem yönetmeliğinde tanımlanan bina performans düzeyleri

Tablo 3.4. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Binalar İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Öntüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Öntüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

⁽¹⁾ $BYS > 3$ olan binalarda uygulanacaktır.

⁽²⁾ $BYS = 2,3$ olan binalarda uygulanacaktır.

⁽³⁾ Ön tasarım olarak yapılacaktır.

⁽⁴⁾ $I = 1.5$ alınarak uygulanacaktır.

⁽⁵⁾ Bkz. 3.5.2.2.

Şekil 3: Klasik binalar için 2019 Türkiye deprem yönetmeliğinde belirlenmiş olan bina performans hedeflerinin deprem düzeyi ve taşıyıcı sisteme göre detaylandırılması

Şekil 1’de yer alan maddelerden anlaşılacağı gibi, klasik bir yapının tasarım deprem düzeyi minimum DD-2 olarak belirlenir. Şekil 2’deki açıklamalara ve Şekil 3’te yer alan tabloya bakıldığında, tablonun (a) maddesinde yer alan “yeni yapılacak yerinde dökme betonarme” bir yapı için, yapının “ileri” performans hedefine göre tasarlanması halinde binanın performans hedefi hem DD-1 hem de DD-2 seviyelerindeki depremler için KH, yani Kontrollü Hasar, bir başka deyişle “Can Güvenliği” olmaktadır. Bu, yönetmeliğin izin verdiği minimum hedeftir ve yapı sahibinin talebi üzerine daha ileri bir performans hedefi seçilebilecektir. Ancak, standart olarak yapılan tüm uygulamalar “Kontrollü Hasar” performans hedefi ile yapılmaktadır.

Yani, en güncel deprem yönetmeliğine tamamen uygun olarak tasarlanmış ve yine aynı yönetmelikteki tüm uygulama şartlarını da sağlayan klasik bir yapıda hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlar, kendi tasarlandığı depremi (DD-2) yaşadığı zaman hasar alacaktır (KH). Bu hasar düzeyi hafif, orta ya da ağır hasar olabilecektir ancak yapı yıkılmayacak ve içinde bulunan insanlar güvenle tahliye edilebilecektir. Yapı, deprem sonrası kullanılabilir durumda olmayacaktır. Hasar düzeyine bağlı olarak tamirat yapılması ya da tamamen yıkılması gerekebilecektir.

Deprem Etkileri Altında Deprem Yalıtımlı Bir Yapının Yönetmeliğe Uygun Tasarımı

Klasik yapının aksine, deprem yalıtımlı bir yapıda R katsayıları kullanılmaz ya da çok düşük alınır (1.2, 1.5 gibi). Bu sayede, yapısal elemanların tasarım depremini sıfır hasar ile atlatması sağlanır. Benzer şekilde, deprem yalıtım cihazları ve yalıtım cihazlarının altında kalan yapısal elemanlar (örneğin temel ve temel üstü kolonları) da maksimum deprem altında (2019 Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde DD-1 olarak belirtilen seviye) tamamen elastik kalacak şekilde ($R=1$) tasarlanır. Böylece, yapının tamamında yapısal elemanlar (kolon, kiriş, temel, perde, döşeme) herhangi bir depremi sıfır hasar ile atlatırlar. Şekil 4'te, 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde bulunan, deprem yalıtımlı binalar ile ilgili performans hedefleri yer almaktadır.

Tablo 3.5. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Deprem Yalıtımlı Binalar için Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları

(a) Yeni Yapılacak Deprem Yalıtımlı Binalar – Üstyapı

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	SH	DGT	KK	DGT
DD-1	—	—	—	—

(b) Deprem Yalıtımı Yapılarak Güçlendirilecek Mevcut Binalar – Üstyapı

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	KH	DGT	SH	DGT
DD-1	—	—	—	—

(c) Yeni Yapılacak ve Güçlendirilecek Deprem Yalıtımlı Binalar – Yalıtım Sistemi ve Altyapı

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-2	—	—	—	—
DD-1	KK	ŞGDT ⁽¹⁾ -DGT ⁽²⁾	KK	ŞGDT ⁽¹⁾ -DGT ⁽²⁾

⁽¹⁾ Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.

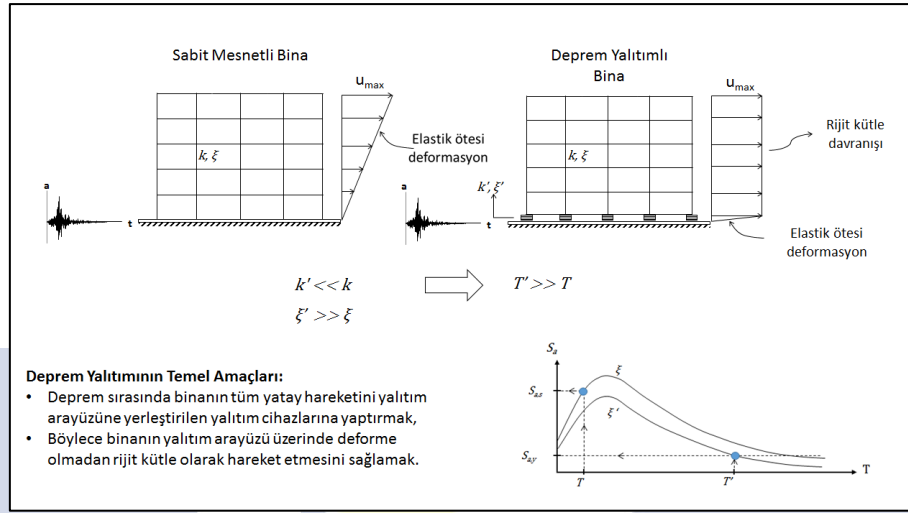
⁽²⁾ Altyapı için uygulanacaktır.

Şekil 4: Deprem yalıtımlı binalar için 2019 Türkiye deprem yönetmeliğinde belirlenmiş olan bina performans hedeflerinin deprem düzeyi ve taşıyıcı sisteme göre detaylandırılması

Şekil 4'te yer alan tablodan da görüldüğü gibi, deprem yalıtımlı yapılar, tasarım depremi olan DD-2 seviyesinde, yine “ileri” performans hedefi için KK (Kesintisiz Kullanım), yani sıfır hasar prensibi ile tasarlanırlar. Deprem yalıtım cihazları ve alt yapı ise daha da üstün olacak şekilde, o bölgede olması beklenen maksimum deprem altında dahi Kesintisiz Kullanım hedefi ile tasarlanırlar. Böylece, altyapı elemanları, yalıtım cihazları ve üst yapının kendisi, o bölgede beklenen maksimum depremi hasarsız olarak atlatır ve bina kullanımına devam eder.

Buna ek olarak, deprem yalıtımı binaya gelen kat ivmelerini de çok ciddi ölçüde azaltmaktadır. Bu, deprem yalıtımının temel çalışma prensibi ile açıklanabilir. Hem, yalıtım sisteminin büyük periyotlu oluşu hem de yalıtım cihazları ile elde edilebilen yüksek sönüm oranları sayesinde üst yapıda hissedilen ivmeler ve göreceli kat ötelenmeleri çok düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu

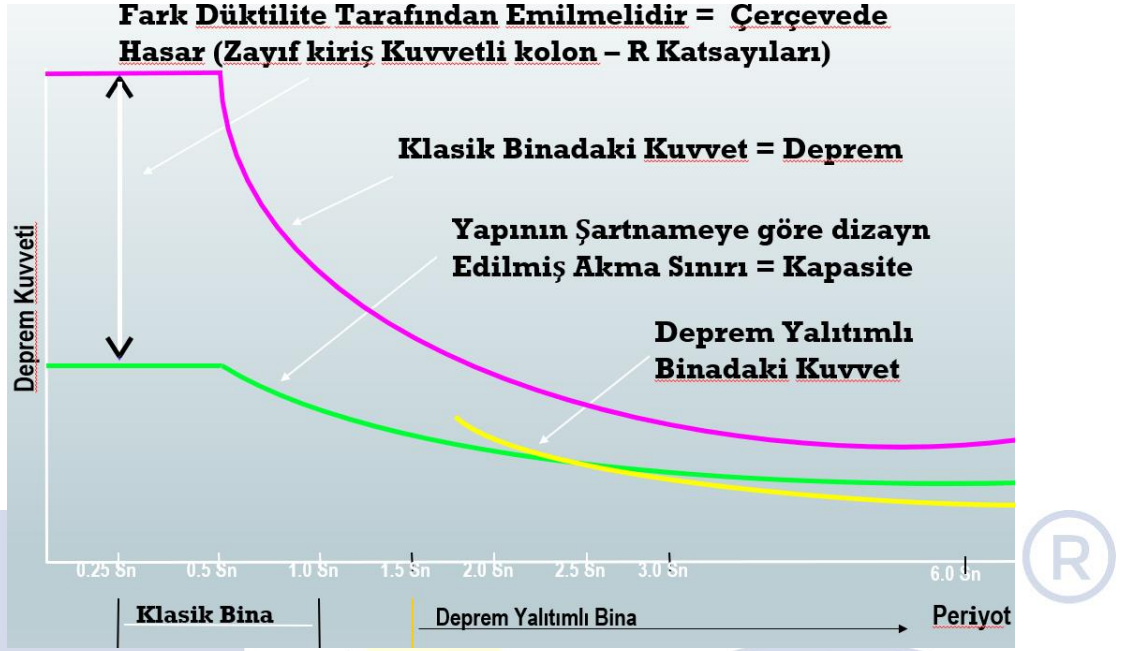
da yapısal olmayan elemanların da olası bir maksimum depremi sıfır hasar ile atlattığını sağlamaktadır. Bu davranışın detayları Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5: Sabit mesnetli klasik bir yapı ile deprem yalıtımlı bir yapının deprem anındaki davranışlarının şematik gösterimi

Yani, yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış ve uygulanmış deprem yalıtımlı bir yapı, o bölgede beklenen tasarım depremini tamamen hasarsız olarak atlatacaktır. Yapıda herhangi bir tamirat ihtiyacı olmamasının yanı sıra yapı kesintisiz olarak kullanıma devam edebilecektir.

Deprem şartname ve yönetmeliklerinde bulunan R katsayılarının yapı tasarımına etkisi ile ilgili bir gösterim Şekil 6'da bulunmaktadır. Bu şekil yaklaşık değerler için oluşturulmuştur ve her yapı için farklılık gösterebilecektir, ancak temel prensibi anlatmaktadır. Bu şekilde pembe eğri, bir bölge için oluşturulmuş olan ivme spektrumudur. Yeşil eğri, R katsayıları kullanılarak yapının süneklik düzeyine göre pembe eğrinin azaltılması ile elde edilen tasarım spektrumudur. Sarı eğri ise deprem yalıtımı uygulanmasının neticesinde, başka herhangi bir azaltma katsayısı kullanılmadan elde edilen ivme spektrumudur. Ayrıca, 10 kata kadar klasik bir yapının doğal periyotları da 1.5 saniyeleri geçmemekte, yani olası bir depremde en yüksek ivmeleri (ve dolayısıyla kuvvetleri) hissetmektedir. Deprem yalıtımı ise üst yapının periyodunu otomatikman 2 saniye ve üzerine büyütmemektedir. Ek olarak %5'ler seviyesinde olan sönüm oranını da %20 ve üzerine çıkardığı için binaların tamamen elastik olarak tasarlanabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 6: Deprem şartname ve yönetmeliklerinde bulunan R katsayılarının yapı tasarımına etkisi

Teknolojik İzolatör Sistemleri