

BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM

1. Giriş

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesine yönelik olarak pratik uygulamalar yapılmaktadır. Ancak, diğer bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin bulunmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni inşa edilecek binalar için geçerli olan yönetmelik esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılında, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm (**Bölüm 13**) eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmıştır.

Aşağıda, tamamlanma aşamasına gelmiş olan söz konusu çalışmaların bazı sonuçları hakkında bilgi verilecektir.

2. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirmenin Temel İlkeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. *Dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme* adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve lineer teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini gözönüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirme esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri akımından lineer olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

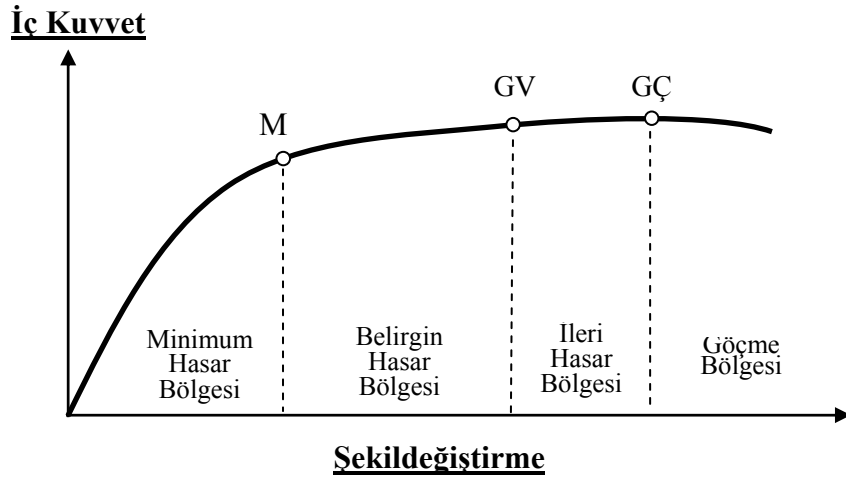
3. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *minimum hasar sınırı (M)*, *güvenlik sınırı (GV)* ve *göçme sınırı (GÇ)* dir. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışı, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışını tanımlamaktadır, Şekil 1.

Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitleri **M**' ye ulaşmayan elemanlar *minimum hasar* bölgesinde, **M** ile **GV** arasında kalan elemanlar *belirgin hasar* bölgesinde, **GV** ve **GÇ** arasında kalan elemanlar *ileri hasar* bölgesinde, **GÇ**'yi aşan elemanlar ise *göçme* bölgesinde kabul edilir.



Şekil 1 Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Kesit Hasar Tanımları

Aşağıda tanımlanan, lineer veya lineer olmayan yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve şekildeğiştirmelerin, yukarıda verilen sınır değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hasar bölgelerine karar verilir.

Eleman Hasar Tanımları

Eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı kesiti belirler. Eleman hasarları için yukarıdaki tanımlar aynen geçerlidir.

4. Bina Deprem Performans Seviyeleri

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapı sisteminde oluşması beklenen hasarın durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Deprem geçirmiş binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı tanımlar kullanılabilir.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi: Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi: Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlar hasarlı olmakla birlikte dolgu duvarlar yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir, ancak gözle farkedilebilir düzeyde değildir.

Göçmenin Önlendiği Performans Seviyesi: Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yükleri taşımak

için yeterlidir, ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

Göçme Durumu: Yapı uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyen elemanlar düşey yükleri taşıyabilmektedir; fakat rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

5. Deprem Hareketi

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda gözönüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem hareketleri tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

- 1- *Servis (kullanım) depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 75 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.
- 2- *Tasarım depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 500 yıldır. Bu deprem 1998 Türk deprem yönetmeliğinde esas alınmaktadır.
- 3- *En büyük deprem* : 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık 1.50 katıdır.

6. Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bir bina için öngörülen yapısal performans, *performans hedefi* olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarının performans seviyeleri (düzeyleri) ile tanımlanır. Bir yapı için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir.

Aşağıdaki tabloda, yönetmelikte öngörülen çok seviyeli performans hedefi için bir örnek verilmiştir.

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Deprem Etkisi</i>		
	50 yılda % 50	50 yılda % 10	50 yılda % 2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

HK: Hemen Kullanım, **CG:** Can Güvenliği, **GÖ:** Göçmenin Önlenmesi

7. Yapısal Kapasitenin Belirlenmesi

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki temel parametresi *istem* ve *kapasite* dir. İstem (talep) yapıya etkiyen deprem yer hareketini, kapasite ise yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir.

Doğrusal elastik yöntemlerde, yapı elemanlarının kapasiteleri elemanların iç kuvvet taşıma kapasitelerine ve süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Buna karşılık, deprem istemi için elastik deprem etkileri altında lineer teoriye göre hesap yapılır. Elastik hesap yöntemleri *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ve *Mod Birleştirme Yöntemi*' dir.

Lineer olmayan yöntemlerin başlıcaları ise, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi*' dir.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi' de, yapısal kapasite *pushover curve* (kapasite eğrisi) ile temsil edilir. Bu eğri, genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Kapasite eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay kuvvetler altında, sistemin taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır. Daha sonra, kapasite eğrisi spektral formata dönüştürülerek *modal kapasite eğrisi* elde edilir.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yüğü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik mafsalları oluşturmalarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, taşıyıcı sistemin başlangıçtaki doğrusal elastik davranışı için hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olacak şekilde tanımlanır.

Daha kesin bir sonuç için, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yüğü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değışken olarak gözönüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik mafsallar gözönüne alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olarak tanımlanır.

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi, tek modun etkin olduğu, yükseklikleri bakımından sınırlı olan (örneğin kat sayısı sekizi aşmayan) ve önemli ölçüde burulma düzensizliği bulunmayan binalara uygulanabilir.

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile itme analizinde, deprem istem limitine kadar her bir titreşim modunda monotonik olarak arttırılan *modal yerdeğiştirmelere* göre Mod Birleştirme Yöntemi, ardışık iki plastik mafsalları oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır. Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değışerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değışerler hesaplanır. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi, tüm binalara uygulanabilir.

Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi

Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi ile taşıyıcı sistemdeki nonlineer davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir

ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi tüm binalara uygulanabilir.

Plastik Davranışın İdealleştirilmesi

Yığılı plastik davranış hipotezi uyarınca, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin uniform biçimde olduğu varsayılır. Eğilme davranışının hakim olmasından ötürü *plastik mafsal boyu* olarak adlandırılan *plastik şekildeğiştirme bölgesi*'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınabilir.

$$L_p = 0.5 h$$

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki plastik mafsal kesitlerinin akma yüzeylerinin (karşılıklı etki diyagramları) tanımlanmasında aşağıdaki koşullar göz önünde tutulur.

Analizde beton ve çeliğin *kapasite dayanımları* esas alınır.

Betonarme ve çelik kesitlerin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak, iki boyutlu davranış durumunda *akma çizgileri*, üç boyutlu davranış durumunda ise *akma düzlemleri* olarak modellenebilir.

Kesit iç kuvvet – şekildeğiştirme ilişkisi elasto-plastik olarak idealleştirilebilir ve pekleşme etkisi terkedilebilir. Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için *çatlamış kesit rijitlikleri* kullanılır.

8. Modal Yerdeğiştirme İsteminin ve Performans Noktasının Belirlenmesi

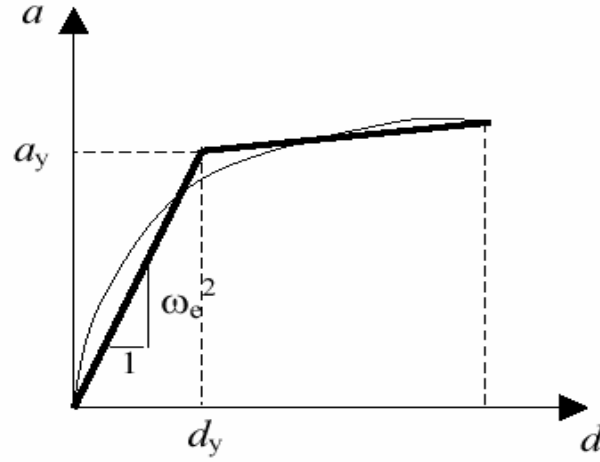
Aşağıdaki bölümde, 2005 Türk deprem yönetmeliği taslağında yer alan yerdeğiştirme bazlı değerlendirme yöntemi özetlenecektir.

İtme Analizinde Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 2'de gösterildiği gibi, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-linear) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, birinci (hakim) moda ait doğrusal elastik doğal titreşim periyoduna karşı gelen özdeğere eşit alınabilir [$\omega_e^2 = (2\pi / T_e)^2$]. İki-doğrusal modal kapasite diyagramının *eşdeğer akma noktası*'nin koordinatları (d_y, a_y) eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Maksimum modal yerdeğiştirmenin bilinmediği durumlarda ardışık yaklaşım uygulanır.

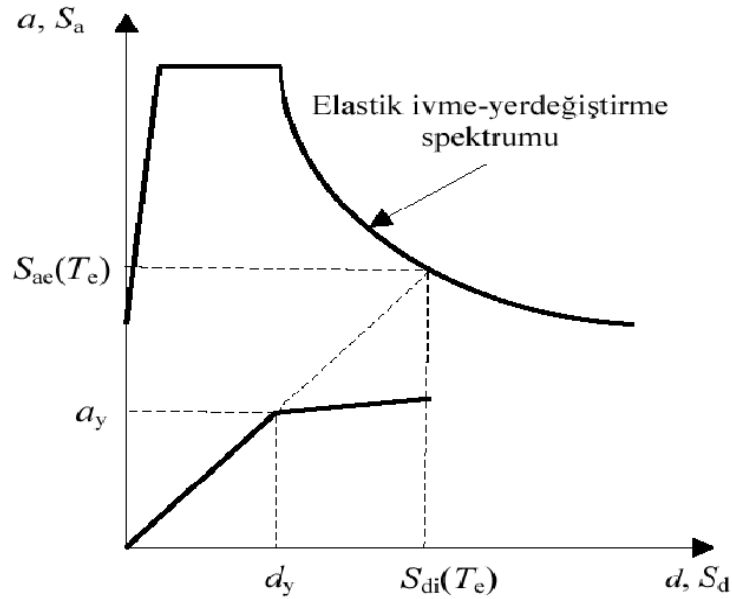
Başlangıç periyodu T_e için tanımlanan *nonlinear spektral yerdeğiştirme* S_{di} ile, doğal periyodu yine T_e olan *eşlenik doğrusal elastik sistem*'e ait *linear elastik spektral yerdeğiştirme* S_{de} arasında aşağıdaki ilişki gözönüne alınacaktır.

$$\begin{aligned} S_{di} &= C_R S_{de} & (T_e \leq T_B) \\ S_{di} &= S_{de} & (T_e > T_B) \end{aligned}$$



Şekil 2 Modal Kapasite Diyagramının Bi-lineer Diyagrama Dönüştürülmesi

Şekil 3' ten görüldüğü gibi, T_e eşdeğer doğal periyodun, elastik ivme spektrumunun T_B karakteristik periyodundan daha büyük olması halinde, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca, nonlineer spektral yerdeğiştirme $S_{di}(T_e)$, doğal periyodu T_e olan eşlenik doğrusal elastik sisteme ait lineer-elastik spektral ivme $S_{de}(T_e)$ 'ye eşittir.



Şekil 3 Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi ($T_e \geq T_B$)

$T_e \leq T_B$ olması halinde ise, *yerdeğiştirme oranı* C_R aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) T_B / T}{R_y}$$

Bu bağıntıda R_y *dayanım azaltma katsayısı*'dir:

$$R_y = \frac{S_{ae}}{a_y}$$

S_{ae} , doğal periyodu T_e olan eşlenik doğrusal elastik sisteme ait *lineer elastik spektral sözde ivme*'yi göstermektedir.

9. Kesit Şekildeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

Lineer olmayan yöntemlerle hesaplanan taşıyıcı sistemlerde, çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik mafsalsal dönmesine bağlı olarak, *plastik eğrilik istemi* aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\Phi_p = \theta_p / L_p$$

Beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen iki doğrulu moment eğrilik ilişkisi ile tanımlanan Φ_y *eşdeğer akma eğriliği*, yukarıda tanımlanan Φ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki Φ_t *toplam eğrilik istemi* elde edilir:

$$\Phi_t = \Phi_y + \Phi_p$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, yukarıda tanımlanan toplam eğrilik istemine göre, verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak ilgili kesitte elde edilen moment-eğrilik ilişkisinden hesaplanabilir.

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında taşıyıcı sistem performansı belirlenir.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Kesit Şekildeğiştirme Kapasiteleri

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

(a) Kesit Göçme Sınırı için beton basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirme istemi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.005 + 0.013 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GS} = 0.060$$

(b) Kesit Güvenlik Sınırı için beton basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirme istemi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040$$

(c) Kesit Akma Sınırı için beton basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirme istemi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{AS} = 0.004 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{AS} = 0.010$$

Yukarıdaki bağıntılarda ϵ_{cg} sargılanmış beton bölgesinin sınırındaki, ϵ_{cu} ise kesidin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesini göstermektedir. ϵ_s donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme, ρ_s kesitte mevcut bulunan ve sargı etkisi sağlayabilen (135° kancalı) enine donatının hacimsal oranı, ρ_{sm} ise kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsal oranıdır.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının İç Kuvvet Kapasiteleri

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarda performans düzeylerine göre izin verilen iç kuvvet (örneğin, kesme kuvveti) kapasiteleri de ayrıca kontrol edilir.

10. Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirme Kararlarının Verilmesi

Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi

Yukarıda açıklanan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile binanın deprem güvenliği düzeyi belirlenir. Bunun sonucuna göre bina için güçlendirme kararları oluşturulur. Binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi

Binanın düşey taşıyıcı elemanlarının tümü hasarsızlık bölgesindedir. Ancak herhangi bir katta uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla yüzde 10'unun belirgin hasar bölgesinde olması durumunda da bina ***Hemen Kullanım*** durumunda kabul edilir. Güçlendirilmesine gerek yoktur.

Can Güvenliği Performans Seviyesi

Binanın tüm elemanları hasarsızlık veya belirgin hasar bölgelerindedir. Ancak herhangi bir katta, uygulanan deprem doğrultusundaki kirişlerin en fazla yüzde 20'si ileri hasar bölgesinde ise ve ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı yüzde 20'nin altında ise bina ***Can Güvenliği*** durumunda kabul edilebilir. Can güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden akma sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının yüzde 30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla yüzde 40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

Göçmenin Önlendiği Performans Seviyesi

Binanın tüm elemanları ileri hasar veya daha alt hasar bölgelerindedir. Ancak bir katta uygulanan deprem doğrultusunda göçme bölgesindeki kirişlerin sayısı toplam kiriş sayısının yüzde 20'sinden az ise ve/veya göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetlerinin toplamı o katta bulunan kolonların toplam kesme kuvvetine oranı yüzde 20'nin altında ise ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmuyorsa bina ***Ağır Hasar*** durumunda kabul edilebilir. Ağır hasar durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden akma sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının yüzde 30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla yüzde 40 olabilir. Bu performans seviyesinde, binanın mevcut durumu ile kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

Göçme Durumu

Bina ***Ağır Hasar*** durumunun koşullarını sağlayamıyorsa ***Göçme*** durumundadır. Binada güçlendirme uygulanmalıdır, ancak çok kere binanın güçlendirilmesi ekonomik olarak verimli olmayabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı ise, can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki görelî kat ötelenmesi aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$\frac{\delta_{max}}{h} \leq 0.02$$

Burada, δ_{max} ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelenmesini, h ise kat yüksekliğini göstermektedir.

Binaların Güçlendirilmesi

Binaların güçlendirilmesi, deprem hasarlarına neden olacak kusurlarının giderilmesi, deprem güvenliğini arttırmaya yönelik olarak taşıyıcı sisteme yeni elemanlar eklenmesi, kütle azaltılması, mevcut elemanlarının deprem davranışlarının geliştirilmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması türündeki işlemleri içerir.

Güçlendirilen Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi

Güçlendirilen binaların ve elemanlarının deprem güvenliklerinin hesaplanmasında, mevcut binalar için yukarıda verilen hesap yöntemleri ve değerlendirme esasları kullanılır.

Binalara Eklenecek Elemanların Tasarımı

Güçlendirme amacıyla binalara eklenecek yeni elemanların tasarımında, deprem yönetmeliğinin depreme dayanıklı yapı tasarımına ilişkin bölümleri ile yürürlükte olan diğer standart ve yönetmelikler esas alınır.