

5. MEVCUT BİNALARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ

5.1. GİRİŞ

5.2. BİNALARDAN BİLGİ TOPLANMASI

5.2.1. Bina Geometrisi

5.2.2. Eleman Donatı Detayları

5.2.3. Malzeme Özellikleri

5.2.4. Mevcut Binalarda Beton Özelliklerinin Belirlenmesi

5.2.5. Donatı Özelliklerinin Belirlenmesi

5.3. YAPI ELEMANLARINDA HASAR SINIRLARI VE HASAR BÖLGELERİ

5.4. BİNA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

5.5. BİNALAR İÇİN HEDEFLenen PERFORMANS DÜZEYLERİ

5.6. DEPREM HESABINA İLİŞKİN GENEL İLKELER VE KURALLAR

5.7. HESAP YÖNTEMLERİ

5.8. DOĞRUSAL ELASTİK HESAP YÖNTEMLERİ

5.8.1. Eksenel Kuvvetlerin Hesabı

5.8.2. Performans Değerlendirmesinde Kullanılan Etki/Kapasite Oranı Sınırları

5.9. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ

5.9.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Tek Modlu Statik İtme Analizi)

5.9.2. Çok Modlu Statik İtme Analizi (Mod Birleştirme Yöntemi)

5.9.3. Performans Değerlendirmesinde Yapılan Kabuller ve Kullanılan Sınırlar

5.10. BETONARME BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

5.10.1. Kolonların ve Kirişlerin Sarılması

5.10.2. Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması

5.10.3. Betonarme Binaların Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile

Güçlendirilmesi

5.10.4. Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi

5.1. GİRİŞ

Deprem Yönetmeliği'nin (**Yönetmelik**) 7. Bölümünde içerilen konular Deprem Yönetmeliği kapsamına ilk kez 2007 yılında alınmıştır. Yeni yapılacak bir binanın tasarımından ziyade mevcut bir binanın deprem performansının değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan işlemler 2007 Deprem Yönetmeliği 7. Bölümünün temel konusudur. Bu işlemler mevcut bir binanın durumunu saptamak için gerekli olan saha incelemelerinin yapılması, performans hedeflerinin belirlenmesi, hesap yönteminin seçimi ve uygulanmasından oluşur. **Yönetmelik Bölüm 7**'de ayrıca deprem performansı yetersiz olan binaların güçlendirilmesi de kapsamaktadır. Güçlendirilmiş bir bina ile mevcut bir bina arasında deprem performansının değerlendirilmesi bakımından temel bir fark yoktur.

Binaların deprem performansı yeni bir kavramdır. Deprem performansı, *“tanımlanan deprem etkisi altında bir binada oluşabilecek hasarların düzeyine ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu”* olarak tanımlanabilir.

Mevcut bir binanın deprem performansının belirlenebilmesi için öncelikle binanın yapılmış olan durumunun yeterli ölçüde bilinmesi gereklidir. Bu amaçla mevcut binalardan toplanacak yapısal sistem özellikleri, boyutlar, malzeme ve detaylarla ilgili bilgilerin kapsamı Yönetmelikte ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Daha sonra bu bilgiler kullanılarak binanın yapısal modeli oluşturulur ve deprem etkileri altında elemanlarda meydana gelecek iç kuvvetler ve şekildeğişiklikler hesaplanır.

5.2 BİNALARDAN BİLGİ TOPLANMASI

Deprem güvenliği değerlendirilecek mevcut bir binada yapılacak olan durum saptaması çalışmalarının temel hedefi binayı tanımdır. Durum saptaması çalışmaları genel olarak deprem öncesinde yapılır ve ileride gerçekleşmesi beklenen bir deprem etkisi altında binanın performansını hesaplamak için gerekli bilgi altyapısını oluşturur (**Yönetmelik, 7.1.5**). Durum saptaması çalışması deprem geçirmiş bir bina için de yapılabilir. Ancak burada amaç hasar tesbiti yapmak değildir.

Durum saptaması çalışması sonucunda binadan toplanacak bilgi, binanın performans değerlendirmesi için hazırlanacak analitik yapı modelinin oluşturulmasında ve performans hesabı sonuçlarının değerlendirilmesinde belirleyicidir. **Yönetmelik, 7.2.1**'de belirtildiği gibi toplanacak bilginin kapsamı en azından yapı modelini hazırlamak için yeterli olmalıdır. Bu amaçla binanın yapısal sisteminin belirlenmesi, malzeme özelliklerinin ölçülmesi ve betonarme detaylarının saptanması gereklidir.

Durum saptaması yapılan bir binadan elde edilecek bilgiler, **Yönetmelik Bölüm 7** çerçevesinde aşağıda sıralanan sonuçlara ulaşılabilmesi için de yeterli olmalıdır.

1. Bilgi düzeyinin belirlenmesi (sınırlı, orta veya kapsamlı).
2. Eleman kritik kesitlerinin dayanımlarının hesaplanması (eğilme ve kesme dayanımları).
3. Betonarme elemanların kırılma türlerinin belirlenmesi (sünek veya gevrek).
4. Eleman hasar sınırlarının tesbitinde gerekli olan eğilme ve sargı donatısı miktarlarının ve detaylarının belirlenmesi.

Bilgi düzeyi katsayıları, taşıyıcı sistem projesi olmayan binalarda “orta”, taşıyıcı sistem projesi olan binalarda ise “kapsamlı” bilgi düzeyinin sağlanmasını teşvik etmek amacıyla düzenlenmiştir.

5.2.1. Bina Geometrisi

Bina geometrisi, burada kullanılan anlamı ile binanın taşıyıcı sistemine, temel sistemine ve mimari özelliklerine ait boyut ve fonksiyon bilgilerini içermektedir. Bina geometrisinin belirlenmesi çalışmaları, binanın gerek mevcut, gerekse güçlendirilmiş durumundaki analitik modellemesinde kullanılacak tüm sistem ve eleman boyutlarının tesbit edilmesini kapsar. Bu tesbitlerin yapılmasında kullanılan ölçüm ve gözlem yöntemlerinin başlıcaları mimari ve statik rölöve alınması, temelde inceleme çukuru açılması ve binanın mevcut durumunun görüntülenmesidir.

Mimari ve statik (taşıyıcı sistem) rölövesi, her katın mimari ve taşıyıcı sistem planından ve kritik kesitlerinden oluşur. Durum saptaması amacıyla mimari ve statik rölövenin birbirini bütünleyen kat planları üzerinde işlenmesi binayı algılamayı ve güçlendirme seçeneklerini belirlemeyi kolaylaştırır. Bu amaçla her iki rölöve planı üzerinde çerçeve aksları tanımlanır ve aks açıklıkları belirtilir. Tipik statik rölöve kat planı Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Mimari rölöve üzerinde bölme duvarlar, parapetler, pencere ve kapı boşlukları boyutları verilerek gösterilir. Islak hacimler, alan fonksiyonları ve döşeme kaplama malzemeleri plana işlenir. Statik rölöve üzerinde ise tüm taşıyıcı sistem özellikleri belirtilir. Kolon, taşıyıcı duvar, ve kirişlerin yerleri ve boyutları, kat döşemeleri, döşeme kalınlıkları ve döşeme delikleri (merdiven kovaları) bir kodlama sistemi kullanarak tanımlanır. Rölöve ile elde edilen kat planları, esasında yeni bir bina projesinde çizilen kat planlarında bulunan tüm bilgileri ve ayrıntıları içermektedir. Ancak binada yük oluşturmeyen ve taşıyıcı sisteme etkisi olmayan mimari detayların kat planına işlenmesi gerekli değildir.

Rölöve çalışmaları iki safhada gerçekleştirilir. Bunlar sahada ölçü alınması ve ofis ortamında plan ve kesitlerin modellemeye esas çizimlere dönüştürülmesidir. Sahada ölçü alınmasında optik veya mekanik uzunluk ölçü aletleri kullanılabilir. Eğer binanın mimari ve/veya statik projeleri mevcut ise bu durum rölöve çalışmalarını hem kolaylaştırır, hem de hassasiyetini artırır. Projelerin mevcut olması halinde aynı zamanda binanın yapılmış durumunun (as built) tasarlanmış durumu ile aynı veya farklı olup olmadığı da belirlenmiş olur. Projeler mevcut değilse rölöve çalışmaları daha zahmetli olacaktır. Bu durumda sahaya iki kez gitmek gerekir. İlkinde sahada plan krokileri elde edilir ve ofiste bu krokiler plan taslaklarına dönüştürülür. Daha sonra sahaya tekrar gidilerek plan taslakları üzerinde ayrıntılar belirlenir ve nihai planlara işlenir.

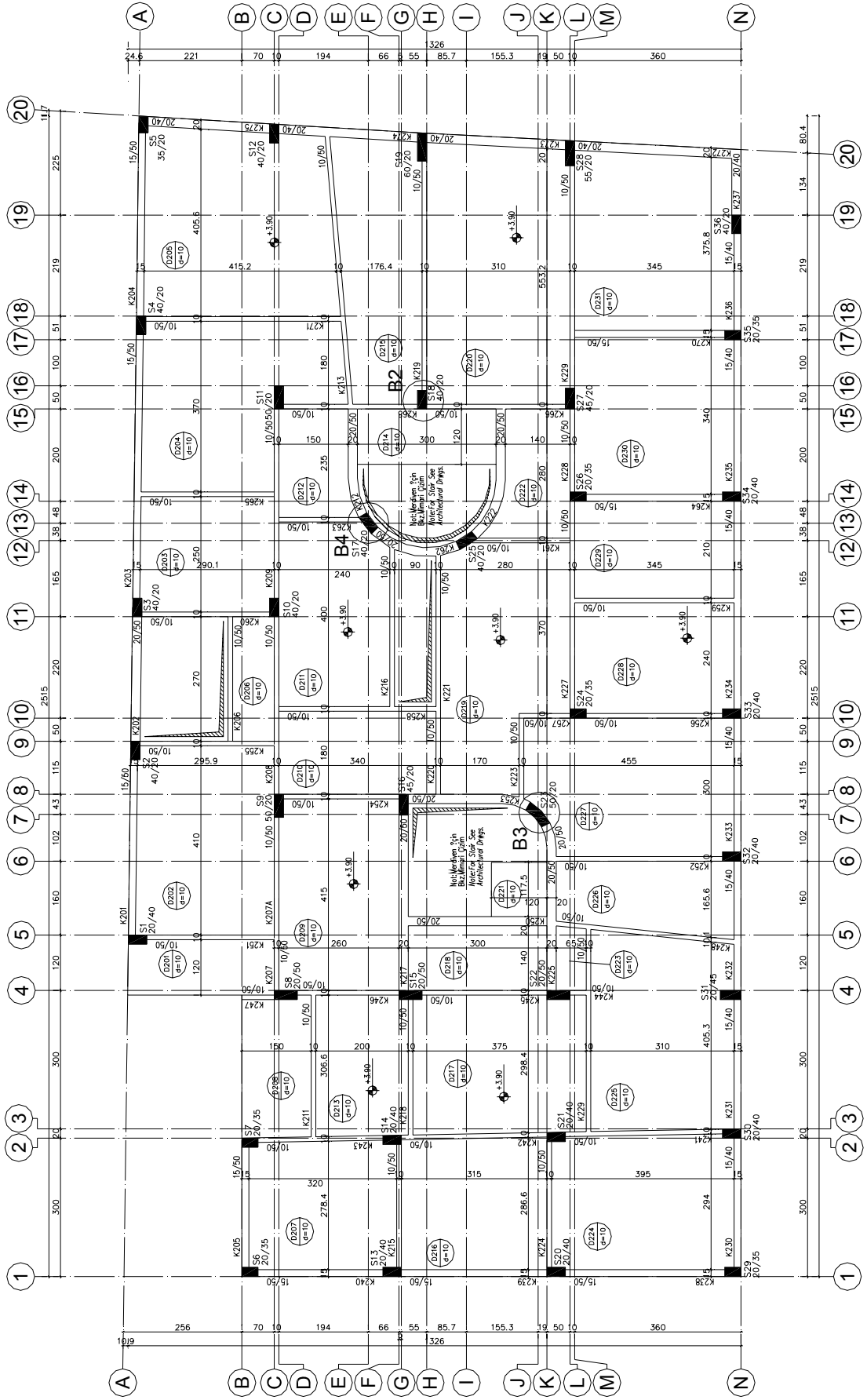
Sahada yapılacak bir diğer önemli çalışma da temel sisteminin belirlenmesidir. Temel projeleri mevcut ise binanın içinde veya dışında ulaşılması nisbeten kolay olan kolon akslarının temelleri çukur açarak incelenir ve proje ile olan uyumu saptanır. Genelde proje ile uygulama arasındaki en önemli uyumsuzluklar temellerde ortaya çıkar. Özellikle tekil temellerin bağ kirişlerinin projeye uygun yapılmaması, veya hiç yapılmaması sıkça karşılaşılan bir sorundur. Temel projesi mevcut değilse daha fazla inceleme çukuru açmak gerekir. Açılan inceleme çukurları öncelikle temel sisteminin tanımlanması için yeterli bilgiyi sağlamalı (tekil, sürekli, radye, vb.), buna ek olarak temel boyutlarının yeterli hassasiyetle tesbitine olanak vermelidir. Binada güçlendirme

amacıyla kolon mantosu veya yeni betonarme perde yapılması durumunda, bu elemanların altlarındaki mevcut temellerin boyutlarının ve durumlarının kesinlikle çukur açarak belirlenmesi gereklidir. Güçlendirme uygulaması sırasında bu elemanların temelleri zaten açılacağı için fazladan bir iş yapılmamış olacaktır. Bir bina kolonunun temelinde açılan tipik bir inceleme çukuru Şekil 5.2’de görülmektedir.

Bina modeline ve deprem hesabına ilişkin en önemli bilgilerden birisi de binanın ağırlığıdır. Bina ağırlığının büyük bölümünü kat döşemelerinin ağırlıkları oluşturur. Binanın projeleri mevcut olsa da, olmasa da döşeme ağırlıklarını belirlemek için döşemelerden gözlem karotu alınması ve döşemeyi oluşturan beton ve kaplama tabakalarının kalınlıklarının belirlenmesi son derece yararlıdır. Bu karotlar sadece kalınlık ölçümü içindir. Döşemelerden alınacak gözlem karotlarının mevcut beton dayanımını belirlemek amacıyla test edilmesi sakıncalıdır.

Mevcut durumu incelenen bir binanın dosyasına binanın çeşitli dış cephelerden ve iç mekanlardan çekilmiş fotoğraflarının eklenmesi çok yararlıdır. Binanın taşıyıcı sistemini, çıkmalarını, çatı tipini, varsa yumuşak kat durumunu, açılan inceleme çukurlarından alınan temel görüntülerini ve iç mekanlardan alınan önemli detayları gösteren fotoğraflar modelleme ve güçlendirme tasarımı sırasında sık sık başvuru kaynakları olmaktadır.

+3.90 KOTU KALIP PLANI
+3.90 LEVEL PLAN



Şekil 5.1. Tipik bir statik rölöve kat planı



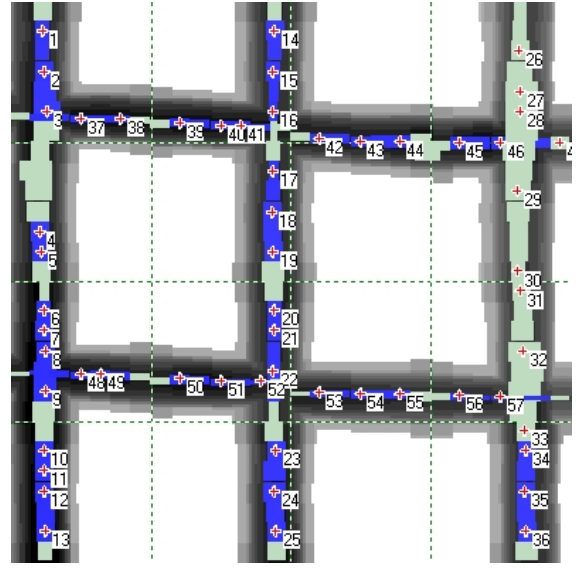
Şekil 5.2. Bina temelinde açılan bir inceleme çukuru

5.2.2. Eleman Donatı Detayları

Betonarme elemanların donatı detayları, boyuna donatı miktarı (sayı ve çap), boyuna donatıda kenetlenme boyu veya kanca detayı, boyuna donatıda bindirmeli eklerin durumu (bindirme bölgesinin yeri ve bindirme boyu), enine donatı miktarı (aralık ve çap), enine donatının veya deprem etriyesinin kanca özelliği (90 veya 135 derece kıvrımlı), beton örtüsünün kalınlığı (pas payı) ve donatılardaki korozyon etkisi olarak sıralanabilir.

Donatı detaylarının tesbitinde hem tahribatlı, hem de tahribatsız yöntemlerin kullanılması mümkündür. Tahribatsız inceleme cihazlarının öncüsü olan profometre cihazı beton yüzeyinde bir yönde hareket ettirilerek hareket yönüne dik konumda bulunan donatı çubuğunun yeri, çapı ve beton örtü kalınlığı tesbit edilir. Özellikle betonarme perde veya geniş kolon yüzeylerine paralel konumdaki donatı hasırlarının tesbitinde “ferroscan”, veya demir tarama cihazı oldukça güvenilir bilgiler sağlayabilmektedir. Ferroscan cihazı biri tarayıcı ve biri kaydedici olmak üzere iki bileşenden oluşur. Tarayıcı taranan alanın altındaki donatı ızgarasının bilgilerini kaydediciye gönderir. Kaydedici bu bilgileri işleyerek donatı hasırı üzerinde tanımlanan her koordinat noktasında yatay veya düşey donatının yerini, çapını ve pas payını hesaplar (Şekil 5.3).

İnceleme amacıyla pas payı sıyrılan bir kiriş ve kolon Şekil 5.4’de gösterilmektedir. Yapılan incelemede donatıda korozyon tesbit edilmesi durumunda donatı çapında korozyon nedeniyle meydana gelen azalma da belirlenmeli ve hesaplarda dikkate alınmalıdır. Korozyonun aşırı olması durumunda donatı ile beton arasındaki aderans tamamen kaybolacaktır. Bu durumdaki donatıların hiç hesaba alınmaması gerekir.



Şekil 5.3. Ferroskan cihazı ile betonarme duvar yüzeyinde tarama yapılması ve tarama sonucu



Şekil 5.4. Pas payı sıyrılarak belirlenen kiriş ve kolon donatısı ve detayları

5.2.3. Malzeme Özellikleri

Betonarme bir binadaki başlıca yapı malzemeleri beton ve donatı çeliğidir. Her iki malzemenin de dayanımlarının ve bu dayanımın bina içerisindeki dağılımının bilinmesi gereklidir. Bu amaçla kullanılacak tahribatlı ve tahribatsız inceleme yöntemleri vardır.

5.2.4. Mevcut Binalarda Beton Özelliklerinin Belirlenmesi

Mevcut binalarda yetersiz deprem dayanımının başlıca kaynaklarından birisi düşük beton dayanımı ve beton dayanımının bina içerisindeki yüksek değişkenliğidir.

Ortalama dayanımın düşüklüğünün yanısıra bir bina içerisinde elde edilen yüksek değişkenlik beton kalitesinin son derece standart dışı olduğunu göstermektedir.

Mevcut bir binada beton dayanımını tesbit etmek için kullanılabilecek tahribatsız test yöntemlerinin başlıcaları Schmidt darbe çekici ve ultrases hızıdır. Schmidt çekici maliyetinin düşüklüğü ve kullanım kolaylığı nedenleri ile çok tercih edilen bir araçtır. Çekiç okumalarının yapıldığı yüzeyin sıva kaldırılarak temizlenmesi gereklidir (Şekil 5.5). Darbe çekici ile yapılan okuma beton yüzeyinin sertliğini gösterir. Bu okuma çekicinin özelliklerine bağlı bir kalibrasyon eğrisi kullanılarak eşdeğer silindir dayanımına dönüştürülür.

Tahribatlı yöntemler içerisinde en yaygın kullanılanı karot örneği alma ve karot örneği testinden beton dayanımını elde etmektir (Şekil 5.5., 5.6). Karot alma cihazının maliyeti yüksek değildir, ancak karotun alınması zahmetli bir işlemdir. Karotun çıkarıldığı boşluğun daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile doldurulması gereklidir.



Şekil 5.5. Schmidt darbe çekici ile yüzey sertliği değerinin okunması



Şekil 5.6. Karot alma cihazı ile kolondan silindir beton örneği alınması

Beton kalitesi düşük mevcut binalarda tahribatsız yöntemlerle hesaplanan beton basınç dayanımlarının tahribatlı (karot) yöntemlerin sonuçlarını kestirmede başarılı olmaması

nedeniyle 2007 Deprem Yönetmeliği'nde mevcut beton dayanımının sadece karot alma yöntemiyle belirlenmesi zorunlu kılınmıştır. En az karot örneği sayısı sınırlı bilgi düzeyi için her katta en az iki, orta bilgi düzeyi için her katta üçten az olmamak üzere toplamda dokuzdur (**Yönetmelik 7.2.4.3. ve 7.2.5.3.**). Ancak binadaki beton basınç dayanımının değişkenliğini belirlemek için karot deneyleri ile uyarlanmış darbe çekici yöntemi kullanılabilir. Çekiç okumaları karot alınan elemanlarda yapılmalı ve her karot alınan elemanda en az 10 çekiç okuması alınarak uyarlama işleminde bunların ortalama değerleri kullanılmalıdır (Şekil 5.5 ve 5.6).

5.2.5. Donatı Özelliklerinin Belirlenmesi

Donatı çeliği betona oranla oldukça standart üretilen bir malzeme olduğu için malzeme özelliklerindeki değişkenlik de daha azdır. Eleman pas payı sıyrılarak gözle yapılan incelemede Şekil 5.4'de görüldüğü gibi donatı sınıfı kolayca anlaşılabilir (S220, S420, düz donatı, nervürlü donatı, vb). Kesit hesaplarında çelik dayanımı için güvenli bir değer olarak ilgili çelik sınıfına ait karakteristik akma dayanımını kullanmak uygundur (220 veya 420 MPa). Ancak binada kapsamlı bir inceleme yapılması durumunda bu yeterli değildir. Tercihan bodrum perdesi gibi donatının zorlanmadığı bir bölgeden donatı örneği alınmalı ve laboratuvarında çekme testi yapılmalıdır. Çekme testinden elde edilecek çelik akma ve kopma dayanımları ile şekildeğiştirme özellikleri çelik sınıfının belirlenmesini sağlayacaktır. Deneyle tesbit edilen özellikler ile projede belirtilen çelik sınıfına ait özellikler arasında kimi durumlarda önemli farklar olabilmektedir.

Binadan elde edilen bilgiler yukarıda belirtildiği gibi binanın analitik modelini oluşturmak ve eleman kapasitelerini hesaplamak için kullanılacaktır. Daha sonra Yönetmelikte bulunan bir hesap yöntemini kullanarak, deprem etkisi altında hesaplanan istemler ile ilgili kapasiteler karşılaştırılarak binanın deprem performansına karar verilecektir.

5.3. YAPI ELEMANLARINDA HASAR SINIRLARINI VE HASAR BÖLGELERİ

Deprem hasarları kiriş, kolon, perde ve birleşim bölgesi gibi taşıyıcı elemanlarda meydana gelir. Eleman hasarlarının değerlendirilmesinde öncelikle hasarın incelenen elemanın sünek ya da gevrek davranışından kaynaklandığının belirlenmesi gereklidir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar, diğer bir tanımla kesme kapasitesi aşılmış olan elemanlar göçmüş kabul edilir (kesme kırılması). Sünek olarak hasar gören elemanların hasarları ise hesaplanan iç kuvvet (moment) veya birim şekildeğiştirme düzeylerine göre minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar veya göçme olarak derecelendirilir (**Yönetmelik, 7.3.**).

5.4. BİNA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Yapı elemanlarının hasar dereceleri belirlendikten sonra binanın her katındaki hasarlı elemanların hasar dereceleri, sayıları ve dağılımları göz önüne alınarak binanın deprem performansı belirlenir. Bina deprem performansının belirlenmesi için dört ayrı performans düzeyi tanımlanmıştır. *Hemen Kullanım* performans düzeyini sağlayan binaların göz önüne alınan depreme maruz kalması halinde depremden hemen sonra kullanılabilir durumda olduğu kabul edilmektedir. *Can Güvenliği* performans düzeyini sağlayan binalar göz önüne alınan deprem etkisi altında muhtemelen belirgin

derecede hasar göreceklardır. Ancak bu hasarlar deprem sırasında binada bulunanların can güvenliği için tehdit oluşturmamalıdır. Diğer yandan binada oluşması beklenen eleman hasarları ağırlıklı olarak ileri hasar derecesinde ise, ancak binada topyekün göçme oluşmuyorsa, bina *Göçme Öncesi* performans düzeyinde kabul edilir. Eğer göz önüne alınan deprem etkisi altında bu performans düzeyi de sağlanamıyorsa binanın *Göçme Durumu*'nda olduğuna karar verilir (**Yönetmelik, 7.7.**).

5.5. BİNALAR İÇİN HEDEFLLENEN PERFORMANS DÜZEYLERİ

Mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde, binaların kullanım amacı ve türüne bağlı olarak farklı performans hedefleri belirlenmiştir. Deprem sonrası hizmet vermesi gerekli olan binalar ile okul ve kışla binaları tekrar süresi 475 yıl olan tasarım depremi altında *Hemen Kullanım* performans düzeyini sağlamalıdır. Aksi halde, örneğin bir hastanenin depremden sonra hizmet vermesi mümkün olmaz. Diğer yandan tekrar süresi 2475 yıl olarak kabul edilen olası en şiddetli deprem altında bu binaların *Can Güvenliği* performans düzeyini sağlaması hedeflenmiştir (**Yönetmelik, 7.8.**).

5.6. DEPREM HESABINA İLİŞKİN GENEL İLKELER VE KURALLAR

Mevcut binaların deprem hesabında uyulan genel ilkeler ve kurallar ile yeni binaların deprem hesabında uyulan genel ilkeler ve kurallar arasında bazı önemli farklar vardır. Bunların başlıcaları aşağıda özetlenmiştir.

- Deprem yüklerinin tanımında yüklerin azaltılması amacıyla taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R katsayısı) uygulanmaz. R katsayısı yeni yapılacak binalarda uygulanan kapasite tasarımı yöntemi ilkeleri doğrultusunda tanımlanmış bir katsayıdır. Kapasite tasarımı uygulanmamış binalar için geçerli değildir (**Yönetmelik, 7.4.2.**).
- Malzemelerin tasarım dayanımı yerine, yerinde incelemelerle belirlenen mevcut dayanımları göz önüne alınır. Mevcut dayanımların belirlenmesinde de istatistiksel dağılım özellikleri göz önüne alınmaktadır. Bu nedenle hesaplanan mevcut dayanım değerlerinden daha düşük dayanım bulunma olasılığı çok düşüktür (**Yönetmelik, 7.4.11.**).
- Kat ağırlıkları kat kütleleri ile uyumlu olmalıdır. Hareketli yük azaltma katsayısı n , gerek kat ağırlıkları, gerekse kat kütlelerinin hesabında aynı alınmalıdır (**Yönetmelik, 7.4.7.**).
- Kat kütleleri her katın kütle ağırlık merkezinde tanımlanır. Deprem kuvvetlerinin etkime noktalarının tanımında ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmaz. Ek dışmerkezliğe neden olan unsurların mevcut bir binada bulunmadığı varsayılmaktadır (**Yönetmelik, 7.4.8.**).
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanların modellenmesinde çatlamış kesit özellikleri kullanılır. Çatlamış kesit varsayımı özellikle şekildeğiştirmelerin ve iç kuvvet dağılımının daha hassas olarak hesaplanmasını sağlamaktadır (**Yönetmelik, 7.4.13.**).
- Kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olduğu tespit edilen elemanlarda kesit kapasite momenti bu yetersizlik oranında azaltılmalıdır. Bu durumdaki bir elemanın kapasitesine sünek eğilme kırılması ile değil gevrek kesme kırılması ile ulaşması çok mümkündür (**Yönetmelik, 7.4.15.**).

5.7. HESAP YÖNTEMLERİ

2007 Deprem Yönetmeliği'nde deprem hesabı ve performans değerlendirmesi için binaların doğrusal elastik ve doğrusal olmayan davranış kabullerine dayalı olarak farklı iki yöntem tanımlanmıştır. Aynı deprem etkisi altındaki bir bina için iki yöntemin tüm elemanlarda aynı performans düzeyini vermesi şart değildir (**Yönetmelik, 7.4.1**). Ancak bu raporda sunulan örnekler farkların makul sınırlar içerisinde kaldığını kanıtlamaktadır. İzleyen bölümlerde iki yöntemin örnekler üzerinde değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu değerlendirmelerde performans esaslı değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturan kavramlar üzerinde durulacaktır.

5.8. DOĞRUSAL ELASTİK HESAP YÖNTEMLERİ

Mevcut binalarda iç kuvvetlerin ve şekildeğiştirmelerin hesaplanması için kullanılan hesap yöntemleri Yönetmeliğin 2. Bölümünde yeni binalar için verilen hesap yöntemleri ile yaklaşık olarak aynıdır. Tek önemli fark, kat sayısı 8'i aşmayan ve burulma düzensizliği bulunmayan binalara uygulanabilen eşdeğer deprem yükü yönteminde taban kesme kuvvetinin hesabıdır:

$$V_t = \lambda W A(T_1) \quad (1)$$

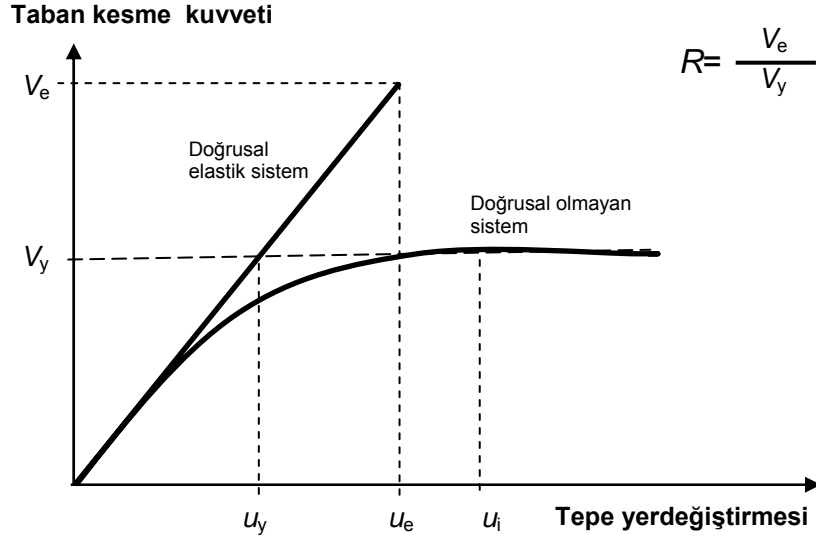
Denk.(1)'de λ katsayısı, üç ve daha çok katlı binalarda 0.85 alınmaktadır. Bunun nedeni birinci titreşim modunun hakim olduğu bu tür binalarda birinci moda ait etkin kütlelerin genel olarak bina ağırlığının %85'ini geçmemesidir (**Yönetmelik, 7.5.1.1**).

Deprem Yönetmeliği'nin 7. Bölümündeki doğrusal elastik hesap yöntemlerinin Yönetmeliğin 2. Bölümündeki doğrusal elastik hesap yöntemlerinden temel farkı performans değerlendirmesindedir. Yeni binaların tasarımında doğrusal elastik davranış kabulü ile hesaplanan (azaltılmamış) deprem kuvvetleri, tasarlanan yapının elastik ötesi süneklik ve fazla dayanım (tasarım dayanımına göre) özellikleri göz önüne alınarak seçilen taşıyıcı sistem davranış katsayısına (R_a) bölünmesi ile azaltılır (**Yönetmelik, Tablo 2.5**). Bu azaltma, binanın kapasite tasarımı ilkelerine uygun olarak tasarlandığında deprem etkileri altında hiçbir elemanda gevrek kırılma olmayacağı ve tüm elemanların benzer süneklik ve fazla dayanım özelliklerine sahip olacağı varsayımına dayanır. Azaltılmış deprem kuvvetleri altında hesaplanan iç kuvvetler, düşey yüklerden kaynaklanan iç kuvvetlerle birleştirilerek elemanların tasarım kuvvetleri belirlenir.

Depremden kaynaklanan tüm iç kuvvetlerin aynı yük azaltma faktörü ile azaltılmasının gerekçesi, binanın deprem sırasında tek dereceli bir sistem gibi davranacağı varsayımdır. Özellikle birden fazla titreşim modunun hesaba katıldığı mod birleştirme yönteminde bu kabul doğru değildir, sadece pratik bir yaklaşıklık sağlar. Esasında bu durumda her mod için ayrı bir R_a katsayısı tanımlamak gereklidir.

Kapasite tasarımı ilkelerine göre tasarlanan bir binanın deprem etkisi altında tek dereceli bir sistem gibi davranacağını ve dayanım fazlası olmadığını, yani binanın gerçekleşen dayanımının tasarım dayanımına tam tamına eşit olduğunu kabul edelim. Bu durumda binanın doğrusal elastik ve doğrusal olmayan deprem davranışını Şekil 5.7'de gösterildiği gibi ifade edebiliriz. Şekilde taban kesme kuvveti (V) ile tepe yerdeğiştirmesi (u) ilişkisi eşdeğer bir tek dereceli sistemi tanımlamaktadır. V_e ve u_e

deprem etkisi altında doğrusal elastik sisteme ait taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme talebini göstermektedir. V_y ve u_y tasarlanan sistemin akma dayanımı ve akma yerdeğiştirmesi, u_i ise deprem etkisi altında doğrusal olmayan sisteme ait yerdeğiştirme talebidir. Bu durumda doğrusal elastik sistem için deprem yükü azaltma katsayısı R , elastik sisteme ait taban kesme kuvveti talebinin (V_e) taban kesme kuvveti kapasitesine (V_y) oranıdır.



Şekil 5.7. Tipik bir binanın taban kesme kuvveti - tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi

Tasarlanan sistemin yerdeğiştirme kapasitesi deprem etkisi altında gerçekleşen doğrusal olmayan davranışa ait yerdeğiştirme talebini (u_i) karşıladığı sürece, deprem yüklerinin bir deprem yükü azaltma katsayısı kullanarak azaltılması tutarlıdır. Sünek olarak tasarlanan elemanlardan meydana gelen ve özellikle kuvvetli kolon-zayıf kiriş durumunun sağlandığı binalar yüksek şiddetli deprem etkileri altında dahi yeterli şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme kapasitesini sağlayabilmektedir. Betonarme elemanların sünekliği, tüm kritik kesitlerin sargı donatısı kullanılarak artırılması ile önemli miktarda artırılabilir.

Deprem Yönetmeliği koşullarını sağlamayan mevcut bir binada tek bir R katsayısı kullanarak deprem yüklerini azaltmak ve eleman kapasitelerini azaltılmış deprem yükleri ve düşey yük etkilerinin birleşik etkisi altında kontrol etmek doğru değildir. Zira elemanlarının tümü aynı derecede sünek olmayan bir binada tek bir R katsayısı tanımını geçerli değildir. Bu nedenle doğrusal elastik performans hesabında deprem yükü azaltma katsayısı uygulanmamış, deprem etkileri azaltılmamış deprem yükleri altında hesaplanmıştır (**Yönetmelik, 7.5.1.1. ve 7.5.1.2.**).

Doğrusal elastik olarak modellenen bir binanın elemanlarının performans kontrolü, kritik kesitlerde azaltılmamış deprem etkisi ve düşey yük etkisi altında hesaplanan iç kuvvetlerin kesit kapasiteleri ile karşılaştırılması sonucunda yapılabilir. Kesit kapasitesinin aşılmasına, ancak kesit yeterli sünekliğe sahipse izin verilebilir. Dolayısıyla eleman kesitlerinde iç kuvvetler cinsinden elde edilen *etki / kapasite oranları* kesitten talep edilen sünekliğin bir göstergesi olmaktadır (**Yönetmelik, Tablo 7.2-7.5**).

2007 Deprem Yönetmeliği'nde etki / kapasite oranları (r faktörleri), kapasite tasarımı yaklaşımının tersten formüle edilmesi ile tanımlanmıştır.

$$r = (\text{Deprem momenti}) / (\text{Artık moment kapasitesi}) \quad (2)$$

$$\text{Artık moment kapasitesi} = \text{Kesit moment kapasitesi} - \text{Düşey yük momenti} \quad (3)$$

Bu şekilde hesaplanan r talepleri, kesit hasar sınırları için tanımlanan $r_{\text{sınır}}$ değerleri ile karşılaştırılarak kesitin ve elemanın hasar durumuna karar verilmektedir. Denk. (2) ve (3)'teki büyüklüklerin hepsi vektöryeldir. Eğilme yönleri dikkate alınmalıdır.

Yukarıdaki iki denklem birleştirilerek kesit moment kapasitesi denklemden çekilirse

$$\text{Kesit moment kapasitesi} = \text{Düşey yük momenti} + (\text{Deprem momenti}) / r \quad (4)$$

ilişkisi elde edilmektedir. Bu ilişki kapasite tasarımında tüm elemanlar için tek bir deprem yükü azaltma katsayısı (R) kullanılması durumu ile eşdeğerdir.

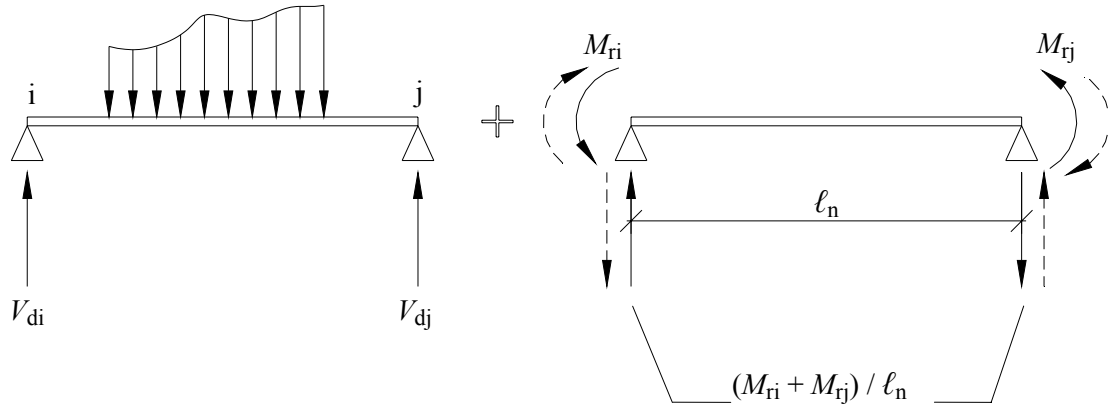
Denk.(3) ile tanımlanan r değerleri Denk.(4)'de olduğu gibi bir yük azaltma katsayısı olarak değil, kesit süneklik talebini ifade eden katsayılar olarak algılanmalıdır.

5.8.1. Eksenel Kuvvetlerin Hesabı

Doğrusal elastik hesap yöntemi ile azaltılmamış deprem yükleri kullanarak hesaplanan eksenel kuvvetler özellikle dış çerçevelerin düşey elemanlarında çok yüksek değerlere ulaşabilir. Halbuki kolonlara aktarılabilen eksenel kuvvetler, kirişler tarafından aktarılabilen kesme kuvvetleri ile sınırlıdır. Kirişlerde oluşabilecek en büyük kesme kuvvetlerini de kirişlerin çift eksenli eğilme altındaki kapasiteleri belirler. Dolayısıyla bir binadaki tüm kirişlerin düşey yükler ve yatay deprem yükleri altında çift eksenli eğilme ile kapasitelerine ulaştığı varsayılarak kolonlarda oluşacak en büyük eksenel kuvvetleri hesaplamak mümkündür.

Düşey yük ve deprem yükü etkisi altında bir kirişin i ve j uçlarında oluşabilecek en büyük kesme kuvveti, deprem kuvvetinin soldan ve sağdan etkimesi durumuna göre Denk.(5) ile hesaplanır (Şekil 5.8).

$$V_{i,j} = V_{di,j} \pm (M_{ri} + M_{rj})/l_n \quad (5)$$



Şekil 5.8. Kirişlere oluşan kapasite kesme kuvvetleri (V_d : düşey yük altındaki kesme kuvveti; M_r : kesit eğilme kapasitesi)

Denk.(5) kullanılarak tüm kirişlerde kapasite kesme kuvvetleri hesaplanır ve kirişlerin saplandığı kolonlara aktarılarak kolonlarda oluşabilecek eksenel kuvvetlerin basınç ve çekme durumlarındaki “üst sınırı” bulunur.

2007 Deprem Yönetmeliği Ek 7A’da kolon eksenel kuvvetlerinin hesabı için yaklaşık bir “grafik yöntem” önerilmektedir. Kiriş eğilme kapasitelerinden elde edilen eksenel kuvvetler ise grafik yöntemle bulunan eksenel kuvvetlerin bir üst sınırı olarak tarif edilmektedir (**Yönetmelik, 7A.3.**). Grafik yöntemin temel amacı, Denk.(2-4)’de uygulanan “artık kapasite” yaklaşımını kolon eksenel kuvvetlerine de yansıtmak ve yeni binaların kapasite tasarımında kullanılan R katsayısı ile uyum sağlamaktır.

5.8.2. Performans Değerlendirmesinde Kullanılan Etki/Kapasite Oranı Sınırları

Betonarme kirişler, kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş dolgu duvarların hasar sınırlarını belirlemek için gerekli olan sünek davranışa ait etki/kapasite oranı sınırları **Yönetmelik, Tablo 7.2-7.5**’de verilmiştir. Tablolardaki $r_{\text{sınır}}$ değerlerinin kirişlerde sargılama durumu, basınç donatısının çekme donatısına oranı ve kesme gerilmesine, kolonlarda ise sargılama durumu, basınç gerilmesi ve kesme gerilmesine bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. Sargılama betonarme kesitlerin sünekliğini artırır. Kesme gerilmelerinin betonun çekme dayanımını aşması durumunda ise kırılma türü eğilme kırılmasından eğilme/kesme kırılmasına doğru geçiş gösterir. Bu durum kesitin süneklik kapasitesini azaltır. Diğer yandan süneklik kapasitesi kiriş kesitlerinde basınç donatısı oranı ile artar, kolon kesitlerinde ise eksenel basınç oranı ile azalır. Tüm bu etkiler ilgili $r_{\text{sınır}}$ tablolarına yansıtılmıştır. Dolayısıyla r oranları kesit düzeyinde deprem momentlerinin azaltma katsayıları değil, kesit süneklik taleplerini temsil eden katsayılar olarak algılanmalıdır.

5.9. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ

2007 Deprem Yönetmeliği’nde doğrusal olmayan davranışa ait performans değerlendirme için iki ayrı eşdeğer statik hesap yöntemi verilmektedir. Bu yöntemler esasında doğrusal elastik sistemler için kullanılan eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemlerinin doğrusal olmayan sistemlere uygulamalarıdır.

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre en önemli avantajı, artan yükler altında sistemde bulunan yapısal elemanlar sırayla

kapasitelerine ulaştıkça, bu elemanlar tarafından taşınamayan yüklerin diğer elemanlara dağılmasına (yeniden dağılım) izin vermesidir. Böylece iç kuvvet dağılımı daha gerçekçi olarak hesaplanabilmektedir. Doğrusal olmayan çözüm yöntemleri henüz standartlaşmış değildir. Ancak kullanımları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Diğer yandan deprem etkisi altında performans değerlendirmesine esas teşkil eden doğrusal olmayan sisteme ait maksimum yerdeğiştirmeler, tasarım depremi altında yaklaşık yöntemlerle tahmin edilebilmektedir. Eşit yerdeğiştirme kuralı, yaklaşık yöntemlerin en yaygın kullanılanıdır.

Doğrusal olmayan yöntemlerde eşdeğer deprem yükleri bir defada değil adım adım arttırılarak uygulanır. Bu nedenle bu yöntemler “statik itme analizi” olarak adlandırılır.

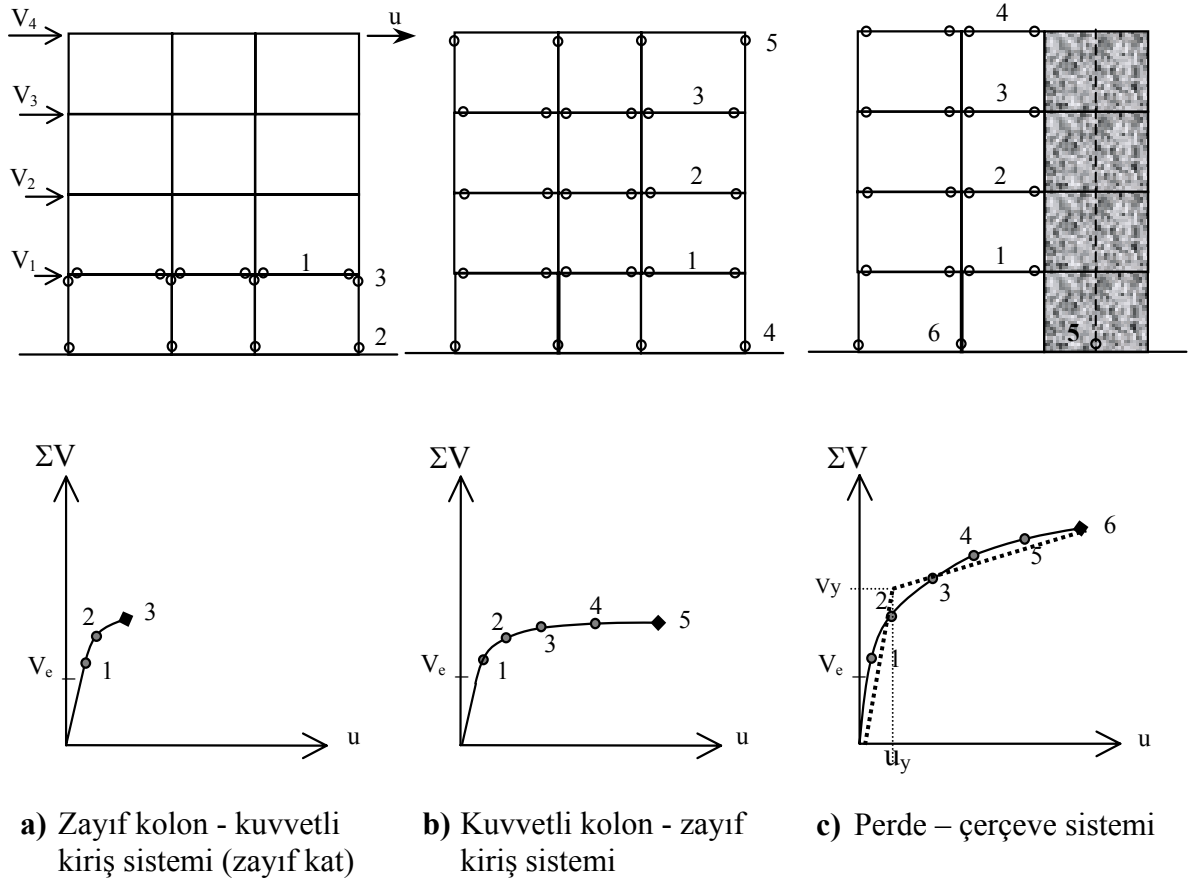
5.9.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (Tek Modlu Statik İtme Analizi)

Bu yöntem doğrusal elastik sistemler için eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabildiği binalara uygulanır. Eşdeğer statik yatay yük dağılımı doğrusal elastik sistem ile aynı şekilde hesaplanır, ancak adım adım arttırılarak uygulanır. Deprem sırasında binanın en fazla zorlandığı duruma bu şekilde ulaştığı varsayılır. Arttırılarak uygulanan yatay yükler altında binada elastik ötesi statik davranışın oluşması Şekil 5.9’da temsili olarak gösterilmektedir.

Yapının kapasite eğrisi (Şekil 5.7), her adımda uygulanan toplam yatay yükün (taban kesme kuvveti) çatı ötelenmesine karşı olan değişimi olarak ifade edilir. Şekil 5.9’da mimari sistemi ve geometrisi aynı, ancak farklı yatay yük taşıyıcı sistem özelliklerine sahip binaların plastik mafsalları oluşturma düzenleri (hiyerarşileri) ve buna bağlı olan kapasite eğrileri temsili olarak gösterilmektedir. Şekildeki sayılar plastik mafsalların kat kirişlerinde ve kolonlarında oluşma sırasını ve bu adımların kapasite eğrileri üzerindeki konumlarını göstermektedir. Statik itme analizinin ilk adımlarında yapı doğrusal elastik davranacaktır. Belirli bir adım sonra plastik mafsallar oluşmaya başlayacak, özellikle mafsalların kolonlarda oluşması ile yapı tamamen plastik davranış sergilemeye başlayacaktır. Eğer eleman plastik mafsallarının pekleşme özelliği varsa bu durum yapının kapasite eğrisine de yansıtılacak, plastik durumda artan yatay yükler altında yapının yanal kapasitesi az da olsa artmaya devam edecektir.

Farklı yapı türlerine ait kapasite eğrileri bu yapıların yatay yük altındaki dayanım ve süneklik özelliklerini yansıtır. Şekil 5.9 (a)’da önce birinci kat kirişleri mafsallaşmakta, daha sonra sırasıyla birinci kat kolonlarının alt ve üst uçları mafsallaşmaktadır. Bu durumda birinci katta mekanizma oluşur, yapı daha fazla yük alamaz ve kapasitesine ulaşır. Yıkılma birinci katın kararlılığını yitirmesi ile oluşur. Yumuşak-zayıf zemin katlı binalarda oluşan bu durumda yapı pek fazla süneklik sergileyemez. Depremlerde sıkça gözlenen bu yıkılma türü oldukça gevrektrir. Buna karşın Şekil 5.9 (b)’de gösterilen durumda önce bütün katlardaki kirişler aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla kapasitelerine ulaşarak mafsallaşır. Bu oluşum sırasında yapının yanal rijitliği yavaş yavaş azalır ve yapı kararlılığını yitirmeden yanal ötelenme yapmaya devam eder. Tüm kirişlerin mafsallaşması ile ankastre duruma düşen kolonlar bir sonraki adımda alt mesnetlerinde mafsallaşır ve böylece yapı yanal kararlılığını yitirerek kapasitesine ulaşır. Çatı katı kirişlerinin özel konumu nedeniyle mafsalları oluşturma ara kat kirişlerine oranla gecikebilir, hatta kolonlardan sonra olabilir. Ancak bu durum sünek bir davranış elde edilmesini pek fazla engellemez. Şekil 5.9 (c)’de ise perde-çerçeve sistemine ait kapasite eğrisi gösterilmektedir. Bu sistemde de önce alttan üste doğru kirişler

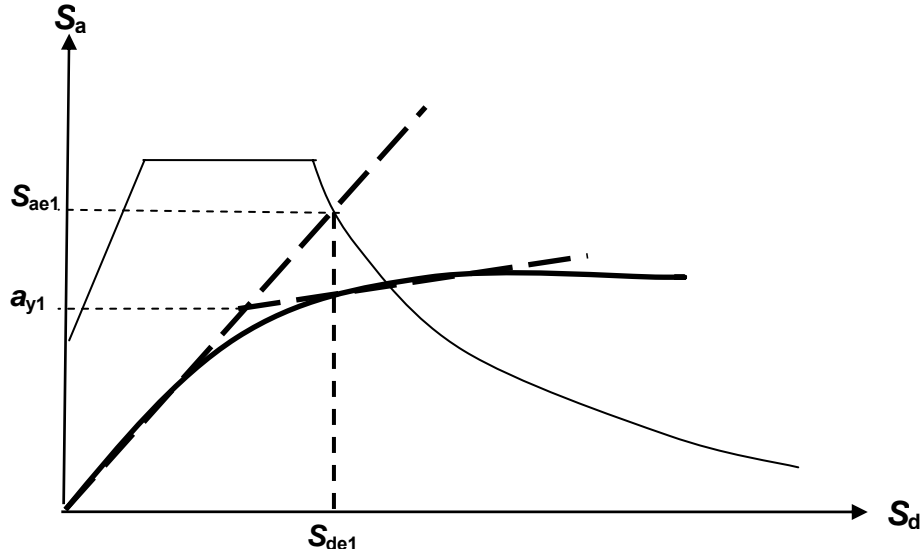
mafsallaşacak ve düşey elemanlar ankastre duruma düşecektir. Perdenin yanal rijitliği kolonlara göre çok fazla olduğu ve kat kirişleri tarafından her katta perde ve kolonlar aynı yanal ötelenmeyi yapmaya zorlandıkları için bu durumda perde yatay yüklerin çoğunu yanal rijitliği oranında karşılamaya başlayacaktır. Bir süre sonra perde tabanında plastik mafsal oluşunca yükünü kolonlara aktaracak ve kolonların da tabanda mafsallaşması ile sistem yatay kapasitesine ulaşacaktır. Bu sistemin sünekliği Şekil 5.9 (b)'deki kuvvetli kolon-zayıf kiriş sistemine yakın olabilir, ancak perdenin yüksek yatay yük dayanımı sistemin kapasitesini de önemli ölçüde arttırmıştır.



Şekil 5.9. Farklı yapı türlerinin statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri ve yıkılma özellikleri

Bina yatay yük kapasitesine ulaştıktan sonra, deprem sırasında artan yatay yükler altında hangi maksimum yerdeğiştirme değerine ulaşacağına statik itme analizi ile karar vermek mümkün değildir. Bu durumda elde edilen kapasite eğrisinden yararlanılarak bina tek dereceli bir elasto-plastik sisteme dönüştürülür ve bu tek dereceli sistemin aynı deprem etkisi altındaki maksimum yerdeğiştirmesi (spektral deplasmanı) bağımsız bir dinamik analiz ile hesaplanır. Bu işlem sadece bir deprem yer hareketinin ivme-zaman kaydını kullanarak yapılabilir. Ancak tasarım spektrumu ile tanımlanan bir yer hareketi için bu işlemi yapmak mümkün değildir. Bunun yerine “eşit yerdeğiştirme” prensibi kullanılarak doğrusal olmayan sistemin maksimum yerdeğiştirmesinin eşdeğer doğrusal sistemin maksimum yerdeğiştirmesine eşit olacağı varsayılır ve binanın performans değerlendirmesi doğrusal elastik sisteme ait maksimum yerdeğiştirme değerinde yapılır. Şekil 5.9(c)'de gösterilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi düzlemindeki kapasite eğrisi yapı dinamiği ilişkileri ile (Yönetmelik, Ek 7C) Şekil 5.10'da

gösterildiği şekilde spektral ivme-spektral deplasman düzleminde ifade edilir ve iki doğrulu bir eğri ile basitleştirilir. Daha sonra deprem spektrumunun da aynı düzlemde ifade edilmesi ile spektral yerdeğiştirme talebi “eşit yerdeğiştirme” prensibini kullanarak tahmin edilir ve binanın deprem yönündeki hakim moduna ait titreşim özelliklerinden yararlanarak spektral yerdeğiştirme değerine karşılık gelen tepe yerdeğiştirmesi hesaplanır.



Şekil 5.10. Statik itme analizinde spektral yerdeğiştirme talebinin eşit yerdeğiştirme prensibi ile belirlenmesi

5.9.2. Çok Modlu Statik İtme Analizi (Mod Birleştirme Yöntemi)

Bu yöntemde, önce doğrusal elastik sistemin titreşim modları hesaplanır ve her moda ait modal kuvvetler binaya birbirinden bağımsız şekilde ayrı ayrı uygulanarak statik itme analizi yapılır. Ancak her modun statik itme analizi sırasında oluşan elastik ötesi etkiler birbirlerinden bağımsız olamayacağı için bu durumun bazı ilave yaklaşık hesaplarla düzeltilmesi gerekir. Daha sonra elde edilen modal değerler bir istatistiksel yöntem ile birleştirilir (**Yönetmelik, Ek 7D**).

5.9.3. Performans Değerlendirmesinde Yapılan Kabuller ve Kullanılan Sınırlar

Statik itme analizlerinde yığılı plastik davranış modeli esas alındığı için hesap sonucunda eleman uçlarındaki maksimum plastik mafsallık dönme miktarları elde edilir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde itme analizinden elde edilen mafsallık dönme miktarları, kabul edilen bir plastik mafsallık boyuna bölünerek (**Yönetmelik, 7.6.8.1.**) kesit plastik eğrilik istemine dönüştürülmekte, eşdeğer akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik elde edilmekte ve daha sonra ilgili kesitin moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak bu eğrilik değerine karşılık gelen beton ve çelik birim şekildeğiştirmeleri hesaplanmaktadır (**Yönetmelik, 7.6.8.2.**). Bu değerlerin her malzeme için tanımlanan birim şekildeğiştirme sınır değerleri ile karşılaştırılmaları sonucunda da kesitin hasar durumuna karar verilmektedir.

Kesit *Minimum Hasar* sınır durumunun tanımlanmasında kesitin en dış beton lifinde sargılama olamayacağı için **Yönetmelik, Denk.(7.8)**'de sargılanmamış beton özellikleri göz önüne alınmıştır. Ancak *Güvenlik* ve *Göçme* sınır durumlarında etriye içindeki betonun en dış lifi değerlendirmeye esas alındığı için beton birim şekildeğiştirme sınırı sargılama etkisini göz önüne alacak şekilde **Yönetmelik, Denk. (7.9) ve Denk. (7.10)** ile tanımlanmıştır.

5.10. BETONARME BİNALARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Ülkemizde en fazla güçlendirme gereksinimi olan binalar deprem etkileri gerektiği biçimde veya hiçbir şekilde göz önüne alınmadan tasarlanan ve yapılan betonarme binalardır. Bu tür binaların taşıyıcı sistem elemanlarında süneklik artışı sağlamak, veya şekildeğiştirme kapasitelerinde artış sağlamak oldukça zordur. Zira ilk yapımında enine sargı donatısı kullanılmayan betonarme elemanlarda sargılamanın dıştan uygulanması oldukça zahmetlidir. Bunun yerine tüm sistemde yatay dayanımı yeni eklenen elemanlarla arttırmak, böylece mevcut elemanlara aktarılan deprem istemlerini azaltmak daha çok tercih edilen bir güçlendirme yöntemidir. Bu durumda da bazı mevcut elemanların güçlendirilmesine hala gereksinim olabilir. Bu elemanlar özellikle gevrek olarak hasar gören kiriş ve kolonlar ile yeni eklenen elemanlar sayesinde azalan şekildeğiştirme istemlerine rağmen bu istemleri hala karşılayamayan elemanlar ve yeni eklenen perdelerin temelleridir.

5.10.1. Kolonların ve Kirişlerin Sarılması

Sarılmanın temel amacı gevrek olarak hasar gören kiriş ve kolonların kesme dayanımının arttırılması ve eksenel basınç gerilmeleri eksenel basınç kapasitesinin üzerinde olan kolonlarda basınç gerilmelerinin azaltılmasıdır. Sarılan kesitlerde gevrek kırılma önlediği için şekildeğiştirme kapasitesi de artmaktadır. Ancak sargılama ile bir kirişin veya kolonun eğilme momenti kapasitesi arttırılamaz (**Yönetmelik, 7.10.1.**). Bunun başlıca nedeni sargılanan kesitlerin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sürekliliklerinin sağlanamamasıdır.

Kolonlarda betonarme ve çelik sargı yöntemleri ile kirişlerde dıştan etriye ekleme yöntemleri kesme kapasitesini arttırmakta en çok etkili olan güçlendirme yöntemleridir. Lifli polimer sargı ile de kesme dayanımı artışı sağlanır, ancak lifli polimer sargı en fazla sarılan kesitin sünekliğini arttırmada etkili olmaktadır. Lifli polimer sargı kareye yakın kesitlerde daha etkindir. Diğer yandan lifli polimer sargı ile sarılan elemanın boyutlarının değişmemesi önemli bir mimari avantajdır. Ayrıca uygulaması da betonarme ve çelik sargıya göre çok daha kolaydır.

5.10.2. Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması

Kolon mantosu olarak da bilinen bu güçlendirme yönteminin temel amacı kolonun eğilme, kesme ve basınç dayanımını arttırmaktır (**Yönetmelik, 7.10.2.**). Büyütülen kesit aynı zamanda enine donatı ile sarıldığı için kesitin şekildeğiştirme kapasitesi de artacaktır. Betonarme mantonun temel problemi kolon alt ve üst birleşimlerinde sürekliliğin sağlanmasıdır. Kolonun uç momentlerini birleşimlere ve birleşime bağlanan diğer elemanlara aktarabilmesi için boyuna donatıların birleşim içerisinde sürekliliğinin sağlanması ve enine donatı ile sarılması gerekir. Bu son derece zahmetli bir işlemdir, aynı zamanda kontrolü de zor olduğu için hedeflenen eğilme dayanımının sağlanması

genellikle mümkün olmaz. Dolayısıyla kolon mantosunun betonarme bina güçlendirmesinde zorunlu olmadıkça uygulanmaması önerilir.

5.10.3. Betonarme Binaların Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi

Deprem dayanımı yetersiz olan betonarme binalar için en etkili güçlendirme yöntemidir. Temel özellikleri aşağıda sıralanmaktadır (**Yönetmelik, 7.10.5.**).

- Sisteme yeni eklenen betonarme perde bir çerçevenin içini tamamen doldurmalı ve olabildiğince bina yüksekliği boyunca aynı kesitle devam etmelidir.
- Her katta, dört kenarında mevcut kiriş ve kolonlarla kuşatılmış olan perde ile mevcut çerçeve arasında kayma gerilmelerini aktarmak için ankraj çubukları ekilir. Ankraj çubuklarının tasarımında kesme sürtünmesi prensibi kullanılır. Kat perdesinin kesme kapasitesini karşılayacak kapasitede ankraj sağlanmalıdır. Ankraj miktarı yatay ve düşey perde sınırlarında aynı olmalıdır. İç kuvvet dengesi bunu gerektirir. Yerinde dökülen yeni perdenin üstündeki kiriş ile arayüzü ankraj açısından en kritik sınır yüzeyidir. Bu yüzeydeki ankraj hesabında sürtünme katkısının alınmaması daha doğrudur.
- Perde uç bölgeleri mevcut kolonların mantolanması veya perde içine doğru büyütülmesi ile oluşturulabilir. Perde içinde üç bölge oluşturulması daha pratiktir, zira mimariye etkisi en az düzeydedir ve ilave kalıp işçiliği gerektirmez (**Yönetmelik, 7.10.5.1.**).
- Betonarme sisteme eklenen betonarme perdeler hareketli yük dışında düşey yük almazlar. Bu nedenle derin bir kiriş olarak tasarlanmaları gerekir.
- Binanın iç çerçevesine eklenecek betonarme perdeler çerçeve içinde düzenlenmelidir. Ancak dış çerçevelere eklenecek perdeler mevcut çerçevenin dışına bitişik olarak da yapılabilir (**Yönetmelik, 7.10.5.2.**). Bu durumda ankrajların yönü perde düzlemine dik olacak şekilde değişmektedir ve ankraj hesabında sürtünmenin kesmeye katkısının ihmal edilmesi daha doğrudur.
- Dış çerçeve düzlemine bitişik olarak yapılan (eksantrik) perdelerin imalatı çok kolaydır. Tüm uygulama dıştan yapıldığı için binanın boşaltılmasına da gerek yoktur. Uygulama maliyeti çerçeve içine eklenen perdelerle göre daha düşüktür.
- Perde altına yeni temel düzenlenmelidir. Doğrusal elastik yöntem ile temel hesabında tasarım momenti ve kesme kuvveti olarak perdenin temele bağlanan kesitinin eğilme ve kesme kapasiteleri kullanılmalıdır. Doğrusal elastik olmayan yöntemde ise tasarım kuvvetleri olarak temele bağlanan perde kesitlerinin iç kuvvetleri doğrudan kullanılır.
- Perde altı temeli mevcut kolonların aktardığı yükler dışında düşey yük almadığı için yatay deprem yüklerinin devrilme etkisi altında uçlarında çekmeye geçebilir. Bu durumda perde altı temelini aynı çerçeve aksındaki komşu kolonların altına kadar uzatmak ve bu kolonların basıncından yararlanmak uygun bir çözümdür. Ancak temel ucunun çekmeye geçebilmesi için perdenin tüm binayı kaldıraç olarak kaldırması gerektiği de göz önünde tutulmalıdır. Bu durumda perdenin çekmeye geçen ucuna saplanan tüm kirişler kapasitelerine ulaşacak ve kapasiteleri ile orantılı kesme kuvvetlerini basınç olarak perde ucuna aktaracaklardır.

5.10.4. Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi

Deprem dayanımı yetersiz mevcut betonarme binalarda genellikle çok sayıda yığma bölme duvar bulunmaktadır. Bu duvarlar taşıyıcı sistem elemanı olarak sayılmadıkları için deprem hesabında sadece ağırlık olarak göz önüne alınırlar, yatay dayanıma katkıları dikkate alınmaz. Zira deprem sırasında oluşan iki yönlü sarsıntı sırasında bölme duvarlar çatladıktan sonra kolaylıkla düzlem dışına devrilerek devre dışı kalırlar. Gerek bu devrilmenin yaratacağı tehlikelerin önlenmesi, gerekse yatay dayanımlarından yararlanmak amacıyla yığma dolgu duvarların güçlendirilmesi uygun bir çözümdür (**Yönetmelik, 7.10.4.**).

Dolgu duvarlar dış yüzeylerine uygulanan ve mevcut duvara ankraj ile bağlanan bir tabaka ile güçlendirilir. Hasır donatılı sıva, prefabrike beton panel tabaka veya lifli polimer kaplama ile yapılan güçlendirme sonucunda bölme duvarın rijitliği ve kesme dayanımı artar. Ancak güvenilir bir süneklik artışı sağlamak mümkün değildir. Dolgu yığma duvarlar gevrek olarak hasar gören elemanlardır. Bu nedenle güçlendirilen dolgu duvarların deprem sırasında hasar görmemesi, doğrusal elastik kalmaları gerekir (**Yönetmelik, Tablo 7.5**).

Dolgu duvar güçlendirmesi en fazla 3 katlı betonarme binalarda uygulanır. Güçlendirilen dolgu duvarlar ile yeterli performansın sağlanamaması durumunda binaya yerinde dökme betonarme perdeler de eklenebilir. Dolgu duvar güçlendirmesinin maliyeti oldukça düşüktür ve uygulaması kolaydır (**Yönetmelik, Ek 7E**).