T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ ORTA KATLI BİNALARIN BİNA PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

AYŞEGÜL KIZILAY KONTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DEKİ ORTA KATLI BİNALARIN BİNA PERFORMANSINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

AYŞEGÜL KIZILAY KONTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE
2013

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13.06.2013 tarih ve 2013/31 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/07/2013 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ayşegül Kızılay Kontaş'ın tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: Doç. Dr. Yasin FAHJAN	
ÜYE	:Doç. Dr. Eren UÇKAN	
ÜYE	:Doç. Dr. Şevket ÖZDEN	

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Türkiye gibi çok büyük kısmı ciddi deprem tehlikesi altında olan bir ülkede bu doğa olayının sonucunda oluşabilecek kayıpların en aza indirilmesi ülkemizin önemli meselesidir. Nüfusun önemli bir kısmını içinde barındıran bu tür yapıların güvenlik seviyesinin belirlenmesi deprem afetine karşı yapılacak hazırlıkların en önemli ve başta gelen safhalarından biridir. Ancak incelenmesi gereken yapı stokunun büyüklüğü bu değerlendirmenin yapılabilmesinin önündeki en büyük engeldir. Bu denli çok sayıdaki binanın detaylı şekilde incelenmesi mümkün değildir. Bu nedenle yapıların güvenlik seviyeleri hakkında fikir verebilecek, çok ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duymayan hızlı ve pratik biçimde uygulanabilecek metotlara gereksinim duyulmuştur. Bu metotlarda ele alınan parametrelerin hangisinin katkısının ne derece önemli olduğunu belirlemek önem arz etmektedir.

Mevcut bina değerlendirilirken karşılaşılabilecek pek çok parametrenin (kat adedi, beton sınıfı, donatı sınıfı, zemin sınıfı, yumuşak kat, ağır çıkma, sargılama koşulları… vb.) bina performansına katkıda bulunduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada rölevesi alınan mevcut binalar arasından orta yükseklikte (4-6 katlı) 20 adet bina seçilmiştir. Bu binalar beton sınıfları, donatı sınıfları ve sargılama koşulları değiştirilerek doğrusal elastik hesap yöntemiyle analiz edilecek ve bina performansındaki etkisi araştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mevcut bina performansı, doğrusal analiz, beton sınıfı.

SUMMARY

There is still a big part of Turkey where earthquake is imminent. Due to this unpredictable natural disaster, the plan to mitigate the earthquake is apriority for Turkey. First and foremost, we have to determine the threat level to the security of buildings with higher risks. However, the work of determining the level of security is not easy as there is a huge number of buildings in Turkey. To handle this setback, we need uncomplicated and simple method to apply. While applying these methods, we have to be careful with the parameters and how effective these methods apply to them. While evaluating buildings with high risks, our methods will determine the performance level of the building.

As we use different methods with different lengths of parameters (the number of floors, concrete class, reinforcement class, ground class, soft floor, swathing conditions…etc.), we will be able to see how extensive the results will be.

Our work is based on 20 different buildings, with an average height of 4-6 floors. We took the blueprints of these buildings and gave an expository survey by applying linear elastic calculation method on these buildings. We also investigated the performance of these buildings by changing their concrete classes, reinforcement classes and swathing conditions.

Key words: Performance of existing buildings, linear elastic calculation method, concrete class.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bilgi birikimini, değerli görüş ve tavsiyelerini esirgemeyen, çalışmalarımı her aşamada izleyip değerlendirerek yön veren, danışman hocam Doç. Dr. Yasin FAHJAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Engin bilgi birikimleri ve değerli katkılarıyla tezimin gelişmesine katkı sağlayan Doç. Dr. Eren UÇKAN ve Doç. Dr. Şevket ÖZDEN'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca öğrenim hayatım süresince, yıllarca türlü fedakârlık ve şefkatle beni destekleyen anneme, babama ve kardeşlerime minnettarım.

Ve son olarak tez hazırlanma sürecinde maddi ve manevi desteğini aldığım eşim Murat Kontaş'a sonsuz anlayışından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÜLKEMİZDE DEPREMDE HASAR GÖREN YAPILAR VE HASAR NEDENLERİ	4
2.1. Türkiye'de Yaşanan Bazı Büyük Depremler	4
2.2. Yapılarda Gözlenen Genel Hasarlar ve Nedenleri	7
2.2.1. Kalitesiz Malzeme	8
2.2.2. Taşıyıcı Sistem Problemleri	11
2.2.3. Teknik Kusurlar	26
2.2.4. Zemin Sorunları	29
3.PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRME	34
3.1. Tanımlar ve Performansa Dayalı Analizde Tarihi Gelişim	34
3.2. Performans Değerlendirmesi	37
3.2.1. Hedeflenen Performans Seviyeleri	38
3.2.1.1. Yapısal Sistem Performans Seviyeleri	39
3.2.1.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	40
3.2.1.3. Yapı Hedeflenen Performans Seviyesi	41
3.2.2. Yer Hareketi	44
3.2.3. Deprem Etkisi	45
3.2.4. Kesit Hasar Düzeyleri	45
3.2.5. Yapı Performans Düzeyi	45
3.3. Performans Değerlendirmesinde Yapılan Kabuller ve Kullanılan Sınırlar	46
3.4. Performans Değerlendirmede Çeşitli Yaklaşımlar	46
3.4.1. ATC 40 - Kapasite Spektrumu Yöntemi	47

3.4.2. FEMA 356 – Deplasman Katsayıları Yöntemi 49
3.4.3. Yeni Zelanda Yönetmeliği 50
3.4.4. Eurocode-8 50
3.5. Performans Amaçları 51
3.5.1. Performans Amaçlarının Sınıflandırılması 51
3.5.2. Performans Amaçları 52
3.5.3. Temel Güvenlik Performans Amacı 53
3.5.4. Diğer Performans Amaçları 53
3.6. Performans Amaçlarının Karşılaştırılması 54
3.6.1. Başlangıç Performans Amacı 54
3.6.2. Son Performans Amacı 54
4. MEVCUT BİNALARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DEĞERLENDİRİLMESİ 55
4.1. Binalardan Bilgi Toplanması 55
4.1.1. Bina Geometrisi 56
4.1.2. Eleman Donatı Detayları 57
4.1.3. Malzeme Özellikleri 58
4.1.4. Mevcut Binalarda Beton Özelliklerinin Belirlenmesi 58
4.1.5. Donatı Özelliklerinin Belirlenmesi 59
4.2. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri 59
4.3. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi 60
4.4. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri 60
4.5. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlkeler ve Kurallar 61
4.6. Hesap Yöntemleri 62
4.6.1. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri 62
4.6.1.1. Eksenel Kuvvetlerin Hesabı 65
4.6.1.2. Performans Degerlendirmesinde Kullanılan Etki/Kapasite Oranı Sınırları 66
4.6.2. Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri 67
4.6.2.1. Artimsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (Tek Modlu Statik Itme Analizi) 67
4.6.2.2. Çok Modlu Statik Itme Analizi (Mod Birleştirme Yöntemi) 70
4.6.2.3. Performans Değerlendirmesinde Yapılan Kabuller ve Kullanılan Sınırlar 70
5. ÇALIŞMADA KULLANILAN SAYISAL VERİ 72

5.1. İncelenen Yapıların Özellikleri 72
5.2. İncelenen Binaların Doğrusal Elastik Analizi 78
5.2.1. Beton Değişkenliğine Göre Binanın Modellenmesi ve Analiz Adımları 80
5.2.2. Donatı Sınıfı ve Sargı Değişkenliğine Göre Binanın Modellenmesi ve Analiz Adımları 87
6.SONUÇLAR 91

KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 95

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
h_i	:	Binanın i'inci katının kat yüksekliği
L	:	Eleman net uzunluğu
M_{ra}	:	Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_r	:	Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti
M_{ri}	:	Kirişin sol ucu i'deki kolon ve perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{rj}	:	Kirişin sağ ucu j'deki kolon ve perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
M_{p1}	:	Eleman sol ucunun plastik moment kapasitesi
M_{p2}	:	Eleman sağ ucunun plastik moment kapasitesi
V	:	Kesme kuvveti
η_{ki}	:	i'ninci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
$(\Delta_i)_{ort}$	:	Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi
ATC	:	Applied Technology Council
DBYBHY	:	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	:	Federal Emergency Management Agency
ODTÜ	:	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
İTÜ	:	İstanbul Teknik Üniversitesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No: **Sayfa**

2.1: Bingöl'deki okul enkazında kullanılan agrega örneği. 8
2.2: Bingöl'deki caminin hasarlı kolonları. 9
2.3: Soldaki Düzce'de bir bina, sağdaki Simav Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi. 10
2.4: Düzce'de bir bina. 10
2.5: Düzce'de bir bina. 11
2.6: Zemin katta duvarların bulunmaması nedeniyle yumuşak kat oluşumu. 12
2.7: a) Yumuşak Kat, b) Düzenli Çerçeve 13
2.8: Düzce' de bir dükkân. 13
2.9: 2003 Bingöl depreminde yumuşak kat nedeniyle göçen binalar. 13
2.10: Yumuşak katın çökme örnekleri. 14
2.11: Deprem enerjisinin tek bir katta yoğunlaşması. 15
2.12: Kolonların kirişlerden güçlü olması. 16
2.13: Zayıf kolon-güçlü kiriş örnekleri, Düzce. 16
2.14: Soldaki Gölcük'te bir dükkan, sağdaki ise Simav Tek. Ve End. Meslek Lisesi 16
2.15: Burulmaya maruz binalar. 17
2.16: Düzce'de Z+2 katlı bir bina. 17
2.17: Adapazarı'nda bir galeri. 18
2.18: İki yana savrulmuş binalar. 18
2.19: İki yönden çekiçlemeye maruz bina. 19
2.20: Düzce'de hatalı taşıyıcı sisteme sahip bina. 20
2.21: Düzce'de hatalı taşıyıcı sisteme sahip bina. 20
2.22: İki ucu mafsallı bir elemanın serbest cisim diyagramı. 21
2.23: Kolon net açıklığının azaltılması 22
2.24: 2003 Bingöl depreminde kısa kolon nedeniyle hasar görmüş yapılar. 23
2.25: 1999 Kocaeli depreminde hasar görmüş bir yapıda merdiven bölgesinde kısa kolon oluşumu. 23
23
2.26: Gölcük'te bir bina. 23
2.27: Gölcük' te bir iş merkezi. 24
2.28: Kısa kolon hasarı 24
2.29: 2003 Bingöl depreminde hasar görmüş ağır çıkmalara sahip bir yapı. 25
2.30: 1999 Armenia Kolombiya depreminde hasar görmüş ağır kapalı çıkmalara sahip bir yapı. 25

2.31: Etriye ve çirozlarla ilgili koşullar. 26
2.32: Gölcük'te bir binanın hasarlı kolonu. 26
2.33: Merkez Kaleönü ilköğretim Okulu-Bingöl. 27
2.34: Simav Depremi Sonrasi Okul 27
2.35: Gölcük'te net beton örtüsü dökülmüş bir bina. 28
2.36: Düzce'de bir binaya ait kolon. 29
2.37: Adapazarı'nda bir bina. 29
2.38: Düzce'den başka bir bina. 30
2.39: Bingöl'de bir bina. 31
2.40: Kısmen çökmüş bir bina, Düzce. 31
2.41: Düzce'de bir dükkan. 32
2.42: Marmara Depremi sonrası İzmit. 32
2.43: Adapazarı'nda bir bina. 33
3.2: Elastik olmayan dayanım ve deplasman istemi. 49
3.3: Kapasite eğrisinin idealleştirilmesi. 50
3.4: Bina performans seviyeleri ile güçlendirme maliyeti arasındaki ilişki. 52
4.1: Tipik bir binanın taban kesme kuvveti - tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi. 64
4.2: Kirişlere oluşan kapasite kesme kuvvetleri. 66
4.3: Farklı yapı türlerinin statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri ve yıkılma özellikleri. 69
4.4: Statik itme analizinde spektral yer değiştirme talebinin eşit yer değiştirme prensibi ile belirlenmesi. 70
5.1: Mevcut binalardan birine ait 3 boyutlu görünüm. 73
5.2: Mevcut binalardan birine ait plan kesiti. 73
5.3: Değişen beton sınıfının kolonlardaki etki-kapasite oranına etkisi. 83
5.4: Değişen beton sınıfının kolonlardaki kesme kuvveti oranına etkisi. 83
5.5: Değişen beton sınıfının göreli kat ötelemesine etkisi. 84
5.6: Burulma düzensizliği ile beton sınıfı arasındaki ilişki. 85
5.7: Kattaki kolon alanı oranı ile beton sınıfı arasındaki ilişki. 85
5.8: Değişen donatı sınıfı ve sargılamanın kolonların etki-kapasite oranına etkisi. 88
5.9: Kattaki kolon alanı oranı ile donatı sınıfı ve sargılama arasındaki ilişki. 90
5.10: Burulma düzensizliği ile donatı sınıfı ve sargılama arasındaki ilişki. 90

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:	Sayfa
3.1: Yapısal ve Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri-FEMA 356/389	39
3.2: Göz Önüne Alınacak Deprem Parametreleri	44
3.3: Performans Amaçlarının Sınıflandırılması	52
3.4: Çok Seviyeli Performans Amaçları	53
3.5: Tasarım Depreminde Can Güvenliği Seviyesi	53
3.6: Temel Güvenlik Performans Amacı	53
3.7: Normal Binalar İçin Örnek Performans Seviyeleri	54
3.8: Performans Amaçlarının Ekonomik Durumları	54
4.1: Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	61
5.1: 20 adet binanın kat adedi, yaşı ve yapı nizami	74
5.2: 20 adet binanın kiriş ve döşeme bilgileri	75
5.3: Binaların 1. katındaki toplam kolon alanları ve toplam kat alanı	76
5.4: Binadaki düzensizlik durumları	77
5.5: Doğrusal Elastik Analizde Kullanılan Parametreler	80
5.6: Değişken beton sınıfında kullanılan beton sınıfları	81
5.7: Değişen beton sınıfının bina performansına etkisi	82
5.9: Değişen beton sınıfının göreli kat ötelemesine etkisi	86
5.10: Doğrusal Elastik Analizde Kullanılan Parametreler	87
5.11: Donatı sınıfının ve sargılamanın mevcut binaların kolonları üzerindeki etkisi	89

1. GİRİŞ

Tüm dünyada nüfus artışına ve sanayileşmenin bazı bölgelerde yoğunlaşmasına paralel olarak yapılaşma da hızla artmaktadır. Ülkemiz de sanayileşmenin, hızlı nüfus artışı ve kırsal kesimden büyük kentlere göçün yaşandığı bir dönemden geçmiştir. Bunların sonucunda büyük bir konut ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacın giderilmesi için hızlı bir yapılaşmaya girişilmiş fakat inşa edilen yapıların kalitesine ve o dönemde yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olup olmadığına önem verilmemiştir. 1950'li yıllarda tek katlı yapılarla başlayan gecekondu olgusu, son 20 yılda çok katlı olarak kaçak ve çarpık yapılaşma devam etmiştir. Sağlıksız, plansız ve kalitesiz bir şekilde gelişen yapılaşma çevre ve kent bilincini de tamamen yok etmiştir. Bu şekilde gerekli ölçüde veya hiç mühendislik hizmeti almadan, hiçbir güvenlik endişesi taşımadan çok büyük miktarda bina yapılmıştır. Öyle ki şu an mevcut yapı stokunun büyük bölümü bu şekilde inşa edilmiş yapılardan oluşmaktadır.

Depremler seyrek tekrarlandıkları için sürekli gündemde olmayan, ancak meydana geldiklerinde toplumları derinden etkileyen doğal afetlerdir. Ülkemiz yaşadığı depremler sonucu çok sayıda can kaybına ve büyük miktarda maddi kayba maruz kalmıştır. Bu kayıpların oluşmasında etkili olan faktörler bina taşıyıcı sistem ve tasarım hataları, kullanılan kalitesiz malzeme ve yetersiz işçiliğin yanı sıra bina yapım aşamasındaki yetersiz kontrol ve denetimdir.

Türkiye'deki mevcut yapı stoğu geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerde beklenen performansı maalesef gösterememişlerdir. Bu nedenle mevcut yapıların büyük çoğunluğunun yeterli deprem dayanımına sahip olmadığı kanaati yaygındır. 1999 yılında yaşanan büyük deprem, bu kanaate sahip olanların hiç de haksız olmadıklarının acı bir göstergesidir. Ülkemizin %92 sinin deprem bölgeleri içerisinde yer aldığı ve nüfusun %95 inin deprem tehlikesi olan bu bölgelerde yerleştiği göz önünde bulundurulduğunda mevcut yapılar için performans değerlendirmesinin ne denli önemli olduğu daha iyi anlaşılır.

Depremlerde tamamen çöken yapıların hasar mekanizmalarının anlaşılması pek kolay değildir. Bu nedenle, deprem sonrası yapılan teknik incelemelerde ve hasar tespitlerinde genellikle orta ve ağır hasarlı yapılar üzerinde yoğunlaşılır. Bu yapılarda yapılan incelemeler sonucunda, mühendislik ve uygulama açısından yapılmış olan

hatalar tespit edilir. Yapıların tamamen göçmesi veya kat kaybetmesi de genellikle benzer hatalar neticesinde deprem açısından yeterli rijitliği gösterememiş olmaları sonucunda gerçekleşmektedir.

Bilim ve teknikteki gelişmeler ile inşaat mühendisliğinde de büyük ilerlemeler olmuştur. Yapısal davranışın ve deprem olgusunun daha iyi anlaşılması ile yönetmelik ve şartnamelerimiz daha ağır hükümler içeren yenileri ile değiştirilmiştir. Bu durum yukarıda sözü edilen daha hafif hükümler içeren eski şartname ve yönetmelik koşullarını bile taşımayan yapılar hakkındaki kaygıları arttırmaktadır.

Günümüzde geçerli depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerine göre yapılar, ekonomik ömürleri içinde en az bir kez olması beklenen yüksek şiddetteki depremlerde can kaybı önleyecek dayanımda yapılırlar. Bu yaklaşım ile depreme dayanıklı yapıların olması beklenen en şiddetli deprem etkisinde taşıyıcı olan ya da olmayan elemanlarında hasar olacaktır sonucu çıkar. Ayrıca depreme dayanıklı olarak nitelenen yapıların en şiddetli depremlerde hasar görmesinin beklendiği bir ortamda depreme karşı yeterli önlem alınmadan yapılmış eski ve yeni yapılarda aşırı hasar olacağı da kesindir.

Bu sebeple depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün, dolayısıyla performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin önemi ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde yapılan kapsamlı çalışmalar sonucu, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007” (DBYBHY’07) hazırlanmıştır. DBYBHY’07’de, mevcut binaların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi ve deprem performansı yetersiz binalar için gerekli güçlendirme kuralları içeren ‘Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi Bölüm 7’ başlıklı bir bölüm bulunmaktadır.

Türkiye gibi çok büyük kısmı ciddi deprem tehlikesi altında olan bir ülkede bu doğa olayının sonucunda oluşabilecek kayıpların en aza indirilmesi ülkemizin önemli bir meselesidir. Nüfusun önemli bir kısmını içinde barındıran bu tür yapıların güvenlik seviyesinin belirlenmesi deprem afetine karşı yapılacak hazırlıkların en önemli ve başta gelen safhalarından biridir.

Ancak incelenmesi gereken yapı stokunun büyüklüğü bu değerlendirmenin yapılabilmesinin önündeki en büyük engeldir. Bu denli çok sayıdaki binanın detaylı şekilde incelenmesi mümkün değildir. Bu nedenle yapıların güvenlik seviyeleri hakkında fikir verebilecek, çok ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duymayan hızlı ve pratik biçimde uygulanabilecek metotlara gereksinim duyulmuştur.

Bu metotlarda ele alınan parametrelerin hangisinin katkısının ne derece önemli olduğunu belirlemek önem arz etmektedir.

Mevcut bina değerlendirilirken karşılaşılabilecek pek çok parametrenin (kat adedi, beton sınıfı, donatı sınıfı, zemin sınıfı, yumuşak kat, ağır çıkma, sargılama koşulları… vb.) bina performansına katkıda bulunduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada rölevesi alınan mevcut binalar arasından orta yükseklikte (4-6 katlı) 20 adet bina seçilmiştir. Bu binalar beton sınıfları, donatı sınıfları ve sargılama koşulları değiştirilerek doğrusal elastik hesap yöntemiyle Probina-Orion 2013 kullanılarak analiz edilmiş ve bina performansındaki etkisi kıyaslanmıştır.

2. ÜLKEMİZDE DEPREMDE HASAR GÖREN YAPILAR VE HASAR NEDENLERİ

1912 yılından bu yana Türkiye'nin dört bir yanında yaşanan depremler büyük can ve mal kayıplarına neden oldu. Bu bölümde bu depremler sonucu bina hasarlarından kaynaklı yaşanan can kayıpları ve bu hasarlı yapılarda yapılan incelemeler sonucunda, mühendislik ve uygulama açısından yapılmış olan hatalar üzerinde durulacaktır.

2.1. Türkiye'de Yaşanan Bazı Büyük Depremler

Son 100 yıl içinde Türkiye genelinde yaşanan bazı büyük depremler şöyle sıralanabilir [1]:

9 Ağustos 1912 Mürefte: Büyüklüğü 7,3 olan bu depremde 216 kişi yaşamını yitirdi, 466 kişi de yaralandı.

6 Mayıs 1930 Hakkâri: Hakkâri'nin sınır bölgesinde gerçekleşen bu depremde 2514 kişi öldü. Depremin büyüklüğüyse 7,2'ydi.

26 Aralık 1939 Erzincan: Türkiye'nin bu yüzyılda yaşadığı en şiddetli deprem olan Erzincan depremi hala hafızalarda. Kışın en şiddetli günlerinde Erzincan halkını vuran bu felakette açıklanan ölü sayısı 32962. 7,9 büyüklüğündeki bu depremin ardından yurt çapında yas ilan edildi.

20 Aralık 1942 Niksar-Erbaa: Büyüklüğü 7,0 olan bu depremde 3000'e yakın insan ölmüş, yaklaşık 6300 kişi de yaralanmıştı.

26 Aralık 1943 Tosya-Lâdik: 2824 kişinin yaşamına mal olan bu depremin büyüklüğü 7,2 olarak ölçüldü.

1 Şubat 1944 Bolu-Gerede: 7,2 büyüklüğündeki depremde 3959 kişi öldü, çok sayıda insan evsiz kaldı.

31 Mayıs 1946 Varto-Hınıs: Yazın başlangıcında yaşanan bu depremde 839 kişi yaşamını yitirdi, 349 kişi yaralandı.

19 Ağustos 1966 Varto: Varto'nun karşılaştığı bu en şiddetli depremde 2394 kişi öldü 1489 kişi yaralandı. Derinliği 26 km olan bu depremim büyüklüğü Richter ölçeğine göre 6,9'du. Varto'da bir önceki yıl yaşanan ve 4,0 büyüklüğünde olduğu hesaplanan bu depremde de 12 kişi yaşamını yitirdi.

28 Mart 1970 Gediz: Gediz'de meydana gelen 7,2 büyüklüğündeki depremin ortaya koyduğu felaket tablosu: 1086 ölü, 1260 yaralı.

6 Eylül 1975 Lice: 2385 kişinin öldüğü 3339 kişinin yaralandığı depremin büyüklüğü Richter ölçeğine göre 6,9.

24 Aralık 1976 Çaldıran-Muradiye: Yaşanan en büyük depremlerden biri olan bu depremin büyüklüğü 7,2 olarak ölçüldü. Can kaybı 3840'tı. 497 kişi yaralandı, birçok kişi evsiz kaldı.

30 Kasım 1983 Erzurum-Kars: 6,8 büyüklüğündeki deprem, büyük hasara ve can kaybına yol açtı. Depremde 1155 kişi öldü, 1142 kişi yaralandı.

13 Mart 1992 Erzincan: Erzincan ile birlikte Tunceli'yi de vuran bu deprem, 6,8 büyüklüğündeydi. Depremde 653 kişi yaşamını yitirdi. Yaralı sayısıysa 3850 olarak belirlendi.

1 Kasım 1995 Dinar: 5,9 büyüklüğündeki depremde ölü sayısı 94.

27 Haziran 1998 Ceyhan: 6,3 büyüklüğündeki deprem başta Ceyhan olmak üzere bütün Adana'yı etkiledi. 84 kişinin hayatını yitirdiği depremde 310 kişi yaralandı, yüzlerce ev hasar gördü.

17 Ağustos 1999 Gölcük: 7,8 büyüklüğündeki depremde 17480 kişi hayatını kaybetti, 73 bin 342 kişi yaralandı.

12 Kasım 1999 Düzce: 7,5 büyüklüğündeki depremde 763 kişi hayatını kaybetti, 35 bin 519 kişi yaralandı.

6 Haziran 2000 Çankırı: 6,1 büyüklüğündeki Çankırı depreminde bir kişi hayatını kaybetti, bin 766 kişi yaralandı.

3 Şubat 2002 Çay-Sultandağı: 6,4 büyüklüğündeki depremde 44 kişi öldü, 622 yaralandı.

1 Mayıs 2003 Bingöl: 6,4 büyüklüğündeki depremde 176 kişi hayatını kaybetti 6 bin kişi yaralandı.

23 Ekim 2011 Van: 7 büyüklüğündeki depremde 601 kişi hayatını kaybetti.

Türkiye'de afete en fazla maruz kalan iller, afetzede sayısı açısından bakıldığında Kocaeli, Erzurum, Bingöl, Sakarya, Düzce, Van, Yalova, Muş, Adana ve Diyarbakır şeklinde sıralanıyor. Bu noktada dağılımı depremin belirlediği dikkati çekiyor. Olay bazında ele alındığında ise afetten en çok etkilenen iller Erzurum, Trabzon, Bingöl, Rize, Tunceli, Erzincan, Kastamonu, Malatya, Sivas ve Artvin olarak sıralanıyor. Her iki açıdan da afetlerden en az etkilenen illerin başında Kırklareli geliyor. Onu Edirne, Kilis ve Tekirdağ izliyor. Afetzede sayısı açısından

depreme en çok maruz kalan 10 il verileri incelendiğinde, yıkım oluşturan ve afetzede sayısını artıran depremler şöyle sıralanıyor:

- 17 Ağustos 1999 Kocaeli (7,4)
- 12 Kasım 1999 Kocaeli (7,2)
- 30 Ekim 1983 Erzurum (6,8)
- 24 Kasım 1976 Van-Çaldıran (7,2)
- 12-14 Mart 2005 Bingöl (5,7-5,9)
- 22 Mayıs 1971 Bingöl (6,7)
- 19 Ağustos 1966 Muş-Varto (6,9)
- 6 Eylül 1975 Diyarbakır – Lice (6,9)
- 27 Haziran 1998 Adana – Ceyhan (6,3)

Ülkemiz topraklarının 2/3'si hasar yapıcı şiddette deprem tehdidi altındadır. Türkiye'de son yüz yılda meydana gelmiş 193 adet yıkıcı depremde yaklaşık 100.000 kişi hayatını kaybetmiş, 495,000 bina yıkılmıştır. Sadece 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde yaklaşık 20,000 insanımız hayatını kaybetmiş, 124,000 yıkık-ağır hasarlı konut, 110,000 orta hasarlı konut ve 100,000 az hasarlı konut olmak üzere toplam 334,000 konutta hasar saptanmış, bu depremlerin ülkemize verdiği ekonomik zararlar 20 milyar TL' ye ulaşmıştır.

Depremde sırasıyla Adapazarı, Gölcük, Değirmendere, İzmit, Yalova, Çınarcık ve Düzce'de çok sayıda bina tamamen çökmüştür. Deprem, elektrik, su ve iletişim hatlarının tamamen kesilmesine ve Ankara- İstanbul tren ve otoyollarında sıvılaşma ve zemin oturmasından dolayı ulaşımın durmasına sebep olmuştur. Ayrıca çok sayıda kanalizasyon sistemi kullanılamaz hale gelmiştir.

Depremlerin neden olduğu zararlar ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ile yakından ilişkilidir. Benzer büyüklükteki depremler az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde, gelişmiş ülkelere oranla çok daha fazla zarara neden olmaktadır. Ülkemiz az gelişmiş bir ülke değildir. Gelişmekte olan ülkelerin arasında ön sıralarda yer almakta ve kalkınmasını hızla sürdürmektedir. Buna karşın depremlerden zarar görme ölçüsü ile değerlendirildiğinde az gelişmiş ülkeler ile ayni düzeyde yer almaktadır. Bunun bir nedeni yerleşim bölgelerinde deprem tehlikesinin yeterli ayrıntıda bilinmemesidir. Ancak daha önemli nedeni deprem bölgelerinde yer alan kentlerimizdeki binaların deprem dayanımlarının son derece yetersiz olmasıdır. 1960'lar sonrasında yaşanan hızlı kentleşme ve büyüme süreçlerinde ortaya çıkan

yüksek konut talebinin karşılanma yöntemleri, yapıların deprem güvenliğinin tamamen göz ardı edilmesi ile sonuçlanmıştır. Başta İstanbul olmak üzere deprem etkilerine maruz Türk kentleri mevcut durumda dünyanın deprem riski en yüksek kentleri arasında yer almaktadır.

2.2. Yapılarda Gözlenen Genel Hasarlar ve Nedenleri

Türkiye bir deprem ülkesidir. Yapı pratiğimizi güncel teknolojiye uyarlayarak ve yaşadığımız depremleri hiç bir zaman belleklerimizden silmeden daha güvenli binalar yapmak zorundayız. Bir başka deyimle, son yirmi yıl içerisinde yaşadığımız dört büyük depremden aldığımız derslerle yapılarımızı daha güvenilir düzeylere ulaştırmalıyız.

Depremlerde tamamen çöken yapıların hasar mekanizmalarının anlaşılması pek kolay değildir. Bu nedenle, deprem sonrası yapılan teknik incelemelerde ve hasar tespitlerinde genellikle orta ve ağır hasarlı yapılar üzerinde yoğunlaşılır. Bu yapılarda yapılan incelemeler sonucunda, mühendislik ve uygulama açısından yapılmış olan hatalar tespit edilir. Yapıların tamamen göçmesi veya kat kaybetmesi de genellikle benzer hatalar neticesinde deprem açısından yeterli rijitliği gösterememiş olmaları sonucunda gerçekleşmektedir.

Yapı mühendisliği pratiğinde, yapılan hataların belirlenmesi, sınıflandırılması ve bundan sonraki uygulamalarda önlenmesi gereklidir. Bu şekilde, hiç değilse bizden sonraki kuşakları daha güvenli ve en azından deprem açısından kaygısız bir yaşam düzeyine taşıyacaktır.

1992 Erzincan, 1994 Dinar, 1998 Adana – Ceyhan, 1999 Gölcük ve 1999 Düzce Depremleri'nde hasar gören yapılarda hasarın nedenleri aşağıda verildiği gibi sıralanabilir [2] :

- Kalitesiz Malzeme (Düşük beton dayanımı, kalitesiz demir donatı vb.)
- Taşıyıcı Sistem Hatası (Güçlü kiriş – zayıf kolon, zayıf kat, yetersiz boyut, vb.)
- Teknik Kusurlar (Sargı donatısı eksikliği, kötü yerleştirilmiş beton vb.)
- Zemin Sorunları(Sıvılaşma, zayıf zemin vb.)

2.2.1. Kalitesiz Malzeme

Kötü agrega, düşük dayanımlı beton, yetersiz donatı başlıca kalitesiz malzeme olarak sayılabilir.

Kötü Agrega: Agrega granülometrisinin beton niteliği üzerindeki önemli etkisi nedeniyle, kullanılacak agrega ile önceden yapılacak deneylerle amaca en uygun granülometri belirlenmelidir. Betonda kullanılacak agreganın en büyük dane büyüklüğü,

- Kalıp genişliğinin 1/5 inden,
- Döşeme kalınlığının 1/3 ünden,
- İki donatı çubuğu arasındaki uzaklığın 3/4 ünden ve beton örtüsünden büyük olamaz.



Şekil 2.1: Bingöl'deki okul enkazında kullanılan agrega örneği.

Şekil 2.1'de Bingöl'de yıkılan bir okul en kazından alınan bir örnek gösterilmektedir. Tasavvur edilmesi açısından yanına konan bir cep telefonunun bile kullanılan agregadan ne kadar küçük kaldığı gösterilmektedir. Şekil 2.2'de Bingöl'deki caminin hasarlı kolonlarında kullanılan uygunsuz agrega dağılımı görülmektedir [2].



Şekil 2.2: Bingöl'deki caminin hasarlı kolonları.

Düşük Dayanımlı Beton: Betonarme bina deyince akla ilk gelen malzeme olan betonun, dayanımı ve kalitesi deprem güvenliği açısından çok büyük önem arz eder. Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20'den daha düşük dayanımlı betonun kullanılmaması gerekir. Kullanılması gereken malzeme ve beton ile ilgili bilgiler Deprem Yönetmeliği, 3.2.5'de, TS 500 Çizelge 3.2'de ve Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

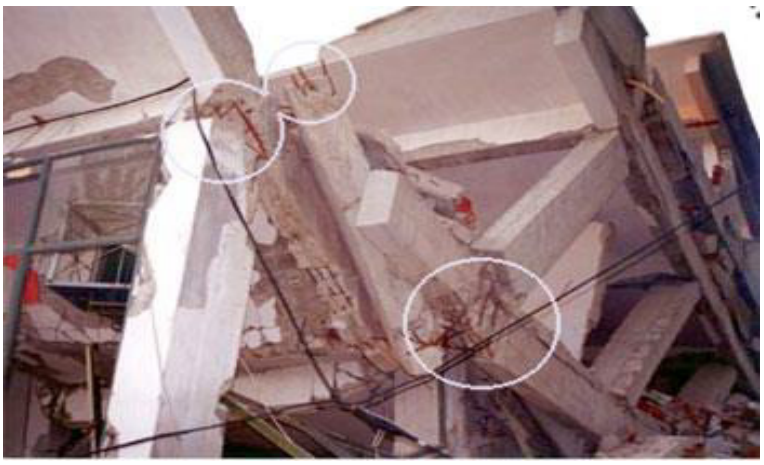
Beton kalitesinin düşük olması, betonun dayanımını azaltmakta ve bu da betonun dağılarak ağır hasar görmesine neden olmaktadır. Betonarme yapılarda beton, yüksek basınç dayanımını ve düşük çekme dayanımını karşılar. Betonarme yapılarda çekme gerilmeleri çelik donatısı ile karşılanır. Basınç etkisi altında meydana gelen hasar ezilme şeklindedir. Beton basınç altında ezildikten sonra o bölgedeki boyuna donatının burkulması daha kolay olur. Kolon-kiriş birleşim noktalarında betonda boşluk olmaması için beton mutlaka vibratör ile sıkıştırılarak yerleştirilmelidir.

Şekil 2.3'de gelen yükten dolayı ezilip, dağılan betonarme bir bina (solda), sağda ise bir okulun kolonun da meydana gelen agregası uygun olmayan betonda ezilme ve boyuna donatının burkulması görülmektedir [2].



Şekil 2.3: Soldaki Düzce'de bir bina, sağdaki Simav Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi.

Yetersiz Donatı: Betonarme binalarda betonun yanında en az beton kadar önemli diğer malzeme de donatıdır. Donatı miktarı ve kalitesiyle ilgili tüm koşullar yönetmeliklerde bulunmaktadır. Küçük bir donatı detayı bile tüm binamızın göçmesine sebep olabilir. Bu yüzden bizim de özellikle deprem bölgelerinde bu hesaplara harfiyen uymamız gerekir. Donatı çeliğiyle ilgili koşul ve özellikler TS 500 Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.1'de, kolon ve kiriş donatı düzenlenmesi ve bununla ilgili koşullar ise DBYBHY 2007 Bölüm 3.3'de verilmiştir.



Şekil 2.4: Düzce'de bir bina.

Şekil 2.4'de kolon ve kirişlerde fark edilen donatı eksikliği yanında filiz boylarının da çok yetersiz olduğu açıkça görülmektedir. Kolon betonu ile döşeme kalıbının farklı zamanlarda ayrı ayrı dökülmesi ve kolon uçlarının iyi

temizlenmemesi yüzünden kolon ve kiriş birleşim yerlerinde ayrılmalar meydana gelmiştir [2].



Şekil 2.5: Düzce'de bir bina.

Şekil 2.5'de kolonlardaki donatı çapının yetersiz olduğu, kiriş hizasında kolon içerisine tekabül eden bölümde en az üç adet etriye konması gerekirken bu etriyelerin yerleştirilmediği görülmektedir. Bina tamamen yıkılmıştır [2].

2.2.2. Taşıyıcı Sistem Problemleri

Yetersiz yanal rijitlik, kısa kolon, kapalı çıkma, çekiçleme, burulma, zayıf kolon güçlü kiriş taşıyıcı sistem problemlerine örnek olarak sayılabilir.

Yumuşak Kat: DBYBHY 2007'de birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i `inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki}'nin 2.0'den fazla olması durumu olarak tanımlanmaktadır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort} > 2.0 \qquad (2.1)$$

veya

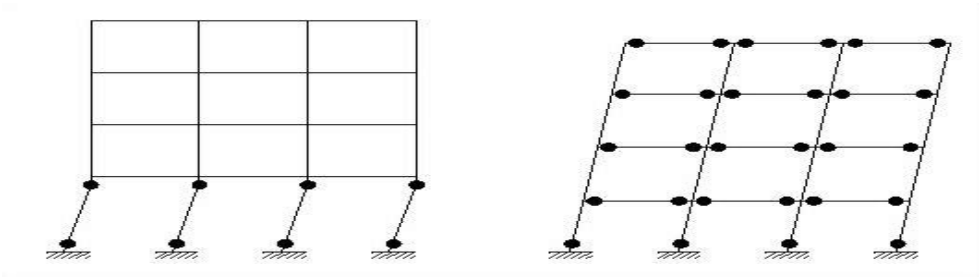
$$\eta_{ki} = (\Delta_i/h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort} > 2.0 \qquad (2.2)$$

Bu düzensizlik dünyada önde gelen hasar nedenleri arasındadır. Bu nedenle birçok sismik değerlendirme raporunda yer almaktadır (A summary report of the January 17 1995 Kobe Earthquake, Yoshimura ve Kuroki, Goel). Yumuşak kat son yıllarda ülkemizde de yaşanan depremlerde betonarme binaların yıkılma nedenlerinin başında gelmektedir. Bunun başlıca nedeni binaların zemin katlarının Şekil 2.6'da olduğu gibi otopark için veya dükkan olarak ticari amaçlar için kullanılmasıdır. Zemin katlarda vitrin olarak kullanmak amacıyla dış duvarlar yerine cam kullanılmakta, iç duvarlar ise geniş alanlara ihtiyaç duyulması nedeniyle üst katlara oranla çok az yapılmaktadır. Bir üst katta ise hemen iç ve dış duvarların inşa edilmiş olması düşeyde bir rijitlik düzensizliğine yol açmaktadır.



Şekil 2.6: Zemin katta duvarların bulunmaması nedeniyle yumuşak kat oluşumu.

Oluşan bu rijitlik düzensizliği özellikle perdesiz yapılarda deprem güvenliği açısından oldukça ciddi sorunlara yol açmaktadır. Deprem yüklemesi altında bu rijitlik düzensizliği nedeniyle zemin katta oldukça büyük deformasyon talepleri oluşmaktadır. Şekil 2.7.b)'de görülen çerçevede deprem enerjisi katlara düzgün olarak dağılmış plastik mafsallar yoluyla tüketilmektedir bu sayede yapı stabilitesi bozulmadan elde edilebilecek en yüksek sayıda plastik mafsal kullanılarak büyük miktarda enerji sönümleyebilmektedir. Fakat Şekil 2.7.a)'da görülen çerçevede oluşan yumuşak kat mekanizması nedeniyle oluşan oldukça az sayıdaki plastik mafsal dahi yapı stabilitesinin kaybına sebep olmaktadır. Oluşan az sayıda plastik mafsal nedeniyle enerji sönümü de zorlaşmaktadır.



a) b)

Şekil 2.7: a) Yumuşak Kat, b) Düzenli Çerçeve

Şekil 2.8'deki binada zemin kat dükkân yüksekliğinin artırılması sonucu kolon alt ve üst uçlarında donatı akması meydana gelmiştir. Yetersiz kolon kesiti ve eksik etriye yerleştirilmesi neticesinde yapıda oluşan ağır hasar görülmektedir. Arka cephede mevcut düzensiz perde kolonlar nedeniyle yapı tamamen yıkılmaktan kurtulmuştur [2].



Şekil 2.8: Düzce' de bir dükkân.



Şekil 2.9: 2003 Bingöl depreminde yumuşak kat nedeniyle göçen binalar.



Şekil 2.10: Yumuşak katın çökme örnekleri.

Genellikle zemin katta oluşsa da yumuşak kat mekanizması yapıda yanal rijitlik ve dayanımda ani değişikliklerin olduğu üst katlarda da görülebilir. Bunun ilginç bir örneği 17 Ocak 1995 Kobe depreminde görülmüştür. Bu şehirde bulunan 8 katlı bir binanın 6. katı depremde göçmüştür. Yapılan incelemede yapının ilk 5 katının çelik kılıfla kaplı betonarme kolonlarla yapıldığı, daha sonraki 3 katın ise sadece betonarme elemanlardan imal edildiği tespit edilmiştir. Aynı depremde 12 katlı bir binada da 5. kat seviyesinde göçme yaşanmıştır. Görüldüğü gibi oldukça üst katlarda da olsa yapı sistemindeki ani rijitlik değişimleri yumuşak kat mekanizmasına yol açabilmektedirler.

Şekil 2.11'de sol tarafta görülen bina yumuşak kat sonucu deprem enerjisinin tek bir noktada yoğunlaşmasına iyi bir örnek teşkil etmektedir. Yapının zemin katı deprem sonucu çökmüş durumda olmasına rağmen üst katların camları dahi kırılmamıştır.

Şekil 2.11'de sağ tarafta bulunan binada ise yumuşak katın farklı bir oluşum nedeni görülmektedir. Bu yapıda diğer katlarda kirişli döşemenin kullanılmış olmasına rağmen ikinci katta asmolen döşeme sistemi kullanılmıştır. Bu durum bu katta kirişlerin derinliğinin düşmesi ile kolonların serbest boyunun artmasına ve daha sığ kirişler sebebiyle kolon uçlarının daha kolay dönebilmesine yol açmıştır. Bu nedenle bu katta ötelenme rijitliği azalarak yumuşak kat oluşmuştur. Şekilde ikinci kat seviyesinde bulunan dolgu duvarların diğer katlardan daha fazla hasar almış olduğu rahatlıkla görülebilmektedir.



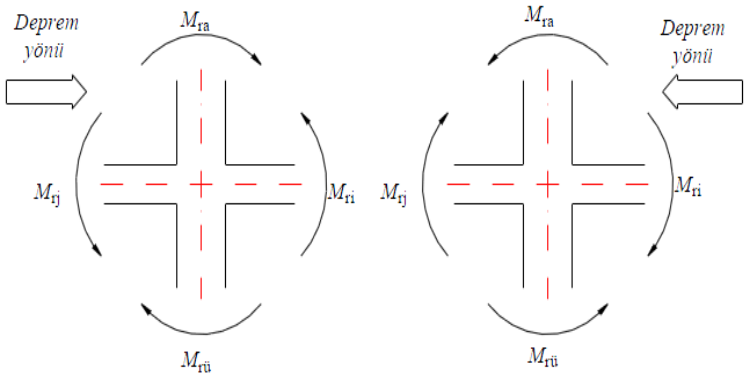
Şekil 2.11: Deprem enerjisinin tek bir katta yoğunlaşması.

Sonuç olarak hasar nedenlerinin başlıca sebebi olan yumuşak katın birçok farklı sebebe bağlı olarak yapıda ani rijitlik değişimleri ile oluştuğu ve deprem enerjisinin tek bir noktada tüketilmeye çalışılmasıyla yapının göçmesine neden olduğu söylenebilir.

Zayıf Kolon Güçlü Kiriş: Her bir kolon-kiriş düğüm noktasında birleşen kirişlerin, taşıma gücü momentlerinin toplamı; o düğüm noktasında göz önüne alınan deprem yönünde birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olmalıdır. Yani kolonlar öylesine güçlü olmalıdır ki plastik mafsallaşmanın kolon alt veya üst başlarından önce kiriş uçlarında oluşması sağlanmalıdır. Kirişlerdeki mafsallaşma kirişlerde aşırı derecede göçmeye dönüşmeyeceğinden binanın göçme olasılığı da azalmış olacaktır. Kolonların kirişlerden daha güçlü olması ile ilgili koşullar Deprem Yönetmeliği 2007, 3.3.5'te belirtilmiştir.

Yeterince zayıf kiriş-güçlü kolon yaklaşımı yerine, tam tersi bir anlayışla imal edilmiş, güçlü kiriş-zayıf kolon imalatı Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de görülmektedir. Düğüm noktasında yeterince etriye donatısı yok. Bu tür imalatlarda, düğüm noktasının mafsallaşması kaçınılmazdır [2].

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \qquad (2.3)$$



Şekil 2.12: Kolonların kirişlerden güçlü olması (DBYBHY 2007).



Şekil 2.13: Zayıf kolon-güçlü kiriş örnekleri, Düzce.



Şekil 2.14: Soldaki Gölcük'te bir dükkan, Sağdaki ise Simav Tek. Ve End. Meslek Lisesi

Burulma: Rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmadığı durumlarda deprem dalga hareketlerine maruz kalan bina kendi dengesizliğinden dolayı farklı davranış gösterir ve bina aynı zamanda burulma hareketi yapar.

Şekil 2.15'de ağırlık ve rijitlik merkezlerinin çakışmaması halinde diğer etkilere ilaveten burulma etkisi oluşur. Bina bir tarafa sonra diğer tarafa eğilir aynı zamanda burulma yaparak yıkıcı etki altına girer



Şekil 2.15: Burulmaya maruz binalar.



Şekil 2.16: Düzce'de Z+2 katlı bir bina.

Şekil 2.16'da zemin katı işyeri olarak kullanılan yapıda, bu zayıf kat kolonlarının göçmesi sonucu, yapı takriben 30° lik açı ile kendi istikametinden dönerek yıkılıyor. Bina cephesinde görülen bütün kolonlar aynı yöndedir. Arka kenarda diğer yöndeki kolon düşey aks hizasından 50 cm kadar, ön köşedeki kolonlar ise aks hizasından 3 m kadar savrulmuştur. Kolonların her iki yönde deprem kuvvetlerine karşı yeteri kadar rijit olması gerekmektedir [2].

Şekil 2.17'de yapının zemin katında hemen hemen hiç duvar bulunmadığı için taşıyıcı sistemi rahatlıkla görülebilmektedir. Yüksekliğinin beş metrenin üzerinde olduğu görülen bu kat, bir galeri olarak tasarlandığı için dış yüzeyleri geniş camekânlarla çevrelenmiştir. Mimari kaygılar nedeniyle binanın ön cephesinde hiç deprem perdesi yerleştirmeyerek hem bir "Yumuşak Kat", hem de yüksek oranda "Burulma" düzensizliği oluşturulmuştur [3].



Şekil 2.17: Adapazarı'nda bir galeri.

Çekiçleme: Bir binaya bitişik nizam yapılan bir veya birden fazla binanın deprem sırasında birbirlerine çarparak hasar oluşturmasına çekiçleme diyoruz. Bu sorunun oluşmaması için, binalarımızı bitişik yapmak zorundaysak mutlaka kat seviyelerine dikkat etmeli döşemelerimizi aynı hizada tutmalı ve de binalarımızın arasına çarpışma etkisini azaltacak (strafor tarzı) deprem derzleri koymalıyız.



Şekil 2.18: İki yana savrulmuş binalar.

Şekil 2.18’de bodrumsuz ikiz nizam yapılar, birbirine çarparak çekiçleme etkisi ve zayıf zemin nedeni ile devriliyor.



Şekil 2.19: İki yönden çekiçlemeye maruz bina.

Her iki yanda bulunan komşu yapılar, ortadaki yapıda çekiçleme etkisi ile Şekil 2.19’da görüldüğü üzere çökme meydana getiriyor. Zemin kattaki dükkân katı zayıf kat etkisi ile tamamen çökmüş. Bina kenarlarındaki perde kolonlar, ortada da aynı yön seçilerek -tek yönlü- yerleştirilmiş. Bu nedenle diğer yönde oluşan zayıf kesitler daha fazla ötelenmeye sebep olmuş ve ağır hasar oluşmuştur [2].

Yetersiz Yanal Rijitlik: Ülkemizde betonarme çerçeve taşıyıcı sistemine sahip binaların çoğunluğunun büyük hatta orta şiddette depreme dayanabilecek kalitede olmadığı bilinmektedir. Genelde bu yapıların hasar görebilir olmalarının nedenleri; yanal rijitliklerinin düşük olması, yanal dayanımlarının yeterli olmaması ve tasarımda öngörülen sünek davranışın sağlanamamasıdır. Bu davranışa sahip elemanlar oluşturmak için Deprem Yönetmeliği Bölüm-3’teki kurallara uyulmalıdır.

Şekil 2.20’deki dükkân katlarının yüksekliği, asma katların statik ilkeler dikkate alınmaksızın değiştirilmesi ve statik olarak her iki yönde perde kolon seçilmemesinin sonuçları görülüyor [2].



Şekil 2.20: Düzce'de hatalı taşıyıcı sisteme sahip bina.

Şekil 2.21'deki binanın perde kolon boyutları yetersizdir; perdelerde uzun kenar dar kenarın yedi katı olması gerekirken, burada perde kalınlığı çok az yaklaşık 15 cm, uzunluğu ise 1 m civarındadır. Bu nedenle yapı, deprem kuvvetleri karşısında ağır hasar görmüştür [2].

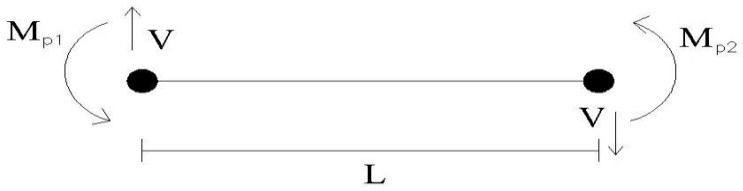


Şekil 2.21: Düzce'de hatalı taşıyıcı sisteme sahip bina.

Kısa Kolon: Betonarme içerisindeki beton ve çelik birbirini tamamlayan, çok farklı özellikler taşır. Beton kolay şekil verilebilen bir malzeme iken çelik ise betonun zayıf yanı olan çekme gerilmelerine karşı dayanıklı bir malzemedir. Fakat deformasyon açısından en önemli farkları çeliğin oldukça sünek betonun ise oldukça gevrek bir malzeme oluşudur. Bu durumda betonarme bir elemanda göçme davranışını beton belirliyorsa göçme gevrek, çelik belirliyor ise sünek olacaktır denilebilir. Betonarme yapılarda göçme davranışına çeliğin hakim olması ancak eğilme etkisi altında elemanlarda plastik mafsallar oluşumuyla mümkün olabilir. İşte

kısa kolon davranışı betonarme elemanlarda donatının akması ve kesitin dönmesi neticesinde uzayarak enerji sönümlemesine fırsat kalmadan elemanın kesme dayanımının aşılması neticesinde göçme durumuna gelmesidir. Oldukça gevrek bir göçme olduğundan ve stabilite kaybına yol açtığından çok olumsuz bir davranış şeklidir.

Bu davranışa kısa kolon denilmesinin nedeni elemanın kesme neticesinde göçüp göçmemesinin elmanın boyu ile alakalı olmasıdır. Statik kuralları gereği hareketsiz bir elemanda her an için moment dengesi olmalıdır. Şekil 2.6 da görülen iki ucunda plastik mafsal oluşarak momentlerin sabitlendiği bir eleman için moment denge denklemini yazalım (Denklem 2.4).



Şekil 2.22: İki ucu mafsallı bir elemanın serbest cisim diyagramı.

Bir elemanın uçlarında moment kapasitesine ulaşıldığında plastik mafsallar oluşarak bu noktalarda moment sabitlenecektir. Denklem 2.4'e göre toplam moment sabitlendiğinde eleman boyu da sabit olduğuna göre kesme kuvveti de sabit hale gelerek daha fazla artamayacaktır. Bu denklemden kesme kuvveti çekilirse (2.5) elemanın alacağı maksimum kesme kuvvetinin elemanın boyu ile ters orantılı olduğu açıkça görülmektedir. Bu sebeple elemanın boyu kısaldıkça üzerine gelen kesme kuvveti artacaktır.

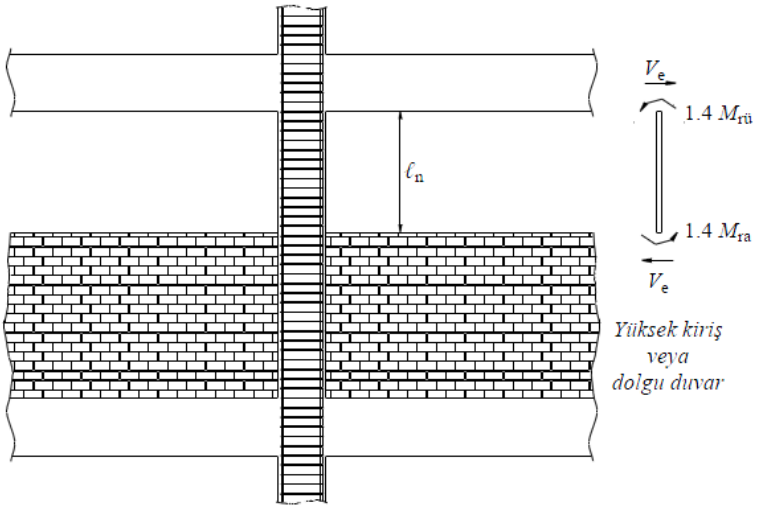
$$M_{p1}+M_{p2}=VL \tag{2.4}$$

$$V=(M_{p1}+M_{p2})/L \tag{2.5}$$

DBYBHY 2007'de kolonların kesme dayanımımın hesaplanması için Denklem 2.5, Bölüm 3'de Denklem 3.5[1] olarak verilmektedir. Fakat akmanın kirişlerde olduğu durumda M_{p1} ve M_{p2} kirişler aktığında toplam momentten kolonlara düşen pay olarak

[1] $V_e = (M_a + M_ü) / \ell_n$

alınacaktır. Pekleşmeyle plastik mafsallarda moment artışının dikkate alınabilmesi için eleman nominal moment kapasitelerinin 1.4 katının dikkate alınmasının gerektiği belirtilmektedir. Denklem 3.5'teki momentler, kısa kolonun alt ve üst uçlarında M_a =1.4 M_{ra} ve $M_{ü}$ =1.4 $M_{rü}$ olarak hesaplanacak, ℓ_n ise kısa kolonun boyu olarak alınacaktır.



Şekil 2.23: Kolon net açıklığının azaltılması

Elemana gelen maksimum kesme kuvvetinin net açıklık ile ters orantılı olduğu belirtilmişti. Yani eleman net açıklığı özellikle kolonlar için yanlarına eklenen başka elemanlar ile Şekil 2.23' de olduğu gibi kısaltıldığında veya iki ucu arasında başka bir eleman bağlandığında keme kuvveti de arttırılmış olmaktadır. Yurdumuzda özellikle projesinde olmamakla beraber bodrum katlarda toprak seviyesine kadar perde, üst kısmın dolgu duvar yapılması veya bant pencereler bırakılması ile bu durum sıkça görülebilmektedir (Şekil 2.24). Merdiven bölgesinde bulunan kolonlara saplanan merdiven kirişleri veya döşemeleri de kısa kolon oluşturmaktadır (Şekil 2.25). Çok kısa kolonlarda sık etriye yerleştirilse bile oluşan kesme kuvvetini karşılamak mümkün olmaz.



Şekil 2.24: 2003 Bingöl depreminde kısa kolon nedeniyle hasar görmüş yapılar.



Şekil 2.25: 1999 Kocaeli depreminde hasar görmüş bir yapıda merdiven bölgesinde kısa kolon oluşumu.



Şekil 2.26: Gölcük'te bir bina.

Şekil 2.26'da kısa kolon davranışı nedeniyle hasar gören yapı görülmektedir. Binada kısa kolonda etriye sıklaştırılmasının yapılmaması da göze batan başka bir kusurdur.

Şekil 2.27'de kolon üst sargı bölgesinde meydana gelen kayma hasarı görülmektedir. Sargı donatıları yetersizdir. Asma kat hizasında kolonları birbirine bağlayan yatay konstrüktif kiriş, kısa kolon etkisi oluşturarak hasarı artırmıştır [2].



Şekil 2.27: Gölcük' te bir iş merkezi.



Şekil 2.28: Kısa kolon hasarı

Kapalı Çıkma: Ülkemizde birçok yapıda imar mevzuatının da izin vermesiyle zemin kat üstündeki yapılarda kat alanın arttırılması yoluna gidilmektedir. Bunun

içinde yapının bir veya birkaç kenarında çıkmalar inşa edilmektedir. Kapalı çıkmaların binanın ağırlık ve rijitlik merkezleri arasındaki farkı büyütebileceği, meydana gelen ağırlık artışının binanın deprem davranışını etkileyeceği bilinmektedir. Geçmiş depremlerde bunun örneklerine rastlanmıştır

Ayrıca depremlerin düşey ivmeleri bazı depremlerde büyük değerlere ulaşabilmektedir. Bu düşey ivmeler altında çıkma elemanlar bağlı bulundukları yapı elemanlarının hasar almasına yol açabilmektedir.



Şekil 2.29: 2003 Bingöl depreminde hasar görmüş ağır çıkmalara sahip bir yapı.

Ağır çıkmalara sahip binaların geçmiş depremlerde düzgün cepheye sahip binalara oranla daha fazla hasara uğradıkları gözlenmiştir (Şekil 2.30). Güney Özcebe tarafından hazırlanan Deprem güvenliğinin saptanması için yöntemler geliştirilmesi Tübitak İçtag Ymaü İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu'nda 3 ten fazla katlı yapılar için ağır çıkmalar kısa kolondan daha önemli bir olumsuzluk olarak öngörülmektedir.

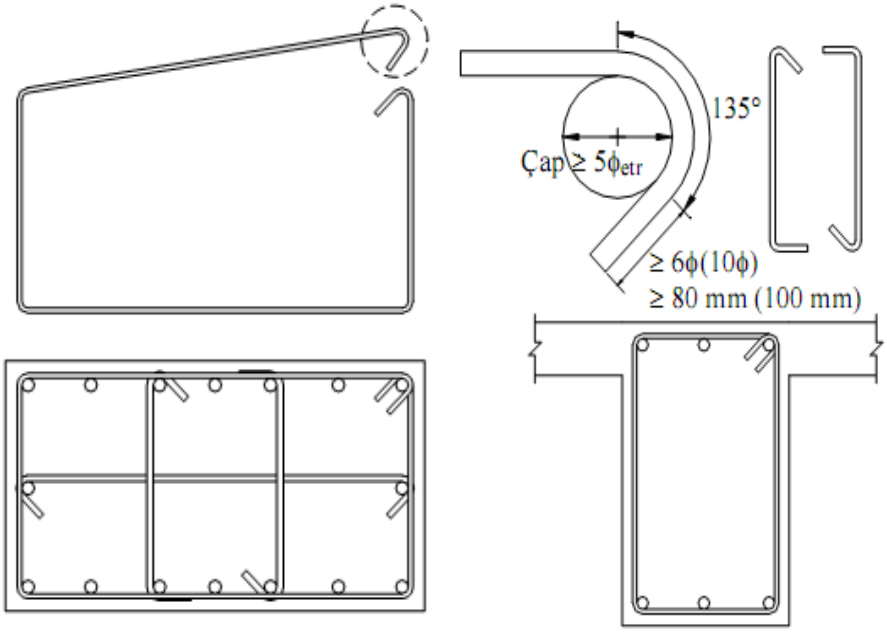


Şekil 2.30: 1999 Armenia Kolombiya depreminde hasar görmüş ağır kapalı çıkmalara sahip bir yapı.

2.2.3. Teknik Kusurlar

Yetersiz etriye sıklaştırması ve yetersiz paspayı teknik kusurlar arasında sıralanır.

Yetersiz Etriye Sıklaştırması: Bütün deprem bölgelerinde, süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi normal olan tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılan etriyeler özel deprem etriyesi, çirozlar ise özel deprem çirozu olarak düzenlenmelidir. Bu etriye ve çirozlarla ilgili koşullar DBYBHY 2007 Bölüm 3.2.8'de belirtilmiştir.



Şekil 2.31: Etriye ve çirozlarla ilgili koşullar.



Şekil 2.32: Gölcük'te bir binanın hasarlı kolonu.

Zemin kat kolonunun üst ucunda meydana gelen ezilme ve eksenel basınç altında betonun ezilerek donatının akması görülmektedir (Şekil 2.32), [2]. Kolonda düşey donatının tek başına yeterli olmadığı ve bu bölgede etriye sıklaştırılması yapılmadığı görülüyor. Etriye sıklaştırılmasının önemi açıkça görülmektedir.



Şekil 2.33: Merkez Kaleönü ilköğretim Okulu-Bingöl.

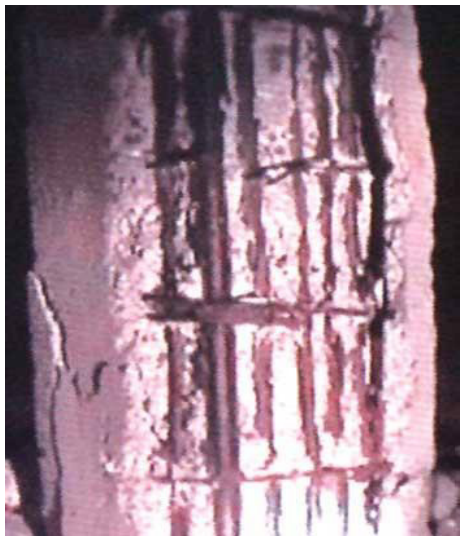
Şekil 2.33'de kolonda etriye sıklaştırma bölgesinde etriye aralığı 40 cm den fazla. Bu yapıların göçme ve hasar görme nedeni olarak, beton kalitesi ve donatı detaylarında yapılan hatalar göze çarpmaktadır. Hem göçen pansiyon bloğunda hem de eğitim bloğunda kolon kiriş birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır [2].



Şekil 2.34: Simav Depremi Sonrasi Okul

Şekil 2.34'de kolon sarılma bölgesinde etriye aralıkları 30 cm sıklaştırma yapılmamış, sağdaki resimde kolon orta bölgesinde etriye aralıkları 40 cm olarak ölçülmüş [2].

Yetersiz Paspayı: Yapılarda özellikle yeraltı suyu ve bodrum katlardaki rutubet, kolon pas payının dökülmesine ve kolon içerisindeki çeliğin paslanmasıyla oluşan kesit kaybına neden olur. Bu da yapıda çekme kuvvetini karşılayan çeliğin, görevini yapamamasına neden olur. Bu durumda, yapıda hasar meydana gelmesi kaçınılmazdır. İzolasyonsuz yapıların çoğunda korozyon vardır.



Şekil 2.35: Gölcük'te net beton örtüsü dökülmüş bir bina.

Şekil 2.35'de bodrum kat kolon düşey donatı demirleri rutubet etkisi altında paslanarak donatı kesit çaplarının paslanmak suretiyle zayıfladığı görülmektedir. Bodrum katlardaki korozyon nedeniyle yapılar ciddi tehlike altına girer.

Şekil 2.36'da bodrum kat düşey donatı demirlerinin paslanması neticesinde demirlerin elle koparılarak dağıldığı görülmektedir. Binaların bodrum katlarında rutubet mutlaka önlenmelidir. Çevre yüzey sularına karşı mutlaka izolasyon yapılmalıdır [2].



Şekil 2.36: Düzce'de bir binaya ait kolon.

2.2.4. Zemin Sorunları

Yetersiz Temel Derinliği: Bina temelleri, deprem sırasında oturma veya farklı oturmalardan ötürü üstyapıda hasara neden olmayacak biçimde, oturdukları zeminin özellikleri göz önüne alınarak, zemin mekaniği ve temel inşaatı ilkelerine göre yapılmalıdır. Betonarme, çelik ve yığma binaların temelleri için geçerli kurallar Deprem Yönetmeliği-2007, Bölüm-6'da verilmiştir.



Şekil 2.37: Adapazarı'nda bir bina.

Şekil 2.37'de görülen oldukça rijit bir radye temel üzerine inşa edilmiş binanın camlarının bile kırılmamış olması çok düşük deprem kuvvetlerinin etkisi altında kalmış olduğunu göstermektedir.

Şekil 2.38'deki binada bodrum kat bulunmadığından ve komşu arka parseldeki binanın zemin seviyesi daha aşağıda olduğundan zemin oturması ile arka cepheye doğru devrilme meydana gelmiştir [2].



Şekil 2.38: Düzce'den başka bir bina.

Şekil 2.39'daki karakol binasının bulunduğu tepenin aşağısında dere kenarında inşa edilmiş şekildeki bu şahsa ait konut, 12 Mart depreminde hasar görmüş, 14 Mart'ta ise dereye doğru devrilmiştir. Binanın devrilerek yıkılmasının esas nedeni özellikle dere tarafındaki dolgu zemine oturan temellerin dönme ve oturmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir [2].



Şekil 2.39: Bingöl'de bir bina.

Şekil 2.40'da zemindeki farklı oturmalardan dolayı yapının bir bölümü çökmüştür. Yapılarda zeminin farklı oturmasına izin verilmemelidir. Zemin iyileştirilerek gerekli tedbirler alınmalıdır [2].



Şekil 2.40: Kısmen çökmüş bir bina, Düzce.

Yanlış Temel Seçimi: Daha önce de söylendiği gibi pratik olarak her türlü zemin koşullarında yapı inşa edilebilir ancak zemin koşulları ve bina özellikleri mutlaka göz önünde bulundurulmadır. Genelde yapılan yanlış ise, bu tür zayıf zemin ve ortam koşullarının var olduğunu bile bile, alınması gereken önlemlerin maliyeti nedeniyle standart radye temeller üzerine apartmanların inşa edilmesidir.



Şekil 2.41: Düzce'de bir dükkan.

Şekil 2.41'de deprem dalgaları sonucu oluşan zayıf mütemadi veya münferit temellerin arasından zeminin kabararak dükkân içerisinde yükselmesi görülmektedir. Zayıf zeminlerde radye temel yapılmalıdır ve bunun yanında zemin mutlaka sıkıştırılarak iyileştirilmelidir [2].

Sıvılaşma: Suya doygun kohezyonsuz zeminlerde, statik veya dinamik yüklerin etkisiyle kayma mukavemetinin kaybolması ve zeminin bir sıvı gibi davranması olayına sıvılaşma denir. Zeminin mukavemetini kısmen veya tamamen kaybetme sebebi derinlik boyunca boşluk suyu basıncındaki artışa koşut olarak, taneler arasındaki temas olarak tanımlanabilecek mevcut efektif gerilme değerinin azalmasıdır. Sıvılaşma, deprem sırasında ve akabinde görülebilen ve sonuçları son derece hasar verici olabilen bir zemin problemidir.



Şekil 2.42: Marmara Depremi sonrası İzmit.

Şekil 2.42'de deprem nedeniyle oluşan güçlü dalgalar sonucu kıyıya vurmuş feribot ve kıyıya çok yakın inşa edilmiş binaların sıvılaşma sebebiyle altının boşalması ve denize doğru göçmesi görülmektedir [2].



Şekil 2.43: Adapazarı'nda bir bina.

Şekil 2.43'de sıvılaşma nedeniyle yan yatmış bir bina görülmekte. Binanın sadece zemin sıvılaşması sonucu devrildiği düşüncesi eksik değerlendirme olur. Bodrumsuz ikiz nizam yapılar çekiçleme etkisiyle devrilme rijitliğine karşı koyamamış ve yapı diğer yönde komple devrilmiştir [2].

3.PERFORMANSA DAYALI DEĞERLENDİRME

3.1. Tanımlar ve Performansa Dayalı Analizde Tarihi Gelişim

Son yıllarda tüm dünyada yerleşim alanlarının ve bu alanlarda yaşayan nüfusun artması ile birlikte, özellikle kentsel alanlarda meydana gelen şiddetli depremler çok büyük can ve mal kaybına sebep olurken, ortaya çıkan yapısal hasarların ülke ekonomilerine etkileri de büyük olmuştur. Mevcut yönetmeliklere uygun projelendirilip inşa edilen yapıların taşıyıcı ve/veya taşıyıcı olmayan elemanlarındaki hasar seviyelerinin büyüklüğü, geleneksel kuvvete dayalı tasarım yöntemlerinin yerini alacak yeni bir yaklaşım ihtiyacı doğurmuştur [4]. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak, performansa dayalı mühendislik uygulamaları, yapı mühendisliğinin önemli bir uğraşı alanı haline gelmiştir. Deprem kuvvetlerinin yapılar üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması, depreme dayanıklı tasarım ve analiz yöntemleri geliştirilmesi, oluşabilecek her türlü hasarın sınırlandırılması ile ilgili çalışmaların hepsinde yapısal performans kavramı yer almaktadır.

Performans sözcüğü iş, fiil, amel, eser, hukuken ifa, icra, yerine getirme, yapma, çalışma, işleme, başarma, üstesinden gelme anlamlarına gelmektedir. Deprem mühendisliğinde ise performansın anlamı önceden belirlenmiş (yer değiştirmelerle veya onunla bağlantılı diğer şekil değiştirme ifadeleriyle ilgili) kıstasları yerine getirmedir [5].

Tasarım ölçütlerinin seçilmesi, uygun yapısal sistemin seçilmesi, yapı taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların boyutlandırılması, yapı ve elemanlarının kalite güvencesinin sağlanması, yapı servis ömrünün garanti edilmesi ve bu sürede oluşabilecek hasarların önceden belirlenmiş hedefleri aşmamasının sağlanması performansa dayalı mühendisliğin ana konusudur. Performansa dayalı deprem mühendisliği deprem riskinin yönetilmesi için geliştirilen bir metottur ve yapısal tasarımda deprem hasarlarının kontrolü esasına dayanır. Bu nedenle; tasarım, yapım, kontrol, onarım ve işlevselliğin sağlanması işleri önceden belirlenmiş yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için tanımlanmış hasar sınırları aşılmadan yapının deprem hareketine dayanmasını hedefler [5].

Bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların belirli bir deprem

etkisi altında ayrı ayrı göstermiş oldukları performans seviyeleri yapısal performans kavramı olarak tanımlanabilir. Binaların deprem performansı yeni bir kavramdır. Deprem performansı, "belirli bir deprem etkisi altında bir binada oluşabilecek hasarların düzeyi ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu" olarak tanımlanır. Yapının toplam performans seviyesi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin birleşiminden oluşur. Performans seviyeleri ise yapıda oluşan hasar miktarlarının sınır durumu olarak adlandırılır. Yapı için öngörülen farklı sınır (hasar) durumları vardır. Bu sınır durumlar yapıda oluşan hasarın miktarına bağlı olarak sıralanır [5].

Performans esaslı depreme dayanıklı yapı tasarımının ana hedefi birçok tasarım seviyesi için deprem hareketlerini, yapısal ve yapısal olmayan hasarlarla yakından ilgili olarak tanımlamaktır.

Tasarım performans hedefi, her tasarım depremi seviyesi için yapının ulaşması beklenen performansının ifadesidir. Performans seviyesi ise, yapıya etkiyen belirli bir tasarım depremi için kabul edilecek en büyük hasarın ifadesidir. Performans hedefi; gerilme, şekil değiştirme, yer değiştirme, ivme vb. herhangi bir yapısal tepki parametresi sınırlandırılarak belirlenebilir. Bununla birlikte, performans seviyeleri hakkında çeşitli yayınlar (ATC-40, FEMA-273 vs.) aynı görüşlerde olmalarına rağmen detaylarda farklılaşırlar ve farklı performans seviyeleri verebilirler. Belirli bir deprem etkisi altındaki bir bina için öngörülen yapısal performansa "performans hedefi" denir. Bir yapının performansı, yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Eğer bir yapı için birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülmüş ise, buna "çok seviyeli performans hedefi" denir [5].

Performansa dayalı depreme dayanıklı yapısal tasarımın amacı öngörülmüş performans hedeflerinin sağlanmasıdır. Böylece yapı çeşitli şiddetteki deprem yükleri etkisi altında istenen tarzda çalışmış olacaktır. Söz konusu çalışma sırasında yapının talep ettiği deplasmanlar elastik ötesi bileşenleri de içerecektir. Bu bağlamda; yapının her hangi bir deprem etkisi altında elastik ötesi davranışını da dikkate alarak performans noktasının belirlenmesi gerekir. Bu kapsamda kapasite eğrisinin çizilerek modal yer değiştirme isteminin (birinci moda ait maksimum modal yer değiştirmenin) belirlenmesine yapının "performans noktasının belirlenmesi" denir. Bu şekilde bir yol izlenerek yapılan analize de "yer değiştirmeye dayalı performans analizi" denir [6].

Performansa dayalı analizin amacı belirli bir yatay yük seviyesi için yapıdan istenen performans hedefinin belirlenmesi ve bu hedefin gerçekleşip, gerçekleşmeyeceğinin irdelenmesidir. Bu analizin temel parametreleri, yapının belirli bir yatay deprem yükü ve bu yük altında gösterdiği davranışı temsil eden talep ve kapasite kavramlarıdır. Performansa dayalı analizde önce yapının mevcut performansını gösteren kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin belirlenmesinde doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Doğrusal elastik hesap yöntemi yardımıyla yapılan analizde "Eşdeğer Deprem Yükü" yöntemi veya "Mod Birleştirme" yöntemleri kullanılırken; doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kapsamında yapılan analizlerde "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" , "Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi" ve "Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemlerinden" biri kullanılabilir (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2007). Performansa dayalı analiz, mevcut binaların deprem güvenliği değerlendirmesi için beş ana aşamadan meydana gelir. Bunlar; deprem etki seviyesi, hedeflenen performans seviyesi, deprem etkilerinin belirlenmesi, kesit hasar düzeylerinin belirlenmesi ve yapı performans seviyesinin belirlenmesidir [7].

Deprem bölgelerinde mevcut yapıların deprem güvenliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenmesi ve güvenliği yetersiz olan yapıların güçlendirilmeleri için performansa dayalı değerlendirme kavramı geliştirilmiştir. Performansa dayalı tasarım yöntemi ile ilgili ilk çalışmalar 1981 yılında Saiidi ve Sözen tarafından yapılmış olup son yıllarda pek çok bilim adamı tarafından geliştirilmiştir. Bunlar arasında 1994 yılında Lawson, 1996 yılında Fajfar ve Gaspersi , 2001 yılında Chopra ve Goel sayılabilir. Zira 1989 LomaPrieta ve 1994 Northrigde depremlerinin neden olduğu büyük hasarlar, yer değiştirmeye dayalı ve daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymuştur. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 (Applied Technology Council 1996) ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 (Federal Emergency Management Agency 1997, 2000) raporları yayınlanmıştır. Bu raporlar performansa dayalı analiz ve tasarım için ilk standartlar olarak kabul görmüştür. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını kapsayan FEMA 440 (Improvement of Nonlinear Static Analysis Procedures) raporu 2005

yılında yayınlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Türkiye'de, 1999 yılında yaşanan Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesini amaçlayan uygulamalar gündeme gelmiştir. Fakat o dönemde mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmelik olmadığından, bu alandaki boşluk yeni yapılacak yapılar için geçerli olan 1998 Deprem Yönetmeliği ile doldurulmaya çalışılmıştır. Ancak bu durum da birçok sakıncayı beraberinde getirmiştir. Sonuç olarak, 2007 DBYBHY'e göre (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2007) mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi çalışmaları için referans olacak bir bölüm eklenmiş ve yönetmeliğin diğer bölümleri de revize edilmiştir. Yönetmelik mevcut binaların değerlendirilmesi konusunda performans yaklaşımı getirmek suretiyle deprem mühendisliği uygulamalarında yeni ve önemli bir açılım yapmıştır. Türkiye'de 2007 Deprem Yönetmeliği öncesi dönem için performansa dayalı hesap uygulamalarına ilişkin çalışmalar içinde Pakdamar, Aydınoğlu, Polat, İrtem, Celep, Özer gibi örnekler gösterilebilir [8].

3.2. Performans Değerlendirmesi

Performans değerlendirmesi tanım olarak herhangi bir yapının öngörülen bir deprem etkisi altında itme analizi sonucu oluşan modal kapasite diyagramında maksimum modal yer değiştirme ile talep ettiği deplasmanın ve iç kuvvet artımlarının yönetmelikteki sınır değerlerle kıyaslanması sonucu yapılan bir değerlendirmedir [5].

Doğrusal olmayan analiz yöntemi ile performans değerlendirmesi iki farklı yolla yapılmaktadır. Bunlar genel olarak kuvvet bazlı değerlendirme ve deplasman bazlı değerlendirmelerdir.

Kuvvet bazlı performans değerlendirmesinde yapıya etki eden deprem yükleri yönetmelikte öngörülen seviyeye ulaştıklarında taşıyıcı elemanlarda oluşan şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin istenilen seviyeyi sağlayıp sağlamadığının kontrolü

yapılır.

Deplasman bazlı performans değerlendirmesinde ise belirli bir deprem etkisi altında yapının talep ettiği yer değiştirme miktarına ulaşıldığında taşıyıcı sistemde oluşan şekil değiştirme ve iç kuvvetlerin yapıdan beklenen performans kriterlerini sağlayıp sağlamadığına bakılarak performans değerlendirmesi yapılır [5].

Yapı elemanların her birinin yaptığı şekil değiştirme ve deplasmanların belirlenmesi ile eleman bazında hasar bölgelerine karar verilir ve deprem yönetmeliğinde verilen çeşitli performans düzeylerine göre yapının performansı değerlendirilmiş olur.

Lineer olmayan statik yöntemle performans değerlendirmesinde, yönetmelikte öngörülen her bir deprem, sisteme ayrı ayrı etki ettirilerek yapının taşıyıcı elemanlarında oluşan maksimum yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmelere esas deprem istemlerinin yönetmelikte verilen şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ile performans değerlendirmesi yapılır [9].

3.2.1. Hedeflenen Performans Seviyeleri

Performansa dayalı analizin ilk aşaması deprem performans seviyelerinin tespitidir. Belirli bir bina ve yer hareketi için sınırlandırılmış hasar durumları performans seviyeleriyle tanımlanır. Bir binanın performans seviyesi yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu biçiminde ifade edilir. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri de ayrı ayrı belirlenmektedir. Örneğin FEMA 356'da yapısal performans seviyeleri bir isim ve bir rakam ile belirtilmektedir.

Tablo 3.1: Yapısal ve Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri-FEMA 356/389

Yapı Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Sistem Performans Seviyeleri	Yapısal (Taşıyıcı) Sistem Performans Seviyeleri					
	SP-1 Hemen Kullanım	SP-2 Kontrollü Hasar Aralığı	SP-3 Can Güvenliği	SP-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	SP-5 Yapısal Stabilite	SP-6 Hasar Gözönüne Alınmaz
NP-A İşlevsel	1A İşlevsel	2A	Önerilmez	Önerilmez	Önerilmez	Önerilmez
NP-B Hemen Kullanım	1B Hemen Kullanım	2B	3B	Önerilmez	Önerilmez	Önerilmez
NP-C Can Güvenliği	1C	2C	3C Can Güvenliği	4C	5C	6C
NP-D Azaltılmış Hasar	Önerilmez	2D	3D	4D	5D	6D
NP-E Hasar Gözönüne Alınmaz	Önerilmez	Önerilmez	3E	4E	5E Yapısal Stabilite	Uygulanamaz

3.2.1.1. Yapısal Sistem Performans Seviyeleri

Hemen Kullanım Performans Seviyesi SP-1: Depremden sonra çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği durumdur. Binanın deprem öncesi karakteristiklerinin, düşey ve yatay kuvvet kapasitelerinin neredeyse aynı kalmasıdır. Yapısal hasarlardan dolayı can güvenliğini tehdit eden bir risk yoktur. Bina giriş-çıkış ve tam kullanım için güvenli durumdadır.

Kontrollü Hasar (Sınırlı Hasar) Performans Aralığı SP-2: Bu seviye net bir performans seviyesi olmayıp, depremden sonraki hasar durumunu belirten bir performans aralığıdır. Bu aralık, hemen kullanım-sınırlı ile can güvenliği-sınırlı arasındaki hasar durumlarında yorum yapılabilmesini sağlamaktadır. Onarım süresinin minimize edilmesi kontrollü hasar seviyesine göre tasarım yapılarak sağlanabilmektedir. Bu aralık can güvenliğinin korunmasının ek olarak hasarın belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşılık gelir. Bu aralığın kabul kriterleri hemen kullanım ve can güvenliği seviyeleri için elde edilen değerlerin interpolasyonu ile elde edilebilmektedir. Tarihi binaların ve değerli mimari özellikleri olan yapıların korunması amacıyla bu performans aralığı kullanılabilir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi SP-3: Yapıda deprem sonrası önemli

hasarlar meydana gelmesine rağmen, binada yerel veya toptan göçme söz konusu değildir ve yapıda bu duruma ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite mevcuttur. Yapı içerisinde bulunan kişilerde yaralanmalar görülebilir ama can güvenliği tehlikesi yoktur. Bu performans seviyesindeki yapıların onarılıp tekrar kullanılması mümkündür fakat yüksek maliyet gerektirmektedir.

Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı SP-4: Bu seviye net bir performans seviyesi değildir. Binaların güçlendirilmesinde can güvenliğinin tam olarak sağlanmaması durumunda göz önüne alınabilir. Bu seviyede, güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmeyecektir. Ancak, can güvenliği seviyesinden daha fazla, toptan göçme seviyesinden daha az bir güçlendirme gerekecektir.

Yapısal Stabilite (Toptan Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi SP-5: Yapının taşıyıcı sisteminin güç tükenmesi sınırında bulunması durumuna karşılık gelir. Yatay yük taşıyan sistem önemli biçimde hasar görmüştür, yanal rijitlik ve dayanımda önemli oranda azalmalar olmuş, buna rağmen düşey yük taşımaya devam etmektedir. Yapı, stabilitesinin bir kısmını korumasına rağmen deprem sonrası artçı şoklar sebebiyle her an yıkılma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu türde hasar görmüş binaların onarımı önerilmez, ancak tekrar kullanılması gerekli ise geniş kapsamlı bir güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu seviye maksimum yer hareketine karşı yapının toptan göçmeye maruz kalmayacağı son noktadır ve yeni binalarda maksimum deprem etkisi altında sağlanması gerekir.

Taşıyıcı Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi SP-6: Bu da tam anlamıyla bir seviye olmayıp, yapısal olmayan elemanların sismik değerlendirmesi ve güçlendirilmesi için bir seviye ifade eder. Bina depreme dayanamayıp yıkılsa bile binanın korunması yanında, istenen elemanın zarar görmemesi durumu bu seviyeyle ifade edilir.

3.2.1.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında meydana gelen hasar seviyelerini açıklamaya yarar. Ayrıca, doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamasındaki teknik kriterleri belirlemek için de kullanılır.

İşlevsel Performans Seviyesi NP-A: Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda bir hasar söz konusu değildir. Bütün makine ve ekipmanlar çalışır

durumdadır, ancak küçük düzeltmeler gerekebilir.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi NP-B: Yapısal olmayan elemanların konumunun değişmediği fakat kullanımı etkileyen, kolayca giderilebilen bazı hasar ve aksaklıklarının olduğu performans seviyesidir. Bu seviyede sismik güvenlik durumu etkilenmemiştir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi NP-C: Yapısal olmayan elemanlarda önemli hasarların meydana geldiği ama bina içi ve dışında herhangi bir göçmenin olmadığı performans seviyesidir. Yapısal olmayan sistemler, makineler ekipmanlar ve araç gereçler onarılıp yerlerine yerleştirilmeden çalıştırılamaz ve kullanılamaz. Deprem süresince yapısal olmayan elemanların can güvenliği tehdit etme riski çok düşüktür.

Yapısal Olmayan Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi NP-E: Bu seviye tam bir performans seviyesini ifade etmemekle birlikte genel durum için bir projelendirme olasılığı sunar, mühendis ve yapı sahibi için durumun saptanmasını kolaylaştırır. Yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sisteme herhangi bir etkisi ve katkısı olmadığı kabul edilerek hesaplar yapılsa da deprem anında çerçevelerin içine örülen duvarların yük taşıyarak çerçevelere yardımcı olduğu bilinen bir durumdur. Bu nedenle, yapısal olmayan elemanların inşasına gereken önem verilmelidir.

3.2.1.3. Yapı Hedeflenen Performans Seviyesi

Bir binadaki hasar sınırlaması için yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleştirilmesiyle Yapı Performans Seviyeleri oluşmaktadır. Olası kombinasyonlar Tablo 3.1'de gösterilmektedir. FEMA356, 4 temel hedef yapı performans seviyesi tanımlar ve bunlar sadece terminolojide küçük farklılıklar gösterirler.

Kullanıma Hazır Seviye (Operational Level) (OP): Yapıdaki genel hasar en az seviyededir. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğinin hemen hemen tümünü korur. Beklenen hasarlar cephe, duvar, tavan ve yapısal elemanlardaki küçük çatlaklardan oluşur. Tüm mekanik, elektrik, sıhhi ve yapının normal işletmesi için gerekli olan diğer sistemlerin işlevsel olması beklenir. Yapısal olmayan elemanlarda ihmal edilebilir hasarlar oluşabilir. Deprem yer hareketlerinin düşük seviyeleri altında çoğu

yapı bu performans seviyesini karşılamalı veya aşmalıdır. Fakat şiddetli yer titreşimleri altında bu performans seviyesi için dizayn zorunlu hizmet yerleri dışında ekonomik olarak uygun değildir.

Hemen Kulanım Performans Seviyesi (Immediate Occupancy Level) (IO): Yapıdaki genel hasarlar hafif seviyededir. Yapısal sistemdeki hasarlar kullanıma hazır performans seviyesindeki hasarlarla aynı olmasına rağmen yapısal olmayan elemanlardaki hasarlar daha fazladır. Kaplama gibi yapısal olmayan elemanlar, mekanik ve elektrik elemanlar güvende kalırlar fakat tamir ve temizlikleri gerekebilir. Can güvenliği için gerekli şartlar sağlanmasına rağmen tüm sistemin normal fonksiyonlarını yerine getirmesi mümkün olmayabilir. Bu seviyede, kullanıma hazır yapı performans seviyesi altında sağlanan güvenliğin çoğu sağlanır. Can güvenliği riski çok düşüktür.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (Life Safety Level) (LS): Belirgin yapısal ve yapısal olmayan hasarlar oluşur. Yapı, deprem öncesi sahip olduğu dayanım ve rijitliğinin önemli bir kısmını kaybedebilir ama düşey yük taşıma elemanları fonksiyoneldir. Düzlem dışı duvar göçmeleri ve parapet devrilmeleri beklenmez fakat bazı kalıcı sapmalar olabilir ve yatay yüke karşı koyan elemanlardan bazılarında önemli çatlaklar, köşe çatlakları, akma ve burkulmalar meydana gelebilir. Yapısal olmayan elemanlar düşme tehlikesi göstermezler fakat bazı mimari, mekanik ve elektrik sistemleri hasar görebilir. Yapı onarılmadan yerleşmek güvenli değildir. Onarım uygulanabilir fakat ekonomik açıdan cazip gelmeyebilir. Genellikle yönetmeliklerde bu performans seviyesi esas alınır.

Göçmenin engellenmesi seviyesi (Collapse Prevention Level) (CP): Yapıda ciddi hasarlar oluşur. Yatay yüke karşı koyan sistem deprem öncesi sahip olduğu dayanım ve rijitliğinin çoğunu kaybeder. Yapı göçme sınırında olmasına rağmen taşıyıcı kolon ve duvarlar çalışır durumdadırlar. Yapısal elemanlarda; kapsamlı çatlaklar, beton ve yığma elemanlarda dökülmeler ve çelik elemanlarda burkulma ve kopmalar gibi önemli yapısal bozulmalar meydana gelir. Dolgular ve bağlantısız parapetler göçebilir. Yapıda büyük kalıcı sapmalar meydana gelir. Yapısal olmayan elemanlar büyük hasar görürler ve düşme tehlikesi gösterirler. Yapı yerleşim için güvenilir değildir. Onarım ve restorasyon pratik olarak mümkün olmayabilir. Bu yapı performans seviyesi bazı yerel yönetimler tarafından konulan zorunlu sismik rehabilitasyon kuralları için baz teşkil eder çünkü şiddetli can-güvenliği hasarlarının azaltılmasını daha az maliyetle sağlar.

Fema 356’ ya göre verilen yapı performans seviyeleri bizim yönetmeliğimizde de (DBYBHY 2007) şöyle tanımlanmıştır:

DBYBHY 2007’de dört farklı bina deprem performans seviyeleri Hemen Kullanım Performans Düzeyi, Can Güvenliği Performans Düzeyi, Göçme Öncesi Performans Düzeyi, Göçme Durumu şeklinde verilmiştir.

Hemen Kullanım (Hasarsızlık) Performans Düzeyi (Fully Operational), HK: 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 çatlamalar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeylerdedir.

Can Güvenliği (Orta Hasar) Performans Düzeyi (Life Safety), CG: 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 fark edilebilir düzeyde değildir.

Göçme Öncesi (Ağır Hasar) Performans Düzeyi (Near Collapse), GÖ: 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 (Collapse): 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.

3.2.2. Yer Hareketi

Performansa dayalı analizin ikinci aşaması deprem etki seviyelerinin belirlenmesidir. Bir bina için birden çok deprem hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir. Performansa dayalı tasarımda, seçilen bir yapı performans seviyesinin hangi deprem etkisi altında elde edilmesinin gerektiğinin belirlenmesi gerekir. Bunun için yer hareketi ile istenilen performans seviyesi birleştirilmelidir. Yer hareketinin belirlenmesi tasarım için mutlaka gereklidir. Farklı büyüklükteki depremler için yapının farklı kriterleri karşılaması istenir. Deprem etki seviyesinin belirlenmesi spektrum eğrisinin belirlenmesi ile olur. Depremin 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı tanımından veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama dönüş periyodu tanımından hareket edilir, (Tablo 3.2). Yer hareketi genel olarak üç başlık altında toplanabilir:

Tablo 3.2: Göz Önüne Alınacak Deprem Parametreleri

Aşılma olasılığı	Zaman Aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
%50	50 Yıl	72 Yıl
%20	50 Yıl	225 Yıl
%10	50Yıl	474 Yıl
%2	50 Yıl	2475 Yıl

D1 Deprem Düzeyi - Servis Depremi (SE): 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %50 olan depremdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 72 yıl olan bu depremin yapının ömrü boyunca olma ihtimali yüksek ancak, şiddeti ve büyüklüğü düşük olan bir depremi tanımlar. Servis depremi seviyesi tasarım depremi seviyesinin yaklaşık yarısıdır.

D2 Deprem Düzeyi - Tasarım Depremi (DE): 50 yıllık periyotlar içinde meydana gelme olasılığı %10 olan depremlerdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 474 yıl olan bu depremin yapının ömrü boyunca olma ihtimali düşüktür.

D3 Deprem Düzeyi - Maksimum Deprem (ME): 50 yıllık periyotlar içinde meydana gelme olasılığı %2 olan depremlerdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olacak şekilde, bölge jeolojik bilgileri göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Maksimum deprem etkileri tasarım deprem

etkilerinin yaklaşık 1.25~1.5 katıdır. Deprem yönetmeliklerinde tasarım depremi etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılması sonucunda maksimum deprem tanımlanmaya çalışılır.

3.2.3. Deprem Etkisi

Performansa dayalı analizin üçüncü aşaması deprem etkilerinin belirlenmesi aşamasıdır. Deprem etkileri belirlenmeden hedeflenen performans düzeyinin sağlanıp sağlanmadığı bilinemez. Deprem etkilerinin hesaplanması için yöntemler vardır.

3.2.4. Kesit Hasar Düzeyleri

Performansa dayalı analizin dördüncü aşaması kesit hasar düzeylerinin tespitidir. Kesitler düzeyinde hesaplanan istemler kabul şartlarıyla kıyaslanır. Bu şartlar eleman düzeyinde olduğu gibi global boyutta (bina geneli için) da tanımlanır. Düşey yük taşıma kapasitesi, yatay yük dayanımı ve yanal yer değiştirme (göreli kat ötelemesi) sınır değerleri global bina kabul şartları içinde sayılır. Eleman düzeyinde kabul şartları ise; her bir elemanın iç kuvvet (eksenel yük, kesme kuvveti, moment), şekil değiştirme (plastik dönme, donatı veya betonda birim şekil değiştirme) cinsinden verilir.

3.2.5. Yapı Performans Düzeyi

Performansa dayalı analizin beşinci ve son aşaması bina performans düzeyinin tespitidir. Binanın genel performans kararı verilirken kesitlerdeki hasarın düzeyine ve bunların yapıdaki dağılımına bakılır. Aynı zamanda binanın bütünü için söz konusu olan kabul şartları da dikkate alınır. ATC-40'da (Applied Technology Council) binanın bütünü için tanımlanan global kabul şartları; düşey yük kapasitesi, yatay yükler ve maksimum göreli kat ötelenmelerini kapsar.

3.3. Performans Değerlendirmesinde Yapılan Kabuller ve Kullanılan Sınırlar

Performans değerlendirmesinde binadan bilgi toplanması aşamasından başlayarak bina hasar durumu hakkında bir karar verilinceye kadar genel anlamda betonarmenin temel ilkeleri arasında sayılan varsayımlar geçerlidir. Bunların mevcut yapı üzerinde gerçekleşme düzeyi doğrudan performansı etkiler.

Ayrıca, performans değerlendirmesi hesaplarında bir aşama olan statik itme analizinde yığılı plastik davranış modeli esas alınmaktadır. Böylece hesap sonucunda eleman uçlarındaki maksimum plastik mafsal dönmeleri elde edilir. Plastik mafsal dönmelerinin plastik mafsal boyuna bölünmesiyle plastik mafsaldaki eğrilik bulunur. Bu eğrilik değerlerine karşı gelen birim şekil değiştirmeler beton ve donatı için ayrı ayrı hesaplanabilir. Hesaplanan değerler beton ve çelik için öngörülen sınır değerlerle karşılaştırılarak kesitteki hasar durumu ortaya çıkar. Tüm bu işlemler donatı ile beton arasında tam bağ (aderans) olduğu kabulüne dayanmaktadır. Donatı ile beton arasındaki tam bağın yetersiz olması donatının beton içinde sıyrılmasına neden olur ki bu da yukarıda açıklanan işlemlerin doğruluğunu olumsuz yönde etkiler. [Sucuoğlu, 2006] mevcut binaların çoğunluğunda betonarme kesitlerin sargılı olmadığını, bu kesitlerde minimum hasar ve güvenlik sınırları için 0.0035 beton birim şekil değiştirme değerinin yüksek olduğunu belirtmektedir. Sargısız kesitin bu birim şekil değiştirme değerinde minimum veya güvenlik bölgesinde hasarla sınırlı kalamayacağını ifade etmektedir.

3.4. Performans Değerlendirmede Çeşitli Yaklaşımlar

Birçok ülke standartlarında doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan (deplasmana dayalı) yöntemlerle performans değerlendirmesi ve sismik hesap yöntemleri yer almaktadır. Burada ATC-40 (Applied Technology Council), FEMA-356 **(**Federal Emergency Management Agency), Yeni Zelanda Yönetmeliği ve EC-8'e kısaca yer verilmiştir. Performans değerlendirmesinde farklı iki yaklaşım olan ATC Kapasite Spektrum Yöntemi ve FEMA Katsayılar Yönteminde performans noktasının belirlenmesi birçok parametreye bağlı olduğundan her iki yöntemde de araştırma ve gelişmeler halen devam etmektedir [6].

ATC-40 ve FEMA 356 yöntemleri ile performans değerlendirmesini esas

alınan metot nonlineer statik analiz olup; her iki yöntemde de yapının taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesine bağlı itme eğrisi elde edilir. Bu bakımdan yöntemler birbirine benzerlik göstermekle birlikte elastik olmayan deplasmanların elde edilmesine yönelik hesap metodunda iki yöntem için farklı uygulamalar vardır.

Amerika Birleşik Devletlerinde meydana gelen 1989 Loma Prieta ve 1994 Northrigde depremlerinden sonra yer değiştirmeye dayalı performans yaklaşımı ile deprem performans değerlendirme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu amaçla kurulan önemli kurumlardan ikisi Applied Technology Council (ATC) ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) dır. ATC tarafından yayımlanmış bir rapor olan ATC-40' ın yaklaşımında kapasite spektrum yöntemi esas alınmaktadır.

3.4.1. ATC 40 - Kapasite Spektrumu Yöntemi

Kapasite spektrumu yönteminde, yapının mevcut kapasitesi yapıdaki deprem istemi ile karşılaştırılmaktadır. Yapının kapasitesi elastik ötesi statik itme analizi ile elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi (kapasite eğrisi) ile temsil edilir. Statik itme analizinden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları Denklem (3.1) ve Denklem (3.2) yardımıyla eşdeğer tek serbestlik dereceli (TSD) bir sistemin spektral ivmelerine ve spektral deplasmanlarına dönüştürülür.

$$S_a = \frac{V_T/W}{\alpha_1} \tag{3.1}$$

$$S_d = \frac{\delta_{max}}{PF\varphi_{tepe,1}} \tag{3.2}$$

Denklem (3.3) ve Denklem (3.4)'de; Sa spektral ivmeyi, Sd spektral deplasmanı, VT ve δmax sırasıyla itme analizinin her bir adımındaki taban kesme kuvvetini ve yapı tepe deplasmanını, W toplam yapı ağırlığını, φ_{tepe}, 1 birinci mod için yapının en üst katındaki genliği, α1 birinci doğal titreşim moduna ait modal kütle katsayısını ve PF1 birinci doğal moda ait modal katılım çarpanını ifade etmektedir. Denklem (3.3) ve Denklem (3.4) yardımıyla yapılan dönüşüm sonucunda ortaya çıkan spektral değerler kapasite spektrumunu tanımlar (Şekil 3.1), [10].

Deprem istemleri yüksek sönümlü elastik spektrum ile tanımlanmaktadır.

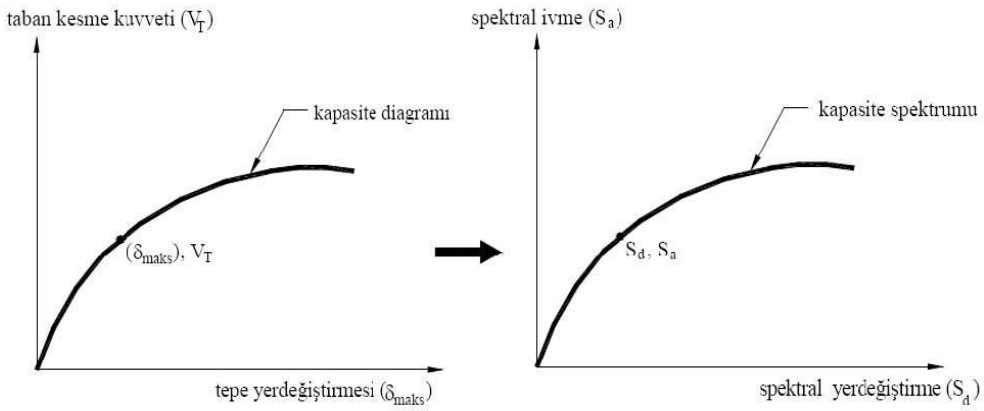
Bunun için tasarım spektrumuna sabit ivme ve sabit hız bölgelerinde ayrı ayrı olmak üzere indirgeme katsayıları (SR_A ve SR_V) uygulanır (Denklem 3.3 ve Denklem 3.4).

$$SR_A = \frac{3.21-0.68\ln(B_{eff})}{2.12} \tag{3.3}$$

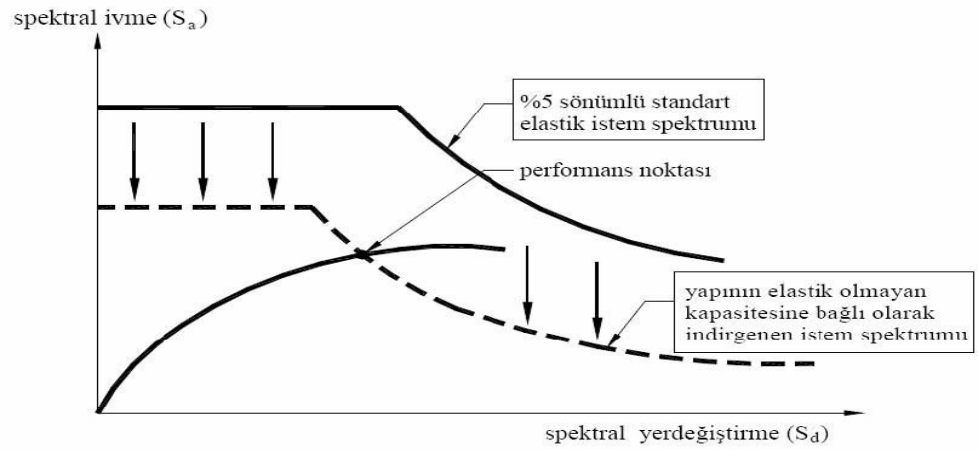
$$SR_V = \frac{2.31-0.41\ln(B_{eff})}{1.65} \tag{3.4}$$

$$B_{eff} = 0.05 + \kappa\frac{2}{\pi}\frac{(\mu-1)(1-\alpha)}{\mu(1+\alpha\mu-\alpha)} \tag{3.5}$$

Burada β_{eff} efektif viskoz sönümü, SR_A ve SR_V değerleri sırasıyla spektrumun sabit ivme ve sabit hız bölgesindeki spektral indirgeme katsayılarını göstermektedir. Efektif vizkoz sönüm oranı (β_{eff}) denklem (3.5) ile bulunabilir. Burada; α akma sonrası rijitlik oranını, κ betonarme yapıların histeretik davranışındaki değişiklikleri göz önüne almak için bir katsayı ve μ maksimum deplasman süneklik oranını ifade etmektedir. Plastikleşmeye bağlı olarak indirgenmiş istem spektrumu da spektral ivme-spektral deplasman (acceleration displacement response spectrum-ADRS) formatında ifade edilir. Böylece, aynı grafik üzerinde gösterilen istem ve kapasite spektrumlarının kesiştiği nokta performans noktası adını alır. Bu nokta söz konusu yapının elastik olmayan dayanım ve deplasman istemini gösterir (Şekil 3.2). Tepe deplasmanı performans noktasına ulaşmış yapıda, kesitlerdeki iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyesini ifade eden sınır değerlerle karşılaştırılarak yapının performans düzeyi belirlenir [10].



Şekil 3.1: Deprem Kapasite diyagramı ve spektrumu.



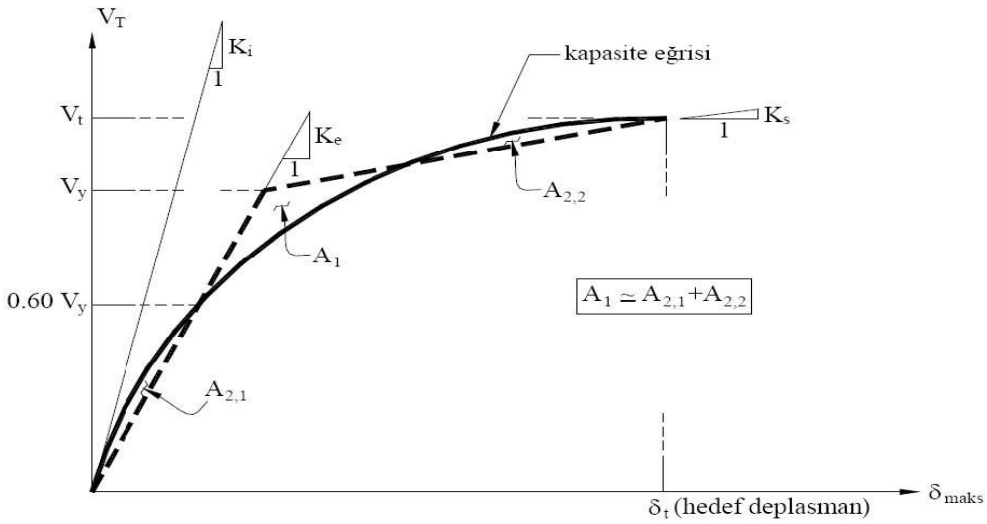
Şekil 3.2: Elastik olmayan dayanım ve deplasman istemi.

3.4.2. FEMA 356 – Deplasman Katsayıları Yöntemi

Deplasman katsayıları yönteminde, elastik olmayan deplasman spektrumunu elde etmek için elastik deplasman spektrumuna istatistiksel analizlere dayalı bazı düzeltme katsayılarının uygulanmasıyla elde edilir. Bu yöntemde de kapasite spektrumu yönteminde olduğu gibi öncelikle sistem kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğri Şekil 3.3'deki gibi idealleştirilerek ikili-doğrusal bir modele dönüştürülür. Efektif periyot (T_e) ve ilgili düzeltme katsayıları (C_1, C_2, C_3) yardımıyla denklem (3.6)'ten hedef deplasman istemi (δ_{max}) bulunur. Statik itme analizinde hedef deplasman değerine kadar itilmiş yapının performans değerlendirmesi tıpkı kapasite spektrumu yönteminde olduğu gibi yapılır.

$$\delta_{max} = C_1 C_2 C_3 S_a T_e^2 / (4\pi^2) g \qquad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da, C_0 yapının son kat deplasmanını spektral deplasman ile ilişkilendiren bir katsayıdır. C_1 eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral deplasmanını çok serbestlik dereceli yapının tepe deplasmanı ile ilişkilendiren bir katsayıdır. C_2 histeresis şeklin maksimum deplasman davranışı üzerindeki etkisini temsil eden katsayıdır. C_3 II. mertebe etkiler nedeniyle arttırılmış deplasmanları temsil eden katsayı, S_a yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivmedir [11].



Şekil 3.3: Kapasite eğrisinin idealleştirilmesi.

FEMA 273'de ATC 40'tan farklı olarak performans noktasının tayini grafik yöntemle değil sayısal olarak belirlenir. Dolayısıyla kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine gerek duyulmaz [10].

3.4.3. Yeni Zelanda Yönetmeliği

Yeni Zelanda Yönetmeliğinde (New Zealand Society for Earthquake Engineering, 2003) betonarme binalar için hem kuvvet esaslı hem de deplasman esaslı yönteme yer verilmiştir. Kuvvet esaslı yöntem, yatay kuvvetlere karşı koyan elemanların elastik ötesi evredeki kritik mekanizma durumuna geldiği andaki dayanım ve sünekliklerinin araştırılması esasına dayanmaktadır. İzin verilen sınır değerlerin aşılıp aşılmadığı kontrol edilmektedir. Deplasmana dayalı yöntemde ise yatay kuvvetlere karşı koyan taşıyıcı elemanların nihai deplasman kapasitelerinin bulunması esas alınmıştır. 1995 yılında Priestley tarafından geliştirilen algoritma genel prosedür olarak alınmıştır.

3.4.4. Eurocode-8

Eurocode-8'in [12] 3. bölümünde yapıların onarım ve güçlendirilmesine yer verilmiştir. Bu standartta:

- Eşdeğer yatay kuvvet,
- Çok-modlu davranış spektrumu analizi,
- Doğrusal olmayan statik analiz,
- Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz,

olmak üzere dört tür hesaba yer verilmiştir.

Doğrusal hesap yöntemlerinde eleman kapasitelerinin sünek elemanlar için analizden bulunan istemlere göre, gevrek elemanlar için analizden elde edilen istemler veya sünek elemanın dayanımını dikkate alarak denge koşulundan bulunan değerlere göre değiştiği kabul edilmektedir. Doğrusal olmayan statik veya dinamik analiz yöntemlerinde eleman kapasiteleri hem sünek hem de gevrek elemanlar için doğrudan analizlerden elde edilen sonuçlara bağlıdır. Üç sınır durum tarif edilmiştir. Bunlar göçmeye yakın, ciddi hasar ve sınırlı hasar sınır durumlarıdır. Göçmeye yakın hasar sınır durumunda sünek elemanlar kapasitelerinin sonuna çok yakın hale gelmişlerdir. Gevrek elemanlar ise göçme limit durumundadırlar.

3.5. Performans Amaçları

3.5.1. Performans Amaçlarının Sınıflandırılması

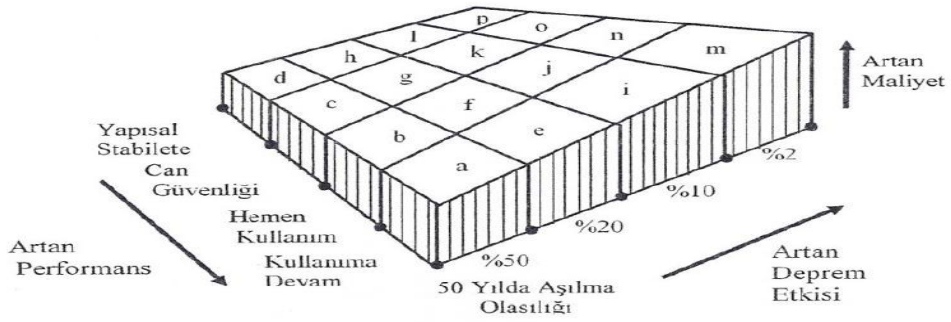
Sismik performans amacı, büyüklüğü verilen yer hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. Tablo 2.3'de gösterildiği gibi, 50 yılda aşılma olasılıklarına göre yer hareketiyle bina performans seviyeleri eşleştirilmesi sonucu çeşitli performans amaçları seviyeleri oluşmuştur. Burada a, f, k, p amaçları ana binalar için; e, j, o amaçları önemli binalar için ve i, n amaçları ise çok özel güvenliği olan binalar için kullanılmaktadır. Her bir seviye tek tek belirlenip kullanılabileceği gibi, birden çok seviyenin aynı anda bir arada kullanılmasıyla çoklu performans amacı oluşturulmuş olur.

P amacı gibi yüksek seviyelerdeki amaçlar yüksek maliyetler çıkarabilir. Bu halde, performans seviyeleri yerleşim alanlarında yerel yönetimler tarafından, özel mülkiyetlerde ise bina sahibi ve mühendis tarafından belirlenmektedir.

Tablo 3.3: Performans Amaçlarının Sınıflandırılması

Deprem Yer Hareketi	Kullanıma Devam (1-A)	Hemen Kullanım (1-B)	Can Güvenliği (3-C)	Yapısal Stabilite (5-E)
%50 / 50 Yıl Servis Depremi	a	b	c	d
%20 / 50 Yıl	e	f	g	h
%10 / 50 Yıl Tasarım Depremi	i	j	k	l
%5 / 50 Yıl Maksimum Deprem	m	n	o	p

Şekil 3.4'de deprem yer hareketi ve bina performans seviyelerinin kombinasyonlarının maliyetle olan ilişkisi üç boyutlu olarak verilmiştir. Kullanılan deprem büyüklüğünün ve istenilen performansın artması sonucunda maliyet de artmaktadır. Bu sebeple kullanılacak performans amacı yapıya uygun seçilmelidir.



Şekil 3.4: Bina Performans Seviyeleri ile Güçlendirme Maliyeti Arasındaki ilişki

3.5.2. Performans Amaçları

Sismik performansın amacı, büyüklüğü verilen deprem hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. Çok seviyeli performans amacı da iki veya daha fazla beklenen performans ve yer hareketinin seçimi ile tayin edilir. Örneğin, Tablo 3.4'de görüldüğü gibi yapılacak analizde servis depremine karşı kullanıma devam, tasarım depremine karşı can güvenliği seviyesine ulaşılması beklenir.

Tablo 3.5'deki gibi ileri seviyede bir amaç seçilebilir ama bu durumda maliyetin yükseleceği de göz önüne alınmalıdır.

Tablo 3.4: Çok Seviyeli Performans Amaçları

Deprem yer hareketi seviyesi	Bina Performans Seviyesi			
	Kullanıma devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Servis (SE)	X			
Tasarım (DE)			X	
Maksimum (ME)				

Tablo 3.5: Tasarım Depreminde Can Güvenliği Seviyesi

Deprem yer hareketi seviyesi	Bina Performans Seviyesi			
	Kullanıma devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Servis (SE)				
Tasarım (DE)			X	
Maksimum (ME)				

3.5.3. Temel Güvenlik Performans Amacı

Tablo 3.6'da görüldüğü gibi can güvenliği-tasarım depremi ile yapısal stabilite-maksimum deprem seviyelerinin birlikte düşünüldüğü çoklu performans ana güvenlik amacıdır.

Tablo 3.6: Temel Güvenlik Performans Amacı

Deprem yer hareketi seviyesi	Bina Performans Seviyesi			
	Kullanıma devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Servis (SE)				
Tasarım (DE)			X	
Maksimum (ME)				X

3.5.4. Diğer Performans Amaçları

Yapı performans seviyeleri ile birden çok depremin kombinasyonları ile çeşitli performans amaçları elde edilebilir. Tablo 3.7'de normal binalar için örnek performans seviyeleri, Tablo 3.8'de performans amaçlarının ekonomiklik durumları gösterilmiştir.

3.6. Performans Amaçlarının Karşılaştırılması

3.6.1. Başlangıç Performans Amacı

Performans seviyesinin, özel yapılarda sahibi tarafından, yerleşim alanlarında ise yerel yönetimler tarafından belirlenmesi gerekir. Sorumlu mühendis, bina sahibine başlangıç performans amacının belirlenmesinde her türlü durum değerlendirilerek mevcut koşullardaki en uygun kararın verilmesine yardımcı olmalıdır. Güçlendirme projesi veya sismik değerlendirmeyle ilgili beklentilerin belirlendiği bir durum raporunun hazırlanması, bina sahibi ve tasarım ekibine mevcut kaynaklarla yapılabilecek en uygun performans amacının belirlenmesine yardımcı olur.

Tablo 3.7: Normal Binalar İçin Örnek Performans Seviyeleri

Sismik Tehlike	Yeni Binalar	Güncel Güçlendirme	Yüksek Kullanım Amacı	Minimum Tasarım Süresi
Birleştirilmiş Performans Seviyesi				
Servis (SE)				
Tasarım (DE)	2-C	3-D	3-C	1-C
Maksimum (ME)	5-E		3-D	

Tablo 3.8: Performans Amaçlarının Ekonomik Durumları

Sismik Tehlike	Kısa Ömürlü Yapılar	Kısa Ömürlü Yapılar	Kısa Ömürlü Yapılar
Birleştirilmiş Performans Seviyesi			
Servis (SE)	3-D		
Tasarım (DE)			5-E
Maksimum (ME)		5-E	

3.6.2. Son Performans Amacı

Başlangıç performans amacı gerek duyulursa, bina sahibi ve ilgili mühendisçe değiştirilebilir. Değerlendirme ve güçlendirme tasarımında kullanılan performans amacı, rapor ve çizimlerde açıklanarak ifade edilmelidir.

4. MEVCUT BİNALARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği'nin 7. Bölümünde ki 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 [13].

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 şekil değiştirmeler hesaplanır [13].

4.1. Binalardan Bilgi Toplanması

Deprem güvenliği değerlendirilecek mevcut bir binada yapılacak olan durum saptaması çalışmalarının temel hedefi binayı tanımaktır. Durum saptaması çalışmaları genel olarak deprem öncesinde yapılır ve ileride gerçekleşmesi beklenen bir deprem etkisi altında binanın performansını hesaplamak için gerekli bilgi altyapısını oluşturur [13].

Durum saptaması çalışması sonucunda binadan toplanacak bilgi, binanın performans değerlendirmesi için hazırlanacak analitik yapı modelinin oluşturulmasında ve performans hesabı sonuçlarının değerlendirilmesinde belirleyicidir. DBYBHY 2007 Bölüm 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.

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

4.1.1. 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 mevcut analitik modellemesinde kullanılacak tüm sistem ve eleman boyutlarının tespit edilmesini kapsar. Bu tespitlerin 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. Statik rölöve üzerinde tüm taşıyıcı sistem özellikleri belirtilir. Kolon, taşıyıcı duvar ve kirişlerin yerleri ve boyutları, kat döşemeleri, döşeme kalınlıkları ve döşeme delikleri (merdivenkovaları) 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 oluşturmayan ve taşıyıcı sisteme etkisi olmayan mimari detayların kat planına işlenmesi gerekli değildir.

Sahada yapılacak bir diğer önemli çalışma da temel sisteminin belirlenmesidir. Temel projeleri mevcut ise binanın içinde veya dışında ulaşılması nispeten 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 tespitine olanak vermelidir [13].

4.1.2. 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 tespitinde 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 tespit edilir. Özellikle betonarme perde veya geniş kolon yüzeylerine paralel konumdaki donatı hasırlarının tespitinde “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.

İnceleme amacıyla kiriş ve kolon elemanlarının pas payı sıyrılmalı. Yapılan incelemede donatıda korozyon tespit 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 [13].

4.1.3. 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.

4.1.4. 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 yanı sıra bir bina içerisinde elde edilen yüksek değişkenlik beton kalitesinin son derece standart dışı olduğunu göstermektedir.

Mevcut bir binada beton dayanımını tespit 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. Darbe çekici ile yapılan okuma beton yüzeyinin sertliğini gösterir. Bu okuma çekicin 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. Karot alma cihazının maliyeti yüksek değildir, ancak karotun alınması zahmetli bir işlemdir. Karotun çıkarıldığı boşluğun daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile doldurulması gereklidir.

Beton kalitesi düşük mevcut binalarda tahribatsız yöntemlerle hesaplanan beton basınç dayanımlarının tahribatlı (karot) yöntemlerin sonuçlarını kestirmede başarılı olmaması nedeniyle 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 [14].

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.

4.1.5. 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 4.4'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. Tercihen bodrum perdesi gibi donatının zorlanmadığı bir bölgeden donatı örneği alınmalı ve laboratuarda çekme testi yapılmalıdır. Çekme testinden elde edilecek çelik akma ve kopma dayanımları ile şekil değiştirme özellikleri çelik sınıfının belirlenmesini sağlayacaktır. Deneyle tespit 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 [13].

4.2. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri

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 şekil değiştirme düzeylerine göre minimum hasar, belirgin hasar, ileri hasar veya göçme olarak derecelendirilir [14].

4.3. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

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 kullanılabilecek durumda olduğu kabul edilmektedir. Can Güvenliği performans düzeyini sağlayan binalar göz önüne alınan deprem etkisi altında muhtemelen belirgin derecede hasar göreceklerdir. Ancak bu hasarlar deprem sırasında binada bulunanların can güvenliği için tehdit oluşturmayacaktır. Diğer yandan binada oluşması beklenen eleman hasarları ağırlıklı olarak ileri hasar derecesinde ise, ancak binada topyekûn 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 [14].

4.4. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

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 [14].

Tablo 4.1: Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Depremin Aşılma Olasılığı		
	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 merkezi, 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.	HK	CG	-
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	-

4.5. Deprem Hesabına İlişkin 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. DBYBHY 2007, 7.4' e göre bunların başlıcalar 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.
- 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.

- Kat ağırlıkları kat kütleleri ile uyumlu olmalıdır. Hareketli yük azaltma katsayısı n, gerek kat ağırlıkları, gerekse kat kütlelerinin hesabında aynı alınmalıdır.
- 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.
- Eğilme etkisindeki betonarme elemanların modellenmesinde çatlamış kesit özellikleri kullanılır. Çatlamış kesit varsayımı özellikle şekil değiştirmelerin ve iç kuvvet dağılımının daha hassas olarak hesaplanmasını sağlamaktadır.
- 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.

4.6. Hesap Yöntemleri

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 [13].

4.6.1. Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

Mevcut binalarda iç kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin 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:

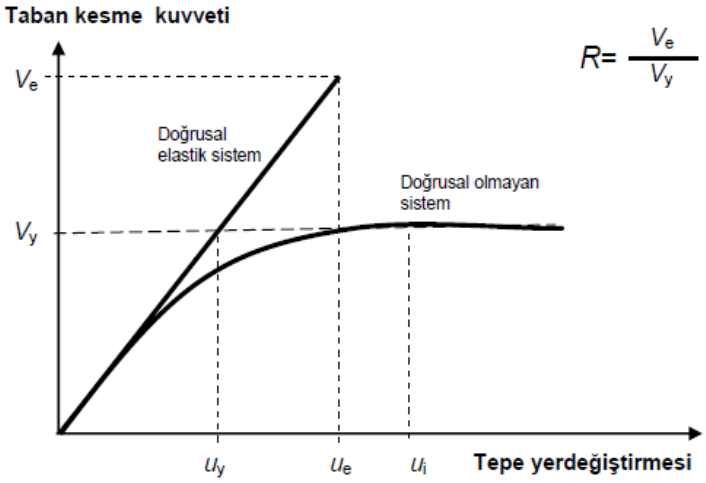
$$V_t = \lambda \, W \, A(T_1) \qquad (4.1)$$

Denklem (4.1)'de λ katsayısı, üç ve daha çok katlı binalarda 0.85 alınmaktadır. Bunun nedeni birinci titreşim modunun hâkim olduğu bu tür binalarda birinci moda ait etkin kütlenin genel olarak bina ağırlığının %85'ini geçmemesidir [14].

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 (DBYBHY 2007, 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 varsayımıdır. 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 4.1'de [13] gösterildiği gibi ifade edebiliriz. Şekilde taban kesme kuvveti (V) ile tepe yer değiştirmesi (u) ilişkisi eşdeğer bir tek dereceli sistemi tanımlamaktadır. V_e ve u_e deprem etkisi altında doğrusal elastik sisteme ait taban kesme kuvveti ve yer değiştirme talebini göstermektedir. V_y ve u_y tasarlanan sistemin akma dayanımı ve akma yer değiştirmesi, u_i ise deprem etkisi altında doğrusal olmayan sisteme ait yer değiştirme 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 4.1: Tipik bir binanın taban kesme kuvveti - tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi.

Tasarlanan sistemin yer değiştirme kapasitesi deprem etkisi altında gerçekleşen doğrusal olmayan davranışa ait yer değiştirme 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 şekil değiştirme ve yer değiştirme kapasitesini sağlayabilmektedir. Betonarme elemanların sünekliği, tüm kritik kesitlerin sargı donatısı kullanılarak sarılması ile önemli miktarda arttırılabilir.

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 tanımı geçerli değildir. Bu nedenle doğrusal elastik performans hesabında deprem yükü azaltma katsayısı uygulanmamış, deprem etkileri azaltılmamış deprem yükleri altında hesaplanmıştır [14].

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 [14].

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

$$r = (\text{Deprem momenti}) / (\text{Artık moment kapasitesi}) \quad (4.2)$$

$$\text{Artık moment kapasitesi} = \text{Kesit moment kapasitesi} – \text{Düşey yük momenti} \quad (4.3)$$

Bu şekilde hesaplanan r talepleri, kesit hasar sınırları için tanımlanan $r_{sınır}$ değerleri ile karşılaştırılarak kesitin ve elemanın hasar durumuna karar verilmektedir. Denklem (4.2) ve Denklem (4.3)'deki büyüklüklerin hepsi vektöryeldir. Eğilme yönleri dikkate alınmalıdır.

Yukarıdaki iki denklem birleştirilerek kesit moment kapasitesi denklemden çekilirse;

$$\text{Kesit moment kapasitesi} = \text{Düşey yük momenti} + (\text{Deprem momenti}) / r \quad (4.4)$$

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

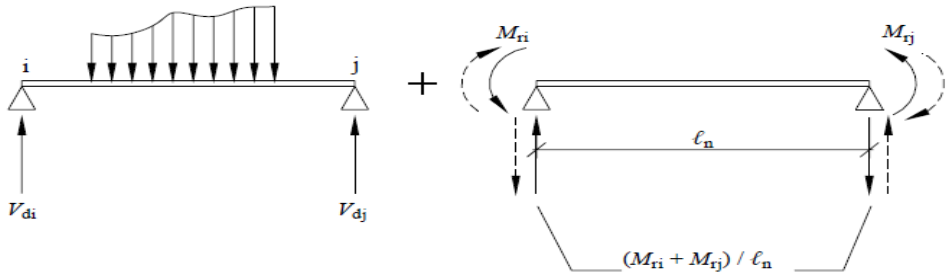
Denklem (4.3) ile tanımlanan r değerleri Denklem (4.4)'de olduğu gibi bir yük azaltma katsayısı olarak değil, kesit süneklik talebini ifade eden katsayılar olarak algılanmalıdır.

4.6.1.1. Eksenel Kuvvetlerin Hesabı

Doğrusal elastik hesap yöntemi ile azaltılmamış deprem yükleri kullanarak hesaplanan eksenel kuvvetler özellikle dış çerçevelerin düşey elemanlarında çok yüksek değerlere ulaşabilir. Hâlbuki 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 Denklem (4.5) ile hesaplanır (Şekil 4.2), [13].

$$V_{i,j} = V_{di,j} +/- (M_{ri} + M_{rj})/l_n \quad (4.5)$$



Şekil 4.2: Kirişlere oluşan kapasite kesme kuvvetleri

Denklem (4.5) 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. Grafik yöntemin temel amacı, Denklem (4.2) ve Denklem (4.4)'de uygulanan "artık kapasite" yaklaşımını kolon eksenel kuvvetlerine de yansıtmak ve yeni binaların kapasite tasarımında kullanılan R katsayısı ile uyum sağlamaktır.

4.6.1.2. Performans Degerlendirmesinde 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 DBYBHY 2007, Tablo 7.2 ve Tablo 7.5'de verilmiştir. Tablolardaki $r_{sınır}$ 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 arttırır. 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 $r_{sınır}$ tablolarına yansıtılmıştır. Dolayısıyla r oranları

kesit düzeyinde deprem momentlerinin azaltma katsayıları değil, kesit süneklik taleplerini temsil eden katsayılar olarak algılanmalıdır.

4.6.2. Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

2007 Deprem Yönetmeliği'nde doğrusal elastik olmayan davranışa ait performans değerlendirmesi 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 yer değiştirmeler, tasarım depremi altında yaklaşık yöntemlerle tahmin edilebilmektedir. Eşit yer değiştirme 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.

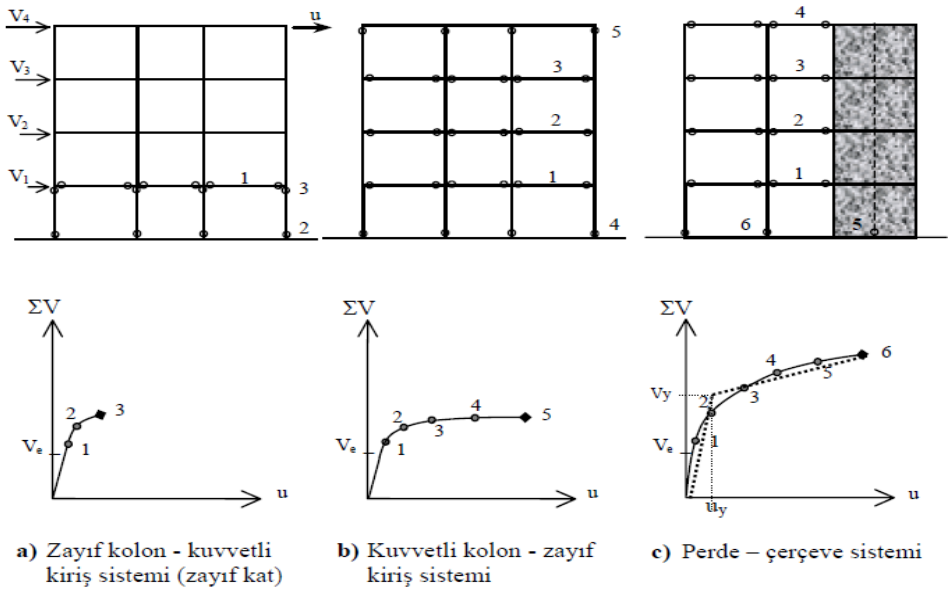
4.6.2.1. Artimsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (Tek Modlu Statik Itme Analizi)

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 4.3'de temsili olarak gösterilmektedir [13].

Yapının kapasite eğrisi (Şekil 4.1), her adımda uygulanan toplam yatay yükün (taban kesme kuvveti) çatı ötelenmesine karşı olan değişimi olarak ifade edilir.

Şekil 4.3'de mimari sistemi ve geometrisi aynı, ancak farklı yatay yük taşıyıcı sistem özelliklerine sahip binaların plastik mafsal 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 yansıyacak, 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 4.3.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 gevrektir. Buna karşın Şekil 4.3.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 mafsal oluşturması ara kat kirişlerine oranla gecikebilir, hatta kolonlardan sonra olabilir. Ancak bu durum sünek bir davranış elde edilmesini pek fazla engellemez. Şekil 4.3.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 [13].

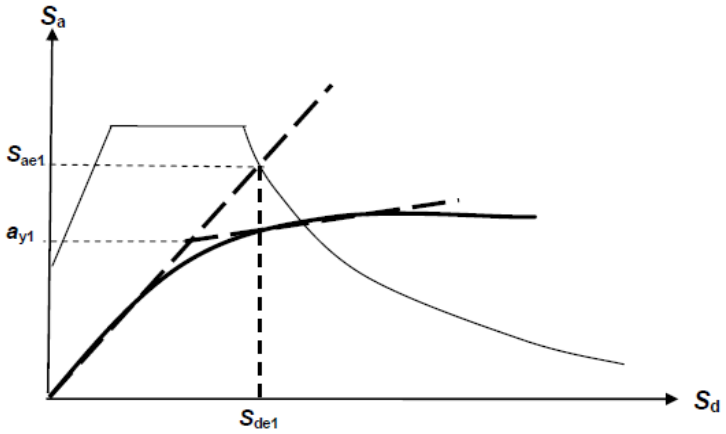


Şekil 4.3: Farklı yapı türlerinin statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri ve yıkılma özellikleri.

Bu sistemin sünekliği Şekil 4.3.b)'deki kuvvetli kolon-zayıf kiriş sistemine yakın olabilir, ancak perdenin yüksek yatay yük dayanımı sistemin kapasitesini de önemli ölçüde arttırmıştır.

Bina yatay yük kapasitesine ulaştıktan sonra, deprem sırasında artan yatay yükler altında hangi maksimum yer değiştirme 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 yer değiştirmesi (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 yer değiştirme" prensibi kullanılarak doğrusal olmayan sistemin maksimum yer değiştirmesinin eşdeğer doğrusal sistemin maksimum yer değiştirmesine eşit olacağı varsayılır ve binanın performans değerlendirmesi doğrusal elastik sisteme ait maksimum yer değiştirme değerinde yapılır. Şekil 4.3.c)'de gösterilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi düzlemindeki kapasite eğrisi yapı dinamiği ilişkileri ile Şekil 4.4'de gösterildiği şekilde spektral ivme-spektral deplasman düzleminde ifade edilir ve iki doğrulu bir eğri ile basitleştirilir. Daha sonra deprem spektrumunun da ayni düzlemde ifade edilmesi ile spektral yer değiştirme talebi "eşit yer değiştirme" prensibini kullanarak tahmin edilir ve binanın

deprem yönündeki hâkim moduna ait titreşim özelliklerinden yararlanarak spektral yer değiştirme değerine karşılık gelen tepe yer değiştirmesi hesaplanır [13].



Şekil 4.4: Statik itme analizinde spektral yer değiştirme talebinin eşit yer değiştirme prensibi ile belirlenmesi.

4.6.2.2. Çok Modlu Statik Itme 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 [14].

4.6.2.3. Performans Değerlendirmesinde Yapılan Kabuller ve Kullanılan Sınırlar

Statik itme analizlerinde yığılı plastik davranış modeli esas alındığı için hesap sonucunda eleman uçlarındaki maksimum plastik mafsal dönmeleri elde edilir. İtme analizinden elde edilen mafsal dönmeleri, kabul edilen bir plastik mafsal boyuna bölünerek 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 şekil değiştirmeleri hesaplanmaktadır. Bu değerlerin her malzeme için tanımlanan birim

şekil değiştirme sınır değerleri ile karşılaştırılmaları sonucunda da kesitin hasar durumuna karar verilmektedir [14].

Kesit Minimum Hasar sınır durumunun tanımlanmasında kesitin en dış beton lifinde sargılama olamayacağı için DBYBHY 2007, Denklem (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 şekil değiştirme sınırı sargılama etkisini göz önüne alacak şekilde DBYBHY 2007, Denklem (7.9) ve Denklem (7.10) ile tanımlanmıştır [14].

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN SAYISAL VERİ

Bu bölümde betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip mevcut kat sayısı 4-6 arasında değişen 20 adet binanın deprem performansı sınırlanan ve değiştirilen parametreler yardımıyla Doğrusal Elastik Analiz-Mod Birleştirme yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Doğrusal Elastik Analiz Probina Orion 2013 programıyla yapılmış ve sonuçları belirlenmiştir [15].

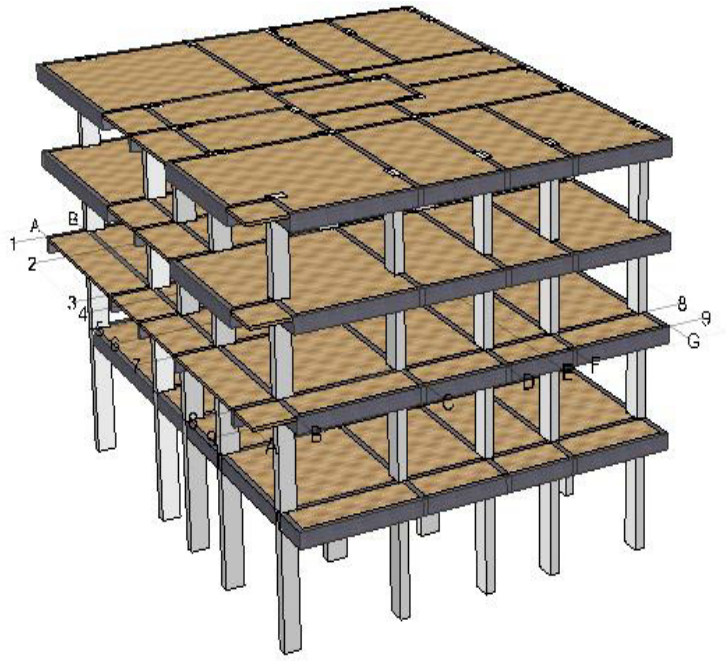
5.1. İncelenen Yapıların Özellikleri

İstanbul kent merkezindeki bina stoğundan rastgele seçilen 20 adet konuttan oluşmaktadır. Tüm betonarme yapılar monolitik sisteme sahip olan kolon- kiriş birleşim sisteminden oluşmaktadır. Söz konusu binaların Türkiye genelindeki genel mühendislik bilgi birikimini ve uygulama özelliklerini sağladığı söylenebilir. İnceleme söz konusu olan binaların mevcut betonarme tasarım projelerine ait çizimleri temin edilmiş ve bunlar Probina Orion 2013 programı ile modellenmiştir.

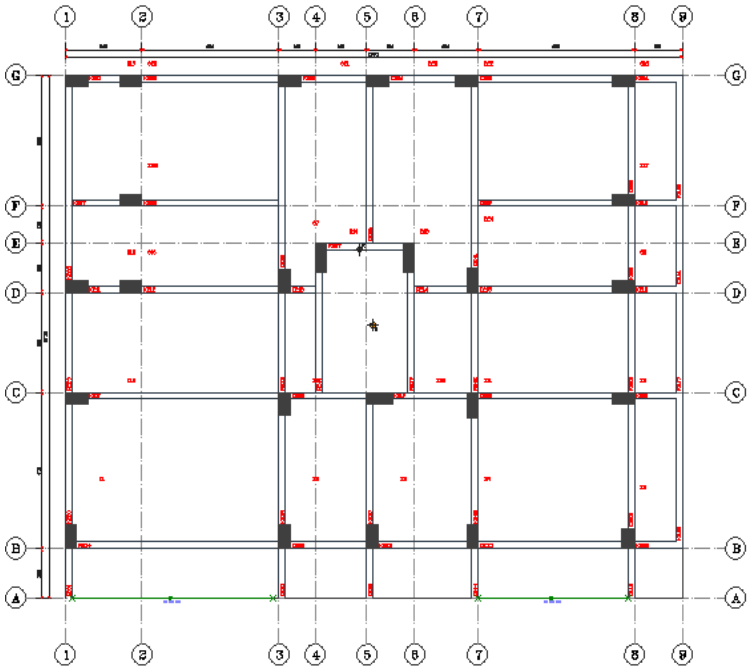
Yapı grubunun toplam kat sayısı ve yaşı Tablo 5.1 de verildiği gibidir. Binaların taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveden oluşmaktadır. Betonarme perde mevcut değildir. Binaların komsu yapılarla olan ilişkisi de aynı tabloda verilmiştir. Genel olarak 4-6 kat arası ve yaş ortalaması 7-44 yaş arasında binalar mevcuttur.

Buradan elde edilecek sonuçların mevcut yapıların tümüne uygulanabilirliğini kolaylaştırmak adına yapıların olabildiğince gerçeği yansıtması hedeflenmiştir. Bu sebeple de sadece simetrik, ya da yapısal kusurları olmayan, düzgün binalar seçilmemiş bilakis her türlü kusuru ve düzensizliği barındıran geometrileri farklı binalar seçilmiştir.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 sadece 1 binaya ait örnek olarak verilmiş 3 boyutlu görünüm ve plan kesitidir. Diğer bina geometrilerinde ve düşey kesitlerinde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar Tablo 5.2 de kiriş boyutları ve döşeme tipi, kalınlıkları olarak verilmiştir. Yine Tablo 5.3 de bina kat alanındaki toplam kolonların alanları verilmiştir. Tablo 5.4 ‘te her bir binaya ait yapısal düzensizlikler ayrı ayrı belirtilmiştir.



Şekil 5.1: Mevcut Binalardan Birine ait 3 Boyutlu Görünüm



Şekil 5.2: Mevcut binalardan birine ait plan kesiti

Tablo 5.1: Yirmi adet binanın kat adedi, yaşı ve yapı nizami

Bina Sıra No	Kat Adedi					Bina Yaşı	Yapı Nizami
	Zemin Kat	Normal Kat	Çekme Kat	Toplam Kat	Model		
1	1	3	1	5	4	22	K Bitişik
2	1	3	0	4	4	7	K. Bitişik
3	1	3	1	5	4	7	K. Bitişik
4	1	3	1	5	4	17	Bitişik
5	1	3	0	4	4	17	Bitişik
6	1	3	1	5	4	32	K. Bitişik
7	1	3	0	4	4	27	K. Bitişik
8	1	4	0	5	5	7	K. Bitişik
9	1	5	0	6	6	32	Ayrık
10	1	5	1	7	6	7	Ayrık
11	1	4	0	5	5	27	Ayrık
12	1	4	0	5	5	17	K. Bitişik
13	1	5	0	6	6	7	K. Bitişik
14	1	3	1	5	4	44	K. Bitişik
15	1	5	0	6	6	32	Ayrık
16	1	3	1	5	4	17	K. Bitişik
17	1	5	0	6	6	12	K. Bitişik
18	1	3	1	5	4	27	Bitişik
19	1	5	0	6	6	37	Bitişik
20	1	4	0	5	5	37	K. Bitişik

Tablo 5.2: Yirmi adet binanın kiriş ve döşeme bilgileri

Bina Sıra No	X Yönü Kiriş Boyutu	Y Yönü Kiriş Boyutu	Döşeme Sistemi	Döşeme Kalınlığı
1	20/50	20/50	Kirişli Plak	10 cm
2	15/50	15/50	Kirişli Plak	10 cm
3	30/50-20/50	40/50-20/50	Kirişli Plak	12 cm
4	20/50	20/50	Kirişli Plak	10 cm
5	15/50	15/50	Kirişli Plak	10 cm
6	15/50	15/50	Kirişli Plak	10 cm
7	15/45	15/45	Kirişli Plak	10 cm
8	15/50	15/50	Kirişli Plak	10 cm
9	15/50	15/50	Kirişli Plak	15 cm
10	20/50	20/50	Kirişli Plak	10 cm
11	20/60	20/60	Kirişli Plak	10 cm
12	15/50	15/50	Kirişli Plak	10 cm
13	20/50	20/50	Kirişli Plak	12 cm
14	20/50	20/50	Kirişli Plak	10 cm
15	15/50	15/50	Kirişli Plak	12 cm
16	20/50	20/50	Kirişli Plak	10 cm
17	15/60	20/50	Kirişli Plak	12 cm
18	30/65-20/65	20/65	Kirişli Plak	12 cm
19	15/50	15/50-20/50	Kirişli Plak	10 cm
20	15/40	15/40	Kirişli Plak	10 cm

Tablo 5.3: Binaların 1. katındaki toplam kolon alanları ve toplam kat alanı

Bina Sıra No	1.Kat Toplam Kolon Alanı (cm^2)	1.Kat Alanı (cm^2)
1	15000	1027125
2	16500	999600
3	25200	1520000
4	63300	2543625
5	15000	814050
6	13125	961975
7	10600	948000
8	10875	588000
9	22600	1480350
10	34200	1555425
11	16000	1363350
12	17700	864000
13	20875	768729
14	11850	782325
15	18000	1517250
16	40625	1342750
17	29750	1524600
18	29500	2901750
19	25350	1248900
20	22250	1972020

Tablo 5.4: Binadaki düzensizlik durumları

Bina Sıra No	Kısa Kolon	A1-Burulma Düzensizliği	A2- Döşeme Süreksizliği	A3- Planda Çıkıntıların Bulunması	B1- Zayıf Kat Düzensizliği	B2-Yumuşak Kat Düzensizliği	B3-Düşey Eleman Süreksizliği
1	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
2	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Var	Var
3	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok
4	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Var	Yok
5	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
6	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
7	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
8	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok
9	Var	Yok	Yok	Var	Yok	Var	Yok
10	Var	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
11	Var	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
12	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok
13	Var	Var	Yok	Var	Yok	Var	Var
14	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
15	Var	Yok	Yok	Var	Yok	Var	Yok
16	Var	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Var
17	Var	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok
18	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Var	Yok
19	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
20	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok

5.2. İncelenen Binaların Doğrusal Elastik Analizi

Binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılacak doğrusal elastik hesap yöntemleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemleridir. Bu yöntemlerden eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi için ön şartlar verilmiştir. Buna göre eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}<1.4 olan binalara uygulanabilmektedir.

Binalarda burulma düzensizliği olanlar olduğundan dolayı eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmamıştır. Yöntem farklılığından kaynaklanan hesap farklılıklarının da önüne geçmek için bütün binalarda Mod Birleştirme yöntemi tercih edilmiştir.

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta Ra=1 alınmıştır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınmaktadır.

Mod Birleştirme yöntemi kullanılarak öncelikle kolon, kiriş, perde kesitlerinin etki/kapasite oranlarına (r) karşılık gelen sayısal değerler elde edilir. Daha sonra bu değerler yönetmelikteki tablolarda gösterilen sınır değerlerle karşılaştırılır. Betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise "sünek", kesme ise "gevrek" olarak sınıflanırlar.

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için yönetmelikte verilen değeri aşmaması gereklidir.

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Binalar için dört farklı performans düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar; "Hemen kullanım (HK)", "Can Güvenliği (CG)", Göçme Öncesi (GÖ)" ve "Göçme" performans düzeyleridir.

Bu çalışmada Can Güvenliği Performans seviyesi hedeflenmiştir. Can güvenliği performans düzeyinde, kirişlerin en fazla % 30'u ve kolonların bir kısmı

ileri hasar bölgesine geçebilir. Fakat ileri hasar bölgesindeki kolonların kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20' nin altında olmalıdır. Son katta ileri hasar bölgesindeki kolonların toplam kesme kuvvetinin o kattaki tüm kolonların toplam kesme kuvvetine oranı en fazla %40 olabilir. Diğer taşıyıcı elemanların tamamı minimum hasar veya belirgin hasar bölgesinde olmalıdır. Fakat herhangi bir katta kolonların alt ve üst uçlarının her ikisinde de minimum hasar sınırı aşılmış ise bu kolonların toplam kesme kuvvetinin o kattaki kolonlar tarafından taşınan toplam kesme kuvvetine oranı %30' un altında olmalıdır.

Mevcut binaların performans değerlendirmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere üç farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar; kullanım depremi, tasarım depremi ve maksimum depremdir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi için can güvenliği performans seviyesi kontrol edilecektir.

Zemin sınıfı, deprem bölgesi bütün binalar için 2. Derece deprem bölgesi ve Z3 olmak üzere aynı seçilmiştir.

Mevcut binalarda çoğunlukla S220 sınıfı donatı kullanılması ve sıklaştırma bölgesi ve açıklıkta çoğunlukla sargılama olmaması sebebiyle gerçeği yansıtması için min. donatıyla, sargılama olmadan S220 donatı sınıfıyla çalışılmıştır.

Türkiye de binaların çok büyük kısmını konutların oluşturması sebebiyle seçilen binalar konut olarak seçilmiş ve bu nedenle hareketli yük katılım katsayısı 0,3 alınmıştır.

Deprem etkisinin tanımında, DBYBHY 2007 Bölüm 2.4'de verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı asılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY 2007 Bölüm 7.8'e göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacaktır. Deprem hesabında DBYBHY 2007 Bölüm 2.4.2'de tanımlanan bina önem katsayısı uygulanmamıştır (I=1.0).

5.2.1. Beton Değişkenliğine Göre Binanın Modellenmesi ve Analiz Adımları

Tablo 5.5: Doğrusal Elastik Analizde Kullanılan Parametreler

Zemin Sınıfı			Z3
Karakteristik Periyotlar			Ta=0.15 Tb=0.60
Deprem Bölgesi			2.Derece
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (Ao)			0.3g
Hesap Yöntemi			Doğrusal Elastik Analiz-Mod Birleştirme
Yükleme Yönü			1 (0d)
Bilgi Düzeyi Katsayısı			Kapsamlı (1)
Yapı Kullanım Amacı ve Tipi			Konut
Bina Önem Katsayısı			1
Hareketli Yük Katilim Katsayısı			0.3
Ra (Davranış Katsayısı)			1
Performans Durumu			Can Güvenliği(50 Yılda %10)
Ek Dışmerkezlik			Yok
Mevcut Donatı Sınıfı			S220
Mevcut Beton Sınıfı			Değişken (Tablo 5.6)
Kullanılacak Donatı Oranı	Kolon		0.01
	Perde		0.0025
	Kiriş	Üst	0.006
		Alt	0.003
Kolon ve Kirişlerde Sargılama			Yok
Etkin Eğilme Rijitlik	Kolon		0.65
	Perde		0.4
	Kiriş		0.4
Analiz Sonucu, Verileri Kullanılacak Kat			Tek Kat (1.Kat)

Tablo 5.6: Değişken beton sınıfında kullanılan beton sınıfları

Mevcut Beton Sınıfı	E_c (Mevcut Beton Elastisite Modülü)-MPa
C5	21267
C7	22599
C10	24277
C12	25258
C15	26587
C16	27000
C17	27400
C20	28534
C25	30250
C30	31801

Bütün verileri sabit kabul edilip beton değerlerinde değişiklik yapılıp analiz edilecek beton değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir. Bu beton değerlerinin TS 500 `e göre elastisite modülü hesaplanmıştır.

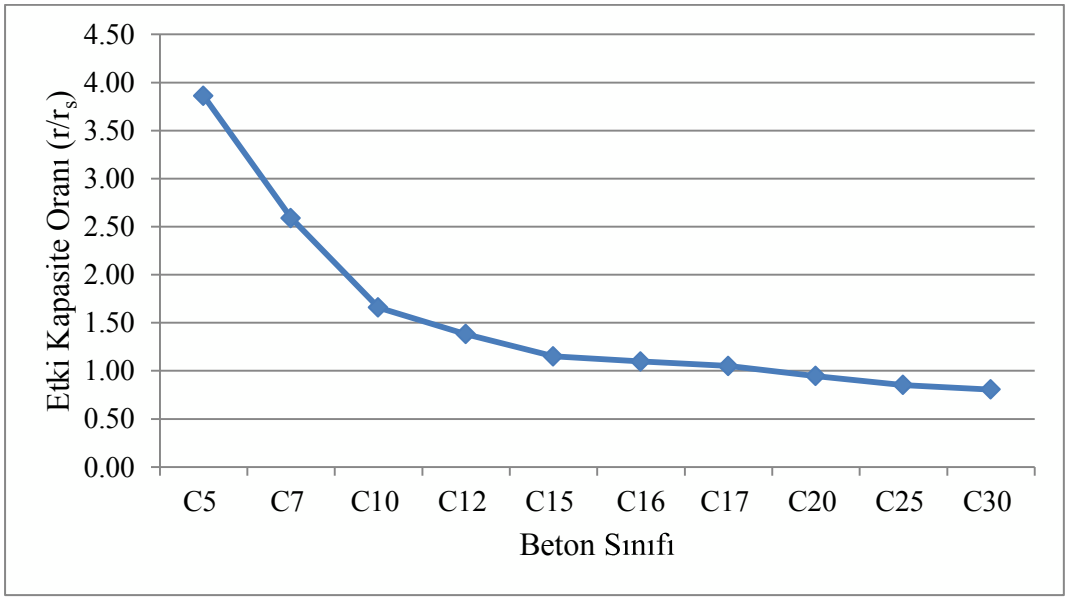
Beton sınıfı her bir bina için 10 farklı değer alınmış ve analiz edilmiştir. Bu analizler neticesinde Tablo 5.7'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu tabloda her bir binanın beton sınıfındaki değişimler sonucu ilk kat kolonlarında +x yönünde elde edilen etki-kapasitenin yönetmelikte öngörülen sınır değerlere bölünmüş değerinin ortalaması yine her bir bina için ayrı ayrı verilmiş sonra bütün binaların o beton etkisi altındaki sünekliklerinin ortalamaları alınmıştır.

Ayrıca beton sınıfındaki değişimler sonucu ilk kat kolonlarında +x yönünde elde edilen kesme kuvvetinin kesme kapasitesine oranının ortalaması yine her bir bina için ayrı ayrı verilmiş sonra bütün binaların o beton etkisi altındaki gevrekliklerinin ortalamaları alınmıştır.

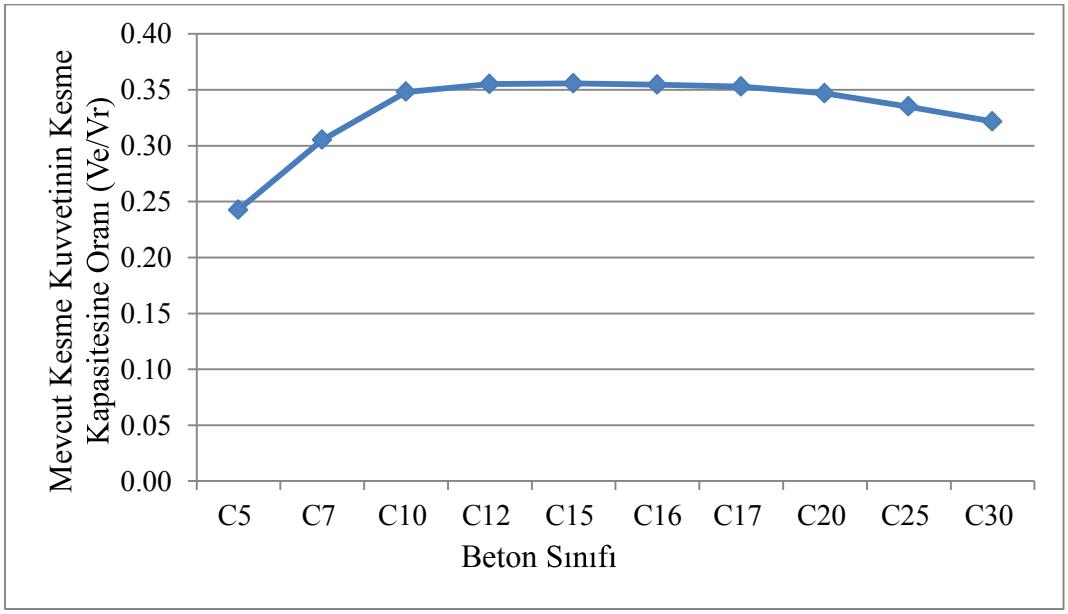
Sonuç olarak 20 adet binanın C5-C7-C10-C12-C15-C16-C17-C20-C25-C30 beton sınıfları altında etki/kapasite oranları ve kesme kuvveti oranları tablo haline getirilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ' de verilmiştir.

Tablo 5.7: Değişen beton sınıfının bina performansına etkisi

	C5		C7		C10		C12		C15		C16		C17		C20		C25		C30	
	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r
1	4.25	0.30	2.64	0.37	1.76	0.41	1.49	0.40	1.25	0.39	1.20	0.39	1.15	0.38	1.05	0.38	0.97	0.36	0.92	0.34
2	2.45	0.26	1.97	0.28	1.47	0.28	1.30	0.28	1.16	0.27	1.14	0.27	1.11	0.27	0.97	0.26	0.86	0.25	0.80	0.24
3	4.77	0.19	3.47	0.25	2.20	0.29	1.83	0.31	1.55	0.32	1.48	0.32	1.43	0.32	1.28	0.31	1.15	0.30	1.08	0.29
4	1.60	0.36	1.24	0.38	0.89	0.38	0.71	0.37	0.69	0.37	0.68	0.36	0.66	0.36	0.63	0.34	0.60	0.33	0.58	0.31
5	3.24	0.26	2.07	0.29	1.54	0.30	1.35	0.29	1.18	0.28	1.14	0.27	1.12	0.27	1.05	0.26	1.00	0.25	0.97	0.23
6	4.96	0.19	3.34	0.27	2.04	0.35	1.69	0.32	1.35	0.31	1.28	0.31	1.22	0.31	1.09	0.30	0.98	0.29	0.93	0.28
7	5.27	0.15	3.70	0.22	2.35	0.27	1.98	0.27	1.63	0.28	1.54	0.28	1.47	0.28	1.32	0.28	1.17	0.27	1.10	0.26
8	5.22	0.15	3.06	0.23	2.04	0.26	1.71	0.27	1.40	0.28	1.32	0.28	1.26	0.28	1.12	0.28	1.00	0.27	0.94	0.26
9	4.16	0.22	2.53	0.27	1.69	0.31	1.24	0.32	0.97	0.32	0.91	0.31	0.87	0.31	0.78	0.31	0.70	0.30	0.65	0.28
10	3.92	0.34	1.98	0.51	1.34	0.64	1.14	0.68	0.94	0.70	0.89	0.70	0.84	0.70	0.75	0.70	0.67	0.68	0.63	0.66
11	6.49	0.11	5.33	0.21	2.70	0.32	2.13	0.36	1.71	0.37	1.63	0.37	1.54	0.37	1.33	0.37	1.12	0.36	1.02	0.35
12	2.71	0.28	1.79	0.31	1.33	0.33	1.18	0.33	1.00	0.32	0.96	0.32	0.93	0.32	0.86	0.31	0.81	0.30	0.79	0.29
13	2.90	0.23	2.06	0.27	1.20	0.29	0.99	0.30	0.83	0.30	0.80	0.30	0.77	0.30	0.70	0.29	0.64	0.28	0.61	0.27
14	4.84	0.21	3.33	0.27	2.14	0.30	1.82	0.30	1.50	0.29	1.43	0.29	1.37	0.29	1.25	0.28	1.14	0.27	1.09	0.26
15	5.55	0.15	3.34	0.24	1.97	0.30	1.63	0.31	1.34	0.32	1.25	0.32	1.19	0.32	1.04	0.32	0.92	0.31	0.85	0.29
16	1.34	0.41	0.98	0.42	0.77	0.42	0.68	0.41	0.61	0.40	0.59	0.40	0.58	0.40	0.55	0.38	0.52	0.37	0.51	0.35
17	3.30	0.35	2.08	0.49	1.34	0.60	1.12	0.63	0.92	0.64	0.88	0.64	0.84	0.64	0.75	0.64	0.67	0.63	0.63	0.61
18	2.52	0.29	1.50	0.33	1.02	0.36	0.86	0.37	0.72	0.36	0.68	0.36	0.66	0.35	0.59	0.35	0.54	0.33	0.51	0.32
19	2.49	0.29	1.70	0.33	1.21	0.34	1.04	0.34	0.91	0.33	0.88	0.32	0.85	0.32	0.80	0.31	0.75	0.29	0.72	0.28
20	5.25	0.11	3.66	0.18	2.16	0.24	1.74	0.26	1.33	0.27	1.24	0.28	1.16	0.28	1.00	0.28	0.85	0.27	0.78	0.26
ORT.	3.86	0.24	2.59	0.31	1.66	0.35	1.38	0.36	1.15	0.36	1.10	0.35	1.05	0.35	0.95	0.35	0.85	0.33	0.81	0.32



Şekil 5.3: Değişen beton sınıfının kolonlardaki etki-kapasite oranına etkisi

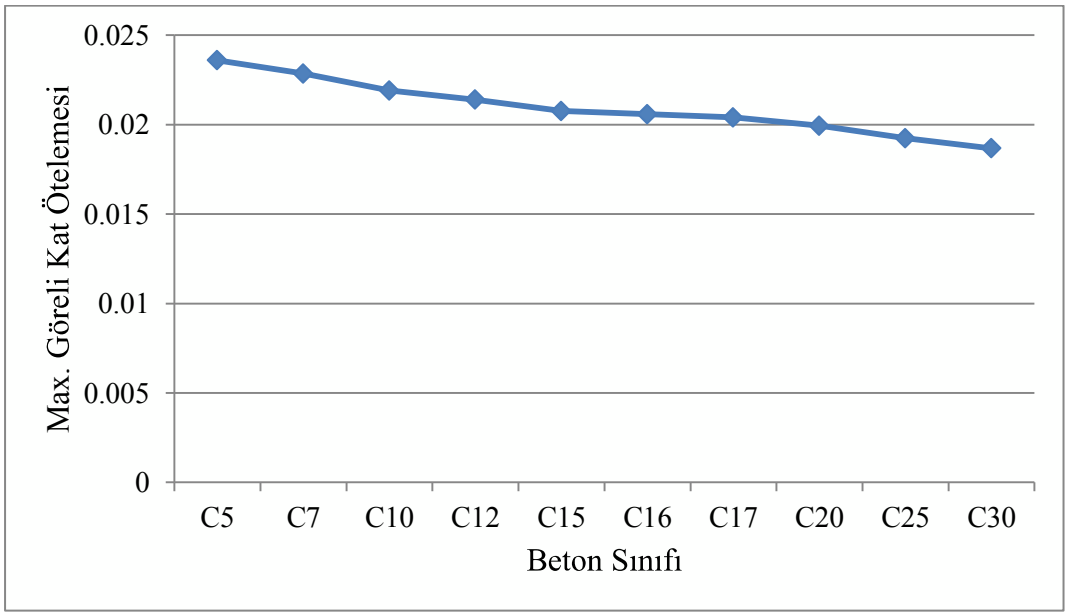


Şekil 5.4: Değişen beton sınıfının kolonlardaki kesme kuvveti oranına etkisi

Şekil 5.3'de C15'e kadar beton sınıfının performansa katkısı hayli büyük olmuştur. C5 beton sınıfı için performans 3.86 hesaplanmışken bu değer C15 sınıfı beton için 1.15 seviyesindedir yaklaşık %70 performans artışı olmuştur. Fakat C15'ten sonra beton sınıfının performansa katkısı azalmıştır. Etki/kapasite oranı C15'te 1.15 iken C30'da 0.81 olarak hesaplanmıştır bu da yaklaşık %30 bir performans artışı demektir.

Şekil 5.4'de beton sınıfındaki değişimin kesme kuvveti oranına etkisi görülmektedir. Bu grafikte de C12'ye kadar beton sınıfının kesme kuvvetine katkısı olmuştur ancak C12'den sonra hemen hemen hiç katkı sağlamamıştır.

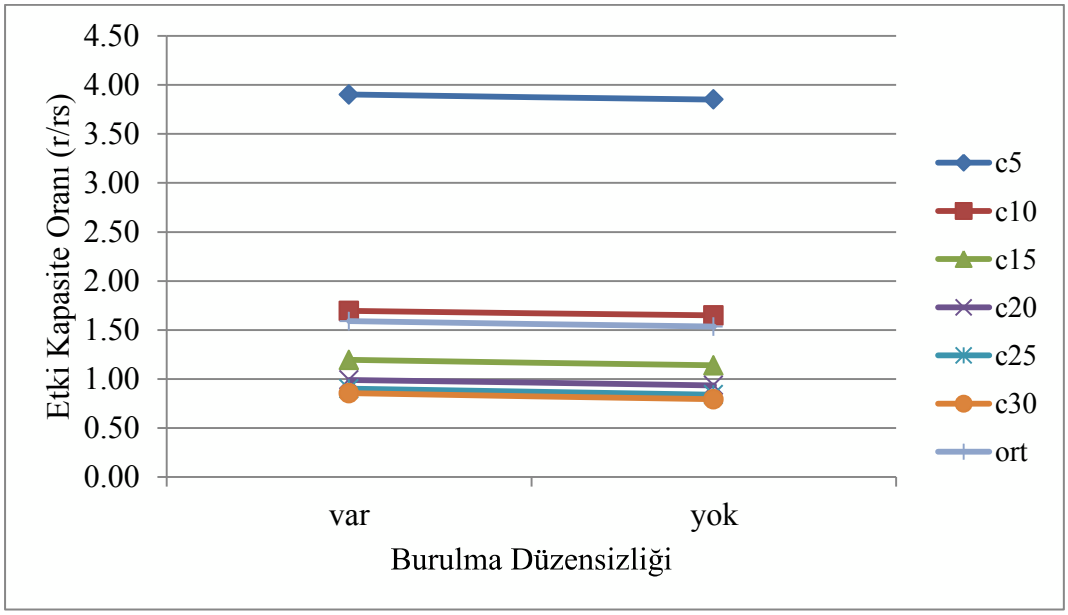
Bina performans seviyesinin belirlenmesinde bir diğer önemli ölçü göreli kat ötelenmeleri sınırıdır. En düşük beton sınıfında bile doğrusal elastik hesap yöntemiyle analizi yapılan binalar, sınır değer olan 0.03'ün altında kalmaktadır (Şekil 5.5). Buna karşın can güvenliği performansını sağlamayan çok sayıda sünek eleman olması dikkat çekicidir.



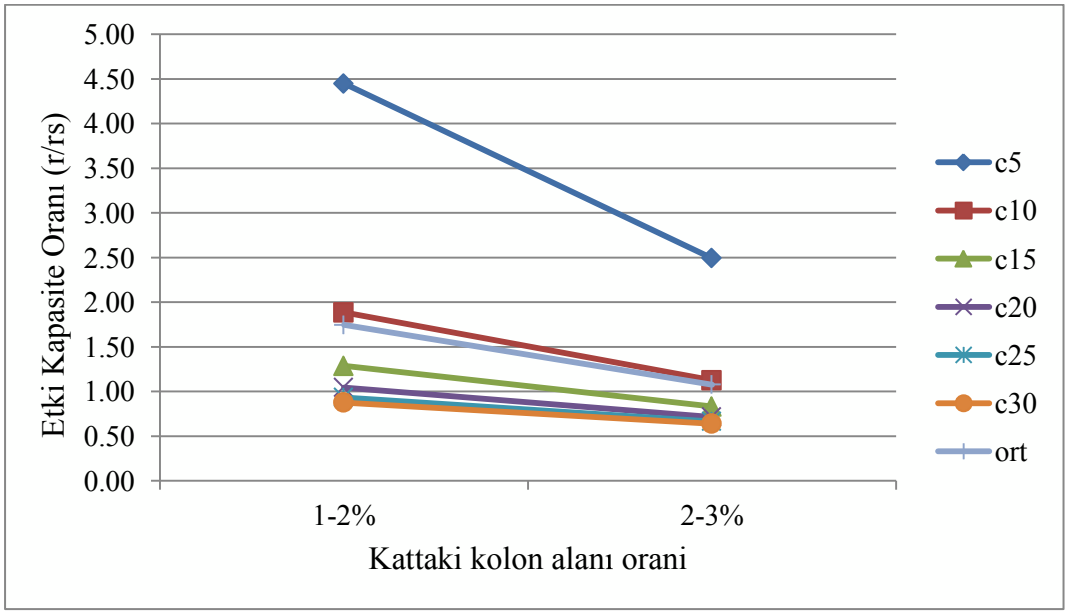
Şekil 5.5: Değişen beton sınıfının göreli kat ötelemesine etkisi

Birinci adım analizde amaç beton sınıfının performansa etkisinin incelenmesiydi ve bunun için bütün binaların bazı değişkenleri sabit tutulup sadece beton sınıfı değiştirilerek yapılan analizlerde beton sınıfının etki/kapasiteye katkısı özellikle C15'e kadar oldukça fazla olduğu görülmüştür.

Ayrıca bu 20 adet binanın içinde çeşitli düzensizliklerin de bulunduğu binalar mevcuttur. Bu binalarında performansa ne derece katkısı olduğu incelendiğinde burulma düzensizliği olmayan binalarla düzensizlik bulunan binalar arasında binasına göre%3 ile %5 iyi yönde fark görülmüştür (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Burulma düzensizliği ile beton sınıfı arasındaki ilişki



Şekil 5.7: Kattaki kolon alanı oranı ile beton sınıfı arasındaki ilişki

Analiz sonuçları kullanılan kattaki kolon alanı ile kat alanının oranı ve beton sınıfı arasındaki ilişkiye bakıldığında düşük dayanımlı betondaki performansa katılımı oldukça fazladır.

Tablo 5.9: Değişen beton sınıfının göreli kat ötelemesine etkisi

C5	C7	C10	C12	C15	C16	C17	C20	C25	C30
0.0241	0.0233	0.0223	0.0218	0.0211	0.0209	0.0207	0.0202	0.0195	0.0190
0.0227	0.0233	0.0223	0.0218	0.0211	0.0209	0.0207	0.0202	0.0195	0.0190
0.0219	0.0211	0.0202	0.0198	0.0192	0.0190	0.0188	0.0184	0.0177	0.0172
0.0167	0.0161	0.0155	0.0151	0.0146	0.0145	0.0144	0.0141	0.0136	0.0131
0.0198	0.0191	0.0183	0.0178	0.0173	0.0172	0.0170	0.0166	0.0160	0.0155
0.0253	0.0244	0.0234	0.0229	0.0223	0.0221	0.0219	0.0214	0.0206	0.0201
0.0277	0.0268	0.0257	0.0251	0.0243	0.0242	0.0240	0.0235	0.0227	0.0220
0.0442	0.0427	0.0410	0.0400	0.0390	0.0387	0.0384	0.0376	0.0364	0.0354
0.0272	0.0264	0.0253	0.0248	0.0242	0.0240	0.0238	0.0233	0.0226	0.0219
0.0184	0.0178	0.0171	0.0168	0.0163	0.0161	0.0160	0.0156	0.0151	0.0147
0.0214	0.0207	0.0198	0.0194	0.0188	0.0186	0.0185	0.0181	0.0175	0.0169
0.0168	0.0162	0.0156	0.0153	0.0148	0.0147	0.0145	0.0142	0.0138	0.0134
0.0288	0.0279	0.0267	0.0261	0.0254	0.0252	0.0250	0.0244	0.0236	0.0229
0.0235	0.0227	0.0217	0.0212	0.0206	0.0204	0.0202	0.0197	0.0190	0.0185
0.0328	0.0316	0.0302	0.0295	0.0286	0.0284	0.0282	0.0275	0.0265	0.0257
0.0115	0.0111	0.0106	0.0101	0.0096	0.0094	0.0093	0.0089	0.0084	0.0079
0.0169	0.0163	0.0156	0.0152	0.0148	0.0146	0.0145	0.0142	0.0137	0.0133
0.0182	0.0176	0.0168	0.0164	0.0159	0.0158	0.0156	0.0153	0.0147	0.0143
0.0234	0.0226	0.0216	0.0211	0.0204	0.0202	0.0201	0.0196	0.0189	0.0184
0.0306	0.0295	0.0283	0.0277	0.0269	0.0267	0.0265	0.0259	0.0250	0.0243
0.0236	0.0229	0.0219	0.0214	0.0208	0.0206	0.0204	0.0199	0.0192	0.0187

5.2.2. Donatı Sınıfı ve Sargı Değişkenliğine Göre Binanın Modellenmesi ve Analiz Adımları

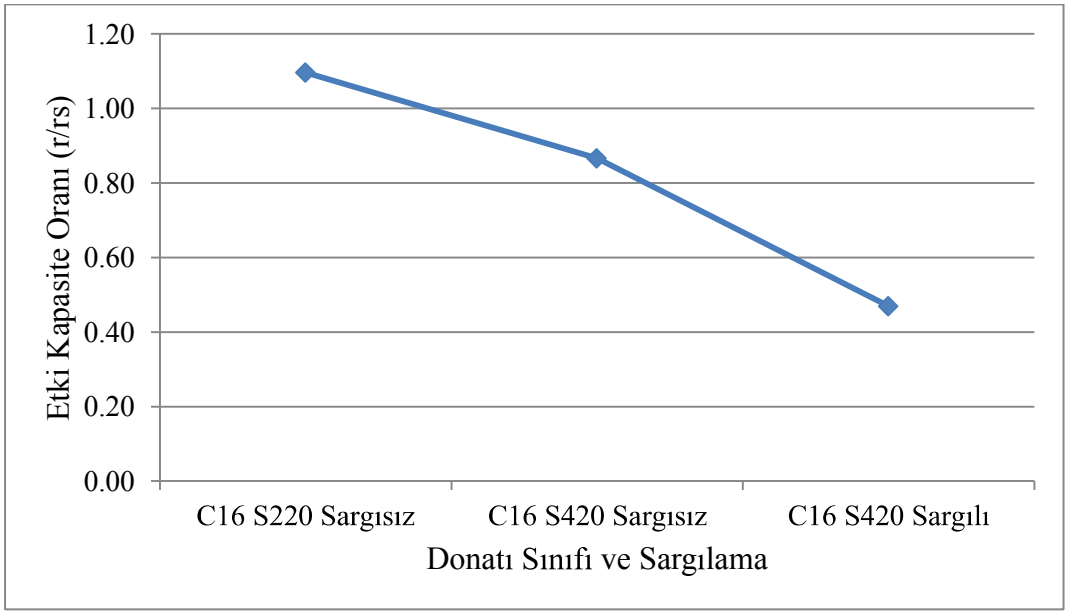
Tablo 5.10: Doğrusal Elastik Analizde Kullanılan Parametreler

Zemin Sınıfı			Z3
Karakteristik Periyotlar			Ta=0.15 Tb=0.60
Deprem Bölgesi			2.Derece
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (Ao)			0.3g
Hesap Yöntemi			Doğrusal Elastik Analiz-Mod Birleştirme
Yükleme Yönü			1 (0d)
Bilgi Düzeyi Katsayısı			Kapsamlı (1)
Yapı Kullanım Amacı ve Tipi			Konut
Bina Önem Katsayısı			1
Hareketli Yük Katilim Katsayısı			0.3
Ra (Davranış Katsayısı)			1
Performans Durumu			Can Güvenliği(50 Yılda %10)
Ek Dışmerkezlik			Yok
Mevcut Donatı Sınıfı			S220,S420 (Değişken)
Mevcut Beton Sınıfı			C16
Kullanılacak Donatı Oranı	Kolon		0.01
	Perde		0.0025
	Kiriş	Üst	0.006
		Alt	0.003
Kolon ve Kirişlerde Sargılama			Yok, Var (Değişken)
Etkin Eğilme Rijitlik	Kolon		0.65
	Perde		0.4
	Kiriş		0.4
Analiz Sonucu, Verileri Kullanılacak Kat			Tek Kat (1.Kat)

Binaların beton sınıfları C16 alınarak sargılı, sargısız, S420 ve S220 donatı sınıfı ve sargı koşulları değiştirilip diğer parametreler her bir bina için sabit tutularak analiz edilmiştir. Bu analizler neticesinde Tablo 5.11'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu tabloda her bir binanın donatı ve sargılama koşulları değişimleri sonucu ilk kat kolonlarında +x yönünde elde edilen etki-kapasitenin yönetmelikte öngörülen sınır değerlere bölünmüş değerinin ortalaması yine her bir bina için ayrı ayrı verilmiş sonra bütün binaların belirlenen donatı sınıfı ve sargılama koşulları altındaki sünekliklerinin ortalamaları alınmıştır.

Ayrıca donatı sınıfı ve sargılama neticesindeki değişimler sonucu ilk kat kolonlarında +x yönünde elde edilen kesme kuvvetinin kesme kapasitesine oranının ortalaması yine her bir bina için ayrı ayrı verilmiş sonra bütün binaların belirlenen donatı sınıfı ve sargılama koşulları altındaki gevrekliklerinin ortalamaları alınmıştır.

Sonuçta 20 adet binanın beton sınıfı C16 olmak koşuluyla; S220 sargısız, S420 sargısız ve S420 sargılı olmak üzere her bir bina için 3 analiz yapılmış ve bu parametreler altında etki/kapasite oranları ve kesme kuvveti oranları tablo haline getirilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 5.8' de verilmiştir.

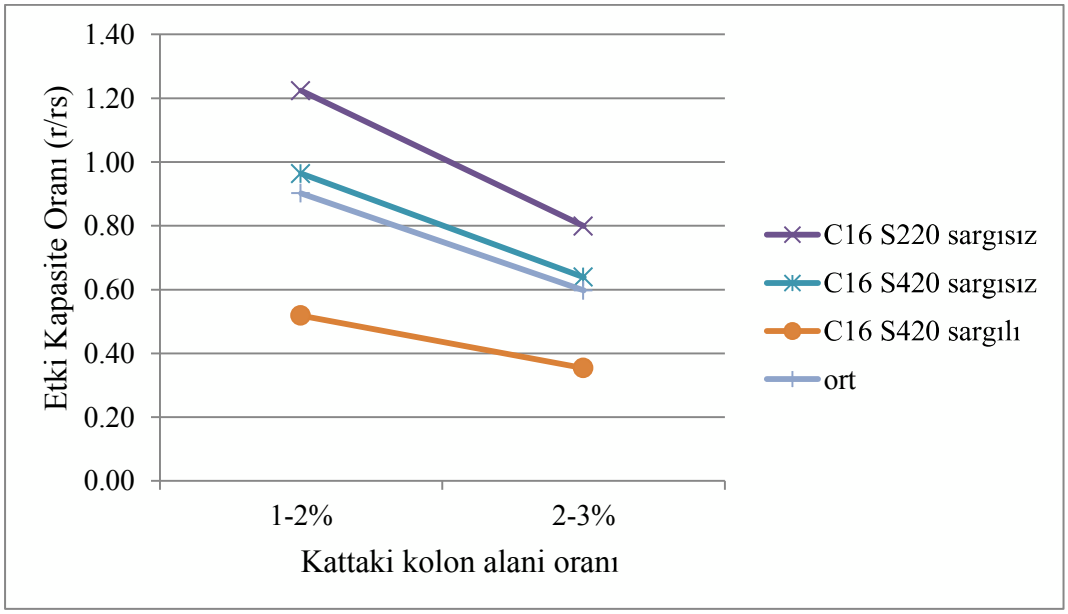


Şekil 5.8: Değişen donatı sınıfı ve sargılamanın kolonların etki-kapasite oranına etkisi

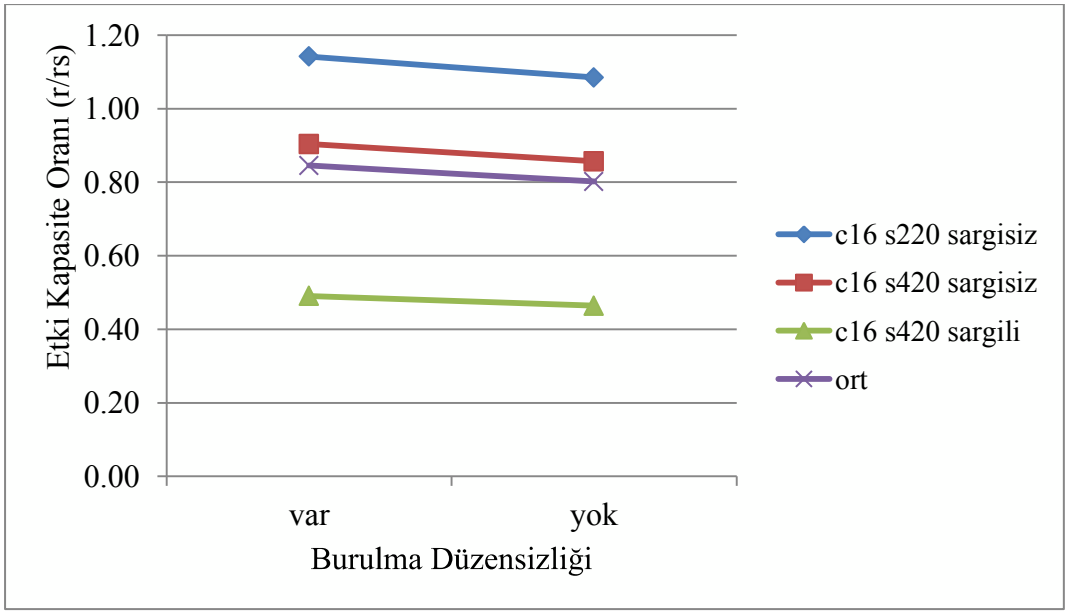
Tablo 5.11: Donatı sınıfının ve sargılamanın mevcut binaların kolonları üzerindeki etkisi

	C16 S220 Sargısız		C16 S420 Sargısız		C16 S420 Sargılı	
	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r	r/r_s	V_e/V_r
1	1.20	0.39	0.92	0.45	0.50	0.45
2	1.14	0.27	0.74	0.32	0.41	0.32
3	1.48	0.32	1.16	0.36	0.62	0.36
4	0.68	0.36	0.50	0.43	0.29	0.43
5	1.14	0.27	0.88	0.34	0.49	0.34
6	1.28	0.31	1.00	0.40	0.54	0.40
7	1.54	0.28	1.23	0.30	0.66	0.30
8	1.32	0.28	1.06	0.30	0.57	0.30
9	0.91	0.31	0.83	0.37	0.44	0.37
10	0.89	0.70	0.73	0.73	0.40	0.73
11	1.63	0.37	1.36	0.42	0.71	0.42
12	0.96	0.32	0.79	0.35	0.43	0.35
13	0.80	0.30	0.62	0.34	0.34	0.34
14	1.43	0.29	1.12	0.34	0.61	0.34
15	1.25	0.32	0.98	0.37	0.52	0.37
16	0.59	0.40	0.50	0.45	0.28	0.45
17	0.88	0.64	0.72	0.67	0.39	0.67
18	0.68	0.36	0.52	0.42	0.29	0.42
19	0.88	0.32	0.70	0.37	0.39	0.37
20	1.24	0.28	0.97	0.29	0.51	0.29
Ortalama.	1.10	0.35	0.87	0.40	0.47	0.40

Yapılan analizler sonucunda kolonun etki- kapasite oranını değerlendirirken; S220 donatı sınıfı olmasıyla S420 donatı sınıfı olması durumunda %20 iyi yönde bir fark oluşurken. S420 donatı sınıfına sahip olması durumunda sargılama koşulları yerine getirilenle getirilmeyen arasındaki fark %46 olarak değiştiği görülmüştür.



Şekil 5.9: Kattaki kolon alanı oranı ile donatı sınıfı ve sargılama arasındaki ilişki.



Şekil 5.10: Burulma düzensizliği ile donatı sınıfı ve sargılama arasındaki ilişki.

Analiz sonuçları kullanılan kattaki kolon alanı ile kat alanının oranı ve değişen donatı sınıfı, sargılama durumu arasındaki ilişkiye bakıldığında düşük dayanımlı donatıda kolon oranının artması performansı iyi yönde etkilemiştir.

6.SONUÇLAR

İstanbul kent merkezindeki binalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada bina verisi gerçek betonarme binalardan oluşmaktadır. Bu verilerin mevcut olduğu kent merkezinden rastgele seçilen 20 adet binanın çok sayıda analizi neticesinde beton sınıfı, donatı sınıfı ve sargılamanın mevcut bina performansına ne kadar etkisi olduğu elde edilmeye çalışılmıştır.

İncelenen tüm binalar çerçeve tarzı betonarme binalar olup, bu binaların Türkiye genelindeki genel mühendislik bilgi birikimini ve uygulama özelliklerini taşıdığı varsayılabilir.

Beton değiştirilerek yapılan analizlere bakıldığında C15'e kadar beton sınıfının performansa katkısı hayli büyük olmuştur. C5'ten C15'e %70 performans artışı olmuştur. Fakat C15'ten sonra beton sınıfının performansa katkısı azalmıştır. Etki/kapasite oranı C15'te 1.15 iken C30'da 0.81 olarak hesaplanmıştır bu da yaklaşık %30 bir artış demektir.

Ayrıca beton sınıfındaki değişimin kesme kuvveti oranına etkisine bakıldığında da C12'ye kadar %30 kesme kuvvetine katkısı olmuştur ancak C12'den sonra hemen hemen hiç katkı sağlamamıştır.

Bu 20 adet binanın içinde çeşitli düzensizliklerin de bulunduğu binalar mevcuttur. Bu binalarında performansa ne derece katkısı olduğu incelendiğinde beton sınıfının artmasıyla burulma düzensizliği olmayan binalarla düzensizlik bulunan binalar arasında binasına göre ortalama %4 iyi yönde fark görülmüştür.

Analiz sonuçları kullanılan kattaki kolon alanı ile kat alanının oranı ve beton sınıfı arasındaki ilişkiye bakıldığında bu oran artıkça düşük dayanımlı betondaki performansa katılımı oldukça fazladır (%43). Buna ek olarak kat alanının oranı artıkça, artan beton sınıfı altında performansa katkısı ortalama olarak %38 denilebilir.

Bina performans seviyesinin belirlenmesinde bir diğer önemli ölçü göreli kat ötelenmeleri sınırıdır. En düşük beton sınıfında bile doğrusal elastik hesap yöntemiyle analizi yapılan binalar, sınır değer olan 0.03'ün altında kalmaktadır. Buna karşın can güvenliği performansını sağlamayan çok sayıda sünek eleman olması dikkat çekicidir.

Mevcut binanın donatı ve sargılama koşullarına göre kolonun etki- kapasite oranını değerlendirirken; S220 donatı sınıfı olmasıyla S420 donatı sınıfı olması durumunda %20 iyi yönde bir fark oluşurken. S420 donatı sınıfına sahip olması durumunda sargılama koşulları yerine getirilenle getirilmeyen arasındaki fark %46 olarak değişiyor.

Burulma düzensizliği saptanan binalarında performansa ne derece katkısı olduğu incelendiğinde donatı sınıfının artması ve sargılama koşullarının yerine getirilmesiyle burulma düzensizliği olmayan binalarla düzensizlik bulunan binalar arasında binasına göre ortalama %5 iyi yönde fark görülmüştür.

Analiz sonuçları kullanılan kattaki kolon alanı ile kat alanının oranı ve donatı sınıfı ve sargılama arasındaki ilişkiye bakıldığında oran kolon oranı fazlalaştıkça, iyileşen donatı sınıfı ve sargılama koşulları ile ortalama %32 iyi yönde bir artış olmuştur.

KAYNAKLAR

[1] Web 1, (2013), http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/deprem/743.html, (Erişim Tarihi:20.05.2013)

[2] Web 2, (2013), http://www.belgeler.com/blg/34my/coken-binalar, (Erişim Tarihi:20.05.2013)

[3] Web 3, (2013), http://www.prota.com.tr/prota_muhendislik/images/yayin_makaleler/tipik_deprem_hasarlari_ve_nedenleri.pdf, (Erişim tarihi:16.04.2013)

[4] Koparan İ., (2006), "Mevcut Betonarme Binaların Performans Analizleri", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[5] Büyükçapar S., (2008), "Betonarme Bir Yapının Yeni Deprem Yönetmeliği 2007 Esaslarına Göre Performansının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.

[6] Web 5, (2013), http://www.sisikyapi.com.tr/doc/betonarma_binalarin_deprem_guvenligi.pdf, (Erişim Tarihi:20.05.2013)

[7] Arel H.Ş., (2007), "Performansa Dayalı Sismik Tasarımda Betonarme Yapıların Süneklik Düzeylerinin Yapı Performansına Katkısının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.

[8] Balcan H., (2005), "Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan Davranışlarının Performansa Dayalı Yaklaşımla İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

[9] Aydınoğlu N.M., (2003), "Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi (Arsa) Yöntemi", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 26-30 Mayıs.

[10] ATC 40, (1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Applied Technology Council, Seismic Safety Commission, California, November 1996.

[11] FEMA-356, (2000), "Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", American Society Of Civil Engineers, Federal Emergency Management Agency Washington, D.C., November 2000.

[12] EC-8, (2001), "Design of Structures for Earthquake Resistance", European Committee for Standardization, Brussels, December 2004.

[13] Web 6, (2013), http://www.ipkb.gov.tr/ismep/Orneklerkitabi/BolumI/BolumI_5_HalukSucuoglu.pdf, (Erişim Tarihi:14.04.2013)

[14] ResGaz 1, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 3 Mayıs 2007 tarih ve 26511 sayılı Resmi Gazete.

[15] Probina Orion 2013 V17, Probina Orion, Bina Tasarım Sistemi, Prota Bilgisayar, Ankara, Türkiye

ÖZGEÇMİŞ

1982 İstanbul doğumluyum. İlköğretim ve liseyi İstanbul da bitirdim. Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliğinden 2005 yılında mezun oldum. 2010 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalına kaydımı yaptırdım.