

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT BİNALARIN GÜÇLENDİRME
MALİYETLERİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELER

Davut ULUÖZ

Ağustos, 2010

İZMİR

**MEVCUT BİNALARIN GÜÇLENDİRME
MALİYETLERİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELER**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

Davut ULUÖZ

Ağustos, 2010

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

DAVUT ULUÖZ, tarafından **PROF. DR. SERAP KAHRAMAN** yönetiminde hazırlanan “**MEVCUT BİNALARIN GÜÇLENDİRME MALİYETLERİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. SERAP KAHRAMAN

Danışman

.....
Prof. Dr. Türkay BARAN

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Yeşim Kamile AKTUĞLU

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince beni her zaman destekleyen, çok değerli bilgilerinden ve tecrübesinden faydalandığım, tezimi yönlendiren ve birlikte çalışabildiğim için kendimi şanslı hissettiğim, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Serap KAHRAMAN'a, değerli jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Türkay BARAN ve Prof. Dr. Yeşim Kamile AKTUĞLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimin boyunca kendilerinden ders aldığım DEÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün değerli öğretim üyelerine,

Kendisi ile tanıştığım için kendimi şanslı hissettiğim, Ankara'da olduğum zamanlarda benimle ilgili her türlü sıkıntıyı bizzat çeken, her zaman yanımda olan, arkadaşlığıyla bana destek veren değerli arkadaşım sayın Taner UÇAR'a,

Bu çalışmanın başarı ile sonuçlanmasında gece gündüz desteğini hiç bir zaman esirgemeyen, yorulduğum ve motivasyonumu kaybettiğim anlarda beni daima cesaretlendiren eşim Huriye ULUÖZ'e ve hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi destekleri, gösterdikleri hoşgörü ve anlayış için çok değerli aileme,

Yine, tez konusu hususunda bana ilham kaynağı olan değerli arkadaşım ve kadim dostum İnşaat Yüksek Mühendisi sayın Aykut DENİZ'e,

Minnet ve şükranlarımı sunarım.

Davut ULUÖZ

MEVCUT BİNALARIN GÜÇLENDİRME MALİYETLERİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER

ÖZ

Bilindiği üzere son yıllarda meydana gelen depremlerden sonra ülkemizdeki yapıların yetersiz deprem etkisine göre tasarlandığı ve oldukça zayıf işçilik ile düşük mukavemetli ve kontrolsüz malzeme kullanılarak inşa edildiğinden, bu yapıların güçlendirilmesi ihtiyacı had safhaya ulaşmıştır.

Bu çalışmada, bina güçlendirme maliyetlerine etki eden parametreler incelenmiş ve güçlendirme yapmadan güçlendirmenin maliyetli olup olmayacağını eldeki birkaç veri ile tahmin etmeye yönelik bir sistemin altyapının kurulması amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle daha önce güçlendirme ile ilgili literatür taranmıştır. Mevcut binaların deprem performansını olumsuz yönde etkileyen faktörler yani yapıların güçlendirilmesi ihtiyacını doğuran sebepler, deprem performans belirleme yöntemleri ve mevcut binaların **güçlendirme maliyetine etki eden parametreler ve bunların tesir nispetleri çoklu lineer regresyon yöntemi SPSS 15 paket programı ile incelenmiştir**. Analize giren parametrelerden bina yapım yılı, deprem bölgesi (etkin yer ivmesi katsayısı), mevcut beton dayanımı, temel tipi ile toplam kat adedinin m² başına güçlendirme birim maliyetini tahmin etmede kullanılabilecek parametreler olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güçlendirme, Maliyet, Regresyon analizi

THE PARAMETERS AFFECTING STRENGTHENING COSTS OF EXISTING BUILDINGS

ABSTRACT

Following the earthquakes in recent years, the reinforced concrete buildings in Turkey were designed insufficiently for the effects of earthquake and these buildings have been built by weak labour and low strength materials in uncontrolled manner. For these reasons, the need of retrofit reached to a maximum level.

In this study, it is aimed to establish the basis of a system with which one can easily estimate the cost of retrofit of a reinforced concrete building. In order to achieve this goal, the previous related studies have been searched. Then, the factors that affect negatively the earthquake performance of existing reinforced concrete buildings, namely the reasons that create the need of strengthening the buildings, the methods of determining the earthquake performance of existing reinforced concrete buildings, the parameters affecting the cost of strengthening the reinforced concrete buildings and their relative shares in the cost are studied by multi variate linear regression analysis with the help of a statistical package program, SPSS 15.

In this study it is observed that the parameters of seismic zone (effective ground acceleration coefficient), the age of the building, and strength of existing concrete, footing type and total number of storey may be used in order to estimate the unit cost of retrofit.

Keywords: strengthening existing reinforced concrete buildings, linear regression analysis.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v

BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....1

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.2 Güçlendirme İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar	6
1.2.1 Yapısal güçlendirme teknikleri	6
1.2.2 Performans Analiz yöntemleri	9
1.2.3 Güçlendirme Maliyetleri.....	10
1.2.4 Betonarme Yapıların Deprem Performans Değerlendirmesi İle İlgili Çalışmalar	12

BÖLÜM İKİ - MEVCUT BİNALARIN DEPREM PERFORMANSINI OLUMSUZ ETKİLEYEN FAKTÖRLER15

2.1 Planda Düzensizlik Durumları	15
2.1.1 Burulma Düzensizliği.....	15
2.1.2 Döşeme Süreksizlikleri (Döşeme Boşlukları Düzensizliği)	16
2.1.3 Planda Çıkıntılar Bulunması (Plan Geometrisi Düzensizliği)	17
2.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları	17
2.2.1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) ve Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat).....	17
2.2.2 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği Düzensizliği.....	18
2.2.3 Kısa Kolon Düzensizliği.....	18
2.2.4 Zayıf Kolon – Güçlü Kiriş (Döşeme) Düzensizliği	19
2.3 Donatı Detaylarının Zayıf veya Yetersiz Olması	20
2.4 Bitişik Nizamlı Yapılar	21

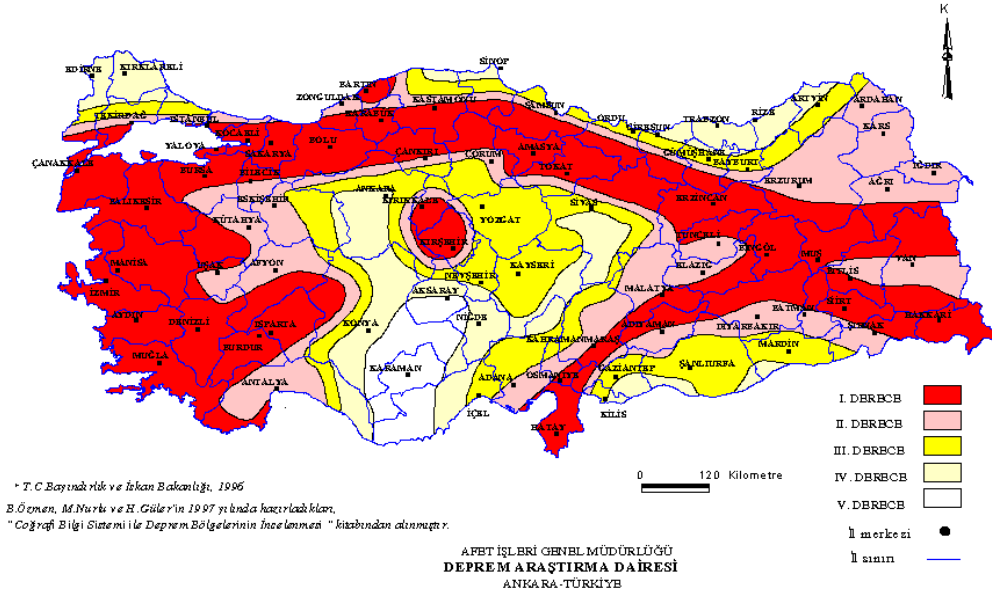
2.5 Denetimsizlik	21
BÖLÜM ÜÇ - MEVCUT BİNALARIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	22
3.1 Binalardan Bilgi Toplanması	22
3.2 Bilgi Düzeyleri ve Bilgi Düzeyi Katsayıları	23
3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	24
3.3.1 Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri	24
3.3.2 Kesit Hasar Sınırları	25
3.3.3 Kesit Hasar Bölgeleri	25
3.3.4 Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması	26
3.4 Bina Deprem Performans Analiz Yöntemleri	26
3.4.1 Performansın Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi	27
3.4.2 Performansın Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Belirlenmesi	28
3.4.3 İki Yöntemin Karşılaştırılması	29
3.5 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi	31
3.5.1 Performans Seviyeleri Tanımları	31
3.5.2 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri	34
BÖLÜM DÖRT - GÜÇLENDİRME	45
4.1 Güçlendirmede Amaç	45
4.2 Güçlendirme Yöntemleri	45
4.2.1 Eleman Düzeyindeki Güçlendirme Önlemleri	46
4.2.2 Yapı Sisteminin Tümüünün Güçlendirilmesi	50
4.2.3 Diğer Güçlendirme Önlemleri	53

BÖLÜM BEŞ - GÜÇLENDİRME MALİYETİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER VE BUNLARIN TESİR NİSPETİNİN BELİRLENMESİ	56
5.1 Güçlendirme Maliyeti.....	56
5.2 Güçlendirme Maliyetine Etki Eden Parametreler	58
5.2.1 Deprem Bölgesi.....	59
5.2.2 Zemin Tipi	59
5.2.3 Bina Temel Tipi	60
5.2.4 Bina Yaşı	61
5.2.5 Mevcut Beton ve Donatı Dayanımları.....	61
5.2.6 Mevcut Taşıyıcı Sistemde Perde Olup Olmaması	61
5.2.7 Bina Kat Adedi.....	62
5.2.8 Bina Toplam Alanı	62
5.3 İstatistiksel Yöntemler	63
5.3.2 Çoklu Regresyon Analizi.....	66
5.3.3 Korelasyon analizi.....	67
5.4 Güçlendirme Maliyetine Etki Eden Parametrelerin Tesir Nispetinin Belirlenmesi	68
BÖLÜM ALTI - SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKÇA	75
EKLER.....	81

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Ülkemiz nüfusunun, yüz ölçümünün ve endüstrisinin %90'ından fazlası çeşitli seviyelerde deprem tehlikesine maruzdur. Son yıllarda meydana gelen depremler, tehlikenin sadece kırsal ve nüfus yoğunluğu az olan bölgelerde değil, aynı zamanda yoğun kentsel bölgelerde de söz konusu olduğunu göstermiştir, (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (Esasen Gülkan, Koçyiğit, Yüccemen, Doçuran ve Başöz (1993) tarafından yapılan çalışma Özmen, Nurlu ve Güler (1997) tarafından coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak görsel bir hale getirilmiş ve halihazırda yaygın olarak kullanılmaktadır.)

Ülke genelindeki yapı stokunun çoğunluğu yetersiz miktarda deprem etkisine göre tasarlanmış ve oldukça zayıf işçilik ile düşük mukavemetli ve kontrolsüz malzeme kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yapıların deprem esnasında sünek davranış göstermeden yıkıldığı, can ve mal kayıplarına yol açtığı; hatta ulaşım, haberleşme ve alt yapı tesislerine zarar vererek deprem sonrasında hemen kullanımı gereken binalara erişimi engellediği ve bir takım dolaylı kayıplara da neden olduğu bilinmektedir.

1992 Erzincan, 1995 Dinar (Afyon), 1998 Ceyhan (Adana), 1999 İzmit, 1999 Düzce, 2002 Sultandağı (Afyon) ve son olarak 2003 Bingöl depremleri gerek betonarme, gerek yığma, gerekse de az sayıdaki çelik bina stoku içerisinde yol açtıkları önemli doğrudan ve dolaylı kayıplar ile bunu kanıtlamıştır, (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3).



Şekil 1.2 Depremin doğrudan kayıplarına bir örnek: Göçme safhasına gelmiş bir yapı (Şahan, 2009).



Şekil 1.3 Depremin dolaylı kayıplarına bir örnek: Kullanılamaz hale gelmiş demiryolu (Şahan, 2009).

Yaşadığımız son depremlerde oluşan can kayıpları ve ekonomik zarar, yapılarımızın mevcut durumlarının değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Olası bir depremde karşılaşılabilecek zararları azaltmak ancak kapsamlı bir deprem öncesi çalışmayla mümkün olabilir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümü 1975–1998 yılları arasında yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY, 1975) veya 1998–2007 yılları arasında yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY, 1998) esas alınarak tasarlanmıştır. Ancak, mevcut yapılar inşa edildikleri tarihte geçerli olan şartnamelere tam uygunlukta tasarlanarak inşa edilseler dahi, depremler hakkındaki mevcut bilgilerin artması ve ilgili yönetmeliklerin geliştirilerek daha ağır tasarım ilkelerinin geçerli hale gelmesi sebebiyle, bugün yeterli güvenlik kriterlerini sağlayamayabilmektedir. Yönetmeliklerde meydana gelen değişiklikler ile yapılar için öngörülen deprem miktarı zaman içinde önemli ölçüde arttırılmış ve betonarme binaların sünekliğini sağlayacak şartlar getirilmiştir.

Hatta mevcut yapıların deprem güvenliklerinin tespit edilmesine yönelik çalışmaların son yıllarda artması ile birlikte 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) içerisinde bu konuya ilişkin ayrı bir bölüm teşkil edilmiştir.

Dolayısıyla mevcut yapı stokunun büyük bölümü DBYBHY (2007) tarafından tanımlanan düzeyde deprem güvenliğine sahip değildir. Mevcut binalarda yönetmelik değişikliğinin yanı sıra, proje ile uygulama arasındaki beton kalitesi, donatı miktarı ve detaylandırılma farklılıkları bulunması olası depremlerde meydana gelecek hasarları arttırıcı nedenler arasındadır.

Depremlerde görülen ağır yapı hasarının sebepleri; yapıların yeterli yanal rijitlik taşımadıklarından deprem etkileri altında büyük yanal ötelenmeler yapmış olmaları, proje aşamasındaki tasarım kusurları nedeniyle yapılarda güçlü kiriş-zayıf kolon, yumuşak kat, kısa kolon ve benzeri istenmeyen zayıflıkların oluşması veya yapıım sırasında yönetmelik kurallarına, projeye, teknik gereklere yeterli özen gösterilmemesi, yine gerek tasarımda gerek yapımda, donatı düzenleme ilkelerine özen gösterilmemesi ve düşük nitelikli beton kullanımındır. Betonarme binaların

deprem öncesi güçlendirilmesini zorunlulu kılan bu faktörlere Bölüm İkide yer verilecektir.

Gerek DBYBHY (2007) içerisinde, gerekse muadili olan uluslar arası şartname ve yönetmeliklerde mevcut binaların performansının değerlendirilmesi için ise üç ana yöntem önerilmektedir. Bunlar doğrusal elastik hesap yöntemleri, artımsal itme analizi ile doğrusal olmayan hesap yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleridir. Bu hesap yöntemlerinin girdi sayısı aynı sıra ile artmakta, buna karşılık hesabın güvenilirliğinde kayda değer bir artış gözlenmemektedir. Ayrıca, doğrusal hesap yöntemlerinin diğer yöntemlere göre genellikle daha güvenli tarafta kalan sonuçlar verdiği sıkça rastlanmaktadır. Hesap süresinin kısalığı, mevcut yerli bilgisayar analiz ve tasarım yazılımlarının hâlihazırda doğrusal olmayan hesap yöntemleri için geliştirilme sürecinde olması, ilave varsayımlara karşılık hesap sonuçlarındaki belirsizlik seviyesinin aynı düzeyde kalması gibi faktörlerin bir arada bulunması sebebiyle, ülkemizde yapılan mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi çalışmalarında genellikle doğrusal hesap yöntemleri tercih edilmektedir. Bu yöntemler ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm Üçte sunulacaktır.

Bahse konu analiz ve hesapların gerçekleştirilebilmesi için incelenmekte olan mevcut binalardan bazı bilgilerin toplanması gerekmektedir. Birçok binada proje safhasında zemin ile ilgili bir araştırma yapılmadığı görülmektedir. Bu nedenle araştırmaya konu bir binanın bulunduğu yerleşke içerisinde zemin etüt çalışması gerçekleştirilir. Temel araştırma çukurları açılarak binanın temel tipi tespit edilmeye çalışılır. Binanın mimari ve statik rölövesi alınır ve eğer varsa projeleri ile mukayese edilir. Binada herhangi bir hasar olup olmadığı incelenir. Mevcut malzeme dayanımlarının tespiti için hem tahribatsız yöntemle (beton sertliği tespiti (Schmidt Hammer), ultra-ses testleri, donatı adet ve yerleşimlerinin araştırılması, vb.) hem de tahribatlı yöntemle (beton karot numunesi alınması ve basınç testine tabi tutulması) inceleme yapılır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen veriler ile bina, bilgisayar ortamında modellenerek düşey yükler ve deprem tesirleri karşısında davranışı detaylı olarak tahkik edilir. Binanın mevcut durumunun hedeflenen performans seviyesini sağlayamaması halinde güçlendirme için öneri kat planları hazırlanır ve

buna göre revize edilen bilgisayar modelleri tekrar tahkik edilerek bina uygun güçlendirme programıyla hedeflenen performans seviyesini sağlar hale getirilir. Ülkemiz koşullarında bahse konu yöntemlerden, fayda-maliyet analizi bakımından, en çok kullanılanın gerek elemanların münferiden kapasitelerinin arttırılmasında, gerekse de sistemin bir bütün olarak rijitliğinin arttırılmasında betonarme ilave elemanlar ile güçlendirme yöntemi olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi yaygın, basit ve ucuz bir yöntem olmasıdır. Alternatif yöntemlerde hem kullanılan malzeme daha pahalıdır, hem de kalifiye işçilik gerekmektedir. Güçlendirme yöntemi olarak gerek ulusal gerekse uluslar arası kaynaklarda, münferit elemanların kapasitelerinin betonarme, çelik veya lifli polimer malzemeler ile arttırılmasının yanında, sistemin bir bütün olarak rijitliğinin yine aynı tür malzemeler kullanılarak arttırılması gibi aktif veya binanın kütesinin azaltılması ya da zemin izolasyonu ile deprem tesirlerinden kaçınılması gibi pasif yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemler ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm Dörtte sunulacaktır. Yine betonarme binaların performansının belirlenmesi ve performans seviyelerine de bu bölümde yer verilecektir.

Ancak, sadece İstanbul'daki binaların sayısı dikkate alındığında bile ülkedeki yapı stokunun tamamının kısa zaman içerisinde deprem güvenliği bakımından analizinin yapılamayacağı aşikârdır (Türkiye'nin Deprem Gerçeği Değerlendirmeleri, 2010). Bu nedenle, hangi yapının deprem güvenliği incelemesinin daha öncelikli olarak yapılması gerektiği sorusuna cevap aramak gerekir. Bunun tespiti için, yani binaların göreceli olarak deprem kırılgenliklerinin tespitinin, kapsamlı analizden önce yapılabilmesi için geliştirilen yöntemler vardır (ilk kademe değerlendirme için örn. ATC-21-T, 2004 ve ikinci kademe değerlendirme için örn. Hassan ve Sözen, 1997). Bunun yanında binaların güçlendirme maliyetinin ne kadar olduğu ve kapsamlı analiz ve tasarım yapılmadan bu maliyetlerin belirlenip belirlenemeyeceği soruları önem kazanmaktadır.

Tarafımızca güçlendirme maliyetinin daha önce kapsamlı analizi yapılmış ve güçlendirme projeleri hazırlanmış binalar incelenerek merteye olarak tespit edilebileceği değerlendirilmektedir. Bu noktada yapıların hangi özelliklerinin (parametrelerin) güçlendirme maliyetlerini ne ölçüde etkilediği araştırılmalıdır.

Ülkemizde bulunan kamu binaları ile diğer özel şahıslara ait binaların bir kısmı için son yıllarda mevcut durum tahkiki ve güçlendirme analizleri gerçekleştirilmiştir. Güçlendirme maliyetlerinde binanın yaşı (hangi deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış olduğu), mevcut beton dayanımı, mevcut donatı dayanımı, kat adedi, deprem bölgesi, binada bulunan düzensizlikler, temel tipi, perde olup olmadığı vb. parametrelerin etkili olarak rol aldığı bilinmektedir.

Çalışmamız kapsamında bahse konu parametrelerin güçlendirme maliyetlerine hangi nispette tesir ettiği istatistiksel yöntemler ile incelenerek; hâlihazırda mevcut durum tahkiki ve güçlendirme analizi yapılmamış olan binaların bu karakteristiklerine göre güçlendirme maliyetlerinin tahmin edilmesine çalışılacaktır. Çalışmamızda araç olarak kullanılan istatistiksel yöntemler ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm Beşte sunulacaktır. Daha önceden güçlendirme maliyetleri tespit edilen binalardan teşkil edilen veri tabanına bahse konu yöntemlerin tatbik edilmesi de yine bu bölümde gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada kabul edilen temel varsayım, taban kesme kuvveti ile güçlendirme maliyeti arasında doğrusal bir ilişki olduğudur.

Bölüm Altıda ise çalışmamızdan elde edilen sonuçlar tartışılacak ve daha sonraki benzer çalışmalar için önerilerimize yer verilecektir.

1.2 Güçlendirme İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

1.2.1 Yapısal güçlendirme teknikleri

Moehle'ye (2000) göre, güçlendirme uygulamaları; kiriş, kolon, döşeme, temel ve benzeri sadece taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesi ile yapılabileceği gibi sisteme sonradan betonarme, çelik perdeler ve benzeri yeni taşıyıcı elemanların ilave edilmesi şeklinde de yapılabilir. Günümüzde, mevcut betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesine yönelik birçok yöntem uygulanmaktadır. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesi, betonarme elemanlarının beton, çelik veya lif takviyeli plastik levhalar (FRP) ile mantolama yöntemlerini içermektedir.

Ersoy (2002), “Yapıların onarım ve güçlendirilmesinde ODTÜ yaklaşımı deneysel araştırmalar ve uygulama” isimli bildirisinde, ODTÜ’de 34 yıldır yapılmakta olan deneysel ve analitik araştırmalar sonunda geliştirilen onarım/güçlendirme felsefesi ve yöntemlerinin oluşumunu anlatmış, bugün hasarlı binaların onarım/güçlendirilmesinde yaygın olarak uygulanan dolgulu çerçeve yönteminde kullanılan kriter, ilke ve detayların, yıllar süren deneysel çalışmalara dayandığını vurgulamıştır. Bildirisinde ayrıca, mevcut binaların boşaltılmadan ve içindekiler rahatsız edilmeden güçlendirilmesini sağlayacak yöntem ve yöntemlerin de, başlatılan deneysel çalışmalarla oluşmaya başladığını belirtmiştir.

Canbay, Ersoy ve Özcebe (2003), 1/3 ölçekli, iki katlı üç açıklı olarak oluşturdukları betonarme çerçeve üzerinde iki adet deney yapmışlardır. İlk olarak çıplak çerçeve olarak üretilmiş referans numune %1.60 görelî öteleme seviyesine kadar itilerek hasar görmesi sağlanmıştır. Sonrasında hasarlı çerçeve, hasar gören bölgelerinde herhangi bir onarım yapılmadan betonarme dolgu perde ile güçlendirilmiştir. Deneyler sonucunda çerçeve yatay yük taşıma kapasitesinin güçlendirme sonrasında yaklaşık dört katına, rijitliğinin ise 15 katına çıktığı görülmüştür.

Erdem, Akyuz, Ersoy ve Özcebe (2006), iki adet 1/3 ölçekli, iki katlı, üç açıklıklı hasar görmemiş çerçeveyi iki çeşit güçlendirme tekniğinin deneysel olarak karşılaştırılması için test etmişlerdir. Her iki çerçeve de Türkiye’deki mevcut yapılardaki yaygın noksanlıkları taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Çerçevelerden biri 70 mm. kalınlığında betonarme dolgu ile güçlendirilmişken diğeri kalınlığı 90 mm.ye ulaşan sıvalı boşluklu tuğla duvara diyagonal olarak uygulanmış CFRP uygulaması ile güçlendirilmiştir. Deneysel numuneler ikinci kat hizasından uygulanmış tersinir tekrarlı yatay yük ile denenmiştir. Her iki güçlendirme tekniğinde de güçlendirilmiş çerçevelerin rijitlikleri ve kapasitelerinin yaklaşık 5 kat arttığı ve taban kesme kuvvetinin %90’ının dolgu tarafından taşındığı görülmüştür. Çerçeve ilk rijitliğinin CFRP ile güçlendirmeye göre betonarme dolgu ile güçlendirmede daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Altın, Anıl ve Kara (2007), betonarme dolgu ile güçlendirilmiş betonarme çerçeveler üzerine yapmış oldukları deneysel çalışmada, 1/3 ölçeğinde tek açıklıklı, iki katlı oluşturdukları altı adet numuneyi kat hizalarından tatbik edilmiş tersinir tekrarlı yatay yük ile denemişlerdir. Betonarme dolgu 50 mm. kalınlığında tasarlanmıştır. 1. ve 2. numuneler referans numuneleri olup 1. numune çıplak çerçeve, diğerleri ise dolu olarak imal edilmiştir. 4., 5. ve 6. numunelerde kolonlar ile betonarme dolgu arasındaki bağlantı noktaları güçlendirilmiştir. İçi boş çerçevenin kapasitesi kullanılmış olan güçlendirme yöntemine bağlı olarak 5 ila 12 kat arasında artış göstermiştir. Kolon alt birleşim bölgelerinin kaynaklanması ile oluşturulmuş olan 6 numaralı numune üzerinde yapılmış olan deney en iyi sonucu vermiş, kapasiteyi yaklaşık 12 kat arttırmıştır.

Rahai ve Alinia (2007), betonarme binaların kompozit çaprazlar ile güçlendirilmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Kompozit elemanlar, çelik bir çekirdeğin içi boş çelik kutunun içine yerleştirilip boş kısımların beton ile doldurulması şeklinde tasarlanmıştır. Çelik çekirdek beton tabakadan ince bir zar ile ayrılmıştır, böylece normal ve kesme kuvvetleri beton tabakaya aktarılmayacak ve çelik çekirdek burkulmaya karşı korunmuş olacaktır. Sonrasında uygun detaylar ile çelik çekirdeğin yapıya bağlantısı yapılacaktır. Biri üç katlı diğeri dokuz katlı iki adet betonarme binanın güçlendirilmesi kompozit çaprazların değişik formlarda kullanımı ile analitik olarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 9 ve 3 katlı binaların kapasiteleri iki ile üç kat arasında artmıştır. Kompozit çaprazlar ile güçlendirilmiş bütün modellerde plastik mafsallar, nonlineer alanlarda göreceli olarak daha küçük yanal yer değiştirmeler içinde oluşmakta böylece daha büyük bir direnç faktörü elde edilmektedir. Çalışma sonucunda, X çaprazlı sistemler daha rijit yapılar oluştursa da kompozit çaprazlı sistemlerin yapılar için daha uygun rijitlik ve süneklik sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Mısır, Özçelik ve Kahraman (2009), sismik etkiler altında kritik öneme sahip betonarme çerçevelerin kolon kiriş birleşimlerinin (düğüm noktası veya birleşim paneli) güncelliğini koruduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada betonarme kolon-kiriş birleşimleri üzerine yapılan deneysel çalışmalara, yapı yönetmeliklerinde bu konuya ilişkin düzenlemelere, bu konudaki eski ve güncel uygulamalara,

birleşime etkiyen kuvvetlere, birleşim hasarları ve olası sonuçları hakkında bilgi vermişlerdir. Daha sonra DEÜ yapı mekaniği laboratuvarı deney altyapısı ile mevcut kolon kiriş birleşimleri üzerine güçlendirme stratejileri geliştirmek amacıyla laboratuvarda yapılan deneysel çalışmalara yer vermişlerdir. Bu amaçla olabildiğince ülkemizdeki mevcut yapı stokunun yetersizlik unsurlarını temsil eden 2/3 ölçekli T kolon-kiriş birleşim numuneleri üzerinde çalışılmışlardır. Test sonuçları; literatürde konu ile ilgili yapılmış benzer testlerin sonuçlarıyla uyumluluk göstermiş, bu yüzden kolon kiriş birleşimlerinin SIFCON ürünleri ile güçlendirilmesi çalışmalarına başlamışlardır.

Tomaževic, Klemenc ve Weiss (2009), eski yığma binaların sismik izalasyon ve CFRP lamine bantlarla sarılması ile deprem direncinin artırılmasında etkili olup olmadığı araştırılmıştır. İki katlı, ahşap döşemeli duvar bağları olmayan tuğla duvarlı basit bir yapının 5 değişik modeli sarsma tablosunda teste tabi tutulmuştur. Kontrol model temel döşemesinden itibaren inşa edilmiştir. İkinci model ise ikinci ve üçüncü course'a konulan pvc tabakası formundaki geciktirici ile birinci modelden ayrılmıştır. Üçüncü modelde, temel döşeme ile yapısal duvarlar arasında konulan plastik ile izole edilmiştir. Dört ve beşinci modelde ise döşeme seviyelerine ve köşelere sırasıyla yatay ve düşey yerleştirilen CFRP lamine bantlarla sarılmıştır. CFRP ile güçlendirilen modellerden biri ise sismik izolatörün üzerine yerleştirilmiştir. Test sonuçları, pvc katman uygun bir şekilde tasarlanmadığı sürece sismik izolatör olarak değerlendirilemeyeceğini göstermiştir. Yine, izolatörlerin tek başına duvarların birbirinden ayrılmasına engel olamadığını, halbuki CFRP şeritlerle güçlendirilen her iki modelin de deprem davranışını önemli bir şekilde geliştirdiği tespit edilmiştir. Bu modeller, hatta daha güçlü bir sarsma hareketlerine maruz bırakılsa bile yıkılmamıştır.

1.2.2 Performans Analiz yöntemleri

Sezer, Gençoğlu ve Celep (2007) ABYBHY (2007) Bölüm İki ve Üçe göre yeni olarak tasarlanan binaları mevcut bina kabul ederek Deprem Yönetmeliği (2007) de mevcut binalar için tanımlanan performans hedefleri ve sonuçlar arasındaki uyum üzerinde durmuşlardır. Bu amaçla Deprem Yönetmeliğine (2007) göre tasarımı yeni

bina olarak yapılmış 3 katlı, 5 katlı ve 7 katlı olmak üzere seçilen üç bina esas alınarak, yeni tasarımın beklenen performans hedefini sağlama durumu ve bina kat adedinin bina performans hedefi üzerine olan etkisi söz konusu edilmiştir. Bu binaların deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performanslarını belirleyebilmek için yönetmelikte bulunan doğrusal olan ve doğrusal olmayan çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Doğrusal olan çözümde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve doğrusal olmayan çözümde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi seçilmiştir. Deprem Yönetmeliği (2007)'ne göre tasarımı yapılan bu binaların sağladıkları performans hedefleri aralarında ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu karşılaştırmada binaların sağladıkları performans hedefleri kat adedinin farklı olması açısından da değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan hesap yöntemiyle belirlenen kesit hasar bölgeleri, uygulanan bu örnek için doğrusal olana göre daha elverişli sonuçlar verdiği, elde edilen sayısal sonuçların birbirleri ile tam olarak örtüşmediği belirtilmiştir.

1.2.3 Güçlendirme Maliyetleri

Ekiz, Koçak ve Doğramacı (2003), ülkemizdeki yapıların büyük bölümünü oluşturan betonarme yapıların onarım ve/veya güçlendirme yöntemleri hakkında genel bir incelenme yapmış, 17 Ağustos depremi sonrası Marmara Bölgesi'nde, yapılacak onarım ve güçlendirme işleminin maliyeti ile onarım ve güçlendirme esnasında yapıya verilen hasarın düzeltilmesi (parke, fayans, boya vb. maliyetler) dahil toplam maliyetle yapının tekrar yapılması halindeki maliyet analizleri yapmışlardır. Hesaplara esas olarak deprem sonrası onarım ve güçlendirme çalışmaları yapılmış çeşitli binalar kamu binaları, SSK hastane binası, lojman, ilköğretim okulları ele almışlardır. Çalışmada onarım ve/veya güçlendirme maliyetleri, kaba ve ince işlerin toplamı olarak verilmiş. Yapıların hasar durumlarına, bina alanlarına, onarım ve güçlendirme ihtiyaçlarına göre maliyetleri değiştiği gözlenmiş, toplam bina alanı küçüldükçe onarım ve güçlendirme maliyetlerinin göreceli olarak arttığı, örneğin toplam alanı 200-400 m² olan yapılarda ince işler dahil bu oranın %55-%60, 800-1000 m² arasında olan yapılarda ise bu oranın %40- %45 mertebesinde olduğu, bina hasar durumu arttıkça onarım ve güçlendirme maliyetlerinin de %20-%40 arası arttığı, onarım ve güçlendirmelerde

yalnızca kaba inşaat maliyetlerinin yaklaşık %20-%40 arasında olduğu, yapılan onarım maliyetlerinin güçlendirme maliyetleri yanında çok ciddi yekunlar tutmadığı belirtilmiştir.

Yanmaz ve Luş (2005), “Yapı güçlendirme yöntemlerinin fayda-maliyet analizi” isimli çalışmalarında, yakın geçmişteki depremlerin konutlarda ve sanayi yapılarında oluşturduğu kayıpların, Türkiye’nin genelinde deprem risk analizlerine dayanan kapsamlı bir deprem öncesi çalışmaya olan ihtiyacı ortaya çıkardığını belirtmişlerdir. Bu çalışmalarını, mevcut bina stokunu güçlendirmek, olası depremde karşılaşılabilecek zararları azaltmak için etkili bir seçenek olarak sunmuşlardır. Çalışmanın amacı, yapılarda çeşitli güçlendirme işlemleri sonucunda ortaya çıkabilecek fayda ve maliyetlerini sistematik olarak tayin eden bir altyapıyı tartışmak ve önerilen yaklaşımın İstanbul’da bulunan gerçek bir binanın analizinde kullanılmasıyla elde edilen deneyimleri paylaşmaktır. Bu çalışmada Fayda-Maliyet analizi için; taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki olası hasarlar, bina içerik hasarları, acil barınma maliyeti, güçlendirme maliyeti, insani kayıplar (ölümler ve yaralanmalar) olmak üzere 5 çeşit kayıp incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar güçlendirme işlemlerinin deprem zararlarını azaltmak için ekonomik olarak etkili çözümler sunabileceklerini ve Fayda-Maliyet analizinin en önemli parametrelerinin insani kayıplar, yapıda barınan insan sayısı ve faiz oranı olduğunu göstermektedir.

Erdem (2008) tarafından yürütülen çalışmada; Konya – Akşehir İHL binasının yapımı, 2007 birim fiyatları ile, taşıma dahil 1.026.283,00-TL olarak bulunmuştur. Birinci derece deprem bölgesinde olan binanın halihazır depreme dayanıklılığı ve perde duvar ve betonarme mantolama ile güçlendirilmesinin dinamik ve statik analizleri sonucunda oluşan güçlendirme projesi üzerinden, 2007 birim fiyatları ile yapılan güçlendirme yapım maliyetinin, taşıma dahil 535.230,80-TL olarak hesaplandığı, buna göre; güçlendirme maliyetinin bina yapım maliyetinin yaklaşık %50’si olduğu ifade edilmiştir.

Boylu, (2005) tarafından yürütülen çalışmada; İzmir ve çevresindeki mevcut binaların depreme karşı güçlendirilmesinin ekonomik açıdan uygun olup

olmadığının tespiti amacıyla, İzmir ve çevresinde 1900-2003 yılları arasında meydana gelen büyüklükleri 4,9'a eşit ve büyük olan depremler incelenmiş ve sismik risk dereceleri Poisson Modeli kullanılarak hesaplanmıştır. İncelenen bölgedeki depremlerin gelecekte olma olasılıkları ve dönüş periyotları tespit edilmiştir. Ayrıca bölgedeki hasar olasılıkları ve kayıp değerleri ortaya konulmuştur. Bu değerler doğrultusunda, Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından 1991 yılında Amerika'da uygulanan Fayda/Maliyet Analizi Modeli, İzmir bölgesindeki mevcut binalara uyarlanmış ve toplam inşaat alanları 735 m² ve 716 m² olan iki farklı betonarme binanın güçlendirme projeleri üzerinde tatbik edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda uygulanacak güçlendirme projelerinin ekonomik açıdan uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yücemen (2006) tarafından yürütülen çalışmada; hasara neden olan önemli parametreler ile gözlenen deprem hasarlarının ampirik korelasyonu, ve böylece Türkiye'deki düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların sismik hasar görülebilirliklerinin değerlendirilmesi için bir yöntem geliştirilmesi amacıyla diskriminant analiz yöntemi kullanılmıştır. 12 Kasım 1999 Düzce depremine maruz kalan yaklaşık beş yüz bina bu çalışmanın veritabanını oluşturmuştur. Çalışmaya konu olan binaların kaç katlı olduğu, asgari normalize edilmiş yanal rijitlik indeksi (binanın yanal rijitlik bakımından en zayıf olan katı için düşey taşıyıcı elemanların toplam bina alanına bölünmesi suretiyle elde edilmiştir.), asgari normalize edilmiş yanal mukavemet indeksi (binanın zemin katının kesme kuvvetlerine karşı kapasitesinin göstergesi olarak tasarlanmıştır.), normalize edilmiş hiperstatiklik skoru, yumuşak kat indeksi ve kapalı çıkma oranları kullanılarak mevcut binaların bahse konu özellikleri bilindiği takdirde olası bir depremde hangi hasar seviyelerinde bulunacakları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

1.2.4 Betonarme Yapıların Deprem Performans Değerlendirmesi İle İlgili Çalışmalar

Performans değerlendirme yöntemleri günümüzde yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. Bu yöntemlerde yapının deprem davranışı, yapının performans kriterleri ile belirlenmektedir.

Performans değerlendirme yöntemleri FEMA 273-356 ve ATC 40 kaynaklarında, ülkemizde de ABYBHY-2007'de yer almaktadır. FEMA356'nın doğrusal olmayan yöntem yaklaşımı, ATC40 yaklaşımının genişletilmesi şeklinde oluşturulmuştur. ATC40 sadece betonarme binaların doğrusal olmayan değerlendirmesi kapsarken, FEMA356 tüm bina türlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirmesini içermektedir.

ATC 40 (1996)'da, mevcut betonarme yapıların sismik değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili konulara yer verilmiştir. Bu amaçla geliştirilmemiş olsa dahi, ATC 40'da yer almakta olan analitik yöntemler, yeni yapıların tasarımında da kullanılmaktadır. ATC 40'da yapısal ve yapısal olmayan elemanlar ayrı ayrı değerlendirilmiş, yapısal ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyeleri ve aralıkları tanımlanmış ve bunların birleşiminden elde edilen yapı performans seviyeleri belirtilmiştir. Deprem etki seviyeleri, zemin sınıfları ve zemin özellikleri tanımlanmıştır. ATC 40 kapsamında, mevcut yapılardaki eksikliklerin belirlenmesi ve güçlendirme stratejileri ayrı iki bölüm olarak verilmiştir. Yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performanslarının belirlenebilmesi için kat ötelenmeleri ve plastik mafsallı dönme değerleri cinsinden performans seviyelerine ait sınır değerler sunulmuştur.

FEMA 273 (1997)'de, deprem etki seviyeleri, doğrusal ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapıların onarımı ve güçlendirilmesi hakkında açıklamalar yapılmıştır. Taşıyıcı sistem elemanları ile ilgili modelleme parametrelerine yer verilmiş, çelik ve betonarme yapıların performans seviyelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili kriterlere ve sınır değerlere ait kriterler sunulmuştur. Ayrıca ahşap ve hafif metal yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi ile ilgili konulara yer verilmiştir.

FEMA 356 (2000)'da, performans hedefleri, yapısal ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyeleri ve aralıkları, deprem etki seviyeleri tanımlanmıştır. Lineer statik, lineer dinamik, nonlinear statik (push-over) ve nonlinear dinamik analiz yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca ahşap ve hafif metal yapıların performans esaslı tasarımı ve değerlendirilmesinde yeni

yaklaşımlara yer verilmiştir.

Deprem tehlikesi altında olan her ülkede olduğu gibi, ülkemizde de deprem mühendisliği alanında yapılan çalışılmalar neticesinde ABYYHY'98'in mevcut bölümlerinde kapsamlı revizyonlar yapılarak, 'Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler DBYBHY'07 Bölüm 7'de (Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi) yer almaktadır.

BÖLÜM İKİ

MEVCUT BİNALARIN DEPREM PERFORMANSINI OLUMSUZ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yanlış sistem seçimi (yetersiz yanal rijitlik, kuvvetli kiriş-zayıf kolon, yumuşak kat, kısa kolon ve benzeri), sargı donatısı yetersizliği ve donatı detayında yapılan hatalar (etriye kancaları, yetersiz bindirme ve kenetlenme boyları ve benzeri) ve denetimsizlik mevcut betonarme yapıların deprem performansını olumsuz etkilemektedir. Binanın deprem davranışını olumsuz etkileyen kısa kolona, yumuşak kata, kuvvetli kiriş-zayıf kolona ve benzeri taşıyıcı sistem düzensizliklerine çok sık rastlanmaktadır. Yanlış sistem seçimi kuvvetlerin yapı içinde gereksiz dolanmasına ve bu da yapı içinde zayıf noktalarda hasara neden olur. Düzensizlik, bir binanın konfigürasyonunda, katlar arası yüksekliklerde, kütle veya rijitliklerin dağılımında, kısa kolon oluşturulmasında, çarpışmaya olanak verilmesinde rol alabilir (Ersoy 2002).

Deprem yönetmeliklerinde yapılar genel olarak düzenli ve düzensiz yapılar olarak iki sınıfa ayrılmışlardır. Yapıların deprem davranışlarında olumsuzluklar ortaya çıkaran düzensizlikler de planda düzensizlikler ve düşey doğrultuda düzensizlikler olarak iki grupta toplanmıştır. Aşağıda bu düzensizliklere kısaca yer verilmiştir.

2.1 Planda Düzensizlik Durumları

Esasında planda düzensizlik durumları, binanın kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmamasının bir ölçüsü olarak ortaya çıkar.

2.1.1 Burulma Düzensizliği

Depremde yapıya gelen kuvvetlerin her katın kütle merkezine tatbik edildiği düşünülebilir. Çoğu yapıda yapının kütle merkezi yapının geometrik merkezi olarak alınabilir. Yapıdaki kolon ve perde duvarların kütle merkezi ise yapının rijitlik merkezidir. Yapının rijitlik merkezi ile geometrik merkezinin birbirine uzak olması

tercih edilmez. Çünkü yapı geometrisinin doğurduğu kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirinden uzak olması, yapıda burulma momentine neden olur. Bunun sonucunda yapı elemanları rijitlik merkezinden olan uzaklıklarına göre ilave yüklerle maruz kalır. Örneğin perde duvarların yapının bir yanında toplanmış olması burulma oluşturacağı gibi, taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının katlarda dengeli bir biçimde yerleştirilmemiş olması da yapının kütle ve rijitlik merkezleri arasında fark oluşturarak, yapıda burulma etkisi ortaya çıkarabilmektedir. Bu nedenle yapının geometrik merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmasına ya da yakın olmasına özen gösterilmelidir. Ancak, mühendislerce yaygın olarak yanlış değerlendirilen bir husus yapının kütle ve rijitlik merkezlerinin tasarım esnasında çakışması halinde bahse konu yapının herhangi bir burulmaya maruz kalmayacağı yönündedir. Hâlbuki tasarım esnasında kütle merkezi hesabı bütün döşemelerin gerek ölü yük, gerekse hareketli yük bakımından tam dolu olduğu varsayımıyla yapılır. Bir deprem esnasında özellikle hareketli yüklerin yapı üzerinde simetrik dağılım göstermesi neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle önceki deprem şartnamelerinde olduğu gibi, DBYBHY (2007) içerisinde de (Bölüm 2.7.3) ek dışmerkezlik etkisini göz önünde bulunduracak önlemler alınmaktadır.

Bu sorunları hafifletmek için burulmayı azaltıcı ve sürekliliği sağlayıcı çözümler uygulanmalıdır. Bunun için örneğin perde duvar yerleşimi yapıya düzgün dağıtılabilir.

2.1.2 Döşeme Süreksizlikleri (Döşeme Boşlukları Düzensizliği)

Döşemede var olan süreksizlikler deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasını güçleştirir. Döşeme süreksizlikleri DBYBHY (2007) Tablo 2.1’de aşağıdaki üç koşul ile tanımlanmıştır:

- “Merdiven ve asansör boşlukları dâhil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3’ünden fazla olması durumu.”
- “Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu.”
- “Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması

durumu.”

2.1.3 Planda Çıkıntılar Bulunması (Plan Geometrisi Düzensizliği)

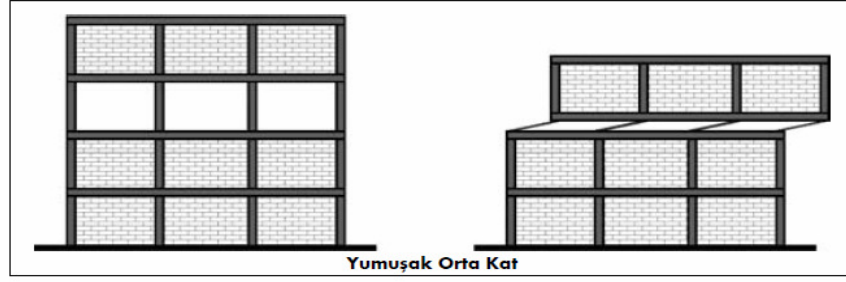
Planı L, T ve H şeklinde çıkıntılara sahip yapıların kanatlarının birleştikleri yerler kritik bölgelerdir. Bu bölgelerde gerilim birikimi ve burulma gerçekleşir. Planda çıkıntılar bulunması yine DBYBHY (2007) Tablo 2.1’de aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

“Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20’sinden daha büyük olması durumu.”

2.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

2.2.1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) ve Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

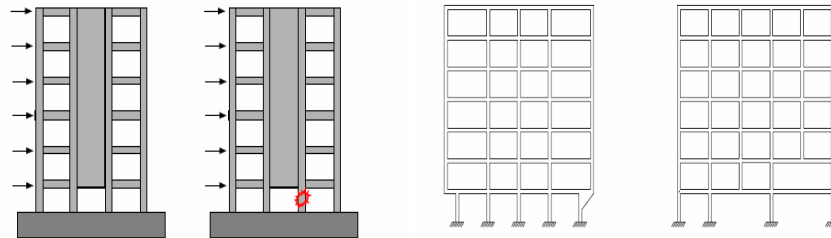
Çok katlı yapıların genellikle giriş katı ve nadiren ara katlarda, otopark, mağaza, tesisat boşluğu veya ticari amaçla cam vitrin yapılmakta, bölme veya dolgu duvarlara tamamen veya kısmen yer verilmemektedir. Bu uygulama, sadece yeni inşaatlarda değil, eski konutların işyerine dönüştürülmesi sonucunda da ortaya çıkmaktadır. Alt katları ticari amaçlı açık çerçeve olarak bırakılan, üst katlara dolgu duvarlarla kapatılan binaların alt katlarında hem deprem kuvveti etkili kesme alanı hem de yatay öteleme rijitlikleri diğer katlara göre oldukça zayıf kalmaktadır. Bu tür katlara sırasıyla “zayıf kat” ve “yumuşak kat” denilmektedir. Bir katın yüksekliğinin diğer katlardan fazla olması da yumuşak kat düzensizliğine neden olur. Zayıf kat ve yumuşak kat düzensizlikleri, çok katlı yapıların depremde yıkılmasının ana nedenlerindedir. Eğer bölgesel zafiyet perde duvar kullanımı ile giderilmezse zayıf kat ve yumuşak kat kolonları aşırı yatay yer değiştirerek kırılacak ve yapı aniden yıkılacaktır. Zayıf kat veya yumuşak kat oluşumunu önlemek için ayrıca çapraz çerçeve de ilave edilebilir.



Şekil 2.1 Komşu katlar arası düzensizlikler (Çokcan ve Çokcan , 2003).

2.2.2 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği Düzensizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur. Depremde etkili bir yapı performansı için rijitliklerde ani değişiklik önlenmeli, kolonlar kirişlerden daha kuvvetli olmalıdır. Kolonlar ve perdeler temelden çatıya kesilmeden ve kesit değişmeden devam etmelidir. Kirişler, elden geldiğince, aks boyunca kesit değişmeden devam etmelidir.



Şekil 2.2 Yapının düşey düzlemde düzensiz olması durumu (DBYBHY (2007).

2.2.3 Kısa Kolon Düzensizliği

Kısa kolon, kolonun kesme kırılması yapması olarak tanımlanabilir. Çerçevelerin yarım yükseklikte bölme duvarlarla doldurulması, bodrum katların aydınlatılması için bant pencere oluşturulması, tesisat katı, asma kat merdiven sahanlıklarında ara kirişler kullanılması, guseli kiriş veya kolonlar, kademeli temeller kısa kolon oluşumunun başlıca nedenleridir. Kısa kolonlar, diğer normal boylu kolonlara göre

çok rijit davranarak çok büyük kesme kuvvetinin etkisinde kalırlar. Gevrek olan kesme kırılması sonucu kolon taşıma gücünü yitirir, yapı ağır hasar alır veya yıkılır. Pencere küçültülerek, kolon etrafına da dolgu duvar örülebilir. Kısa kolonların tümü kat yüksekliği boyunca sık etriye ile sarılmalıdır.



Şekil 2.3 Kısa kolon etkisi ile hasar gören bir yapı, Ceyhan depremi (Çağatay, 2007).

2.2.4 Zayıf Kolon – Güçlü Kiriş (Döşeme) Düzensizliği

Yönetmelikte kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (DBYBHY (2007) Bölüm 3.3.5). “Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.” Zayıf kolon-güçlü kiriş halinde kolonlar mekanizma durumuna geçerek, yapı göçme moduna girebilmektedir. Kolonların güçlü, kirişlerin zayıf olması halinde ise plastik mafsallaşma kiriş uçlarında meydana gelmekte, büyük deformasyonlarda dahi sistem stabilitesini koruyarak sünek bir davranış gösterebilmektedir.

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin birbirine dik yatay deprem doğrultularına ortogonal olmaması, yani birbirine dik iki aks sistemi

yerine, birbirine göre eğik aks sistemi oluşturulması durumu, 1998 deprem yönetmeliğinde düzensizlik olarak kabul edilirken 2007 yönetmeliğinde düzensizlik olarak değerlendirilmemiştir.

Depreme dayanıklı bina tasarımında düzensiz binaların yapımından kaçınılmalıdır. Bu tip binaların yapılması zorunlu ise bu tip binaların yapımı ile ilgili hazırlanmış olan yönetmeliklerdeki kurallara ve sınırlamalara mutlaka uyulmalıdır. Çünkü her bir düzensizlik bina davranışını olumsuz yönde etkilemektedir.

2.3 Donatı Detaylarının Zayıf veya Yetersiz Olması

Sargı donatısı yetersizliği ve donatı detayında yapılan hatalar ülkemizde depremlerden sonra yapılan gözlemlerde en sık rastlanan kusurlardandır.

Plastik mafsalların oluşacağı kritik kesitlerde (kolon ve kiriş uçları) yeterli sargı donatısı bulunmamaktadır. Gerekli gibi etriye sıklaştırılması yapılmaması nedeniyle, etriyenin sargı etkisi oluşturarak gerekli sünekliği sağlaması olanaksızdır. Taşıyıcı sistemin bilinçsiz seçilmesi nedeniyle plastik mafsallar kirişlerde değil, kolonlarda oluşmaktadır. Eksenel yük taşıyan bu elemanların uçları yeterli sargı donatısına sahip olmadığından süneklik sağlanamamakta, bu nedenle kolonların gevrek bir biçimde kırılması, binanın ani olarak göçmesine neden olmaktadır.

Ayrıca, mevcut yetersiz sargı donatısının uçları, genelde çekirdeğe kenetlenmeyip, 90 derece kanca yapılmakta ve böylece etriye uçlarının kenetlenmesi genellikle kabuk betonu içinde kalmaktadır. Deprem anında etriyeler de kolayca açılarak hiçbir sargı etkisi oluşturamamaktadır. Bu nedenle yetersiz ve yanlış detaylandırılmış sargı donatısı, depremlerde yaşanan faciaların tetikçisi olmaktadır.

Hasara ve göçmeye neden olan diğer bir kusur da kolon boyuna donatısındaki eklerin moment açısından en kritik bölge olan kat düzeyinde yapılması ve bindirme boylarının yönetmeliğin öngördüğünden kısa olmasıdır.

2.4 Bitişik Nizamlı Yapılar

Bitişik düzende olan yapılar farklı titreşim periyotları nedeniyle deprem sırasında senkronize olmayan salınımlar yaparak çarpışmakta ve birbirlerine zarar vermektedir. Farklı yükseklikte ve kat düzeyleri tutmayan bitişik bina sıraları tamamen planlama hatasından kaynaklanan bu tehlikeye daha çok maruz kalırlar. Bitişik nizamdaki yapılar arasında yeterli dilatasyonun bırakılması ile bu tür deprem hasarları önlenmektedir.

2.5 Denetimsizlik

Son yıllarda meydana gelen depremler, ülkemizde etkin proje ve inşaat denetimin yapılmadığını açıkça ortaya koymaktadır. Mevcut binalarda, öncelikle projede öngörülen beton kalitesinin oldukça altında beton üretildiği görülmektedir. Düşük beton kalitesi ve kötü işçilik donatıda korozyona neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, yerleştirme, sıkıştırma yetersizlikleri ile beton niteliğinin yapı boyunca değişim göstermesi çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Ayrıca yakın zamana kadar yaygın olarak kullanılan St-I sınıfı donatı da taşıyıcı sistemde mukavemet bakımından çeşitli sorunları beraberinde getirmektedir. Düşük beton dayanımı ile birlikte düz demir kullanılması ayrıca aderans özelliğini de engellemektedir.

BÖLÜM ÜÇ

MEVCUT BİNALARIN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tezin bu bölümünde betonarme yapıların deprem güvenliğinin tetkikinin nasıl yapıldığına ilişkin özet bilgiler sunulmuştur. Bunun için, yapıların bulunduğu yerleşke içerisinde zemin etüt çalışması gerçekleştirilip, mimari ve statik rölövesinin alınması, herhangi bir hasar olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Mevcut malzeme dayanımlarının tespiti gereklidir (yani beton sertliği okumaları yapılması veya beton karot numuneleri alınması, donatı adet ve yerleşimleri incelenmelidir.). Bu çalışmalar neticesinde elde edilen veriler ile yapı, bilgisayar ortamında modellenerek düşey yükler ve deprem tesirleri karşısında davranışı detaylı olarak tahkik edilmelidir. Yapının mevcut durumunun hedeflenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı araştırılmalıdır. Hedeflenen performans seviyesinin sağlanmaması durumunda ise; yapının güçlendirme kat planları hazırlanarak, buna göre revize edilen bilgisayar modelleri tekrar tahkik edilerek, güçlendirilmiş haliyle hedeflenen performans seviyesini sağlar hale getirilmelidir.

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binalar ile bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarının alınmasında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların güçlendirme tasarımı ilkeleri DBYBHY (2007) Bölüm 7’de verilmiştir.

3.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların ve bina türü deprem dayanımlarının değerlendirilmesi için binalardan ne tür veriler toplanacağı ve ne şekilde dikkate alınacağına dair kurallar DBYBHY (2007) Bölüm 7’de tanımlanmıştır. Madde 7.2.1.2 uyarınca binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler özetle şu şekilde verilmiştir;

- Yapısal sistemin tanımlanması,
- Bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi,

- Varsa hasarı ve evvelce yapılmış değişiklik veya onarımların belirlenmesi,
- Eleman boyutlarının ölçülmesi,
- Malzeme özelliklerinin saptanması,
- Sahada derlenen tüm bilgilerin varsa projesine uygunluğunun kontrolü.

3.2 Bilgi Düzeyleri ve Bilgi Düzeyi Katsayıları

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden, ilgili raporlardan, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir. Binalardan toplanan bilginin kapsam ve güvenilirliğine bağlı olarak,

- a) sınırlı bilgi düzeyi
- b) orta bilgi düzeyi
- c) kapsamlı bilgi düzeyi

olmak üzere, yönetmelikte üç bilgi düzeyi tanımlanmış ve bu bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir, Tablo 3.1.

Tablo 3.1 Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Mevcut bir bina hakkında toplanan verilerin yukarıda belirtilen bilgi düzeylerinin hangisine dahil olduğunu belirlememiz için, bu bilgilerin yapıdan nasıl toplanacağı yönetmelikte belirtilmiştir.

3.3 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Değerlendirilecek veya güçlendirildikten sonra yeterliliğine karar verilecek binalar ile ilgili deprem performansı belirleme çalışmaları düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında incelenir.

Binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon ve perde) deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilir. Kesitin hasar durumunun belirlenmesi, çözüm neticesinde elde edilecek iç kuvvetler veya şekil değiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumu, bu elemanın depremde en çok zorlandığı kabul edilen ve doğrusal olmayan şekil değiştirmenin ortaya çıkması beklenen kesitlerin hasar durumları değerlendirilerek tanımlanır. Bir katın hasar durumu ise, o kattaki kolon ve kirişlerin hasar durumuna bağlı olarak belirlenir.

3.3.1 Yapı Elemanlarının Kırılma Türleri

Yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenebilmesi için öncelikle elemanın kırılma türü belirlenmelidir. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanlarının kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı ile ilgilidir. Buna göre; betonarme elemanlar, kırılma türleri eğilme ise sünek; kırılma türleri aksenal basınç veya çekme olan elemanlar ise gevrek olarak sınıflandırılmaktadır.

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları ise; hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500'e göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kesit kesme kuvveti dayanımı ve basınç dayanımı hesabında DBYBHY 2007 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılmalıdır.

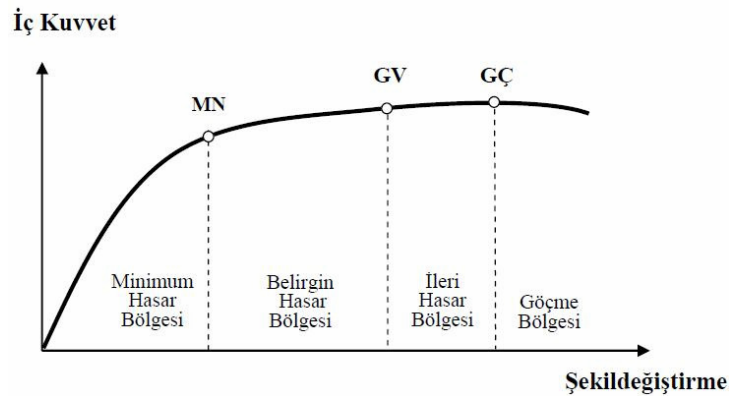
Betonarme yapı elemanlarının kırılma türüne bağlı olarak DBYBHY 2007’de tanımlanan kesit hasar sınırları ve kesit hasar bölgeleri sırasıyla Bölüm 7.3.1 ve Bölüm 7.3.2’de verilmiştir.

3.3.2 Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durumu tanımlanmaktadır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı’dır (GÇ). Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırı, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

3.3.3 Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitleri Minimum Hasar Sınırı’na (MN) ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesinde, Minimum Hasar Sınırı (MN) ile Güvenlik Sınırı (GV) arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesinde, Güvenlik Sınırı (GV) ile Göçme Sınırı (GÇ) arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde, Göçme Sınırı’nı aşan elemanlar ise göçme bölgesinde kabul edilmektedir. Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri (DBYBHY, 2007).

Bu şekilde, maksimum hasar durumuna sahip kesitinin hasar durumu ile elemanın hangi hasar bölgesinde olduğu belirlenir. Bu sınırların sadece sünek elemanlar için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Gevrek elemanların sünek şekil değiştirme kapasitesi olmadığı için minimum güvenlik sınırının aşılmasına izin verilmez.

3.3.4 Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması

DBYBHY 2007 Bölüm 7.5 (depremde bina performansının doğrusal elastik hesap yöntemleri ile belirlenmesi) veya 7.6'da (depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi) tanımlanan yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin, Yönetmeliğin Bölüm 7.3.1'deki kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilmektedir. Eleman hasarı ise, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenmektedir.

3.4 Bina Deprem Performans Analiz Yöntemleri

Kapsamlı değerlendirme yöntemleri kuvvet bazlı ve deplasman bazlı olarak iki ayrı gruba ayrılır. Kuvvet bazlı değerlendirme (Doğrusal Elastik Hesap) yöntemlerinde hesaplanan iç kuvvetler eleman kapasiteleri ile karşılaştırılır. Deplasman bazlı değerlendirme (Doğrusal Elastik Olmayan Hesap) yöntemlerinde ise hesaplanan deformasyonlar izin verilebilir limit deformasyon değerleri ile karşılaştırılır. FEMA 356, ATC-40 ve DBYBHY 2007'de her iki yönteme de yer verilmektedir. Ancak, teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin birebir aynı sonucu vermesi beklenmemelidir. Bu yöntemlere ilişkin genel ilke ve kurallar DBYBHY 2007 Bölüm 7.4.'te yer verilmiştir. Mevcut bir binanın deprem performansının Doğrusal Elastik Değerlendirme Yöntemi ile belirlenmesi kuvvet esaslı olup betonarme taşıyıcı sistem elemanları için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları kullanılır. Buna karşılık Doğrusal Elastik Olmayan Değerlendirme Yöntemi ile deprem performansı belirlenmesi ise, yer değiştirme esaslı olup hasar sınırlarının belirlenmesinde beton ve donatının birim boy değişimleri kullanılır. Mevcut binalar için yönetmeliklerde verilen yöntemler oldukça ayrıntılı olup, ayrıntıları oranında

mevcut binaların taşıyıcı sistem parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut binaların parametrelerini belirlemede büyük belirsizlik bulunduğu için, ihtiyaç olan performans hedeflerini belirlemek, çoğu zaman zorluklar ortaya çıkarmaktadır.

3.4.1 Performansın Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Sismik şartnamelerin öngördüğü kuvvetlerin yapı tarafından karşılanması beklenir. Dolayısıyla eleman düzeyinde hesaplanan kuvvetler eleman kapasiteleri ile karşılaştırılır. Talep–Kapasite Oranları (Demand-Capacity Ratio) gerekli kapasitenin mevcut kapasiteye bölünmesi ile hesaplanır. Yapısal elemanlar aynı zamanda şartnamenin öngördüğü diğer hükümleri de karşılamalıdır.

Yapı sistemlerinin doğrusal elastik hesap yöntemleri ile deprem performansının belirlenmesinde kullanılan doğrusal elastik hesap yöntemleri DBYBHY bölüm 7.5’de tanımlanmıştır. Bunlar, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemidir. Bu yöntemlerle öncelikle, bir deprem etkisi altında $R_a = 1$ (Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı) değeri için hesaplanan deprem yükleri ile yapı elemanlarının artık kapasiteleri arasındaki etki/kapasite (r) oranları hesaplanır. Daha sonra hesaplanan bu (r) değerlerin, ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgeleri belirlenir ve bunlardan yararlanarak bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılır.

Yönetmelik Bölüm 2.7’de Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin uygulama sınırları ve yönteme ait hesap adımları açıklanmıştır. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, yapının tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti), V_t , yönetmeliğin bu bölümüne göre hesaplanmaktadır. Ayrıca yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde yöntemin kullanımına getirilen ek kurallar da verilmiştir.

Mod Birleştirme Yönteminde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Ayrıca yapıların deprem

performanslarının belirlenmesinde yöntemin kullanımına getirilen ek kurallar verilmiştir. Mod Birleştirme Yöntemi ile azaltılmış ivme spektrumu ordinatı belirlenirken $R_a=1$ alınmaktadır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınmalıdır.

3.4.1.1 Betonarme Yapıların Yapı Elemanlarında Hasarın Değerlendirilmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile yapı elemanlarının hasar sınırlarının belirlenmesinde kiriş, kolon ve perde elemanların kritik kesitlerinin etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerleri kullanılmaktadır. Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranı, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilmektedir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkı olarak hesaplanmaktadır.

Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınacaktır. Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri yönetmelikte, sünek ve gevrek kiriş, kolon ve perde elemanlar için ayrı ayrı verilmiştir. Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranları elemanlar için verilen ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde bulunduğu karar verilmektedir. Eleman hasarını, elemanın en fazla hasarlı olan kesiti belirlemektedir.

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

3.4.2 Performansın Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Belirlenmesi

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap

yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, yönetmelikte tanımlanmış bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

Yönetmelik kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri yönetmelikte bölüm 7.5’de tanımlanmıştır. Bunlar, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemidir. İlk iki yöntem, yönetmelikte doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan Artımsal İtme Analizinde kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerle, verilen bir deprem için, sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemleri hesaplanır. Bu istem büyüklüklerinin, kesitlerin şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılması suretiyle, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

3.4.3 İki Yöntemin Karşılaştırılması

Binaların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılmaktadır. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen ilk değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini göz önüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, yer değiştirme ve şekil değiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan ikinci yöntemde ise, belirli

bir deprem etkisi için binadaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Yapı elemanlarının hasar sınırları, “sünek” veya “gevrek” olma durumlarına göre belirlenir. Sünek ve gevrek eleman tanımları ise, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir.

Doğrusal değerlendirme yöntemi DBYBHY 2007’de belirtilen yeni yapı tasarımının genişletilmesi (Yeni yapı tasarımında taşıyıcı sistemin elastik ötesi davranışı tek bir R_a deprem yükü azaltma katsayısı ile göz önüne alınmaktadır.) olup, öngörülen bir R_a deprem yükü azaltma katsayısı kullanmak yerine, mevcut binada öngörülen deprem etkisi altında talep edilen r (etki/kapasite oranı) değeri hesaplanmakta ve bu değerle yönetmelikte verilen r sınır değerleri ile karşılaştırılarak oluşacak hasarın kabul edilme imkânının bulunup bulunmadığı araştırılmaktadır. Yönetmelikte r katsayısının sınır değeri elemandaki normal kuvvet ve kesme kuvvetinin değeri ile kesitte sargılama olup olmamasına ve binada kabul edilebilecek hasar seviyesine bağlı verilmiştir. Bu yöntemde taşıyıcı sistem çözümü doğrusaldır. Çözümün doğrusal olması büyük bir kolaylık getirmekte ve mevcut bilgisayar çözümleme programlarının kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Sistemin elastik ötesi davranışı ise etki/kapasite oranı ile göz önüne alınmaktadır. Buna karşılık doğrusal olmayan yöntemde, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı esas alınmaktadır. Yer değiştirme ve şekil değiştirme esaslı değerlendirmenin göz önüne alındığı bu yöntemde belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için binadaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında, binanın beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Bu yöntem, doğrusal olmayan değerlendirme yöntemi elastik ötesi davranışı daha gerçekçi biçimde ele almaktadır. Ancak bu yöntem için, taşıyıcı sisteme ait daha çok parametreye ihtiyaç duyulmaktadır ki bu özellikle mevcut binalar için bazen aşılması çok zor olan büyük belirsizlikler ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, mevcut doğrusal çözüm programlarının kullanılamamakta ve çok daha ayrıntılı çözüm tekniklerini içeren programlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanında doğrusal olmayan yöntemle yapılan çözümler daha çok düzenli binalar için yapılmıştır. Burulma düzensizliği olan binalarda daha çok çalışılması

gerektiği anlaşılmaktadır. Doğrusal yöntem, deprem güvenliği bakımından daha tutucu değerler vermektedir (Uygun ve Celep, 2007).

3.5 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Performans kavramı, belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans hedefi olarak tanımlanır. Yapısal performans, bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyeleri (düzeyleri) ile tanımlanır. Deprem mühendisliğinde performansa dayalı değerlendirme, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin ortaya çıkması için kullanılacak yöntemleri verir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür.

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan sınır durumlar ile bina için performans seviyesi tanımlanır. Genel anlamda binanın küçük depremleri hasarsız atlması, büyük depremleri can güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmadan atlması gibi performans seviyeleri hedeflenmiştir. Alışıla gelen depreme dayanıklı yapı tasarımında “Can Güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesine karşılık geldiği kabul edilen durum için tasarım yapılır. Performansa dayalı değerlendirmede bu amaçlar daha belirgin şekilde tanımlanarak kabul edilmiştir. Performans seviyeleri, verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir.

3.5.1 Performans Seviyeleri Tanımları

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında, bir yapı sistemini oluşturan yapı elemanlarının hasar durumlarına bağlı olarak belirlenir. DBYBHY’07’de dört farklı bina deprem performans seviyeleri Hemen Kullanım

Performans Düzeyi, Can Güvenliği Performans Düzeyi, Göçme Öncesi Performans Düzeyi, Göçme Durumu şeklinde verilmiştir.

3.5.1.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

3.5.1.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesine geçebilir.

(b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

(c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde

birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

Buna göre; 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.

3.5.1.3 Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.

(b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

(c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

3.5.1.4 Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır. 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 elindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

3.5.2 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

ABYBHY (2007)'de olduğu gibi, genel olarak yönetmeliklerin depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi, hafif şiddetli depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar görmemesi, orta şiddetli depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacıyla yapının kısmen veya toptan göçmesinin önlenmesidir.

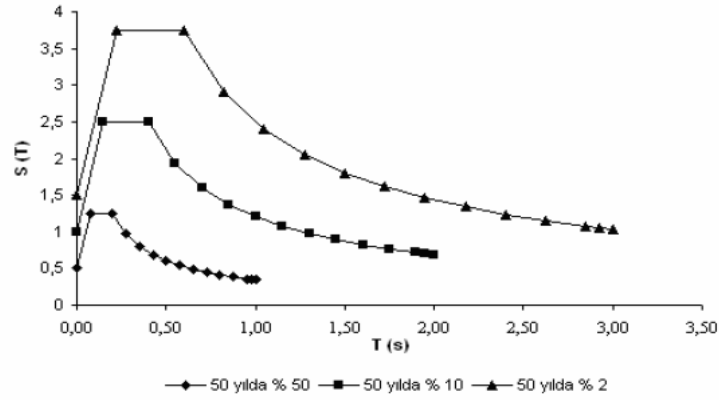
Performans hedefi, belirli bir deprem hareketi altında yapı için öngörülen performans seviyesi olarak ifade edilmektedir. Yapısal performans, deprem esnasında ve sonrasında binada yer alan insanların can güvenliklerinin sağlanması, yapının tekrar kullanımı için geçen sürenin uzunluğu, deprem sonrası olabilecek onarımın maliyeti vb. etkenlere bağlı olarak belirlenen, yapısal ve yapısal olmayan elemanların performans seviyeleri ile tanımlanmaktadır. Yapı için birden fazla deprem etki seviyesi altında farklı performans hedefleri öngörülerek çok seviyeli performans hedefleri elde edilebilir.

Yapının performans hedefinin belirlenmesinde, deprem etkisini tanımlayan **Deprem Etki Seviyesi** ve yapının performansını tanımlayan **Yapı Performans Seviyesi** iki önemli bileşen olarak ön plana çıkmaktadır.

3.5.2.1 ABYBHY 2007’de Tanımlanan Deprem Etki Seviyeleri Ve Hedeflenen Performans Seviyeleri

ABYBHY 2007’de mevcut binaların deprem güvenlik ve performanslarının değerlendirilmesinde göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde aşağıdaki deprem etkileri tanımlanmıştır. Bunlara karşı gelen spektrum eğrileri Şekil 3.2’de verilmiştir.

- Kullanım depremi (50 yılda aşılma olasılığı % 50 – dönüş periyodu 72 yıl)
- Tasarım depremi (50 yılda aşılma olasılığı % 10 – dönüş periyodu 475 yıl)
- Maksimum deprem (50 yılda aşılma olasılığı % 2 – dönüş periyodu 2475 yıl)



Şekil 3.2 Farklı deprem etkileri için boyutsuz ivme spektrum eğrileri (Sezer ve ark., 2007).

Bahse konu yönetmelikte tanımlanan ve şiddetli depremlerde can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması hedefleyen ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisini esas almaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu ABYBHY 2007’de tanımlanan spektral ivmelerinin yarısı olarak, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu ise ABYBHY 2007’de tanımlanan spektral ivmelerinin 1.5 katı olarak alınacaktır.

Tablo 3.2 Binalar için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans seviyeleri (DBYBHY 2007).

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	<i>50 yılda %50</i>	<i>50 yılda %10</i>	<i>50 yılda %2</i>
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	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	–

(HK: Hemen Kullanım CG: Can Güvenliği GÖ: Göçme Öncesi)

Mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve hedeflenecek performans seviyeleri Tablo 3.2’de verilmektedir. Yapıların doğrusal elastik hesap yöntemleri ile performans seviyelerinin belirlenmesinde, yapının kullanım amacı ve türüne bağlı olarak bir performans seviyesi hedeflenmelidir. Örneğin, kullanım amacı ve türü konut olan yapılar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (tasarım depremi) deprem etkisi altında (CG) durumu, hedeflenen performans seviyesi olarak seçilmelidir. Depremde yapı performansının belirlenmesi için betonarme kiriş, kolon ve perde elemanları için DBYBHY (2007)’de verilen doğrusal elastik hesap yöntemleri ile belirlenen etki/kapasite (r) oranlarının değerlendirilmesi ve ilgili elemanların hasar bölgelerine karar verilmesi ile yapı performans seviyesi belirlenir.

3.5.2.2 ATC 40’da ve FEMA 356’deki Deprem Etki Seviyeleri ve Hedeflenen Performans Seviyeleri

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede göz önüne alınmak üzere farklı seviyede deprem hareketleri tanımlanmıştır. Deprem etki seviyeleri genel olarak 50

yıl içerisinde aşılma olasılıkları ve benzer büyüklükte depremlerin oluşumu arasındaki ortalama zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilmektedir. ATC 40 ve FEMA 356'da yer alan deprem etki seviyeleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

ATC 40'da tanımlanan sismik risk seviyeleri aşağıda açıklanmıştır;

a) **Servis (Kullanım) Depremi (SE):** 50 yıl içinde aşılma olasılığı %50 olan deprem hareketidir. Bu depremin etkisi ATC 40'da tanımlanan Tasarım Depremi'nin 0.5 katı civarındadır. Ortalama dönüş periyodu 75 yıldır ve yapının ömrü boyunca bir kez veya daha fazla meydana gelmesi olasıdır.

b) **Tasarım Depremi (DE):** 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 500 yıldır ve yapının ömrü boyunca meydana gelme olasılığı düşüktür. 1998 Türk Deprem Yönetmeliği, Uniform Building Code (UBC), California Building Code (CBC) ve çeşitli ülke yönetmelikleri tarafından yapıların sismik tasarımında esas alınan depremdir.

c) **En Büyük Deprem (ME):** 50 yıl içinde aşılma olasılığı %5 olan ve belirli bir bölgede jeolojik veriler çerçevesinde meydana gelebilecek en büyük depremdir. Ortalama dönüş periyodu 1000 yıldır ve etkisi Tasarım Depremi'nin 1.25-1.50 katıdır.

FEMA 356'da yer alan dört farklı deprem etki seviyesi Tablo 3.7'de verilmektedir.

Tablo 3.3 Deprem etki seviyeleri (FEMA 356).

Aşılma Olasılığı	Esas Alınan Zaman Aralığı (yıl)	Ortalama Dönüş Periyodu (yıl)
%50	50	72
%20	50	225
%10	50	474
%2	50	2475

FEMA 356’da, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem Temel Güvenlik Depremi-1 (BSE-1) ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı %2 olan deprem de Temel Güvenlik Depremi-2 (BSE-2) olarak adlandırılmaktadır. FEMA 356’da tanımlanan Temel Güvenlik Depremi-1, ATC 40’da Tasarım Depremi’ne karşılık gelmektedir. Temel Güvenlik Depremi-2 ise ATC 40’da En Büyük Depreme karşılık gelmekle birlikte etkisi daha büyüktür.

3.5.2.3 FEMA 356’da Yer Alan Hedef Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, yapıda belirli bir deprem etkisi altında meydana gelmesi öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki fiziksel hasar miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında yapının kullanılabilirlik durumuna ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenmektedir. FEMA 356’da yapısal elemanlara ait dört farklı yapısal performans seviyesi ve iki adet yapısal performans aralığı tanımlanmıştır. İlgili yapısal performans seviyeleri ve aralıklara aşağıdaki Tablo 3.4’te gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Yapısal elemanlara ait performans seviyeleri ve aralıkları (FEMA 356).

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Kod
Hemen Kullanım		S-1
Hasar Kontrol	Hasar Kontrol	S-2
Can Güvenliği		S-3
Sınırlı Güvenlik	Sınırlı Güvenlik	S-4
Göçmenin önlenmesi		S-5
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye		S-6

Tabloda belirtilen yapısal elemanlara ait performans seviyeleri ve aralıkları aşağıda ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

a) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1): Deprem sonrasında çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği durumdur. Bu seviyede, yapı taşıyıcı sistemleri deprem öncesi karakteristikleri ve kapasiteleri korunur. Yapısal hasardan dolayı

yaralanma riski yok denecek kadar azdır. Yapının depremden önceki kullanım durumu, deprem sonrasında da devam eder.

b) Hasar Kontrol Performans Aralığı (S-2): Deprem sonrasında yapıda meydana gelen hasarın Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1) ile Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3) arasında bulunduğu yapısal performans aralığıdır. Bu performans aralığı, can güvenliğinin sağlanması yanında hasar miktarının da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelmektedir. Yönetmeliklerde yeni yapılar için 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi yaklaşık olarak bu aralığa düşmektedir.

c) Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3): Deprem sonrasında yapıda önemli ölçüde yapısal hasarın meydana geldiği ancak, kısmen veya toptan göçmenin söz konusu olmadığı durumu ifade eder. Yapıda göçmeyi önleyecek bir ek kapasite mevcuttur. Yapı içinde veya dışında önemli yapısal elemanların, can güvenliğini tehdit edecek şekilde kırılması veya düşmesi söz konusu değildir. Deprem esnasında yaralanmalar olsa bile, yapısal hasardan kaynaklanan hayati tehlike oluşturabilecek yaralanma riski çok düşüktür. Yapının tekrar kullanımı için kapsamlı yapısal onarımlar gerekebilir ancak, oluşan hasarın onarılması her zaman ekonomik açıdan pratik olmayabilir.

d) Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (S-4): Yapısal performans seviye olmayan bu aralık, deprem sonrasında yapıdaki hasarın Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesini (S-3) aştığı ancak Göçmenin Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesine (S-5) ulaşmadığı yapısal performans aralığıdır. Bu aralıkta yapısal elemanların performansları tamamen can güvenliğini sağlamayabilir.

e) Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (S-5): Bu performans seviyesi, deprem sonrası yapıyı kısmen veya toptan göçme (güç tükenmesi) sınırına getiren ağır hasar durumunu ifade eder. Yapının yatay yük taşıma sisteminde (rijitlik ve dayanımında) önemli azalmalar şeklinde hasarlar meydana gelebilir. Bununla birlikte yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımak için yeterlidir. Yapı kararlılığını

korumaktadır ancak, yapı içinde ve dışında düşme tehlikelerine bağlı olarak önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır ve önemli artçı sarsıntılar yapının göçmesine neden olabilir. Yapı önemli ölçüde güçlendirme gerektirir fakat genellikle güçlendirme teknik ve ekonomik açıdan kabul edilebilir değildir. Yapıların en büyük deprem etkisi altında bu performans seviyesini sağlaması beklenebilir. Daha düşük bir deprem etkisinde bu performans seviyesinin dikkate alınması, daha şiddetli bir deprem etkisinde yüksek olasılıkla güç tükenmesine ulaşılması anlamına gelmektedir ki bu durum kabul edilemez.

f) Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (S-6): Bir performans seviyesi olmayan bu seviye, sadece yapısal olmayan sismik değerlendirme ve güçlendirmenin söz konusu olduğu durumlarda geçerlidir. Alışılmış dışında da olsa, bazı durumlarda yapı gözden geçirilmeden yapısal olmayan sismik değerlendirme yapılmaktadır. Yapısal elemanlara ait hasarların dikkate alınmadığı durumdur.

ATC 40 ve FEMA 356'da yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyeleri ve aralıkları ile ilgili ise beş farklı performans seviyesi tanımlanmıştır, Tablo 3.5.

Tablo 3.5 Yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyeleri (FEMA 356).

Performans Seviyesi	Kod
Kullanıma Devam	N-A
Hemen Kullanım	N-B
Can Güvenliği	N-C
Azaltılmış Hasar	N-D
Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye	N-E

Tabloda belirtilen yapısal elemanlara ait performans seviyeleri ve aralıkları aşağıda ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

a) Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A): Bu seviye, yapıdaki taşıyıcı olmayan eleman ve sistemlerin deprem sonrası yerlerini ve işlevlerini korudukları hasar durumu olarak tanımlanır. Her ne kadar yapıda küçük onarımlar gerekse de ekipmanlar çalışır durumdadır. Yapısal olmayan elemanların kullanımını engelleyen bir hasar söz konusu değildir.

b) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B): Bu seviye, deprem sonrasında yapısal olmayan elemanların genel olarak yerlerini korudukları ancak, yapısal olmayan elemanlar ile sistemlerde küçük hasarların olduğu hasar durumunu tanımlamaktadır. Bazı eleman ve ekipmanların onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Bu performans seviyesinde, kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa sürede giderilerek yapı kullanılmaya devam edilir.

c) Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C): Bu seviye deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlar ile sistemlerde dikkate değer bir hasarın olduğu hasar durumunu tanımlamaktadır. Bununla birlikte, yapının içinde veya dışında çeşitli yaralanmalara sebep olabilecek ağır elemanların göçmesi veya düşmesi söz konusu değildir. Yapısal olmayan sistemlerin, ekipmanların ve makinelerin onarılması veya yenilenmesi gerekli olabilir. Deprem sırasında yaralanmalar olur ancak, bu yaralanmalar, yapısal olmayan hasardan dolayı can güvenliğini tehdit edecek durumda değildir.

d) Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (N-D): Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda ve sistemlerde önemli hasarlar meydana geldiği seviyedir. Ancak, bu seviyede insanların toplu halde yaralanmalarına sebep olabilecek şekilde ağır elemanların düşmesi gibi hasar durumuna ulaşılmaz.

e) Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E): bu seviye, yapının davranışında bir etkisi olmayan yapısal olmayan elemanlara hitap etmeyen bina rehabilitasyon durumunu ifade eder.

Yapısal performans seviyeleri ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu, yapı için toplam sınır hasar durumunu tanımlayan yapı performans seviyesini oluşturmaktadır. Yapı performans seviyesi, yapısal elemanlara ait performans seviyelerinin S-1, S-3, S-5 şeklindeki kodlamalarından sadece rakam kısmı ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinin N-A, N-B, N-C, N-D, N-E şeklindeki kodlamalarından harf kısmı alınarak 1-B (S-1+N-B), 3-C (S-3+N-C) şeklinde belirlenmektedir. Tablo 3.6'da yapı performans seviyelerini

tanımlayan olası birleşim durumları görülmektedir. “S” ile belirtilen yapısal performans seviyeleri ve “N” ile belirtilen yapısal olmayan performans seviyeleri FEMA 356’da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Tabloda isimlendirilen seviyeler, yaygın olarak kullanılmakta olan performans seviyeleridir.

Numaralandırılan ancak isimlendirilmeyen seviyeler ise, sık kullanılmayan diğer performans seviyelerini tanımlamaktadır. Yapıların hedeflenen performanslarının genellikle 1-A (İşlevsel), 1-B (Hemen Kullanım), 3-C (Can Güvenliği) ve 5-E (Göçmeyi Önleme) ana seviyelerine göre tanımlanır. Diğer performans kombinasyonları özel durumlar için kullanılabilir.

Tablo 3.6 Yapı performans seviyelerinin olası birleşim durumları (FEMA 356).

Yapısal olmayan performans seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri ve Sıraları					
	S-1 Hemen Kullanım Sınırı	S-2 Kontrollü Hasar Bölgesi	S-3 Can Güvenliği Sınırı	S-4 Sınırlı Güvenlik Bölgesi	S-5 Göçme Sınırı	S-6 Dikkate alınmamış
N-A İşlevsel	İŞLEVSEL 1-A	2-A	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez
N-B Hemen Kullanım	HEMEN KULLANIM 1-B	2-B	3-B	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	CAN GÜVENLİĞİ 3-C	4-C	5-C	6-C
N-D Azalmış Tehlike	Tavsiye edilmez	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Dikkate Alınmamış	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	4-E	GÖÇMEYİ ÖNLEME 5-E	İyileştirme yok

ATC 40 ve FEMA 356’da tanımlanan ve yukarıdaki tabloda da gösterilen yapı performans seviyelerinden yaygın olarak kullanılan dört performans seviyesi (1-A, 1-B, 3-C, 5-E) ve bunlara ait açıklamalar aşağıda verilmektedir.

a) Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A): Bu performans seviyesi, yapının kullanılabilir olması ile ilgilidir. Yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1) ile yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Kullanıma Devam Performans Seviyesi (N-A)’nın kombinasyonundan oluşur. Yapıda hasar yoktur veya kullanımı

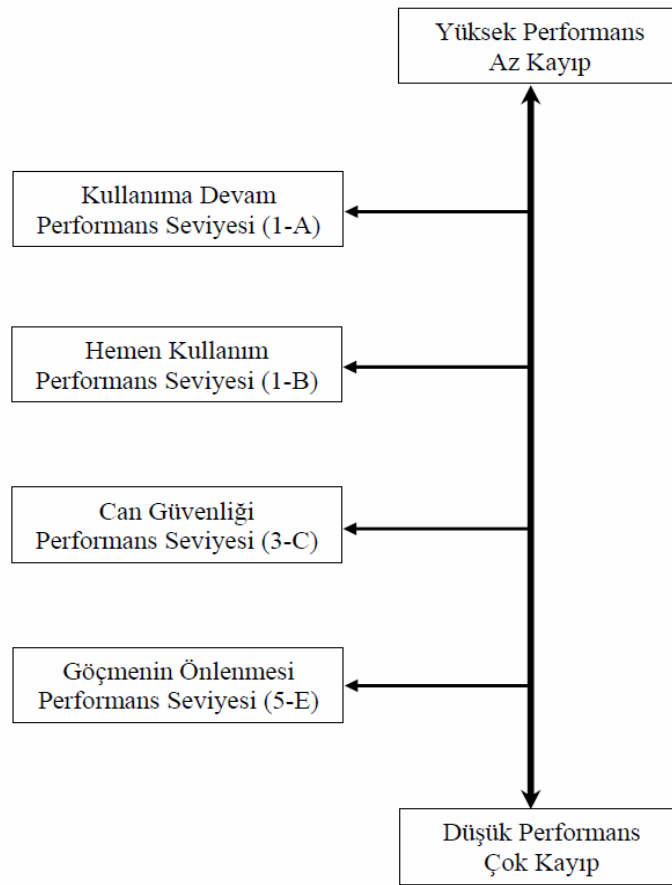
etkilemeyecek ve kolaylıkla onarılabilecek düzeyde bir hasar vardır. Yapı deprem öncesi dayanım, rijitlik ve sünekliğini aynen korumaktadır. Benzer şekilde yapısal olmayan elemanlar ve sistemlerde de hasar yoktur veya bu elemanların işlevselliğini etkilemeyecek seviyededir. Deprem süresince can güvenliğini tehdit edebilecek yaralanma riski, çok düşüktür ve yapının deprem sonrası kullanımı süreklilik göstermektedir. Çok şiddetli depremlerde, bu performans seviyesini elde etmek ekonomik açıdan oldukça maliyetlidir ancak, hafif şiddetteki bir depreme maruz kalan yapılar bu performans seviyesini sağlamalıdır.

b) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B): Bu seviye yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-2) ve yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Hemen Kullanım Performans Seviyesi (N-B)'nin birleşiminden oluşur. Bu seviyede az miktarda yapısal hasar oluşabilir ancak, yapı deprem öncesi rijitliğini ve dayanımını önemli ölçüde korur. Yapısal olmayan elemanlar güvenli ve genellikle çalışır durumdadır. Deprem sırasında yaralanma riski oldukça düşüktür. Yapının hemen kullanımı mümkündür ancak, bazı küçük onarımlar da gerektirebilir. Şiddetli depremlerde çok önemli yapıların, orta şiddetli depremlerde ise bütün yapıların bu performans seviyesini sağlaması beklenir.

c) Can Güvenliği Performans seviyesi (3-C): Bu seviye, yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3) ile yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Can Güvenliği Performans Seviyesi (N-C)'nin birleşiminden oluşmaktadır. Bu seviyede, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli miktarda hasar söz konusudur. Ancak bu hasardan dolayı can güvenliğinin tehlikeye girmesi oldukça düşük bir ihtimaldir. Yapı deprem öncesi dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde kaybetmiştir. Yapının kısmi veya toptan göçmesine karşı sistemde ek bir kapasite bulunmaktadır. Yapıda onarım gereklidir ve onarılmadan kullanılması uygun değildir. Bu seviye, günümüzde yönetmeliklerin yeni yapılar için öngördüğü performans seviyesinden biraz düşük olarak tanımlanmıştır.

d) Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-E): Bu seviye, yapısal elemanlara ait performans seviyelerinden Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (S-5) ile yapısal olmayan elemanlara ait performans seviyelerinden Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E)'nin birleşiminden oluşmaktadır. Deprem sonrası taşıyıcı sistem sadece düşey yükler altında stabilitesini koruyabilmektedir. Yapı, dayanım ve rijitliğinin önemli bir bölümünü kaybetmiş, artçı depremlere karşı göçme güvenliği kalmamıştır. Hasar yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda önemli boyuttadır ve bundan kaynaklanan can güvenliği riski söz konusudur. Yapının onarılması çoğu kez pratik ve ekonomik bakımdan uygun değildir. Yapılarda bu performans seviyesi istenmez.

Yaygın olarak kullanılmakta olan ve yukarıda açıklamaları yapılan performans seviyelerine ait yapı performansı-kayıp ilişkisi Şekil 3.3'de verilmektedir.



Şekil 3.3 Yapı performansı-kayıp ilişkisi (FEMA 356).

BÖLÜM DÖRT

GÜÇLENDİRME

4.1 Güçlendirmede Amaç

Güçlendirme ile hedeflenen, ortada henüz herhangi bir hasar yok iken, yapılan değerlendirme sonucunda istenen düzeyde güvenlik taşımadığı ya da kusurlu nitelikler taşıdığı anlaşılan bir yapının deprem hasarlarına neden olacak kusurlarının giderilmesi, deprem güvenliğini arttırmaya yönelik yeni elemanlar eklenmesi, kütle azaltılması, mevcut elemanlarının deprem davranışlarının geliştirilmesi, kuvvet aktarımında sürekliliğin sağlanması ve yapının olması gereken yapı güvenliği düzeyine (daha yüksek bir dayanım düzeyine) kavuşturulmasıdır. Günlük kullanımda sıklıkla güçlendirme ile karıştırılan onarım ise, herhangi bir nedenle hasara uğramış bir yapının, hasara neden olan olay öncesindeki güvenlik düzeyine geri getirilmesi veya bunun üzerinde bir güvenliğe kavuşturulmasına yönelik olarak gerçekleştirilen işlemlerdir.

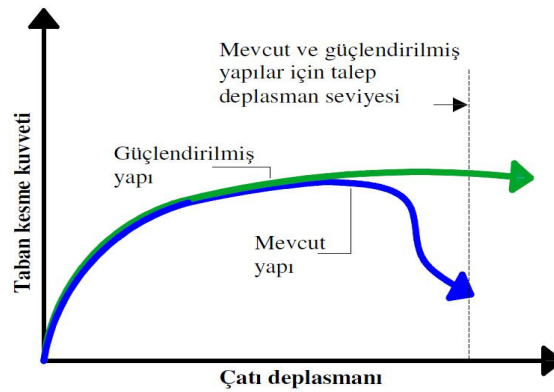
4.2 Güçlendirme Yöntemleri

Bir binada uygulanabilecek en uygun güçlendirme yöntemine karar verilirken çeşitli parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu parametreler, yapının türü, mevcut yapısal özellikleri (beton dayanımı, donatı şeması, zemin parametreleri, mimari özellikleri), güçlendirmenin uygulanabilirliği, yapının önemi, güçlendirmenin binanın fonksiyonelliğine etkileri, güçlendirme nedeniyle mevcut tesisatta (makine, elektrik ve benzeri) yapılması zorunlu revizyonlar ve diğerleri olarak sıralanabilirler.

Güçlendirme uygulamaları, eleman (taşıyıcı sistem elemanlarının tekil olarak güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi) ve bina düzeyinde (yapı sisteminin tümünün güçlendirilmesi) olmak üzere iki grupta incelenebilir. Bu güçlendirme türleri yalnız başlarına kullanılabildikleri gibi birlikte de uygulanabilirler. Aşağıda, tekil ve tümsel güçlendirme önlemlerinden başlıcaları ele alınarak bunlara yönelik esaslar kısaca gözden geçirilmiştir.

4.2.1 Eleman Düzeyindeki Güçlendirme Önlemleri

Taşınması öngörülen yükler altında yeterli kapasiteyi sağlamadığı görülen ya da hasara uğramış olan kolon, kiriş, perde, eleman birleşim bölgeleri ve dolgu duvarları gibi deprem yüklerini karşılayan elemanların ve birleşimlerinin birer birer güçlendirilmesi işlemleridir. Sadece betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesinde, yapının yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişim olmazken, güçlendirilen yapı elemanlarının sünekliklerinin artması ile yapının da sünekliği artmaktadır. Uygulanan güçlendirme sonucunda yapının rijitliğinde önemli bir değişim olmadığı için depremin yapıdan talep ettiği deplasman seviyesinde de önemli bir değişim olmamaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesi (Moehle, 2000).

Betonarme elemanlarda yapılan güçlendirme, yapının genel dayanım ve rijitlik özelliklerinden bağımsız olarak genelde eleman düzeyinde kapasite artırımına ve/veya sargı etkisi oluşturmaya yönelik olarak yapılır. Bu amaçla kullanılan yöntemler örneğin mantolama, elemanın rijitliğini artırabilmektedir. Bu nedenle bu tür uygulamalarda bazen rijitlik artırmak da amaçlanabilmektedir. Eleman kapasitesini artırmakta ise, betonarme veya çelik manto, betonarme katman ekleme, çelik veya elyafli plaka yapıştırma (örneğin CFRP uygulaması) en fazla kullanılan yöntemlerdir (Ersoy, 2007). Tekil yapı elemanlarına uygulanan güçlendirme önlemleri arasında, sık olarak kullanılanların başlıcaları aşağıda verilmiştir.

4.2.1.1 Kolonların Sarılması

Bu yöntem ile kolonların eğilme kapasiteleri arttırılmaz. Betonarme kolonların onarım/güçlendirilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem, betonarme veya çelik manto ile kolonun sarılmasıdır.

Betonarme manto, kabuk betonu kazandıktan sonra çekirdek çevresinde yeni bir betonarme katman oluşturarak yapılır. Yeni katmanın içinde hem boyuna donatı hem de etriye olduğundan, manto kolonun kesme ve aksenal yük taşıma kapasitelerini artırır. Eğer yeni katmandaki boyuna donatının katlar arasındaki sürekliliği sağlanmışsa, manto ile kolonun eğilme kapasitesi de artırılmış olur. Kolonların betonarme manto ile sarılması elemanın rijitliğini arttırmakta ve bu durum sistemde iç kuvvet dağılımının değişmesine neden olabilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Betonarme manto ile güçlendirilen bir kolon.

(<http://www.yapiguclendirme.com/kolonguclendirme.html>, 05/07/2010).

Çelik manto yönteminde, çelik köşebentlerin sağladığı alan ile aksenal yük kapasitesini arttırmak mümkündür. Bu yöntemle kolonun sünekliği de artırılabilir. Ancak eğilme kapasitesini arttırmak için özel detaylar oluşturulması gerekmektedir (Ersoy, 2007).

Manto uygulamasının yanında, kolonların lifli polimer (LP) sargılarla sarılmasıyla da güçlendirilmesi sağlanabilir. Ülkemizdeki betonarme binaların

kolonlarında gözlenen en önemli zayıflıklar, yetersiz sargı donatısı ve boyuna donatıda kat düzeyinde yapılan ve genelde boyu yetersiz bindirmeli eklerdir. Gerek ülkemizde gerekse de dünyada kolonların sorunlu bölgelerini iyileştirmeye yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kolon uçlarında bindirme boyu yetersizliği veya sargısı yetersiz kolonlara dıştan sarılan karbon veya cam liflerle güçlendirilmiş polimerlerin (CFRP veya GFRP) etkili bir sargı oluşturduğu gözlenmiştir. Karbon veya cam lifle donatılmış plastik şeritlerle (CFRP) güçlendirme yönteminde kolon uçlarını Şekil 4.3’de olduğu gibi, köşeleri biraz yuvarlatıldıktan sonra, karbon lifle donatılmış plastik şeritlerle (CFRP) dışarıdan sargılanmaktadır (Kamiński ve Trapko, 2006).



Şekil 4.3 Kolona karbon fiber sargı uygulaması (Kamiński ve ark., 2006).

Kolonların eğilme kapasitelerini arttırmak için kolon kesitleri büyütülür. Bu işlem ile aynı zamanda kolonun kesme kuvveti ve aksenal yük taşıma kapasiteleri de artırılabilir. Büyütülen kolona eklenen boyuna donatının katlar arasında sürekliliği sağlanır. Bu amaçla, boyuna donatı kat döşemelerinde açılan deliklerden geçirilir. Büyütülmüş kolon kesiti enine donatı ile sarılır. Enine donatı birleşim bölgesinde kirişlerde açılan yatay deliklerden geçirilir. Büyütülen kolon kesitinin paspayı, eklenen düşey ve yatay donatıyı örtmek için yeterli kalınlıkta olmalıdır.

4.2.1.2 Kirişlerin Sarılması

Kesme dayanımı yetersiz olan kirişlerin kesme dayanımlarının artırılması ve kirişlerin süneklik düzeylerinin yükseltilmesi amacıyla bu yöntem uygulanabilir. Kirişlere uygulanan başlıca sarma yöntemleri, dıştan etriye ile sarma ve lifli polimer

(LP) ile sarmadır.

Bütün fiber takviyeli plastik kompozitler (GFRP, CFRP ve AFRP) gerek bilimsel araştırmalarda gerekse de pratik uygulamalarda betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Tablo 4.1, adı geçen malzemelerin mukavemet ve rijitlik değerlerini göstermektedir (Head, 1999).

Tablo 4.1 GFRP, CFRP ve AFRP kompozit malzemelerin tipik mekanik özellikleri (Head 1999).

Kompozit Malzeme Türü	Lif İçeriği (%)	Yoğunluk (kg/m³)	Çekme Modulu	Çekme Mukavemeti (MPa)
GFRP(Cam/sentetik lifler)	50-80	1600-2000	20-55	400-1800
Karbon/Epoksi CFRP laminat	65-75	1600-1900	120-250	1200-2250
Aramid/Epoksi AFRP laminat	60-70	1050-1250	40-125	1000-1800

Kirişler bu yöntemlerin yanında; kirişe betonarme katman eklenmesi (kirişin çekme yüzüne, içinde boyuna donatı bulunan yeni bir betonarme katman eklenmesi), betonarme manto (kirişin yalnızca çekme yüzüne değil, olabilirse dört, değilse üç yüzüne katman ekleme işleminin uygulanması) ve yeni donatı eklenmesi (kirişin çekme yüzüne, gereken boyutlarda bir elik plakanın veya karbon lifle donatılmış plastik şeritlerin (CFRP) epoksi aracılığıyla yapıştırılması) yöntemleri ile de güçlendirilmektedir.

Karbon veya cam elyafı ile güçlendirilmiş polimerilerin, kirişin eğilme kapasitesinin artırılmasında etkin ve pratik bir yöntem olduğu, kiriş sünekliğini de yeterli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir (Grace, Sayed, Soliman ve Saleh, 1999).

4.2.1.3 Bölme Duvarlarının Güçlendirilmesi

Binada mevcut olan ve temelden itibaren yapı yüksekliği boyunca süreklilik gösteren dolgu duvarlar da hasır elik donatılı özel sıva ile veya lifli polimerler ile güçlendirilerek yapı taşıyıcı sistemine katılabilir. Güçlendirilen bölme duvarlarının

rijitlik ve dayanım özellikleri tanımlanır ve bu duvarlar yapı modeli içinde basınç kuvveti alan eşdeğer çubuk elemanlar ile temsil edilir.

4.2.1.4 Döşemelerin Güçlendirilmesi

Yanal rijitliği yetersiz çerçeve türü bir yapıda yeni yanal rijitlik elemanları oluşturulduğunda, döşemelerin diyafram etkisi önem kazanır; bu durumda yeterli olmadığı anlaşılan döşemeler, yeni bir betonarme katman eklenerek güçlendirilir. Bu teknik, döşemenin eğilme kapasitesinin artırılmasında da oldukça etkindir.

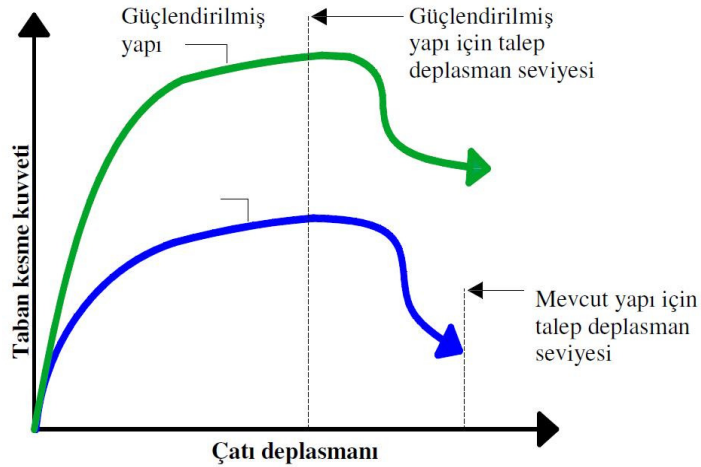
Konu ile ilgili yapılan bir araştırmada mevcut betonarme yapılar için rasyonel ve pratik bir güçlendirme metodu geliştirmek amacıyla süneklik düzeyi yüksek püskürtme betonu, yük taşıma kapasitesi ve bu sistemin uygulandığı betonarme döşemelerin davranışı incelenmiştir. Bu sistemle yük taşıma kapasitesinin artırılacağı, yüksek sünekli püskürtme betonu ile mevcut döşemenin aderans kapasitesinin betonun çekme dayanımı ile aynı olduğu sonucuna varılmıştır (Taguchi, Kurihashi, Mikami, ve Kishi, 2004).

4.2.2 Yapı Sisteminin Tümünün Güçlendirilmesi

Binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, binaya yeni elemanlar eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, deprem etkilerinin azaltılması amacıyla binanın kütlelerinin azaltılması işlemleri sistem güçlendirmesi olarak tanımlanmaktadır (DBYBHY, 2007).

Eleman bazında yapılan güçlendirme uygulamaları, güçlendirilen yapının deprem güvenliğini istenilen düzeye çıkarmak için tek başına yeterli olmayabilir. Diğer taraftan yapıdaki tüm elemanlara müdahale edilmesi hem maliyeti artırmakta hem de uygulama zorluğu doğurmaktadır. Bu durumda, yapının taşıyıcı sisteminin bir bütün olarak güçlendirilmesi yoluna gidilir. Taşıyıcı sistemin güçlendirilmesinde sistem elemanlarının yetersizlikleri, sistem kapasitesinin yükseltilmesi ile giderilebilir. Bu güçlendirme uygulamasında betonarme veya çelik konstrüksiyon

perdeler kullanılabilir. Yapıya sonradan ilave edilecek olan bu elemanların, yapının içinde veya dışında uygulanmasına göre, “iç” veya “dış” güçlendirme perdeleri olarak iki kısma ayrılabilir. Taşıyıcı sistem güçlendirmelerinde yapının yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitliğinde önemli bir artış meydana gelmekte ve deplasman talebi azalmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi (Moehle, 2000).

4.2.2.1 Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ve Çaprazlı Çelik Perdeler ile Güçlendirilmesi

Yanal rijitliği ve dayanımı yetersiz olan betonarme taşıyıcı sistemler, yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirilebilir. Betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak düzenlenebilir. Her bir doğrultuda tüm deprem etkisini karşılayabilecek kadar dolgulu çerçeve yapıldığında, perde gibi davranan bu rijit elemanlar, yeni bir yatay yük taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır. Ülkemiz koşullarında tercih edilebilen güçlendirme önlemlerinin başında gelmektedir.

Çelik çaprazlı çerçeve yönteminde ise her iki doğrultuda seçilmiş çerçeve gözleri, X biçiminde düzenlenen ve çerçeve köşelerine bağlanan çelik elemanlarla güçlendirilir. Bu şekilde de yapı dayanımı ve yanal rijitliği artırılmaktadır.



Şekil 4.5 Yapıya yeni perde duvar eklenmesi. (Nuhoğlu, Arısoy ve Taşçı, 2009).

Betonarme taşıyıcı sistemin kullanılmasında kullanılan bu elemanlar, çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olan betonarme perdeler (Şekil 4.5), merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler veya moment aktaran çerçeveler (eğilme çerçeveleri) olabilir.

Di Sarno, Manfredi, Acanfora (2007), burulması sınırlandırılmış çelik çaprazlarla güçlendirilmiş mevcut binaların performansını, doğrusal olmayan analiz yöntemi ile incelemişler ve bu yöntemin enerji sönmüleme kapasitesini önemli ölçüde azaltarak binanın maruz kalacağı deprem yüklerini azaltan maliyet açısından cazip bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

4.2.2.2 Betonarme Sisteme Yeni Çerçeveler Eklenmesi

Betonarme sistemin dışına yeni çerçeveler eklenerek yatay kuvvetlerin paylaşımı sağlanabilir. Sisteme eklenecek çerçevelerin temelleri mevcut binanın temelleri ile birlikte düzenlenecektir.

Yeni çerçevelerin mevcut binanın taşıyıcı sistemi ile birlikte çalışması için bu çerçeveler mevcut binanın döşemelerine gerekli yük aktarımını sağlayacak şekilde bağlanacaktır.

4.2.3 Diğer Güçlendirme Önlemleri

Yukarıda açıklanan, eleman ve sistem düzeyindeki geleneksel güçlendirme önlemlerinin yerine veya onlara ek olarak diğer bazı güçlendirme yöntemlerine de başvurulabilir. Bunlardan başlıcaları aşağıda açıklanmıştır.

4.2.3.1 Mevcut Düzensizliklerin Azaltılması veya Giderilmesi

Yapı sistemindeki düzensizliklerin yapının deprem performansını önemli ölçüde etkilemesi halinde, hedeflenen performans düzeyine erişilebilmesi için, bu düzensizliklerin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması gerekli olabilir. Bu kapsamda alınabilecek iyileştirme önlemlerinden başlıcaları, yapı sistemine ilaveler yapmak veya gerekli olan durumlarda yapı sisteminin bazı bölümlerini kaldırmak suretiyle, zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliklerinin giderilmesi, burulma düzensizliğinin azaltılması ve taşıyıcı sistemdeki süreksizliklerin ortadan kaldırılmasıdır.

4.2.3.2 Kütle Azaltılması

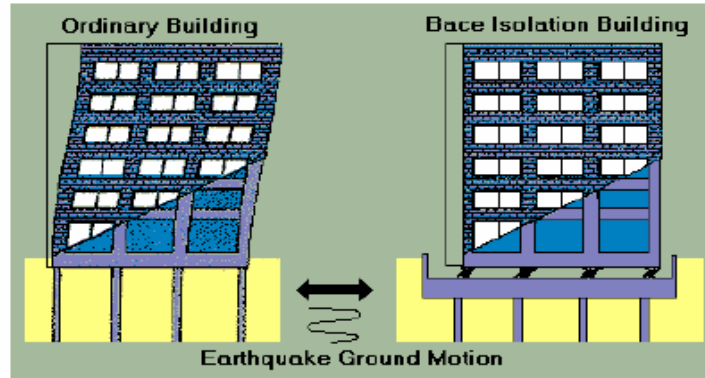
Deprem etkileri altında yeterli performans düzeyine sahip olmayan yapı sistemlerinde, bina kütlelerinin azaltılması suretiyle deprem isteminin azaltılması ve böylece binanın performans düzeyinin yükseltilmesi mümkün olabilir. Bina kütlelerinin azaltılması, genellikle kat kaldırılması, binanın kullanım amacını değiştirerek hareketli yük azaltılmasının sağlanması, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarlarının ve cephe kaplamalarının kaldırılması veya daha hafif elemanlar ile değiştirilmesi suretiyle gerçekleştirilir.

Kütle azaltılması bir yapı güçlendirme yöntemi değildir. Ancak yapıya etki eden düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin azalan kütle ile orantılı olarak azalacak olması yapı güvenliğini arttıracaktır. Azaltılacak veya kaldırılacak kütle ne kadar yapı üst kotlarına yakın ise, deprem güvenliğini arttırmadaki etkinliği de o kadar fazla olacaktır. En etkili kütle azaltılması türleri binanın üst katının veya katlarının iptal edilerek kaldırılması, mevcut çatının hafif bir çatı ile değiştirilmesi, çatıda

bulunan su deposu vb. tesisat ağırlıklarının zemine indirilmesi, ağır balkonların, parapetlerin, bölme duvarların, cephe kaplamalarının daha hafif elemanlar ile değiştirilmesidir (DBYBHY, 2007).

4.2.3.3 Deprem Etkilerinden Uzaklaştırma

Deprem etkilerinin yapıya aktarılmasının olabildiği kadar önlenmesi veya yalnızca küçük bir bölümünün yapıya aktarılmasının sağlanmasıdır. Bu yaklaşımda, yapılan düzenlemeler ve kullanılan çeşitli araç ve gereçler yardımıyla, zeminde yer alan deprem hareketinin yapıya aktarılmasının engellenmesi amaçlanır. Yöntemin etkinliği, çok basit bir fiziksel örnekle anlatılır; eğer yapınızı sürtünmesiz bilyeler üzerine yerleştirirseniz, zemin dilediği yatay hareketi yapabilir ve bu hareket yapıya aktarılmaz (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Deprem kuvvetlerinin deprem izolatörlü olan ve olmayan bina üzerindeki etkisi (Simon, Nove and Moe, 2002).

Mevcut yapı sisteminin uygun bölgelerine sismik izolatörler konularak taban yalıtımının sağlanması ve/veya enerji sönmleyici aygıtlardan (damperler) veya ayarlı kütle sönmleyicilerden yararlanarak deprem enerjisinin sönmlendirilmesi suretiyle deprem isteminin azaltılması şeklindeki işlemler yapı taşıyıcı sisteminin deprem performansını arttıran önlemler arasında yer almaktadır (Jeff Guh ve Altoontash, 2006).

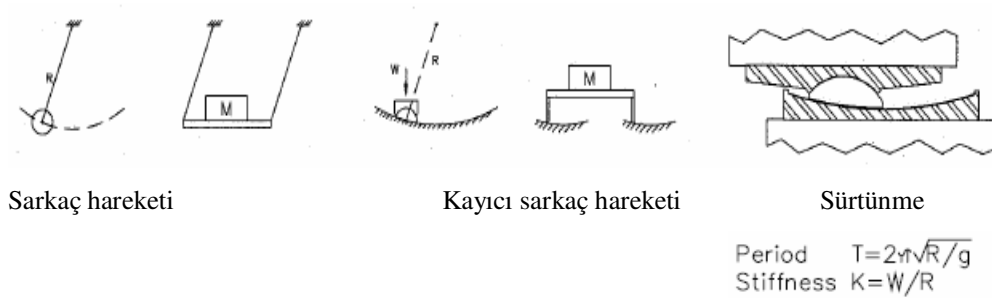
Kauçuk esaslı sismik izolatörler (rubber bearings), sürtünme esaslı sismik izolatörler (friction pendulum bearings), enerji sönmlendirici cihazları (viskoz

esaslı sismik sönümlendiriciler (viscous dampers), kurşun çekme sönümlendiricileri (lead extrusion dampers) ve çelik sönümlendiriciler (steel hysteretic dampers)), vibrasyon kontrol cihazları (vibration/structural control systems-yapının en üstüne konan kütleler yardımıyla, kütle yapının deprem sırasında yapacağı deplasmanla ters yönde uyumlu hareket ederek, yapının yatay deplasmanlarını minimuma indirmeye çalışır.) başlıca uygulanan izolasyon türleridir, (Şekil 4.7 ve 4.8).



Şekil 4.7 Salt Lake City binası sismik izolatör kullanılarak güçlendirilmiştir. (Bailey and Allen, 1991).

Türkiye’de de özellikle önemli sayılan yapıların yapımı sırasında bu tür düzenek kullanımının giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Bununla birlikte, var olan yapılara bu düzeneklerin yerleştirilmesi hem oldukça karmaşıktır hem de yapıda özel önlemler alınmasını gerektirmektedir.



Şekil 4.8 Sürtünme esaslı izolatörün, sarkaç prensibine dayanan çalışma sistemi (Technical Characteristics of Friction Pendulum Bearings, 2003).

BÖLÜM BEŞ

GÜÇLENDİRME MALİYETİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER VE BUNLARIN TESİR NİSPETİNİN BELİRLENMESİ

Dünyada deprem riskleri ile ilgili ekonomik analizlerde kullanılan yaklaşımlardan en sık başvurulanları HAZUS ve RAMP olarak sıralanabilir. Federal Acil Yönetim Teşkilatı (FEMA) tarafından geliştirilen HAZUS'da deprem kayıplarının belirlenmesinde ve Fayda-Maliyet analizinin uygulanmasında kullanılan metodoloji; afet tanımı, envanter tanımı, envanter hasarının tahmini ve Fayda-Maliyet hesabı olmak üzere dört ana adımdan oluşmaktadır. Metodolojide kullanılan parametrelerin bazıları; bölgedeki faylarda deprem olaylarının sıklığı, yapıların hasar görebilirliği ve güçlendirme aktivitelerinin fayda ve maliyetleri olarak sıralanabilir. RAMP metodolojisinin temeli ise, bölgesel afet tedbirleri stratejilerinin maliyet geçerliliğinin sistematik olarak belirlenmesidir. Söz konusu metodoloji; sismik afet tanımı, yapı tanımı, hasar tahmini, güçlendirme ve tamirat maliyet tahmini, Fayda-Maliyet analizi ve önceliklerin belirlenmesi olmak üzere 6 ana bölümden meydana gelmektedir.

Bu çalışmada ise deprem riski altındaki yapılarda çeşitli güçlendirme çalışmaları sonucunda ortaya çıkacak maliyetlerin tek tek hesaplanmasına gerek kalmadan, uygulayıcıların birkaç parametre ile güçlendirme maliyetlerini yaklaşık olarak kolayca tahmin etmelerine yardımcı olacak bir altyapı tartışılacak ve önerilen yaklaşımın sonuçları paylaşılacaktır.

5.1 Güçlendirme Maliyeti

Güçlendirme maliyeti; yapıdaki güçlendirme imalatları maliyetinin yanı sıra zemin etütleri, beton kalitesinin belirlenmesi (Karot numunelerinin alınması ve mevcut betonarme dayanımlarının belirlenmesi) donatı çap, sayı ve yerlerinin belirlenmesi ve güçlendirme projesinin yapılması maliyetlerini de kapsar. Güçlendirme imalatının maliyeti ise; seçilen güçlendirme yöntemi çerçevesinde, yapılan imalatların miktarları ile o imalatların birim fiyatlarının çarpımının toplamına

eşittir. Başka bir ifadeyle güçlendirme maliyeti birim fiyat yöntemine göre hesaplanır. Betonarme mantolama ve yeni deprem perdelerinin ilavesi yönteminde genel olarak uygulanan imalatlar örnek olarak aşağıda sıralanmıştır:

- Kazı
- Dolgu yapma ve sıkıştırma
- Kum – çakıl serilmesi
- Beton inşaat yıkımı
- Kaldırım ve blokaj sökülmesi
- Sıva sökülmesi
- Çatı sökülmesi
- Tecrit yapılması
- İskele
- Kalıp
- İnşaat demiri hazırlanması, yerine konulması
- Perde ve temel betonu
- Mantolama betonu
- Kagir yapı kırımı
- İnşaat demirinden çubuk ankraj yapılması
- Beton yüzeyin örselenmesi
- İş iskelesi yapımı (Duvarlar için)
- Pas payının kırılarak donatının açığa çıkarılması
- Nervürlü demirden filiz ekimi
- Yeni betonunun aderansı için yüzey kaplanması
- İç-dış kaba, ince sıva yapımı,
- Dış sıva yapımı
- Yağlı boya, badana yapımı
- Çatı yapımı
- Tenekecilik isleri
- Nakliyeler (çimento, kum-çakıl, kırma taş, demir, kazı, stabilize, moloz taş ve benzeri)

Güçlendirmede uygulanan bu imalatların birçoğunun birim fiyatı Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyatlarında yer almakla birlikte; uygulanan güçlendirme yöntemine bağlı olarak, bir kısım imalatlar yerine ve detayına göre oluşturulmaktadır. Bu yüzden bu tür imalatlar özel imalat kapsamına girmekte ve fiyatları da özel olarak oluşturulmaktadır. Özel fiyatların oluşturulmasında öncelikle var ise diğer kamu kuruluşlarının fiyatları alınmakta, yok ise Ticaret Odaları, Belediyeler ve benzeri yerel kuruluşlara sorulmakta veya gerekiyorsa özel fiyat analizleri yapılarak birim imalat fiyatları oluşturulmaktadır.

5.2 Güçlendirme Maliyetine Etki Eden Parametreler

Binaların deprem performansını olumsuz yönde etkileyen faktörler Bölüm İkide detaylı olarak anlatılmıştı. Bunun yanında son yıllarda meydana gelen depremlerde, deprem bölgesi, zemin tipi, bina temel tipi, bina yaşı, mevcut beton ve donatı dayanımları, mevcut taşıyıcı sistemde perde olup olmaması, bina kat adedi, bina toplam alanı (doğrudan deprem performansını etkilememekle birlikte taşıyıcı sistemin periyot, çerçevelerin deprem kuvvetlerini taşıma kabiliyeti vb. sebeplerle dolaylı olarak etkisi vardır. Toplam güçlendirme maliyetini doğrudan etkilemekle birlikte güçlendirme birim maliyetlerine etkisinin olmayacağı tahmin edilmiştir.), problemlerinin varlığı gibi faktörlerin de bina performansına etki etmekle birlikte, aynı zamanda mevcut binaların depreme karşı güçlendirme maliyetlerinde etkin rol aldığı görülmüştür. Çalışmamız kapsamında yukarıda sayılan parametrelerle birlikte Bölüm İki'de bahsi geçen yumuşak kat ve kısa kolon sorunlarının mevcut bir binanın depreme karşı güçlendirme maliyetinin tahmin edilebilmesi için ana parametreler olduğu kabul edilmiştir.

Bir önceki paragrafta sayılan parametrelerin seçiminde iki sebep etkili olmuştur. Birincisi, mevcut veri tabanında binaların çalışmamızda göz önünde bulundurulmayan özellikleri ile ilgili kısıtlı miktarda bilgi bulunmaktadır. İkincisi ise daha sonra bir araştırmacı tarafından kapsamlı bir değerlendirme yapmaya ihtiyaç duymadan mevcut bir binanın güçlendirme maliyetinin tahmin edilebilmesi için çalışmamızda göz önünde bulundurduğumuz faktörlerin kolay temin edilebilir

olmasıdır. Bu çalışmada kabul edilen temel varsayım, taban kesme kuvveti ile güçlendirme maliyeti arasında doğrusal bir ilişki olduğudur.

Sunulan çalışmada, binaların deprem güçlendirme maliyetini etkileyen ana değişkenlerin her birinin deprem güçlendirme maliyetine etkileri aşağıda incelenmiştir.

5.2.1 Deprem Bölgesi

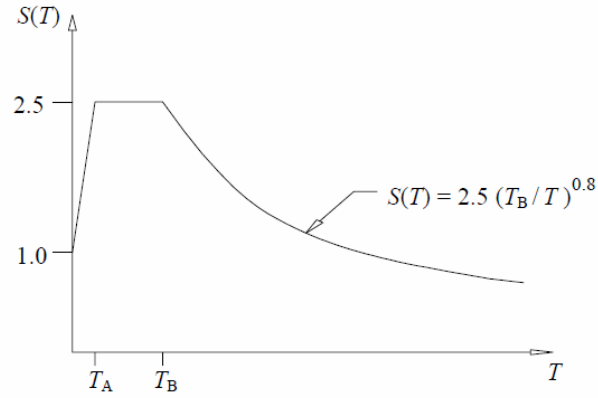
Binanın bulunduğu deprem bölgesi, binaya etki eden deprem kuvvetlerini doğrudan belirler (Tablo 5.1.). Binanın güçlendirilmiş haliyle Bölüm 3'te verilen performans seviyelerini sağlayabilmesi için deprem bölgesi 4. dereceden 1. dereceye doğru geldikçe güçlendirme elemanlarının sayısı ve ebat olarak artışı gözlenir. Bu da maliyeti doğru orantılı olarak arttırır. Deprem bölgesinin, güçlendirme maliyetine etkisi, etkin yer ivmesi ile orantılı olacağı düşünülmektedir.

Tablo 5.1 Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0), (DBYBHY 2007).

Deprem Bölgesi	Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)
1	0,4
2	0,3
3	0,2
4	0,1

5.2.2 Zemin Tipi

Güçlendirilmiş haliyle binaya tatbik edilen taban kesme kuvveti DBYBHY-2007 Denklem 2.2 ile verilen spektrum katsayısı ile doğru orantılıdır. Spektrum katsayısı da zemin tipinin bir fonksiyonudur (Şekil 5.1). DBYBHY-2007 Tablo 2.4'e göre değişiklik gösteren T_A ve T_B karakteristik periyotları ile binanın periyodu (yaklaşık olarak bina toplam kat adedinin 0,1 katı olarak hesaplanabilir.) arasındaki kıyaslamaya göre hesaplanır. Ancak orta katlı yapıların periyodu genellikle $T_A - T_B$ aralığında yer aldığından zemin tipinin binadan beklenen performans seviyesini ve güçlendirme maliyetini etkileme bakımından az etkili olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 5.1 Spektrum Katsayısı (DBYBHY 2007).

Zemin tipinin güçlendirme maliyetine göreceli etkisinin Tablo 5.2’de verildiği gibi olacağı değerlendirilmiştir.

Tablo 5.2 Zemin tipinin güçlendirme maliyetine göreceli etkisi.

Zemin tipi	Zemin Tipi Katkısı
Z1	1,00
Z2	1,25
Z3	1,50
Z4	1,75

5.2.3 Bina Temel Tipi

Mevcut yapı analizi ve tasarımı programlarının çoğunda üst yapı ile temel ayrı ayrı modellenip tasarlandığından temel tipinin hedeflenen üst yapı performans seviyesine etkisi görülemeyebilir. Ancak az sayıdaki (büyük olasılıkla tekil temel olarak düzenlenmiş) binada, zımbalama ve eğilme tesirlerinin kapasiteden fazla olması sebebiyle, temellerde sistematik bir güçlendirme yapılması öngörülürse bunun için en alt kattaki bütün zemin kaplamaları, dolgu duvarlar ve diğer mimari unsurların sökülerek temel güçlendirmesine müteakip yeniden yapılması gerekeceğinden güçlendirme maliyetini aşırı derecede arttıracığı değerlendirilmektedir. Göreceli olarak, radye temele sahip binaların güçlendirme maliyetlerine göre, diğer temel tiplerinden birine sahip olan binaların güçlendirme maliyetlerinin Tablo.5.3’de belirtildiği şekilde olacağı düşünülmektedir.

Tablo 5.3 Temel Tipi Katkı Faktörü.

Temel Tipi	Temel Tipi Katkı Faktörü
Radye	1,00
Sürekli	1,25
Tekil	1,50

5.2.4 Bina Yaşı

Binanın yapım yılı hangi deprem yönetmeliğine göre yapıldığını, dolayısıyla binanın yapım standartlarını belirler. Daha eski bir deprem yönetmeliğine göre tasarlanan ve inşa edilen bir binanın güçlendirme gereksinimi ve maliyeti artar. Örneğin 1975 yılında yapılan bir bina, 1998 yılında yapılanaya göre daha fazla güçlendirmeye ihtiyaç duyulacaktır.

5.2.5 Mevcut Beton ve Donatı Dayanımları

Daha zayıf bir beton ve donatı dayanımı bir binanın güçlendirme gereksinimini ve maliyetini artırır. Beton sınıfı düşüktüçe gerek düşey taşıyıcı elemanların, gerekse kiriş ve döşemelerin taşıma kapasitesi düşer. Bölüm 3'te bahsedilen hedeflenen performans düzeyinin gerektirdiği hasar seviyelerini sağlayabilmek için her bir elemanın ve taşıyıcı sistem olarak binanın tamamının güçlendirilmesi için gereken elemanların sayı ve ebatları artar.

5.2.6 Mevcut Taşıyıcı Sistemde Perde Olup Olmaması

Taşıyıcı sisteminde perde olan binalarda deprem yüklerinin önemli bir kısmı perdelerce taşınacağı için kolon-kiriş sistemlerinin deprem yükü taşıması ihtiyacı azalır. Bu da güçlendirme programı esnasında daha az sayıda ve ebatta güçlendirme elemanını yeterli hale getirir. Mevcut bina bünyesindeki perde miktarı arttıkça güçlendirme maliyeti azalır. Göreceli olarak, taşıyıcı sistemde perde buluna binaların güçlendirme maliyetlerine göre, taşıyıcı sistemde perde olmayan binaların güçlendirme maliyetlerinin Tablo.5.4'de belirtildiği şekilde olacağı düşünülmektedir.

Tablo 5.4 Perde durumu katkısı.

Mevcut Taşıyıcı Sistem Perde Durumu	Perde Durumu Katkısı
Var	1
Yok	1,5

5.2.7 Bina Kat Adedi

Az katlı binalardan orta katlı binalara doğru binanın periyodu artacağından spektrum katsayısı ve bina üzerine gelen deprem kuvvetleri artar. Orta katlı binalardan yüksek katlı binalara doğru yine binanın periyodu artacağından spektrum katsayısı ve bina üzerine gelen deprem kuvvetleri azalır. Bu nedenle, binanın hedeflenen performans düzeyine getirilebilmesi için gereken güçlendirme elemanlarının sayısı ve ebatları farklı katlı binalarda farklılık gösterir.

5.2.8 Bina Toplam Alanı

Kat alanı belirli bir seviyenin altında olan binalarda, (burulma düzensizliğine mahal vermeden) depreme karşı güçlendirme yapılabilmesi için örneğin her iki doğrultuda ikişer adet perdenin simetrik olarak yerleştirilmesi gerekir. Standart binaların aks aralıkları aşağı yukarı aynı mertebede olacağından, sabit miktarda güçlendirme elemanı için kat alanı ve dolayısıyla bina toplam alanı arttıkça bina güçlendirme maliyeti artar. Bina toplam alanı, güçlendirme maliyetini arttırmakla birlikte, birim güçlendirme maliyetini doğrudan etkilemediği tahmin edilmektedir.

Bu parametrelerin dışında yumuşak kat düzensizliği olan binalarda bahse konu katın güçlendirilmesi için özel itina gösterilmesi gerekir. Sadece bahse konu katın güçlendirilerek deprem kuvvetlerinin bina içerisinde daha düzenli bir dağılımı sağlanabileceği gibi, söz konusu katın diğer katlardan daha fazla güçlendirilmesi suretiyle de hedeflenen performans düzeyine ulaşılabilir. Yine, kısa kolon probleminin yapı güçlendirme maliyetine etkisi yumuşak kat problemindekine benzerlik gösterir. Sadece kısa kolon bulunan katın güçlendirilerek deprem

kuvvetlerinin bina içerisinde daha düzenli bir dağılımı sağlanabileceği gibi, bahse konu katın diğer katlardan daha fazla güçlendirilmesi suretiyle de hedeflenen performans düzeyine ulaşılabilir. Ancak, bu iki faktörle ilgili yeterli veri elde edilemediği için bu iki parametrenin güçlendirme maliyetlerini ne ölçüde etkilediği tespit edilememiştir.

5.3 İstatistiksel Yöntemler

Bilimin temel amaçlarından biri de değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemektir. Bu ilişkileri belirlemede kullanılan en önemli araç ise, istatistik bilimidir. İstatistik, değişkenler arasındaki ilişkilerin derecelerini ve bu ilişkilerin fonksiyonel şekillerini belirlemede bizlere yardımcı olur. İki veya daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, varsa yönünü ve gücünü gösteren çok yaygın bir istatistik analiz tekniği, korelasyon ve Regresyon Analizidir (Ergün, 1995).

Deneyisel modellerde tasarım değişkenleri ile maliyet arasında sabit bir ilişki olduğu varsayılır. Gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkın karelerinin toplamını minimize etmeyi amaçlayan en küçük kareler metodu ile değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyen bir yöntemdir (Blalock, 1987).

Değişkenler arasındaki ilişki matematiksel bir formüle dönüştürülerek, formüldeki değerlerin yerine konulmasıyla maliyet hesaplanır. İstatistikte değişkenler arasındaki ilişkinin derecesine korelasyon katsayısı, değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şekline ise, regresyon denklemi adı verilir (Gürsakal, 1998).

Değişkenler arasındaki ilişkilerin fonksiyonel şekillerini belirlerken, neden durumda olan değişkenlere bağımsız, sonuç durumunda olan değişkenleri ise, bağımlı değişken olarak tanımlanır. Bir bağımlı değişken, birden fazla bağımsız değişkenle ilişkili olması mümkündür. Regresyon denklemi yardımıyla, bağımsız değişken e verilen herhangi bir değere göre bağımlı değişkenin alacağı değer hesaplanabilir. Regresyon analizi, değişkenler arasındaki ilişki ve bağıntıların araştırılması olarak kısaca tarif edilebilir.

Regresyon analizi tek bir bağımsız değişkenle ilgileniliyorsa, basit regresyon; birden çok bağımsız değişkenle bağımlı değişken belirlenmeye çalışılıyorsa çoklu regresyon incelenmesi yapılır. Bu yüzden bu çalışmada çoklu Regresyon analizi yöntemi kullanılacaktır.

5.3.1 Korelasyon ve basit regresyon analizi

Biri bağımlı (y) diğeri bağımsız (x) gibi iki değişken arasındaki ilişkinin doğrusal biçimini basit regresyon analizi ile incelenir. Dağılım grafiklerindeki noktalar bir doğru etrafındadır. N sayıda ortak veri çifti (x_i , y_i ; $i = 1,2,3,\dots, N$) arasındaki doğrusal bağımlılığın ölçülmesinde korelasyon katsayısı (Walpole, Myers, Myers & Ye, 1998);

$$r = \frac{\text{cov}(xy)}{(S_x, S_y)} \quad (5.1)$$

Bu bağıntıda, S_x , S_y dizilerinin standart sapmalarını, $\text{cov}(xy)$ ise x ve y dizileri arasındaki kovaryansı göstermekte olup

$$S_x = \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / (N - 1) \right]^{1/2} ;$$

$$S_y = \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 / (N - 1) \right]^{1/2} \quad (5.2)$$

$$\text{Cov}(xy) = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5.3)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilmektedir. (5.2) ve (5.3) bağıntılarında x_{ort} , y_{ort} örnek ortalamalardır. Korelasyon katsayılarının sıfırdan anlamlı ölçüde farklı olması halinde, x bağımsız değişkenine bağlı olarak y'nin tahmin edilmesinde

$$y = a + bx \quad (5.4)$$

basit doğrusal regresyon bağıntısı kullanılabilir. Bağıntıdaki regresyon katsayılarının örnek değerleri;

$$b = r \cdot S_y / S_x \quad (5.5)$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (5.6)$$

bağıntılarından hesaplanabilir.

Verilere en iyi uyan doğruyu bulmak için en küçük kareler ölçütü uygulanır. Bir serpilme diyagramındaki noktaların doğrusal regresyon denkleminde olan sapmalarının, diğer bir deyişle gerçek y değerleri ile doğru üzerinde yer alan teorik \hat{y} değerleri arasındaki farklar olan hataların kareleri toplamını minimize eden doğru seçilir. Bu koşulu sağlayan doğru, en küçük kareler doğrusu adını alır.

Gözlemleri en iyi açıklayan doğrunun belirlenmesi için ileri sürülen ve en çok kullanılan bu yöntem, verilerin doğrudan olan uzaklıklarının karelerinin toplamının en küçük yapılmasına dayanmaktadır. Genel ifade ile regresyon denklemi,

$$y = a - b \cdot x \quad (5.7)$$

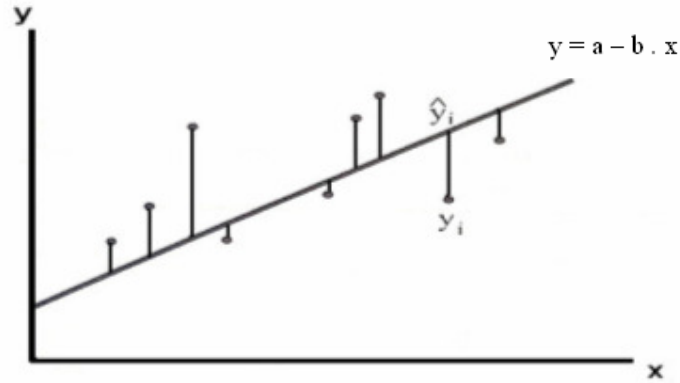
olmak üzere parametreler, (3.19) ve (3.20) denklemleri ile hesaplanmaktadır.

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (5.8)$$

$$r = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (5.9)$$

Burada, r korelasyon katsayısı olmaktadır. Dağılım diyagramında, değişkenleri temsil eden noktaların dağılımının matematiksel gösterimi olan en küçük kareler

doğrusu çizilebilir (Şekil 5.2). En küçük kareler metoduyla bulunan denklemlerle, doğru çiziminde oluşabilecek hatalar önlenir ve değişkenler arasındaki ilişki en iyi şekilde ifade edilebilir. Dağılım diyagramındaki doğru, noktaların kendisine olan dik uzaklıklarının karelerinin toplamının minimum değerini almasını sağlayacak şekilde çizilmelidir.



Şekil 5.2 En küçük kareler doğrusu (Walpole ve ark. 1998).

5.3.2 Çoklu Regresyon Analizi

Bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin yer aldığı regresyon modellerine çok değişkenli regresyon analizi denir. Basit regresyon analizinde, bağımlı ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiler analiz edilirken, çok değişkenli regresyon analizi bağımlı değişken üzerinde birden fazla faktörün etkisini modellemek için kullanılır. Çok değişkenli regresyon analizinde bağımsız değişkenler eş zamanlı olarak (aynı anda) bağımlı değişkendeki değişimi açıklamaya çalışmaktadır. Hesaplama ve yorum bakımından tek değişkenli regresyon analizine benzemektedir. Çok değişkenli regresyon analizinin yorumu tek değişkenli regresyon analizine benzemektedir. Ancak bazı farklılıklar vardır. Örneğin, tek değişkenli regresyon analizindeki karşılığı çoklu regresyon katsayısı R (multiple R) olarak ifade edilmektedir. Çoklu regresyon katsayısı R, bir bağımlı değişkendeki değişim ile eş zamanlı (aynı anda) ele alınan birden fazla bağımsız değişkendeki değişim arasındaki ilişkinin derecesini göstermektedir. Daha basit bir ifade ile, bağımlı değişken ile birlikte ele alınan bir grup bağımsız değişkendeki değişimin ilişkisinin

(korelasyonunun) bir göstergesidir. Dağılım diyagramında yatay düzlem üzerine bağımsız değişken sayısı kadar eksen yerleştirildiği için; yüzey, hacim veya daha çok boyutlu şekiller oluşur. Genel olarak (Walpole ve ark., 1998);

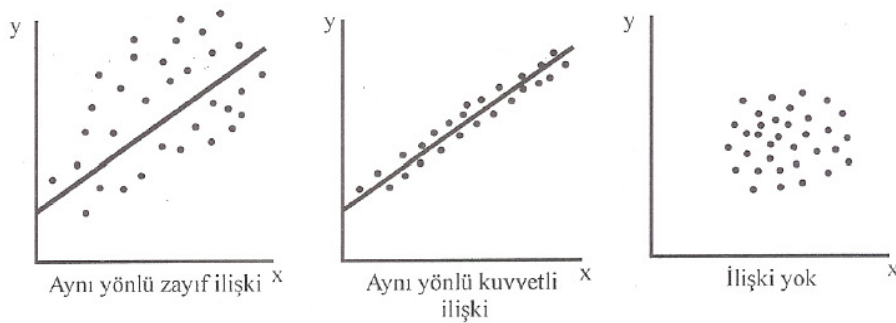
$$Y_i = \beta_0 + \beta_{1i} \times X_{1i} + \beta_{2i} \times X_{2i} + \dots + \beta_p \times X_{pi} + ei \quad (5.10)$$

denklemleriyle ifade edilir. Burada X_{pi} i olayı için p bağımsız değişkeninin değerini ve β ise, bilinmeyen parametreleri gösterir. Çoklu regresyon işlemlerinin hesaplaması oldukça zor ve uzun zaman alır. Ancak, günümüzde yazılmış olan bilgisayar paket programları sayesinde oldukça çabuk ve güvenli olarak yapılabilmektedir.

Çok değişkenli regresyon analizi sosyal bilimlerin birçok dalında kullanım alanı bulmaktadır. Pazarlama, sosyoloji ve psikoloji gibi bilim dallarında davranışsal hareketlerin belirlenmesinde, ekonomide zaman serisi türü ekonomik değişkenleri etkileyen faktörlerin tespiti ve geleceğe yönelik projeksiyonlarında (tahmininde) kullanım alanı bulmaktadır.

5.3.3 Korelasyon analizi

İki veya daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını; varsa yönünü ve gücünü gösteren çok yaygın bir istatistik analiz tekniği, korelasyon analizidir (Ergün, 1995). İki değişken arasındaki ilişkinin değişik biçimleri olabilir. Bunların en karakteristik olanları şunlardır:



Şekil 5.3 Korelasyon grafik örnekleri (Walpole ve ark., 1998).

Yukarıdaki şekillerin ilkinde, iki değişken arasında pozitif yönde zayıf bir ilişki görülmektedir. İkincisinde, pozitif yönde doğrusal bir ilişki vardır. Üçüncüsünde ise, herhangi bir ilişki fark edilmemektedir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemenin ilk adımı, bir serpmme grafiğine bakmaktır. Eğer değişkenler arasında bir ilişki görülüyorsa, bu ilişkinin gücünü sayısal olarak ölçmek için “korelasyon katsayısı” hesaplanmalıdır.

Bu katsayı, bir değişkende herhangi bir değişme olduğunda diğer değişkende ne kadar değişme olacağı hakkında bilgi verir. Yani, korelasyon katsayısı büyükse, bir değişkendeki artma ve azalmalar diğer değişkende de artma ve azalmalara neden olur. Değişkenler arasında ve/veya değişkenlerle çevre şartları arasında korelasyonun varlığı ve derecesi korelasyon katsayısı (r) olarak kabul edilir. Korelasyon katsayısı 1 ile -1 arasında değişir, dolayısıyla ondalık olarak belirtilen bir değerdir.

5.4 Güçlendirme Maliyetine Etki Eden Parametrelerin Tesir Nispetinin Belirlenmesi

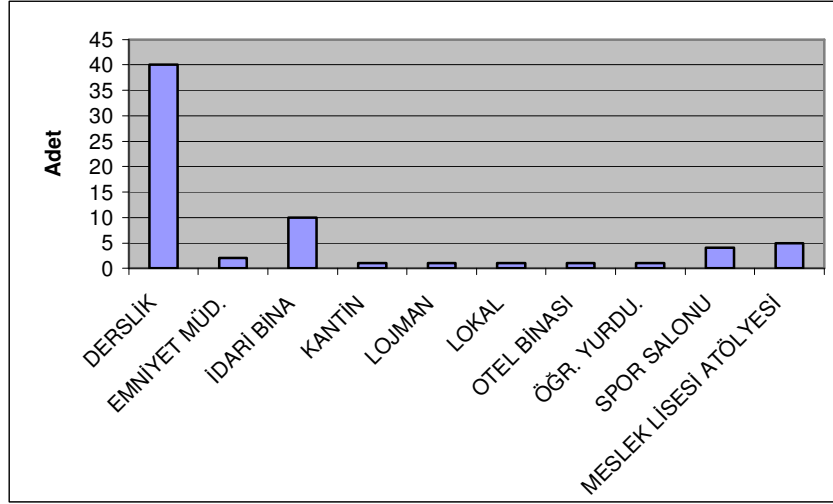
Bir binanın güçlendirilmesine veya yıkılıp yeniden inşa edilmesine karar verilirken “maliyet” temel parametre olarak dikkate alınabilir. Buna göre kırma ve sökme imalat kalemleri ile birlikte güçlendirme projeleri esas alınarak güçlendirmenin tahmini bedeli hesaplanmalıdır. Aynı zamanda incelenen yapının yıkılıp yeniden inşa edilme maliyeti de yaklaşık olarak hesaplanmalıdır. Maliyet hesaplarında ilgili yıla ait Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyatları, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı listelerinde bulunmayan imalatlar için ise diğer kamu kurum ve kuruluşları ile piyasa fiyatları esas alınabilir. Nihayetinde “güçlendirme maliyeti” ile “yıkıp yeniden inşa etme maliyeti” kıyaslanarak öngörülen oranın altında kalması halinde yapının güçlendirilmesine, aksi halde yapının yıkılıp yeniden inşa edilmesine karar verilmelidir. Ülkemizin ekonomik koşullarına göre; binanın özelliklerine göre bir yapının güçlendirme maliyetinin, yıkıp yeniden inşa etme maliyetine oranının %40-60 değerlerini aşması halinde, yapının yıkılıp yeniden yapılmasının daha uygun bir seçenek olacağı yaygın olarak kabul görmektedir. %40 ile %60 arasında olan bu değerlerden, yapının önem derecesinin yüksek olması (hastane, enerji ve haberleşme

tesisleri, kamu yönetim binaları, okullar ve benzeri...) halinde düşük olanları, önem derecesi düşük olması (konutlar, bürolar ve benzeri...) halinde ise yüksek olanları dikkate alınmaktadır. Ayrıca, her yapının kendine has bir kısım özellikleri mevcuttur. Dolayısıyla, her bir yapının özellikleri de dikkate alınarak kapsamlı değerlendirilmeler yapıldıktan sonra nihai kararın verilmesi gerekmektedir (Nuhoğlu ve ark. 2009).

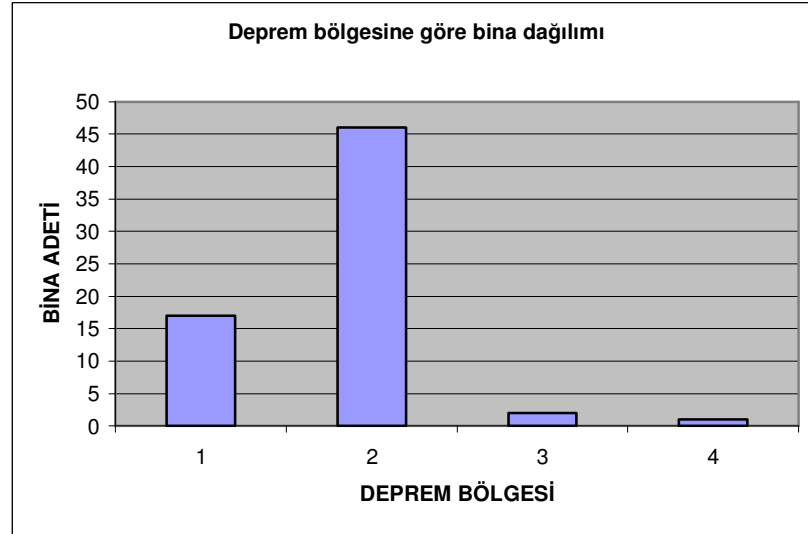
Bu çalışmada, güçlendirme birim maliyetini tahmin etmek ve yukarıda belirtilen oranın kolayca hesaplanmasını sağlamak üzere SPSS 15 paket programı ile yapılan analiz için bölüm 5.1'de ifade edilen parametreler (deprem bölgesi, bina önem katsayısı (yapı vasfı), zemin tipi, bina temel tipi, bina yaşı, mevcut beton ve donatı dayanımları, mevcut taşıyıcı sistemde perde olup olmaması, bina kat adedi ve bina toplam alanı) ile elde edilmiş değişik yıllara ilişkin veriler TEFE ve TÜFE oranları ile 2009 yılına güncellenmiş ve SPSS 15 (Statistical Package for Social Sciences) paket programı ile çoklu lineer regresyon analizi yapılmıştır. Modele alınan değişkenlere aşağıda yer verilmiştir:

- 1- Bina önem katsayısı
- 2- Etkin yer ivmesi katsayısı
- 3- Zemin tipi
- 4- Temel tipi
- 5- Mevcut beton dayanımı
- 6- Mevcut donatı dayanımı
- 7- Mevcut taşıyıcı sistem perde durumu
- 8- Toplam kat adedi
- 9- Bina yaşı
- 10- Bina toplam alanı

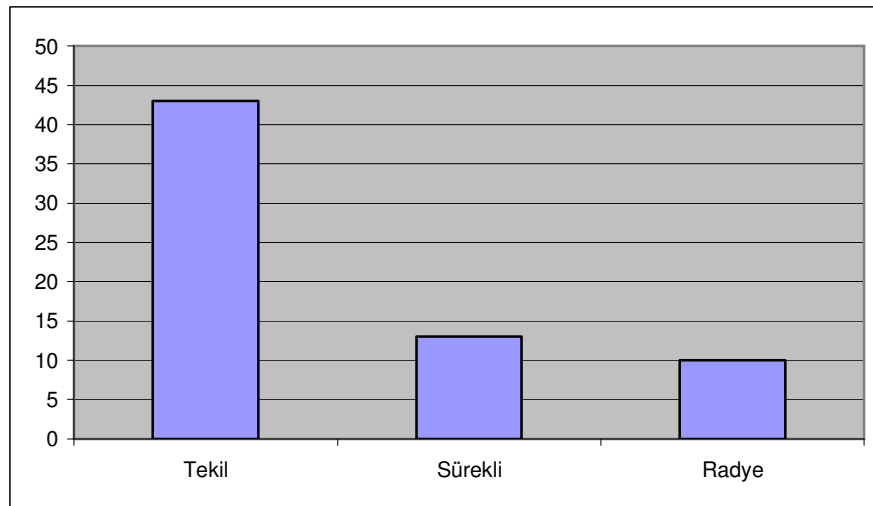
Mevcut veri tabanının dağılımına ilişkin bilgilere yer verilmiştir.



Şekil 5.4 Yapı fonksiyonuna göre bina dağılımı.



Şekil 5.5 Deprem bölgesine göre bina dağılımı.



Şekil 5.6 Temel tiplerine göre bina dağılımı.

Mevcut veri tabanı ile yapılan analiz sonucu yukarıdaki dokuz değişken modele birlikte alınmak suretiyle oluşan modelin matematiksel kalıbı aşağıda sunulmuştur.

Tablo 5.5 SPSS paket programı ile yapılan analiz sonucu.

Modelde Yer Alan Parametreler	Parametrelere İlişkin Katsayılar
Sabit Sayı	131,09
Bina Yaşı (BY)	1,63
Etkin yer ivmesi katsayısı (Ao)	193,40
Mevcut Beton Dayanımı (MBD) (MPA)	-0,75
Temel Tipi (TT)	45,04
Toplam Kat Adedi (TKA)	-18,38

Buna göre modelin matematiksel kalıbı aşağıda verilmiştir:

$$\text{Güçlendirme Birim Maliyeti} = 131,09 - 1,63 \cdot \text{BY} + 193,40 \cdot \text{Ao} - 0,75 \cdot \text{MBD} + 45,04 \cdot \text{TT} - 18,38 \cdot \text{TKA} \quad (5.11)$$

Model örnek olarak yorumlanırsa; 1975 yılında yapılmış, birinci derece deprem bölgesinde (etkin yer ivmesi katsayısı: 0,4), mevcut beton dayanımı 10 MPA, temel tipi tekil temel olan ve 5 katlı bir binanın m2 başına güçlendirme birim maliyeti;

Güçlendirme Birim Maliyeti = $131,09 - 1,63 \cdot 1975 + 193,40 \cdot 0,4 - 0,75 \cdot 10 + 45,04 \cdot 1,5 - 18,38 \cdot 5 = 233,66$ - TL/m² olarak tahmin edilecektir.

Görüldüğü üzere, etkin yer ivmesi ile temel tipi güçlendirme birim maliyetini pozitif yönde etkilerken, bina yaşı, mevcut beton dayanımı ve bina toplam kat sayısı güçlendirme birim maliyetini negatif yönde etkilemektedir. Mevcut beton dayanımının katsayısı ile bina yaşı katsayıları diğer değişkenlere göre daha küçüktür. Bu da güçlendirme maliyetine görece daha az etkisinin olduğu sonucunu göstermektedir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmamızda mevcut binaların deprem performansını olumsuz etkileyen faktörler istatistiksel olarak incelenmiştir. Binanın deprem bölgesi, zemin tipi, bina temel tipi, bina yaşı, mevcut beton ve donatı dayanımları, mevcut taşıyıcı sistemde perde olup olmaması, bina kat adedi, faktörleri ile birlikte yumuşak kat ve kısa kolon düzensizlikleri gibi problemlerin de bina performansına etki etmekle birlikte, aynı zamanda mevcut binaların depreme karşı güçlendirme maliyetlerinde etkin rol aldığı görülmüştür.

Mevcut veri tabanında binaların çalışmamızda göz önünde bulundurulmayan diğer özellikleri ile ilgili kısıtlı miktarda bilgi bulunması ve kapsamlı bir değerlendirme yapmaya ihtiyaç duyulmadan mevcut bir binanın güçlendirme maliyetinin kolayca tahmin edilebilmesi için bu çalışmamızda göz önünde bulundurulan parametrelerin kolay temin edilebilir olmasına özen gösterilmiştir.

Bu çalışmada kabul edilen temel varsayım, taban kesme kuvveti ile güçlendirme maliyeti arasında doğrusal bir ilişki olduğudur.

Güçlendirme maliyetleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Sosyal Güvenlik Kurumu İnşaat ve Emlak Daire Başkanlığından temin edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralamıştır:

- Bu çalışmada, bina güçlendirme maliyetlerine etki eden parametreler incelenmiş ve güçlendirme yapmadan güçlendirmenin maliyetli olup olmayacağını eldeki birkaç veri ile tahmin etmeye yönelik bir sistemin altyapısının kurulması amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle daha önce güçlendirme ile ilgili literatür taranmıştır. Mevcut binaların deprem performansını olumsuz yönde etkileyen faktörler yani yapıların güçlendirilmesi ihtiyacını doğuran sebepler, deprem performans belirleme

yöntemleri ve mevcut binaların **güçlendirme maliyetine etki eden parametreler ve bunların tesir nispetleri çoklu lineer regresyon yöntemi SPSS 15 paket programı ile incelenmiştir**. Analize giren parametrelerden bina yaşı, deprem bölgesi (etkin yer ivmesi katsayısı), mevcut beton dayanımı, temel tipi ile toplam kat adedinin m² başına güçlendirme birim maliyetini tahmin etmede kullanılacak parametreler olduğu gözlenmiştir.

- Bu tez kapsamında yapılan çalışmada, verilerin sınırlı olması nedeniyle optimum bir regresyon denkleminin elde edilmesi için daha önce güçlendirme çalışması yapılmış binalara ait verilerin artırılması ile daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Özellikle farklı firmalardan elde edilecek veriler ile güçlendirme maliyetlerinin tahmin edilmesinde daha rasyonel sonuçlara ulaşılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKÇA

- Altın, S., Anıl, Ö., Kara, & M.E. (2007). Strengthening of RC nonductile frames with RC infills: An experimental study. *Cement & Concrete Composites*, vol. 30, iss. 7, 612-621.
- Applied Technology Council, (1996). *ATC 40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings* (V.1). Washington DC.
- Applied Technology Council, (2004). *ATC-21-T: Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards training manual*. California.
- Bailey, J. and Allen, E., (1991). Seismic isolation retrofitting of the Salt Lake City and County Building, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 127, 367-374
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1975). *Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY)*.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1998). *Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik (ABYYHY)*.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2007) *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY)*.
- Betonarme manto ile güçlendirilen bir kolon.* 05/07/2010.
<http://www.yapiguclendirme.com/kolonguclendirme.html>.
- Blalock, H. M. (1987). *Social statistiics* (7th ed.). NY: McGraw-Hill.
- Boylu, M., (2005). *A benefit/cost analysis for the seismic rehabilitation of existing reinforced concrete buildings in İzmir*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Canbay, E., Ersoy, U., & Özcebe, G., (2003). Contribution of reinforced concrete infills to seismic behavior of structural systems. *ACI Structural Journal*, 100, (5), 637-643.
- Cen (1998). *Eurocode 8: Design of Structure for earthquake resistance- Part 3: Strengthening and repair of buildings*.
- Çağatay, İ. H., (2007) Binalarda Kısa Kolona Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, 11/06/2010, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/2641.pdf>.
- Çokcan, B. ve Çokcan S. B., (2003), *Deprem ile Yaşamak.*, İstanbul: Dünya Yayıncılık.
- Di Sarno, L., Manfredi, G. & Acanfora, M., (2009). Design Approach for the Seismic Strengthening of an Existing RC Building with Buckling Restrained Braces. *Journal of Constructional Steel Research*. Vol. 65, 452-465.
- Ekiz, İ., Koçak, A., ve Doğramacı, N., (2003). Depremde hasar gören yapıların onarım ve/veya güçlendirme maliyetlerinin toplam bina maliyetleri ile karşılaştırılması. *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- Erdem, I., Akyüz, U., Ersoy, U., & Özcebe, G., (2006). An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames. *Engineering Structures*, 28, 1843-1851.
- Erdem, M. F., (2008). *Perde duvar ve betonarme mantolama yöntemleriyle güçlendirilen binalarda güçlendirme maliyetinin incelenmesi; Akşehir ihl örneği*, Yüksek lisans tezi. Gazi üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü.
- Ergün, M. (1995). *Bilimsel araştırmalarda bilgisayarla istatistik uygulamaları: SPSS for Windows*. Ankara: Ocak yayınları (eğitim dizisi: 2).

Ersoy, U., (2002), Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesinde ODTÜ Yaklaşımı Deneysel Araştırmalar ve Uygulamalar. *Prof. Dr. Kemal ÖZDEN'i anma semineri, Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Alanında Gelişmeler.* İ.T.Ü. İstanbul,

Ersoy, U., (2007). Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi uygulama ve araştırmalar. *Altıncı ulusal deprem mühendisliği konferansı,* İstanbul.

Federal Emergency Management Agency, (1997). *FEMA 273: NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings.* Washington DC.

Federal Emergency Management Agency, (2000), *FEMA 356: prestandart and commentary for the seismic rehabilitation of buildings.* Washington DC.

Federal Emergency Management Agency, (1999), *FEMA 287: HAZUS: The FEMA Tool for Estimating Earthquake Losses,* Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Federal Emergency Management Agency, (1994), *FEMA 74- Ramp: Reducing the Risk of Non-structural Earthquake Damage: A Practical Guide,* Washington, D.C.

Grace, N. F., Sayed, G. A., Soliman, A. K. & Saleh, K. R., (1999). Strengthening reinforced concrete beams using fiber reinforced polymer (FRP) laminates, *ACI Structural Journal*, Title No. 96-S95.

Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüçemen, M.S., Doyuran, V. ve Başöz V., (1993). *En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası.* Rapor no: METU/EERC 93-01, Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, 156 s.

Gürsakal, N., (1998). *Bilgisayar uygulamalı istatistik-II.* Bursa: Marmara Kitapevi Yayınları.

- Hassan, A. F. & Sozen, M. A., (1997). Seismic vulnerability assessment of low-rise buildings in regions with infrequent earthquakes. *ACI Journal*, Vol. 94, No. 1.
- Head, P. R. (1999). Advanced composites in Civil engineering - a critical review, advanced composite materials in bridges and structures. *Proceedings of second international conference*, Quebec, Canada.
- Jeff Guh, T. & Altoontash, A., (2006). Seismic retrofit of historic building structures, *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, California, USA, Paper No. 1565.
- Kamiński M. & Trapko T., (2006). Experimental behavior of reinforced concrete column models strengthened by CFRP materials. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. XII, No 2, 109–115.
- Kutsal A, Muluk C. F. (1972). *Uygulamalı Temel İstatistik*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Matbaası, s. 73, 126.
- Nuhoğlu, A., Arısoy, B., Taşçı R., (2009). İzmir'deki okulların yapısal özelliklerinin araştırılması ve deprem davranışlarının değerlendirilmesi. *İzmir afet riskini azaltma sempozyumu*, İzmir.
- Moehle, J.P., (2000). State of research on seismic retrofit of concrete building structures in the US. *US-Japan symposium and workshop on seismic retrofit of concrete structures - State of research and practice*. USA, 16 p.
- Mısırlı, S., Özçelik, Ö., ve Kahraman, S., (2009). Kolon-kiriş birleşimlerinin davranışlarının değerlendirilmesi ve konu üzerine yürütülen deneysel çalışmalar. *İMO İzmir şubesi haber bülteni*, Yıl: 24, Sayı: 146.

Özmen, B., Nurlu, M. ve Güler H., (1997). *Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi*. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.

Technical Characteristics of Friction Pendulum Bearings, (2003). 11 Haziran 2010, <http://www.earthquakeprotection.com/product2.html>.

Rahai, A.R., & Alinia, M.M., (2007). Performance evaluation and strengthening of concrete structures with composite bracing members. *Construction and Building Materials*, Vol. 22, iss. 10, 2100-2110.

Taguchi, F., Kurihashi, Y., Mikami, H.& Kishi, N., (2004). Development of strengthening system for rc members using afrp mesh combined with high ductility shotcrete, *Proceedings of the 4th CONSEC*, Seoul, Korea, pp.1697-1704.

Tomaževic, M., Klemenc, I & Weiss, P., (2009). Seismic upgrading of old masonry buildings by seismic isolation and CFRP laminates: a shaking-table study of reduced scale models. *Bull Earthquake Eng* 7:293–321.

Şahan, E.,. (2009) *Yerel yönetimlerin afet zararlarını azaltmaya yönelik zemin araştırmalarına bakışı nasıl olmalı?*. 11/04/2010
<http://www.erdalsahan.com/etiket/demiryolu>.

Sezer, F., Gençoğlu, M. ve Celep, Z., (2007). Betonarme binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde deprem yönetmeliği 2007 de kurallarına örnekle kıyaslamalı bir bakış. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.

Simon F., Nove N. and Moe C., (2002). Seismic risk reduction of existing buildings, *Public Works and Government Services*, Quebec, CANADA.

Türkiye'nin deprem gerçeği değerlendirmeleri, 11/04/2010,

<http://www.imoistanbul.org.tr/TurkiyeninDepremGercegi.pdf>.

Uğur, L. O., (2007), *Yapı maliyetinin yapay sinir ağı ile analizi*. Doktora tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uygun, G. ve Celep, Z., (2007). Betonarme bir binanın deprem güvenliğinin deprem yönetmeliği (2007)'deki doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle karşılaştırmalı incelenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.

Yanmaz Ö., ve Luş H., (2005). Yapı güçlendirme yöntemlerinin fayda-maliyet analizi. *TMMOB Chamber of Civil Engineers Technical Journal*, 16, 2, 3497-3522.

Yücemen M. S., (2006). Seismic vulnerability assessment based on modified diskriminant analysis. *4th International Conference On Earthquake Engineering*, Taipei, Taiwan.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L. & Ye K. (1998). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists* (6 th ed.). New Jersey: Prentice Hall Inc. 739 pp.

EKLER

1: SPSS paket programı ile yapılan analiz sonucu.

Model Summary						
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate		
1	,596(a)	,355	,302	64,094643		
a. Predictors: (Constant), Toplam Kat Adedi (TKA), Bina Yaşı, Etkin Yer İvmesi Katsayısı (Ao), Mevcut Beton Dayanımı (MPA), Temel Tipi (TT)						
ANOVA(a)						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	135861,153	5	27172,231	6,614	,000(b)
	Residual	246487,399	60	4108,123		
	Total	382348,552	65			
a. Dependent Variable: Güçlendirme Birim Maliyet (GBM)						
b. Predictors: (Constant), Toplam Kat Adedi (TKA), Bina Yaşı, Etkin Yer İvmesi Katsayısı (Ao), Mevcut Beton Dayanımı (MPA), Temel Tipi (TT)						
Coefficients(a)						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	131,058	95,463		1,373	,175
	Bina Yaşı	1,628	,540	,319	3,015	,004
	Etkin Yer İvmesi Katsayısı (Ao)	193,403	145,469	,141	1,330	,189
	Mevcut Beton Dayanımı (MPA)	-,746	1,771	-,046	-,421	,675
	Temel Tipi (TT)	45,041	45,478	,110	,990	,326
	Toplam Kat Adedi (TKA)	-18,375	4,694	-,451	3,915	,000
a. Dependent Variable: Güçlendirme Birim Maliyet (GBM)						

2: Çoklu lineer regresyon analizinde kullanılan veriler.

Sıra No	Yapı Bilgisi	Yapı Fonksiyonu	Adresi	Yapı Çeşidi	Bina Önem Katsayısı	Deprem Bölgesi	Bina Yaşı	Zemin Tipi	Temel Tipi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Çelik Dayanımı (MPa)	Perde Durumu	Güç. Beton Dayanımı (MPa)	Güç. Çelik Dayanımı (MPa)	Kat Adedi	Bina Toplam Alanı (m ²)	Bina Güç. Maliyeti (TL)	Güç. Birim Maliyet (m ² /TL)	Proje Yılı
1	Hadımköy İ.Ö.O.	DERSLİK	Arnavutköy / İstanbul	BA	1,4	3	16	Z2	TEKİL	6	420	VAR	25	420	4	3.477	647.699,15	186,28	2009
2	Avcılar End Mes L A1 B1	SPOR SALONU	Avcılar / İstanbul	BA	1,2	1	27	Z2	TEKİL	11	220	YOK	25	420	3	2.911	689.735,85	236,97	2009
3	Avcılar End Mes L B1 B1	DERSLİK	Avcılar / İstanbul	BA	1,4	1	27	Z2	SÜREKLİ	7	220	YOK	25	420	3	3.685	575.923,05	156,28	2009
4	Avcılar End Mes L D B1 (Lojman)	LOJMAN	Avcılar / İstanbul	BA	1,4	1	27	Z2	SÜREKLİ	9	220	YOK	25	420	5	1.595	463.522,96	290,68	2009
5	Emlak Konut İ.Ö.O.	DERSLİK	Bahçelievler / İstanbul	BA	1,4	2	20	Z2	TEKİL	7	420	VAR	25	420	3	1.733	456.724,58	263,48	2009
6	Hazım Ersu İ.Ö.O.	DERSLİK	Bahçelievler / İstanbul	BA	1,4	2	12	Z2	TEKİL	16	420	VAR	25	420	4	7.533	1.079.106,56	143,25	2009
7	Türkiye Gazetesi Tic. Mes. Lis. ve Ana. T.M.L	DERSLİK	Bahçelievler / İstanbul	BA	1,4	2	20	Z2	TEKİL	20	420	VAR	25	420	4	3.071	701.130,68	228,32	2009
8	Zaferler İ.Ö.O.	DERSLİK	Bahçelievler / İstanbul	BA	1,4	2	14	Z2	TEKİL	21	420	VAR	25	420	4	3.424	589.255,59	172,09	2009
9	Gazi İ.Ö.O.	DERSLİK	Bakırköy / İstanbul	BA	1,4	1	14	Z2	TEKİL	8	420	VAR	25	420	2	2.478	451.224,89	182,09	2009
10	Mimar Sinan İ.Ö.O.	DERSLİK	Bakırköy / İstanbul	BA	1,4	1	19	Z2	SÜREKLİ	18	420	VAR	25	420	2	2.693	424.993,62	157,79	2009
11	Şenlikköy İ.Ö.O.	DERSLİK	Bakırköy / İstanbul	BA	1,4	1	12	Z2	TEKİL	17	420	YOK	25	420	3	1.800	374.630,15	208,14	2009

Sıra No	Yapı Bilgisi	Yapı Fonksiyonu	Adresi	Yapı Çeşidi	Bina Önem Katsayısı	Deprem Bölgesi	Bina Yaşı	Zemin Tipi	Temel Tipi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Çelik Dayanımı (MPa)	Perde Durumu	Güç. Beton Dayanımı (MPa)	Güç. Çelik Dayanımı (MPa)	Kat Adedi	Bina Toplam Alanı (m ²)	Bina Güç. Maliyeti (TL)	Güç. Birim Maliyet (m ² /TL)	Proje Yılı
12	Sabit Büyükbayrak Lis	DERSLİK	Bayrampaşa / İstanbul	BA	1,4	2	18	Z2	TEKİL	8	220	VAR	25	420	4	3.310	576.408,18	174,15	2009
13	Tuna Lisesi	DERSLİK	Bayrampaşa / İstanbul	BA	1,4	2	13	Z2	TEKİL	14	220	VAR	25	420	4	5.804	926.998,21	159,71	2009
14	100.Yıl M.Kemal İlköğretim	DERSLİK	Beşiktaş / İstanbul	BA	1,4	2	30	Z2	SÜREKLİ	9	220	VAR	25	420	3	1.828	474.299,50	259,53	2009
15	Etiler Ana. Otelcilik ve Tur. Mes L A1 B1	OTEL BİNASI	Beşiktaş / İstanbul	BA	1,4	2	43	Z2	TEKİL	9	220	VAR	25	420	5	9.813	2.081.117,72	212,07	2009
16	Namık Kemal İ.Ö.O. A B1	DERSLİK	Beyoğlu / İstanbul	BA	1,4	2	77	Z2	TEKİL	13	220	YOK	25	420	5	4.935	1.277.464,58	258,86	2009
17	Sururi İ.Ö.O. A B1	DERSLİK	Beyoğlu / İstanbul	BA	1,4	2	82	Z2	SÜREKLİ	14	220	YOK	25	420	3	2.070	666.713,21	322,16	2009
18	Çatalca İmam Hatip Lis ve Ana. İmam Hatip Lis	DERSLİK	Çatalca / İstanbul	BA	1,4	2	33	Z2	SÜREKLİ	12	220	VAR	25	420	4	1.716	371.717,52	216,62	2009
19	Gökçeali Sevgi-Altan Şanda İÖO A B1 (Okul)	DERSLİK	Çatalca / İstanbul	BA	1,4	2	15	Z2	SÜREKLİ	7	220	VAR	25	420	3	1.638	284.398,51	173,64	2009
20	Mehmet Akif Ersoy İ.Ö.O.	DERSLİK	Çatalca / İstanbul	BA	1,4	2	18	Z2	TEKİL	10	220	VAR	25	420	4	3.356	582.332,65	173,5	2009

Sıra No	Yapı Bilgisi	Yapı Fonksiyonu	Adresi	Yapı Çeşidi	Bina Önem Katsayısı	Deprem Bölgesi	Bina Yaşı	Zemin Tipi	Temel Tipi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Çelik Dayanımı (MPa)	Perde Durumu	Güç. Beton Dayanımı (MPa)	Güç. Çelik Dayanımı (MPa)	Kat Adedi	Bina Toplam Alanı (m ²)	Bina Güç. Maliyeti (TL)	Güç. Birim Maliyet (m ² /TL)	Proje Yılı
21	Tacirler Eğitim Vakfı İ.Ö.O A1 B1	DERSLİK	Esenler / İstanbul	BA	1,4	2	13	Z2	TEKİL	9	420	VAR	25	420	3	3.478	655.764,78	188,56	2009
22	Altınııldız İ.Ö.O. A1 B1 (tek bina)	DERSLİK	Esenyurt / İstanbul	BA	1,4	2	14	Z2	TEKİL	18	420	VAR	25	420	2	5.262	811.048,80	154,14	2009
23	Akpınar İ.Ö.O. A B1	DERSLİK	Eyüp / İstanbul	BA	1,4	2	19	Z2	SÜREKLİ	8	220	VAR	25	420	4	1.678	399.399,20	238,08	2009
24	Atatürk İ.Ö.O. A1 B1	DERSLİK	Fatih / İstanbul	BA	1,4	1	58	Z2	TEKİL	11	220	YOK	25	420	3	2.511	721.021,35	287,17	2009
25	Çemberlitaş Ana. Lis (Kız Lis)	SPOR SALONU+K ONF. SALONU	Fatih / İstanbul	BA	1,4	1	16	Z3	TEKİL	24	220	YOK	25	420	3	1.616	407.745,52	252,34	2009
26	Davutpaşa Lis A1	DERSLİK	Fatih / İstanbul	BA	1,4	2	41	Z2	TEKİL	11	220	YOK	25	420	2	2.903	636.164,41	219,14	2009
27	Kadırğa İlköğretim Okulu - Spor Salonu	SPOR SALONU	Fatih / İstanbul	BA	1,4	1	59	Z3	TEKİL	9	220	YOK	25	420	2	1.175	496.297,13	422,38	2009
28	Mehmet Akif İ.Ö.O. B B1	DERSLİK	Fatih / İstanbul	BA	1,4	2	45	Z2	RADYE	13	220	YOK	25	420	4	1.856	452.322,10	243,68	2009
29	Adnan Menderes İ.Ö.O.	DERSLİK	GOP / İstanbul	BA	1,4	2	17	Z2	TEKİL	13	420	VAR	25	420	4	3.451	579.305,06	167,88	2009
30	Dumlupınar İ.Ö.O.	DERSLİK	GOP / İstanbul	BA	1,4	2	43	Z2	RADYE	12	220	YOK	25	420	3	2.337	647.390,59	277	2009

Sıra No	Yapı Bilgisi	Yapı Fonksiyonu	Adresi	Yapı Çeşidi	Bina Önem Katsayısı	Deprem Bölgesi	Bina Yaşı	Zemin Tipi	Temel Tipi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Çelik Dayanımı (MPa)	Perde Durumu	Güç. Beton Dayanımı (MPa)	Güç. Çelik Dayanımı (MPa)	Kat Adedi	Bina Toplam Alanı (m ²)	Bina Güç. Maliyeti (TL)	Güç. Birim Maliyet (m ² /TL)	Proje Yılı
31	Fahrettin Özüdoğru T.M.L. ve A.T.M.L A1 B1	DERSLİK	GOP / İstanbul	BA	1,4	2	15	Z1	TEKİL	6	220	YOK	25	420	4	3.169	808.339,53	255,08	2009
32	Gençosman İ.Ö.O.	DERSLİK	Güngören / İstanbul	BA	1,4	2	24	Z3	RADYE	7	220	VAR	25	420	3	1.575	479.076,67	304,16	2009
33	Güngören Ana. İ.H.L.	DERSLİK	Güngören / İstanbul	BA	1,4	2	19	Z3	TEKİL	10	220	YOK	25	420	6	3.398	829.522,53	244,13	2009
34	T.Azaphan And. İletişim ML ve And. TML A1 B1	İDARİ BİNA	Güngören / İstanbul	BA	1,4	2	13	Z2	SÜREKLİ	11	420	YOK	25	420	4	5.067	875.421,37	172,77	2009
35	E. Cevahir Ç.P.L. A1 B1	DERSLİK	Kağthane / İstanbul	BA	1,4	2	14	Z2	TEKİL	12	420	YOK	25	420	5	4.741	931.050,57	196,38	2009
36	Şair Yahya Kemal İ.Ö.O. A1 B1	DERSLİK	Kağthane / İstanbul	BA	1,4	2	49	Z2	TEKİL	10	220	VAR	25	420	3	2.846	762.422,14	267,87	2009
37	Zafer İ.Ö.O. A1 B1	DERSLİK	Kağthane / İstanbul	BA	1,4	2	46	Z2	TEKİL	8	220	YOK	25	420	2	1.997	623.698,64	312,29	2009
38	Abdülhakim Bilgili H.E.M ve A.S.O	DERSLİK	Küçük Çekmece / İstanbul	BA	1,4	1	14	Z2	TEKİL	22	420	VAR	25	420	3	590	235.661,39	399,68	2009
39	Halkalı Doğa İ.Ö.O. A1 B1	DERSLİK	Küçük Çekmece / İstanbul	BA	1,4	1	18	Z2	RADYE	18	420	YOK	25	420	2	4.743	924.361,40	194,89	2009

Sıra No	Yapı Bilgisi	Yapı Fonksiyonu	Adresi	Yapı Çeşidi	Bina Önem Katsayısı	Deprem Bölgesi	Bina Yaşı	Zemin Tipi	Temel Tipi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Çelik Dayanımı (MPa)	Perde Durumu	Güç. Beton Dayanımı (MPa)	Güç. Çelik Dayanımı (MPa)	Kat Adedi	Bina Toplam Alanı (m ²)	Bina Güç. Maliyeti (TL)	Güç. Birim Maliyet (m ² /TL)	Proje Yılı
40	Halkalı Güneş İ.Ö.O. A1 B1	DERSLİK	Küçük Çekmece / İstanbul	BA	1,4	1	18	Z3	RADYE	17	420	YOK	25	420	3	5.718	897.746,30	157,02	2009
41	Sarıyer Vehbi Koç Vakfı Lis A1 B1	DERSLİK	Sarıyer / İstanbul	BA	1,4	2	35	Z2	TEKİL	17	220	YOK	25	420	5	2.458	620.465,08	252,38	2009
42	Gümüşyaka H.Ahmet S.Ölçer İ.Ö.O.	DERSLİK	Silivri / İstanbul	BA	1,4	2	22	Z2	TEKİL	10	220	VAR	25	420	3	2.338	530.874,86	227,08	2009
43	Hacı Mehmet Çingil İ.Ö.O.	DERSLİK	Sultangazi / İstanbul	BA	1,4	2	15	Z1	SÜREKLİ	7	220	VAR	25	420	4	3.442	635.607,82	184,68	2009
44	Nişantaşı Nuri Akın Lis C1 B1	SPOR SALONU	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	31	Z1	TEKİL	18	420	YOK	25	420	2	1.320	262.993,99	199,19	2009
45	Şişli End Mes L B1 B1 Okul	DERSLİK	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	40	Z2	TEKİL	15	220	YOK	25	420	2	1.731	422.933,12	244,26	2009
46	Şişli End Mes L C1 B1 Motor	MOTOR ATÖLYESİ	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	26	Z2	TEKİL	9	220	YOK	25	420	1	2.245	673.356,54	299,95	2009
47	Şişli End Mes L F1 B1 Metal işleri	METAL İŞLERİ ATÖLYESİ	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	26	Z2	TEKİL	11	420	YOK	25	420	1	612	173.704,64	283,93	2009
48	Şişli End Mes L G B1 Otomotiv Boya Tek.	OTO. BOYA TEK.	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	26	Z2	TEKİL	19	220	YOK	25	420	1	1.188	310.334,02	261,18	2009

Sıra No	Yapı Bilgisi	Yapı Fonksiyonu	Adresi	Yapı Çeşidi	Bina Önem Katsayısı	Deprem Bölgesi	Bina Yaşı	Zemin Tipi	Temel Tipi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Çelik Dayanımı (MPa)	Perde Durumu	Güç. Beton Dayanımı (MPa)	Güç. Çelik Dayanımı (MPa)	Kat Adedi	Bina Toplam Alanı (m ²)	Bina Güç. Maliyeti (TL)	Güç. Birim Maliyet (m ² /TL)	Proje Yılı
49	Şişli End Mes L H BI Mercedes Lab.	MERCEDES LAB.	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	26	Z2	TEKİL	22	220	YOK	25	420	1	1.163	340.414,73	292,62	2009
50	Şişli End Mes L I BI Tofaş Lab.	TOFAŞ LAB.	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	26	Z2	TEKİL	22	220	YOK	25	420	1	1.163	368.321,57	316,61	2009
51	Şişli End Mes L J BI Kantin.	KANTİN	Şişli / İstanbul	BA	1,4	2	26	Z2	TEKİL	17	220	YOK	25	420	1	520	156.200,92	300,59	2009
52	Bağcılar İlçe Emniyet Müd Ve Polis Merkezi Amirliği	EMNİYET MÜD.	Bağcılar / İstanbul	BA	1	2	18	Z2	TEKİL	18	420	VAR	25	420	5	3.179	731.930,92	230,24	2009
53	Eyüp İlçe Emniyet Müd Hiz Binası	EMNİYET MÜD.+LOJMAN	Eyüp / İstanbul	BA	1	2	26	Z1	SÜREKLİ	6	220	VAR	25	420	6	2.204	902.254,84	409,35	2009
54	Baltalimanı Polis Moral Eğitim Merkezi	LOKAL	Sarıyer / İstanbul	BA	1	2	14	Z2	TEKİL	12	420	YOK	25	420	4	1.886	551.083,50	292,2	2009
55	Marmara Üniversitesi Özmen Aktar Kız Yurdu	ÖĞR. YURDU.	Kadıköy / İstanbul	BA	1	1	17	Z3	TEKİL	6	420	VAR	25	420	6	3.200	631.750,75	197,42	2009
56	Tire Kutsan Lisesi	DERSLİK	Tire/İZMİR	BA	1,4	1	12	Z3	SÜREKLİ	14	220	YOK	30	420	4	5600	1.167.386,60	208,46	2008
57	Karşıyaka Şemikler Lisesi	DERSLİK	Karşıyaka/İzmir	BA	1,4	1	45	Z4	SÜREKLİ	12	220	VAR	32	420	4	2980	769.399,40	258,19	2008

Sıra No	Yapı Bilgisi	Yapı Fonksiyonu	Adresi	Yapı Çeşidi	Bina Önem Katsayısı	Deprem Bölgesi	Bina Yaşı	Zemin Tipi	Temel Tipi	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Mevcut Donatı Çelik Dayanımı (MPa)	Perde Durumu	Güç. Beton Dayanımı (MPa)	Güç. Çelik Dayanımı (MPa)	Kat Adedi	Bina Toplam Alanı (m ²)	Bina Güç. Maliyeti (TL)	Güç. Birim Maliyet (m ² /TL)	Proje Yılı
58	ADANA BAĞKUR	İDARİ BİNA	ADANA	BA	1	2	33	Z3	RADYE	13	220	YOK	20	420	7	1596	198.532,19	124,39	2008
59	ADIYAMAN BAĞKUR	İDARİ BİNA	Adıyaman	BA	1	2	17	Z3	TEKİL	4	220	YOK	20	420	6	960	133.507,43	139,07	2008
60	DİYARBAKIR SGK İl Müd.	İDARİ BİNA	Diyarbakır	BA	1	2	37	Z2	TEKİL	9	220	YOK	20	420	5	3881	415.430,66	107,04	2008
61	MERSİN BAĞKUR	İDARİ BİNA	Mersin	BA	1	3	36	Z3	TEKİL	10	220	YOK	20	420	8	3563	457.427,29	128,38	2008
62	HATAY BAĞKUR	İDARİ BİNA	Hatay	BA	1	4	45	Z4	RADYE	11	220	YOK	20	420	5	1544	115.507,48	74,81	2008
63	ESKİŞEHİR SGK İl Müd	İDARİ BİNA	Eskişehir	BA	1	2	26	Z2	RADYE	13	220	YOK	20	420	11	15784	718.672,84	45,53	2008
64	ADANA SGK	İDARİ BİNA	Seyhan	BA	1	2	34	Z3	RADYE	11	220	YOK	20	420	8	4896	728.430,79	148,78	2008
65	MUĞLA SGK İl Müd.	İDARİ BİNA	Muğla	BA	1	1	21	Z2	TEKİL	11	420	YOK	20	420	6	9247	231.387,85	25,02	2008
66	İZMİR SGK İl Müd.	İDARİ BİNA	Konak	BA	1	1	36	Z4	RADYE	8	220	YOK	20	420	7	5061	826.547,15	163,32	2008

NOT: 1) 2008 yılı verileri güncellenirken 1,063 değeri kullanılmıştır.

2) Güçlendirmeye ilişkin veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Sosyal Güvenlik Kurumu İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığından alınmıştır.