

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE
BOYUTLANDIRILMIŞ BİR YAPININ DEPREM
PERFORMANSI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Hamza KOCAÖZ**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

**2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE
BOYUTLANDIRILMIŞ BİR YAPININ DEPREM
PERFORMANSI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Hamza KOCAÖZ
501061054**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Konuralp GİRĞİN
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Engin ORAKDÖĞEN
Doç.Dr. Oğuz Cem ÇELİK**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılan bir betonarme yapının 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle performansının belirlenmesine yönelik incelemeler yer almaktadır.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca yardım, destek ve özverisini esirgemeyen, meslek hayatıma bakış açımın genişlemesine önemli katkıda bulunan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Konuralp GİRGIN' e ve üzerimde emeği bulunan tüm öğretim üyelerine ilgi ve yardımlarından dolayı en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam sırasındaki yardımlarından dolayı İnş. Müh. Orkun GÖRGÜLÜ' ye ve diğer değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, bu günlere ulaşmamı sağlayan, maddi manevi her türlü desteği fazlasıyla sağlayan aileme ve bu yoğun çalışma süresinde anlayışından ve desteğinden dolayı nişanlım Özlem KOYUNCU' ya teşekkürlerimi sunarım.

MAYIS 2008

İnş. Müh. Hamza KOCAÖZ

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-------------|
| KISALTMALAR | v |
| TABLO LİSTESİ | vi |
| ŞEKİL LİSTESİ | vii |
| SEMBOL LİSTESİ | viii |
| ÖZET | x |
| SUMMARY | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Konu | 1 |
| 1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar | 2 |
| 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı | 3 |
| 2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME | 4 |
| 2.1. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri | 4 |
| 2.1.1. Kesit hasar sınırları | 5 |
| 2.1.2. Kesit hasar bölgeleri | 5 |
| 2.2. Bina Deprem Performans Seviyeleri | 6 |
| 2.2.1. Hemen kullanım performans düzeyi | 6 |
| 2.2.2. Can güvenliği performans düzeyi | 6 |
| 2.2.3. Göçme öncesi performans düzeyi | 7 |
| 2.2.4. Göçme durumu | 8 |
| 2.3. Deprem Performansı Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri | 8 |
| 2.4. Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri | 9 |
| 2.5. Depremde Bina Performansının Belirlenmesi | 9 |
| 2.5.1. Doğrusal elastik hesap yöntemleri | 10 |
| 2.5.1.1. Yöntemin esasları | 10 |
| 2.5.1.2. Eşdeğer deprem yükü yöntemi | 10 |
| 2.5.1.3. Mod birleştirme yöntemi | 10 |
| 2.5.1.4. Yapı elemanlarındaki hasar sınırlarının sayısal değerlerinin belirlenmesi | 10 |
| 2.5.1.5. Betonarme elemanların etki/kapasite oranlarının sınır değerleri | 11 |
| 2.5.1.6. Göreli kat ötelenmeleri kontrolü | 12 |
| 2.5.2. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri | 13 |
| 2.5.2.1. Yöntemin esasları | 13 |
| 2.5.2.2. Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 2.5.2.3. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi | 16 |
| 2.5.2.4. Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi | 21 |
| 2.5.2.5. Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri | 22 |
| 3. HESAPTA İZLENEN YOL | 23 |
| 3.1. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi | 23 |
| 4. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL İNCELEMELER | 27 |
| 4.1. Yapı Sisteminin Boyutlandırılması | 27 |
| 4.1.1. Malzeme özellikleri | 29 |
| 4.1.2. Deprem karakteristikleri | 29 |
| 4.1.3. Boyutlandırmada esas alınan yükler | 30 |
| 4.1.4. Analiz ve boyutlandırma | 30 |
| 4.2. Yapının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemine Göre Deprem Performansının Belirlenmesi | 32 |
| 4.2.1. Performans değerlendirmesi | 33 |
| 4.3. Yapının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemine Göre Deprem Performansının Belirlenmesi | 33 |
| 4.3.1. Performans değerlendirmesi | 40 |
| 5. SONUÇLAR | 41 |
| KAYNAKLAR | 42 |
| ÖZGEÇMİŞ | 44 |

KISALTMALAR

| | |
|----------------------|--|
| 2007 TDY | : 2007 Türk Deprem Yönetmeliği |
| ASCE | : American Society of Civil Engineers |
| ATC | : Applied Technology Council |
| ATC 40 | : Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings |
| BSSC | : Building Seismic Safety Council |
| CG | : Can Güvenliği |
| EERC-UCB | : Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley |
| FEMA | : Federal Emergency Management Agency |
| FEMA 273, 356 | : NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings |
| GÇ | : Göçme Sınırı |
| GÖ | : Göçmenin Önlenmesi |
| GV | : Güvenlik Sınırı |
| HK | : Hemen Kullanım |
| MN | : Minimum Hasar Sınırı |
| NEHRP | : National Earthquake Hazards Reduction Program |
| SAP | : Integrated Software for Structural Analysis and Design |
| TS-500 | : Betonarme Yapıların Yapım ve Tasarım Kuralları |

TABLO LİSTESİ

| <u>Sayfa No</u> | | |
|-------------------|---|----|
| Tablo 2.1 | Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri..... | 9 |
| Tablo 2.2 | Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s) | 11 |
| Tablo 2.3 | Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s) | 12 |
| Tablo 2.4 | Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s) | 12 |
| Tablo 2.5 | Görelî Kat Ötelenmeleri Sınırları..... | 12 |
| Tablo 4.1 | Kiriş Enkesit Boyutları..... | 29 |
| Tablo 4.2 | Kolon Enkesit Boyutları..... | 29 |
| Tablo 4.3 | Yapıya Etkiyen Deprem Yükleri..... | 30 |
| Tablo 4.4 | Kolon Boyuna Donatıları..... | 30 |
| Tablo 4.5 | Çerçeve Kiriş Donatıları | 31 |
| Tablo 4.6 | Kiriş ve Kolon Hasar Yüzdeleri..... | 32 |
| Tablo 4.7 | Kolon Kesme Kuvveti Dağılımı..... | 32 |
| Tablo 4.8 | Görelî Kat Ötelenmelerine Göre Hasar Değerlendirmesi..... | 33 |
| Tablo 4.9 | Kolonlar İçin Etkin Eğilme Rijitlikleri..... | 35 |
| Tablo 4.10 | Etkin Modal Kütle..... | 35 |
| Tablo 4.11 | Tepe Noktası Genliği..... | 36 |
| Tablo 4.12 | Etkin Kütle ve Modal Katkı Çarpanının Belirlenmesi..... | 37 |
| Tablo 4.13 | Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri..... | 39 |
| Tablo 4.14 | Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri..... | 40 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 2.1 : Hasar bölgeleri..... | 5 |
| Şekil 2.2 : Eğilme momenti- plastik dönme bağıntıları | 16 |
| Şekil 2.3 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$)..... | 19 |
| Şekil 2.4 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)..... | 20 |
| Şekil 2.5 : Performans noktasının belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)..... | 21 |
| Şekil 4.1 : Tipik döşeme kalıp planı şeması..... | 28 |
| Şekil 4.2 : Çerçeve düşey enkesiti..... | 28 |
| Şekil 4.3 : Kolon donatı yerleşimi örnekleri..... | 31 |
| Şekil 4.4 : Yapıya etkileyen sabit yükler (kN/m)..... | 34 |
| Şekil 4.5 : Yapıya etkileyen hareketli yükler (kN/m)..... | 34 |
| Şekil 4.6 : Statik itme eğrisi..... | 36 |
| Şekil 4.7 : Göçme anında oluşan plastik mafsallar..... | 36 |
| Şekil 4.8 : Modal kapasite diyagramı..... | 37 |
| Şekil 4.9 : Spektral yerdeğiştirme-spektral ivme eğrisine geçiş..... | 37 |
| Şekil 4.10 : Spektral ivme- spektral yerdeğiştirme diyagramı..... | 38 |
| Şekil 4.11 : Performans noktasına ulaşıldığında yapıda oluşan plastik mafsallar..... | 38 |

SEMBOL LİSTESİ

| | |
|-------------|--|
| A_c | : Kolonun brüt kesit alanı |
| a_1 | : Birinci moda ait modal ivme |
| $a_1^{(i)}$ | : (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme |
| a_{y1} | : Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi |
| $A(T)$ | : Spektral ivme katsayısı |
| A_0 | : Etkin yer ivmesi katsayısı |
| b | : Tablalı kesitte etkili tabla genişliği; kolon enkesit genişliği |
| b_w | : Tablalı kesitte gövde genişliği |
| C_{R1} | : Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme oranı |
| d | : Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği |
| $d_1^{(i)}$ | : (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme |
| $d_1^{(p)}$ | : Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi |
| $(ED)_o$ | : Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği |
| $(ED)_c$ | : Çatlamış kesite ait eğilme rijitliği |
| f_{ck} | : Beton karakteristik basınç dayanımı |
| f_{cm} | : Mevcut beton dayanımı |
| f_{ctm} | : Mevcut betonun çekme dayanımı |
| h | : Kesit yüksekliği |
| h_f | : Döşeme kalınlığı |
| h_i | : Binanın i. katının kat yüksekliği |
| L_1 | : Plastik şekildeğiştirmenin başlangıcı |
| l_p | : Plastik mafsal boyu |
| M_{x1} | : x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle |
| n | : Hareketli yük katılım katsayısı |
| N_D | : Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan aksel kuvvet |
| r | : Etki/kapasite oranı |
| r_s | : Etki/kapasite oranı sınır değeri |
| $R_a(T)$ | : Deprem yükü azaltma katsayısı |
| R_{y1} | : Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı |
| S_a | : Spektral ivme |
| S_{ae1} | : Birinci moda ait elastik spektral ivme |
| S_d | : Spektral yerdeğiştirme |
| S_{de1} | : Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme |
| S_{di1} | : Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme |
| $T_1^{(1)}$ | : Başlangıçtaki (i=1) itme anında birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu |
| T_1 | : Birinci doğal titreşim periyodu |
| T_A, T_B | : Spektrum karakteristik periyodları |

| | |
|------------------|---|
| $u_{xN1}^{(i)}$ | : Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda (i)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme |
| $u_{xN1}^{(p)}$ | : Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirmesi istemi |
| V_e | : Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti |
| $V_{x1}^{(i)}$ | : x deprem doğrultusunda i' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim) ait taban kesme kuvveti |
| V_t | : Eşdeğer deprem yükü yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) |
| W | : Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanarak bulunan toplam ağırlığı |
| δ | : Yatay yerdeğiştirme |
| δ_i | : Binanın i. katındaki etkin görelî kat ötelenmesi |
| ϵ_{cg} | : Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi |
| ϵ_{cu} | : Betonda en büyük birim kısalma |
| ϵ_{su} | : Donatıda birim uzama |
| ρ | : Çekme donatısı oranı |
| ρ_b | : Dengeli donatı oranı |
| ρ_s | : Kesitte mevcut bulunan enine donatı hacımsal oranı |
| ρ' | : Basınç donatısı oranı |
| ϕ_p | : Plastik eğrilik istemi |
| ϕ_t | : Toplam eğrilik istemi |
| ϕ_u | : Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik |
| ϕ_y | : Eşdeğer akma eğriliği |
| Φ_{xN1} | : Binanın tepesinde (N' inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği |
| Γ_{x1} | : x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı |
| n_{bi} | : i' inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı |
| λ | : Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı |
| θ_p | : Plastik dönme istemi |
| ρ_s | : Kesitte bulunan enine donatının hacımsal oranı |
| ρ_{sm} | : Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı |
| $\omega_1^{(1)}$ | : Başlangıçtaki (i=1) itme anında birinci (hakim) titreşim moduna ait doğal açısâl frekans |
| ω_B | : İvme spektrumundaki karakteristik periyoda karşı gelen doğal açısâl frekans |

2007 TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRILMIŞ BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSI ANALİZİ

ÖZET

Türkiye aktif fayların yoğun olarak bulunduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Yakın tarihimizde birçok büyük deprem yaşanmış ve ne yazık ki büyük miktarda can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Bu durum depreme dayanıklı bina tasarımının ve mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenerek gerekli görülen güçlendirilmesinin önemini göstermektedir.

Yapı sistemlerinin deprem sırasındaki doğrusal olmayan davranışlarının daha yakından izlenmesi, gerçeğe en yakın göçme güvenliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Mühendislik alanındaki araştırmaların artması, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile depremin yapı üzerindeki etkilerinin, deprem anında yapının davranışının, taşıyıcı eleman kesitlerinin elastik ötesi davranışının daha gerçekçi belirlenmesini sağlamaktadır.

Binaların deprem performansının belirlenmesinde doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılabilir. Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemelerin gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi doğrusal elastik olarak alınmaktadır. Doğrusal olmayan statik analiz yönteminde ise doğrusal olmayan davranış her eleman için gerekli olan bir performans katsayısı ile hesaba katılmakta ve yapı sisteminin yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet – yatay yerdeğiştirme ilişkisinin de malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmadığı gözönünde tutulmaktadır.

Bu çalışmada, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre boyutlandırılmış bir betonarme yapının deprem performansının belirlenmesi için, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal hesap yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi uygulanarak deprem performansı incelenmiştir.

Beş bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümü, konunun açıklanmasına ve konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesine ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölüm, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek olan yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı amacıyla geliştirilen performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının açıklanmasına ayrılmıştır.

Üçüncü bölümde, mevcut betonarme yapıların deprem performanslarının belirlenmesi için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal olmayan yöntemle ilişkin hesap adımları verilmiştir.

Dördüncü bölümde, sayısal parametrik incelemeler yer almaktadır. Bu bölümde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre betonarme bir yapı boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan yapının, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile deprem performansı belirlenmiştir.

Beşinci bölümde, bu çalışmada elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

SEISMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF A BUILDING WHICH WAS DESIGNED ACCORDING TO 2007 TURKISH EARTHQUAKE CODE

SUMMARY

Turkey stands on the geography where active faults are intensively present. Having been lived by many major earthquakes in our near history, Turkey has experienced high level of damage and loss of life. This situation indicates the significance of earthquake resistant building design and the need to seismic retrofit of existing vulnerable buildings.

Proper and realistic seismic performances are obtained by examining the non-linear behavior of the structures under earthquake loads. The increase of researches in the field of engineering provides a more realistic determination of earthquake's effects on the building, behavior of structural systems under earthquake effects, and primary element sections' post elastic behavior with the help of developments in computer technology.

Both linear and non-linear methods can be used to determine the seismic performance of reinforced concrete buildings. In linear analysis methods, stress-strain relations of materials are held to be linear elastic. In non-linear static analysis methods however, in terms of non-linear behavior, non-linear characteristics are included with performance coefficients special for each element and horizontal displacement connection that represent structural systems behavior beneath lateral forces is considered non-linear in the changes of materials and geometry.

In this study, linear analysis and non-linear pushover evaluation methods proposed by the 2007 Turkish Earthquake Code are used to determine the earthquake performance of a concrete building which was designed according to 2007 Turkish Earthquake Code.

The study consists of five chapters. The first chapter covers the subject, scope and objectives of this study as well as the result of literature survey.

The second chapter is devoted to the seismic performance evaluations of existing structures, as well as the performance based design of new structures.

In the third chapter, the numerical procedures for the determination of earthquake performance of existing buildings by non-linear approach are explained.

The fourth chapter is devoted to the numerical studies. In this chapter, a concrete building is designed according to 2007 Turkish Earthquake Code. Linear and non-linear evaluation methods proposed by the 2007 Turkish Earthquake Code are used to determine the seismic performance of the building.

The fifth chapter covers the conclusions.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Dünyada her yıl depremlerden dolayı onbinlerce kişi hayatını kaybetmekte ve milyarlarca dolar maddi zarar oluşmaktadır. Örneğin, ülkemizde 1999 yılında meydana gelen Marmara depreminde, yaklaşık 17000 can kaybı ve 100000 konutta ağır hasar meydana gelmiştir. Depremlerden kaynaklanan bu hasar ve kayıplar, deprem afetinin insan hayatı ve ülke ekonomisi açılarından büyük bir potansiyel tehlike oluşturduğunu kanıtlamaktadır. Diğer taraftan, ülkemizde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları, bu büyük kayıpların kırsal alanlarda olduğu kadar yoğun yerleşim bölgelerinde meydana gelmiş olması da dikkat çekicidir. Bu durum, deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir.

Depremden hasar gören yapılar üzerinde gerçekleştirilen yoğun inceleme ve araştırmalar sonucunda, yapıların deprem güvenliklerindeki yetersizliklerin başlıca nedenlerinin,

- a) malzeme ve özellikle beton kalitesinin yetersiz olması,
- b) yapıların bilimsel esaslara ve geçerli yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılmaması,
- c) yapım aşamasında projeye ve temel mühendislik kurallarına uyulmaması

olduğu görülmektedir.

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağının içinde yer alması, geçmişte meydana gelen depremlerden dolayı büyük maddi hasar ve can kaybının meydana gelmesi, depreme karşı dayanıklı, yeterli güvenlikte ve ekonomik bina tasarımının önemini vurgulamaktadır. Bu ise, yapı sistemlerinin deprem sırasındaki doğrusal olmayan davranışlarının daha yakından izlenmesi ve gerçek göçme güvenliklerinin

belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Bunun yanında mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesinde, performans analizini öngören yöntemlere başvurulması uygun bulunmaktadır. Diğer taraftan, doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerinden yararlanılarak, yapı sistemlerinin dış yükler ve deprem etkileri altındaki davranışları yakından izlenebilmekte, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı deprem performansları daha gerçekçi olarak belirlenebilmektedir.

1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan kurama göre hesabını amaçlayan yöntemler üzerinde gerek ülkemizde gerekse de dünyada çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalara örnek olmak üzere [1–8] nolu referanslar verilebilir.

Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilme çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings –ATC 40 [9] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – FEMA 273 [10], FEMA 356 [11] raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 [12] projesi yürütülmüş ve projenin bulgularının içeren FEMA 440 [13] taslak raporu hazırlanmıştır.

Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi, son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında giderek önem kazanmış ve bir gereksinim haline gelmiştir. Nitekim bu gereksinime cevap vermek amacıyla, yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne, mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi çalışmaları yürütülmüş ve bu çalışmaların sonucunda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği (2007 TDY) [14] hazırlanmıştır.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; 2007 TDY'ne göre boyutlandırılan bir yapı sistemi üzerinde, mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi için 2007 TDY'nde tanımlanan doğrusal hesap yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması ve elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesidir

Bu amaca yönelik olarak, Sta-4CAD [15] programında 2007 TDY'ne göre bir yapı boyutlandırılmış ve boyutlandırılan yapı modeli üzerinde sayısal incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- a) 2007 TDY'nde tanımlanan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi,
- b) Yapı sisteminin 2007 TDY'ne göre boyutlandırılması,
- c) Yapı sisteminin 2007 TDY'nde yer alan doğrusal hesap yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile incelenmesi,
- d) Çalışmada varılan sonuçların açıklanması.

2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme, günümüz inşaat mühendisliğinin en yeni kavramları arasındadır. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapılarının deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, 2003 yılında deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirtilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmış ve bu çalışmalar tamamlanarak 2007 TDY yayımlanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde, orta yükseklikteki mevcut betonarme binalarının deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirmesinde, 2007 TDY'ne ilişkin bilgi verilmiştir.

2.1 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı yaklaşımla yapılabilmektedir.

Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanlarının 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, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise;

belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme sistemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

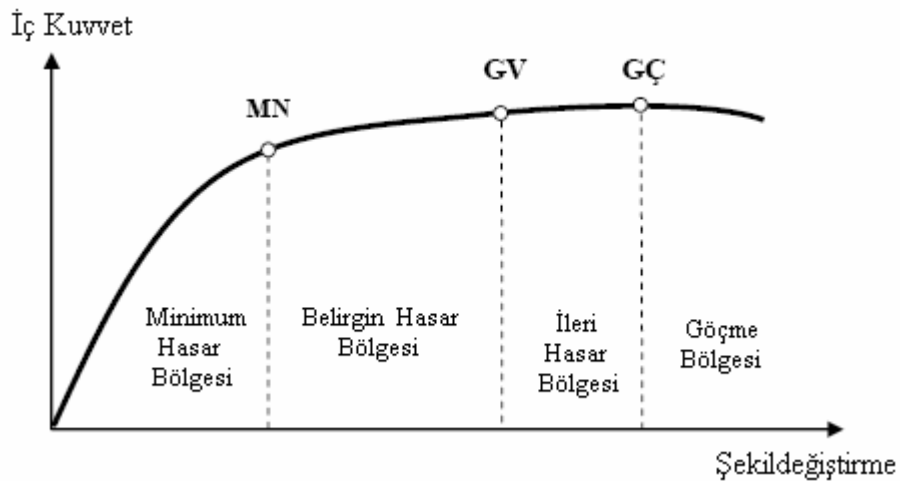
Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları “sünek” ve “gevrek” olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştukları ile ilgilidir.

2.1.1 Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar; Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı; kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı; kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranış, göçme sınırı ise; kesitin göçme öncesi davranışını tanımlamaktadır. Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitesine ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir.

2.1.2 Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitleri MN sınırına ulaşmayan elemanlar minimum hasar bölgesinde, MN ile GV sınırları arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesinde, GV ile GÇ sınırları arasında kalan elemanlar ileri hasar bölgesinde, GÇ sınırını aşan elemanlar ise göçme bölgesinde kabul edilirler, Şekil 2.1.



Şekil 2.1: Hasar Bölgeleri

2.2 Bina Deprem Performans Seviyeleri

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

2.2.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi

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

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.

2.2.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bir bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunmakla birlikte dolgu duvarlar göçmemiştir. Yapıda az miktarda kalıcı ötelemeler oluşabilir; ancak bu kalıcı şekildeğişiklikler gözle fark edilebilir değerlerde değildir.

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 **b** paragrafında tanımlanan kadarki İleri Hasar Bölgesi'ne 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 kesitlerin 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 güçlü kolon - zayıf kiriş şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

2.2.3 Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bir bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yükleri taşımada yeterlidir; ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü göçmüştür. Yapıda kalıcı ötelemeler oluşmuştur.

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 kesitlerin 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 güçlü kolon - zayıf kiriş şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.2.4 Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Yapı, uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyenler düşey yükleri taşıyabilmektedir, ancak yatay rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelemeler olmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya göçmenin eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile göçme olasılığı yüksektir.

Binanın, güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bununla beraber, göçme durumuna gelen binalarda, güçlendirme çok kere ekonomik olmayabilir.

2.3 Deprem Performansı Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri

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

1) Servis (kullanım) depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

2) Tasarım depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerinde esas alınmaktadır.

3) En büyük deprem: 50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

2.4 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans, performans hedefi olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna çok seviyeli performans hedefi denir.

2007 TDY'ne göre, mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde esas alınacak çok seviyeli performans hedefleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri

| Binanın Kullanım Amacı ve Türü | Deprem Aşılma Olasılığı | | |
|---|-------------------------|-----------------|----------------|
| | 50 yılda %50 | 50 yılda %10 | 50 yılda %2 |
| Deprem Sonrası Kullanım Gerektiren 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 | - |

2.5 Depremde Bina Performansının Belirlenmesi

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

Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi için uygulanan yöntemler doğrusal elastik hesap yöntemleri ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleridir.

2.5.1 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

2.5.1.1 Yöntemin Esasları

Doğrusal elastik yöntemlerde yapı elemanlarının kapasiteleri elemanın taşıma kapasitelerine ve süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Buna karşılık, deprem istemi için elastik deprem etkileri altında doğrusal teoriye göre hesap yapılır. Doğrusal elastik hesap yöntemlerinin başlıcaları: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi'dir.

2.5.1.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlilik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Bu yöntemde, toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında, deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 1$ olarak alınır ve Denklem (2.1)'den de görüldüğü gibi tasarım hesabındaki taban kesme kuvveti hesabından farklı olarak denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır.

$$V_t = \lambda \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \quad (2.1)$$

2.5.1.3 Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemin kullanılmasında da $R_a = 1$ alınır, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan aynen kullanılır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu olan eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesaplanmasında, bu doğrultuda hâkim olan moda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

2.5.1.4 Yapı Elemanındaki Hasar Sınırlarının Sayısal Değerlerinin Belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme yapı elemanlarının hasar sınırlarının tanımında, etki/kapasite oranları (r) cinsinden ifade edilen sayısal değerler kullanılmaktadır.

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin eğilme etki/kapasite oranları, sadece deprem etkisi altında hesaplanan kesit eğilme momentinin kesit artık

eğilme momenti kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık eğilme momenti kapasite, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler arasında kesitte hesaplanan eğilme momentinin farkıdır. Eğilme etki/kapasite oranının hesaplanmasında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır.

Kırılma türü kesme olan gevrek kiriş, kolon ve perdelerin etki/kapasite oranları, kritik kesitlerde hesaptan elde edilen kesme kuvvetinin TS-500 [16] betonarme standardına göre hesaplanan kesme kuvveti dayanımına bölünmesi ile elde edilir. Kırılma türü basınç olan gevrek kolonların etki/kapasite oranları da, hesaptan elde edilen basınç kuvvetinin TS-500 standardına göre hesaplanan basınç dayanımına bölünmesi ile elde edilir.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranlarının ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgeleri belirlenir ve bunlardan yararlanarak bina düzeyinde performans değerlendirilmesi yapılır.

2.5.1.5 Betonarme Elamanların Etki/Kapasite Oranlarının Sınır Değerleri

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile sünek elemanların hasar sınırlarının tanımında kiriş, kolon ve perde elemanlarının etki/kapasite oranları (r) kullanılır. Etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 2.2-2.4'te sünek ve gevrek elemanlar için ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 2.2: Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

| Sünek Kirişler | | | Hasar Sınırı | | |
|-------------------------------|-----------|--------------------------|--------------|-----|----|
| $\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$ | Sargılama | $\frac{V}{b_w d f_{cm}}$ | MN | GV | GÇ |
| ≤ 0.0 | Var | ≤ 0.65 | 3 | 7 | 10 |
| ≤ 0.0 | Var | ≥ 1.30 | 2.5 | 5 | 8 |
| ≥ 0.5 | Var | ≤ 0.65 | 3 | 5 | 7 |
| ≥ 0.5 | Var | ≥ 1.30 | 2.5 | 4 | 5 |
| ≤ 0.0 | Yok | ≤ 0.65 | 2.5 | 4 | 6 |
| ≤ 0.0 | Yok | ≥ 1.30 | 2 | 3 | 5 |
| ≥ 0.5 | Yok | ≤ 0.65 | 2 | 3 | 5 |
| ≥ 0.5 | Yok | ≥ 1.30 | 1.5 | 2.5 | 4 |
| Gevrek Kirişler | | | 1 | 1 | 1 |

Tablo 2.3: Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

| Sünek Kolonlar | | | Hasar Sınırı | | |
|------------------------|-----------|---------------------------|--------------|-----|-----|
| $\frac{N}{A_c f_c}$ | Sargılama | $\frac{V}{b_w d f_{ctm}}$ | MN | GV | GÇ |
| ≤ 0.1 | Var | ≤ 0.65 | 3 | 6 | 8 |
| ≤ 0.1 | Var | ≥ 1.30 | 2.5 | 5 | 6 |
| ≥ 0.4 | Var | ≤ 0.65 | 2 | 4 | 6 |
| ≥ 0.4 | Var | ≥ 1.30 | 2 | 3 | 5 |
| ≤ 0.1 | Yok | ≤ 0.65 | 2 | 3.5 | 5 |
| ≤ 0.1 | Yok | ≥ 1.30 | 1.5 | 2.5 | 3.5 |
| ≥ 0.4 | Yok | ≤ 0.65 | 1.5 | 2 | 3 |
| ≥ 0.4 | Yok | ≥ 1.30 | 1 | 1.5 | 2 |
| Gevrek Kolonlar | | | 1 | 1 | 1 |

Tablo 2.4: Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

| Sünek Perdeler | Hasar Sınırı | | |
|---------------------------------|--------------|----|----|
| Perde Uç Bölgelerinde Sargılama | MN | GV | GÇ |
| Var | 3 | 6 | 8 |
| Yok | 2 | 4 | 6 |
| Gevrek Perdeler | 1 | 1 | 1 |

2.5.1.6 Göreli Kat Ötelenmelerinin Kontrolü

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelenmeleri, her bir hasar sınırı için Tablo 2.5'te verilen değeri aşmayacaktır. Aksi durumda 3.5.1.5'te yapılan hasar değerlendirmeleri gözönüne alınmayacaktır. Tablo 2.5'te δ_{ji} , i. katta j'inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yerdeğiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelenmesini, h_{ji} ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir.

Tablo 2.5: Göreli Kat Ötelenmeleri Sınırları

| Görelî Kat Ötelenmesi Oranı | Hasar Sınırı | | |
|-----------------------------|--------------|------|------|
| | MN | GV | GÇ |
| δ_{ji} / h_{ji} | 0.01 | 0.03 | 0.04 |

2.5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

2.5.2.1 Yöntemin Esasları

Deprem etkileri altındaki mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yönteminde, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı daha gerçekçi alınır. Şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme esaslı değerlendirmelerin gözönüne alındığı bu yöntemde, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için binadaki yerdeğiştirme talebine ulaşıldığında binanın beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

2007 TDY kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri; Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. İlk iki yöntem, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde artımsal itme analizinin esas alındığı yöntemdir.

a) Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bodrum kat üzerindeki toplam katsayısı 8'i aşmayan ve ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği kat sayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalarda uygulanır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için ayrıca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir.

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminde, deprem istem limitine (performans noktasına) kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eş değer deprem yüklerinin etkisi altında, doğrusal olmayan (nonlinear) itme analizi yapılır. Analizde ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında ise deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

b) Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Deprem istem limitine kadar her bir titreşim modunda monotonik olarak arttırılan modal yerdeğıştirmelere göre mod birleştirme yöntemi, ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır. Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğıştirme, plastik şekil değıştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerle ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

c) Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi

Taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan (non-linear) davranışı göz önüne alınarak, sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğıştirme, plastik şekildeğıştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

2.5.2.2 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile, doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli (plastik kesit kavramı) esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsall hipotezine karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiğı sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğıştirme düzgün yayılı biçimde oluştuğı varsayılmaktadır. Basit eğilme durumunda plastik mafsall boyu olarak adlandırılan plastik şekil değıştirme bölgesinin uzunluğu (l_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınır.

$$l_p = 0.5h \quad (2.2)$$

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğıştirme yapan elemanların plastik şekildeğıştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınır.

Yığılı plastik şekildeğıştirmeyi temsil eden plastik kesit'in, teorik olarak plastik şekildeğıştirme bölgesinin tam ortasına yerleşmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir:

a) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışında, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği göz önüne alınmalıdır.

b) Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulabilir U,T,L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

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

Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışlarının belirlenmesinde çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerlerden yararlanılabilir:

a) Kirişlerde: $0.40 EI_0$

b) Kolon ve perdelerde, $N_d / (A_c f_{ck}) \leq 0.10$ olması durumunda: $0.40 EI_0$

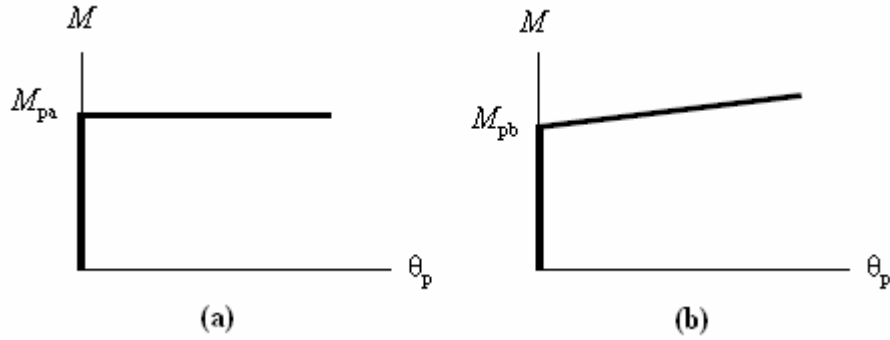
$N_d / (A_c f_{ck}) \geq 0.40$ olması durumunda: $0.80 EI_0$

Yukarıdaki bağıntılarda N_d , düşey yükler altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetini göstermektedir. N_d ' nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

İtme analizi modelinde kullanılacak olan plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir:

a) İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir, Şekil 2.2a. Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekildeğiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınır.

b) Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda (Şekil 2.2b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanmalıdır.



Şekil 2.2: Eğilme Momenti - Plastik Dönme Bağlılıları

2.5.2.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal eşdeğer deprem yüğü yönteminde yapısal kapasite, koordinatları “tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi ile temsil edilir. Tepe yerdeğiştirmesi binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisinin elde edilmesi için, yapı sistemi sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan eşdeğer deprem yükleri altında, sistemin taşıma kapasitesinin sona erdiği limit duruma kadar hesaplanır.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yüğü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik mafsallardan bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, taşıyıcı sistemin başlangıçtaki doğrusal elastik davranışı için hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olacak şekilde tanımlanabilir. Daha kesin bir sonuç için, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yüğü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken olarak gözönüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik mafsallar gözönüne alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim modu ile orantılı olarak tanımlanabilir.

İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları “modal yerdeğiştirme – modal ivme” olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

a) (i)’ inci itme adımında birinci (hakim) moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (2.3)$$

denklemden $V_{x1}^{(i)}$ x deprem doğrultusunda (i)’ inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvvetini, M_{x1} x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleli göstermektedir.

b) (i)’ inci itme adımında birinci (hakim) moda ait modal yer değıştirme $d_1^{(i)}$ ’nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (2.4)$$

denklemden Φ_{xN1} binanın N’ inci katında x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliğidir. Birinci (hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımlı ilgili bölümde yapılan L_{x1} ve 1. doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1 ’den yararlanılarak:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (2.5)$$

İtme analizi sonucunda, modal kapasite diyagramı ile birlikte elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{d1} ‘ e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{d1} \quad (2.6)$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} ' e bağlı olarak elde edilir, Denklem (2.7).

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.7)$$

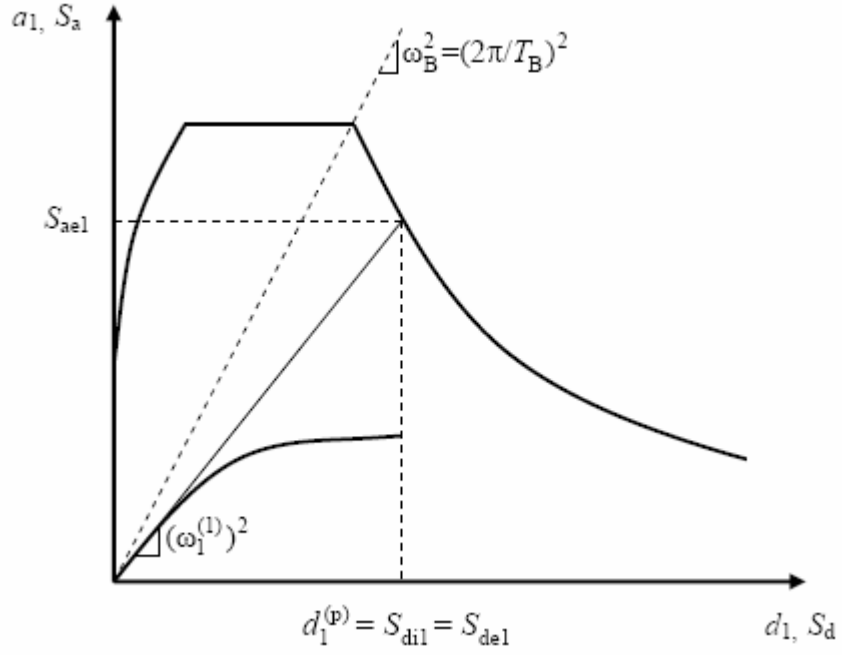
Doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} ' den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (2.8)$$

Spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak belirlenir. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$) , doğrusal elastik olmayan (non-linear) spektral yerdeğiştirme S_{di1} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınır. Buna göre spektral yerdeğiştirme oranı:

$$C_{R1} = 1 \quad (2.9)$$

olarak tanımlanır, Şekil 2.3.

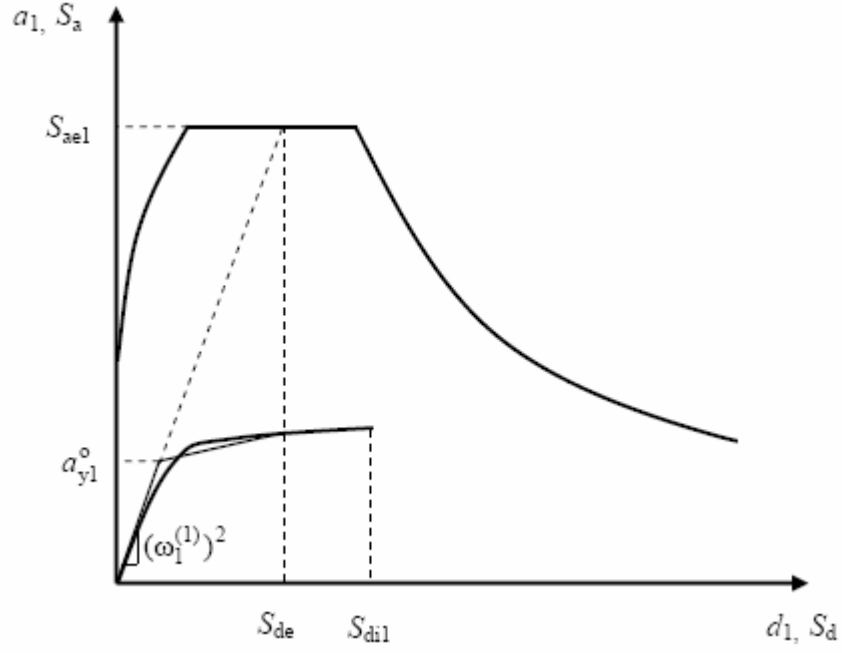


Şekil 2.3: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$)

Şekilde birinci (hakim) titreşim moduna ait ve kordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları “spektral yerdeğiştirme (S_d) - spektral ivme (S_a)” olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir.

Spektral yer değıştirme oranı C_{R1} , $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B ’ den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) ise ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanır. Hesap adımları şu şekildedir:

a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, yaklaşık olarak iki doğrusu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $((\omega_1^{(1)})^2)$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).



Şekil 2.4: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)

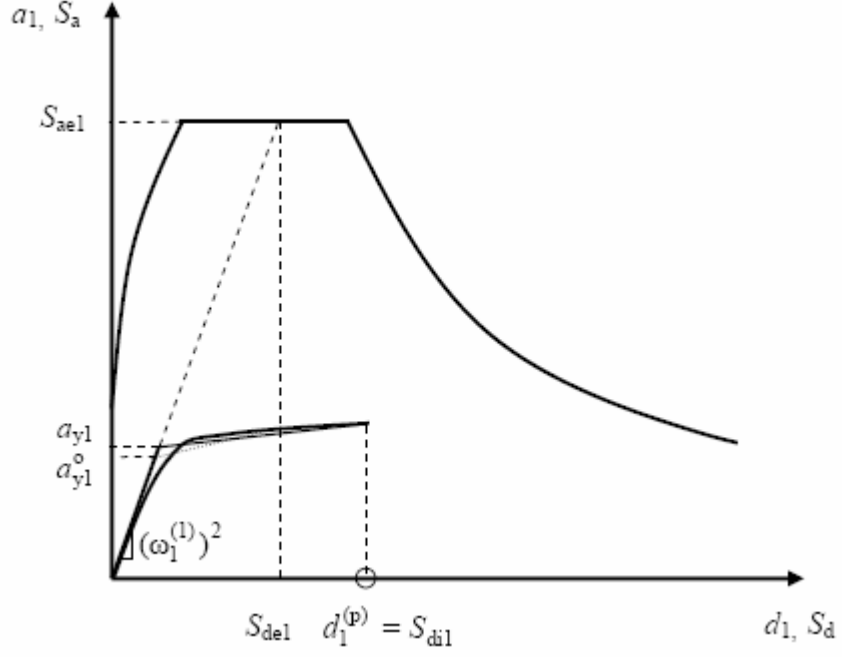
b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 2.4’de görülen a_{y1}^o esas alınarak C_{R1} aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.10)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (2.11)$$

c) Denklem (2.10)’dan bulunan C_{R1} kullanılarak, Denklem (2.7)’e göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktası’nın koordinatları, Şekil 2.5’de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 2.5: Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)

Son itme adımı $i = p$ için Denklem (2.6)'ya göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$, nin Denklem (2.4)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (2.12)$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilir veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılan yeni bir itme analizi ile hesaplanır.

2.5.2.4 Kesitteki Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Yönetmelikte belirtilen doğrusal elastik olmayan yöntemlere göre yapılan hesap sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (2.13)$$

Beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen iki doğrultu eğilme momenti-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, yukarıda tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (2.14)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, yukarıda tanımlanan toplam eğrilik istemine göre, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak elde edilen eğilme momenti- eğrilik ilişkisinden hesaplanır.

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

2.5.2.5 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekil değiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

a) Minimum Hasar Sınırı (MN) için beton basınç birimi şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları için;

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.004 \quad ; \quad (\epsilon_{su})_{MN} = 0.010 \quad (2.15)$$

b) Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için beton basınç birimi şekil değiştirmesi donatı çeliği ile birim şekil değiştirmesi üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.004 + 0.0095(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (2.16)$$

c) Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için beton basınç birim şekil değiştirmesi çeliği birim şekildeki üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.005 + 0.013(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.060 \quad (2.17)$$

değerleri önerilmektedir.

3. HESAPTA İZLENEN YOL

Mevcut betonarme binaların, 2007 TDY'nde tanımlanan ve bu çalışmada esas alınan doğrusal elastik olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile deprem performansları bulunmasında izlenen yolun hesap adımları aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

3.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

2007 TDY kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. Bu çalışmada Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda bu yönteme ilişkin hesap adımları verilmiştir.

a) Eğilme etkisindeki betonarme elemanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılır.

1. Kirişlerde $0.40EI_0$

2. Kolonlarda ise düşey yükler altında normal kuvvetleri hesaplanır. Aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak kolonların çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri bulunur.

$$N_d / (A_c f_{ck}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda: } 0.40 EI_0$$

$$N_d / (A_c f_{ck}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda: } 0.80 EI_0$$

N_d normal kuvvetlerinin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılır.

b) Plastik mafsalların, kolon ve kirişlerin uçlarında olduğu varsayımı yapılarak olası plastik mafsal kesitleri tanımlanır.

c) Yapı sistemi, sabit düşey yükler ve orantılı olarak arttırılırken eşdeğer deprem yükleri altında doğrusal olmayan analiz yapılarak, öngörülen herhangi bir yatay yerdeğiştirme değerine kadar itilir. Bu aşamada yapının deprem doğrultusundaki

birinci titreşim moduna ait etkin modal kütlesi, modal katılım oranı ve tepe noktası genliği değerleri de elde edilir.

d) İtme analizinin her adımına ait taban kesme kuvveti – tepe noktası yerdeğiştirme değerlerinden yararlanılarak statik itme eğrisi (kapasite diyagramı) çizilir.

e) İtme eğrisi koordinat dönüşümü uygulanarak koordinatları modal yerdeğiştirme ve modal ivme olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilir.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.1)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.2)$$

f) İtme analizi sonucunda yukarıda açıklandığı şekilde elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu da gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} ' e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \quad (3.3)$$

g) Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} ' e bağlı olarak elde edilir.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.4)$$

h) Doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} ' den hesaplanır.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.5)$$

i) Denklem (3.4)'de yer alan spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

1. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'ye eşit veya daha büyük olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme S_{di1} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınır. Buna göre spektral yerdeğiştirme oranı,

$$C_{R1} = 1 \quad (3.6)$$

değerini almaktadır.

2. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'den daha küçük olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 < \omega_B^2$) ise spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} ardışık yaklaşımla hesaplanır.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.7)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını gösterir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.8)$$

j) x deprem doğrultusundaki tepe yatay yerdeğiştirmesi istemi

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.9)$$

denklemleri ile hesaplanır.

k) Yapı sistemi, bu yatay yerdeğiştirme istemine kadar itilir.

l) İtme analizi sonucunda, tüm kritik kesitlerdeki plastik mafsallarda dönecekleri plastik mafsallara boyuna bölünerek, bu kesitteki plastik eğrilik istemleri hesaplanır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.10)$$

m) Eşdeğer akma eğriliği plastik eğrilik istemine eklenerek toplam eğrilik istemi elde edilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.11)$$

n) Kirişler için hesapta, ilgili kesitte verilen beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti – eğrilik diyagramı çizilir ve toplam eğrilik istemine göre, betonun birim kısalma, donatı çeliğinin ise birim boy değişmesi istemleri bulunur. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır,

o) Kolonlar için hesapta, her farklı kolon kesiti için, beton ve donatı çeliği modelleri kullanılarak eğilme momenti – eğrilik bağıntıları elde edilir ve performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları tanımlanarak ilgili kesitin, bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet – toplam eğrilik diyagramı çizilir. Her kolon kesiti için, Denklem (4.22) ile hesaplanan toplam eğrilik istemi bu diyagram üzerine yerleştirilerek söz konusu kesitin hasar bölgesi belirlenir.

p) Kiriş ve kolon kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak yapı sisteminin deprem performansı değerlendirilir.

4. BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE SAYISAL İNCELEMELER

2007 TDY'nin konut türü binalar için performans hedefi; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (tasarım depremi) depremlerde Can Güvenliği performans seviyesidir.

Bu bölümde; betonarme bir yapının deprem etkileri altındaki performans düzeyinin belirlenmesi amacıyla yapılan sayısal incelemeler yer almaktadır.

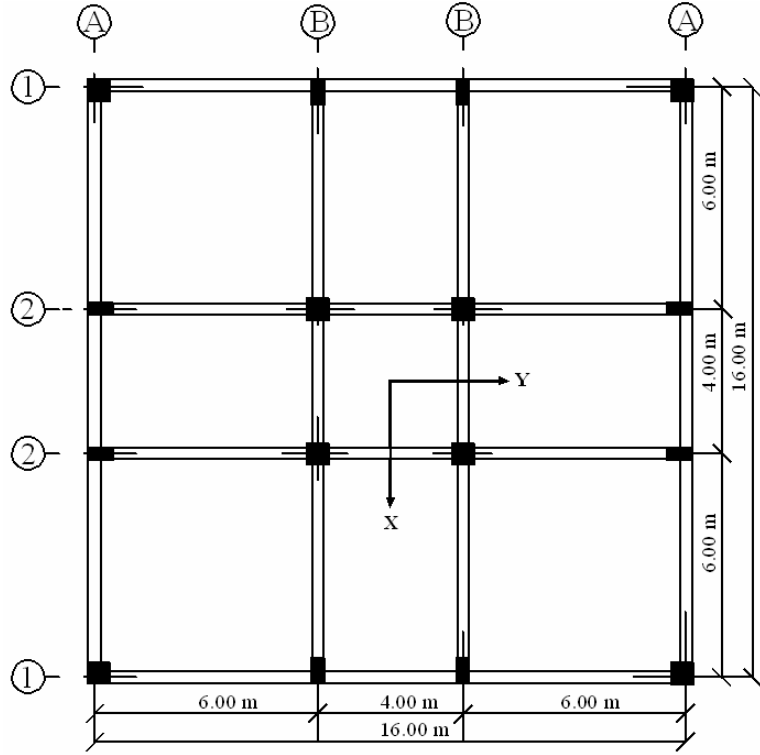
Sayısal incelemeler, Sta-4CAD programı ile 2007 TDY'nde öngörülen deprem etkisi esas alınarak boyutlandırılan bir taşıyıcı sistem modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Yapı sisteminin analizinde; 2007 TDY'nde öngörülen doğrusal hesap yöntemi ile Sta4-CAD programı, doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile SAP2000 [17] programı kullanılmıştır.

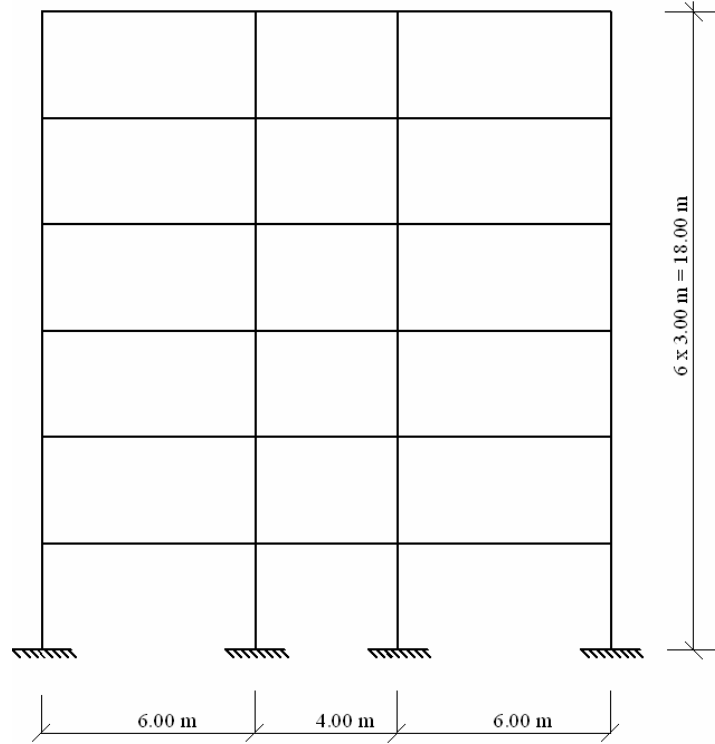
Aşağıdaki bölümlerde; incelenen taşıyıcı sistem modeli tanıtılmakta, taşıyıcı sisteme ait boyutlandırma ve performans değerlendirmesi aşamasında elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

4.1 Yapının Sisteminin Boyutlandırılması

2007 TDY'ne uygun olarak boyutlandırılan altı katlı betonarme yapı sisteminin tipik döşeme kalıp planı şeması Şekil 4.1'de, çerçeve düşey enkesiti Şekil 4.2'de kiriş ve kolon enkesit boyutları sırasıyla Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de görülmektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sistem iki doğrultuda da simetriktir. Bina konut olarak kullanılmaktadır. Yapıda tüm katlardaki döşeme kalınlıkları $h_f = 15 \text{ cm}$ 'dir.



Şekil 4.1: Tipik Döşeme Kalıp Planı Şeması



Şekil 4.2: Çerçeve Düşey Enkesiti

Tablo 4.1: Kiriş Enkesit Boyutları

| Kat | Aks | h (mm) | b(mm) | bw(mm) | hf(mm) |
|-----|----------------|--------|-------|--------|--------|
| 1-6 | 1-2, A-B (dış) | 600 | 780 | 300 | 150 |
| | 2-2, B-B (dış) | 600 | 540 | 300 | 150 |
| | 1-2, A-B (iç) | 600 | 1260 | 300 | 150 |
| | 2-2, B-B (iç) | 600 | 780 | 300 | 150 |

Tablo 4.2: Kolon Enkesit Boyutları

| Kat | mm / mm | A1 | A2, B1 | B2 |
|-----|---------|-----------|-----------|-----------|
| 6-5 | h / b | 400 / 400 | 350 / 500 | 600 / 600 |
| 4-3 | h / b | 500 / 500 | 350 / 600 | 600 / 600 |
| 1-2 | h / b | 600 / 600 | 350 / 700 | 600 / 600 |

4.1.1 Malzeme Özellikleri

Yapı sisteminin boyutlandırılmasında esas alınan beton ve donatı çeliği karakteristiklerinin TS-500 standardındaki malzeme tanımları cinsinden karşılıkları aşağıda verilmiştir.

Beton sınıfı C25, donatı çeliği sınıfı S 420

4.1.2 Deprem Karakteristikleri

2007 TDY'ne göre boyutlandırmada esas alınan deprem karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

Yapı önem katsayısı : $I = 1.0$

Hareketli yük katılım katsayısı : $n = 0.30$

Deprem bölgesi : 1. Bölge

Etkin yer ivmesi katsayısı : $A_0 = 0.40$

Yapı davranış katsayısı : $R = 8$

Yerel zemin sınıfı : Z2

Spektrum karakteristik periyotları : $T_A = 0.15 \text{ sn}$, $T_B = 0.40 \text{ sn}$

4.1.3 Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler

Yapının boyutlandırılmasında aşağıda verilen yükler gözönüne alınmıştır.

Kat döşemeleri, $g = 5.0 \text{ kN/m}^2$

$q = 2.0 \text{ kN/m}^2$

19 cm dış duvar zati ağırlığı = 8.0 kN/m

9 cm iç duvar zati ağırlığı = 4.0 kN/m

4.1.4 Analiz ve Boyutlandırma

Yapı, Sta4-CAD programında TS-500 standardı ve 2007 TDY esas alınarak boyutlandırılmış ve kiriş, kolon donatıları belirlenmiştir.

Sta4-CAD programından elde edilen, yapıya etkileyen deprem yükleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

$T_i=0,612 \text{ s}$ $V_i=1576,9 \text{ kN}$ $F_i=71,0 \text{ kN}$

Tablo 4.3: Yapıya Etkiyen Deprem Yükleri

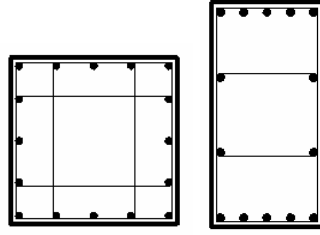
| Kat | W_i (kN) | H_i (m) | $W_i H_i$ | $W_i H_i / \sum W_i H_i$ | F_i (kN) |
|-----|------------|-----------|-----------|--------------------------|------------|
| 6 | 2913,13 | 18,00 | 52436,34 | 0,283274932 | 426,9 |
| 5 | 2913,13 | 15,00 | 43696,95 | 0,236062443 | 355,7 |
| 4 | 2953,80 | 12,00 | 35445,60 | 0,191486476 | 288,6 |
| 3 | 2953,80 | 9,00 | 26584,20 | 0,143614857 | 216,4 |
| 2 | 2991,09 | 6,00 | 17946,54 | 0,09695194 | 146,1 |
| 1 | 2999,32 | 3,00 | 8997,96 | 0,048609352 | 73,2 |

Kolon boyuna donatıları Tablo 4.4'de özetlenmiştir.

Tablo 4.4: Kolon Boyuna Donatıları

| Kolonlar | Katlar | | |
|----------|--------------|--------------|--------------|
| | 6-5 | 4-3 | 2-1 |
| A1 | 8 Φ 16 | 16 Φ 16 | 16 Φ 18 |
| B1, A2 | 10 Φ 16 | 12 Φ 16 | 14 Φ 16 |
| B2 | 16 Φ 18 | 16 Φ 18 | 16 Φ 18 |

Şekil 4.3'te yapının birinci katındaki A1 ve B1, A2 kolonlarının donatı yerleşimi örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Kolon Donatı Yerleşimi Örnekleri

Çerçeve kirişlerinin X ve Y doğrultuları için aynı olan boyuna donatıları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Çerçeve Kiriş Donatıları

| Kat | Aks | Alt Donatı | Üst Donatı | Sol Mesnet Ek Donatısı | | Sağ Mesnet Ek Donatısı | |
|-----|----------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | | | | Alt | Üst | Alt | Üst |
| 6 | 1-2, A-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | --- | 1 Φ 18 | --- | 1 Φ 18 |
| | 2-2, B-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 + 1 Φ 18 | --- | --- | --- | --- |
| | 1-2, A-B (iç) | 3 Φ 16 | 2 Φ 14 | --- | 1 Φ 18 | --- | 3 Φ 14 |
| | 2-2, B-B (iç) | 3 Φ 16 | 2 Φ 14 + 3 Φ 14 | --- | --- | --- | --- |
| 5 | 1-2, A-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | --- | 2 Φ 16 | --- | 1 Φ 18 |
| | 2-2, B-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 + 1 Φ 18 | --- | --- | --- | --- |
| | 1-2, A-B (iç) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | --- | 3 Φ 14 | 1 Φ 14 | 3 Φ 18 |
| | 2-2, B-B (iç) | 4 Φ 14 | 2 Φ 14 + 3 Φ 18 | --- | --- | --- | --- |
| 4 | 1-2, A-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | --- | 4 Φ 14 | --- | 2 Φ 16 |
| | 2-2, B-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 + 2 Φ 16 | --- | --- | --- | --- |
| | 1-2, A-B (iç) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | 1 Φ 14 | 3 Φ 18 | 3 Φ 14 | 3 Φ 20 |
| | 2-2, B-B (iç) | 3 Φ 14 + 3 Φ 14 | 2 Φ 14 + 3 Φ 20 | --- | --- | --- | --- |
| 3 | 1-2, A-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | 1 Φ 14 | 4 Φ 16 | --- | 2 Φ 18 |
| | 2-2, B-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 + 2 Φ 18 | --- | --- | --- | --- |
| | 1-2, A-B (iç) | 3 Φ 14 | 3 Φ 14 | 1 Φ 14 | 3 Φ 18 | 3 Φ 14 | 3 Φ 20 |
| | 2-2, B-B (iç) | 3 Φ 14 + 3 Φ 14 | 3 Φ 14 + 3 Φ 20 | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 1-2, A-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | 1 Φ 14 | 3 Φ 20 | --- | 3 Φ 16 |
| | 2-2, B-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 + 3 Φ 16 | --- | --- | --- | --- |
| | 1-2, A-B (iç) | 3 Φ 14 | 3 Φ 14 | 1 Φ 18 | 3 Φ 20 | 3 Φ 14 | 3 Φ 20 |
| | 2-2, B-B (iç) | 3 Φ 14 + 3 Φ 14 | 3 Φ 14 + 3 Φ 20 | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 1-2, A-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | 1 Φ 14 | 3 Φ 20 | --- | 2 Φ 20 |
| | 2-2, B-B (dış) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 + 2 Φ 20 | --- | --- | --- | --- |
| | 1-2, A-B (iç) | 3 Φ 14 | 2 Φ 14 | 1 Φ 16 | 4 Φ 18 | 3 Φ 14 | 4 Φ 18 |
| | 2-2, B-B (iç) | 3 Φ 14 + 3 Φ 14 | 3 Φ 14 + 4 Φ 18 | --- | --- | --- | --- |

Tüm kolon ve kirişlerde pas payı 30 mm olarak alınmıştır. Enine donatı ise, tipik olarak:

kirişlerde : Φ 10/200 (etriye sıklaştırma bölgesinde Φ 10/100)

kolonlarda : Φ 10/200 (etriye sıklaştırma bölgesinde Φ 10/100) seçilmiştir.

4.2 Yapının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemine Göre Deprem Performansının Belirlenmesi

Boyutlandırılan yapı sisteminde, deprem kuvvetinin yönü dikkate alınarak, sadece deprem etkisi altında hesaplanan eğilme momentlerinin kesitlerin artık eğilme momenti kapasitelerine bölünmesi ile kiriş ve kolonların etki/kapasite oranları (r) elde edilir. Bu değerler ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak, 2007 TDY'nde öngörülen doğrusal elastik hesap yöntemine göre, yapı elemanlarının deprem performansı bulunmuştur.

Yapı sisteminin, 2007 TDY'nde öngörülen doğrusal hesap yöntemi ile deprem performansının belirlenmesinde Sta4-CAD programından yararlanılarak kolon ve kirişlerin etki/kapasite oranları (r) elde edilmiştir. Elde edilen etki/kapasite (r) oranları ilgili sınır değerleri ile karşılaştırılarak yapı elemanlarının hasar bölgelerine karar verilmiştir. Doğrusal hesap sonucunda kolon ve kirişlerin hasar yüzdeleri Tablo 4.6'da görülmektedir.

Tablo 4.6: Kiriş ve Kolon Hasar Yüzdeleri

| KAT NO | Kiriş Hasar Yüzdeleri (+X) | | | |
|--------|----------------------------|-------|-----|-----|
| | MH | BH | IH | GB |
| 6 | 66.7 | 33,3 | 0,0 | 0,0 |
| 5 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |

| KAT NO | Kolon Hasar Yüzdeleri (+X) | | | |
|--------|----------------------------|------|-----|-----|
| | MH | BH | IH | GB |
| 6 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 87.5 | 12.5 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 87.5 | 12.5 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 75.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 75.0 | 25.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Doğrusal hesap sonucunda kolonların kesme kuvveti dağılımı Tablo 4.7'de görülmektedir.

Tablo 4.7: Kolon Kesme Kuvveti Dağılımı

| KAT NO | (+X) | | | |
|--------|-------|------|-----|-----|
| | MH | BH | IH | GB |
| 6 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 89.0 | 11.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 75.7 | 24.3 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 76.6 | 23.4 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 76.6 | 23.4 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Doğrusal hesap sonucunda görelî kat ötelenmelerine göre hasar değerlendirilmesi yapılmıştır. Bütün katların minimum hasar bölgesinde kaldığı Tablo 4.8’de görölmektedir.

Tablo 4.8: Görelî Kat Ötelemelerine Göre Hasar Değerlendirmesi

| Kat | h_i (m) | δ_{ji} / h_{ji} | Hasar Bölgesi |
|-----|-----------|------------------------|---------------|
| 6 | 3.0 | 0.0034651 | Minimum |
| 5 | 3.0 | 0.0056054 | Minimum |
| 4 | 3.0 | 0.0067721 | Minimum |

| Kat | h_i (m) | δ_{ji} / h_{ji} | Hasar Bölgesi |
|-----|-----------|------------------------|---------------|
| 3 | 3.0 | 0.0078489 | Minimum |
| 2 | 3.0 | 0.0076090 | Minimum |
| 1 | 3.0 | 0.0049851 | Minimum |

4.2.1 Performans Değerlendirmesi

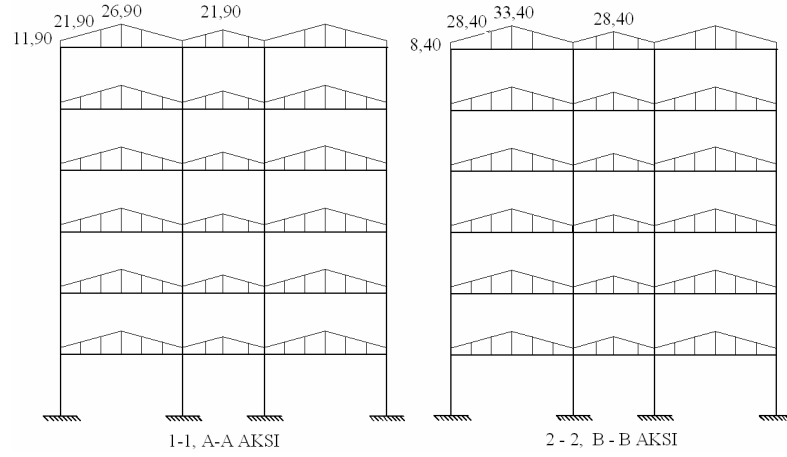
Doğrusal elastik hesap yöntemi ile yapılan hesaplar sonucu; yapı elemanlarının tamamı minimum ve belirgin hasar bölgesindedir. İleri hasar bölgesine geçen yapı elemanı bulunmamaktadır.

Yapı sistemi, doğrusal elastik hesap sonucunda, “can güvenliği” performans düzeyindedir.

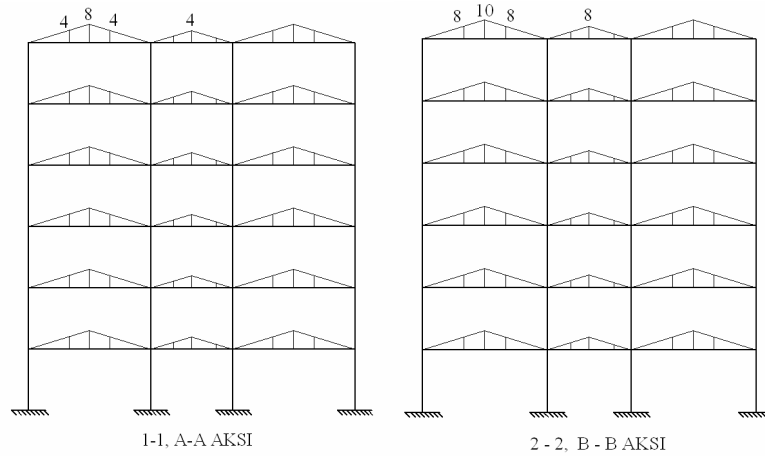
4.3 Yapının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemine Göre Deprem Performansının Belirlenmesi

Boyutlandırılan yapı sisteminin, 2007 TDY’nde öngörülen doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile deprem performansı SAP2000 programı ile belirlenmiştir. Yapının deprem performansının belirlenmesinde izlenen hesap adımları aşağıda sayısal olarak açıklanmıştır.

a) SAP2000 programında modellenen yapıda döşeme tanımı yapılmamıştır. Sistemin kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit oldukları gözönünde tutulmuştur. Döşemelerden kirişlere gelen yükler ise Sta4-CAD programından alınıp sisteme etkilmiştir. SAP2000 programında modellenen yapıya etkiyen sabit ve hareketli yükler sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te görölmektedir.



Şekil 4.4: Yapıya Etkiyen Sabit Yükler (kN/m)



Şekil 4.5: Yapıya Etkiyen Hareketli Yükler (kN/m)

b) Sistem, düşey işletme yükleri altında çözümlenerek eksenel basınç kuvveti N_D elde edilmiştir. Etkin eğilme rijitlikleri hesaplanmış ve bundan sonraki hesaplarda 2007 TDY' nin öngördüğü şekilde bu rijitlikler kullanılmıştır.

Etkin eğilme rijitlikleri;

a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 EI_0$

b) Kolonlarda, $N_d / (A_c f_{ck}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40 EI_0$

$N_d / (A_c f_{ck}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80 EI_0$

Eksenel yük oranının ara değerleri için iterasyon yapılmıştır. Kolonlar için hesaplanmış olan etkin eğilme rijitlikleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Kolonlar İçin Etkin Eğilme Rijitlikleri

| Kat | Kolon | N_D (kN) | $N_D / (A_c * f_{cm})$ | $(EI)_e$ |
|-----|-------|------------|------------------------|------------------------|
| 6 | A1 | 127.13 | 0.03 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B1 | 177.01 | 0.04 | 0.40 (EI) ₀ |
| | A2 | 177.01 | 0.04 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B2 | 267.303 | 0.03 | 0.40 (EI) ₀ |
| 5 | A1 | 259.561 | 0.08 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B1 | 354.144 | 0.08 | 0.40 (EI) ₀ |
| | A2 | 354.144 | 0.08 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B2 | 529.051 | 0.06 | 0.40 (EI) ₀ |
| 4 | A1 | 401.886 | 0.06 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B1 | 533.613 | 0.10 | 0.40 (EI) ₀ |
| | A2 | 533.613 | 0.10 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B2 | 788.239 | 0.09 | 0.40 (EI) ₀ |
| 3 | A1 | 545.127 | 0.09 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B1 | 714.135 | 0.14 | 0.61 (EI) ₀ |
| | A2 | 714.135 | 0.14 | 0.61 (EI) ₀ |
| | B2 | 104.403 | 0.12 | 0.63 (EI) ₀ |
| 2 | A1 | 696.949 | 0.08 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B1 | 898.330 | 0.15 | 0.60 (EI) ₀ |
| | A2 | 898.330 | 0.15 | 0.60 (EI) ₀ |
| | B2 | 1298.142 | 0.14 | 0.60 (EI) ₀ |
| 1 | A1 | 848.490 | 0.09 | 0.40 (EI) ₀ |
| | B1 | 1082.91 | 0.18 | 0.58 (EI) ₀ |
| | A2 | 1082.91 | 0.18 | 0.58 (EI) ₀ |
| | B2 | 1551.39 | 0.17 | 0.58 (EI) ₀ |

c) Kolon ve kirişlerin her iki ucuna olası plastik mafsallar tanımlanmıştır. Ayrıca, kiriş açıklıklarında plastik mafsall oluşacağı gözönüne alındığından, Şekil 4.1’de görülen, uzunluğu 6.0 m olan kirişler üç eşit parçaya bölünmüş, her bir kiriş parçasının iki ucuna plastik mafsall tanımlı yapılmıştır.

d) Yapı sistemi her iki doğrultuda simetrik olduğundan sadece x deprem doğrultusunda hesap yapılmıştır.

e) Yapı sistemi, sabit düşey yükler ve orantılı olarak arttırılan eşdeğer deprem yükleri altında doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanmıştır. Bu işleme, başlangıçta seçilen bir yatay yerdeğiştirme değerine kadar devam edilir. Bu aşamada, yapı sisteminin deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin modal kütlesi ve tepe noktası genliği değerleri elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

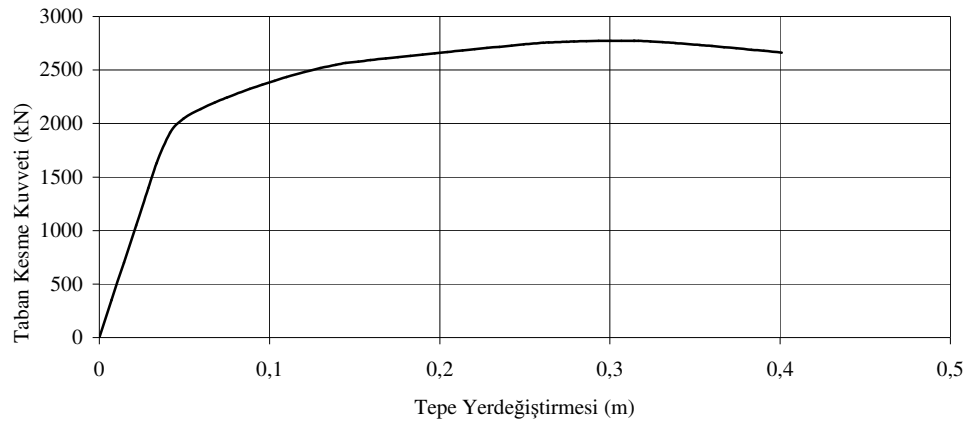
Tablo 4.10: Etkin Modal Kütle

| Mod | Periyot | UX |
|-----|----------|---------|
| 1 | 0.94712 | 0.79147 |
| 2 | 0.320732 | 0.11502 |
| 3 | 0.180407 | 0.04343 |
| 4 | 0.122294 | 0.02185 |
| 5 | 0.094265 | 0.01497 |

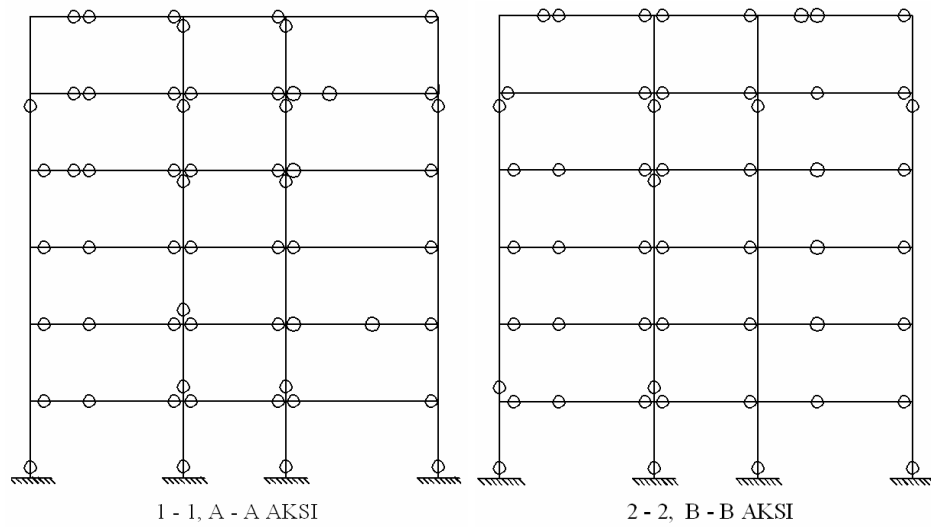
Tablo 4.11: Tepe Noktası Genliği

| Kat | Mod | UX |
|-----|-----|--------|
| 6 | 1 | 0.0345 |
| 5 | 1 | 0.0313 |
| 4 | 1 | 0.0257 |
| 3 | 1 | 0.0187 |
| 2 | 1 | 0.0114 |
| 1 | 1 | 0.0043 |

f) SAP2000 programının varsayılan özellikleri ile x deprem doğruğusunda yapılan itme analizinden elde edilen statik itme eğrisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Bu itme eğrisinin son adımında (göçme anında) oluşan plastik mafsallar Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Statik İtme Eğrisi

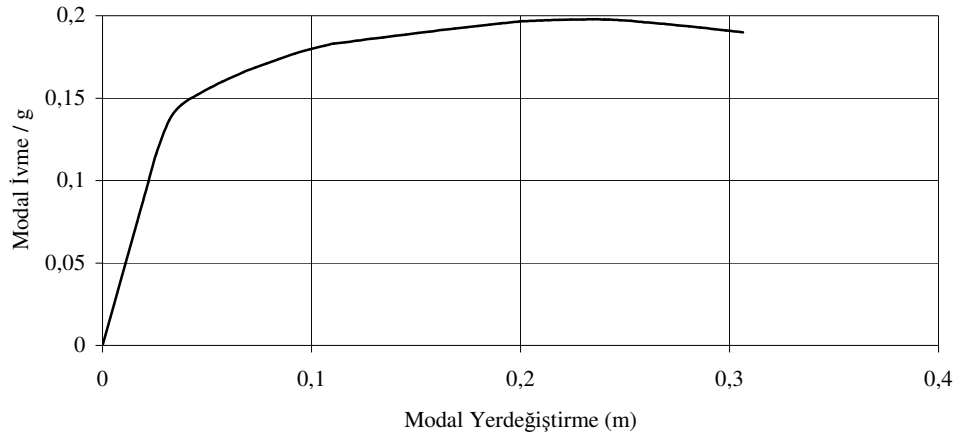


Şekil 4.7: Göçme Anında Oluşan Plastik Mafsallar

g) Elde edilen ivme eğrisinden Tablo 4.12’de verilen modal katkı çarpanları yardımıyla koordinat dönüşümü uygulanarak, birinci moda ait modal yerdeğiştirme – modal ivme değerlerinden oluşan kapasite diyagramı elde edilmiştir, Şekil 4.8.

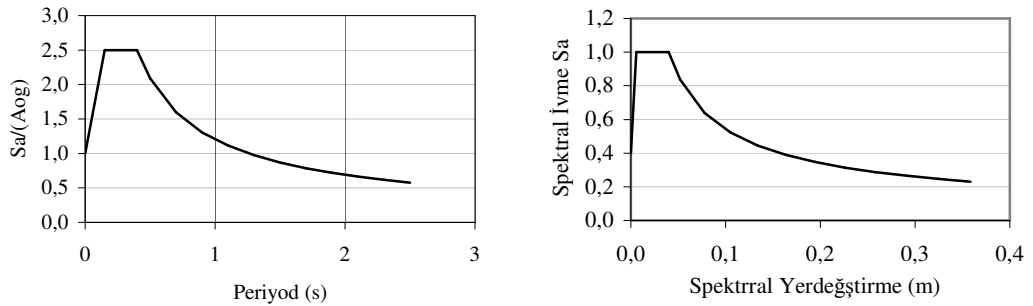
Tablo 4.12: Etkin Kütle ve Modal Katkı Çarpanının Belirlenmesi

| Kat | W_i (kN) | Mod | m_i | Φ_{i1} | $m_i \Phi_{i1}$ | L_{x1} | $m_i \Phi_{i1}^2$ | M_1 | M_{x1} | Γ_{x1} |
|-----|------------|-----|--------|-------------|-----------------|----------|-------------------|-------|----------|---------------|
| 6 | 2913.13 | 1 | 296.96 | 0.0345 | 10.2450 | 37,70 | 0.3535 | 0.99 | 1429.99 | 37.93 |
| 5 | 2913.13 | | 296.96 | 0.0313 | 9.2947 | | 0.2909 | | | |
| 4 | 2953.8 | | 301.10 | 0.0257 | 7.7383 | | 0.1989 | | | |
| 3 | 2953.8 | | 301.10 | 0.0187 | 5.6306 | | 0.1053 | | | |
| 2 | 2991.09 | | 304.90 | 0.0114 | 3.4759 | | 0.0396 | | | |
| 1 | 2999.32 | | 305.74 | 0.0043 | 1.3147 | | 0.0057 | | | |



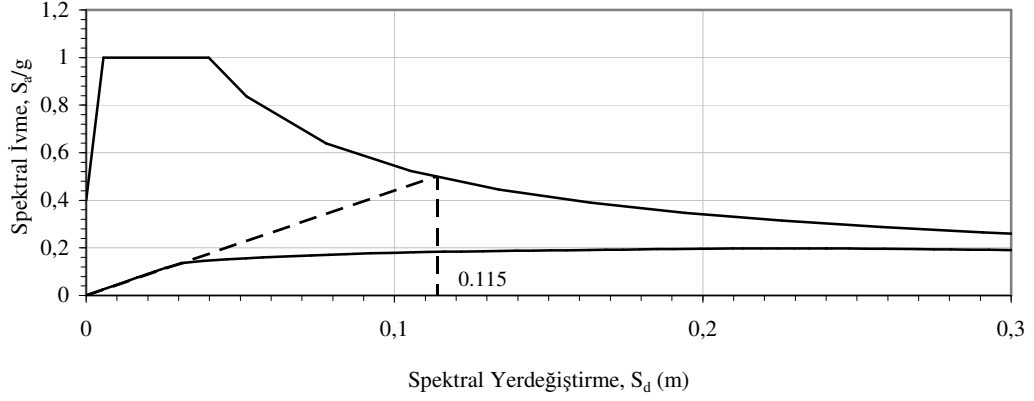
Şekil 4.8: Modal Kapasite Diyagramı

h) Zemin sınıfına ait periyod – spektral ivme eğrisi oluşturulmuş ve bu eğriden spektral yerdeğiştirme – spektral ivme (talep) eğrisine geçilmiştir, Şekil 4.9.



Şekil 4.9: Spektral Yerdeğiştirme – Spektral İvme Eğrisine Geçiş

i) $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodu, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'den daha büyük olduğu için, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca; doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme doğrusal elastik spektral yerdeğiştirmeye eşit olarak alınır. Bu diyagramın başlangıç eğiminin talep eğrisini kestiği nokta Şekil 4.10'da görüldüğü gibi $S_{de1} = 0.115$ m olarak bulunmuştur.

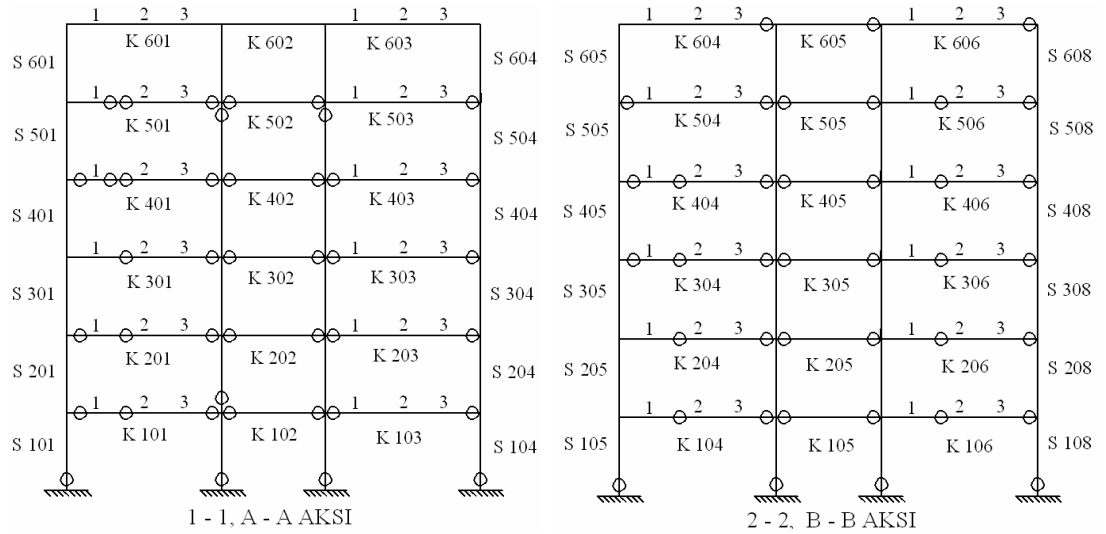


Şekil 4.10: Spektral İvme – Spektral Yerdeğiştirme Diyagramı

j) Tepe yerdeğiştirme istemi Denklem (2.12) yardımıyla

$$u_{xN1}^{(i)} = 0.0345 \times 37.93 \times 0.115 = 0,1505 \text{ m olarak bulunur.}$$

k) Bulunan tepe yerdeğiştirmesi istemi (performans noktası) için itme analizi tekrarlanmıştır ve bu isteme ulaşıldığında yapıda oluşan plastik mafsallar ve oluştuğu kesit isimleri Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.11: Performans Noktasına Ulaşıldığında Yapıda Oluşan Plastik Mafsallar

D) İtme analizi sonucunda tüm plastik kesitlerde elde edilen plastik mafsalsal dönmeleri, BEKE [5] adında özel bir program yardımıyla, kesit hasar sınırları ile karşılaştırılarak kesitlerin bulunduğu hasar bölgeleri tespit edilmiştir. BEKE programının amacı; en az bir simetri eksenine bulunan ve bileşik eğilme etkisinde olan betonarme kesitlerde gerçek iç kuvvet – şekil değiştirme bağıntılarının ve akma koşullarının elde edilmesidir. Ayrıca, bu bilgilerden yararlanarak; enkesit eğilme rijitliklerinin tayini, en az bir simetri eksenine bulunan ve basit eğilme etkisinde olan betonarme kesitlerin taşıma güçleri hesabı ve iki simetri eksenine bulunan ve bileşik eğilme etkisinde olan betonarme kesitlerde idealleştirilmiş akma yüzeyinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Kolonların kesit hasar bölgeleri Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13: Kolonların Kesit Hasar Bölgeleri

| Kat | Kolon | Uç | Normal Kuvvet kN | θ_p | Hasar Bölgesi |
|-----|--------------|-----|---------------------|----------------------------|---------------|
| | | | | Radyan $\times 10^{-3}$ | |
| 5 | S502 - S514 | üst | 303.614 | 0.3676 | Minimum |
| | S 503 - S515 | üst | 347.41 | 0.2187 | Minimum |
| 2 | S 202 - S214 | alt | 741.113 | 0.01604 | Minimum |
| 1 | S101 - S113 | alt | 455.996 | 0.9053 | Minimum |
| | S102 - S114 | alt | 888.981 | 0.6137 | Minimum |
| | S103- S115 | alt | 1083.146 | 0.3041 | Minimum |
| | S104 - S116 | alt | 1054.974 | 0.3173 | Minimum |
| | S105 - S109 | alt | 619.344 | 1.881 | Minimum |
| | S106 - S110 | alt | 1098.494 | 1.852 | Minimum |
| | S107 - S111 | alt | 1713.455 | 1.406 | Minimum |
| | S108 - S112 | alt | 1377.311 | 1.4 | Minimum |

Kirişlerin kesit hasar bölgeleri Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14: Kirişlerin Kesit Hasar Bölgeleri

| Kiriş | Parça | Uç | θ_p | Hasar Bölgesi |
|-------------|-------|-----|-------------------------|---------------|
| | | | Radyan $\times 10^{-3}$ | |
| K604 - K607 | 3 | sağ | 0.5299 | Minimum |
| K605 - K608 | - | sağ | 0.1046 | Minimum |
| K606 - K609 | 3 | sağ | 0.41 | Minimum |
| K501 - K510 | 1 | sağ | 0.8823 | Minimum |
| | 2 | sol | 0.8775 | Minimum |
| | 3 | sağ | 3.161 | Minimum |
| K502 - K511 | - | sol | 1.009 | Minimum |
| | - | sağ | 1.669 | Minimum |
| K503 - K512 | 3 | sağ | 3.315 | Minimum |
| K504 - K507 | 1 | sol | 2.333 | Minimum |
| | 3 | sağ | 3.449 | Minimum |
| K505 - K508 | - | sol | 3.405 | Minimum |
| | - | sağ | 2.639 | Minimum |
| K506 - K509 | 2 | sol | 3.53 | Minimum |
| | 3 | sağ | 5.087 | Belirgin |
| K401 - K410 | 1 | sol | 6.016 | Belirgin |
| | 1 | sağ | 0.6957 | Minimum |
| | 2 | sol | 0.6919 | Minimum |
| | 3 | sağ | 7.065 | Belirgin |
| K402 - K411 | - | sol | 5.835 | Belirgin |
| | - | sağ | 5.777 | Belirgin |
| K403 - K412 | 1 | sol | 4.697 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 7.883 | Belirgin |
| K404 - K407 | 1 | sol | 0.6582 | Minimum |
| | 2 | sol | 9.955 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 10.4 | Belirgin |
| K405 - K408 | - | sol | 6.788 | Belirgin |
| | - | sağ | 7.014 | Belirgin |
| K406 - K409 | 2 | sol | 10 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 11.2 | Belirgin |
| K301 - K310 | 2 | sol | 12.9 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 13.6 | Belirgin |
| K302 - K311 | - | sol | 8.999 | Belirgin |
| | - | sağ | 0.8309 | Belirgin |
| K303 - K312 | 1 | sol | 8.259 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 9.051 | Belirgin |
| K304 - K307 | 1 | sol | 9.575 | Belirgin |
| | 2 | sol | 0.1784 | Minimum |
| | 3 | sağ | 9.378 | Belirgin |
| K305 - K308 | - | sol | 9.372 | Belirgin |
| | - | sağ | 9.043 | Belirgin |
| K306 - K309 | 2 | sol | 13.8 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 14.5 | Belirgin |
| K201 - K210 | 1 | sol | 1.279 | Minimum |
| | 2 | sol | 10.1 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 12.1 | Belirgin |
| K202 - K211 | - | sol | 8.934 | Belirgin |
| | - | sağ | 7.757 | Belirgin |
| K203 - K212 | 1 | sol | 8.324 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 7.842 | Belirgin |
| K204 - K207 | 2 | sol | 13.3 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 13.2 | Belirgin |
| K205 - K208 | - | sol | 9.219 | Belirgin |
| | - | sağ | 8.593 | Belirgin |
| K206 - K209 | 2 | sol | 13 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 13.1 | Belirgin |
| K101 - K110 | 1 | sol | 0.03855 | Minimum |
| | 2 | sol | 8.239 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 8.236 | Belirgin |
| K102 - K111 | - | sol | 5.786 | Belirgin |
| | - | sağ | 4.326 | Belirgin |
| K103 - K112 | 1 | sol | 5.197 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 5.557 | Belirgin |
| K104 - K107 | 2 | sol | 8.949 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 8.747 | Belirgin |
| K105 - K108 | - | sol | 5.822 | Belirgin |
| | - | sağ | 5.684 | Belirgin |
| K106 - K109 | 2 | sol | 8.35 | Belirgin |
| | 3 | sağ | 9.004 | Belirgin |

4.3.1 Performans Değerlendirmesi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan hesaplar sonucunda; tüm kiriş ve kolonlar minimum veya belirgin hasar bölgelerinde bulunmaktadır.

Yapı sistemi, doğrusal olmayan elastik hesap sonucunda, “can güvenliği” performans düzeyindedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2007 TDY' ne göre boyutlandırılan bir yapının deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla 2007 TDY'nde tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile sayısal inceleme gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sta4-CAD programı yardımıyla 2007 TDY'ne göre boyutlandırılan yapı; 2007 TDY'de tanımlanan doğrusal elastik hesap yöntemi ile Sta4-CAD programında, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile SAP2000 programında çözümlenerek deprem güvenliği irdelenmiştir.

Bu ve benzeri sayısal çalışmaların sonuçlarına dayanarak, mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi amacıyla 2007 TDY'nde tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin birbirleri ile karşılaştırılarak irdelenmesi ve gerekli olan durumlarda bu yöntemlerde revizyon yapılması mümkün olabilecektir.

Sayısal incelemeler sonucunda şu sonuçlara varılmıştır:

2007 TDY'ne göre boyutlandırılan yapı, hem Sta4-CAD programı ile yapılan doğrusal elastik hesap sonucunda, hem de SAP2000 programı ile yapılan doğrusal elastik olmayan hesap sonucunda can güvenliği performans düzeyinde çıkmaktadır. Böylece, 2007 TDY'nde yapı önem katsayısı $I=1.0$ olan yapılar için tasarım depreminde öngörülen can güvenliği performans düzeyi sağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [3] **Özer, E.**, 1969. Lineer Olmayan Sistemlerin Hesabı İçin Bir Metot, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [4] **Özer, E.**, 1987. Determination of second-order limit load by a method of load increments, *Bulletin of the Technical University of İstanbul*, **40**, 815-836.
- [5] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Özer, E.**, 2006. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozer, İstanbul.
- [7] **Çakıroğlu, A., ve Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- [8] **Çakıroğlu, A., Özer, E., ve Girgin, K.**, 1999. Yield conditions and yield vector for combined biaxial bending of rectangular reinforced concrete sections, *Proceedings of the Uğur Ersoy Symposium in Structural Engineering*, METU Pres, Ankara, July 1-2, 121-135.
- [9] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council*, California.

- [10] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [11] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [12] **ATC-55**, 2004. Evaluation and Improvement of Inelastic Seismic Analysis Procedures, *Applied Technology Council*, California.
- [13] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [14] **2007 TDY**, 2007. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [15] **Sta4-CAD**, 2007. Structural Analysis For Computer Aided Design, Sta Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.
- [16] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [17] **SAP2000**, 2006. Structural Analysis Program, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

ÖZGEÇMİŞ

Hamza Kocaöz, 1983 yılında Aksaray'da doğdu. Ortaokul ve liseyi Nevşehir Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Yapı Mühendisliği Programı'nda öğrenim görmeye başladı.