

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİM ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİNALARIN ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ YASTIKLARLA BAĞLI
ÖNÜRETİM PERDELERLE DIŞARIDAN GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selçuk ZENGİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Mayıs 2015

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİM ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME BİNALARIN ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ YASTIKLARLA BAĞLI
ÖNÜRETİM PERDELERLE DIŞARIDAN GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Selçuk ZENGİN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Deprem Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL

Mayıs 2015

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802121036 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Selçuk ZENGİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ **BETONARME BİNALARIN ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ YASTIKLARLA BAĞLI ÖNÜRETİM PERDELERLE DIŞARIDAN GÜÇLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik ÜNİVERSİTESİ

Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2015**

Annem ve babama,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde bizden desteklerini esirgemeyen ve imkânlarını sonuna kadar bizlerin önüne seren İstanbul Teknik Üniversitesi ailesine en içten teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu tezde kullanılan enerji sönümleyici çelik yastıklara ait deneyler Avrupa Birliği 7nci Çerçeve Programı tarafından desteklenen Safecladding isimli proje kapsamında İTÜ'de geliştirilmiş ve test edilmiştir. Yazar, deney verileri ile analiz sonuçlarının paylaşılması ve kullanılmasını, ayrıca değerli yorum ve katkıları için İTÜ Safecladding ekibinden Doç. Dr. Ercan YÜKSEL, Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN, Yrd. Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK, Yrd. Doç. Dr. Eleni SMYROU ve İnş. Yük. Müh. Ahmet GÜLLÜ'ye teşekkür eder.

Lisans eğitimimde bize Deprem Mühendisliği disiplini ile tanıştıran ve olabildiğince bizlere bir şeyler öğretip ufukumuzu açmaya çalışan değerli hocam değerli hocam Doç. Dr. Kemal BEYEN'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden hiçbir konuda desteğini esirgemeyen, beni en iyi şekilde yönlendirip tez aşaması boyunca farklı fikirlerle tanıştıran değerli danışmam hocam Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL'a teşekkür ederim.

Tez aşaması boyunca benden manevi desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım İnş. Müh. Sinem AYAZ'a, İnş. Müh. Hasan Mert TERZİOĞLU'na ve İnş. Müh. Ahmet KOÇ'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana hem maddi hem de manevi desteklerini veren başta babam ve annem olmak üzere ağabeyime ve ablama en içten teşekkürleri borç bilirim.

Mayıs 2015

Selçuk ZENGİN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ..... | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| KISALTMALAR | xi |
| ÇİZELGELER LİSTESİ..... | xiv |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | xvi |
| ÖZET | xix |
| SUMMARY | xxi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Giriş | 1 |
| 1.2 Çalışmanın Amacı | 1 |
| 2. PERFORMANS KAVRAMI | 3 |
| 2.1 Giriş | 3 |
| 2.2 Elemanların Hasar Sınırları Ve Bölgeleri..... | 4 |
| 2.3 Yapı Performans Düzeyleri | 5 |
| 2.3.1 Hemen kullanım performans seviyesi..... | 6 |
| 2.3.2 Can güvenliği performans seviyesi | 7 |
| 2.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi | 7 |
| 2.3.4 Göçme durumu..... | 8 |
| 2.4 Deprem Etkileri ve Hesabına Ait Genel İlkeler | 8 |
| 2.5 Yapı Bilgisi Düzeyleri..... | 13 |
| 2.5.1 Sınırlı bilgi düzeyi..... | 14 |
| 2.5.2 Orta bilgi düzeyi..... | 15 |
| 2.5.3 Kapsamlı bilgi düzeyi | 15 |
| 3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ | 17 |
| 3.1 Giriş | 17 |
| 3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi | 18 |
| 3.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü | 19 |
| 3.3.1 Kapasite eğrisinin belirlenmesi | 20 |
| 3.3.2 İstem (Talep) eğrisinin belirlenmesi | 23 |
| 3.3.3 Kapasite ve talep eğrisinin kesiştirilmesi..... | 25 |
| 3.3.4 Spektral yerdeğıştirmenin tanımlanması..... | 31 |
| 3.3.5 Kesit hasar sınırlarının belirlenmesi | 35 |
| 3.3.6 Bina performansının belirlenmesi | 37 |
| 3.4 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi..... | 37 |
| 3.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi..... | 38 |
| 4. ÖRNEK BİNALAR, MODELLER VE PERFORMANS HESAPLARI | 41 |
| 4.1 Örnek Binalar | 41 |
| 4.2 Örnek Binaların Modellenmesi | 43 |
| 4.2.1 Malzemeler, kesitler ve eleman sınıflarının modellenmesi..... | 43 |
| 4.2.2 Düğüm noktaları, eleman bağlantıları, diyaframlar ve mesnetler..... | 48 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.3 | Binaların Statik ve Dinamik Analizleri | 53 |
| 4.3.1 | Binaların kat kütlelerinin tayini..... | 53 |
| 4.3.2 | Binaların modal özelliklerinin tayini..... | 56 |
| 4.4 | Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi..... | 59 |
| 4.4.1 | Deprem yükleri ve performans seviyeleri | 59 |
| 4.4.2 | Kapasite ve talep eğrilerinin elde edilmesi | 65 |
| 4.4.3 | Eleman hasar sınırları ve bina performansı..... | 80 |
| 4.5 | Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi | 85 |
| 5. | DIŞARIDAN SÖNÜMLÜ PERDELER İLE GÜÇLENDİRME | 87 |
| 5.1 | A1 Tipi Perdelerin Modellenmesi | 88 |
| 5.2 | Güçlendirilmiş Binaların Artımsal Eşdeğer Yüğü İle Analizi..... | 96 |
| 5.3 | Binaların Zaman Tanım Alanında Analizi | 102 |
| 5.4 | Perde Duvarların Boyutlandırılması..... | 113 |
| 6. | SONUÇLAR | 115 |
| | KAYNAKLAR | 117 |
| | ÖZGEÇMİŞ..... | 121 |

KISALTMALAR

| | |
|--------------------|---|
| A_0 | Etkin Yer İvmesi |
| $A(T)$ | Spektral İvme Katsayısı |
| I | Bina Önem Katsayısı |
| Z | Deprem bölge katsayısı |
| T_1 | Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s] |
| T_A | 1. Spektrum Karakteristik Periyodu |
| T_B | 2. Spektrum Karakteristik Periyodu |
| R | Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı |
| n | Hareketli Yük Katılım Katsayısı |
| $R_a(T)$ | Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı |
| $S(T)$ | Spektrum Katsayısı |
| $S_{ae}(T)$ | Elastik spektral ivme |
| S_a | Yapıya etki eden spektral ivme katsayısı |
| S_{a1} | 1. modda yapıya etki eden spektral ivme katsayısı |
| S_d | Spektral yerdeğiştirme |
| S_{d1} | 1. modda oluşan spektral yerdeğiştirme |
| M_n | n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle |
| M_{xn} | Göz önüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle |
| V_i | Göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti |
| V_1 | 1. modda yapıya etki eden taban kesme kuvveti |
| m_i | Binanın i'inci katının kütlesi |
| W | Bina ağırlığı |
| h_i | Binanın i'inci katının kat yüksekliği |
| α_1 | Yapının 1. moda ait etkin kütlesi ile m toplam kütlelerinin oranı |
| Δ_i | Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi |
| $(\Delta_i)_{ort}$ | Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi |
| η_{bi} | i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı |
| η_{ci} | i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı |
| Φ_{xin} | Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenî doğrultusundaki yatay bileşeni |
| $a_{1(i)}$ | (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme |
| L_p | Plastik mafsâl boyu |
| $U(i)_{xN1}$ | Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme |
| $U^{(p)}_{xN1}$ | Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi |
| $V^{(i)}_{x1}$ | x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim moda) ait taban kesme kuvveti |

| | |
|-----------------|---|
| ϵ_{cg} | Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değişirmesi |
| ϵ_{cu} | Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değişirmesi |
| ϵ_s | Donatı çeliği birim şekil değişirmesi |
| 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 |
| ρ_s | Kesitte mevcut bulunan enine donatının hacimsel oranı |
| ρ_{sm} | göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı |
| a_{y1} | Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi |
| C_{R1} | Birinci moda ait spektral yerdeğıştirme oranı |
| d_1 | Birinci (hakim) moda ait modal yerdeğıştirme |
| $d_{1(p)}$ | En son (p)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait maksimum modal yerdeğıştirme (modal yerdeğıştirme istemi) |
| R_{y1} | Birinci moda ait Dayanım Azaltma Katsayısı |
| $S_{ae1}^{(1)}$ | İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme |
| $S_{de1}^{(1)}$ | İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğıştirme |
| S_{di1} | Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğıştirme |

ÇİZELGELER LİSTESİ

| | | |
|--------------|---|-----|
| Çizelge 2.1 | Minimum Performans Hedefleri | 6 |
| Çizelge 2.2 | Etkin Yer İvmesi Katsayısı | 9 |
| Çizelge 2.3 | Bina Önem Katsayısı (I) | 10 |
| Çizelge 2.4 | Spektrum Karakteristik Periyotları | 12 |
| Çizelge 2.5 | Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı | 12 |
| Çizelge 2.6 | Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayısı | 13 |
| Çizelge 3.1 | Elastik Davranış Spektrumunun Koordinat Dönüşümü..... | 24 |
| Çizelge 3.2 | Mod Şekil Genliklerinin Normalizasyonu | 29 |
| Çizelge 3.3 | Kesit Hasar Sınır Değerleri..... | 36 |
| Çizelge 4.1 | 4 ve 6 Katlı Binaların Genel Özellikleri | 42 |
| Çizelge 4.2 | Binaların Donatı Oranları | 43 |
| Çizelge 4.3 | Eleman Tipleri | 45 |
| Çizelge 4.4 | Kiriş Yüklerinin Dağıtılması | 46 |
| Çizelge 4.5 | Döşeme Yükünün Hesabı | 47 |
| Çizelge 4.6 | "dmass" Elemanların Programda İsimlendirilmesi..... | 48 |
| Çizelge 4.7 | 4 Katlı Binanın Kat Ağırlıkları | 54 |
| Çizelge 4.8 | 4 Katlı Binanın Ağırlığı | 54 |
| Çizelge 4.9 | 6 Katlı Binanın Kat Ağırlıkları (kN)..... | 55 |
| Çizelge 4.10 | 6 Katlı Binanın Ağırlığı | 56 |
| Çizelge 4.11 | 4 Katlı Binanın Burulma Düzensizliği ve Yumuşak Kat Kontrolü | 59 |
| Çizelge 4.12 | 6 Katlı Binanın Burulma Düzensizliği ve Yumuşak Kat Kontrolü | 60 |
| Çizelge 4.13 | Binaların Mod Şekilleri | 61 |
| Çizelge 4.14 | 4 Katlı Binanın Koordinat Dönüşümü İçin Gerekli Olan Değerler | 69 |
| Çizelge 4.15 | 4 Katlı Binanın Koordinat Dönüşümü İçin Gerekli Olan Değerler 2 | 70 |
| Çizelge 4.16 | 6 Katlı Binanın Koordinat Dönüşümü İçin Gerekli Olan Değerler | 71 |
| Çizelge 4.17 | Spektral İvme - Spektral Yerdeğiştirmenin Elde Edilmesi..... | 74 |
| Çizelge 4.18 | 4 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları | 81 |
| Çizelge 4.19 | 6 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları | 83 |
| Çizelge 5.1 | Yastık Elemanın Bilineer - Simetrik Rijitlikleri | 89 |
| Çizelge 5.2 | Yastık Elemanların Bilineer - Asimetrik Rijitlikleri..... | 89 |
| Çizelge 5.3 | Yastık Rijitlikleri | 93 |
| Çizelge 5.4 | Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları | 99 |
| Çizelge 5.5 | Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları | 100 |
| Çizelge 5.6 | Normal ve Güçlendirilmiş Binaların Maksimum Yerdeğiştirmeler | 107 |
| Çizelge 5.7 | 4 ve 6 Katlı Binalardan Elde Edilen Maksimum Yerdeğiştirmeler | 107 |
| Çizelge 5.8 | Kolonların ile Perdelerin Taşıdığı En Büyük Taban Kesme Kuvvetleri | 108 |
| Çizelge 5.9 | Zaman Tanım Alanında Bulunan En Büyük Taban Kesme Kuvvetleri | 114 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 Kesit Hasar Bölgeleri..... | 4 |
| Şekil 2.2 Elastik Tasarım Spektrumu..... | 5 |
| Şekil 3.1 İdealize Edilmiş Çubuk Eleman Modelleri [8]..... | 18 |
| Şekil 3.2 Plastik Mafsals Oluşumu..... | 22 |
| Şekil 3.3 Statik İtme Eğrisi..... | 22 |
| Şekil 3.4 Elastik Davranış Spektrumu..... | 23 |
| Şekil 3.5 Spektral İvme - Spektral Yerdeğiştirme..... | 25 |
| Şekil 3.6 Taban Kesme Kuvveti - Tepe Yerdeğiştirme..... | 26 |
| Şekil 3.7 Modal İvme – Modal Yerdeğiştirme..... | 26 |
| Şekil 3.8 Kapasite ve İstem(Talep) Spektrumları..... | 30 |
| Şekil 3.9 Köşe Periyodun Hakim Periyottan Daha Büyük Olması..... | 32 |
| Şekil 3.10 İki Doğrulu Hale Getirme..... | 33 |
| Şekil 3.11 Kapasite Spektrumunun İki Doğruya Çevrilmesi..... | 33 |
| Şekil 3.12 Modal Yerdeğiştirme İsteminin Bulunması..... | 35 |
| Şekil 4.1 4 ve 6 Katlı Binaların Kolon Yerleşimi..... | 41 |
| Şekil 4.2 Modellerde kullanılan donatı çeliğine ait çevrimsel model..... | 44 |
| Şekil 4.3 Betonun Mekanik Özellikleri..... | 44 |
| Şekil 4.4 Fiber Elemanlara Ayırıştırma (250 life bölünmüş bir kesit)..... | 46 |
| Şekil 4.5 Yayılı Yüklerin Çizgisel Yüklere Çevrilmesi..... | 47 |
| Şekil 4.6 Döşemelerin Serbest Açıklığı..... | 47 |
| Şekil 4.7 Düğüm Noktaları..... | 48 |
| Şekil 4.8 Düğüm Noktalarının Dizilişi..... | 49 |
| Şekil 4.9 4 ve 6 Katlı Binaların Düğüm Noktaları..... | 49 |
| Şekil 4.10 Kolon Yerleşimi..... | 50 |
| Şekil 4.11 Kirişlerin Yerleşimi..... | 51 |
| Şekil 4.12 "dmass" Elemanların Yerleşimi..... | 51 |
| Şekil 4.13 Tanımlanan Elemanların Modele Yerleştirilmesi..... | 52 |
| Şekil 4.14 Rijit Diyaframın Tanımlanması..... | 52 |
| Şekil 4.15 Oluşturulan Rijit Diyaframlar..... | 53 |
| Şekil 4.16 4 Katlı Binanın Modal Özellikleri..... | 57 |
| Şekil 4.17 6 Katlı Binanın Modal Özellikleri..... | 57 |
| Şekil 4.18 4 Katlı Binanın Kütle Katılım Oranları..... | 58 |
| Şekil 4.19 6 Katlı Binanın Kütle Katılım Oranları..... | 58 |
| Şekil 4.20 4 Katlı Binanın Nominal Deprem Kuvvetleri..... | 61 |
| Şekil 4.21 6 Katlı Binanın Nominal Deprem Kuvvetleri..... | 62 |
| Şekil 4.22 İtme Analizinde Uygulanan Yordam..... | 62 |
| Şekil 4.23 Artımsal İtme Yüklerinin 4 Katlı Binaya Etkimesi..... | 63 |
| Şekil 4.24 Artımsal İtme Yüklerinin 6 Katlı Binaya Etkimesi..... | 64 |
| Şekil 4.25 Yeşil Olarak Gösterilen Gerilme Noktası..... | 65 |
| Şekil 4.26 Hasar Sınır Renkleri..... | 65 |
| Şekil 4.27 4 Katlı Binanın Deforme Olmuş Şekli..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 4.28 6 Katlı Binanın Deforme Olmuş Şekli..... | 66 |
| Şekil 4.29 4 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi | 67 |
| Şekil 4.30 4 Katlı Binanın İtme Eğrisi..... | 72 |
| Şekil 4.31 6 Katlı Binanın İtme Eğrisi..... | 72 |
| Şekil 4.32 4 Katlı Binanın Modal İvme - Modal Yerdeğiştirme Grafiği..... | 73 |
| Şekil 4.33 6 Katlı Binanın Modal İvme - Modal Yerdeğiştirme Grafiği..... | 73 |
| Şekil 4.34 Elastik Davranış Spektrumu | 74 |
| Şekil 4.35 Dönüştürülmüş Elastik Davranış Spektrumu..... | 75 |
| Şekil 4.36 4 Katlı Binanın Kesiştirilmiş Grafikleri | 75 |
| Şekil 4.37 6 Katlı Binanın Kesiştirilmiş Grafikleri | 76 |
| Şekil 4.38 4 Katlı Binanın Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi..... | 77 |
| Şekil 4.39 6 Katlı Binanın Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi..... | 80 |
| Şekil 4.40 4 Katlı Kolonların Hasar Dağılımları | 82 |
| Şekil 4.41 4 Katlı Kirişlerin Hasar Dağılımları | 82 |
| Şekil 4.42 6 Katlı Binanın Kolonlarının Hasar Dağılımı..... | 84 |
| Şekil 4.43 6 Katlı Binanın Kirişlerinin Hasar Dağılımı..... | 84 |
| Şekil 5.1 Kullanılacak Olan Yastık Eleman | 87 |
| Şekil 5.2 4 Katlı Binanın A1 Konfigürasyonu..... | 88 |
| Şekil 5.3 Link Elemanların Modellenmesi | 90 |
| Şekil 5.4 Link Elemanın Bağlantı ve Çalışma Biçimi | 91 |
| Şekil 5.5 Yastık Elemanın Yerel Eksenleri..... | 92 |
| Şekil 5.6 Perde ile Kiriş Arasına Yastık Elemanın Konumlandırılması..... | 92 |
| Şekil 5.7 A1 Tipi Modellenmenin Önden Görünüşü | 93 |
| Şekil 5.8 A1 Tipi Modelin 3B Görünüşü..... | 94 |
| Şekil 5.9 4 Katlı A1 Tipi Model | 95 |
| Şekil 5.10 6 Katlı A1 Tipi Model | 95 |
| Şekil 5.11 Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi | 96 |
| Şekil 5.12 Normal ve Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi | 97 |
| Şekil 5.13 Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi | 97 |
| Şekil 5.14 Normal ve Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi | 98 |
| Şekil 5.15 Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kolonlarının Hasar Dağılımı..... | 99 |
| Şekil 5.16 Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kirişlerinin Hasar Dağılımı..... | 100 |
| Şekil 5.17 Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kolonlarının Hasar Dağılımı..... | 101 |
| Şekil 5.18 Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kirişlerinin Hasar Dağılımı..... | 101 |
| Şekil 5.19 Zaman Tanım Alanındaki Kuvvetler | 103 |
| Şekil 5.20 Binalara Etki Eden Deprem Kayıtları..... | 106 |
| Şekil 5.21 İtme ile Zaman Tanım Analizinden Alınan Maks. Yerdeğiştirmeler | 108 |
| Şekil 5.22 4 Katlı Güçlendirilmiş Bina..... | 109 |
| Şekil 5.23 6 Katlı Güçlendirilmiş Bina..... | 109 |
| Şekil 5.24 4 Katlı Güçlendirilmiş Bina..... | 110 |
| Şekil 5.25 6 Katlı Güçlendirilmiş Bina..... | 111 |
| Şekil 5.26 4 ve 6 Katlı Binaların Düzlem Dışı Hareketleri | 112 |
| Şekil 5.27 Modelde Kullanılan FRP Elemanın Özellikleri..... | 112 |
| Şekil 5.28 4 Katlı Bina İçin Önerilen Temel Boyutları | 113 |
| Şekil 5.29 Perde Duvarların Boyutlandırılması | 114 |

BETONARME BİNALARIN ENERJİ SÖNÜMLEYİCİ YASTIKLARLA BAĞLI ÖNÜRETİM PERDELERLE DIŞARIDAN GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Türkiye'nin bir deprem ülkesi olduğu artık toplum tarafından da kabul edilmiş bir gerçektir. Bu nedenle de insanlar bu coğrafyanın durumunu kabul edip ona göre yaşamlarını devam ettirmek zorundadırlar. Günümüzde eskiye nazaran bilgi seviyesinin artması ve toplumsal duyarlılığın gelişmesi sayesinde daha güvenli yapılar yapıldığı söylenebilir. Ancak yeni yapılan bu yapıların yanı sıra oldukça fazla sayıda, geçmişten günümüze ulaşan yapı stokunun da olduğunu unutmamak gerekir. Bu yapıların olası bir depremde göstereceği performansın bilinmesi, muhtemel can kayıplarını da en aza indirecektir. Performansları belirlenen ve Türkiye'de cari deprem yönetmeliğinin talep ettiği minimum performansı sağlayamayan yapılarda ise güçlendirme veya yapının yıkılarak yeniden inşa işlemi yapılmaktadır. Bu iki durum yapıda ikamet eden insanlar veya kuruluşların durumlarına veya ekonomik olarak ortaya çıkabilecek maliyetlere bağlı olarak tercih edilebilmektedir.

Günümüzde birçok güçlendirme yöntemi bulunmasına rağmen, inşa kolaylığı ve düşük maliyeti nedeni ile özellikle klasik güçlendirme yöntemleri daha fazla kullanılmaktadır. Klasik yöntemlerde kolonların betonarme manto ile genişletilmesi ve/veya sisteme yeni perdeler eklenmesi ile güçlendirme yapılmaktadır.

Bu tezde araştırılacak olan güçlendirme yöntemi, bir Avrupa Birliği projesi kapsamında İTÜ'de geliştirilen ve test edilen çelik yastıklarla dıştan yerleştirilecek prefabrikte perdelerle bağlanan binaların, olası bir depremdeki performanslarına etkisinin araştırılmasıdır.

Referans değerler elde edebilmek için ilk önce 4 ve 6 katlı iki adet binanın Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de belirtilen Artımsal Eşdeğer Deprem Yüküne göre itme analizleri yapılmış ve sonuçları bulunmuştur. İlgili yapılar, Türkiye'de hemen her yerde bulunan orta katlı betonarme konut binalarının ortalama özellikleri kullanılarak oluşturulmuş farazi binalardır. Bu binalar üzerinde elde edilen sonuçlara göre, hem 4 katlı hem de 6 katlı binalar, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depreminde yönetmeliğin istediği Can Güvenliği (CG) performans hedefini karşılanamamaktadır. Bu nedenle binaların güçlendirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Güçlendirmede kullanılacak olan yastık elemanları, binanın dört bir cephesinde konumlandırılacak olan perdeler ile binanın bağlantılarını sağlamaktadır. Bu sayede eliptik bir yapıya sahip olan yastık elemanlar olası bir depremde histerik bir davranış sergileyerek deprem enerjisinin bir kısmını kendi üzerinde sönmülmesi beklenmektedir. Kurulan 4 katlı ve 6 katlı modellerde her bir perdenin altına 3 adet 30 cm genişlikli yastık eleman konulmuştur. Bu elemanların içlerine perdeden gelecek eksenel yükler

altında eliptik şekillerini koruyabilmeleri için neopren malzeme konulması tasarlanmış, İTÜ’de bu şekilde inşa edilip test edilmiş çelik yastıkların özellikleri matematik modellerde kullanılmıştır. Kat seviyelerinde ise her bir binada farklı olmakla beraber 20 ile 30’ar cm genişlikli 3’er adet yastıkla perde ve bina bağlantısı gerçekleştirilmiştir.

Güçlendirilmiş binada yapılan itme analizlerinde binanın dışarıdan betonarme prefabrik perdeler eklenmesi ve bu perdelerin mevcut sisteme enerji sönümleyici çelik yastıklarla bağlanması durumunda, elde edilen performansın “Göçme” seviyesinden “Can Güvenliği” seviyesine geldiği gözlemlenmiştir. Dışarıdan yastık elemanlar ile monte edilen enerji sönümleyici perdeli güçlendirilmiş binanın yatay yük taşıma kapasitesi de, eski güçlendirilmemiş haline göre yaklaşık olarak 2 kat artmıştır.

Daha sonra hem güçlendirilmemiş 4 ve 6 katlı binalarda hem de güçlendirilmiş 4 ve 6 katlı binalarda zaman tanım alanında analizler yapılmıştır zira sönümleme etkisi özellikle dinamik analizlerde daha iyi ortaya çıkmaktadır. Türkiye Deprem Yönetmeliği’nde İnci Derece Deprem Bölgesi ve Z3 zemin için verilen ivme spektrumuna uygun seçilmiş toplam 7 adet deprem kaydı her bir binaya uygulanmış ve 28 adet zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde 7 deprem kaydı için ortaya çıkan en büyük yerdeğiştirme değerleri bulunmuş ve bu 7 en büyük yerdeğiştirme değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu değerler incelendiğinde güçlendirilmiş binaların en büyük yerdeğiştirme değerlerinde, güçlendirilmemiş yapıya nazaran, yapı performansını değiştirecek önemli düşüşler gözlemlenmiştir.

Zaman tanım alanında yapılan analizlerde, perdeler ile kolonların taşıdığı taban kesme kuvvetleri incelendiğinde, bu tezde önerilen güçlendirme konfigürasyonu ile yaklaşık olarak birbirlerine eşit oldukları gözlemlenmektedir.

Bu tip güçlendirmede tüm analizlerde ortaya çıkan diğer bir konu ise yastık elemanların bağlandığı kirişlerde ortaya çıkan erken göçmelerdir. Bu taşıyıcı elemanlar, perdeler ile binayı birbirine bağlayan yastık elemanları tuttukları için üzerlerinde büyük kesit tesirleri oluşmaktadır. Bu nedenle de bu elemanlar analizler sonucunda üzerlerine gelebilecek yükleri taşıyabilecekleri duruma getirilmeli, ilave olarak güçlendirilmelidirler. Bunun için kiriş uçlarında lifli polimer ile sargı yaparak beton sargısını arttırmak ve kirişin göçmeye ulaşmasını geciktirmek geçerli bir yöntem olabilir.

STRENGTHENING OF RC STRUCTURES WITH EXTERNAL ENERGY DISSIPATING RC WALLS

SUMMARY

Earthquakes constitute a great risk in Turkey from past to present. Strong tremors caused even death tolls up to thousand lives in a single shaking. Understanding the response of common structural types to strong ground shakings analyze the probable mitigation measures can lead to construct more reliable structures.

In old cities, such as Istanbul, the large portion of the building stock consists of pre-code structures that are vulnerable to strong shakings. To prevent big casualties in earthquakes, performance of a large portion of the existing building stock has to be improved. For a structure that is considered under a considerable collapse risk during an earthquake, there are two feasible options to be followed. The first options is that the vulnerable structure may be demolished and re-built. The second option, obviously, is to retrofit the building and extend its economic life. Either way is acceptable depending on parameters of economical, juridical, social and technical nature.

There are several methods for strengthening a building, but especially one of these methods is very commonly used for their ease in construction and rather low cost. This common method is the conventional way at which RC shear walls are added to the structure and/or columns are jacketed.

In this thesis, energy dissipating steel cushions are designed to be used in strengthening mid-story residential RC structures. The dissipator cushions were developed and tested at ITU within a European Union-funded research project. The shape of the cushion members is elliptical while the thicknesses tested at ITU vary as 3, 5 and 8 mm. The width of the cushions tested is 10cm, however in this thesis 20 cm and 30 cm wide versions are used.

Two reference buildings are modelled in order to compare cladding system and bare frame buildings. First building is a 4 story RC structure and has 3 bay in both X and Y directions. Story height is 2.8 m and bay width is 4.00 m. All beam section are 40x20 cm and all columns sections are 45x45 m. Second building is a 6-story and has 3 bay in both X and Y direction. Story height and bay width is same as the first model. There are 3 different column sections in the 6-story building. They are 70x70, 60x60 and 50x50 cm. First 2 story are 70x70 cm, next 3 stories are 60x60 cm and the top story is 50x50 cm. All beam sections are 50x25 cm in 6 story building.

Both frame buildings are analyzed in non-adaptive (1st mode dominated) pushover analysis to obtain reference values. Lateral base shear capacity of the buildings are

obtained together with their deformation capacities. The frame members are then examined to reach the overall performance of the structures based on the descriptions given in the Turkish Earthquake Code of 2007. It was found that the both structures, designed to represent average mid-story pre-code structures in Turkey, did not satisfy the Life Safety level since they both indicated the Collapse at target displacement.

To increase the lateral load capacity of the both buildings, prefabricated RC walls, to be attached outside, connected with cushions to the structure, are used. The dimension of the RC wall members are (thickness x width) 30x400 cm. The dimensions of the cushion members of the structure depend on the location they are mounted. Under the RC walls, cushions need to bare the weight of the RC walls, therefore large axial loads are carried with a neoprene material placed into the cushion. The reference values for cushion-neoprene composite connectors are again taken from the tests conducted at ITU laboratories.

In the 4-story building, 3 cushion members with 30cm width and 8mm wall thickness are used. In the first 2 stories, 3 cushion members with 5mm wall thickness are used. The width of these members are 20 cm. finally, in the last 2 stories, 3 cushion members, which have 20 cm width and 8mm wall thickness, are used. In the 6-story building, the first 3 stories, 3 mm wall thickness cushion members are used. The width of these members is 30cm. In the next 3 stories, 5mm wall thickness cushion members are used, and width of these members is 30 cm. In the top story, 8 mm wall thickness cushion members are used.

After strengthening, classic 1st mode pushover analysis is conducted. Lateral load capacity of the building increased up to nearly 2 times. The performance point of the structure receded to the Life Safety limit state. According to the Turkish Earthquake Code of 2007, the strengthened buildings satisfy the Life Safety limit state.

Nonlinear time history analyses have also been applied to both structures for the bare frame as well as for the strengthened cases. The hysteretic response of the cushions, as well as the energy dissipating capabilities, can be better seen in a dynamic analysis. The expected behavior of the cushions is to exhibit fat hysteresis loops to dissipate energy during the cyclic reversals. Seven earthquake acceleration records are applied to the models. 28 time history analyses have been conducted in total. From the 28 time history analyses results, maximum relative displacement values are noted. Average values, as well as the standard deviations of the maximum relative displacements of each 7 accelerogram suit are found for the 4 types of buildings. Results show that maximum relative displacement of retrofitted buildings decreased considerably also in the case of the nonlinear time history analyses, rendering the structures with a Life Safety performance level. Another result that has been obtained from the time history analysis is the proportion of the base shear (i.e. fracture of the base shear carried by the cushion-wall system). It can be seen that in both buildings, the shear capacity of the columns and shear walls are nearly equal for the examine configuration. Therefore the lateral load of both frames and retrofitted systems are increased twice. The other aspect, which must be considered, is that the beams adjacent to the cushion members suffer large axial loads leading to collapse since they have low confinement. The beams should be confined before application of the cushions, may be by using technics such as FRP wrapping.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Türkiye'nin bir deprem kuşağı içerisinde olduğu bilinen bir durumdur. Son yıllarda ülkede yaşanan depremlerin de büyük bir etkisi ile ortaya çıkan haklı bir endişe ve bununla paralel olarak her geçen gün artan bir bilinçlenme vardır. Türkiye'de hızla artan yapı stokuna rağmen birçok medeniyete başkentlik yapan şehirlerin oldukça yaşlı ve denetimsiz yapılmış yapılarla dolu olduğu yadsınamaz. Geçmişten günümüze ulaşan bu yapılarda hala insanların barınma ihtiyaçları karşıladığı düşünülürse bu yapıların olası bir deprem durumunda ne gibi bir davranış göstereceği insani ve ekonomik nedenlerle oldukça önem arz etmektedir.

Ortaya çıkan bu algı sayesinde artık geçmişten bugüne gelen mevcut durumdaki yapılara ne yapılması gerektiğine karar verilebilmektedir. Devletin hem yasal hem de maddi güvenceleri ile insanların içinde buldukları başta evleri olmak üzere otel, otopark veya sosyal tesisler gibi yapıların olası bir deprem durumunda nasıl bir tepki verebileceği saptanabilmektedir. Analiz edilen durum sonucunda ya güçlendirmeye ya da yıkımına karar verilebilmektedir. Tüm bu analiz işlemleri için Türkiye'de yayınlanan Deprem Yönetmeliği [1] mühendislere yol gösterici bir kılavuz niteli taşımaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada mevcut yapıların enerji sönümleyici dış perdeler ile güçlendirilmesi irdelenmiştir. Bu kapsamda biri dört diğeri ise altı katlı iki adet bina modellenmiştir. Bu modeller her iki yönde de simetrik olarak tasarlanmış ve bu sayede ileride yapılacak olan analizlerde, yapıların her ikisinin de iki farklı yönü yerine tek bir yönü dikkate alınmıştır. Binaların modellemeleri sırasında deprem yönetmeliği temel alınmamış olup olabildiğince karışıklıktan kaçınılmıştır. Burada amaçlanan hedefin dış sönümleyici perdeler ile performansın tahkiki olduğu unutulmamalıdır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te [1] de açık bir şekilde belirtildiği üzere bina veya bina türü yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde hem doğrusal elastik hem de doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden yararlanıla bilinmektedir. Yönetmeliğin yedinci bölümünde her iki şekilde de nasıl hesap yapılabileceği mühendislere anlatılmaktadır. Bu çalışmada doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile deprem performansın bulunması amaçlanmaktadır. Bunlar Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yönetimi'dir. İlgili yapıların performans seviyelerinin bulunması sürecinde her bir yönteme ait gidişat çok detaylı olmamak kaydı ile bahsedilecek olup tezin kapsamının bu yöntemlerin irdelenmesi olmamaktadır.

Tezin hazırlanmasında, özellikle de doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanmasında ATC – 40 [2] , FEMA - 356 [3] ve FEMA - 440 [4] kaynaklarından sıklıkla yararlanılmıştır. Binaların dış enerji sönümleyici perdelerle bağlantısı çelik yastıklar ile yapılmıştır. Bu yastıkların mekanik özellikleri SMYROU ve diğ. [5] tarafından yapılan bir çalışmadan alınmıştır.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

Depremlerde gerek can gerekse de mal güvenliğinin sağlana bilinmesi için ihtiyaçları karşılayan yapıların, yer hareketlerine nasıl tepki vereceklerinin bilinmesi gerekmektedir. Depremlerin yapılardan yerel zemin etkileri gibi başka parametrelere bağlı olarak talepleri vardır. Bu taleplerin karşılığında her yapı için ayrı bir yöntem yerine genelleştirilmiş yordamların kullanımı mühendislik açısından daha pratik bir yaklaşım sunar. Bu bağlamda 2007 deprem yönetmeliğinde, Elastik Tepki Spektrumu gibi binaların istatistiki bir ortalaması temel alınarak hazırlanmış araçlar bulunmaktadır.

Binaların depremlerde gösterebilecekleri davranışın modellenebilmesi için bilinmeyen tüm parametrelerin hesaplanabiliyor olunması gerekmektedir. Bu parametrelerin hepsinin hesapları günümüzde imkânsız olduğu için bu bilinmeyenler güvenlik katsayıları gibi sabitlerle etkisiz hale getirilmeye çalışılmaktadır. Depremlerin her birinin oluşturacağı dalga hareketlerinin birbirlerinden bağımsız olmalarından dolayı, her bir depremin kendine özgü bir dalga modeli vardır. Depremlerin bu farklılıklarını ortak bir payda da buluşturabilmek için istatistiki çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak depremlerin oluşma ihtimalleri bulunup buna bağlı olarak yönetmeliklere müdahale edile bilinmektedir. Yönetmelikteki elastik tepki spektrumu da bu çalışmaların bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. 2007 deprem yönetmeliğinde oluşturulan bu elastik tepki spektrumu, dönüşüm periyodu 475 yıl ve 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremini yansıtmaktadır. Poisson Olasılık Dağılımı kullanılarak aşılma olasılığı **Denklem 2.1**'deki gibi hesaplanabilir

$$1 - \left(1 - \frac{1}{475}\right)^{50} = 0.10 \quad (2.1)$$

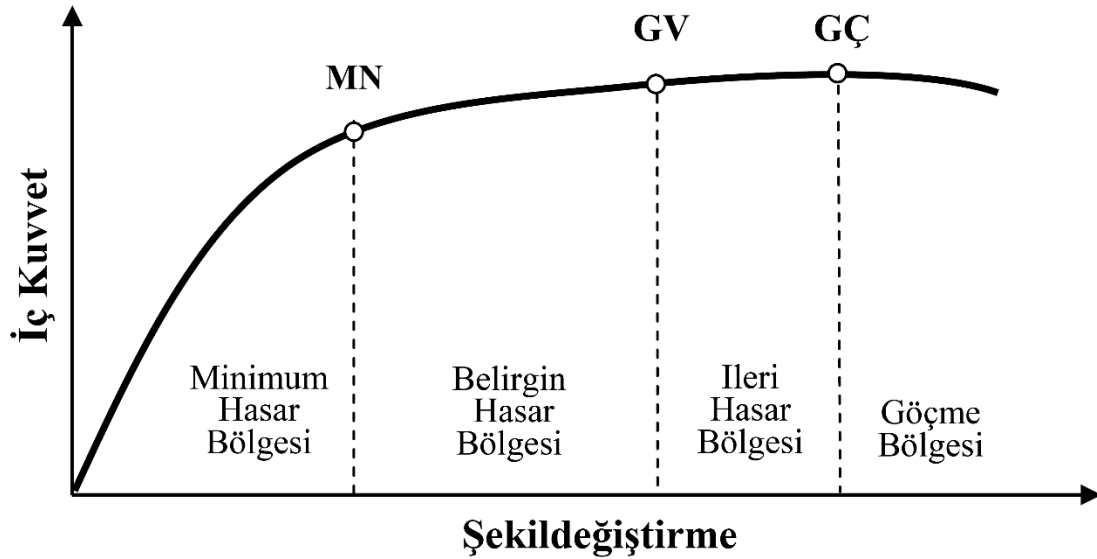
Dönüşüm periyodu yüksek olan depremler seyrek olurlar bu nedenle etkileri ve yıkımı daha büyüktür. Ancak dönüşüm periyodu küçük olan depremler sık meydana gelirler ve etkileri küçüktür. Binaların performans kavramı incelendiğinde, büyük depremlerin ortaya çıkardıkları enerjinin binanın elastik kapasitesi içerisinde sönümlenmesi mümkün

değildir. Bu enerjinin sadece küçük bir bölümü binanın elastik sınırı içerisinde karşılanır, geriye kalan kısmının ise, binanın sistem elemanlarının elastik ötesi davranışları ile karşılandığı kabul edilir.

Binaların deprem hareketlerine gösterdiği davranışı yönetmelikte belirli yöntemler ile hesaplanabilmektedir. Bu yöntemler ile binaların depremlerde nasıl bir performans sergileyeceğini önceden belirlenip gerekli önlemler alınabilmektedir.

2.2 Elemanların Hasar Sınırları Ve Bölgeleri

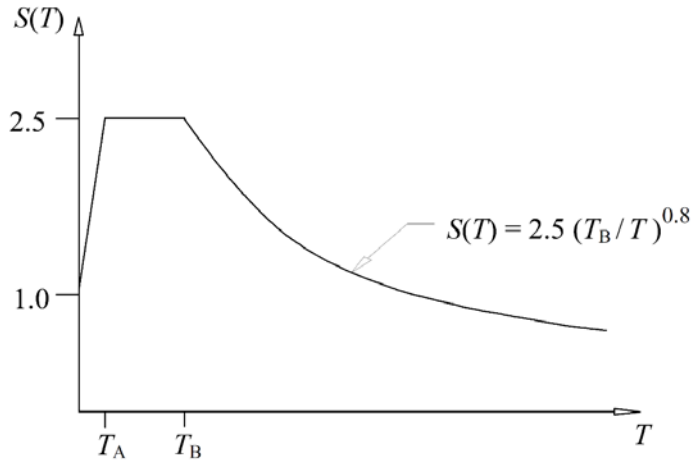
Sünek yapı elemanlarının hasar sınırları için yönetmelikte üç sınır durumu tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. (Şekil 2.1) Bu hasar sınırları, yapı elemanlarının uçlarındaki bölgelerin şekil değiştirmeleri ile orantılıdır. Gevrek yapı elemanları gevrek olarak kabul edilip bu sınıflandırmadan ayrı tutulur. İlgili kesitteki şekil değiştirmeler eğer Minimum Hasar Sınırına kadar ise Minimum Hasar Bölgesi, Minimum Hasar Sınırı ile Güvenlik Sınırı arasında ise Belirgin Hasar Bölgesi, Güvenlik Hasar Sınırı ile Göçme Bölgesi'nde ise İleri Hasar Bölgesi ve son olarak da Göçme Sınırdan ileride ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar.



Şekil 2.1 Kesit Hasar Bölgeleri

2.3 Yapı Performans Düzeyleri

DBYBHY – 2007 ‘de bölüm 7’de betonarme ve prefabrike binaların performansı, yukarıda sözü edilen hasar bölgelerine bağlı olarak verilmiştir. Her bir taşıyıcı sistem elemanının hangi oranlarda hangi hasar bölgesinde olduğu tahkiki yapılarak yapı performans seviyesi ortaya çıkartılabilir. Yığma yapıların performans düzeyleri ise DBYBHY – 2007 ‘deki Bölüm 5 ‘e göre yapılan hesaplar sonucunda ortaya çıkarılır. Yığma yapılarda eleman şekil değiştirmeleri yerine, deprem etkilerinin oluşturduğu kesme dayanımının ne derece karşılandığına göre bir performans düzeyi belirlenir. Eğer deprem etkilerinin oluşturduğu kesme kuvveti tüm duvarların kesme dayanımı tarafından karşılanıyor ise, binanın Hemen Kullanım Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir. Herhangi bir katta, hesabı yapılan deprem doğrultusundaki deprem kuvvetini karşılayamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı %20’nin altında ise binanın Can Güvenliği Performans Düzeyi’ni sağladığı kabul edilir. Bunun dışındaki durumlarda ise binanın Göçme Durumu’nda olduğu kabul edilir. Yeni yapılacak binalar 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi temel almaktadır. Mevcut binalarda ise, yukarıdaki deprem durumuna ek olarak elastik tepki spektrumunun (Şekil 2.2) ordinat değerlerinin yarısı yani spektrum katsayısı, $S(T)$, değerlerinin yarısı alınarak 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem için kullanılabilir. 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan büyük bir deprem için ise $S(T)$ değerleri 1.5 katı olarak alınabilir. Mevcut veya güçlendirilecek binaların minimum deprem hedefleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Elastik Tasarım Spektrumu

Çizelge 2.1 Minimum Performans Hedefleri

| Binanın Kullanım Amacı ve Türü | Deprem Aşılma Olasılığı | | |
|---|--------------------------------|-----------------|----------------|
| | 50 yılda %50 | 50 yılda %10 | 50 yılda %2 |
| Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim 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 | — |

2.3.1 Hemen kullanım performans seviyesi

Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirmede kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunabilir. Ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi'nde kalmalıdır. Eğer varsa, gevrek elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile bu durumdaki bina Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

Hemen kullanım performans düzeyinde yapıda az da olsa plastik şekil değiştirmelere izin verilir. Kolon ve perdelerin sadece Minimum Hasar Bölgesinde kalmasına izin verilirken kirişlerin belirli bir oranda Belirli Hasar Bölgesine geçmesine izin verilir. Gevrek olarak hasar görmüş elemanların güçlendirilmesi ise ön koşul olarak verilir.

2.3.2 Can güvenliği performans seviyesi

Yine ön koşul olarak gevrek olarak hasar görmüş elemanların güçlendirilmesi kaydı ile aşağıda sıralanmış maddeleri karşılayan 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 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 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 yönetmelikteki güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmezler).

2.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi

Yönetmeliğe göre 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 yönetmelikteki güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmezler).

c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Sünek elemanlarda, yukarıda da görüldüğü üzere çeşitli performans düzeyleri tanımlanırken, gevrek elemanlarda meydana gelen hasarlarda ilgili elemanın göçme durumunda olduğu kabul edilir. Kirişlerde belirli oranlarda hasar durumları ifade edilirken, kolonlarda bu ifade kesme kuvvetlerine bağlı olarak verilmektedir. Bunlara ek olarak kolonların sürekli olarak kirişlerden güçlü olması durumuna atıf yapılmaktadır.

2.3.4 Göçme durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlamıyorsa Göçme Durumu'nda olduğu kabul edilir. Binanın kullanımı can güvenliği açısından sakıncalıdır.

2.4 Deprem Etkileri ve Hesabına Ait Genel İlkeler

Depremler doğal afetler arasında belki de en fazla can ve mal kaybına neden olanlardan birisidir. Kendisi tek başına bir afet iken diğer afetleri de tetikleyebilecek felaketler ortaya çıkardığı da sıkça görülmüştür. Bunların başında hiç şüphe yok ki Tsunamiler gelmektedir. Japonya da 2011 yılında meydana gelen Tōhoku depremi de yarattığı dev dalgalar ile binlerce insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Yangınlar ve toprak kaymaları da ortaya çıkan yan felaketler olarak sıralanabilir. Günümüzde her ne kadar depremlerin önceden tahmin edilmesine yönelik çalışmalar yapılsa dahi depremlerin önceden tahmin edilmesi şu an için mümkün görünmemektedir. 1975 yılında Hai Cheng (Çin) depreminde birkaç saat öncesinden yapılan uyarılar sayesinde belki de binlerce hayat kurtarılmıştır. [6] Bu gibi bir istisnaya rağmen, bu tarihten sonra birçok deprem tahmin edilemeyen zamanlarda meydana gelmiştir.

Depremin meydana gelmesi Sismoloji bilimi ile doğrudan ilgi olmasına rağmen etkileri bakımından birçok bilim dalında da kendine yer edinebilmiştir. Depremlerin meydana gelmesi yer kabuğunun şekil değiştirme isteminin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Kabukta meydana gelen ani şekil değiştirmeler sonucunda ortaya çok büyük enerji dalgaları çıkmakta ve bu dalgalar yer kabuğunun da etkisi ile km'lerce uzağa ulaşabilmektedir. Mesafe arttıkça depremin yıkıcı etkisi de sönüm etkileri ile azalmaktadır. Bazı depremler volkanik hareketlere veya yer altındaki mağaraların çökmesine bağlı olarak ortaya çıkabilmektedirler. Ancak bunların hem sayısı hem de şiddetleri azdır.

Depremlerin ürettikleri dalga hareketleri, yapının zeminine de bağlı olarak yapı üzerinde bir titreşim hareketine neden olurlar. Bu titreşimler deprem dalgalarına ve binanın birçok özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Titreşimler sonucunda sistem elemanlarında şekil değiştirmeler ortaya çıkar. Bu şekil değiştirmeler sonucunda bina ya elastik sınırlar içerisinde bunları karşılar ya da plastik şekil değiştirme limitlerini de kullanarak depremi karşılamaya çalışır. Eğer plastik şekil değiştirmeler binanın karşılaya bileceğinden fazla olursa bu durumda bina ayakta kalmaz ve çökme meydana gelir. Bunun için olası bir deprem de binaların nasıl bir performans göstereceğinin bilinmesi birçok hayat kurtarılmasını sağlar.

Deprem yönetmeliğinde yeni yapılacak olan binalara ilişkin kurallar Bölüm 2'de verilmiştir. Yeni yapılacak betonarme binaların depreme dayanıklı tasarım kuralları Bölüm 3'de, çelik binaların depreme dayanıklı tasarım kuralları ise Bölüm 4'de verilmiştir. Mevcut binaların performanslarının belirlenmesi ve güçlendirilmesi ise Bölüm 7'de verilmiştir. Mevcut binaların veya yeni yapılacak binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde veya depreme göre tasarlanmasında zemin özellikleri veya faylara yakınlık gibi parametrelere göre belirlenmiş bir kaç katsayı belirlenmiştir. Aşağıda **Çizelge 2.2**'de Türkiye'de deprem bölgelerine göre belirlenen Etkin Yer İvmesi, A_0 , katsayıları görünmektedir.

Çizelge 2.2 Etkin Yer İvmesi Katsayısı

| Deprem Bölgesi | A_0 |
|----------------|-------|
| 1 | 0.40 |
| 2 | 0.30 |
| 3 | 0.20 |
| 4 | 0.10 |

Yeni yapılacak binalarda deprem yükleri belirlenirken, tasarım depreminin etkileri dikkate alınmıştır. Türkiye sismik hareketlilik bakımından 5 bölgeye ayrılmıştır. İlk dört bölge yukarıdaki **Çizelge 2.2**'de gösterilirken, beşinci deprem bölgesi ise Konya, Karaman ve İçel illerinin oluşturduğu küçük bir bölgeyi temsil eder.

Çizelge 2.3 Bina Önem Katsayısı (I)

| Binanın Kullanım Amacı veya Türü | Bina Önem Katsayısı (I) |
|---|--------------------------------|
| <p>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p> | 1.5 |
| <p>1. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>b) Müzeler</p> | 1.4 |
| <p>1. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>a) Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.</p> | 1.2 |
| <p>1. Diğer binalar</p> <p>a) Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)</p> | 1.0 |

Depremlerde bazı binaların mümkün olduğunca yer hareketlerine karşı direnç göstermesi istenir. Depremden sonra oluşacak sağlık ihtiyaçları veya yangın gibi doğal afetlerde, bunlara müdahale edebilecek birimlerin hazırda olabilmesi için bu birimlerin içinde hizmet verdikleri binalarının depremlere karşı koya bilmesi gerekmektedir. Bu

nedenlerden dolayı, bu binaların tasarımında deprem yüklerini 1-1.5 arasında değiştirecek Yapı Önem Katsayısı, I , tanımlanmıştır. Bu değerler **Çizelge 2.3**'de görülmektedir.

Yapı sistemlerinin elastik davranışlarını temel alınarak deprem etkilerini karşılayan çözümler üretilebilir. Ancak böyle bir tasarım ekonomik olmaktan çok uzak olacaktır. Gerçekte ise yapının ömrü boyunca karşısına çıkma ihtimali düşük olan tasarım deprem yükleriyle, yapıya sürekli etki eden ölü ve hareketli yüklere ($G+0.3Q$) aynı muameleyi yapmak doğru bir yaklaşım olmaz. DBYBHY-2007'de bu yüklerin sistem elemanlarının elastik ötesi şekil değiştirmeleri ile karşılanacağı varsayılır. Binanın elastik ötesi kapasitesinin belirlenmesi doğrusal olmayan analizi gerektirir. Deprem yönetmeliği elastik yöntemleri kullanmak için ortaya çıkacak deprem yükünü taşıyıcı sistemin sünekliliği ile ters orantılı olacak şekilde azaltmayı seçmiştir. Bu azaltma Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, $R_a(T)$, ile gerçekleştirilir. Bu sayede deprem yükünün hesaplanmasında elastik yöntemlerin de kullanılabileceğinin önü açılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sık etriye kullanılması sünekliliği artırıp R_a katsayısını büyütecektir. Bu sayede elastik deprem yükü hesaplarında bulunan taban kesme kuvveti de düşük olacaktır. Yine benzer şekilde çerçeve taşıyıcı sistemlerin sünekliliği perdeli sistemlere göre daha yüksektir, bu nedenle R_a katsayısı da çerçeve sistemlerde daha yüksektir.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \times \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ R_a(T) &= R & (T_A < T) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki **Denklem 1.2**'de de görüldüğü gibi Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı yerel zemin koşullarına ve bina periyoduna, T , bağlı olarak değişmektedir. Aşağıdaki **Çizelge 2.4**'te yerel zemin koşullarına bağlı olarak Elastik Tepki Spektrumu katsayıları, T_A ve T_B gösterilmektedir.

Çizelge 2.4 Spektrum Karakteristik Periyotları

| Yerel Zemin Sınıfı | T_A (sn.) | T_B (sn.) |
|--------------------|-------------|-------------|
| Z1 | 0.10 | 0.30 |
| Z2 | 0.15 | 0.40 |
| Z3 | 0.15 | 0.60 |
| Z4 | 0.20 | 0.90 |

Çizelge 2.5 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

| BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ | Süneklik Düzeyi Normal Sistemler | Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler |
|---|---|---|
| <u>(1) YERİDE DÖKME BETONARME BİNALAR</u> | | |
| (1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar | 4 | 8 |
| (1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar..... | 4 | 7 |
| (1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar..... | 4 | 6 |
| (1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.. | 4 | 7 |
| <u>(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR</u> | | |
| (2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar..... | 3 | 7 |
| (2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.... | – | 3 |
| (2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrikte veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrikte binalar | – | 5 |
| (2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrikte çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..... | 3 | 6 |
| <u>(3) ÇELİK BİNALAR</u> | | |
| (3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar..... | 5 | 8 |
| (3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.... | – | 4 |
| (3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar | | |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu..... | 4 | 5 |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu..... | – | 7 |
| (c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu..... | 4 | 6 |

| | | |
|---|---|---|
| (3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar | | |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu..... | 5 | 6 |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu..... | – | 8 |
| (c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu..... | 4 | 7 |

Deprem Yüğü Azaltma Katsayılarının hesabında son parametre ise Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, **R**, olarak görülebilmektedir. **R** katsayıları **Çizelge 2.5**'ten rahatlıkla alınabilir.

2.5 Yapı Bilgisi Düzeyleri

Mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesi ve kapasitelerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve daha önce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada toplanan tüm bu bilgilerin varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür. [1]

Binanın incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için Bilgi Düzeyi ve buna bağlı olarak **Çizelge 2.6**'da gösterilen Bilgi Düzeyi Katsayıları tanımlanır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılır. [7]

Çizelge 2.6 Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayısı

| Bilgi Düzeyi | Bilgi Düzeyi Katsayısı |
|--------------|------------------------|
| Sınırlı | 0.75 |
| Orta | 0.90 |
| Kapsamlı | 1.00 |

2.5.1 Sınırlı bilgi düzeyi

Sınırlı Bilgi Düzeyi'nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. Sınırlı bilgi düzeyi “Deprem Sonrası Hemen Kullanım Gereken Binalar” ile “İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar” için uygulanamaz. Sınırlı bilgi düzeyinde binanın projesi olmadığı için, ilgili binanın rölevesinin çıkarılmasına ihtiyaç duyulur. Eğer varsa mimari projelerin de yardımı ile betonarme binaların ve dolgu duvarların her bir kattaki açıklıklarının, boyutlarının ve yüksekliklerinin belirlenmesi binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olacaktır. Binanın temel sistemi, binanın içerisine veya dışarısına açılacak yeterli sayıda çukur ile belirlenebilir. Binadaki var olan olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenmesi gerekir. Binaları komşu binalar ile olan nizamlarının da belirlenmesi gerekmektedir.

Binanın projesinin olmadığı durumlarda eleman detaylarının da olmaması kuvvetle muhtemeldir. Bu nedenle sınırlı bilgi düzeyinde taşıyıcı sistem elemanlarının donatı miktarları ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum koşulları sağladığı kabul edilir. Bu kabulün doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta yönetmelikteki oranlar doğrultusunda ölçümler yapılır. Bu sayede elde edilen donatının minimum donatıya oranını ifade eden Donatı Gerçekleşme Katsayısı kolonlar ve kirişler için belirlenmiş olunur.

Malzeme özelliklerini tespit etmek için ise her katta kolonlarda veya perdelerden TS-10465'de belirtilen koşullara uygun bir şekilde karot numune alınır. Bu numunelerin deneyleri sonucunda elde edilen en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak kullanılır. Donatı sınıfının belirlenmesinde ise elektronik aletlerden yardım alınabileceği gibi beton örtüsünün sıyrılarak görsel tespitin de yapılması gerekmektedir. Elemanlarda korozyona rastlanması durumunda ise ilgili elemanların projelere işlenmesi gerekmektedir.

2.5.2 Orta bilgi düzeyi

Eğer bina projesi mevcut ise binada yapılan ölçümlerle mevcut bina detaylarının uygunluğu kontrol edilir. Binanın betonarme projeleri mevcut değilse saha çalışması ile binanın rölevesi çıkarılıp elde edilen bilgilerle betonarme elemanların ve dolgu duvarların her kattaki yerlerini ve boyutlarını projeye işlenmesi gerekmektedir. Bina geometrisinde gözlemlenen olumsuzluklar da ilgili kat planlarına dâhil edilir. Binaların komşu binalar ile olan ilişkilerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Temel sistemi de binanın içerisine veya dışarısına açılacak yeterli sayıda kuyu ile incelenecektir.

Taşıyıcı sistem elemanlarının projeleri veya detay çizimleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen koşullar geçerlidir. Ancak yine de yönetmelikteki belirtilen oranlarda pas payları sıyrılarak donatı kontrolü yapılmalıdır. Eğer proje ve detay çizimleri mevcut ise, donatı kontrolü için sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen işlemler orta bilgi düzeyi içinde uygulanabilir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenir. Elemanların mevcut kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı, kapasitelerin düşürülmesinde kullanıldığı için 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak muhtemel donatı miktarları belirlenir.

Malzeme özelliklerinin belirlenmesinde yönetmelikteki oranlar dikkate alınır. Binadan alınan karot numunelere yapılacak olan deneyler TS-10465'de belirlenen koşullar dâhilinde yapılır. Sınırlı bilgi düzeyindeki en düşük değere nazaran orta bilgi düzeyinde karot numunelerden elde edilen ortalama dayanımdan, deneylerde elde edilen standart sapma değerinin çıkarılması ile elde edilen mevcut beton dayanımı kullanılır. Korozyon oluşumunun tespit edildiği elemanlar plana işlenerek ilgili elemanların kapasitelerine yansıtılır.

2.5.3 Kapsamlı bilgi düzeyi

Kapsamlı bilgi düzeyinde binanın betonarme projeleri mevcuttur. Gerekli tespitler yapılarak binanın geometrisinin projeye uygun olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bu kontrol sonucunda proje belirlenen tespitlerle uyuşmuyorsa proje yok sayılacak ve bina orta bilgi düzeyine uygun olarak incelenir. Binadaki kısa kolon veya benzeri

olumsuzluklar ilgili projeye işlenir. Komşu binalar ile ilişkisi belirlenip temel sistemi binanın içine veya dışına açılacak yeterli sayıdaki kuyu ile belirlenebilir.

Binanın eleman detay projeleri mevcut olduğu varsayılır. Bunların binanın mevcut durumuna ilişkin tespiti için orta bilgi düzeyindeki belirtilen işlemler uygulanır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların donatı durumu ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenir. Eğer proje ile uygulamada uyumsuzluk var ise, donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenir. Bu katsayı 1'den büyük alınmaz. Diğer donatı tespiti yapılamayan tüm elemanlara bu katsayı uygulanarak olası donatı miktarları belirlenir.

Mevcut malzeme özelliklerinin belirlenmesinde sınırlı ve orta bilgi düzeylerinde olduğu gibi karot numuneler kullanılır. TS-10465'de belirtilen koşullar gereğince yapılan testlerde hesaplanan eleman kapasiteleri, orta bilgi düzeyinde olduğu gibi ortalama dayanımdan numunelerin standart sapmasının çıkarılması ile elde edilir. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deneyi sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları gibi hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilerek, her sınıftaki çelik için birer adet örnek alınıp deney yapılır. Bu deneylerden elde edilen çeliğin akma ve kopma dayanımları gibi parametreler kontrol edilir. Verilerin projedeki değerler ile benzeşmesi durumunda, projede verilen çeliğin akma dayanımı hesaplarda Mevcut Çelik Dayanımı olarak kullanılabilir. Bu sonuçların uyuşmaması durumunda ise, en az üç örnek ile yapılan yeni bir deneyin en elverişsiz sonuçlarını veren numunenin özellikleri mevcut çelik dayanımı olarak kabul edilecektir. Korozyon gözlemlenen elemanlar ise, mevcut projelerdeki yerlerine işaretlenir ve bu durum ilgili elemanların kapasite hesaplarında kullanılır.

3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ

3.1 Giriş

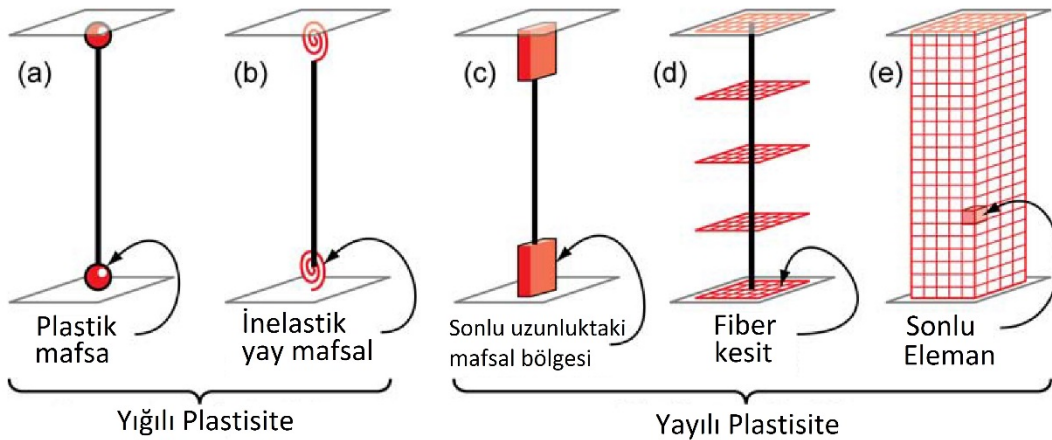
Genel jargonda dünya yönetmeliklerinde de kabul görmüş ve Türk deprem yönetmeliğinde de anlatılan performans ilkeleri vardır. TDY – 2007’de ana ilke, hafif şiddetteki depremlerde binalarda yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde ise bu elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı veya onarılabilecek düzeyde olması ve son olarak da şiddetli depremlerde can güvenliği hedefinin sağlanarak, hasarların belirli oranlarda sınırlandırılmasıdır. Türk deprem yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri, mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ile güçlendirme hesaplarında kullanılmaktadır. Yakın gelecekte yeni binaların tasarımında da kullanılması muhtemel bu yöntemler sünek elemanlardaki plastik şekil değiştirmeler ile gevrek elemanların kuvvet taleplerini göstermektedirler.

DBYBHY – 2007’de üç adet doğrusal olmayan analiz yöntemi belirlenmiştir. Bunlar: Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yönetimi’dir. İlk iki yöntemde binanın yatay yük kapasitesini ölçmek için yapılan bir itme analizi kullanılır. Daha sonra her bir sistem elemanından elde edilen sonuçlar yine yönetmelikteki sınır koşullar ile karşılaştırılarak ilgili elemanların performans düzeyleri bulunur. Daha sonra elemanlardan toplanan bilgiler ile binanın performansı belirlenmiş olunur. Zaman Tanım Alanı yönteminde ise, DBYBHY – 2007’de madde 2.9.1 ile 2.9.2’deki koşullar uyarınca kullanılan deprem kaydının, her bir zaman adımında sistem elemanları üzerinde oluşturduğu şekil değiştirmeler ile iç kuvvetler incelenir.

3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Analizlerde kullanılan malzemelerin doğrusal elastik olmayan davranışlarının idealleştirilmesi için, birçok ülkenin yönetmeliklerinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanları yığılı plastik davranış modeli ile yayılı plastik davranış modelidir. DBYBHY – 2007’de yığılı plastik davranış esas alınmıştır. Bu model, basit eğilme altında kesitin uçlarında plastik mafsallar oluştuğunu temel alır. Bu modelde taşıyıcı sistem elemanları olan kolon, kiriş ve perdeler çubuk eleman olarak idealleştirilir. Çubuk eleman olarak modellenen bu kesitlerin belirli bölgelerinde plastik mafsallar oluştuğu kabul edilir. Türk deprem yönetmeliğinde plastik mafsallık boyu, L_p , olarak adlandırılan bu plastik şekil değiştirme bölgesi, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun, h , yarısı olarak tarif edilmektedir.

Diğer bir model ise yayılı plastik davranış modelidir. Bu davranış modeli Şekil 3.1’de gösterildiği gibi üç farklı şekilde modellenebilir. Bunlardan ilki sonlu uzunluktaki mafsallık bölgesi modeli, ikincisi fiber eleman modeli ve üçüncüsü ise sonlu eleman modelidir.



Şekil 3.1 İdealize Edilmiş Çubuk Eleman Modelleri [8]

Şekil 3.1 (c)’de gösterilen sonlu uzunluktaki mafsallık bölgesi, eleman uçlarına atanmış mafsallık bölgeleri ile etkili bir yayılı plastik model örneğidir. Eleman uçlarındaki inelastik mafsallık bölgeleri ya doğrusal olmayan moment-eğrilik ilişkisi ya da fiber elemanlarla, düzlem kesitler düzlem kalır varsayımı doğrultusunda modellenir.

Şekil 3.1 (d)'de ise bu tezde incelenecek binaların modellenmesinde kullanılacak fiber eleman yapısını temel alır. Fiber olarak modelleme, yayılı plastisitenin elemanın enkesiti ve uzunluğu boyunca tanımlanmasına olanak sağlar. Belirlenen enkesitlerde doğrusal elastik olmayan histerik aksenal gerilme – birim şekil değiştirme karakterini yansıtabilmek için tek eksnel malzemeler (Fiber Elemanlar) modellenen bilinmektedir. Bu modellemede de düzlem kesitler düzlem kalır varsayımı kabul edilir. Her bir fiber elemanın, birleşme noktalarında aksenal yükler, momentler, moment – eğrilik ilişkileri ve aksenal gerilme – birim şekil değiştirme ilişkilerine ulaşılabilir. Daha sonra bu noktalarda fiber elemanlardan alınan sonuçlar toplanarak ilgili sistem eleman parametreleri elde edilir. [9] [10] Yayılı fiber eleman modeli, genel olarak yönetmelikte de kullanılan plastik mafsalların dönme oranlarını vermez. Bunun yerine, itme analizlerinin işlem hacmini düşürecek olan, çelik ve betonun tanımlanan noktalardaki (integration Section) enkesitlerinde hesaplanan birim şekil değiştirmelerini bildirir.

En karışık model ise **Şekil 3.1** (e)'de görünen sonlu elemanlar modelidir. Bu model, elemanı hem kesiti hem de boyu doğrultusunda birçok parametresi bulunan doğrusal elastik olmayan histerik yapısal özellikler teşkil eden küçük sonlu elemanlara ayırır. Bu model çok yönlülük bakımından en iyi seçeneği sunsa da modelin parametrelerinin belirlenmesi ve hesaplanması bakımından en zorlayıcı yöntemdir. Fiber eleman modelinde olduğu gibi, solu elemanlardan elde edilen birim şekil değiştirmelerin yorumlanması kabul ölçütlerinin mafsal dönmelerine ve deformasyonlarına bağlı olduğu durumlarda oldukça zordur. [8] Deprem yönetmeliğine göre, iç kuvvet – plastik şekil değiştirme bağlantılarında pekleşme etkisi yaklaşık olarak terk edilebilir.

3.3 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü

Bu yöntem binada 1.modun etkili olduğu sistemlerde tercih edilir. Düşük katlı binalar ile burulma düzensizliklerinin fazla olmadığı binalarda kullanılabilir. Yönetmeliğe göre kat adedi 8'i aşmayan ve burulma düzensizlik katsayısının $\eta_{ki} < 1.4$ olduğu binalarda artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi yapılabilir. Ayrıca bu yöntemde kullanılan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütle, toplam bina kütle oranının en az %70 olması zorunlu koşulmuştur. Artımsal itme analizinde, eşdeğer deprem yükü

dağılımının, taşıyıcı sistemin elemanlarının plastik kapasitelerine ulaşmalarından bağımsız olarak sabit kaldığı varsayılmıştır. Bu sayede eşdeğer deprem yükü, başlangıçtaki doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci titreşim mod şekil genlikleri ile ilgili kat kütlelerin çarpılmasından elde edilecek değerlere göre tanımlanabilir.

3.3.1 Kapasite eğrisinin belirlenmesi

Kapasite olarak tanımlanan terim, binanın sismik isteme(talebe) karşı koyabilme yeteneğidir. Binanın performansı ise, kapasitenin istem ile ne derecede baş edebileceğini gösteren bir terimdir. Basitleştirilmiş doğrusal elastik olmayan yöntemler, binaların kapasite, istem ve performanslarını bulmak için itme yöntemlerini kullanırlar.

Binaların elastik ötesi davranışlarını tanımlamak için doğrusal elastik olmayan analizlerden biri olan itme metodu kullanılabilir. Bu metot, adım adım elastik analiz ile bir araya getirilen sistemin toplam kuvvet – yerdeğiştirme grafiğini oluşturmayı temel alır. Sistemim matematiksel modeli oluşturulduktan sonra binaya yanal bir kuvvet dağılımı uygulanması ile itme analizi başlatılır. Taşıyıcı sistem elemanlarından herhangi biri akma noktasına ulaştıktan sonra ikinci bir elemanı akma noktasına ulaştırmak için yanal yük dağılımı devam ettirilir. Bu süreç artık bina stabilliğini kaybedene veya önceden belirlenmiş bir limite ulaşıncaya kadar devam ettirilir.

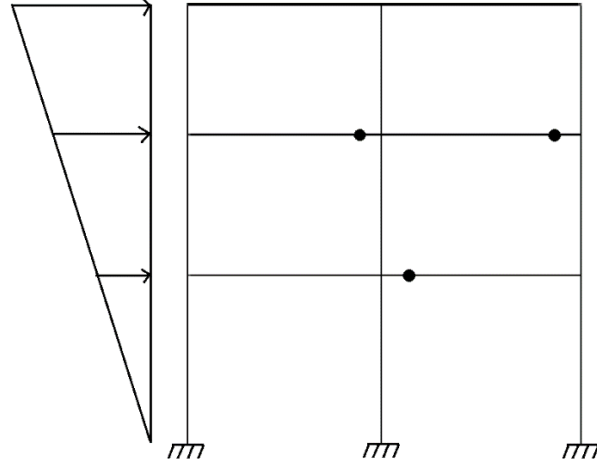
Deprem sırasında ortaya çıkan yer hareketleri binalarda zamana bağlı şekil değiştirmelere neden olurlar. Zamana bağlı olan bu hareketleri kayıt altına almak eskisi kadar zor bir işlem olmasa da, her bir adımdaki taşıyıcı sistem elemanlarının durumunu izlemek mühendislik açısından çok büyük olmayan projelerde pratik olmamaktadır. Deprem yönetmeliğinde de var olan doğrusal elastik hesap yöntemleri, tasarım koşulu için kütleler ile uyumlu yatay kuvvet dağılımını esas alırlar. Doğrusal olmayan analizlerde ise tasarım koşulu için şekil değiştirme oranları temel alınır. İstem, belirli bir bina ve deprem kaydı için yer hareketinde binanın vereceği maksimum tepkidir. Yani bina, yer hareketinin oluşturmuş olduğu etkiler ile belirli bir noktaya kadar şekil değiştirebilir. Bu değişim de binanın depremden istemi veya başka bir değişle istediği taleptir.

Kapasite eğrisi binanın kuvvet – şekil değiştirme eğrisi ile ifade edilebilir. Talep eğrisi ise ülkelerin ilgili yönetmeliklerinde yerel zemin koşullarını da dikkate alarak özel olarak hazırlanır. Binanın genel performansının belirlenmesi ise bu iki eğrinin farklı yöntemler ile ilişkilendirilmesi yoluyla elde edilir. Bunlardan bazıları ATC – 40’da tanımlanan Kapasite Spektrumu Metodu, diğeri ise FEMA – 356’da tanımlanan Yerdeğiştirme Katsayısı Metodu ’dur. Performans noktası daha önceden binanın kullanım türüne ve taşıyıcı sistem elemanlarının yönetmeliklerdeki oranlar dâhilinde bulunduğu hasar bölgelerine bağlı olarak bulunur.

Kapasite eğrisini çizmek için kullanılan en uygun yöntem tepe yerdeğiştirmesi ile taban kesme kuvveti ilişkisini izlemektir. Bu tezde binaların analizinde kullanılacak olan SeismoStruct v7.0. adlı bilgisayar yazılımı bu ilişkiyi kolay bir şekilde gösterip kayıt altına alabilmektedir. Tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti ilişkisini tanımlamak için kullanılacak olan yatay yük dağılımı birinci modun mod genlikleri ile orantılı olarak dağıtılan bina kütlelerinden elde edilir. Aşağıdaki **Denklem 3.1**’de bu dağılımda kullanılacak bağıntı gösterilmiştir.

$$F_x = \left[\frac{w_x \times \phi_x}{\sum w_x \times \phi_x} \right] \times V_{Shear} \quad (3.1)$$

Kapasite eğrisinin çıkarılması işlemi adım adım yapılacağı için her bir adımda da uygulanacak kuvvetin değeri belirlenmelidir. Eğer her adımda uygulanacak kuvvet yeterli küçük adımlara bölünürse, taşıyıcı sistemin elemanlarında oluşacak plastik mafsalların birer birer gözlenme olasılığı artacaktır. Başlangıçta binaya uygulanan deprem kuvvetleri sonucu ilk işlevini yitirecek yani taşıma kapasitesini kaybedecek elemandan sonra sisteme eski yüklemeye koşulunu göz önünde bulundurarak yeni bir yüklemeye yapılır. Bu işlem, bir sonraki elemanın da elastik özelliğini kaybedip kapasitesini yitirene kadar devam eder. Sonra yeniden eski yüklemeyi de içeren bir kuvvet dağılımı uygulanır. En son aşamada, yani bina ya stabilliğini kaybedene ya da istenilen şekil değiştirme değerine ulaşıldıktan sonra analiz durdurulup kapasite eğrisi tüm adımlar için çizdirilir.



Şekil 3.2 Plastik Mafsal Oluşumu

Yukarıdaki **Şekil 3.2**'de hâkim modun kütleler ile orantılanarak bulunan yatay kuvvetlerin çerçevede oluşturduğu plastik mafsalı göstermektedir. Plastik mafsalın yönetmelikteki tanımına göre oluşacağı yer, çalışma doğrultusundaki kesit yüksekliğinin yarısı mesafesindedir.

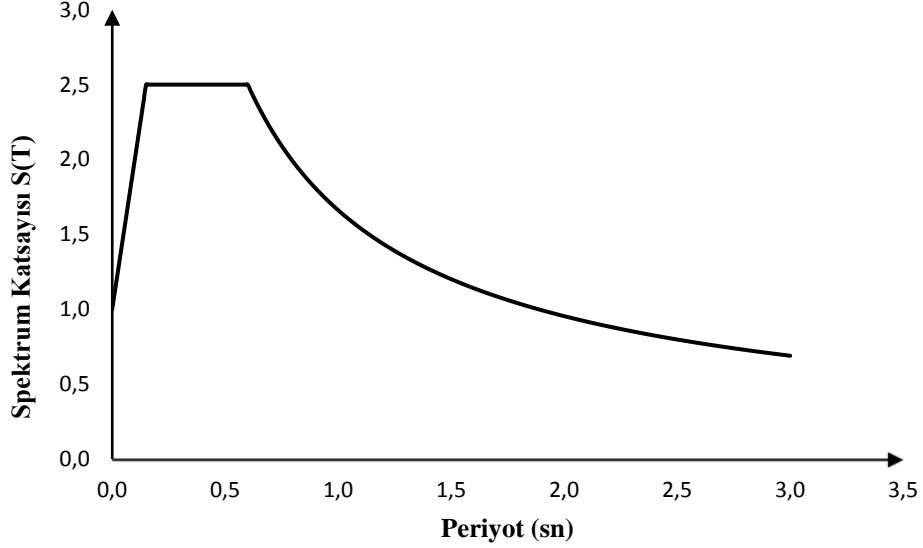


Şekil 3.3 Statik İtme Eğrisi

Yukarıdaki **Şekil 3.3**'de de görüldüğü üzere, her bir adımda uygulanan yatay kuvvetlere bağlı örnek bir binanın tepe yerdeğiştirme değerleri çizilmiştir. Daha sonraki aşamalarda bu eğrinin apsis ve ordinat değerleri dönüştürülerek istem ve kapasite eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilecektir.

3.3.2 İstem (Talep) eğrisinin belirlenmesi

DBYBHY - 2007’de Bölüm 2’de verilen elastik davranış spektrumu, **Şekil 3.4**’de çeşitli depremlerin yerel zemin sınıflarına da bağlı olarak tasarım depremi için verilmiştir.



Şekil 3.4 Elastik Davranış Spektrumu

Binanın hakim titreşim mod genlikleriyle beraber kat kütlelerinden elde edilen yatay kuvvetlerle binanın kapasite eğrisi bulunabiliyor. Binanın performans seviyesini belirlemek için depremin binadan ne istenildiğinin de belirlenmesi gerekmektedir. Kaydı olan her bir depremi mevcut binada test etmek, zaman bakımından mümkün değildir. Bu nedenle bu depremlerden oluşturulmuş elastik davranış spektrumunu kullanmak daha pratiktir. Ancak elastik davranış spektrumunun da koordinat dönüşümünün yapılması gerekmektedir.

Denklem 3.2’de görülen spektrum katsayısı, $S(T)$, etkin yer ivmesi katsayısına, A_0 , bölünerek spektral ivmeye çevrilmesi gerekmektedir.

$$S(T) = A(T) \times g \quad (3.2)$$

Daha sonra davranış spektrumunun periyotlarının oluşturduğu yatay eksenin spektral yerdeğiştirmeye çevrilmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm için **Denklem 3.3**’de gösterilen dönüşüm gerçekleştirilebilir.

Bu dönüşümde açısal frekanslar, ω_i , her bir periyot değerinin **Denklem 3.4**'de işlenmesinden sonra elde edilir. Burada sıklıkla yapılan hata, her bir periyottan **Denklem 3.4** ile elde edilmesi gereken açısal frekans değerleri yerine, **Denklem 3.5**'de gösterilen binanın hakim titreşim periyoduna karşılık gelen açısal frekansın kullanılmasıdır.

$$S_d = \frac{S_a}{\omega_i^2} \quad (3.3)$$

$$\omega_i = \frac{2 \times \pi}{T_i} \quad (3.4)$$

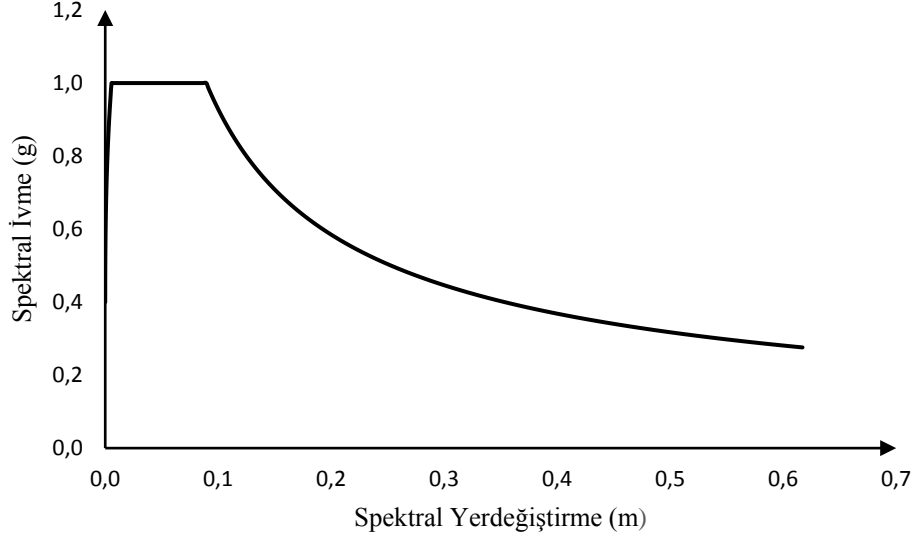
$$\omega_1 = \frac{2 \times \pi}{T_1} \quad (3.5)$$

Aşağıdaki **Çizelge 3.1**'de gösterilen değerler ile elastik tasarım spektrumunun koordinat dönüşümünün nasıl yapıldığı bir tablo aracılığı ile gösterilmiştir. Periyot değerlerine 0.07 saniyeye kadar yer verilmiş, geriye kalan kısmı ise sayfaya dâhil edilmemiştir. Spektral ivme değerlerinin birimi isteğe bağlı olarak, g , veya m/s^2 olarak kullanılabilir. Buna bağlı olarak spektral yerdeğiştirme birimi de metre olmaktadır.

Çizelge 3.1 Elastik Davranış Spektrumunun Koordinat Dönüşümü

| T_i | $S(T_i)$ | ω | ω^2 | $S_a(T_i)$ | $S_d(T_i)$ |
|-------|----------|----------|------------|------------|-------------|
| 0.000 | 1.000 | Çok Büy. | 3.948E+15 | 0.400 | 9.93962E-16 |
| 0.010 | 1.100 | 628.3184 | 394784.01 | 0.440 | 1.09336E-05 |
| 0.020 | 1.200 | 314.1592 | 98696.003 | 0.480 | 4.77101E-05 |
| 0.030 | 1.300 | 209.4395 | 43864.89 | 0.520 | 0.000116293 |
| 0.040 | 1.400 | 157.0796 | 24674.001 | 0.560 | 0.000222647 |
| 0.050 | 1.500 | 125.6637 | 15791.36 | 0.600 | 0.000372735 |
| 0.060 | 1.600 | 104.7197 | 10966.223 | 0.640 | 0.000572522 |
| 0.070 | 1.700 | 89.75977 | 8056.8166 | 0.680 | 0.00082797 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

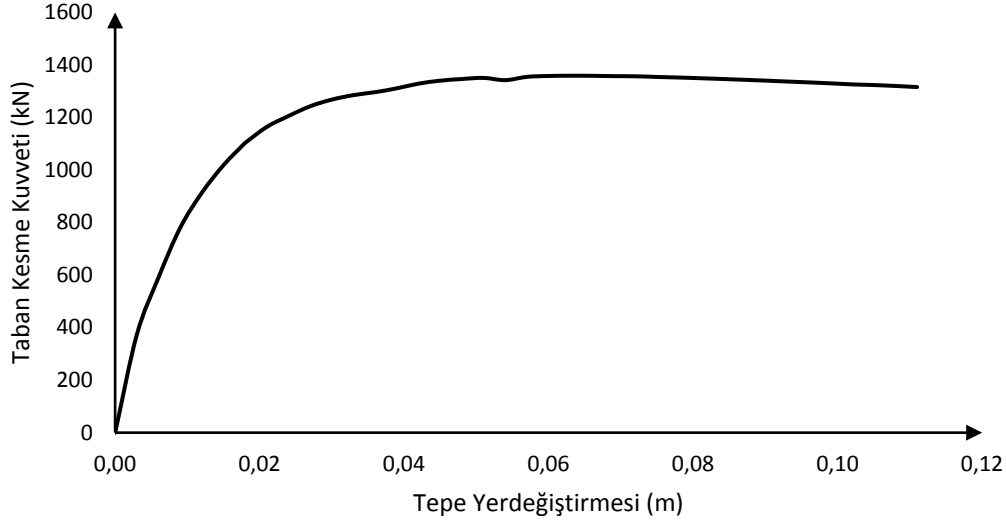
Çizelge 3.1'de bulunan spektral ivme değerleri, $Sa(T_i)$, ile spektral yerdeğiştirme, $Sd(T_i)$, değerleri kullanılarak eksen takımı dönüştürülmüş Talep Spektrumu **Şekil 3.5**'de görülmektedir.



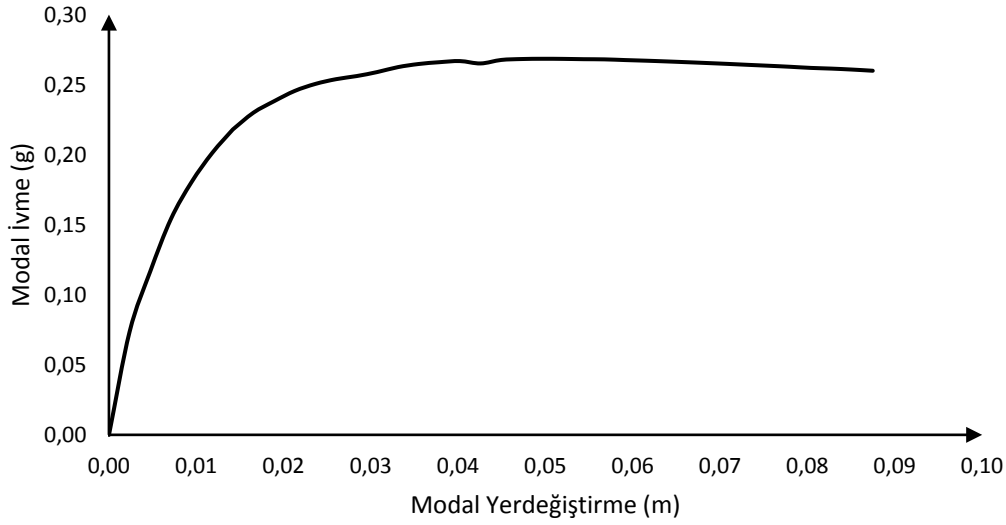
Şekil 3.5 Spektral İvme - Spektral Yerdeğiştirme

3.3.3 Kapasite ve talep eğrisinin kesiştirilmesi

Binanın tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti ilişkisini gösteren kapasite eğrisinin elde edilmesinden sonra (**Şekil 3.6**), bu eğrinin koordinatlarının dönüştürülmesi gerekir. Koordinat dönüşümünde taban kesme kuvvetinin modal ivmeye, tepe yerdeğiştirmesinin de modal yerdeğiştirmeye (**Şekil 3.7**) çevrilmesi gerekmektedir. Bu sayede hem talep spektrumunu hem de kapasite spektrumunu aynı eksen takımında gösterilebilir.



Şekil 3.6 Taban Kesme Kuvveti - Tepe Yerdeğiştirmesi



Şekil 3.7 Modal İvme – Modal Yerdeğiştirme

Kapasite eğrisinin elde edilmesi sırasındaki her bir adımda elde edilen taban kesme kuvvetleri, $V_{x1}^{(i)}$, binanın hakim titreşim moduna ait etkin kütle, M_{x1}^I , ile orantılanarak **Denklem 3.6**'dan modal ivme değerleri, $\alpha_1^{(i)}$, elde edilebilir.

$$\alpha_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}^I} \quad (3.6)$$

İtme analizinin her bir adımından elde edilen yerdeğiştirme değerlerinin de modal yerdeğiştirme, $d_1^{(i)}$, değerlerine çevrilmesi gerekmektedir. Bu dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için, binanın en üst katındaki itme doğrultusunun her bir adımında elde edilen yerdeğiştirme değerlerinin, $u_{xNI}^{(i)}$, bulunması gerekmektedir. Bu değere ek olarak itme analizinin yapıldığı doğrultudaki binanın hakim modunun en üst kat mod şekil genliği, Φ_{xNI} , ve son olarak da binanın hakim moduna ait en üst kat modal katkı çarpanı, Γ_{x1} , da bilinmelidir. Yukarıdaki değerlerin belirlenmesinden sonra **Denklem 3.7**'den her bir itme adımına ait modal yerdeğiştirme değerlerine ulaşılabilir.

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xNI}^{(i)}}{\Phi_{xNI} \times \Gamma_{x1}} \quad (3.7)$$

Binanın birinci moduna ait modal kütle katılım çarpanına, L_{x1} , aşağıdaki **Denklem 3.8**'den rahatlıkla ulaşılabilir.

$$L_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.8)$$

Burada sıklıkla yapılan bir hata ise, binanın itme analizi doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait en üst kat mod şekil genliğinin, Φ_{xNI} , normalize edilip edilmemesi kısmında yaşanmaktadır.

Türk deprem yönetmeliğinde birinci moda ait modal katkı çarpanının, Γ_{x1} , neye göre normalize edilebileceği veya normalize edilmeyeceği açıklanmamıştır. Genellikle birinci titreşim modunun genlikleri ya en üst kat mod şekil genliğine ya da toplam bina kütlelerine (**Denklem 3.9**) göre normalize edilir. Eğer binanın birinci titreşim moduna ait katkı çarpanını bu iki yöntemden biri ile bulunur ve binanın en üst kat mod genliğini de yanlışlıkla diğer yöntemden elde edilirse binanın performansının bulunmasında önemli hatalara düşülebilir.

$$M = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.9)$$

Aşağıdaki **Çizelge 3.2**'de örnek bir üç boyutlu binanın, bilgisayarda yapılan Özdeğer analizinden alınan birinci titreşim mod şekil genlikleri mm ölçü birimi cinsinden

gösterilmektedir. Binanın X deprem doğrultusundaki titreşim mod şekil genlikleri, Φ_{xNI} ile gösterilmiştir. Bu mod şekil genliklerinin en üst kata göre normalize edilmiş şekli ve toplam bina kütleğine bağılı olarak normalize edilmiş şekli ise sırasıyla, $\Phi_{xNI(Norm)}$ ve $\Phi_{xNI(Norm,M)}$ olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Mod Şekil Genliklerinin Normalizasyonu

| Mod Şekillerinin Normalize Edilmemiş Hali | | | | | | | | |
|---|------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|---|---------------|----------|-------|
| Ka t | $m_i = w_i/g$ (ton) | Φ_{xN1} (mm) | $m_i * \Phi_{xN1}$ | $m_i * \Phi_{xN1}^2$ | $\Gamma_{x1}^* =$ $\Gamma_{x1} * \Phi_{xN1}$ | Γ_{x1} | L_{x1} | M_1 |
| 4 | 142.75 | 0.0559 | 7.9741 | 0.45 | 1.269 | 22.72 | 22.71 | 1.00 |
| 3 | 154.01 | 0.0477 | 7.3461 | 0.35 | 1.084 | | | |
| 2 | 154.01 | 0.0333 | 5.1222 | 0.17 | 0.756 | | | |
| 1 | 154.01 | 0.0147 | 2.2685 | 0.03 | 0.335 | | | |
| 604.77 | | | 22.71 | 1.00 | | | | |

Mod Şekillerinin En Üst Kata Göre Normalize Edilmiş Hali

| Ka t | $m_i = w_i/g$ (ton) | $\Phi_{xN1}(\text{Norm})$ | $m_i * \Phi_{xN1}$ | $m_i * \Phi_{xN1}^2$ | $\Gamma_{x1}^* =$ $\Gamma_{x1} * \Phi_{xN1}(\text{Norm})$ | Γ_{x1} | L_{x1} | M_1 |
|---------|------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|--|---------------|----------|--------|
| 4 | 142.75 | 1.0000 | 142.7523 | 142.75 | 1.269 | 1.27 | 406.57 | 320.36 |
| 3 | 154.01 | 0.8539 | 131.5090 | 112.30 | 1.084 | | | |
| 2 | 154.01 | 0.5954 | 91.6979 | 54.60 | 0.756 | | | |
| 1 | 154.01 | 0.2637 | 40.6106 | 10.71 | 0.335 | | | |
| 604.77 | | | 406.57 | 320.36 | | | | |

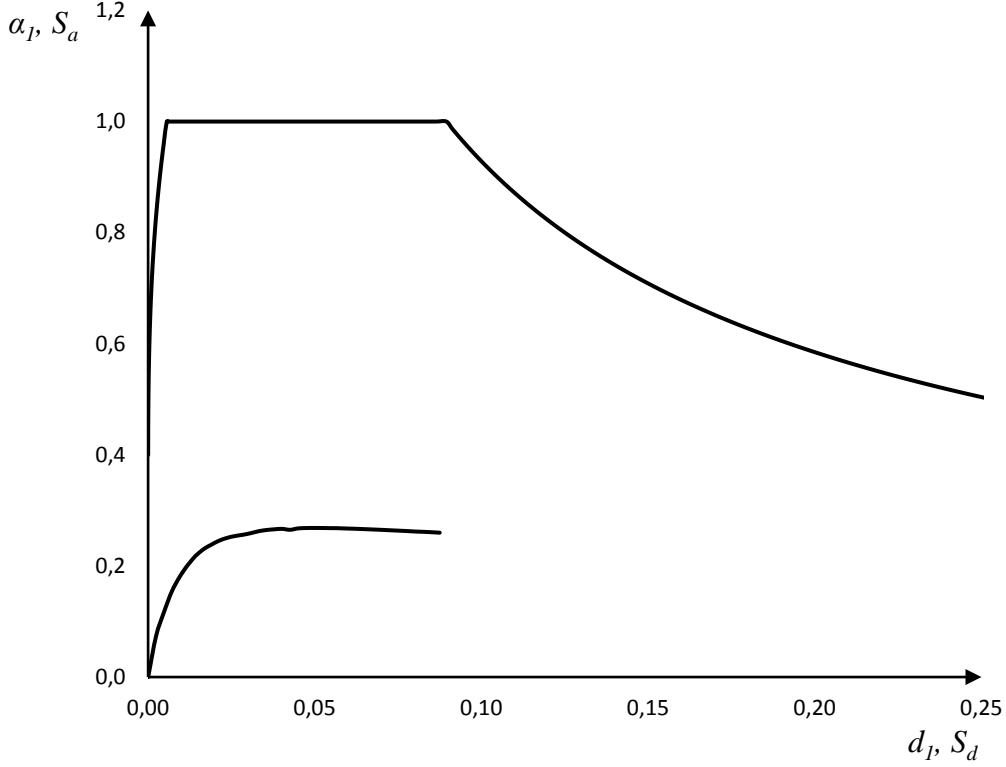
Mod Şekillerinin Toplam Kütleye Göre Normalize Edilmiş Hali

| Ka t | $m_i = w_i/g$ (ton) | $\Phi_{xN1}(\text{Norm}, M)$ | $m_i * \Phi_{xN1}$ | $m_i * \Phi_{xN1}^2$ | $\Gamma_{x1}^* =$ $\Gamma_{x1} * \Phi_{xN1}(\text{Norm}, M)$ | Γ_{x1} | L_{x1} | M_1 |
|---------|------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------|---|---------------|----------|-------|
| 4 | 142.75 | 0.000092 | 0.013185 | 0.000001 | 1.269 | 13740.1 | 0.04 | 0.00 |
| 3 | 154.01 | 0.000079 | 0.012147 | 0.000001 | 1.084 | | | |
| 2 | 154.01 | 0.000055 | 0.008470 | 0.000000 | 0.756 | | | |
| 1 | 154.01 | 0.000024 | 0.003751 | 0.000000 | 0.335 | | | |
| 604.77 | | | 0.04 | 0.00 | | | | |

Yukarıdaki **Çizelge 3.2**'de de görüldüğü gibi normalize edilmiş veya edilmemiş olsun, her bir mod şekil genliği kendi içerisinde hesap edilmiştir. Yönetmelikte verilen birinci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı, Γ_{x1} , her bir normalizasyonda farklı bir değer

almıştır. Ancak bu değerler, en son adım olan modal katkı çarpanı ile en üst kat mod şekil genliğinin çarpımında, $\Gamma_{x1}^* = \Gamma_{x1} * \Phi_{xN1}$, aynı değerleri vermiştir.

Yukarıdaki tüm bu işlemlerin ardından Talep Spektrumu ile Kapasite Spektrumu aynı grafik üstünde gösterilebilir.



Şekil 3.8 Kapasite ve İstem(Talep) Spektrumları

Şekil 3.8’de de görüldüğü gibi hem kapasite hem de talep spektrumları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra artık binanın performans noktası bulunabilir. DBYBHY – 2007’de Ek – 7C’de bu işlemin nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Buna göre eğer binanın hakim titreşim periyodu, elastik davranış spektrumunun köşe periyodu olan T_B ’den küçük veya büyük olması durumuna bağlı olarak ya hemen hesaplanacak ya da ardışık yaklaşım ile bulunacaktır.

3.3.4 Spektral yerdeğiştirmenin tanımlanması

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{dil} , itme analizinin ilk adımındaki birinci moda ait, $T_I^{(I)}$, başlangıç periyoduna karşılık gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme, S_{del} 'e bağlı olarak aşağıdaki **Denklem 3.10**'dan elde edilir.

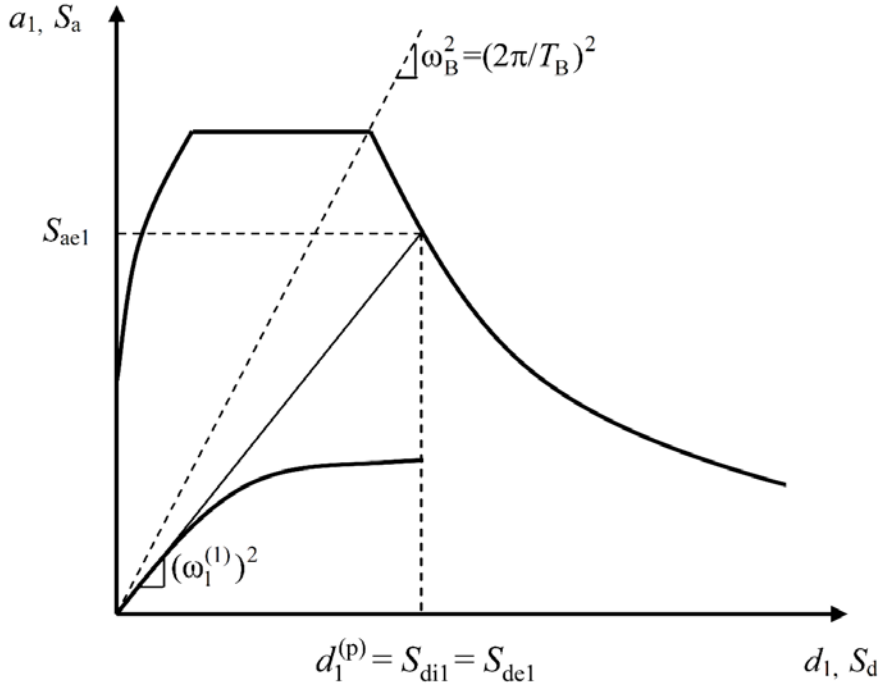
$$S_{dil} = C_{R1} \times S_{del} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'da kullanılan doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{del} , itme analizinin ilk adımındaki birinci moda ait elastik spektral ivme olan S_{ael} , aşağıdaki **Denklem 3.11**'den elde edilebilir.

$$S_{del} = \frac{S_{ael}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.11)$$

Modal yerdeğiştirme istemini belirlemek için, binanın birinci titreşim periyodu ile elastik davranış spektrumunun köşe periyodu olan T_B 'nin karşılaştırılması gerekmektedir. Eğer binanın hakim periyodu, T_I , elastik davranış spektrumunun köşe periyodu olan T_B 'ye eşit veya daha büyükse, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{dil} , elastik spektral yerdeğiştirmeye, S_{del} , eşit alınacaktır (**Şekil 3.9**). Bu durumda **Denklem 3.10**'daki spektral yerdeğiştirme oranı, C_{R1} , 1'e eşit olur (**Denklem 3.12**).

$$C_{R1} = 1 \quad (3.12)$$



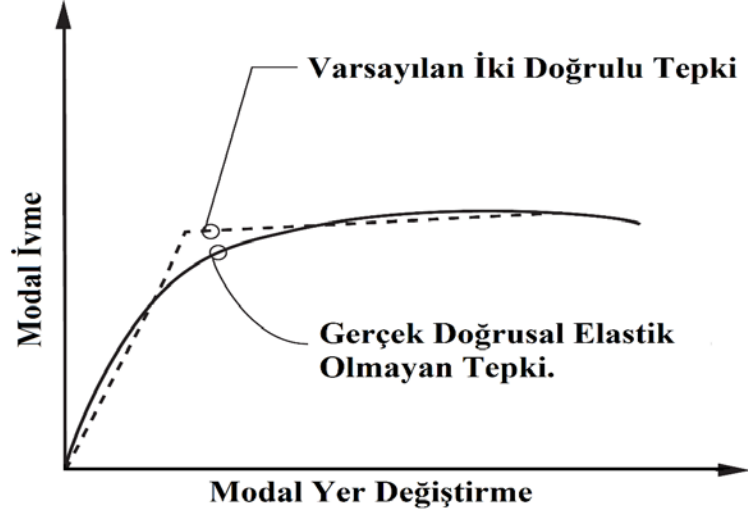
Şekil 3.9 Köşe Periyodun Hakim Periyottan Daha Büyük Olması

Böylece modal yerdeğiştirme istemi, $d_I^{(p)}$, doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , ve elastik spektral yerdeğiştirmeye, S_{de1} , eşit olarak bulunabilir (**Denklem 3.13**).

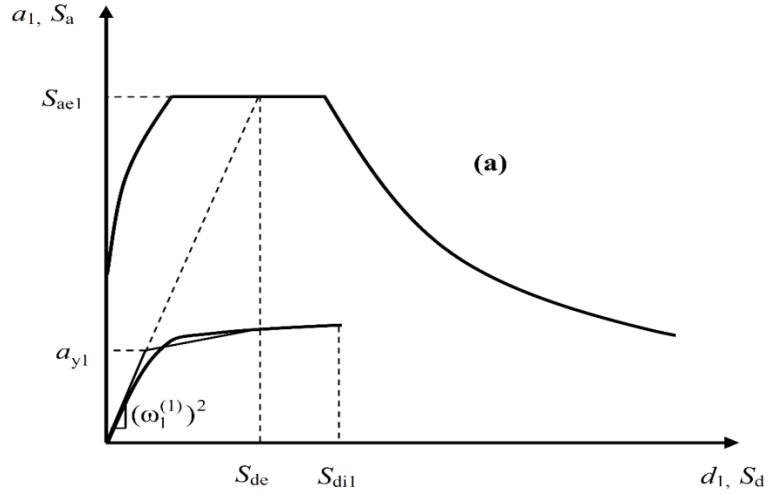
$$d_1^{(p)} = S_{di1} = S_{de1} \quad (3.13)$$

Eğer binanın hakim periyodu, T_I , elastik davranış spektrumunun köşe periyodu olan T_B 'den küçük ise, spektral yerdeğiştirme oranı, C_{RI} , ardışık yaklaşımla bulunur. Kapasite spektrumunun bi-lineer hale getirilmesi süreci olan bu işlem diğer yönetmeliklerde farklı şekilde yapılabilmektedir. Örneğin FEMA – 273 gibi yönetmeliklerde bi-lineerleştirme doğrulardan ikinci doğrunun taban kesme kuvvetinin %60'ına tekabül eden yerden başlatılmasıyla elde edilir. [11] Deprem yönetmeliğinde ardışık yaklaşım işlemini yapabilmek için ilk önce kapasite spektrumu iki doğrulu (bi-lineer) bir şekle dönüştürülür (**Şekil 3.10**). Yönetmeliğe göre kapasite spektrumunu iki doğrulu hale getirmek için, kapasite ile istem spektrumu aynı grafik üzerinde

gösterilmelidir(Şekil 3.11). İki doğrulu hale getirme işleminin ilk adımında spektral yerdeğiştirme oranı, C_{RI} , 1'e eşit kabul edilir.



Şekil 3.10 İki Doğrulu Hale Getirme



Şekil 3.11 Kapasite Spektrumunun İki Doğruya Çevrilmesi

Kapasite spektrumu iki doğrulu hale getirilirken, izlenen ardışık yaklaşımın ikinci adımında, **Denklem 3.14**'de gösterilen spektral yerdeğiştirme oranı, $C_{RI}^{(I)}$, elde edilip doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, $S_{diI}^{(I)}$, bulunur.

$$S_{diI}^{(I)} = C_{RI}^{(I)} \times S_{deI} \quad (3.14)$$

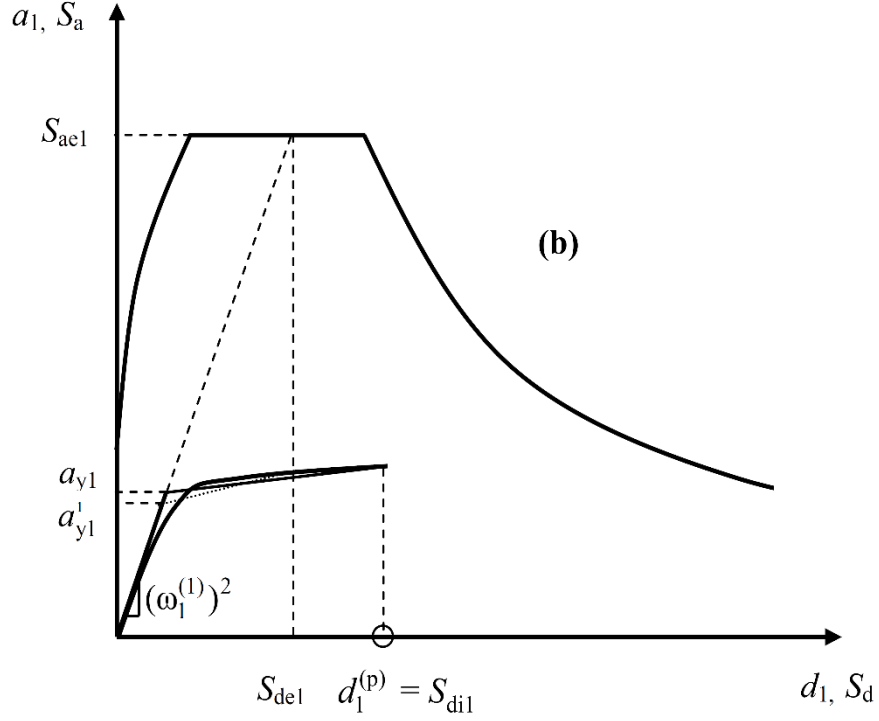
İkinci adımdaki spektral yerdeğiştirme oranını aşağıdaki **Denklem 3.15**'den elde edilebilir.

$$C_{RI} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) \times \frac{T_B}{T_1^{(1)}}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.15)$$

Denklem 3.15'de gözüken R_{y1} katsayısı birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı'nı göstermektedir. Dayanım azaltma katsayısı **Denklem 3.16**'dan elde edilebilir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{\alpha_{y1}} \quad (3.16)$$

Dayanım azaltma katsayısının hesap edilmesinde kullanılan ve eşdeğer akma noktasının ordinatı olan α_{y1} , $C_{RI} = 1$ kabulünden sonra kapasite spektrumunun ilk iki doğrusal hale getirilmesi ile bulunabilir. **Denklem 3.15**'den elde edilen C_{RI} kullanılarak **Denklem 3.14**'den yeni bir doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme hesaplanır. Bulunan bu yeni $S_{di1}^{(1)}$ temel alınarak eşdeğer alanlar kuralı ile yeni bir eşdeğer akma noktası belirlenir. Bu noktanın ordinat değeri **Şekil 3.12**'de gösterildiği gibi $\alpha_{y1}^{(1)}$ olarak isimlendirilir. Daha sonra tekrardan hesap edilen $R_{y1}^{(1)}$ ve $C_{RI}^{(1)}$ 'in değerleri bir önceki değerler ile kıyas edilir. Eğer birbirlerine kabul edilebilir bir oranda yakınsalar, bu ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 3.12 Modal Yerdeğiştirme İsteminin Bulunması

Ardışık yaklaşımın ardından elde edilen modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{di1} 'e eşit alınır (**Denklem 3.17**).

$$S_{di1} = d_1^{(p)} \quad (3.17)$$

Daha sonra elde edilen modal yerdeğiştirme istemi aşağıdaki **Denklem 3.18**'de yerine yazılarak binanın tepe yerdeğiştirme istemi, $U_{xN1}^{(p)}$, elde edilir

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \times \Gamma_{x1} \times d_1^{(p)} \quad (3.18)$$

3.3.5 Kesit hasar sınırlarının belirlenmesi

DBYBHY – 2007'ye göre, taşıyıcı sistem elemanların birim şekil değıştirme istemlerini belirlemek için, yapılan itme analizi sonucunda kesitlerde ortaya çıkan plastik dönmelerinin plastik eğrilik olarak ifade edilmesi gerekmektedir (**Denklem 3.19**).

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.19)$$

Kesitteki toplam eğrilik istemini bulmak için iki doğrulu moment – eğrilik ilişkisi ile tanımlanan eşdeğer akma eğriliği, ϕ_y , ile yukarıda tanımlanan plastik eğrilik istemlerinin toplanması gerekmektedir. **Denklem 3.20**'de gösterilen bu toplama işlemi ile kesitteki toplam eğrilik istemi, ϕ_t , bulunabilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.20)$$

Betonarme sistemlerdeki betonun basınç birim şekil değiştirme istemi ile donatının birim şekil değiştirme istemi, yukarıdaki **Denklem 3.20**'ye göre moment – eğrilik analizi ile hesaplanır. Bu tezdeki binaların analizinde kullanılan bilgisayar yazılımı SeismoStruct v7.0.2'nin sağladığı avantajlardan biri de kullanmış olduğu fiber eleman modellemesi sayesinde doğrusal olmayan analiz sonuçlarında elemanların dönmeleri yerine birim şekil değiştirme oranlarını vermesidir. Bu sayede taşıyıcı sistem elemanlarının itme analizinden elde edilen dönmelerinin eğriliğe, sonrasında ise birim şekil değiştirme istemlerine çevrilmeden, kolay ve hızlı bir şekilde her bir elemanın hasar bölgesini tayin edilebilir.

Türk deprem yönetmeliğine göre beton ve donatıların birim şekil değiştirme istemlerini belirlendikten sonra yine yönetmelikte tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak her bir taşıyıcı sistem elemanının performansı belirlenir (**Çizelge 3.3**).

Çizelge 3.3 Kesit Hasar Sınır Değerleri

| | Beton | Donatı |
|---------------------------|--|--------------------------------|
| Minimum Hasar Sınırı (MN) | $(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$ | $(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.010$ |
| Güvenlik Sınırı (GV) | $(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 + 0.01(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.035$ | $(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.040$ |
| Göçme Sınırı (GÇ) | $(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 + 0.014(\rho_s/\rho_{sm}) \leq 0.018$ | $(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.060$ |

Çizelge 3.3'teki değerler Minimum Hasar Sınırı için, betonun en dış lifinin birim şekil değiştirmesi, Güvenlik Sınırı ile Göçme Sınırı için ise etriye içerisinde kalan bölge olan çekirdek betonunun en dış lifindeki birim şekil değiştirme oranlarını esas alırlar. Bu değerler, ilgili hasar sınırlarının üst sınırlarıdır. Beton birim şekil değiştirmesi içerisinde geçen ρ_s ile ρ_{sm} sembolleri ise sırasıyla kesitte mevcut bulunan ve DBHYBY – 2007

Bölüm 3'e göre düzenlenmiş enine donatının kesitteki oranı ile kesitte bulunması gereken donatı oranını temsil eder.

3.3.6 Bina performansının belirlenmesi

Kesit hasar sınırlarının her bir eleman için belirleme sürecini, deprem yönetmeliği sünük elemanlar için belirlemiştir. Gevrek elemanların ise kapasitelerine ulaştıktan sonra gevrek olarak göçtükleri kabul edilir. Taşıyıcı sistem elemanlarının her birinin hasar sınırları her bir katta ve ilgili deprem doğrultusuna göre ayrıştırılması gerekmektedir. Eğer başlangıçla böyle bir sınıflandırma ile hasar sınırları belirlenirse sonradan ortaya çıkabilecek aşırı karmaşa ve işlem yükünden kaçınılmış olunur. **Bölüm 3.3.5**'den elde edilen her bir taşıyıcı elemanın hasar sınırlarından sonra **Bölüm 2.3**'deki oranlara göre bina performansı belirlenir. Deprem yönetmeliği 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremini esas aldığı için, bu depreme maruz kalabilecek binalardan istenilen performans hedefi Can Güvenliği (CG) performans düzeyidir.

3.4 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Depremlerde bina performansını belirlemek için kullanılan diğer bir doğrusal elastik olmayan yöntem ise Mod Birleştirme Yöntemi'dir. Artımsal Eşdeğer İtme Analizi yöntemini burulma düzensizliği, kat sınırı ve kütle katılım oranları gibi çeşitli parametreler ile sınırlandırmıştır. Eğer deprem performansının belirleneceği binanın dinamik özellikleri veya yüksekliği, yukarıdaki parametreleri sağlamıyorsa, o zaman mod birleştirme yöntemi kullanılabilir. Mod birleştirme yönteminin uygulanması için yönetmelikte herhangi bir ön sınırlandırma getirilmemiştir. Bu durumda mod birleştirme yönteminin tüm binalar için uygulanabileceği varsayımını çıkarılabilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, mod birleştirme yönteminin, yapı davranışını temsil edebilecek yeterli sayıda doğal titreşim mod şekli ile temsil edilebilmesidir.

Mod birleştirme yönteminin artımsal eşdeğer itme analizi yönteminden farkı, her bir taşıyıcı sistem elemanının plastik kapasitesine ulaşmasından sonra, deprem yüklerinin tekrardan dağıtılmasıdır. Bu durumda, iki kesit kapasitesinin ardışık olarak plastik kapasitelerine ulaşmaları arasında dağılım gösteren deprem yükü de, yapı davranışını

temsil eden yeterli sayıda titreşim mod şekilleri ile orantılı olarak farklılık gösterecektir. Belirli bir deprem etkisi altında, sistem elemanlarından istem büyüklüklerinin elde edilerek bina performansının mod birleştirme yöntemi ile bulunması yönetmelikte **Bilgilendirme Eki 7D**'de açıklanmıştır. Türk deprem yönetmeliğinde kullanılan Mod birleştirme yöntemi [12] [13] ile her bir plastik kesitin oluşumundaki modların katkıları dikkate alınabilmekte; plastik dönmeler ile iç kuvvet istemleri, ek işlemlere gerek duyulmadan kullanılabilmektedir. [1]

3.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri de Zaman Tanım Alanı'nda hesaptır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, taşıyıcı sistem elemanlarının istemlerinin belirlenmesinde statik değil de dinamik parametrelerle çalışılmak istendiğinde, deprem yönetmeliğine göre kullanılabilen bir yöntemdir. Zaman tanım alanında yapılacak hesap için yapay veya daha önceden kaydedilmiş deprem hareketleri kullanılabilir.

Yapay yer hareketleri kullanılacak olunması durumunda en az üç deprem yer hareketi kullanılır. Zaman tanım aralığında daha önceden kaydedilmiş yer hareketleri kullanılırsa, bu hareketlerin yerel zemin koşullarını da uygun bir biçimde yansıtmasına dikkat edilir. Deprem yer hareketlerinin sayısı yönetmeliğe göre en az üç olmalıdır. Hem yapay hem de daha önceden kaydedilmiş deprem hareketleri için kullanılan deprem yer hareketi sayısı en az üç ise sonuçların maksimumu alınır. Eğer bu sayı en az yedi ise sonuçların ortalaması alınabilir.

Hem yapay hem de kaydedilmiş yer hareketlerinin kullanılması bazı koşullara bağlanmıştır. Yönetmeliğe göre;

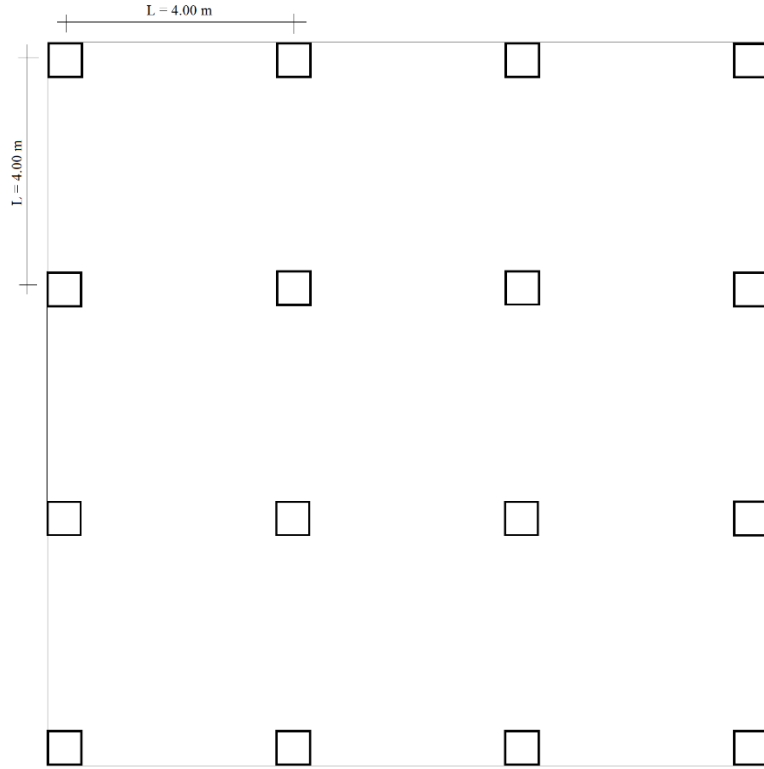
- a) Kaydedilen veya üretilen deprem kaydının kuvvetli yer hareketi kısmının uzunluğu, binanın birinci titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

- b) Üretilen veya kaydedilmiş deprem yer hareketinden elde edilen spektral ivme – periyot grafiğinde, sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_o * g$ 'den daha küçük olmayacaktır.
- c) Yapay veya kaydedilmiş deprem yer hareketlerinin spektral ivme – periyot ilişkisi %5 sönüme göre bulunacak ve ortalaması alınacaktır. Daha sonra binanın birinci periyodu T_1 'e göre hesaplanan $0.2T_1$ ile $2T_1$ aralığındaki periyot değerleri için yukarıda hesaplanan %5 sönümlü ortalama spektral ivme – periyot grafiğine gidilecektir. Burada bu aralığa denk gelen spektral ivme değerleri, **Bölüm 2.3 Şekil 2.2**'deki elastik davranış spektrumunun yine aynı aralığa denk gelen spektral ivme değerlerinin %90'ından az olmayacaktır.

4. ÖRNEK BİNALAR, MODELLER VE PERFORMANS HESAPLARI

4.1 Örnek Binalar

Tezde kullanılan binaların özellikleri İ.E. BAL ve diğ. [14] tarafından yapılan çalışma esas alınarak seçilmiştir. Aşağıdaki **Şekil 4.1**'de modellenen her iki binanın da basit kolon yerleşim planı görülmektedir. Her iki binada da toplam 3 açıklık uygulanmış ve kolon açıklıkları 4.00 metre olarak modellenmiştir.



Şekil 4.1 4 ve 6 Katlı Binaların Kolon Yerleşimi

4 ve 6 katlı binalarda kullanılan beton sınıfı C16/20, çelik sınıfı ise S220 olarak belirlenmiştir. Kat yükseklikleri her iki binada da 2.8 m alınmıştır. Döşeme kalınlığı her iki binada da 12 cm olarak alınmıştır. Ölü yükler metrekare başına 7.5 kN olarak alınmış, hareketli yükler ise metrekare başına 200 kg olarak kabul edilmiştir. Binaların genel özellikleri aşağıdaki **Çizelge 4.1**'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 4 ve 6 Katlı Binaların Genel Özellikleri

4 KATLI

| | | |
|-------------------|----------|-------------------|
| AÇIKLIK | 3x3 | m |
| YÜKSEKLİK | 2.8 | m |
| AÇIKLIK GENİŞLİĞİ | 4 | m |
| KOLONLAR | | |
| 1, 2, 3 ve 4. Kat | 45x45 | cm |
| KİRİŞLER | | |
| | 40x20 | cm |
| t_{slab} | | |
| | 12 | cm |
| SIDL | | |
| | 7.5 | kN/m ² |
| LL | 200 | kg/m ² |
| ZEMİN SINIFI | Z3 | |
| DEPREM BÖLGESİ | 1.Derece | |
| BETON SINIFI | C16 | MPa |
| DONATI SINIFI | S220 | MPa |

6 KATLI

| | | |
|-------------------|----------|-------------------|
| AÇIKLIK | 3x3 | m |
| YÜKSEKLİK | 2.8 | m |
| AÇIKLIK GENİŞLİĞİ | 4 | m |
| KOLONLAR | | |
| 1. ve 2. Kat | 70x70 | cm |
| 3, 4 ve 5. Kat | 60x60 | cm |
| 6. Kat | 50x50 | cm |
| KİRİŞLER | | |
| | 50x25 | cm |
| t_{slab} | | |
| | 12 | cm |
| SIDL | | |
| | 7.5 | kN/m ² |
| LL | 200 | kg/m ² |
| ZEMİN SINIFI | Z3 | |
| DEPREM BÖLGESİ | 1.Derece | |
| BETON SINIFI | C16 | MPa |
| DONATI SINIFI | S220 | MPa |

4 katlı binada kolon kesitleri 45X45 olarak belirlenmiş, kiriş kesitleri ise 40x20 olarak kabul edilmiştir. 6 katlı binada ise ilk iki katta 70x70 kolon kesitleri kullanılmıştır. Daha sonraki üç katta ise 60X60 kolon kesitleri tercih edilmiştir. En son katta ise 50X50'lik kesitler kullanılmıştır. 6 katlı binanın kirişleri için ise 50X25 boyutları seçilmiştir.

Her iki binada da kullanılan kolon ve kirişlere ait donatı oranları **Çizelge 4.2'**de görülmektedir. Kirişlerin üst satırı, kiriş üst donatı oranını alt satırı ise kiriş alt donatı oranını göstermektedir.

Çizelge 4.2 Binaların Donatı Oranları

| | | | | | |
|--------------|-----------|-------|--------------|------|--------|
| 45X45 | 4Ø14 | 0.004 | 70x70 | 4Ø18 | 0.0055 |
| | 2Ø12 | | | 8Ø16 | |
| 40X20 | 2Ø14 | 0.004 | 60x60 | 4Ø16 | 0.0055 |
| | 2Ø14+2Ø12 | 0.007 | | 8Ø14 | |
| 50x25 | 2Ø14 | 0.002 | 50x50 | 4Ø16 | 0.005 |
| | 2Ø14+2Ø12 | 0.004 | | 4Ø12 | |

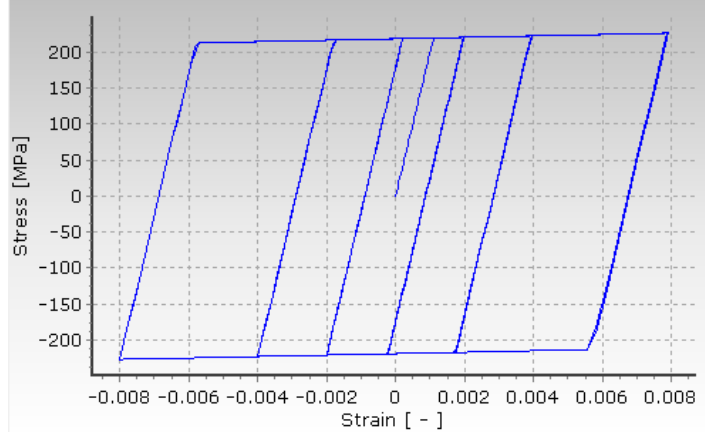
4.2 Örnek Binaların Modellenmesi

DBYBHY – 2007’de doğrusal olmayan analizlerde kesitlerin plastik kapasitelerine erişmesi plastik mafsallar ile temsil edilmektedir. Bu tezde verilen analizlerde 4 ve 6 katlı binalara ait doğrusal elastik olmayan analizler, fiber elemanlarla yayılı plastisite kullanan bilgisayar yazılımı SeismoStruct v7.0.2 Build 1’de gerçekleştirilmiştir. Bu sayede plastik mafsallardaki elemanların dönmelerinden elemanların eğriliklerini, daha sonra ise birim şekil değiştirmelerini ayrıca hesaplamadan, bilgisayar yazılımından birim şekil değiştirmeler olarak alınabilmektedir. Bilgisayar programında ilk önce malzemeler sonra elemanlar modellenip en sonunda da analiz işlemleri yapılmıştır.

4.2.1 Malzemeler, kesitler ve eleman sınıflarının modellenmesi

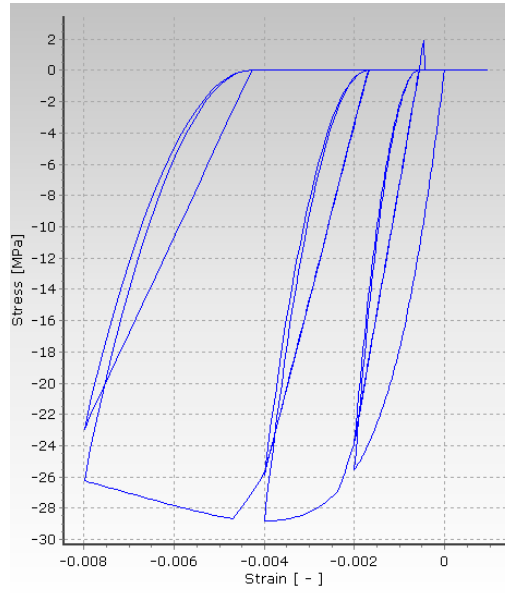
Kullanılan programda betonarme donatı çeliği için iki adet model mevcuttur Bu modellerden biri bi-lineer çelik modeli diğeri ise Menegetto – Pinto modelidir. Bu modellerden, basitliği ve hızlı yakınsaması nedeni ile elasto-plastik çelik modeli tercih

edilmiştir. Bu modele ait çevrimsel gerilme-şekil değiştirme görünümü **Şekil 4.2**'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Modellerde kullanılan donatı çeliğine ait çevrimsel model

Beton davranışı için ise sargılı ve sargısız beton modellerinin tarifi gerekmektedir. Bunun için bir sargısız beton modeli ve sargılama faktörü ile bu faktörden yola çıkarak tüm sargılanmış beton modelini elde edecek bağıntı seçilmiştir. Bu çalışmada Mander [14] sargılı beton modeli kullanılmıştır. Sargılama faktörünün (beton basınç dayanımının sargıdan sonraki değerinin sargıdan önceki değerine bölümü) 1.2 olması örnek durumu için kullanılan beton modelinin çevrimsel görünümü **Şekil 4.3**'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Betonun Mekanik Özellikleri

Doğrusal olmayan analiz, plastisitenin eleman boyunca yayılı olduğu kabulü ile çalışan elemanlar kullanılarak yapılmıştır. SeismoStruct ve benzeri, fiber modeller kullanabilen ve plastisitelerin eleman boyunca yayılı olduğu programlarda, genel olarak iki tip eleman bulunmaktadır: kuvvet tabanlı (Forced-Based) ve yerdeğiştirme tabanlı (Displacement-Based). Yerdeğiştirme tabanlı elemanlarda eğriliklerin elemanın iki integrasyon noktası arasında lineer değiştiği, kuvvet tabanlı elemanlarda ise momentin iki integrasyon noktası arasında doğrusal değiştiği kabul edilerek eleman formülasyonları kurulmaktadır [14]. Son dönemde yapılan yayınlarda, özellikle birim şekil değiştirme ve eğrilik gibi kesit mertebesinde çıktılar alınmak isteniyorsa kuvvet tabanlı elemanların kullanılması tavsiye edilmektedir [16].

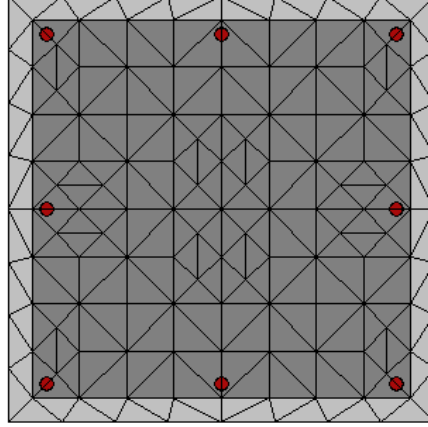
Sistemde kullanılan elastik elemanlar (örneğin cephelerde kullanılan paneller) elastik çerçeve elemanları ile modellenmiştir. Yüksek derecede plastik davranış gösteren elemanlar link tipi yaylar ile, sismik kütleler ise yayılı veya asılı (konsantre) kütle elemanları ile tarif edilmiştir. Modellerde kullanılan eleman tipleri aşağıda **Çizelge 4.3**'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Eleman Tipleri

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Elastik olmayan çerçeve elemanları | <ul style="list-style-type: none"> - infrmDB (yerdeğiştirme tabanlı elastik olmayan çerçeve eleman) - infrmFB (kuvvet tabanlı elastik olmayan çerçeve eleman) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Elastik çerçeve elemanları | Elfrm (elastik çerçeve eleman) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bağlantı elemanları | Link (doğrusal veya doğrusal olmayan bağlantı elemanı) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Kütle elemanları | lmass & dmass (asılı veya yayılı kütle) |

Çubuk eleman tanımında integrasyon kesitleri önemli bir yer oynar. Analiz sonuçları bu noktalardaki fiber elemanların istemlerinin toplanması ile bulunduğu unutulmamalıdır. Kesit fiberleri **Şekil 4.4**'de de gösterildiği gibi kullanıcının yazmış olduğu fiber eleman

sayısına göre ayrıştırılır. Bu işlemin eşit bir şekilde uygulanamadığı durumlarda, ayrıştırma işlemi belirtilen sayıya yakın bir sayıda gerçekleştirilir. Eğer istenirse tanımlanan integrasyon noktalarındaki donatı planları da aynı boyuttaki farklı kesitler kullanılarak gerçekleştirilebilir.



Şekil 4.4 Fiber Elemanlara Ayrıştırma (250 life bölünmüş bir kesit)

Elemanların üzerine gelen yükler, üçgen yayılı yükten çizgisel yüke çevrilmiş ve bulunan bu değer dış kirişler ile iç kirişlere **Çizelge 4.4**'de olduğu gibi ayrı ayrı olarak etki ettirilmiştir. Çizelgedeki yüklerin hesaplanması aşağıdaki **Denklem 4.1**'e göre bulunan P_d yüküne göre hesaplanmıştır.

$$P_d = G + n \times Q \quad (4.1)$$

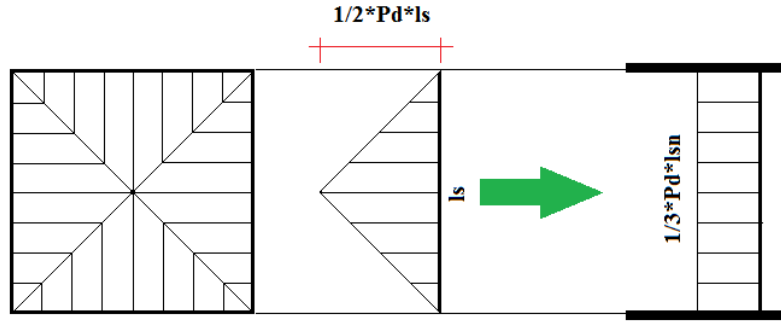
Çizelge 4.4 Kiriş Yüklerinin Dağılımı

| | Genişlik (m) | l_s (m) | l_{sn} (m) | Dış Kirişler (kN) | İç Kirişler (kN) | Dış Kirişler (t) | İç Kirişler (t) |
|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Kolon70x70 | 0.7 | 4 | 3.3 | 8.91 | 17.82 | 0.9083 | 1.8165 |
| Kolon60x60 | 0.6 | 4 | 3.4 | 9.18 | 18.36 | 0.9358 | 1.8716 |
| Kolon50x50 | 0.5 | 4 | 3.5 | 9.45 | 18.9 | 0.9633 | 1.9266 |
| Kolon45x45 | 0.45 | 4 | 3.55 | 9.585 | 19.17 | 0.9771 | 1.9541 |

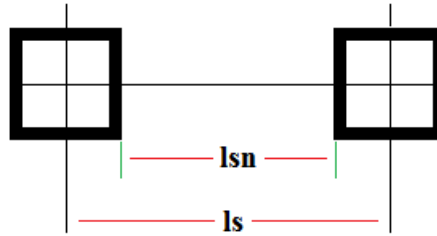
Yayılı yükten çizgisel yüke geçiş işlemi **Şekil 4.5**'de gösterildiği gibi yapılmıştır. Burada l_s döşemenin açıklığı, l_{sn} ise döşemenin serbest açıklığıdır (**Şekil 4.6**). P_d yükü için alınan değerler aşağıdaki **Çizelge 4.5**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Döşeme Yükünün Hesabı

| | | | |
|---------------------------------|---------|-----|-------------------|
| Ölü Yük = | G | 7.5 | kN/m ² |
| Hareketli Yük = | Q | 2 | kN/m ² |
| Har. Yük Az. Katsayısı = | n | 0.3 | - |
| P_d = | G + n*Q | 8.1 | kN/m ² |



Şekil 4.5 Yayılı Yüklerin Çizgisel Yüklerle Çevrilmesi



Şekil 4.6 Döşemelerin Serbest Açıklığı

Kirişlere etki ettirilecek yükler hesaplandıktan sonra bu yüklerin “dmass” eleman tipleri ile kirişlere aktarılması gerekmektedir. Aktarılacak yükler, döşemelerin serbest açıklığından dolayı kolonların ilgili yöndeki boyutlarına bağlıdır. Ancak tezde kullanılan binaların simetrik olmasında dolayı kolonların her iki yöndeki boyutu da

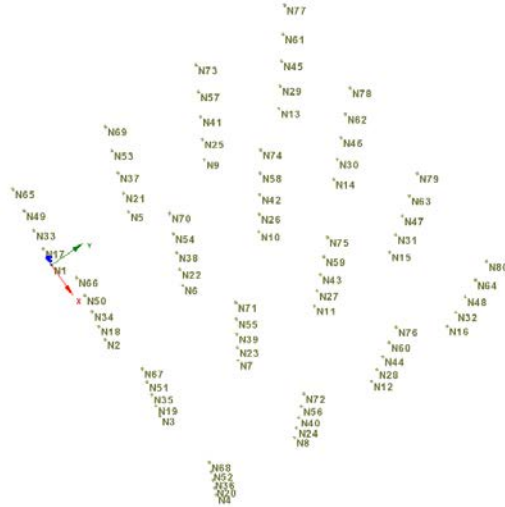
eşittir. Bu nedenle sadece kolonlar iç – dış olacak şekilde boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. **Çizelge 4.6**'da bu sınıflandırma görünmektedir. Daha sonra bu elemanlar programa “Kütle Eleman Tipleri” olarak tek tek girilebilir.

Çizelge 4.6 "dmass" Elemanların Programda İsimlendirilmesi

| | 4 Katlı Bina | 6 Katlı Bina |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| 45x45'lik Kolon | TEKdmass45 | — |
| 45x45'lik Kolon | CIFTdmass45 | — |
| 50x50'lik Kolon | — | TEKdmass50 |
| 50x50'lik Kolon | — | CIFTdmass50 |
| 60x60'lik Kolon | — | TEKdmass60 |
| 60x60'lik Kolon | — | CIFTdmass60 |
| 70x70'lik Kolon | — | TEKdmass70 |
| 70x70'lik Kolon | — | CIFTdmass70 |

4.2.2 Düğüm noktaları, eleman bağlantıları, diyaframlar ve mesnetler

Eleman sınıflarından sonra tanımlanan elemanların bir birleri ile birleştirilebilmesi için düğüm noktaları tanımlamak gerekmektedir. Binalardaki düğüm noktaları birçok programda da olduğu gibi kopyalamak suretiyle **Şekil 4.7**'deki gibi kolayca oluşturulabilir.



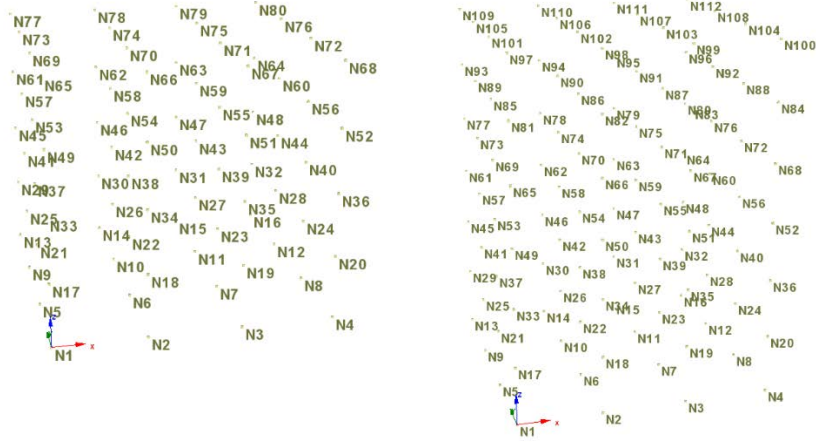
Şekil 4.7 Düğüm Noktaları

Düğüm noktalarının oluşturulmasında bu tezde belirli bir sıralama esas alınmıştır. Bu sıralamaya göre ilk düğüm noktası, **N1**, x, y ve z koordinat düzlemine göre 0, 0 ve 0 noktalarında konumlandırılmıştır. Daha sonra gelen her bir ardışık düğüm noktası **Şekil 4.8**'deki gibi soldan sağa ve aşağıdan yukarıya şeklinde sıralanmıştır.

| Z = 0 m Düğüm Noktaları | | | | Z = 2.8 m Düğüm Noktaları | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|
| N13 | N14 | N15 | N16 | N29 | N30 | N31 | N32 |
| N9 | N10 | N11 | N12 | N25 | N26 | N27 | N28 |
| N5 | N6 | N7 | N8 | N21 | N22 | N23 | N24 |
| N1 | N2 | N3 | N4 | N17 | N18 | N19 | N20 |

Şekil 4.8 Düğüm Noktalarının Dizilişi

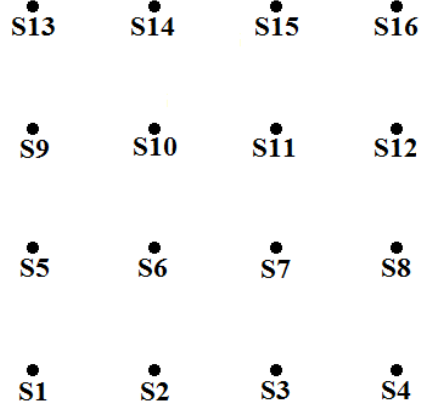
Şekil 4.9'de hem 4 kat hem de 6 katlı binaların bu dizilişe göre oluşturulmuş düğüm noktaları görülmektedir.



Şekil 4.9 4 ve 6 Katlı Binaların Düğüm Noktaları

Düğüm noktalarını tanımladıktan sonraki işlem ise başlangıç ve bitiş noktaları bu düğümler olan çubuk elemanları tanımlanmasıdır.

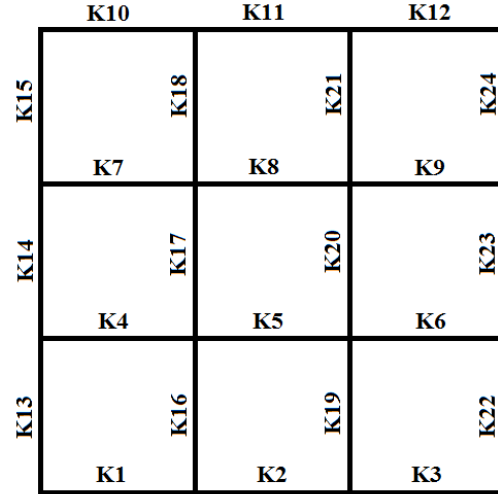
Daha önceden düğümlerin oluşturulmasında kullanılan sıralama biçimi kolonlarda da kullanılmıştır. Ancak kirişlerin ve “dmass” eleman tiplerinin dizilişleri için daha farklı bir sıralama türü benimsenmiştir.



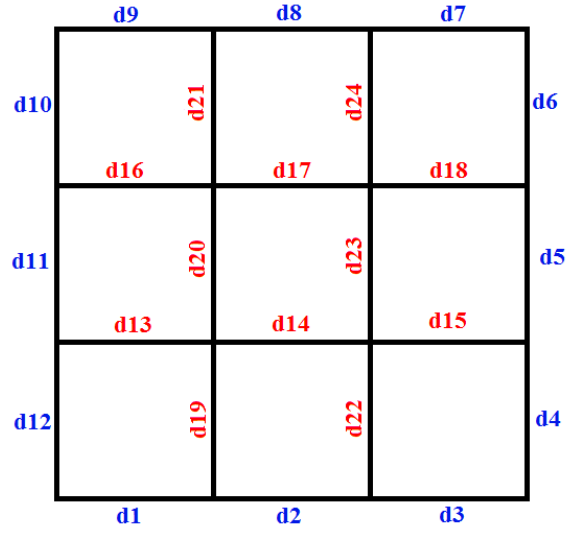
Şekil 4.10 Kolon Yerleşimi

Şekil 4.10'da 4 ve 6 katlı binalarda kolonların yerleşim sıralaması çubuk eleman olarak planda gösterilmiştir. Düğüm noktalarındaki gibi S1 kolonu x, y ve z koordinat düzlemine göre 0, 0 ve 0 noktasından başlamış ve soldan sağa ile aşağıdan yukarıya doğru artarak 4. ve 6. katlara kadar devam etmiştir. Kirişlerdeki konumlandırılması ise **Şekil 4.11**'de görüldüğü üzere x ve y eksenlerinin doğrultularına göre yapılmıştır. Buna göre ilk başta genel eksen takımına göre X doğrultusunda olan kirişlere isim verilmiş, daha sonra ise Y eksenini doğrultusundaki kirişlere isim verilmiştir

Eleman tiplerinde tanımlanan ve döşeme üzerindeki yükleri kirişlere aktarmakla sorumlu olan “dmass” eleman tipleri için konumlandırma, elemanın dış kirişe mi yoksa iç kirişe mi etki edeceğine bağlı olarak değişmektedir. İlk başta dış kirişlere etki eden “dmass” elemanlarının ilki x, y ve z koordinat düzlemine göre 0, 0 ve 0 noktasından başlayarak saat yönünün tersine gidecek şekilde isimlendirmesi yapılmıştır. Daha sonra iç kirişlere etkileyen “dmass” elemanları, ilk başta x doğrultusunda sıralanmış daha sonra ise y doğrultusunda sıralanarak isim verme işlemi **Şekil 4.12**'de gözüktüğü gibi gerçekleştirilmiştir.

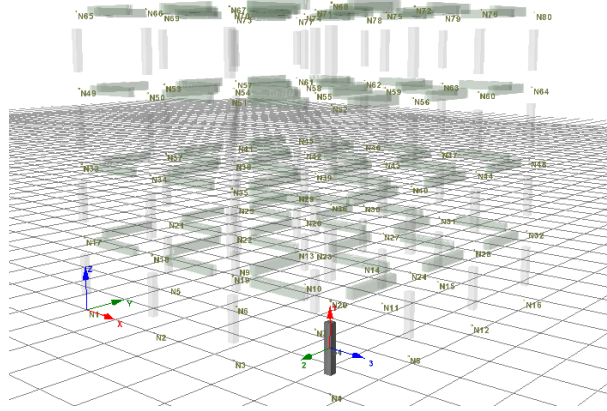


Şekil 4.11 Kirişlerin Yerleşimi



Şekil 4.12 "dmass" Elemanların Yerleşimi

Kolon, kiriş ve "dmass" elemanların tanımlama işlemlerinden sonra yerlerine yerleştirilmesi daha önceden tanımlanan düğüm noktaları ile Şekil 4.13'de görüldüğü üzere kolayca yapılabilir.



Şekil 4.13 Tanımlanan Elemanların Modele Yerleştirilmesi

Elemanların geometrik sistemdeki yerlerinin belirlenmesinden sonra diyafram tanımlamak gerekmektedir. Diyafram tanımı sayesinde kat düzlemindeki elemanların ortak bir davranış sergilemesi sağlanır. Döşeme modellemesi rijit diyaframlar yoluyla yapılır. Bu sayede binalardaki gerçek döşemelerin davranışı programa rijit diyafram yoluyla yansıtılmış olunur. Döşeme yükleri de yukarıdaki anlatılan “dmass” eleman tipleri ile doğrudan kirişlere aktarılır.

Daha önceden tanımlanmış olan kat düzlemlerindeki düğüm noktaları seçilerek bu noktalara bağlı olan elemanların birlikte çalışması sağlanır.

| | | | |
|------------------------------|---|---|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> N1 | <input type="checkbox"/> N14 | <input checked="" type="checkbox"/> N27 | <input type="checkbox"/> N40 |
| <input type="checkbox"/> N2 | <input type="checkbox"/> N15 | <input checked="" type="checkbox"/> N28 | <input type="checkbox"/> N41 |
| <input type="checkbox"/> N3 | <input type="checkbox"/> N16 | <input checked="" type="checkbox"/> N29 | <input type="checkbox"/> N42 |
| <input type="checkbox"/> N4 | <input type="checkbox"/> N17 | <input checked="" type="checkbox"/> N30 | <input type="checkbox"/> N43 |
| <input type="checkbox"/> N5 | <input checked="" type="checkbox"/> N18 | <input checked="" type="checkbox"/> N31 | <input type="checkbox"/> N44 |
| <input type="checkbox"/> N6 | <input checked="" type="checkbox"/> N19 | <input checked="" type="checkbox"/> N32 | <input type="checkbox"/> N45 |
| <input type="checkbox"/> N7 | <input checked="" type="checkbox"/> N20 | <input type="checkbox"/> N33 | <input type="checkbox"/> N46 |
| <input type="checkbox"/> N8 | <input checked="" type="checkbox"/> N21 | <input type="checkbox"/> N34 | <input type="checkbox"/> N47 |
| <input type="checkbox"/> N9 | <input checked="" type="checkbox"/> N22 | <input type="checkbox"/> N35 | <input type="checkbox"/> N48 |
| <input type="checkbox"/> N10 | <input checked="" type="checkbox"/> N23 | <input type="checkbox"/> N36 | <input type="checkbox"/> N49 |
| <input type="checkbox"/> N11 | <input checked="" type="checkbox"/> N24 | <input type="checkbox"/> N37 | <input type="checkbox"/> N50 |
| <input type="checkbox"/> N12 | <input checked="" type="checkbox"/> N25 | <input type="checkbox"/> N38 | <input type="checkbox"/> N51 |
| <input type="checkbox"/> N13 | <input checked="" type="checkbox"/> N26 | <input type="checkbox"/> N39 | <input type="checkbox"/> N52 |

Şekil 4.14 Rijit Diyaframın Tanımlanması

Diyaframı oluşturan düğüm noktalarından biri ana düğüm noktası seçilir geriye kalanlar ise buna bağlı düğüm noktaları olarak seçilir. Ana düğüm noktası genellikle diyafram merkezinde seçilir. Programda ana düğüm noktasına bağlı düğümlerin

yerdeğiştirme/dönme değerleri hesaplanırken ana düğüme olan göreceli konumlarının değişmediği varsayılır. [14] **şekil 4.15'**de 4 katlı bina için oluşturulan rijit diyaframlar görünmektedir.

Dört ve altı katlı binaların modellenmesinde bir sonraki aşama ise $Z = 0$ kotundaki düğüm noktalarının serbestliklerinin belirlenmesidir. Zemin kotundaki düğüm noktaları seçilerek hem ötelenme hem de dönme serbestlikleri engellenmiştir

| Constraint type | Mast... | Restrained DOFs | Slave Node(s) |
|-----------------|---------|-----------------|------------------------------|
| Rigid Diaphragm | N17 | X-Y plane | N18 N19 N20 N21 N22 N23... |
| Rigid Diaphragm | N33 | X-Y plane | N34 N35 N36 N37 N38 N39 N... |
| Rigid Diaphragm | N49 | X-Y plane | N50 N51 N52 N53 N54 N55 N... |
| Rigid Diaphragm | N65 | X-Y plane | N66 N67 N68 N69 N70 N71 N... |

şekil 4.15 Oluşturulan Rijit Diyaframlar

4.3 Binaların Statik ve Dinamik Analizleri

4.3.1 Binaların kat kütlelerinin tayini

Hem 4 katlı hem de 6 katlı binaların statik ve dinamik analizleri için ilk önce modellenmiş olan binaların program tarafından hangi analizlerinin yapılacağının belirlenmesi gerekmektedir. Programda binaların statik analizlerinin yapılmasından sonra hem 4 katlı hem de 6 katlı binaların ağırlıkları bulunmuştur. Analizler sonucunda 4 katlı binanın ağırlığının 7157 kN olduğu gözlemlenmiş, 6 katlı binanın ağırlığı ise 12181 kN olarak bulunmuştur.

Binaların ağırlığının bulunmasından sonra ise binaların kat ağırlıklarının bulunması gerekmektedir. Bu işlem binanın kolonlarındaki eksenel yükler hesaplanarak bulunabilir. Sonrasında hesaplanan bu eksenel yükler **Çizelge 4.7'**de da görüldüğü gibi her bir katta ayrı ayrı toplanarak ilgili katın ağırlığı bulunabilir.

Çizelge 4.7 4 Katlı Binanın Kat Ağırlıkları

| | | | | | | | |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| S1 | 238.91 | S17 | 178.19 | S33 | 116.76 | S49 | 54.75 |
| S2 | 404.95 | S18 | 302.31 | S34 | 199.37 | S50 | 96.21 |
| S3 | 404.95 | S19 | 302.30 | S35 | 199.37 | S51 | 96.21 |
| S4 | 238.91 | S20 | 178.19 | S36 | 116.76 | S52 | 54.75 |
| S5 | 404.95 | S21 | 302.30 | S37 | 199.37 | S53 | 96.21 |
| S6 | 712.95 | S22 | 531.64 | S38 | 351.60 | S54 | 172.60 |
| S7 | 712.95 | S23 | 531.64 | S39 | 351.60 | S55 | 172.60 |
| S8 | 404.95 | S24 | 302.30 | S40 | 199.37 | S56 | 96.21 |
| S9 | 404.95 | S25 | 302.30 | S41 | 199.37 | S57 | 96.21 |
| S10 | 712.95 | S26 | 531.64 | S42 | 351.60 | S58 | 172.60 |
| S11 | 712.95 | S27 | 531.64 | S43 | 351.60 | S59 | 172.60 |
| S12 | 404.95 | S28 | 302.30 | S44 | 199.37 | S60 | 96.21 |
| S13 | 238.91 | S29 | 178.19 | S45 | 116.76 | S61 | 54.75 |
| S14 | 404.95 | S30 | 302.31 | S46 | 199.37 | S62 | 96.21 |
| S15 | 404.95 | S31 | 302.31 | S47 | 199.37 | S63 | 96.21 |
| S16 | 238.91 | S32 | 178.19 | S48 | 116.76 | S64 | 54.75 |

| | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| Küm. (kN) | 718.35 | 535.96 | 353.56 | 171.17 |
| Norm. (t) | 182.40 | 182.40 | 182.40 | 171.17 |

Aşağıdaki **Çizelge 4.8**'de ise 4 katlı binanın kat ağırlıkları görülmektedir. 6 katlı binanın kolonlarındaki eksenel yükler **Çizelge 4.9**'da, her bir katın ağırlığı ise **Çizelge 4.10**'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 4 Katlı Binanın Ağırlığı

| | | |
|---------------|---------|-----|
| 4. Kat | 171.17 | Ton |
| 3. Kat | 182.40 | Ton |
| 2. Kat | 182.40 | Ton |
| 1. Kat | 182.40 | Ton |
| Toplam | 718.35 | Ton |
| Toplam | 7047.05 | kN |

Çizelge 4.9 6 Katlı Bina'nın Kat Ağırlıkları (kN)

| | | | | | |
|------------|---------|------------|--------|------------|--------|
| S1 | 453.09 | S17 | 370.86 | S33 | 291.91 |
| S2 | 697.89 | S18 | 574.69 | S34 | 455.47 |
| S3 | 697.89 | S19 | 574.69 | S35 | 455.47 |
| S4 | 453.10 | S20 | 370.86 | S36 | 291.91 |
| S5 | 697.89 | S21 | 574.69 | S37 | 455.47 |
| S6 | 1130.17 | S22 | 932.52 | S38 | 741.25 |
| S7 | 1130.17 | S23 | 932.52 | S39 | 741.25 |
| S8 | 697.89 | S24 | 574.69 | S40 | 455.47 |
| S9 | 697.89 | S25 | 574.69 | S41 | 455.47 |
| S10 | 1130.17 | S26 | 932.52 | S42 | 741.25 |
| S11 | 1130.17 | S27 | 932.52 | S43 | 741.25 |
| S12 | 697.89 | S28 | 574.69 | S44 | 455.47 |
| S13 | 453.10 | S29 | 370.86 | S45 | 291.91 |
| S14 | 697.89 | S30 | 574.69 | S46 | 455.47 |
| S15 | 697.89 | S31 | 574.69 | S47 | 455.47 |
| S16 | 453.10 | S32 | 370.86 | S48 | 291.91 |

| | | | | | |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| S49 | 215.20 | S65 | 137.55 | S81 | 63.01 |
| S50 | 338.07 | S66 | 220.31 | S82 | 106.06 |
| S51 | 338.07 | S67 | 220.31 | S83 | 106.05 |
| S52 | 215.21 | S68 | 137.55 | S84 | 63.01 |
| S53 | 338.07 | S69 | 220.31 | S85 | 106.06 |
| S54 | 551.98 | S70 | 364.37 | S86 | 181.51 |
| S55 | 551.98 | S71 | 364.37 | S87 | 181.51 |
| S56 | 338.07 | S72 | 220.31 | S88 | 106.06 |
| S57 | 338.07 | S73 | 220.31 | S89 | 106.05 |
| S58 | 551.98 | S74 | 364.37 | S90 | 181.51 |
| S59 | 551.98 | S75 | 364.37 | S91 | 181.51 |
| S60 | 338.07 | S76 | 220.31 | S92 | 106.05 |
| S61 | 215.21 | S77 | 137.55 | S93 | 63.01 |
| S62 | 338.07 | S78 | 220.31 | S94 | 106.05 |
| S63 | 338.07 | S79 | 220.31 | S95 | 106.05 |
| S64 | 215.21 | S80 | 137.55 | S96 | 63.01 |

Çizelge 4.10 6 Katlı Binanın Ağırlığı

| | | |
|--------|--------|-----|
| 6. Kat | 186.19 | Ton |
| 5. Kat | 198.13 | Ton |
| 4. Kat | 204.19 | Ton |
| 3. Kat | 204.19 | Ton |
| 2. Kat | 207.41 | Ton |
| 1. Kat | 214.59 | Ton |
| Toplam | 1214.7 | Ton |
| Toplam | 11916 | kN |

4.3.2 Binaların modal özelliklerinin tayini

4 ve 6 katlı binaların modal özelliklerini tayin edilebilmesi için dinamik analiz yapılması gerekmektedir. SeismoStruct programında özdeğer analizinde 2 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar “**Lanczos algoritması**” veya “**Ritz dönüştürmeli Jacobi algoritması**” ‘dır. Yapının doğal frekans ve mod şekillerinin hesaplanmasında kullanılan varsayılan etkili algoritma Lanczos algoritmasıdır. Bununla birlikte, kullanıcı proje ayarları menüsünden Ritz dönüştürmeli Jacobi algoritmasını da seçebilir. [14] Dinamik analiz tamamlandıktan sonra binaların etkin titreşim periyotlarına, modal katılım çarpanlarına veya etkin kütlelerine kolayca ulaşılabilir.

Aşağıdaki **Şekil 4.16**’da 4 katlı binanın modal özelliklerinden bazıları gözükmemektedir. **Şekil 4.17**’de ise 6 katlı binanın bazı modal özellikleri gözükmemektedir. **Şekil 4.18** ve **Şekil 4.19**’de görüldüğü üzere 4 katlı binanın X doğrultusunda kütle katılımı %81, 6 katlı binanın ise %76’dır. Deprem yönetmeliğinde Artımsal eşdeğer itme analizi için istenen en az değer %70 olduğundan dolayı Artımsal eşdeğer itme analizi Yöntemi uygulanabilir.

| MODAL PERIODS AND FREQUENCIES | | | |
|-------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------------|
| Mode | Period (sec) | Frequency (Hertz) | Angular Frequency (rad/sec) |
| 1 | 0.59816578 | 1.6717734 | 10.50408682 |
| 2 | 0.59814550 | 1.67183402 | 10.50444294 |
| 3 | 0.50927366 | 1.96358083 | 12.33754220 |
| 4 | 0.17512802 | 5.71010862 | 35.87767056 |
| 5 | 0.17511852 | 5.71041844 | 35.87961723 |
| 6 | 0.08769571 | 11.40306640 | 71.64757824 |
| 7 | 0.08674420 | 11.52014841 | 72.43249271 |
| 8 | 0.05752276 | 17.38442166 | 109.22954275 |
| 9 | 0.05712924 | 17.50417262 | 109.98196022 |
| 10 | 0.04271285 | 23.41227038 | 147.10363326 |
| 11 | 0.03230656 | 30.95346311 | 194.40634463 |
| 12 | 0.01851222 | 54.01836764 | 339.40741390 |

| MODAL PARTICIPATION FACTORS | | | | | | | |
|---|------------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|
| For Unit Acceleration Loads in Global Coordinates | | | | | | | |
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] | [Uz] | [Rx] | [Ry] | [Rz] |
| 1 | 0.59816578 | 24.1427 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 39.0446 | 0.0000 |
| 2 | 0.59814550 | 0.0000 | 24.1426 | 0.0000 | -39.0453 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3 | 0.50927366 | 0.0000 | -0.0001 | 0.0000 | -0.0008 | 0.0000 | -134.8221 |
| 4 | 0.17512802 | 9.3581 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -65.7730 | 0.0000 |
| 5 | 0.17511852 | 0.0000 | 9.3570 | 0.0000 | 65.7612 | 0.0005 | -0.0001 |
| 6 | 0.08769571 | 3.9903 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | -28.8116 | 0.0000 |
| 7 | 0.08674420 | -0.0001 | 6.3805 | 0.0000 | 31.3798 | -0.0508 | 0.0015 |
| 8 | 0.05752276 | 0.0000 | 0.0000 | 17.0852 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 0.05712924 | 3.4674 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | -22.1535 | -0.0001 |
| 10 | 0.04271285 | 0.0000 | 0.0000 | 16.7714 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 11 | 0.03230656 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 12 | 0.01851222 | 0.0000 | 0.0000 | 7.3550 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 |

| EFFECTIVE MODAL MASSES | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|------------|----------|-------------|-------------|--------------|
| [Individual Mode] | | | | | | | |
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] | [Uz] | [Rx] | [Ry] | [Rz] |
| 1 | 0.59816578 | 582.871950 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 1524.480318 | 0.000000 |
| 2 | 0.59814550 | 0.000000 | 582.867404 | 0.000000 | 1524.532564 | 0.000000 | 0.000000 |
| 3 | 0.50927366 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000001 | 0.000000 | 18176.996648 |
| 4 | 0.17512802 | 87.574567 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 4326.090870 | 0.000000 |
| 5 | 0.17511852 | 0.000000 | 87.553848 | 0.000000 | 4324.536306 | 0.000000 | 0.000000 |
| 6 | 0.08769571 | 35.884011 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 830.107577 | 0.000000 |

Şekil 4.16 4 Katlı Binanın Modal Özellikleri

| MODAL PERIODS AND FREQUENCIES | | | |
|-------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------------|
| Mode | Period (sec) | Frequency (Hertz) | Angular Frequency (rad/sec) |
| 1 | 0.58516782 | 1.70891146 | 10.73740738 |
| 2 | 0.58515386 | 1.70895224 | 10.73766359 |
| 3 | 0.49441721 | 2.02258331 | 12.70826573 |
| 4 | 0.18167849 | 5.50422885 | 34.58408982 |
| 5 | 0.18167348 | 5.50438058 | 34.58504319 |
| 6 | 0.15736824 | 6.35452244 | 39.92664205 |
| 7 | 0.09437856 | 10.59562723 | 66.57428931 |
| 8 | 0.09437482 | 10.59604630 | 66.57692243 |
| 9 | 0.08336326 | 11.99569205 | 75.37115607 |
| 10 | 0.05873410 | 17.02588576 | 106.97679524 |

| MODAL PARTICIPATION FACTORS | | | | | | | |
|---|------------|----------|----------|---------|-----------|----------|-----------|
| For Unit Acceleration Loads in Global Coordinates | | | | | | | |
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] | [Uz] | [Rx] | [Ry] | [Rz] |
| 1 | 0.58516782 | 0.0000 | 30.3760 | 0.0000 | -88.4006 | 0.0001 | 0.0000 |
| 2 | 0.58515386 | 30.3758 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 88.4022 | 0.0000 |
| 3 | 0.49441721 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -172.2547 |
| 4 | 0.18167849 | 0.0000 | -12.0264 | 0.0000 | -111.6769 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.18167348 | -12.0266 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 111.6747 | 0.0000 |
| 6 | 0.15736824 | -0.0004 | -0.0004 | 0.0001 | -0.0040 | 0.0040 | -67.7361 |
| 7 | 0.09437856 | 0.0000 | -7.9965 | 0.0000 | -50.3636 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.09437482 | 7.9966 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -50.3623 | 0.0000 |
| 9 | 0.08336326 | 0.0003 | 0.0003 | -0.0013 | 0.0018 | -0.0018 | -45.4941 |
| 10 | 0.05873410 | 0.0000 | 0.0000 | 22.3727 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

| EFFECTIVE MODAL MASSES | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|------------|----------|--------------|--------------|--------------|
| [Individual Mode] | | | | | | | |
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] | [Uz] | [Rx] | [Ry] | [Rz] |
| 1 | 0.58516782 | 0.000000 | 922.701696 | 0.000000 | 7814.665392 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.58515386 | 922.690695 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 7814.940863 | 0.000000 |
| 3 | 0.49441721 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 29671.674268 |
| 4 | 0.18167849 | 0.000000 | 144.624768 | 0.000000 | 12471.738487 | 0.000000 | 0.000000 |
| 5 | 0.18167348 | 144.638163 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 12471.229835 | 0.000000 |
| 6 | 0.15736824 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000016 | 0.000016 | 4588.182798 |

Şekil 4.17 6 Katlı Binanın Modal Özellikleri

| E F F E C T I V E M O D A L M A S S P E R C E N T A G E S | | | |
|---|------------|------------|------------|
| [Individual Mode] | | | |
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] |
| 1 | 0.59816578 | 81.139963% | 0.000000% |
| 2 | 0.59814550 | 0.000000% | 81.139330% |
| 3 | 0.50927366 | 0.000000% | 0.000000% |
| 4 | 0.17512802 | 12.191009% | 0.000000% |
| 5 | 0.17511852 | 0.000000% | 12.188139% |
| 6 | 0.08769571 | 4.995312% | 0.000000% |
| 7 | 0.08674420 | 0.000000% | 5.667260% |
| 8 | 0.05752276 | 0.000000% | 0.000000% |
| 9 | 0.05712924 | 1.673681% | 0.000000% |
| 10 | 0.04271265 | 0.000000% | 0.000000% |
| 11 | 0.03230656 | 0.000000% | 0.000000% |
| 12 | 0.01851222 | 0.000000% | 0.000000% |

| [Cumulative Mass] | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] |
| 1 | 0.59816578 | 81.139963% | 0.000000% |
| 2 | 0.59814550 | 81.139963% | 81.139330% |
| 3 | 0.50927366 | 81.139963% | 81.139330% |
| 4 | 0.17512802 | 93.330972% | 81.139330% |
| 5 | 0.17511852 | 93.330972% | 93.327468% |
| 6 | 0.08769571 | 98.326284% | 93.327468% |
| 7 | 0.08674420 | 98.326284% | 98.994728% |
| 8 | 0.05752276 | 98.326284% | 98.994728% |
| 9 | 0.05712924 | 99.999965% | 98.994728% |
| 10 | 0.04271265 | 99.999965% | 98.994728% |
| 11 | 0.03230656 | 99.999965% | 98.994728% |
| 12 | 0.01851222 | 99.999965% | 98.994728% |

Şekil 4.18 4 Kath Binanın Kütle Katılım Oranları

| E F F E C T I V E M O D A L M A S S P E R C E N T A G E S | | | |
|---|------------|------------|------------|
| [Individual Mode] | | | |
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] |
| 1 | 0.58516782 | 0.000000% | 75.961562% |
| 2 | 0.58515386 | 75.960656% | 0.000000% |
| 3 | 0.49441721 | 0.000000% | 0.000000% |
| 4 | 0.18167849 | 0.000000% | 11.907080% |
| 5 | 0.18167348 | 11.907360% | 0.000000% |
| 6 | 0.15736824 | 0.000000% | 0.000000% |
| 7 | 0.09437856 | 0.000000% | 5.264163% |
| 8 | 0.09437482 | 5.264280% | 0.000000% |
| 9 | 0.08336326 | 0.000000% | 0.000000% |
| 10 | 0.05873410 | 0.000000% | 0.000000% |

| [Cumulative Mass] | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Mode | Period | [Ux] | [Uy] |
| 1 | 0.58516782 | 0.000000% | 75.961562% |
| 2 | 0.58515386 | 75.960656% | 75.961562% |
| 3 | 0.49441721 | 75.960656% | 75.961562% |
| 4 | 0.18167849 | 75.960656% | 87.868642% |
| 5 | 0.18167348 | 87.868016% | 87.868642% |
| 6 | 0.15736824 | 87.868016% | 87.868642% |
| 7 | 0.09437856 | 87.868016% | 93.132805% |
| 8 | 0.09437482 | 93.132296% | 93.132805% |
| 9 | 0.08336326 | 93.132296% | 93.132805% |
| 10 | 0.05873410 | 93.132296% | 93.132805% |

Şekil 4.19 6 Kath Binanın Kütle Katılım Oranları

4.4 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

4.4.1 Deprem yükleri ve performans seviyeleri

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizinin uygulanmasında ilişkin esaslar deprem yönetmeliğinde bahsedilmiştir. Bu yöntemi uygulayabilmek için ise birkaç zorunlu koşul getirilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması.
- Herhangi bir katta ek dış merkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması.
- Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması.

Yukarıdaki koşulların sağlanmasından sonra artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi kullanılabilir. 4 katlı binanın burulma düzensizliği **Çizelge 4.11**'de rahatlıkla görünebilir.

Çizelge 4.11 4 Katlı Binanın Burulma Düzensizliği ve Yumuşak Kat Kontrolü

| EX | h_i | $(d_i)_{maks}$ | $(\Delta_i)_{maks}$ | $(d_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{ort}$ | η_{bi} | $\eta_{ki, ust}$ | $\eta_{ki, alt}$ |
|--------|-------|----------------|---------------------|---------------|--------------------|--------------------|-------------|------------------|------------------|
| 4. Kat | 2.8 | 0.053 | 0.008 | 0.053 | 0.008 | 0.008 | 1.00 | | 0.58 |
| 3. Kat | 2.8 | 0.045 | 0.014 | 0.045 | 0.014 | 0.014 | 1.00 | 1.73 | 0.79 |
| 2. Kat | 2.8 | 0.032 | 0.017 | 0.032 | 0.017 | 0.017 | 1.00 | 1.27 | 1.20 |
| 1. Kat | 2.8 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 1.00 | 0.83 | — |

| EY | h_i | $(d_i)_{maks}$ | $(\Delta_i)_{maks}$ | $(d_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{ort}$ | η_{bi} | $\eta_{ki, ust}$ | $\eta_{ki, alt}$ |
|--------|-------|----------------|---------------------|---------------|--------------------|--------------------|-------------|------------------|------------------|
| 4. Kat | 2.8 | 0.053 | 0.008 | 0.053 | 0.008 | 0.008 | 1.00 | — | 0.58 |
| 3. Kat | 2.8 | 0.045 | 0.014 | 0.045 | 0.014 | 0.014 | 1.00 | 1.73 | 0.79 |
| 2. Kat | 2.8 | 0.032 | 0.017 | 0.032 | 0.017 | 0.017 | 1.00 | 1.27 | 1.20 |
| 1. Kat | 2.8 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 0.014 | 1.00 | 0.83 | — |

Çizelge 4.12 6 Katlı Binanın Burulma Düzensizliği ve Yumuşak Kat Kontrolü

| EY | h_i | $(d_i)_{maks}$ | $(\Delta_i)_{maks}$ | $(d_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{min}$ | $(\Delta_i)_{ort}$ | η_{bi} | $\eta_{ki, ust}$ | $\eta_{ki, alt}$ |
|--------|-------|----------------|---------------------|---------------|--------------------|--------------------|-------------|------------------|------------------|
| 6. Kat | 2.8 | 0.130 | 0.019 | 0.129 | 0.019 | 0.019 | 1.00 | — | 0.82 |
| 5. Kat | 2.8 | 0.111 | 0.023 | 0.111 | 0.023 | 0.023 | 1.00 | 1.22 | 0.88 |
| 4. Kat | 2.8 | 0.088 | 0.026 | 0.088 | 0.026 | 0.026 | 1.00 | 1.13 | 0.95 |
| 3. Kat | 2.8 | 0.062 | 0.027 | 0.062 | 0.027 | 0.027 | 1.00 | 1.06 | 1.22 |
| 2. Kat | 2.8 | 0.035 | 0.022 | 0.035 | 0.022 | 0.022 | 1.00 | 0.82 | 1.77 |
| 1. Kat | 2.8 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 1.00 | 0.57 | — |

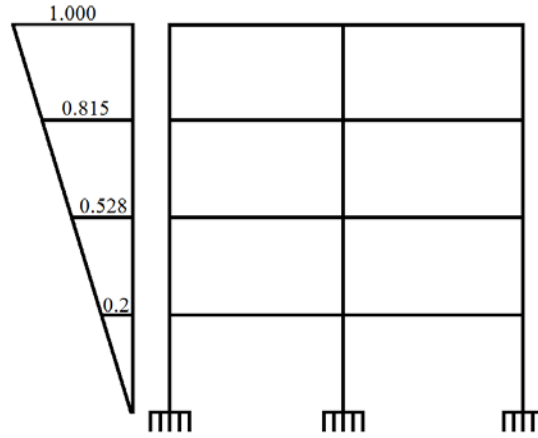
Çizelge 4.12'de ise 6 katlı binanın burulma düzensizliği sadece X deprem doğrultusunda verilmiştir. Binaların ilerideki analizlerde sadece tek bir yönde değerlendirilebilmesi için simetrik olarak tasarlanmıştır. Bu simetrik tasarımı **Çizelge 4.11**'daki her iki doğrultuda da burulma düzensizliklerinin aynı çıkmasında veya **Şekil 4.18** ile **Şekil 4.19**'da her iki yöndeki periyotlarının eşit olmasından görünebilir. **Çizelge 4.11**'de her iki deprem doğrultusunda da burulma katsayıları aynı çıkmıştır. Bu nedenle 6 katlı binanın sadece X yönlü deprem doğrultusu dikkate alınıp, bu doğrultuda burulma düzensizliği katsayıları hesaplanmıştır.

Binaların **Çizelge 4.11** ile **Çizelge 4.12**'de görüldüğü gibi burulma düzensizliğine sahip olmaması ve 8 katı geçmemesinden dolayı, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizine uygun olduğu söylenebilir. Artımsal itme analizi sırasında, binaya uygulanacak deprem yüklerinin dağılımının plastik kesit oluşumundan bağımsız olduğu varsayımı yapılabilir. Bu durumda deprem yüklerinin dağılımı, analizin başında doğrusal elastik davranış için hesaplanan binanın birinci (hakim) titreşim mod şekil genlikleri ile kat kütlelerinin çarpımıyla orantılı olarak yapılır. Aşağıdaki **Çizelge 4.13**'de hem 4 katlı binanın hem de 6 katlı binanın en üst kata göre normalize edilmiş mod şekilleri ile normalize edilmemiş mod şekilleri görünmektedir.

Çizelge 4.13 Binaların Mod Şekilleri

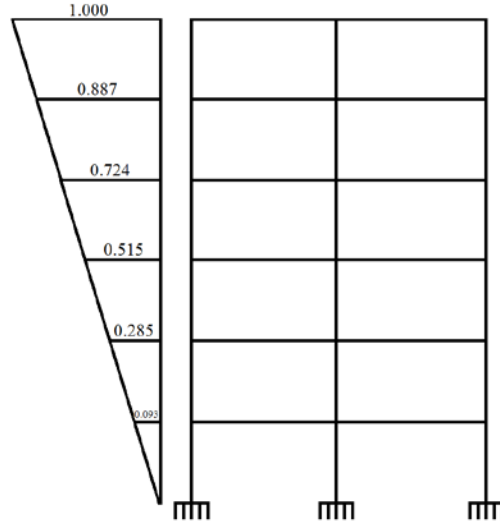
| 4 Kat | Normalize – 4 Kat | 6 Kat | Normalize – 6 Kat |
|-------|-------------------|-------|-------------------|
| 0.053 | 1.000 | 0.044 | 1.000 |
| 0.043 | 0.815 | 0.039 | 0.887 |
| 0.028 | 0.528 | 0.032 | 0.724 |
| 0.011 | 0.199 | 0.023 | 0.515 |
| | | 0.012 | 0.285 |
| | | 0.004 | 0.093 |

İtme analizinin yapılabilmesi için X doğrultusunda binaya uygulanacak yüklerin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Türk deprem yönetmeliğinde madde 7.6.5.3'e göre artımsal eşdeğer itme analizinin deprem yükleri binanın birinci titreşim mod şekil genlikleri ile kat kütlelerinin orantısından elde edilir.

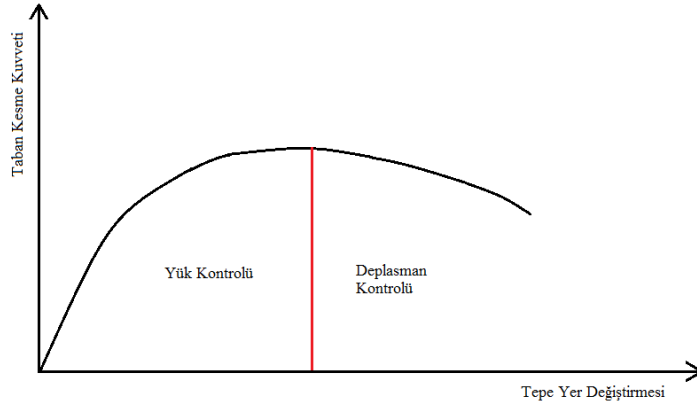


Şekil 4.20 4 Katlı Binanın Nominal Deprem Kuvvetleri

Şekil 4.20'de 4 katlı binaya ve Şekil 4.21'de 6 katlı binaya uygulanacak 1.mod şekli ile orantılı kuvvetler gözükmektedir. Bu kuvvetler analizin her bir adımında kendi aralarındaki oranlar doğrultusunda arttırılacak ve binaya etki ettirilecektir. Türk deprem yönetmeliğinde artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizinde kuvvet tabanlı bir itme analizi belirlendiği için, binalara Şekil 4.22'de gözüktüğü gibi bir itme yordamı benimsenmiştir.



Şekil 4.21 6 Katlı Binanın Nominal Deprem Kuvvetleri

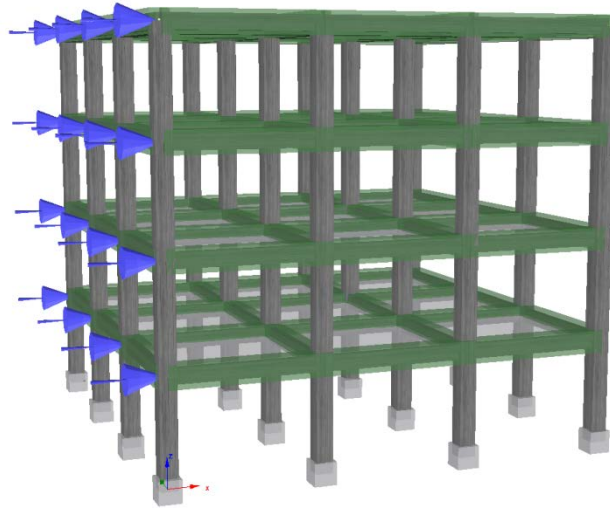


Şekil 4.22 İtme Analizinde Uygulanan Yordam

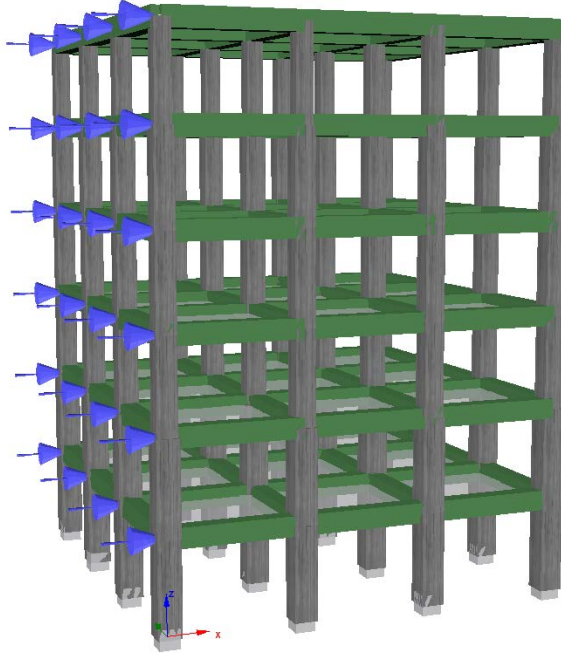
Binaların simetrik olmasından dolayı analizler sadece X doğrultusunda yapılmıştır. İtme analizinde tanımlanan yükün etki biçimi ise kuvvet olarak seçilmiştir. Burada istenirse yükün etki biçimi yerdeğiştirme olarak da seçilebilir. Bu durumda hem kuvvete – dayalı hem de yerdeğiştirmeye – dayalı itme analizi çalıştırılabilir. Ancak, birçok durumda itme yüklerinin kuvvet olarak uygulanması yerdeğiştirme olarak etki ettirilmesine tercih edilir. Bunun nedeni programda tanımlı olan daha gelişmiş bir analiz tipi olan adaptif itme analizi (TDY – 2007’de Artımsa Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi’ne karşılık geliyor.) uygulanmamış olduğu durumlarda, bir yapının deformasyonunu

önceden tanımlı bir şekilde sınırlamak gerçek davranış özelliklerini gizleyebilir (örn. Yumuşak kat). Bu sebeple, adaptif olmayan itme analizindeki en yaygın yükleme stratejisi kuvvete – dayalı itme analizidir. [14]

Binalara birinci titreşim mod şekil genlikleri ile orantılı kuvvete – dayalı artımsal itme yükleri tanımlanmıştır. **Şekil 4.23** ve **Şekil 4.24**'de ise tanımlanan yüklerin 4 ve 6 katlı binalara üç boyutlu olarak X doğrultusunda etkimesi görülmektedir



Şekil 4.23 Artımsal İtme Yüklerinin 4 Katlı Binaya Etkimesi

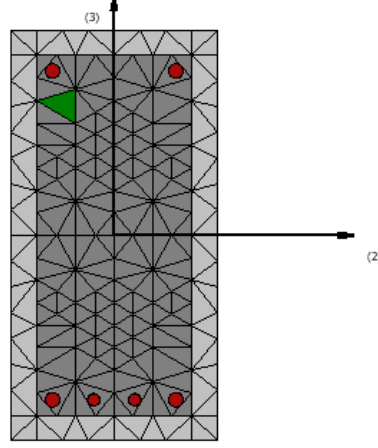


Şekil 4.24 Artımsal İtme Yüklerinin 6 Katlı Binaya Etkimesi

SeismoStruct v7.0.2'nin bu tezde kullanılma nedenlerinden birini oluşturan diğer bir hususun taşıyıcı sistem elemanlarındaki dönmeler yerine birim yerdeğiştirme oranlarını göstermesi olduğu daha önceden belirtilmişti. Analiz sonrasında hangi taşıyıcı sistem elemanının hangi hasar bölgesinde olduğunu belirlemek için yönetmelikte belirtilen hasar sınırlarının tanımlanması gerekmektedir. Bu limitler tanımlanırken deprem yönetmeliğinde yer alan ve **Çizelge 3.3'**de de gösterilen değerler kullanılır. Buradaki ρ_s/ρ_{sm} ifadesinde ise ρ_s kesitte DBYBHY – 2007'de **3.2.8'**e göre düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranını, ρ_{sm} ise DBYBHY – 2007'de **3.3.4, 3.4.4** veya **3.6.5.2'**ye göre kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranını göstermektedir.

Deprem yönetmeliğinde hem betonarme hem de donatıların her biri için üç adet hasar sınırı tanımlamıştır. Toplamda altı adet hasar sınırını programa tanımlanarak analiz sonrası elemanların hasar bölgeleri kolayca belirlenebilir. İstenirse programa tanıma sırasında sistem elemanlarına **Şekil 4.26'**daki gibi çeşitli renkler de atanabilir. Bu sayede analiz sonrasında binanın performansı görsel olarak da takip edilebilir.

Fiber elemanların sağladığı bir diğer avantaj ise analiz sonrasında elemanların kesitlerinde istenilen lifin gerilme veya birim şekil değiştirme gibi değerlerine kolayca ulaşılabilmesidir (Şekil 4.25).



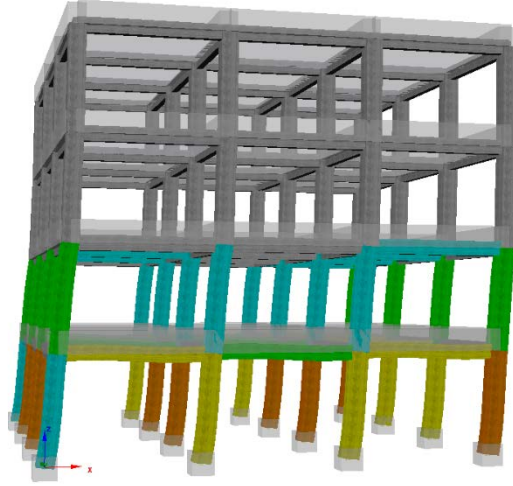
Şekil 4.25 Yeşil Olarak Gösterilen Gerilme Noktası

| | |
|-----------|--|
| Beton_MN | |
| Donatı_MN | |
| Beton_GV | |
| Donatı_GV | |
| Beton_GC | |
| Donatı_GC | |

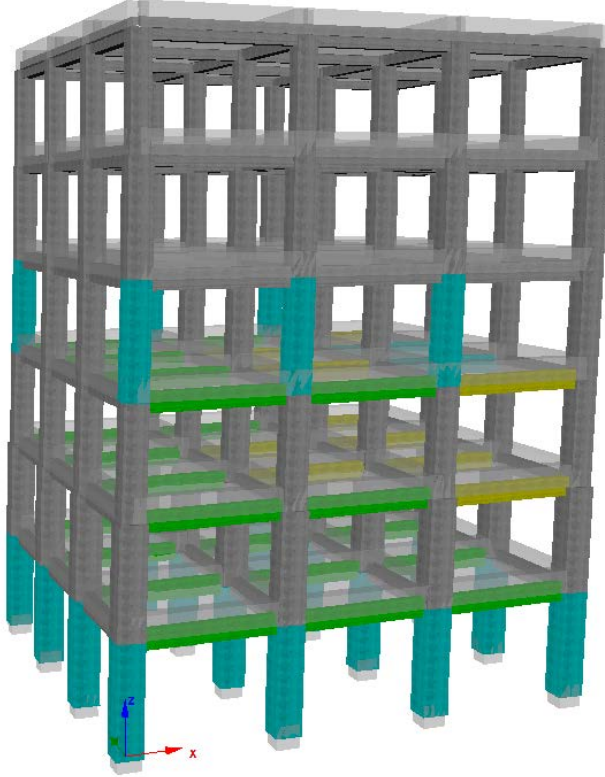
Şekil 4.26 Hasar Sınır Renkleri

4.4.2 Kapasite ve talep eğrilerinin elde edilmesi

İtme analizinden sonra binaların performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle Binaların kapasite eğrilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Analizden hemen sonra istenirse görsel olarak daha önceden tanımlanmış olan renkler sayesinde binaların elemanlarının her bir yükleme aşamasında nasıl bir tepki verdiği gözlemlenebilir. Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de güvenlik sınırını aşmış binaların hasar dağılımları gösterilmektedir.

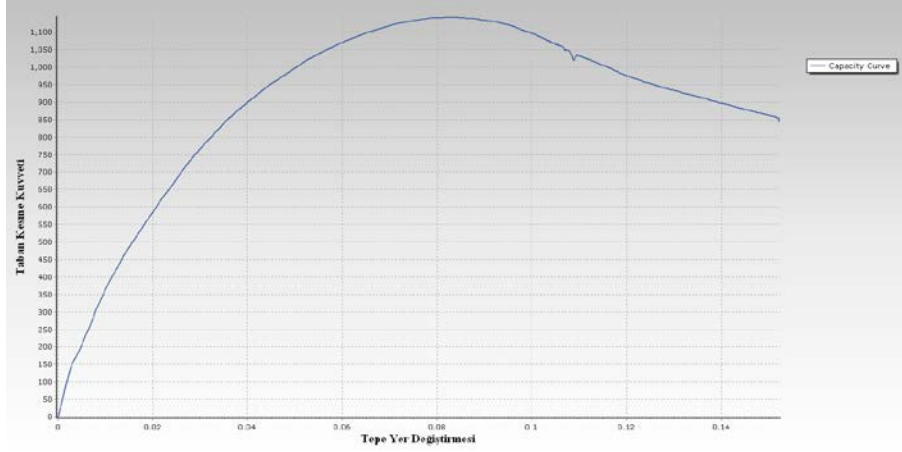


Şekil 4.27 4 Katlı Binanın Deforme Olmuş Şekli



Şekil 4.28 6 Katlı Binanın Deforme Olmuş Şekli

İtme analizi gerçekleştirildikten sonra programda **Şekil 4.29'**da görüldüğü gibi kapasite eğrisine ulaşılabilir. Bu eğrinin oluşturulmasında kullanılan değerler her bir adımda hesaplanarak bulunduğu için bu değerlere de programdan ulaşılabilir.



Şekil 4.29 4 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi

Hem kapasite hem de talep spektrumlarının aynı grafik üzerinde çizdirileceği için programdan alınan kapasite eğrisi yerine, bu eğriyi oluşturan değerler alınıp **Bölüm 3.3.3**'de anlatıldığı gibi koordinat dönüşümü ile kapasite spektrumuna çevrilebilir. Bu dönüşümde her bir adımdaki taban kesme kuvveti **Denklem 4.3**'de verilen ifadeyle modal ivmeye, her bir adımdaki yerdeğiştirme ise **Denklem 4.4**'de verilen ifade ile modal yerdeğiştirmeye çevrilmesi gerekmektedir.

$$\alpha_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (4.2)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \times \Gamma_{x1}} \quad (4.3)$$

Kapasite eğrisini oluşturan değerlerin **Denklem 4.3** ile **Denklem 4.4** kullanılarak elde edilmesi için denklemlerde verilen ifadelerin de hesaplanması gerekmektedir. **Denklem 4.3**'de verilen ifadede her bir adımdaki taban kesme kuvveti etkin kütleyle bölüldüğü görülmektedir. Bu nedenle binaların etkin kütlelerinin hesaplanması gerekmektedir. İstenirse etkin kütle değerleri **Şekil 4.16** ile **Şekil 4.17**'de de gösterildiği gibi programdan da alınabilir.

Daha sonra **Denklem 4.4**'de her bir adımdaki tepe yerdeğiştirmesini bölen ifadeler olan binanın en üst katının birinci (hakim) titreşim periyodunun mod şekil genliği ile modal katılım çarpanı değerlerinin hesaplanması gerekiyor. En üst kat titreşim mod genliği

daha önceden binaların dinamik analizi sırasında **Çizelge 4.13**'de gösterildiği üzere bulunmuştu. Çizelgedeki normalize edilmemiş değerlerin kullanılmasında bir sakınca olmamasına rağmen olası karışıklıklardan kaçınmak için **Çizelge 4.13**'deki normalize edilmiş değerler kullanılmıştır. Bu durumda da Φ_{xNI} değeri 1.00'e eşit olmaktadır. Modal katılım çarpanının bulunması ise aynen etkin kütlede olduğu gibi **Şekil 4.16** ile **Şekil 4.17**'den alınıp kullanılabilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta programdan alınan bu değerlerin hesaplanmasında **Çizelge 4.13**'deki normalize edilmemiş değerler kullanılmıştır. Yani eğer programdan alınan bu değer kullanılacak ise binaların en üst kat birinci titreşim periyodunun şekil genliği normalize edilmeden kullanılmalıdır. Tüm bu değerlerin hesaplanması 4 katlı bina için **Çizelge 4.14** ile **Çizelge 4.15**'de, 6 katlı bina için ise **Çizelge 4.16**'da gösterilmiştir.

4 katlı binada yukarıda anlatılan hususa dikkat çekmek için **Çizelge 4.14**'de normalize edilmemiş birinci titreşim periyodunun mod şekil genlikleri kullanılmıştır. **Çizelge 4.15**'de ise en üst kata göre normalize edilmiş birinci titreşim periyodunun mod şekil genlikleri kullanılmıştır. Hangi çizelgede hangi mod şekil genliklerinin kullanıldığının belli olması için ise ilgili mod şekil genlikleri koyu olarak gösterilmiştir. Ayrıca, hem 4 katlı hem de 6 katlı binalardan elde edilen modal katkı çarpanı, en üst kat mod şekil genliği ve etkin kütleler de her bir çizelgenin sol üst köşesine yazılmıştır.

Çizelge 4.14 4 Katlı Binanın Koordinat Dönüşümü İçin Gerekli Olan Değerler

| | | | | | | | |
|-----------------------------|------------|------------------------|----------|------------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| Katkı Çarpanı = | 24.18 | I = | 1 | T₁ = | 0.583 Sn. | Sa_(T1) = | 1 |
| Φ_{cati,1} = | 0.0534 | T_A = | 0.15 Sn. | ω₁ = | 10.777 rad/s | | |
| Etkin Kütle = | 5730.12 kN | T_B = | 0.6 Sn. | S(T) | 2.5 | | |
| | | A₀ = | 0.4 | g = | 9.81 m/s ² | | |

| Kat | m _i = w _i /g (t) | Φ _{xi1} | Φ _{xi1} (Norm) | m _i *Φ _{xi1} | m _i *Φ _{xi1} ² | L _{x1} | M ₁ | Γ _{x1} * | Γ _{x1} | α ₁ | M _{x1} (kN) |
|-----|--|------------------|-------------------------|----------------------------------|---|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 4 | 171.17 | 0.0534 | 1.0000 | 9.14 | 0.49 | | | 1.291 | | | |
| 3 | 182.40 | 0.0435 | 0.8146 | 7.93 | 0.35 | | | 1.052 | | | |
| 2 | 182.40 | 0.0282 | 0.5281 | 5.14 | 0.15 | 24.15 | 1.00 | 0.682 | 24.18 | 0.813 | 5730.12 |
| 1 | 182.40 | 0.0106 | 0.1988 | 1.94 | 0.02 | | | 0.257 | | | |
| | 718.35 | | | 24.15 | 1.00 | | | | | | |

Çizelge 4.15 4 Katlı Binanın Koordinat Dönüşümü İçin Gerekli Olan Değerler 2

| | | | | | | | |
|-----------------------------|------------|------------------------|----------|------------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| Katkı Çarpanı = | 1.291 | I = | 1 | T₁ = | 0.583 Sn. | Sa_(T1) = | 1 |
| Φ_{cati,1} = | 1.00 | T_A = | 0.15 Sn. | ω₁ = | 10.777 rad/s | | |
| Etkin Kütle = | 5730.12 kN | T_B = | 0.6 Sn. | S(T) | 2.5 | | |
| | | A₀ = | 0.4 | g = | 9.81 m/s ² | | |

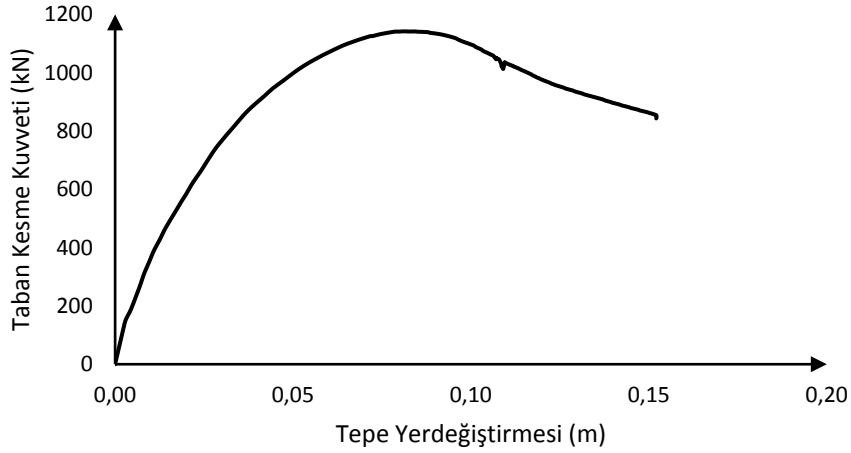
| Kat | m _j = w _i /g (t) | Φ _{xi1} | Φ _{xi1(Norm)} | m _j *Φ _{xi1} | m _j *Φ _{xi1} ² | L _{x1} | M ₁ | Γ _{x1} * | Γ _{x1} | α ₁ | M _{x1} (kN) |
|-----|--|------------------|------------------------|----------------------------------|---|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 4 | 171.17 | 0.0534 | 1.0000 | 171.17 | 171.17 | | | 1.291 | | | |
| 3 | 182.40 | 0.0435 | 0.8146 | 148.59 | 121.04 | 452.33 | 350.28 | 1.052 | 1.291 | 0.813 | 5730.12 |
| 2 | 182.40 | 0.0282 | 0.5281 | 96.32 | 50.86 | | | 0.682 | | | |
| 1 | 182.40 | 0.0106 | 0.1988 | 36.26 | 7.21 | | | 0.257 | | | |
| | 718.35 | | | 452.33 | 350.28 | | | | | | |

Çizelge 4.16 6 Katlı Binanın Koordinat Dönüşümü İçin Gerekli Olan Değerler

| | | | | | | | |
|-----------------------------|------------|------------------------|----------|------------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| Katkı Çarpanı = | 1.329 | I = | 1 | T₁ = | 0.585 Sn. | Sa_(T1) = | 1 |
| Φ_{cati,1} = | 1.00 | T_A = | 0.15 Sn. | ω₁ = | 10.740 rad/s | | |
| Etkin Kütle = | 9052.43 kN | T_B = | 0.6 Sn. | S(T) | 2.500 | | |
| | | A₀ = | 0.4 | g = | 9.81 m/s ² | | |

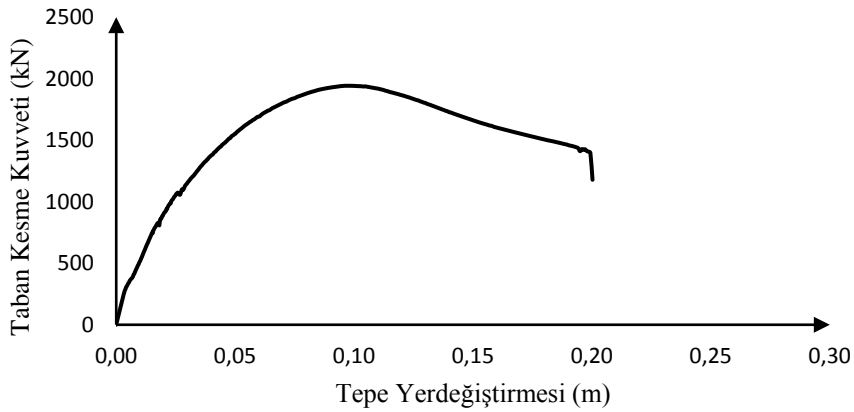
| Kat | m _i = w _i /g (t) | Φ _{xi1} | Φ _{xi1(Norm)} | m _i *Φ _{xi1} | m _i *Φ _{xi1} ² | L _{x1} | M ₁ | Γ _{x1} [*] | Γ _{x1} | α ₁ | M _{x1} (kN) |
|-----|--|------------------|------------------------|----------------------------------|---|-----------------|----------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 6 | 186.19 | 0.0438 | 1.0000 | 186.19 | 186.19 | | | 1.329 | | | |
| 5 | 198.13 | 0.0388 | 0.8876 | 175.86 | 156.10 | | | 1.180 | | | |
| 4 | 204.19 | 0.0317 | 0.7244 | 147.91 | 107.14 | 694.20 | 522.24 | 0.963 | 1.329 | 0.760 | 9052.43 |
| 3 | 204.19 | 0.0225 | 0.5148 | 105.12 | 54.11 | | | 0.684 | | | |
| 2 | 207.41 | 0.0125 | 0.2848 | 59.08 | 16.83 | | | 0.379 | | | |
| 1 | 214.59 | 0.0041 | 0.0934 | 20.04 | 1.87 | | | 0.124 | | | |
| | 1214.70 | | | 694.20 | 522.24 | | | | | | |

Koordinat dönüşümü için ihtiyaç duyulan ifadelerin elde edilmesinden sonra bulunan bu değerler **Denklem 4.3** ile **Denklem 4.4**'de yerine yazılabilir. Aşağıdaki **Şekil 4.30**'da 4 katlı bina için **Şekil 4.31**'de ise 6 katlı bina için programdan alınan değerlerle elde edilen itme eğrisi görülmektedir.

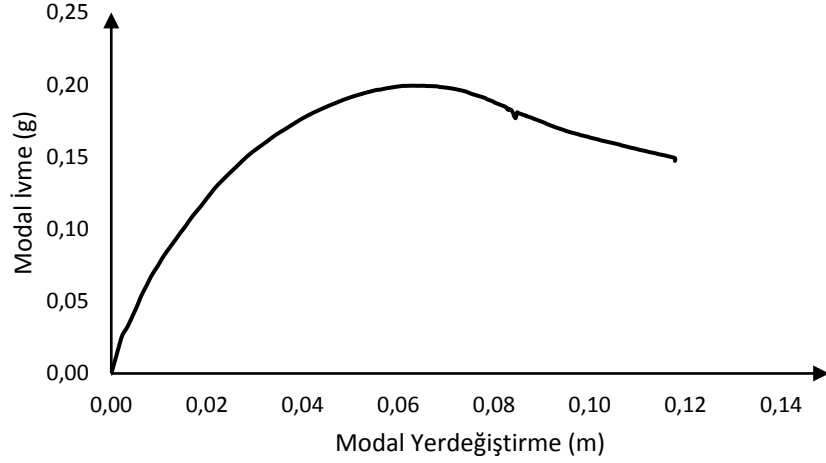


Şekil 4.30 4 Katlı Binanın İtme Eğrisi

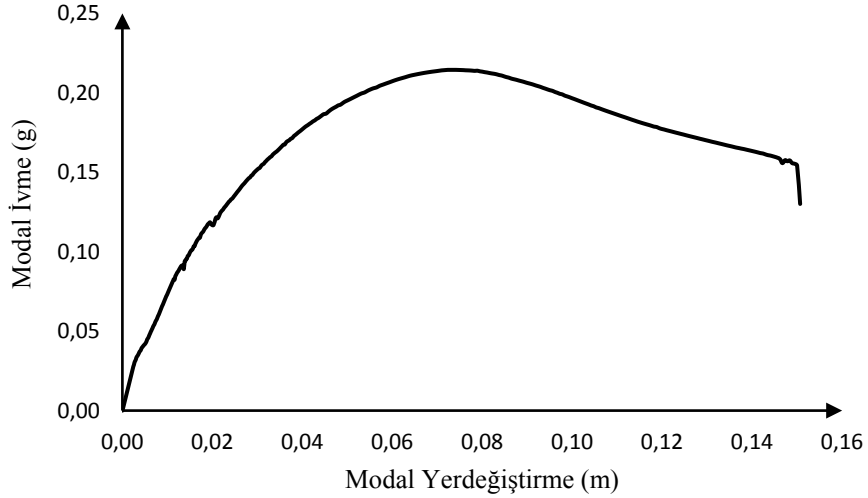
Bu grafiklerin koordinat dönüşümleri yapıldıktan sonra 4 katlı binanın modal ivme – modal yerdeğiştirme grafiği **Şekil 4.32**'de 6 katlı binanın ise **Şekil 4.33**'de görülmektedir.



Şekil 4.31 6 Katlı Binanın İtme Eğrisi



Şekil 4.32 4 Katlı Binanın Modal İvme - Modal Yerdeğiştirme Grafiği

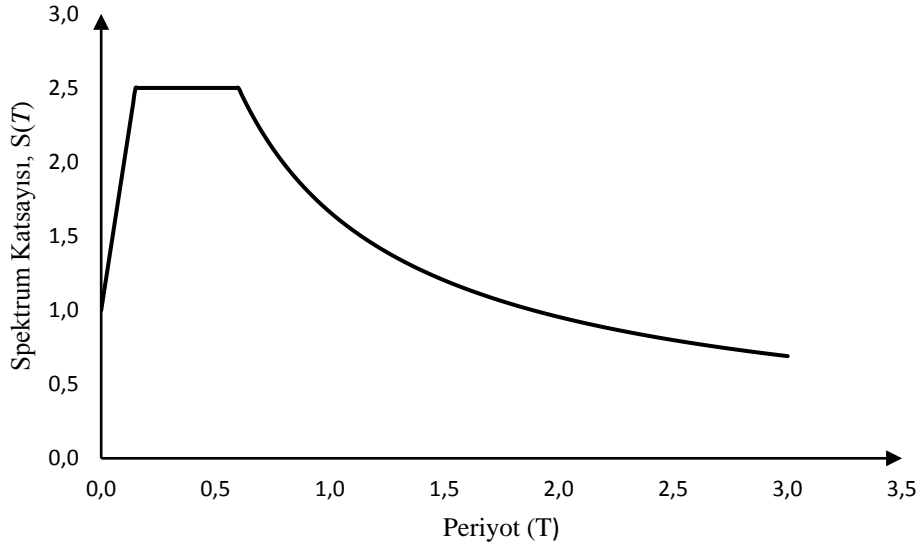


Şekil 4.33 6 Katlı Binanın Modal İvme - Modal Yerdeğiştirme Grafiği

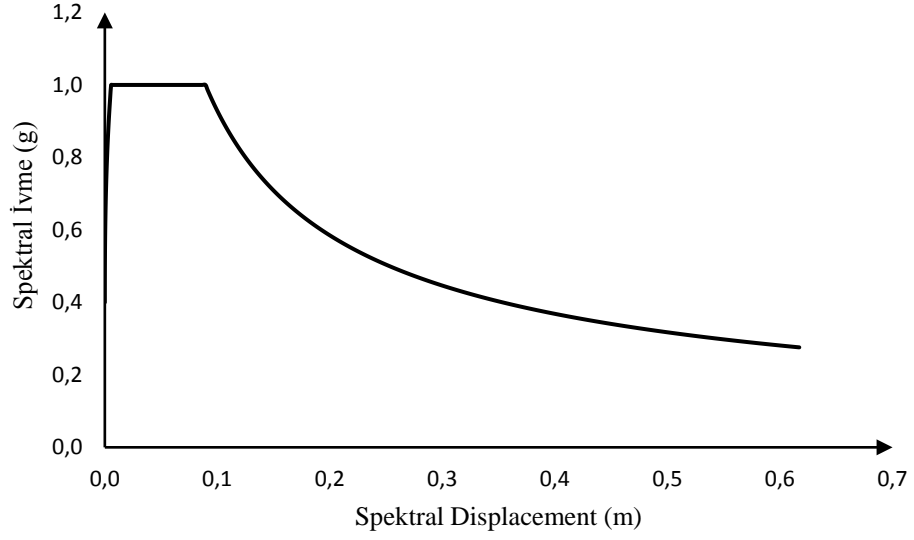
Her iki binanın da ivme eğrilerinin koordinat dönüşümü işleminden sonra DBYBHY – 2007’de tanımlanan elastik davranış spektrumunun (Şekil 4.34) koordinatlarının da dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşümün tablo olarak bir kısmı Çizelge 4.17’de gösterilmektedir. Gösterilen bu dönüşümden elde edilen spektral ivme – spektral yerdeğiştirme grafiği ise Şekil 4.35’de görülmektedir.

Çizelge 4.17 Spektral İvme - Spektral Yerdeğiştirmenin Elde Edilmesi

| T | S(T) | ω | ω^2 | $S_a(T)$ | $S_d(T)$ |
|----------|-------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0.000 | 1.000 | 6.28E+07 | 3.95E+15 | 0.400 | 0.000 |
| 0.010 | 1.100 | 628.3 | 394784.0 | 0.440 | 0.000 |
| 0.020 | 1.200 | 314.2 | 98696.0 | 0.480 | 0.000 |
| 0.030 | 1.300 | 209.4 | 43864.9 | 0.520 | 0.000 |
| 0.040 | 1.400 | 157.1 | 24674.0 | 0.560 | 0.000 |
| 0.050 | 1.500 | 125.7 | 15791.4 | 0.600 | 0.000 |
| 0.060 | 1.600 | 104.7 | 10966.2 | 0.640 | 0.001 |
| 0.070 | 1.700 | 89.8 | 8056.8 | 0.680 | 0.001 |
| 0.080 | 1.800 | 78.5 | 6168.5 | 0.720 | 0.001 |
| 0.090 | 1.900 | 69.8 | 4873.9 | 0.760 | 0.002 |
| 0.100 | 2.000 | 62.8 | 3947.8 | 0.800 | 0.002 |
| 0.110 | 2.100 | 57.1 | 3262.7 | 0.840 | 0.003 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

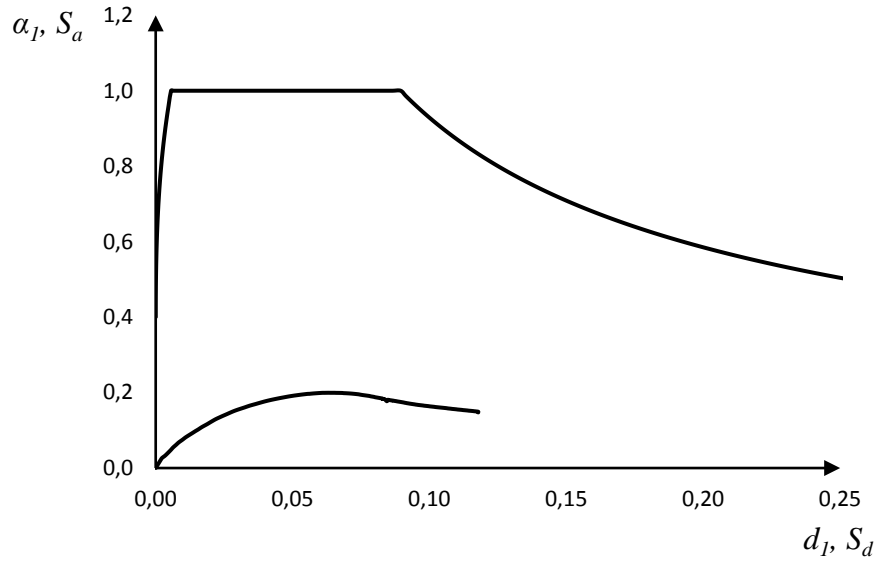


Şekil 4.34 Elastik Davranış Spektrumu

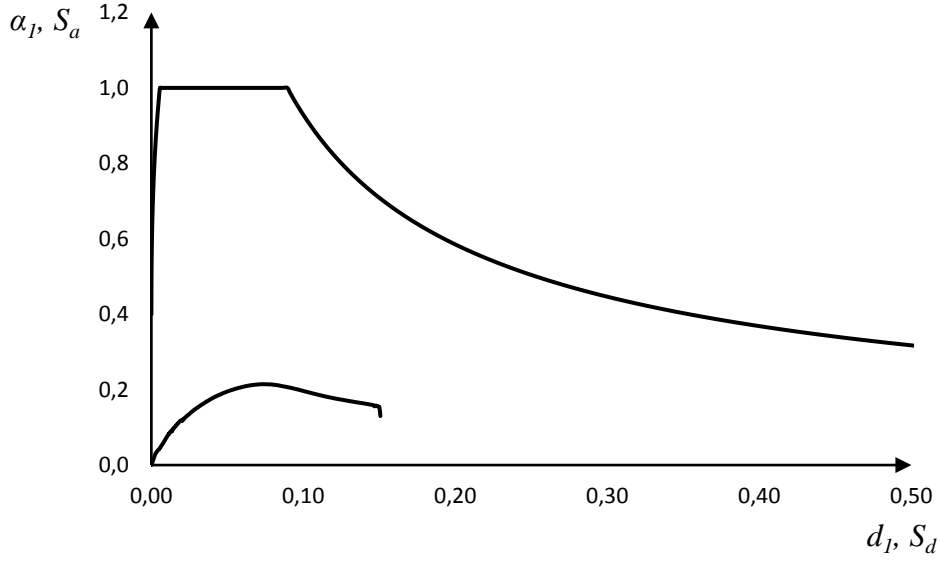


Şekil 4.35 Dönüştürülmüş Elastik Davranış Spektrumu

Her iki grafiğin de eksenleri dönüştürüldükten sonra bu grafikler her iki bina içinde aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Buna göre **Şekil 4.36**'da 4 katlı binanın **Şekil 4.37**'de ise 6 katlı binanın kesleştirilmiş grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.36 4 Katlı Binanın Kesleştirilmiş Grafikleri



Şekil 4.37 6 Kath Binanın Kesiştirilmiş Grafikleri

Bu işlemin ardından binaların performans değerlendirilmesinin yapılabilmesi için, binaların tepe yerdeğiştirme isteminin bulunması gerekmektedir. Aşağıdaki **Denklem 4.5** ile bu değer her iki bina içinde bulunabilir.

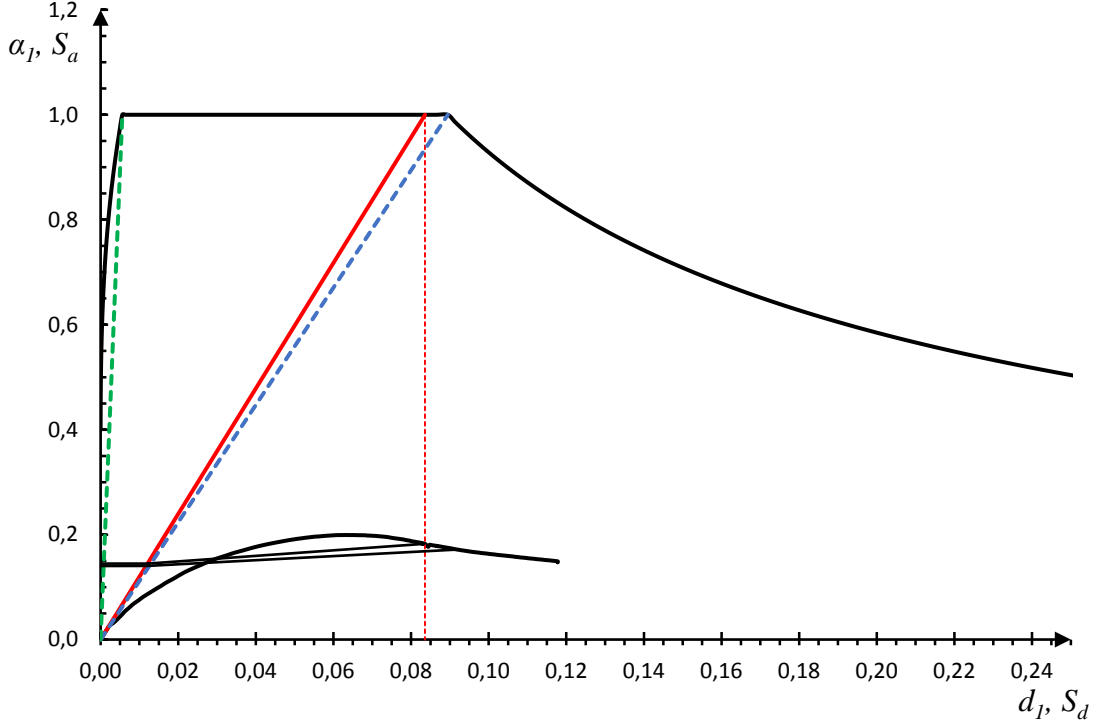
$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \times \Gamma_{x1} \times d_1^{(p)} \quad (4.4)$$

Bu ifade de yer alan terimlerden ilki, birinci titreşim periyodunun en üst kat mod şekil genliğini göstermektedir. İkinci ifade ise modal katılım çarpanını, en son ifade de modal yerdeğiştirme istemini göstermektedir.

Modal yerdeğiştirme isteminin, $d_1^{(p)}$, bulunması için DBYBHY – 2007 Bilgilendirme Eki 7C’de anlatılan ardışık yaklaşımın kullanılması gerekmektedir. Ardışık yaklaşımda, binanın periyodunun elastik davranış spektrumundaki köşe periyodu olan T_B ’den büyük veya küçük olmasına göre iki farklı yol izlenir. Bunlardan ilki $T_I > T_B$ olması durumudur. Bu koşul altında ardışık yaklaşım yapılmaz ve spektral yerdeğiştirme, S_{dil} , eşit yerdeğiştirme kuralı gereğince lineer elastik spektral yerdeğiştirme olan S_{del} ’e eşit alınır.

Eğer $T_I < T_B$ ise, ardışık yaklaşım uygulanır. Ardışık yaklaşımdan elde edilen sonuçlar bir birine yeteri kadar yakın olduğu durumda ardışık yaklaşım işlemine son verilir.

4 katlı bina için de $T_I < T_B$ durumu söz konusu olduğu için ardışık yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.38’de ardışık yaklaşım sonucu bulunan modal yerdeğiştirme istemi gözükmektedir.



Şekil 4.38 4 Katlı Binanın Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

Modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesinde ardışık yaklaşımın ilk adımında spektral yerdeğiştirme oranı $C_{R1} = 1$ olarak kabul edilir. Daha sonra **Denklem 4.7**'de spektral yerdeğiştirme oranı yerine yazılarak ilk adım için elastik spektral yerdeğiştirme, S_{de1} , spektral yerdeğiştirmeye eşit bulunur.

$$S_{di1}^{(1)} = C_{R1}^{(1)} \times S_{de1} \quad (4.5)$$

4 katlı binanın doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri grafikten 0.085 m olarak bulunmuştur. Bu durumda **Denklem 4.7**'ye göre spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , değeri de, 0.085 m olarak alınır. Daha sonra ardışık yaklaşımın ilk adımına ait eşdeğer akma ivmesi, α_{yI}^0 , değeri grafikte 0.135g olarak tespit edilmiştir. Yeni spektral yerdeğiştirme oranının bulunabilmesi için birinci moda ait dayanım azaltma katsayısının, R_{yI} , de aşağıdaki **Denklem 4.8**'e göre bulunması gerekmektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{\alpha_{y1}} \quad (4.6)$$

Burada S_{ae1} değeri itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivmeyi göstermektedir. Dayanım azaltma katsayısının bulunmasından sonra yeni spektral yerdeğiştirme oranı **Denklem 4.9'**a göre hesaplanabilir.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) \times \frac{T_B}{T_1^{(1)}}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (4.7)$$

Dayanım azaltma katsayısının aşağıdaki gibi hesaplandığında sonuç olarak 7.4 değerine ulaşılmaktadır.

$$\frac{1g}{0.135g} = 7.4$$

Bu değer, **Denklem 4.9'**da yerine konulduğunda yeni spektral yerdeğiştirme oranı 1.05 olarak bulunur.

$$C_{R1} = \frac{1 + (7.4 - 1) \times \frac{0.6}{0.583}}{7.4} = 1.05$$

Bulunan bu değer **Denklem 4.7'**de yerine konulduğunda ise, spektral yerdeğiştirme oranı 0.09 m olarak bulunur.

$$S_{d1}^{(1)} = 1.05 \times 0.085 = 0.09$$

Bulunan 0.09 m değeri ile yeni eşdeğer akma noktasının yeri belirlenir. Daha sonra bu noktaya karşılık gelen yeni eşdeğer akma noktasının ivme değeri grafikten bulunur. Bu değer grafikten 0.140 g olarak elde edilmiştir. Yeni bulunan eşdeğer akma ivmesinden sonra yeni dayanım azaltma katsayısı hesaplanır.

$$\frac{1g}{0.140g} = 7.15$$

Yeni dayanım azaltma katsayısının değeri 7.15 olarak hesaplanmıştır. Yeni spektral yerdeğiştirme oranı ise 1.03 olarak bulunmuştur.

$$C_{R1} = \frac{1 + (7.15 - 1) \times \frac{0.6}{0.583}}{7.15} = 1.03$$

Eşdeğer akma noktasının ivme değeri, α_{yI} , dayanım azaltma katsayısı, R_{yI} , ile spektral yerdeğiştirme oranı, C_{R1} , değerlerinin yeterince birbirine yakın oluşu görüldüğünde ardışık yaklaşım işlemi durdurulabilir. Buna göre 4 katlı binanın modal yerdeğiştirme istemi aşağıda gözüktüğü gibi 0.09 m olarak bulunmuştur.

$$d_1^{(p)} = S_{d1} = 0.09 \text{ m}$$

$$d_1^{(p)} = 0.09 \text{ m}$$

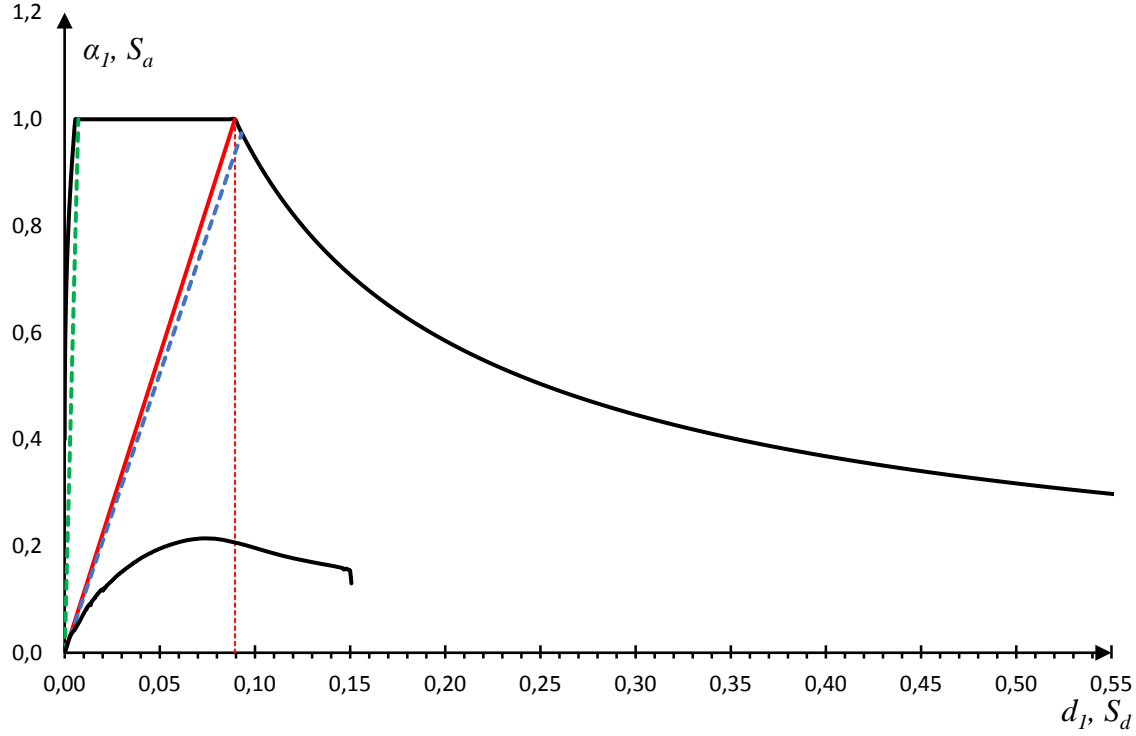
$$\text{Katkı Çarpanı} = 1.291$$

$$\Phi_{\text{çatı},1} = 1.000$$

$$U_{xN1}^{(p)} = 0.116 \text{ m}$$

$$S_{d1} = C_{R1} \times S_{de1} \quad (4.8)$$

Şekil 4.39' da gösterilen 6 katlı binanın modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesinde grafik üzerinde kesik çizgiler ile gözükten doğrular elastik davranış spektrumunun köşe periyotlarını oluşturmaktadırlar. Düz çizgi ile gösterilen doğru ise binanın birinci periyodunu göstermektedir. **Şekil 4.39'** dan da anlaşılacağı gibi T_I periyodu T_B periyodundan daha küçüktür. Bu nedenle modal yerdeğiştirme istemi, lineer elastik spektral yerdeğiştirme ile spektral yerdeğiştirme oranının çarpımından bulunabilir. Bu işlemin nasıl yapıldığı 4 katlı binada detaylı olarak anlatılmıştır. Bu nedenle 6 katlı bina için sadece sonuçlar verilmiştir.



Şekil 4.39 6 Katlı Binanın Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi

Modal yerdeğiştirme istemi bulunduğundan sonra, modal katkı çarpanı ile birinci titreşim periyodunun en üst kat mod şekil genliği de bilindiği için aşağıda gösterilen tepe yerdeğiştirme istemi, $U_{xN1}^{(p)}$, kolayca bulunabilir.

$$\begin{aligned} \mathbf{d}_1^{(p)} &= 0.09 \text{ m} \\ \text{Katkı Çarpanı} &= 1.329 \\ \Phi_{\text{çatı},1} &= 1.000 \end{aligned}$$

$$U_{xN1}^{(p)} = 0.119 \text{ m}$$

4.4.3 Eleman hasar sınırları ve bina performansı

Bina performansını belirlemek için, taşıyıcı sistemdeki sünek elemanların yapılan itme analizi sonrası hedef yerdeğiştirmeye bağlı olarak hasar sınırlarının bulunması gerekmektedir. 4 ve 6 katlı binalarda yapılan itme analizinde, her bir elemanın birim şekil değiştirmelerinden elde edilen hasar sınırlarının, yönetmelikteki belirlenen oranlara göre incelenmesi yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda 4 ve 6 katlı binaların performansı

seviyesi belirlenmiştir. Aşağıdaki **Çizelge 4.18**'de 4 katlı binanın eleman hasar sınırları gözükmektedir. Buna göre 4 katlı bina Can Güvenliği (CG) performans seviyesini sağlamamaktadır.

Çizelge 4.18 4 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları

Kolonlar

| | Minimum Hasar Sınırı | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
|-------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1.Kat | 0 | 8 | 4 | 4 |
| 2.Kat | 14 | 2 | 0 | 0 |
| 3.Kat | 4 | 12 | 0 | 0 |
| 4.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |

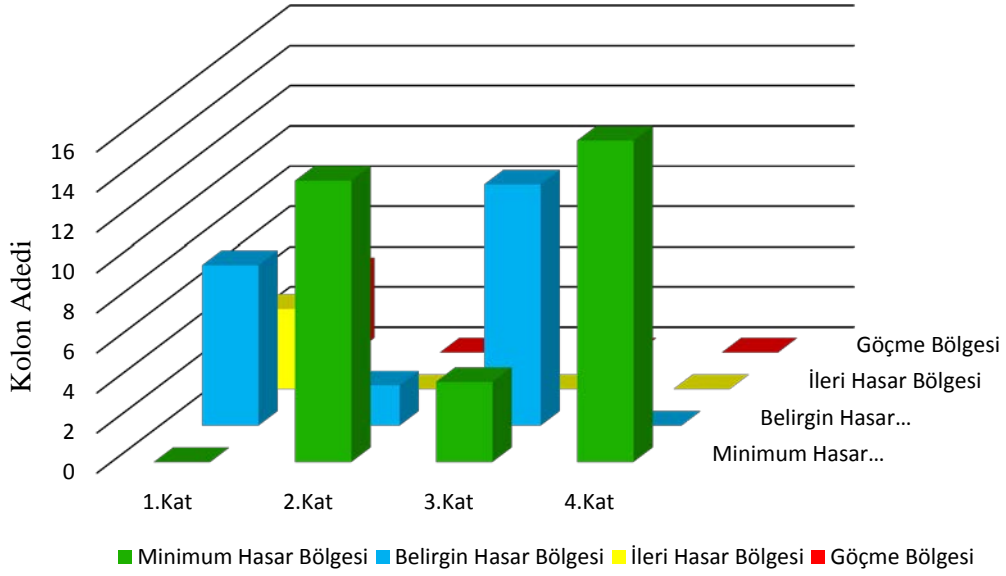
Kirişler

| | Minimum Hasar Sınırı | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
|-------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1.Kat | 0 | 0 | 0 | 12 |
| 2.Kat | 0 | 2 | 0 | 10 |
| 3.Kat | 0 | 12 | 0 | 0 |
| 4.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |

6 katlı binanın taşıyıcı elemanlarının hasar sınırları ise **Çizelge 4.19**'da gözükmektedir. Çizelge incelendiğinde aynı 4 katlı binada olduğu gibi 6 katlı binanın da Can Güvenliği (CG) performans seviyesini karşılamadığı görülmektedir.

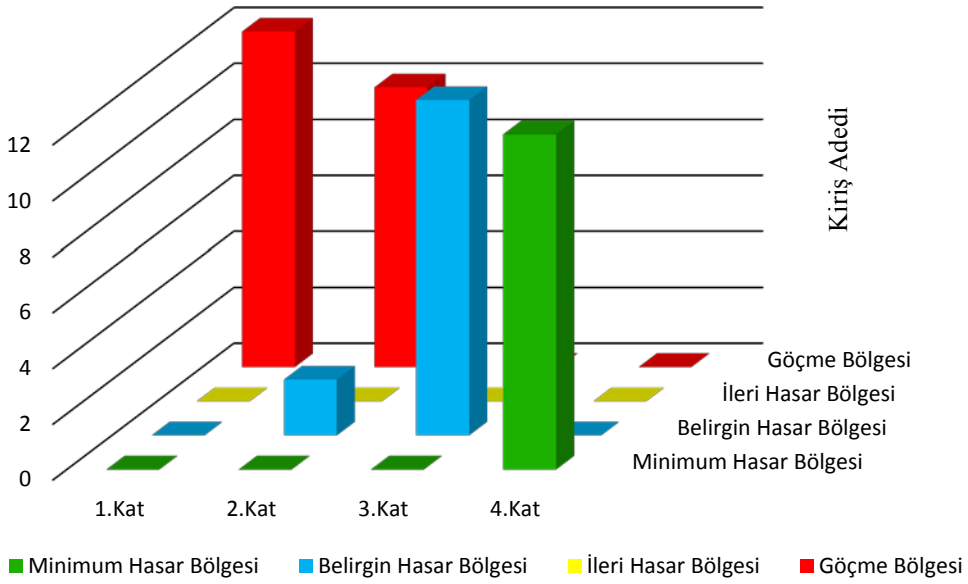
Hem **Çizelge 4.18** hem de **Çizelge 4.19** incelendiğinde binaların ikisinin de güçlendirmeye ihtiyaç duyduğu açık bir şekilde gözükmektedir.

Kolon Performans Seviyeleri



Şekil 4.40 4 Katlı Kolonların Hasar Dağılımları

Kiriş Performans Seviyeleri



Şekil 4.41 4 Katlı Kirişlerin Hasar Dağılımları

Çizelge 4.19 6 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları

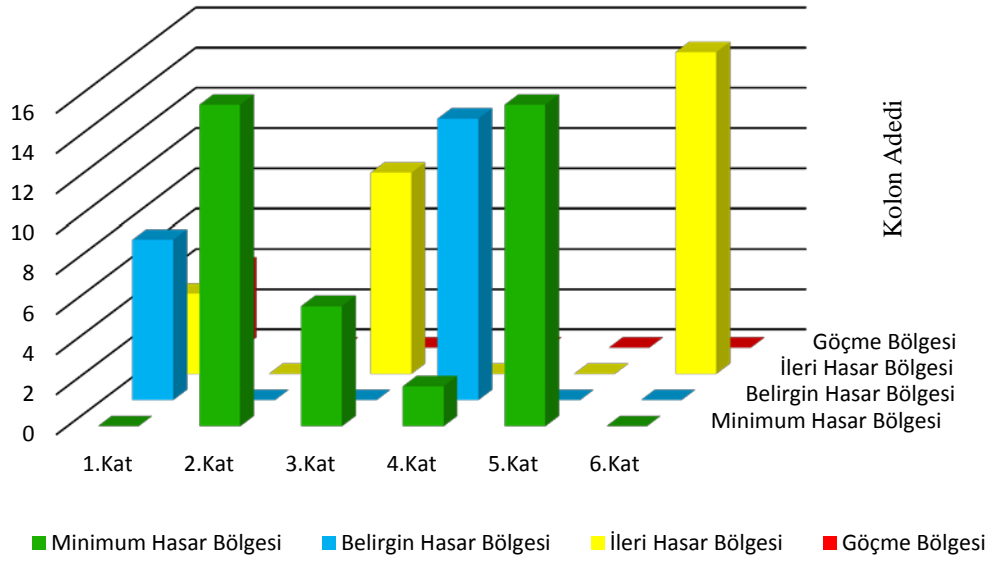
Kolonlar

| | Minimum Hasar Bölgesi | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
|--------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| 1.Kat | 0 | 8 | 4 | 4 |
| 2.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 3.Kat | 6 | 0 | 10 | 0 |
| 4.Kat | 2 | 14 | 0 | 0 |
| 5.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 6.Kat | 0 | 0 | 16 | 0 |

Kirişler

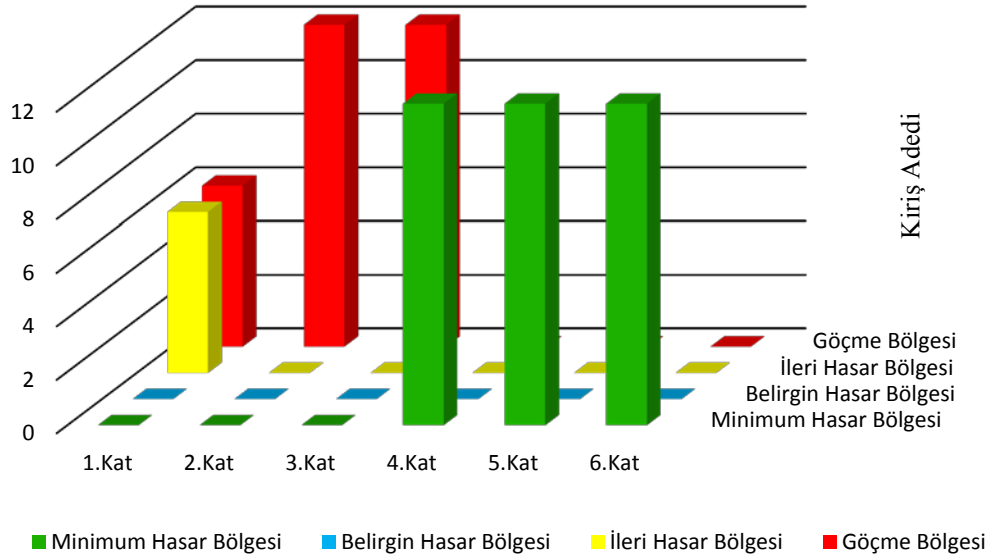
| | Minimum Hasar Bölgesi | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
|--------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| 1.Kat | 0 | 0 | 6 | 6 |
| 2.Kat | 0 | 0 | 0 | 12 |
| 3.Kat | 0 | 0 | 0 | 12 |
| 4.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 5.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 6.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |

Kolon Performans Seviyesi



Şekil 4.42 6 Katlı Binanın Kolonlarının Hasar Dağılımı

Kiriş Performans Seviyesi



Şekil 4.43 6 Katlı Binanın Kirişlerinin Hasar Dağılımı

4.5 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Binaların artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için belirli şartları sağlamaları gerekmektedir. Bunlar; ilgili deprem doğrultusunda binanın etkin kütesinin toplam kütleyle oranının en az %70 olması, binanın kat yüksekliğinin bodrum hariç 8 den fazla olmaması ve burulma düzensizliği katsayısının, η_{bi} , 1.4'den büyük olmaması olarak yönetmelikte belirtilmiştir. Bu hallerin sağlanamaması durumunda iki seçenektten biri olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılabilir.

Deprem kayıtlarının kullanılmasında yönetmelikte iki farklı seçenek sunmuştur. Bunlardan biri yapay yer hareketleri diğeri ise kaydedilmiş yer hareketleridir. Bunların nasıl kullanılacağına ilişkin kurallar 3.5'de belirtilmiştir.

SeismoStruct v7.0.2'de ilk başta önceden belirlenmiş ve analizlerde kullanılacak olan deprem yer hareketleri programa tanıtılır. Deprem kayıtlarına Türkiye'de yer alan AFAD gibi kuruluşlardan, dünyada ise diğerk ulusal veya uluslararası merkezlerden erişilebilir. Deprem yer hareketleri genellikle ivme değerleri olarak bilgisayar yazılımlarında kullanılırlar. Bu yüzden kullanılan deprem yer hareketlerinin ne olarak kaydedildiğinin bilinmesi gerekmektedir. Tezde kullanılan programda deprem yer hareketleri yer çekimine göre normalize edilmiş olarak kullanılmaktadır. Bu durumda her bir dosyanın içerisindeki ivme değeri, yer çekiminin bir katı olarak muhafaza edilmektedir.

Deprem kayıtlarında dikkat edilmesi gereken nokta, her bir ivmenin saniyenin kaçta kaçında yani hangi sürede kaydedildiğidir. Bu değerler dünya üzerinde çok hassas çalışmalar olmadığı sürece 0.005, 0.01 veya 0.02 saniye aralıkları ile kaydedilmektedirler. Tezde kullanılan tüm ivme kayıtlarında bu süre 0.01 saniyedir. Bu süreler zaman adımı

5. DIŞARIDAN SÖNÜMLÜ PERDELER İLE GÜÇLENDİRME

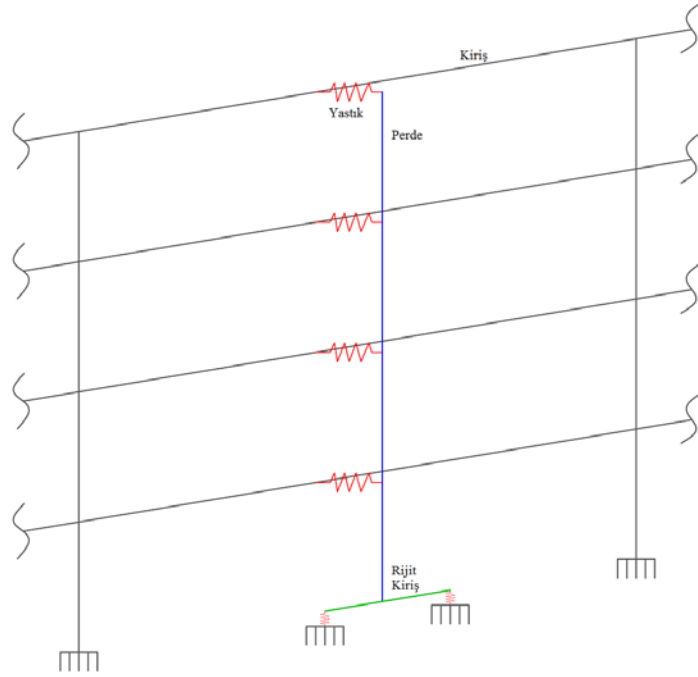
Hem 4 hem de 6 katlı binaların güçlendirilmesinde binaların dört bir cephesine konumlandırılacak perde duvarlar kullanılmıştır. Bu perdeler ile binaların bağlantısı çelikten üretilmiŐ özel yastıklar ile sađlanmıŐtır. Bu yastıkların enerji sönümleyici olarak çalışması ve binalara etki etmesi muhtemel yanal deprem kuvvetlerini karşılaması beklenmektedir. Yastıkların mekanik özellikleri 2014 yılında Smyrou ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmadan alınmıştır. [5] Binalara yastık elemanların montesi perde duvarlar ile yapılmaktadır.

Güçlendirilecek olan binalara kod olarak A1 ismi verilmiŐtır. Kullanılacak yastık eleman **Şekil 5.1**'de de görüldüğü gibi eliptik olup 3, 5 ve 8 mm cidar kalınlıklarına sahiptir.



Şekil 5.1 Kullanılacak Olan Yastık Eleman

Yastığın yüksek aksenal yüklerde eliptik şeklinin bozulmaması için zeminde konumlandırılmış olan yastıklar, neopren malzeme ile desteklenmiştir. Güçlendirme işleminin basit bir gösterimi aşağıdaki **Şekil 5.2**'de görülebilir. **Şekil 5.2**'de gösterilen 4 katlı binanın basit modeli 6 katlı binada da aynıdır.



Şekil 5.2 4 Katlı Binanın A1 Konfigürasyonu

5.1 A1 Tipi Perdelerin Modellenmesi

A1 tipi modellenmede binanın dört cephesinden binanın kirişlerine bağlanan perdeler yastıklarla binaya monte edilir. Bu yastıklar **Şekil 5.1**'de görüldüğü gibi eliptik levhalar biçimindedir. Bu yastıkların bilgisayar programına monte edilebilmesi için yay olarak modellenmesi gerekmektedir. A1 tipi modellemede kullanılacak olan yayın rijitlikleri aşağıdaki **Çizelge 5.1** ile **Çizelge 5.2**'de görülmektedir.

Çizelge 5.1 Yastık Elemanın Bilineer - Simetrik Rijitlikleri

| Bilineer - Simetrik | Fy (kN) | Dy (mm) | r (-) |
|----------------------------|----------------|----------------|--------------|
| 8mm + Neop. | 139.6 | 6 | 0.01 |
| 2 x (8mm + Neop.) | 279.2 | 6 | 0.01 |
| 3mm | 3.5 | 10 | 0.01 |
| 5mm | 10 | 10 | 0.01 |
| 8mm | 32 | 10 | 0.01 |

Çizelge 5.2 Yastık Elemanların Bilineer - Asimetrik Rijitlikleri

| Bilineer - Asimetrik | | Fy (kN) | Dy (mm) | r (-) |
|-----------------------------|--------|----------------|----------------|--------------|
| 3mm | Basınç | 6.7 | 13 | 0.2 |
| | Çekme | 2.7 | 13 | 0.13 |
| 5mm | Basınç | 19.7 | 13 | 0.08 |
| | Çekme | 7.7 | 7 | 0.036 |
| 8mm | Basınç | 55 | 5 | 0.08 |
| | Çekme | 25 | 7 | 0.037 |

A1 tipi modelde kullanılacak olan zemindeki yastıklarda aksenal yüklere karşı direnç gösterebilmesi için neopren malzeme kullanılmıştır. 4 katlı binada kirişler ile perde duvarlar arasında kullanılacak olan yastıklarda ilk iki katta 3 mm cidar kalınlığında son iki katta ise 5 mm cidar kalınlığındaki yastık elemanlar kullanılmıştır. 6 katlı binada ise ilk iki katta yine 3 mm kalınlığındaki yastıklar kullanılmış ancak sonraki üç katta 5 mm ve en son ki katta da 8 mm cidar kalınlığında yastık elemanlar kullanılmıştır.

A1 tipi modellemeye başlamadan önce modelde kullanılacak olan elastik perde ile rijit kirişler için elastik bir malzemenin tanımlanması gerekmektedir. Tanımlanan bu malzemenin elastisite modülü 500 GPa olarak seçilmiş ve perdeler ile rijit kirişlere atanmıştır.

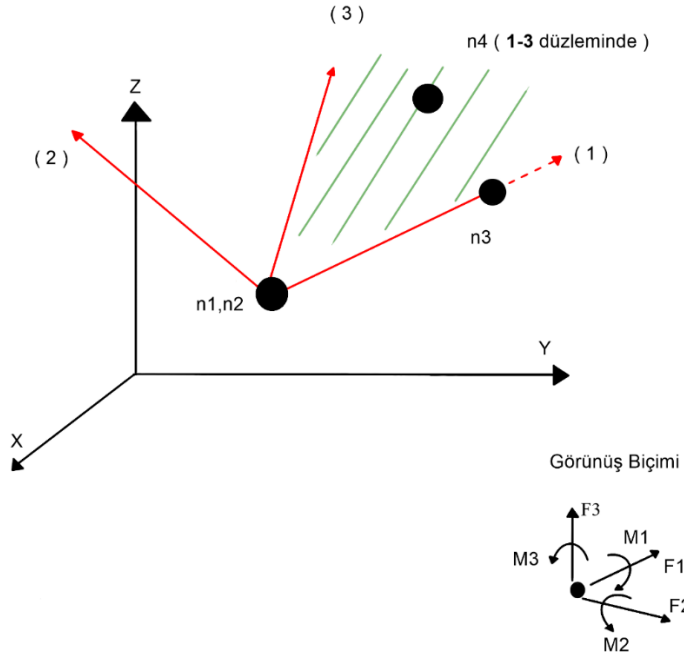
Elastik malzeme tanımladıktan sonra elastik perde ile rijit kirişlerin tanımlanması gerekmektedir. Elastik perdenin boyutları 30X400 cm olarak belirlenmiştir. Rijit kirişlerin boyutları ise 60x30 cm olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında ise **Şekil 5.3'**de gösterildiği gibi yastık elemanların link eleman modeli olarak modellenmesi gerekmektedir.

| Link Element Types | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|---------|---------|--------|------------------|-------|-------|---------|---------|
| link | | | | | | | | | |
| Element Class | Curve Types | | | | Curve Parameters | | | | Damping |
| csh_fd | bl_sym | lin_sym | lin_sym | li... | 69800. | 418.8 | 0.01 | 1... | |
| csh_bm_3 | bl_sym | bl_asm | lin_sym | lin... | 3150. | 31.5 | 0.01 | 463... | |
| csh_bm_5 | bl_sym | bl_asm | lin_sym | lin... | 9000. | 90. | 0.01 | 1363... | |
| csh_bm_8 | bl_sym | bl_asm | lin_sym | lin... | 28800. | 288. | 0.007 | 9... | |

Şekil 5.3 Link Elemanların Modellenmesi

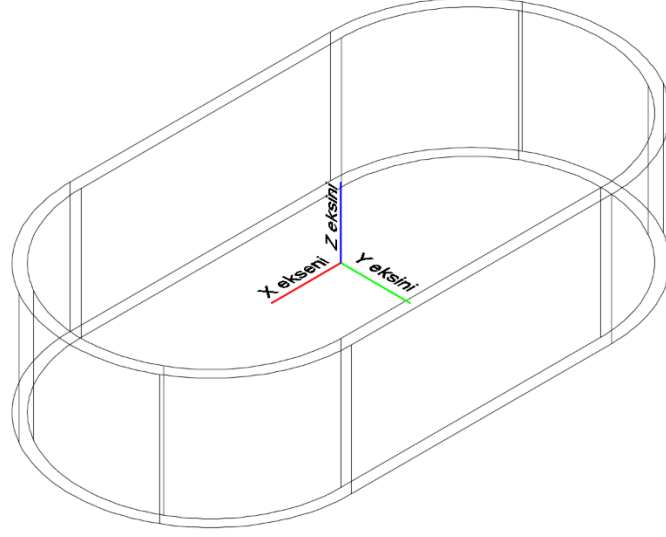
Link elemanlarını tanımlarken A1 tipi modelde zemin de kullanılacak yastıklara **Şekil 5.3**'de de gözüktüğü gibi "csh_fd" adı verilmiştir. Elastik perde duvar ile kirişleri birbirine bağlayan yastıkların isimlendirilmesinde ise en sona cidar kalınlığını ifade eden rakamlar konulmuştur. Buna göre ilk iki kattaki cidar kalınlığı 3 mm olan yastıkların isimlendirilmesi "csh_bm_3" olarak yapılmıştır. Son iki kattaki cidar kalınlığı 5 mm olan yastıkların isimlendirilmesi ise "csh_bm_5" olarak yapılmıştır. İsimlendirmede kullanılan ilk üç karakter İngilizce'de yastık anlamına gelen "cushion" kelimesinin kısaltılmışıdır. Daha sonra gelen "fd" ile "bm" karakterleri ise İngilizce'de temel anlamına gelen "foundation" ile kiriş anlamına gelen "beam" kelimelerinin kısaltılmışıdır.

Link elemanların çalışma prensibi programda **Şekil 5.4**'de gözüktüğü gibidir. Buna göre link elemanların modellenmesinde aynı koordinat noktalarına sahip iki düğüm noktası gerekmektedir. Bu düğüm noktaları "n1" ile "n2" olarak isimlendirilmektedir. Bu düğüm noktalarına göre n1 link elemanının başlangıç ucunu, n2 noktası ise bitiş ucunu temsil etmektedir. Link elemanların uçlarını bu iki nokta ile belirledikten sonra yerel eksenlerinin de tanımlanması gerekmektedir. Yerel eksenin X doğrultusunu belirlemek için "n3" olarak isimlendirilen üçüncü bir düğüm noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. En son olarak da yerel koordinat eksenlerinden Z eksenini tanımlamak için "n4" adında dördüncü bir düğüm noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tanımlanan bu dört düğüm noktasından sonra program Y eksenini kendisi otomatik olarak hesaplamaktadır. Eğer çalışılacak yönler genel koordinat düzlemi ile aynı ise sadece n1 ile n2 düğümleri tanımlanıp n3 ile n4 yerine de, programa genel koordinat düzlemindeki X ve Z koordinatlarının kullanılması tanımlanabilir.

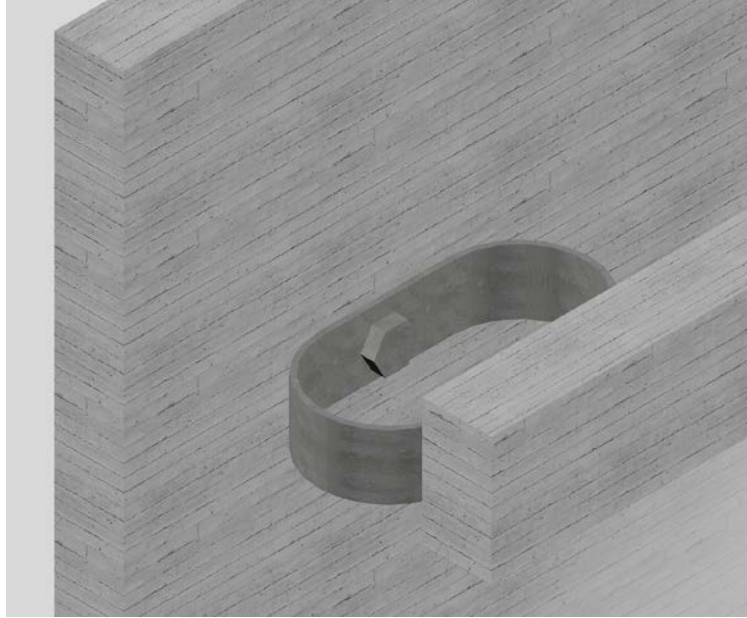


Şekil 5.4 Link Elemanın Bağlantı ve Çalışma Biçimi

Link elemanlarının çalışma koordinatlarını belirlendikten sonra elemanların hangi yönde nasıl çalışacağına da karar verilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki **Şekil 5.6**'de A1 tipi modellemede kiriş ile perde duvarın arasına konulacak yastığın üç boyutlu hali görülmektedir. Buna göre eğer yastık elemanın **Şekil 5.5**'de gösterildiği gibi yerel koordinat düzlemi olduğunu varsayarsak, X doğrultusunda bi-lineer simetrik olarak çalışacaktır. Y doğrultusunda ise bi-lineer asimetrik olarak çalışacaktır.



Şekil 5.5 Yastık Elemanın Yerel Eksenleri



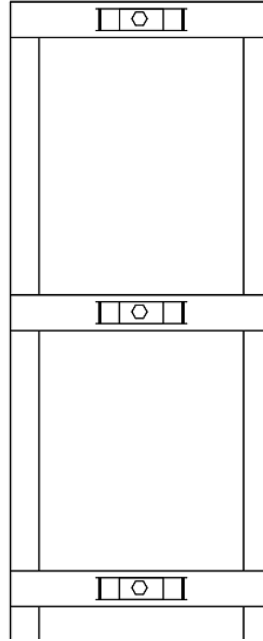
Şekil 5.6 Perde ile Kiriş Arasına Yastık Elemanın Konumlandırılması

Bu bilgilere göre A1 türü modellemede kullanılacak olan yastıkların rijitlikleri **Çizelge 5.3**'de gösterilmiştir. Yastıkların çalışma yönlerine göre çizelgeden ilgili Rijitlik değerleri programa girilmiştir.

Çizelge 5.3 Yastık Rijitlikleri

| Bilineer - Simetrik | Fy (kN) | Dy (mm) | r (-) |
|----------------------------|---------|---------|-------|
| 8mm + Neop. | 139.6 | 6 | 0.01 |
| 2 x (8mm + Neop.) | 279.2 | 6 | 0.01 |
| 3mm | 3.5 | 10 | 0.01 |
| 5mm | 10 | 10 | 0.01 |
| 8mm | 32 | 10 | 0.01 |

| Bilineer - Asimetrik | | Fy (kN) | Dy (mm) |
|-----------------------------|--------|---------|---------|
| 8mm + Neop. | Basınç | 55 | 5 |
| | Çekme | 25 | 7 |
| 2 x (8mm + Neop.) | Basınç | 110 | 5 |
| | Çekme | 50 | 7 |
| 3mm | Basınç | 6.7 | 13 |
| | Çekme | 2.7 | 13 |
| 5mm | Basınç | 19.7 | 13 |
| | Çekme | 7.7 | 7 |
| 8mm | Basınç | 55 | 5 |
| | Çekme | 25 | 7 |

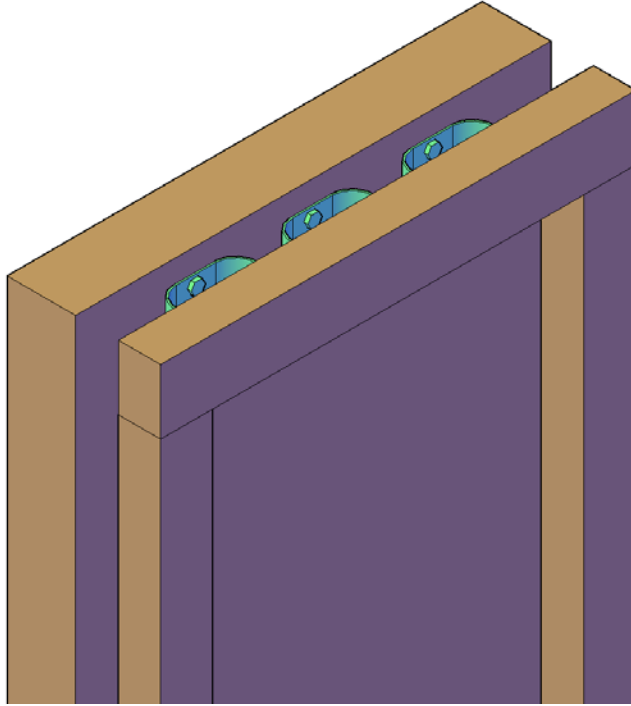


Şekil 5.7 A1 Tipi Modellenmenin Önden Görünüşü

Kullanılacak olan yastıklar 4 ve 6 katlı binalarda 20 cm ile 30 cm genişliklerindedir. 4 katlı binaya cephelerinden eklenen perde duvarların zeminlerine binanın her bir cephesi için 3 adet 30 cm genişliğinde ve cidar kalınlığı 8 mm olan yastıklar kullanılmıştır. İlk iki katta ise 20 cm genişliğinde 3 adet 5 mm cidar kalınlığında yastıklar kullanılmıştır. En son iki katta ise 3 adet 20 cm genişliğinde yastıklar kullanılmıştır.

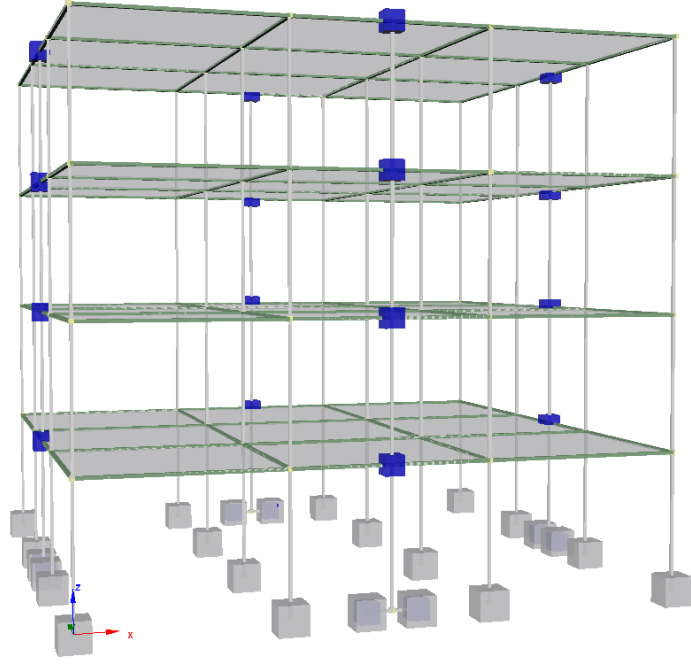
6 katlı binada ise perdelerin altında 3 adet 30 cm genişlikli ve 8 mm cidar kalınlığında yastık elemanlar kullanılmıştır. İlk iki katta 3 adet 30 cm genişlikli ve 3 mm cidar kalınlığına sahip yastık elemanlar kullanılmıştır. Sonraki üç katta yine 3 adet 30 cm genişliğinde ve 5 mm cidar kalınlığında yastık elemanlar kullanılmıştır. En son katta ise 3 adet 30 cm genişliğinde 8 mm cidar kalınlığında yastıklar kullanılmıştır.

A1 türü modellemenin bir kesitinin önden görünüşü **Şekil 5.7**'de, üç boyutlu modeli ise **Şekil 5.8**'de gözükmektedir.

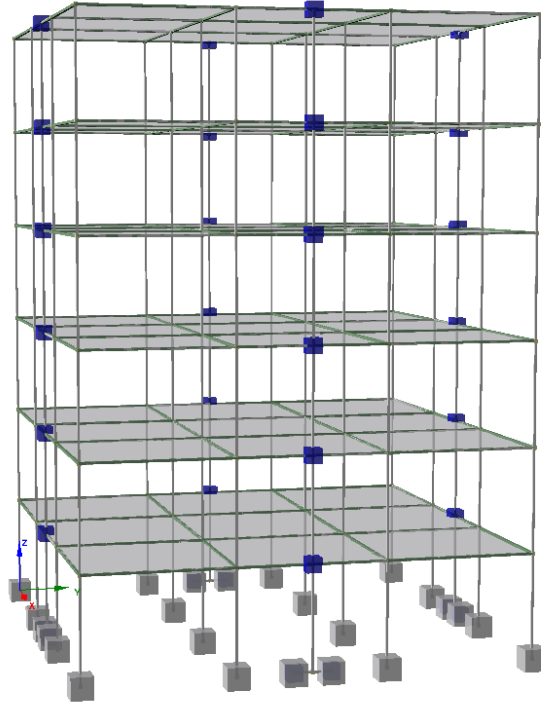


Şekil 5.8 A1 Tipi Modelin 3B Görünüşü

A1 tipi modellemenin programa tanıtılmasından sonra 4 katlı üç boyutlu modelin aşağıdaki **Şekil 5.9**'de, 6 katlı model ise **Şekil 5.10**'da gözükmektedir.



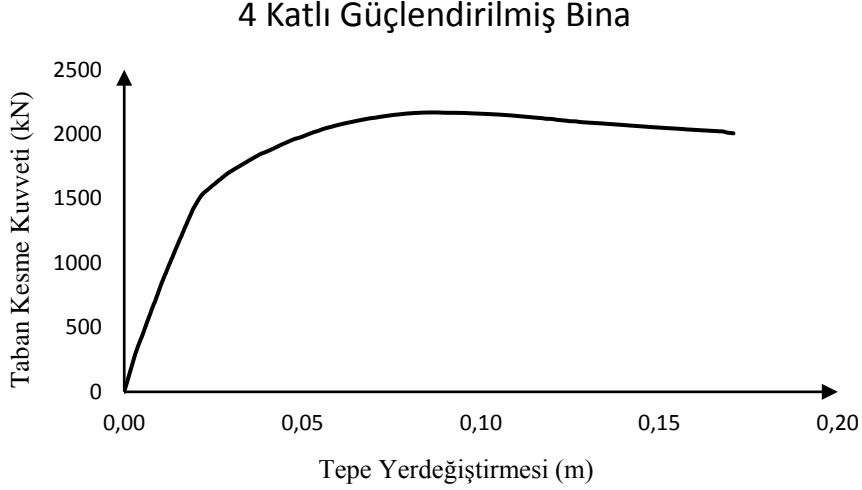
Şekil 5.9 4 Kath A1 Tipi Model



Şekil 5.10 6 Kath A1 Tipi Model

5.2 Güçlendirilmiş Binaların Artımsal Eşdeğer Yüğü İle Analizi

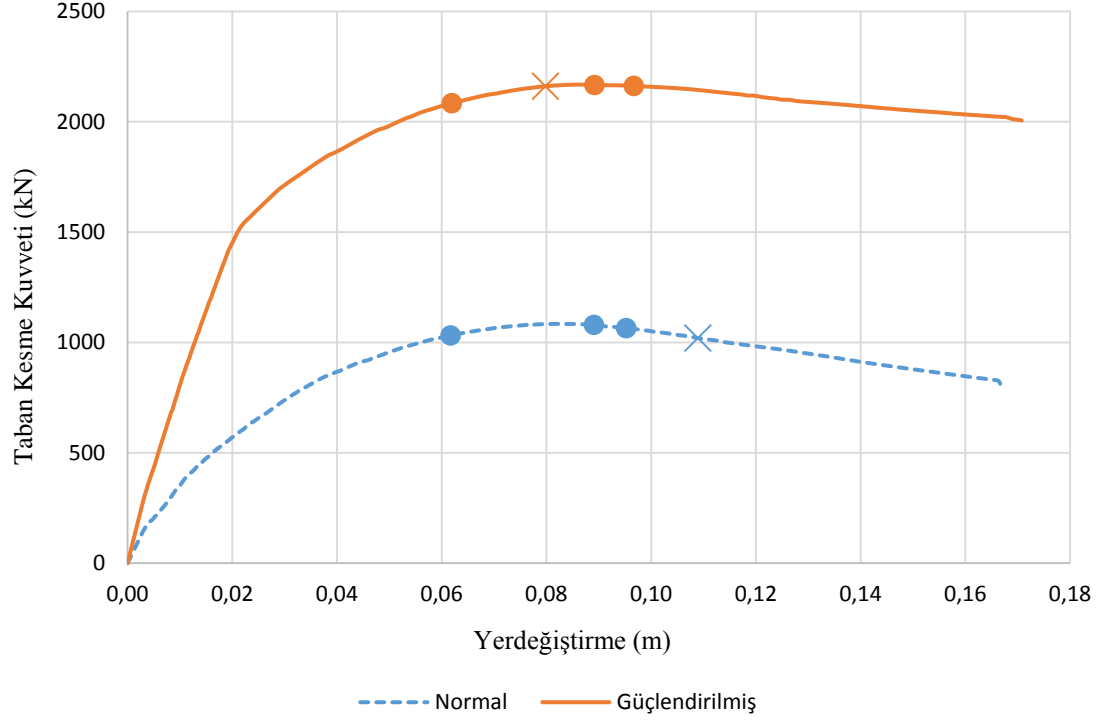
Binaların güçlendirilmesinden sonra da performansını belirlemek için artımsal eşdeğer itme analizi yapılmıştır. Buna göre 4 katlı binanın yeni kütlesi ve birinci titreşim periyoduyla bulunmuş kapasite eğrisi **Şekil 5.11**'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi

4 katlı binanın güçlendirmeden önceki kapasite eğrisi ile güçlendirmeden sonraki kapasite eğrisi ise **Şekil 5.12**'de görülmektedir. **Şekil 5.12**'de kesik çizgi ile görülen eğri güçlendirilmemiş ilk baştaki binaya ait kapasite eğrisini göstermektedir. Eğrilerin üzerinde yer alan yuvarlak noktalar ise sırası ile Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırı'nı göstermektedir. Eğrilerin üzerinde yer alan çarpı işareti ise artımsal eşdeğer itme yöntemine göre bulunan hedef yerdeğiştirme değerlerini göstermektedir.

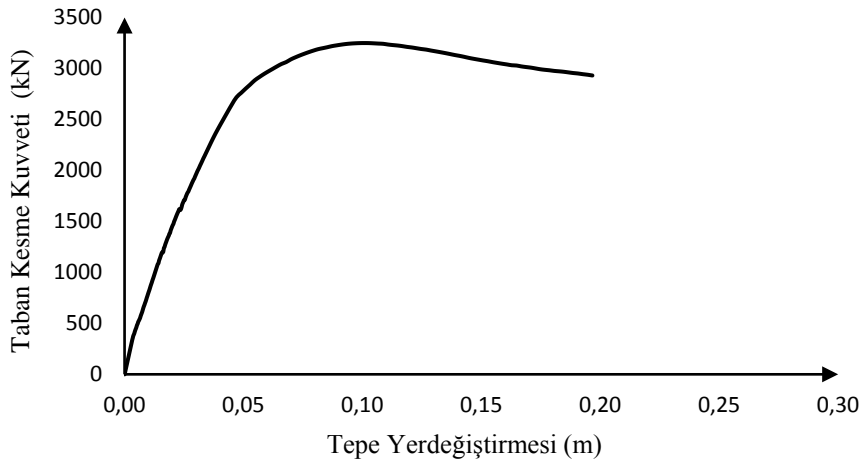
Güçlendirilmiş ve Normal 4 Katlı Bina



Şekil 5.12 Normal ve Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi

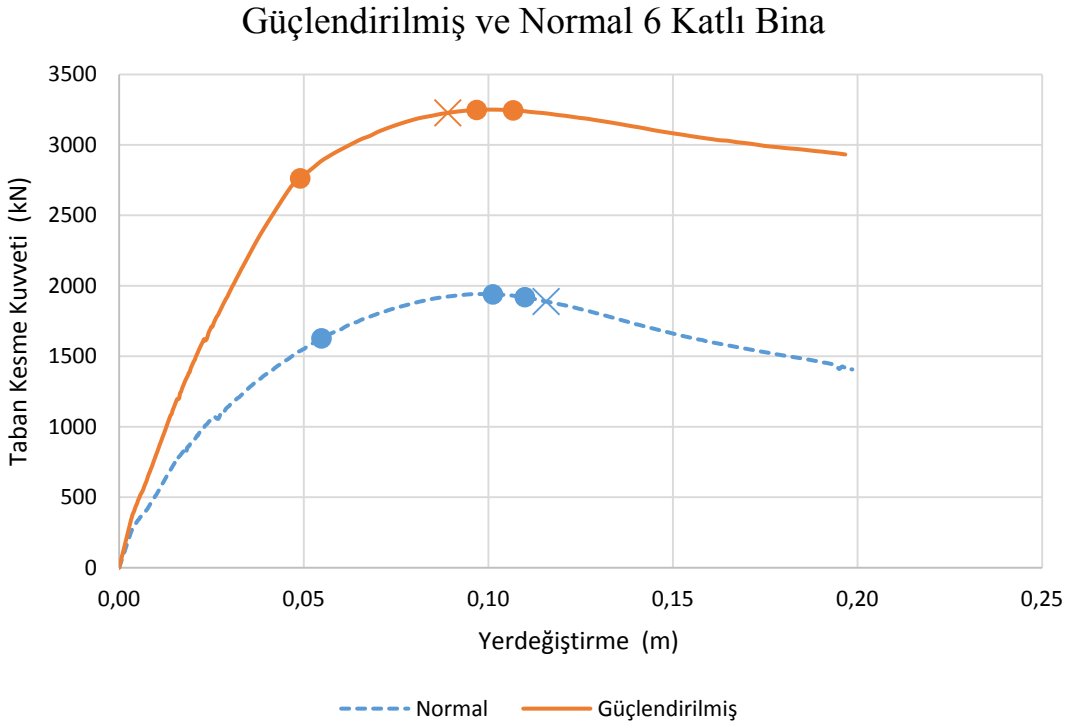
6 katlı binanın güçlendirilmesinden sonra elde edilen kapasite eğrisi ise **Şekil 5.13**'de görülmektedir.

6 Katlı Güçlendirilmiş Bina



Şekil 5.13 Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi

6 katlı binanın güçlendirmeden önce ve sonrasında elde edilen kapasite eğrilerinin karşılaştırılması ise **Şekil 5.14**'de gözükmektedir. Yine aynı şekilde yuvarlak işaretler sırasıyla Minimum Hasar Sınırı, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırı'nı göstermektedir. Çarpı işareti ise artımsal eşdeğer itme yöntemine göre elde edilen hedef yerdeğiştirmeleri göstermektedir.



Şekil 5.14 Normal ve Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kapasite Eğrisi

Güçlendirmeden sonra oluşan hasar dağılımları 4 katlı bina için **Çizelge 5.4**'de, 6 katlı bina için ise **Çizelge 5.5**'de gösterilmiştir. Hasar dağılımlarının grafik olarak gösterimi ise 4 katlı bina için **Şekil 5.15** ile **Şekil 5.16**'da, 6 katlı bina için ise **Şekil 5.17** ile **Şekil 5.18**'de gösterilmiştir. Buna göre güçlendirmeden sonra artımsal eşdeğer itme yöntemine göre hem 4 hem de 6 katlı binalar hedeflenen Can Güvenliği (CG) performans seviyesini sağlamaktadır.

Çizelge 5.4 Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları

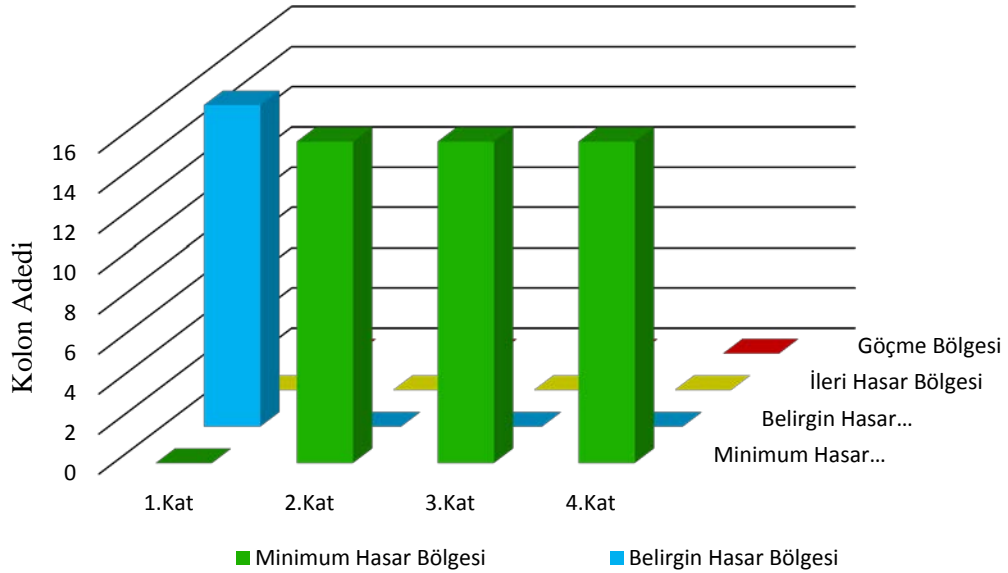
Kolonlar

| | Minimum Hasar Bölgesi | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
|-------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| 1.Kat | 0 | 16 | 0 | 0 |
| 2.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 3.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 4.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |

Kirişler

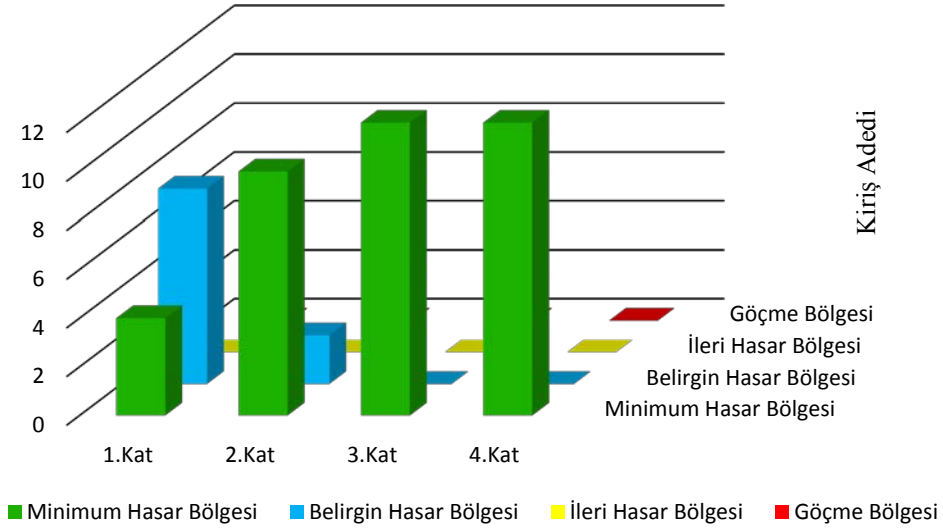
| | Minimum Hasar Bölgesi | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
|-------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| 1.Kat | 4 | 8 | 0 | 0 |
| 2.Kat | 10 | 2 | 0 | 0 |
| 3.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 4.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |

Kolon Performans Seviyeleri



Şekil 5.15 Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kolonlarının Hasar Dağılımı

Kiriş Performans Seviyeleri



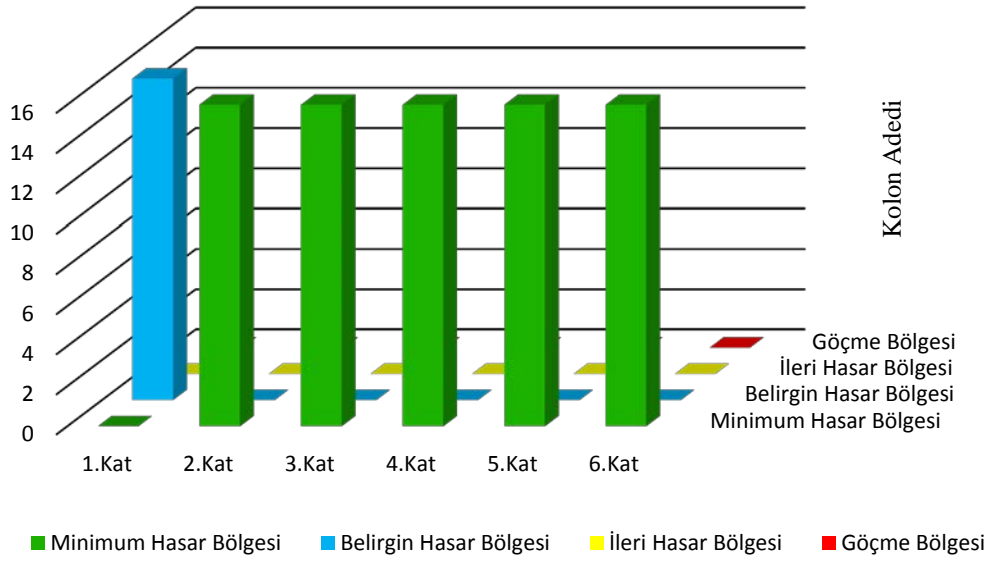
Şekil 5.16 Güçlendirilmiş 4 Katlı Binanın Kirişlerinin Hasar Dağılımı

Çizelge 5.5 Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Eleman Hasar Sınırları

| Kolonlar | | | | |
|----------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| | Minimum Hasar Bölgesi | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
| 1.Kat | 0 | 16 | 0 | 0 |
| 2.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 3.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 4.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 5.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 6.Kat | 16 | 0 | 0 | 0 |

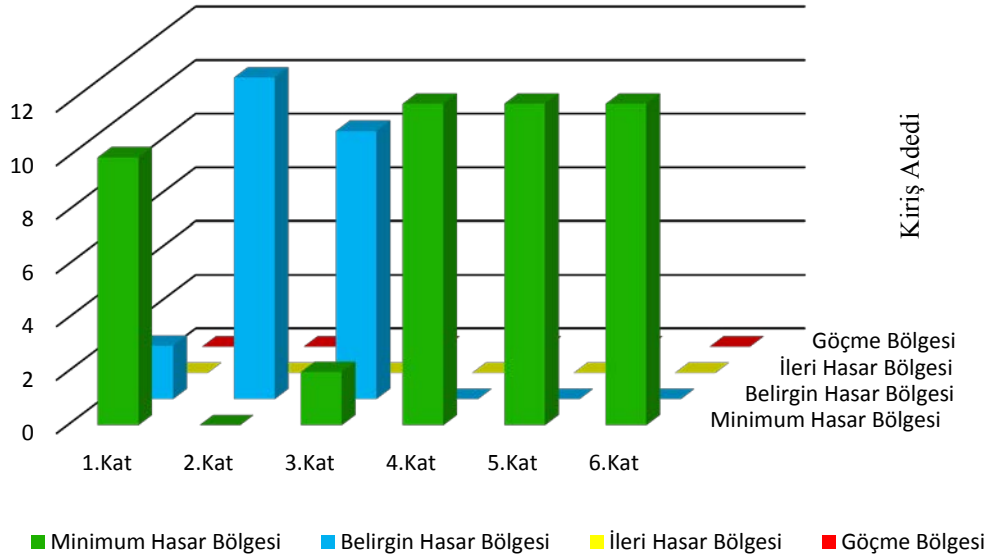
| Kirişler | | | | |
|----------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| | Minimum Hasar Bölgesi | Belirgin Hasar Bölgesi | İleri Hasar Bölgesi | Göçme Bölgesi |
| 1.Kat | 10 | 2 | 0 | 0 |
| 2.Kat | 0 | 12 | 0 | 0 |
| 3.Kat | 2 | 10 | 0 | 0 |
| 4.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 5.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |
| 6.Kat | 12 | 0 | 0 | 0 |

Kolon Performans Seviyesi



Şekil 5.17 Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kolonlarının Hasar Dağılımı

Kiriş Performans Seviyesi



Şekil 5.18 Güçlendirilmiş 6 Katlı Binanın Kirişlerinin Hasar Dağılımı

5.3 Binaların Zaman Tanım Alanında Analizi

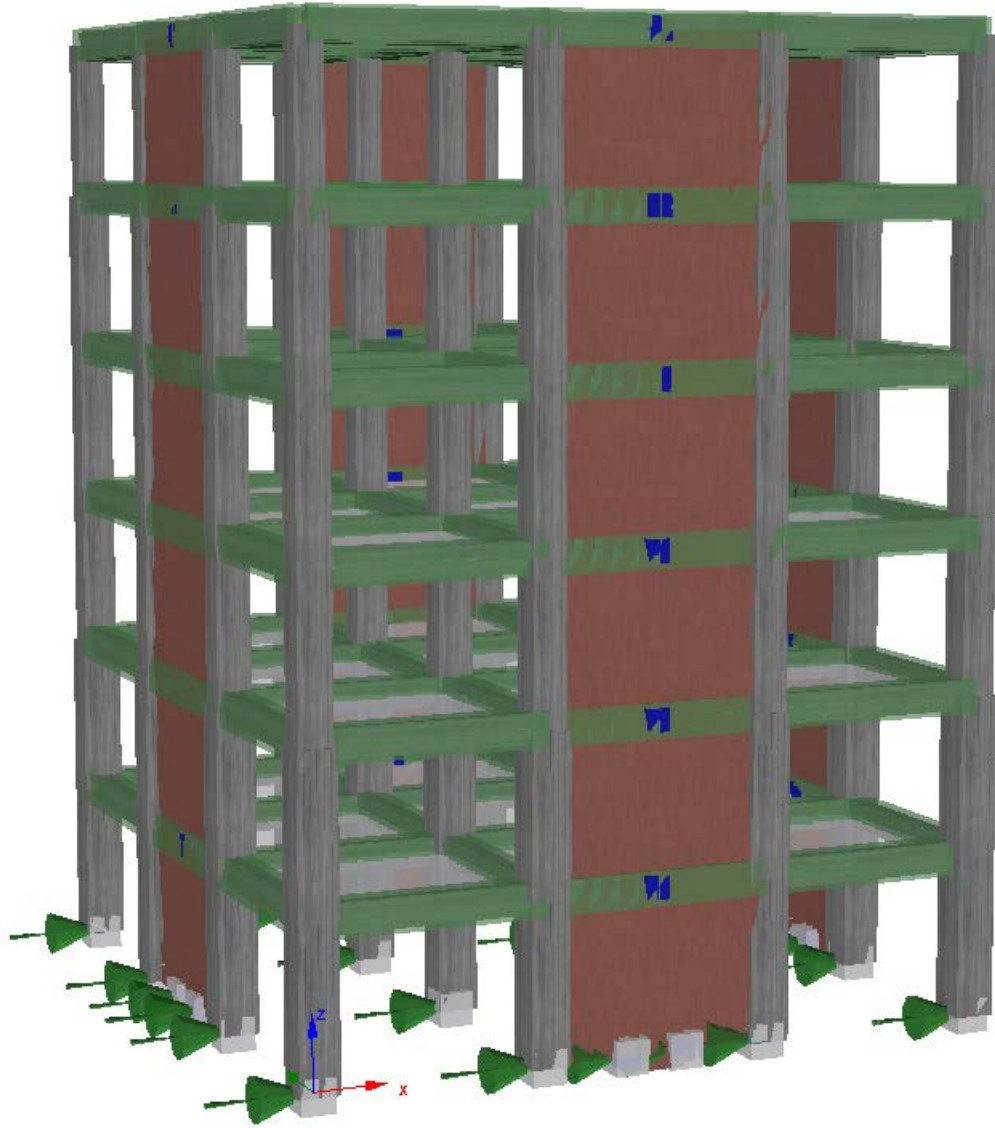
Binaların A1 tipi güçlendirilmesinden sonra hem normal 4 ve 6 katlı binaların hem de güçlendirilmiş 4 ve 6 katlı binaların **bölüm 4.4**'de anlatıldığı gibi zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılara toplam 7 adet deprem etki ettirilmiştir. Bu depremlerin isimlendirilmesi EQ1, EQ2, ... , EQ7 şeklinde yapılmıştır. 4 katlı bina ve 4 katlı güçlendirilmiş bina ile 6 katlı bina ve 6 katlı güçlendirilmiş binaların her birine 7 adet deprem etki ettirilmiştir. Toplamda ise 28 adet zaman tanım alanında analiz yapılmıştır.

Depremlerin süresi 20 saniye olarak ayarlanmıştır. Daha sonra zaman tanım alanı analizinin nerede kesileceği ile zaman adımının tanımlanması gerçekleştirilmiştir. Toplam 7 adet olan deprem kayıtlarının her birinin zaman adımı 0.01 saniye olduğu için ($20/2000 = 0.01$) analizin 2000 adımda yapılması gerekmektedir.

Deprem kayıtlarını deprem yönetmeliğindeki hedef spektrumuna uyması için 0.59 katsayısı ile çarpılması gerekmektedir. Buna ek olarak yer çekimi ivmesi ile normalize edilmiş ivme değerlerinin gerçek değerlerine ulaşmak için ise 9.81 katsayısı ile çarpılması gerekmektedir.

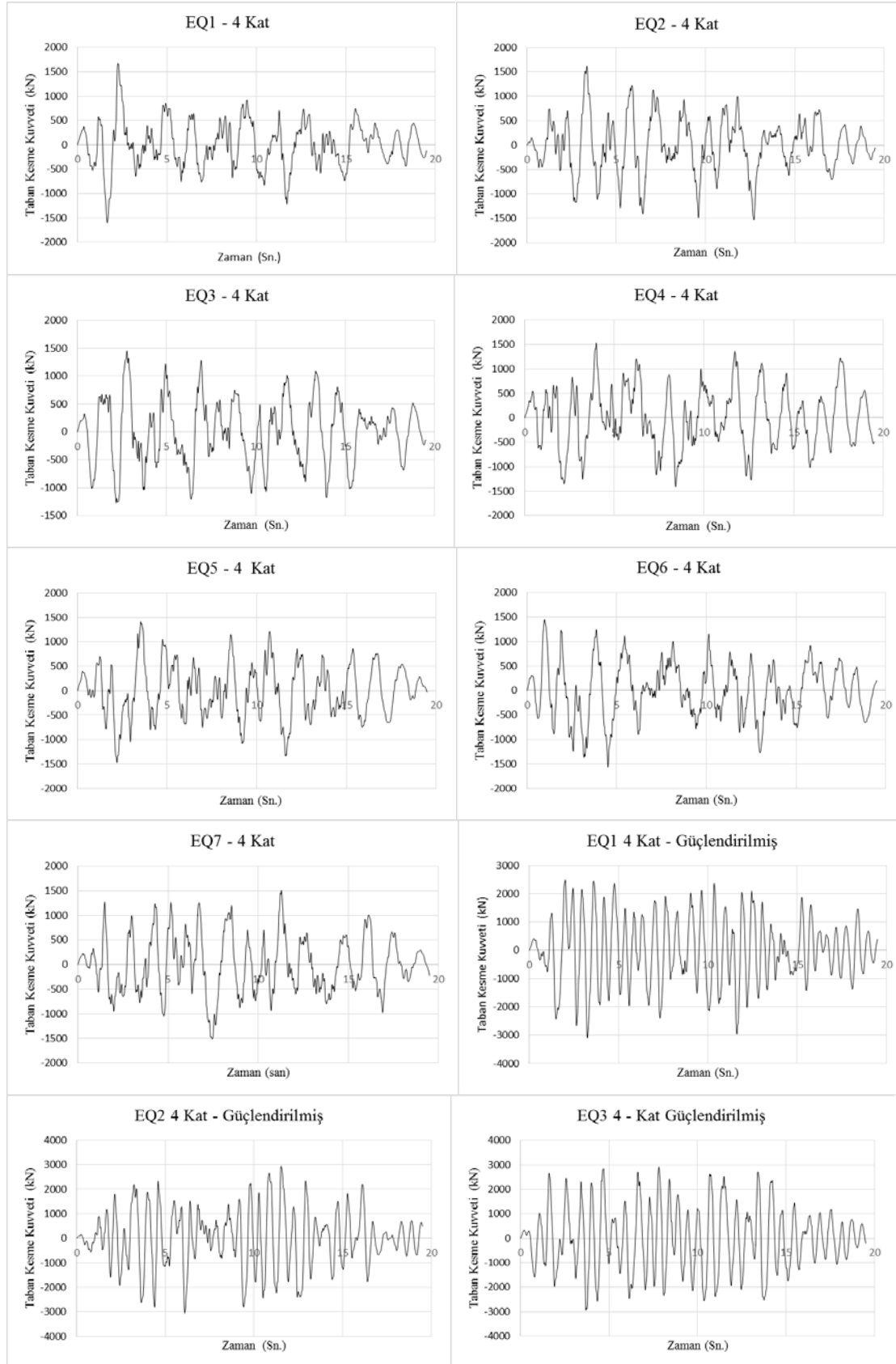
$$0.59 \times 9.81 = 5.79 \quad (5.1)$$

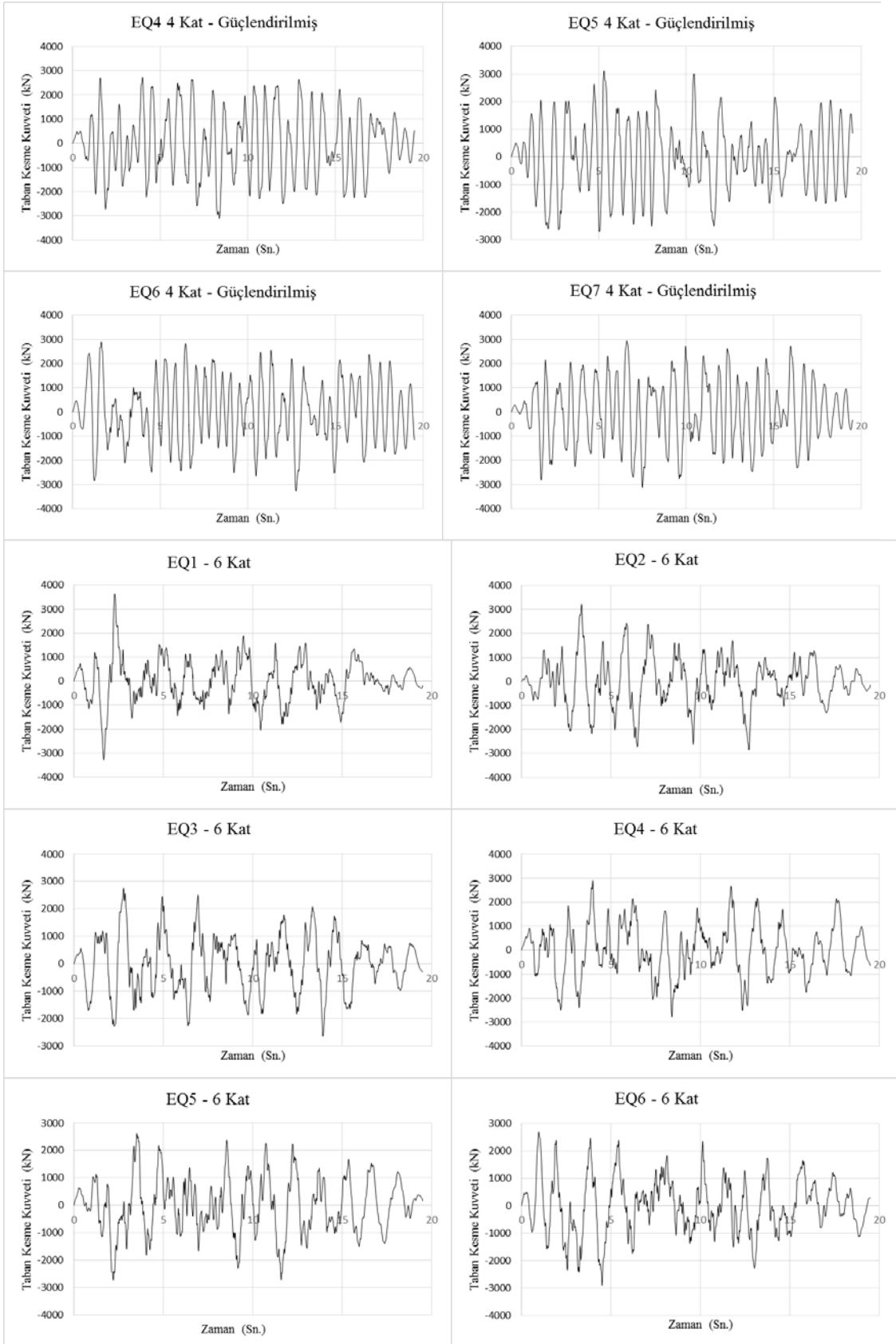
Buna göre her bir ivme değerinin **Denklem 5.1**'de gösterildiği gibi 5.79 değeri ile çarpılması gerekmektedir. Bu sayede **Şekil 5.19**'da da görüldüğü üzere binaların mesnetlerine etki edecek ivme cinsinden kuvvetler tanımlanabilir. Bu yükler tanımlanırken deprem etki yönünün de X doğrultusunda seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim sayesinde elde edilen değerler daha önceden elde edilen değerler ile kolayca karşılaştırılabilir.

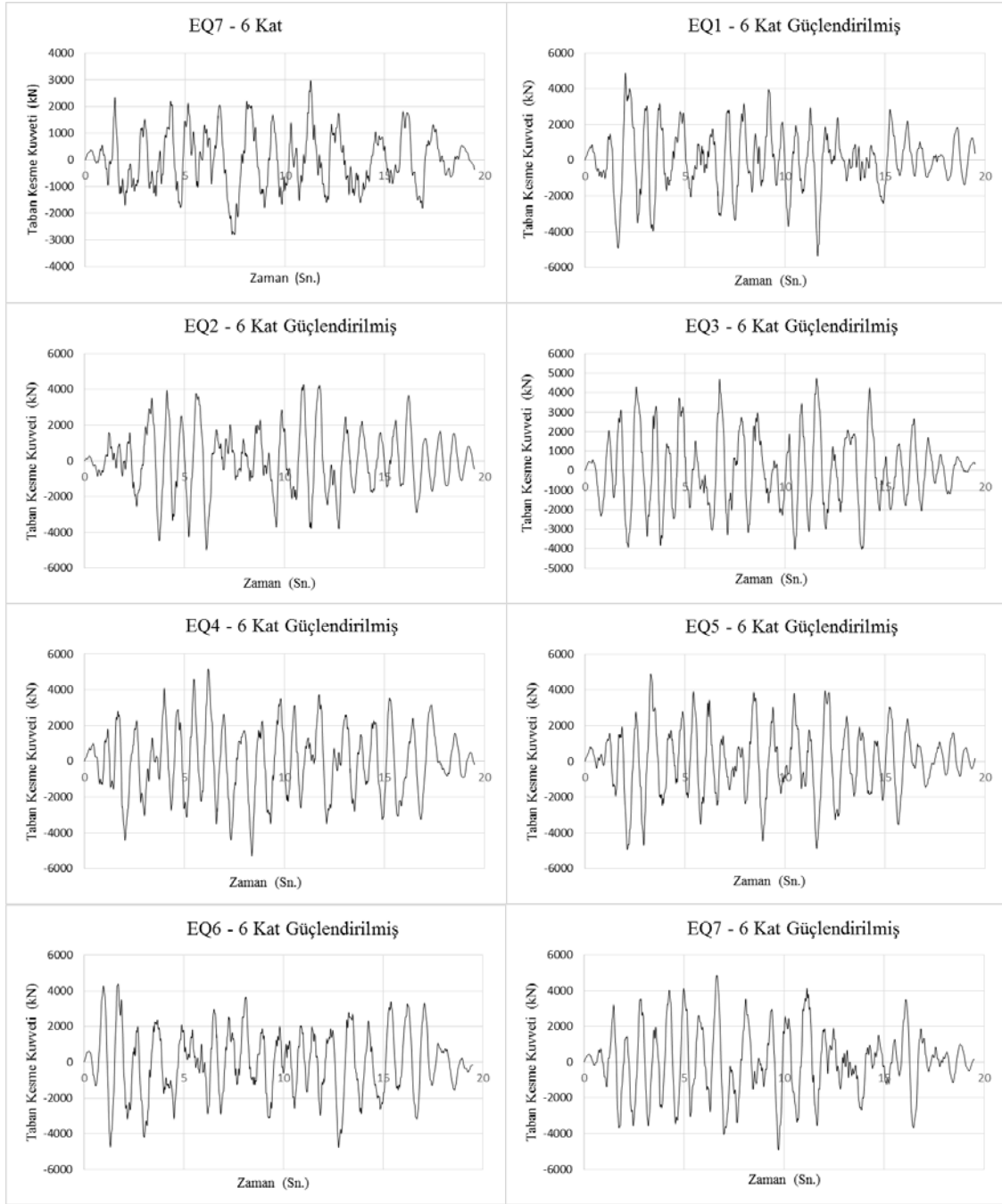


Şekil 5.19 Zaman Tanım Alanındaki Kuvvetler

Zaman tanım alanında yapılan hesaplardan elde edilen toplam 28 adet taban kesme kuvveti – zaman grafikleri aşağıdaki **Şekil 5.20**'de hem 4 katlı hem de 6 katlı binaların güçlendirilmiş ve güçlendirilmemişleri halleri için gözükmektedir.







Şekil 5.20 Binalara Etki Eden Deprem Kayıtları

Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda her bir binanın kendisi ile güçlendirilmiş şekillerine 7 adet deprem uygulanmıştır. Bu depremlerin her bir binada

ortaya çıkardıkları maksimum yerdeğiştirmeler bulunmuştur. Bu yerdeğiştirmeler aşağıdaki **Çizelge 5.6**'da gözükmeğtedir.

Çizelge 5.6 Normal ve Güçlendirilmiş Binaların Maksimum Yerdeğiştirmeler

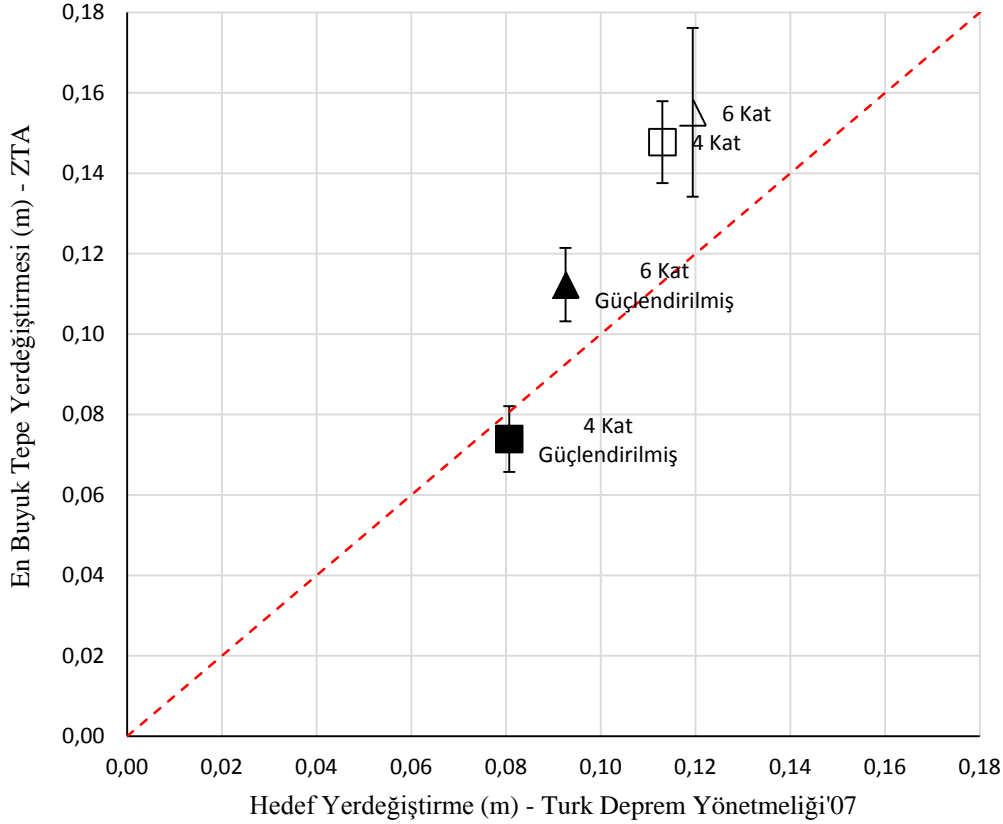
| | | Ortalama | EQ1 | EQ2 | EQ3 | EQ4 | EQ5 | EQ6 | EQ7 |
|--------------|--------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4 KAT | Normal (m) | 0.148 | 0.162 | 0.147 | 0.138 | 0.132 | 0.158 | 0.154 | 0.143 |
| | Güçlendirilmiş (m) | 0.074 | 0.062 | 0.071 | 0.066 | 0.081 | 0.076 | 0.088 | 0.074 |
| 6 KAT | Normal (m) | 0.155 | 0.205 | 0.149 | 0.140 | 0.149 | 0.155 | 0.148 | 0.140 |
| | Güçlendirilmiş (m) | 0.112 | 0.131 | 0.110 | 0.105 | 0.112 | 0.101 | 0.118 | 0.109 |

Binalardan alınan ortalama yerdeğiştirmeler ile itme analizi sonucunda elde edilen yerdeğiştirmeler ise **Çizelge 5.7**'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 4 ve 6 Katlı Binalardan Elde Edilen Maksimum Yerdeğiştirmeler

| 4 Kat | | 6 Kat | |
|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
| İtme - Normal | 0.113 m | İtme - Normal | 0.119 m |
| İtme - Güçlendirilmiş | 0.081 m | İtme - Güçlendirilmiş | 0.093 m |
| ZTA - Normal | 0.148 m | ZTA - Normal | 0.155 m |
| ZTA - Güçlendirilmiş | 0.074 m | ZTA - Güçlendirilmiş | 0.112 m |

Bu değerlerin karşılaştırması ise grafik olarak **Şekil 5.21**'de gözükmeğtedir. Buna göre 4 ve 6 katlı binaların zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda elde edilen en büyük yerdeğiştirme değerleri **Şekil 5.21**'de Y ekseninde gösterilmiştir. Bu değerlere karşılık ise daha önceden yapılan artımsal eşdeğer itme analizlerinden elde edilen değerler X ekseninde sıralanmıştır. Grafikte kırmızı kesik çizgi ile gösterilen doğru ise 45° çizgisini göstermeğtedir.

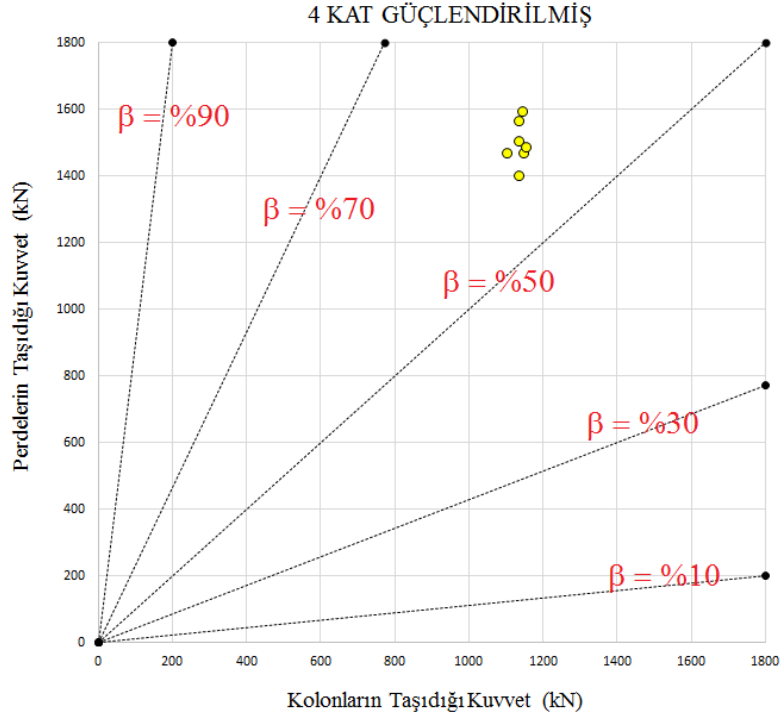


Şekil 5.21 İtme ile Zaman Tanım Analizinden Alınan Maks. Yerdeğiştirmeler

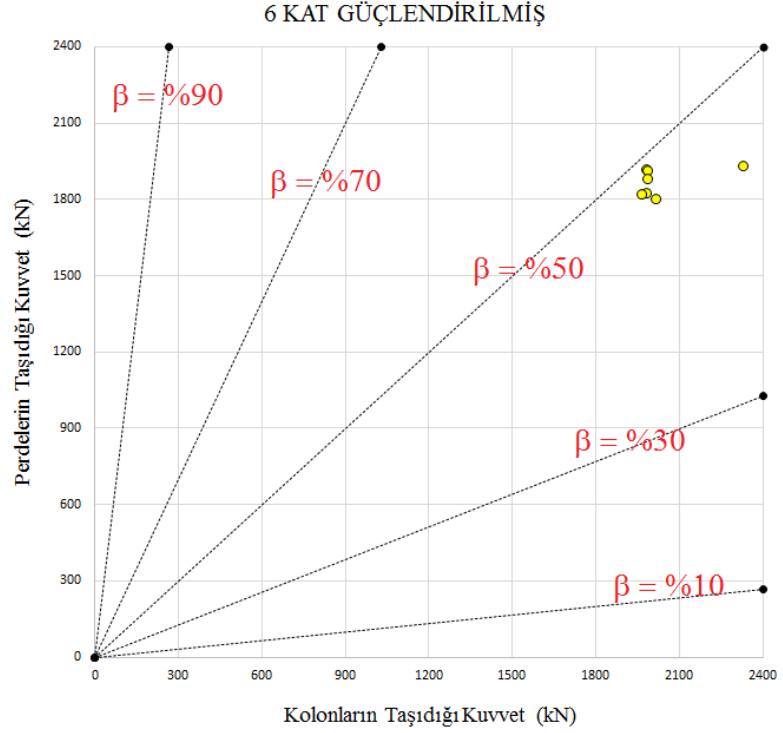
Güçlendirilmiş 4 ve 6 katlı binalara dışarıdan eklenen perdelerin her bir deprem için taşıdığı en büyük taban kesme kuvveti ile kolonların her bir deprem için taşıdığı en büyük taban kesme kuvveti **Çizelge 5.8**'de gözükmektedir. Bu kuvvet değerlerin görsel olarak karşılaştırılması ise **Şekil 5.22** ile **Şekil 5.23**'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.8 Kolonların ile Perdelerin Taşıdığı En Büyük Taban Kesme Kuvvetleri

| | 4 Kat Güçlendirilmiş | | 6 Kat Güçlendirilmiş | |
|-----|----------------------|------------|----------------------|------------|
| | Kolon (kN) | Perde (kN) | Kolon (kN) | Perde (kN) |
| EQ1 | 1139.55 | 1396.75 | 2335.75 | 1925.81 |
| EQ2 | 1139.30 | 1501.82 | 1984.99 | 1912.22 |
| EQ3 | 1104.80 | 1464.10 | 1986.04 | 1821.35 |
| EQ4 | 1149.93 | 1465.49 | 1968.26 | 1817.57 |
| EQ5 | 1137.43 | 1562.10 | 2018.94 | 1797.41 |
| EQ6 | 1147.91 | 1589.27 | 1991.08 | 1909.92 |
| EQ7 | 1156.44 | 1483.59 | 1989.38 | 1875.23 |



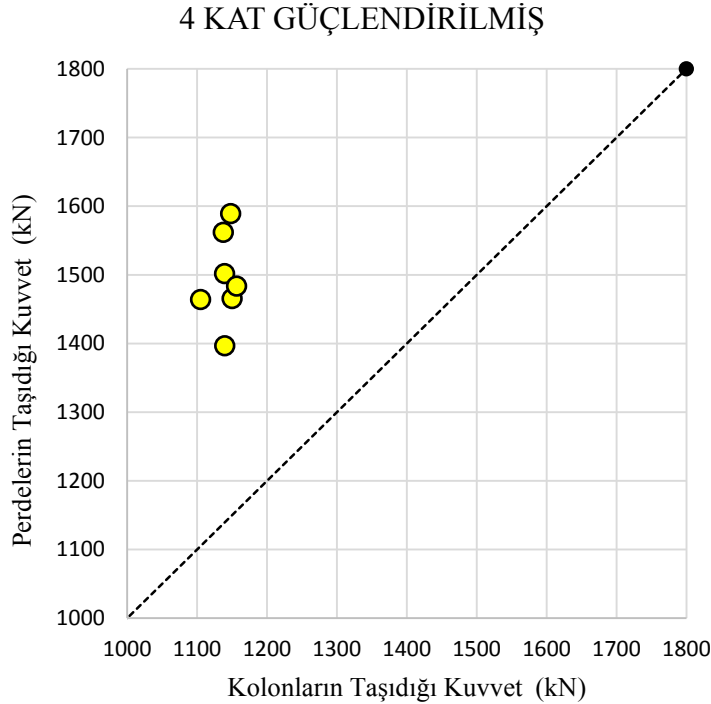
Şekil 5.22 4 Kath Güçlendirilmiş Bina



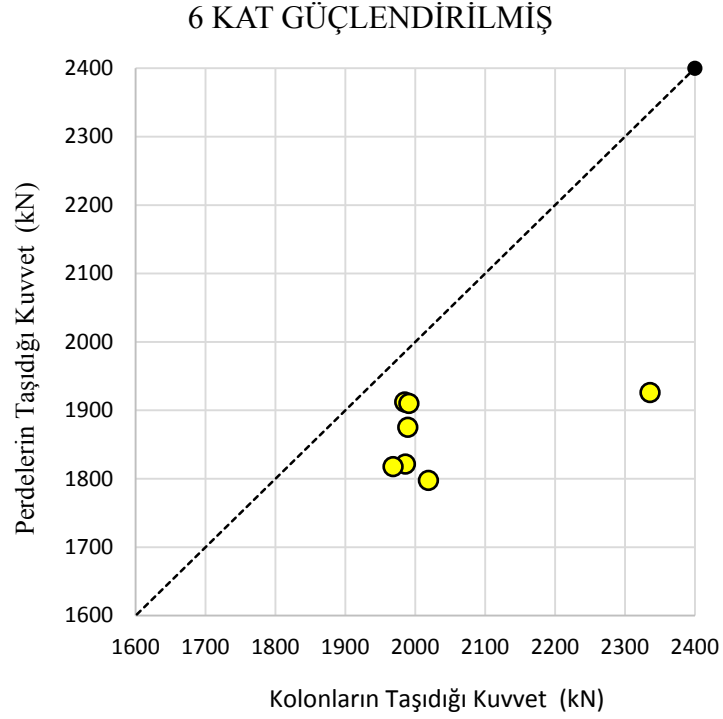
Şekil 5.23 6 Kath Güçlendirilmiş Bina

Şekil 5.22 ile **Şekil 5.23**'de gösterilen grafiklerde Y eksenini her bir deprem için güçlendirilmiş binanın tabandaki perdelerinin taşıdığı en büyük kesme kuvvetini, X eksenini ise her bir deprem için güçlendirilmiş binadaki taban kolonlarının taşıdığı en büyük kesme kuvvetini göstermektedir. Şekiller üzerinde yer alan ve toplam 7 adet olan yuvarlak sarı işaretler ise deprem kayıtlarını simgelemektedir. Kesik çizgiler ile gösterilen ve saat yönünün tersinde artan çizgiler ise perdelerin taşıdığı kesme kuvvetinin tüm sistem tarafından taşınan kesme kuvvetine oranını göstermektedir. Bu kesik çizgiler sırasıyla %10, %30, %50, %70 ve %90'lık dilimlere karşılık gelmektedir.

Yukarıdaki **Şekil 5.22** ile **Şekil 5.23**'de gösterilen grafiklerin X ve Y eksenlerinin başlangıç değerlerini sıfır yerine 1000 kN ile 1600 kN değerlerinden başlatılırsa her bir deprem kaydının oluşturduğu en büyük taban kesme kuvveti daha rahat gözlemlenebilir. Bu nedenle **Şekil 5.24**'de 4 katlı güçlendirilmiş binanın eksen takımı değiştirilmiş yeni grafiği, **Şekil 5.25**'de ise 6 katlı güçlendirilmiş binanın eksen takımı değiştirilmiş yeni grafiği gözükmektedir.

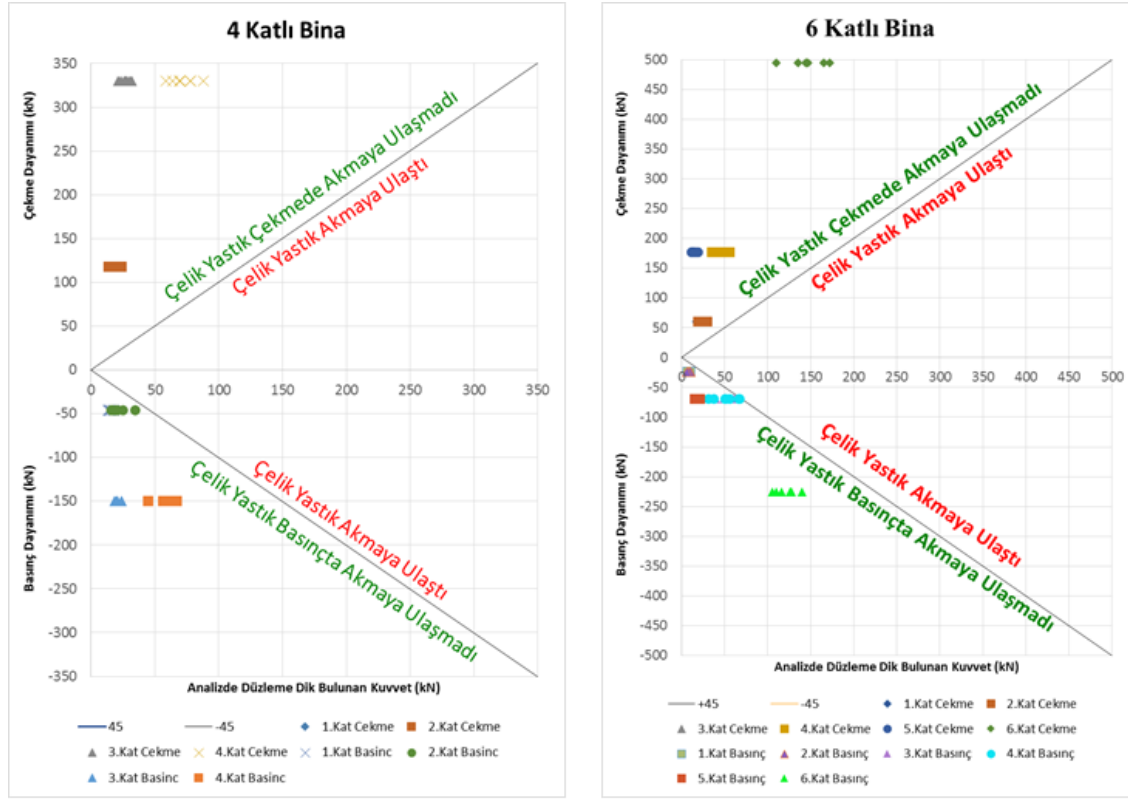


Şekil 5.24 4 Katlı Güçlendirilmiş Bina



Şekil 5.25 6 Katlı Güçlendirilmiş Bina

Analiz doğrultusunda çalışan yastık elemanların bu doğrultuya dik olacak şekilde düzlem dışı davranışları da incelenmiştir. Yine zaman tanım alanında 7 adet benzeştirilmiş deprem kaydı için incelenen bu davranışlar sonucunda hiçbir yastık elemanın akma sınırına ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Aşağıdaki **Şekil 5.26**'da da görüldüğü üzere hem 4 hem de 6 katlı binaların ikisinde de kullanılan yastık elemanlar elastik bölgede kalmışlardır.



Şekil 5.26 4 ve 6 Katlı Binaların Düzlem Dışı Hareketleri

Çelik yastık elemanların kirişlere bağlandığı düğüm noktalarında ortaya çıkan kesit tesirleri nedeniyle bu kirişlerin üzerine büyük yükler etki etmektedir. Bu nedenle de binanın performans noktasından önceki aşamalarda bu kirişlerde göçme davranışları gözlemlenmektedir. Bu davranışların önüne geçebilmek için bu tezde ilgili kirişlere FRP kaplama yapılmış ve tekrardan analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda kirişlerin eksenel yük taşıma kapasiteleri ile kesme dayanımları artmıştır. Böylece analizin ilk zamanlarında ortaya çıkan göçme durumunun da önüne geçilmiştir. Şekil 5.27’de kullanılan FRP kaplamanın kabul edilen özellikleri gösterilmektedir.

FRP Jacket

FRP Jacket

Jacket Thickness (m) 0.0021

FRP Elastic Modulus (kPa) 86900000

Continuous Sheets

Jacket Strain 0.0085

Strips

Spacing (m) 0.4

Radius of Rounded Corners (m) 0.03

Reset Actual Properties

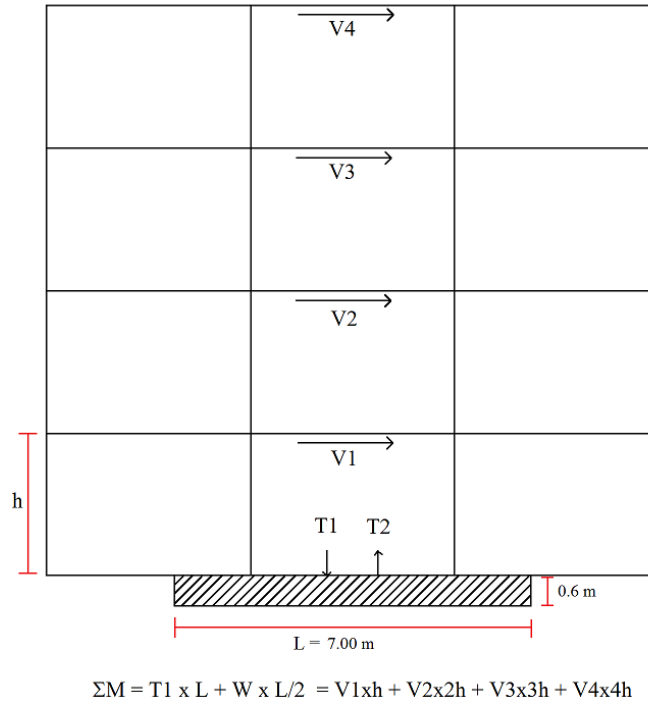
Help

OK

Cancel

Şekil 5.27 Modelde Kullanılan FRP Elemanın Özellikleri

Perdelerin altına yerleştirilen yastıkların analizlerde üzerlerine gelen çekme yüklerin ortalaması 4 katlı bina için yaklaşık olarak 7000 kN seviyelerinde olmaktadır. Modelde iki yastık arası 1.00 m olarak tasarlandığı için bu aralık 4.00 m seviyelerine getirilmesi halinde yastıkların üzerine gelecek kuvvet $\frac{1}{4}$ oranında azalacak ve 1800 kN seviyelerine düşecektir. Ancak bu halde bile yastıkların 1800 kN'luk bir yükü taşıyamayacağı için perdelerin altına temel yapılmasına karar verilmiştir. Yastıkların üzerlerine gelen yüklerin taşınabilmesi için **Şekil 5.28**'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 7.00x0.6 m boyutlarındaki bir temelin yapılması bu tezde önerilmiştir.



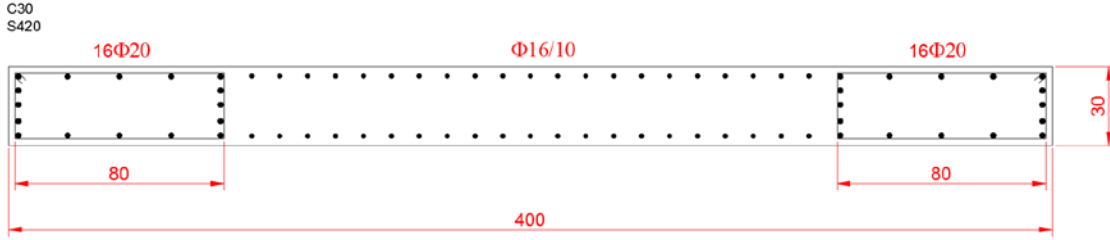
Şekil 5.28 4 Katlı Bina İçin Önerilen Temel Boyutları

5.4 Perde Duvarların Boyutlandırılması

Yapılan zaman tanım alanında analizler sonucunda perde duvarlara gelen kesme kuvvetleri tayin edilmiş ve bunların hem 4 kat hem de 6 katlı binalar için en büyük değerleri belirlenmiştir. Bu değerler aşağıdaki **Çizelge 5.9** 'de görülmektedir. Buna göre perde duvarların boyutlandırılması aşağıdaki **Şekil 5.29**'a göre yapılmıştır.

Çizelge 5.9 Zaman Tanım Alanında Bulunan En Büyük Taban Kesme Kuvvetleri

| | 4 Kat V_t (kN) | | 6 Kat V_t (kN) | | |
|-----|------------------|---------|------------------|---------|----------|
| | Maks | Min | Maks | Min | |
| EQ1 | 6619.9 | -6292.9 | EQ1 | 13133.9 | -12644.9 |
| EQ2 | 7041.0 | -6714.0 | EQ2 | 13182.6 | -12693.8 |
| EQ3 | 6970.9 | -6643.9 | EQ3 | 12972.0 | -12483.1 |
| EQ4 | 7025.5 | -6698.5 | EQ4 | 12358.0 | -11869.4 |
| EQ5 | 7351.6 | -7024.6 | EQ5 | 12403.5 | -11915.0 |
| EQ6 | 7424.1 | -7097.1 | EQ6 | 13496.3 | -13007.5 |
| EQ7 | 7071.8 | -6744.8 | EQ7 | 13262.4 | -12773.5 |



Şekil 5.29 Perde Duvarların Boyutlandırılması

6. SONUÇLAR

Yapılan güçlendirme sonucunda, daha önce her iki yapı da göçmeye ulaşmakta iken, hem 4 hem de 6 katlı binaların performans noktaları DBYBHY – 2007’de tasarım depremi olarak isimlendirilen ve 50 yılda olma olasılığı %10 olan deprem için Can Güvenliği (CG) performans hedefini sağlamıştır. Dışarıdan eklenen enerji sönümleyici perdeler ile yapılan güçlendirme çalışmasında perdeler binanın yatay yük taşıma kapasitesini yaklaşık olarak 2 kat arttırmıştır. Bunun sonucunda da güçlendirmeden önce performans noktası göçme bölgesindeyken, güçlendirmeden sonra performans noktası belirgin hasar bölgesine gerilemiştir. Hem 4 hem de 6 katlı binaların güçlendirmelerinden sonra elde edilen performans noktasında okunan kesit hasar sınırlarında da beklenildiği gibi gerileme gözlenmiştir.

Dış sönümleyici perdeler ile binayı birbirine bağlayan çelik yastık elemanların itme analizinde beklenildiği gibi akma noktalarına ulaşmışlardır. Ancak yastık elemanlarının bağlantı elemanı olarak seçilmesindeki asıl nedenin histerik bir davranış göstererek enerji sönümlemek olduğu hatırlanırsa, bu davranışın zaman tanım alanında analiz gibi deprem etkilerini daha iyi gösteren analizlerle incelenebileceği anlaşılacaktır. Bu nedenle de 4 ve 6 katlı binaların hem güçlendirilmemiş hem de güçlendirilmiş hallerine 7 adet deprem yer hareketi uygulanmıştır. Bu sayede yastık elemanların çevrimsel hareket yapıp yapmadıkları gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yastık elemanların çevrimsel döngülerde oldukça yüksek oranda plastik enerji tükettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Zaman Tanım Alanında yapılan analizler sonucunda her bir binaya uygulanmış olan 7 adet deprem kaydının oluşturmuş olduğu en büyük yerdeğiştirme değerleri alınmıştır. Bu değerler her bir binanın kendi içerisinde 7 adet depreme göre ortalamaları alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre güçlendirilmeden önce bulunan en büyük

yerdeğiştirmelerin ortalaması ile güçlendirmeden sonra bulunan en büyük yerdeğiştirmelerin ortalaması her iki binada da azalma göstermektedir.

Kolon ve perdelerin taban kesme kuvvetleri Zaman Tanım Alanına göre kıyaslandığında ise yaklaşık olarak karşılanan taban kesme kuvvetlerinin eşit olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Perdeler tarafından taşınan taban kesme kuvveti 4 katlı binada az da olsa kolonların taşıdığı taban kesme kuvvetinden daha fazladır. 6 katlı binada ise bu durum tam tersi şeklindedir. Yani kolonların taşıdığı taban kesme kuvveti az da olsa perdelerin taşıdığından daha fazladır. Ancak her iki durumda da, 4 ila 6 katlı mevcut betonarme binalarda, makul sayı ve boyutlarda prefabrike betonarme perde kullanarak yapının taban kesme kuvveti kapasitesini iki katına çıkartmanın mümkün olduğu görülmüştür.

Bu analizler sonucunda genel bir yargıya varmak zordur. Daha kesin yorumlar yapılabilmesi için test edilen 4 ve 6 katlı binaların dışında da binaların test edilmesi gerekmektedir. Ek olarak incelenen binaların sünekliğinin de parametre olarak kabul edilmesi, ortaya çıkacak sonuçların çeşitliliğini arttıracaktır.

Analizler sırasında bariz şekilde gözlemlenen en büyük sıkıntı ise yastık elemanlarının binaya bağlandığı noktadaki kiriş elemanlarda yaptığı yük artışıdır. Bu husus güçlendirme yapılırken dikkate alınmalı ve ilgili kesitte de eğer gerekli ise güçlendirme yapılmalıdır.

Burada çözülen örnekler dikkate alındığında, dışarıdan prefabrik BA perdeler ile güçlendirme yapmanın ve bu perdeleri mevcut sisteme enerji sönümleyici çelik yastıklarla bağlamanın, az katlı betonarme yapılarda makul, hızlı ve pratik bir güçlendirme yöntemi olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] TMMOB, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TMMOB, 2007.
- [2] Applied Technology Council (ATC - 40), Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996.
- [3] Federal Emergency Management Agency (FEMA - 356), PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS, 2000.
- [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA - 440), IMPROVEMENT OF NONLINEAR STATIC SEISMIC ANALYSIS PROCEDURES, 2005.
- [5] E. SMYROU ve diğ., "Modelling Of An Energy Dissipator For Precast RC Cladding Systems," in *Second European Conference On Earthquake Engineering And Seismology*, İstanbul, 2014.
- [6] Z. CELEP ve N. KUMBASAR, Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 2004.
- [7] Z. CELEP, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Davranış Ve Çözümleme, 2008.
- [8] G. G. DEIERLEIN ve diğ., "Nonlinear Structural Analysis - A Guide for Practicing

- Engineers," National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP), 2010.
- [9] S. K. KUNNATH ve diğ., "Analytical modeling of inelastic seismic response of R/C structures," *Journal of Structural Engineering*, vol. 116, no. 4, pp. 1686-1697, 1990.
- [10] E. SPACONE, F. C. FILIPPOU and F. F. TAUCER, "Fiber beam-column model for nonlinear analysis of R/C frames. 1: formulation," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 25, no. 7, pp. 711-725, 1996.
- [11] Federal Emergency Management Agency (FEMA - 274), NEHRP COMMENTARY ON THE GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS, 1997.
- [12] M. N. AYDINOĞLU, "An improved pushover procedure for engineering practice: Incremental Response Spectrum Analysis (IRSA).," in *International Workshop on Performance-based Seismic Design: Concepts and Implementation*, Bled, 2004.
- [13] M. N. AYDINOĞLU, "An incremental response spectrum analysis based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation.," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 3-36, 2004.
- [14] İ. BAL ve diğ., "Detailed Assessment Of Structural Characteristics Of Turkish RC Building Stock For Loss Assessment Models," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 28, no. 10-11, pp. 914-932, 2008.
- [15] Seismosoft, "A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed available from <http://www.seismosoft.com>," 2014. [Online]. Available: <http://www.seismosoft.com>. [Accessed 2014].
- [16] A.CALABRESE, J. ALMEIDA ve R.PINHO, «Numerical Issues in Distributed Inelastic Modeling of RC Frame Elements for Seismic Analysis,» *Journal of*

Earthquake Engineering, cilt 14, no. 1, pp. 38-68, 2010.

[17] H. SUCUOĞLU and S. AKKAR, *Basic Earthquake Engineering From Seismology to Analysis and Design*, Springer, 2014.

[18] J. MANDER, M. PRIESTLEY and R. PARK, "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," *Journal of Structural Division (ASCE)*, vol. 114, no. 8, pp. 1804-1826, 1988.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selçuk Zengin
Doğum Yeri ve Tarihi : Erzurum 1989
İleti Adresi : selcuk_zengin@hotmail.com
Lise : Bayrampaşa Anadolu Lisesi
Lisans : Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü