KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TİPİK BETONARME BİR HASTANE YAPISININ PERDE VEYA PASİF SÖNDÜRÜCÜLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

AHMET ÖZENİR

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TİPİK BETONARME BİR HASTANE YAPISININ PERDE VEYA PASİF SÖNDÜRÜCÜLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

AHMET ÖZENİR

Yrd.Doç.Dr.ERKAN AKPINAR
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Doç.Dr.KEMAL BEYEN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Doç.Dr.YASİN FAHJAN
Jüri Üyesi, GYTÜ .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 03.02.2014

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER

Bu tez çalışması kapsamında sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilmiş mevcut bir binanın deprem performansı, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılarak Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, mevcut bina ve betonarme perdeler ile güçlendirilmiş bina için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında benden güvenini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Erkan Akpınar'a, lisans ve lisansüstü öğrenimim boyunca bana karşı gösterdikleri ilgi ve yardımlarından dolayı Doç. Dr. Şevket Özden ve Doç. Dr. Kemal Beyen'e ve mühendislik yaşamımda bilgi ve tecrübesi ile bana destek olan Dr. Müh. Onur Ertaş'a teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Lisansüstü eğitimim boyunca beni teşvik eden hocalarıma ve bütün dostlarıma teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca beni destekleyen, benden ilgi ve sevgilerini eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam sırasında benden sabır ve sevgisini eksik etmeyen Burcu Yaman'a teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat - 2014 Ahmet ÖZENİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ÖZET xi
ABSTRACT xii
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 4
1.1. Pasif Enerji Sönümleyici Sistemler 4
1.1.1. Metalik sönümleyiciler (Histeretik sönümleyiciler) 6
1.1.2. Viskoelastik sönümleyiciler 10
1.1.3. Viskoz sönümleyiciler 12
1.1.4. Genel Prensipler 14
1.2. Sürtünme Sönümleyiciler 22
1.2.1. Sürtünme teorisi 24
1.3. Sürtünme sönümleyici tipleri ve uygulama örnekleri 26
1.3.1. Bulonlu sınırılı kayma modülü 26
1.3.2. Pall sürtünme sönümleyicileri 29
1.3.3. Sumitomo sürtünme sönümleyicileri 30
1.3.4. Karşı enerji azalımlı sönümleyiciler 32
1.3.5. Oval Delikli , sürtünme – bulonlu sönümleyiciler 33
1.4. Sürtünme Sönümleyicilerin Analiz ve Tasarımı 35
2. TDY-2007'YE GÖRE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE PERFORMANS ANALİZİ 39
2.1. Giriş 39
2.2. TDY 2007 ye İlişkin Genel İlke ve Kabuller 40
2.2.1. Malzeme modelleri 40
2.2.2. Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi ve plastik mafsal kabulü 42
2.2.3. Deprem düzeyi ve bina performans hedefinin belirlenmesi 44
2.2.4. Kesit ve eleman hasar sınırlarının tanımlanması 45
2.2.5. Yapı performans düzeyinin belirlenmesi 47
2.3. Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi 48
2.3.1. Hesap yönteminin esasları 48
2.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi 52
2.4.1. Hareket denkleminin nümerik entegrasyon yöntemleri ile çözümü 52
2.4.2. Sönüm 56
2.4.3. TDY 2007'ye göre zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi için deprem yer hareketlerinin belirlenmesi 58
3. ANALİTİK ÇALIŞMA 61
3.1. Yapı Genel Bilgileri 61
3.1.1. Yapı sistemine ait özellikler 61

3.1.2. Kolon kesit analizleri 64
3.1.3. Kiriş kesit analizleri 70
3.2. Mevcut Binanın Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi 74
3.2.1. Genel kabuller ve modal analiz sonuçları 74
3.2.2. Tepe deplasman talebinin belirlenmesi 77
3.3. Betonarme Perdeler ile Güçlendirilen Binanın Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi 80
3.3.1. Güçlendirme perdelerinin tasarımı ve kesit analizleri 80
3.3.2. Genel kabuller ve modal analiz sonuçları 88
3.3.3. Tepe deplasman talebinin belirlenmesi 91
3.4. Sürtünme Sönümleyiciler ile Güçlendirilen Binanın Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi 93
3.4.1. Sürtünme sönümleyicilerin tasarımı ve modellenmesi 93
3.4.2. Genel kabuller ve modal analiz sonuçları 97
3.4.3. Tepe deplasman talebinin belirlenmesi 99
3.5. Sürtünme Sönümleyicilerle Güçlendirilen Binanın Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem ile Analizi 101
3.5.1. Seçilen deprem kayıtlarının TDY 2007'ye göre kontrol edilmesi ve ölçeklenmesi 104
3.5.2. Sönüm ve seçilen nümerik entegrasyon yöntemine ait bilgiler 104
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 107
4.1. Global Sonuçlar 107
4.2. Eleman Bazında Sonuçlar 118
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 125
KAYNAKLAR 127
EKLER 132
ÖZGEÇMİŞ 147

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kuzey Amerika'da Pasif Sönümleyicilerin 2000 yılına kadar yıllara göre kullanım dağılımı 5
Şekil 1.2. ADAS Sönümleyicisinin kesit görünüşü 6
Şekil 1.3. ADAS Metalik Sönümleyicisinin ait uygulama örneği..... 7
Şekil 1.4. Wells Forga Bankası'nın ADAS Sönümleyiciler ile güçlendirilmesi..... 8
Şekil 1.5. Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlara ait kesit detayı 9
Şekil 1.6. Burkulması Önlenmiş Çelik Çapraz yerleşimi 9
Şekil 1.7. Viskoelastik Sönümleyici detayı 10
Şekil 1.8. Santa Clara Valilik Binasının Güçlendirilmesinde kullanılan viskoelastik sönümleyici detayı 11
Şekil 1.9. LAPD Spor Merkezi Görünüşü, b) Vtipi çapraz düzenine sahip viskoelastik sönümleyici yerleşimi 11
Şekil 1.10. Viskoz Sönümleyici detayı 12
Şekil 1.11. a) Torre Major Binası dış görünüşü, b) Viskoz Sönümleyici yerleşimine ait görünüş 13
Şekil 1.12. Tek Serbestlik Dereceli Sistem Modeli 14
Şekil 1.13. Kontrol elemanın Tek Serbestlik Dereceli Sistem Modelinde temsil edilmesi 15
Şekil 1.14. Elasto –plastik pasif sönümleyiciye ait yük-deplasman ilişkisi.....15
Şekil 1.15. Sönümleyicisiz TSD sisteme ait tepkiler a) Deplasman–zaman, b) İvme-zaman geçmişi.....16
Şekil 1.16. Sönümleyicili TSD sisteme ait tepkiler a) Deplasman–zaman, b)İvme-zaman geçmişi 16
Şekil 1.17. Farklı sönümleyiciler içeren TSD sistemin yük-deplasman çevrimleri a) Viskoz Sönümleyici, b) Metalik Sönümleyici 17
Şekil 1.18. Geleneksel Yapıya ait Enerji Tepkisi, a) Hasar görebilirlik durumu, b) Göçme sınır durumu 20
Şekil 1.19. Kat kesme kuvveti–göreli kat ötelemeleri ilişkisi, a) Sönümleyicisiz durum, b) Sönümleyicili durum 21
Şekil 1.20. Enerji Tepkisi–Zaman İlişkisi, a) Sönümleyicisiz durum, b) Sönümleyicili durum 21
Şekil 1.21. Pall Sürtünme Sönümleyici 22
Şekil 1.22. Deplasman Duyarlı Pasif Sönümleyicilerin yük–deforrmasyon grafikleri, a) Metalik Sönümleyiciler, b) Sürtünme Sönümleyiciler.....23
Şekil 1.23. Hız Duyarlı Pasif Sönümleyicilerin yük–deforrmasyon grafikleri, a) Viskoelastik Sönümleyiciler, b)Viskoz Sönümleyiciler 23
Şekil 1.24. Sürtünme Kuvveti – Yük ilişkisi.....24
Şekil 1.25. Sürtünme Kuvveti – Deformasyon İlişkisi 25
Şekil 1.26. Pall Bulonlu Sınırlı Kayma Modülü detayı 26
Şekil 1.27. Farklı temas yüzeyi özelliklerine sahip plakaların sürtünme davranışının incelenmesi , a) Farklı temas yüzeyine sahip plakaların sürtünme kuvveti-deformasyon ilişkisi b) Paslanmış Çelik Yüzeyi, c) Kum Püskürtülmüş Yüzey, d) Fren Balata sistemi, e) Polietilen Kaplama, f)İnorganik Çinko Esaslı Boya Kaplama, g) Metalik Yüzey 27
Şekil 1.28. a)Diyagonal Çaprazlı Sürtünme Sönümleyicisi, b)Pall Sürtünme Sönümleyicisi 29
Şekil 1.29. Boeing uçak yapım merkezinin Pall sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde elde edilen enerji tepkisi.....30

Şekil 1.30. Boeing uçak yapım merkezinin Pall sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde elde edilen sönümleyici yük–deformasyon geçmişi 30
Şekil 1.31. Sumitomo Sürtünme Sönümleyicisinin detay görünüşü 31
Şekil 1.32. Sumitomo Sürtünme Sönümleyicisinin çerçeve sisteme yerleştirilmesi 31
Şekil 1.33. Sumitomo Sürtünme Sönümleyicisinin Yük-deplasman Çevrimi 32
Şekil 1.34. EDR Sönümleyicisine ait detay görünüş 32
Şekil 1.35. Oval Delikli Sürtünme-Bulonlu Sönümleyicilere ait detay görünüşü ...33
Şekil 1.36. Oval Delikli Sürtünme-Bulonlu Sönümleyiciler için örnek yük–deplasman çevrimi 34
Şekil 1.37. a) Monterey Hükümet Binasına ait görünüş, b) Sürtünme Sönümleyici görünüşü 34
Şekil 1.38. FEMA 274'e göre pasif sönülmeyi kullanımı ile elde edilecek etkin sönüm oranı ile sismik talebin azaltılması 37
Şekil 1.39. FEMA 274'e göre Pasif Sönümleyicili Binanın Taban Kesme Kuvveti –Deformasyon İlişkisi 37
Şekil 1.40. Sürtünme Sönümleyicilerin tasarımında optimum tasarım yükünün elde edilebilmesi için kullanılan yapı tepkisi – tasarım yükü ilişklisi 38
Şekil 2.1. TDY 2007 Ek 7B de verilen sargılı ve sargısız betona ait gerilme–birim şekil değiştirme grafiği 41
Şekil 2.2. TDY 2007 Ek 7B de verilen donatı çeliğine ait gerilme – birim şekil değiştirme grafiği 42
Şekil 2.3. Plastik Mafsal Temsili 43
Şekil 2.4. TDY 2007 Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri 45
Şekil 2.5. TDY 2007 e göre Kesit Hasar Bölgeleri.....46
Şekil 2.6. İtme Eğrisi.....49
Şekil 2.7. Eşit Yer değiştirme Kuralının Geçerli Olduğu Binalar için spektral deplasman talebinin belirlenmesi 50
Şekil 2.8. Eşit Yer değiştirme Kuralının Geçerli Olmadığı Binalar için spektral deplasman talebinin belirlenmesi 51
Şekil 2.9. Newmark ortalama ivme yöntemi için ivme, hız ve deplasman bağıntıları 54
Şekil 2.10. Newmark doğrusal ivme yöntemi için ivme, hız ve deplasman bağıntıları 55
Şekil 2.11. Farklı sönüm oranları için tepki – periyot ilişkisi 56
Şekil 2.12. Rayleigh Sönüm Modeli için Sönüm oranı–Periyot İlişkisi 57
Şekil 2.13. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketi Kaydının Ölçeklendirilmesi için Hesap Adımları 60
Şekil 3.1. Mevcut Binanın 3 Boyutlu Sonlu Eleman Modeli 62
Şekil 3.2. Mevcut Binanın plan ve kesit görünüşleri, a) Kat Planları, b) Uzun Doğrultudaki en dış aks kesit görünüşü, c) Kısa doğrultu en dış aks kesit görünüşü 63
Şekil 3.3. Kolonlar için XTRACT kesit modeli 65
Şekil 3.4. Kolonlar için malzeme modelleri a) Kabuk bölgesi için beton modeli, b) Çekirdek bölgesi için beton modeli, c) Donatı çeliği modeli 66
Şekil 3.5. Kolonlar için akma yüzeylerinin SAP2000 de tanımlanması a) Kolon kısa doğrultusu 0°, b) 45°, c) Kolon uzun doğrultusu 90° 67
Şekil 3.6. Kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan eksenel kuvvet – eğrilik ilişkileri a) Kolon uzun doğrultusu için, b) Kolon kısa doğrultusu için, ...69
Şekil 3.7. Kirişler için XTRACT kesit modeli 70
Şekil 3.8. Kirişler için malzeme modelleri a) Kabuk bölgesi için beton modeli, b) Çekirdek bölgesi için beton modeli, c) Donatı çeliği modeli 71

Şekil 3.9. Kirişler için Moment-Eğrilik İlişkileri, a) Negatif Moment Etkisi için, b) Pozitif Moment Etkisi için 72
Şekil 3.10. Kirişler için SAP2000de eğilme mafsalı tanımlanması 73
Şekil 3.11. Binanın modal analiz sonucunda elde edilen hakim modlarda deforme olmuş şekilleri a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 76
Şekil 3.12. Binanın her iki doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 78
Şekil 3.13. Tepe deplasman talebinin Sap2000'de tanımlanması a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 79
Şekil 3.14. Betonarme perdeler ile güçlendirilmiş sistemin 3 boyutlu Sap2000 görünüşü....80
Şekil 3.15. a)Betonarme perdelerin kat planında yerleşimi, b) Y doğrultusunda yerleştirilen perdelerin kesit görünüşü, c) X doğrultusunda yerleştirilen perdelerin kesit görünüşleri 81
Şekil 3.16. a)Güçlendirme perdelerinin kabuk bölgelerinde tanımlanan beton modeli, b) Çekirdek bölgesinde tanımlanan malzeme modeli, c) Donatı modeli....83
Şekil 3.17. Güçlendirme Perdelerinin XTRACT programındaki model görünüşleri a) Ydoğrultusunda yerleştirilen 30x450cm boyutlarındaki perdeler, b) X doğrultusunda yerleştirilen 435x30 cm boyutlarındaki perdeler....84
Şekil 3.18. 30x450 cm boyutlarındaki perdelerin akma yüzeylerinin Sap2000'de tanımlanması, Perde güçlü doğrultusundaki yön 0°, b)45°, c)Perde zayıf doğrultusundaki yön 90° 84
Şekil 3.19. 435x30 cm boyutlarındaki perdelerin akma yüzeylerinin Sap2000'de tanımlanması,) Perde zayıf doğrultusundaki yön 0° , b) 45° c) Perde güçlü doğrultusundaki yön 90° 85
Şekil 3.20. 435x30 cm lik Perdeler için hasar sınırları, a) Güçlü Yön, b) Zayıf Yön. 89
Şekil 3.21. 30x450 cm lik Perdeler için hasar sınırları, a) Güçlü Yön, b) Zayıf Yön. 89
Şekil 3.22. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın modal analiz sonucunda elde edilen hakim modlarda deforme olmuş şekilleri a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 89
Şekil 3.23. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın X doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi 94
Şekil 3.24. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın Y doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi 95
Şekil 3.25. Sürtünme sönümleyicilerin kat planlarında yerleşimi, a)Y doğrultusunda yerleştirilenler, b) X doğrultusunda yerleştirilenler....96
Şekil 3.26. Plastik Wen link elemanının doğrusal olmayan kuvvet–şekil değiştirme grafiği 97
Şekil 3.27. 150 kN kapasiteli sürtünme sönümleyici Sap2000'de yer alan Plastik Wen link elemanı ile idealize edilmesi....96
Şekil 3.28. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın modal analiz sonucunda elde edilen hakim modlarda deforme olmuş şekilleri, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 97
Şekil 3.29. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın X doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan yerdeğiştirme istemi.1030
Şekil 3.30. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın Y doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan yerdeğiştirme istemi...104
Şekil 3.31. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak olan deprem kayıtları, a) Düzce Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Landers Depremi 105

Şekil 3.32. TDY-2007 tasarım ivme spektrumu ile deprem kayıtlarının spektrumlarının karşılaştırılması ve TDY-2007 için gerekli kontroller 105
Şekil 3.33. Zaman tanım alanında gerçekleştirilecek analizlerde kullanılacak sönüm oranı-periyot ilişkisi 106
Şekil 3.34. Sönüm katsayılarının Sap2000'de elde edilmesi 106
Şekil 3.35. α katsayısının Sap2000'de tanımlanması 106
Şekil 4.1. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (eğriler modal yerdeğiştirme istemine kadar verilmiştir) , a) X doğrultusu için, b)Y doğrultusu için 108
Şekil 4.2. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 109
Şekil 4.3. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen bina deplasman profillerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 110
Şekil 4.4. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 111
Şekil 4.5. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen göreli kat ötelemeleri ile zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz için elde edilen göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu, b) Y doğrultusu 113
Şekil 4.6. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın X doğrultusunda taban kesme kuvveti–tepe yerdeğiştirmesi çevrimleri, a) Düzce Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Landers Depremi sonuçları 114
Şekil 4.7. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın Y doğrultusunda taban kesme kuvveti–tepe yerdeğiştirmesi çevrimleri, a) Düzce Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Landers Depremi sonuçları 115
Şekil 4.8. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın tepe yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi ile artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen tepedeplasman talebinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, c) Y doğrultusu için 116
Şekil 4.9. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen taban kesme kuvvetinin zamana bağlı değişimi ile artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile son adımda elde edilen taban kesme kuvvetinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, c) Y doğrultusu için 117
Şekil 4.10. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen zemin kat kolonlarının Hasar Dağılımları, a) X doğrultusu için, b) Y dorultusu için 119
Şekil 4.11. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen zemin kat kirişlerinin Hasar Dağılımları, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için 121
Şekil 4.12. Kirişler için örnek moment-plastik dönme grafiği 124
Şekil 4.13. Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan yöntem için aynı sönümleyiciye ait yük-deplasman çevrimleri, a) Landers Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Düzce Depremi 124

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. ASCE41-06 Enerji Sönümleyiciler 36
Tablo 2.1. TDY-2007 Ek 7B donatı çeliği özellikleri..... 42
Tablo 3.1. Bina özellikleri 62
Tablo 3.2. Betonarme kolon eğilme rijitlikleri 74
Tablo 3.3. Mevcut binanın kütle katılım oranları 76
Tablo 3.4. Mevcut binanın modal katkı çarpanları. 76
Tablo 3.5. Mevcut binanın burulma düzensizliği kontrolü 77
Tablo 3.6. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın kütle katılım oranları..... 90
Tablo 3.7. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın modal katkı çarpanlar 90
Tablo 3.8. Betonarme Perdeler ile Güçlendirilen binanın burulma düzensizliği kontrolü.. 90
Tablo 3.9. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın kütle katılım oranları 98
Tablo 3.10. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın modal katkı çarpanları..... 98
Tablo 3.11. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın burulma düzensizliği kontrolü..... 99
Tablo 3.12. Seçilen deprem kayıtlarına ait bilgiler..... 102
Tablo 3.13. 1.ve 3. Modlar için hesaplanan sönüm katsayıları 104
Tablo 4.1. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için tüm katlarda elde edilen kolon hasar dağılımları..... 120
Tablo 4.2. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için tüm katlarda elde edilen kiriş hasar dağılımı..... 122
Tablo 4.3. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için tüm katlarda elde edilen kiriş hasar dağılımı..... 123

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α_i : Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$\alpha_1^{(i)}$: (i)'nci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
A_c : Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
A_s : Boyuna donatı alanı
α_{y1} : Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
b_o : Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
C_{R1} : Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d : Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
$d_1^{(i)}$: (i)'nci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
d_{y1} : Birinci moda ait eşdeğer akma yerdeğiştirmesi
E_c : Betonun elastisiste modülü
E_s : Donatı çeliğinin elastisiste modülü
$(EI)_e$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
ε_{cg} : Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki basınç birim şekil değiştirmesi
ε_s : Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
ε_c : Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ε_{cu} : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
ε_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
f_c : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc} : Sargılı beton dayanımı
f_{co} : Sargısız beton basınç dayanımı
f_e : Etkili sargılama basıncı
f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{yw} : Enine donatının akma dayanımı
f_{cm} : Mevcut beton dayanımı
f_{ctm} : Mevcut betonun çekme dayanımı
h_o : Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
k_e : Sargılama etkinlik katsayısı
L_p : Plastik mafsal boyu
M_{x1} : X deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci hakim moda ait etkin kütle
N_D : Deprem hesabında esas alınan kütleler için düşey yükler altında eksenel kuvvet
ρ_{sm} : Kesitte bulunması gereken enine donatının hacımsal oranı
ρ_s : Toplam enine donatının hacımsal oranı

ρ_x , ρ_y : İlgili doğrultudaki enine donatının hacımsal oranı
R_{y1} : İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral yerdeğiştirme
s : Etriye aralığı
S_{di1} : Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
$S_{ae}^{(1)}$: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
$S_{de}^{(1)}$: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral yerdeğiştirme
Γ_{x1} : X deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
$u_{xN1}^{(i)}$: Binanın tepesinde x deprem doğrultusunda (i)'inci itme analizi sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$: Binanın tepesinde x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V_r : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
$V_{x1}^{(i)}$: X deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti
ϕ_p : Plastik eğrilik istemi
ϕ_y : Eşdeğer akma eğriliği
ϕ_t : Toplam eğrilik istemi
Φ_{xN1} : Binanın tepesinde x deprem doğrultusunda birinci mod şekli genliği
θ_p : Plastik dönme istemi
η_{bi} : i'nci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı

Kısaltmalar

ABYYHY : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ASCE : American Society of Civil Engineers (Amerika İnşaat Mühendisleri Topluluğu
DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA : Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Kurumu
NEHRP : National Earthquake Hazards Reduction Program (Ulusal Deprem Riski Azaltma Programı
TDY-2007: Türk Deprem Yönetmeliği 2007

TİPİK BETONARME BİR HASTANE YAPISININ PERDE VEYA PASİF SÖNDÜRÜCÜLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tez çalışması, 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmış mevcut bir kamu binasının iki farklı yöntem ile güçlendirilmesini ve doğrusal elastik olmayan statik ve dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Söz konusu güçlendirme yöntemleri, ülkemizde yaygın olarak kullanılan sisteme betonarme perde elemanların eklenmesi ve mevcut sisteme sürtünme sönümleyici elemanların eklenmesi olarak seçilmiştir.

Sürtünme sönümleyiciler, önemli miktarda enerji yutma kapasiteleri ile mevcut elemanlar üzerindeki doğrusal elastik olmayan deformasyon talebinin azaltılmasını sağlamaktadırlar. Ayrıca, bu elemanlar çevre şartlarından ve yer hareketinin karakteristiklerinden etkilenmemekte olup, imalat aşamasında bina kullanımını engellememektedirler.

Çalışma kapsamında öncelikle mevcut binanın ve bu binanın betonarme perde elemanlar ile güçlendirilmiş durumunun deprem performansı, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak Türk Deprem Yönetmeliği 2007'e göre belirlenmiştir. İkinci aşamada ise aynı binanın sürtünme sönümleyici elemanlar ile güçlendirilmiş durumunun deprem performansı, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü ve zaman tanım tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Sürtünme sönümleyici elemanların tasarımında ASCE41-06 yönetmeliğinden yararlanılmış olup, mevcut betonarme elemanların performansı TDY 2007'ye göre tespit edilmiştir.

Her iki güçlendirme tekniğinden ve farklı analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar birçok farklı açıdan birbirleri ile kıyaslanmıştır. Buna göre her iki yöntemin sonucunda, bina tepe deplasman istemleri, göreli kat ötelemeleri ve eleman hasar durumlarında önemli miktarda iyileşmeler gözlenmiştir. Özellikle her iki yöntemde de imalat aşamaları göz önüne alındığında, sürtünme sönümleyici elemanlar ile güçlendirmenin oldukça etkin bir yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Güçlendirme, Pasif Enerji Sönümleyici Elemanlar, Sürtünme Sönümleyiciler, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Analiz.

RETROFIT OF EXISTING REINFORCED CONCRETE HOSPITAL BUILDING USING PASSIVE ENERGY DISSIPATION DEVICES OR REINFORCED CONCRETE WALL ELEMENTS

ABSTRACT

In this study, seismic retrofiting of a public building designed according to Turkish Seismic Code 1975 is carried out using two different retrofitting techniques, namely addition of structural wall elements and friction damper elements to the system, and results are compared for the invariant single mode pushover procedure and nonlinear response history analysis procedure. Friction dampers reduce the nonlinear deformation demands of motion from the existing reinforced concrete members using their high nonlinear deformation capacities. In addition, they are independent to the environmental conditions and characteristics of strong ground motion and further, it is not neccesary to constraint the building related activites during the manufacturing phase.

In the scope of this thesis, firstly seismic performance of the existing and structural wall installed buildings were determined using invariant single mode pushover analysis procedure according to TSC 2007. Then, friction damper installed building was analysed using above mentioned procedure and nonlinear response history procedure. Whilethe design of the friction damper systems were performed using ASCE41-06, seismic performace of existing reinforced concrete members were evaluated using TSC 2007.

Finally, results were obtained and determined for two different retrofitting techniques and analysis procedures. Accordingly, building target displacement demands, drifts and member damage status are the most important parameters to realize the improvement of building performance. Especially, when the manufacturing phases of the these two retrofitting techniques are considered, it is seen that friction damper installation is an quite efficient method to improve the seismic performance of existing buildings.

Keywords: Pushover, Retrofit, Passive Energy Dissipation Systems, Friction Dampers, Nonlinear Response History Analysis.

GİRİŞ

Ülkemizde 20. yüzyılın başından itibaren yaklaşık 60 adet yıkıcı şiddette deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyük bir çoğunluğu 1500 km uzunluğa sahip Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde oluşmuştur. Bu fay sistemi üzerinde meydana gelen en büyük depremler sırasıyla 1939, 1943, 1944, 1966, 1967, 1992 ve 1999 tarihli depremler olup bu depremlerde yaklaşık 90 000 can kaybı, 175 000 yaralanma olayı yaşanmış ve 650 000 den fazla bina kullanılamaz hale gelmiştir (Sezen ve diğ., 2009).

Meydana gelen yıkıcı depremler, ülkemiz deprem yönetmeliklerinin de yenilenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu anlamda ülkemizde gerçekleştirilen ilk çalışma, 27 Aralık 1939 tarihinde Erzincan'da meydana gelen ve 32 000 insanın yaşamını kaybettiği M7.9 büyüklüğündeki Erzincan depremi sonrasında yapılmıştır (Duyguluer, 1997).

1940 yılında yayınlanan ilk deprem yönetmeliği, dönemin İtalyan deprem yönetmeliğine benzemektedir. Bu yönetmelikte deprem bölgesinden bağımsız olarak bina ağırlığının yüzde onu kadar bir yatay kuvvetin bina yüksekliği boyunca üniform olarak binaya etki ettiği kabul edilmiştir. 1942 yılında hazırlanan deprem bölgeleri haritası 1945 yılında yayımlanmasıyla birlikte ülkemiz 3 deprem bölgesine ayrılmıştır. 1947 yılında deprem yönetmeliği yayımlanan deprem bölgeleri haritasına göre güncellenerek binaya etki edecek deprem yükleri buna göre değiştirilmiştir. Birinci derece deprem bölgelerinde deprem katsayısı 0.1, ikinci derece deprem bölgelerinde 0.05 olarak göz önüne alınmıştır. Bu yönetmelik kapsamında izin verilen emniyet gerilmelerinin, deprem etkisi altında %25 oranında arttırılmasına izin verilmiştir (Bayülke, 1992).

1949 yılında deprem bölgeleri haritası ve deprem yönetmeliği yenilenerek deprem katsayıları güncellenmiştir. Buna göre katsayılar, birinci derece deprem bölgelerinde 0.02 veya 0.04, ikinci derece deprem bölgelerinde 0.01 veya 0.03 olarak alınmıştır. Deprem katsayıları bu yönetmelikte zemin ve yapı tipine bağlı olarak

belirlenmektedir. Ayrıca izin verilen emniyet gerilmelerinin %50 oranında arttırılmasına izin verilmiştir.

1953 yılında yönetmelik tekrar yenilenmiştir. Bu yönetmelikte tasarımda kullanılan yük kombinasyonlarında da değişiklikler yapılarak rüzgar etkisi ve deprem etkisi bir arada göz önüne alınmıştır.

1961 yılında hazırlanan deprem yönetmeliğinde, binaya etkiyecek deprem yüklerinin belirlenmesinde bina yüksekliği, malzeme tipi, yerel zemin koşulları ve deprem bölgesi ana parametreler olmuştur.1963 yılında deprem bölgeleri haritası yenilenerek, harita dört bölgeye ayrılmıştır. Bu haritada deprem bölgeleri Modifiye Mercalli Şiddet Cetveli kullanılarak belirlenmiştir.

1968 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliği, önceki yönetmeliklerden önemli farklar içermektedir. Bu yönetmelikte deprem talebinin belirlenmesi, özel donatı detaylarının düzenlenmesi ve bina dinamik davranışı ile ilgili olarak modern yaklaşımlar getirilmiştir. Ayrıca bu yönetmelikte, deprem yükünün bina yüksekliği boyunca ters üçgen şeklinde dağıldığı varsayımı getirilmiş ve eleman boyutları ile ilgili çeşitli koşullar tanımlanmıştır. Ancak bu yönetmelikte de etriye aralığı, oranı v.b. detaylar hakkında açık ifadeler bulunmamakta olup bina yüksekliğine bağlı olarak perde kullanımı tavsiye edilmektedir.

Deprem bölgeleri haritası 1972 yılında tekrar güncellenerek, 1975 yılında yayımlanan deprem yönetmeliğinde kullanılmıştır. Daha önce dört olan deprem bölgesi sayısı beşe çıkartılmıştır (ABYYHY, 1975). Bu haritada deprem bölgeleri jeolojik yapı, levha tektoniği, geçmiş depremler ve deprem sıklığı gibi modern yaklaşımlar ile belirlenmiştir. Bu yönetmelikte minimum eleman boyutları ve donatı oranları revize edilerek kiriş, kolon ve perdeler için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Kiriş ve kolonlar için sarılma bölgeleri tanımlanarak etriye kancalarının 135° olması zorunlu tutulmuştur.

1997 yılında deprem bölgeleri haritası ve deprem yönetmeliği yenilenmiştir. Bu yönetmelikte modern analiz yöntemleri olan mod birleştirme yöntemi ile doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemleri yönetmelik kapsamına alınmıştır (ABYYHY, 1997). Modern tasarım spektrumu tanımlanmış olup, deprem

yükü azaltma katsayıları taşıyıcı sistem tipine göre ayrı ayrı belirtilmiştir. Kapasite tasarım ilkeleri kullanılmıştır.

2007 yılında yürürlüğe giren ve günümüzde de kullanılmakta olan deprem yönetmeliğinde, 1997 deprem yönetmeliğinde tanımlanan analiz ve tasarım ilkeleri geçerli olup en önemli fark mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirilmesi hakkında bir bölümün eklenmesidir (DBYBHY, 2007).

Yukarıda deprem yönetmeliklerinin tarihsel gelişiminden de görüleceği üzere, 1997 yılında yayımlanan deprem yönetmeliğinin öncesindeki yönetmeliklerde, gerek deprem talebinin belirlenmesinde, gerekse binaların yeterli yatay yük taşıma kapasitesinin elde edilmesinde, hali hazırda yürürlükte olan yönetmeliğin performans kriterleri sağlanamamaktadır.

Bu çalışma kapsamında mevcut deprem yönetmeliğine göre yetersiz deprem performansına sahip bir kamu binasının, geleneksel ve modern güçlendirme yöntemleri ile deprem performansı iyileştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, birbirleriye karşılaştırılmıştır. Geleneksel güçlendirme yöntemi olarak taşıyıcı sisteme betonarme perde elemanlar eklenmesi yöntemi seçilmiş ve bu yöntemle sistemin yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitiği arttırılmıştır. Modern güçlendirme yöntemi olarak ise sürtünme sönümleyici elemanlar sisteme eklenmiş ve mevcut taşıcı elemanlar üzerindeki hasar seviyesi azaltılmıştır. Ayrıca bu yöntemle sisteme ilave rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesi sağlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

Yapılar şiddetli deprem etkileri altında çok büyük miktarda deprem enerjisine maruz kalırlar. Geleneksel tasarım yöntemleri kullanılarak maruz kalınan bu enerji yapı elemanlarının özel olarak detaylandırılmış bölümlerinde elastik olmayan deformasyonlar yapılarak tüketilmesi ile karşılanmaktadır. Bu durum yapı elemanlarının şiddetli depremlerde ağır hasar görmesine ve yapının kullanılamamasına sebep olmaktadır (Symans ve diğ., 2008).

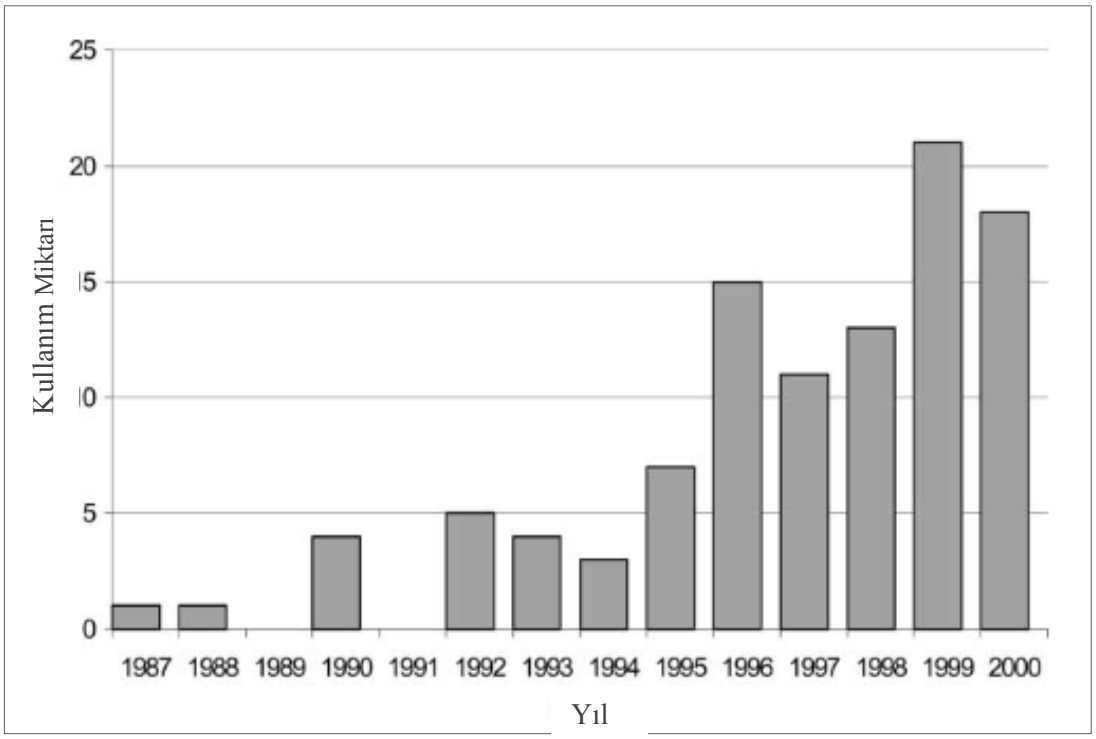
Özellikle son otuz yıl içerisinde Kuzey Amerika ve Japonya da geliştirilen özel yapı kontrol sistemleri, yapı elemanlarında meydana gelecek hasarın kontrol altına alınmasını ve azaltılmasını sağlamaktadırlar. Geleneksel tasarım yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkan bu yaklaşım ile yapının dinamik özellikleri değiştirilerek yapısal elemanlardaki elastik olmayan deformasyon talebinin azaltılması sağlanmaktadır.

Günümüzde bu işlevi sağlayan en pratik ve güvenilir sistemler, "Pasif Kontrol Sistemleri" olarak ön plana çıkmaktadır (Pall, 2004) . Pasif kontrol sistemleri, sismik izolasyon ve pasif enerji sönümleyici sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır (ASCE41-06). Pasif enerji sönümleyici sistemler, sisteme giren deprem enerjisinin sönümleyici elemanlar tarafından tüketilerek yapısal elemanların daha az hasar görmesini sağlamaktadırlar. Pasif enerji sönümleyici sistemler, sönümleyici elemanların mevcut yapı elemanlarına planlı bir şekilde yerleştirilmesiyle kullanılmaktadırlar.

1.1. Pasif Enerji Sönümleyici Sistemler

Pasif enerji sönümleyici sistemler, yüksek sismik özelliklere sahip bölgelerde yer alan binaların tasarımı ve güçlendirilmesinde özellikle 90'lı yılların ortalarından itibaren artan bir hızla kullanılmaktadırlar. Pasif enerji sönümleyiciler, farklı malzeme ve mekanizmaların kullanılması ile sisteme ilave sönüm, rijitlik ve dayanım artışı sağlayarak, özellikle deprem performansı yetersiz olan binaların güçlendirilmesinde bir çok uygulamada yer almışlardır.

Günümüzde başta Kanada, Yeni Zelanda, Japonya, Meksika ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere birçok ülkede kullanılmışlardır. 2000 yılı sonu itibari ile Kuzey Amerika da 103 binanın güçlendirilmesinde kullanılmış olup, kullanımın yıllara göre dağılımı aşağıda verilmiştir (Soong ve Spencer, 2002).



Şekil 1.1. Kuzey Amerika'da Pasif Sönümleyicilerin 2000 yılına kadar yıllara göre kullanım dağılımı (Soong ve Spencer, 2002)

Pasif sönümleyici sistemlerin ilk uygulamaları, özellikle yüksek binaların deplasmanlarını azaltmak amacıyla olmuştur. Yüksek katlı binaların rüzgar veya deprem gibi etkilerle oldukça yüksek genlik muhteviyatı ile titreşimi, kullanıcıları rahatsız edebilmektedir. Sönümleyiciler bu istenmeyen şiddetteki titreşimleri

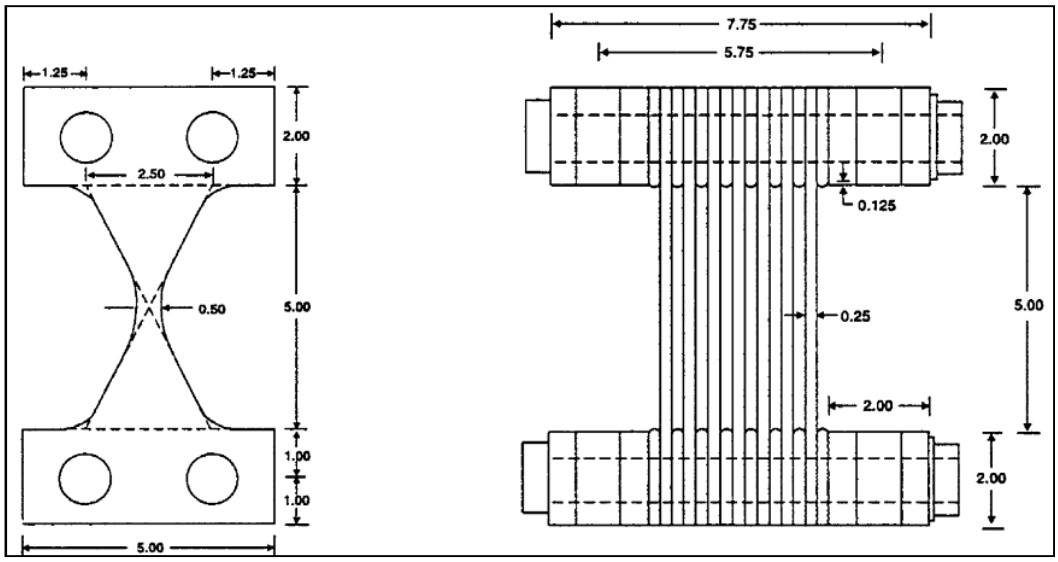
azaltmada oldukça efektif bir şekilde kullanılmışlardır. Ayrıca, özellikle son yirmi yılda ise çok farklı yapı sistemlerinde uygulanmışlardır. İlerleyen bölümlerde bunlara ait çeşitli uygulama örnekleri verilmiştir.

Günümüze kadar gerçekleştirilen uygulamalarda en çok kullanılan pasif enerji sönümleyici sistemler, viskoz sönümleyiciler, viskoelastik sönümleyiciler, histeretik sönümleyiciler ve sürtünme sönümleyiciler olup, bu çalışma kapsamında sürtünme

sönümleyiciler incelenmiştir. Aşağıda diğer tür pasif enerji sönümleyicilere ait kısa bilgiler verilmiştir.

1.1.1. Metalik sönümleyiciler (Histeretik sönümleyiciler)

Enerji sönümleme açısından en efektif yöntemlerden olup, metallerin tersinir yükler altında yaptığı inelastik deformasyon ile enerji tüketirler. Bu sistemlerin büyük bir çoğunluğunda çelik plakalar üçgen ya da X formunda oluşturularak, meydana gelecek olan plastik deformasyonun üniform bir şekilde dağıtılması sağlanır. Bu tip sönümleyiciler arasında en popüler olan ADAS sönümleyicisine ait kesit görünüşü Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. ADAS Sönümleyicisinin kesit görünüşü (Aieken, 1996)

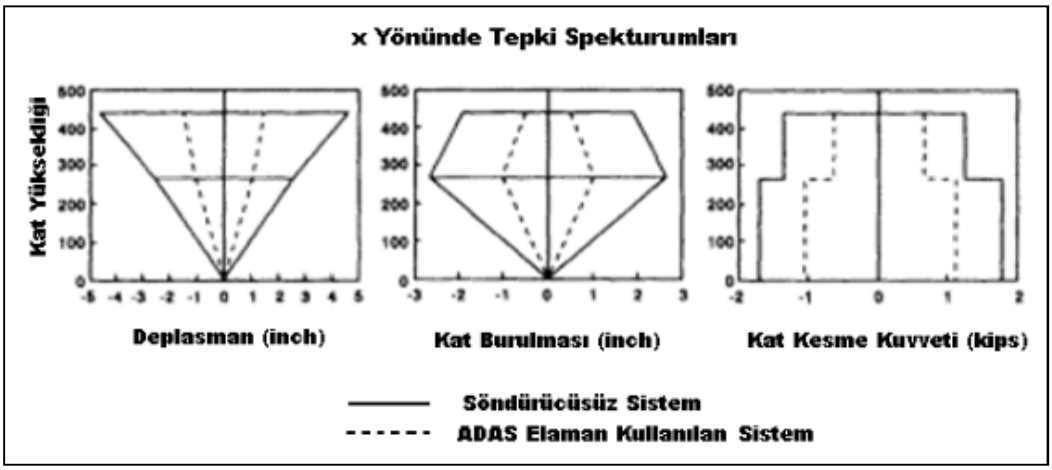
Bu sisteme ek olarak, özellikle Japonya'da kullanılan, petek şeklindeki plakaların eğilmesiyle meydana gelen sistemler, kayar sönümleyiciler ve kayma plakaları da diğer bilinen metalik sönümleyici sistemlerdendir.



Şekil 1.3. ADAS Metalik Sönümleyicisine ait uygulama örneği

Stabil histeretik davranışları, çevresel şartlardan etkilenmemeleri ve malzemenin tasarım mühendisleri tarafından iyi bilinmesi, metalik sönümleyicilerin en belirgin özellikleri olarak sayılabilir. Bu önemli özellikleri nedeniyle akademik ve mühendislik çevrelerinin büyük ilgisini çekmiş olup, birçok araştırmada ve uygulamada kullanılmışlardır.

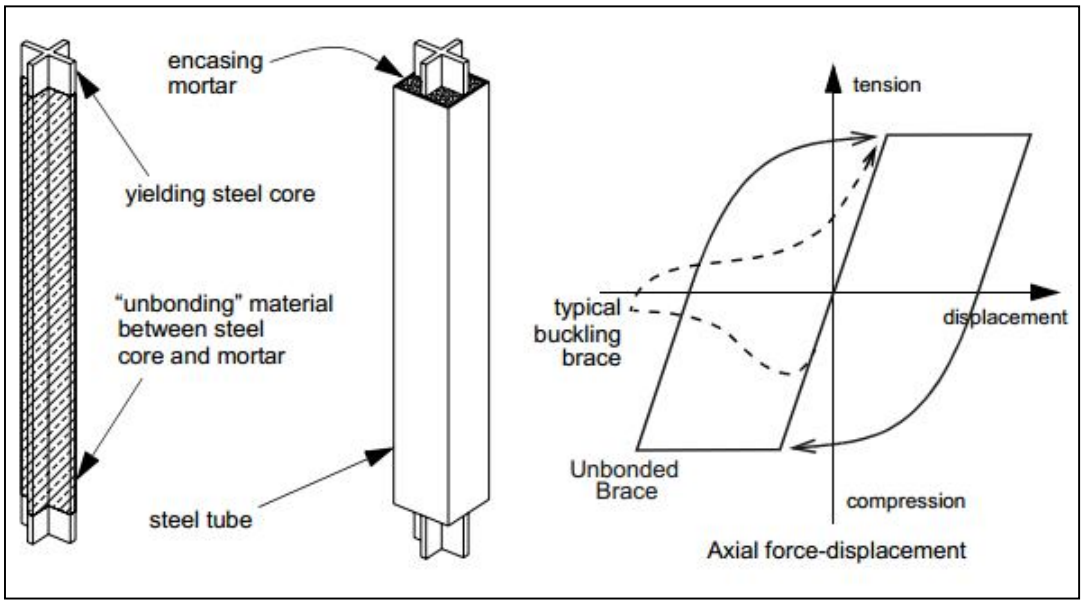
Bu sistemlere ait ilk uygulamalar Yeni Zelanda ve Japonya'da gerçekleşmiştir. Sonraki yıllarda Meksika ve A.B.D'de bir çok güçlendirme uygulamasında kullanılmışlardır. Örneğin, 1967 yılında imal edilen ve 1989 Loma Prieta depreminde hasar gören 2 katlı Wells Forga Bankasına ait San Francisco'daki betonarme binanın güçlendirilmesinde ADAS sönümleyiciler kullanılmıştır. Gerçekleştirilen doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen bilgiler Şekil 1.4'de verilmiştir.



Şekil 1.4. Wells Forga Bankası'nın ADAS Sönümleyiciler ile güçlendirilmesi (Perry ve diğ., 1993)

Yakın geçmişte geliştirilen bir diğer sistemde burkulması önlenmiş çapraz sistemleridir. Bu sistem, çekme ve basınç etkisindeki çelik çubuk ile bu çubuğu çevreleyen bir tüp içerisindeki betondan meydana gelmektedir. Çelik çubuk ile beton yüzeyi arasında aderans oluşumunu engelleyici kimyasal bir katman oluşturulması ile çelik çubuk hem çekme hem de basınç etkisi altında plastik deformasyon yaparak enerji tüketir. Betonu saran çelik tüp, betonun basınç etkisi altında dağılmasını engelleyerek sargı etkisi oluşturur. Bu sistemler şiddetli depremlerde hasar görürler ve bu yüzden değiştirilebilmeleri gerekmektedir. Ancak, beton içerisindeki çelik çubuktaki hasarın tespit edilmesi çok kolay değildir. Bu sisteme ait bir görünüş Şekil 1.5'de verilmiştir. Ayrıca çok yönlü eğilmeli çelik sönümleyiciler, çok yönlü burulmalı histeretik sönümleyiciler gibi bu grupta yer alan yeni nesil sönümleyiciler de birçok uygulamada kullanılmaktadır. (Dicleli, 2010).

Burkulması önlenmiş çaprazların uygulanmasına örnek olarak, Salt Lake City de yer alan ve 27 870 m^2 lik inşaat alanına sahip 8katlı betonarme Wallace F.Benneth Federal binasının güçlendirilmesi verilebilir. Güçlendirme projesinde göz önüne alınacak performans hedefleri ve deprem düzeyi FEMA-356 ve ATC-1197b dökümanlarına göre belirlenmiştir. Yapıda, 917 kN ile 8477 kN aralığında kapasiteye, 3.4 m ile 8.8 m aralığında uzunluğa sahip toplam 344 burkulması önlenmiş çapraz eleman, yapı kullanımını aksatmayacak şekilde bina dış cephesi boyunca yerleştirilmiştir (Şekil 1.6).



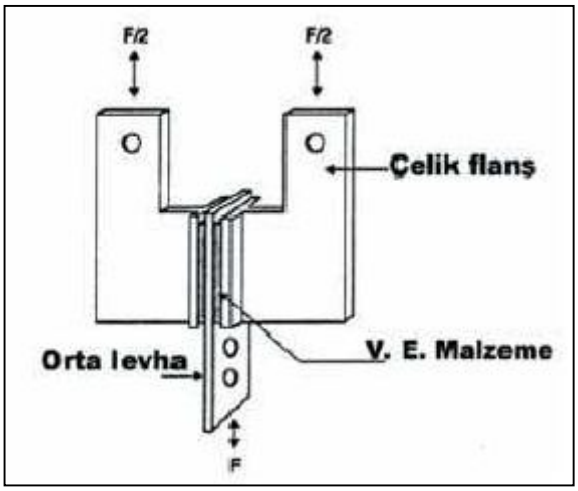
Şekil 1.5. Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlara ait kesit detayı (Clark ve diğ., 1999)



Şekil 1.6. Burkulması Önlenmiş Çelik Çapraz yerleşimi (Brown ve diğ., 2001)

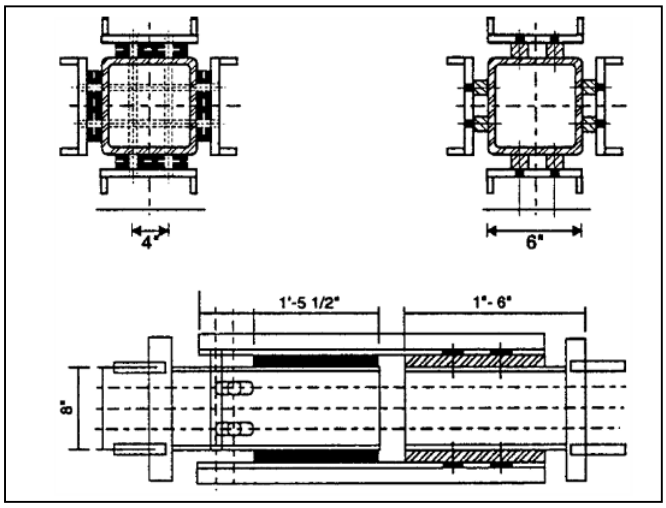
1.1.2. Viskoelastik sönümleyiciler

Viskoelastik sönümleyiciler, viskoelastik polimerlerde meydana gelen kayma deformasyonu ile enerji tüketirler. Şekil 1.7'de gösterilen kesitte, viskoelastik katmanlar ile çelik plakalardan meydana gelen tipik bir viskoelastik sönümleyici gösterilmiştir. Yapıda titreşimlerin başlamasıyla, çelik plakalar ile viskoelastik katmanlar birbirlerine rölatif olarak hareket ederek, viskoelastik elemanlarda kayma deformasyonu oluşur. Bu tip sönümleyicilerin kullanımında lineer davranış nedeniyle yapısal modelleme nispeten kolaydır. Bunun yanında merkezleme etkisine sahip olup, yapıda meydana gelebilecek kalıcı deformasyonlar önlenebilir. Bu sistemlerin en önemli dezavantajları ise deplasman kapasitelerinin sınırlı oluşu ve özelliklerinin çevresel ısı ve salınım frekansından etkilenebilmeleridir.



Şekil 1.7. Viskoelastik Sönümleyici detayı (Soong ve Spencer, 2002)

Bu sönümleyiciler birçok uygulamada kullanılmışlardır. Örnek olarak, A.B.D'de yüksek sismik aktiviteye sahip San Jose bölgesinde bulunan Santa Clara Valilik binasının güçlendirme uygulamasında viskoelastik sönümleyiciler kullanılmıştır. Viskoelastik sönümleyicilerin kullanılmasıyla mevcut yapının viskoz sönüm oranı arttırılarak, yapının sismik tepkisinde önemli azalmalar elde edilmiştir. Şekil 1.8'de bu sisteme ait kesit görünüşü verilmiştir.



Şekil 1.8. Santa Clara Valilik Binasının Güçlendirilmesinde kullanılan viskoelastik sönümleyici detayı (Crosby ve diğ., 1994)

Bir diğer uygulamada, Los Angeles'da yer alan,18 000 m^2 inşaat alanına sahip 4 katlı LAPD spor merkezinin 1998 yılındaki güçlendirme projesidir. Söz konusu yapının mevcut taşıyıcı sistemi moment aktaran çelik çerçevelerden oluşmaktadır. Güçlendirme çalışması kapsamında toplam 44 adet V tipi çapraz düzenine sahip viskoelastik sönümleyici kullanılmıştır. Güçlendirme sonrasında, sistemin sönüm oranı arttırılarak, tasarım depremi altında maksimum göreli kat ötelemesi yaklaşık 1% civarında olması ve binanın elastik düzeyde kalması sağlanmıştır.

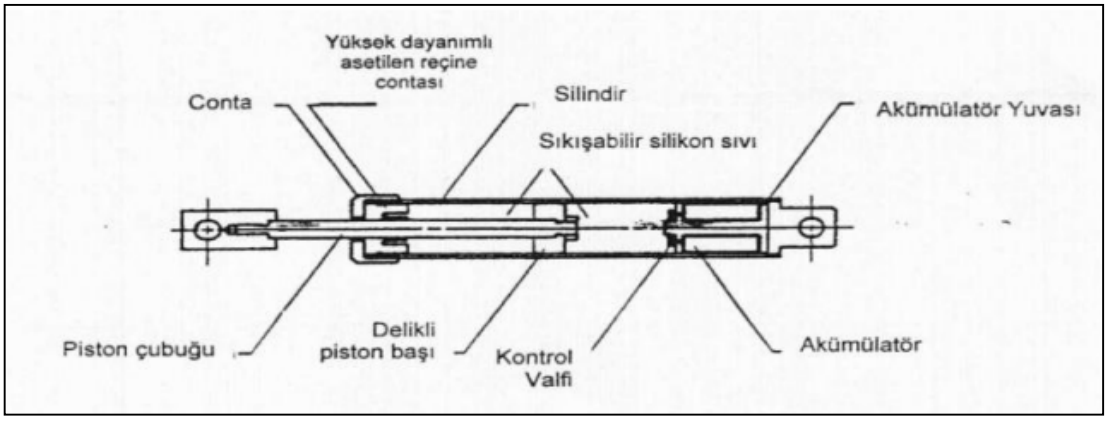


Şekil 1.9. LAPD Spor Merkezi Görünüşü, ve V tipi çapraz düzenine sahip viskoelastik sönümleyici yerleşimi (Kanitkar ve diğ., 1998)

1.1.3. Viskoz sönümleyiciler

Savunma ve uzay sanayilerinde uzun yıllardır kullanılmakta olan bu mekanizma, inşaat mühendisliği alanına adapte edilerek geliştirilmişlerdir. Uygulamada en çok duvar tipi ve viskoz sönümleyiciler kullanılmaktadır. Duvar tipi sönümleyiciler, Japonya'da yer alan Sumitomo şirketi tarafından geliştirilmiş olup, çelik bir kafes içerisinde yer alan yüksek viskoziteye sahip bir akışkan içerisindeki plakanın hareketinden meydana gelmektedir. Viskoz sönümleyiciler ise, silikon veya benzer türdeki bir yağ ile dolu olan bir tüpün içerisindeki pistonun hareketi ile meydana gelmektedir (Şekil 1.10). Piston üzerinde küçük boyutlarda bir çok delik yer almakta olup, pistonun hareketi ile birlikte akışkan bu deliklerin içerisinde yer değiştirir. Viskoz sönümleyiciler, düşük deplasmanlarda aktive edilirler ve yapı itibari ile lineer davranış özelliğine sahiptirler. Bu sönümleyiciler periyodik kontrol ve bakım gerektirmesinin yanında, diğer sönümleyicilere kıyasla daha maliyetlidirler.

Viskoz sönümleyiciler son yıllarda birçok yapıda uygulanmışlardır. Örneğin, 1995 yılında gerçekleştirilen bir uygulamada San Bernardino Hastane Kompleksinde sismik izolatörler ile birlikte kullanılmışlardır.5 ayrı binadan oluşan komplekste 1400 kN kapasiteli toplam 233 sönümleyici kullanılmıştır (Asher ve diğ., 1996).



Şekil 1.10. Viskoz Sönümleyici detayı (Soong ve Constantinou, 1994)

Bir diğer örnekte ise, 57 katlı çelik ve betonarme taşıyıcı sistemlerin bir arada kullanıldığı ofis ve otel binası olarak hizmet veren Mexico City'de yer alan Torre Mayor Binasıdır. Yapı hali hazırda Latin Amerika'nın en yüksek binasıdır. Binanın tasarımı, performansa dayalı tasarım yöntemleri ile gerçekleştirilmiş olup performans hedefi, tasarım depremi altında minimum hasar olarak belirlenmiştir. Binanın

merkezinde 2670 kN kapasiteye sahip 72 adet ve iki cephesinde 5340 kN kapasiteye sahip 24 adet viskoz sönümleyici kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1.11. a) Torre Major Binası dış görünüşü, b) Viskoz Sönümleyici yerleşimi ait görünüş (Rahimian ve Romero, 2007)

1.1.4. Genel prensipler

Bu bölümde öncelikle pasif kontrol sistemlerini içeren tek serbestlik dereceli sistemler incelenerek, kontrol sistemlerinin mevcut sisteme etkileri açıklanmıştır. Her ne kadar yapıların dinamik davranışını anlamak açısından fikir verseler de, yapının tek serbestlik dereceli bir sistem olarak idealize edilerek ele alınması çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden pasif kontrol sistemlerini içeren çok serbestlik dereceli sistemler de açıklanmaya çalışılmıştır. Son olarak, geleneksel kuvvet bazlı tasarım yöntemlerine alternatif olarak, enerji bazlı tasarım konsepti incelenmiş olup, kontrol sistemlerini içeren yapılar için farklı bir bakış açısı oluşturulmuştur.

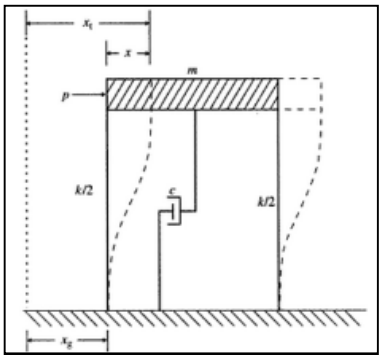
Zamana bağlı f(t) dış yüküne maruz tek serbestlik dereceli bir sistem için hareket denklemi, Denklem (1.1)'de verilmiştir (Şekil 1.12). Bu denklemde yer alan m ifadesi kütleyi, k ifadesi elastik rijitliği, c ifadesi ise lineer viskoz sönümü göstermektedir.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \tag{1.1}$$

f(t) dış yükünün bir deprem etkisi olması durumunda,

$$f(t) = -m\ddot{x}_g(t) \tag{1.2}$$

olarak verilir ve Denklem (1.1) ifadesinde gösterilen sistem özeliklerinin bilinmesi durumunda $\ddot{x}_g(t)$ nin her bir zaman adımı için bu denklem farklı yöntemler kullanılarak çözülebilir.

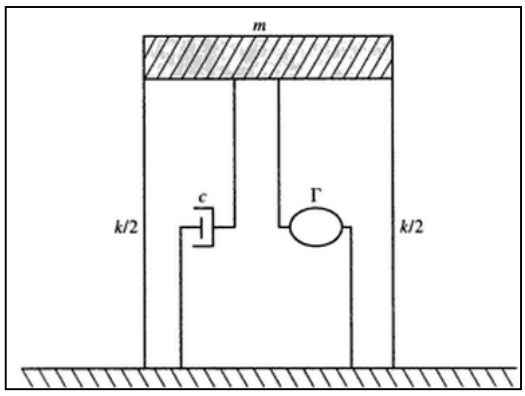


Şekil 1.12. Tek Serbestlik Dereceli Sistem Modeli

Denklem (1.1)'de tanımlanan tek serbestlik dereceli sisteme, pasif kontrol sistemi eklendiğinde sistem davranışı bu mekanizma tarafından değiştirilmektedir. Şekil 1.13'de modeli görülen bu duruma ait davranışın incelenmesi, Denklem (1.1)'deki hareket denklemi içerisine sönümleyiciye ait ilgili terimlerin ilave edilmesi ile gerçekleştirilir (Denklem 1.3).

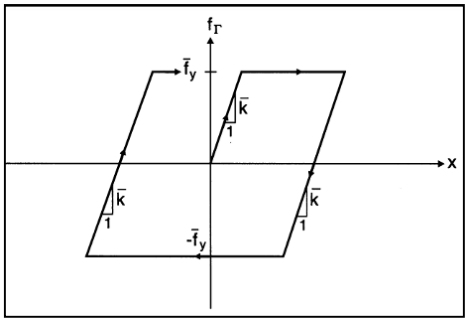
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + \Gamma x = -(m+\bar{m})\ddot{x}_g \qquad (1.3)$$

Burada Γ ile pasif kontrol (sönüm) elemanına ait jenerik büyüklük , $\bar{m}$ ile kontrol elemanın kütlesi ifade edilmektedir.



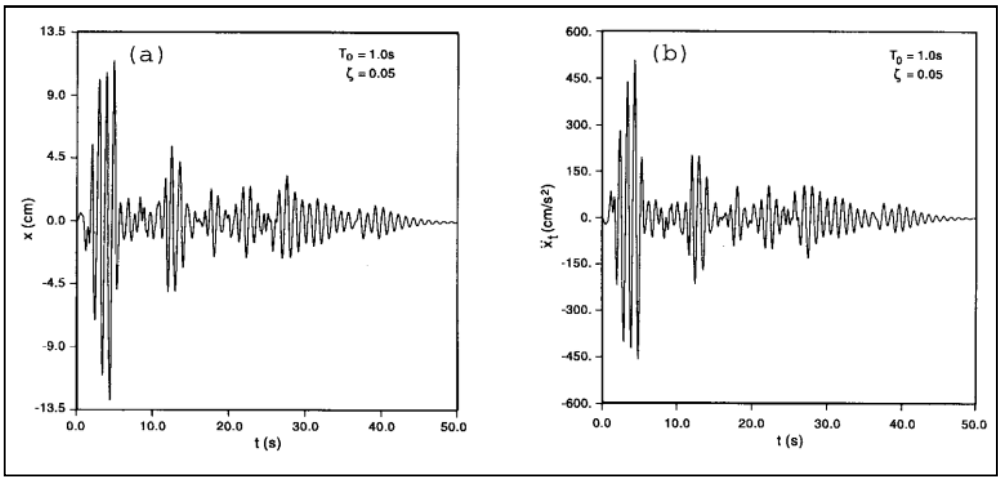
Şekil 1.13. Kontrol elemanın Tek Serbestlik Dereceli Sistem Modelinde temsil edilmesi

Denklem (1.3)'ün çözülmesi için Γ_x'in özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir ve bu özellik kontrol sisteminin çalışma mekanizmasına bağlı olarak değişmektedir. Pasif kontrol sistemleri için bu özellik yük-deplasman ilişkisi ile ifade edilmekte olup, Şekil 1.14'de deplasman duyarlı pasif sönümleyicilere ait örnek bir yük-deformasyon ilişkisi verilmiştir.

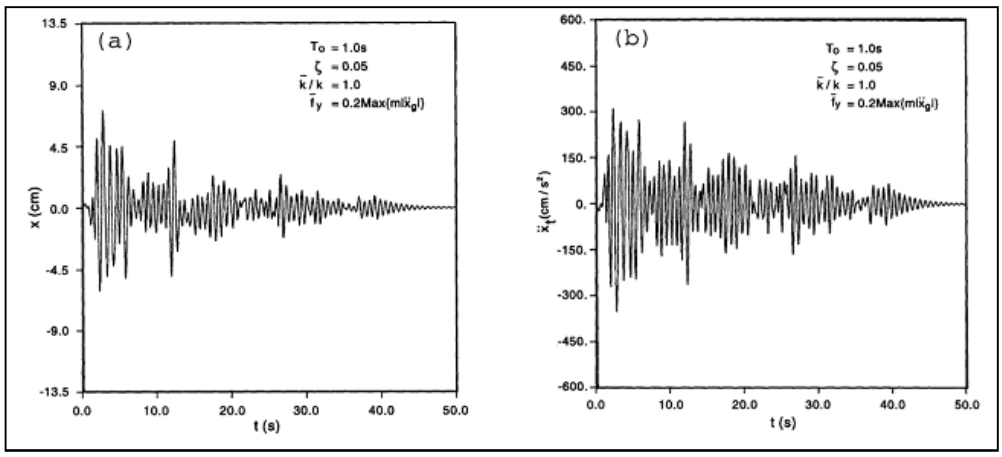


Şekil 1.14. Pasif sönümleyiciye ait örnek yük - deplasman ilişkisi

Konunun daha açık bir şekilde anlaşılması için tek serbestlik dereceli bir sistemde Soong tarafından gerçekleştirilen çalışma örnek olarak ele alınmıştır. Bunun için ξ = 0.05 viskoz sönüm oranına sahip bir yapıya kütlesi bulunmayan metalik bir pasif sönümleyici eleman eklenmiştir. Sönümleyici elemanın yük–deplasman ilişkisi Şekil 1.14'de verilen yük-deplasman grafiğine benzer olup, f_y değeri uygulanan deprem kaydının en büyük yer ivmesi değerinin 20% si olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan deprem kaydı 1940 El Centro S00E kuvvetli yer hareketi kaydı olarak seçilmiştir. Sönümleyici bulunmayan ve sönümleyici içeren tek serbestlik dereceli sistemler için elde edilen ivme–zaman ve deplasman–zaman geçmişleri Şekil 1.15 ve 1.16'da verilmiştir.

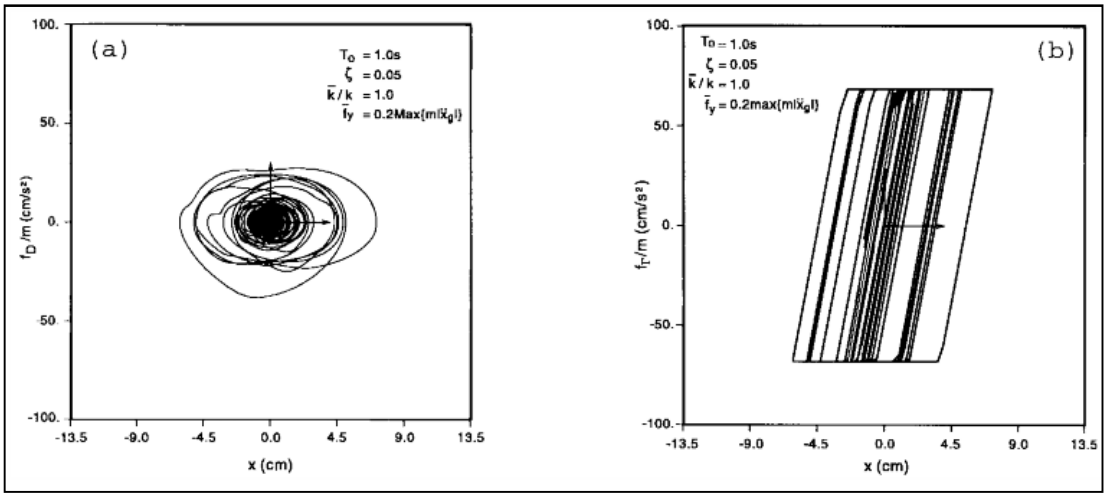


Şekil 1.15. Sönümleyicisiz TSD sisteme ait tepkiler a) Deplasman –zaman, b) İvme-zaman geçmişi (Soong ve Dargush, 1999)



Şekil 1.16. Sönümleyicili TSD sisteme ait tepkiler a) Deplasman –zaman, b) İvme-zaman geçmişi (Soong ve Dargush, 1999)

Elde edilen sonuçlara göre her iki sistemin davranışı oldukça farklı olup, sistemin ulaştığı en büyük deplasman ve ivme değerlerinde belirgin düşüşler söz konusudur. Aynı inceleme, metalik sönümleyici yerine viskoz sönümleyiciyle de gerçekleştirilmiş olup, yük-deplasman çevrimleri birbirleri ile kıyaslanmıştır. Metalik sönümleyicinin yük-deplasman çevrimlerinin incelenmesiyle, viskoz sönümleyiciye göre çok daha fazla enerji tükettiği ifade edilmiştir.



Şekil 1.17. Farklı sönümleyiciler içeren TSD sistemin yük-deplasman çevrimleri, a) Viskoz Sönümleyici, b) Metalik Sönümleyici (Soong ve Dargush, 1999)

Sonuç olarak, sistemdeki yük ve deplasmanlarda ciddi oranda azalmalar meydana gelmektedir. Sistemdeki sönümleyici elemanın davranışının gerçekçi bir şekilde elde edilebilmesi için, sistemin zamana bağlı maruz kaldığı yük etkisi altında uygun şekilde modellenmesi gerekmektedir. Bunun için de yapı elemanları ve sönümleyici elemanların matematiksel olarak idealize edilmesi gerekir. Bunun için, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak idealize edilen sistem, çok serbestlik dereceli olarak gerçeğe yakın bir şekilde temsil edilebilir. Zamana bağlı bir dış yük etkisi altında çok serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi,

$$[M]\ddot{x}+ [C]\dot{x}+ [K]x +[\Gamma]x= -([M]+[\bar{M}])\ddot{x}_g \qquad (1.4)$$

ile ifade edilir. Bu ifadede, [M] kütle matrisini, [C] sönüm matrisini, [K] rijitlik matrisini ve [Γ] ise sönüm elemanlarını temsil eden operatörü göstermektedir. Denklem (1.4)'deki ifade birçok farklı yöntem ile çözülebilmektedir. Kontrol sistemi

ivme, hız ve deplasman vektörlerinin doğrusal bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilirse;

$$[\Gamma]x = [\bar{M}]\ddot{x} + [\bar{C}]\dot{x} + [\bar{K}]x \tag{1.5}$$

Buna göre Denklem (1.4) tekrar yazılacak olursa,

$$[\hat{M}]\ddot{x} + [\hat{C}]\dot{x} + [\hat{K}]x = -[\hat{M}]\ddot{x}_g \tag{1.6}$$

İfadesine dönüşür. Bu ifadede yer alan,

$$[\hat{M}] = [M] + [\bar{M}] \tag{1.7a}$$

$$[\hat{C}] = [C] + [\bar{C}] \tag{1.7b}$$

$$[\hat{K}] = [K] + [\bar{K}] \tag{1.7c}$$

Olarak verilir ve denklem klasik yapı dinamiği matris problemine dönüşür. Denklem (1.5)'de N adet sabit katsayılı doğrusal ikinci dereceden denklemden meydana gelmektedir ve bu denklemler ayrık bir formda değillerdir. Doğal olarak bu diferansiyel denklemleri çözmek zor ve zaman alıcıdır. Bunun yerine mod süperpoziyonu yöntemi ile uygun bir şekilde modal dönüşüm uygulanarak ifade, N adet ayrık denkleme dönüştürülür ve oldukça hızlı ve hassas bir şekilde çözüme gidilir.

Yukarıda verildiği üzere hem tek serbestlik hem de çok serbestlik dereceli sistemler için gerçekleştirilecek olan analizler sonucunda elde edilecek olan en önemli parametreler deplasman, hız, ivme ve iç kuvvet geçmişleri olmaktadır. Ancak, yapısal kontrol sistemleri gibi ileri teknolojiler için bazı durumlarda sadece bu parametreler yeterli olmayabilmektedir. Tasarım sırasında enerjinin de ele alınmasıyla birlikte, sadece deprem yüklerine dayanıklı bina tasarımı yerine, binaya etkiyen enerji ve bu enerjinin ne kadarının kontrol sistemleri tarafından tüketildiğinin bilinmesi tasarım mühendisine farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Aslında, bu enerji konsepti çok yeni bir konsept olmayıp, Housner tarafından on yıllarca önce geleneksel yapılar için bile önerilmiştir (Housner, 1956).

Verilen ifadeler, yapısal kontrol sistemlerinin yer aldığı binaların enerji tüketimi ile ilgili davranışını anlayabilmek adına oldukça faydalıdır.

Şekil 1.13'de yer alan ve yapısal kontrol sistemlerini içeren tek serbestlik dereceli sistemler enerji konsepti ile incelenebilir. Tek serbestlik dereceli bir sistemin enerji denklemini yazmak için, hareket denkleminin her bir terimi deplasman–zaman geçmişi için entegre edilir ve Denklem (1.9) ve (1.20) elde edilir.

$$E_K + E_D + E_S = E_I \tag{1.8}$$

$$E_K = \int m\,\ddot{x}\,dx = \frac{m\dot{x}^2}{2} \tag{1.9a}$$

$$E_D = \int c\,\dot{x}\,dx = \int c\,\dot{x}^2\,dt \tag{1.9b}$$

$$E_S = \int k\,x\,dx = \frac{kx^2}{2} \tag{1.9c}$$

$$E_I = \int f\,dx \tag{1.9d}$$

Bu ifadelerde yer alan E_K, sistemin kinetik enerjisi, E_D lineer viskoz sönüm tarafından tüketilen enerjiyi, E_S elastik birim şekil değiştime enerjisini ve E_I'da sisteme giren enerjiyi göstermektedir. Denklem (1.8)'de verilen ifadeye göre, her bir zaman aralığında denklemin sol tarafındaki terimlerin toplamı sisteme giren enerjiye eşit olmalıdır. Ayrıca Denklem (1.9)'da verilen ifadelere dikkat edilecek olursa her bir enerji terimi zamana bağlı olup, bu eşitlik her bir zaman adımı içinde eşit olmalıdır.

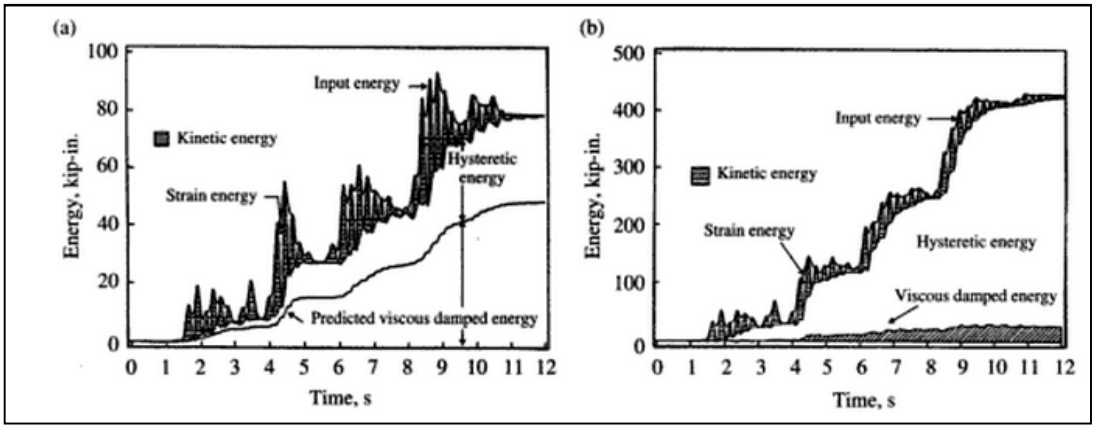
Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı konsepti açısından, şiddetli bir deprem etkisi altında yapının tamamen elastik olarak kalması pratik anlamda gerçek dışı bir durumdur. Bunun yerine, yapı elemanlarında bir miktar hasarın oluşmasını kabul ederek, yapının toptan göçmesi engellenir. Bu durumda depremin girdi enerjisi, basitçe ifade etmek gerekirse Denklem (1.10a) ve (1.10c)'de verilen yapının elastik şekil değiştirme kapasitelerinin aşılmasına sebep olur. Bu kapasitenin aşılmasından sonra yapının bazı kısımlarında akmalar ve çatlamalar gözlemlenir. Sistemin dinamik özellikleri değişir ve Denklem (1.1) doğrusal olmayan davranışı da göz önüne alacak şekilde yeniden düzenlenir.

$$E_S = E_{S_e} + E_{S_p} \quad (1.10)$$

$$E_K + E_D + E_{S_e} + E_{S_p} = E_I \quad (1.11)$$

E_{S_e} ifadesi elastik birim şekil değiştirme enerjisini, E_{S_p} ise plastik birim şekilde enerjisini göstermektedir.

Yukarıdaki ifadeleri açıklamak adına Uang ve Bertero tarafından yapılan çalışma kısaca özetlenmiştir. Merkezi çaprazlı 6 katlı çelik taşıyıcı sisteme sahip ve 0.3 ölçekteki bir yapının enerji tepkisi hesaplanmıştır. Yer hareketi olarak Ken – Oki deprem kaydı seçilmiştir ve maksimum yer ivmesi 0.33g ye göre ölçeklendirilmiştir. Hasar görebilirlik sınır durumu için oluşturulan bir yük geçmişi ile sisteme önemli miktarda enerji girdisi meydana gelmiş ve bu enerji hem lineer viskoz sönüm hem de histeretik sönüm ile karşılanmıştır. Maksimum yer ivmesinin 0.65g ye göre ölçeklenmesi ile göçme sınır durumunu ifade eden diğer çalşmada, histeretik sönüm bileşeni tarafından tüketilen enerji miktarı daha da artmıştır (Şekil 1.18).

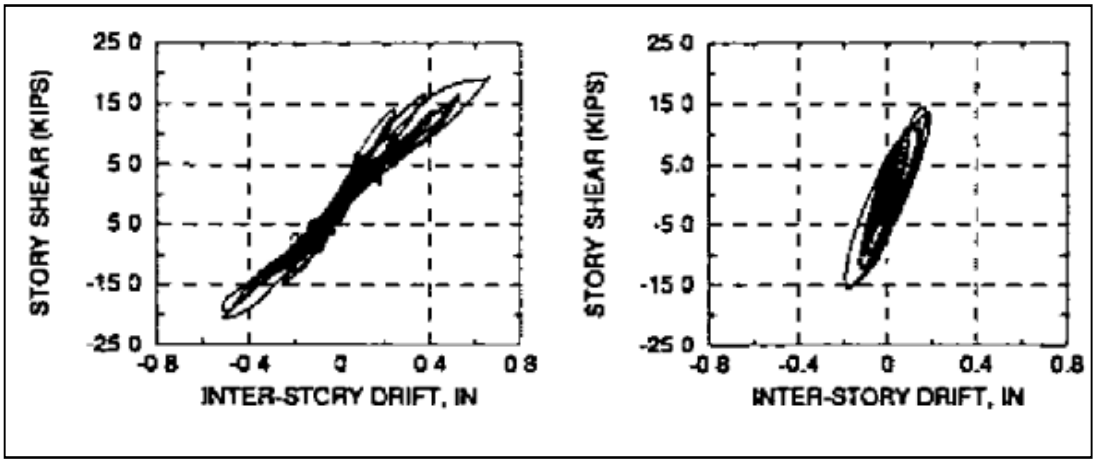


Şekil 1.18. Geleneksel Yapıya ait Enerji Tepkisi, a) Hasar görebilirlik durumu, b) Göçme sınır durumu (Uang ve Bertero, 1986)

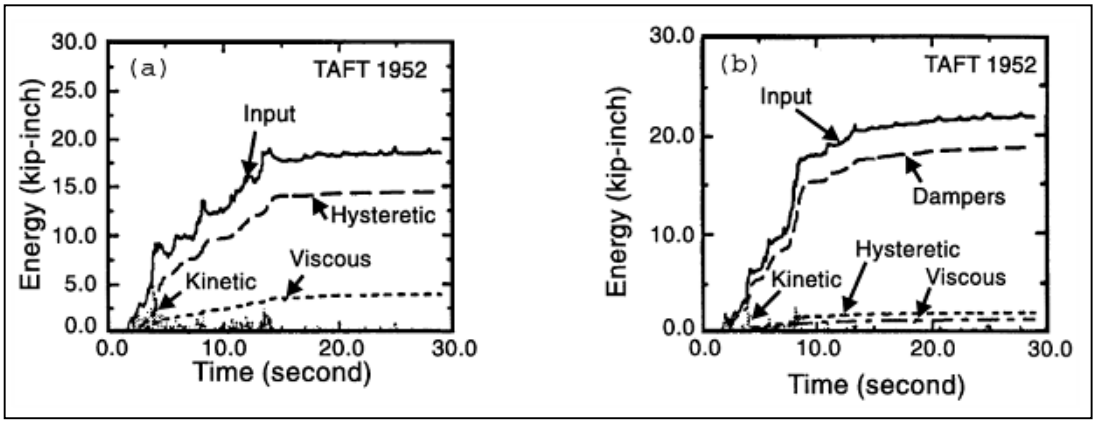
Enerji bazlı depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından, sistemde meydana gelecek histeretik enerjiyi minimize etmek mümkündür. Bu anlamda iki önemli yaklaşım ön plana çıkmaktadır. Bunlarda ilki sisteme gelecek olan girdi enerjisinin azaltılması yöntemidir. Taban yalıtımı sistemleri günümüzde bu işlevi sağlamak açısında kullanılmaktadır. İkinci yöntem ise pasif veya aktif kontrol sistemleri kullanarak yapıya ek enerji tüketim mekanizmalarının eklenmesidir.

Bu elemanlar, girdi enerjisinin bir kısmını tüketerek yapı elemanlarında meydana gelecek hasarı azaltacak şekilde tasarlanmaktadırlar.

Örnek olarak (Bracci ve diğ.,1993) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kontrol sistemlerinin, sistemin enerji tepkisine olan etkisi araştırılmıştır. Bunun için 1/3 ölçekte ve betonarme çerçevelerden oluşan bir bina 1952 Taft N21E deprem kaydı için test edilmiştir. Sisteme gelen enerjinin büyük bir çoğunluğu yapı elemanlarının çatlaması ve plastik mafsalların oluşması sonucu meydana gelen histeretik enerji ile karşılanmıştır. Diğer taraftan viskoelastik sönümleyicilerin eklenmesi ile yapı elemanlarındaki hasar seviyesi sınırlı kalmış ve histeretik enerji bileşeni tarafından karşılanan enerji miktarı önemli ölçüde azalmıştır (Şekil 1.19 ve 1.20).



Şekil 1.19. Kat kesme kuvveti – göreli kat ötelemeleri ilişkisi, a) Sönümleyicisiz durum, b) Sönümleyicili durum (Bracci ve diğ.,1993)

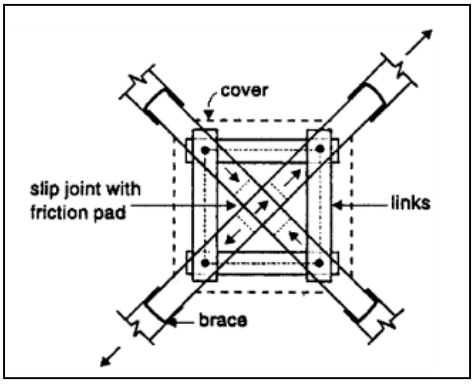


Şekil 1.20. Enerji Tepkisi – Zaman İlişkisi, a) Sönümleyicisiz durum, b) Sönümleyicili durum (Bracci ve diğ., 1993)

1.2. Sürtünme Sönümleyiciler

Sürtünme sönümleyiciler, iki katı cismin birbirlerine göre rölatif hareketi sırasında temas yüzeylerinde meydana gelen sürtünme ile enerji tüketirler. Örneğin, oval delikli-bulonlu tipi sürtünme sönümleyicilerde, çelik plakaların öngerme kuvveti verilerek birbirlerine bulonlanması ile meydana gelmektedir. Verilen öngerme kuvveti ile önceden belirlenen statik sürtünme kuvveti değerinin aşılmasından sonra çelik plakalar birbirlerine göre rölatif olarak kayarlar. Temas yüzeylerinde meydana gelen kayma hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvvetinin ve kayma deformasyon kapasitesinin stabil bir şekilde korunması amacıyla farklı yüzey malzemeleri kullanılmaktadır.

Günümüzde birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılan bir diğer sürtünme sönümleyici tipi de Pall sürtünme sönümleyicileridir. Bu sistemde, sürtünme mekanizması X tipindeki çelik çaprazların birleşimlerinin merkezinde yer almaktadır. Sönümleyici, çapraz elemanlarına bulonlar ile bağlanır ve yatay yük etkisi altında, çapraz elemanlardan iki tanesi basınca çalışırken diğer ikisi çekme kuvvetine maruz kalır. Merkezde yer alan sönümleyici paralel kenar formuna dönüşerek deforme olur ve enerji tüketir (Şekil 1.21).



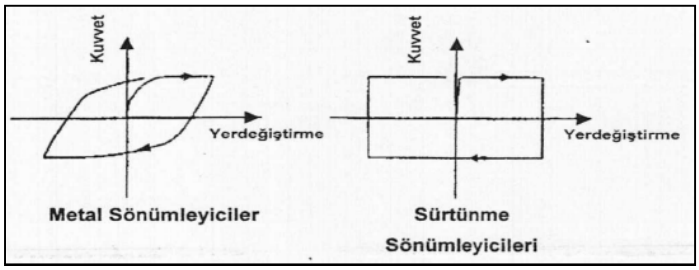
Şekil 1.21. Pall Sürtünme Sönümleyici (Pall ve diğ., 2004)

Pall ve Marsh tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, sürtünme sönümleyicilerin davranışının Coulomb sürtünme modeli ile basit bir şekilde temsil edilebileceği görülmüştür. Coulomb sürtünme modeline göre,

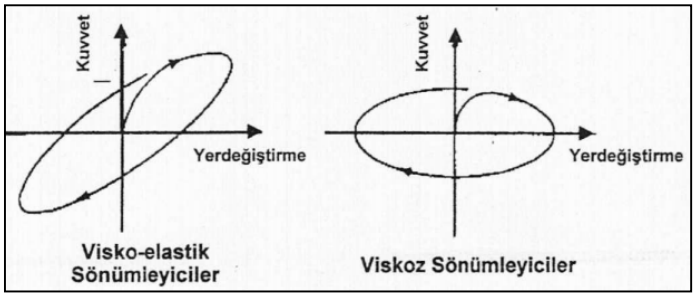
$$P=\mu N \operatorname{sgn}(\dot{u}) \qquad (1.12)$$

ile tanımlanmaktadır. Bu ifadede μ = Sürtünme Katsayısı, N = Normal Kuvvet'ini ve $\dot{u}$ ise hızı göstermektedir. Coulomb modeline göre normal kuvvet ve sürtünme katsayısı zamandan bağımsız olarak sabit kalmaktadır. Ancak, pratikte bu durumun geçerli olması oldukça zordur ve bu yüzden sönümleyici elemandaki sürtünme kuvveti değişebilmektedir. Bu durum tasarım sırasında diğer yapısal parametreler gibi göz önüne alınmaktadır.

Sürtünme sönümleyicilerin, tersinir ve tekrarlı yükler altında yük–deformasyon ilişkisi simetriktir. Şekil 1.22'de görüldüğü üzere sürtünme sönümleyicilerin Yük–deformasyon eğrileri dikdörtgen şekline benzemekte olup, her bir çevrimde önemli miktarda enerji yutarlar. Özellikle diğer pasif sönümleyiciler ile karşılaştırıldığında, sürtünme sönümleyiciler ile daha efektif çözümler elde edilebilmektedir. Ancak, yük-deformasyon eğrisinin dikdörtgen şekline benzemesi, davranışının büyük ölçüde nonlineer olduğunu göstermektedir. Sönümleyiciler, taşıyıcı sisteme ilave rijitlik katarlar ve sönümleyicilerin yük kapasitesi aşılana kadar taşıyıcı sistemde oluşacak deformasyonları sınırlı düzeyde tutarlar. Ayrıca, sürtünme sönümleyiciler sistemde oluşacak rölatif hız ve depremin frekans içeriğinden etkilenmemektedirler.



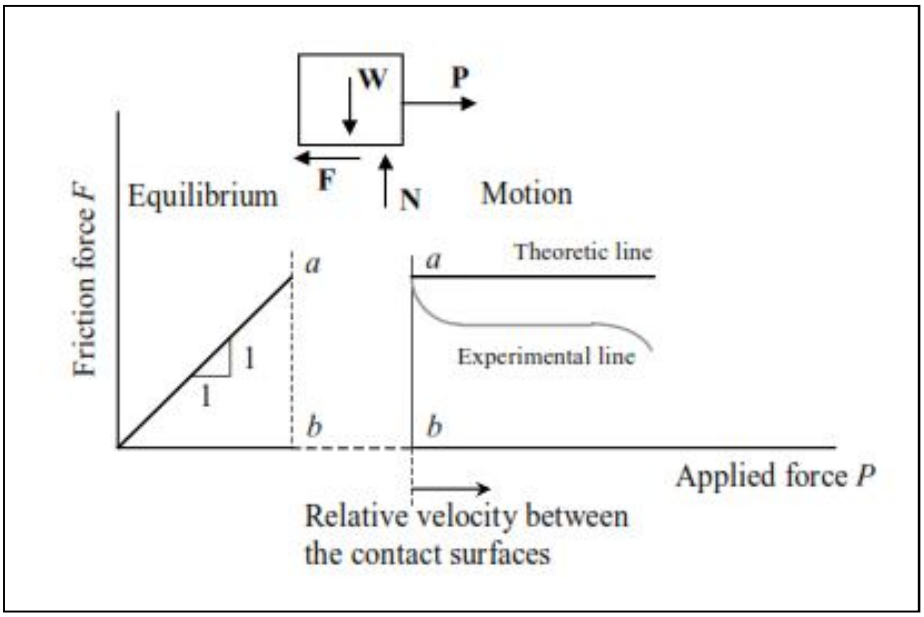
Şekil 1.22. Deplasman Duyarlı Sönümleyicilerin yük – deforrmasyon grafikleri, a) Metalik Sönümleyiciler, b)Sürtünme Sönümleyiciler



Şekil 1.23. Hız Duyarlı Sönümleyicilerin yük–deforrmasyon grafikleri, a) Viskoelastik Sönümleyiciler, b) Viskoz Sönümleyiciler

1.2.1. Sürtünme teorisi

Sürtünme ile ilgili ilk bilimsel çalışmalar Da Vinci, Amontons, ve Coulomb'un çalışmalarına kadar uzanır. Şekil 1.24'de, düz bir yüzey üzerinde yatay olarak hareket eden bir cisim üzerinde oluşan kuvvetler gösterilmiştir. Buna göre W cismin ağırlığını, F kayma yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvvetini, N normal kuvveti (N=W) ve P'de cisme uygulanan kuvveti göstermektedir. Sürtünme kuvveti F, daima cismin hareketine ters yönde oluşmakta olup, statik sürtünme kuvveti P kuvvetinin artmasına bağlı olarak artmaktadır. Statik sürtünme kuvveti, dengeyi meydana getiren minimum sürtünme kuvveti olup cismin hareketini önlemektedir. Kayma hareketi başlar başlamaz F kuvveti sabit kalırken, kinetik sürtünme kuvveti değişmektedir. Ancak, teorik olarak basitleştirme adına sabit olduğu kabul edilir.



Şekil 1.24. Sürtünme Kuvveti – Yük ilişkisi

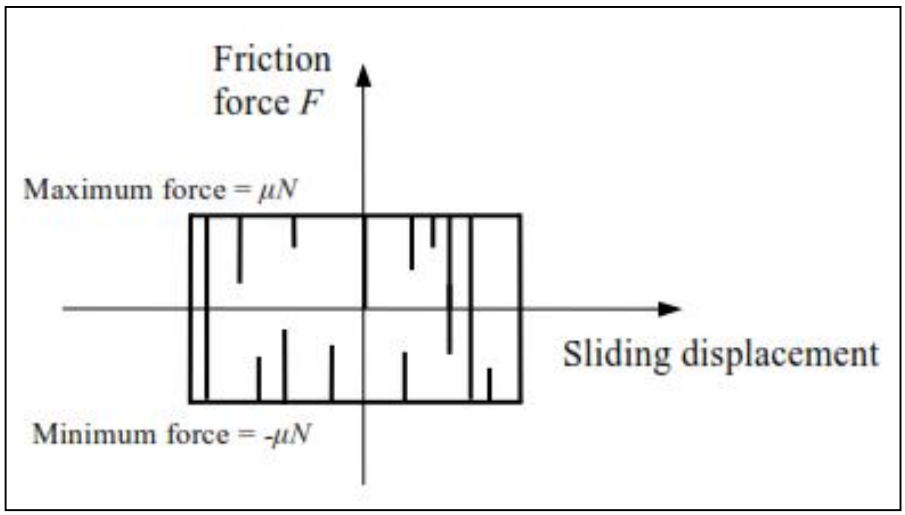
Sürtünme teorisi fiziksel deney ve gözlemlerden elde edilen basit hipotezlere dayanmaktadır. Bu hipotezler,

- Maksimum sürtünme kuvveti, normal kuvvet ile doğru orantılıdır.
- Maksimum statik sürtünme kuvveti, maksimum kinetik sürtünme kuvvetinden büyüktür.
- Sürtünme kuvveti, düşük hızda gerçekleşen kayma hareketi durumunda hızdan bağımsızdır.

İki yüzey arasında kaymanın henüz başladığı andaki maksimum statik sürtünme kuvveti, F_{mak} ile gösterilecek olursa, F_{mak} ın normal kuvvet olan, N'e oranına statik sürtünme katsayısı ,μ denir (Denklem 1.13).

$$\mu = \frac{|F_{mak}|}{N} \tag{1.13}$$

Denklem (1.13)'deki ifadeye Coulomb Sürtünme Modeli adı verilmektedir. Coulomb sürtünme modeli, sürtünme sönümleyiciler için teorik altyapıyı sağlamaktadır. Ancak, pratikte Coulomb Sürtünme Modeli yaklaşık olarak doğrudur ve uygulamadaki gerçek davranış teoride verildiği kadar basit değildir.



Şekil 1.25. Sürtünme Kuvveti – Deformasyon İlişkisi

Denklem (1.13)'deki ifadede sürtünme katsayısı, μ sabit olarak verilmesine karşın, sürtünmenin gerçekleştiği yüzeyin malzeme özelliklerine ve yüzey şartlarına bağlıdır. Sürtünmenin gerçekleştiği yüzeylerde zaman içerisinde yaşanabilecek fiziksel ve kimyasal olaylar neticesinde bu değer değişkenlik gösterebilir. Buna göre, zaman içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda yukarıda verilen hipotezlere bazı düzeltmeler ve ilaveler yapılmıştır. Bunlar,

- Çok düşük basınç etkisi altında ve/veya aşırı deformasyon üretebilecek yüksek basınç altında, statik sürtünme katsayısı artmaktadır.
- Çok düşük hızda gerçekleşen kayma deformasyonu durumunda, kinetik sürtünme katsayısı artar ve statik sürtünme katsayısına eşit olur.

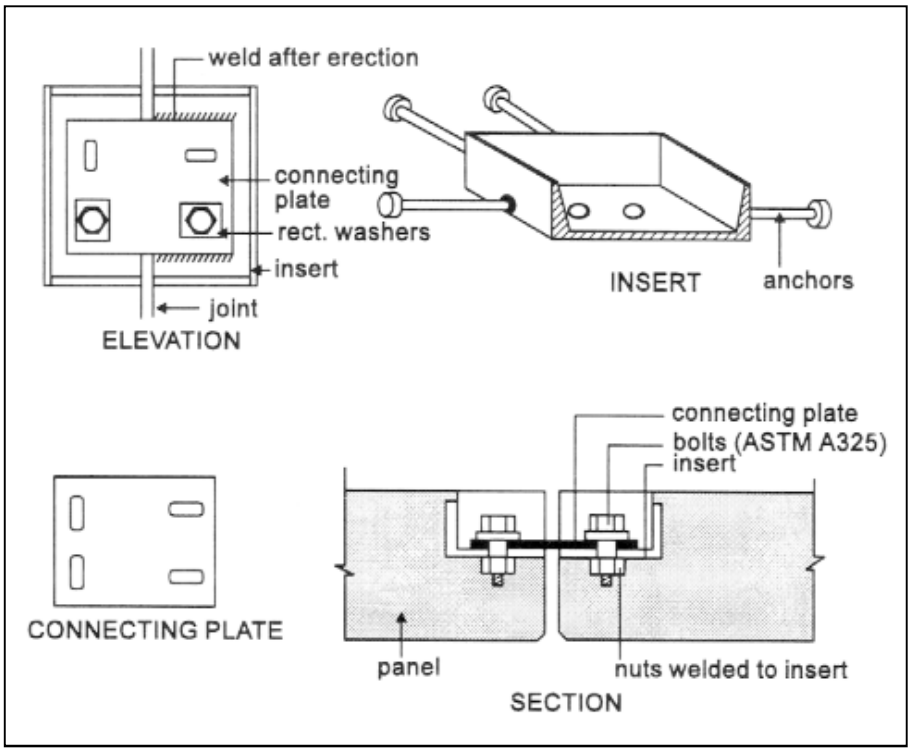
- Çok yüksek hızda gerçekleşen sürtünme hareketi sırasında, kinetik sürtünme katsayısı azalır.
- Kinetik sürtünme katsayısı, sıcaklık değişimlerinden etkilenmemektedir.

1.3. Sürtünme Sönümleyici Tipleri ve Uygulama Örnekleri

Sürtünme kuvveti, mühendislik yaşamında ilk olarak otomotiv sektöründe, araçların fren sistemlerinde kullanılmıştır. Pall A., bu mekanizmanın otomotiv sektöründe kullanılmasından esinlenerek, yapıların sismik davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla pasif sürtünme sönümleyicilerini geliştirmeye başlamıştır. Son yıllarda sürtünme sönümleyiciler yeni bina tasarımlarında ve güçlendirme uygulamalarında kullanılmaktadır. İlerleyen bölümlerde sürtünme sönümleyici tipleri ve bunlara ait uygulamalar verilmiştir.

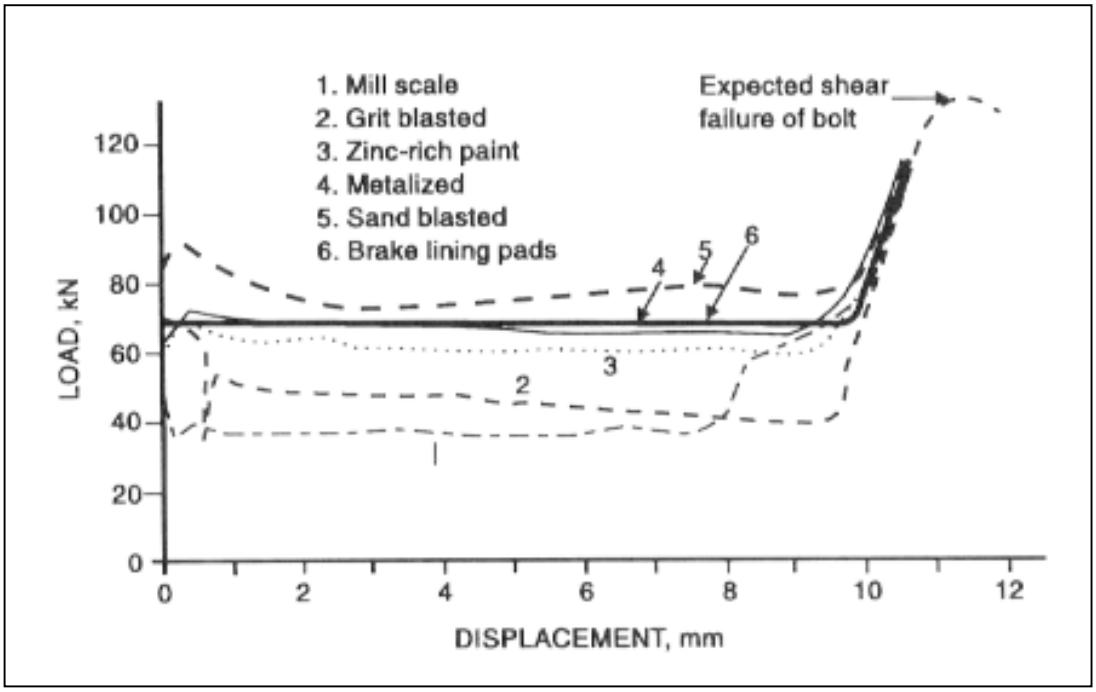
1.3.1. Bulonlu sınırlı kayma modülü

Pall ve Marshtarafından geniş panel tipi yapıların sismik kontrolü için tasarlanmıştır (Pall ve Marsh., 1980). Bulonlu sınırlı kayma modülü (LSB) iki çelik panel arasına bağlayıcı plaka yerleştirilmesinden meydana getirilmiştir (Şekil 1.26).



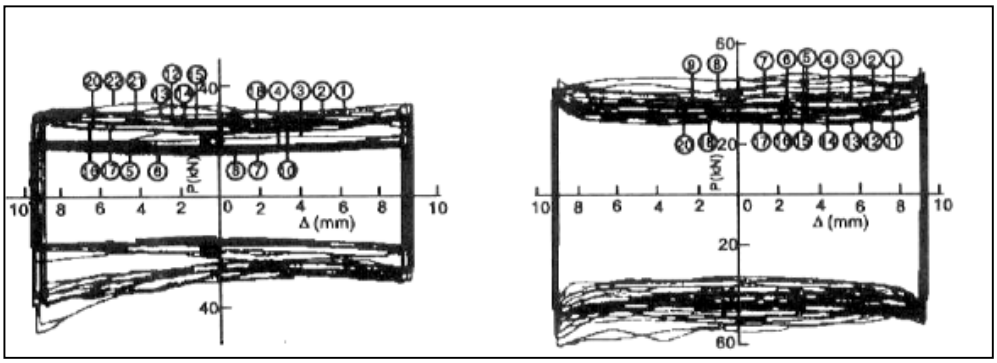
Şekil 1.26. Pall Bulonlu Sınırlı Kayma Modülü detayı (Pall ve Marsh, 1980)

Pall ve Marsh bu çalışma kapsamında farklı yüzeylere sahip birçok plakayı statik ve dinamik yüklemelere maruz bırakmıştır. Bu çalışmalar ile farklı yüzey özelliklerine sahip plakalar için tasarım yüklerini doğru bir şekilde tahmin etmeye çalışmışlardır (Şekil 1.27 ve 1.28).

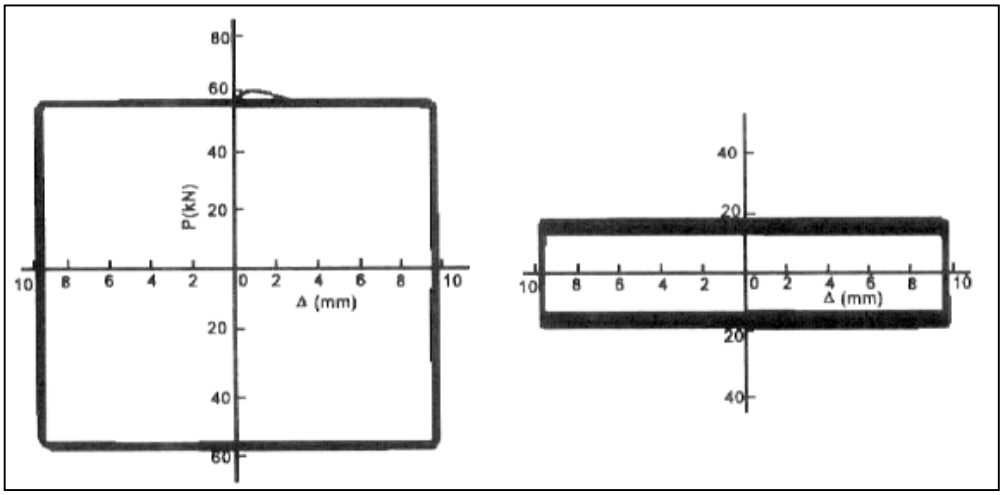


a)

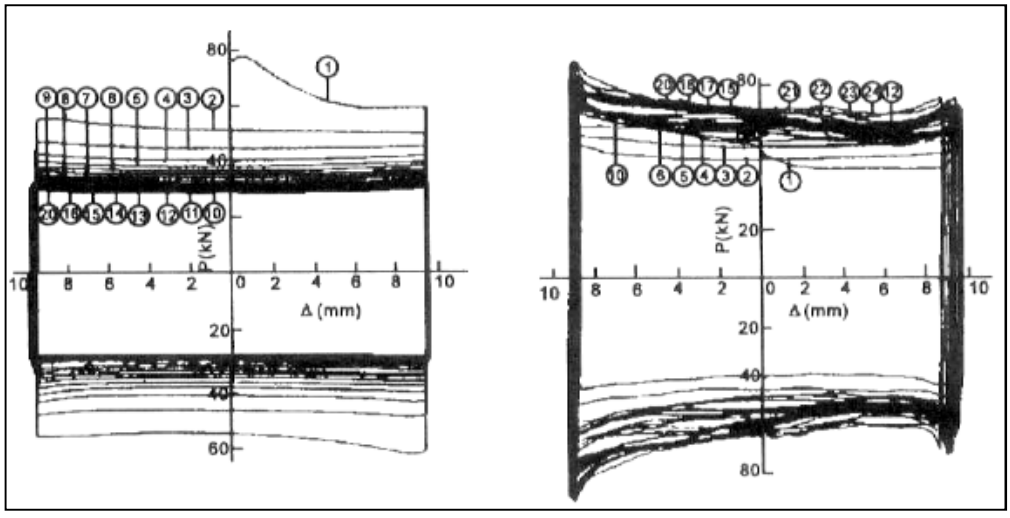
Şekil 1.27. Farklı temas yüzeyi özelliklerine sahip plakaların sürtünme davranışının incelenmesi (Pall ve Marsh, 2010), a) Farklı temas yüzeyine sahip plakaların sürtünme kuvveti-deformasyon ilişkisi b) Paslanmış Çelik Yüzeyi, c) Kum Püskürtülmüş Yüzey, d) Fren Balata sistemi, e) Polietilen Kaplama, f)İnorganik Çinko Esaslı Boya Kaplama, g) Metalik Yüzey



b) c)



d) e)



f) g)

Şekil 1.27. (Devam), Farklı temas yüzeyi özelliklerine sahip plakaların sürtünme davranışının incelenmesi (Pall ve Marsh,2010), a) Farklı temas yüzeyine sahip plakaların sürtünme kuvveti-deformasyon ilişkisi b) Paslanmış Çelik Yüzeyi, c) Kum Püskürtülmüş Yüzey, d) Fren Balata sistemi, e) Polietilen Kaplama, f)İnorganik Çinko Esaslı Boya Kaplama, g) Metalik Yüzey

1.3.2. Pall sürtünme sönümleyicileri

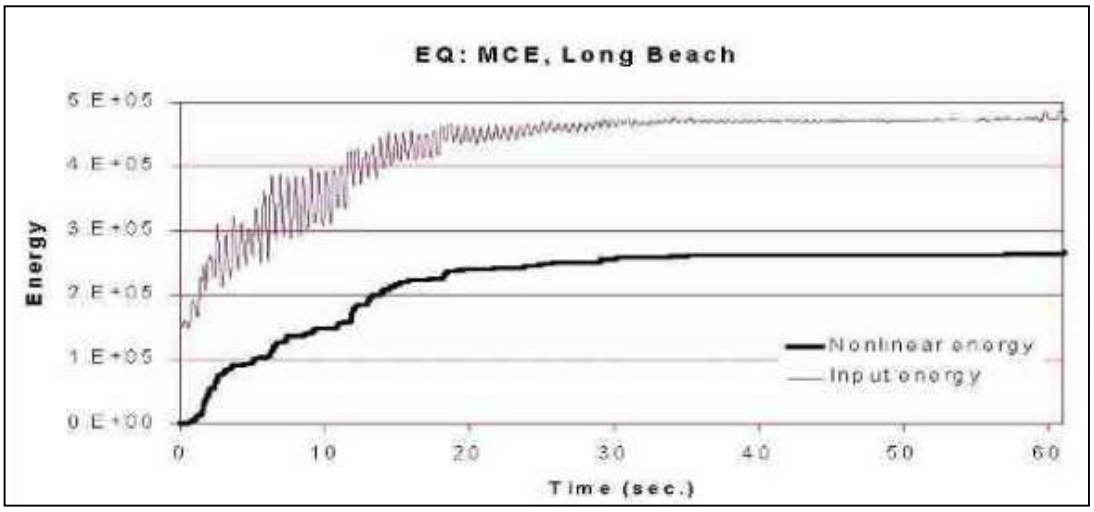
Bulonlu sınırlı kayma modülüne alternatif olarak yine Pall tarafından geliştirilen bu sönümleyici tipinde sürtünme mekanizması X tipi çelik çaprazın merkezine yerleştirilmiştir. Pall sürtünme sönümleyicisi olarak bilinen bu modelde rijit çelik çapraz çubukların kesişiminde yer alan sürtünme elemanları yatay ve düşey çubuk elemanlar ile birleştirilmiştir (Şekil 1.28). Bu sistemde çekme kuvvetine maruz kalan çapraz elemanında kayma deformasyonu başladığı anda buna ters yönde ve eşit miktardaki kayma deformasyonu basınç çubuğunda meydana gelerek, oluşan sürtünme hareketi ile enerji tüketilmektedir. X tipi çaprazlı sönümleyicinin davranışını temsil edebilmek için basit bir elasto-plastik model oluşturulmuştur. Ancak, Filitrault ve Cherry, (1988) daha kapsamlı ve kompleks bir model oluşturarak sönümleyicinin davranışını daha gerçekçi bir şekilde temsil etmişlerdir. X tipi çaprazlara ek olarak, çekme ve basınç kuvveti alabilen çapraz elemanlar ile de kullanılmaktadırlar.



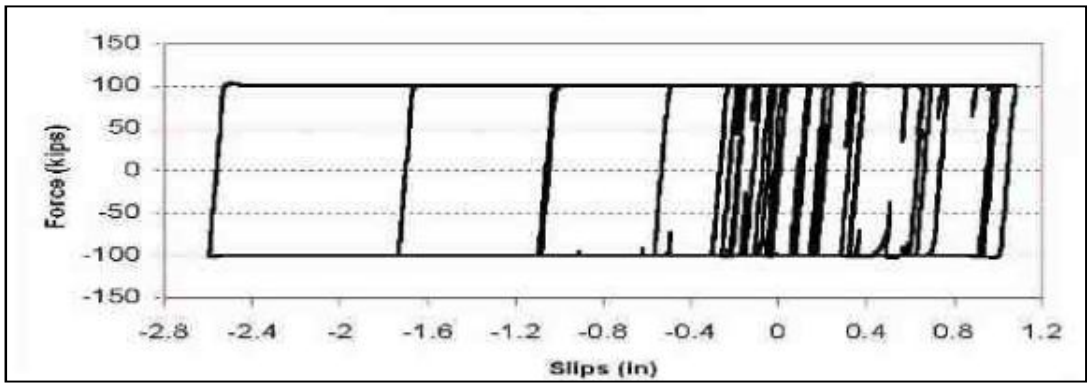
Şekil 1.28. a) Pall Sürtünme Sönümleyicisi, b) Diyagonal Çaprazlı Sürtünme Sönümleyicisi (Pall ve diğ., 2004)

Pall sürtünme sönümleyicileri, Kuzey Amerika'da kullanılan ilk sönümleyiciler olmuştur. Günümüze kadar 80'den fazla projede kullanılmışlardır. Örnek olarak, dünyanın hacimsel olarak en büyük yapısı olan Boeing firmasına ait uçak yapım merkezi bu sönümleyiciler ile güçlendirilmiştir. Yapı 37 m temiz yüksekliğe, 107 m temiz açıklığa ve yaklaşık 98 000 m2 lik bir alanı kaplamaktadır. Yapıda kapasiteleri 330 ile 880 kN arasında değişen toplam 537 sürtünme sönümleyici kullanılmıştır. Şekil 1.29'da görüldüğü üzere sönümleyiciler, girdi enerjisinin yaklaşık 60% ını karşılamışlardır. Bu durum, yapının sismik tepkisini önemli ölçüde iyileştirmiştir. 50

yılda aşılma ihtimali 2% olan deprem düzeyi için yapı tepe deplasman talebi, göreli kat ötelemesi cinsinden 0.67 % olmuştur. Sönümleyicilerin deformasyon kapasiteleri 152 ile 190 mm arasında belirlenmiştir. Bu yapıda kullanılmış olan Pall sürtünme sönümleyicilerine ait örnek bir yük-deformasyon geçmişi Şekil 1.30'da yer almaktadır



Şekil 1.29. Boeing uçak yapım merkezinin Pall sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde elde edilen enerji tepkisi (Vail ve diğ., 2004)

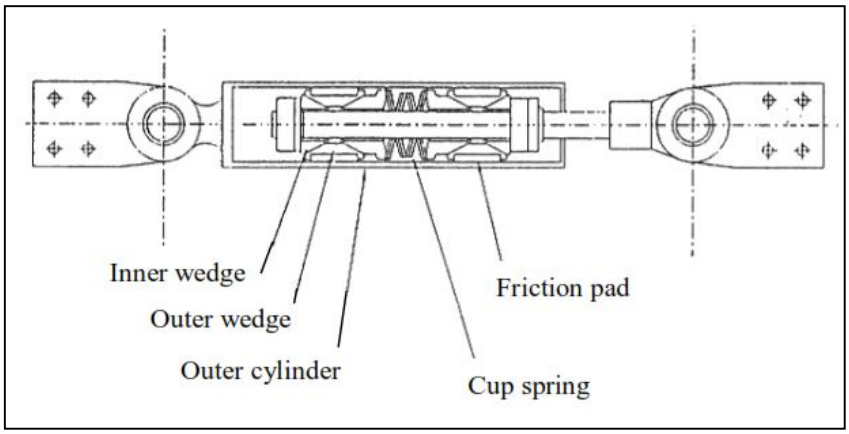


Şekil 1.30. Boeing uçak yapım merkezinin Pall sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde elde edilen sönümleyici yük–deformasyon geçmişi (Vail ve diğ., 2004)

1.3.3. Sumitomo sürtünme sönümleyicileri

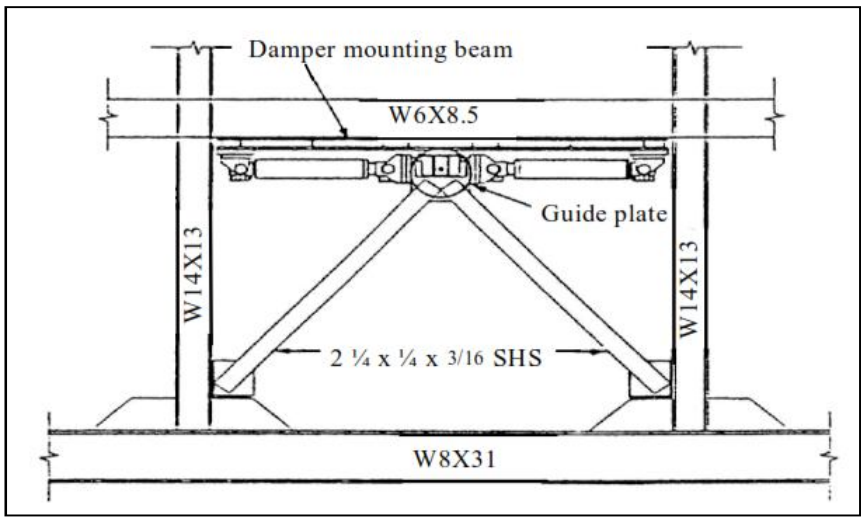
Bu sürtünme sönümleyiciler Sumitomo Metal Endüstrisi tarafında geliştirilip üretilmiştir. Bu sistemde sürtünme grafit ve bakır alaşımlı plakaların, metalik bir plakanın iç yüzünde hareket etmesi ile meydana gelmektedir (Şekil 1.31). Yapı sistemine bağlantısında ise sistem kat kirişlerinin hemen altına monte edilirler ve V

tipi çapraz düzenine sahip çelik çapraz elemanlar ile mevcut sisteme bağlanırlar (Şekil 1.32). Sumitomo sürtünme sönümleyicilerinin histeretik çevrimleri Coulomb sürtünme modeline oldukça benzemektedir (Şekil 1.33).

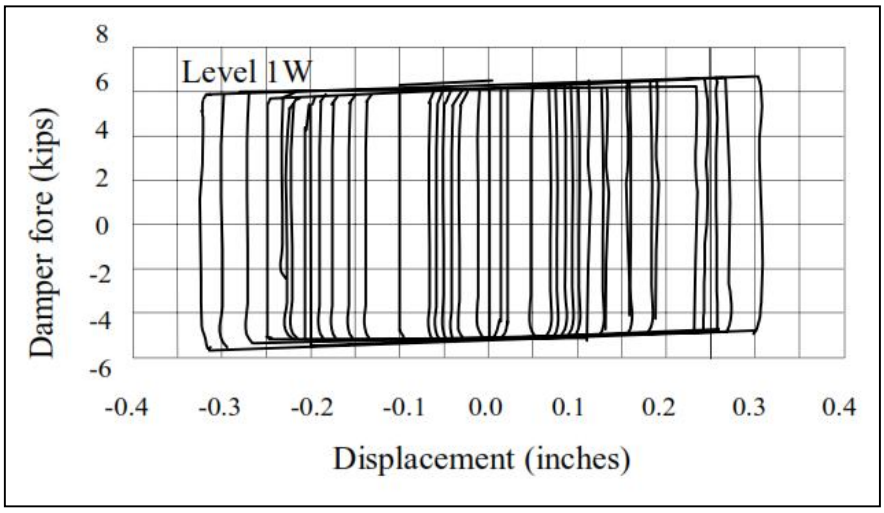


Şekil 1.31. Sumitomo Sürtünme Sönümleyicisinin detay görünüşü (Aieken ve diğ., 1993)

Sumitomo sürtünme sönümleyiciler Japonya'da birçok projede kullanılmışlardır. Bunların ilki 1988 yılında Omiya City'de yer alan 31 katlı çelik Sonic ofis binasının güçlendirilmesidir. Küçük ve orta büyüklükteki depremlerin sebep olduğu titreşimlerin kontrol altına alınması hedeflenen bu projede 90kN kapasiteli toplam 20 adet sönümleyici kullanılmıştır. Bir diğer projede ise Tokyo'da yer alan 22 katlı Asahi Beer Asumabashi binasında her katta 90kN kapasiteli 4 adet sönümleyici yerleştirilmiştir.



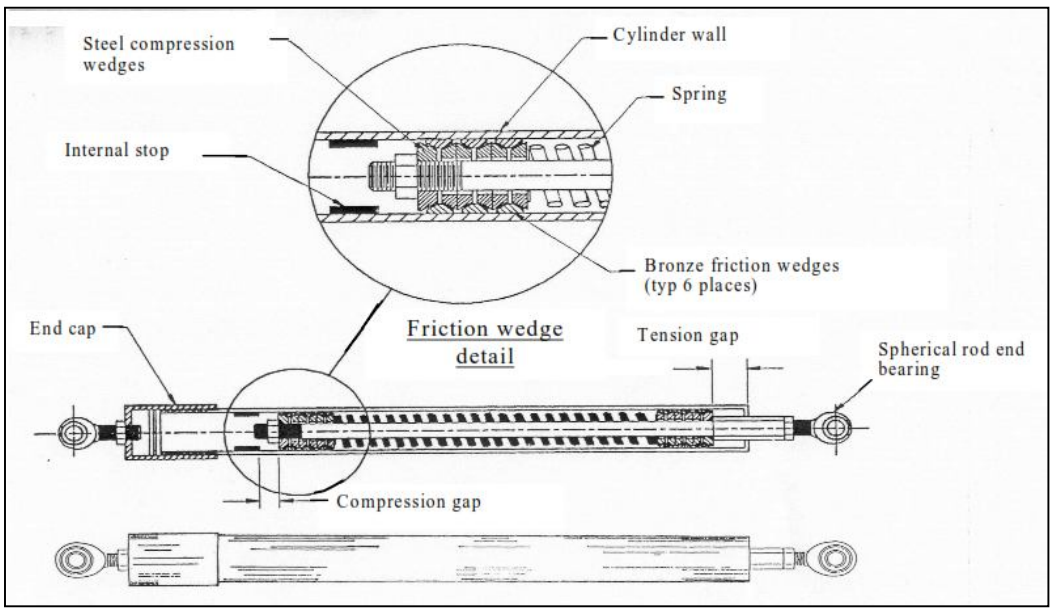
Şekil 1.32. Sumitomo Sürtünme Sönümleyicisinin çerçeve sisteme yerleştirilmesi (Aieken ve diğ., 1993)



Şekil 1.33. Sumitomo Sürtünme Sönümleyicisinin Yük-deplasman Çevrimi (Aieken ve diğ., 1993)

1.3.4. Karşı enerji azalımlı sönümleyiciler

Flour Daniel şirketi tarafından geliştirilmiştir. Başlangıçta nükleer tesislerdeki borulama sistemlerinin titreşim kontrolünü sağlamak amacıyla tasarlanmış olup, sistemin detayları Şekil 1.34'de verilmiştir.

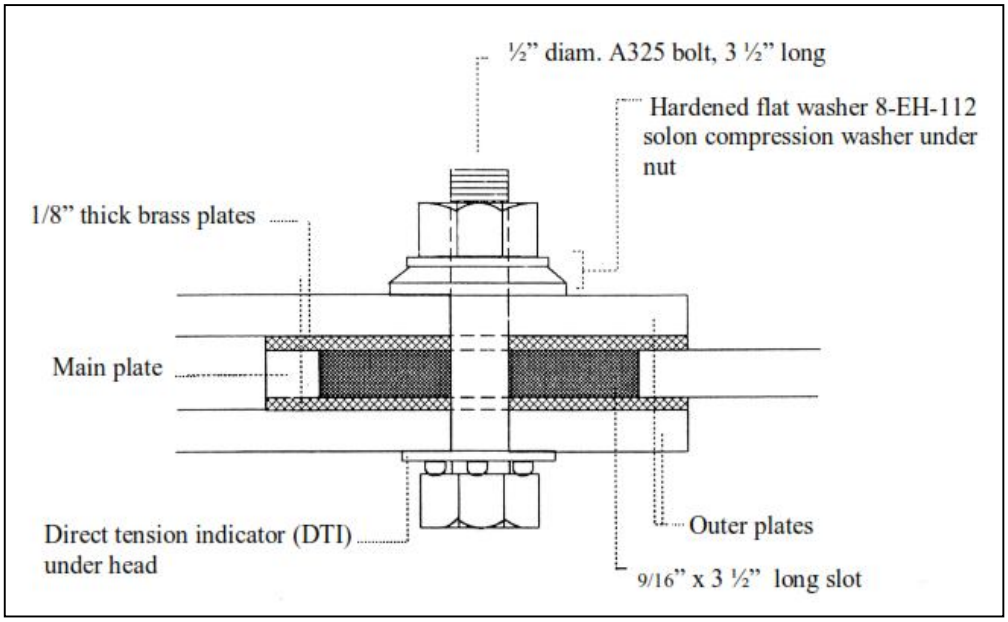


Şekil 1.34. EDR Sönümleyicisine ait detay görünüş (Nims ve diğ., 1993)

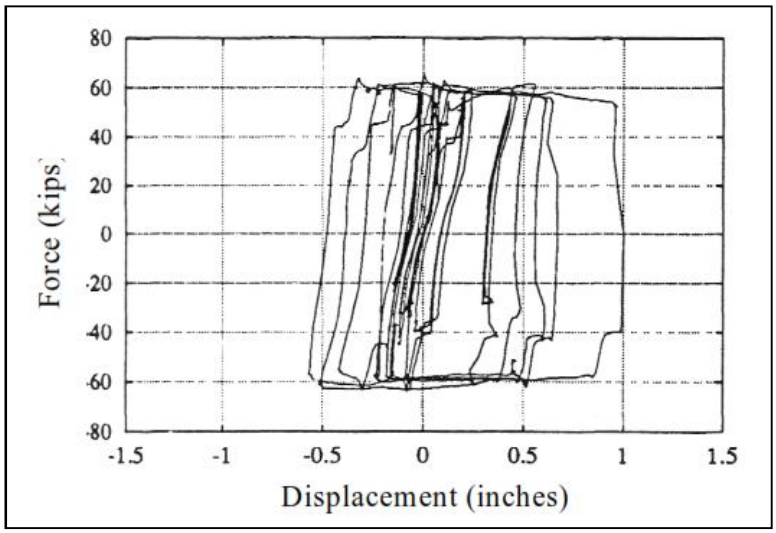
Bu sistemde bronz yüzeye sahip plakalar çelik bir tüpün üzerinde kayarak sürtünme kuvveti oluşturmaktadır. Karşı enerji azalımlı sönümleyiciler kendiliğinden toparlanabilme özelliğine (self centering) sahiptir.

1.3.5. Oval delikli, sürtünme – bulonlu sönümleyiciler

Basit ve çok yönlü olarak kullanılan bu konsept de, sürtünme mekanizması ana plakada bulunan bulon deliklerinin kuvvetin uygulandığı doğrultuda geniş bir şekilde açılmasıyla meydana gelmektedir (Şekil 1.35). Dış plakalar ile ana plaka arasındaki yüzeyler pirinç veya stabil bir sürtünme yüzeyi sağlayan farklı malzemeler ile kaplanmaktadır. Birleşime etkiyen kuvvet, bulonların sıkılmasıyla oluşan statik sürtünme kuvvetini aştığı zaman yüzeyler arasında kayma hareketi başlayarak enerji tüketimi gerçekleştirilir (Şekil 1.36). Bu sönümleyiciler için en önemli iki parametre verilecek olan öngerme kuvvetinin büyüklüğü ve sürtünmemin meydana geleceği plakaların sürtünme katsayılarının belirlenmesidir. Ayrıca açılacak olan bulon deliklerinin gereğinden küçük açılması durumunda, bulonlar ek levhasına temas ederek sisteme darbeli bir şekilde iç kuvvet aktarırlar. Söz konusu mesafenin gereğinden büyük seçilmesi durumunda ise yapıda ikinci mertebe etkileri önem kazanmaktadır.



Şekil 1.35. Oval Delikli Sürtünme-Bulonlu Sönümleyicilere ait detay görünüşü (Fitzgerald ve diğ., 1989)



Şekil 1.36. Oval Delikli-Bulonlu Sürtünme Sönümleyiciler için yük – deplasman çevrimi (Fitzgerald ve diğ., 1989)

Bu sönümleyicilere örnek olarak, Kaliforniya Eyaletinde yer alan 3 katlı 9200 m^2 alana sahip Monterey bölgesindeki hükümet binasının sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilmesi verilmiştir. Yapı taşıyıcı sistemi moment aktaran çelik çerçevelerde noluşmakta olup, dış cephesi prekast panellerden meydana gelmektedir. Güçlendirme kapsamında binanın ilk katında 1113 kN kapasiteli 24 adet, ikinci katında ise 890 kN kapasiteli 24 adet sönümleyici kullanılmıştır (Şekil 1.37).



Şekil 1.37. a) Monterey Hükümet Binasına ait görünüş, b) Sürtünme Sönümleyici görünüşü (Chang ve diğ.,2003)

1.4. Sürtünme Sönümleyicilerin Analiz ve Tasarımı

Pasif Sönümleyici sistemlerin binalarda kullanımı için yapı mühendislerine yol gösterici olması amacıyla hazırlanan ilk doküman, Kuzey Kaliforniya Yapı Mühendisliği Birliği (SEAONC) tarafından yayımlanmıştır. Dökümanın hazırlanmasında, 1989'daki Loma Prieta depreminde Kuzey Kaliforniya'daki binaların ağır hasar görmesi sonucunda bu sistemlere olan ilginin artması ve bu sistemleri üreten firmaların çoğalması önemli etkenler olmuştur.

İlerleyen yıllarda FEMA tarafından hazırlatılan FEMA-273 ve FEMA-274 dökümanları, pratik anlamda performansa dayalı analiz yöntemlerinin tanıtılması ve ayrıca pasif enerji sönümleyici sistemlere ait bir bölüm içermesi nedenleriyle bir mihenk taşı olmuştur. Bu bölümde pasif sönümleyici sistemlerin analiz ve tasarımları ile ilgili olarak, sönümleyicilerin yapı içerisindeki mekansal dağılımları, minimum kullanım adetleri, hangi deprem düzeyi için tasarımlarının gerçekleştirileceği, sönümleyicileri yapı elemanlarına bağlayan bağlantı elemanlarının tasarımı ve birleşim bölgelerinin tasarımını içeren maddeler yer almaktaadır. Söz konusu dökümanlar FEMA-356 ve ASCE41-06 ile standartlaştırılmıştır ve pasif enerji sönümleyiciler bu dökümanlarda da yer almıştır.

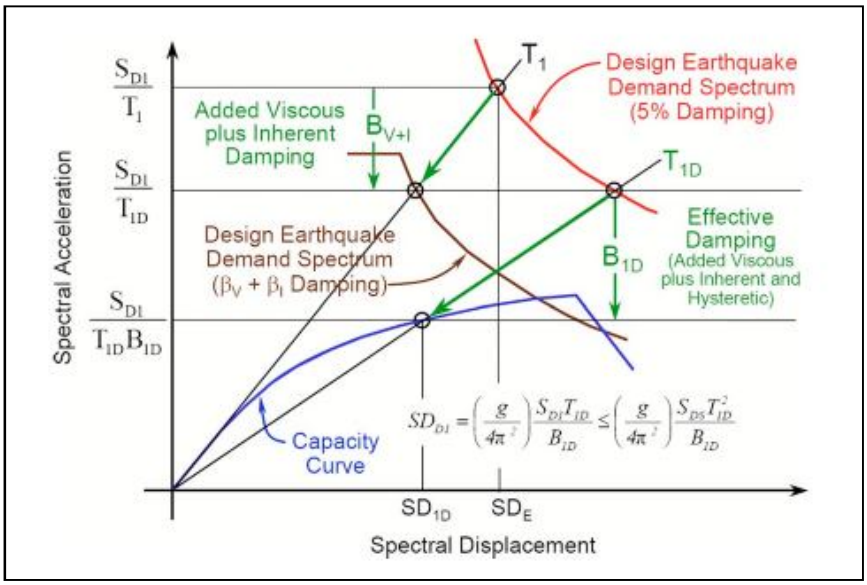
İlgili dökümanlarda pasif sönümleyici sistemler deplasmanve hız duyarlı olmak üzere iki kategoriye ayrılmışlardır. Deplasman duyarlı sistemlerde (sürtünme sönümleyiciler, metalik sönümleyiciler v.b) yük-deformasyon ilişkisi, sönümleyicinin her iki ucu arasındaki rölatif yer değiştirmenin bir fonksiyonudur ve rölatif hız veya yer hareketinin frekans içeriğinden bağımsızdır. Hız duyarlı sistemler (viskoz ve viskoelastik sönümleyiciler) ise söz konusu ilişki rölatif hız ve yer hareketinin frekans içeriğinden etkilenmektedir. Tablo 1.1'de ASCE41-06'da yer alan pasif sönümleyici sistemlerin, hedef performans düzeylerine göre etkinliğini gösteren tablo verilmiştir. Buna göre can güvenliği ve hemen kullanım performans düzeyleri için oldukça etkin olarak tanımlanmış olan bu sistemlerin, göçmenin önlenmesi veya minimum hasar performans düzeyleri için çok etkin olmadıkları belirtilmiştir.

Tablo 1.1. ASCE41-06 Enerji Sönümleyiciler

Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyicilerin Uygulanabilirliği (ASCE41-06)			
Performans Seviyesi	**Performans Aralığı**	**Sismik İzolasyon**	**Enerji Sönümleyiciler**
Minimum Hasar	Hasar Kontrol	Oldukça Etkin	Sınırlı
Hemen Kullanım		Etkin	Etkin
Can Güvenliği	Can Güveliğinin Sağlanması	Sınırlı	Etkin
Göçmenin Önlenmesi		Pratik Değil	Sınırlı

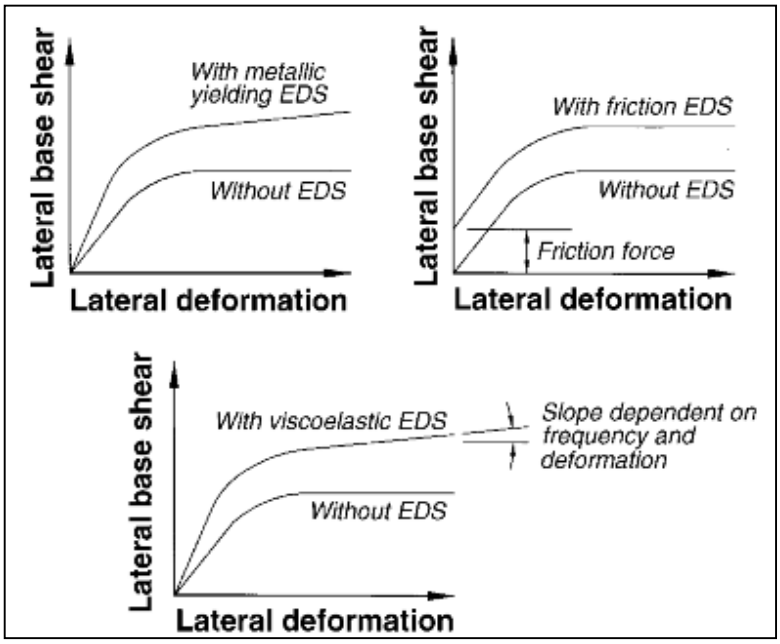
ASCE41-06 standartında, sönümleyicilerin yapısal analizi için lineer statik ve lineer mod birleştirme yöntemi ile nonlineer statik ve nonlineer zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin kullanımı ile ilgili bir takım koşul ve öneriler verilmiştir. Deplasman duyarlı sönümleyiciler, 50 yılda aşılma ihtimali 2% olan deprem seviyesi için hesaplanan en büyük deplasmandan daha fazlasına dayanacak şekilde tasarlanırlar. Sönümleyicinin kullanım adetine ve yerleşimine göre hesap sonucu elde edilen deplasmanların 130% veya 200% üne göre boyutlandırılırlar.

Lineer statik analiz yönteminin deplasman duyarlı sönümleyicilerin analizinde kullanılabilmesi için, taşıyıcı sistemin tüm elemanlarının elastik kalması, sistemde burulma düzensizliği ve yüksek mod etkilerinin bulunmaması ve eleman iç kuvvetlerinin belirli bir seviyede bulunması gibi koşulları sağlaması gerekmektedir. Sönümleyiciler, bina için hazırlanan matematik modele dahil edilirler ve sönümleyicilerin nonlineer özelliği, sistemin lineer viskoz sönüm oranına ek olarak hesaplanan efektif sönüm oranının sisteme dahil edilmesi ile göz önüne alınır. Ayrıca, efektif sönüm oranı için bir üst sınır tanımlamış olup, bu değerin aşılmaması istenir.Lineer mod birleştirme ve lineer dinamik analiz yöntemlerinde yukarıdaki koşullar biraz daha hafifletilir, ancak taşıyıcı sistemin elastik kalması ve efektif sönüm oranının üst sınırı ile ilgili koşullar bu yöntemde de geçerli olmaktadır.



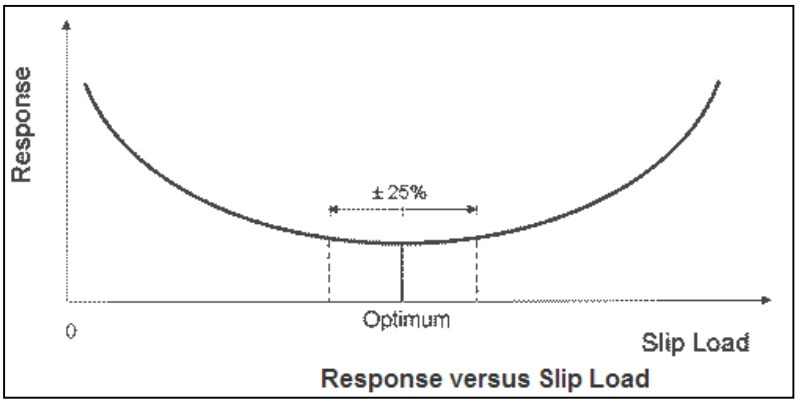
Şekil 1.38. FEMA 274'e göre pasif sönülmeyi kullanımı ile elde edilecek etkin sönüm oranı ile sismik talebin azaltılması

Nonlineer statik yöntemde, sönümleyicilerin doğrusal olmayan yük–deformasyon ilişkisinin matematik modele tanımlanması gerekmektedir. Bu standartta, bina tepe deplasman talebi, sönümleyicilerin yapının idealize edildiği matematik modele eklenmesinden sonra elde edilen yapı dinamik özelliklere belirlenir. Deplasman duyarlı elemanların sisteme ilave bir rijitik getirmesinden dolayı, bu durum yapı periyodunun azalmasıyla birlikte yapı deplasman talebinin azalmasını sağlamaktadır.



Şekil 1.39. FEMA 274'e göre Pasif Sönümleyicili Binanın Taban Kesme Kuvveti–Deformasyon İlişkisi

Sürtünme sönümleyicilerin tasarımında en önemli nokta, sönümleyicileri etkinleştiren optimum tasarım yükünün belirlenmesidir. Bu tasarım yükünün çok düşük olarak belirlenmesi, sürtünme sönümleyicinin servis yükleri veya rüzgar etkisi altında aktif duruma geçmesini sağlayabilmektedir. Ayrıca, tasarım yükünün düşük tutulması, sönümleyicinin yük deformasyon eğrisinin alanının azalmasına ve dolayısıyla sönümleyicinin yutacağı enerji miktarının azalmasına neden olmaktadır. Tasarım yükünün büyük olarak belirlenmesi durumunda ise, tekrarlı yükler altında sönümleyicinin daha az miktarda çevrim yapmasına sebep olarak yine benzer şekilde sönümleyicinin daha az miktarda enerji tüketmesine sebep olmaktadır. Şekil 1.40'da seçilen tasarım yükünün değişimine bağlı olarak, sistemin tepkisinin değişimini gösteren bir grafik verilmiştir.



Şekil 1.40. Sürtünme Sönümleyicilerin tasarımında optimum tasarım yükünün elde edilebilmesi için kullanılan yapı tepkisi–tasarım yükü ilişklisi (Pall ve diğerleri, 2004)

Şekil 1.40'daki grafikten de görüleceği üzere, tasarım yükünün gereğinden büyük yada küçük seçimine bağlı olarak, sisteme olan etkisi optimum bir tasarım olmamakla neticelenmektedir. Ancak, optimum tasarım yükünün yaklaşık 25% oranında değişmesine bağlı olarak sistemin buna verdiği tepkide çok fazla değişim meydana gelmemektedir. Bu durum özellikle, sürtünme sönümleyicilerin dezavantajlarından olan zaman içerisinde temas yüzeylerinin bozulması veya öngerme kuvvetinde meydana gelebilecek boşalmalara karşın tasarım yük seviyesindeki azalmaların tolere edilebilmesini sağlayabilmektedir. Bunun yanında, tasarım yükünün aşılmasından hemen sonra meydana gelebilecek ani kayma hareketi ile yapı sisteminde yüksek frekanslı modların devreye girmesine sebebiyet verilebilir (Dicleli, 2013).

2. TDY- 2007 YE GÖRE DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE PERFORMANS ANALİZİ

2.1. Giriş

Yapı sistemleri, iki önemli ana sebepten ötürü doğrusallıkları yitirir ve bu durumlarda doğrusal olmayan davranışlar önem arz eder. Bunlardan ilki malzeme nonlineerliği, diğeri ise geometrik nonlineerliğidir (Yerlici ve Luş, 2007). Malzeme nonlineerliği yapıyı oluşturan malzemelerin akmaya ya da çatlamaya başlaması ile yük taşıma karakterlerinin değişmesiyle oluşur. Diğerinde ise dış yükler altında yapıda meydana gelen şekil değiştirmeler ihmal edilemeyecek büyüklüklere ulaşır, bunun neticesinde hesaplarda kabul edilen geometrik büyükler önemli ölçüde değişir ve ilave iç kuvvet ve deformasyonlar oluşur.

TDY 2007 kapsamında, belirlenen deprem düzeyi için doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılarak sünek olarak davranan yapı kısımlarında elastik olmayan birim şekil değiştirme istemleri hesaplanır. Elde edilen birim şekil değiştirme istemleri, yine aynı yönetmelikte kesit düzeyinde farklı hasar seviyeleri için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit hasar düzeyi belirlenir. Benzer şekilde gevrek davranışa sahip yapı kısımlarında da iç kuvvet istemleri hesaplanarak, bu istem büyüklüklerinin iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılmasıyla kesitin gevrek olarak hasar görüp görmediği belirlenir. Yapı içerisindeki tüm elemanların kritik kesitlerinde, bu hesaplar tamamlandıktan sonra sırasıyla, eleman düzeyinde, kat düzeyinde ve bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılır. İlerleyen kısımda tüm bu süreç içerisinde göz önüne alınan ilkeler ve kabuller verilmiştir.

TDY 2007 yönetmeliği içerisinde doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemi kullanılmıştır

2.2. TDY 2007 ye İlişkin Genel İlke ve Kabuller

2.2.1. Malzeme modelleri

TDY 2007 yönetmeliği içerisinde doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinde, doğrusal olmayan davranış elemanların kritik kesitlerde iç kuvvet – plastik şekildeğiştirme bağıntıları ile tanımlanır. Bu kesitlerin iç kuvvet – plastik şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilebilmesi için, hesap yapılacak kesitlerin malzeme özelliklerinin gerçekçi bir şekilde modellenmesi gerekir. TDY 2007 Bilgilendirme Eki 7B'de beton ve donatı çeliği için gerilme –birim şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır.

Söz konusu bölümde, beton için sargılı ve sargısız olmak üzere beton modelleri verilmiştir. Sargılı betonun davranışı, enine donatı aralığı, konfigürasyonu, hacimsel oranı, betonun basınç dayanımı gibi bir çok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Aşağıda TDY 2007'de sargılı ve sargısız beton için gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkileri aşağıdaki ifadeler ile tanımlanmıştır.

$$f_c=\frac{f_{cc}\ x\ r}{r-1+x^r} \tag{2.1}$$

$$f_{cc}=\lambda_c f_{co} \tag{2.2}$$

$$\lambda_c=2.254\sqrt{1+7.94\ \frac{f_e}{f_{co}}}-2\frac{f_e}{f_{co}}-1.254 \tag{2.3}$$

$$f_{ex}=k_e\rho_x\ f_{yw}\quad ,\quad f_{ey}=k_e\rho_y\ f_{yw} \tag{2.4}$$

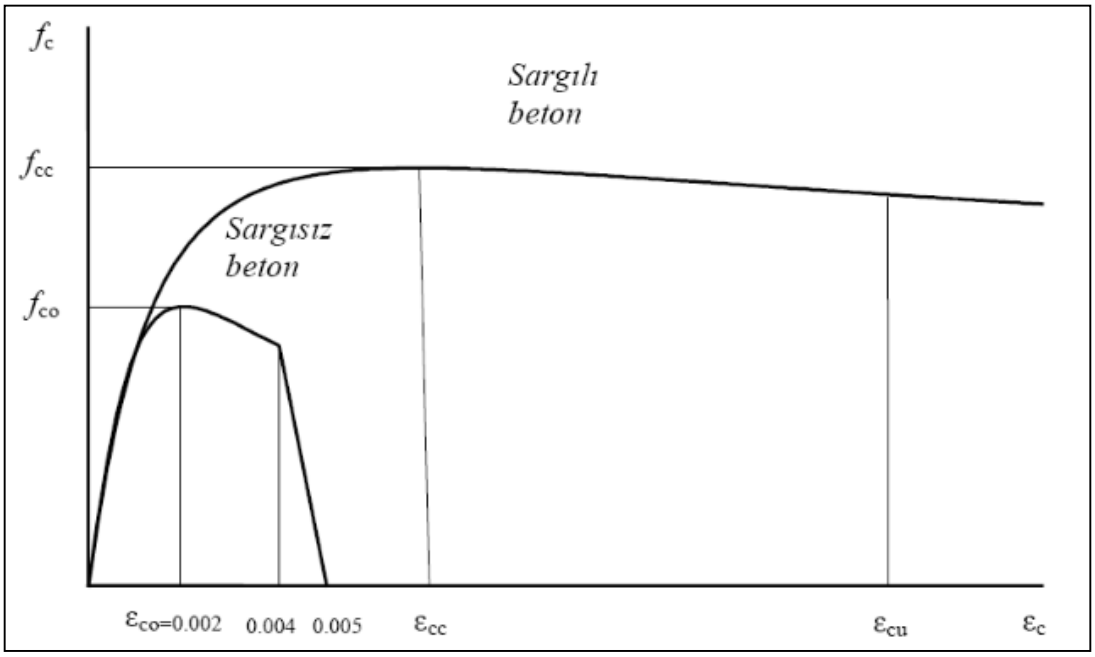
$$k_e=\left(1-\frac{\sum \alpha_i^2}{6b_o h_o}\right)\left(1-\frac{s}{2b_o}\right)\left(1-\frac{s}{2h_o}\right)\left(1-\frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \tag{2.5}$$

$$x=\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}\quad ;\quad \varepsilon_{cc}=\varepsilon_{co}\,[1+5(\lambda_c-1)]\quad ;\quad \varepsilon_{co}\cong 0.002 \tag{2.6}$$

$$r=\frac{E_c}{E_c-E_{sec}}\quad ;\quad E_c=5000\sqrt{f_{co}}\quad ;\quad E_{sec}=\frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \tag{2.7}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\,\rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.8)$$

Şekil 2.1'de sargılı ve sargısız betona ait gerilme–birim şekildeğiştirme grafikleri verilmiştir.



Şekil 2.1. TDY 2007 Ek 7B de verilen sargılı ve sargısız betona ait gerilme–birim şekil değiştirme grafiği

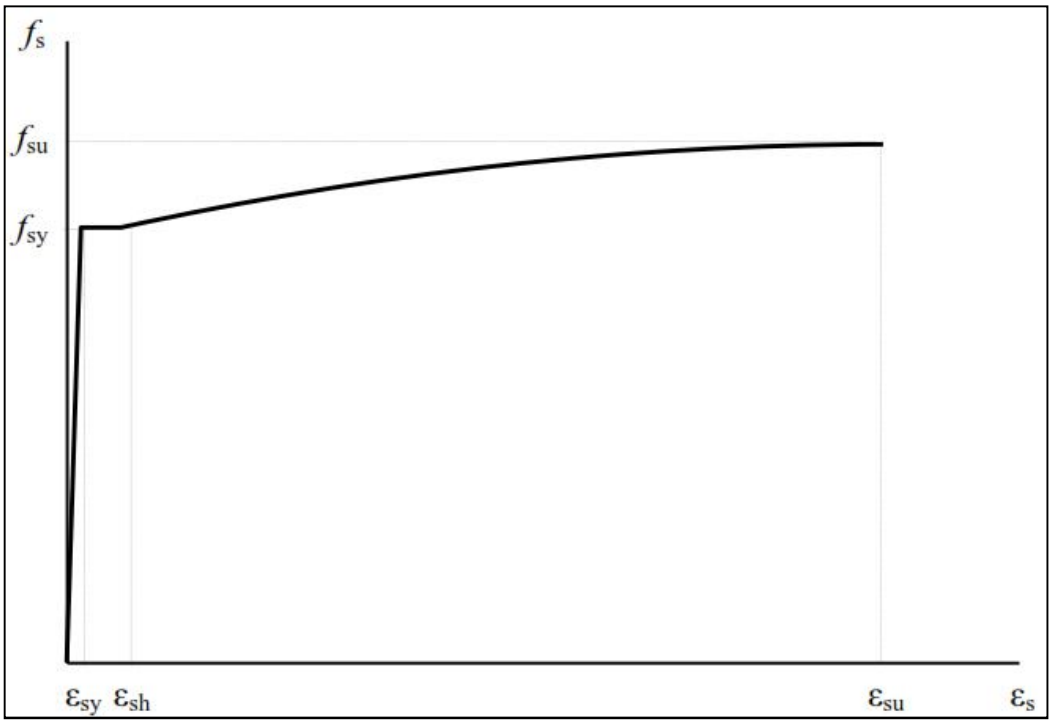
Yukarıdaki grafikte verilen sargılı beton davranışının geçerli olabilmesi için kolon, perde ve kiriş elemanlarında kullanılan sargı donatılarının, ilgili bölümde tanımlanan özel deprem etriyeleri ve çirozları olarak düzenlenmiş olması gerekmektedir.

Donatı çeliği için gerilme –birim şekil değiştirme ilişkisi aşağıdaki ifadeler ile tanımlanmıştır.

$$f_s = E_s\,\varepsilon_s \;\; ; \;\; (\varepsilon_s \le \varepsilon_{sy}) \quad (2.9)$$

$$f_s = f_{sy} \;\; ; (\varepsilon_{sy} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sh}) \quad (2.10)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \;\; ; (\varepsilon_{sh} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{su}) \quad (2.11)$$



Şekil 2.2. TDY 2007 Ek 7B de verilen donatı çeliğine ait gerilme – birim şekil değiştirme grafiği

Şekilde 2.2'de verilen grafiğe göre gerilme–birim şekildeğiştirme ilişkisi, elastik bölge, plastik plato bölgesi ve pekleşme bölgesinden meydana gelmektedir. Bu üç bölgeye ait sınır değerler farklı kalitedeki donatı çelikleri aşağıda tanımlanmıştır.

Tablo 2.1. TDY 2007 Ek 7B donatı çeliği özellikleri

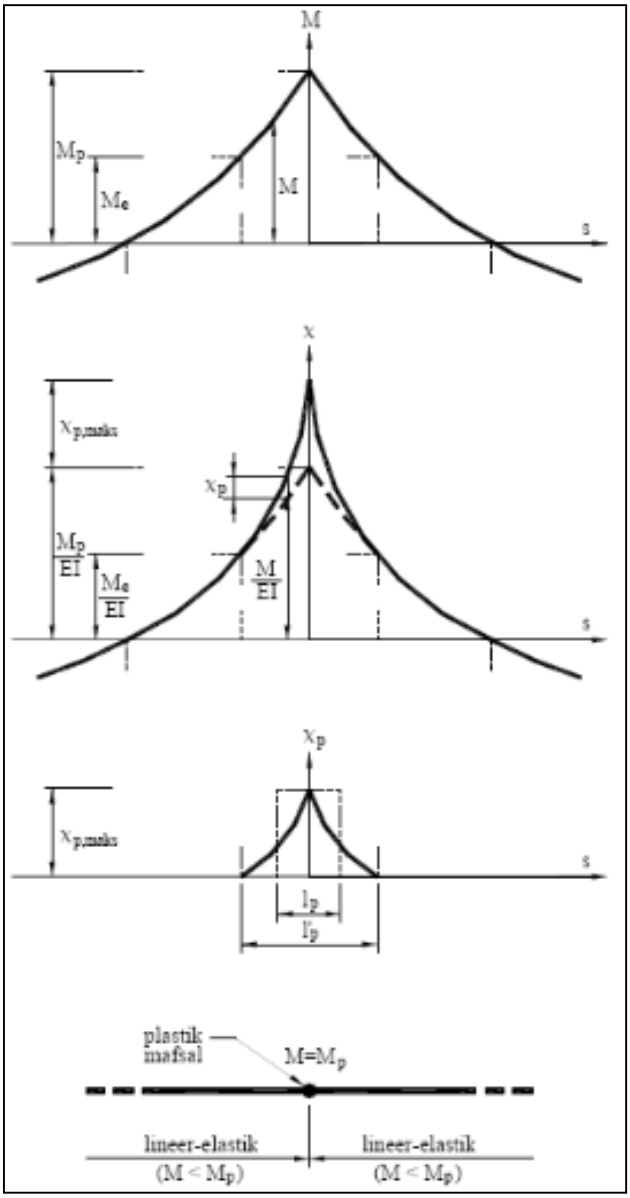
Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

Yukarıda verildiği üzere, malzeme modellerinin oluşturulmasından sonra bir veya iki eksenli eğilme ve/veya eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin iç kuvvet – plastik şekildeğiştirme bağıntıları elde edilir.

2.2.2. Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi ve plastik mafsal kabulü

TDY 2007'de malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerde, eğilme etkisi altında doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal adı verilen sonlu uzunluktaki bölgelerde meydana geldiği, bunun dışındaki bölgelerde sistemin

doğrusal–elastik davrandığı kabul edilmiştir (Şekil 2.3). Bu davranış plastik mafsal hipotezine karşı gelmektedir. Herhangi bir kesitte, plastik mafsalın oluşması için o kesitin plastik mafsal oluşabilecek seviyede yüklenmiş olması gerekmektedir. Artan yükler altında oluşan plastik mafsal bölgesindeki yük sabit kalır ve plastik dönmeler artar. Plastik dönme kapasitesine ulaşıldığı anda ise mafsal yük taşıma gücünü kaybeder. Plastik mafsalın dönme kapasitesi donatı ve betonun güç tükenmesi durumuna karşı gelen birim şekil değiştirme değerine, kesitteki eksenel yük seviyesine, kesitteki sargı donatısı oranına ve kesitteki çekme ve basınç donatısı oranlarına bağlıdır.



Şekil 2.3. Plastik Mafsal Temsili

TDY 2007'de, plastik mafsal boyu olarak tanımlanan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak göz önüne alınır. Plastik mafsal boyunca meydana gelecek plastik şekil değiştirmeler, plastik mafsal bölgesinin tam ortasında yer alan plastik kesit ile idealize edilir. Bunun ile ilgili olarak, yönetmelik tarafından bazı pratik kabullere izin verilmiştir. Buna göre, kolon ve kirişlerdeki plastik kesitler, kolon ve kirişlerin net açıklıklarının uçlarına, betonarme perdelerde ise her katta perde kesiminin alt ucuna yerleştirilebilmektedir.

Kolon ve perdeler bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etksinde olan elemanlar olduğundan, bu elemanların kritik kesitlerinde akma yüzeyleri tanımlanır. Akma yüzeylerinin tanımlanmasında betonun maksimum birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi 0.01 olarak alınır.

Ayrıca, eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda brüt kesit yerine çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılır. Etkin eğilme rijitlikleri, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu olarak hesaplanan etksenel yük seviyesine göre belirlenmektedir. Buna göre etkin eğilme rijitlikleri :

Kirişlerde : $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$ (2.12)

Kolonlarda : $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$ (2.13)

$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda $(EI)_e = 0.80\ (EI)_o$ (2.14)

olarak tanımlanmıştır. N_D kuvveti,brüt kesite ait eğilme rijitliği kullanılarak bir ön düşey yük analizi ile belirlenir. Deprem hesabının başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, etkin eğilme rijitliği kullanılarak yeniden yapılır.

2.2.3. Deprem düzeyi ve bina performans hedefinin belirlenmesi

TDY 2007'ye göre yeni yapılacak olan binaların tasarımında kullanılan ivme spektrumunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem esas alınmaktadır. Ancak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında iki farklı deprem düzeyi daha kullanılmaktadır. Bunalar tasarım ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık yarısına eşit ivme değerlerine sahip 50 yılda aşılma ihtimali %50 olan

deprem ve tasarım ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katına eşit ivme değerlerine sahip 50 yılda aşılma ihtimali %2 olan depremlerdir.

Söz konusu yönetmelikte mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Şekil 2.4'de verilmiştir.

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

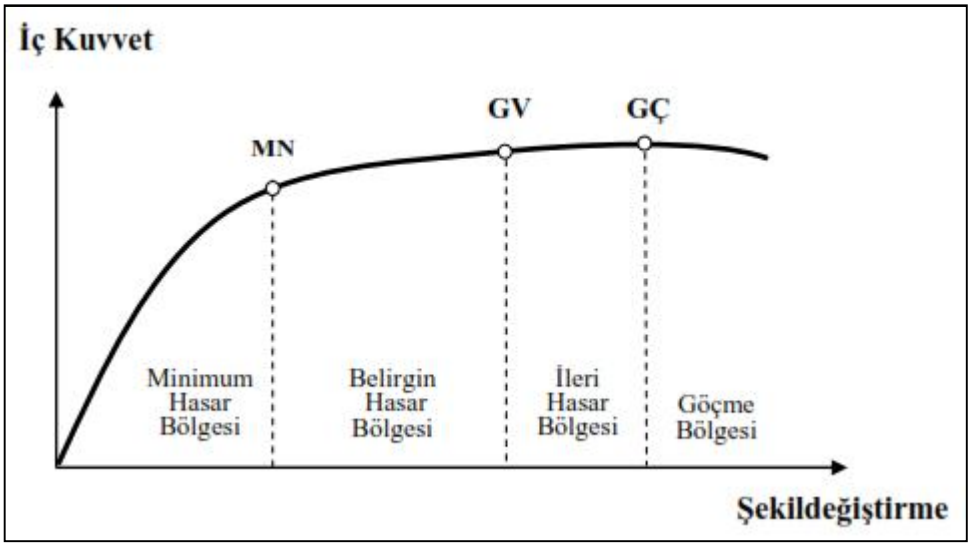
Şekil 2.4. TDY 2007 Farklı Deprem Düzeylerinde Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri

2.2.4. Kesit ve eleman hasar sınırlarının tanımlanması

TDY 2007'debetonarme yapı elemanları kırılma türüne bağlı olarak sünek eleman veya gevrek eleman olarak sınıflandırılırlar. Kırılma türünün eğilme etkisi altında gerçekleşmesi durumuna sünek, kesme etkisinde altında ise gevrek kırılma oluşur. Yapı elemanlarının sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde meydana gelen kesme istemlerinin, kesme dayanımlarından küçük olması gerekmektedir.

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

Kritik kesitlerin hasarı Minimum Hasar Sınırına ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, Minimum Hasar Sınırı ile Güvenlik Sınırı arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, Güvenlik Sınırı ile Göçme Sınırı arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde ve Göçme Sınırını aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer almaktadırlar (Şekil 2.5). Eleman hasarı ise, elamanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir.



Şekil 2.5. TDY 2007 e göre Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitlerin hangi hasar bölgesinde bulunduğunu belirleyebilmek için doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri ile elde edilen kesit birim değiştirme istemleri, kesit birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılırlar. Yönetmeliğin ilgili kısmında, her bir hasar sınırı için beton ve donatı çeliğine ait izin verilen birim şekil değiştirme kapasitelerinin üst sınırları tanımlanmıştır. Buna göre,

Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları,

$$(\epsilon_{cu})_{MN}=0.0035 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN}= 0.010 \tag{2.15}$$

Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları,

$$(\epsilon_{cg})_{GV}=0.0035 +0.01\,(\rho_s/\rho_{sm}) \le 0.0135 \; ; \quad (\epsilon_s)_{GV}= 0.040 \tag{2.16}$$

Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları,

$$(\epsilon_{cg})_{GC}=0.004+0.014\,(\rho_s/\rho_{sm}) \le 0.018 \;\; ; \quad (\epsilon_s)_{GC}= 0.060 \qquad (2.17)$$

ρ_s = Kesitin çalışan doğrultusundaki hacimsel etriye oranını, ρ_{sm} = Yönetmeliğin ilgili bölümlerinde verilen minimum sargı donatısı oranını göstermektedir.

2.2.5. Yapı performans düzeyinin belirlenmesi

Uygulanan deprem etkisi altında her katta tüm elemanların hasar durumlarının belirlenmesinden sonra, bina deprem performansı belirlenir. Bina deprem performansı dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanır.

Hemen Kullanım Performans Düzeyi için, herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi'nde bulunmalıdır.

Can Güvenliği Performans Düzeyi için, yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30 unun İleri Hasar Bölgesi' ne geçmesine izin verilir. İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında bulunması gerekmektedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birde Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde ise, herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için, ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20 si Göçme Bölgesi'ne geçebilir. Bunların dışındaki tüm elemanlar Minimum Hasar, Belirgin Hasar veya İleri Hasar Bölgesi nde yer almalıdır. 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 gerekmektedir.

Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nin sağlanamaması durumunda bina Göçme Durumu'ndadır.

2.3. Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Bu bölümde doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile performans değerlendirilmesine esas izlenecek hesap adımları TDY 2007 ye göre özetlenmiştir.

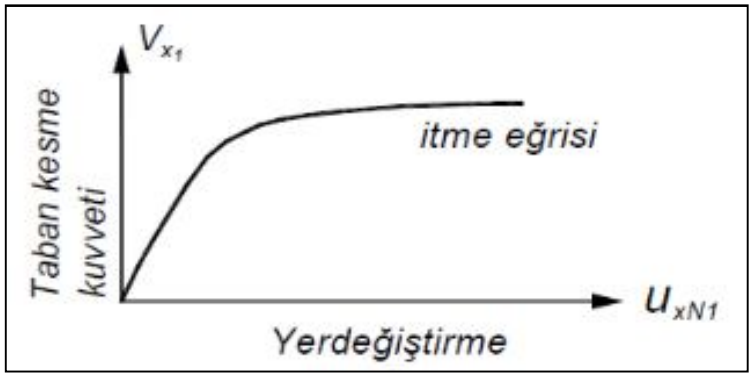
2.3.1. Hesap yönteminin esasları

Artımsal Eşdeğer Deprem Yönteminde, hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi gerçekleştirilir. Artımsal itme analizinden önce, kütleler ile uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşullarını oluşturur. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait kümülatif değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8' den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dış merkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi}<1.4$ koşulunu sağlaması gerekir. Ayrıca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan hakim titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine oranının en az 0.70 olması gerekir.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılır. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan hakim doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanacaktır.

Hakim mod şekli ile uyumlu ve sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları " tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi elde edilir (Şekil 2.6). Tepe yer değiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır.



Şekil 2.6. İtme Eğrisi

İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları "modal yerdeğiştime – modal ivme" olan modal kapasite diyagramına dönüştürülürler. Bu dönüşüm için;

(i)'inci itme adımında hakim moda ait modal ivme $a_i^{(i)}$, örnek olarak x doğrultusundaki hakim mod için :

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \tag{2.18}$$

(i)'nci itme adımında hakim moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ nin hesabı için ise,

$$\Gamma_{x1} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Gamma_{x1}\Phi_{xN1}} \tag{2.19}$$

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \tag{2.20}$$

Daha sonra modal kapasite diyagramı ile birlikte, depremin talebini ifade eden elastik davranış spektrumu uygun koordinat dönüşümleri yapılarak aynı eksen takımına çevrilir, hakim moda ait maksimum modal yerdeğiştirme istemi,$d_i^{(p)}$ elde edilir. Elastik davranış spektrumunun, elastik spektral ivme – spektral yerdeğiştirme

grafiğine çevrildikten sonra elde edilen modal yerdeğiştirme istemi $d_i^{(p)}$, tanım olarak doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeye, S_{di1}'e eşittir. İtme analizinin, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan hakim moda ait başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme, S_{die}'e bağlı olarak eşit yerdeğiştirme kuralına göre belirlenir.

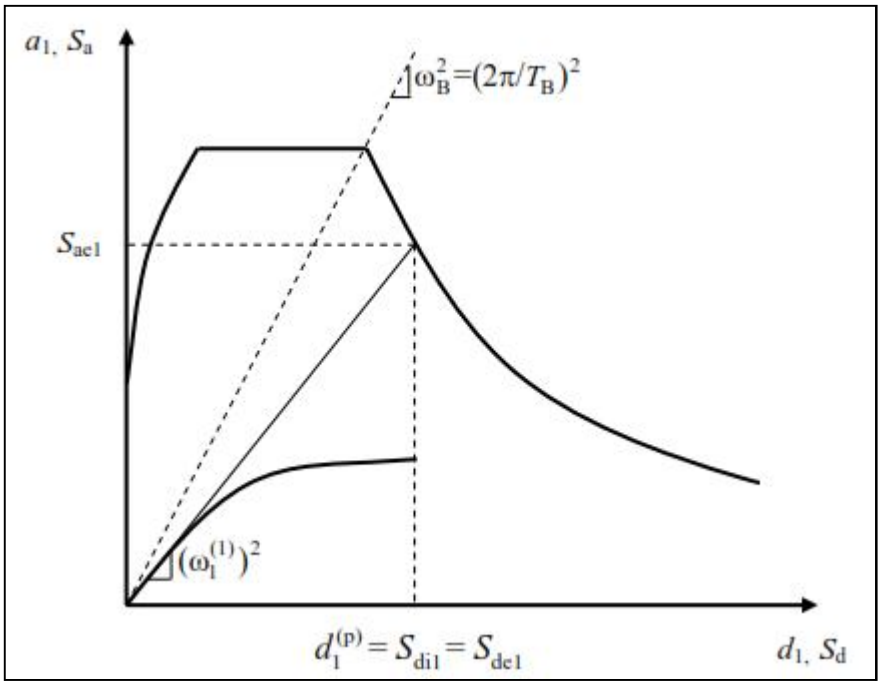
$$d_1^{(p)}=S_{di1} \tag{2.21}$$

$$S_{di1}=C_{R1}\,S_{de} \tag{2.22}$$

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B ye eşit veya daha uzun olması durumunda doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca lineer elastik spektral yerdeğiştirmeye eşittir (Şekil 2.7).

$T_1^{(1)}\geq T_B$ olması durumunda ;

$C_{R1}=1$ olarak alınır (2.23)



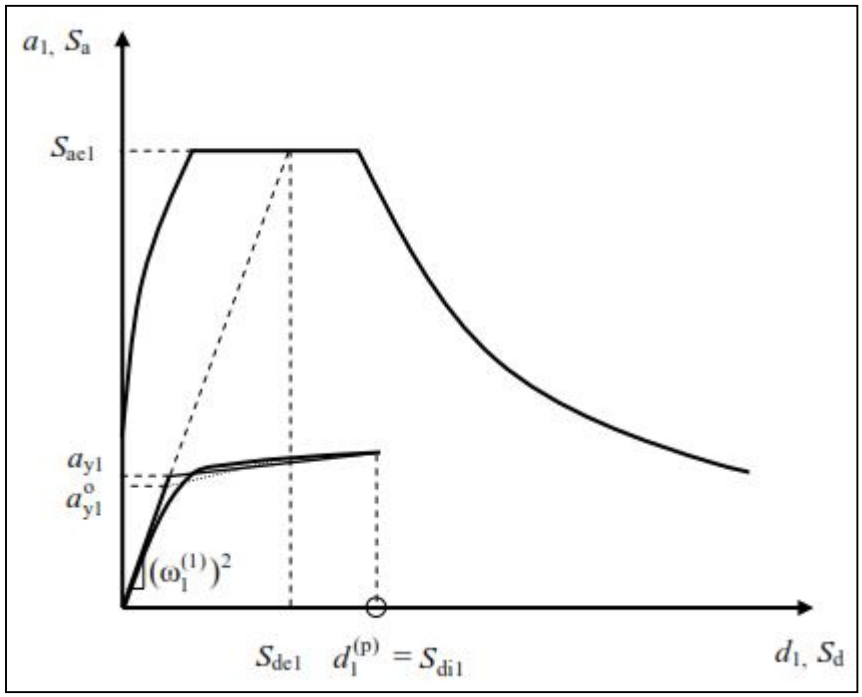
Şekil 2.7. Eşit Yer değiştirme Kuralının Geçerli Olduğu Binalar için spektral deplasman talebinin belirlenmesi

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B den daha kısa olması durumunda;

$T_1^{(1)} < T_B$ ise ;

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)\, T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \qquad (2.24)$$

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \qquad (2.25)$$



Şekil 2.8. Eşit Yer değiştirme Kuralının Geçerli Olmadığı Binalar için spektral deplasman talebinin belirlenmesi

Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem için elde edilen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$, çok serbestlik dereceli sistemin tepe yer değiştirmesine u_{xN1}, aşağıdaki ifade ile dönüştürülür. Buna göre son itme adımı i= p için, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi $u_{xN1}^{(p)}$;

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \text{ ile hesaplanır.} \qquad (2.26)$$

Yukarıda anlatılan itme analizinin sonucunda sünek elemanlarda plastik dönme istemi θ_p, ve gevrek elemanlarda ise iç kuvvet istemleri elde edilir. Elemanda

meydana gelene plastik dönme istemi, aşağıdaki ifade kullanılarak kritik kesitteki plastik eğrilik istemine dönüştürülür.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \tag{2.27}$$

Önceki bölümlerde bahsedilen beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment–eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, plastik eğrilik istemi ϕ_p ile toplanarak, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilir.

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y \tag{2.28}$$

Toplam eğrilik istemi, gerçekleştirilen moment – eğrilik analizleri ile betonun basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliğindeki uzama birim şekil değiştirme istemi hesaplanır. Son olarak, birim şekil değiştirme istemleri önceki bölümde farklı hasar sınırları için verilen birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit hasar durumu belirlenir.

2.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denklemi adım adım entegre edilir ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Sonraki bölümlerde, hareket denkleminin adım adım entegrasyonu için uygulamada çok kullanılan sayısal hesap yöntemlerinden birkaçı açıklanmış, sönüm matrisinin kurulumunda yapılan kabullerden ve zaman tanım alanında hesap yönteminde kullanılacak yer hareketi kayıtlarının belirlenmesinden bahsedilmiştir.

2.4.1. Hareket denkleminin nümerik entegrasyon yöntemleri ile çözümü

Zaman tanım alanında gerçekleştirilecek doğrusal olmayan analizlerde, hareket denklemi, yükleme ve tepki geçmişlerinin çok küçük zaman aralıklarına bölünerek

bir çok farklı yöntem ile adım adım çözülebilir. Bu bölümde sadece nümerik entegrasyon yöntemlerinden Newmark βYöntemleri ile Hilbert, Hughes ve Taylor'ın α yönteminden (Hilber ve Hughes, 1998) kısaca bahsedilmiştir. Bu yöntemlere geçmeden tüm nümerik entegrasyon yöntemleri ile hareket denkleminin adım adım çözümü sırasında göz önüne alınması gereken genel bilgiler verilmiştir. (Clough ve Penzien, 1995)

- Yöntemler genel olarak açık yada kapalı olarak iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Açık yöntemlerde, i+1'nci adımda elde edilecek tepki değeri direkt olarak i'nci adımın sonucunda elde edilen değerlere bağlıdır. Kapalı yöntemlerde isei'nci adım sonucunda elde edilecek tepki değeri yine aynı adım içersindeki bir veya daha fazla değişkene bağlı olup, i'nci adım sonunda elde edilecek tepki değeri için yine aynı adım içerisinde yapılacak olan iterasyonlar sonucu belirlenir. Bu sebepten dolayı işlem süresi uzayacağından, kapalı yöntemler uygun bir şekilde açık hale getirilerek çözüm elde edilebilir.
- Çözüm yönteminin belirlenebilmesi için en önemli parametre, sonucun en kısa sürede ve en hassas bir şekilde elde edilmesidir. Tek başına, çok hassas sonuçların elde edilebilmesi yeterli değildir, çünkü herhangi bir yöntemde zaman aralığı çok küçük seçilerek de hassas çözümler elde edilebilir. Ancak, işlem süresi pratik olmayan noktalara gelebilir. Zaman aralığı, yük ve tepki geçmişinin yeterli hassasiyette elde edilebilecek kadar kısa seçilmelidir. Koşullu dengeli yöntemlere ve yüksek frekans içeriğine sahip yer hareketleri ile yüksek frekans tepkisine sahip yapılarda, zaman aralığı yeteri kadar kısa tutulmalıdır.
- Çözüm sırasında meydana gelebilecek hatalara yol açan bazı genel nedenler söz konusudur. Bunlardan ilki, çok az sayıda basamak kullanılması nedeniyle meydana gelen yuvarlama hatalarıdır. Bir diğeri ise stabilite problemleridir. Stabilite problemleri, bir adımın çözümü sırasında oluşan hataların birikmesi sonucu meydana gelirler. Zaman aralığının ufaltılmasıyla bu sorun çözülebilir. Ayrıca, seçilen nümerik yönteme bağlı olarak nümerik sönüm ortaya çıkabilir. Bu yapay sönüm sisteme artan yada azalan bir şekilde etki edebilir.

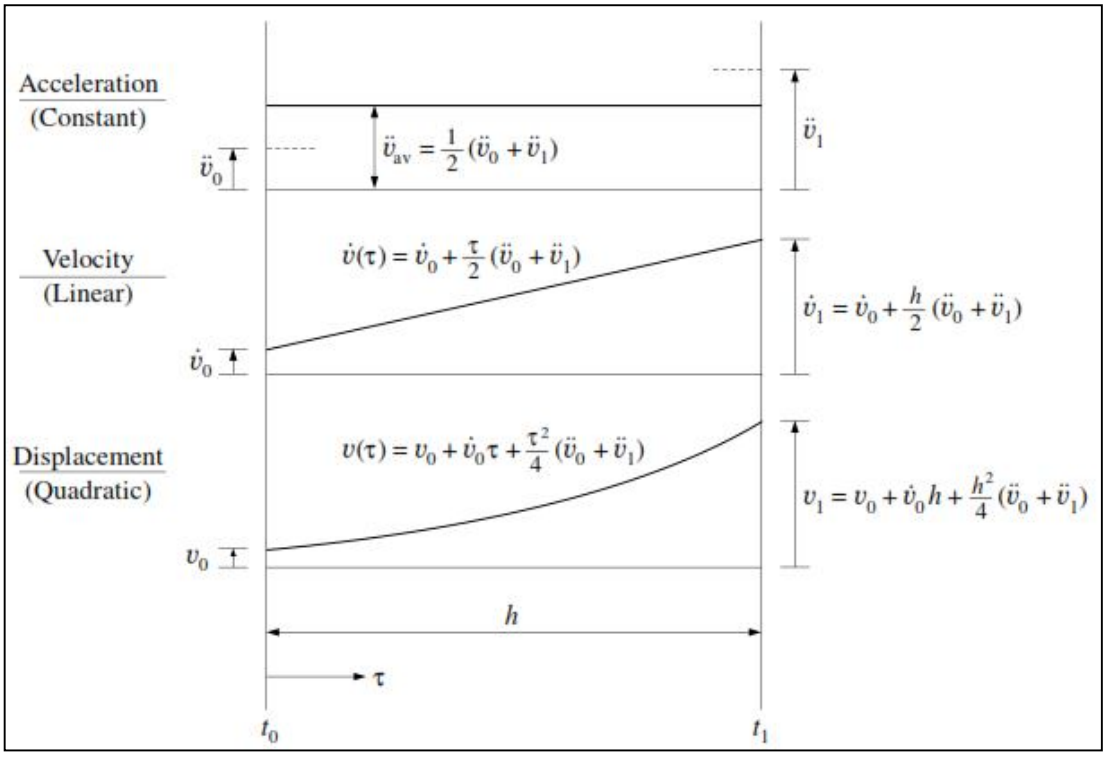
Newmark, 1959 yılında yayımlanan çalışmasında, ivmenin entegrasyonuna dayanan yöntemler için genel bir yaklaşım önermiş ve böylece sabit ivme, ortalama ivme ve

doğrusal ivme yöntemleri için ortak bir çerçeve geliştirmiştir. Bu yaklaşımda son adımdaki hız ve yer değiştirme ifadeleri sırasıyla,

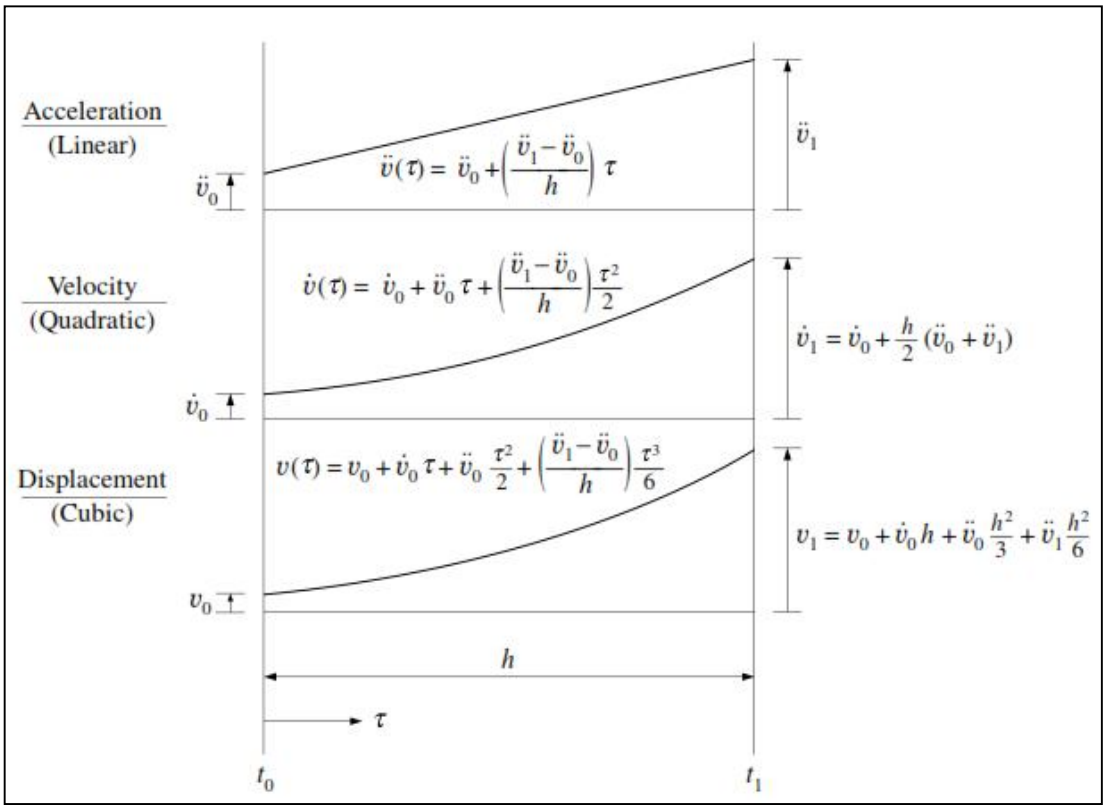
$$\dot{u}_1 = \dot{u}_0 + (1-\gamma)h\,\ddot{u}_0 + \gamma\,h\,\ddot{u}_1 \quad (2.29) \qquad u_1 = u_0 + h\dot{u}_0 + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)h^2\ddot{u}_0 + \beta\,h^2\ddot{u}_1 \quad (2.30)$$

denklemleri ile hesaplanır. Buradaki γ ve β sabitleri, ivmedeki değişimin hız ve yer değiştirmeye etkilerini yansıtan katsayılardır. Bunların farklı değerleri için farklı yöntemler türetilebilir. Örneğin , $\gamma = 0$, $\beta = 0$ ile sabit ivme yönteminin , $\gamma = 1/2$, $\beta = 1/4$ ile ortalama ivme yönteminin ve $\gamma = 1/2$, $\beta = 1/6$ ile de doğrusal ivme yönteminin denklemleri elde edilir.

Yapılan çalışmalarda, γ katsayısının, sistemde sanki fazladan sönüm varmış gibi etkilere yol açabileceği anlaşılmış ve bu etkileri sıfırlamak için $\gamma = 1/2$ değerinin kullanılması gereği anlaşılmıştır. Şekil 2.9'da ortalama ivme yöntemi, Şekil 2.10'da ise doğrusal ivme yöntemi için, ivme, hız ve deplasman ilişkileri verilmiştir.



Şekil 2.9. Newmark ortalama ivme yöntemi için ivme, hız ve deplasman bağıntıları (Clough ve Penzien, 1995)



Şekil 2.10. Newmark doğrusal ivme yöntemi için ivme, hız ve deplasman bağıntıları (Clough ve Penzien, 1995)

Doğrusal ivme yöntemi koşullu dengeli bir yöntemdir. Bu yüzden doğrusal ivme yönteminde kullanılan zaman aralığının, incelenen sistemin periyoduna oranı , $h/T \leq \sqrt{3}/\pi = 0.55$ ifadesini sağlamalıdır. Aksi takdirde sonuçlar giderek büyüyerek anlamsızlaşırlar. Ortalama ivme yöntemi ise her koşulda dengelidir ve hiçbir h değeri için böyle bir problem ile karşılaşmaz. Bu sebeplerden dolayı ortalama ivme yöntemi en çok kullanılan yöntemlerdendir.

Çok serbestlik dereceli sistemlerin çözümünde, kullanılan zaman aralığından daha küçük periyot değerlerine sahip yüksek modlar sistemde yapay tepkiler meydana getirebilmektedir. Bu yapay tepkileri filtrelemek amacıyla, sisteme birçok farklı yöntem kullanarak yapay yolla nümerik sönüm katılabilmektedir. Ortalama ivme yönteminin kullanıldığı çözümlerde, γ sabitinin $\gamma = 1/2$ olarak alınmasıyla nümerik sönüm katkısı meydana gelmez. Bu sebeple araştırmacılar bir çok farklı yöntem geliştirmişlerdir.

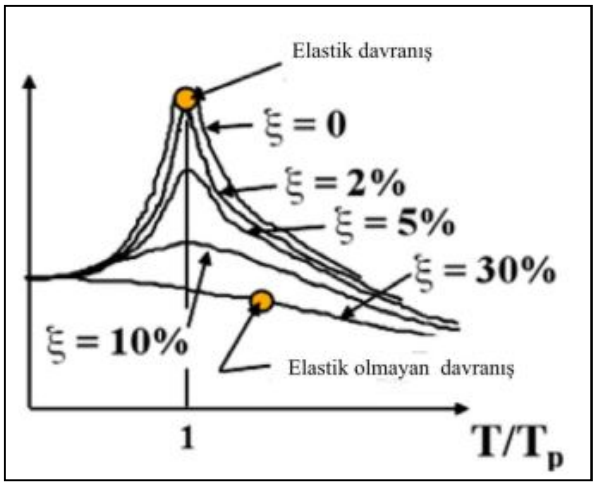
α metodu, Hans M. Hilbert ve Thomas J.R Hughes tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde Newmark β yöntemleri için verilen formülasyonlar kullanılmakta olup, γ ve β birer sabit olmak yerine, α sabitine bağlı birer değişken olarak tanımlanmışlardır.

$$\gamma = (1-2\alpha)/2 \ , \qquad \beta = (1-\alpha)^2/4 \tag{2.31}$$

α sabiti ise [-1/3, 0] aralığında tanımlanmıştır. α=0 için, yöntem ortalama ivme yöntemine dönüşmekte olup, nümerik sönüm oluşmamaktadır. Bu değerin azaltılmasıyla, sistemde oluşan nümerik sönüm artmaktadır.

2.4.2. Sönüm

Sönüm, serbest titreşim halindeki yapıların titreşimlerin çeşitli etkenler nedeni ile azalması olarak açıklanabilir.Gözlemler, sönüm oranlarının malzeme özelliklerine bağlı olduğu kadar yapının yükleme durumlarına da bağlı olduğunu göstermiştir. Örneğin, Newmark ve Hall, betonarme yapılar için düşük düzeydeki yükleme durumlarında %3-6, yüksek düzeydeki yükleme durumları için ise %7-10 arasında sönüm oranlarının kullanılmasını önermektedir. Sönüm, esas olarak sistemdeki enerji kaybının bir modelidir. Bir yapıda düşük sönüm değerleri kullanmak, daha yüksek sönüm değerleri kullanmaya göre aynı yükleme altında daha büyük yer değiştirme ve iç kuvvetlerin elde edilmesini sağlar (Yerlici ve Luş, 2007). Aşağıda farklı sönüm oranları için tepki-periyot ilişkisi verilmiştir.



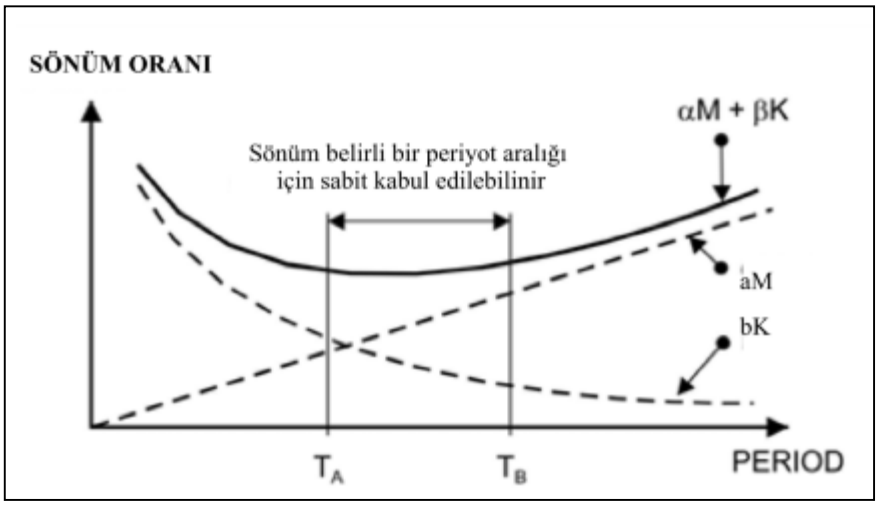
Şekil 2.11. Farklı sönüm oranları için tepki – periyot ilişkisi

Sönümsüz modeller üzerinde yapılan hesaplar, her ne kadar yapıların titreşimi hakkında fikir verse de, gerçekte elde edilen değerler göre önemli farklar meydana gelmektedir. Bu nedenle sayısal sonuçları gerçeğe biraz daha yaklaştırmak adına, modele bir sönüm mekanizması eklenir. Bu konuda en çok kullanılan yöntem, sönüm kuvvetinin hızla doğru olduğunu kabul eden doğrusal bir viskoz sönüm modeli kullanmaktır.

Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerin çözümlemelerinde basit ve hızlı bir çözüm sağlayan Rayleigh sönüm modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modelde sönüm matrisi, kütle ve rijitlik matrislerine orantılı bir şekilde tanımlanmaktadır.

$$[C]=\alpha[M]+\beta[K] \qquad (2.32)$$

Bu ifadede α ve β katsayıları istenen modlarda istenen sönüm miktarına göre belirlenir. Şekil 2.12'de Rayleigh yöntemine göre sönüm oranı-periyot ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Rayleigh Sönüm Modeli için Sönüm oranı–Periyot İlişkisi (Wilson, 2002)

TDY 2007 de sönüm oranı 0.05 olarak belirtilmiştir ve tasarım ivme spektrumu bu sönüm değeri için verilmiştir. TDY de verilen sönüm oranı için, Rayleigh yöntemindeki α ve β katsayıları aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. İ'nci moda ait sönüm oranı :

$$\zeta_i = \frac{\hat{c}_i}{2\,\hat{m}_i \omega_i} \tag{2.33}$$

İle ifade edilebilir. Yukarıdaki ifadenin yeniden düzenlenmesi ile,

$$\zeta_i = \frac{\hat{c}_i}{2\,\hat{m}_i \omega_i} = \frac{1}{2\omega_i}\frac{\alpha \hat{m}_i + \beta\,\hat{k}_i}{\hat{m}_i} = \frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta\,\omega_i}{2} \tag{2.34}$$

elde edilir. Ancak, N serbestlik dereceli bir sistemdeki N adet denklem takımı gerçerli olmasına rağmen, burada yalnızca α ve β olmak üzere iki katsayı olup, mod sönüm oranları seçilen iki moda göre belirlenir. Diğer modların sönüm oranları, bu katsayılara bağlı olup, değiştirilemezler.

2.4.3. TDY 2007'ye göre zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi için deprem yer hareketlerinin belirlenmesi

TDY 2007'ye göre bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilmektedir.

Kaydedilmiş yer hareketi kayıtları, yer hareketinin genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans içeriği hakkında gerçek bilgileri içermeleri sebebiyle, diğer yöntemlere göre büyük avantaj sağlarlar (Fahjan, 2008). Ayrıca, diğer yöntemler ile tasarım spekturumuna neredeyse tamamen uyumlu spekturumlar elde edilebilmesine rağmen, bu durum gerçekte pek karşılaşılan bir durum değildir ve yapının doğrusal olmayan davranışına uygun değildir (Fardis, 2009).

TDY 2007'ye göre zaman tanım alanında yapılacak analizlerde kullanılacak yer hareketi kayıtlarının sağlamaları gereken bazı koşullar verilmiştir. Buna göre aşağıdaki özelliklere sahip en az üç adet yer hareketi elde edilecektir.

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0 g den daha küçük olmayacaktır.

- Seçilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusındaki hakim periyod T_1 e göre $0.2T_1$ ile T_1 arasındaki periyodlar için, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Kaydedilmiş yer hareketleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve bunların ölçeklendirilmesidir. TDY 2007 ve benzer ulusal deprem yönetmeliklerinde uygun kayıtların seçilmesi ile ilgili kriterler tepki spektrumu uygunluğuna bağlıdır (Fahjan, 2008). Depremin büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriği ve süresini güçlü bir şekilde etkilediği için uygun büyüklüğe sahip kayıtların seçilmesi çok önemlidir. Özellikle faya yakın bölgelerde yapılacak olan çalışmalarda seçilecek kayıtların uygun fay–saha mesafesine sahip olması önemlidir. Ayrıca yerel zemin koşullarının da kuvvetli yer hareketinin özellikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır.

Kaydedilmiş yer hareketleri kayıtları, verilen bir tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçeklendirilebilir. Ancak bu çalışma kapsamında sadece zaman tanım alanında ölçeklendirme incelenmiştir.

Zaman tanım alanında ölçeklendirme yönteminde deprem ivme kaydı sabit bir katsayı ile çarpılarak, istenilen periyot aralığında tasarım ivme spektrumuyla uyumlu hale getirilir.

Öncelikle, yerel zemin sınıfları, mesafe, süre, faylanma mekanizmaları ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak seçilen ham deprem kayıtlarının varsa sıfırdan sapma (baseline correction) düzeltilmesi yapılmalıdır (Beyen, 2011). Yer hareketi ivme kaydının entegrasyonu ile elde edilen hız ve yerdeğiştirme değerlerinin sıfır ile bitmemesi olarak tanımlanan bu durum, kayıtta yer alan gürültünün uygun bir şekilde filtrelenmesi ile düzeltilebilmektedir.

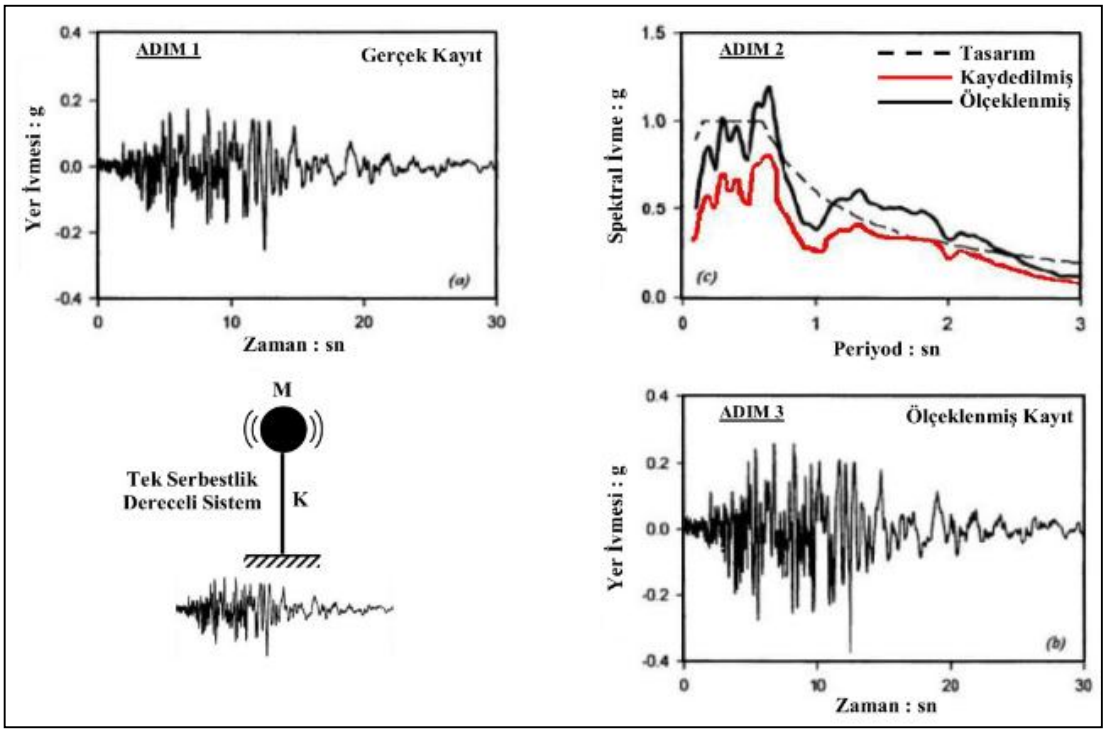
Sonrasında, seçilen ivme kaydı için %5 sönüm oranında tepki spektrumu elde edilir. Elde edilen tepki spektrumu, belirlenen bir periyot aralığında belirli bir spektral ivme değerinin üstüne çıkıncaya kadar ölçeklendirme katsayısı ile çarpılır ve en sonunda, belirlenen ölçeklendirme katsayısı ilk adımda seçilmiş olan deprem ivme kaydının

tamamı ile çarpılarak ölçeklendirilmiş olur. Ölçeklendirme çalışmaları ile ilgili olarak gerçekleştirilen analiz türlerine bağlı olarak belirli sınırlamalar getirilmiştir.

Bu sınırlamalar,

- Doğrusal elastik analizler için $\beta_{ölçek} \leq 4$,
- Doğrusal elastik olmayan analizler için $0.5 \leq \beta_{ölçek} \leq 2$

Olarak verilmiştir. Şekil 2.13'de, zaman tanım alanında gerçekleştirilen ölçeklendirmeye ait hesap adımları verilmiştir.



Şekil 2.13. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketi Kaydının Ölçeklendirilmesi için Hesap Adımları (Çeri, 2012)

3. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizlere ait tüm parametreler açıklanmıştır. Bölüm 3.1'de, mevcut yapı sistemine ait bilgiler verilmiştir. Sonraki bölümlerde sırasıyla mevcut binanın doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi için gerekli bilgiler, bölüm 3.2'de mevcut binanın deprem performansının iyileştirilmesi için sisteme eklenen betonarme perdelerin boyutlandırılması ve binanın doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizine ait bilgiler, bölüm 3.3'de mevcut binanın deprem performansının iyileştirilmesi amacıyla yerleştirilen sürtünme sönümleyicilerin modellenmesi ve binanın doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi ve bölüm 3.4'de önceki bölümde göz önüne alınan sistemin zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan çözüm yöntemi ile analizine ait gerekli bilgiler verilmiştir.

3.1. Yapı Genel Bilgileri

Bu bölümde, gerçekleştirilecek olan analizlerde kullanılacak olan mevcut bina ve elemanlarına ait özellikler verilmiştir. Ayrıca, kiriş ve kolon elemanlarına ait kesit analizleri gerçekleştirilerek eleman kapasiteleri elde edilmiştir.

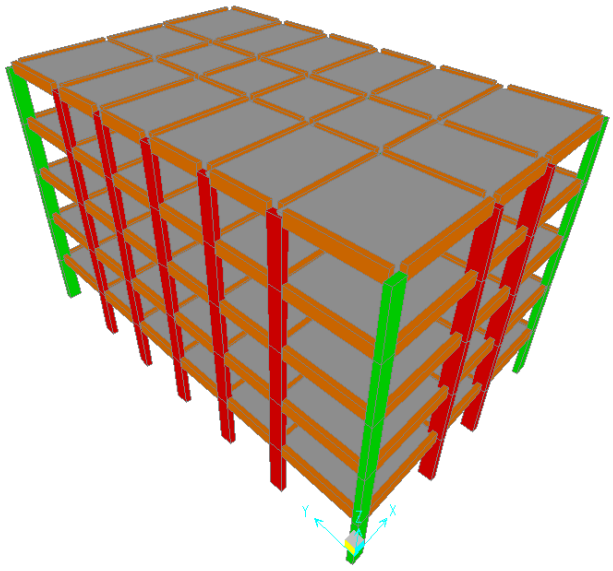
3.1.1. Yapı sistemine ait özellikler

Bu çalışma kapsamında T.C. Sağlık Bakanlığı'nın 50 yataklı tip hastane binalarına ait mevcut projelerden yararlanılmıştır. Söz konusu binanın 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlandığı kabul edilmiştir. Yapı taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden meydana gelmektedir. Bina bilgileri aşağıda özet olarak verilmiştir.

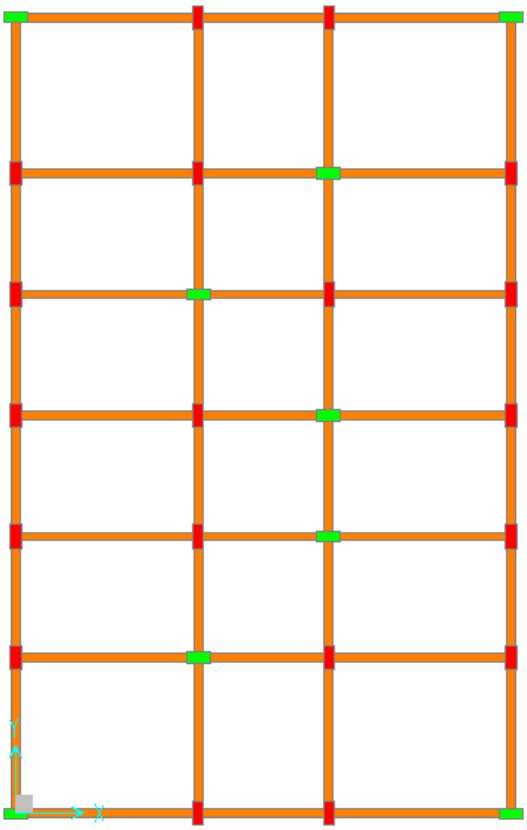
. Tablo 3.1. Bina özellikleri

Bina Kat Adedi	5
Bina Kat Yüksekliği, (m)	3.0
Bina Kullanım Amacı	Hastane
Beton (Tüm Betonarme Elemanlarda)	C18
Donatı Çeliği	S420
Bina Kısa Yönü Aks Mesafeleri, (m)	5.25, 3.7, 5.25
Bina Uzun Yönü Aks Mesafeleri, (m)	4.5, 3.5, 3.5, 3.5, 3.5, 4.5
Bina Bilgi Düzeyi	Kapsamlı
Kiriş Boyutları, (cm)	25x60
Kolon Boyutları, (cm)	30x70
Döşeme Kalınlığı, (cm)	14.0

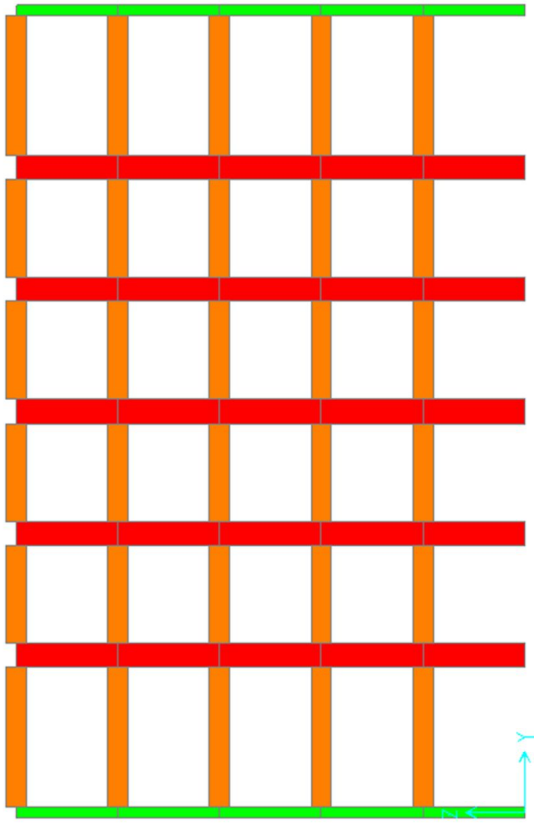
Tablo 3.1'de verilen bina ve eleman bilgilerine göre SAP2000.V14 yazılımı ile binanın sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Bu modelde kolon ve kirişler çubuk elemanlar ile, döşemeler ise membran elemanlar ile modellenmiştir. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilmiştir. Şekil 3.1 ve 3.2'de bina modeline ait görünüşler verilmiştir.



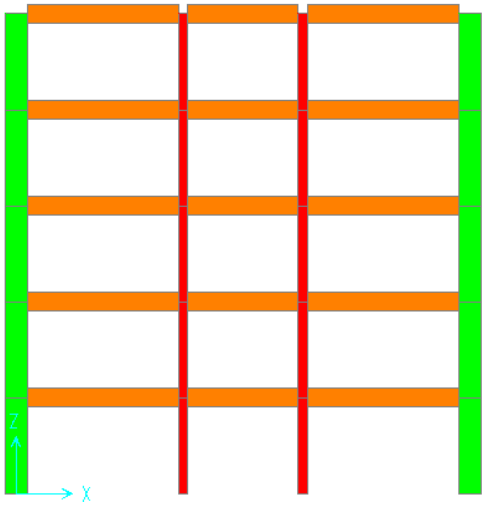
Şekil 3.1. Mevcut Binanın 3 Boyutlu Sonlu Eleman Modeli



a)



b)



c)

Şekil 3.2. Mevcut Binanın plan ve kesit görünüşleri, a) Kat Planları, b) Uzun Doğrultudaki en dış aks kesit görünüşü, c) Kısa doğrultu en dış aks kesit görünüşü

Taşıyıcı sistemde göz önüne alınan yükler TS498 e göre belirlenmiştir. Buna göre,

Beton Yoğunluğu : 25.00 kN /m^3

Dış Duvar Yükü (20cm +sıva) : 3.80 kN /m^2

İç Duvar Yükü (10cm +sıva) : 2.50 kN /m^2

Sıva + Kaplama : 1.50 kN /m^2

Hareketli Yük (mutfak , muayene odaları , poliklinikler): 3.50 kN /m^2

Koridorlar : 5.00 kN /m^2

Kar : 0.75 kN /m^2

olarak kabul edilmiştir.

TDY 2007'e göre esas alınan deprem karakteristikleri aşağıdaki gibidir.

Bina Önem Katsayısı : I = 1

Hareketli Yük Katılım Katsayısı : n = 0.3

Etkin Yer İvmesi Katsayısı : $A_0 = 0.4$

Yerel Zemin Sınıfı : Z3

Yerel Zemin Grubu : C

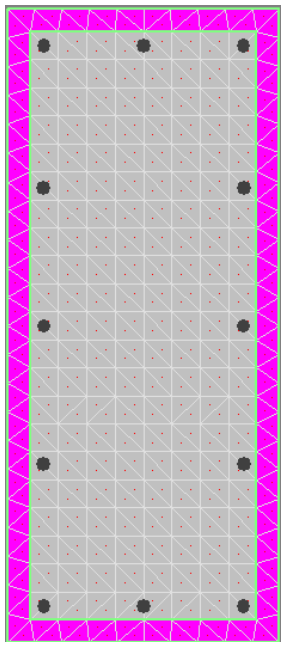
Spektrum Karakteristik Periyotları : $T_A = 0.15$ sn , $T_B = 0.6$ sn

3.1.2. Kolon kesit analizleri

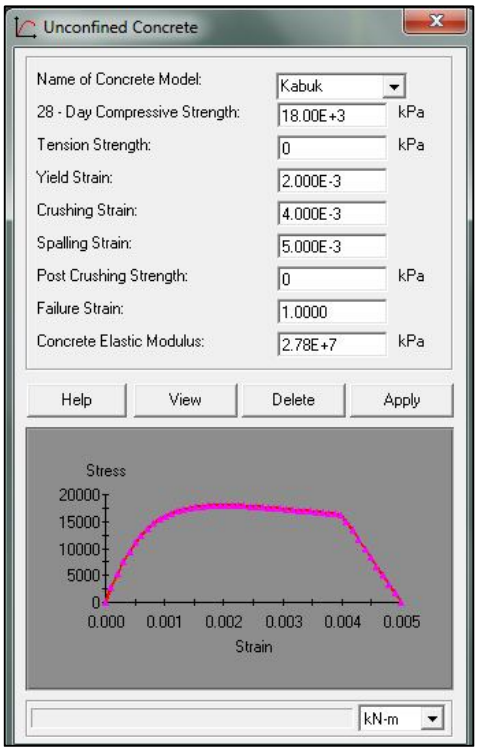
Mevcut taşıyıcı sistemde bütün kolonların boyutları 30x70 cm dir. Kolonların boy donatı oranı yaklaşık olarak 0.008 seçilmiştir. Bu oransöz konusu tarihlerde yapılan betonarme yapılarda sıkça karşılaşılan bir orandır. Buna göre tüm kesitlerde 12Φ14 boy donatısı olduğu kabul edilmiştir. Etriyeler ise tüm kolonlar için Φ8/15 olarak ve tek etriye olarak belirlenmiştir. Etriyelerin kancalarının 135° kıvrımlı ve TDY2007

de tanımlanan özel deprem etriyeleri olarak düzenlenmediği kabul edilmiştir.Bu sebepten dolayı kolonlarda sargı etkisinin bulunmadığı kabul edilerek kapasite hesapları gerçekleştirilmiştir.

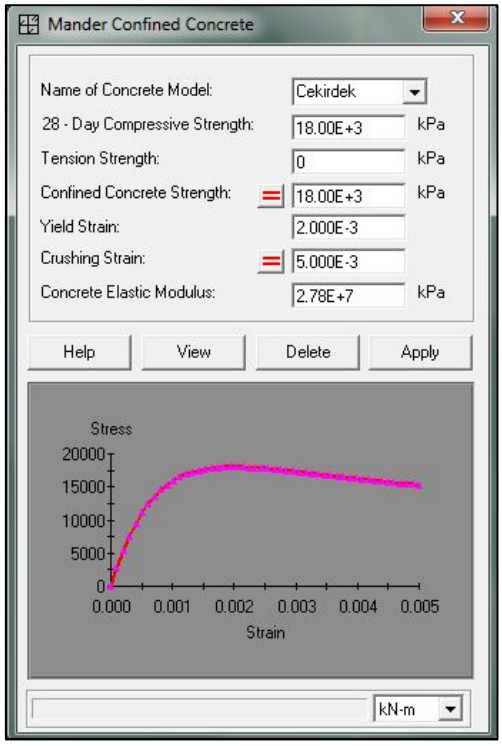
Doğrusal elastik olmayan analizlerde kullanılmak üzere, kolon kesitleri için iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde akma yüzeyleri XTRACT yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Chadwell, 2002). Akma yüzeylerinin belirlenmesinde göz önüne alınan maksimum beton basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, maksimum donatı çeliği birim şekil değiştirmesi 0.01 olarak alınmıştır. Şekil 3.3 ve 3.4'de kolon kesitleri için oluşturulan kesit modeli ve malzeme özellikleri verilmiştir.



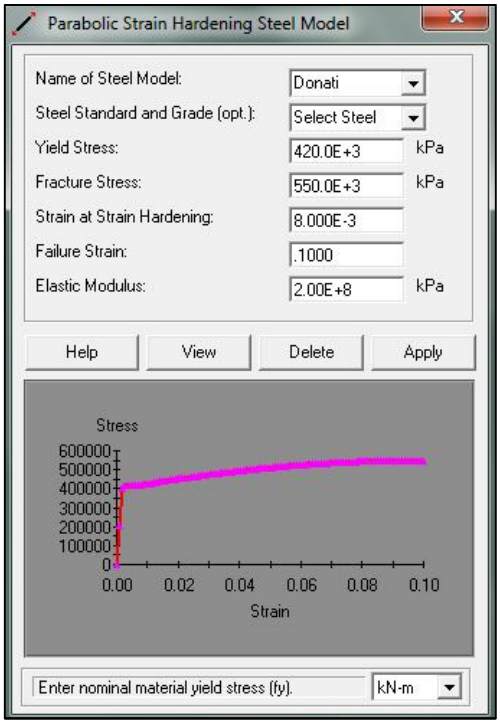
Şekil 3.3. Kolonlar için XTRACT kesit modeli



a)



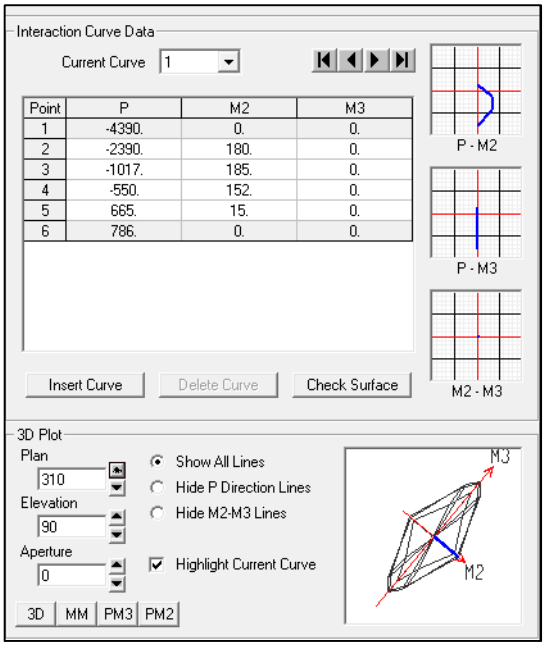
b)



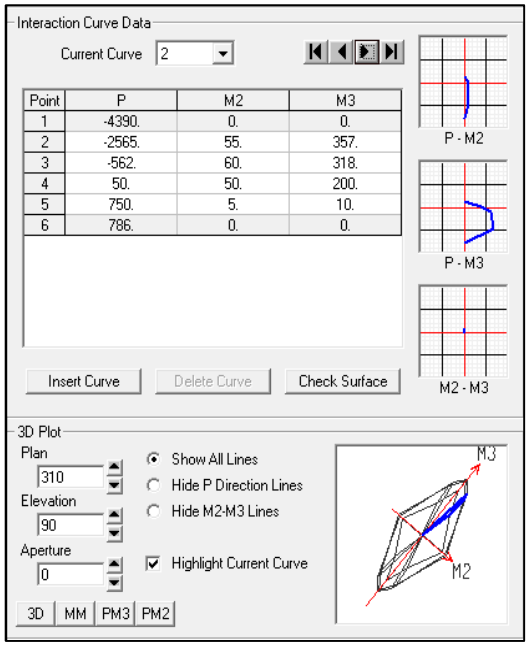
c)

Şekil 3.4. Kolonlar için malzeme modelleri a) Kabuk bölgesi için beton modeli, b) Çekirdek bölgesi için beton modeli, c) Donatı çeliği modeli

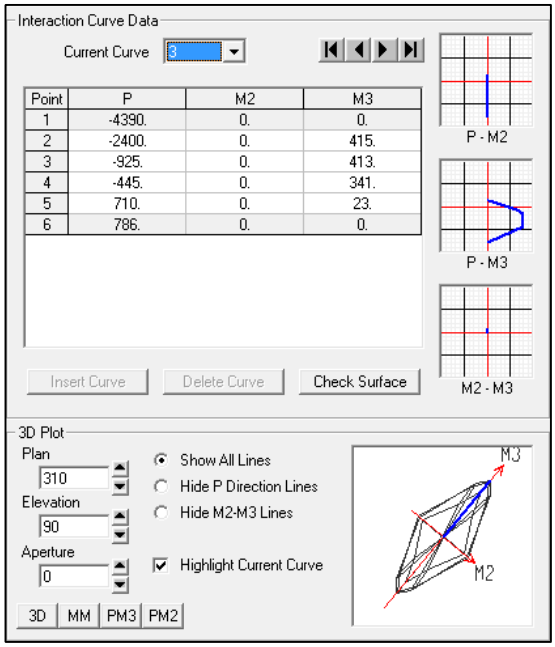
Kolonlar için akma yüzeyleri XTRACT yazılımı ile elde edildikten sonra bu değerler SAP2000'de oluşturulan eksenel yük ve iki doğrultudaki eğilme mafsallarında tanımlanmıştır. Şekil 3.5'de SAP2000 de akma yüzeylerinin 0, 45 ve 90 derecelik açılarla tanımlanmış hali gösterilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 3.5. Kolonlar için akma yüzeylerinin SAP2000 de tanımlanması a) Kolon kısa doğrultusu, 0° , b) 45°, c) Kolon uzun doğrultusu, 90°

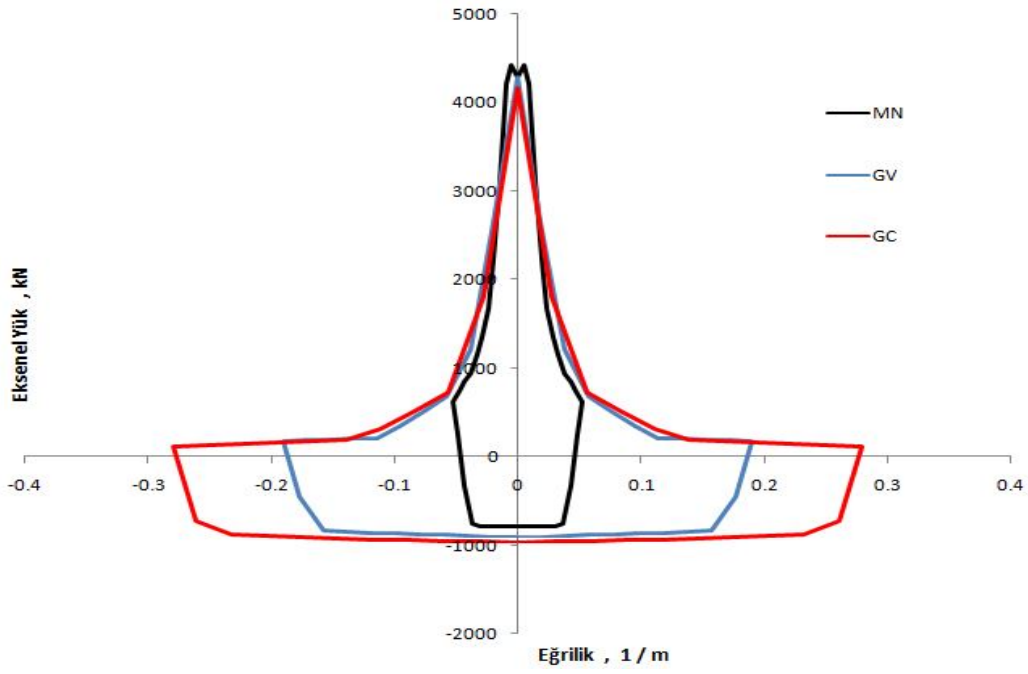
Kolonlar için akma yüzeylerinin elde edilmesinden sonra, doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen istemlerin, aşağıda her bir hasar sınırı için verilen birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistemin performansının belirlenmesi için eksenel yük –eğrilik diyagramlarının oluşturulması tariflenmiştir. Bu çalışma kapsamında kolon ve kirişlerde her bir hasar sınırı için kabul edilen birim şekil değiştirme kapasiteleri aşağıda verilmiştir.

$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$; $(\epsilon_s)_{MN} = 0.010$

$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035$; $(\epsilon_s)_{GV} = 0.040$

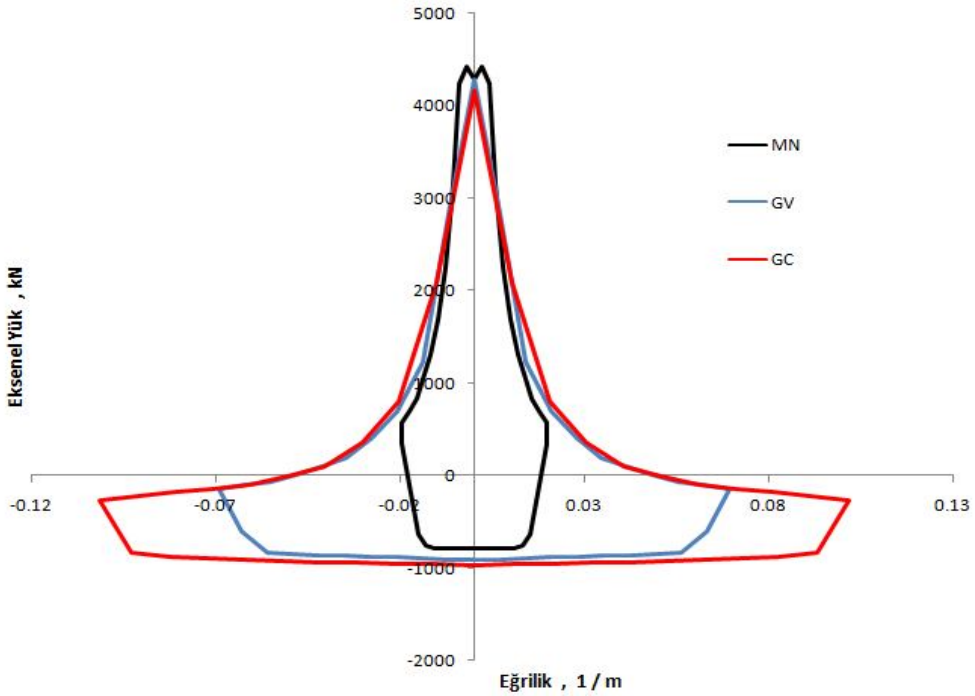
$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004$; $(\epsilon_s)_{GC} = 0.060$

Yukarıda göz önüne alınan birim şekil değiştirme kapasiteleri kullanılarak, eksenel kuvvet – toplam eğrilik diyagramları oluşturulmuştur. Şekil 3.6'da kolonun her iki yönü için bu diyagramlar verilmiştir.



a)

Şekil 3.6. Kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan eksenel kuvvet – eğrilik ilişkileri a) Kolon uzun doğrultusu için, b) Kolon kısa doğrultusu için



b)

Şekil 3.6. (Devam), Kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan eksenel kuvvet – eğrilik ilişkileri a) Kolon uzun doğrultusu için, b) Kolon kısa doğrultusu için,

Kolonların plastik mafsal boyları TDY 2007 de tanımlandığı üzere çalışan doğrultudaki kesit derinliğinin yarısı olarak analizlerde göz önüne alınmıştır. Plastik mafsallar ise, pratik olması açısından kolonların net açıklıklarının uçlarında tanımlanmıştır.

Kolonlar için son olarak kesme kapasiteleri TS-500 standardına göre elde edilmiştir. TS-500'e göre betonarme elemanların kesme kapasitesi aşağıdaki ifadelere göre hesaplanmaktadır.

$$V_c = 0.52 \times f_{ctm} \times b_w \times d \qquad (3.1)$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} \times f_{ywm} \times d \qquad (3.2)$$

$$V_r = V_c + V_w \qquad (3.3)$$

Kolonlarda Φ8/15 aralığında etriye kullanılması durumunda kolon kesme kapasitesi:

$$V_{cx} = 0.52 \times 1.48 \times 300 \times 675 = 132 \text{ kN}$$

$V_{wx}=\frac{2x\ 50}{150}$ x 420 x 675 = 189 kN

V_{rx}=132+ 189=321 kN

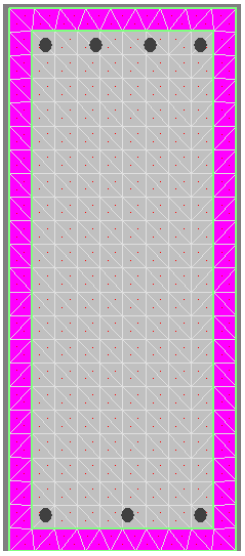
V_{cy}=0.52 x 1.48 x 700 x 275 = 148 kN

$V_{wy}=\frac{2x\ 50}{150}$ x 420 x 275 = 77 kN

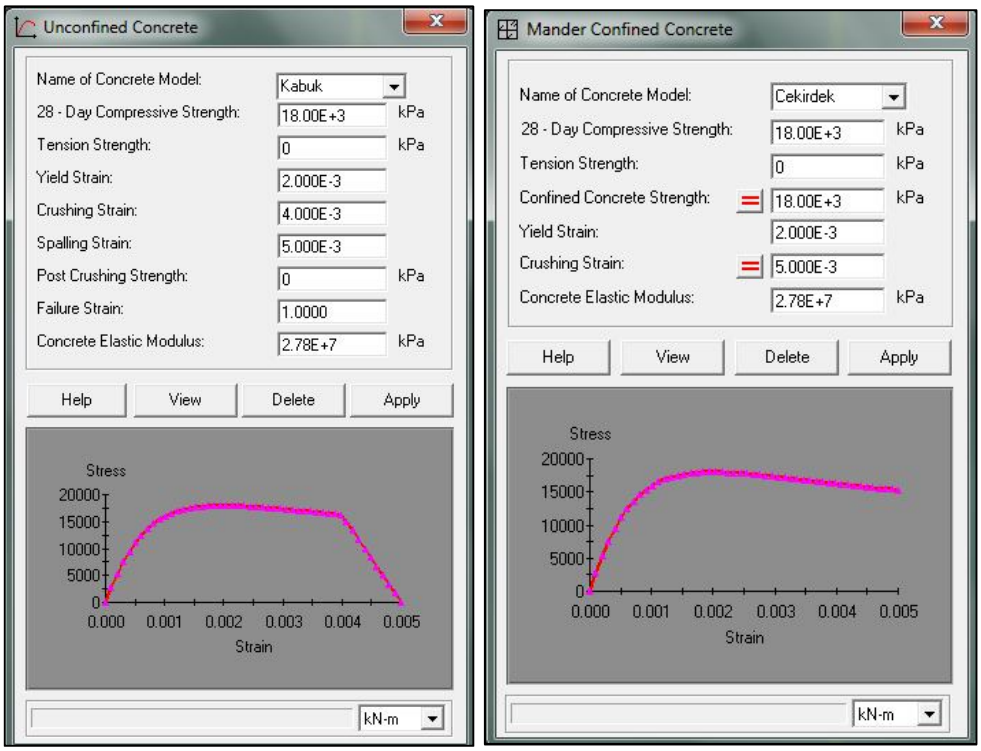
V_{ry}=148 + 77 =225 kN , olarak elde edilmiştir.

3.1.3. Kiriş kesit analizleri

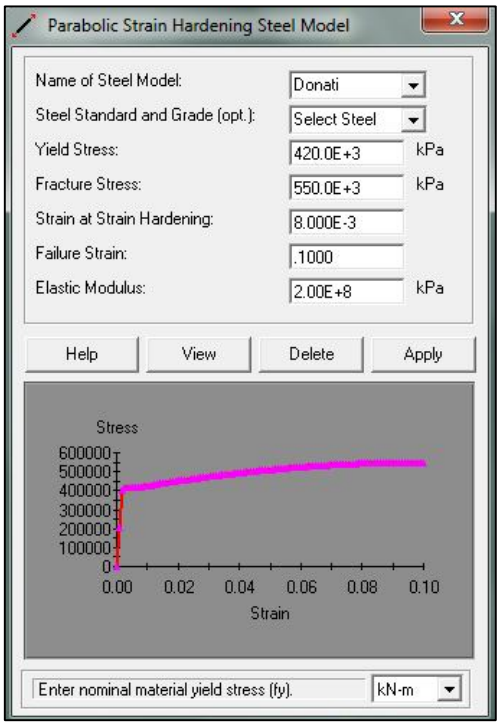
Mevcut taşıyıcı sistemde tüm kirişlerin boyutları 25x60 cm dir. Kirişlerin üst mesnet donatı oranı yaklaşık olarak 0.004, alt açıklık ve alt mesnetlerde ise minimum donatı oranının bulunduğu kabul edilmiştir. Buna göre üst mesnet kesitlerde 4Φ14, alt açıklık ve alt mesnetlerde ise 3Φ14 boy donatısı olduğu kabul edilmiştir. Etriyeler ise tüm kirişler için Φ8/15 olarak ve tek etriye olarak belirlenmiştir. Etriyelerin kancalarının 135° kıvrımlı ve TDY2007 de tanımlanan özel deprem etriyeleri olarak düzenlenmediği kabul edilmiştir. Bu sebepten dolayı kirişlerde sargı etkisinin bulunmadığı kabul edilerek kapasite hesapları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7 ve 3.8'de kiriş kesitleri için XTRACT yazılımında oluşturulan kesit görünüşleri ve malzeme modelleri verilmiştir.



Şekil 3.7. Kirişler için XTRACT kesit modeli



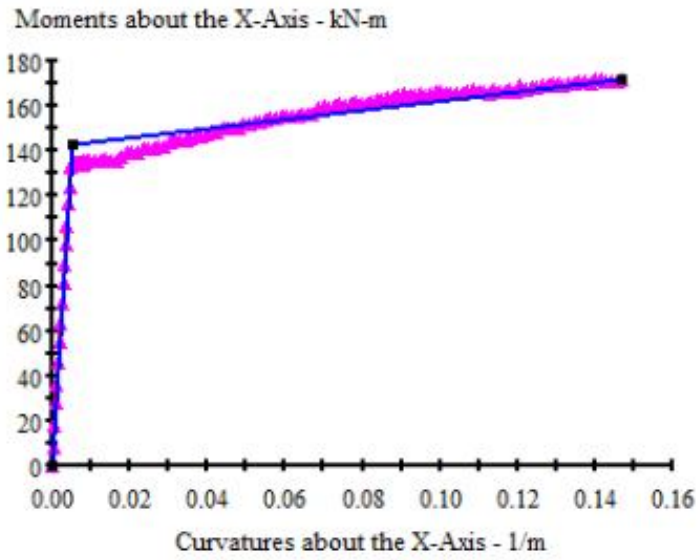
a) b)



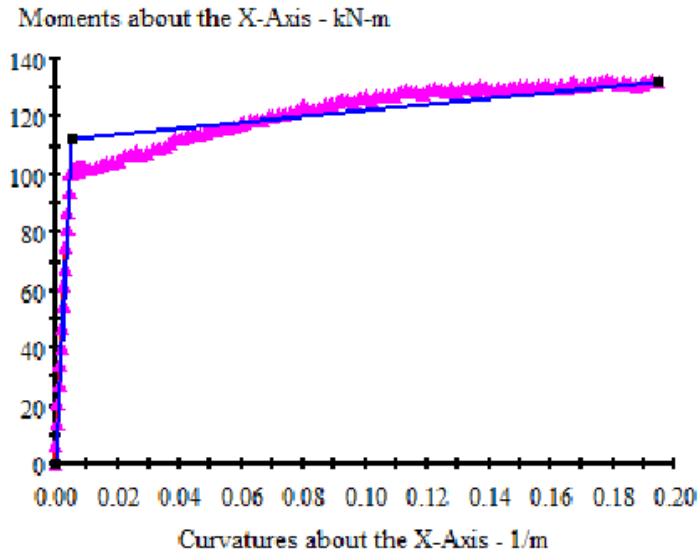
c)

Şekil 3.8. Kirişler için malzeme modelleri a) Kabuk bölgesi için beton modeli, b) Çekirdek bölgesi için beton modeli, c) Donatı çeliği modeli

Doğrusal elastik olmayan analizlerde kullanılmak üzere, kiriş kesitleri için moment – eğrilik ilişkileri XTRACT yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 3.9'da kiriş kesitleri için elde edilen moment eğrililik ilişkileri verilmiştir. Hesaplanan moment eğrilik analizi sonuçları idealize edilerek SAP2000 ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.10'da SAP2000 ortamında tanımlanan plastik mafsal özellikleri verilmiştir.



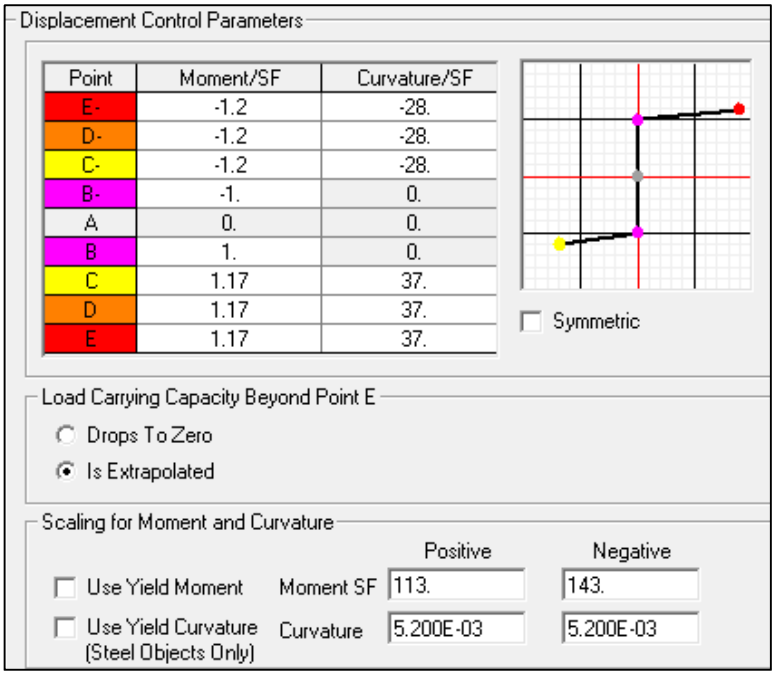
a)



b)

Şekil 3.9. Kirişler için Moment-Eğrilik İlişkileri, a) Negatif Moment Etkisi için, b) Pozitif Moment Etkisi için

Kirişlerin plastik mafsal boyları TDY 2007 de tanımlandığı üzere çalışan kesit derinliğinin yarısı olarak analizlerde göz önüne alınmıştır. Plastik mafsallar ise, pratik olması açısından kirişlerin net açıklıklarının uçlarında tanımlanmıştır. SAP2000 de kirişler için tanımlanan eğilme mafsalları Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kirişler için SAP2000de eğilme mafsalı tanımlanması

İtme analizinin son adımında elde edilen plastik dönme istemlerinden, denklem 2.27 ve 2.28 kullanılarak toplam eğrilik istemleri hesaplanır. Şekil 3.9'da gösterilen moment-eğrilik ilişkisinden, toplam eğrilik istemine karşılık gelen birim şekil değiştirme istemleri bulunur ve bu değerler her bir hasar sınırı için tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit hasar düzeyi belirlenir.

Kirişler için kesme kapasiteleri TS-500 standardına göre elde edilmiştir. Kirişlerde Φ8/15 etriye bulunması durumunda kiriş kesme kapasitesi :

$V_c = 0.52 \text{ x } 1.48 \text{ x } 250 \text{ x } 575 = 110 \text{ kN}$

$V_w = \frac{2\text{x } 50}{150} \text{ x } 420 \text{ x } 575 = 161 \text{ kN}$

$V_r = 110 + 161 = 271 \text{ kN}$, olarak elde edilmiştir.

3.2. Mevcut Binanın Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi

Bu bölümde mevcut binanın doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi için TDY2007 ye göre gerekli kontroller yapılmış, betonarme elemanların çatlamış kesitlerine ait etkin eğilme rijitlikleri belirlenmiştir.

3.2.1. Genel kabuller ve modal analiz sonuçları

Bu bölümde öncelikle deprem hesabında esas alınan toplam kütleler ile uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen $N_D$ye göre kolonlarda çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri belirlenmiştir. Kirişlerde çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri eksenel yükten bağımsız olup, aşağıda verilmiştir.

Kirişlerde : $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$ (3.4)

Kolonlarda : $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$ (3.5)

$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda $(EI)_e = 0.80\ (EI)_o$ (3.6)

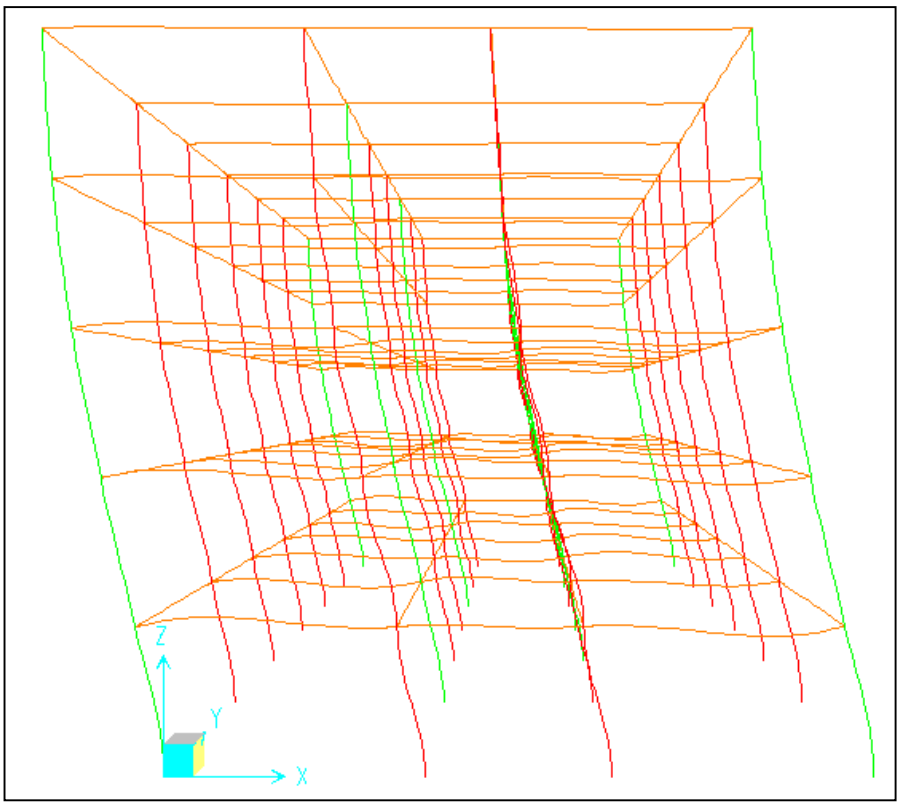
Çatlamamış eğilme rijitliklerinin kullanıldığı ön düşey yük analizi sonuçlarına göre elde edilen kolon eksenel basınç yükü seviyelerinin eksenel basınç kapasitelerine oranı ve etkin eğilme rijitlikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Betonarme kolon etkin eğilme rijitlikleri

Kolon	N_D / N_r	Hesap Edilen $(EI)_e$ / $(EI)_o$	Kabul Edilen $(EI)_e$ / $(EI)_o$
Zemin kat iç aks kolonları	~ 0.20	0.53	0.50
Zemin kat kenar aks kolonları	~ 0.15	0.47	0.40
1. kat iç aks kolonları	~ 0.15	0.47	0.40
1. kat kenar aks kolonları	~ 0.10	0.40	0.40
Diğer tüm Kolonlar	~ 0.10	0.40	0.40

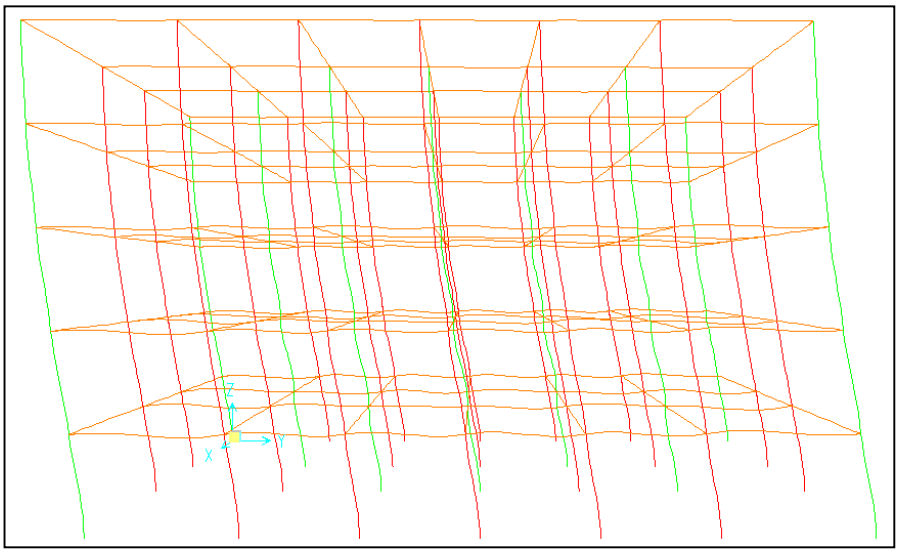
Yukarıdaki tablodan görüleceği üzere genel olarak kolonların üzerlerindeki eksenel basınç yükü seviyeleri düşüktür. Hesap sonucu elde edilen çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri, modellemede basitlik sağlaması açısından zemin katın iç akslarında yer alan kolonlar dışındaki tüm kolonlarda aynı olduğu kabul edilmiştir.

Yukarıdaki kabul doğrultusunda çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitliklerinin geçerli olduğu başlangıç durumu için modal analiz gerçekleştirilmiştir. Modal analiz sonuçları Tablo 3.3 ve 3.4'de özet olarak verilmiştir. Şekil 3.11'de hakim modlara ait deforme olmuş şekiller gösterilmiştir.



a)

Şekil 3.11. Binanın modal analiz sonucunda elde edilen hakim modlarda deforme olmuş şekilleri a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için



b)

Şekil 3.11. (Devam), Binanın modal analiz sonucunda elde edilen hakim modlarda deforme olmuş şekilleri a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

Tablo 3.3 Mevcut binanın kütle katılım oranları

Kütle Katılım Oranları								
Analiz	**Mod No**	**Periyot**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**	**RZ**	**SumRZ**
MODAL	1	0.83408	0.85276	7.87E-07	0.85276	7.87E-07	0.44965	0.44965
MODAL	2	0.673	0.00014	0.00228	0.8529	0.00228	0.25584	0.70549
MODAL	3	0.6197	2.647E-06	0.85375	0.85291	0.85603	0.14817	0.85366
MODAL	4	0.26264	0.09057	3.22E-07	0.94348	0.85603	0.04762	0.90129
MODAL	5	0.21204	0.00001051	0.00027	0.94349	0.8563	0.02735	0.92864

Tablo 3.4 Mevcut binanın modal katkı çarpanları

Modal Katkı Çarpanları					
Analiz	**Mod No**	**Periyot**	**UX**	**UY**	**RZ**
MODAL	1	0.83408	41.58556	0.039938	-485.79724
MODAL	2	0.673	-0.531377	-2.149984	-366.43818
MODAL	3	0.6197	-0.073271	41.60958	278.868524
MODAL	4	0.26264	13.55268	0.025567	-158.10051
MODAL	5	0.21204	0.146013	0.742016	119.820692

Ayrıca deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı düşey yük analinde bina toplam kütlesi 2032.33 t olarak elde edilmiştir.

Ayrıca 1.mod için binanın en üst katının kütle merkezinde x yönü için mod şekil genliği Φ_{xN1} = 0.0309, 3.mod için binanın en üst katının kütle merkezinde y yönü için mod şekil genliği Φ_{xY1} = 0.0304 olarak elde edilmiştir. Tablo 3.5'de binanın her iki doğrultusu için ek dış merkezlilik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış için hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı hesaplanmıştır.

Tablo 3.5 Mevcut binanın burulma düzensizliği kontrolü, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

A1 - Burulma Düzensizliği Kontrolü :					
Deprem Yönü X					
Kat :	Δi : (mm)	Δj : (mm)	Δ (ort) : (mm)	ηbi :	Durum
1	45.000	43.000	44.000	1.02	***TAMAM***
2	55.000	54.000	54.500	1.01	***TAMAM***
3	44.000	43.000	43.500	1.01	***TAMAM***
4	21.000	21.000	21.000	1.00	***TAMAM***
5	7.000	6.000	6.500	1.08	***TAMAM***

a)

A1 - Burulma Düzensizliği Kontrolü :					
Deprem Yönü Y					
Kat :	Δi : (mm)	Δj : (mm)	Δ (ort) : (mm)	ηbi :	Durum
1	32.000	30.000	31.000	1.03	***TAMAM***
2	40.000	37.000	38.500	1.04	***TAMAM***
3	32.000	30.000	31.000	1.03	***TAMAM***
4	16.000	16.000	16.000	1.00	***TAMAM***
5	4.000	4.000	4.000	1.00	***TAMAM***

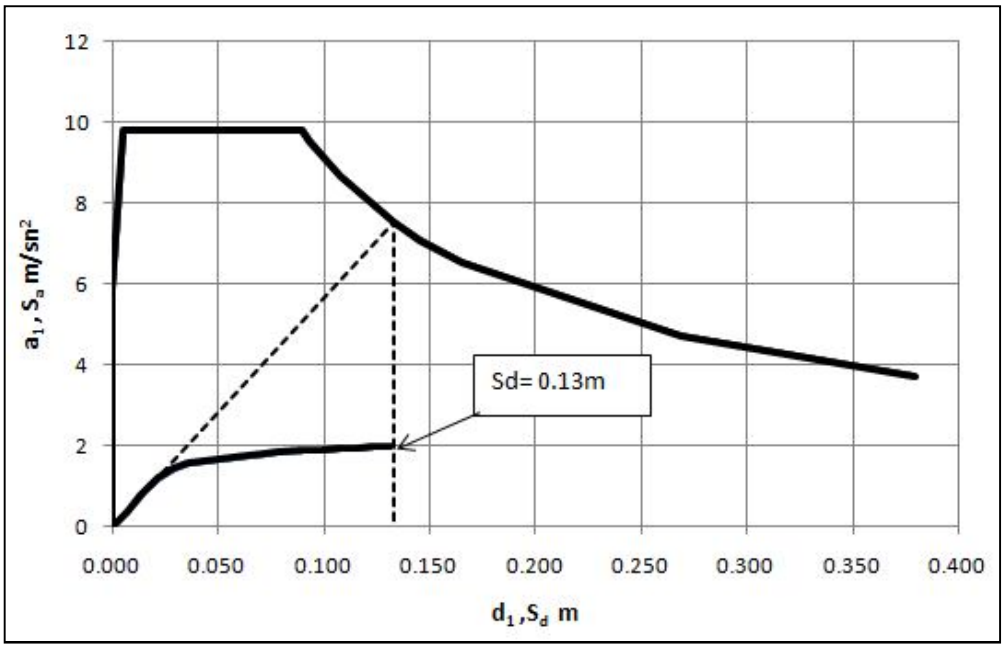
b)

3.2.2. Tepe deplasman talebinin belirlenmesi

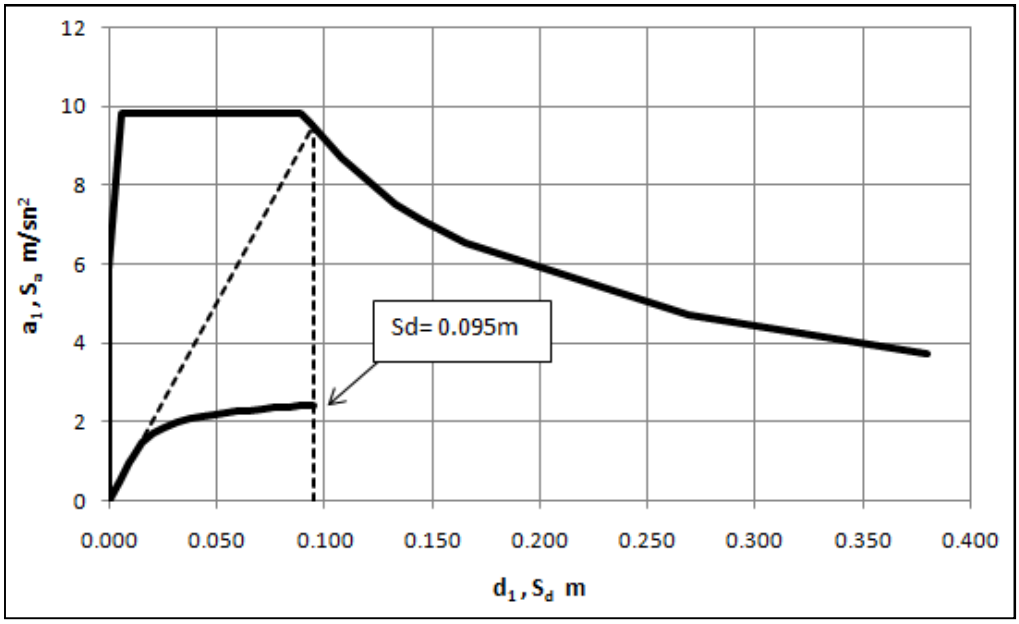
Binanın yukarıda verilen modal özellikleri göz önüne alınarak, 50 yılda aşılma ihtimali %10 olan deprem düzeyi için, tepe deplasman talebi hesaplanmıştır. Öncelikle %5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun koordinatları spektral ivme – spektral yerdeğiştirme olarak değiştirilmiştir. Sonrasında bölüm 2.3.1 de verilen hesap adımları uygulanarak, koordinatları modal ivme–modal yerdeğiştirme olan kapasite diyagramı elde edilmiştir. Mevcut binanın her iki

yönünde de hakim periyotların, depremin karakteristik periyotu T_B'den büyük olmasından dolayı eşit yer değiştirme kuralı geçerli olarak, doğrusal olmayan

spektral yer değiştirme, doğrusal elastik yerdeğiştirmeye eşit olarak alınmıştır. Şekil 3.12'de her iki yön için spektral yerdeğiştirmeler verilmiştir.



a)



b)

Şekil 3.12. Binanın her iki doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

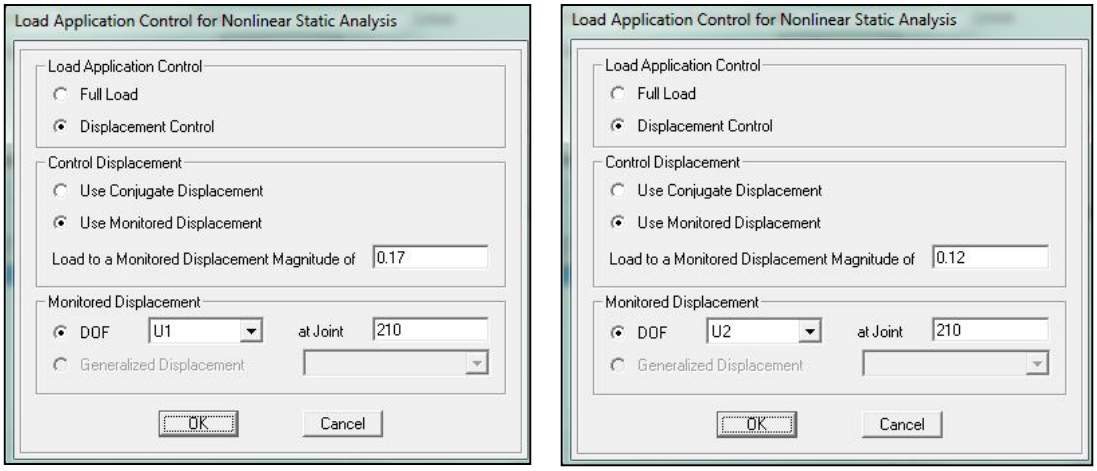
Elde edilen doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme değerleri, modal yerdeğiştirme istemine eşittir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem için hesaplanan modal yerdeğiştirme istemleri, uygun koordinat dönüşümü ile çok serbestlik dereceli sistemin tepe yerdeğiştirme istemine dönüştürülür. Binanın x doğrultusu için tepe yerdeğiştirmesi istemi ;

$u_{xN1}^{(p)}=\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}d_1^{(p)}$ ve $u_{xN1}^{(p)}=0.0309$ x 41.58 x0.13 = 0.17 m dir.

Binanın y doğrultusunda ise ;

$u_{yN1}^{(p)}=\Phi_{yN1}\Gamma_{x1}d_1^{(p)}$ ve $u_{yN1}^{(p)}=0.0304$ x 41.61 x0.095 = 0.12 m dir.

Elde edilen bu değerler SAP2000 e aktarılmıştır.



a) b)

Şekil 3.13. Tepe deplasman talebinin Sap2000'de tanımlanması a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

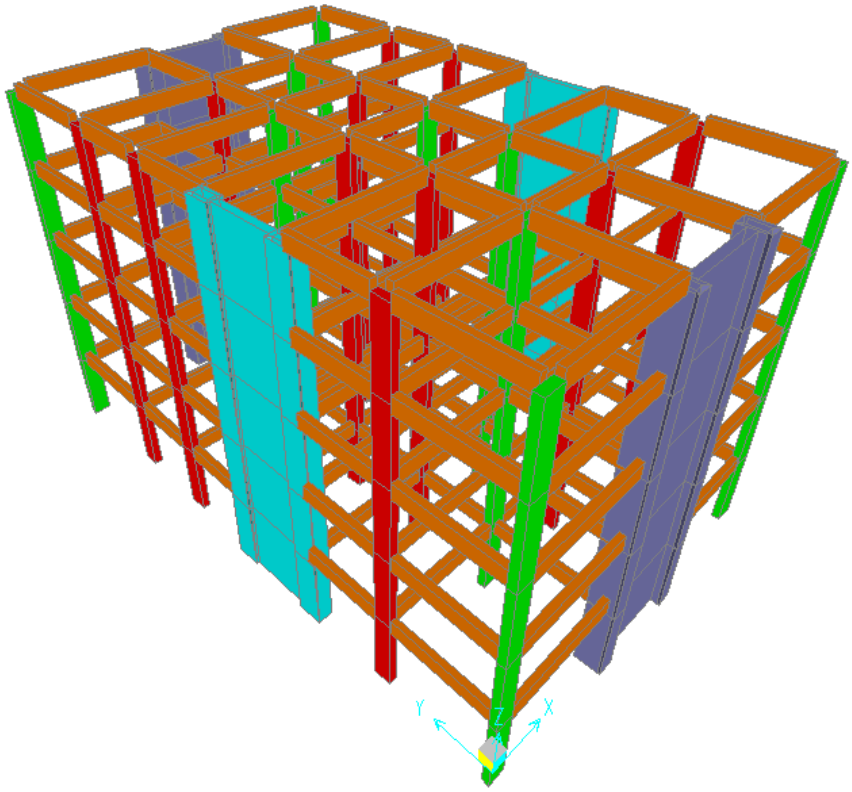
Bina her iki doğrultuda yukarıda verilen tepe yerdeğişirme istemlerine ulaşıncaya kadar itilmiştir. Son adımda elde edilen tüm istem büyüklüklerine ait sonuçlar 4.bölümde verilmiştir.

3.3. Betonarme Perdeler ile Güçlendirilen Binanın Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi

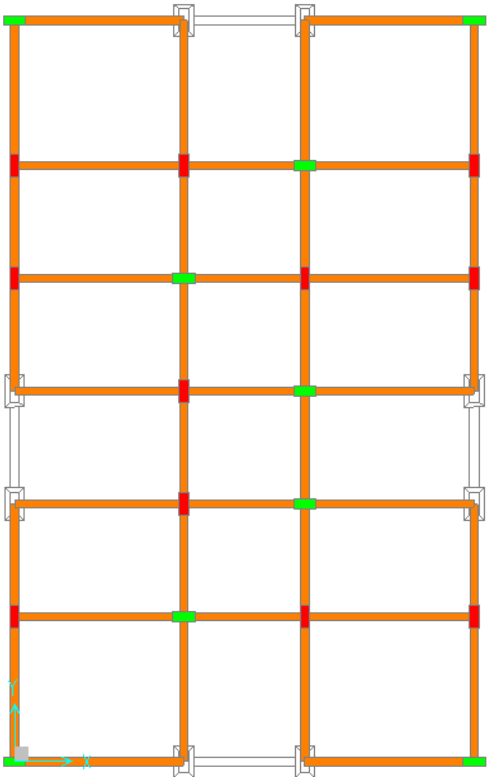
Bu bölümde betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi için TDY2007 ye göre gerekli kontroller yapılmış ve güçlendirme perdelerinin tasarımı ve kesit analizleri gerçekleştirilmiştir.. Ayrıca, betonarme perdeler ile güçlendirilen sistemin tepe yerdeğiştirme istemi hesaplanmıştır.

3.3.1. Güçlendirme perdelerinin tasarımı ve kesit analizleri

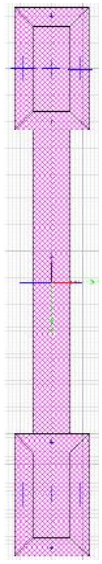
Mevcut binanın her iki doğrultusuna, sisteme ek burulma yükleri getirmeyecek şekilde betonarme perdeler eklenmiştir. Perdeler mevcut çerçeveler içerisine yerleştirilmiş olup, çerçeve kolonları 15 cm kalınlığında betonarme manto ile güçlendirilmiştir. Perdelerin kalınlığı 30 cm olup, beton sınıfı C30, donatı çeliği kalitesi S420 olarak belirlenmiştir. Perdeler Sap2000'de çubuk elemanlar ile modellenmiştir. Şekil 3.14'de perdelerin yerleşimi ve perde kesitleri verilmiştir.



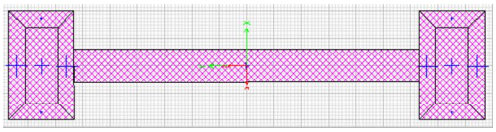
Şekil 3.14. Betonarme perdeler ile güçlendirilmiş sistemin 3 boyutlu Sap2000 görünüşü



a)



b)



c)

Şekil 3.15. a) Betonarme perdelerin kat planında yerleşimi, b) Y doğrultusunda yerleştirilen perdelerin kesit görünüşü, c) X doğrultusunda yerleştirilen perdelerin kesit görünüşleri

Güçlendirme perdeleri ve kolonların mantolanması monolitik olarak imal edileceğinden ötürü tek bir eleman olarak göz önüne alınmıştır. Perdeler çubuk eleman ile modellenmiştir. Şekil 3.15'de her iki doğrultuda sisteme yerleştirilen perdelerin kesitleri görülmektedir.

Güçlendirme perdelerinin ve kolon mantolalarının tasarımları TDY 2007 ye göre yapılmıştır. 435x30 cm boyutlarındaki güçlendirme perdesi için hesap adımları aşağıdaki gibidir.

Perdelerin her iki yüzündeki yatay ve düşey gövde donatıları Φ14/20 olarak seçilmiştir. Buna göre düşey gövde donatıları için;

$\rho = 2 \times 1.54 \times 16 \times ((435 - 2 \times 60) \times 30) = 0.0052 > 0.0025$

Yatay gövde donatıları için ,

$$\rho = \frac{((435\text{-}2 \times 60)/20) \times 1.54 \times 2}{(435\text{-}2 \times 60) \times 30} = 0.0051 > 0.0025$$

Perde uç bölgelerinde ise, mevcut betonarme kolonlar 15 cm kalınlığında betonarme katman dört kenarı boyunca güçlendirilmişlerdir. Manto bölgesinde toplam 24Φ16 boy donatısı seçilmiştir. Perde uç bölgesi olarak sadece yeni oluşturulan manto katmanının çalıştığı göz önüne alınarak tasarlanmıştır.

$$\rho = \frac{24 \times 2.01}{21\ 450} = 0.0025 > 0.002$$

Perde uç bölgelerinde kullanılacak enine donatılarda ise etriye ve çiroz aralıkları, çaplarının 25 katından fazla olmayacak şekilde belirlenmiştir. Etriye ve çiroz çapı 10 mm olup, 100 mm ara ile yerleştirilmişlerdir.

30x450 cm boyutlarındaki güçlendirme perdeleri de benzer şekilde donatılandırılmıştır. Bu perdelerde de her iki yüzündeki yatay ve düşey gövde donatıları Φ14/20 olarak seçilmiştir. Buna göre düşey gövde donatıları için;

$\rho = 2 \times 1.54 \times 12 \times ((450 - 2 \times 100) \times 30) = 0.0049 > 0.0025$

Yatay gövde donatıları için,

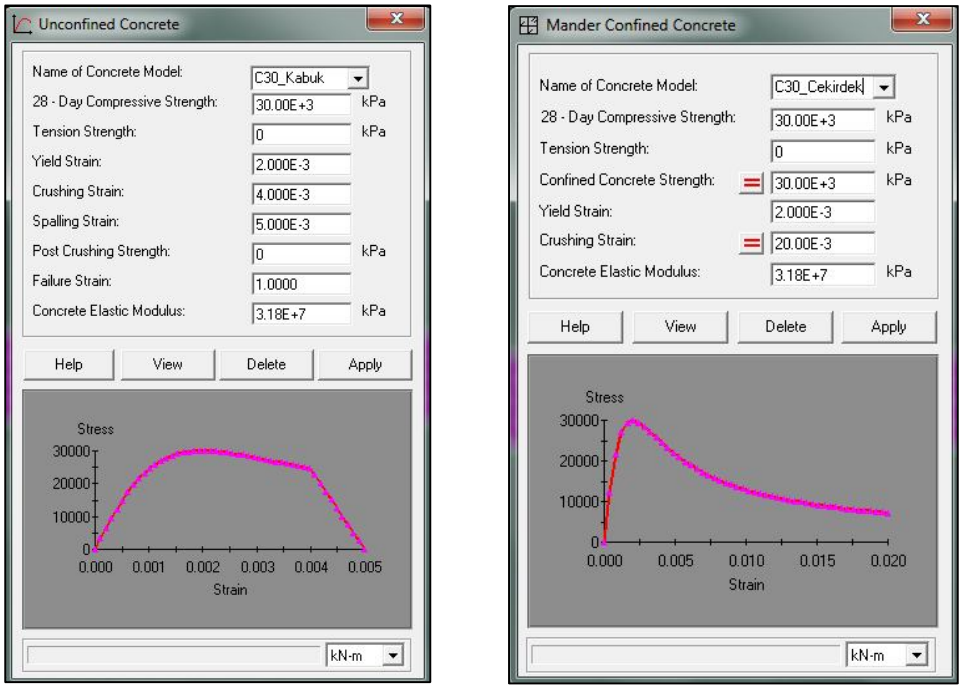
$$\rho = \frac{((450\text{-}2 \times 100) / 20) \times 1.54 \times 2}{(450\text{-}2 \times 100) \times 30} = 0.0051 > 0.0025$$

Perde uç bögeleri benzer şekilde, mevcut kolonların 15 cm kalınlığında betonarme manto katmanı ile oluşturulmuştur. Manto bölgesinde toplam 24Φ16 boy donatısı seçilmiştir.

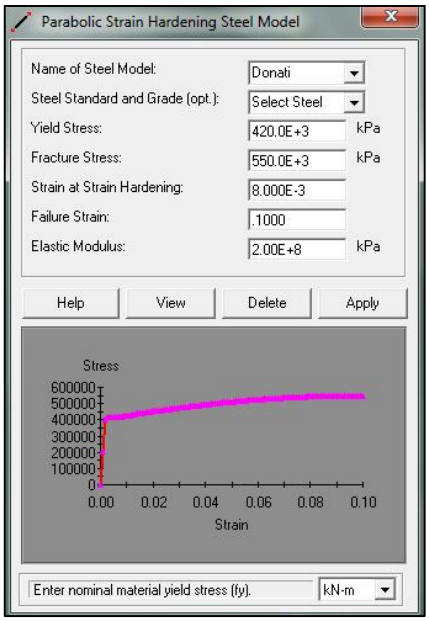
$$\rho = \frac{24 \times 2.01}{19\ 500} = 0.0024 > 0.002$$

Yukarıda göz önüne alınan donatı adetlerine göre, XTRACT yazılımında güçlendirme perdelerinin kesitleri modellenmiştir. Aşağıda XTRACT yazılımında

göz önüne alınan malzeme modelleri Şekil 3.16'da verilmiştir. Mevcut kolon kesitlerinde mevcut malzeme dayanımları göz önüne alınmıştır.



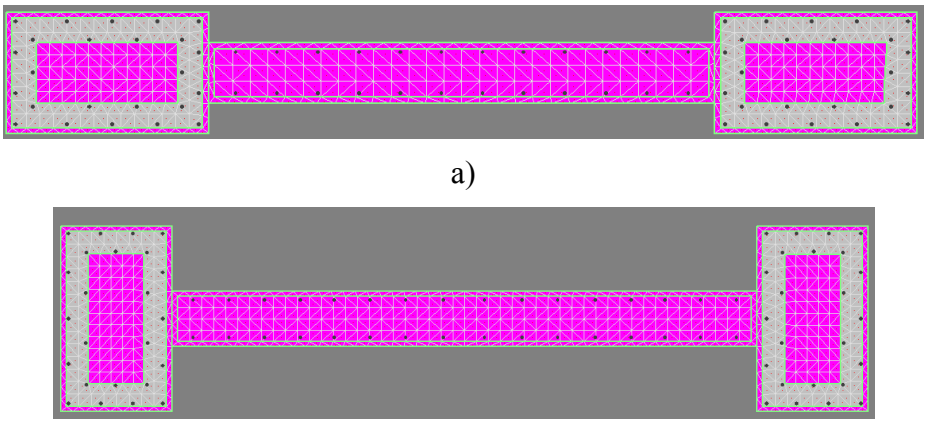
a) b)



c)

Şekil 3.16. a) Güçlendirme perdelerinin kabuk bölgelerinde tanımlanan beton modeli, b) Çekirdek bölgesinde tanımlanan malzeme modeli, c) Donatı modeli

Perdelerin donatı konfigürasyonu ve kesit görünüşleri Şekil 3.17'deki gibidir.

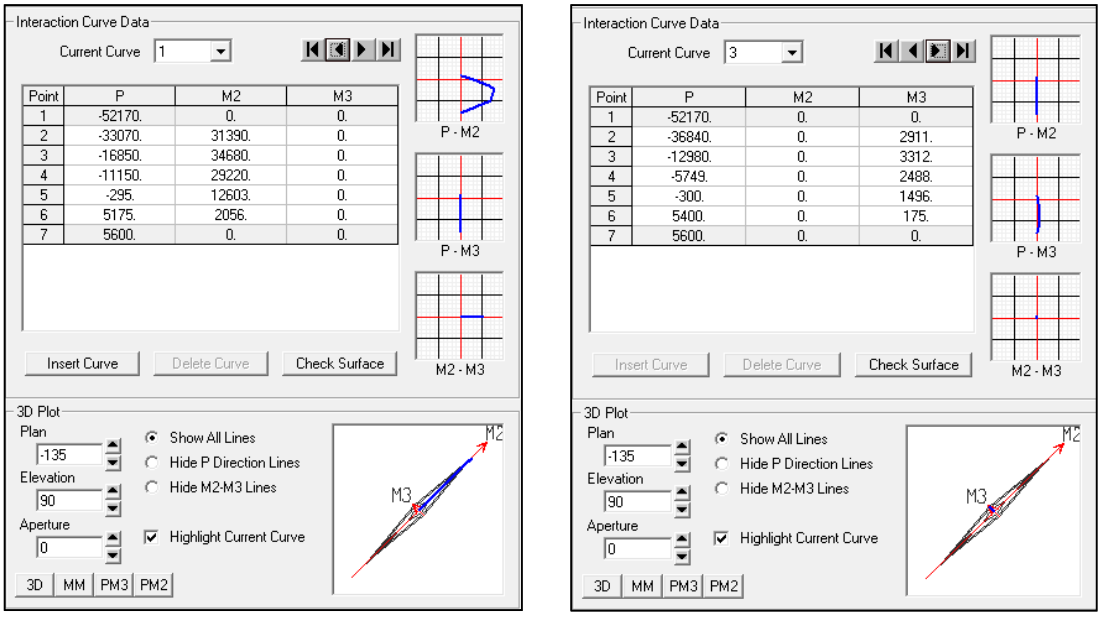


a)

b)

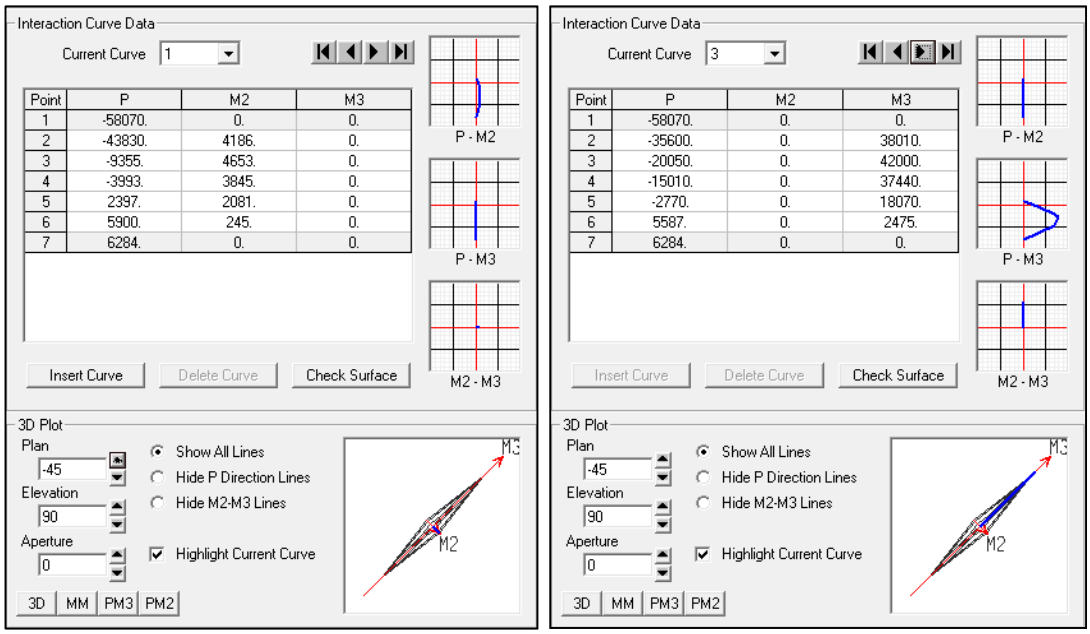
Şekil 3.17. Güçlendirme Perdelerinin XTRACT programındaki model görünüşleri a)Y doğrultusunda yerleştirilen 30x450 cm boyutlarındaki perdeler, b)X doğrultusunda yerleştirilen 435x30 cm boyutlarındaki perdeler

Malzeme ve kesit özellikleri tanımlandıktan sonra, güçlendirme perdelerinin akma yüzeyleri hesaplanarak SAP2000 e aktarılmıştır. (Şekil 3.18 ve 3.19).



a) b)

Şekil 3.18. 30x450 cm boyutlarındaki perdelerin akma yüzeylerinin Sap2000'de tanımlanması, Perde güçlü doğrultusundaki yön 0°, b)Perde zayıf doğrultusundaki yön 90°



a) b)

Şekil 3.19. 435x30 cm boyutlarındaki perdelerin akma yüzeylerinin Sap2000'de tanımlanması,) a)Perde zayıf doğrultusundaki yön 0° , b) Perde güçlü doğrultusundaki yön 90°

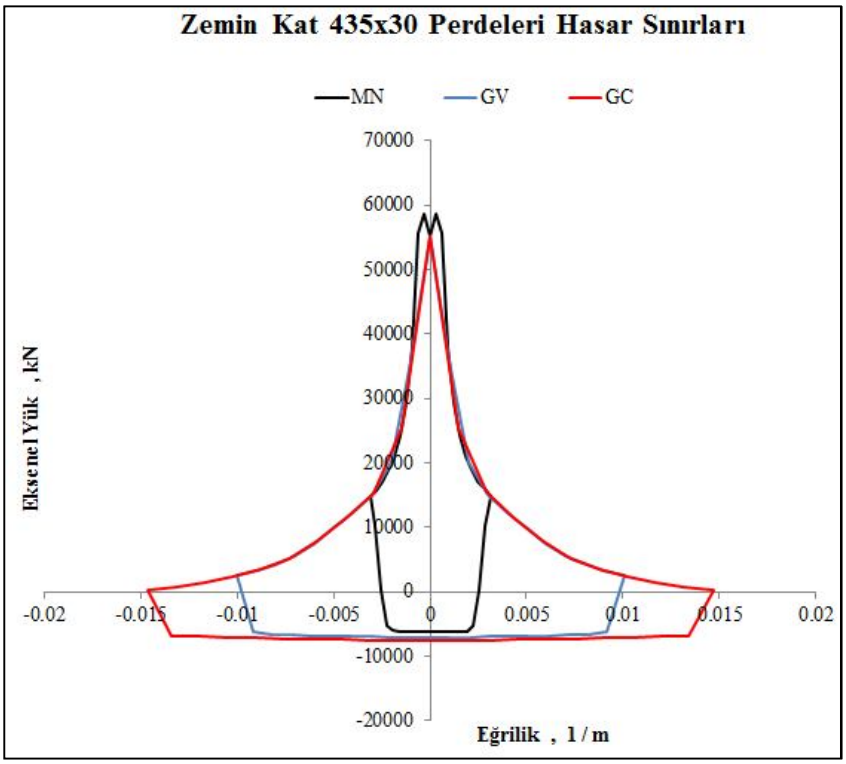
Perdeler için akma yüzeylerinin elde edilmesinden sonra, doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen istemlerin, aşağıda her bir hasar sınırı için verilen birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde perdelerin performansının belirlenmesi için eksenel yük–eğrilik diyagramları gösterilmiştir. Yeni tasarlanan perdelerin her bir hasar sınırı için kabul edilen birim şekil değiştirme kapasiteleri aşağıda verilmiştir.

$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035$; $(\epsilon_s)_{MN} = 0.010$

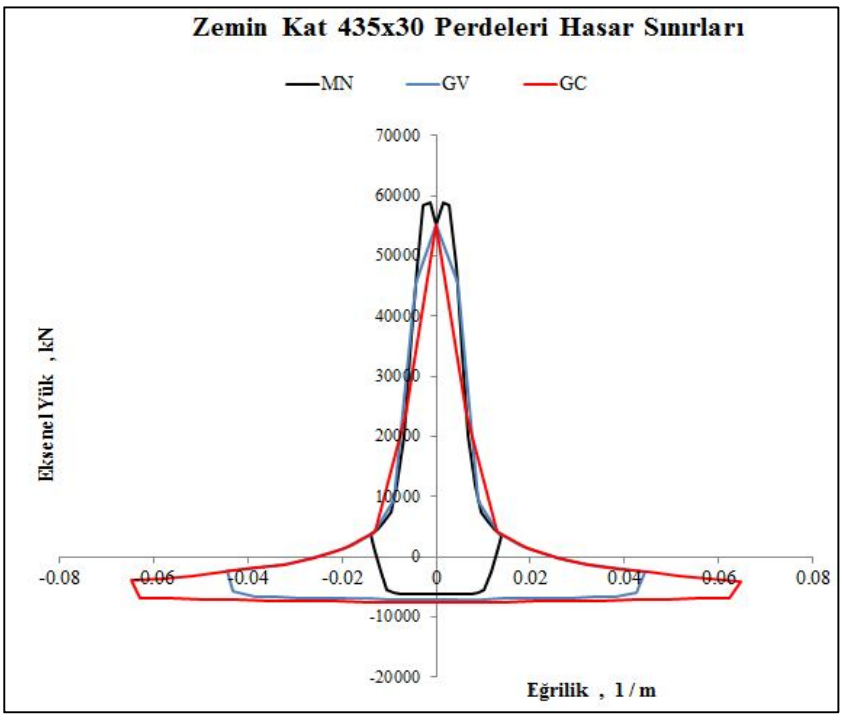
$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0135$; $(\epsilon_s)_{GV} = 0.040$

$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.018$; $(\epsilon_s)_{GC} = 0.060$

Yukarıda göz önüne alınan birim şekil değiştirme kapasiteleri kullanılarak, eksenel kuvvet–toplam eğrilik diyagramları oluşturulmuştur. Şekil 3.20'de 435x30cm lik, perdeye ait hasar sınırları verilmiştir. Şekil 3.21'de ise 30x450 cm boyutlarındaki perdeye ait hasar sınırları verilmiştir.

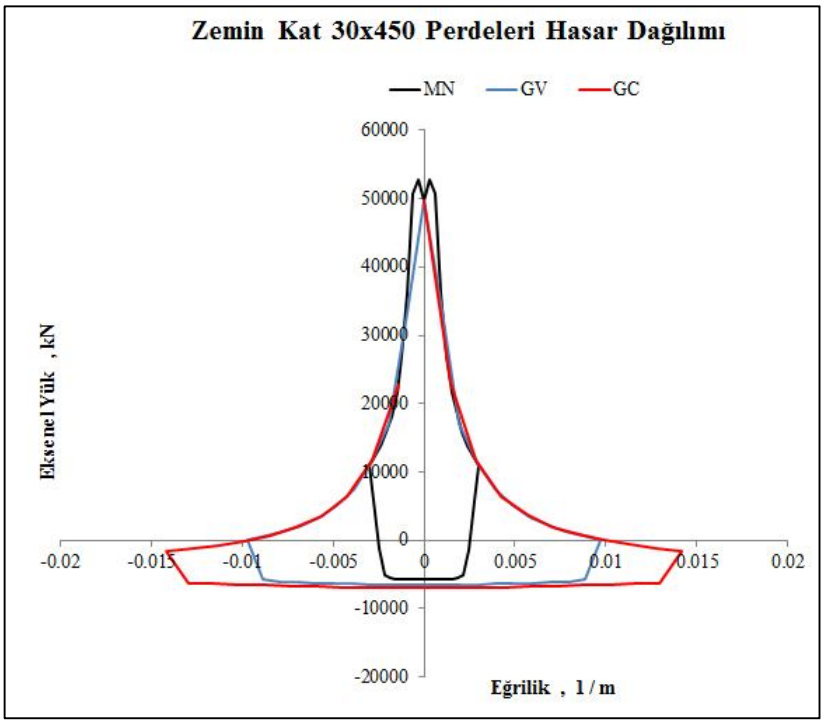


a)

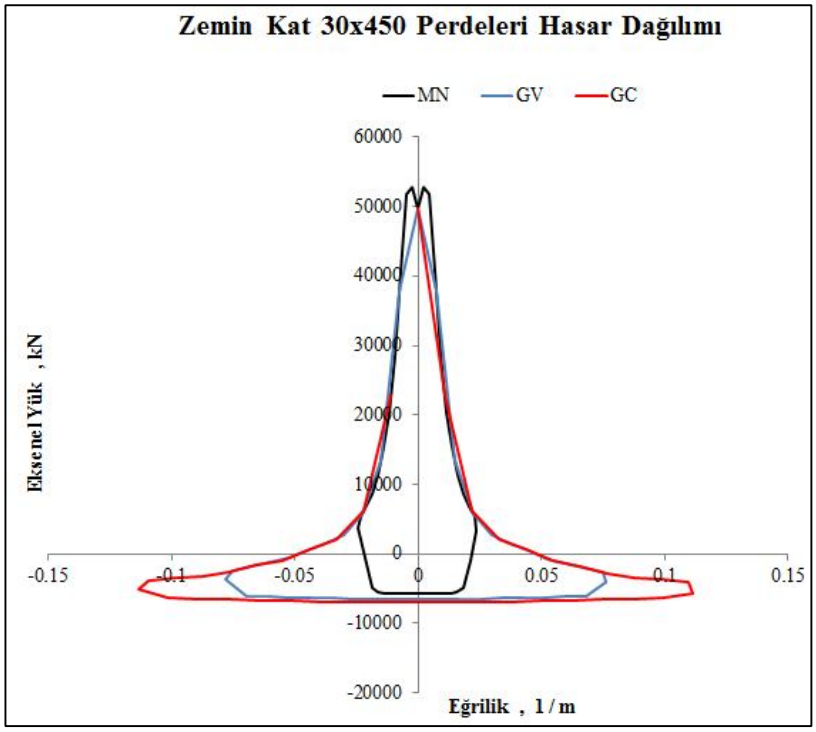


b)

Şekil 3.20. 435x30 cm lik Perdeler için Hasar Sınırları, a) Güçlü Yön, b) Zayıf Yön



a)



b)

Şekil 3.21. 30x450 cm lik Perdeler için Hasar Sınırları, a) Güçlü Yön, b) Zayıf Yön

TDY 2007 e göre perdelerin kesme dayanımı aşağıdaki ifadeye göre hesaplanır.

$$V_r = A_{ch} \left(0.65\, f_{ctm} + \rho_{sh} f_{ywm} \right) \quad (3.7)$$

Ayrıca kesme kuvvetinin,

$V_e < (0.22\, A_{ch} f_{cm})$ koşulunu sağlaması gerekmektedir. (3.8)

Buna göre 435x30 cm lik güçlendirme perdesinin kesme dayanımı,

$V_r = 1.725 \left(0.65 \text{ x } 1917 + 0.0051 \text{x } 420000 \right) = 5844$ kN

$0.22\, A_{ch} f_{cm} = 0.22 \text{ x } 1.725 \text{ x } 30000 = 11385$ kN

30x450 cm lik güçlendirme perdesinin kesme dayanımı,

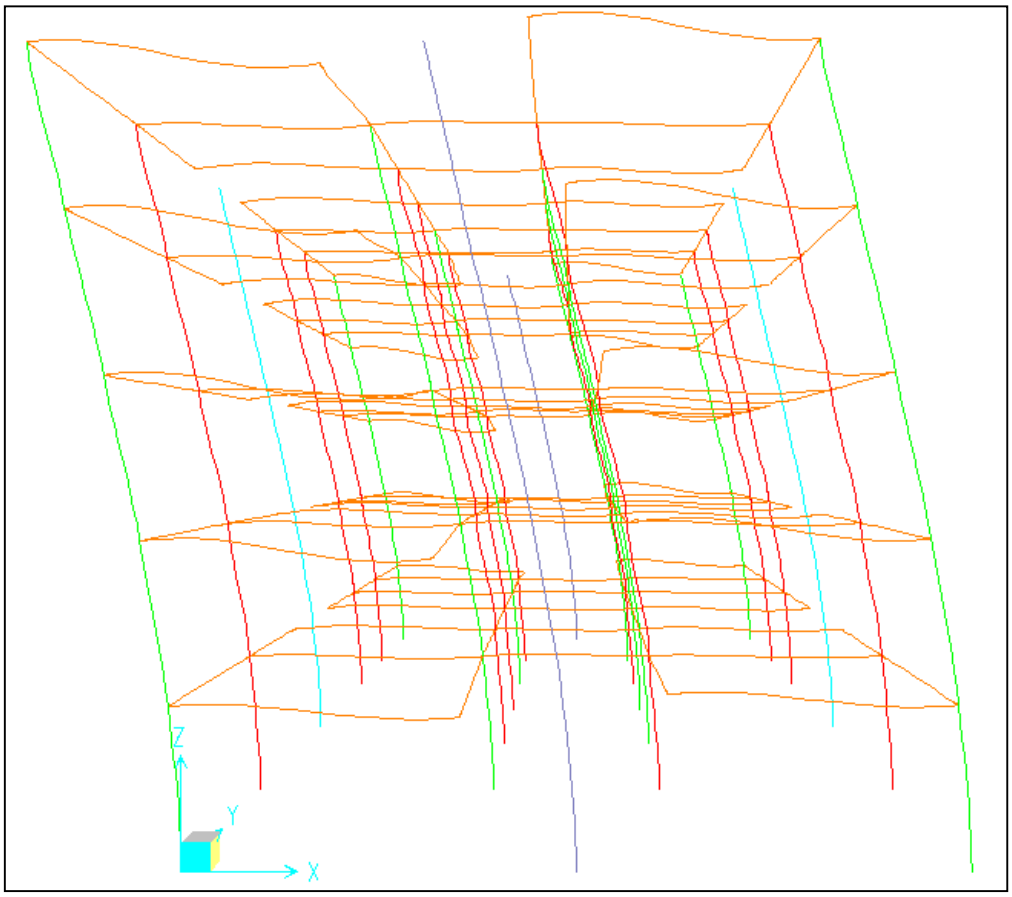
$V_r = 1.14 \left(0.65 \text{ x } 1917 + 0.0051 \text{x } 420000 \right) = 3862$ kN

$0.22\, A_{ch} f_{cm} = 0.22 \text{ x } 1.725 \text{ x } 30000 = 7524$ kN

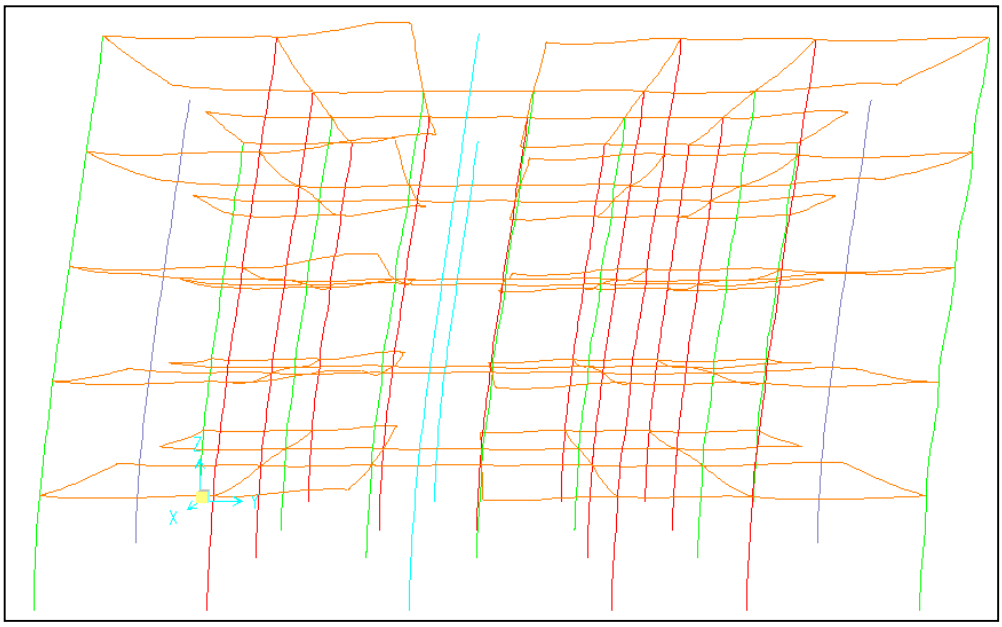
3.3.2. Genel kabuller ve modal analiz sonuçları

Önceki bölümde mevcut sistem için hesaplanan etkin eğilme rijitlikleri betonarme perdelerin eklenmesi durumunda da aynı şekilde kullanılmış olup, perdelerin etkin eğilme rijitlikleri, çatlamamış kesitlerin eğilme rijitliğinin 0.40'ı olarak göz önüne alınmıştır.

Etkin eğilme rijitliklerinin kullanıldığı modal analiz sonuçları Tablo 3.6 ve 3.7'de verilmiştir. Ayrıca hakim modlara ait deforme olmuş şekiller, Şekil 3.22'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.22. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın modal analiz sonucunda elde edilen hakim modlarda deforme olmuş şekilleri a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için.

Tablo 3.6 Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın kütle katılım oranları

Kütle Katılım Oranları								
Analiz	**Mod No**	**Periyot**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**	**RZ**	**SumRZ**
MODAL	1	0.35645	0.71284	0.00097	0.71284	0.00097	0.38201	0.38201
MODAL	2	0.33466	0.00097	0.72967	0.7138	0.73064	0.12725	0.50926
MODAL	3	0.24147	4.47E-07	2.394E-06	0.7138	0.73064	0.20338	0.71263
MODAL	4	0.08439	0.00877	0.17575	0.72258	0.90639	0.06399	0.77663
MODAL	5	0.08406	0.19094	0.00796	0.91351	0.91435	0.07494	0.85157

Tablo 3.7 Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın kütle katılım oranları

Modal Katkı Çarpanları					
Analiz	**Mod No**	**Period**	**UX**	**UY**	**RZ**
MODAL	1	0.35645	-39.39936	1.45003	464.152731
MODAL	2	0.33466	1.451243	39.86196	267.888001
MODAL	3	0.24147	-0.031183	0.072203	-338.66819
MODAL	4	0.08439	-4.3705	19.56302	189.971345
MODAL	5	0.08406	-20.39093	-4.163537	205.586572

Deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı düşey yük analinde bina toplam kütlesi 2215.5 t olarak elde edilmiştir.

Ayrıca 1.mod için binanın en üst katının kütle merkezinde x yönü için modal şekil genliği $\Phi_{xN1} = 0.037$, 2.mod için binanın en üst katının kütle merkezinde y yönü için modal şekil genliği $\Phi_{xY1} = 0.036$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.8 Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın burulma düzensizliği kontrolü, a) X doğrtultusu için, b) Y doğrultusu için

A1 - Burulma Düzensizliği Kontrolü :					
Deprem Yönü X					
Kat :	Δi : (mm)	Δj : (mm)	Δ (ort) : (mm)	ηbi :	Durum
1	10.000	10.580	10.290	1.03	***TAMAM***
2	13.000	13.220	13.110	1.01	***TAMAM***
3	14.000	14.000	14.000	1.00	***TAMAM***
4	15.000	15.100	15.050	1.00	***TAMAM***
5	13.000	13.100	13.050	1.00	***TAMAM***

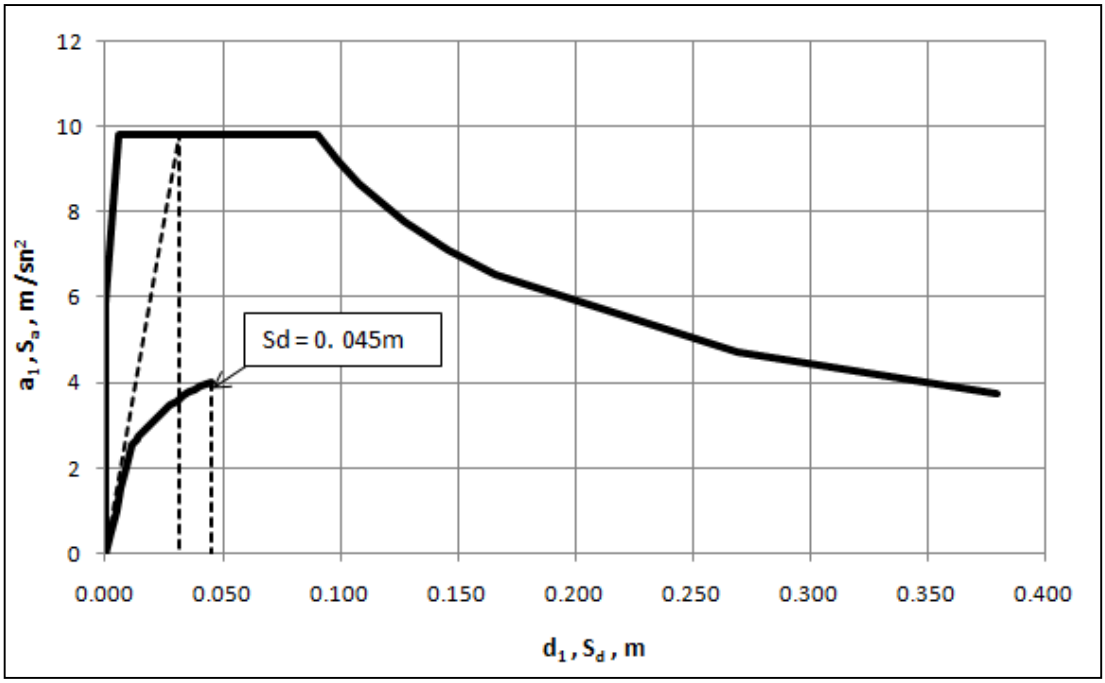
(a)

A1 - Burulma Düzensizliği Kontrolü :					
Deprem Yönü Y					
Kat :	Δi : (mm)	Δj : (mm)	Δ (ort) : (mm)	ηbi :	Durum
1	9.000	9.200	9.100	1.01	***TAMAM***
2	12.000	12.100	12.050	1.00	***TAMAM***
3	13.000	13.000	13.000	1.00	***TAMAM***
4	13.000	13.200	13.100	1.01	***TAMAM***
5	12.000	12.500	12.250	1.02	***TAMAM***

(b)

3.3.3. Tepe deplasman talebinin belirlenmesi

Binanın yukarıda verilen modal özellikleri göz önüne alınarak, 50 yılda aşılma ihtimali %10 olan deprem düzeyi için, tepe deplasman talebi önceki bölümde verildiği gibi hesaplanmıştır. Şekil 3.23 ve 3.24'de her iki yön için spektral yerdeğiştirmeler verilmiştir.



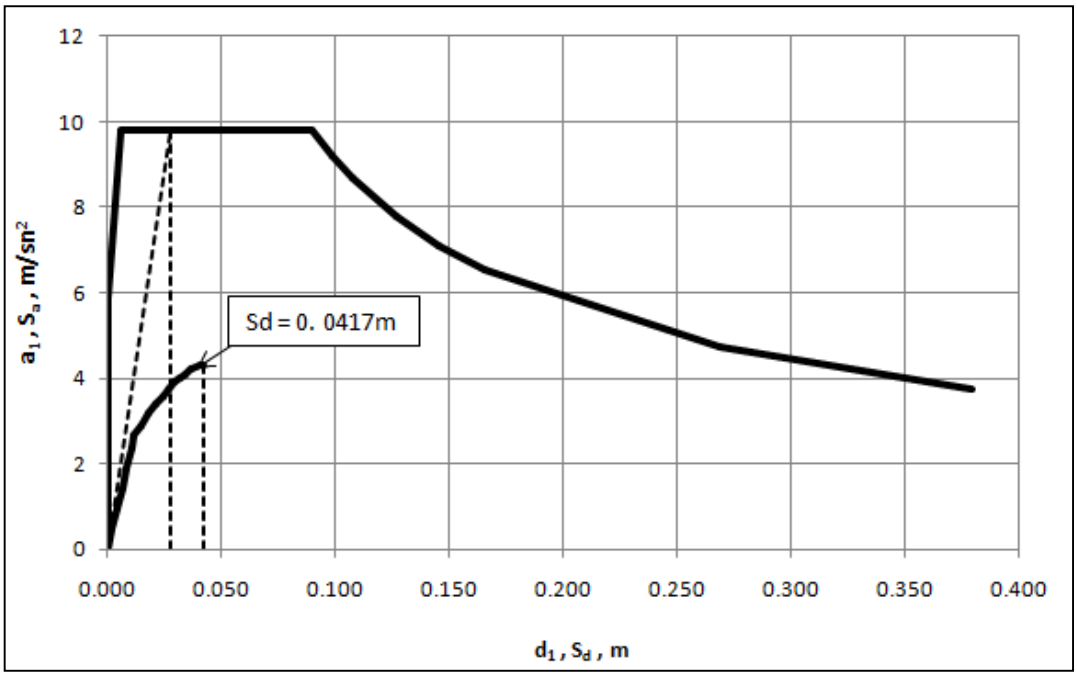
Şekil 3.23. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın X doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi

X doğrultusunda doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri,S_{del} = 0.0316 m olarak hesaplanmıştır. Binanın bu doğrultusundaki hakim periyotu, depremin

karakteristik periyotundan küçük olduğu için, doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri C_{R1} ile arttırılmıştır. Buna göre X doğrultusu için;

α_{y1} = 3.80 m/sn^2, R_{y1} = 2.80, C_{R1} = 1.44 olarak elde edilmiştir.

$S_{di1}= S_{de1}\ C_{R1}$ = 0.0316 x 1.44 ≈ 0.045 m dir.



Şekil 3.24. Betonarme perdeler ile güçlendirilen binanın Y doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi

Y doğrultusunda doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri, S_{de1}=0.0278 m olarak hesaplanmıştır. Binanın bu doğrultusundaki hakim periyotu, depremin karakteristik periyotundan küçük olduğu için, doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri C_{R1} ile arttırılmıştır. Buna göre Y doğrultusu için;

α_{y1} = 3.80 m/sn^2, R_{y1} = 2.58, C_{R1} = 1.48 olarak elde edilmiştir.

$S_{di1}= S_{de1}\ C_{R1}$ = 0.0278 x 1.48≈ 0.0417 m dir.

Elde edilen doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme değerleri, modal yerdeğiştirme istemine eşittir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem için hesaplanan modal yerdeğiştirme istemleri, uygun koordinat dönüşümü ile çok serbestlik dereceli sistemin tepe yerdeğiştirme istemine dönüştürülür. Binanın x doğrultusu için tepe yerdeğiştirmesi istemi;

$u_{xN1}^{(p)}=\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}d_1^{(p)}$ ve $u_{xN1}^{(p)}=0.037$ x 39.40x0.045 = 0.066 m dir.

Binanın y doğrultusunda ise;

$u_{yN1}^{(p)}=\Phi_{yN1}\Gamma_{x1}d_1^{(p)}$ ve $u_{yN1}^{(p)}=0.036$ x 39.86 x0.042 = 0.060 m dir.

Elde edilen bu değerler SAP2000 e aktarılmıştır. Bina her iki doğrultuda yukarıda verilen tepe yerdeğişirme değerlerine ulaşıncaya kadar itilmiştir. Son adımda elde edilen tüm istem büyüklüklerine ait sonuçlar 4. Bölümde verilmiştir.

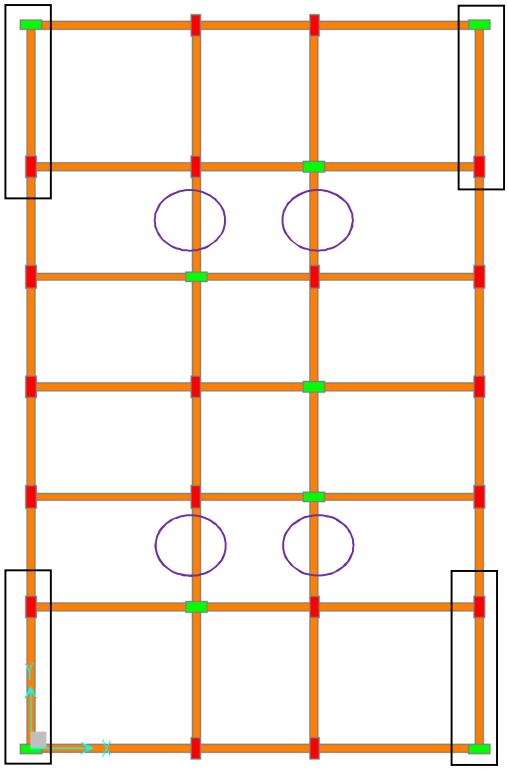
3.4. Sürtünme Sönümleyiciler ile Güçlendirilen Binanın Doğrusal Elastik Olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi

3.4.1. Sürtünme sönümleyicilerin tasarımı ve modellenmesi

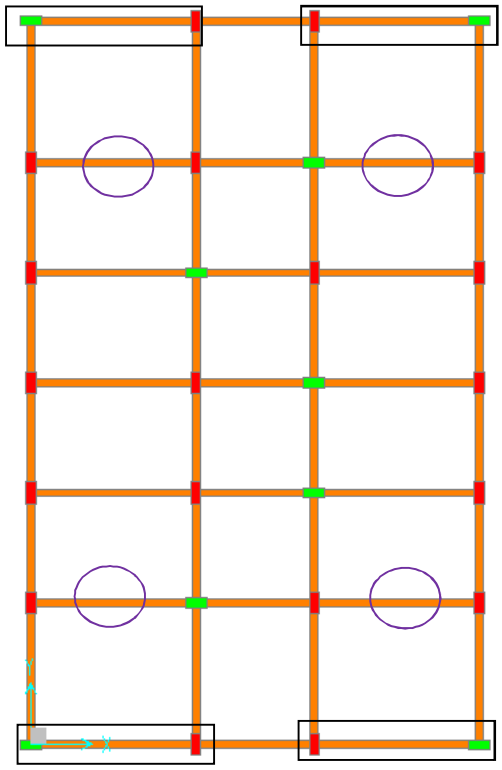
Çalışma kapsamında binanın her iki doğrultusunda sürtünme sönümleyiciler yerleştirilerek mevcut binanın performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda 100 kN ve 150 kN kapasiteli sürtünme sönümleyiciler kullanılmıştır. Sürtünme sönümleyicilerin kapasitelerinin belirlenmesi için deneme – yanılma yöntemi ile analizler gerçekleştirilerek optimum yük kapasitesi bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca belirlenen yük kapasitesi için, betonarme elemanların eksenel yük ve kesme yükü istemlerinin, kapasitelerinden küçük tutulmaya çalışılmıştır.

Sürtünme sönümleyiciler, çapraz formunda yerleştirilen çelik kutu profiller ile betonarme elemanlara bağlanmıştır. Bu bağlantı elemanlarının elastik olarak davranması ve bu elemanlarda hiçbir durumda elastik ötesi deformasyon meydana gelmemesi gerekmektedir.

Şekil 3.25'de sürtünme sönümleyici yerleştirilen çerçevelerin planda yerleşimi verilmiştir. Binanın her iki doğrultusunda da tüm katlarda çapraz yerleştirilen çerçevelerde ilk üç katta 150 kN, diğer katlarda 100 kN, sadece ilk üç katına sönümleyici yerleştirilen çerçevelerde ise 150 kN kapasiteli sönümleyiciler kullanılmıştır. Dikdörtgen ile işaretli çerçevelerde tüm katlarda, yuvarlak ile işaretli çerçevelerde ise sadece ilk üç katta sönümleyici yerleştirilmiştir.



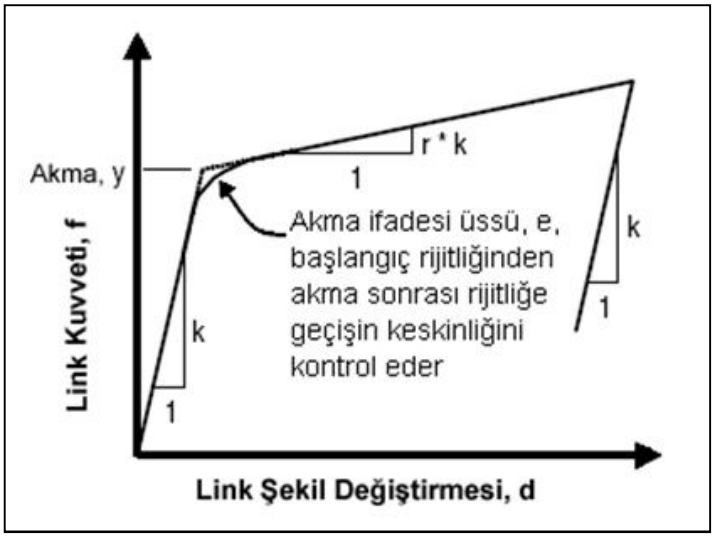
a)



b)

Şekil 3.25.Sürtünme sönümleyicilerin kat planlarında yerleşimi, a)Y doğrultusunda yerleştirilenler, b) X doğrultusunda yerleştirilenler

Sürtünme sönümleyicilerin bağlandığı çelik elemanlar 150x150x8 mm lik kutu profil olarak belirlenmiştir. Sönümleyiciler Sap2000 yazılımında Plastik Wen link elemanları ile temsil edilmişlerdir. Plastik Wen elemanı için tek eksenli doğrusal olmayan yük – deformasyon ilişkisi Şekil 3.26'da verildiği gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 3.26. Plastik Wen link elemanının doğrusal olmayan kuvvet – şekil değiştirme grafiği

Wen Plastik link elemanında link kuvveti – şekil değiştirme ilişkisi,

$$f = r\,k\,d + (1-r)y\,z \tag{3.9}$$

ile tanımlanmaktadır. İfade de yer alan f link kuvvetini, d şekil değiştirmeyi, z ise $[-1,1]$ yer alıp aşağıda diferansiyel denkleme göre belirlenir.

$$\dot{z} = \frac{k}{y}\dot{d}\,(1-|z|^{e}) \tag{3.10}$$

e, ifadesi yük – deformasyon ilişkisinin başlangıç rijitliğinden akma sonrası rijitliğe geçişin keskinliğini belirler. Söz konusu değerin artması ile geçişteki keskinlik artar. Denklem (3.9)'da yer alan başlangıç rijitliği kullanılan bağlantı elemanının eksenel rijitliğidir. Bu çalışmada farklı uzunluğa sahip kullanılan çapraz elemanların eksenel rijitllikleri aşağıda verilmiştir.

L= 4.5m lik çapraz elemanın eksenel rijitliği,

$k = \frac{AE}{L}$ olup,

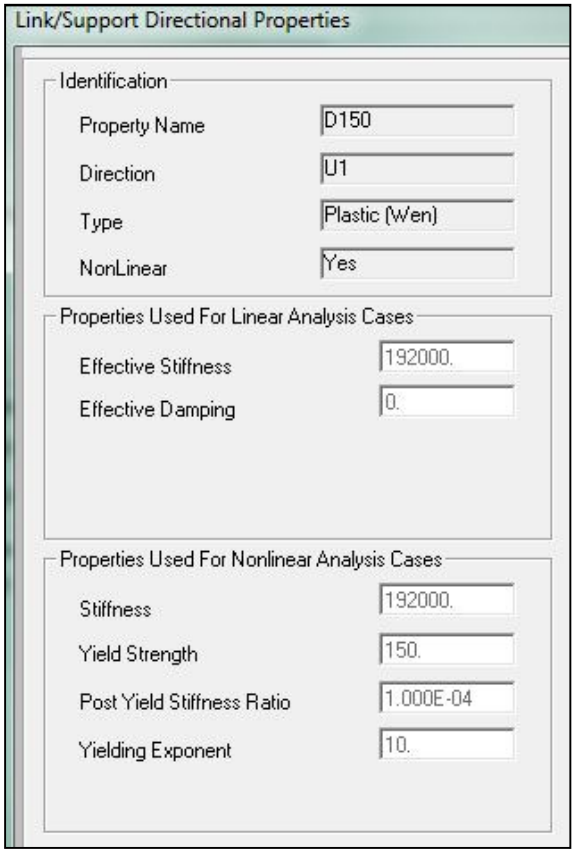
150x150x8 mm kutu profil için A = $4.32x10^{-3}$ m^2, E = $2x10^8$ kN/m^2

$$k = \frac{4.32x10^{-3} x\ 2x10^8}{4.5} = 192000\ kN/m$$

L = 5.5 m lik çapraz elemanın eksenel rijitliği ise,

$$k = \frac{4.32x10^{-3} x\ 2x10^8}{5.5} = 157000\ kN/m\ dir.$$

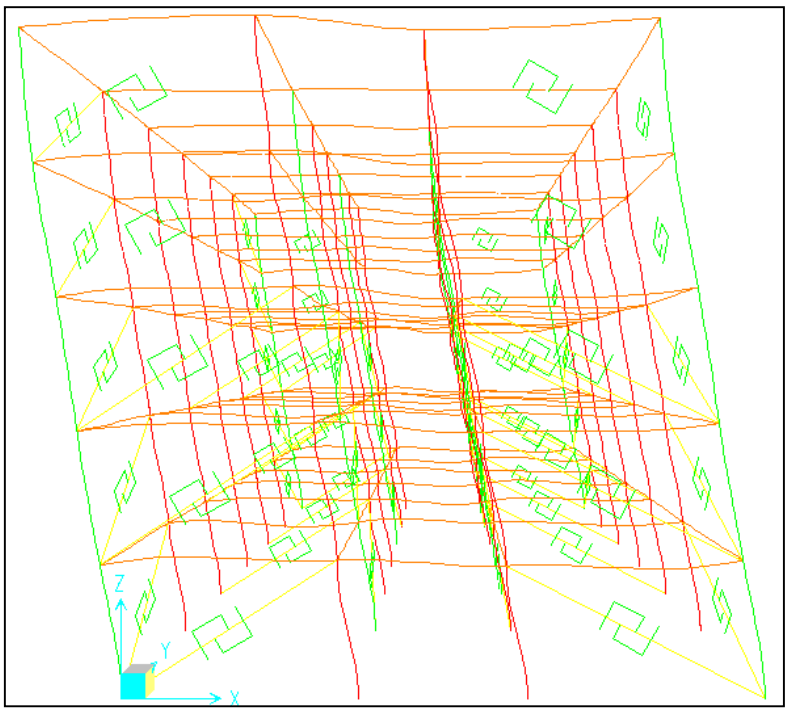
Yukarıda verilen ifadelere göre, sadece eksenel yönde harekete açık olarak tanımlanan link elemanın Sap2000 modeli Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Benzer şekilde 100 kN kapasiteli sönümleyicilerde Sap2000 de tanımlanmışlardır.



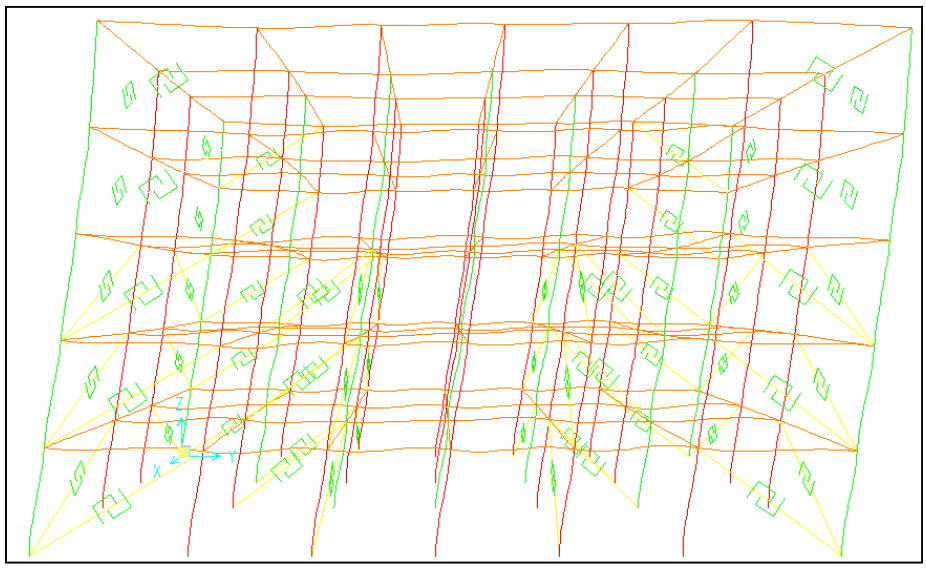
Şekil 3.27. 150 kN kapasiteli sürtünme sönümleyicini Sap2000'de yer alan Plastik Wen link elemanı ile idealize edilmesi

3.4.2. Genel kabuller ve modal analiz sonuçları

Önceki bölümde mevcut sistem için hesaplanan etkin eğilme rijitlikleri aynı şekilde kullanılmıştır. Şekil 3.28'de hakim modlar için mod şekilleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.28. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın modal analiz sonucunda elde edilen hakim modlarda deforme olmuş şekilleri a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

Tablo 3.9 Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın kütle katılım oranları

Kütle Katılım Oranları								
Analiz	**Mod No**	**Periyot**	**UX**	**UY**	**SumUX**	**SumUY**	**RZ**	**SumRZ**
MODAL	1	0.40293	0.82157	0.00076	0.82157	0.00076	0.45052	0.45052
MODAL	2	0.39228	0.00076	0.83336	0.82232	0.83412	0.15059	0.60111
MODAL	3	0.33008	0.00015	0.00005177	0.82247	0.83417	0.23257	0.83368
MODAL	4	0.1493	0.11744	3.717E-06	0.93991	0.83418	0.06072	0.8944
MODAL	5	0.1378	5E-06	0.10735	0.93992	0.94153	0.02183	0.91623

Tablo 3.9'da görüleceği üzere binanın x ve y deprem doğrultuları için hakim modlarda kütle katılım oranınının 0.70 den büyük olması her iki doğrultu içinde sağlanmıştır. Tablo 3.10'da modal katkı çarpanları verilmiştir.

Tablo 3.10 Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın modal katkı çarpanları

Modal Katkı Çarpanları					
OutputCase	**StepNum**	**Period**	**UX**	**UY**	**RZ**
MODAL	1	0.40293	40.951475	-1.246408	-488.03652
MODAL	2	0.39228	-1.242906	-41.24439	-282.15337
MODAL	3	0.33008	-0.550696	0.32508	-350.64352
MODAL	4	0.1493	-15.4829	-0.0871	179.169633
MODAL	5	0.1378	0.101024	-14.80326	-107.43411

Deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı düşey yük analizinde bina toplam kütlesi 2038.73 t olarak elde edilmiştir.Ayrıca 1.mod için binanın en üst katının kütle merkezinde x yönü için modal şekil genliği Φ_{xN1} = 0.0334, 2.mod için binanın en üst katının kütle merkezinde y yönü için modal şekil genliği Φ_{xY1} = 0.0324 olarak elde edilmiştir. Burulma düzensizliği kontrolleri Tablo 3.11'de verilmiş olup, burulma düzensizliği katsayısının 1.4'ten küçük olması koşulu sağlanmıştır.

Tablo 3.11 Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın burulma düzensizliği kontrolü, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

A1 - Burulma Düzensizliği Kontrolü :					
Deprem Yönü X					
Kat :	Δi : (mm)	Δj : (mm)	Δ (ort) : (mm)	ηbi :	Durum
1	17.300	17.000	17.150	1.01	***TAMAM***
2	22.700	22.000	22.350	1.02	***TAMAM***
3	17.300	17.000	17.150	1.01	***TAMAM***
4	9.700	9.000	9.350	1.04	***TAMAM***
5	3.000	4.000	3.500	1.14	***TAMAM***

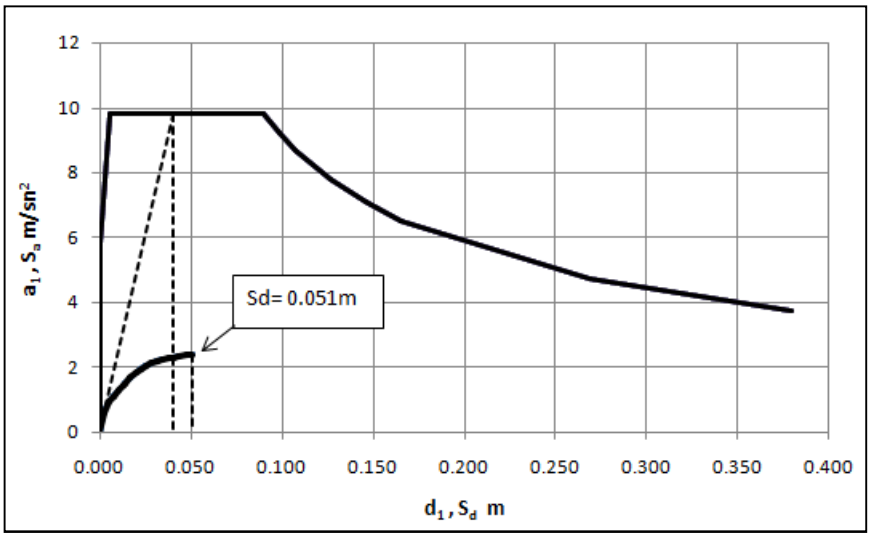
(a)

A1 - Burulma Düzensizliği Kontrolü :					
Deprem Yönü Y					
Kat :	Δi : (mm)	Δj : (mm)	Δ (ort) : (mm)	ηbi :	Durum
1	17.240	17.320	17.280	1.00	***TAMAM***
2	22.760	23.180	22.970	1.01	***TAMAM***
3	18.000	17.900	17.950	1.00	***TAMAM***
4	9.000	8.720	8.860	1.02	***TAMAM***
5	2.000	2.880	2.440	1.18	***TAMAM***

(b)

3.4.3. Tepe deplasman talebinin belirlenmesi

Binanın yukarıda verilen modal özellikleri göz önüne alınarak, 50 yılda aşılma ihtimali %10 olan deprem düzeyi için, tepe deplasman talebi önceki bölümde verildiği gibi hesaplanmıştır. Şekil 3.29 ve 3.30'da binanın her iki yönü için spektral yerdeğiştirmeler verilmiştir.

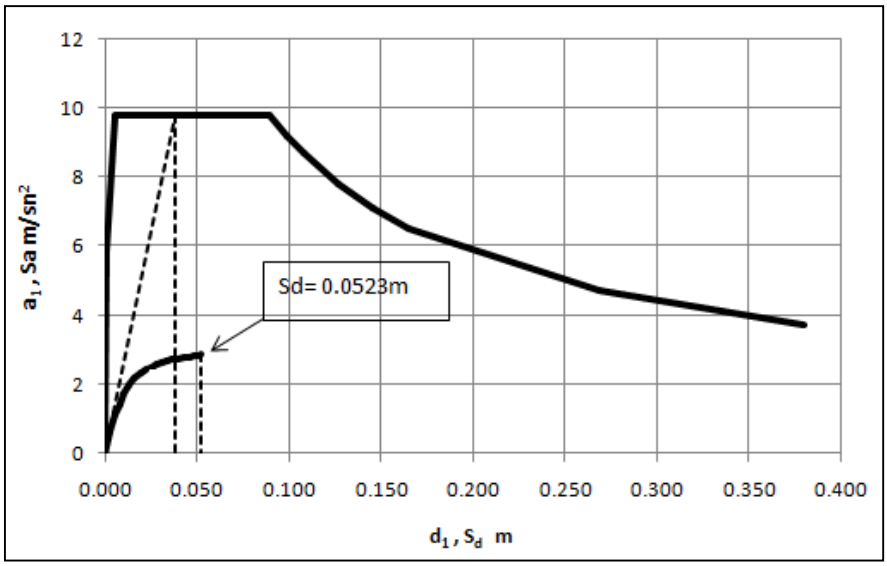


Şekil 3.29. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın X doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi

X doğrultusunda doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri, S_{de1} = 0.040 m olarak hesaplanmıştır. Binanın bu doğrultusundaki hakim periyotu, depremin karakteristik periyotundan küçük olduğu için, doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri C_{R1} ile arttırılmıştır. Buna göre X doğrultusu için;

α_{y1} = 2.20 m/sn^2, R_{y1} = 4.45, C_{R1} = 1.37 olarak elde edilmiştir.

S_{di1}= S_{de1} C_{R1} = 0.04 x 1.37≈ 0.051 m dir.



Şekil 3.30. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın Y doğrultusu için modal kapasite diyagramı ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme istemi

Y doğrultusunda doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri,S_{de1} = 0.038 m olarak hesaplanmıştır. Binanın bu doğrultusundaki hakim periyotu, depremin karakteristik periyotundan küçük olduğu için, doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme değeri C_{R1} ile arttırılmıştır. Buna göre Y doğrultusu için;

α_{y1} = 2.40 m/sn^2, R_{y1} = 4.08, C_{R1} = 1.39 olarak elde edilmiştir.

$S_{di1}= S_{de1}\, C_{R1}$ = 0.038 x 1.39 ≈ 0.052 m dir.

Elde edilen doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme değerleri, modal yerdeğiştirme istemine eşittir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem için hesaplanan modal yerdeğiştirme istemleri, uygun koordinat dönüşümü ile çok serbestlik dereceli sistemin tepe yerdeğiştirme istemine dönüştürülür. Binanın x doğrultusu için tepe yerdeğiştirmesi istemi;

$u_{xN1}^{(p)}=\Phi_{xN1}\Gamma_{x1}d_1^{(p)}$ ve $u_{xN1}^{(p)}$=0.051 x 40.95x0.033 = 0.07 m dir.

Binanın y doğrultusunda ise;

$u_{yN1}^{(p)}=\Phi_{yN1}\Gamma_{x1}d_1^{(p)}$ ve $u_{yN1}^{(p)}$=0.052 x 41.24 x0.0324 = 0.07 m dir.

Elde edilen bu değerler SAP2000 e aktarılmıştır. Bina her iki doğrultuda yukarıda verilen tepe yerdeğişirme değerlerine ulaşıncaya kadar itilmiştir. Son adımda elde edilen tüm istem büyüklüklerine ait sonuçlar 4. Bölümde verilmiştir.

3.5. Sürtünme Sönümleyiciler ile Güçlendirilen Binanın Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem ile Analizi

Bu bölümde sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile deprem performansının belirlenmesinde ait ana parametrelerden bahsedilmiştir. Bahsedilen analiz yönteminde ana girdi olan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi ile gerçekleştirilecek analizlerde kullanılacak olan nümerik yönteme ait katsayılardan bahsedilmiştir.

3.5.1. Seçilen deprem kayıtlarının TDY 2007'ye göre kontrol edilmesi ve ölçeklenmesi

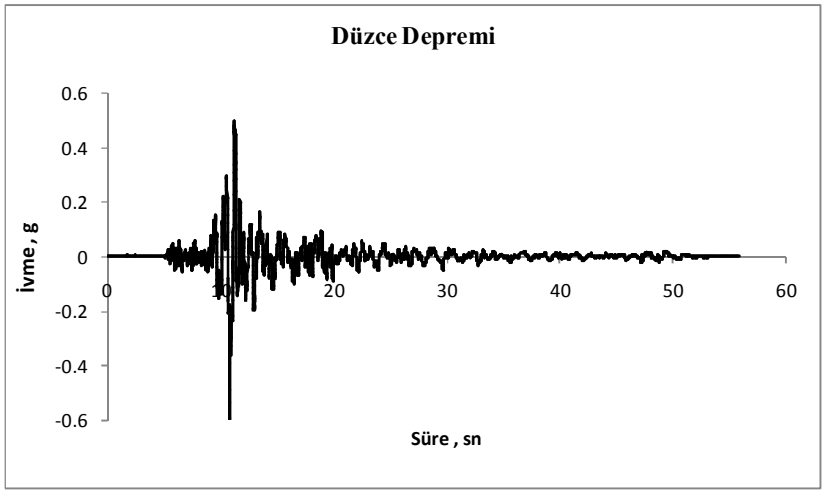
Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizlerde kullanılacak olan deprem yer hareketleri daha önce kaydedilmiş depremlerden seçilmiştir. Depremlerin seçimi için Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) veri bankasında bulunan kayıtlardan yararlanılmıştır. Yerel zemin sınıfı, faylanma mekanizması ve deprem büyüklüğü açısından veri bankasında bulunan kayıtlar içerisinden en iyi uyuşumu sağlayan üç adet kayıt belirlenerek zaman tanım alanında ölçeklenmişlerdir. Tablo 3.12'de, seçilen üç adet kayıda ait bilgiler ve Şekil 3.31'de ivme- zaman geçmişleri verilmiştir.

Tablo 3.12. Seçilen deprem kayıtlarına ait bilgiler

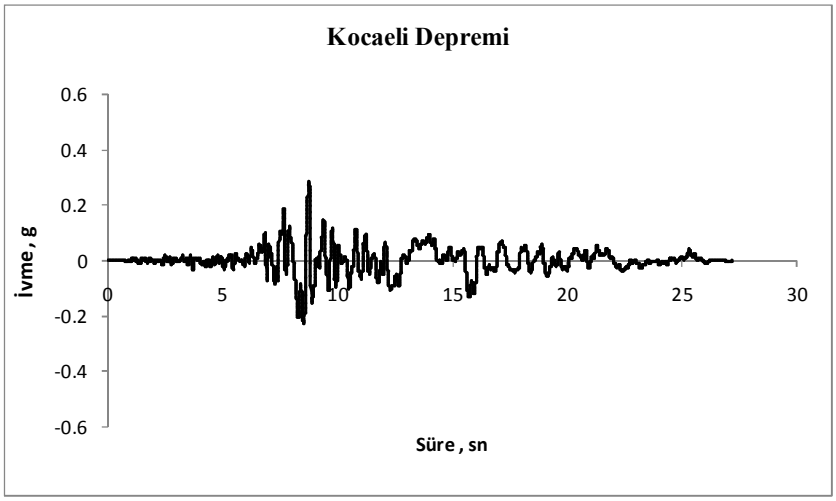
Deprem	Tarih	İstasyon	Moment Büyüklüğü	Doğrultu	Faylanma Mekanizması	Fay Kırığına En Yakın Mesafe (km)	Kayma Dalgası Hızı (m/sn)	Kayıt Süresi (sn)	Ölçekleme Katsayısı
Landers	28.06.1992	Yermo Fire	7.28	FP	SS	23.6	353.6	43.98	2
Düzce	12.11.1999	Bolu	7.14	FP	SS	12	326	55.89	0.8677
Kocaeli	17.08.1999	Duzce	7.51	FN	SS	15.4	276	27.2	1.4282

Aşağıda verilen kayıtların Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de verilen şartlara uygunluğu kontrol edilmiştir. Buna göre,

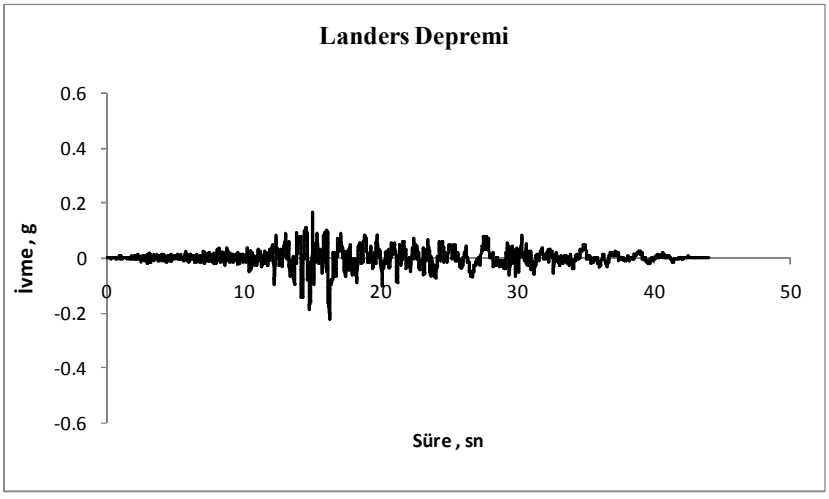
- Seçilen kayıtların süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden büyüktür.
- Ölçeklenmiş deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_o g$ den büyüktür,
- Ölçeklenmiş ivme kayıtlarının %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim periyotT1'e göre 0.2T1 ile 2T1 arasındaki periyotlar için, elastik spektral ivmelerin %90'ından daha az değildir



(a)



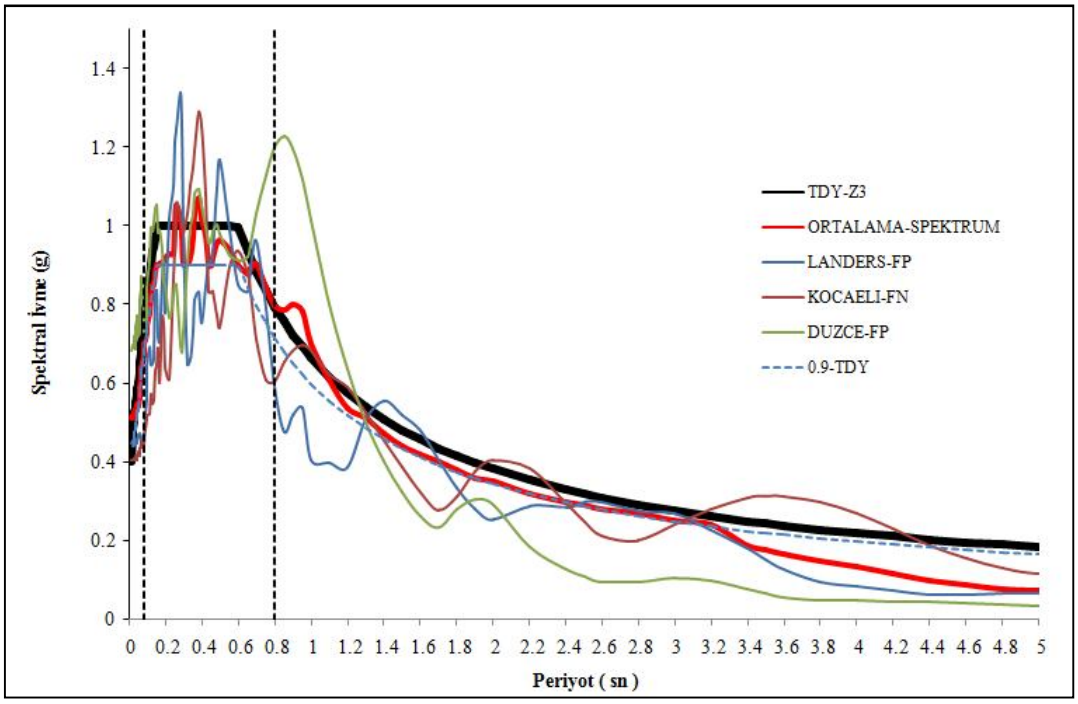
(b)



(c)

Şekil 3.31. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak olan deprem kayıtları, a) Düzce Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Landers Depremi

Şekil 3.32'de tasarım spektrumu ile analizlerde kullanılan ölçeklenmiş kayıtların spektrumları verilmiştir.



Şekil 3.32.TDY-2007 tasarım ivme spektrumu ile deprem kayıtlarının spektrumlarının karşılaştırılması ve TDY-2007 için gerekli kontroller

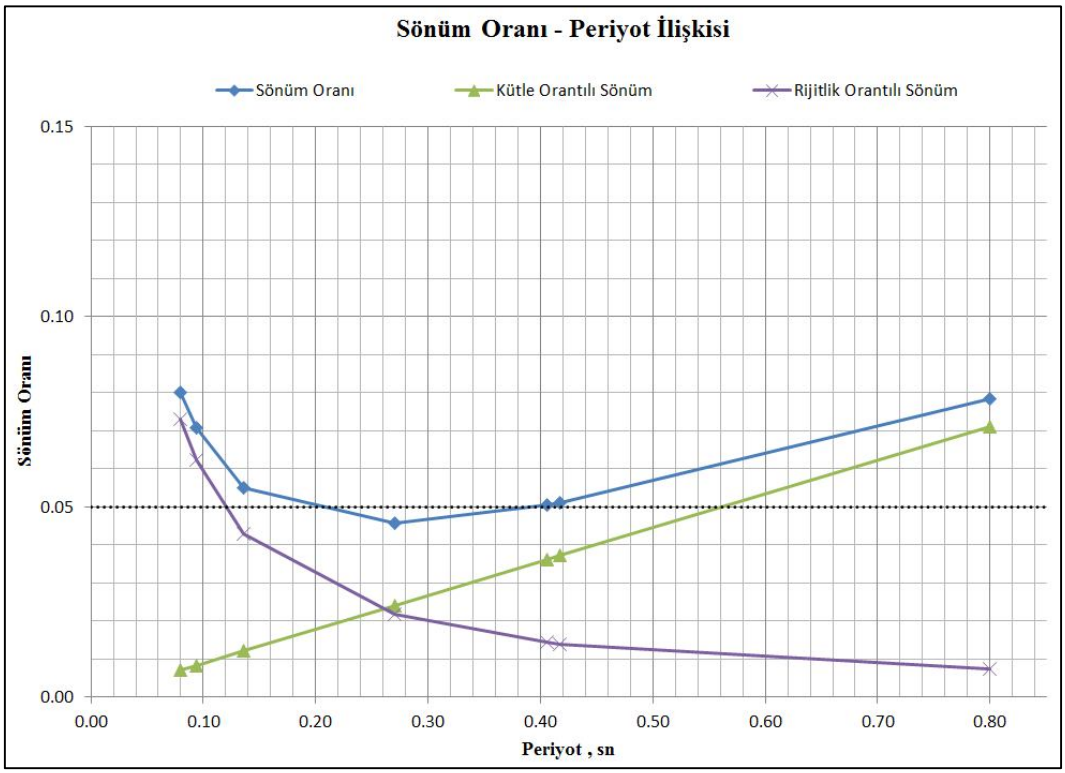
3.5.2. Sönüm ve seçilen nümerik entegrasyon yöntemine ait bilgiler

Bölüm 2.4.2'de açıklanan Rayleigh Sönüm Modeli için kabul edilen sönüm katsayıları yine bu bölümde verilen ifadelere göre hesaplanmıştır. Aşağıda, verilen sönüm katsayıları için sönüm oranının periyot ile değişimi verilmiştir.

Tablo 3.13. $0.2T_1$ ve $2T_1$ için hesaplanan sönüm katsayıları

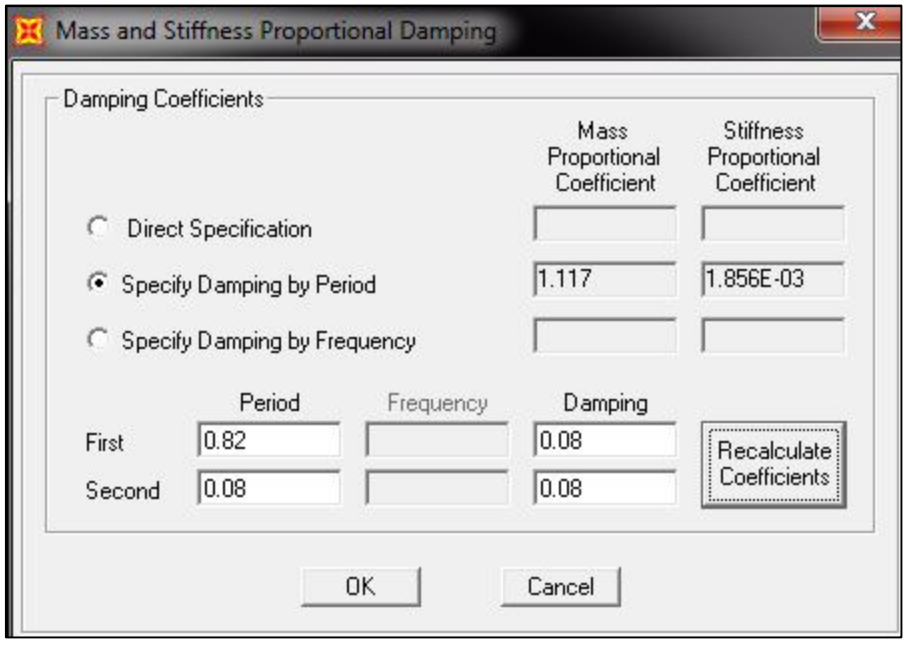
	$T_{i,j}$	$\dot{\omega}_{i,j}$	$\xi_{i,j}$	ή	δ
İ	0.08	78.53982	0.08	1.117011	0.0018561
J	0.82	7.662421	0.08		

Tablo 3.13'de verilen sönüm katsayıları kullanılarak diğer modlar için sönüm oranları elde edilmiştir. Şekil 3.33'de sönüm oranı ile periyot ilişkisi verilmiştir.



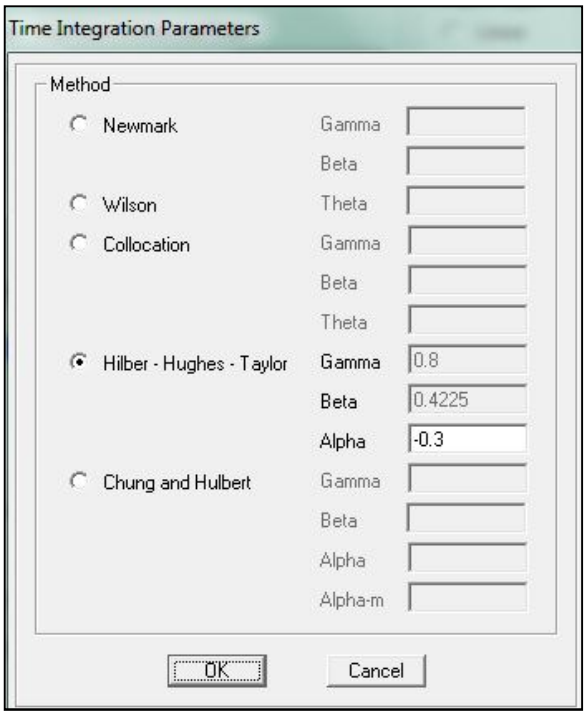
Şekil 3.33. Zaman tanım alanında gerçekleştirilecek analizlerde kullanılacak sönüm oranı – periyot ilişkisi

Binanın göz önüne alınan deprem doğrultuları için, bina toplam kütlesinin %90'ında, 0.05 sönüm oranı olacak şekilde Sap2000'de tanımlanarak, sönüm katsayıları tekrar hesaplatılmış ve kontrol edilmiştir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Sönüm katsayılarının Sap2000'de elde edilmesi

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizlerde çözüm yöntemi olarak α methodu kullanılmıştır. Bu yöntem bölüm 2.4.1'de açıklandığı üzere Newmark ortalama ivme yönteminin bir α katsayısı ile modifiye edilmiş halidir. Bu yöntemde göz önüne alınan α katsayısı -0.3 olarak seçilmiştir. Şekil 3.35'de bu yöntem ve katsayının Sap2000'de tanımlanması gösterilmiştir.



Şekil 3.35. α katsayısının Sap2000'de tanımlanması

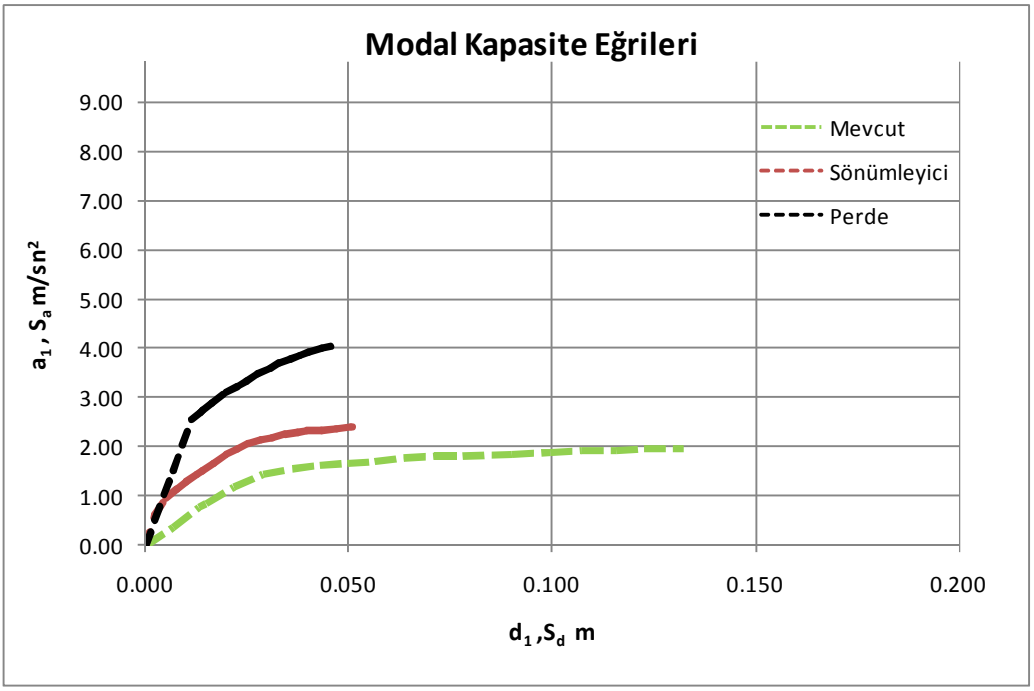
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen bulgular iki ana başlık altında incelenmiştir. Buna göre global sonuçlar, bina ve kat bazında elde edilen sonuçları ve bunların karşılaştırılmasını, eleman bazında sonuçlar ise kirişler, kolonlar ve perdelerde meydana gelen istemlerin, TDY-2007' de verilen kapasiteler ile karşılaştırılmasını içermektedir.

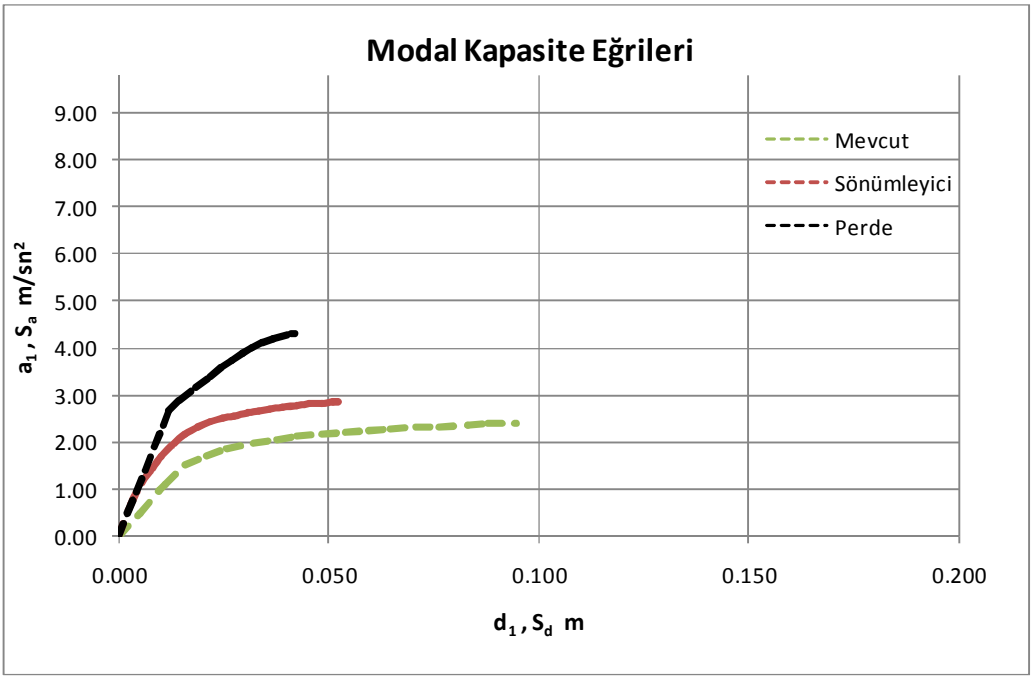
4.1. Global Sonuçlar

Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar mevcut binanın durumu, betonarme perdelerle güçlendirilmiş durum ve sürtünme sönümleyicilerle güçlendirilmiş durum için verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, modal kapasite eğrileri, kat kesme kuvvetleri, kat yerdeğiştirmeleri ve göreli kat ötelemeleri açısından karşılaştırılmıştır. Sonrasında sürtünme sönümleyiciler için doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi için elde edilen sonuçlar yine aynı parametreler açısından karşılaştırılmıştır.

İlk olarak mevcut ve güçlendirilmiş binalar için, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen modal kapasite eğrileri verilmiştir (Şekil 4.1). Modal kapasite eğrileri, modal yerdeğiştirme istemine kadar elde edilmiştir. Buna göre, sürtünme sönümleyicilerin kullanıldığı durumda sistemin yatay yük taşıma kapasitesinde ve rijitliğinde önemli miktarda artış görülmüştür. Söz konusu iyileşme sönümleyicilerin sürtünme kuvveti kapasitesinden ve kullanılan çelik çaprazların eksenel rijitliğinden kaynaklanmaktadır. Binanın rijitliğindeki artış ile birlikte modal yerdeğiştirme isteminde de azalma meydana gelmiştir. Perdeli durumda ise sistemin rijitliği ve kapasitesinde de benzer sonuçlar görülmüştür.



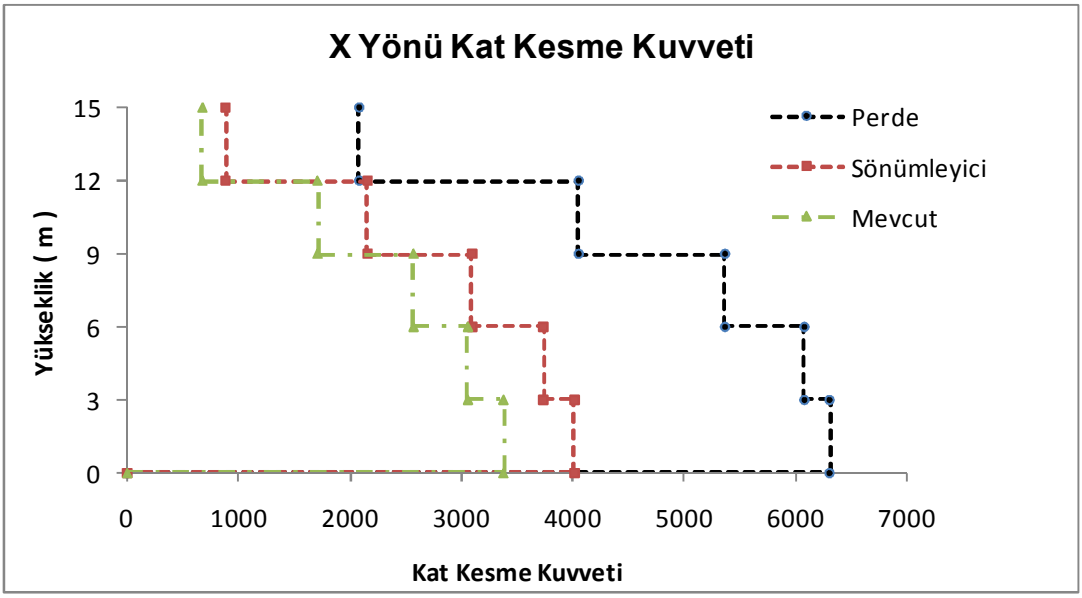
a)



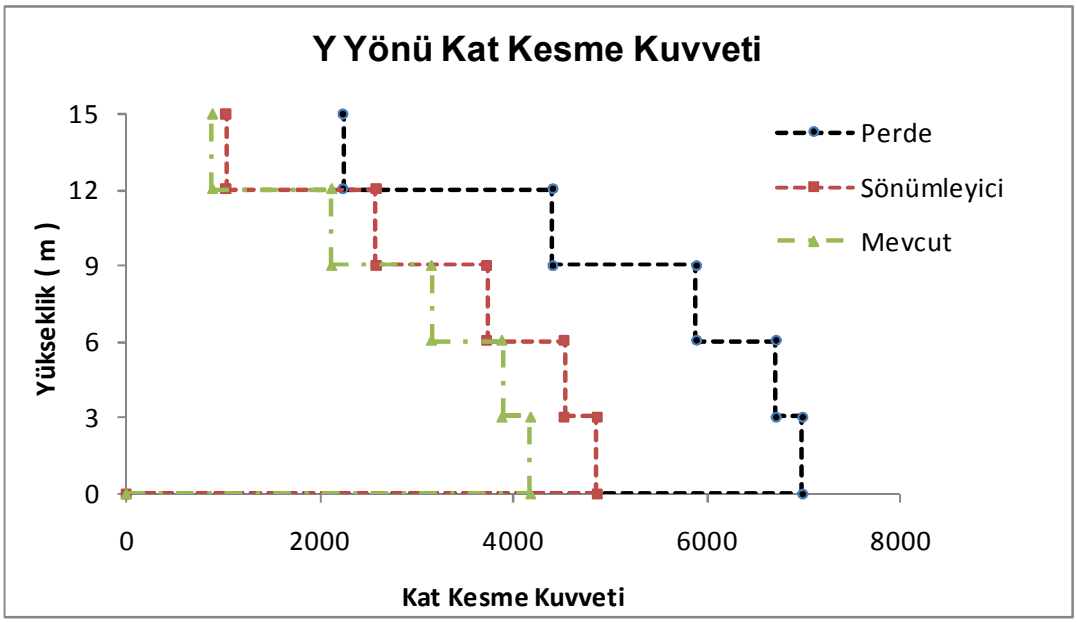
b)

Şekil 4.1. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması (eğriler modal yerdeğiştirme istemine kadar verilmiştir), a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

Mevcut ve güçlendirilen binalarda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Buna göre, perdeli sistemde elde edilen kat kesme kuvvetlerinin mevcut ve sönümleyicili duruma göre oldukça fazla olduğu görülmektedir.



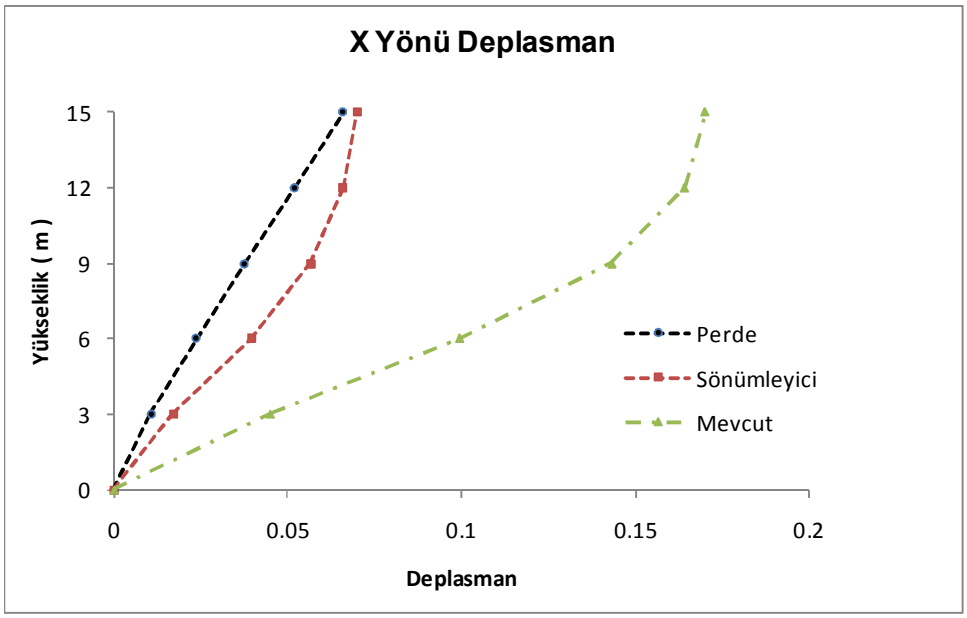
a)



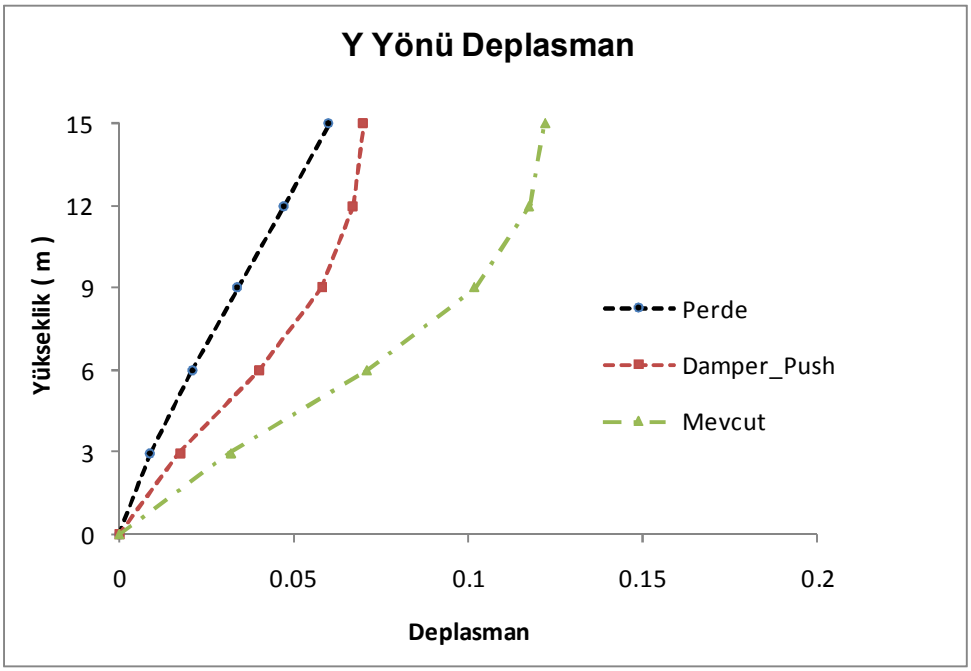
b)

Şekil 4.2. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

Üç farklı durum için deplasman profilleri Şekil 4.3'de görülmektedir. Buna göre, sönümleyicilerin eklenmesi ile birlikte deplasmanlarda önemli miktarda azalmalar söz konusudur. Perdeli durumda ise binanın deplasman profili çerçeve davranışından çıkıp perdeler tarafından kontrol edilen bir konsol davranışına dönüşmüştür.



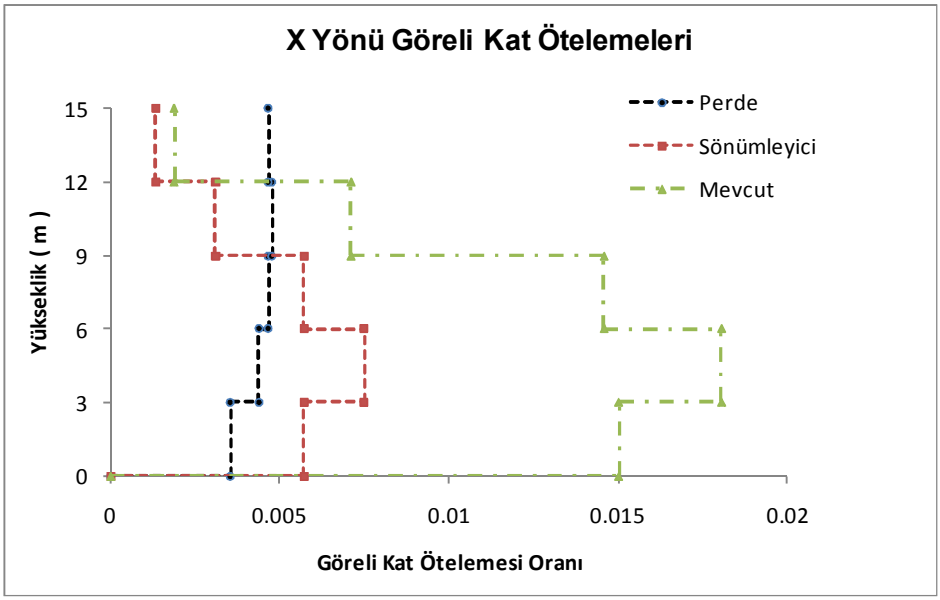
a)



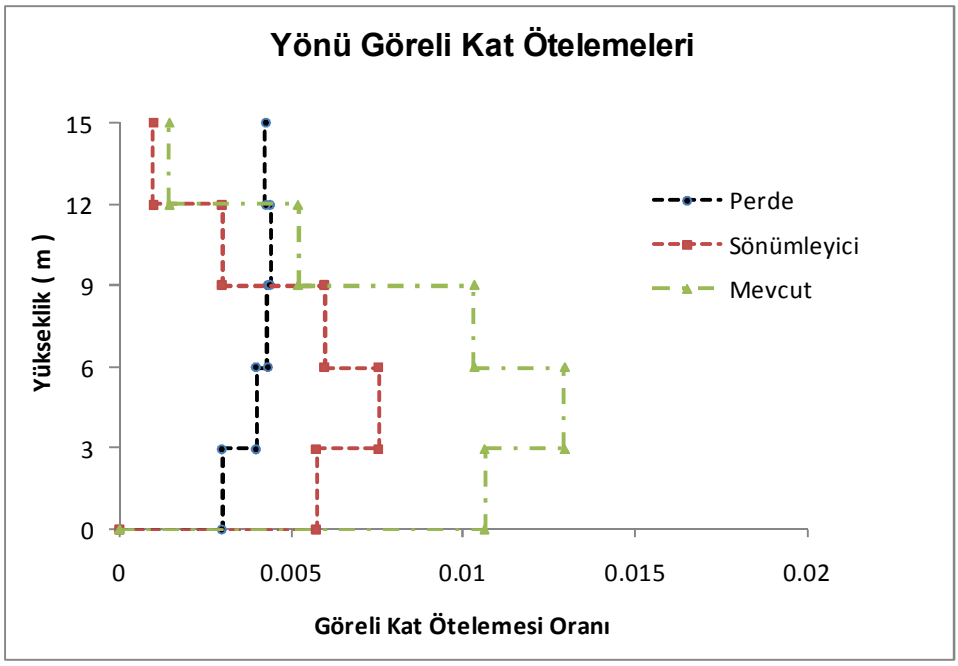
b)

Şekil 4.3. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen bina deplasman profillerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

Şekil 4.4'de göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre mevcut durumda 1.katta 0.02'ye yakın olan bu değer, sönümleyicilerin eklenmesi ile birlikte 0.01'in altına düşmüştür. Benzer şekilde perdeli durumda ise 0.005 civarındadır. Sistemde meydana gelen hasarın bir göstergesi olarak kabul edilen göreli kat ötelemeleri, sönümleyicilerin eklenmesi ile birlikte önemli miktarda azaltılmıştır.



a)

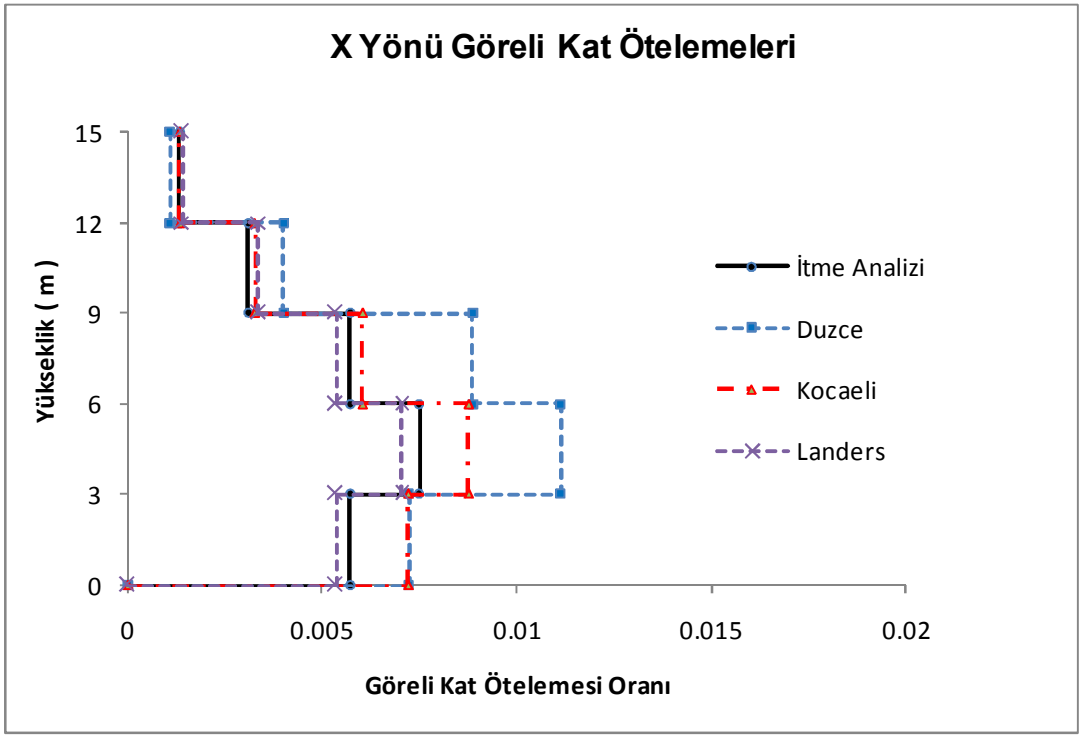


b)

Şekil 4.4. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

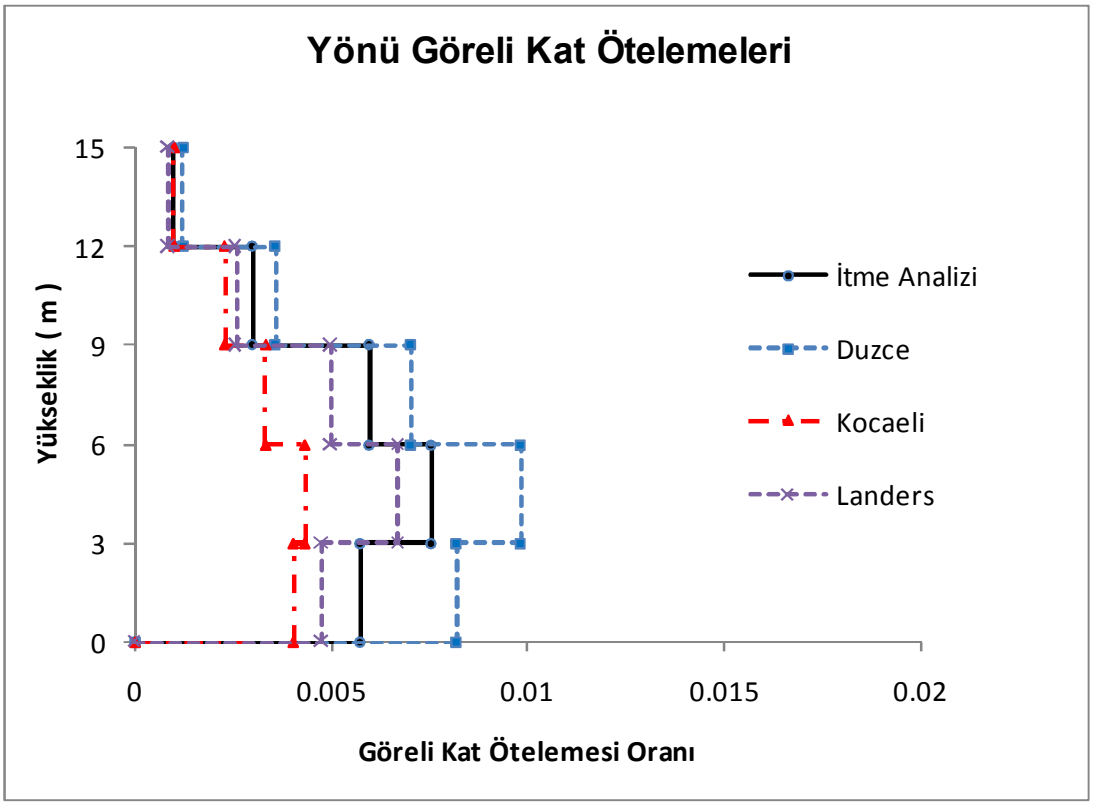
Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi (itme analizi) ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan yöntem için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan yöntemler için en önemli farklılık deprem isteminin tanımlanması ve büyüklüklerinin birbirlerinde farklı olmasıdır. İtme analizinde elastik tasarım ivme spektrumu kullanılırken, zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerde üç farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Bundan dolayı elde edilen sonuçlarda büyüklük olarak farklılıklar gözlense de, genel davranış açısından elde edilen sonuçlar benzerlikler göstermektedir.

Şekil 4.5'de üç deprem kaydı ve itme analizi neticesinde elde edilen en büyük göreli kat ötelemelerinin değişimi verilmiştir.



a)

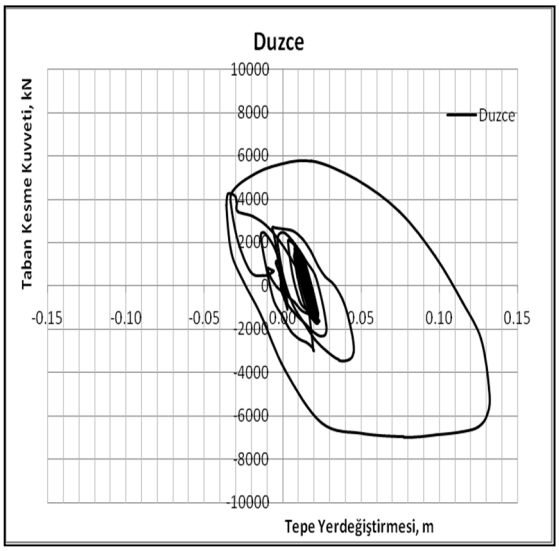
Şekil 4.5. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen göreli kat ötelemeleri ile zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz için elde edilen göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu, b) Y doğrultusu



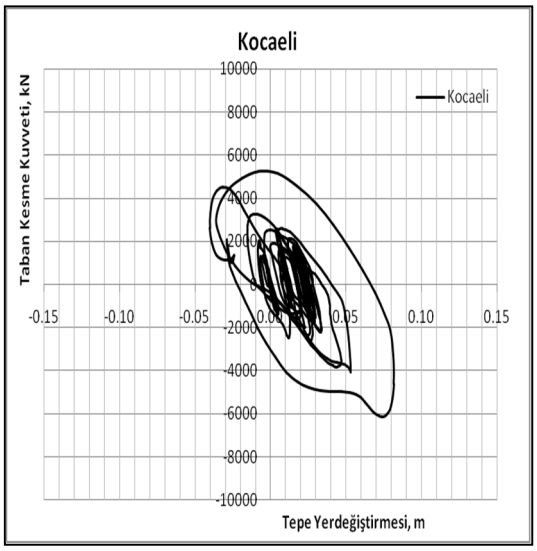
b)

Şekil 4.5. (Devam), Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen göreli kat ötelemeleri ile zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz için elde edilen göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu, b) Y doğrultusu

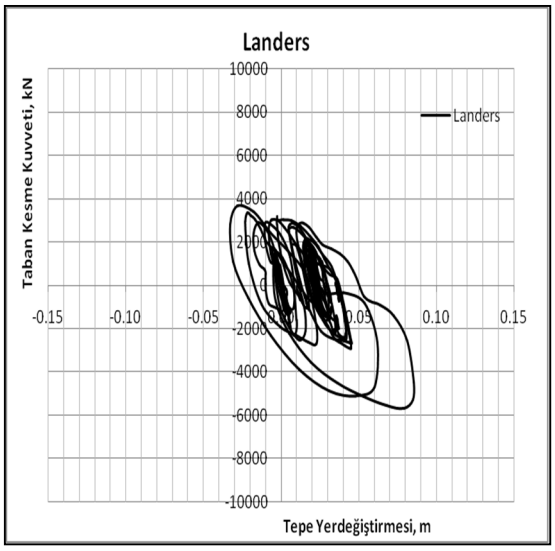
Binanın her iki doğrultusunda ve her üç deprem kaydı için taban kesme kuvveti ile tepe yerdeğiştirmesi çevrimleri Şekil 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.



a)

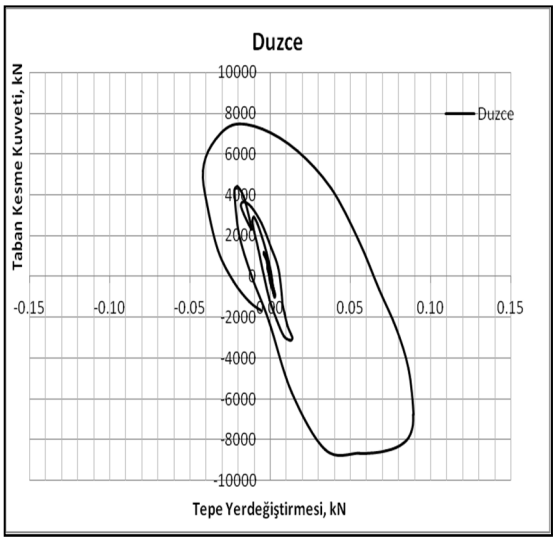


b)

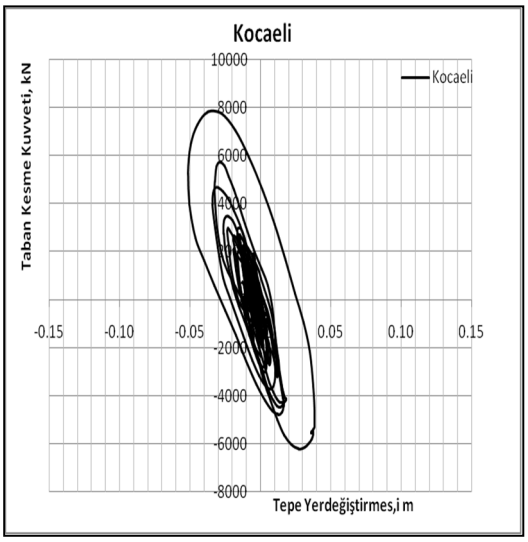


c)

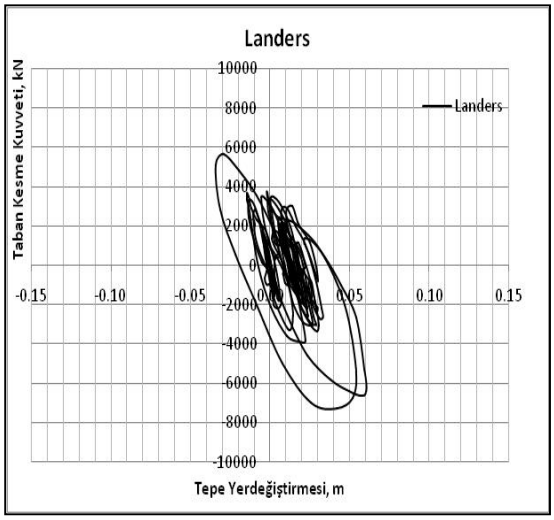
Şekil 4.6. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın X doğrultusunda taban kesme kuvveti–tepe yerdeğiştirmesi çevrimleri, a) Düzce Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Landers Depremi sonuçları



a)



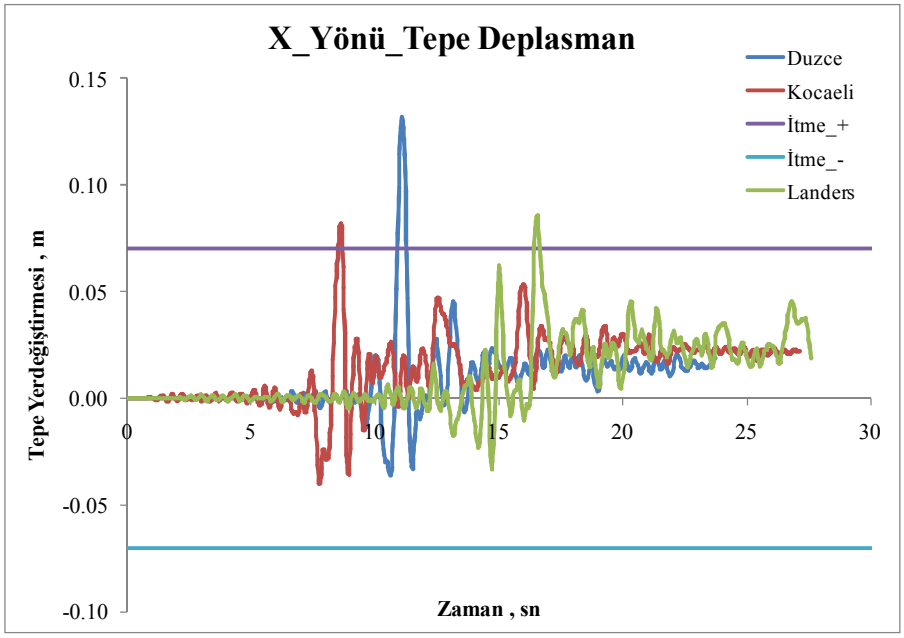
(b)



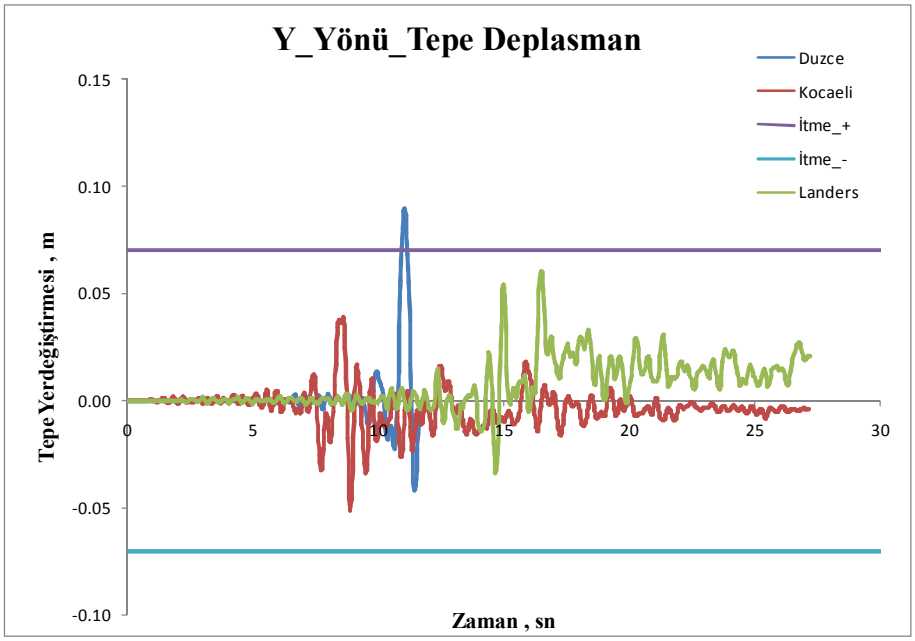
(c)

Şekil 4.7. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın Y doğrultusunda taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi çevrimleri, a) Düzce Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Landers Depremi sonuçları

Şekil 4.8'de, binanın her iki yönü için tepe yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi verilmiştir. Ayrıca, itme analizi için elde edilen tepe yerdeğiştirme istemi ile bu değerler karşılaştırılmıştır.

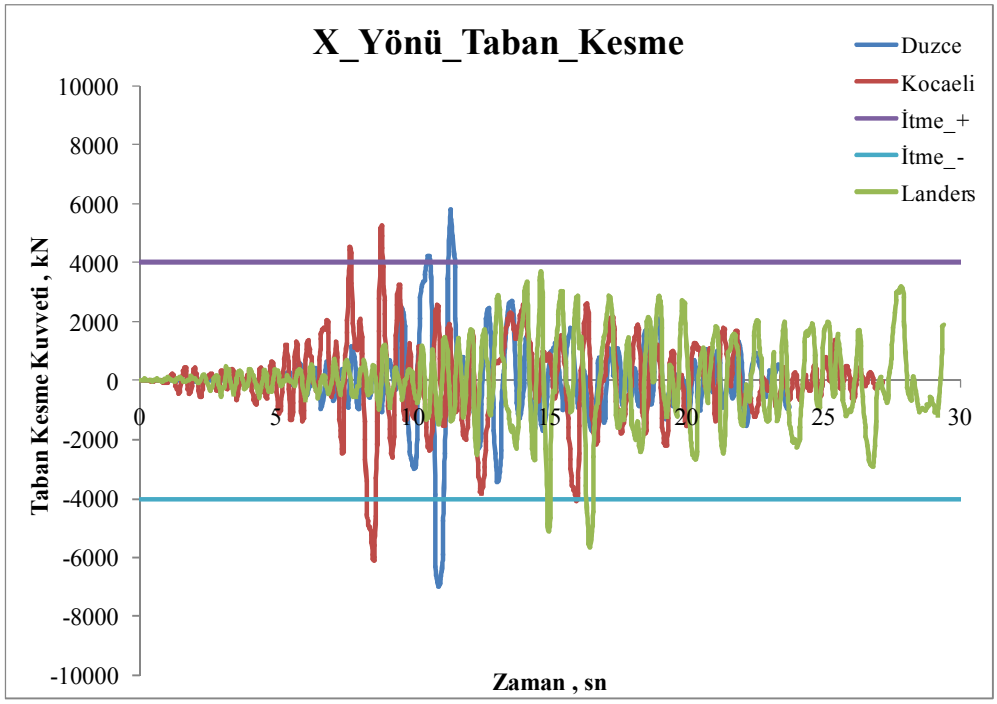


(a)

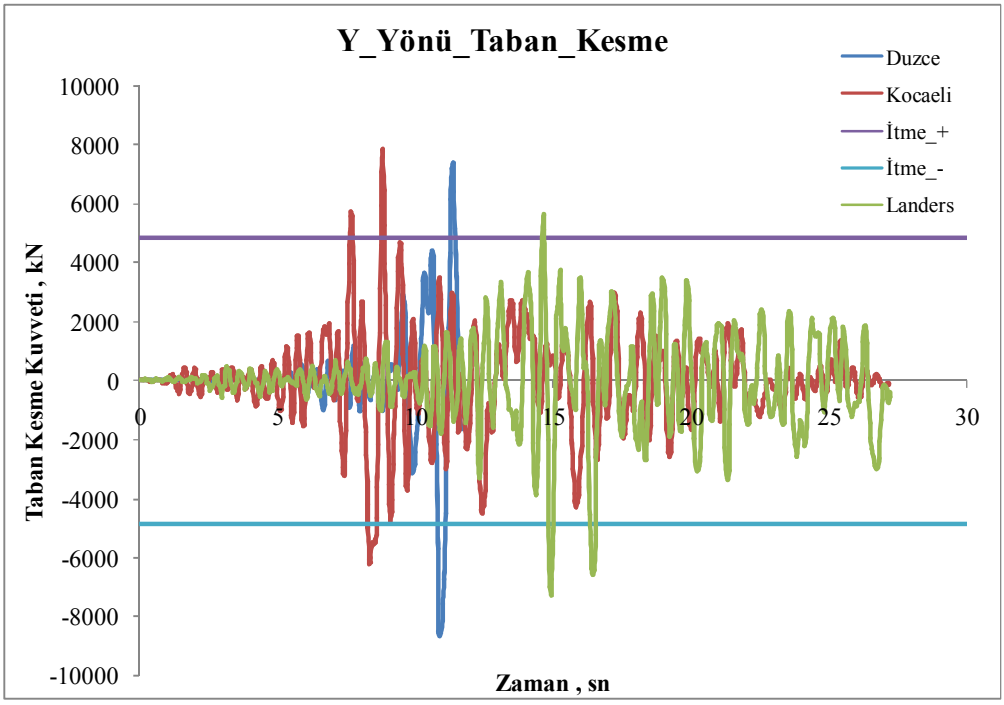


(b)

Şekil 4.8. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın tepe yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi ile artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen tepe deplasman talebinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, c) Y doğrultusu için



(a)



(b)

Şekil 4.9. Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen taban kesme kuvvetinin zamana bağlı değişimi ile artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile son adımda elde edilen taban kesme kuvvetinin karşılaştırılması, a) X doğrultusu için, c) Y doğrultusu için

Son olarak ise, Şekil 4.9'da taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi ve itme analizinin son adımında elde edilen taban kesme kuvveti istemi ile karşılaştırılmıştır. Her üç deprem kaydı için elde edilen sonuçların, itme analizinden elde edilen taban kesme kuvveti isteminden daha fazla olduğu görülmüştür.

4.2. Eleman Bazında Sonuçlar

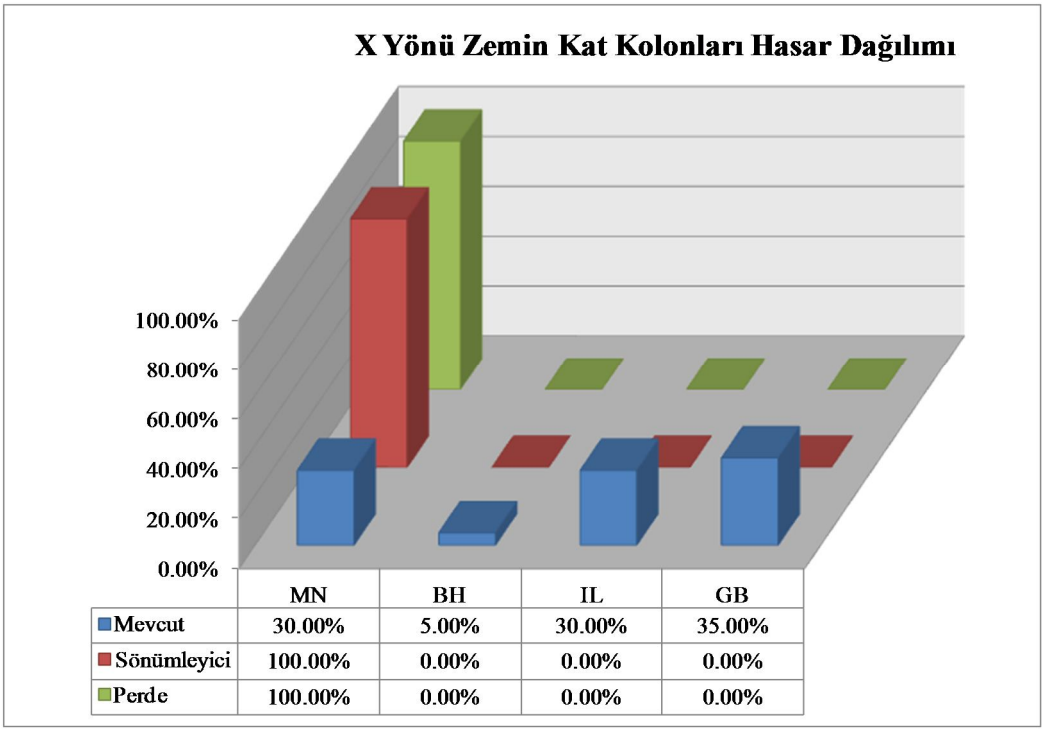
Gerçekleştirilen analizler sonucunda, tüm elemanlar için elde edilen plastik şekil değiştirme istemleri, çeşitli hasar sınırları için tanımlanmış olan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır.

Mevcut durumda binanın her iki doğrultusu için zemin kat kolonlarının bir bölümü Göçme Bölgesi'ndedir Bu oran x doğrultusundaki deprem etkisi için yaklaşık %35, y doğrultusundaki deprem etkisi için %10 seviyesindedir. Ayrıca yine bu kattaki kolonların x doğrultusunda %30'u, y doğrultusundaki kolonların ise %10'u İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ayrıca tüm katlarda ve her iki doğrultuda gevrek olarak hasar gören kolon bulunmamaktadır.

Sürtünme sönümleyicilerin eklenmesi ile birlikte, kolonların hasar seviyelerinde önemli bir iyileşme meydana gelmiştir. Mevcut durumda, yukarıdaki paragrafta belirtilen hasar seviyelerinde bulunan elemanların tümü Minimum Hasar Seviyesi'ne geçmiştir. Ayrıca, plastikleşen eleman sayısında da önemli azalmalar meydana gelmiş olup, elemanların büyük bir kısmı elastik bölgededir.

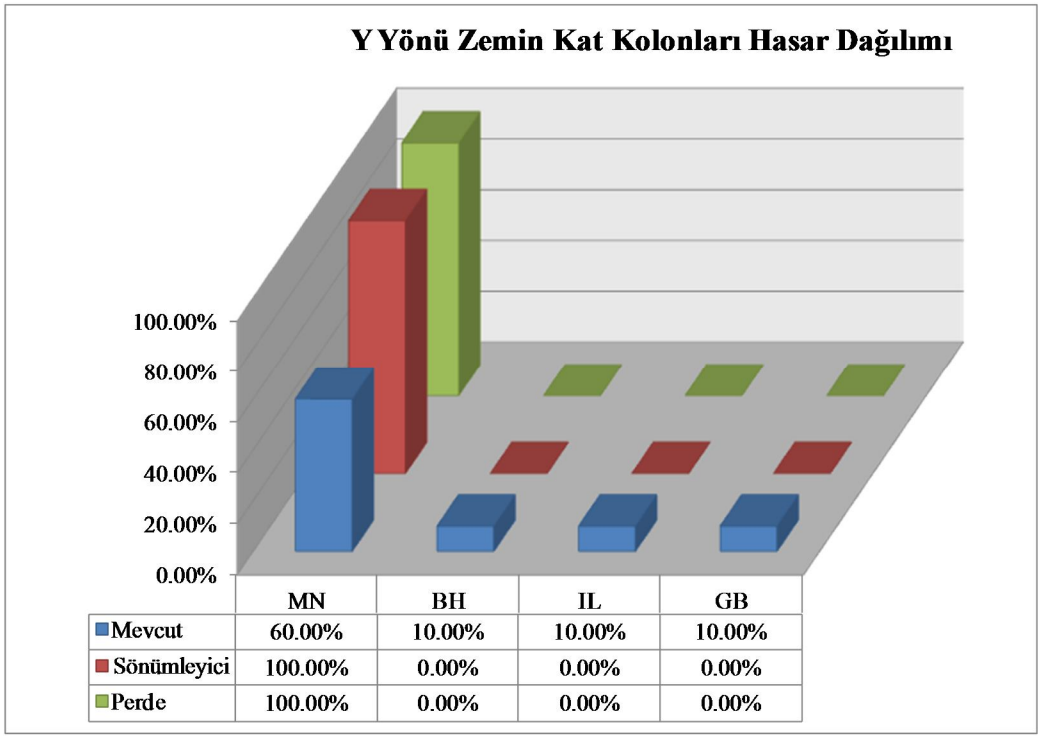
Betonarme perdelerin sisteme eklenmesi ile birlikte sistemdeki kolonların tamamı Minimum Hasar Seviyesi'ne geçmiştir. Betonarme perdelerin zemin kat alt uçlarındaki hasar durumu ise yine Minimum Hasar'dır. Söz konusu durumda gevrek olarak hasar gören kolon bulunmamaktadır.

Şekil 4.10'da zemin kat kolonlarının hasar dağılımları grafik olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 4.1'de tüm kolonlar için hasar durumları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



	MN	BH	IL	GB
Mevcut	30.00%	5.00%	30.00%	35.00%
Sönümleyici	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Perde	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

(a)



	MN	BH	IL	GB
Mevcut	60.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Sönümleyici	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Perde	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

(b)

4.10. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen zemin kat kolonlarının Hasar Dağılımları, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

Tablo 4.1. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için tüm katlarda elde edilen kolon hasar dağılımları, a) Mevcut Durum, b) Sürtünme Sönümleyicili Durum, c) Betonarme Perdeli Durum

	Mevcut - X Yönü Kolon Hasar Durumu				Mevcut - Y Yönü Kolon Hasar Durumu			
Kat	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**
Zemin	30.00%	5.00%	30.00%	35.00%	60.00%	10.00%	10.00%	10.00%
1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

a)

	Sönümleyici - X Yönü Kolon Hasar Durumu				Sönümleyici - X Yönü Kolon Hasar Durumu			
Kat	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**
Zemin	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

b)

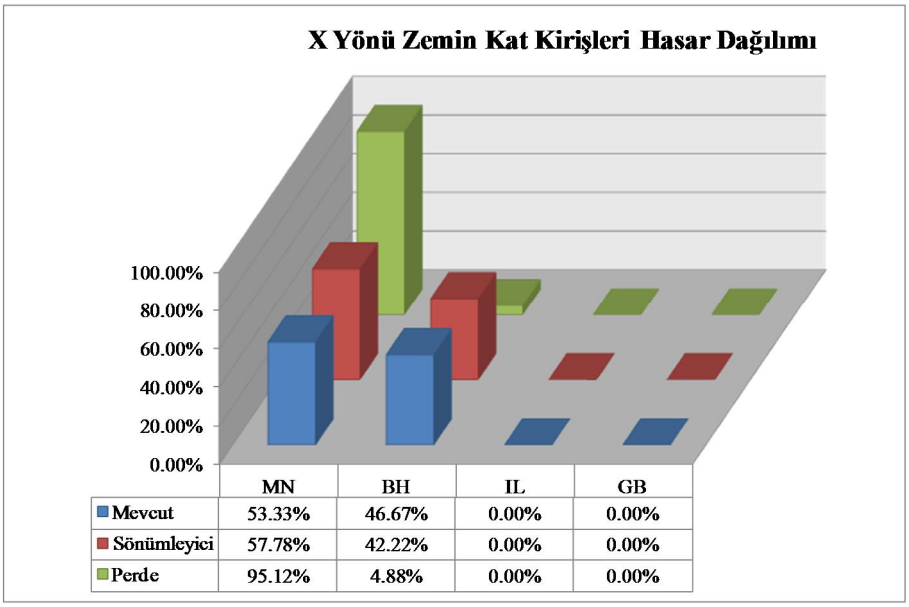
	Perde - X Yönü Kolon Hasar Durumu				Perde - Y Yönü Kolon Hasar Durumu			
Kat	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**
Zemin	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

c)

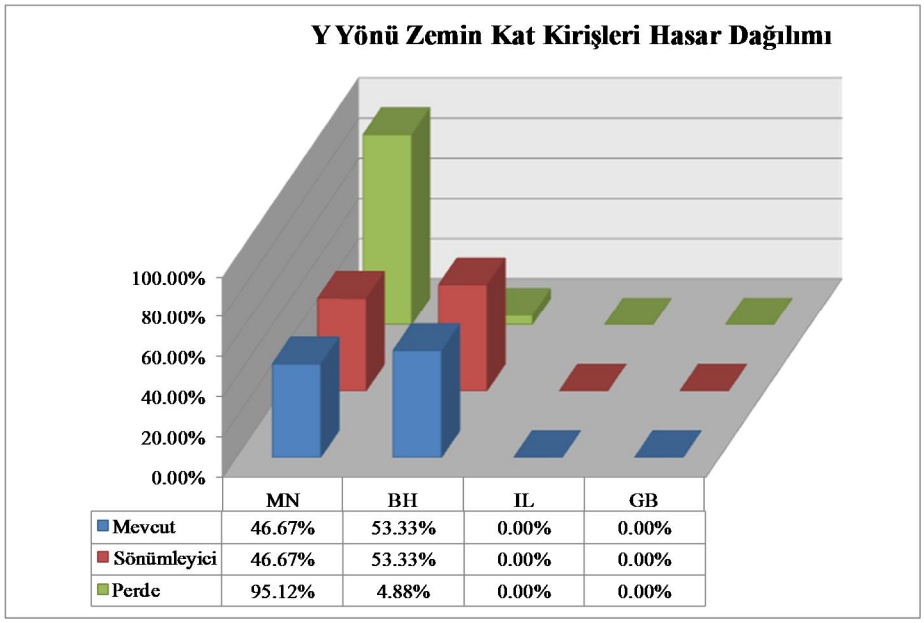
Mevcut durumda binanın x doğrultusu için zemin kat kirişlerinin yaklaşık %46'sı Belirgin Hasar Bölgesi'nde olup geri kalan kirişler Minimum Hasar Bölgesindedir. Diğer doğrultuda ise yine benzer olarak kat kirişlerinin %53'ü Belirgin Hasar Bölgesi'nde olup, diğer kirişler Minimum Hasar Bölgesindedir. Mevcut durumda gevrek olarak hasar gören kiriş bulunmamaktadır.

Sürtünme sönümleyicilerin eklenmesi ile birlikte her iki yönde de zemin ve 1.katta yer alan kirişlerde önemli sayılabilecek bir iyileşme gerçekleşmemiştir. Ancak, 2.kattan itibaren tüm üst katlarda kirişlerin tamamı Minimum Hasar Bölgesi'nde yer almaktadır. Sönümleyici durum ile mevcut durumdaki plastik mafsal formasyonu oldukça yakın olup, üst katlarda plastik şekil değiştirme istemi azalmıştır.

Betonarme perdeli durumda, kirişlerin plastik şekildeğiştirme istemlerinde önemli iyileşmeler gerçekleşmiştir. Binanın her iki doğrultusunda ve tüm katlardaki kirişlerin tamamına yakını Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Belirgin Hasar Bölgesi'nde yer alan kirişler betonarme perdelere bağlanan kirişler olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.11'de zemin kat kirişlerinin hasar dağılımlarının karşılaştırılması verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.11. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için elde edilen zemin kat kirişlerinin Hasar Dağılımları, a) X doğrultusu için, b) Y doğrultusu için

Tablo 4.2'de depremin her iki yönü için tüm katlardaki kirişlerde meydana gelen hasar dağılımları tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.12'de örnek moment-plastik dönme ilişkisi erilmiştir.

Tablo 4.2. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi için tüm katlarda elde edilen kiriş hasar dağılımları, a) Mevcut Durum, b) Sürtünme Sönümleyicili Durum, c) Betonarme Perdeli Durum

	Mevcut -X Yönü Kiriş Hasar Durumu				Mevcut -Y Yönü Kiriş Hasar Durumu			
Kat	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**
Zemin	53.33%	46.67%	0.00%	0.00%	46.67%	53.33%	0.00%	0.00%
1	53.33%	46.67%	0.00%	0.00%	51.11%	48.89%	0.00%	0.00%
2	53.33%	46.67%	0.00%	0.00%	68.89%	31.11%	0.00%	0.00%
3	77.78%	22.22%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

(a)

	Sönümleyici -X Yönü Hasar Durumu				Sönümleyici -Y Yönü Kiriş Hasar Durumu			
Kat	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**
Zemin	57.78%	42.22%	0.00%	0.00%	46.67%	53.33%	0.00%	0.00%
1	62.22%	37.78%	0.00%	0.00%	46.67%	53.33%	0.00%	0.00%
2	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

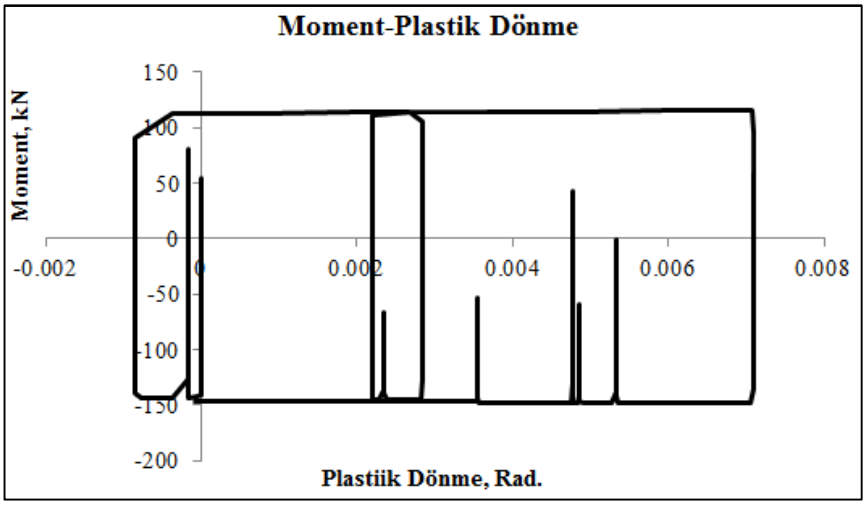
(b)

	Perde- X Yönü Kiriş Hasar Durumu				Perde- Y Yönü Kiriş Hasar Durumu			
Kat	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**	**MN**	**BH**	**IL**	**GB**
Zemin	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%
1	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%
2	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%
3	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%
4	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%	95.12%	4.88%	0.00%	0.00%

(c)

Binanın mevcut durumunda ve kullanılan farklı tip güçlendirme yöntemleri için, gevrek olarak hasar gören eleman bulunmamaktadır. Ancak, mevcut sisteme sürtünme sönümleyicilerin eklenmesi durumu için gerçekleştirilen gerek doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü, gerekse zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre, mevcut duruma göre elemanların kesme ve eksenel yük istemlerinde önemli artışlar

gözlenmiştir. Bu durum, çalışma kapsamında sürtünme sönümleyici elemanların tasarım yüklerinin belirlenmesinde daha önce göz önüne alınmıştır. Sürtünme sönümleyicilerin tasarım yük seviyeleri mümkün olduğunca düşük tutulmuş ve fazla sayıda lokasyona yerleştirilmiştir. Böylelikle mevcut elemanlar üzerinde istenmeyen gevrek göçme modlarının meydana gelmemesi ve hasarın belli elemanlar üzerine yığılmaması sağlanmıştır.



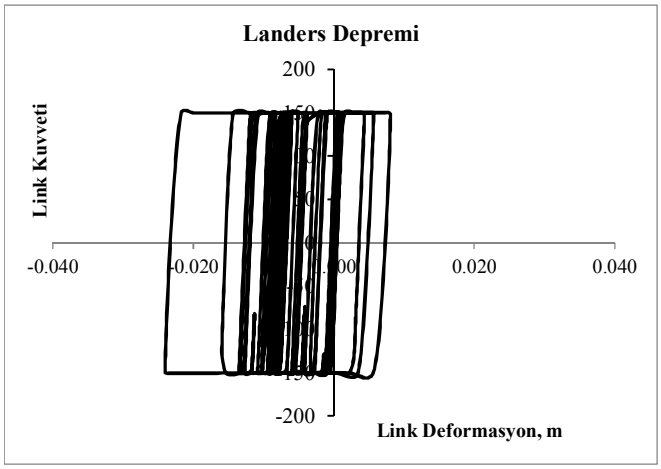
Şekil 4.12. Kirişler için örnek Moment- Plastik Dönme Grafiği

Tablo 4.3'de sürtünme sönümleyicilerde elde elde edilen en büyük deformasyonlar verilmiştir

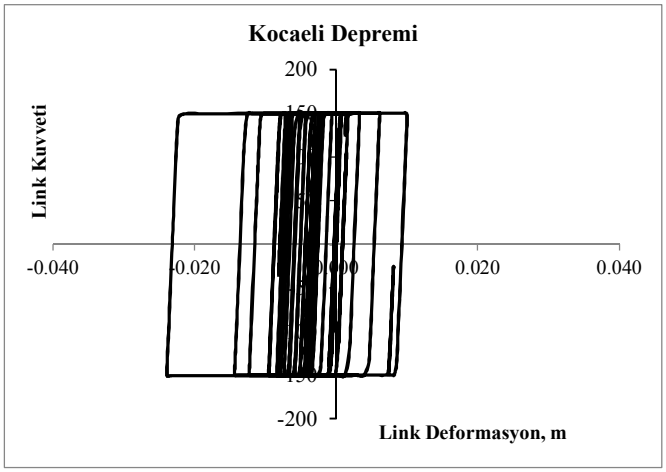
Tablo 4.3. Sürtünme sönümleyiciler için doğrusal elastik olmayan analizler sonucunda elde edilen en büyük kayma deformasyonları

Analiz	**En Büyük Kayma Deformasyonları (mm)**	
	X Yönü	**Y Yönü**
İtme Analizi	19	19
Kocaeli	23	20
Landers	24	17
Düzce	36	24

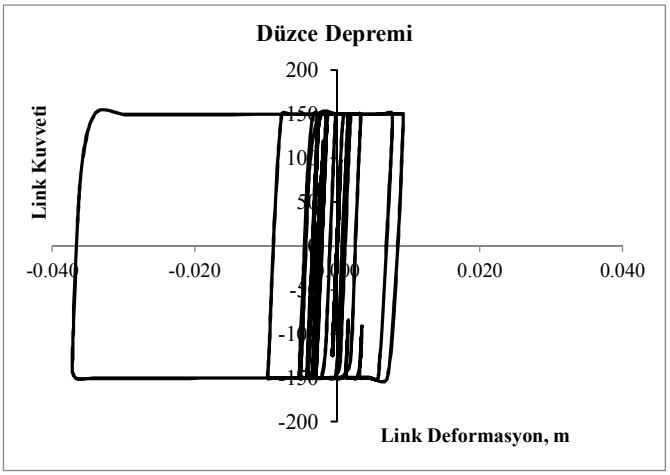
Şekil 4.12'de y yönlü deprem etkisi için zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan yöntem için elde edilen en büyük kayma deformasyonun olduğu elemanlara ait yük-deformasyon çevrimleri verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.13. Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan yöntem için aynı sönümleyiciye ait yük-deplasman çevrimleri, a) Landers Depremi, b) Kocaeli Depremi, c) Düzce Depremi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilmiş mevcut bir binanın, doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılarak Türk Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre deprem performansı belirlenmiş ve belirlenen yapı üzerinde sürtünmeli sönümleyici ile güçlendirme uygulanmasına ilişkin, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile zaman tanım tanım alanında analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Binanın mevcut ve betonarme perdeler ile güçlendirilmesi durumlarına göre bazı genel sonuçlara varılmış ve bu sonuçlarla aynı yapının sürtünme sönümleyiciler kullanılarak güçlendirilmesi durumu karşılaştırılmıştır. Buna göre, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Sürtünme sönümleyiciler, sisteme ilave rijitlik, dayanım ve deformasyon kapasitesi sağlamışlardır. Sönümleyicileri mevcut binaya bağlayan çapraz elemanların rijitliği ve kütlesinden dolayı mevcut binanın dinamik özelliklerini değiştirerek, depremin yerdeğiştirme istemini azaltmışlardır. Söz konusu elemanlar sürtünme kapasitelerine bağlı olarak sistemin yük kapasitesinin artmasını sağlamışlardır. Ayrıca, mevcut elemanlar üzerindeki hasar seviyelerini azaltarak, bina genelinde oluşan hasarı kontrol altına almışlardır.
- Sürtünme sönümleyiciler, özellikle kolonlar üzerindeki eksenel yük ve kesme yükü istemlerinde artışlara sebep olmuşlardır. Bu çalışmada, sönümleyicilerin yük kapasitelerinin belli bir seviyede tutulmasıyla, mevcut elemanlarda istenmeyen hasar durumlarının oluşması engellenmiştir. Ancak, günümüzdeki mevcut yapı stoğunun bilinen zafiyetleri göz önünde bulundurulduğunda, sönümleyicilerin yerleştirileceği çerçeve elemanlarına ilave bir müdahale söz konusu olabilir. Söz konusu bu elemanlar, lifli polimer malzemeler kullanılarak hızlı ve bina kullanımını aksatmadan kolaylıkla takviye edilebilirler.
- Sürtünme sönümleyiciler ile güçlendirilen binanın doğrusal olmayan analizlerinde üç adet yer hareketi kullanılmış olup bu kayıtlar için elde edilen sonuçların ortalaması ile artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen sonuçlar oldukça yakındır. Bu sonuç, çalışılan binanın kat adedinin çok fazla olmaması, binanın planda ve düşey doğrultuda düzensizlik durumlarını içermemesi ve

kullanılan sönümleyicilerin kat planında oldukça simetrik bir şekilde yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Benzer bina özelliklerinin olduğu durumlarda, sürtünme sönümleyicileri içeren binaların ön tasarımında veya binanın deprem performansının belirlenmesinde, doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin oldukça hızlı ve etkin bir yöntem olduğu görülmüştür.

- Zaman tanım alanında elde edilen sonuçların ortalaması ile artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminden elde edilen sonuçların oldukça yakın olmasına rağmen, TDY-2007'ye göre üç adet yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumunun göz önüne alınması gerekmektedir. Kayıtların tepki spektrumları incelendiğinde, binanın her iki doğrultusunda da hakim modlara karşı gelen en büyük tepkilerin Kocaeli kaydı için elde edileceği beklense de, her iki doğrultuda da en büyük sonuçlar Düzce kaydı için elde edilmiştir. Bu durumun Düzce kaydında yer alan ani pik (pulse) özelliğinden meydana geldiği düşünülmektedir.
- Günümüzde deprem performansı yetersiz olan binaların sistem bazında güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan sisteme betonarme perdelerin eklenmesi ile sisteme sürtünme sönümleyicilerin eklenmesi durumlarında bina performansları açısından oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, mevcut bir binada betonarme perde imalatının yapılması durumunda, binanın geçici bir süre boyunca kullanılamaması, mevcut taşıyıcı elemanlara imalat sebebiyle zarar verilmesi, mevcut temel sisteminin iyileştirilmesi ihtiyacı ve bu durumun uygulamadaki zorluğu v.b birçok konu, imalat aşamasında karşılaşılan en önemli sorunlardır. Buna karşılık, sürtünme sönümleyici elemanların imalatı için yalnızca mevcut dolgu duvarların kaldırılması ve sönümleyici sistemlerin mevcut elemanlara bağlantısının sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, çoğu zaman temel sisteminde herhangi bir müdahaleye de ihtiyaç duyulmamaktadır.

KAYNAKLAR

ABYYHY 1975, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*, Ankara, Temmuz 1975.

ABYYHY 1997, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, Ekim 1997.

Aiken I., Passive Energy Dissipation-Hardware and Appliacations, *Los Angeles County and SEAOSC Symposium on Passive Energy Dissipation Systems for New and Existing Buildings*, Los Angeles, U.S.A., 19-20 July 1996.

Aiken I. D., Nims D. K., Testing of Passive Energy Dissipation Systems, *Earthquake Spectra*, 1993, **9**, 335-370.

ASCE 41-06, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, *American Society of Civil Engineers,* U.S.A., 2008.

Asher J. W., Young R. P., Ewing R. D., Seismic isolation design of the San Bernardino Couty Medical Center replacement Project, *Structural Design of Tall Buildings*, 1996, **9**, 265-279.

Aydinoğlu M. N., Celep Z., Özer., Sucuoğlu H., *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı*, 1.Baskı, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.

Aydinoğlu M. N., Önem G., Evaluation of Analysis Procedurs for Seismic Assesment and Retrofit Design, *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Rebuplic of Macedonia, 30 August-03 September 2010.

Aydinoğlu M. N., Earthquake Response Analysis-II, Lecture Notes, Boğaziçi University, KOERI, İstanbul, 2012.

Aydinoğlu M. N., Earthquake Response Analysis-I, Lecture Notes, Boğaziçi University, KOERI, İstanbul, 2011.

Bayülke N., Reedition history of seismic design code of Turkey, *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, 1992, **26**, 413-92.

Beyen K., İleri Deprem Mühendisliği, Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011.

Bracci J. M., Lobo R. F., Shen K. L., Reinhorn A. M., Soong T. T., Inelastic response of reinforced concrete structures with viscolelastic braces, *Earthquake Spectra*, 1993, **9**, 419-446.

Brown P., Aiken I. D., Jafarzadeh F. J., Seismic retrofit of the Wallace F.Benneth Federal Building, *Conference on Modern Steel Construction*, Chicago U.S.A, August 2001.

Chadwell C. B., XTRACT-Cross Section Analysis Software for Structural and Eartquake Engineering, Imbsen&Associates, http://www.imbsen.com/xtract.htm (Ziyaret Tarihi: 29 Temmuz 2013).

Chang C., Pall A., Louie J., The use of friction dampers for seismic retrofit of the Monterey County Government Center, *8th National Conference On Earthquake Engineering*, Oakland, 23-24 October 2003.

Chopra A. K., *Dynamics of Structures-Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 1th ed., Prentice Hall, New Jersey, U.S.A., 1995.

Clark P. W., Aiken I. D., Tajirian F., Kasai K., Kimura I., Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices, *Post-SMIRT Conference Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures*, Cheju, South Korea, 23-25 August 1999.

Clough R. W., Penzien J., *Dynamic of Structures*, 3th ed., Computers and Structures Inc., Berkeley, U.S.A., 1995.

Crosby P., Kelly J. M., Singh J., Utilizing viscoelastic dampers in the seismic retrofit of a thirteen story steel frame building, *Structure Congress XII*, Atlanta, U.S.A., 24-28 April 1994.

Cruz S. T., Almansa F. L., Taylor C., Tests of Friction Energy Dissipators for Seismic Protection of Buildings, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 12-17 October 2008.

Çeri M., Çok Katlı Betonarme Yapılarda Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 323795.

DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 2007.

Deringöl A. H., Effect of Friction Dampers On Seismic Performance of Buildings, Master of Science Thesis, Gaziantep University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gaziantep, 2013, 323129.

Dicleli M., Sismik izolasyon ve enerji emici sistemlerle ilgili teknik gelişmeler ve sismik performansı iyileştirme amaçlı özel uygulamalar, *Deprem Yalıtımı Yöntemleri ve Uygulamaları Sempozyumu*, Ankara, 28 Şubat - 1Mart 2013.

Duyguluer, M. F., The history of seismic design code of Turkey, *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, 1997, **31**, 77-92.

Düzel E., Düşeyde Rijitlik Düzensizliği Bulunan Çerçevelerin Sönüm Elemanları ile ve Çelik Çaprazlar ile Rehabilitasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2012, 271466.

Fardis M., *Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings*, 3th ed., Springer, New York, 2009.

Fahjan Y. M., Türk Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spekturumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, *İmo Teknik Dergi*, 2008, **292**, 423-444.

FEMA 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Managament Agency*, U.S.A., 1997.

FEMA 274, NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Managament Agency*, U.S.A., 1997.

FEMA 356, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Managament Agency*, U.S.A., 2000.

Filiatrault A., Cherry S., Comparative performance of friction damped systems and base isolation systems for earthquake retrofit and aseismic design, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1998, **16**, 389-419.

Fitzgerald T. F., Thalia A., Mary G., and Theodore Z., Slotted Bolted Connections in Aseismic Design for Concentrically Braced Connections, *Earthquake Spectra*, 1989, **5**, 383-391.

Hilber H. M., Hughes T. J., Collocation, Dissipation and Overshoot for Time Integration Schemes in Structural Dynamics, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1998, **6**, 99-117.

Housner G. W., Limit design of structures to resist earthquakes, *1st World Conference on Earthquake Engineering*, Berkeley, U.S.A., February 1956.

Iliadis C., Friction-based Control System for Seismic Energy Dissipation with Isolated Stories, Master of Science Thesis, Massachussets Institute of Technology, Civil and Environmental Engineering Department, Boston, 2011.

İMO-02.R-01/2008, Çelik Yapılar Emniyet Gerilmesi Esasına Göre Hesap ve Proje Esasları, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul, 2008.

Kanitkar R., Harms M., Crosby P., Lai M. L., Seismic retrofit of a steel moment frame structure using viscoelastic dampers., *Journal of Earthquake Technology*, 2006, **35**, 207-219.

Marko J., Influence of Damping Systems on Building Structures Subject to Seismic Effects, Doctor of Philosophy Thesis, Queensland University of Technology, Civil Engineering Department, Queensland, 2006.

Moreschi L. M., Seismic design of energy dissipation systems for optimal structural performance, Doctor of Philosophy Thesis, Virginia State University, Polytechnic Institute, Virginia, 2000.

Nims D. K., Richter P. J., and Bachman R. E., The Use of the Energy Dissipating Restraint for Seismic Hazard Mitigation, *Earthquake Spectra*, 1993, **9**, 467-489.

Pall A., Pall R. T., Performance-Based Design using Pall Friction Dampers – An economical design solution, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, 1-6 August 2004.

Pall A. S., and Marsh C., Optimum Seismic Resistance of Large Panel Structures Using Limited Slip Bolted Joints, *Seventh World Conference on Earthquake Engineering*, Istanbul, September 1980.

Perry C. L., Fierro E. A., Sedarat H., Scholl R. E., Seismic upgrade in San Francisco using energy dissipation devices, *Earthquake Spectra*, 1993, **5**, 59-79.

Rahimian A., Romero E. M., Super Structure, *Advences in Civil Engineering,* 2007, **73**, 21-69.

Ramirez O. M., Constantinou M., Whittaker A., Kircher C. A., Chrysostomu C., Elastic and Inelastic Seismic Response of Buildings with Damping Systems, *Earthquake Spectra*, 2002, **18**, 531-547.

Rao R., Gergely P., White R., A Simplified Design Method for Retrofit of Gravity Load Design RC Frames with Friction Dampers, *11th World Conference on Earthquake Engineering*, Berkeley, U.S.A., 23-28 June 1996.

Sadek F., Mohraz B., Taylor W., Chung R. M., Passive Energy Dissipation Devices for Seismic Applications, *Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standarts and Technology*, NISTIR 5923, 1-64, 1996.

Sezen H., Elwood K. J., Whittaker A. S., Mosalam K. M., Wallace J. W., Stantoln J. F., Structural Engineering Reconnaissance of the August 17.1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake, *Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California*, 2000/09, 20-32, 2000.

Soong T. T., Spencer B. F., Supplemental Energy Dissipation: state of the art and state of the practice, *Engineering Structures*, 2002, **24**, 243-259.

Soong T. T., Dargush G. F., Passive Energy Dissipation and Active Control, *Structural Engineering Handbook*, 4th ed., CRC Press, 1999.

Soong T. T., Kelly J. M., Feetch D. A., Wood S. L., Hayes J. R., Lai M. L., Nielsen E. J., Seismic Applications of Viscoelastic Dampers, *NCEERS's Building Project*, 90/2107, 20-42, 2000.

Soong T. T., Constantinou M., Passive and active structural vibration control in civil engineering, *Department of Civil Engineering State University of New York at Buffalo*, 14260, 1-28, 1998.

Soyluer A., Harmankaya Z. Y., The History of Development in Turkish Seismic Design Codes, *International Journal of Civil&Environmental Engineering*, 2012, **12**, 25-29.

Symans M. D., Charney F. A., Whittaker A. S., Constantinou M. C., Kircher C. A., Johnson M. W., McNamara R. J., Energy dissipation systems for seismic applications: Current practice and recent developments, *Journal of Structural Engineering*, 2008, **3,** 123-221.

Tirali B., Tip Okul Binalarının Performans Analizi, Sürtünme Söndürücüler ve Sürtünme Plakaları ile Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 275769.

TDY-2007, Türk Deprem Yönetmeliği, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 2007.

TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, ICS91.080.40, 2000.

TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, ICS 91.040, 1997.

Uang C. M., Bertero V. V., Earthquake Similation Tests and Associated Studies of a 0.3 Scale Model of a Six-Story Concentrically Braced Steel Structure, *Earthquake Engineering Research Center*, UCB/EERC-86/10, 1-32, 1996.

URL-1: http://www.comp-engining.com/products/SAP2000/sap2000.html.(Ziyaret tarihi: 25 Haziran 2013)

URL-2: http://www.csiamerica.com/sap2000. (Ziyaret tarihi: 30 Haziran 2013)

URL-3: http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database (Ziyaret Tarihi: 04.09.2013)

Vail C., Hubbel J., O'Connor B., King J., Pall A., Seismic upgrade of the Boeing Commercial Airplane Factory at Everet WA USA, *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, Canada, 1-6 August 2004.

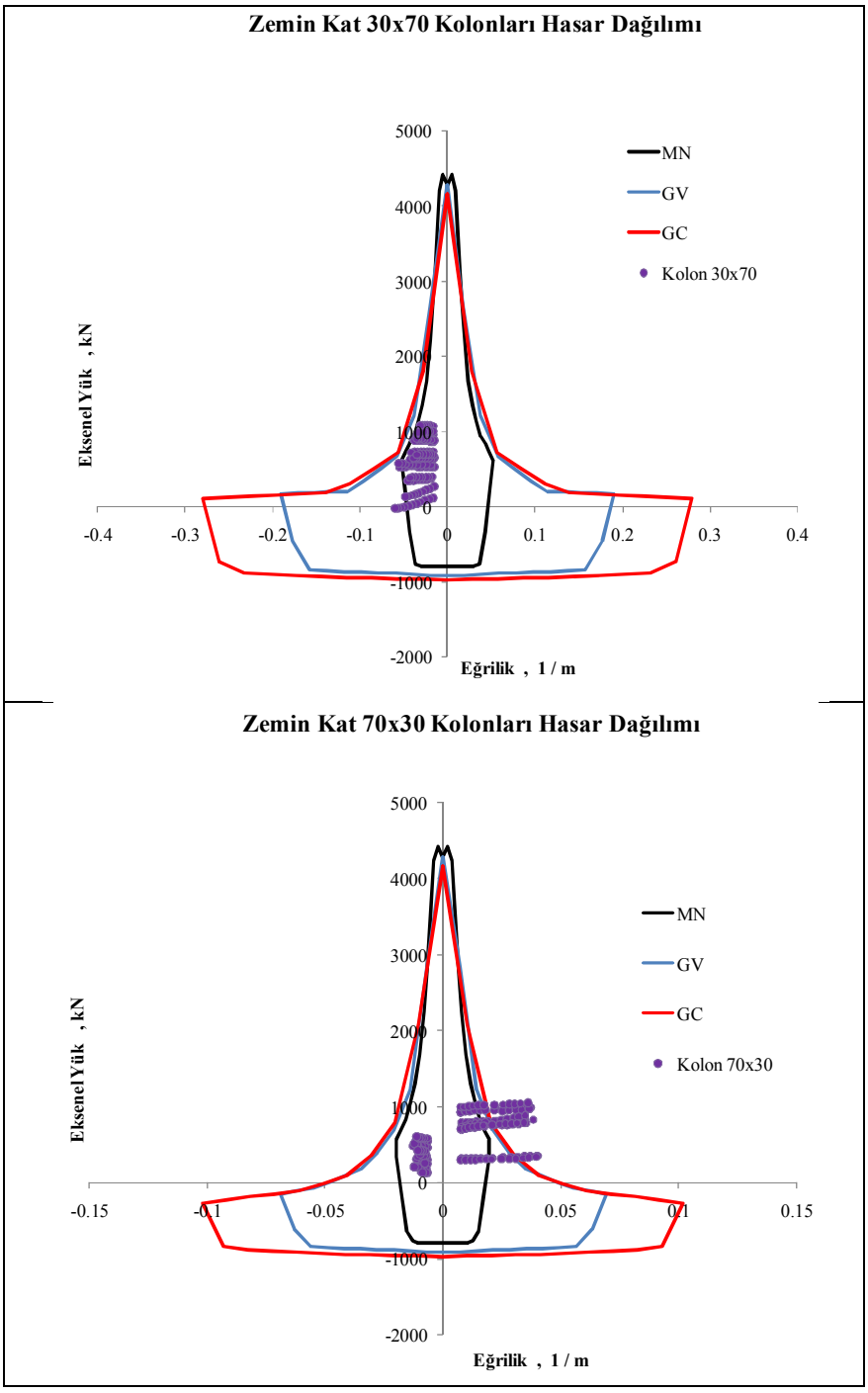
Williams M. S., Albermani F., Evaluation of Displacement-Based Analysis and Design Methods for Steel Frames with Passive Energy Dissipators, *The University of Queensland*, ISBN:186 499 7540, 5-20, 2003.

Wilson E. L., *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*, 4th ed., C.S.I, Berkeley, U.S.A., 2002.

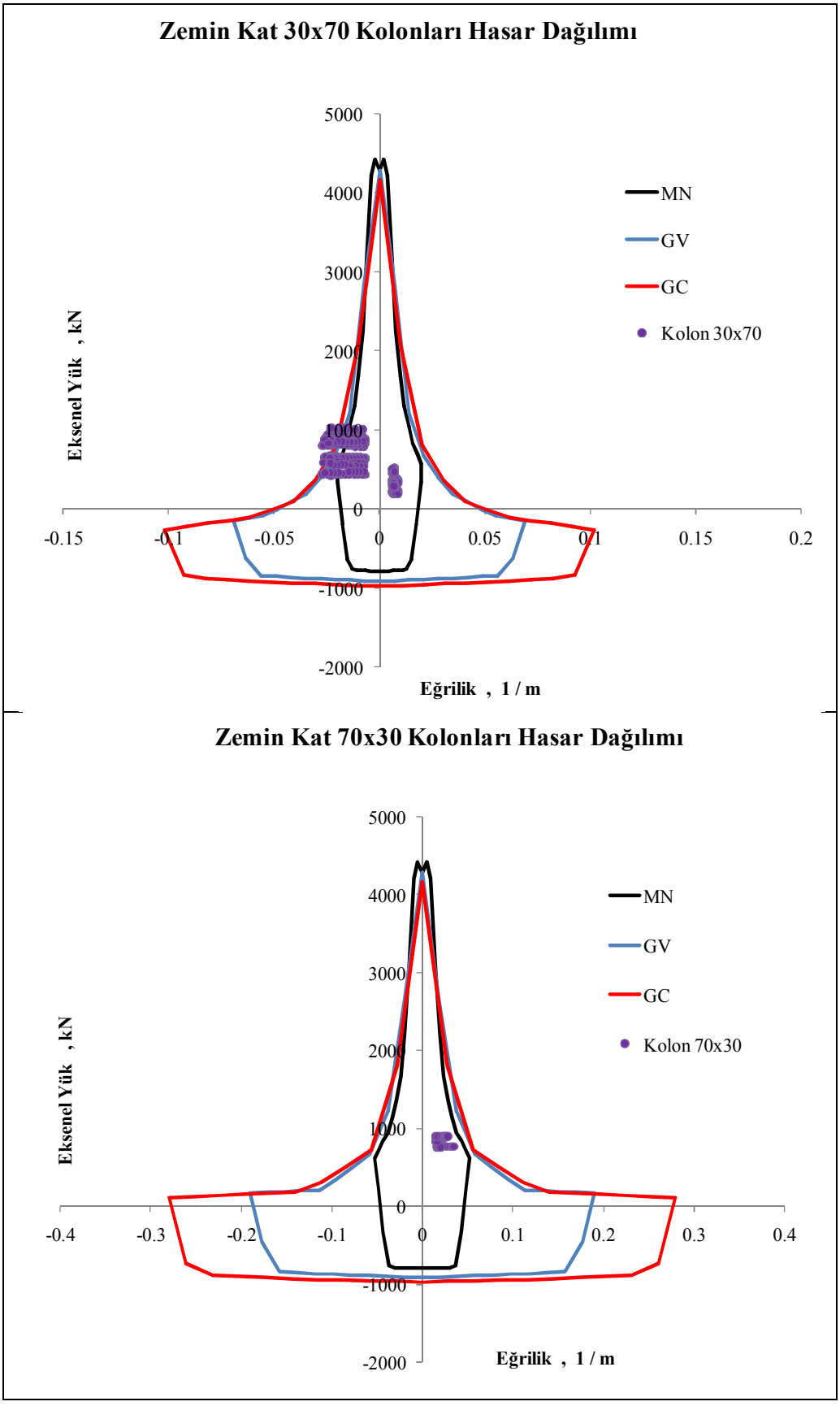
Yerlici V., Luş H., *Yapı Dinamiğine Giriş*, 2. Baskı, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 2007.

EKLER

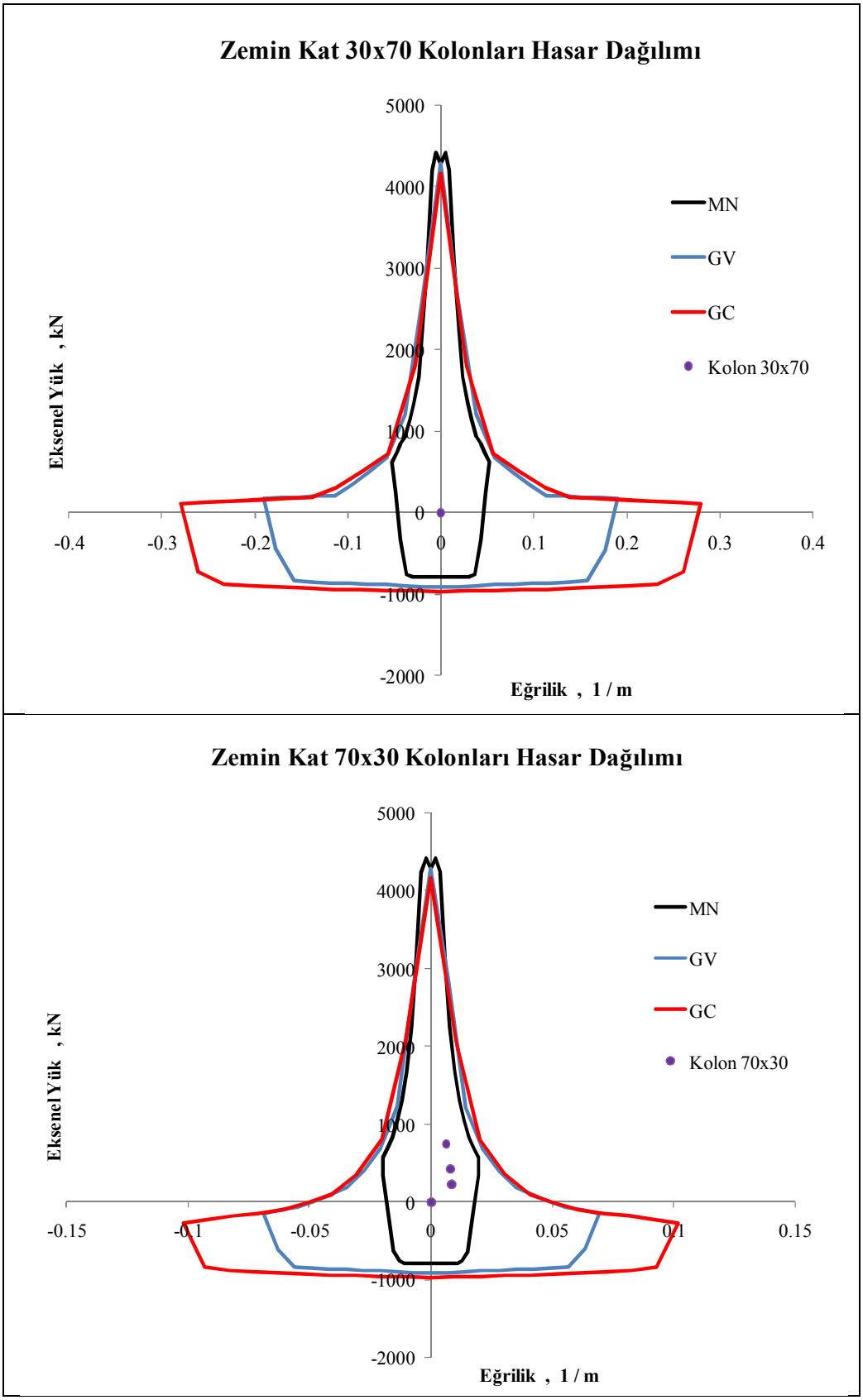
EK-A



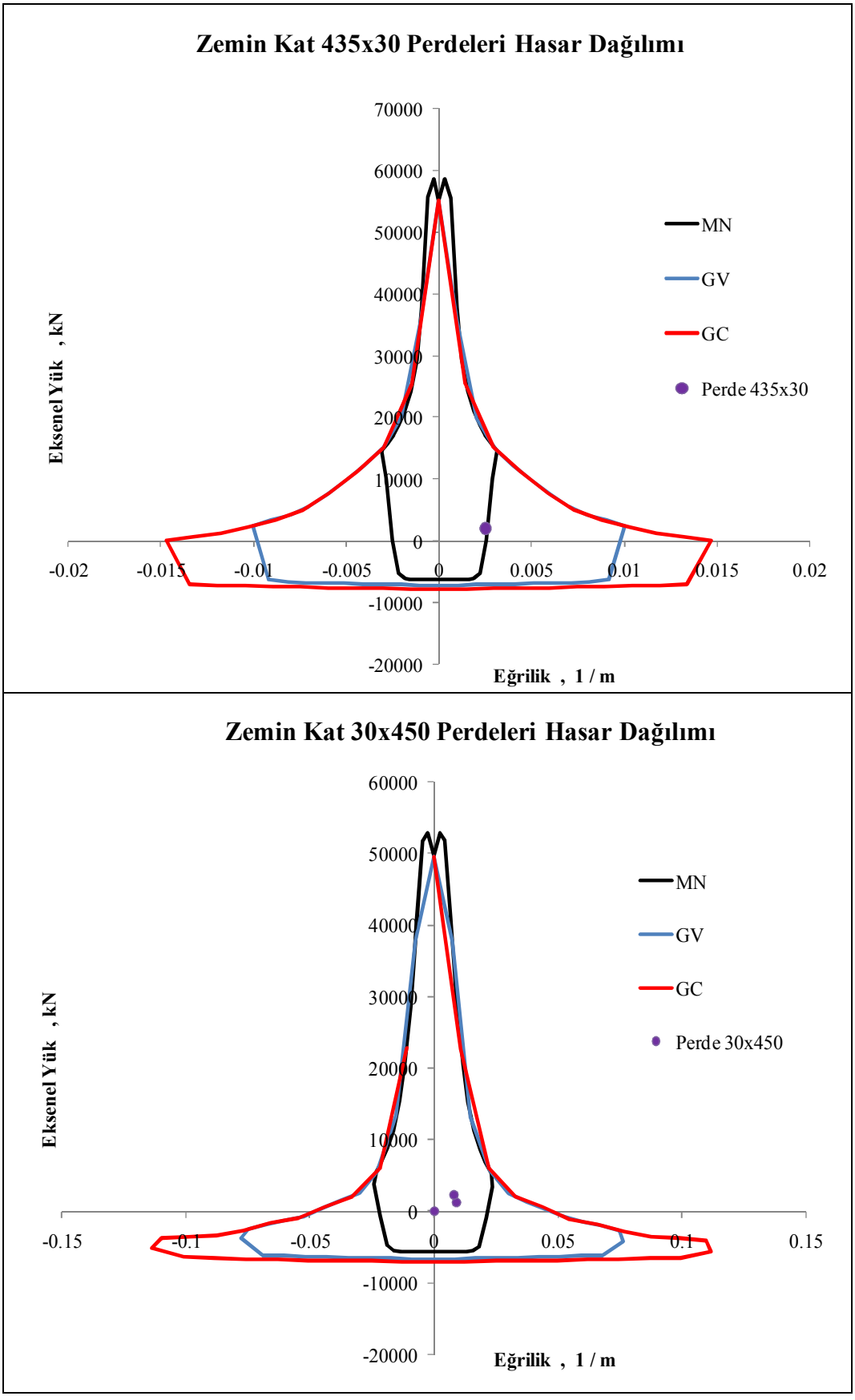
Şekil A.1.Mevcut Bina Zemin Kat Kolonları X Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



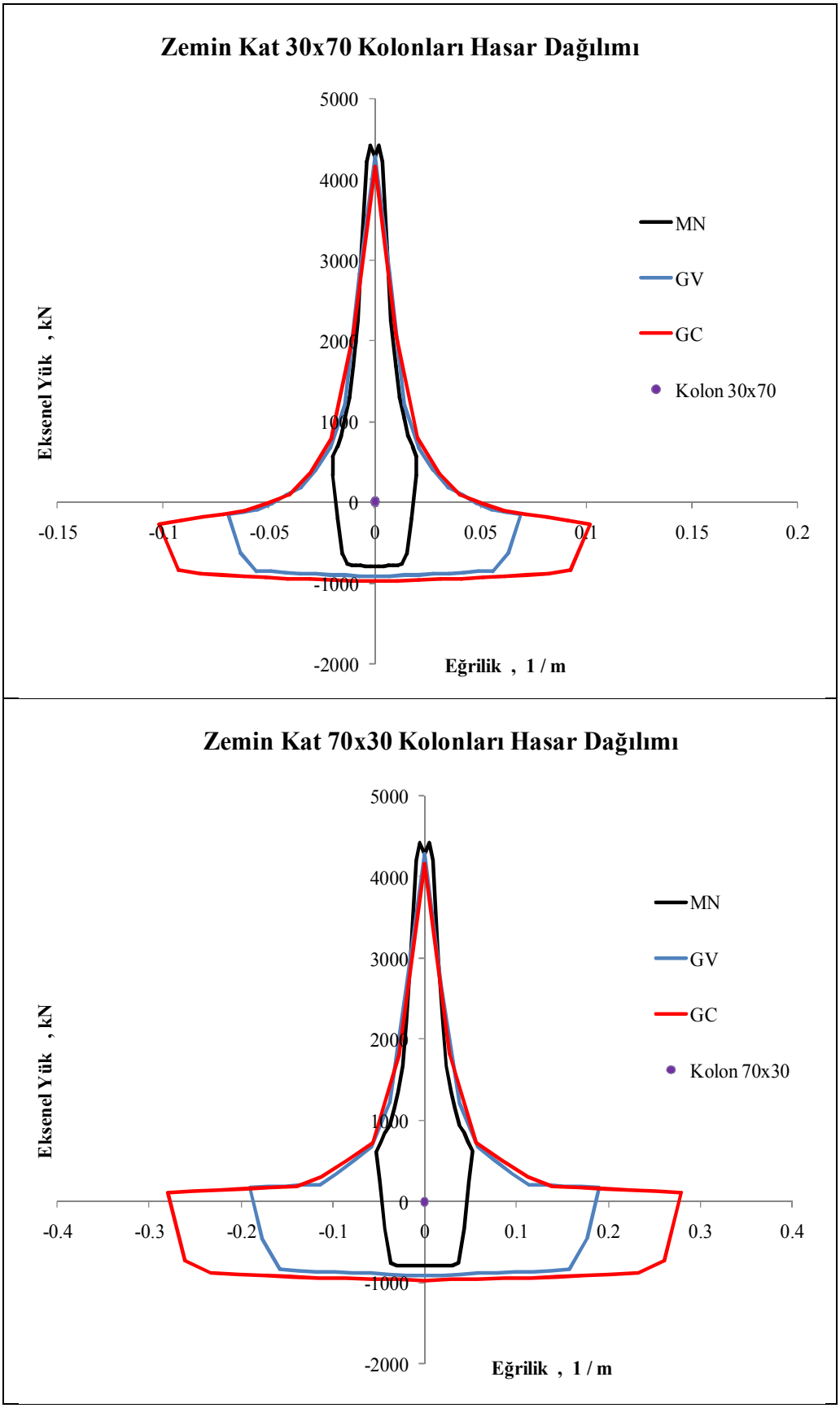
Şekil A.2.Mevcut Bina Zemin Kat Kolonları Y Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



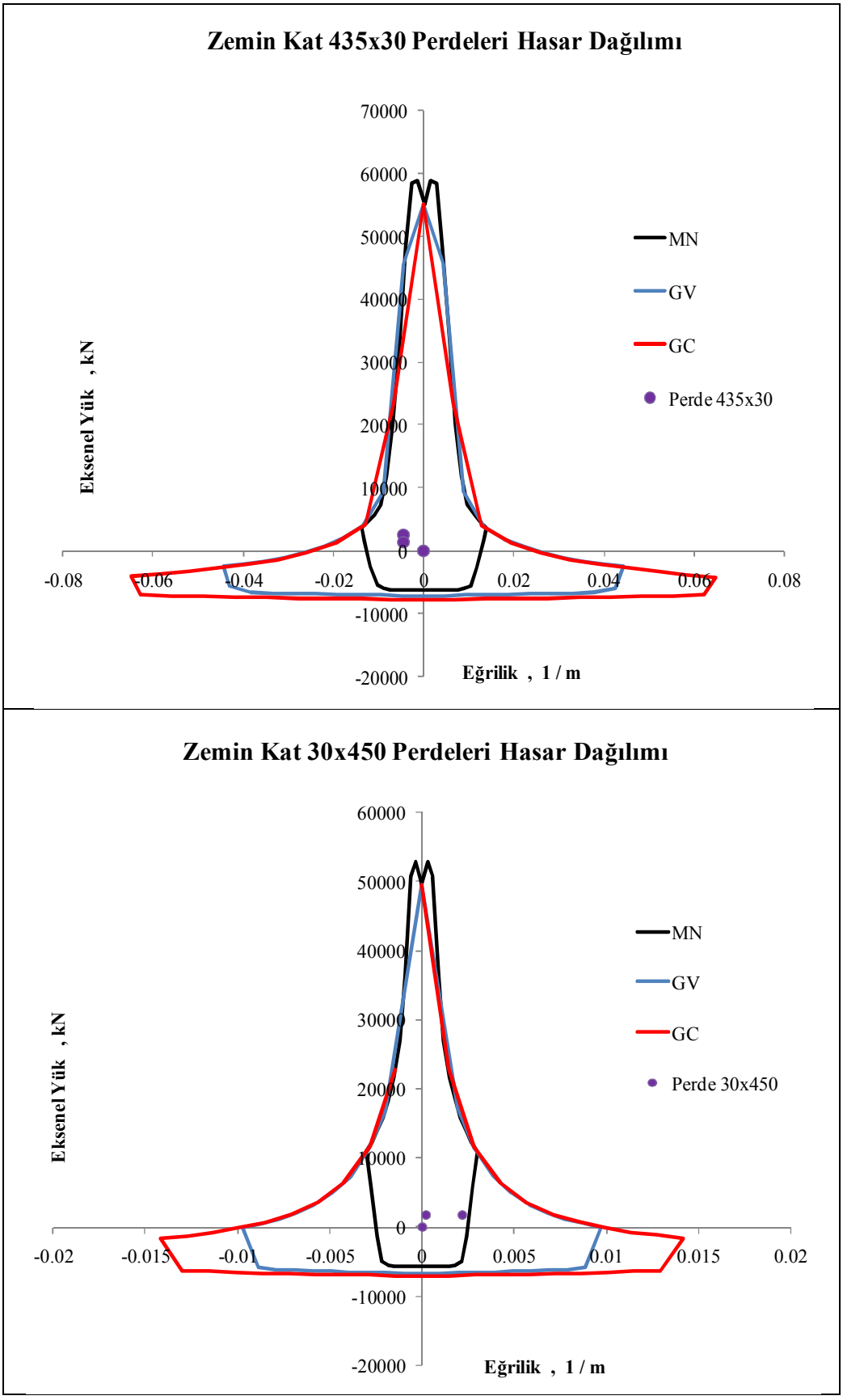
Şekil A.3.Perdeli Durum Zemin Kat Kolonları X Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



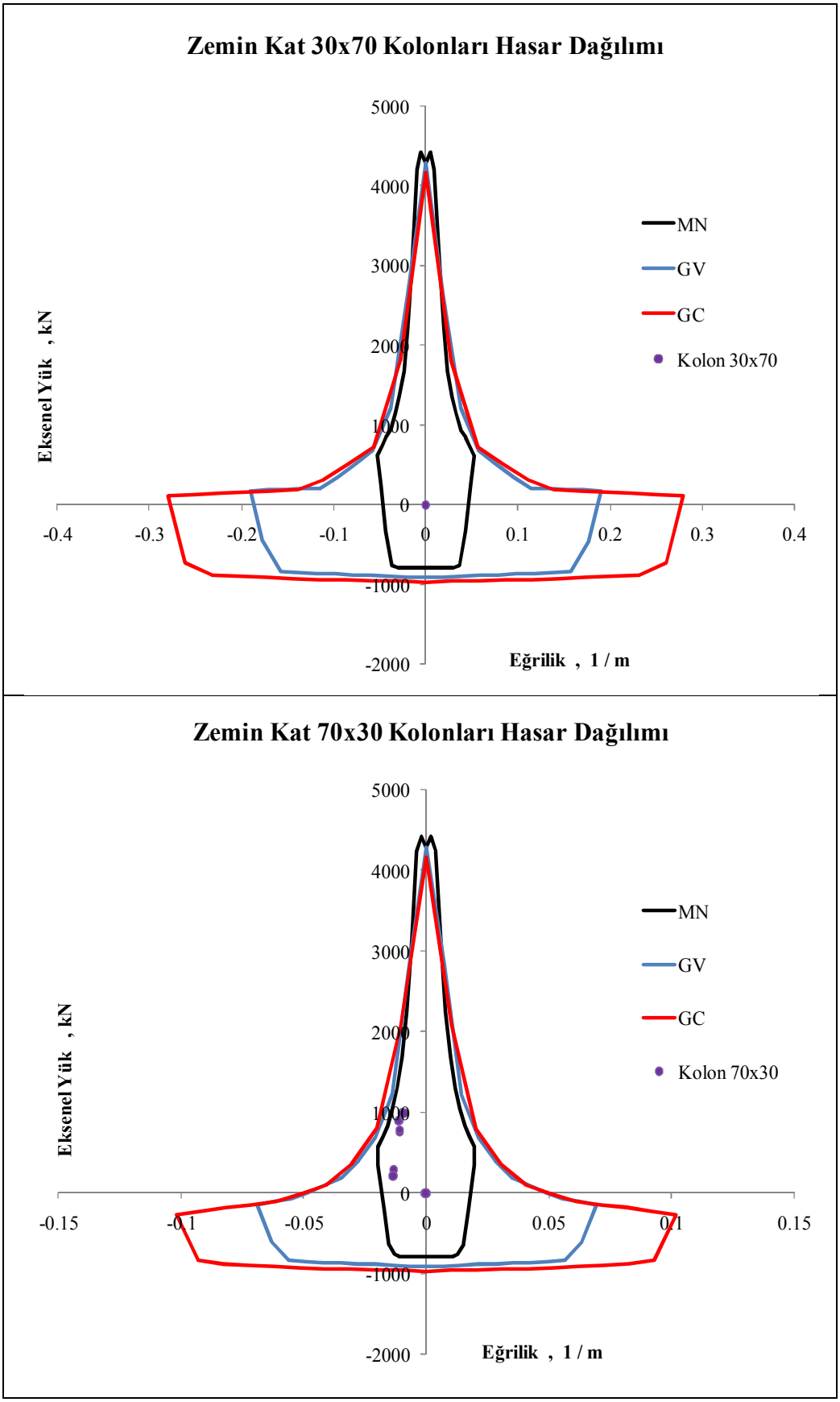
Şekil A.4.Perdeli Durum Zemin Kat Perdeleri X Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



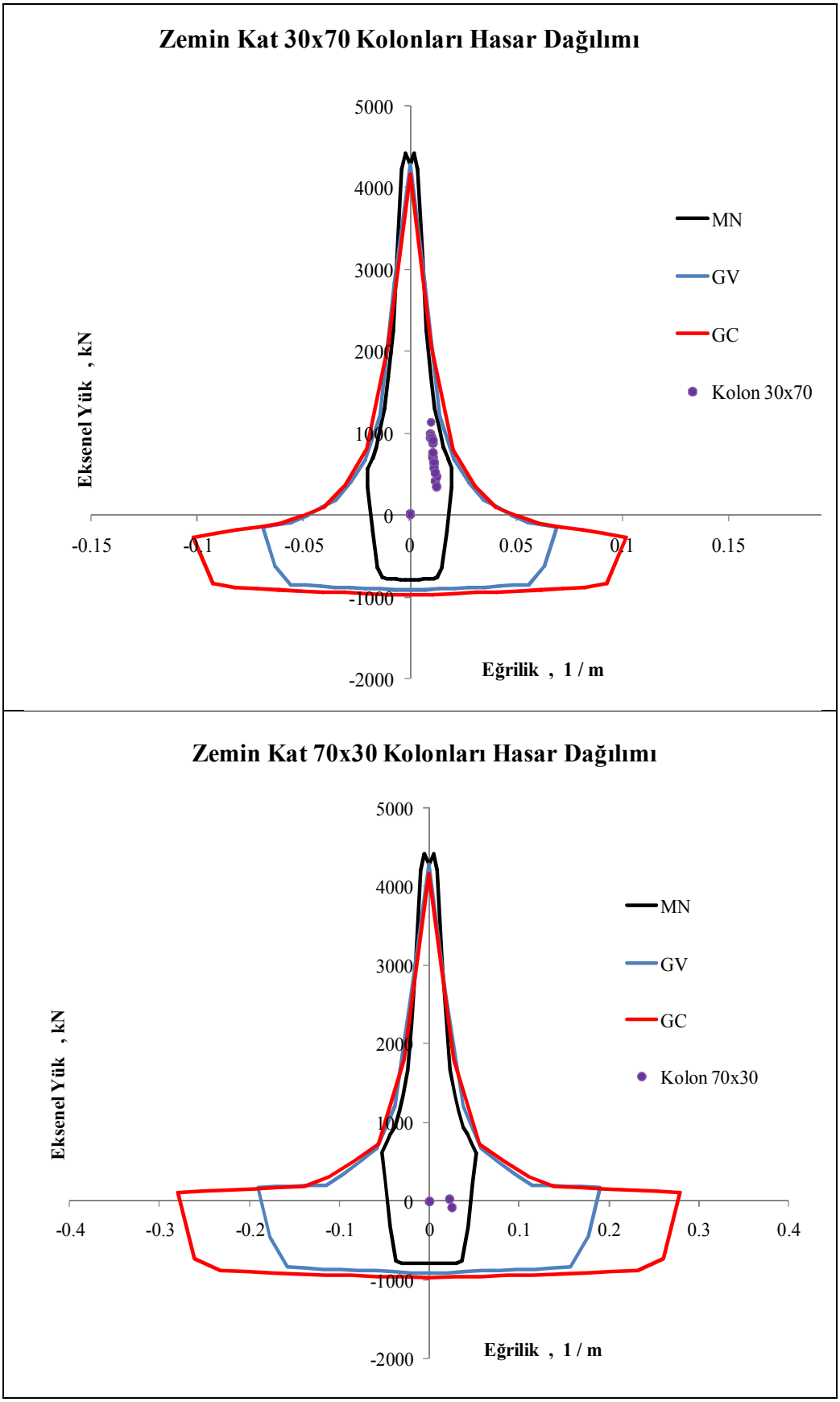
Şekil A.5.Perdeli Durum Zemin Kat Kolonları Y Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



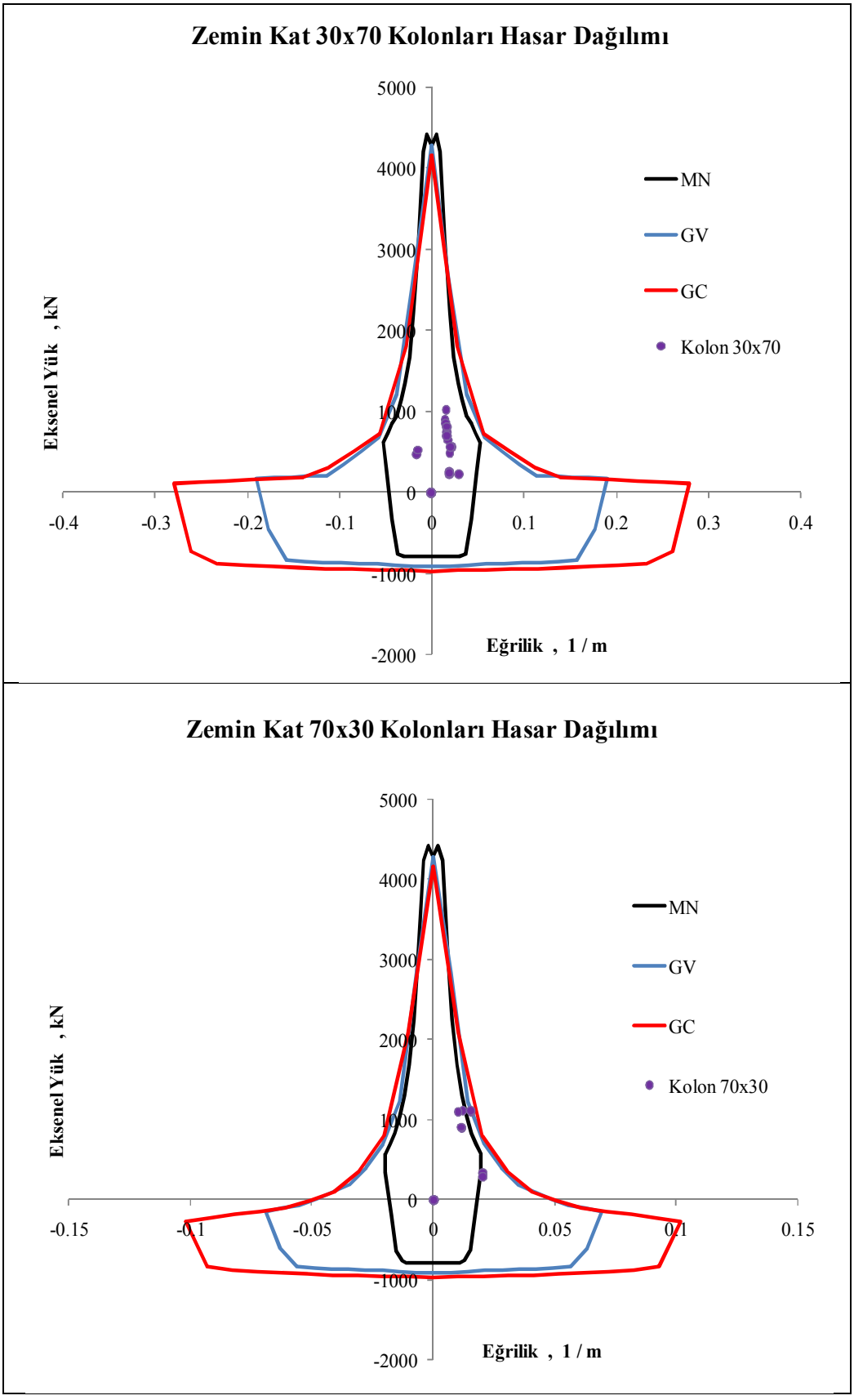
Şekil A.6.Perdeli Durum Zemin Kat Perdeleri Y Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



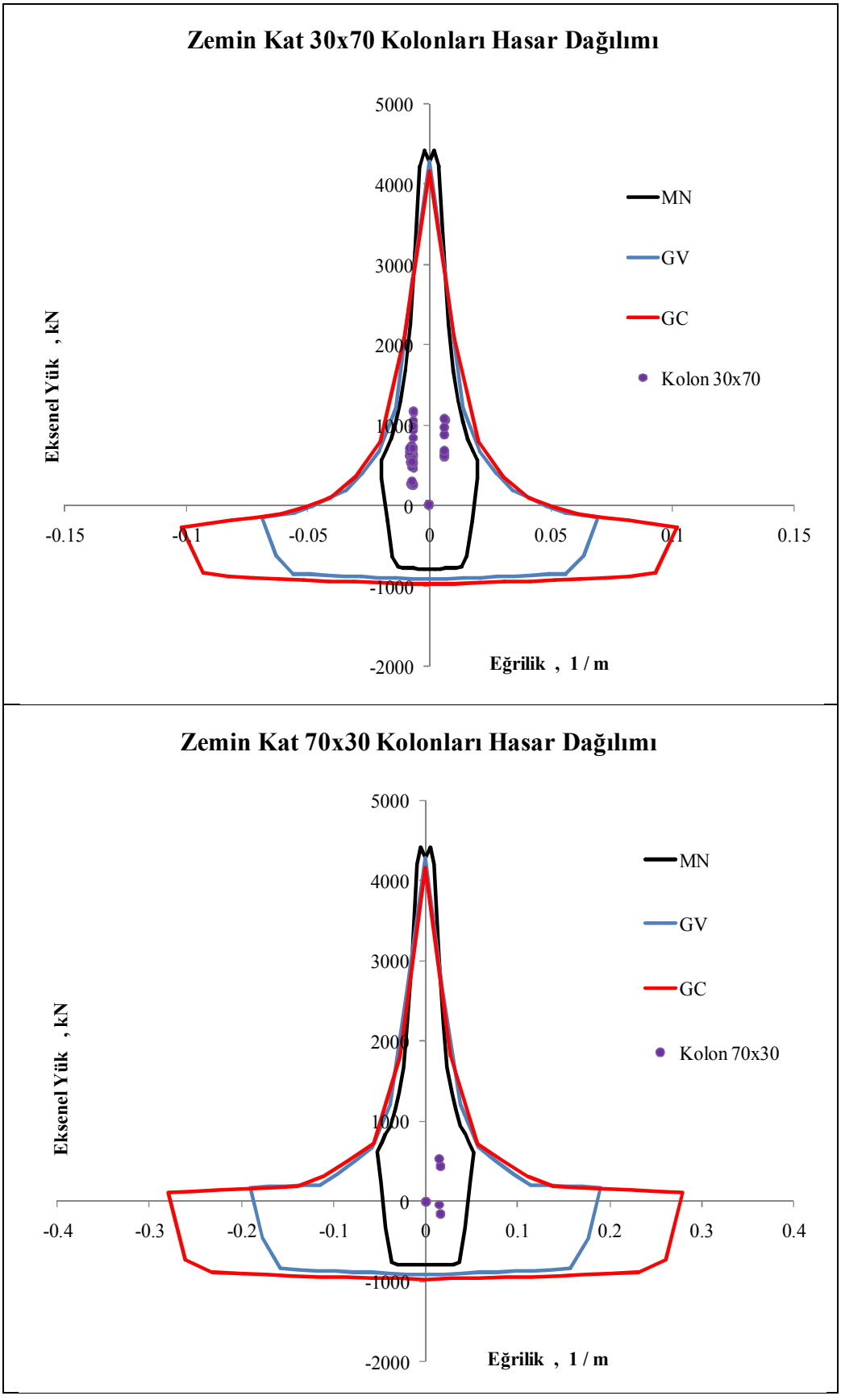
Şekil A.7.Sönümleyicili Durum Zemin Kat Kolonları X Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



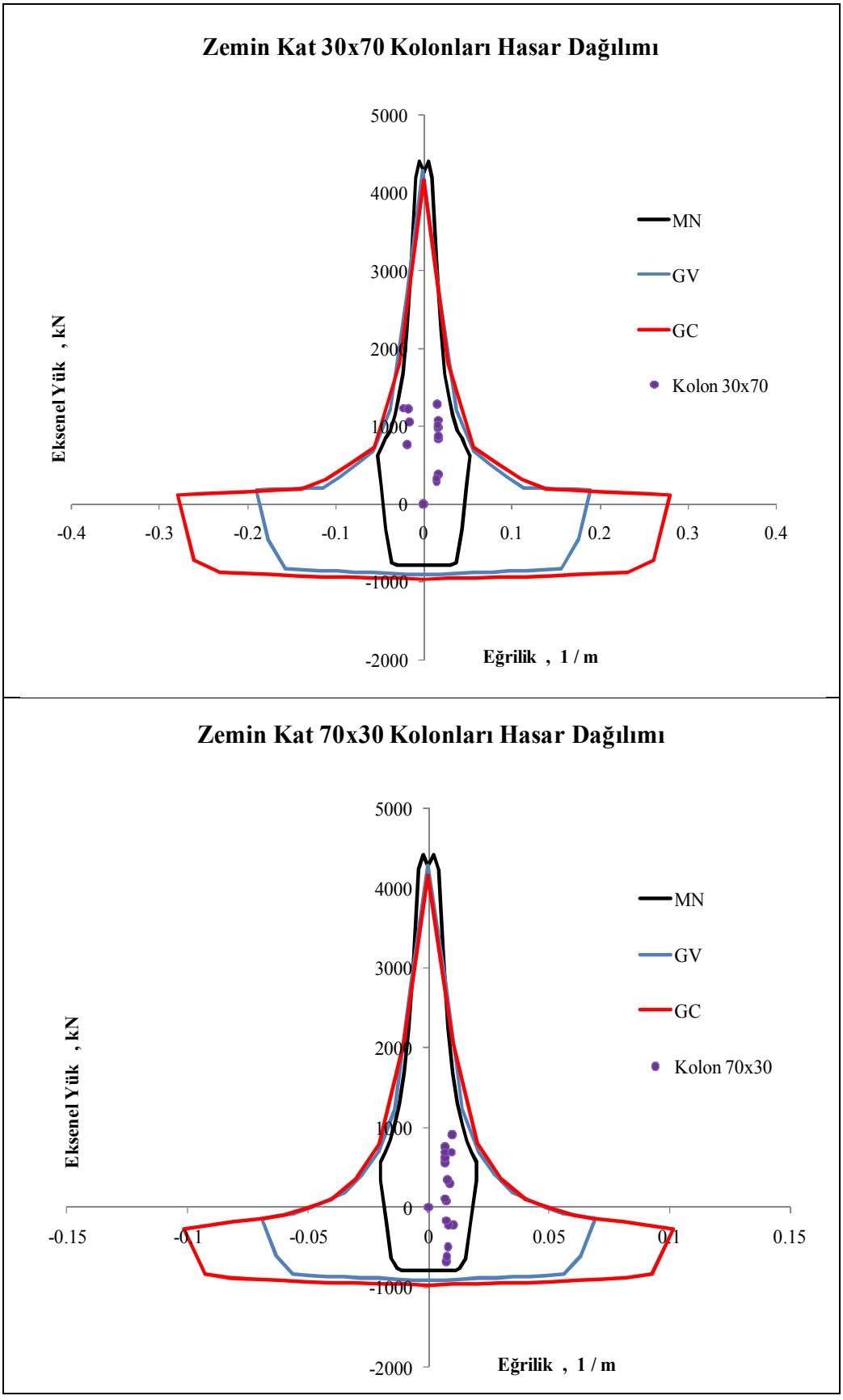
Şekil A.8.Sönümleyicili Durum Zemin Kat Kolonları Y Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



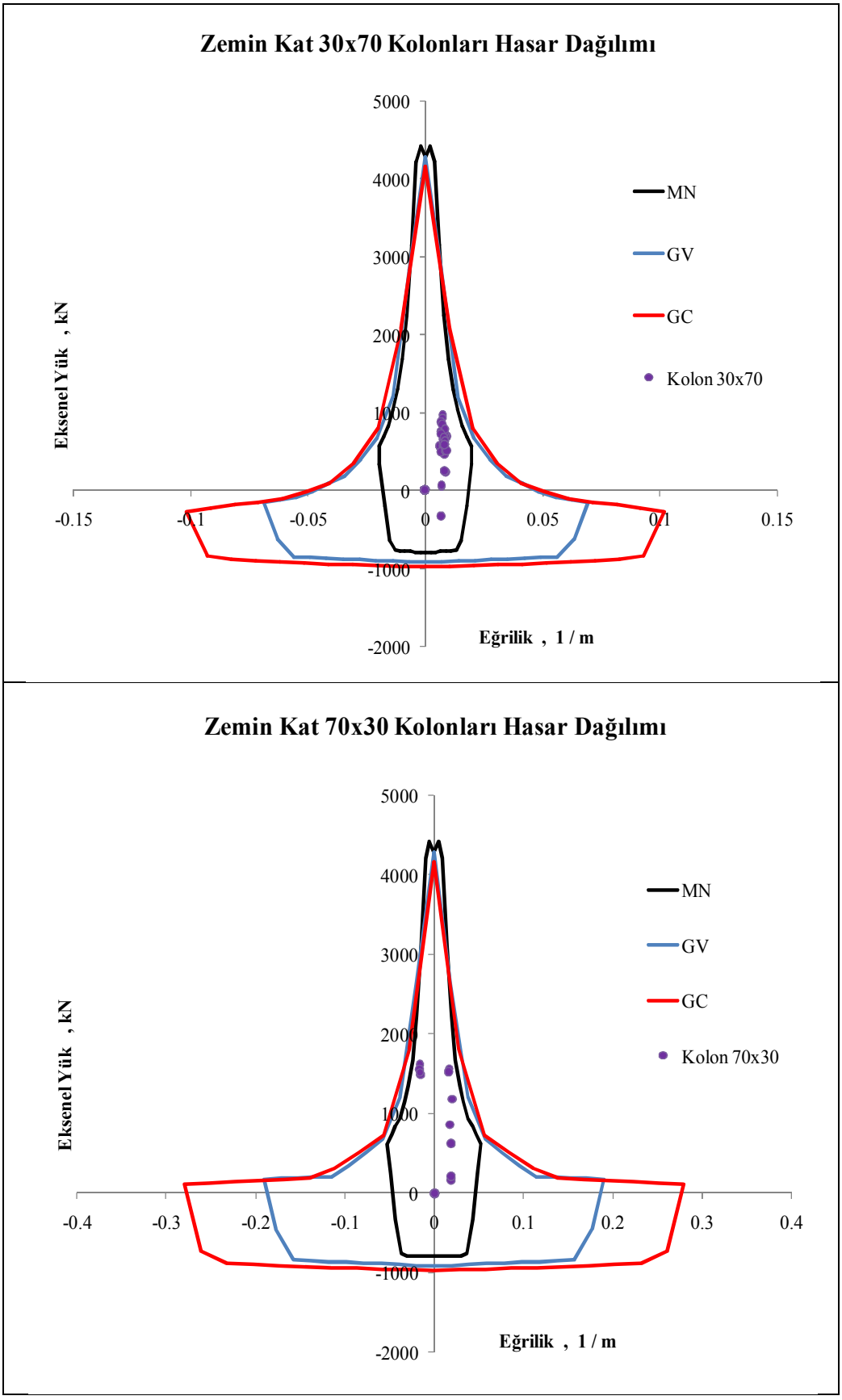
Şekil A.9.Sönümleyicili Durum Kocaeli Depremi İçin Zemin Kat Kolonları X Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



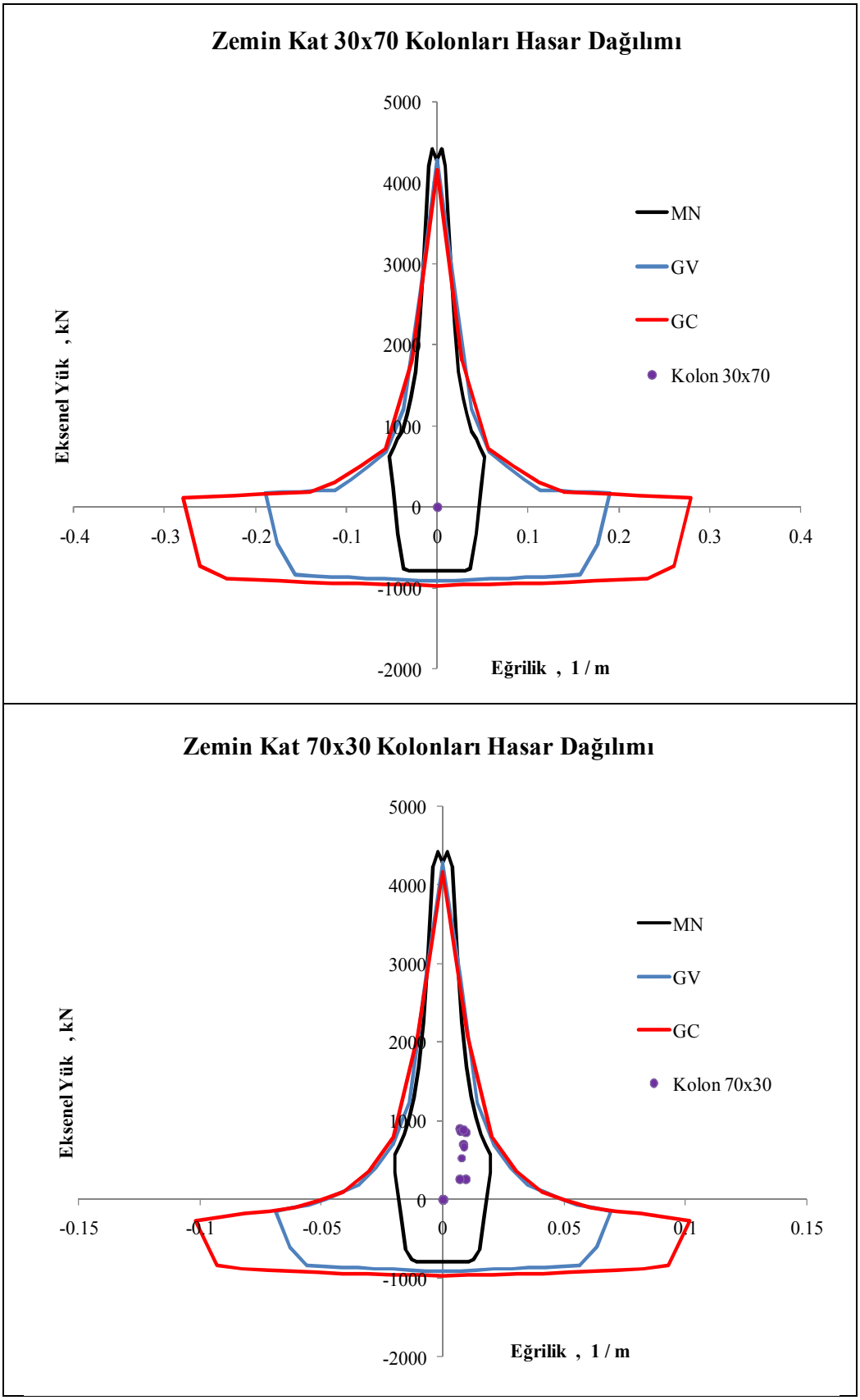
Şekil A.10.Sönümleyicili Durum Kocaeli Depremi İçin Zemin Kat Kolonları Y Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



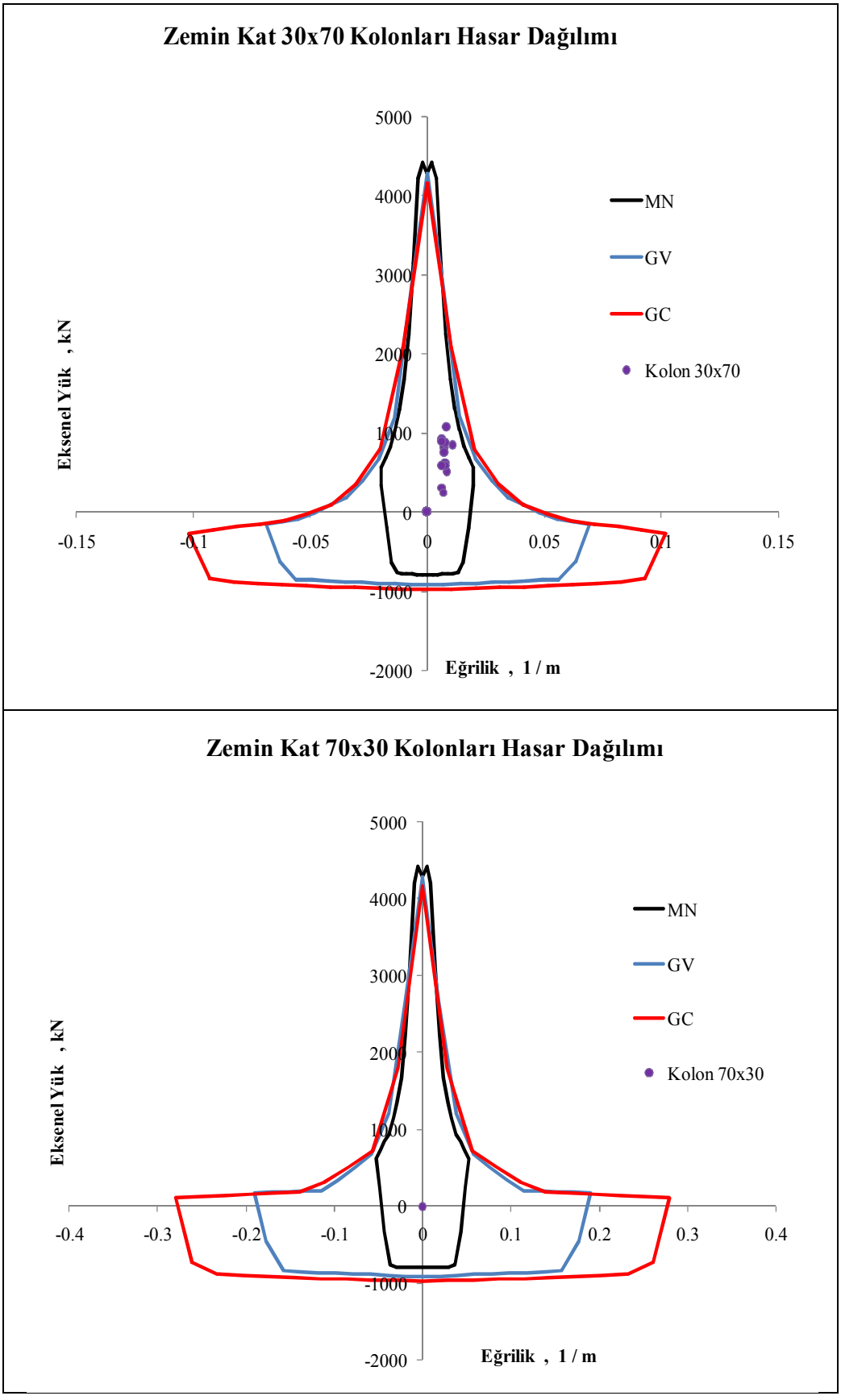
Şekil A.11.Sönümleyicili Durum Düzce Depremi İçin Zemin Kat Kolonları X Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



Şekil A.12.Sönümleyicili Durum Düzce Depremi İçin Zemin Kat Kolonları Y Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



Şekil A.13.Sönümleyicili Durum Landers Depremi İçin Zemin Kat Kolonları X Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu



Şekil A.14.Sönümleyicili Durum Landers Depremi İçin Zemin Kat Kolonları Y Doğrultusundaki Deprem Etkisi Altında Hasar Durumu

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Değirmendere, Kocaeli'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olarak yine aynı yıl içerisinde Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda öğrenim görmeye başladı. 2012 yılından beri özel bir şirkette yapı mühendisi olarak çalışmaktadır.