



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN
BETONARME YAPILARIN STATİK İTME
ANALİZİ İLE YAPI PERFORMANSININ
BELİRLENMESİ

Ensar SUCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

Şubat 2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ensar SUCİ tarafından hazırlanan “Burulma Düzensizliği Bulunan Betonarme Yapıların Statik İtme Analizi İle Yapı Performansının Belirlenmesi” adlı tez çalışması 09/02/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Rıfat SEZER

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Nail KARA

Üye

Doç. Dr. Rıfat SEZER

Üye

Yrd. Doç. Dr. Nail KARA

Üye

Yrd. Doç. Dr. Nebi ÖZDÖNER

İmza

.....
.....
.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

.....
Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması ÖYP Koordinatörlüğü tarafından 2013-ÖYP079 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ensar SUCİ

Şubat 2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME YAPILARIN STATİK İTME ANALİZİ İLE YAPI PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Ensar SUCİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nail KARA

2016, 140 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Nail KARA

Doç. Dr. Rıfat SEZER

Yrd. Doç. Dr. Nebi ÖZDÖNER

Günümüzde bir çok deprem yönetmelikleri ve standartlarda yapısal düzensizliklere önem verilmiştir. Özellikle burulma düzensizliği sismik performansa olan negatif etkisi ve yapı davranışını kompleks hale getirmesi nedeniyle detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada sismik etkiler altındaki özel bir binanın üç boyutlu davranışı incelenmiştir. 4 katlı betonarme kolon-kiriş çerçeve yapı Sap2000 statik analiz programında pushover analiz ve zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle analiz edilmiştir. Yapı daha sonra sismik kuvvetlere karşı yetersiz kabul edilerek 4 adet aynı kesit özelliklerine sahip perde duvarla güçlendirilmiştir. 12 farklı durumda perde duvar lokasyonları değiştirilerek burulma düzensizlikleri elde edilmiştir. Her durum bu yöntemlerle analiz edilerek göreceli kat ötelenmeleri ve kesme kuvvetleri gibi performans analizi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Burulma düzensizliği, perde duvar, statik itme analizi, zaman tanım alanında analiz.

ABSTRACT

MS THESIS

PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH TORSIONAL IRREGULARITIES BY PUSHOVER ANALYSIS

Ensar SUCİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELCUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Nail KARA

2016, 140 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Nail KARA

Assoc. Dr. Dr. Rifat SEZER

Asst. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER

Today, in many earthquake codes and building standards were given importance to structural irregularities. Especially torsional irregularity must be examined in detail due to its complexity on structural behaviour and negative effects on seismic performance.

In this study, the three dimensional behaviour of a particular building was examined under seismic effects. A four story reinforced concrete column - beam frame building was analyzed by using pushover analysis and time history analysis on SAP2000 static analysis software. The building has been assumed insufficient for seismic forces and strengthened by adding four same sectioned shear walls. Torsional irregularities have been created by changing the location of the shear walls in twelve different cases. Each case has been analyzed by these methods and the performance results such as relative story drifts and shear forces have been compared.

Keywords: Pushover Analysis, Shear Wall, Time History Analysis, Torsional Irregularity.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren değerli danışman hocam Yard. Doç. Dr. Nail KARA Hocama, çalışmama büyük katkıları olan ve her türlü desteği sağlayan Doç. Dr. Rıfat SEZER Hocama şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca, benden desteklerini esirgemeyen, çalışmalarım süresince yanımda olan ailem ve arkadaşlarıma da şükranlarımı sunarım.

Ensar SUCİ
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1.Tezin Amacı, Kapsamı ve Önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1.Yapısal Düzensizlik Durumları	10
3.1.1. Planda Düzensizlik Durumları.....	10
3.1.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları	12
3.1.3. Burulma Düzensizliğinin Yapı Davranışına Etkileri	13
3.2. Performans Seviyeleri.....	14
3.2.1. ATC40, FEMA273, FEMA356’da Performans Değerlendirilmesi.....	15
3.2.2. Yapısal Performans Seviyeleri.....	16
3.2.3. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri.....	18
3.3. ASCE 41-06 ve FEMA 356 da Yapı Performans Seviyeleri.....	19
3.4. Deprem Yönetmeliğimizde Yapı Performans Analizi.....	23
3.4.1. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri	23
3.4.2. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar.....	24
3.4.3. DBYBHY 2007’ye Göre Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Performans Analizi	26
3.5. DBYBHY 2007’de Artımsal İtme Analizi	27
3.5.1. Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol ..	27
3.5.2. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi.....	28
3.5.3. DBYBHY 2007 ye Göre Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi.....	30
3.5.4. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi.....	32
3.5.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	32
3.6. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi	36
3.6.1. Betonarme Binaların Deprem Performansı.....	36
3.7. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	38
3.8. Plastik Mafsal Hipotezi.....	39
3.8.1. Plastik Mafsalın Boyu ve Yeri.....	40
3.9. Beton ve Donatı Çeliği İçin Gerilme – Şekil Değiştirme Bağıntıları	40
3.9.1. Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri.....	40
3.9.2. Donatı Çeliği Modeli	42
3.10. Doğrusal Olmayan Spektral Yer Değiştirmenin Belirlenmesi	43

4. ATC40'A GÖRE PUSHOVER ANALİZ	47
4.1. Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri	47
4.1.1. Talep (Response) spektrumu belirlemek için adım adım işlemler	50
4.2. Kapasite spektrum yöntemi	51
4.2.1. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak sismik talebin hesaplanması	51
4.2.2. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi	52
4.2.3. Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi.....	53
4.2.4. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi	54
4.2.5. %5 Sönümlü elastik talep spektrum eğrisinin oluşturulması.....	56
4.2.6. Etkin sönüm tahmini ve %5 sönümlü doğrusal talep spektrumunun indirgenmesi.....	60
4.3. Performans noktasının bulunması.....	63
4.3.1. Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi	63
4.3.2. Tahmin edilen maksimum deplasmanda performans kontrolü.....	65
5. SAYISAL UYGULAMALAR.....	67
5.1. Seçilen Yapı Modellerinin Özellikleri	68
5.2. Yüklere	68
5.3. Yapısal Eleman Rijitlikleri	69
5.4. Bina Eleman Boyutları.....	75
5.4.1. Sap 2000 programında eleman özelliklerinin tanımlanması.....	76
5.4.2. Sap 2000 Programında Plastik Mafsal Tanımlanması	79
5.4.3. Sap 2000 Programında Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması.....	82
5.4.4. Yapı Burulma Düzensizlikleri	84
5.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi	85
5.5.1. Analizde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi	86
5.6. Statik İtme Analizi ile Zaman Tanım Alanında Analiz Verilerinin Karşılaştırılması	93
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	136
KAYNAKLAR	138
ÖZGEÇMİŞ	140

SİMGELER VE KISALTMALAR

- A_c : Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
- $a_{1(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
- b_w : Kirişin gövde genişliği
- d : Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
- $d_{1(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yer değiştirme
- $d_{1(p)}$: Birinci moda ait modal yer değiştirme istemi
- $(EI)_e$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
- $(EI)_o$: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
- f_{cm} : Mevcut beton dayanımı
- f_{ctm} : Mevcut betonun çekme dayanımı
- h : Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
- h_{ji} : i'inci katta j'inci kolon veya perdenin kat yüksekliği
- h_k : Kolon boyu
- ℓ_w : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
- M_{x1} : x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
- N_D : Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan eksenel kuvvet
- N_K : Mevcut malzeme dayanımları ile hesaplanan moment kapasitesi eksenel kuvveti
- R_a : Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
- r : Etki/kapasite oranı
- r_s : Etki/kapasite oranının sınır değeri
- S_{di1} : Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral yer değiştirme
- $u_{(i) \times N1}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme
- $u_{(p) \times N1}$: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yer değiştirme istemi
- V_e : Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
- V_j : Çelik sargı ile sağlanan ek kesme dayanımı
- V_r : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
- $V_{x1(i)}$: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci

moda (hakim moda) ait taban kesme kuvveti

M_A : Artık moment kapasitesi

M_D : Düşey yüklerden oluşan moment

M_E : Deprem yükleri altında oluşan moment

M_K : Mevcut malzeme dayanımlarına göre hesaplanan moment kapasitesi

N_A : Artık moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet

N_D : Düşey yüklerden oluşan eksenel kuvvet

N_E : Deprem yükleri altında oluşan eksenel kuvvet

N_K : Kesit moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet

r : Etki/kapasite oranı

r_s : Etki/kapasite oranının sınır değeri

Φ_{xN1} : Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

Γ_{x1} : x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı

η_{bi} : i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı

λ : Eşdeğer Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

θ_p : Plastik dönme istemi

ρ : Çekme donatısı oranı

ρ_b : Dengeli donatı oranı

ρ_s : Kesitte mevcut bulunan “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş enine donatının hacimsel oranı

ρ_{sm} : Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı

ρ' : Basınç donatısı oranı

w_f : Lifli polimer şeridin genişliği

KISALTMALAR

ABYYHY : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

ATC :Applied Technology Council

DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

FEMA : Federal Emergency Management Agency

KSY : Kapasite Spektrumu Yöntemi

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde 1990 sonrası meydana gelen depremler ve bu depremlerin ortaya çıkardığı olumsuz sonuçlar, deprem ve yapı mühendisliği açısından önemli değişiklikler yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu gerekliliklerden en önemlisi deprem etkileri altında yapı davranışının gerçeğe en yakın şekilde belirlenmesi amacıyla modern tasarım ve hesap yöntemlerinin geliştirilmesi ve bu yöntemlere ait standartların belirlenmesidir. Özellikle kuvvet esaslı hesaplamalar basit olmasına karşın can güvenliği performans seviyesi ötesindeki yapı davranışını belirlemede yetersiz kaldığından, deplasmanlara bağlı hesap yöntemlerine başvurma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Doğrusal analiz yöntemleri, malzemenin ve yapısal elemanın yük altında elastik ötesi davranışını yansıtamamakta, plastik davranışı yok saymaktadır. Malzeme veya yapısal eleman doğrusal elastik sınırı geçtiğinde davranışı değişmesine rağmen yapı yüklerini taşımaya ve enerji tüketmeye devam etmektedir. Elastik sınır ötesi kapasitenin yokmuş gibi düşünülmesi, yapının deprem etkileri altında gerçek davranışının tahmin edilememesi, oluşabilecek hasar durumlarının öngörülememesi ve malzeme özelliklerinin istenen verimle kullanılamaması anlamına gelmektedir. Fakat doğrusal elastik hesaplarda plastik davranışın etkisini göz önüne almak adına yönetmeliklerde belli başlı katsayılar belirlenmiştir. Yükler ve deprem etkileri bu katsayılar ile azaltılarak plastik davranışın etkisi göz önüne alınmaktadır.

Doğrusal yöntemlerde yapıda bulunan taşıyıcı elemanların akma sonrası dayanımları dikkate alınmaz ve yapısal elemanlarda analiz boyunca elastik oldukları varsayılır. Yapıların düşey yükler etkisinde hesabında doğrusal-elastik analiz yöntemler yeterlidir ve bu yöntemlerle yapıdaki kesit tesirleri ve deplasmanların bulunması oldukça kolaylaşmaktadır. Fakat deprem gibi büyük yatay yükler etkisinde binalar doğrusal olmayan davranış gösterdiğinden doğrusal-elastik yöntemler etkisiz kalmaktadır. Deprem etkileri altındaki yapı davranışının belirlenebilmesi için doğrusal olmayan davranışın bilinmesi gerekmektedir. Doğrusal olmayan yöntemlerde yapısal elemanlar için dayanım-şekil değiştirme bağıntıları ile kapasite değerleri elde edilerek göz önüne alınır.

Bir diğer önemli konu ise yapının kullanım hayatı boyunca defalarca deprem etkisine maruz kalması sonucunda yapı malzemesinin dolayısıyla yapısal elemanların

davranışındaki değişikliklerin belirsizlik göstermesidir. Doğrusal elastik yöntemler bu soruna cevap verememekte, bu açıdan da yapının deprem hesabında yetersiz kalmaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde malzemenin elastik olmayan özellikleri ve çatlamış kesit rijitlikleri dikkate alınarak gerçek davranışa yakın sonuçlar elde edilmektedir.

Elastik olmayan deplasman yöntemleri uzun süredir biliniyor olmasına rağmen, hesapların karmaşıklığı ve hesaplamaların uzun süreler gerektiriyor olması nedeniyle pratikte kuvvet esaslı basit hesap yöntemleri kullanılmıştır. Fakat son 50 yıl içerisinde bilgisayarların geliştirilmesiyle birlikte uzun süreler gerektiren elastik olmayan deplasman esaslı yöntemlerin kullanımı uygun hale gelmiştir. Bu amaçla geliştirilen özel hesap yazılımlarında (Sap2000, Etabs, Abaqus, Drain-2dx, Drain-3dx vb.) performansı belirlenmek istenen yapılar modellenerek elastik olmayan deplasman hesapları ile gerçek deprem davranışına yakın performans değerleri elde edilebilmektedir.

Bir çok ülkenin yapı yönetmeliklerinde olduğu gibi, ülkemizde de ilk olarak 1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikde (ABYYHY, 1998) betonarme bina tasarımında izlenecek ana ilke olarak belirlenen ve daha sonra 2007 yılında ABYYHY nin yerini alan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’de (DBYBHY, 2007) de yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımında göz önünde bulundurulması istenen “hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması” olarak açıklanan tasarım depremi kriteri dikkate alınmaktadır. Mevcut yapıların değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesinde ise genel olarak bu kural çerçevesinde hareket edilmekte, daha ayrıntılı bir yaklaşım izlenmektedir. Bu farklı yaklaşımın daha ayrıntılı olması nedeniyle revize edilmesi gündemde olan DBYBHY 2007 nin yeni versiyonunda yeni binaların tasarımında da esas alınması beklenmektedir. (Celep, 2007a)

Yapılarda oluşması istenmeyen düzensizlik durumlarının yapı davranışını olumsuz yönde etkilediği ve dolayısıyla yapı performansını düşürdüğü bilinen bir gerçektir. Özellikle burulma düzensizliği nedeniyle, deprem etkileri altında yapılarda sergilenmesi istenen plastik davranış özelliğinin sistemdeki plastik mafsallarda oluşma sırası değiştiği için olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Statik itme analizi uygulanacak yapıda burulma düzensizliğinin istenmemesinin bir diğer sebebi ise deprem etkileri altında yapıda oluşabilecek titreşim mod şekillerinin değişmesidir. Burulma düzensizliği içeren yapılarda mod şekillerinin kütleli katılım oranları değiştiğinden statik itme analizi sonuçları daha sağlıklı hale gelmektedir. Burulma düzensizliği değeri arttığında genellikle hakim mod kütle katılımı oranı azalmakta, diğer yüksek modların (2. ve 3. modlar) kütle katılım oranları artmaktadır.

1.1. Tezin Amacı, Kapsamı ve Önemi

Bu tez çalışmasında, burulma düzensizliği içeren betonarme perde-çerçeve sistem yapıların deprem etkileri altında doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Bilindiği gibi doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılabilmesi için standart ve yönetmeliklerle belirlenen bir takım kısıtlamalar getirilmiştir. DBYBHY 7. Bölümde tek modlu statik itme analizinin yapılabilmesi için binada burulma düzensizliği katsayısının 1.4 ü aşmaması ve göz önüne alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim moduna ait kütle katılımının bina kütleline oranının en az % 70 olması gerektiği vurgulanmıştır. Tez kapsamında yapılan parametrik çalışmada, standart ve yönetmeliklerde belirlenen burulma düzensizliği değerinin üzerine çıkılarak yapı performansında oluşacak farkların gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra perde-çerçeve sistemlerde perde duvarların yapı performansına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında 6 adedi X yönünde, diğer 6 adedi de Y yönünde farklı burulma düzensizlikleri içeren binaların doğrusal olmayan statik itme analizleri (pushover analiz) ve dinamik analiz yöntemi Zaman Tanım Alanında Analizleri yapılarak talep edilen kapasiteler ve kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Analizleri yapılan yapılar aynı boyut ve yapısal elemanlara sahip olup, burulma düzensizlikleri yapıya daha sonra eklenen 2 adet X yönünde, 2 adet de Y yönünde farklı yerlere yerleştirilen perde duvarlarla elde edilmiştir. Perdelerin yapılara deprem performansı açısından olumlu sonuçları olduğu

bilinen bir gerçektir. Fakat perde duvarların yapı içerisindeki yerleşimi önem arz etmektedir. Olumlu sonuçlarının yanı sıra, kimi zaman mimari kaygılarla kimi zaman da perde duvarın yapıya getireceği etkilerin tasarlayıcı tarafından iyi bilinmemesi nedeniyle perde duvarların yerleşimi yapıda burulma düzensizlikleri oluşturmakta, yapı performansına olumsuz etki edebilmektedir. Diğer yandan perde duvar yerlerinin değiştirilmesiyle birlikte yapı davranışı değişebilmekte, diğer yapısal elemanlar üzerindeki etkiler farklılaşmaktadır. Bu yönüyle sadece perde duvarların yerlerinin değiştirilmesiyle tamamen farklı binalar oluşturulduğu da göz önüne alınabilir.

Tez çalışmasında amaçlanan diğer bir konu ise statik itme analizinin burulma düzensizliği içeren yapılarda kullanımının sağlıklı sonuçlar verip vermeyeceğinin incelenmesidir. Yönetmeliklerde tek modlu statik itme analizinde sadece hakim moda ait kütle katılımı dikkate alındığından, daha doğru sonuçlar elde etmek açısından mod birleştirme yöntemi veya dinamik analiz yapılması uygun görülmüştür. DBYBHY 7. Bölümde yapılara statik itme analizinin uygulanabilmesi için hakim moda (1. titreşim modu) ait kütle katılımının % 70 den az olmaması istenmektedir. Yapılarda burulma düzensizliği arttığında hakim mod kütle katılımı ile diğer modların kütle katılımı arasında değişimler meydana gelmektedir. Burulma düzensizliğinin artması durumunda genellikle hakim mod kütle katılımı azalmakta, 2. ve 3. modlar daha fazla olmak üzere diğer modların kütle katılım oranları artmaktadır. (DBYBHY, 2007)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapı mühendisliğinde son yıllarda meydana gelen gelişmelerle birlikte performans tabanlı tasarıma olan ilgi artmıştır. Deprem mühendisliğinde “performansa dayalı tasarım” olarak isimlendirilen deplasmana veya şekil değiştirmeye bağlı tasarım şeklinin geçmişi 1960 lı yıllara kadar uzanmaktadır. Bu tasarım şekli üzerine yürütülen ilk çalışmalardan biri 1974 yılında Gülkan ve Sözen tarafından yapılmıştır. Gülkan ve Sözen, çok serbestlik dereceli bir yapının elastik olmayan davranışını, tek serbestlik dereceli yapı davranışı ile ilişkilendirerek Yerine Koyma Metodu’nu ortaya koymuşlardır (Gülkan ve Sözen, 1974).

Performans analizinde kullanılan bir diğer yöntem de Kapasite Spektrumu Yöntemidir (KSY). KSY Freeman ve çalışma arkadaşları tarafından mevcut yapılarda sismik dayanımın ve hasar durumunun kolayca bulunabilmesi için geliştirilen bir yöntemdir. 1975 yılında Freeman tarafından ortaya atılmıştır (Freeman, 1978).

Yapıya etki ettiği düşünülen bir deprem hareketi nedeniyle oluşan yer değiştirme talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesi birbiriyle bağlantılıdır. Deprem hareketine maruz kalan yapıda elastik olmayan deformasyonlar oluşur. Yapıda deprem yükleri altında elastik olmayan deformasyonlar meydana gelir, bu deformasyonlar yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla talebi azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen elastik olmayan deformasyonlara bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenmektedir. Yöntemde yapıdaki elastik olmayan deformasyonlara göre elastik talep spektrumu değiştirilerek ve ardışık bir işlem izlenerek performans noktası bulunmaktadır. Performans noktasının bulunmasından sonra, yapı bu noktaya kadar itilerek kendisinden istenen performansı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir (Korkmaz ve Uçar, 2005).

Elastik olmayan davranış gösteren binalarda yer değiştirme talebinin belirleyebilmek için ATC40 standardı önerilmiştir. ATC40 da kapasite spektrum yöntemine dayandırılan basitleştirilmiş bir yöntem olarak doğrusal olmayan statik itme analizi (Pushover analiz) açıklanmıştır. Pushover analizde önce taban kesme kuvveti ile tepe noktası yer değiştirmesi bulunur ve eğrisi çizilir. Kapasite eğrisi doğrusal olmayan

bir eğri özelliği taşır. Kapasite eğrisi 1. Moda ait kütle katılım katsayısı dikkate alınarak kapasite spektrumuna dönüştürülür (ATC40, 1996).

Yapılar için sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin adım adım artırılarak yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine “Pushover Analiz” ya da “Statik İtme Yöntemi” adı verilir. Statik itme yöntemi, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkan tanımaktadır. Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının deformasyon davranışları tanımlanır. Statik itme yönteminde yapı elemanlarının elastik sınırları dışındaki plastik kapasitesinden yararlanıldığı da hesaba katılmaktadır. (Dinçer ve Mert),

Türkiye’de doğrusal elastik hesap yöntemi, mevcut yapıların deprem performansının belirlenmesinde, doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemine kıyasla ülkemizde çok yaygın kullanılmaktadır. 2007 tarihinde yürürlüğe girmiş olan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’de “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi (Bölüm7)” eklenmiştir. Ülkemizin koşulları da düşünülerek bu konu hakkında yapılan araştırma çalışmaları devam etmektedir (DBYBHY, 2007).

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yaklaşımında, göz önüne alınan deprem etkisi için yapı elemanlarının hasar düzeyinin kontrol edilmesi öngörülmektedir. Böylece deprem etkileri altında, mevcut bir yapının performans düzeyi değerlendirilebilmektedir. Yapıların deprem performansını belirleme konusu üzerine çalışmalar yapılan ve Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan “Applied Technology Council” (ATC) tarafından yayınlanan ATC40 standardı, “Federal Emergency Management Agency” tarafından yayınlanan Fema 273, Fema356 ve Fema440 yayınları deprem performansını belirlemede kaynak teşkil eden önemli yayınlardır (ATC40, 1996), (FEMA273, 1997), (FEMA356, 2000), (FEMA440, 2005).

Korkmaz ve Düzgün, betonarme yapılarda deprem performanslarının bulunmasında kullanılan doğrusal olmayan statik itme analizinden elde edilen sonuçları, toplamda 50 adet deprem verisi kullanılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Farklı kat sayılarına sahip çerçeve

modeller üzerinde dikdörtgen, üçgen ve parabol şekilli deprem kuvvetleri uygulayarak statik itme analizlerinde kullanılan yük dağılımlarının değerlendirmesini yapmışlardır (Korkmaz ve Düzgün, 2006).

Ugun ve Celep tarafından yapılan bir çalışmada tasarımı yeni yapılan bir yapının deprem güvenliği DBYBHY'deki doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle değerlendirme kuralları çerçevesinde incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Ugun ve Celep).

Celep tarafından yapılan çalışmada betonarmede doğrusal olmayan davranış üzerine durulmuş ve doğrusal davranışla aralarındaki farklılıklar ortaya konmuştur. Doğrusal olmayan davranışın bağlı olduğu parametreler üzerine açıklamalar yapılmıştır (Celep, 2007b).

İnel vd. tarafından yapılan çalışmada, seçilen tip projeli mevcut betonarme okul binalarında doğrusal olmayan eleman davranışı dikkate alınarak performans değerlendirmesi yapılmıştır (İnel ve ark., 2008).

Kıran tarafından yapılan çalışmada, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan, düzgün bir aks sistemine sahip, 2 katlı betonarme bir yapıda doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan çözüm yöntemleri ile yapılarak ele alınıp performans analizleri kesit ve bina düzeyinde karşılaştırılmıştır. (Kıran, 2010)

Özmen tarafından yapılan çalışmada, araştırmanın amacını gerçekleştirmek amacı ile perdeleri değişik konumlarda olan 8 tipik yapı grubunun aşırı burulma düzensizliğinde deprem yükleri altındaki davranışları incelenerek sonuçlar irdelenmiştir (Özmen, 2004).

Arısoy ve Arel, birbirine oturma planı olarak benzer biri çerçevelerden diğeri perde çerçevelerden oluşan iki ayrı binanın hem doğrusal hem de doğrusal olmayan performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Geniş kolon modeli ile temsil edilen perdelerin sistemin yatay yük taşıma kapasitesine önemli katkısı olduğu görülmüştür. Artımsal itme analizleri sonucunda plastik mafsallı değerlerinin çerçeve sistemdeki kolonların alt uçlarında olduğu, kirişlerde ise neredeyse bütün sisteme yayıldığı

gözlemlenmiş, perde çerçeve sistemlerde ise perdeye yük aktaran kirişlerin önemli plastikleşmelere maruz kaldığının görüldüğüne dikkat çekilmiştir (Arisoy ve Arel, 2010).

Paulay ve Priestley dinamik yükler altındaki konsol perde duvarlarda meydana gelen kesme kuvvetleri değişimini incelemişlerdir. Dinamik yükler altındaki konsol perde duvarlarda, atalet kuvvetlerinin dağılımı araştırılarak, perde duvar tabanında plastik mafsall oluşumunu sağlayan moment değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Yürütülen çalışmalarda dinamik yükler etkisindeki perde duvarlarda davranış mod şeklinin yüksek mod şekillerinde de olabileceği, bu nedenle atalet kuvveti dağılımının değişeceği ve dolayısıyla dinamik kesme kuvvetlerinin artacağı belirlenmiştir (Paulay ve Priestley, 1993).

Kilar V. ve Fajfar P. aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artmakta olan yatay yükler etkisindeki yapıların doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi için bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemde yapıların düzlemsel makro elemanlardan oluştukları kabul edilmiştir. Her bir düzlemsel makro elemanı için doğrusallaştırılmış taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi dikkate alınmıştır. Buna göre adım adım işlem yapılarak tüm yapı sistemi için toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi hesaplanmıştır. Çalışmada matematiksel modelin oluşturulması, hesap adımları ve farklı makro elemanlar için taban kesme kuvveti - tepe noktası yer değiştirmesi ilişkileri açıklanmıştır. Yöntem yedi katlı simetrik ve simetrik olmayan betonarme çerçevelerde ve yirmi bir katlı simetrik olmayan betonarme bir yapı üzerinde uygulanmış ve burulmanın yapının davranışına olan etkisi üzerinde durulmuştur (Kilar ve Fajfar, 1997).

Fajfar ve Krawinkler çalışmalarında deplasman kontrollü analize değinmişlerdir. Bu yaklaşımın en uygun performans analizi metodu olduğunu savunmuşlardır (Fajfar ve Krawinkler, 2006).

Pinho ve arkadaşları tarafından bir rapor yayınlanmıştır. Raporda, yapıların deprem güvenliğini değerlendirme yöntemleri hakkında genel bilgiler verilerek performansa dayalı tasarım ve değerlendirme çalışmaları kronolojik olarak sunulmuştur. Yapıların performansını değerlendirmede doğrusal olmayan artımsal itme analizin yeri,

doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerine göre eksiklikleri, doğrusal artımsal ve dinamik analiz yöntemlerine göre üstünlükleri belirtilmiştir. Raporda, depremi temsil eden yatay kuvvetlerin yapının modal özelliklerine bağlı olarak her hesap adımında değiştirildiği “Uyarlanmış Artımsal İtme Analizi” yöntemi önerilmektedir. Düzlem çerçeve yapılar için geliştirilen yöntem öncelikle üç katlı bir yapı üzerinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Daha sonra yöntemin doğrulanması amacıyla düzenli, dayanım düzensizliği bulunan ve rijitlik düzensizliği bulunan yapılar üzerinde geleneksel artımsal itme analizleri, adaptive pushover analizleri (önerilen) ve doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır (Pinho ve ark., 2007).

Structural Engineering Association of California (SEAOC) tarafından hazırlanmış olan Vision2000 de performansa bağlı analizle ilgili önemli bir kaynaktır. International Building Code 2000’de de prosedürler detaylı olarak sunulmaktadır (Vision2000, 1995), (IBC, 2000).

Performans kavramı, ilk olarak mevcut yapıların deprem sonrası durumunu ele almak için hazırlanan raporlarda belirli bir yol haritası izlemek için oluşturulmuş dokümanlarda kullanılmıştır. Performansa dayalı tasarım ve mevcut binaların değerlendirilmesi-güçlendirilmesi konusunda ilk gelişme ise Applied Technology Council (ATC) tarafından sağlanmıştır. 1996 yılında mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi, güçlendirilmesi gereken yapıların güçlendirilmesi için hazırlanan Fema273 NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings adlı teknik rapor ile bu konuda ilk adım atılmıştır. Performans kavramının yeni yapıların tasarımında kullanımı ise 1995 yılında SEAOC (The Structural Engineers Association of California) tarafından performans kavramına dayalı tasarım göz önüne alınarak hazırlanan Vision2000 adlı provizyon ile olmuştur. Vision2000 de daha önce oluşturulan mevcut binalarda performans kavramına dayalı tasarım düşüncesi genişletilerek yeni binaların dizaynında kullanımı için Blue book adıyla düzenlenmiştir (Celep, 2015), (FEMA273, 1997), (Bluebook, 1999).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Yapısal Düzensizlik Durumları

Düzensizlik durumları bulunan binaların deprem etkileri altında davranışının daha karmaşık olduğu bilinmektedir. Bu yüzden düzensizlik durumları bulunduran binaların davranış şeklinin doğru belirlenmesi önem arz etmektedir. DBYBHY (2007)'ye göre binalarımızda bulunan yapısal düzensizlikler yapı davranışındaki olumsuzlukları nedeniyle tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken durumlar olarak belirtilmiş, düzensizlik meydana getiren durumlar planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar olarak iki ana başlıkta toplanarak koşulları belirlenmiştir.

3.1.1. Planda Düzensizlik Durumları

A1 – Burulma Düzensizliği :

Burulma düzensizliği DBYBHY 2007'de “Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu” olarak ifade edilmektedir. η_{bi} 1.2 den büyük bir değerse görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak yapılması istenmiştir (DBYBHY, 2007).

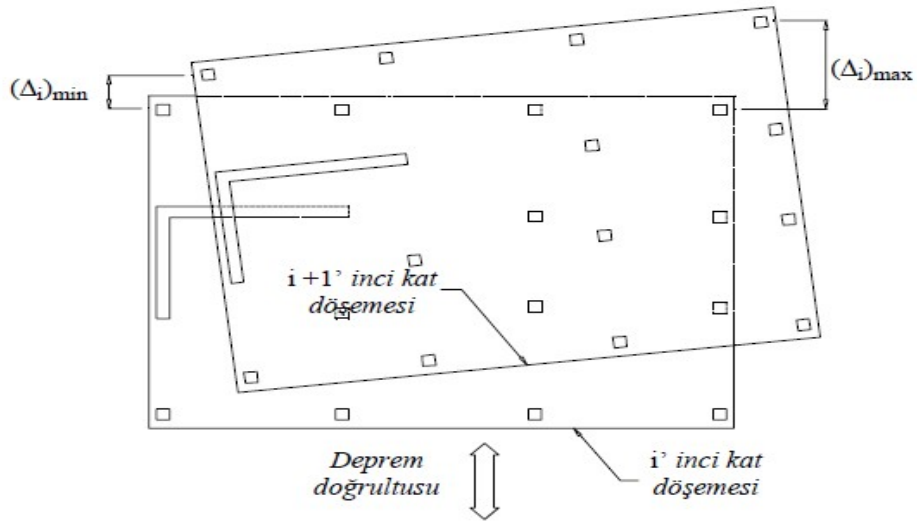
A2 – Döşeme Süreksizlikleri :

Döşeme süreksizlikleri DBYBHY 2007'de, “herhangi bir kattaki döşemede

I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu” olarak ifade edilmiştir.



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

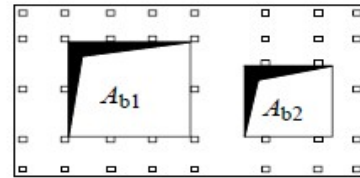
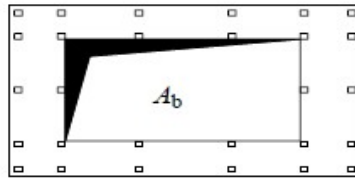
$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$$

Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$$

Burulma düzensizliği durumu : $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 3.1. Burulma düzensizliği durumu



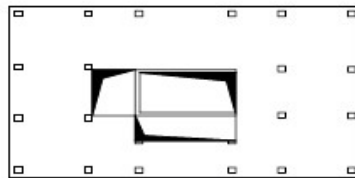
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu – I

$$A_b / A > 1/3$$

Ab : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu – II

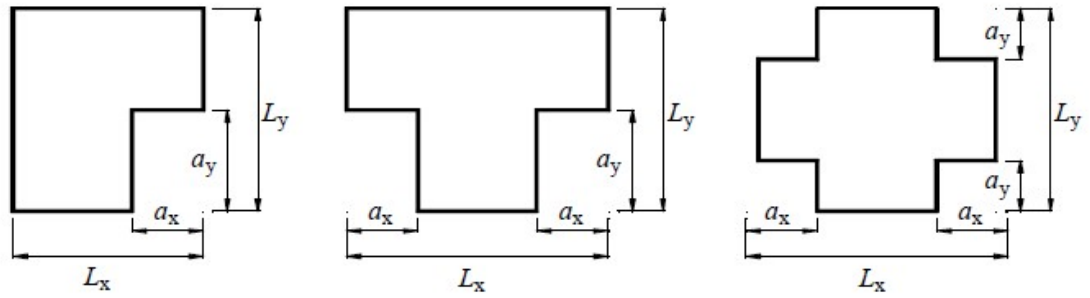


A2 türü düzensizlik durumu – II ve III

Şekil 3.2 A2 türü düzensizlik durumu

A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması :

Bu düzensizlik durumu DBYBHY 2007’de “bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu” olarak ifade edilir.



A3 türü düzensizlik durumu:
 $a_x > 0.2 L_x$ ve aynı zamanda $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 3.3 A3 türü düzensizli durumu

3.1.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :

Bu düzensizlik durumu DBYBHY 2007’de “betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı’nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı’na oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} ’nin 0.80’den küçük olması durumu” olarak ifade edilir.

$$[\eta_{ci} = (\Sigma Ae)_i / (\Sigma Ae)_{i+1} < 0.80] \quad (3.1)$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$\Sigma Ae = \Sigma Aw + \Sigma Ag + 0.15 \Sigma Ak \quad (3.2)$$

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :

Bu düzensizlik durumu DBYBHY 2007’de “birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i’inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} ’nin 2.0’den fazla olması durumu” olarak ifade edilir.

$$[\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (3.3)$$

veya

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0] \quad (3.4)$$

Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak DBYBHY’de anlatılan şekliyle eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılması istenmiştir.(DBYBHY, 2007)

B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :

Bu düzensizlik durumu DBYBHY 2007’de “taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu” olarak ifade edilmiştir. Bahsi geçen durumlar düşey elemanların süreksizliği düzensizliğini ortaya çıkarmaktadır.

3.1.3. Burulma Düzensizliğinin Yapı Davranışına Etkileri

Dünyada kullanılan Deprem yönetmelikleri içerisinde en çok göz önünde bulundurulmuş düzensizlik türü Burulma Düzensizliğidir. Burulma düzensizliği deprem etkileri altında yapı davranışını olumsuz etkileyen ve zayıf kat düzensizliği ile birlikte yapının deprem hesap yönteminin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken bir düzensizliktir. Ülkemiz Deprem Yönetmeliği DBYBHY (2007) deki ilgili bölümde burulma düzensizliği “Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için,

herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden η_{bi} ‘nin 1.2 ‘den büyük olması durumu “ olarak ifade edilmiştir. İlgili maddede bir kattaki

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{ort}} > 1.2 \quad (3.4)$$

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (3.5)$$

durumu var ise hesapların, $\pm$ %5 arttırılmış ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak yapılacağını bildirir. $\eta_{bi} > 1.2$ olması durumunda ek dışmerkezlilikler D_i katsayısıyla çarpılarak büyütülür. Yönetmelikte $\eta_{bi} > 2.0$ olduğu durumlarda ise hesaplarda Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi yerine Dinamik Hesap yöntemleri öngörülmektedir. (DBYBHY, 2007)

Binalarda burulma düzensizliğini arttıran durumlar üzerine yapılan çalışmalarda elde edilen bulgulara göre burulma düzensizliğini;

- Yapının plan geometrisi
- Perdelerin plandaki konumu
- Kat adedi
- Yerel zemin sınıfı
- Planda rijitlik dağılımı
- Kat sayıları azaldıkça
- Asimetrik konumdaki perdeler kütle merkezine olabildiğince yakınlaştıkça burulma düzensizliği katsayısının büyüdüğü yapılan çalışmalarda görülmüştür. (Özmen, 2001)

3.2. Performans Seviyeleri

Yapının deprem sonrası hasar durumu seçilen performans seviyesi ile belirlenir. Performans seviyesinin belirlenmesinde, yapıda yer hareketinden sonra oluşması beklenen fiziksel hasarlar, bu durumun oluşturduğu can güvenliği ve yapının deprem sonrası hizmet verebilmesi göz önüne alınır. Yapısal ve yapısal olmayan elemanların

performans seviyeleri ayrı ayrı tanımlanır. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu yapının hasar durumunu ifade edebilmek amacıyla yapı performans seviyelerini oluşturur.

Yapıların genel performans seviyesi yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonu şeklinde ifade edilir. Bir yapının yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri ayrı ayrı belirlenmektedir. FEMA356 ön standardında yapısal performans seviyeleri isim-rakam, yapısal olmayan performans seviyeleri ise isim-harf şeklinde simgelenmektedir. FEMA356 da tanımlanan yapı performans seviyeleri aşağıda verilmiştir. (FEMA356, 2000) Performansa dayalı deprem hesaplarında izlenen yol şöyle sıralanabilir:

- Sismik performans değerlerinin elde edilebilmesi için talep kriterlerinin belirlenmesi ve sismik performans seviyesinin belirlenmesi
- Yapının mevcut özelliklerinin belirlenmesi
- Beklenen performans değerinin ve sismik kapasitenin analizler yapılarak belirlenmesi
- Elde edilen değerlerin, istenilen değerlerle karşılaştırılarak eksiklerin tamamlanması

3.2.1. ATC40, FEMA273, FEMA356’da Performans Değerlendirilmesi

ATC40, FEMA273 ve FEMA356 standartları performans analizi üzerine elde edilen aynı gelişmeler üzerine oluşturulduğundan her üçünde de performans değerlendirme yöntemi olarak benzer yol izlenmiştir. Bu yöntem performans değerlendirilmesi açısından dünyada en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Türk Deprem Yönetmeliğinde olduğu gibi bu standartlarda da, depremler 50 yılda aşılma olasılıkları dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Her deprem şiddeti için ayrı ayrı sınır değerler belirlenmiştir. Üç deprem risk düzeyi konulmuştur. (ATC40, 1996), (FEMA273, 1997), (FEMA356, 2000)

- SE (Kullanım Depremi): 50 yılda aşılma olasılığı %50 (Servis depremi)
 - BSE-1 (Temel güvenlik depremi 1): 50 yılda aşılma olasılığı %10 (Tasarım depremi)
 - BSE-2 (Temel güvenlik depremi 2): 50 yılda aşılma olasılığı %2 (En büyük deprem)
- (ATC 40’da 50 yılda aşılma olasılığı %5 olarak verilmiştir.)

Çizelge 3.1 Tasarımda dikkate alınması gereken deprem seviyeleri

Aşılma Olasılığı	Esas alınan zaman aralığı	Ortalama Dönüş Periyodu
% 50	50 yıl	72 yıl
% 20	50 yıl	225 yıl
% 10	50 yıl	474 yıl
% 2	50 yıl	2475 yıl

Standartlardan en son çıkan ASCE41-06 'da dördüncü bir deprem risk düzeyi olarak 50 yılda aşılma olasılığı %20 olan bir deprem tanımlanmıştır. Bu standartlarda binaların deprem etkisindeki hasar durumlarını belirlemek için, yapıyı oluşturan elemanlar için performans seviyeleri ve bu eleman seviyelerinden yola çıkarak hesaplanan bina performans düzeyleri belirlenmiştir. Bu performans düzeyleri sayesinde de onarımı veya güçlendirmesi yapılacak binanın hangi performans düzeyini sağlaması gerekiyorsa, onarım veya güçlendirme hesaplarının ona göre yapılması belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanlar için dört tane performans seviyesi ve iki tane performans aralığı belirlenmiştir (ASCE41-06, 2007).

3.2.2. Yapısal Performans Seviyeleri

Hemen Kullanım Performans Seviyesi SP-1:

Depremden sonra çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği durumdur. Taşıyıcı sistemin bütün taşıyıcılık özelliklerinin, düşey ve yatay yük taşıma kapasitesinin hemen hemen hiç değişmediği performans seviyesidir. Yapısal hasarlardan dolayı can güvenliği riski yoktur. Yapı deprem sonrası hemen kullanılabilir.

Hasar Kontrolü SP-2:

Bu seviye net bir performans seviyesi olmayıp, depremden sonraki hasar durumunu belirten bir performans aralığıdır. SP-1 ve SP-3 düzeyleri arasındaki bir aralığa denk gelmektedir. Bu aralık can güvenliğinin korunmasının ek olarak hasarın belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelir. Yönetmeliklerde 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi

bu aralık içerisinde düşer. Tarihi binaların ve değerli mimari özellikleri olan yapıların korunması amacıyla bu performans aralığı kullanılabilir.

Can Güvenliği SP-3:

Taşıyıcı sistemde yapısal hasarların meydana geldiği fakat kısmi veya toptan göçme durumunun söz konusu olmadığı, deprem sonrası hasar durumu olarak tanımlanmaktadır. Bazı yapısal elemanlarda ve bileşenlerde, yer yer hasarların olması muhtemeldir, fakat bu hasarlar yapıda göçme riski yaratmamaktadır. Deprem sırasında yaralanmalar meydana gelebilir; yapısal hasarlar sonucu can güvenliğini tehlikeye sokan hasarların ortaya çıkma ihtimalinin düşük olması beklenmektedir. Yapının tümüyle onarımı mümkün olabilir; fakat ekonomik nedenlerle pratik olmayabilir. Yönetmelik esaslarına uygun olarak tasarlanan yeni yapıların, bu yapısal performans seviyesine ulaşmaması beklenir.

Sınırlı Güvenlik SP-4:

Bu yapısal performans seviyesi aralığı, Can Güvenliği Performans Seviyesi ile Göçmenin Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi arasında kalan hasar türü olarak tanımlanmaktadır. Özellikle güçlendirilen binalarda taşıyıcı eleman performansları can güvenliği performans seviyesini tam olarak karşılamıyorsa, fakat göçmenin önlenmesi performans seviyesinden de yüksekse bu performans aralığından söz edilebilir.

Göçmenin Önlenmesi SP-5:

Yapının göçme sınırına geldiği ağır hasar durumu demektir. Yapıda önemli hasarlar oluşmuş, bu hasarlar ile birlikte yapının yanal yük kapasitesinin rijitlik ve dayanımında azalmalar, büyük miktarlarda sürekli yanal ötelenmeler ve düşey yük taşıma kapasitesinde azalmalar meydana gelmiştir. Bununla birlikte yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam eder. Yapı stabilitesini korumakla birlikte, yapısal elemanlardaki dökülmelere bağlı olarak yapı içerisinde ve dışarısında önemli yaralanmalar meydana gelebilir. Meydana gelebilecek artçı sarsıntılarla birlikte bina toptan göçme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu nedenle binanın kullanılması güvenli değildir. Yapının teknik ve ekonomik nedenlerle onarımı uygun görünmemektedir. Bu performans seviyesinin yeni binaların tasarımında maksimum deprem etkisi altında sağlanabilmesi tavsiye edilir. Daha düşük bir deprem etkisinde bu düzeyin göz önüne alınması, meydana gelebilecek daha büyük bir deprem etkisi ile birlikte yapıda güç

tükenmesine neden olarak göçmeye sebep olacaktır. Dolayısıyla bu durum kabul edilebilir görülmemektedir.

Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye SP-6:

Bir performans seviyesi değildir, sadece yapısal olmayan sismik değerlendirme ve güçlendirmenin söz konusu olduğu durumlarda geçerlidir. Yapısal olmayan elemanların, bir başka deyişle bina taşıyıcı sistemi dışındaki elemanların sismik değerlendirilmesi veya güçlendirilmesi için bir seviye ifade etmektedir. Bina içerisindeki ekip ve ekipmanların ayrıca korunması gerektiği bu seviye ile tanımlanmaktadır. İçerisinde önemli araç gerecin bulunduğu yapıların korunması bu seviyeyi kullanmaya bir örnektir.

3.2.3. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Taşıyıcı olmayan elemanlar için de beş tane performans seviyesi belirlenmiştir.

Kullanıma Devam (NP-A):

Yapının veya ekipmanların kullanımı engellemeyecek kadar az hasarın meydana geldiği veya hasarın meydana gelmediği performans düzeyidir. Yapı içerisindeki bütün makine ve teçhizat çalışmaktadır.

Hemen Kullanım (NP-B):

Yapısal olmayan elemanlarda hasar söz konusu değildir, kullanımı engelleyen fakat kolayca giderilebilecek hasarlar beklenebilir.

Can Güvenliği (NP-C):

Deprem sonrası taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek hasar olmasına rağmen, binanın kısmen veya toptan göçmesi beklenmez. Yapıda göçme durumuna ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite mevcuttur. Bina içerisindeki insanların yaralanmaları olasıdır, can güvenliğini tehlikeye atacak yaralanmalar azdır. Yapısal olmayan sistem ve makineler onarım veya yenileme olmadan çalışmayabilir.

Azaltılmış Hasar (NP-D):

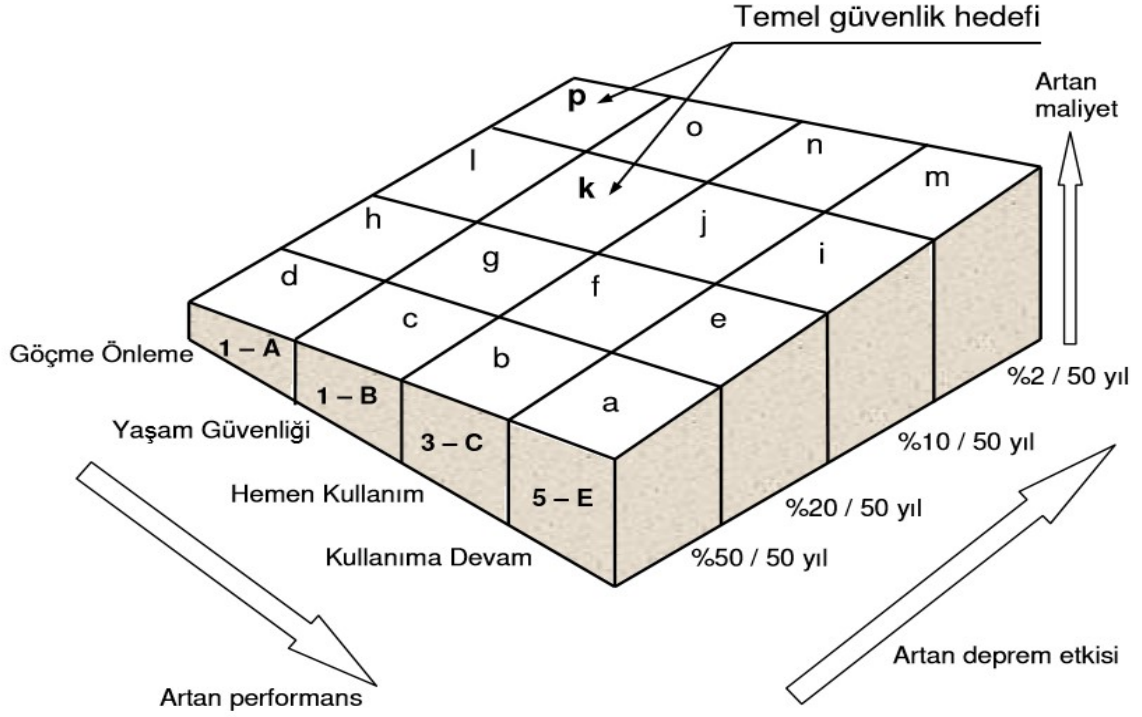
Taşıyıcı olmayan elemanlarda, ekipman veya tesisatta ciddi hasarlar meydana gelmesine rağmen, insanların gruplar halinde yaralanmalarına neden olabilecek herhangi bir hasarın meydana gelmediği seviyedir.

- Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E):

Bazı durumlarda, yapı davranışına ve kullanımına etki etmeyen yapı bileşenleri için performans kontrolü gerekmez. Yapıların toplam performans seviyeleri ise, yapının taşıyıcı elemanları ile taşıyıcı olmayan bileşenlerin performans seviyelerinin beraber değerlendirilmesiyle elde edilmektedir (ASCE41-06, 2007).

3.3. ASCE 41-06 ve FEMA 356 da Yapı Performans Seviyeleri

Taşıyıcı sistemin durumunu gösteren yapısal performans seviyesi ile taşıyıcı olmayan sistemin durumunu gösteren yapısal olmayan performans seviyelerinin birleştirilmesi sonucu, talep edilen sınırlı hasar durumunu ifade eden yapı performans seviyeleri oluşur. Mümkün olan tüm kombinasyonlar Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Kullanım açısından oldukça yaygın olan 1-A, 1-B, 3-C, 3-D, 5-E performans seviyeleri öncelikli olarak açıklanmıştır.



Şekil.3.4 Yapı performans seviyeleri

Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B):

Binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Bina yedek sistemlerinin devreye girmesi ile kullanıma devam edilir. Can güvenliğine ilişkin hiçbir problemin olmadığı ve onarımın gereksiz olduğu durumdur.

Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO):

Bu performans seviyesi önemli yapılar için öngörülen seviyedir. Bina hacimleri ve sistemleri kullanılabilir durumdadır. Binada bulunan eşyalarda hasar oluşabilir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS):

Taşıyıcı sistemde hasar mevcut olmasına rağmen, önemli miktarda bir kapasite vardır ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar kontrol altındadır. Bu hasardan dolayı oluşabilecek can güvenliği riski çok düşük bir olasılıktır. Deprem esnasında eşyalar hareket edebilir, deprem sonrası sızıntı ve yangın tehlikesi olabilir. Bu performans seviyesi günümüzdeki yönetmeliklerin yeni binalar için öngördüğü bir performans seviyesinden bir miktar daha düşük bir seviyeyi ifade eder. Yani yönetmelikler, binanın bu seviyedekinden daha fazla yer değiştirme yapmamasını ister.

Bina Performans Seviyesi 3-D:

Yapısal elemanlardaki can güvenliği seviyesi ile yapısal olmayan elemanlardaki azaltılmış hasar seviyesinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan 50 yıl %10 olasılıklı deprem tanımı alarak yapılan ve deprem kuvvetlerinin %75'ini karşılayabilecek şekilde gerçekleştirilen güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesini sağladığı kabul edilebilir.

Yapısal Stabilitate 5-E :

Binanın düşey yük taşıyan sistemi ancak ayakta kalabilmektedir. Artçı depremler için herhangi bir kapasite kalmamıştır. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarlardan dolayı can güvenliği tehlikeye girebilir. Taşıyıcı olmayan elemanların hasar durumları ve kat göreceli yer değiştirmeleri kontrol edilmez.

Çizelge 3.2 Yapı performans seviyeleri

Yapısal olmayan performans seviyeleri	Yapısal performans seviyeleri					
	SP-1 Hemen kullanım	SP-2 Kontrollü hasar aralığı	SP-3 Can güvenliği	SP-4 Sınırlı güvenlik aralığı	SP-5 Yapısal stabilite	SP-6 Hasarın göz önüne alınmadığı
NP-A Kullanıma devam	1-A Kullanıma devam	2-A	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez
NP-B Hemen kullanım	1-B Hemen kullanım	2-B	3-B	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez
NP-C Can güvenliği	1-C	2-C	3-C Can güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D Azaltılmış hasar	Tavsiye edilmez	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Hasarın göz önüne alınmadığı	Tavsiye edilmez	Tavsiye edilmez	3-E	4-E	5-E Yapısal stabilite	Uygulanmaz

Deprem Tehlike Seviyeleri

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem seviyeleri tanımlanmıştır. Bu deprem seviyeleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman döngüsü (dönüşüm periyodu) ile gösterilirler.

ATC40' da üç farklı deprem tehlike seviyesine, diğer bir ifadeyle üç ayrı sismik risk seviyesine ait tanımlar aşağıda verilmiştir.

- a) Servis (kullanım) Depremi (SE) : 50 yıl içinde aşılma olasılığı %50 olan ve geri dönüşüm periyodu 72 yıl olan depremdir. Bu deprem etkisi, tasarım depreminin yaklaşık 0.50 sidir.
- b) Tasarım Depremi (DE) : 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan ve geri dönüşüm periyodu 474 yıl olan depremdir. Bu deprem DBYBHY' nde (ve bir çok ülke yönetmeliklerinde) tasarımda esas alınan depremdir.
- c) Maksimum Deprem (ME) : 50 yıl içinde aşılma olasılığı %5 olan ve geri dönüşüm periyodu 975 yıl olan depremdir. Bu deprem etkisi, tasarım depreminin yaklaşık 1.25~1.50 katıdır (Özer, 2005).

• FEMA356'da dört farklı deprem tehlike seviyesine ait tanımlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir. (Çizelge 3.3.)

Çizelge 3.3 FEMA356'da deprem seviyeleri

Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
50 yıl içinde %50(SE)	72 yıl
50 yıl içinde %20	225 yıl
50 yıl içinde %10(DE) (BSE-1)	474 yıl
50 yıl içinde %2 (ME) (BSE-2)	2475 yıl

FEMA356'da tanımlanan deprem tehlike seviyelerinden, 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan deprem Temel Güvenlik Depremi - 1 (BSE-1) ve 50 yıl içinde aşılma olasılığı %2 olan deprem Temel Güvenlik Depremi - 2 (BSE-2) ile gösterilmiştir.

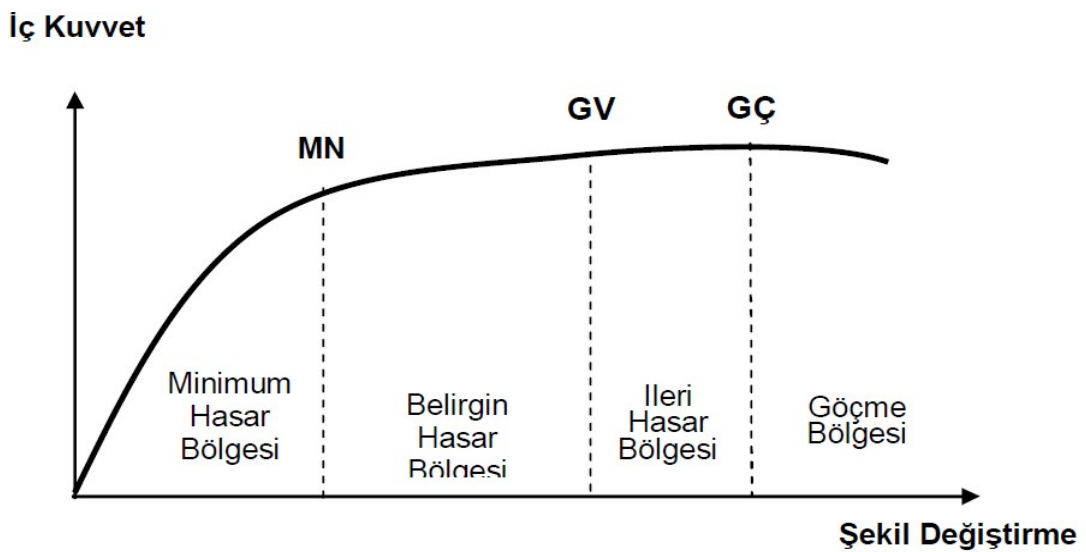
3.4. Deprem Yönetmeliğimizde Yapı Performans Analizi

3.4.1. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları Ve Hasar Bölgeleri

Deprem yönetmeliğimiz sünek yapı elemanlarında kesit düzeyinde üç sınır durum belirlemiştir. Bunlar; *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı (MN) kesitteki elastik ötesi davranışın başladığı yeri ifade eder. Güvenlik sınırı (GV) kesitin elastik ötesi bölgedeki dayanımı güvenli bir şekilde sağlayabileceği davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme noktasından önceki davranışının sınırını tanımlamaktadır. Yönetmelik Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırmanın geçerli olmadığını söylemektedir (DBYBHY, 2007).

Kesit Hasar Bölgeleri

Şekil... de görüldüğü gibi hasar bölgelerindeki kritik kesitlerinin hasarı başlangıç durumu ile MN sınırı arasındaki yapı elemanları *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN sınırı ile GV sınırı arasında kalan yapı elemanları *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan yapı elemanları *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ' yi aşan yapı elemanlarının da *Göçme Bölgesi*'nde yer aldığı belirtilmiştir. (DBYBHY, 2007)



Şekil 3.5 Kesit ve eleman hasar sınırları

DBYBHY 2007 doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan diye ayırdığı yöntemlerle hesaplanmış iç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin, yukarıdaki başlıkta ortaya konan kesit hasar sınırlarına karşı gelen sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucu, kesitlerin hangi hasar bölgelerine düştüğü tespit edilir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir. (DBYBHY, 2007)

3.4.2. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke Ve Kurallar

DBYBHY 2007'nin aynı başlık altındaki bölümüne göre deprem hesabı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirleme amacı taşır. Bu amaçla sonraki başlıklarda anlatılan *doğrusal elastik* veya *doğrusal elastik olmayan* hesap yöntemleri kullanılabilir. Doğal olarak, teorik olarak farklı esasları baz alan bu yöntemlerle yürütülen performans analizlerinin aynı sonuçları vermesi beklenmemelidir. Yönetmelik tarafından ortaya konan ve aşağıda bahsedilen ilke ve kuralların ise her iki yöntem için de geçerliliği vurgulanmıştır.

- Deprem etkileri tanımlanırken, DBYBHY 2007 2. bölümde verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılmalı, ancak tasarımda göz önüne alınan deprem seviyelerinin aşılma durumları için bu spektrumda DBYBHY 2007 7. bölümde belirlenen maddelere göre yapılacak değişiklikler göz önüne alınmalıdır. Deprem hesabında DBYBHY 2007 2. bölümde tanımlanan Bina Önem Katsayısı uygulanmayacaktır. ($I=1.0$)
- Performans analizleri, yapıdaki düşey yükler ve depremden dolayı ortaya çıkan yatay yüklerin yapıya beraber etkililmesiyle hesaplanmalıdır. Yapıdaki hareketli düşey yükler, yönetmelikte 7. Bölümdeki deprem yüklerinin bulunmasında kullanılan $w_i=g_i+nq_i$ kütle formülü ile binanın kullanım amacına göre değişen n katsayısı dikkate alınarak hesaplanmalıdır.
- Deprem etkisiyle oluşan yükler yapıya X ve Y doğrultusunda eksi, artı yönlerde ayrı ayrı uygulanmalıdır.
- Hesaplarda kullanılan zemin parametreleri DBYBHY 2007 6. Bölümüne göre belirlenmelidir.
- Hesapta kullanılan yapı modeli, deprem yükleri ile düşey yüklerin beraber etkileri altında yapısal elemanlarda oluşacak iç kuvvet, deplasman ve deformasyonların hesaplanabilmesi için yeterli doğrulukta modellenmelidir.

- Deprem hesabında dikkate alınması gereken kat ağırlıkları DBYBHY 2007 2. bölüme göre hesaplanmalı, katlara ait kütleler ve ağırlıklar ile uyumlu olarak tanımlanması gereklidir.
- Döşemelerin yatayda rijit diyafram gibi davrandığı kabul edilen binalarda, katların her birinde yatayda X ve Y olmak üzere iki yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme (burulma modları için) serbestlik dereceleri tanımlanacaktır. Katlardaki serbestlikler kat kütle merkezlerinde tanımlanmalı, ayrıca ek eksantrisite uygulanmamalıdır.
- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre DBYBHY 2007 ' 7. bölümde tanımlanan *bilgi düzeyi katsayıları* aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılmalıdır.
- Yönetmeliğin 3. bölümünde kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanmalıdır.
- Tek yönlü veya iki eksenli eğilme momentine maruz ve normal kuvvet etkisindeki betonarme kesitlere ait M-N diyagramlarının tanımlanmasına dair koşullar yönetmelikte aşağıdaki gibidir:

(a) “Mevcut yapılarda beton ve donatının 7. bölümde tanımlanan bilgi düzeylerine göre bulunan *mevcut dayanımları* dikkate alınmalıdır.

(b) Betonda maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

(c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusal hale getirilerek çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilir.

- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak dikkate alınabilir.
- Yönetmeliğe göre eğilme halindeki betonarme yapı elemanlarda çatlamış kesit *etkin eğilme rijitlikleri* $(EI)_e$ kullanılmalıdır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılmalıdır:

(a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

(b) Kolon ve perdelerde,

$$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.40 (EI)_o \quad (3.6)$$

$$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.80 (EI)_o \quad (3.7)$$

Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin göz önüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_0$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır.

- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir. Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.
- Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılacaktır. DBYBHY 2007 2. bölümde modelleme ile ilgili olarak verilen diğer esaslar geçerlidir.” denmektedir. (DBYBHY, 2007)

3.4.3. DBYBHY 2007'ye Göre Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle Performans Analizi

Yönetmeliğimizin 7. Bölümünde doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerden deprem etkisine maruz mevcut yapılar ve güçlendirme yapılması düşünülen yapıların performanslarının belirlenmesi için kullanılacak yöntemler olarak bahsedilir. Bu yöntemlerin amacı, belirli bir depremin etkileri altında yapıların sünek davranışla ilgili plastik şekil değiştirme talepleri ile gevrek davranışla ilgili iç kuvvet taleplerinin hesaplanması olarak belirlenmiştir. Deprem etkileri altında oluşan bu talepler, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılır. Bu şekilde kesit ve bina düzeyinde yapısal performans analizi yapılmış olur.

Yönetmeliğimizde yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi, deprem performansının belirlenmesinde ve güçlendirmede esas alınan *Artımsal İtme Analizi*'nde kullanılan yöntemlerdir. (DBYBHY, 2007)

3.5. DBYBHY 2007’de Artımsal İtme Analizi

3.5.1. Artımsal İtme Analizi ile Performans Değerlendirmesinde İzlenecek Yol

Yönetmelik hükümlerine göre *Artımsal İtme Analizi* izlenecek yol adım adım aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

(a) DBYBHY 2007 de 7.4 başlığında ortaya konan kurallara ilaveten, yapıların taşıyıcı elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için DBYBHY 2007 3. Bölümde tanımlanan kurallara uyulması istenmiştir.

(b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

(c) Artımsal itme analizinin DBYBHY 2007 de tanımlanan *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile yapıldığı durumlarda hakim titreşim moduna ait, koordinatları “*modal yer değiştirme-modal ivme*” olan “*modal kapasite diyagramı*” elde edilecektir. Bu diyagramın yanı sıra, DBYBHY 2007’de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde binalar için hedeflenen performans düzeylerine göre yapılan değişiklikler göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait *modal yer değiştirme istemi* belirlenecektir. Son aşamada, modal yer değiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

(d) Artımsal itme analizinin 7. Bölümde tanımlanan *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ile yapılması durumunda, göz önüne alınan bütün modlara ait “*modal kapasite diyagramları*” ile birlikte modal yer değiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.

(e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve 7. bölüme göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekil değiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit

düzeyinde çeşitli hasar sınırları için 7. bölümde tanımlanan ilgili birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında görelî kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekil değiştirme istemleri, 7. bölümde tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, önceki başlıklarda tanımlanan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleriyle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. (DBYBHY, 2007)

3.5.2. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile aşağıdaki kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsallı hipotezi*'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. *Plastik mafsallı boyu* olarak adlandırılan *plastik şekil değiştirme bölgesi*'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5 h$). $H_w / \ell_w \leq 2.0$ olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekil değiştirmeler göz önüne alınmayacaktır. Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden *plastik kesit*'in, teorik olarak önceki paragrafta tanımlanan plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir:

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

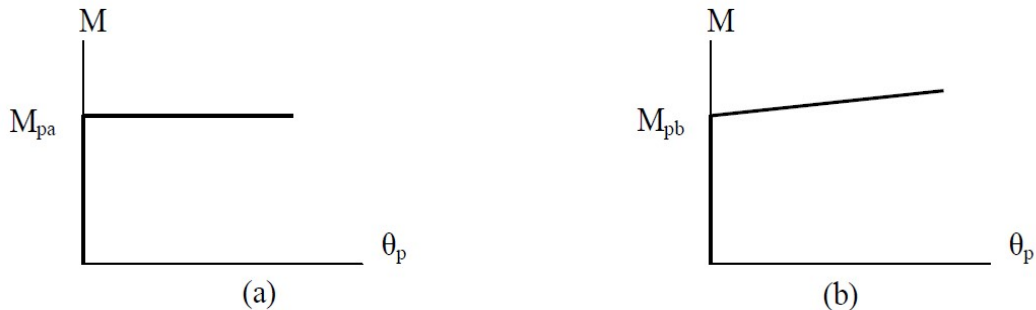
(b) Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden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

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeyleri olarak DBYBHY 2007'deki deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallara göre belirlenen etkileşim diyagramları kullanılacaktır. Akma yüzeyleri, DBYBHY 2007'de belirtildiği gibi çok doğrulu veya çok düzlemli biçimde doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda *akma çizgileri*, üç boyutlu davranış durumunda ise *akma düzlemleri* olarak modellenenabilir. (DBYBHY, 2007)

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki paragraflar dikkate alınması istenmiştir:

(a) İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 3.6.a) Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınacaktır.

(b) Pekleşme etkisinin göz önüne alınması durumunda (Şekil 3.6.b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekil değiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanacaktır.



Şekil 3.6 Plastik Kesitlerin Moment-Şekil Değiştirme Bağıntıları (DBYBHY, 2007)

3.5.3. DBYBHY 2007 ye Göre Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda 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*'nin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (*kümülatif*) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az % 70 olması zorunludur.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yüğü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde *sabit* kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınacaktır.

Önceki paragrafta tanımlanan sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları *“tepe yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti”* olan *itme eğrisi* elde edilecektir. Tepe yer değiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda her itme adımında hesaplanan yer değiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları *“modal yer*

değiştirme – modal ivme” olan *modal kapasite diyagramı* aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.8)$$

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

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

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , DBYBHY 2007 Bölüm 2’de hesaba katılacak mod sayısı ile ilgili verilen ve x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlanan L_{x1} ve M_1 ’den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.10)$$

Alternatif olarak, artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre *değişken* olarak göz önüne alınabilir.

Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler göz önüne alınarak hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri üçüncü paragrafta verildiği gibi tanımlanacaktır.

İtme analizi sonucunda dördüncü paragrafta göre elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, DBYBHY 2007 2.4’de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY 2007 3.8’e göre yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer deyişle *modal yer değiştirme istemi* hesaplanacaktır. Tanım olarak

modal yer değiştirme istemi, $d_{1(p)}$, *doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme* S_{di1} 'e eşittir:

$$d_1 = S_{di1} \quad (3.11)$$

Doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme S_{di1} 'in belirlenmesine ilişkin işlemler DBYBHY 2007 Bilgilendirme Eki 3C'de verilmiştir. Son itme adımı $i = p$ için Denk.(3.4)'e göre belirlenen modal yer değiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin Denk.(3.2)'de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yer değiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilecektir:

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.12)$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yer değiştirme, şekil değiştirme ve i kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yer değiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanacaktır.(DBYBHY, 2007)

3.5.4. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak *Mod Birleştirme Yöntemi*'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde “*adım adım doğrusal elastik*” davranışın esas alındığı bu tür bir itme analizi yöntemi, DBYBHY 2007 Bilgilendirme Eki 3D'de açıklanmıştır.

3.5.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde

meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır. Zaman tanım alanında yapılacak analizde kullanılacak *yapay*, *kaydedilmiş* veya *benzeştirilmiş* yer hareketleri DBYBHY 2007 2.9.1 ve 2.9.2'ye göre belirlenecek ve analizde DBYBHY 2007 2.9.3 göz önüne alınacaktır.

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 deprem yer hareketleri kullanılabilir.

İlgili Yönetmelik maddelerinde yer hareketi kayıtlarıyla ilgili aşağıdaki koşullara yer verilmiştir:

Yapay Deprem Yer Hareketleri

Yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir.

- (a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- (b) retilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_{0,g}$ 'den daha küçük olmayacaktır.
- (c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, 2.4'te tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri $S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)}$ denklemi ile hesaplanacaktır.

Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Yer Hareketleri

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde gözönüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması

durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar bir önceki başlıkta verilen tüm koşulları sağlayacaktır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

3.6. Birim Şekil değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi veya artımsal mod birleştirme yöntemine göre yapılan itme analizi veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine göre yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.13)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksinel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y *eşdeğer akma eğriliği*, Denk.(3.13) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t *toplam eğrilik istemi* elde edilecektir:

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.14)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, Denk.(3.14) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

Sargılı veya sargısız beton ve donatı çeliği modelleri için, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, DBYBHY 2007 Bilgilendirme Eki 3B'den yararlanılabilir.

3.6.1. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden önceki başlığa göre elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir. Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır:

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

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

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

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040$$

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

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060$$

Gözönüne alınan enine donatıların DBYBHY 2007 (3.2.8)'e göre “*özel deprem etriyeleri ve çirozları*” olarak düzenlenmiş olması zorunludur.(DBYBHY, 2007)

3.6.2. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Kesme Kuvveti Kapasiteleri

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri dışında tüm betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının gevrek kırılma kontrollerinde kullanılacak kesme kuvveti dayanımları TS-500'e göre belirlenecektir. Kesme kuvveti dayanımı hesabında, binalardan bilgi toplanması aşamasında belirlenen bilgi düzeylerine göre tanımlanan *mevcut dayanım* değerleri kullanılacaktır. Kesme kuvveti dayanımının kesme kuvveti isteminden daha küçük olduğu elemanlar, *gevrek olarak hasar gören elemanlar* olarak tanımlanacaktır.

Betonarme kolon-kiriş birleşimleri için V_e denkleminde hesaplanacak kesme kuvveti isteminin kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşimlerde verilen kesme dayanımını aşmaması gerekir. Ancak V_e denkleminde V_{kol} yerine doğrusal olmayan analizde ilgili kolon için hesaplanan kesme kuvveti istemi kullanılacak, kuşatılmış birleşim denkleminde veya kuşatılmamış birleşim denklemindeki dayanım hesabında ise f_{cd} yerine DBYBHY 2007 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen *mevcut beton*

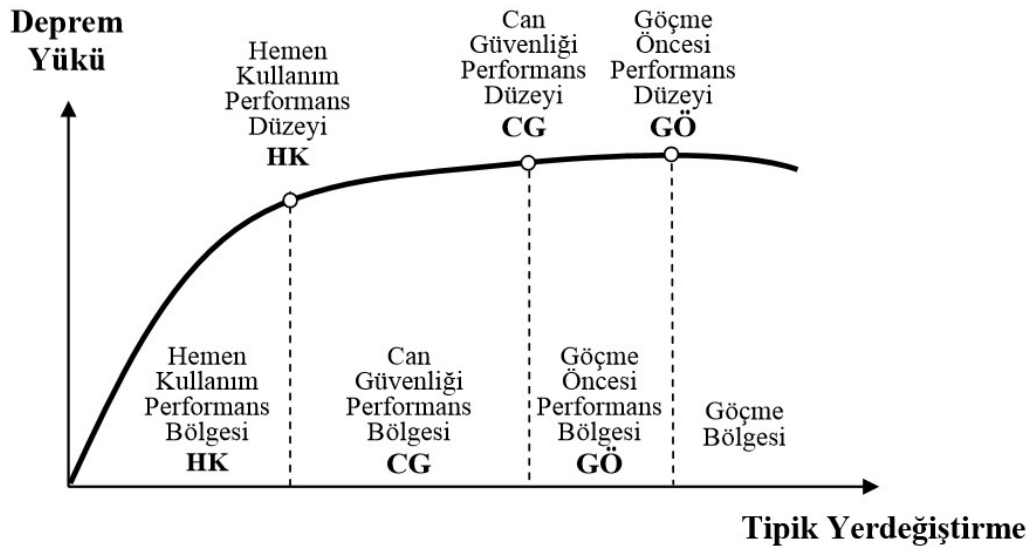
dayanımı esas alınacaktır. Kesme kuvveti isteminin kesme dayanımını aşması durumunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi *gevrek olarak hasar gören eleman* olarak tanımlanacaktır.

3.6. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

3.6.1. Betonarme Binaların Deprem Performansı

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan olarak tanımlanan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir.

Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir. Burada verilen kurallar betonarme ve prefabrike betonarme binalar için geçerlidir. Yığma binalarda uygulanacak kurallar DBYBHY 2007 7.7.6’da verilmiştir.



Şekil 3.7 DBYBHY 2007’de bina performans düzeyi sınırları

3.6.2. Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10’u *Belirgin Hasar Bölgesi*’ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü *Minimum Hasar Bölgesi*’ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak

hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların *Hemen Kullanım Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

3.6.3. Can Güvenliği Performans Düzeyi

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

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

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

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

3.6.4. Göçme Öncesi Performans Düzeyi

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

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

(b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin

ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).

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

3.6.5. Göçme Durumu

Bina *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'ni sağlayamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır. (DBYBHY, 2007)

3.7. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

Yeni yapılacak binalar için DBYBHY 2007 2.4'de tanımlanan ivme spektrumu, DBYBHY 2007 1.2.2'ye göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır:

(a) 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, DBYBHY 2007 2.4'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.

(b) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise DBYBHY 2007 2.4'de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.7'de verilmiştir. (DBYBHY, 2007)

Çizelge 3.4 Yapılar için DBYBHY 2007’de öngörülen minimum performans hedefleri

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	<i>50 yılda %50</i>	<i>50 yılda %10</i>	<i>50 yılda %2</i>
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kıışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	–
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	–	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	–	CG	–

HK: Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçme Öncesi

3.8. Plastik Mafsal Hipotezi

Plastik mafsal hipotezine göre malzeme özellikleri açısından doğrusal elastik davranış göstermeyen ve süneklik oranının yeterince büyük olduğu yapılarda, yapısal elemanlarda oluşan şekil değiştirmelerin yeri bilinen bazı kesitlerde yoğunlaştığı kabul edilir. Mafsallaşan yapı elemanında plastik mafsalın olduğu kesitler dışında diğer kesitlerin doğrusal elastik davrandığı kabul edilir. Bu hipotezdeki plastik mafsal kabulü sayesinde plastik davranış gösteren yapı sistemlerinde hesaplamalar oldukça kolay hale gelmiştir.(Celep, 2007b)

Plastik mafsal hipotezinde kabul edilen esaslar şunlardır;

- 1- Bir kesitte eğilme momenti artarak o kesite ait plastik moment değerine ulaştığında bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra kesitteki moment değeri artmayarak plastik moment değerinde sabit kalır. ($M = M_p$) Bu durumda kesit serbest dönme yapabilir ve plastik enerji tüketmeye devam eder. Bu durum dönme değerinin o kesitteki maksimum dönme kapasitesine ulaşmasına değin devam eder. ($\phi_p = \phi_u$) Kesitin dönme açısı maksimum dönme kapasitesine ulaşınca kesitte plastik enerji tüketimi sona erer ve sistemdeki diğer bir kesitte plastik mafsal gelişimi başlar. Bu durum yapıya etkileyen plastik enerji tamamen tüketilinceye kadar ya da yapıdaki tüm

kesitlerdeki plastik mafsallar kapasitelerine ulaşp yapı sistemi labil (kat mekanizması veya göçme) hale gelinceye kadar devam eder.

- 2- Plastik mafsalin oluştğı kesitler dışında yapısal elemanın diğer kesitleri doğrusal elastik çalışmaktadır.
- 3- Kesitte hem eğilme momenti hem de normal kuvvet bulunuyorsa plastik moment yerine M-N etkileşim diyagramından bulunan M_p' indirgenmiş plastik moment kullanılır. Bu durum genellikle kolonlarda ve $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.10$ olan kirişlerde geçerlidir. (Özer, 2005)

3.8.1. Plastik Mafsalin Boyu ve Yeri

Plastik eğriliklerin yapısal elemanlar üzerinde l_p uzunluğundaki bölgelerde yoğunlaştğı varsayılır. Bu bölgelere plastik mafsal adı verilir. Yapılan çalışmalardan edinilen bilgilere göre bu uzunluk farklı denklemlerle ifade edilebilir. TS 500 de plastik mafsal uzunluğu için 4 farklı denklem verilmiştir.

$$l_p = 0,25.d + 0,075.z \quad (3.15) \quad l_p = 0,50.d + 0,050.z \quad (3.16)$$

$$l_p \geq 0,5.d \quad (3.17) \quad l_p = 0,5.h \quad (3.18)$$

Denklemlerde ifade edilen “ l_p ” plastik mafsal boyu, “ d ” eleman kesitinin faydalı yüksekliği, “ z ” elemanın moment sıfır kesitinden uzaklığı, “ h ” ise eleman kesitinin toplam yüksekliğidir. Uygulamalarda pratik olduğundan 3.18 nolu denklemin kullanımı yaygındır. (TS500, 2000)

3.9. Beton ve Donatı Çeliği İçin Gerilme – Şekil Değıştirme Bağıntıları

3.9.1. Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

DBYBHY 2007’ye göre *Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler* ile performans değerlendirmesinde, başkaca bir modelin seçilmediğı durumlarda kullanılmak üzere,

sargılı ve sargısız beton için aşağıdaki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır.(Şekil 3.8)

(a) Sargılı betonda beton basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekil değiştirmesi ε_c 'nin fonksiyonu olarak aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir:

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (3.19)$$

Bu bağıntıdaki sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{c0} arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{c0} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{c0}}} - 2 \frac{f_e}{f_{c0}} - 1.254 \quad (3.20)$$

Buradaki f_e *etkili sargılama basıncı*, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir:

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.21)$$

Bu bağıntılarda f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacımsal oranlarını, k_e ise aşağıda tanımlanan *sargılama etkinlik katsayısı*'nı göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0 h_0}\right)^{-1} \quad (3.22)$$

Burada a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir. Denk.(3.19)'deki normalize edilmiş beton birim şekil değiştirmesi x ile r değişkenine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{c0} \cong 0.002 \quad (3.23)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c = 5000 \sqrt{f_{c0}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.24)$$

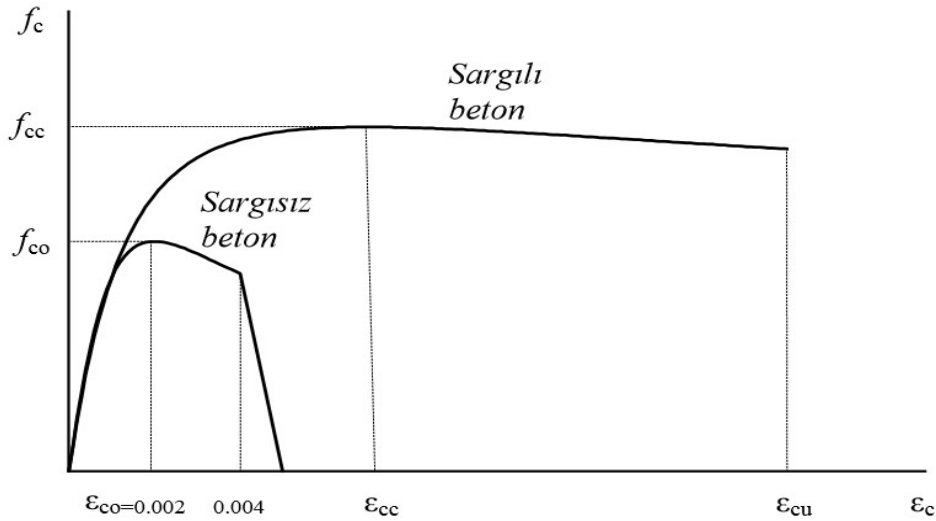
Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi ε_{cu} aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.25)$$

Burada ρ_s toplam enine donatının hacımsal oranını (dikdörtgen kesitlerde $\rho_s = \rho_x + \rho_y$), ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekil değiştirmesini göstermektedir.

(b) Sargılı beton için verilen Denk.(3.19), $\varepsilon_c = 0.004$ 'e kadar olan bölgede sargısız beton için de geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargılama basıncı $f_c = 0$ ve buna bağlı olarak Denk.(3.20)'den $\lambda_c = 1$ olacağından Denk.(3.23) ve Denk.(3.24)'da $f_{cc} = f_{co}$ ve $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$ alınacaktır. $\varepsilon_c = 0.005$ 'de $f_c = 0$ olarak tanımlanır.

$0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$ aralığında gerilme – şekil değiştirme ilişkisi doğrusaldır.



Şekil 3.8 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri (DBYBHY, 2007)

3.9.2. Donatı Çeliği Modeli

Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları tanımlanmıştır (Şekil 3.9):

$$f_s = E_s \varepsilon_s ; \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (3.26)$$

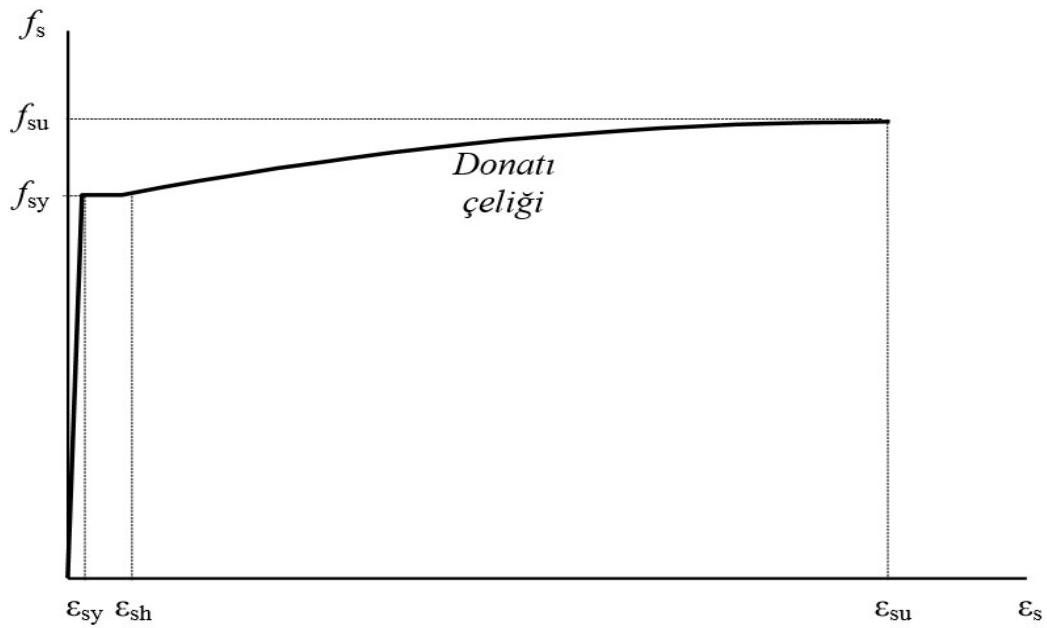
$$f_s = f_{sy} ; \quad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (3.27)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} ; \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (3.28)$$

Donatı çeliğinin elastiklik modülü $E_s = 2 \cdot 10^5$ MPa'dır. S220 ve S420 kalitesindeki donatı çeliklerine ait diğer bilgiler aşağıdaki tablodan alınabilir.

Çizelge 3.5 Donatı Sınıflarına Göre Birim Uzama ve Kuvvetler

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	0.1	550



Şekil 3.9 Donatı Çeliği Modeli (DBYBHY, 2007)

3.10. Doğrusal Olmayan Spektral Yer Değiştirmenin Belirlenmesi

3.10.1. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Spektral Yer Değiştirme

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme, d_{il} S , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen *doğrusal elastik (lineer) spektral yer değiştirme* S_{del} 'e bağlı olarak Denk.(3.29) ile elde edilir:

$$S_{dil} = C_{R1} S_{del} \quad (3.29)$$

Doğrusal elastik (lineer) spektral yer değıştirme S_{del} , itme analizinin ilk adımımda birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ael} ’den hesaplanır:

$$S_{del} = \frac{S_{ael}}{\left(\omega_1^{(1)}\right)^2} \quad (3.30)$$

3.10.2. Spektral Yer değıştirme Oranı

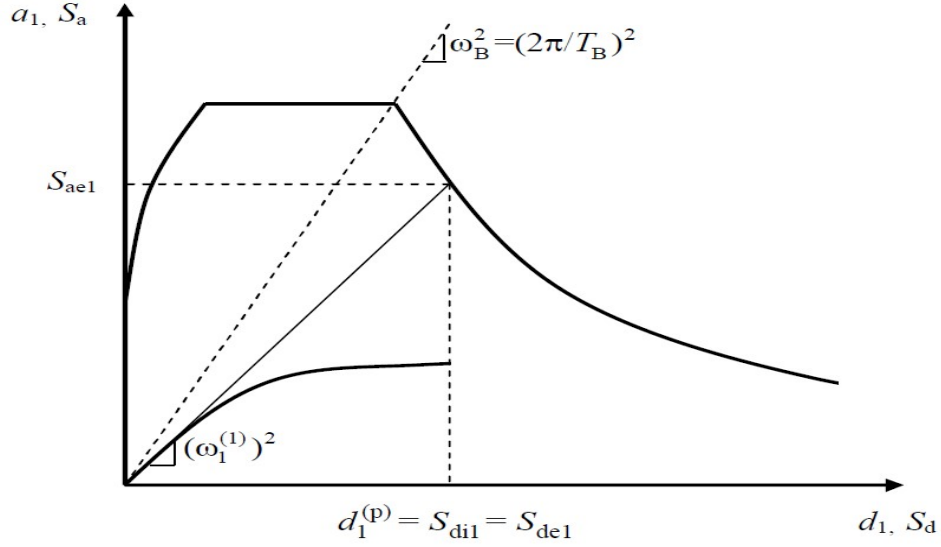
Denk.(3.29)’da yer alan *spektral yer değıştirme oranı* CR_1 , başlangıç periyodu (1) $T_1^{(1)}$ ’in değetine $(T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)})^2$ bağılı olarak aşağıdaki paragraflarda anlatılanlara göre belirlenir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, DBYBHY 2007 2.4’de tanımlanan ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B ’ye eşit veya daha uzun olması durumunda $(T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yer değıştirme S_{dil} , *eşit yer değıştirme kuralı* uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem’e ait lineer elastik spektral yer değıştirme del S*’e eşit alınacaktır. Buna göre Denk.(3.29)’deki *spektral yer değıştirme oranı*:

$$C_{R1} = 1 \quad (3.31)$$

Şekil 3.10’da ve onu izleyen Şekil 3.11.(a)’d birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları (d_1, a_1) olan *modal kapasite diyagramı* ile koordinatları “*spektral yer değıştirme* (S_d) – *spektral ivme* (S_a)” olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, DBYBHY 2007 2.4’de tanımlanan ivme spektrumundaki *karakteristik periyod* T_B ’den daha kısa olması durumunda $(T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) ise, Denk.(3.19)’daki *spektral yer değıştirme oranı* C_{R1} , ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:



Şekil 3.10 Modal kapasite diyagramı (DBYBHY, 2007)

(a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 3.11.(a)'da gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).

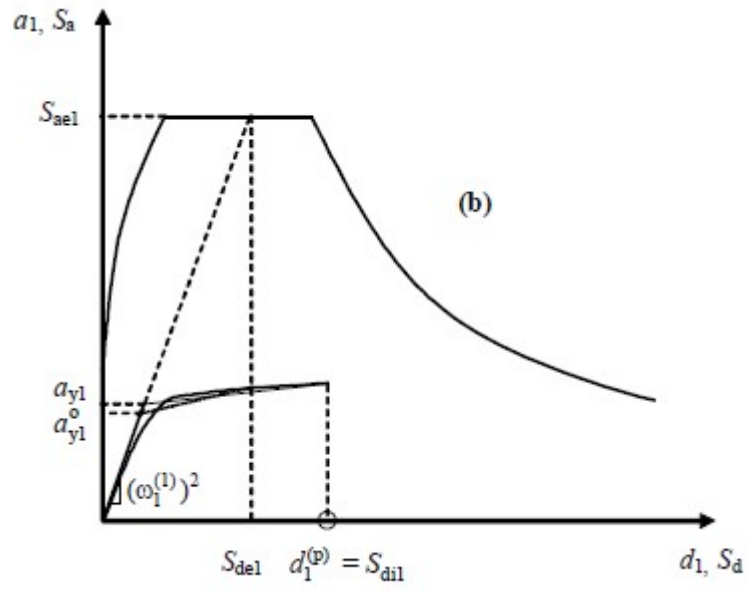
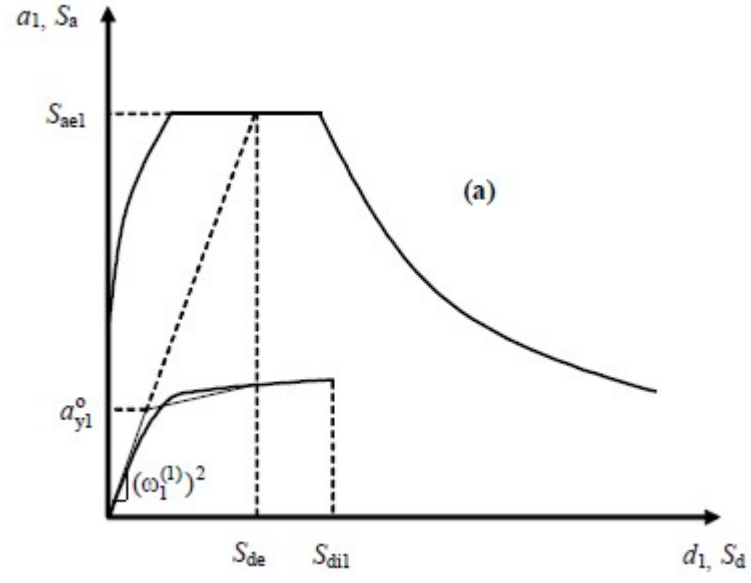
(b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, diğer deyişle Denk. (3.31) kullanılarak *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.11(a)'da görülen a_{y1}^0 esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.32)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait *dayanım azaltma katsayısı*'nı göstermektedir:

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.33)$$

(c) Denk.(3.32)'den bulunan C_{R1} kullanılarak Denk.(3.19) 'a göre hesaplanan S_{d11} esas alınarak *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları, Şekil 3.11.(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 3.11 Eşdeğer Akma Noktası Koordinatları(DBYBHY, 2007)

4. ATC40'A GÖRE PUSHOVER ANALİZ

Betonarme yapılar için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analiz olmak üzere iki kategoride bulunan analiz yöntemleri bulunmaktadır. Lineer analiz yöntemlerinde sadece malzemenin lineer sınırlar içindeki davranışı dikkate alınarak hesap yapılır. Malzemenin lineer olmayan davranışı yok sayıldığından malzemenin lineer olmayan özelliklerinden yararlanılamamaktadır. Lineer olmayan analiz yöntemlerinin çoğu lineer olmayan zaman tanım alanında analize dayanır. Zaman tanım alanında analiz karmaşık bir yöntem olduğundan kullanımı daha kolay olan basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanımı daha uygun ve yaygındır. Statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrisinin, indirgenmiş talep spektrumu eğrileri ile kesişim noktalarının bulunmasıyla uygulanan Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ile doğrusal olmayan analiz işlemleri daha kolay hale gelmektedir. Bu bölümde KSY ile lineer olmayan statik analiz işlemlerinin uygulanmasından bahsedilecektir.

Yapıların tasarım aşamasında kullanılan doğrusal yöntemler; yapıya etkiyen yükler altında, malzeme özelliklerine bağlı şekilde, yapının elastik kapasitesi ve ilk akma sınırının ne olacağı gibi konularda fikir vermesine rağmen, plastikleşme sonrası kuvvet dağılımı ve hasar mekanizmasını belirlemede yetersiz kalmaktadır. Lineer olmayan analiz yöntemleri ise, yapıların göçmesine kadar olan davranışının ve yıkılma durumundaki titreşim modlarının nasıl olacağını gerçeğe en yakın şekilde gösterebilmektedir. Tasarımda lineer olmayan yöntemlerin kullanımı, mühendise deprem esnasında yapının elastik sınır sonrası yapının davranışı hakkında fikir verdiği gibi, gerçeğe yakın çözümler sağlamaktadır. Lineer olmayan analiz yöntemlerinden biri olan KSY, yapının taban kesme kuvveti toplamıyla, tepe noktasında meydana gelen deplasman arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisiyle, deprem hareketini ifade eden spektrum eğrisinin karşılaştırılmasını mümkün kılmaktadır. KSY, olası bir depremde yapının mevcut durumdaki davranışı ile güçlendirildikten sonraki davranışı arasındaki farkları ortaya koyması açısından özellikle mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

4.1. Lineer Olmayan Analiz Yöntemleri

Performansa bağlı tasarımda talep ve kapasite önem arz eden kavramlardır. Talep yer hareketini temsil ederken, kapasite de yapının sismik talebe cevap verebilme

yeteneğini ifade eder. Performans olarak tabir edilen kavram ise kapasitenin talebe cevap verebilmesi derecesi olarak ifade edilir. Diğer bir ifadeyle performans kavramı, olası bir depremin ortaya çıkaracağı etkilere maruz yapının, bu etkileri bünyesinde sönümleyerek, oluşabilecek hasarları engelleyen bir kapasiteye sahip olması gerektiği şeklinde de ifade edilebilir. Yeni tasarlanacak bir yapının performans seviyesi, tasarım amaçları ile uyumlu olmalıdır. KSY gibi doğrusal olmayan bir analiz işlemini yapabilmemiz için kapasite, talep ve performansa ihtiyaç vardır.

Kapasite: Yapı kapasitesinin tümü, yapının taşıma gücüne ve yapı bileşenlerinin deformasyon kabiliyetlerine bağlıdır. Yani yapının genel kapasitesi onu oluşturan her bir yapısal elemanın kapasitesine bağlıdır. Yük-deformasyon eğrisinin elastik sınırına kadarki kısımda deformasyon yapabilme kapasitesi doğrusal analiz yöntemleriyle basit bir şekilde hesaplanabilir, ancak elastik sınırın ötesindeki deformasyon yapabilme kapasitesinin belirlenebilmesi için statik itme gibi doğrusal olmayan işlemlerden yararlanılması gerekir. Bu analiz yönteminde yapıyı oluşturan yapısal bileşenlerin akma sınırına erişmesine kadar yapıya her adımda biraz daha artan yatay yük uygulanır. Adım adım itme işlemine yapı labil hale gelene kadar veya önceden belirlenmiş olan deplasman sınır durumuna (deplasman kontrollü itme) ulaşıncaya kadar devam edilir. Yapıların doğrusal olmayan davranışları ve kapasite eğrilerine ait sonuçlar bu amaç için özel hazırlanmış yazılımlar sayesinde basit ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrisinde, lineer ötesi davranış için gerçeğe yakın sonuçlar bulunsa da yaklaşık bir yöntem olduğu ve bir takım kabullere dayanıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

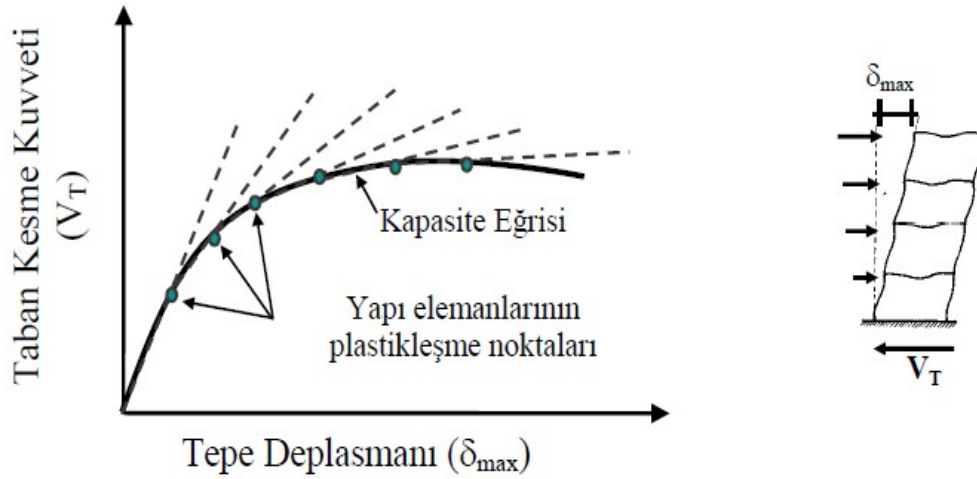
Talep (Karşılık Deplasmanları): Deprem sırasında, yer hareketi zamanın bir fonksiyonu olarak farklı yönlerden yapıya etkir. Bu yön değiştirmeler nedeniyle, etkisindeki yapıda karmaşık yatay deplasman durumları gözlenir. Yapı ve kuvvetli yer hareketi için talep deplasmanı yer hareketi sebebiyle binada meydana gelmesi öngörülen maksimum deplasmandır. Tüm yapı periyotlarına ait maksimum deplasmanlara bağlı olarak spektrum eğrisi elde edilir.

Performans: Kapasite eğrisi ve talep spektrumunun belirlenmesinden sonra çakıştıkları noktanın bulunmasıyla performans kontrolü yapılır. Performans kontrolü, yapıdaki yapısal bileşenlerin, yapı için belirlenen performans seviyesinin belirlediği sınırlar

ötesinde hasar görüp görmediklerini kontrol etmek için yapılır. (ATC40, 1996) ; (Temür, 2007)

4.2. Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi

Yapı kapasitesi statik itme (pushover) eğrisi ile ifade edilen bir parametredir. Bir yapının performans analizinde ilk adım, farklı yönlerde yapının kapasite eğrilerinin elde edilmesidir. Kapasite diyagramları, yapının sıfır deplasmanlı başlangıç durumundan statik açıdan kararsız (labil) duruma geçinceye kadar, her adımda yapıya artırılarak etkiyen yatay yükler altında, yapı tabanındaki kesme kuvvetlerine karşı tepe yer değiştirme değerlerinin bir diyagram üzerinde kesiştirilmesiyle oluşturulmuş diyagramlardır.



Şekil 4.11 Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki (Arslan ve ark., 2008)

Bu eğrilere pushover eğrisi de denilmektedir. Bu eğrileri elde etmek için yürütülen analize ise Pushover analizi adı verilmektedir. SAP2000, ETABS, DRAIN-2DX gibi yapısal analiz programları statik-itme analizlerini doğrudan yapabilen programlardan bir kaçıdır. Pushover eğrisini oluşturmak için bu programlar kullanılabileceği gibi, aşağıdaki adımlar izlenerek de kapasite eğrisi elde edilebilir. Pushover eğrisi elde edilirken, genellikle yapının hakim (birinci) titreşim modu esas alınır. Yatay yüklemeler sonucunda yapı tabanındaki kesme kuvveti ile tepe noktasında oluşan yatay deplasman dikkate alınır. Bu durum yüksek modların yapıya etkileri ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu için, doğal titreşim periyodu bir saniye civarında veya

daha az olan yapılar için geçerlidir. Serbestlik derecesi yüksek çok katlı yapılarda, birinci moda ait periyot bir saniyeden fazla olduğundan yüksek modların etkileri ihmal edilemeyecek kadar büyüktür, bu durumda yüksek modların etkisi de göz önüne alınmalıdır. (ATC40, 1996); (Temür, 2007)

Kapasite eğrisi elde edilirken aşağıdaki işlem sırası izlenir:

- 1) Her kata ait yatay kesme kuvvetleri, birinci mod şekline uygun olarak kat kütlelerinin bulunduğu kabul edilen kütle merkezlerine uygulanır. Yapıda burulma düzensizliği varsa eksantrisite mesafeleri de dikkate alınmalıdır.
- 2) Yatay ve düşey yüklerin gerekli kombinasyonlarına göre elemanlardaki kesit tesirleri hesaplanır.
- 3) Bazı eleman veya eleman grupları için yatay yük, eleman dayanımının %10'u kadar ilave bir kuvvet olarak ayarlanır. Fakat çoğu yapılar için birinci ve ikinci adımlar yeterlidir.
- 4) İtme iterasyonlarında meydana gelen taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları adım adım kaydedilir. Diğer yandan yapısal elemanlar üzerinde oluşan gerilme kuvvetleri ve dönme miktarlarının da kaydedilmesi gereklidir.
- 5) Mafsallarda oluşan elemanlar için, rijitlik sıfır alınarak model tekrar kontrol edilir.
- 6) Başka bir elemanda mafsallaşma oluşuncaya kadar yatay yük artırılır.
- 7) Taban kesme kuvvetine karşılık tepe deplasmanı çok fazla artsa da yatay yük artırılmaya devam edilir.
- 8) Taban kesme kuvveti – tepe deplasmanı değerleri birbirinden çok fazla farklılık gösteren düzensiz bir yükleme adımına gelindiğinde yapı elemanları göçme durumuna ulaşmış demektir. Böyle bir durumdaki yapı düşey yük taşıma kapasitesini de kaybetmektedir. Bu nokta, statik-itme analizinin son noktasıdır. (ATC40, 1996); (Temür, 2007)

4.1.1. Talep (Response) spektrumu belirlemek için adım adım işlemler

Talep spektrumu yapının deprem süresince yatay yer hareketine verdiği maksimum karşılığı temsil etmektedir. Bir yapının tasarımı aşamasında performans hedefinin tespit edilmesi kadar, belirli bir deprem için olası maksimum deplasmanın belirlenmesi de önemlidir. KSY de depremin talep deplasmanı, kapasite spektrumu üzerinde “Performans Noktası” olarak adlandırılan bir noktaya karşılık gelir.

Performans noktası; yapının sismik kapasitesini, diğer bir ifadeyle belirli bir deprem etkisi altında kalan yapının bu etkiye karşı göstereceği direnci ifade eder. (ATC40, 1996); (Temür, 2007)

4.2. Kapasite spektrum yöntemi

Bir deprem hareketinden dolayı yapıya etkiyen yüklerin etkisinde oluşan yer değiştirme talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesi birbirine bağlı parametrelerdir. Kapasite Spektrum Yöntemi bu esasa dayanmaktadır. Deprem etkilerinde yapılarda elastik olmayan deformasyonlar oluşur. Oluşan bu deformasyonlar yapının sönümünü artırırken deprem talebini azaltmaktadır. Kapasite Spektrumu Yöntemi (KSY) ile yapıdaki elastik olmayan deformasyonlar dikkate alınarak elastik talep spektrumu indirgenmekte ve ard arda bir yol izlenerek yapının performans noktası belirlenmektedir. Performans noktasının belirlenmesinden sonra, yapı performans noktasına kadar statik itilerek performans hedefini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.

4.2.1. Kapasite spektrum yöntemi ile sismik talebin hesaplanması

Performans noktasının belirlenmesi için bir çok yöntem mevcuttur. Bunlardan en yaygın kullanılanı KSY anlatılmıştır. Performans noktası aşağıdaki iki koşulu sağlamalıdır: 1) Performans noktası, yapının kapasite eğrisi üzerinde bulunmalıdır. 2) Performans noktası, %5 sönümlü elastik talep spektrumundan indirgenerek elde edilen elastik olmayan talep spektrumunun üzerinde yer almalıdır. Yani performans noktası; yukarıdaki iki şartı aynı anda sağlamalıdır, özet olarak kapasite eğrisi ile elastik olmayan talep spektrumunun kesiştiği noktaya performans noktası denmektedir. (ATC40, 1996); (Temür, 2007)

4.2.2. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

KSY nin kullanılabilmesi için, taban kesme kuvveti ve çatı (tepe) deplasmanı olarak elde edilen kapasite eğrisi Spektral İvme-Spektral Deplasman (ADRS) şekline dönüştürülmelidir. Bu dönüşümden sonra elde edilen eğriye “Kapasite Spektrum Eğrisi” denir. Bu eğri ADRS (Acceleration Displacement Response Spectra) formatındadır. (ATC40, 1996); (Temür, 2007) Bu dönüşümün yapılabilmesi için gereken işlemler ve denklemler aşağıda verilmiştir:

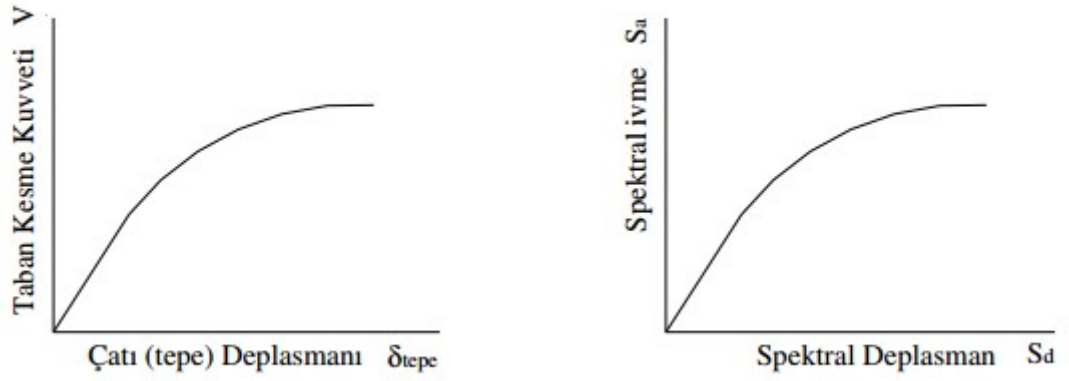
$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (4.1)$$

$$a_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})^2}{g} \right]} \quad (4.2)$$

$$S_{ai} = \frac{V_i / W}{a_i} \quad (4.3)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \phi_{\text{çatı}}} \quad (4.4)$$

Kapasite eğrisinin ADRS kapasite spektrumu şekline dönüştürmek için takip edilmesi gereken hesaplar şu şekilde sıralanabilir: ilk adımda denklem (4.1) ve (4.2) kullanılarak hakim titreşim modu için α_1 modal kütle katsayısı bulunur. Daha sonra kapasite eğrisi üzerindeki noktalar Denklem (4.3) ve (4.4) vasıtasıyla S_a (Spektral İvme) ve S_d 'lere (Spektral Yer Değiştirme) dönüştürülür.



Şekil 4.1 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi

4.2.3. Talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi

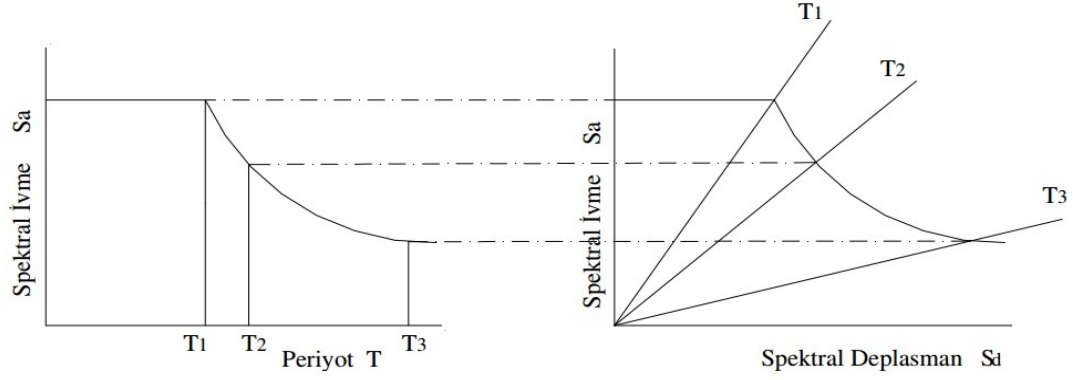
Standart formatında S_a ve T apsis ve ordinatı olan talep spektrumunu ivme-deplasman tepki spektrumuna (ADRS) dönüştürebilmek için eğri üzerinde mevcut noktaların spektral deplasman değerleri belirlenmelidir. Bu işlem aşağıdaki denklemlerle yapılmaktadır:

$$S_{di} = \left(\frac{T_i^2}{4\pi^2}\right) \cdot S_{ai} \cdot g \quad (4.5)$$

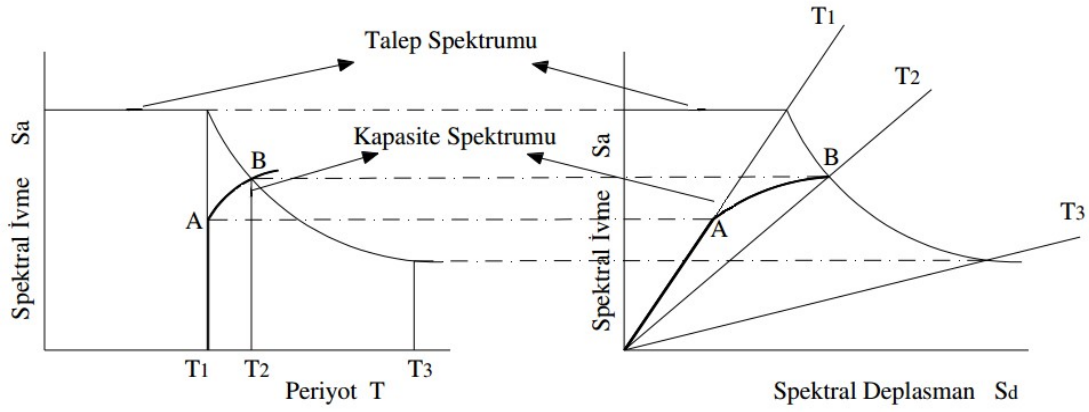
Standart talep tepki spektrumu, sabit spektral bir ivme oranını ve sabit bir ikincil spektral hız oranlarını içermektedir. T_i periyodundaki spektral ivme ve yer değiştirmeler aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilmektedir. (ATC40, 1996); (Temür, 2007)

$$S_{ai} \cdot g = \frac{2\pi}{T_i} \cdot S_v \quad (4.6)$$

$$S_{di} = \frac{T_i}{2\pi} \cdot S_v \quad (4.7)$$



Şekil 4.2 Talep Spektrumunun ADRS formatına Dönüşümü

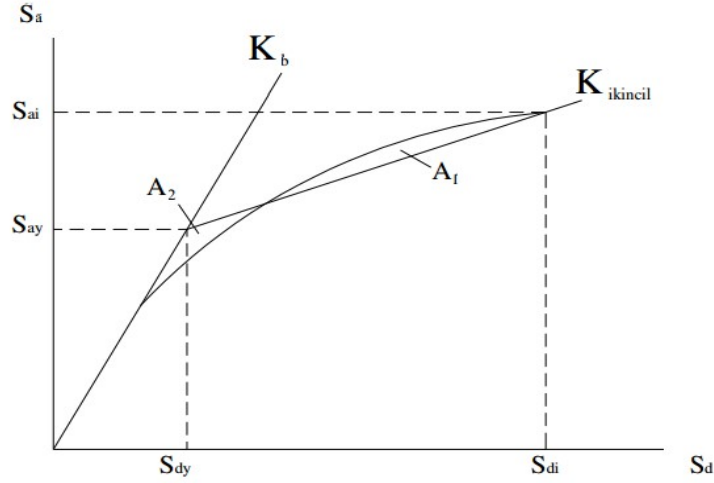


Şekil 4.3 Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi (ATC40, 1996); (Temür, 2007)

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi kapasite spektrumu, T_1 periyodunda A noktasına kadar sabitken B noktasında periyot T_2 ’dir. Bu durum, yapı elastik olmayan davranış göstermeye başladığında periyodun arttığını belirtmektedir. Periyot artışı hem normal spektrumda hem de ADRS formatlı spektrumda görülebilir.

4.2.4. Kapasite spektrumunun kırıklı hale getirilmesi

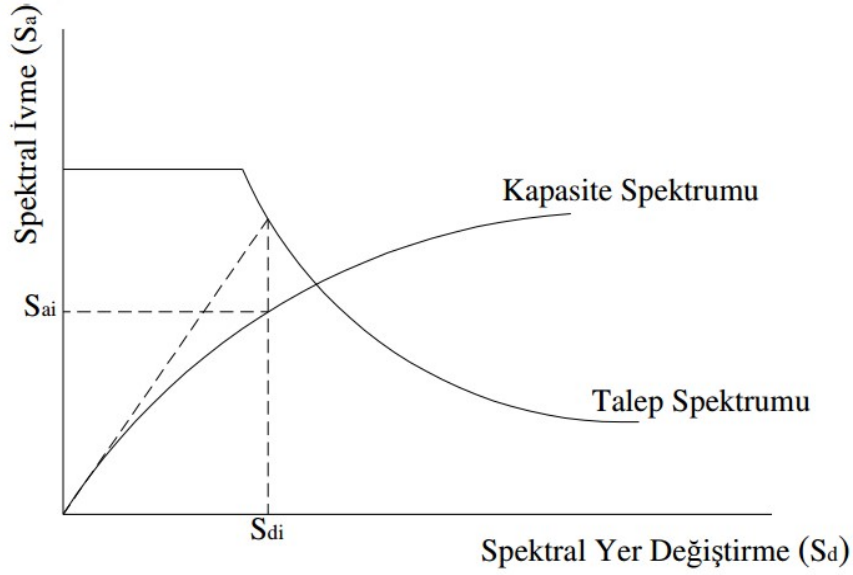
KSY de uygulanması gereken başka bir adım ise kapasite spektrumunun iki doğru parçası ile kırıklı forma dönüşümüdür. Spektral talebin uygun şekilde azaltılabilmesi için kırıklı hale getirme işlemi yapılmalıdır. Diğer bir neden ise efektif sönüm değerinin bu şekilde belirlenebilmesidir. Deprem yüklerine maruz yapıda elastik olmayan deformasyonlar sebebiyle rijitlik kaybı oluşmaktadır ve bu nedenle yapı periyodu ve sönümü artmaktadır.



Şekil 4.4 Kapasite Spektrumunun Kırıklı Gösterimi

İndirgenmiş talep spektrumunun tahmin edilebilmesi için S_{ai} ve S_{di} değerlerinin biliniyor olması gerekmektedir. Koordinatları S_{ai} ve S_{di} olarak belirlenen nokta başlangıç performans noktasıdır. Bu noktanın belirlenmesi amacıyla, ilk olarak yapının bulunduğu deprem bölgesine bağlı, sönümü 0.05 olan talep spektrumu ve kapasite spektrumu Şekil 4.5'deki gibi üst üste çizilir. Kapasite eğrisinin doğrusal kısmı uzatılarak 0.05 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite eğrisi üzerindeki düşey izdüşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları olan S_{ai} ve S_{di} bulunur. Bu nokta belirlenirken, yapının bu noktada hem elastik, hem de plastik davranışında aynı deplasmanı yapacağı kabulü yapılmaktadır.

S_{ai} ve S_{di} koordinatları bulunduktan sonra, Şekil 4.4'de görüleceği gibi bulunan başlangıç performans noktasından geriye doğru kapasite spektrumunun üzerinde kalan A_1 alanı ile bu eğrinin altında kalan A_2 alanı eşit olacak şekilde bir doğru çizilir. A_1 ve A_2 alanlarının eşit olmasının sebebi, gerçek kapasite eğrisi ile elde edilecek kırıklı halinin aynı oranda enerji sönümlemesini sağlamaktır. Yani, temsili kapasite eğrisinin daha gerçekçi olması için doğru çizilirken, A_1 ve A_2 alanları mümkün olduğunca eşitlenmeye çalışılmalıdır. Böylece kapasite spektrumunun kırıklı temsili elde edilmiş olur. Buradaki S_{ay} ve S_{dy} doğrusal elastik davranış (akma) sınırındaki, S_{ai} ve S_{di} ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral ivme ve yer değiştirme değerleridir. (ATC40, 1996) ; (Temür, 2007)



Şekil 4.5 Talep spektrumu ve kapasite spektrumunun birlikte çizilişi

4.2.5. %5 Sönümlü elastik talep spektrum eğrisinin oluşturulması

Deprem etkisinin tanımlanması için C_A ve C_V gibi sismik katsayılarla bağlı olarak %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi oluşturulur. Bu sismik katsayılarından C_A katsayısı, zeminin etkili maksimum ivme katsayısını temsil eder. C_V katsayısı ise, periyodu 1 sn olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini verir. C_A ve C_V değerleri bulunması sırasında oluşturulan tablolar, sert zeminler için oluşturulmuştur. Ancak yumuşak zeminlere göre hesap yapıldığı takdirde, deprem etkisi büyük olan zeminlerde C_A değeri 1.1, küçük etki olan zeminlerde 1.0 katsayısıyla çarpılır. C_V değeri ise etkinin büyük olduğu zeminlerde 1.5, etkinin küçük olduğu zeminlerde 3.0 ile çarpılabilir. C_A ve C_V katsayıları; yapının bulunduğu deprem bölgesine, deprem kaynağına olan mesafeye, hesaplamalarda kullanılacak olan deprem türüne ve yapının bulunduğu zeminin sınıfına bağlı olarak hesaplanır. Yapının bulunduğu deprem bölgesine göre deprem bölge katsayısı Z Çizelge 4.1 den alınır. (ATC40, 1996)

Çizelge 4.1 ATC40 da deprem bölge katsayıları

Bölge	1	2A	2B	3	4
$Z (A_0)$	0,0075	0,15	0,20	0,30	0,40

ATC-40’da belirtilen bu numaralandırma büyükten küçüğe sıralandırılır. TDY’deki 1. bölge, ATC-40’da 4. bölge olarak ifade edilir. Ayrıca ATC-40’daki iki ayrı durum olarak ifade edilen 2. bölge TDY’nin 3. bölgesine tekabül eder. Kaynağa mesafe katsayıları olan N_A ve N_V , yapının deprem kaynağına olan mesafesine ve bu deprem kaynağının oluşturacağı deprem türüne bağlı olarak Çizelge 4.2’den okunur.

Çizelge 4.2 Kaynağa mesafe katsayısı

Deprem Kaynağı Türü	Bilinen deprem kaynağına olan mesafe							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük bir deprem oluşturacak kaynak	1.5	2.0	1.2	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0
B: Orta deprem oluşturacak kaynak	1.3	1.6	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
C: Küçük deprem oluşturacak kaynak	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Yapının bulunduğu zeminin türüne göre Çizelge 4.3’den zemin sınıfı belirlenir.

Çizelge 4.3 ATC40’da Zemin sınıfları

İlk 30m’deki ortalama zemin özellikleri			
Zemin Sınıfı	Kayma Dalgası Hızı V_S (m/s)	Standart Penetrasyon Deneyi, N (Vuruş/m)	Drenajsız Kayma Mukavemeti S_U (kN/m ²)
S_A - Sert Kaya	$V_S > 1500$	-----	-----
S_B - Kaya	$750 < V_S \leq 1500$	-----	-----
S_C - Yoğun Toprak ve Yumuşak Kaya	$350 < V_S \leq 750$	$N > 165$	$S_U > 100$
S_D - Sert Toprak	$180 < V_S \leq 350$	$50 \leq N \leq 165$	$50 \leq S_U \leq 100$
S_E - Yumuşak Toprak	$V_S \leq 180$	$N < 50$	$S_U < 50$
S_F - Aşırı plastik kil, yumuşak kil gibi özel değerlendirme gereken zeminler			

Her arazi için, ilgili yönetmelikteki sınıflandırma kullanılarak kendi verilerine uygun bir zemin profili atanır. Eğer zemin hakkında yeteri kadar detaylı veri toplanamıyorsa, S_D olarak atanır. S_E ve S_F tipleri zemin özellikleri bilinmeden atanmaz.

S_E = Yumuşak toprak ve yumuşak kil ($h > 3m$, $PI > 20$, $w_n > \%40$)

S_F = Özel değerlendirme gerektiren; bazı sıvılaşılabilen yıkılabilir zayıf çimentolu olan organik killeri ($h > 3m$), aşırı plastisiteye sahip killeri ($h > 7.5m$, $PI > 75$)

Hesaplarda kullanılacak deprem etkisinin belirlenmesinde, deprem etkisine bağlı olarak C_A ve C_V sismik katsayıları için ayrı ayrı E değerleri aşağıdaki şekilde bulunur;

- Kullanma depremi için $E = 0.5$
- Tasarım depremi için $E = 1.0$
- Maksimum deprem için;
 - › 4. Bölge için $E = 1.25$
 - › 3. Bölge için $E = 1.50$

Bulunan deprem katsayısı, kaynağa mesafe katsayısı ve deprem itki katsayısı çarpılarak, C_A ve C_V sismik katsayıları için ayrı ayrı Deprem Katsayısı bulunur.

Belirlenen zemin sınıfına ve hesaplanan deprem katsayısına bağlı olarak, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’den C_A ve C_V sismik katsayıları belirlenir.(ATC40, 1996); (Temür, 2007)

Çizelge 4.4 ATC40’da Deprem Katsayısı, C_A

	Deprem Katsayısı ZEN					
Zemin sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.0*ZEN
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.1*ZEN
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9*ZEN
S_F	Yerel zeminin incelenmesi gerekli					

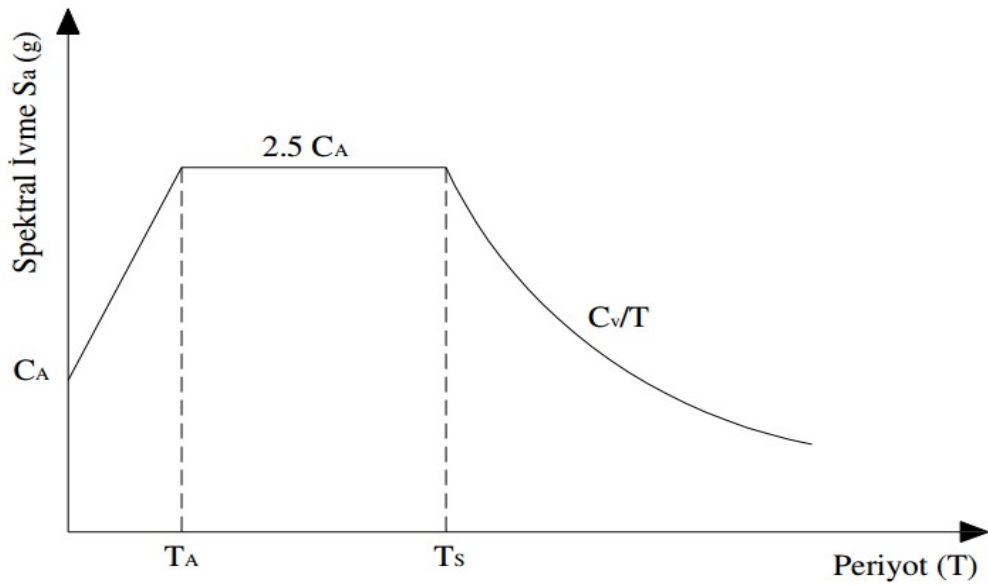
Çizelge 4.5 ATC40'da Deprem Katsayısı, C_V

	Deprem katsayısı ZEN					
Zemin sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0*ZEN
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4*ZEN
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.6*ZEN
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4*ZEN
S_F	Yerel zeminin incelenmesi gerekli					

Bulunan C_A ve C_V sismik katsayılarına ve Formül 4.8 ,Formül 4.9 yardımıyla bulunan T_S , T_A değerlerine bağlı olarak %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi Şekil 4.6'da gösterildiği gibi çizilir. $2.5C_A$ da %5 lik sönümlü kısa periyotlu sistemin maksimum ortalama ivmesine karşı gelmektedir.

$$T_S = C_V / 2.5C_A \quad (4.8)$$

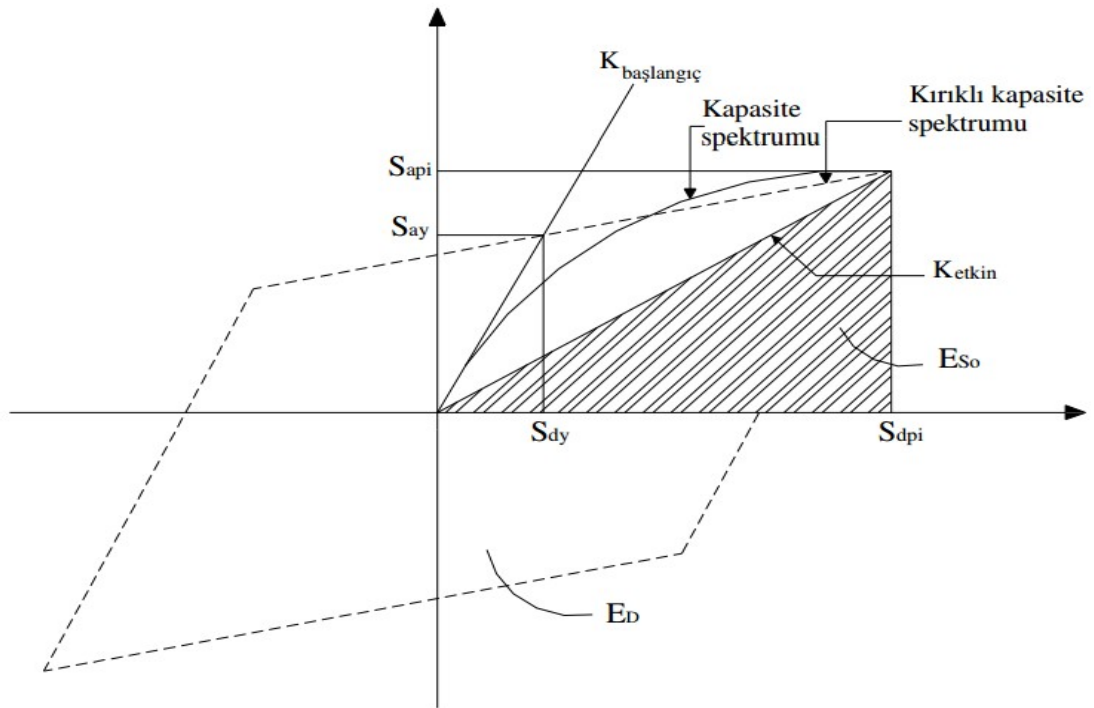
$$T_A = 0.2*T_S \quad (4.9)$$



Şekil 4.6 %5 sönümlü elastik talep spektrum eğrisi

4.2.6. Etkin sönüm tahmini ve %5 sönümlü doğrusal talep spektrumunun indirgenmesi

Sönüm, yapıyı elastik olmayan sınıra doğru zorlayan deprem hareketi meydana gelirken oluşur. Yapının viskoz sönümünün ve histeretik sönümünün bileşkesidir. Histeretik sönüm, deprem anındaki taban kesme kuvveti ve yapı deplasmanının oluşturduğu eğrilerin içinde kalan alanla ilgilidir. Histeretik sönüm, eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir(ATC40, 1996); (Temür; 2007)



Şekil 4.7 Spektral indirgeme için sönüm ifadesi (ATC40, 1996)

Yönetmeliklerde verilen, bu yöntemde öngörülen elastik ivme-yer değiştirme spektrum eğrisi %5'lik bir viskoz sönüm içerir, ancak depremin etkisinde yapıda elastik olmayan ve çevrimsel oluşan şekil değiştirmeler sonucu enerjinin tüketilmesi söz konusudur. Deprem etkisi altında yer değiştirme ile yük arasındaki veya benzer olan spektral yer değiştirme ile spektral ivme arasındaki bağıntı, elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir.(Celep, 2007b)

Bu, eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_o olarak yaklaşık eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülür. β_o 'ın hesaplanabilmesi için E_D ve

E_{So} 'ın belirlenmesi gerekir. E_D ve E_{So} 'da Şekil 4.7'deki geometrik bağıntıları kullanarak hesaplanır. Sonuç olarak toplam etkili sönüm oranı β_{eff} :

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_o + 0.05 \quad (4.10)$$

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{4\pi \cdot E_{So}} \quad (4.11)$$

olarak bulunabilir. Buradaki E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana ve E_{So} aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine karşılık gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak;

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_o + 0.05 + 0.64\kappa \frac{S_{ay}S_{dpi} - S_{dy}S_{api}}{S_{api}S_{dpi}} \quad (4.12)$$

yazılabilir. Buradaki S_{dy} ve S_{ay} doğrusal elastik davranışın sınırındaki, S_{dpi} ve S_{api} ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral yer değiştirme ve spektral ivme değerleridir. Bu koordinat değerleri Şekil 4.7'de de açık bir şekilde gösterilmiştir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir κ düzeltme katsayısı öngörülmüştür. Çevrimsel davranışın tam olarak oluşmadığı, yapım kalitesi düşük yapılarda, bu katsayı daha küçük alınır. Yeni yapılarda sönüm çevrimi, dolgun bir biçimde oluşacağı için düzeltme katsayısı büyük, eski yapılarda ise enerji tüketimi daha az olacağı için söz konusu katsayı küçük olacaktır. Bu katsayıyı etkileyen diğer bir faktör de, depremin devam süresidir. Deprem süresinin uzun olması durumunda enerji tüketimi artacağı için, kısa süreli depreme nazaran düzeltme katsayısı κ daha büyük bir değer alacaktır. Bu katsayıya ilişkin değerler, Çizelge 4.6'den seçilecek yapı davranış türüne bağlı olarak Tablo 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Yapı davranış türü

Deprem Süresi	Yeni Bina	Ortalama Mevcut Bina	Zayıf Mevcut Bina
Kısa Süreli	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun Süreli	Tip B	Tip C	Tip C

Çizelge 4.7 Sönüm düzeltme katsayısı κ

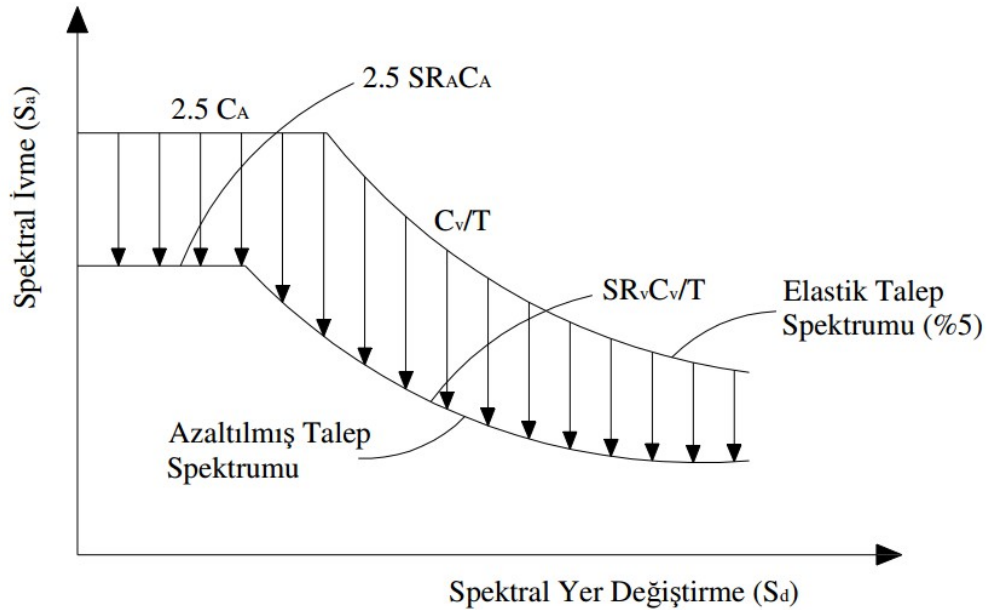
Yapı Davranış Türü	Tip A	Tip B	Tip C
κ Katsayısı	1.00	0.67	0.33

Doğrusal olamayan davranışın göz önüne alınması için tanımlanan eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltma yapılır. Bu katsayılar yapıda deprem etkisine bağlı olarak çıkacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olup, Çizelge 4.8’de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu azaltma; sönüm oranı ve yapının yeni olması ile artmaktadır. Bu azaltma katsayıları;

$$SR_V = \frac{1}{1,65} \left[2,31 - 0,41 \ln(100 * \beta_{eff}) \right] \quad (4.13)$$

$$SR_A = \frac{1}{2,12} \left[3,21 - 0,68 \ln(100 * \beta_{eff}) \right] \quad (4.14)$$

Çizelge 4.9’deki minimum değerlerden büyük olması şartıyla 4.13 ve 4.14 formülleri ile hesaplanabilir.



Şekil 4.7 %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi (ATC40, 1996)

Çizelge 4.8 Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V (ATC40, 1996)

	Yapı Davranış Türü A			Yapı Davranış Türü B			Yapı Davranış Türü C		
β_o	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V
0,00	0,05	1,00	1,00	0,05	1,00	1,00	0,05	1,00	1,00
0,05	0,10	0,78	0,83	0,08	0,83	0,87	0,07	0,91	0,93
0,15	0,20	0,55	0,66	0,15	0,64	0,73	0,10	0,78	0,83
0,25	0,28	0,44	0,57	0,22	0,53	0,63	0,13	0,69	0,76
0,35	0,35	0,38	0,52	0,26	0,47	0,59	0,17	0,61	0,70
$\geq 0,45$	0,40	0,33	0,50	0,29	0,44	0,56	0,20	0,56	0,67

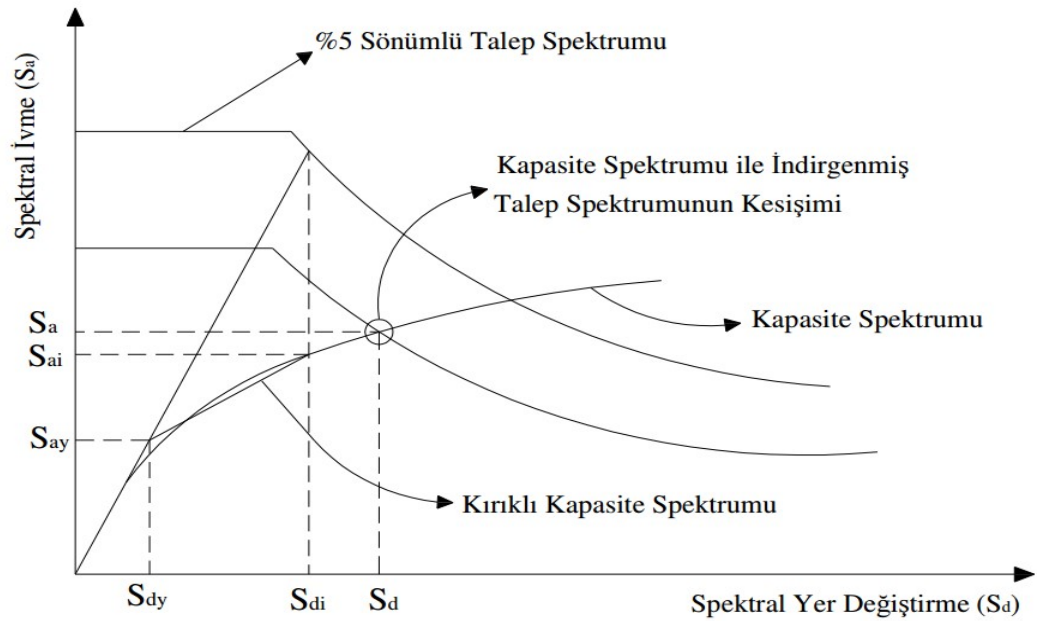
Çizelge 4.9 Spektral azaltma katsayıları SR_A ve SR_V 'nin minimum değerleri (ATC40, 1996)

	Yapı Davranış Türü A	Yapı Davranış Türü B	Yapı Davranış Türü C
SR_A	0,33	0,44	0,56
SR_V	0,50	0,56	0,67

4.3. Performans noktasının bulunması

4.3.1. Kapasite ve talep spektrumlarının kesişimi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının yatay koordinatı olan S_d spektral deplasmanı, başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan S_{di} spektral deplasmanından $\pm \%5$ kadar farklı ise ($0,95 S_{di} \leq S_d \leq 1,05 S_{di}$) bulunan performans noktası, gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir. Eğer kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası, kabul edilebilir toleranslar içinde değilse, yeni bir S_{ai} , S_{di} noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Şayet bir önceki iterasyonda bulunan performans noktası, yeni başlangıç performans noktası olarak alınırsa yapılan iterasyonun gerçek performans noktasına yaklaşımı daha hızlı olur. Performans noktası deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek maksimum yapısal yer değiştirmeyi gösterir. Şekil 4.8'de söz konusu noktalar gösterilmiştir. (ATC40, 1996); (Temür, 2007)



4.3.2. Tahmin edilen maksimum deplasmanda performans kontrolü

Beklenen performanstaki maksimum deplasman kontrolü, performans noktasındaki S_a , S_d değerleri biliniyorken bu değerler kullanılarak taban kesme kuvveti (V_i) ve çatı yer değiştirme ($\delta_{\text{çatı}}$) değerleri (4.3) ve (4.4) denklemleri kullanılarak bulunur. Performans kontrolünde aşağıdaki adımlar takip edilmelidir;

1. Binanın global yanal yüke karşı global yanıtı için aşağıdakiler sağlanır :
 - Yanal yük dayanımı %20 den daha fazla düşürülmemelidir.
 - Maksimum yatay ötelemeler aşağıdaki Çizelge 4.10 ile sınırlanmalıdır.

Çizelge 4.10 Deformasyon limitleri (ATC40, 1996)

Kat Öteleme Limitleri	Performans Seviyeleri			
	Kullanıma Devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
Maksimum Toplam Ötelenme	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i / P_i$
Maksimum Plastik Ötelenme	0,005	0,005-0,015	Limitsiz	Limitsiz

2. Binada farklı cins yapılmış elemanlar belirlenip sınıflandırılır. Bunlar kolon- kiriş çerçeveler, plak-kolon çerçeveler, rijit duvarlar, perde çiftleri, düzenli açıklıklı duvarlar, düzensiz açıklıklı duvarlar, diyaframlar ve temeller gibi.

3. Tüm ana ve ikincil taşıyıcıları belirlenir. Bu sınıflandırma 5. aşamadaki deformasyonlar için gereklidir.

4. Kritik elemanları ve durumları kontrol edebilmek için karşılık limitlerini 2. maddede adı geçen her bir eleman için kontrol etmek gerekir.

5. Yapının performans noktasındaki kuvvet ve deformasyon karşılıkları, karşılık limitlerinde verilen kapasitelere eşit veya daha az olmalıdır.

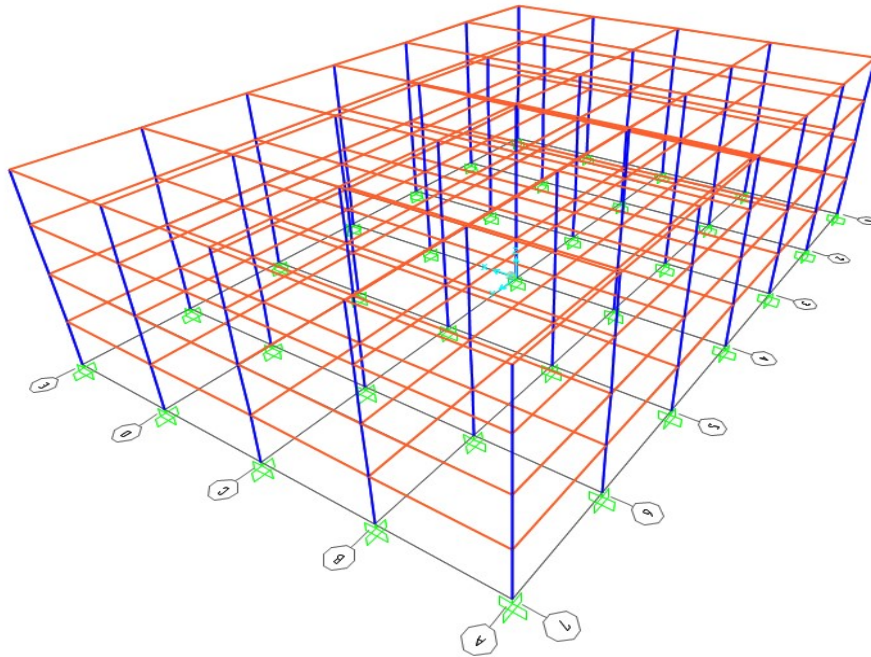
6. Yapısal elemanlar öngörülen performans değerinden daha fazla yatay yük taşımamalıdır.

7. Yapısal olmayan elemanlarda öngörülen performans seviyesine göre kontrol edilmelidir (ATC40, 1996). Lineer olmayan analizlerde düşey ve yatay yükler doğal

olarak kullanılmalıdır. Herhangi bir artım veya azaltma yapılmamalıdır. Yani nonlinear analizler için TS 498’ de tanımlanan yapı yüklerini TS 500’ deki gibi 1.4, 1.6 gibi artışları yapmadan kullanmamız gerekir (TS498, 1997), (TS500, 2000)

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu tez çalışmasında, betonarme yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri aynı kat planlarına sahip 12 adet dört katlı betonarme çerçeve + perdeli yapı üzerinde uygulanmış ve performans seviyeleri belirlenmiştir. Başlangıçta tümüyle çerçeve sistemden oluşan binaya aynı kesit ve boyut özelliklerine sahip 4 adet perde duvar eklenerek düşey taşıyıcı sistemde değişiklik yapılmıştır. Perde duvarların 2 adedi X eksenine paralel, diğer 2 adedi de Y eksenine paralel olarak farklı akslara yerleştirilerek farklı burulma düzensizlik durumları elde edilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen burulma düzensizliklerinin seviyelerine göre yapı performansına olan etkilerini ve perde duvarların gerek yapı ilk planlanırken gerekse de daha sonra güçlendirme yaparken planda yerleşimlerinin yapıya etkilerini araştırma amaçlanmıştır. Öncelikle modellenen yapı sistemleri Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te verilen (DBYBHY 2007) betonarme yapı tasarım kuralları çerçevesinde boyutlandırılmıştır. Yapı modelleri tasarımda ön görülen kesit boyutu, beton dayanım sınıfı, donatı sayısı ve çapları dikkate alınarak yapılmıştır. Analizlerde 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi kullanılmıştır. DBYBHY 2007 esasları uyarınca konut tipi yapıların bu deprem etkisi altında Can Güvenliği performans seviyesini sağlaması beklenmektedir. (DBYBHY, 2007)



Şekil 5.1 Perde duvarsız bina modelinin perspektif görünüşü

5.1. Seçilen Yapı Modellerinin Özellikleri

Bina Bilgileri

Kat adedi : 4

Bina Kat Yüksekliği : 3.0 m

Toplam Bina Yüksekliği, [H] : 12 m

Bina Oturma Alanı : $20.40 \times 28.40 = 400,16 \text{ m}^2$

Kullanım Amacı: Konut (I = 1)

Malzeme Bilgileri

Beton (Tüm Betonarme Elemanlar) : C25 ($f_{cm} = 25 \text{ MPa}$)

Donatı Çeliği : S420 ($f_{ym} = 420 \text{ MPa}$)

Betonarme Elastisite Modülü, [Ec] : 30200 MPa

Donatı Çeliği Elastisite Modülü, [Es] : 200000 MPa

Deprem Parametreleri

Deprem Bölgesi: 1 (Etkin Yer İvmesi Katsayısı $A_0 : 0,40$)

Yerel Zemin Sınıfı : Z1 (TA : 0.10 sn TB : 0.30 sn)

R Katsayısı : 7 (perde + çerçeve sistemlerde) , 8 (perde duvarsız sistemde)

Deprem seviyesi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi

Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n): 0.3

5.2. Yükler

Beton Yoğunluğu : 25.00 kN/m³

Dış Duvar Yüğü (20cm+sıva): 6 kN/m (Kenar akslardaki kirişler üzerinde)

Hareketli Yük : 2.00 kN/m² (normal kat) 1.5 kN/m² (çatı katında) (TS498, 1997)

Bina Yüklerinin Hesabı

Döşemelerden kirişlere aktarılan yükler aşağıdaki gibi hesaplanarak kirişlere üçgen yayılı yük olarak etkilmiştir.

Ölü yükler;

Döşeme ağırlıklarından gelen yükler (normal kat ve çatı katlarında)

$$3.75 \times 3.75 \times 0.15 = 52.73 \text{ kN} \quad 52.73 / 4 = 13.18 \cong 13.2 \text{ kN}$$

$$6.6 + 6 = 12.6 \text{ kN/m (Kenar kirişlerde)}$$

$$6.6 \times 2 = 13.2 \text{ kN/m (İç kirişlerde, üçgen yayılı yük)}$$

Hareketli yükler;

Çatı katında

$$4 \times 4 \times 1.5 = 24 \text{ kN}$$

$$24 / 4 = 6 \text{ kN}$$

$$6 / 4 = 1.5 \text{ kN/m (Kenar kirişlerde, üçgen yayılı yük)}$$

$$1,5 \times 2 = 3 \text{ kN/m (İç kirişlerde, üçgen yayılı yük)}$$

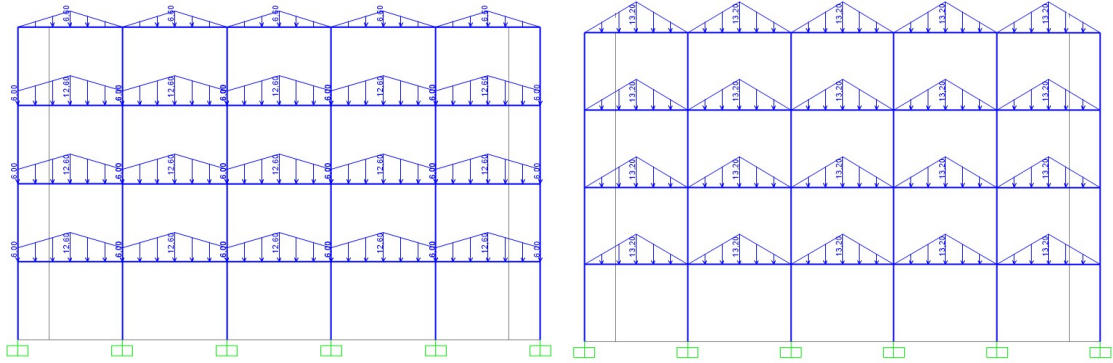
Normal katlarda

$$4 \times 4 \times 2 = 32 \text{ kN}$$

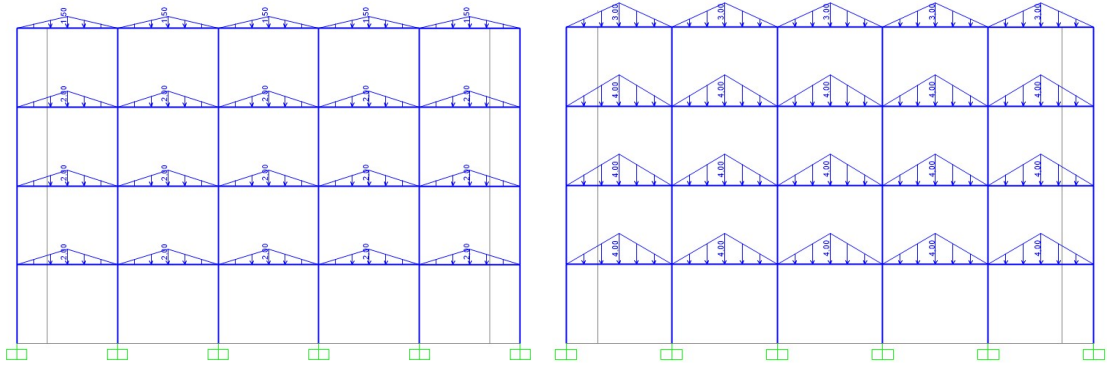
$$32 / 4 = 8 \text{ kN}$$

$$8 / 4 = 2 \text{ kN/m (Kenar kirişlerde, üçgen yayılı yük)}$$

$$2 \times 2 = 4 \text{ kN/m (İç kirişlerde, üçgen yayılı yük)}$$



Şekil 5.2 Kirişler üzerindeki ölü yükler a) iç akslarda b) kenar akslarda



Şekil 5.3 Kirişler üzerindeki hareketli yükler a) iç akslarda b) kenar akslarda

5.3. Yapısal Eleman Rijitlikleri

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği kullanılmıştır. Bu doğrultuda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri;

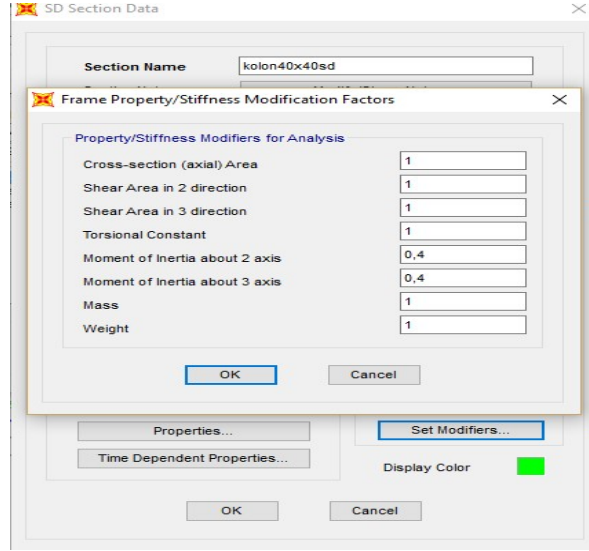
Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40(EI)_o$

Kolon ve perdelerde,

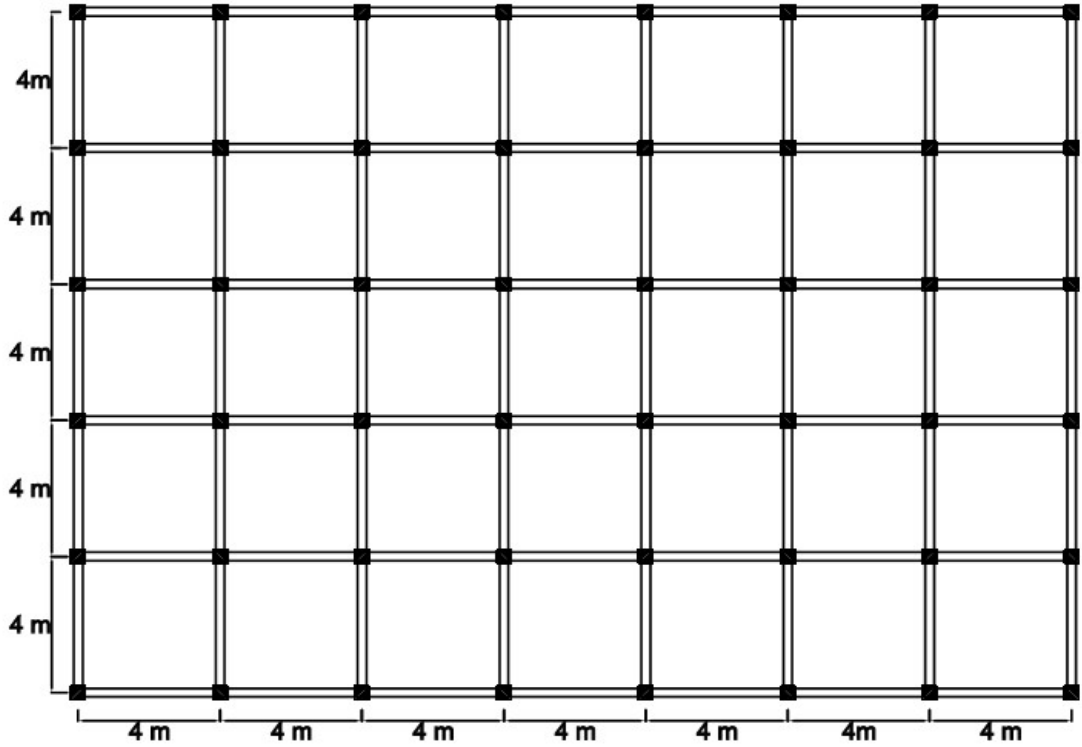
$$ND / (Ac f_{cm}) \leq 0.10 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.40(EI)_o$$

$$ND / (Ac f_{cm}) \geq 0.40 \text{ olması durumunda: } (EI)_e = 0.80(EI)_o$$

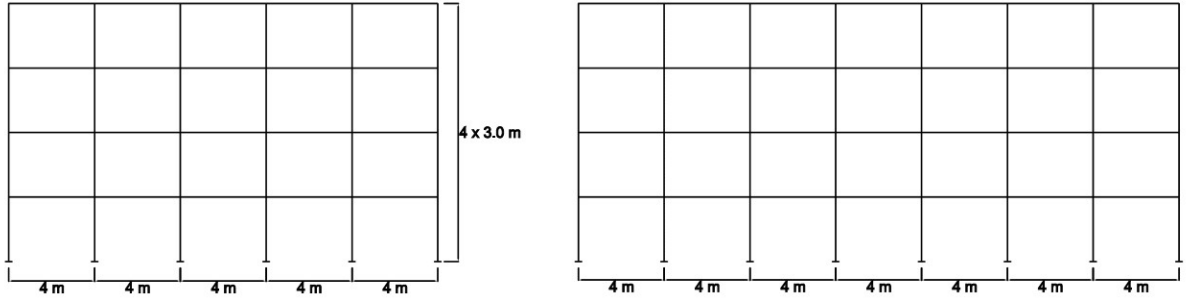
olarak belirlenmiştir. Analizlerde yapı elemanları için etkin eğilme rijitlikleri, yukarıda verilen kıstaslar doğrultusunda hesaplanmış ve yapı modellerine etki ettirilmiştir. Kolonlarda $ND / (Acfc_m) \leq 0.10$ durumu sağlandığından etkin eğilme rijitliği 0,4 olarak alınmıştır. Sap2000 analiz modellerinde etkin rijitlik değerlerini sağlamak amacıyla, yapı elemanı kesitlerinde atalet momenti çarpanı 0,4 alınmıştır.



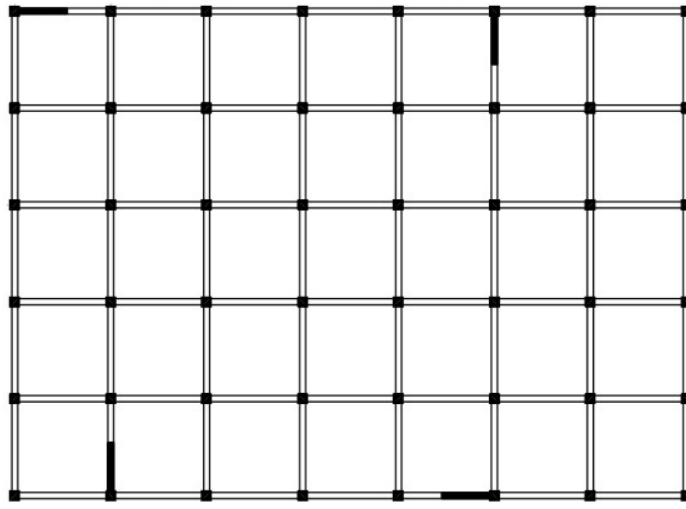
Şekil 5.4 Sap 2000 programında etkin rijitlik değerlerinin ayarlanması



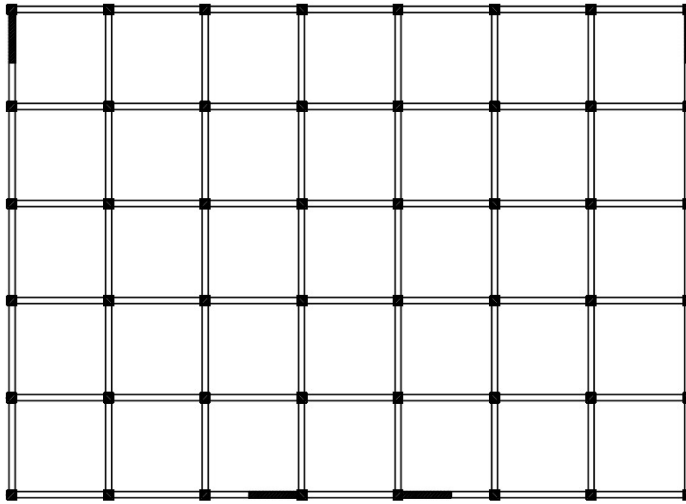
Şekil 5.5 Yapı kat planı



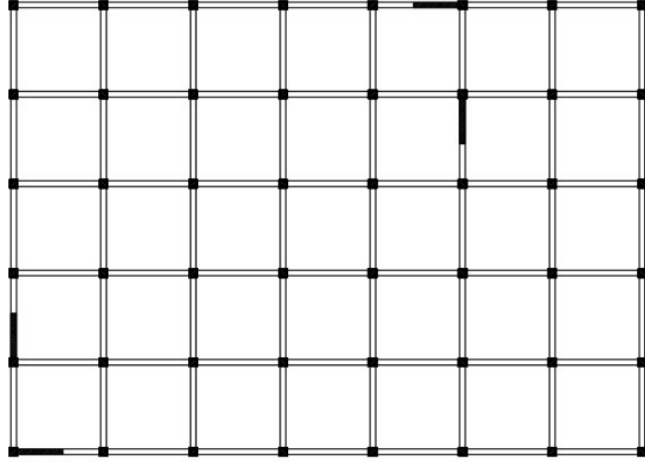
Şekil 5.6 Yapı yan ve ön görünüşleri



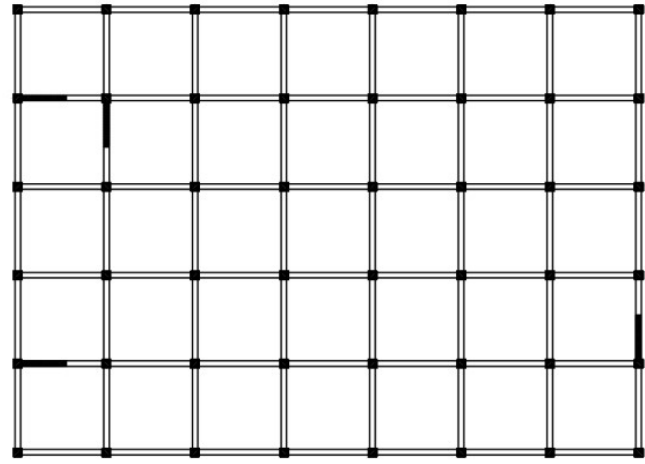
Şekil 5.7 Model 1



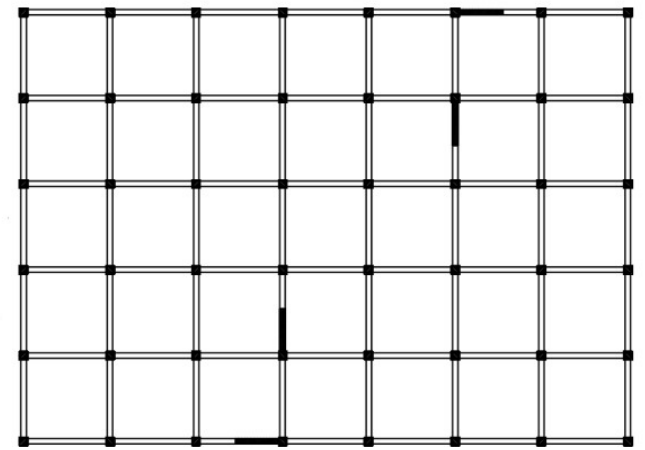
Şekil 5.8 Model 2



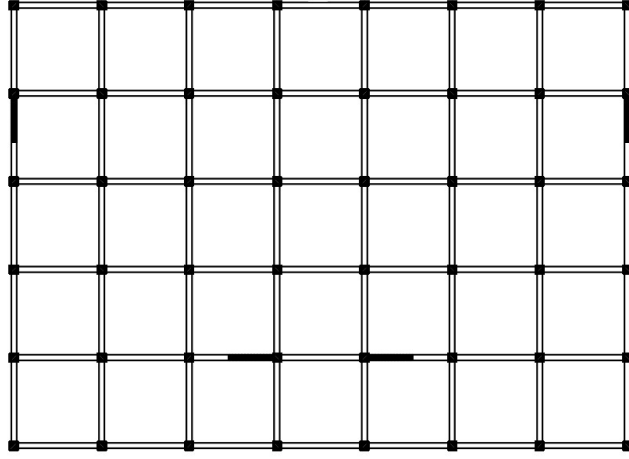
Şekil 5.9 Model 3



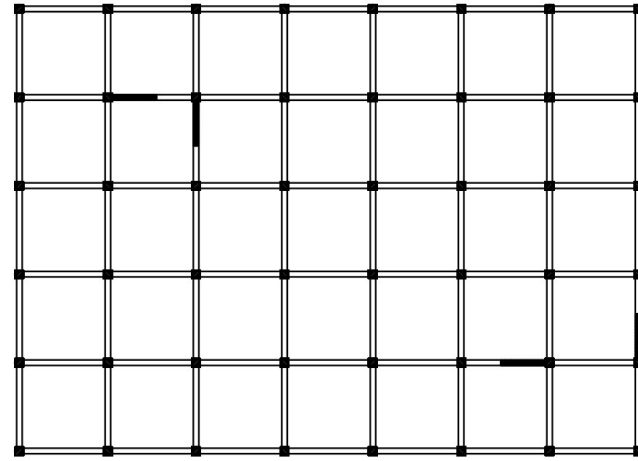
Şekil 5.10 Model 4



Şekil 5.11 Model 5

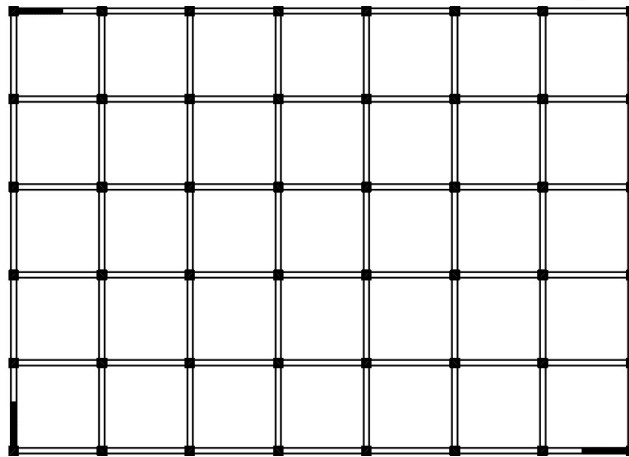


Şekil 5.12 Model 6

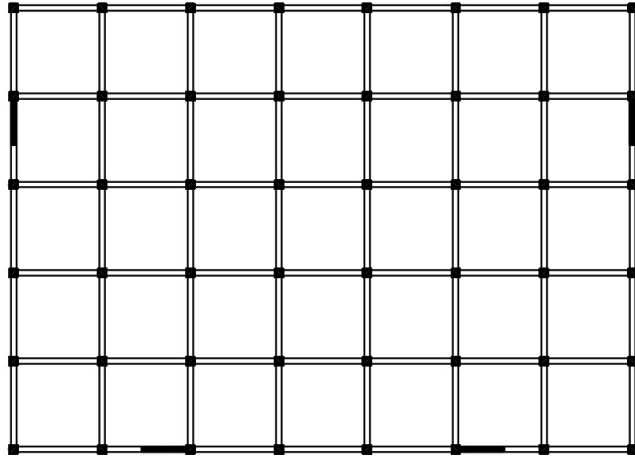


4

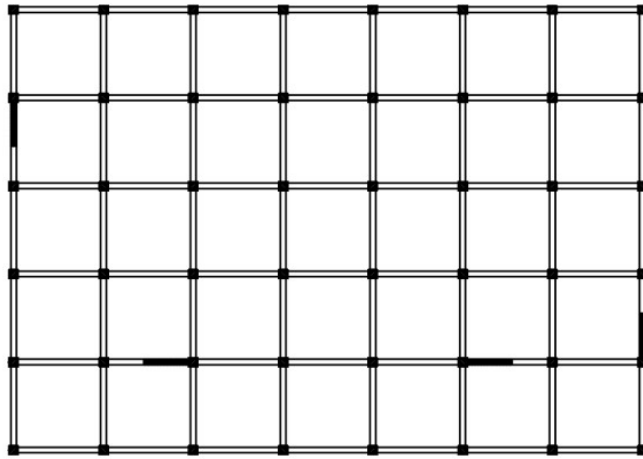
Şekil 5.13 Model 7



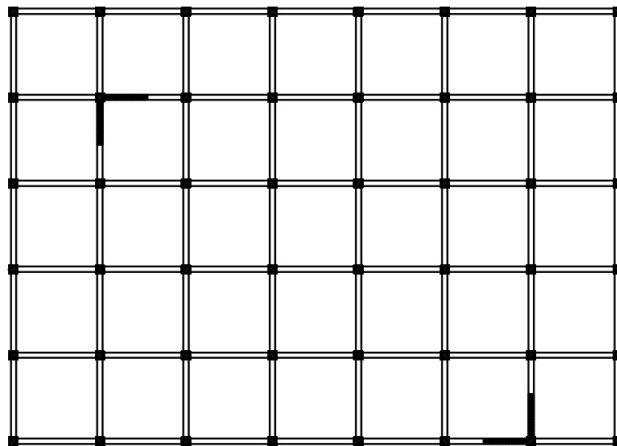
Şekil 5.14 Model 8



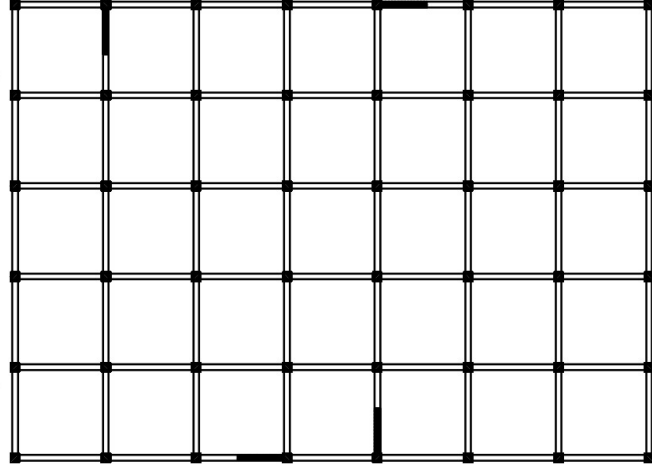
Şekil 5.15 Model 9



Şekil 5.16 Model 10

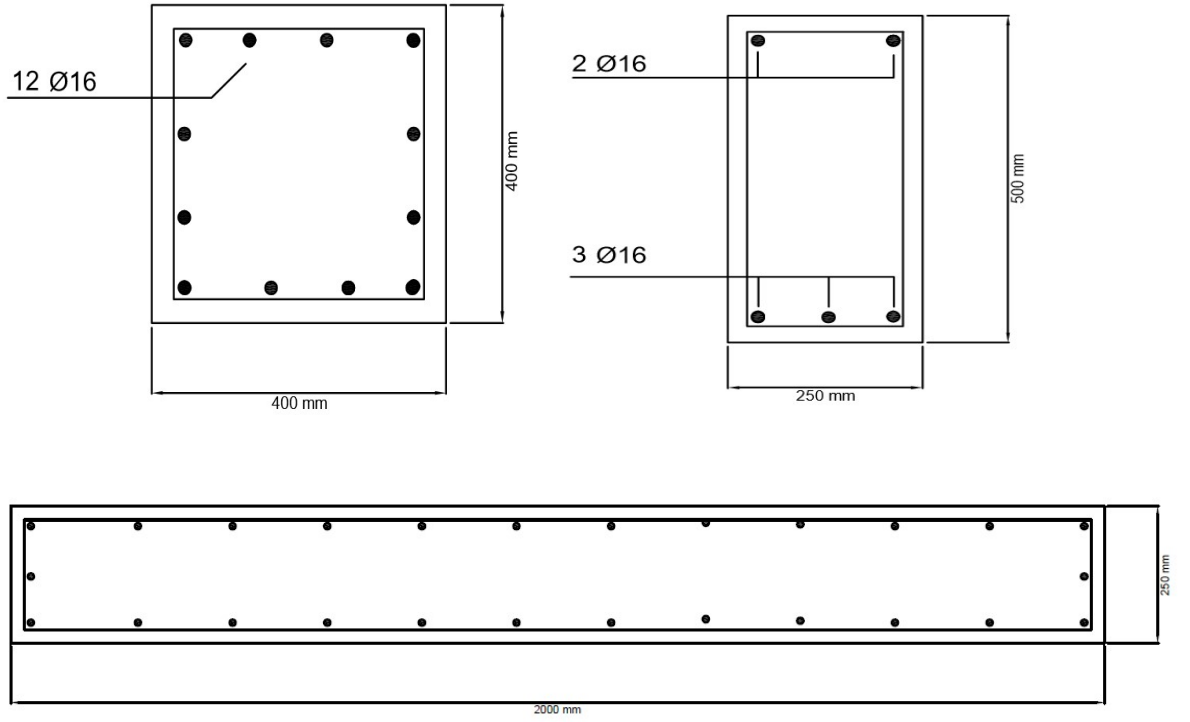


Şekil 5.17 Model 11



Şekil 5.18 Model 12

5.4. Bina Eleman Boyutları



Şekil 5.19 Yapıdaki kolon, kiriş ve perde duvar kesitleri

Kolonlar (mm) 400x400

Kirişler (mm) 250x500

Perde Duvarlar (mm) 250x2000

Döşeme Kalınlığı (mm) 150

Bina Elemanlarında Bulunan Donatılar

Kolonlar (mm) Boyuna Donatı : 12 Ø 16 Etriye: Ø 10 /15

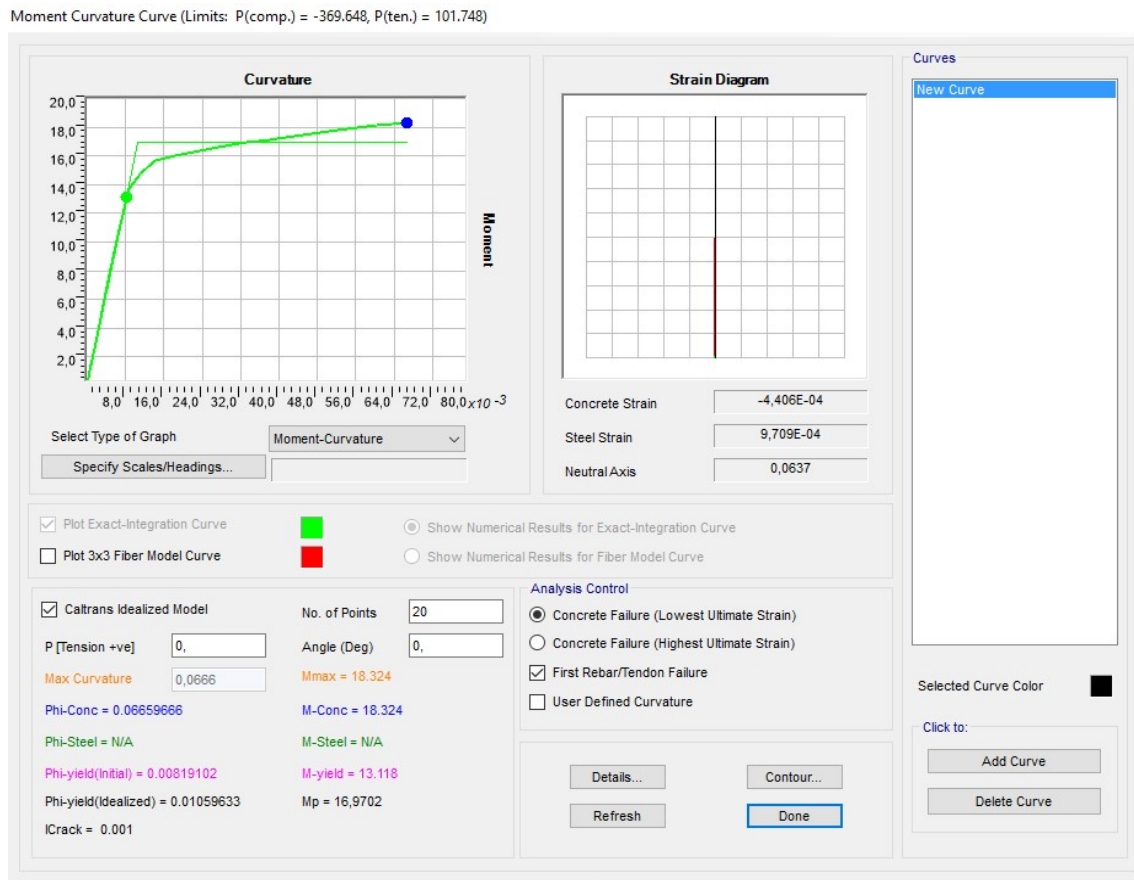
Kirişler (mm) Boyuna Donatı : 5 Ø fi 14 (3 adet altta, 2 adet üstte)

Etriye: Ø 10 /10

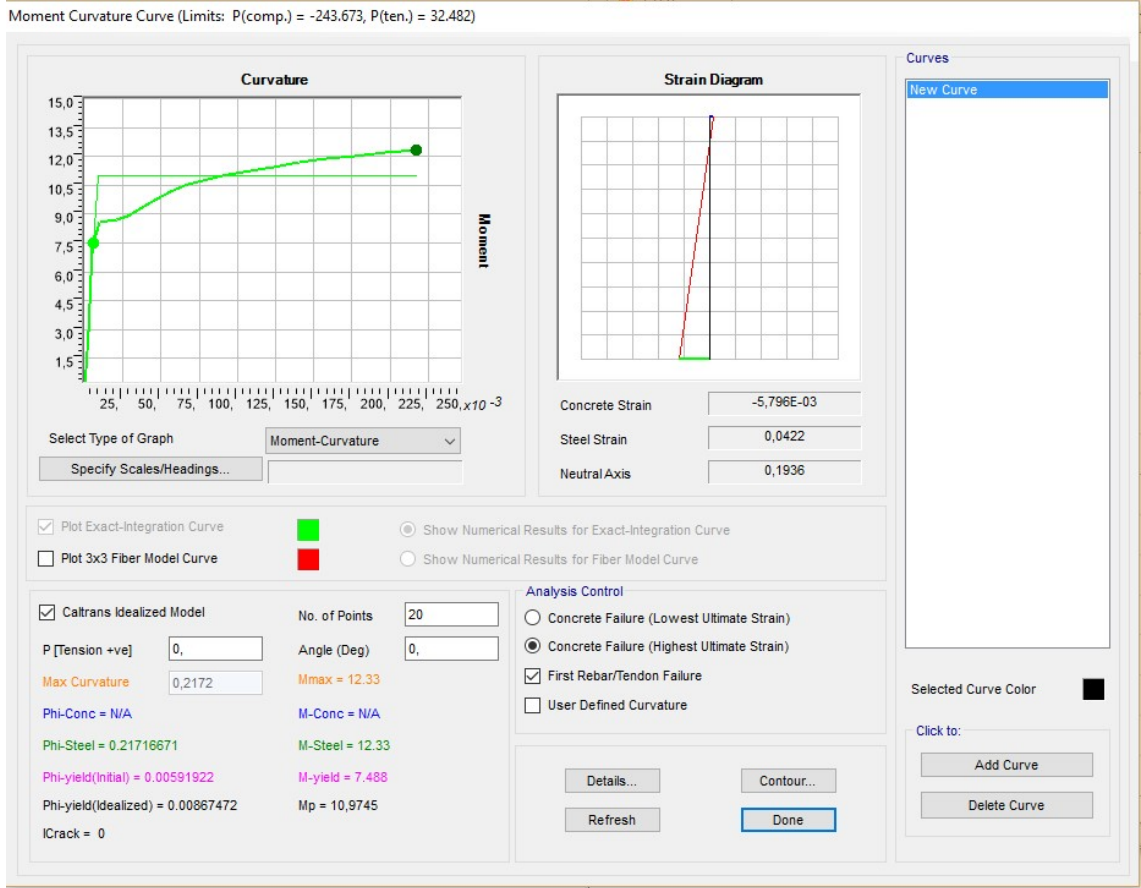
Perde duvarlar (mm) Boyuna Donatı : 26 Ø 12 Enine donatı: Ø 10 / 20, metrekarede 20 adet Ø 10 çiroz

5.4.1. Sap 2000 programında eleman özelliklerinin tanımlanması

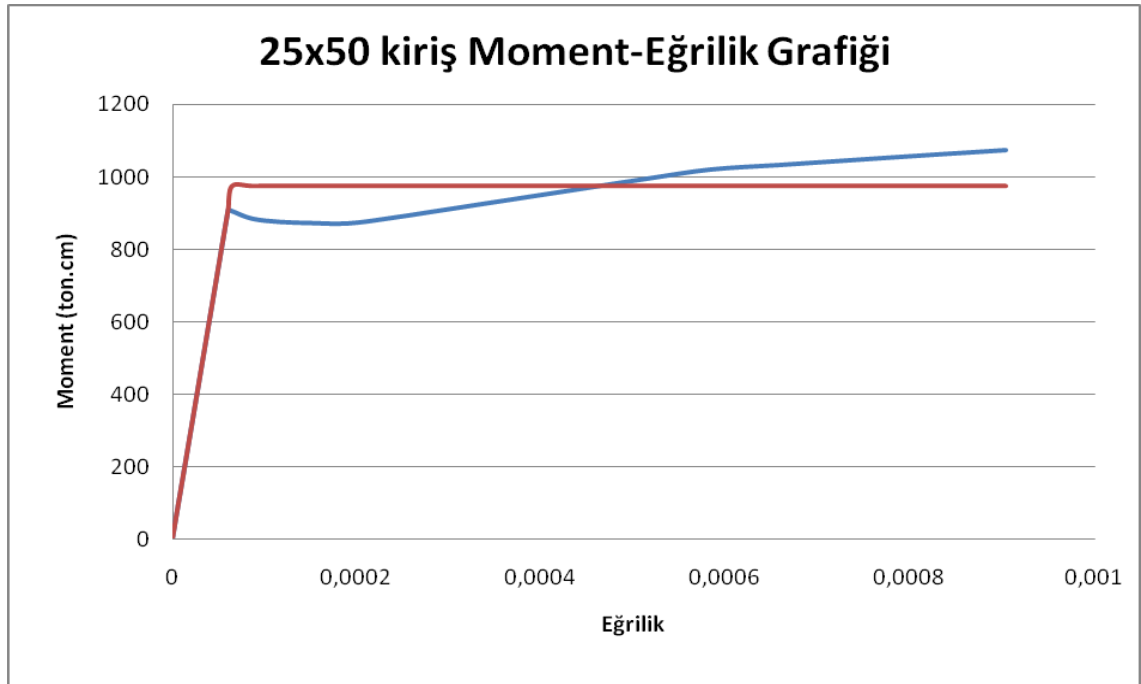
Sap2000 yapısal analiz programı istenilen şekilde ve boyutta eleman kesitleri oluşturabilme ve bu kesitlere ait Moment-Eğrilik, Moment-Normal kuvvet Etkileşim diyagramları gibi özelliklerini belirleyebilme adına yetkin bir yazılımdır. Eleman kesiti tanımlama menüsündeki geliştirilmiş Section Designer seçeneğiyle istenen kesitler oluşturularak bu kesitlere ait özellikler elde edilebilir. Yukarıda kesit boyutları ve donatıları verilen kesitler Sap2000 Section Designer da oluşturularak yapı modellerinde kullanılmıştır. Kolon ve kiriş kesitlerinin elde edilmesinden sonra yazılımdaki diyagramları idealize etme seçeneği seçilerek ideal moment-eğrilik diyagramları elde edilmiştir.



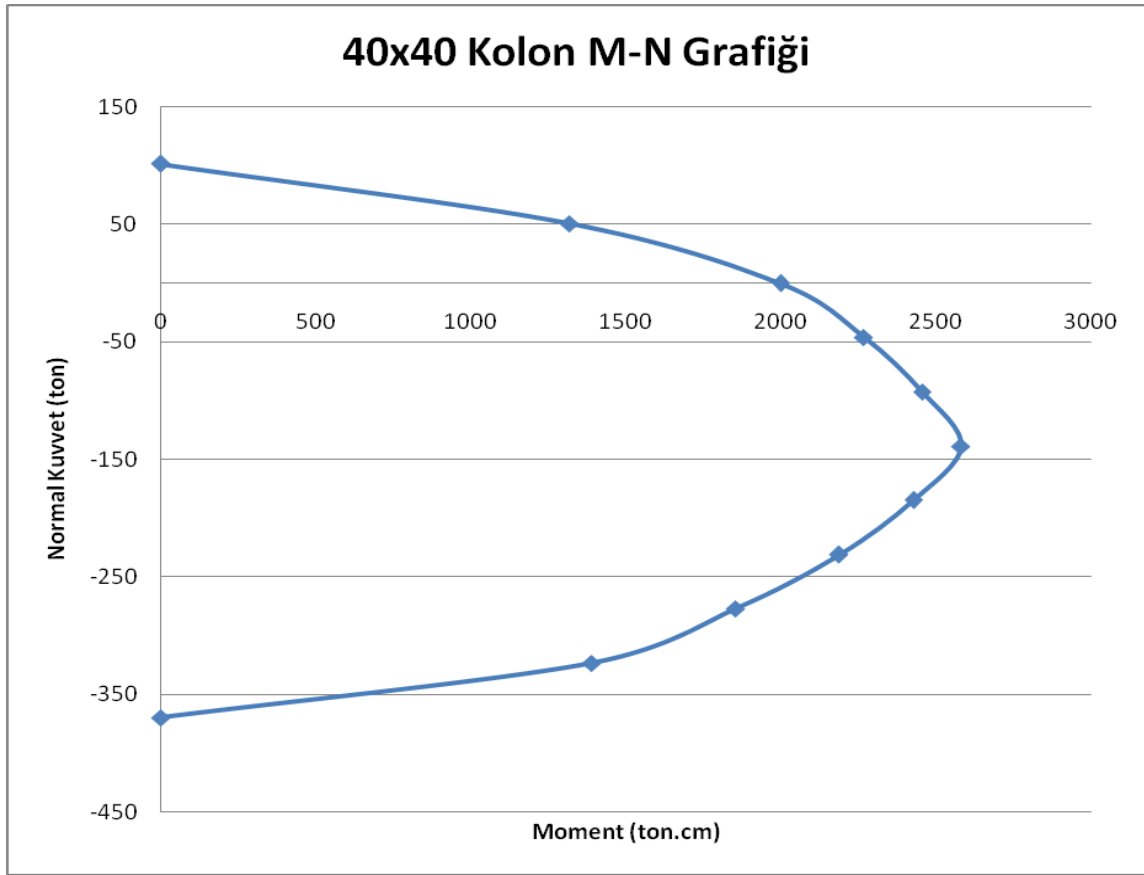
Şekil 5.20 Kiriş kesit özellikleri



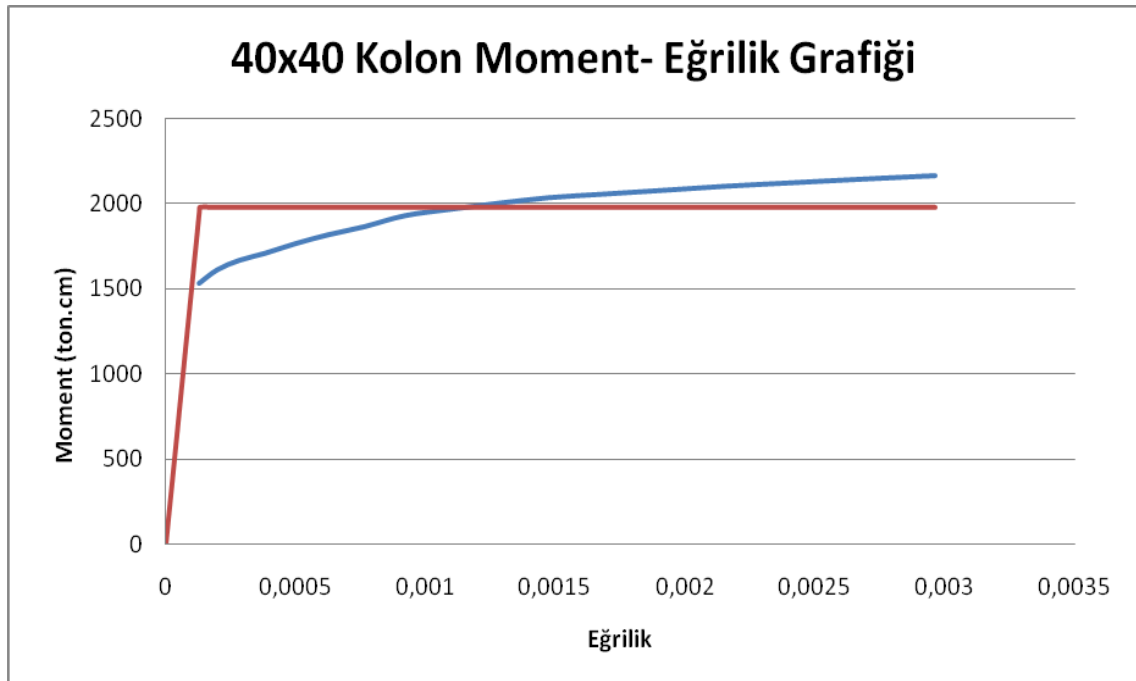
Şekil 5.21 Kolonda kesit özellikleri



Şekil 5.22 Kirişlerdeki kesit ve malzeme özelliklerine göre elde edilen moment- eğrilik diyagramı



Şekil 5.23 Kolonlardaki kesit ve malzeme özelliklerine göre elde edilen M-N diyagramı



Şekil 5.24 Kolonlardaki kesit ve malzeme özelliklerine göre elde edilen moment- eğrilik diyagramı

5.4.2. Sap 2000 Programında Plastik Mafsal Tanımlanması

Bilindiği gibi statik itme analizinde yapısal eleman ve tüm bina bazında performansların belirlenebilmesi için her yapısal elemana yük taşıma şekline göre plastik mafsal atanması gerekmektedir. Kolonlar deprem anında eksenel yük altında birleşik eğilmeye maruz kaldıkları için kolon alt ve üst ucunda hem eksenel kuvveti hem de momentleri dikkate alan P-M-M mafsalı, kirişlerde sadece moment olduğu düşünüldüğünden her iki ucuna M3 mafsalı atanmıştır. Normalde deprem yüklerine maruz perde duvarların göçme durumu araştırılırken kesme kuvvetleri etkisinde mafsal oluşumu incelendiğinden kat seviyelerinde V mafsalı atanmaktadır. Fakat bu çalışmada perde duvarların kesme göçmesine ulaşmadığı varsayıldığından perde elemanlara mafsal atanmamıştır.

Plastik mafsalların göçme durumları yönetmeliklerde bulunan sınır dönme ve eğrilik koşullarına göre belirlendiğinden bu özelliklerin dikkatli bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Sap 2000 ve benzeri statik analiz yapan programlarda plastik mafsal ayarları default olarak atanabileceği gibi, kullanıcı ayarları yapılarak istenen yönetmelik koşulları da uygulanabilmektedir.

Plastik mafsalların tanımlanmasında malzeme değerlerinin ve davranış diyagramlarının belirlenmesi çok büyük önem arz etmektedir (Celep, 2007b). Özellikle statik itme analizi yaparken, analiz programında mevcut default özellikli plastik mafsallar ile kullanıcı tanımlı mafsallar arasında önemli farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Eleman özelliklerinin ve malzemenin doğrusal olmayan özelliklerinin daha doğru tanımlanması açısından kullanıcı tanımlı mafsalların kullanımı tavsiye edilmektedir. Donatı düzeni ve sargı etkisi gibi parametreler plastik mafsal davranışına etki eden faktörlerdir. Yapılan çalışmalarda çok katlı binalarda mafsal oluşumu sırası ve nihai mafsallaşma durumları karşılaştırılarak kullanıcı tanımlı mafsal kullanımının daha uygun olduğu belirlenmiştir (Inel ve Ozmen, 2006).

Plastik mafsallardan gerçeğe en yakın davranışı elde edebilmek için; mafsal boyu, mafsal yeri, elemanın davranışına göre belirlenen mafsal çeşidi, betonun ve donatının lineer olmayan malzeme özelliklerinin doğru tanıtılması, kesitin boyut ve donatısına göre elde edilen M-N etkileşim diyagramları, moment-eğrilik diyagramları ve en önemlisi de mafsalda meydana gelen dönme miktarlarına göre hangi performans

aralığında bulunduğunu belirleyen sınır kabulleri gibi hususların doğru tanımlanması gerekmektedir.

Kolonların mafsallık özellikleri tanımlanırken daha önce Section Designer kısmında elde edilen M-N değerleri en az 3 açıda (0-45-90) mafsallık etkileşim yüzeyi tanımlarına girilmelidir. Böylece mafsalda aynı anda hem M2 hem de M3 momentlerinin etkilerini dikkate alan üç boyutlu bir M-N diyagramı elde edilir. Diğer yandan eksenel yük kısmında ise kolonun daha önce düşey yükler etkisinde bulunan maksimum değerine kadar belirli aralıklarla yük artışı sağlanarak mafsalda eksenel yük ve moment etkileri altında mafsallık davranışı modellenmiş olur.

Frame Hinge Property Data for FH2 - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-1,29	-0,025
D-	-1,17	-0,018
C-	-1,17	-0,018
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1,17	0,018
D	1,17	0,018
E	1,29	0,025

☒ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☒ Use Yield Moment Moment SF

☐ Use Yield Rotation Rotation SF

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy Positive Negative

☐ Life Safety Positive Negative

☐ Collapse Prevention Positive Negative

☒ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 5.25 Kirişlerde M3plastik mafsallık ayarları

P-M2-M3 Interaction Surface Definition for FH1

Edit

User Interaction Surface Options

☐ Circular Symmetry
☒ Doubly Symmetric about M2 and M3
☐ No Symmetry

Number of Curves: 3

Number of Points on Each Curve: 11

Scale Factors (Same for All Curves)

P: 9,8067
 M2: 0,0981
 M3: 0,0981

☐ Include Scale Factors in Plots

First and Last Points (Same for All Curves)

Point	P	M2	M3
1	-369,648	0	0
11	101,7482	0	0

Interaction Surface Requirements - Doubly Symmetric

- A minimum of 3 P-M2-M3 curves are specified.
- P (tension positive) increases monotonically.
- $M2 = M3 = 0$ at the first and last points.
- First curve has all $M3 = 0$ and all $M2 \geq 0$.
- Then one or more curves has all $M2 > 0$ and all $M3 > 0$.
- Last curve has all $M2 = 0$ and all $M3 > 0$.
- As the curve number increases, a specific point number should have an increasing M3 and a decreasing M2.
- Each curve must be convex and the interaction surface as a whole must be convex (no dimples in surface).

Interaction Curve Data

Current Curve: 1

Point	P	M2	M3
1	-369,648	0	0
2	-323,442	1389,55	0
3	-277,236	1853,835	0
4	-231,03	2185,424	0
5	-184,824	2425,123	0
6	-138,618	2578,457	0
7	-92,412	2453,243	0
8	-46,206	2264,746	0
9	0	1997,977	0
10	50,8741	1316,476	0
11	101,7482	0	0

3D Plot

Plan: 315
 Elevation: 25
 Aperture: 0

☒ Show All Lines
☐ Hide P Direction Lines
☐ Hide M2-M3 Lines
☒ Highlight Current Curve

Şekil 5.26 Kolon PMM mafsalında etkileşim yüzeyi parametrelerinin ayarlanması

Moment Rotation Data for FH1 - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve

Axial Force: 0
 Angle: 0
 Curve #1: 1

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0	0
B	1	0
C	1,1	0,018
D	0,2	0,018
E	0,2	0,025

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

☒ Immediate Occupancy: 3,500E-03
☐ Life Safety: 0,0135
☐ Collapse Prevention: 0,018
☒ Show Acceptance Points on Current Curve

Moment Rotation Information

Symmetry Condition: Double
 Number of Axial Force Values: 50
 Number of Angles: 3
 Total Number of Curves: 150

Angle Is Moment About

0 degrees = About Positive M2 Axis
 90 degrees = About Positive M3 Axis
 180 degrees = About Negative M2 Axis
 270 degrees = About Negative M3 Axis

Şekil 5.27 Kolon PMM plastik mafsal ayarları

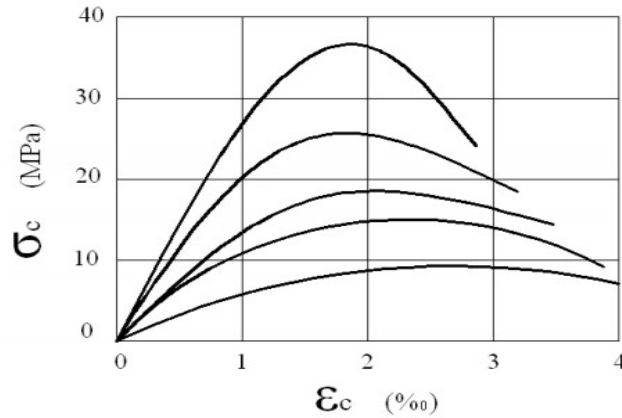
5.4.3. Sap 2000 Programında Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Beton Özelliklerinin Tanımlanması

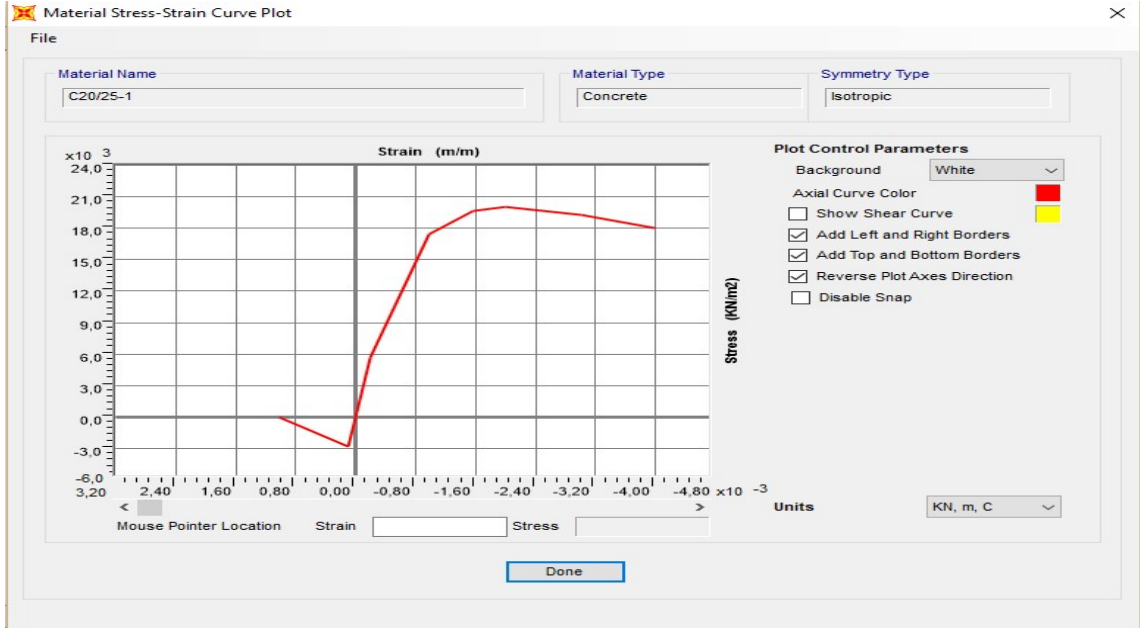
Sap 2000 programında beton ve yapı çeliği malzemesinin doğrusal olmayan malzeme modellerine uygun modellemesi yapılabilmektedir. Çalışmada beton için Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır. Bilindiği gibi beton yalın halde çekme dayanımı düşük ve gevrek bir malzemedir. Bu nedenle betonu yapılarda hem çekme hem de basınç çalışır hale getirebilmek için yapı çeliğiyle beraber kullanılması gerekir. Sargı etkisi beton malzemesi özelliklerini geliştirdiği için özellikle aksel basınç yükleri altında önemlidir. Sargı etkisi ile betonun aksel basınç yükleri altında yanal ötelenmesi önlenerek tek aksel basınç gerilmesi 3 aksel basınç gerilmesine dönüştürülmüş olur.

Beton yalnız başına gevrek bir malzemedir ve dayanımı artıka daha fazla gevrekleşerek şekil değıştirme yeteneğini kaybeder. Beton malzemesinin gerilme- şekil değıştirme özellikleri beton dayanımına göre farklılık göstermektedir. Betonun bu özelliğı Şekil 5.28’den daha iyi anlaşılabilmektedir (Celep, 2015).

DBYBHY 2007 doğrusal olmayan analizlerde Mander beton modelini önermektedir. Analizlerde yapısal eleman kesitlerinin özellikle de kolonların aksel yük ve sargılama etkileri ile farklı kapasite değeri elde edilmektedir(Mander ve ark., 1988). Analizi yapılan tüm yapılarda beton sınıfı C20/25 olarak alınmıştır. Modellerde beton modeli olarak yönetmelikte de önerilen Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır (Şekil 5.29).



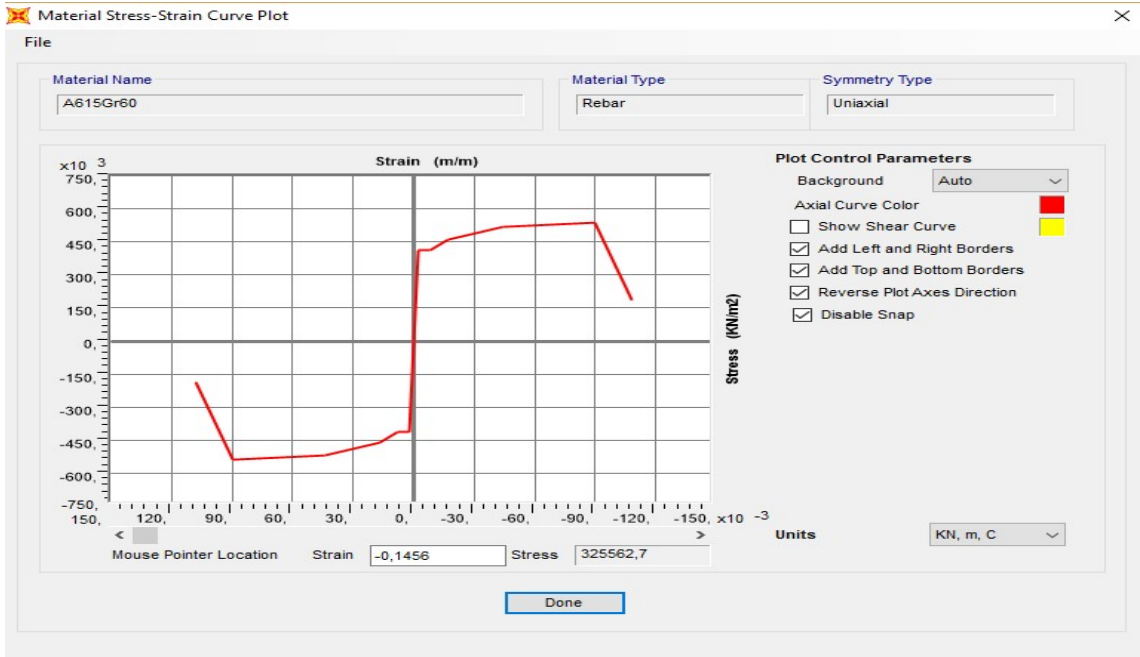
Şekil 5.28 Beton malzemesinin dayanım-şekil değıştirme ilişkisi (Celep, 2007a)



Şekil 5.29 C20/25 Betonunun Mander modeline göre Sap 2000 programında elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Donatı Çeliği Özelliklerinin Tanımlanması

Analizleri yapılan tüm yapılarda boyuna donatı ve sargı donatısı (etriye) olarak S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Donatı çeliğinin doğrusal olmayan özelliklerini tanımlamak için Sap2000 programındaki menüde hazır bulunan Park Modeline göre sınır değerleri (f_y ve f_u) girilerek aşağıdaki eğri elde edilmiştir(Şekil 5.30).



Şekil 5.30 S420 donatı çeliğinin Park Modeline göre Sap 2000 programında elde edilen Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

5.4.4. Yapı Burulma Düzensizlikleri

Yapı modellerindeki burulma düzensizlikleri, deplasmanlar için esas alınan köşe kolonunun kat seviyelerindeki düğüm noktalarından okunması suretiyle 3.4 nolu denklem kullanılarak bulunmuştur. Her yapı modeli için X ve Y yönlerindeki burulma düzensizlikleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalardan da bilindiği üzere burulma düzensizliğinin yapıdaki ilk katlarda daha büyük olduğu görülmüştür(Özmen ve Gülay, 2002).

Çizelge 5.1 Model 2 kat burulma düzensizliği değerleri

Kat Sayısı	η_{bx}	η_{by}	$D_i \cdot e_x$	$D_i \cdot e_y$
1	1	1,4051	0,0685	0,0685
2	1	1,4018	0,0685	0,0685
3	1	1,3989	0,0685	0,0685
4	1	1,3959	0,0685	0,0685

Yapı modellerinin modal kütle katılım oranları ve hakim periyot (birinci) değerleri Sap2000 programından okunarak aşağıdaki tablo elde edilmiştir. Tablodan görüleceği üzere yapıdaki burulma düzensizliği arttığında birinci moda ait kütle katılım oranı düşmektedir.

Çizelge 5.2 Yapı modellerine ait ek eksantrisite değerleri

Model No	Max η_{bx}	Max η_{by}	D_i	$D_i \cdot e_x$	$D_i \cdot e_y$
Model 1	1,2756	1	1,13	0,0565	0,0565
Model 2	1	1,4051	1,37	0,0685	0,0685
Model 3	1,3679	1	1,298	0,0649	0,0649
Model 4	1,3148	1	1,2	0,06	0,06
Model 5	1,5212	1	1,606	0,0803	0,0803
Model 6	1	1,3556	1,276	0,0638	0,0638
Model 7	1,7785	1	2,196	0,1098	0,1098
Model 8	1	1	1	0,05	0,05
Model 9	1	1,3965	1,354	0,0677	0,0677
Model 10	1	1,3547	1,274	0,0637	0,0637
Model 11	1	1,3019	1,176	0,0588	0,0588
Model 12	1,5807	1,13	1,446	0,0723	0,0723

Çizelge 5.3 Yapı modellerine ait modal kütle katılımları ve mod periyotları

Model No	Max η_{bx}	Max η_{by}	Modal Kütle Katılım Oranı (X)	Modal Kütle Katılım Oranı (Y)	Hakim Mod Periyodu
Model 1	1,2756	1	0,7488	0	0,45317
Model 2	1	1,4051	0	0,6678	0,47203
Model 3	1,3679	1	0,7245	0	0,45600
Model 4	1,3148	1	0,7397	0	0,45359
Model 5	1,5212	1	0,6837	0	0,45472
Model 6	1	1,3556	0	0,6922	0,45747
Model 7	1,7785	1	0,6834	0	0,23099
Model 8	1	1	0,9333	0	0,21720
Model 9	1	1,3965	0	0,6745	0,47905
Model 10	1	1,3547	0	0,6896	0,45732
Model 11	1	1,3019	0	0,8798	0,18348
Model 12	1,5807	1	0,6661	0	0,46303

5.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi

Bu çalışmada 4 katlı 12 adet binada belirtilen koşulları sağlayacak şekilde zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Binalarda zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak deprem performanslarının değerlendirilmesi için 7 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Yönetmeliğimizde belirtildiği üzere 7 adet yer hareketi kullanıldığı için sonuçların ortalaması dikkate alınmıştır.

Bu bölümde ilk olarak, hesapta kullanılacak deprem kayıtlarının yönetmelik şartlarına uygunluğu denetlenmiştir. Seçilen 7 adet deprem ivme kayıtları DBYBHY 2007 nin ilgili şartlarına göre benzeştirilmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda zaman tanım alanında dinamik analiz ve pushover-kapasite eğrisinin aynı grafikte çizilmesiyle sonuçlar görsel açıdan daha belirgin hale gelmiştir. Bu nedenle aynı format kullanılmıştır. Deprem kayıtlarına göre elde edilen taban kesme kuvveti, performans noktası ve tepe noktası yerdeğiştirmeleri statik itme analizi yönteminden elde edilen kapasite eğrisi ile karşılaştırılmıştır (DBYBHY, 2007).

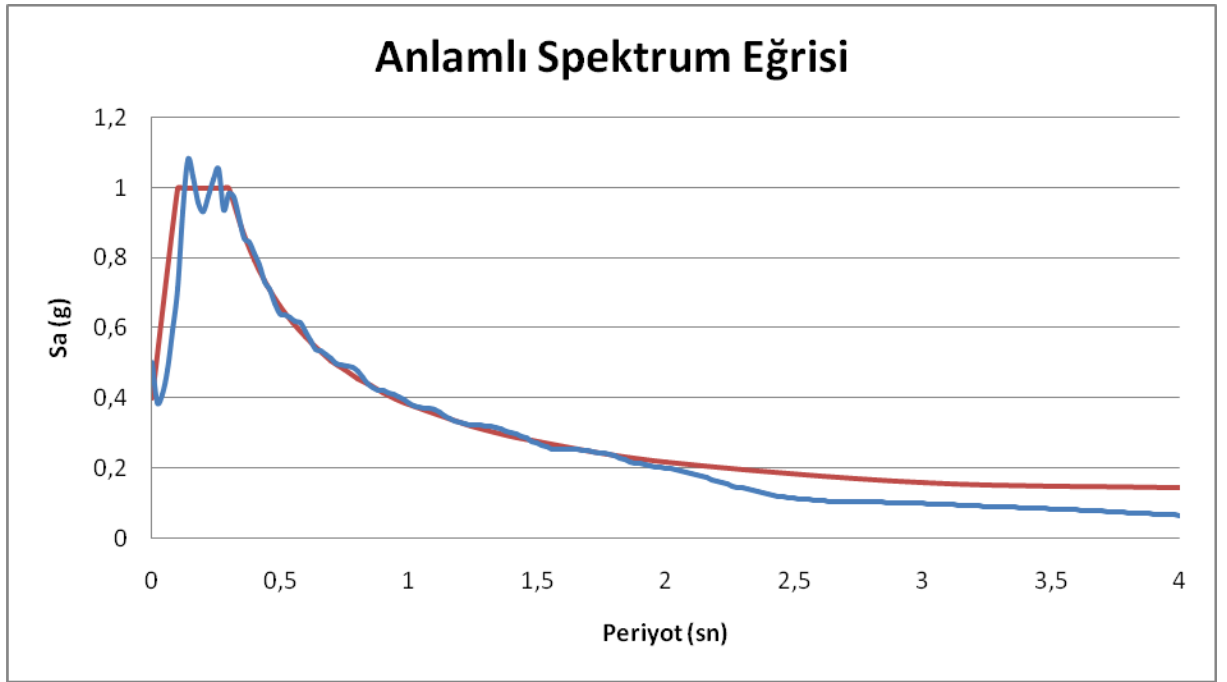
5.5.1. Analizde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi

Analizde kullanılacak, 7 adet depremin, ivme kayıtlarının uyması gereken koşullar DBYBHY 2007 nin 2.9.1 bölümünde belirlenmiştir. Bu koşullar aşağıda verilmiştir.

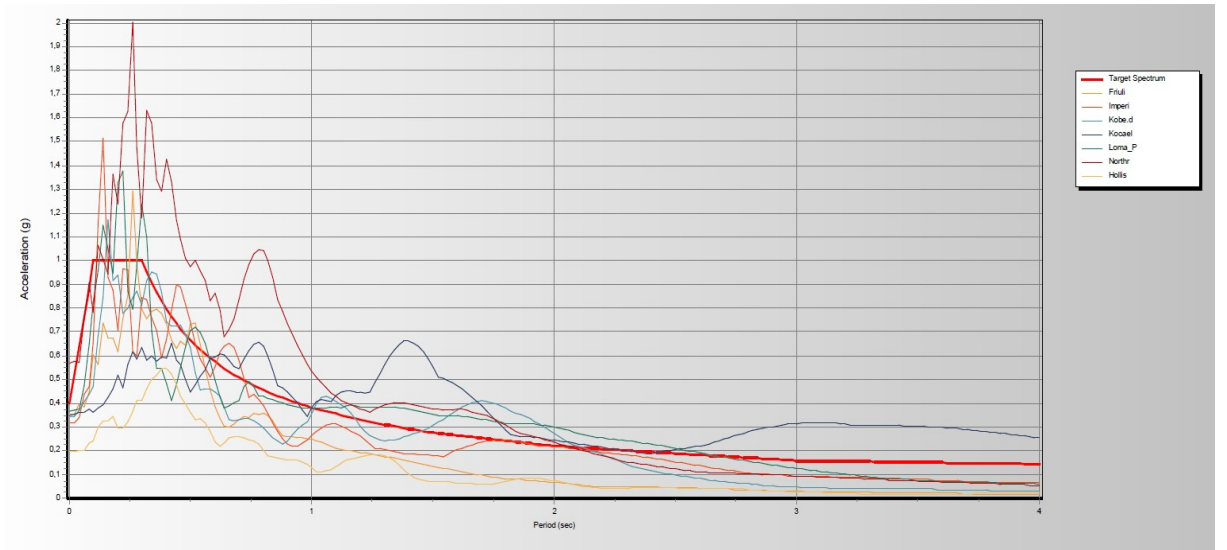
- 1- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.
- 2- Deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} den daha küçük olmamalıdır.
- 3- Her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tasarım için DBYBHY 2007 2. bölümde tanımlanan spektrumun $S_{ae}(t)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmamalıdır.

Zaman tanım alanında hesap yönteminde kullanılacak olan 7 adet yer hareketi, 1989 yılında meydana gelen Hollister depremi, 1995 yılında meydana gelen Kobe depremi, 1999 yılında meydana gelen Kocaeli depremi, 1994 yılında meydana gelen Northridge depremi, 1976 yılında meydana gelen Friuli depremi, 1989 yılında meydana gelen Loma Prieta depremi ve 1979 yılında meydana gelen Imperial Valley depremi dikkate alınarak Seismomatch programı yardımıyla 1.derece deprem bölgesi ve Z1 zemin sınıfına ait elastik tasarım ivme spektrumuna göre benzeştirilmiştir. Programda hazır bulunan deprem kayıtları Avrupa Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı'ndan (The European Strong-Motion Database) elde edilmiştir (ESD, 2008). Bu depremlere ait anlamlı(ortalama) ivme Spektrumu şekil ... gösterilmiştir. Şekil 5.31 de ise depremlere ait sözde ivme spektrumları, elastik ivme spektrumu ile karşılaştırılmıştır.

Seismomatch yazılımı deprem akselogramlarını ayarlayarak özel bir spektrum eğrisine göre benzeştiren bir uygulamadır. Benzeştirme işlemi Abrahamson ve Hancock vd. tarafından önerilen dalgacık algoritmasına göre işlem yapmaktadır. (Seismosoft, 2015)



Şekil 5.31 Çalışmada kullanılan 7 deprem kaydına ait anlamlı(ortalama) ivme Spektrumu



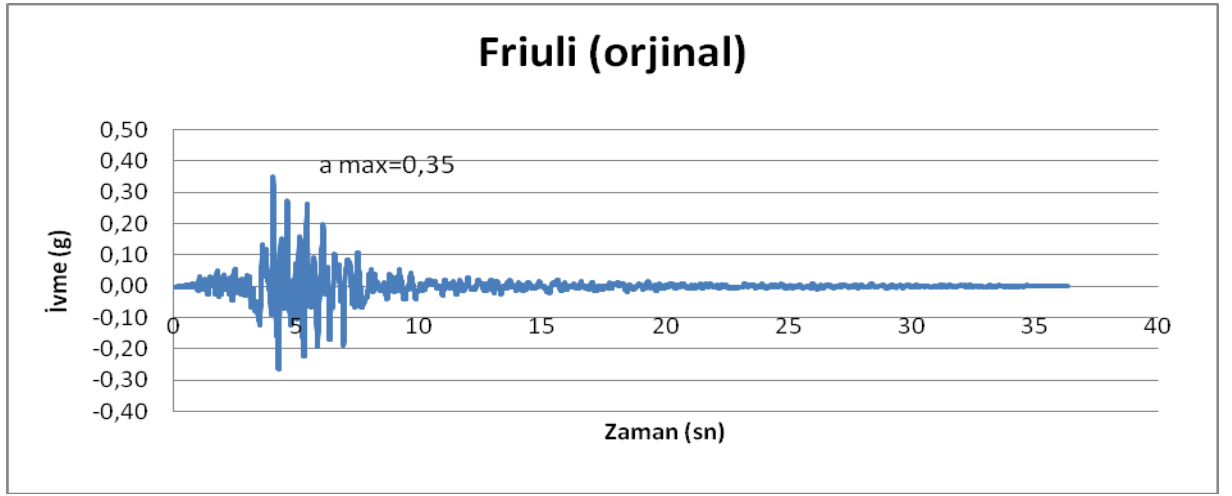
Şekil 5.32 Analizde kullanılan deprem kayıtlarına ait sözde ivme spektrumları

Zaman tanım alanında analiz yönteminde kullanılan benzeştirilmiş ivme kayıtlarının ve spektrum eğrilerinin sağlaması gereken üç şart irdelenmiş ve sonuçta benzeştirilen yeni ivme kayıtlarının analizlerde kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır.

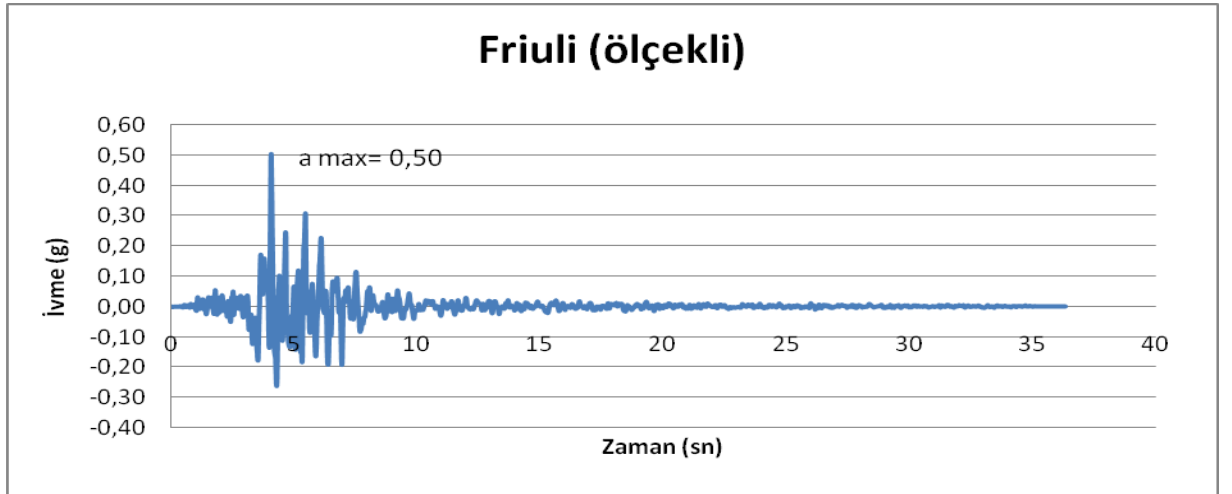
- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır. İvme diyagramlarından da görüleceği üzere analizde kullanılan deprem kayıtları 35-40 saniye uzunluğundadır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og} 'den daha küçük olmayacaktır. Anlamlı (ortalama) spektrum

eğrisinden görülebileceği gibi bu koşulda sağlanmaktadır. Başlangıç ivme değeri 0,4 g üstü bir değerden başlayıp artmaktadır.

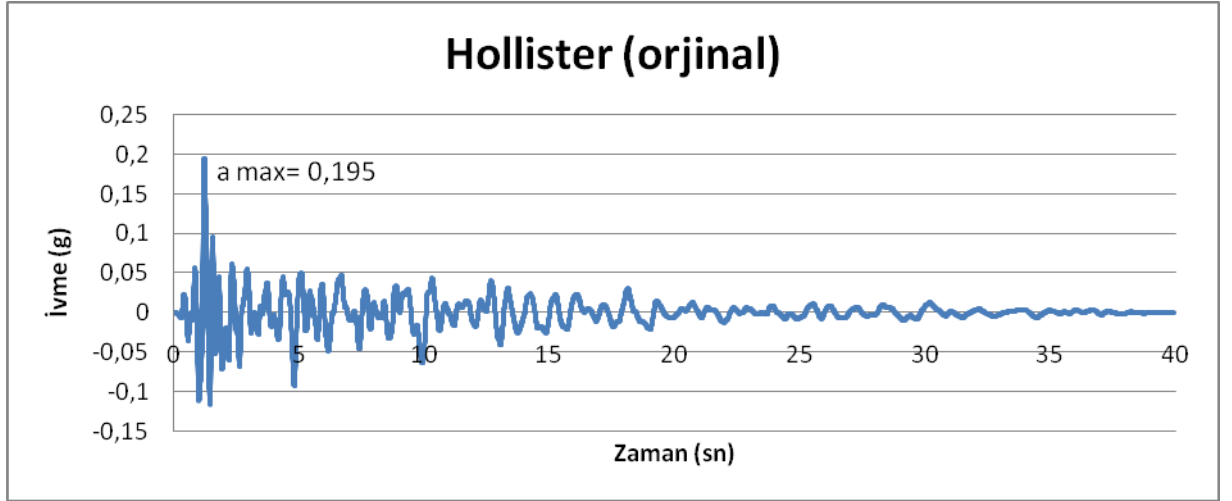
- Üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Bu aralıkta depremlere ait ortalama spektrum eğrisinin, elastik spektral ivme diyagramına %90 dan daha fazla benzediği şekil 5.31'deki diyagramdan anlaşılmaktadır.



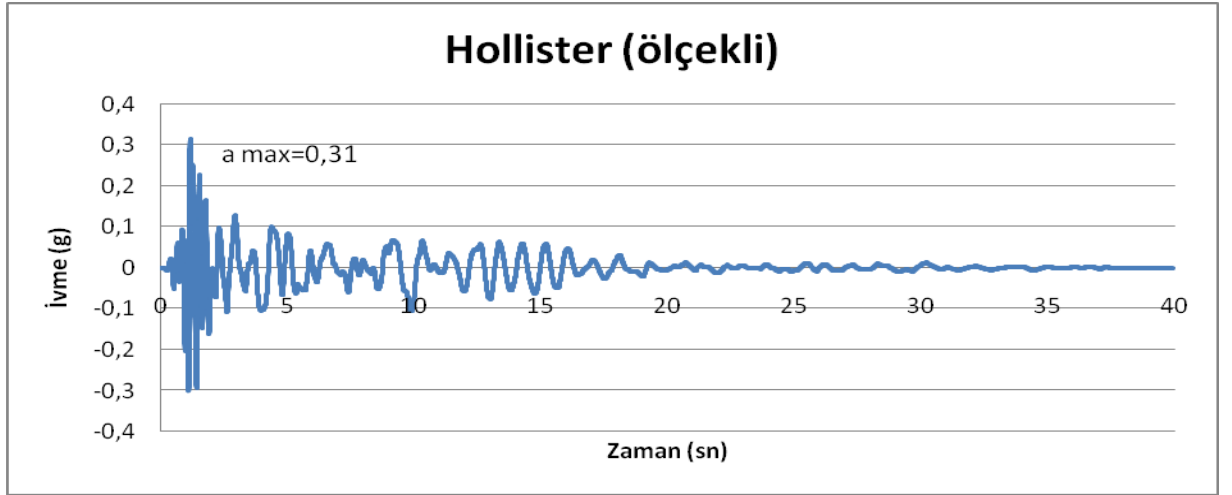
Şekil 5.33 Friuli Depremi ivme orjinal ivme kaydı (a_{max}=0,35 g)



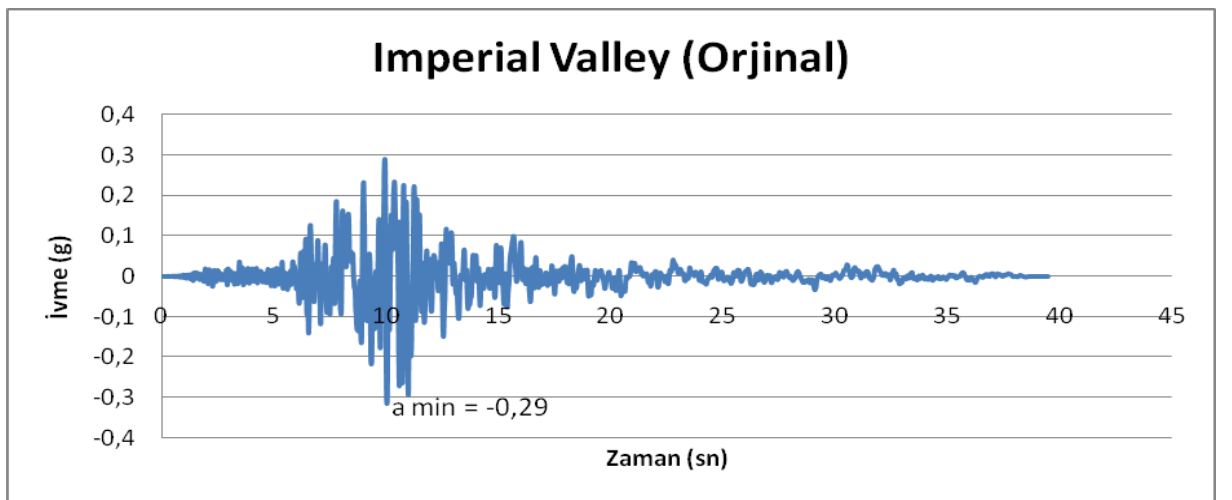
Şekil 5.34 Friuli Depremi benzeştirilmiş ivme kaydı (a_{max}=0,50 g)



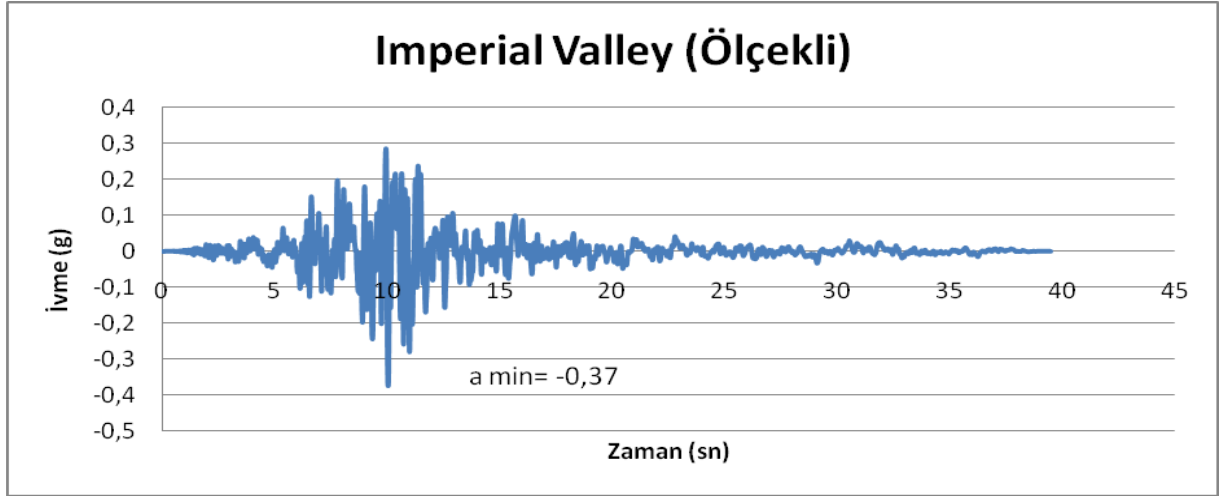
Şekil 5.36 Hollister Depremi orjinal ivme kaydı ($a_{\max}=0,195$ g)



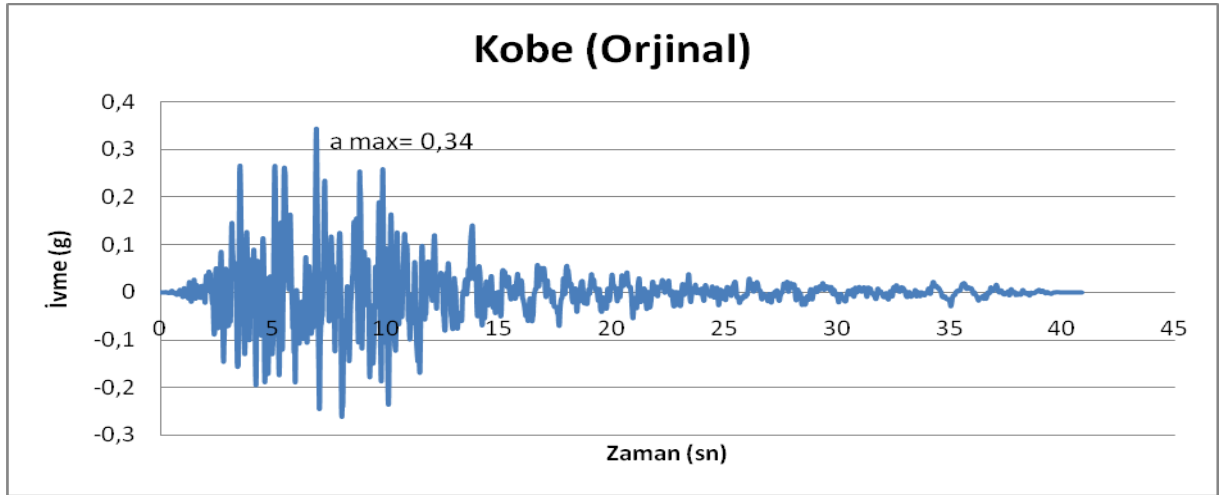
Şekil 5.37 Hollister Depremi benzeştirilmiş ivme kaydı ($a_{\max}=0,31$ g)



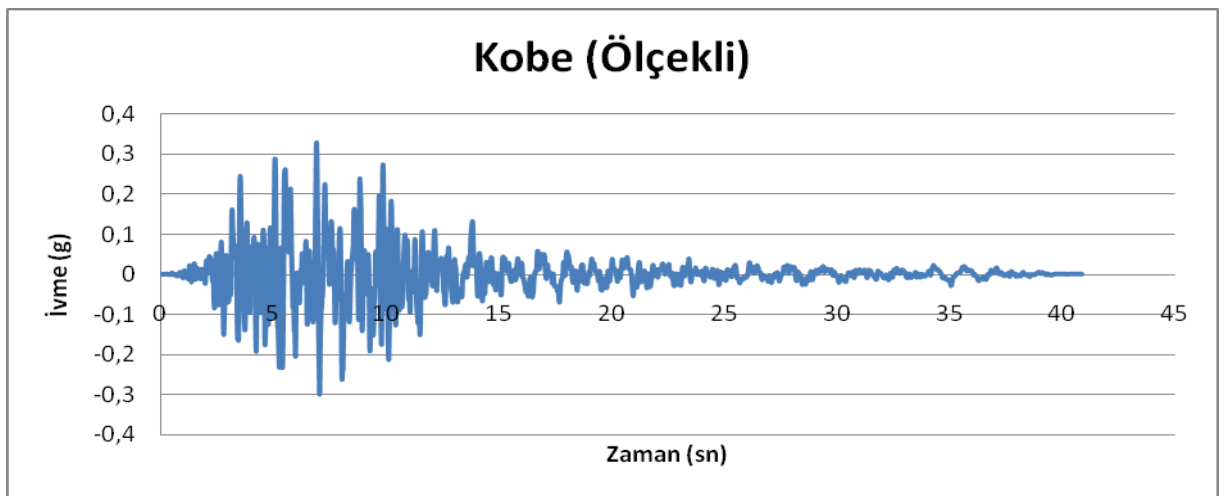
Şekil 5.38 Imperial Valley Depremi orjinal ivme kaydı ($a_{\min}=-0,29$ g)



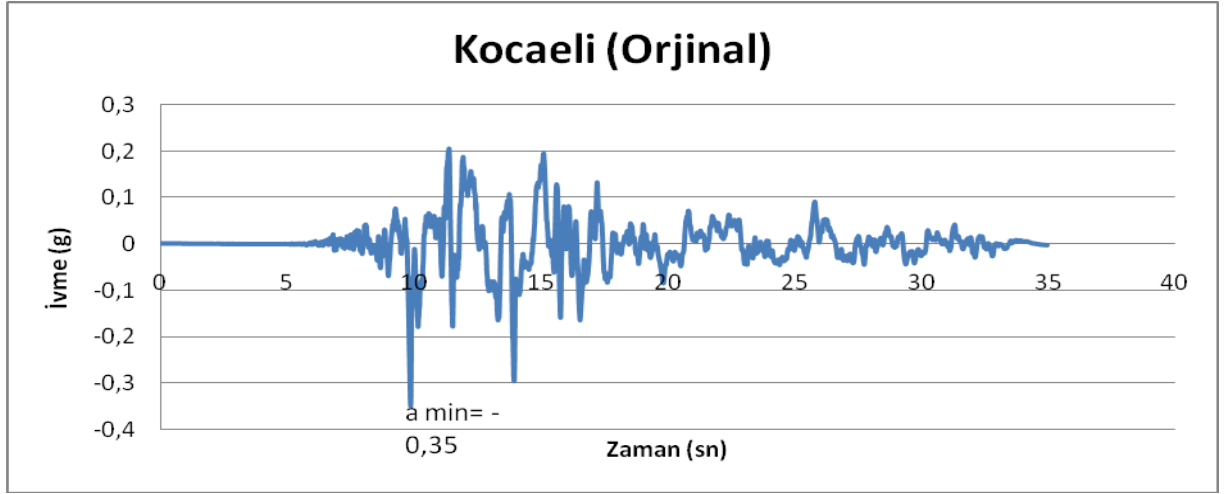
Şekil 5.39 Imperial Valley Depremi benzeştirilmiş ivme kaydı ($a_{\max}=-0,37$ g)



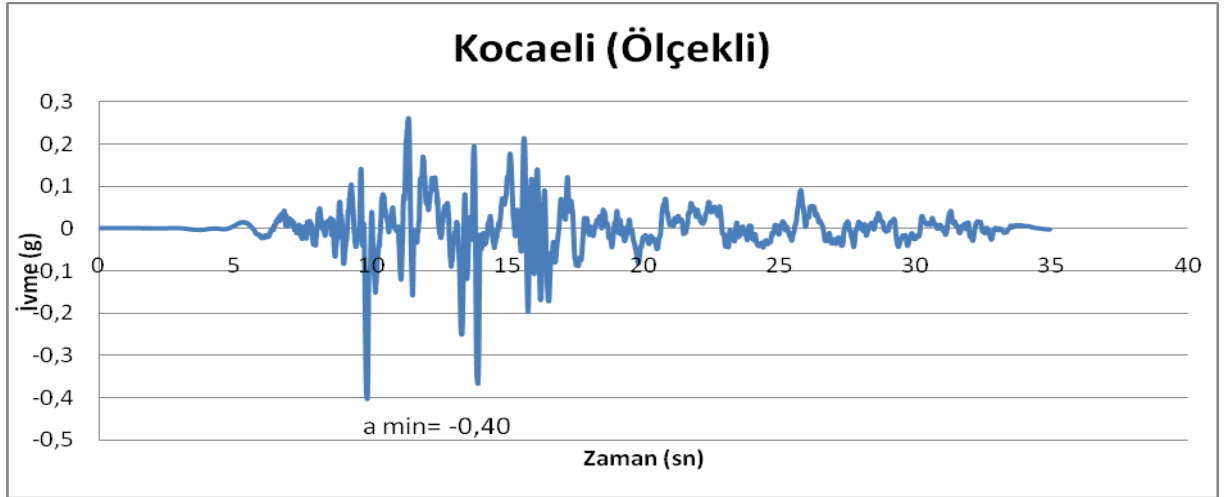
Şekil 5.40 Kobe Depremi orjinal ivme kaydı ($a_{\max}=0,34$ g)



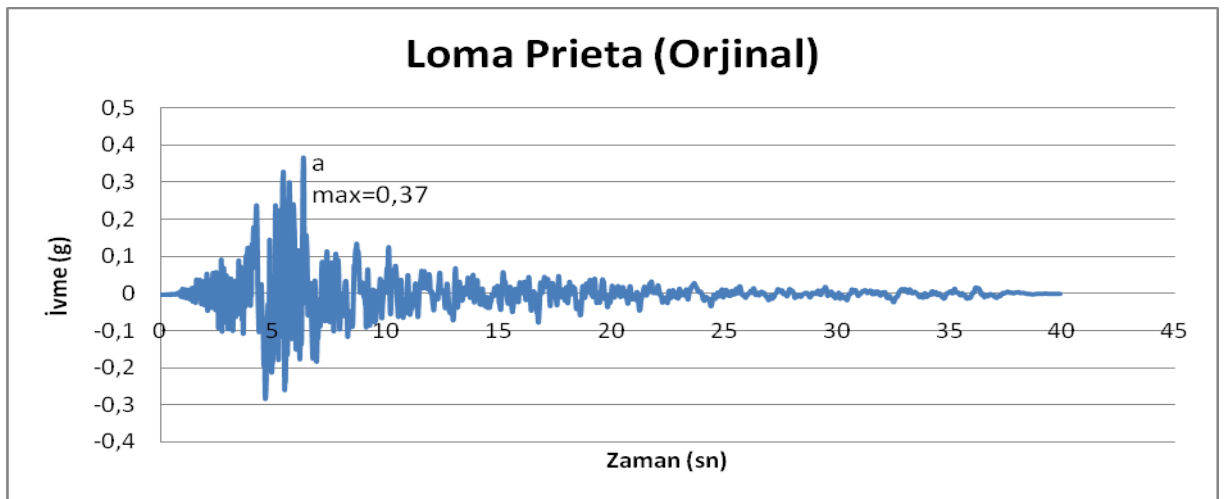
Şekil 5.41 Kobe Depremi benzeştirilmiş ivme kaydı ($a_{\max}=0,33$ g)



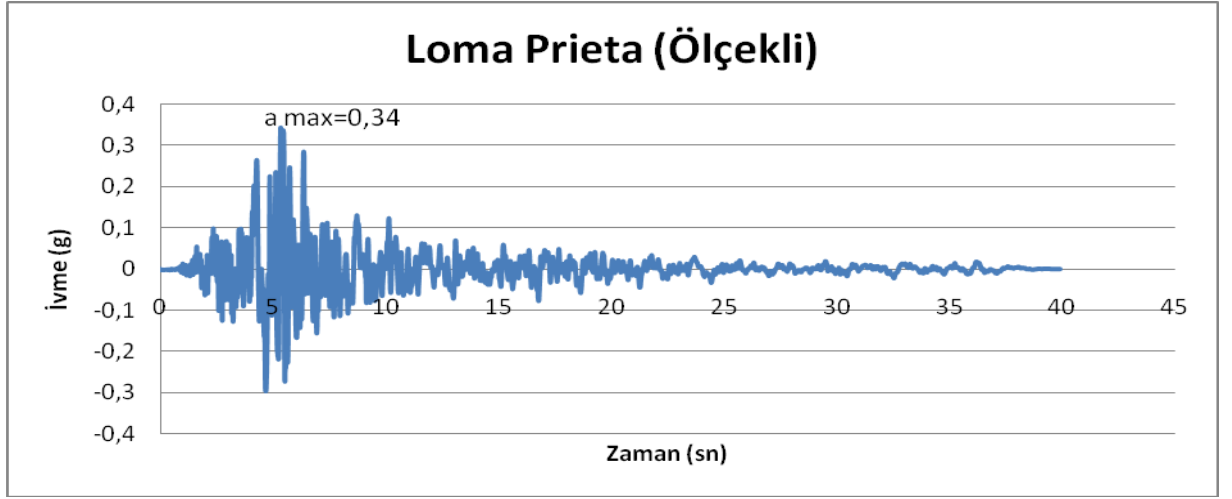
Şekil 5.42 Kocaeli Depremi orjinal ivme kaydı ($a_{\min}=-0,35$ g)



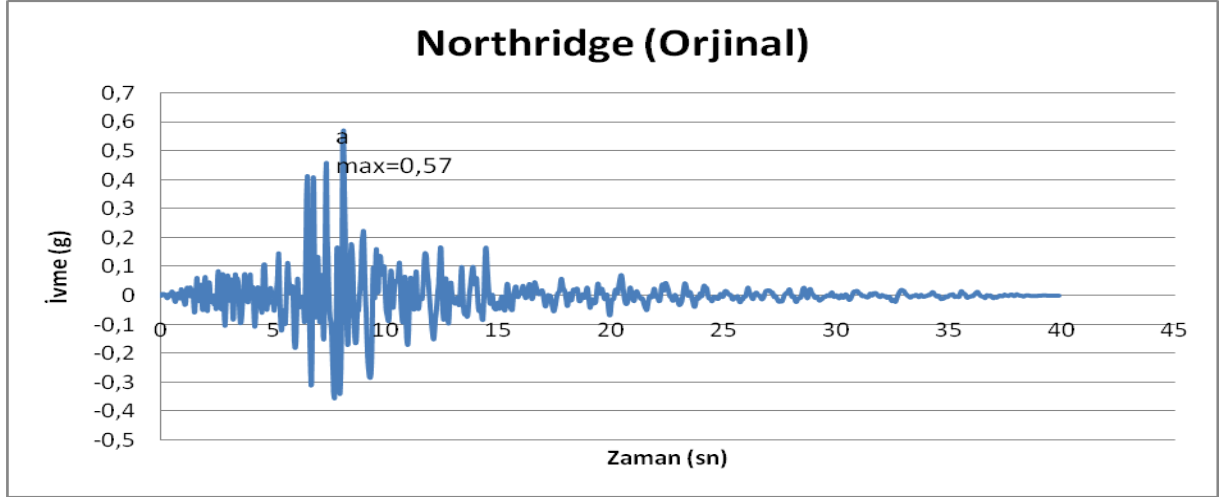
Şekil 5.43 Kocaeli Depremi benzeştirilmiş ivme kaydı ($a_{\max}=-0,40$ g)



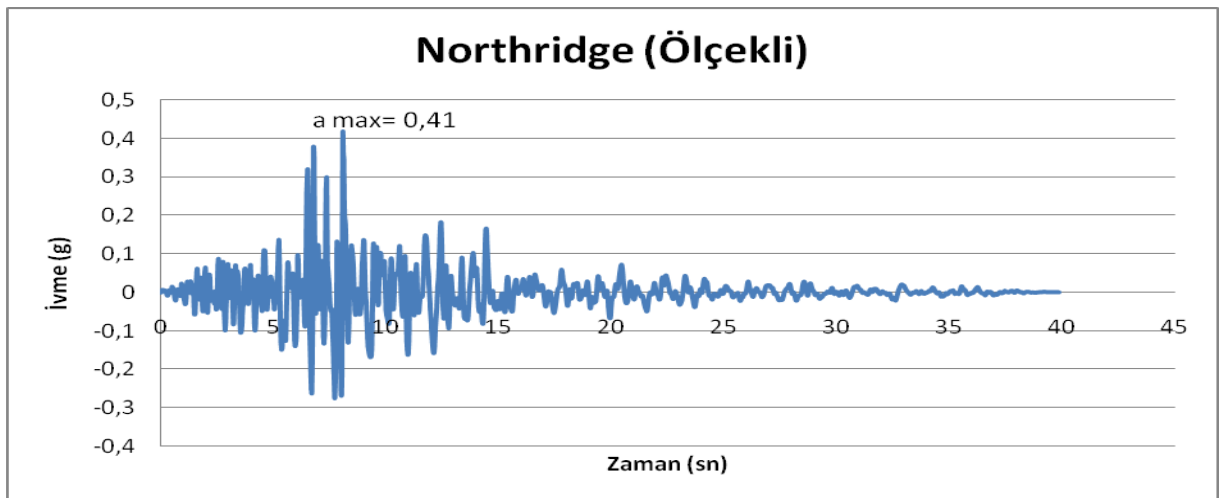
Şekil 5.44 Loma Prieta Depremi orjinal ivme kaydı ($a_{\max}=0,37$ g)



Şekil 5.45 Loma Prieta Depremi benzeştirilmiş ivme kaydı ($a_{\max}=0,34$ g)



Şekil 5.46 Northridge Depremi orjinal ivme kaydı ($a_{\max}=0,57$ g)

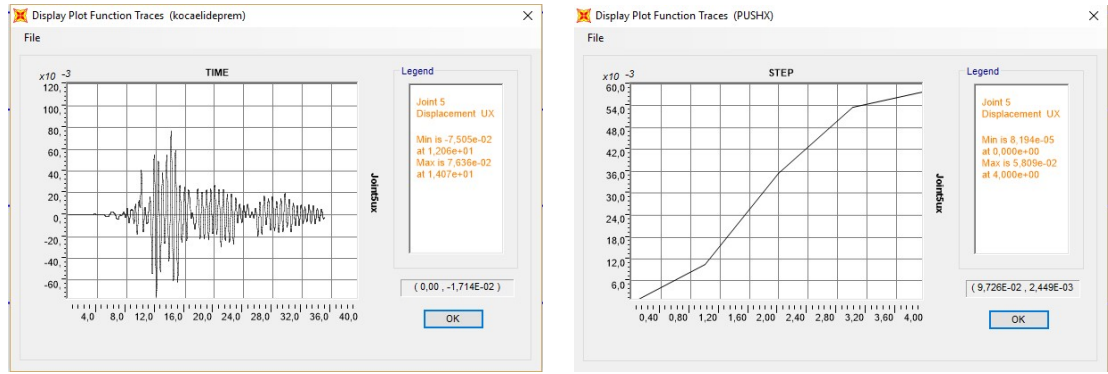


Şekil 5.47 Northridge Depremi benzeştirilmiş ivme kaydı ($a_{\max}=0,41$ g)

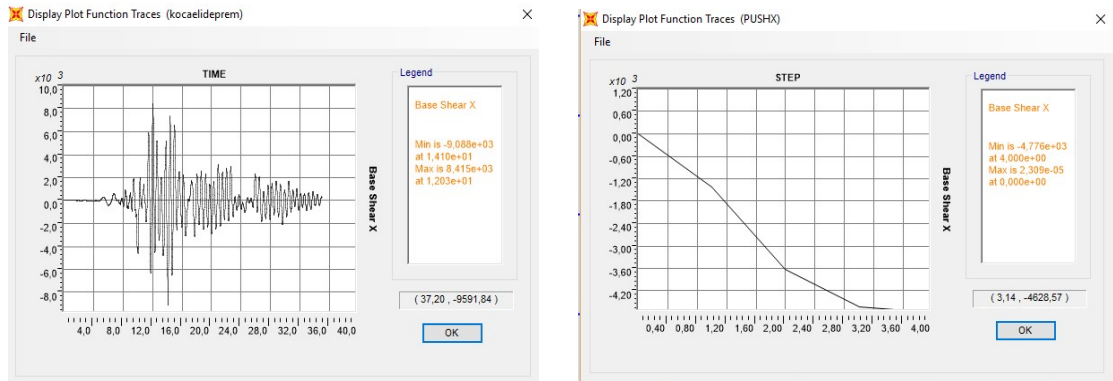
5.6. Statik İtme Analizi ile Zaman Tanım Alanında Analiz Verilerinin Karşılaştırılması

Yapı modellerinde statik itme analizleri ve deprem hareketlerinde oluşan taban kesme kuvvetleri ve deplasman değerlerini bulmak için, yapı modellerinin hepsinde aynı baz alınan bir köşe kolonun kat seviyelerindeki düğüm noktalarında meydana gelen kesme kuvveti ve deplasman değerleri her yön ve her yer hareketi için ayrı ayrı okunur. (Şekil 5.48-49.) Elde edilen deplasman değerleri için maksimum ve minimum değerlerin mutlak değerce en büyük olanları alınarak kat yüksekliği 3.00 metre değerine bölünür. Böylece statik itme analizine ve deprem hareketlerine göre oluşan göreceli kat ötelenmelerinin maksimum değerlerine ait diyagramlar çizilmiştir.

Deprem hareketlerinden elde edilen maksimum deplasman talebi ve kesme kuvvetlerine göre elde edilen noktasal veriler ve tüm deprem hareketlerine göre elde edilen ortalama değerler statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrileriyle karşılaştırılarak kıyaslanabilir hale getirilmiştir.

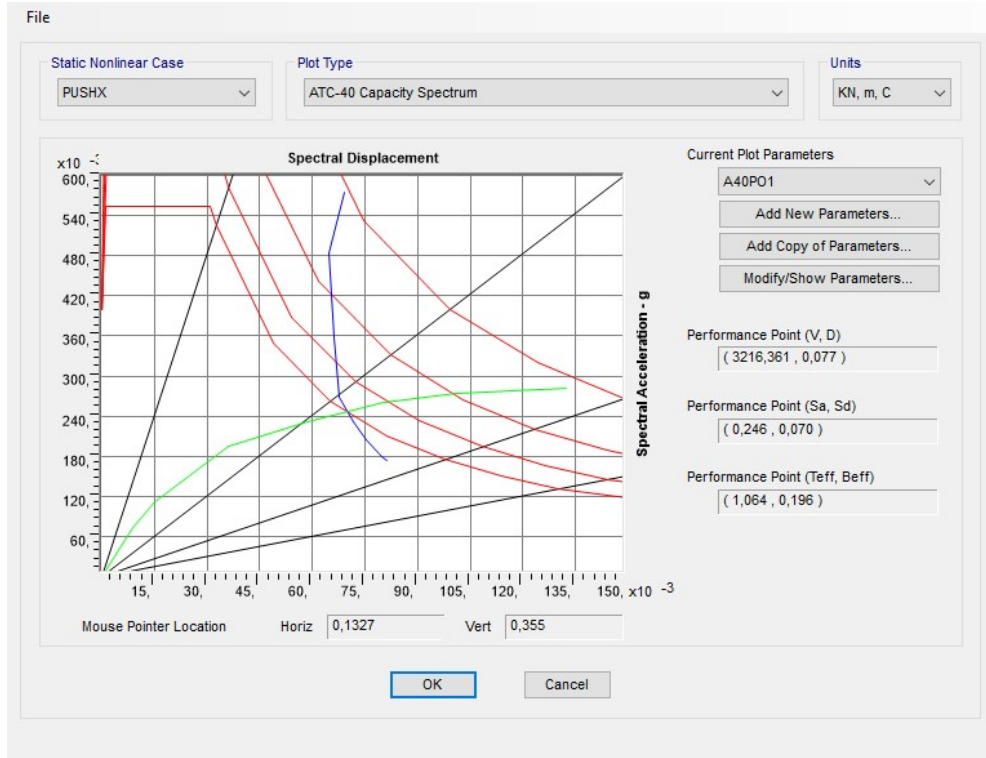


Şekil 5.48 Düğüm Noktalarındaki Maksimum Deplasmanların Okunması



Şekil 5.49 Düğüm Noktalarındaki Maksimum Kesme Kuvvetlerinin Okunması

Statik itme analizinde spektrum eğrisi olarak Z1 zemin sınıfı ve 1. deprem bölgesine göre spektrum eğrisi tanımlanmış ve ATC40 Kapasite Spektrum Analizi Yöntemine göre Performans noktası değerleri elde edilmiştir. Örnek olarak perde duvarsız betonarme çerçeve modelin ($\eta_{b,x,y} = 1$) analiz sonunda elde edilen performans verileri X ve Y yönünde ayrı ayrı aşağıda verilmiştir. (Şekil 5.50-59)



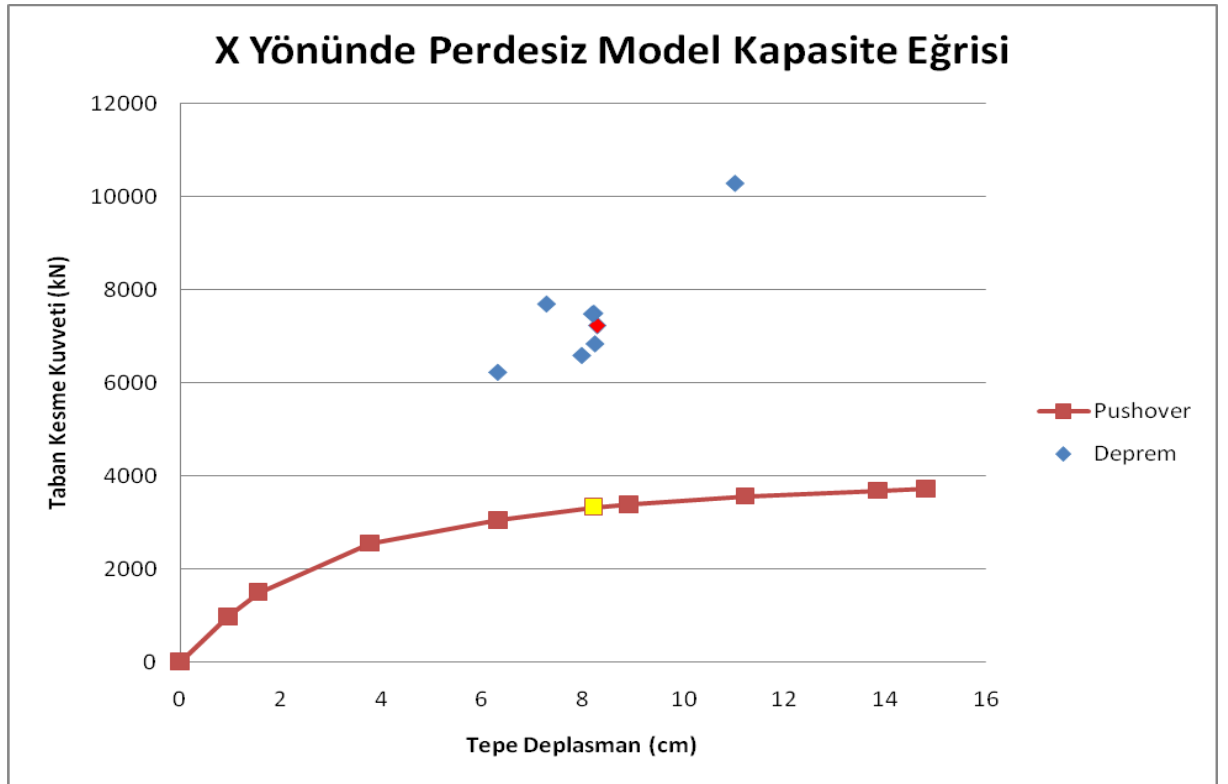
Şekil 5.50 X yönünde analiz sonucu performans noktasının bulunması

Çizelge 5.4 X yönünde analiz sonucu elde edilen kat deplasmanlarının dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması

X Yönünde Maksimum Kat Deplasmanları (cm)									
Kat Sayısı	Pushover	Hollister	Kocaeli	Loma	Friuli	Imperial	Kobe	Northridge	Ortalama
4	14,83	11,03	6,314	8,226	7,983	8,247	7,283	8,276	8,194
3	12,81	9,597	5,539	7,064	6,783	7,083	6,452	6,993	7,073
2	8,575	6,79	3,976	4,916	4,626	4,885	4,771	4,737	4,957
1	3,296	3,024	1,801	2,184	1,979	2,07	2,218	2,122	2,200
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000

Çizelge 5.5 X yönünde analiz sonucu elde edilen adımlar ve mafsall durumlarını gösteren çizelge

Perdesiz Çerçeve Model X Yönü Pushover Sonuçları												
Yükleme	Adım	Deplasman	T. K. K. (V)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
		cm	KN									
PUSHX	0	8,703E-17	0	1040	0	0	0	0	0	0	0	1040
PUSHX	1	0,9562	972,712	1038	2	0	0	0	0	0	0	1040
PUSHX	2	1,5587	1495,594	960	80	0	0	0	0	0	0	1040
PUSHX	3	3,7761	2552,685	861	117	62	0	0	0	0	0	1040
PUSHX	4	6,3235	3041,781	826	70	144	0	0	0	0	0	1040
PUSHX	P.N.	7,7	3216,361									1040
PUSHX	5	8,9241	3377,557	752	88	200	0	0	0	0	0	1040
PUSHX	6	11,2322	3562,424	715	95	191	39	0	0	0	0	1040
PUSHX	7	13,8688	3680,213	709	57	176	84	0	5	9	0	1040
PUSHX	8	14,829	3721,728	706	51	162	87	0	0	34	0	1040
PUSHX	9	14,824	3716,587	706	51	162	87	0	0	34	0	1040



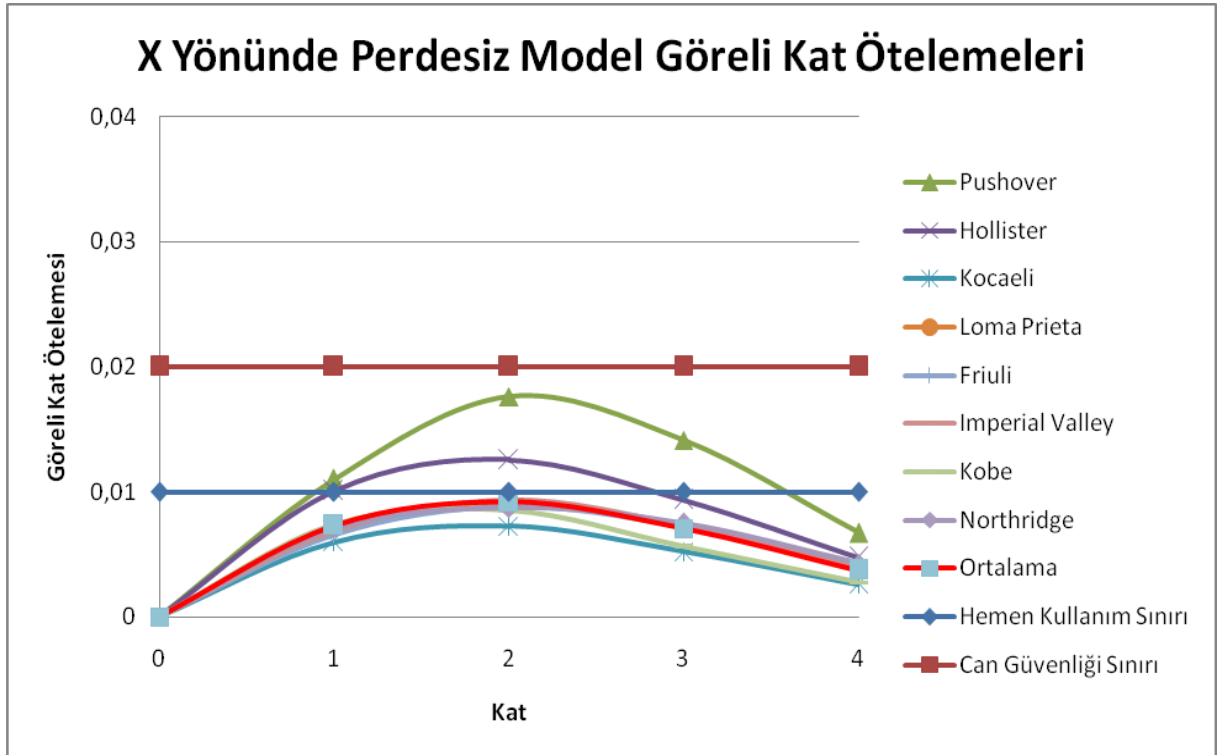
Şekil 5.51 X yönünde statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrisi ve performans noktasının ZTA
Analizden elde edilen deprem talepleriyle karşılaştırılması

Çizelge 5.6 X yönünde analiz sonucu elde edilen görel kat ötelemelerinin dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması

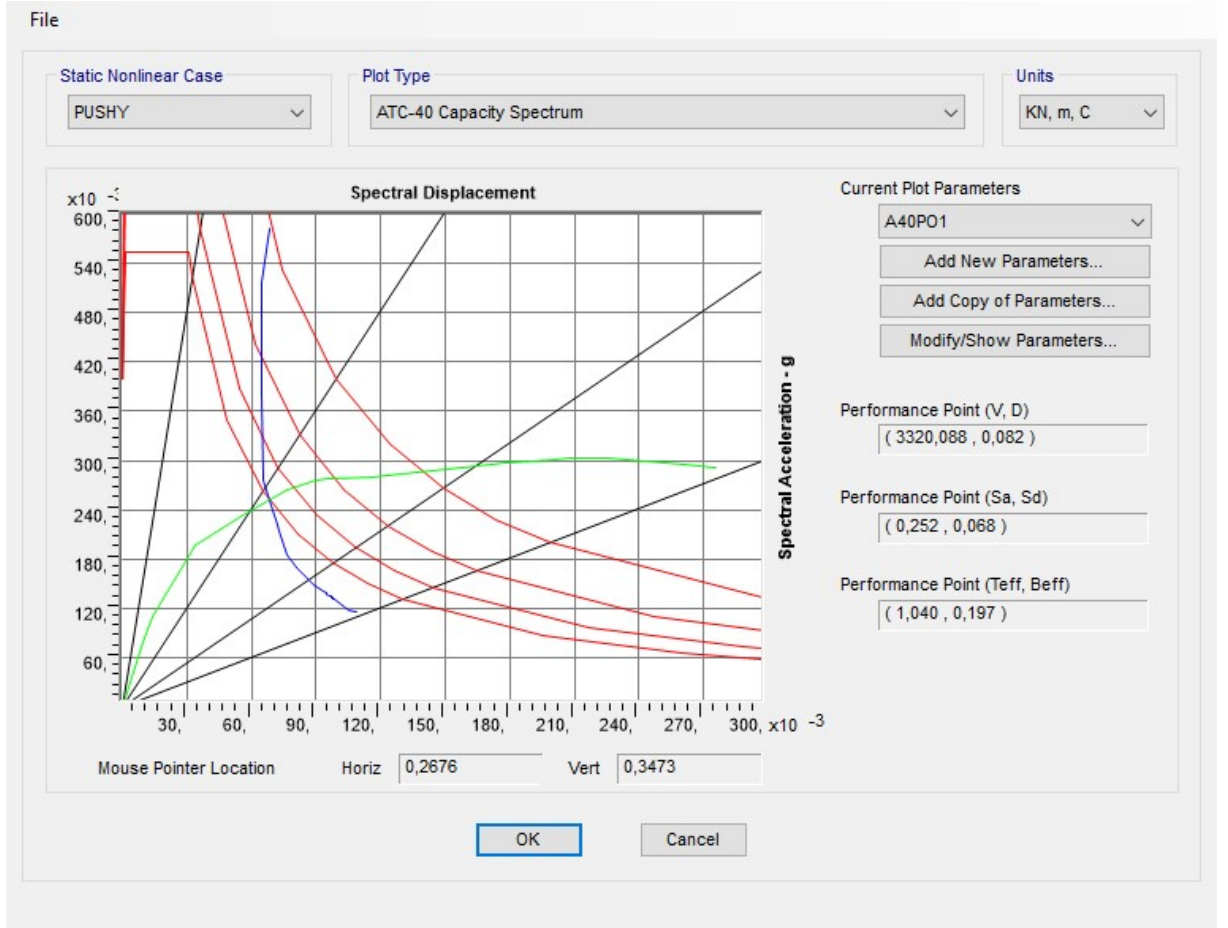
X Yönünde Görel Kat Ötelemeleri									
Kat Sayısı	Pushover	Hollister	Kocaeli	Loma	Friuli	Imperial	Kobe	Northridge	Ortalama
4	0,006733	0,004777	0,002583	0,003873	0,004	0,00388	0,00277	0,004277	0,003737
3	0,014117	0,009357	0,00521	0,00716	0,00719	0,007327	0,005603	0,00752	0,007052
2	0,017597	0,012553	0,00725	0,009107	0,008823	0,009383	0,00851	0,008717	0,009192
1	0,010987	0,01008	0,006003	0,00728	0,006597	0,0069	0,007393	0,007073	0,007332
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 5.7 ATC40 da yer alangörel kat ötelemeleri performans seviye sınırları

Kat Öteleme Limitleri	Performans Seviyeleri			
	Kullanıma Devam	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Yapısal Stabilité
Maksimum Toplam Ötelenme	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 V_i / P_i$
Maksimum Plastik Ötelenme	0,005	0,005-0,015	Limitsiz	Limitsiz



Şekil 5.52 X yönünde görel kat ötelemesi kontrolü



Şekil 5.53 Y yönünde analiz sonucu performans noktasının bulunması

Çizelge 5.8 Y yönünde analiz sonucu elde edilen kat deplasmanlarının dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması

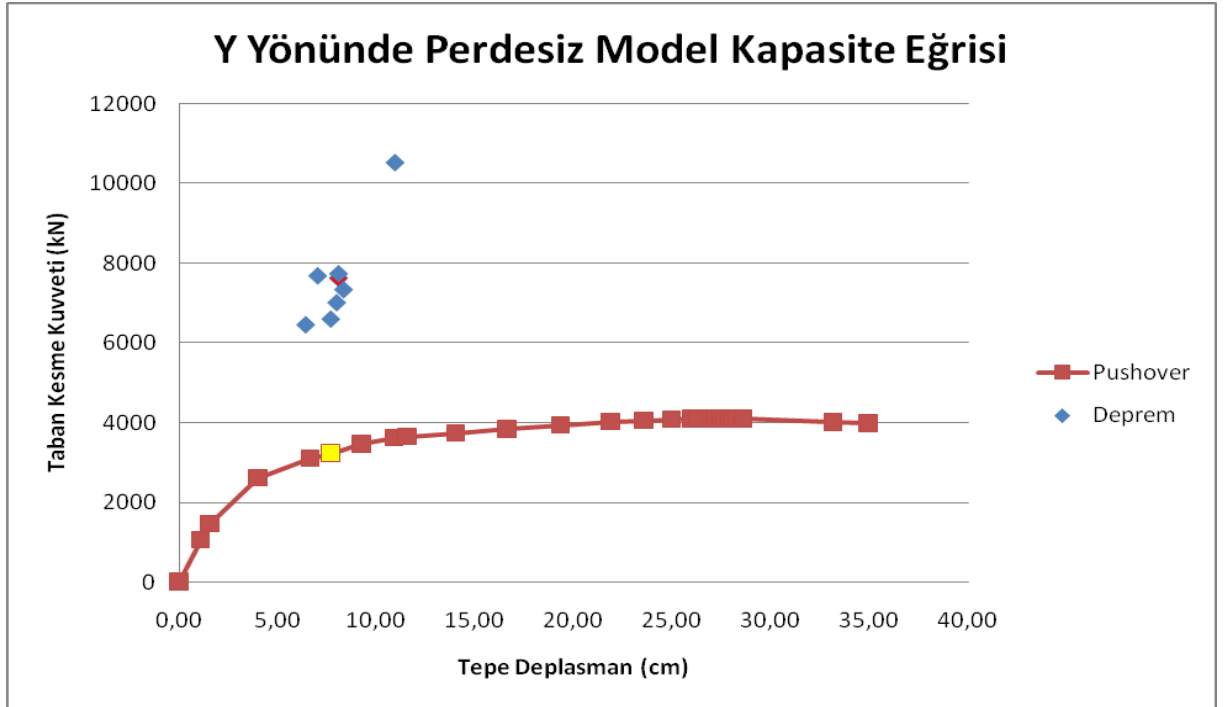
Y Yönünde Maksimum Kat Deplasmanları (cm)									
Kat Sayısı	Pushover	Hollister	Kocaeli	Loma	Friuli	Imperial	Kobe	Northridge	Ortalama
4	34,91	10,95	6,436	8,097	7,707	8,354	7,045	8,004	8,084714
3	29,52	9,54	5,645	6,983	6,562	7,174	6,261	6,784	6,992714
2	20,73	6,768	4,06	4,902	4,488	4,989	4,631	4,608	4,920857
1	9,659	3,034	1,847	2,206	1,94	2,157	2,173	2,024	2,197286
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 5.9 Y yönünde analiz sonucu elde edilen göreceli kat ötelemelerinin dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması

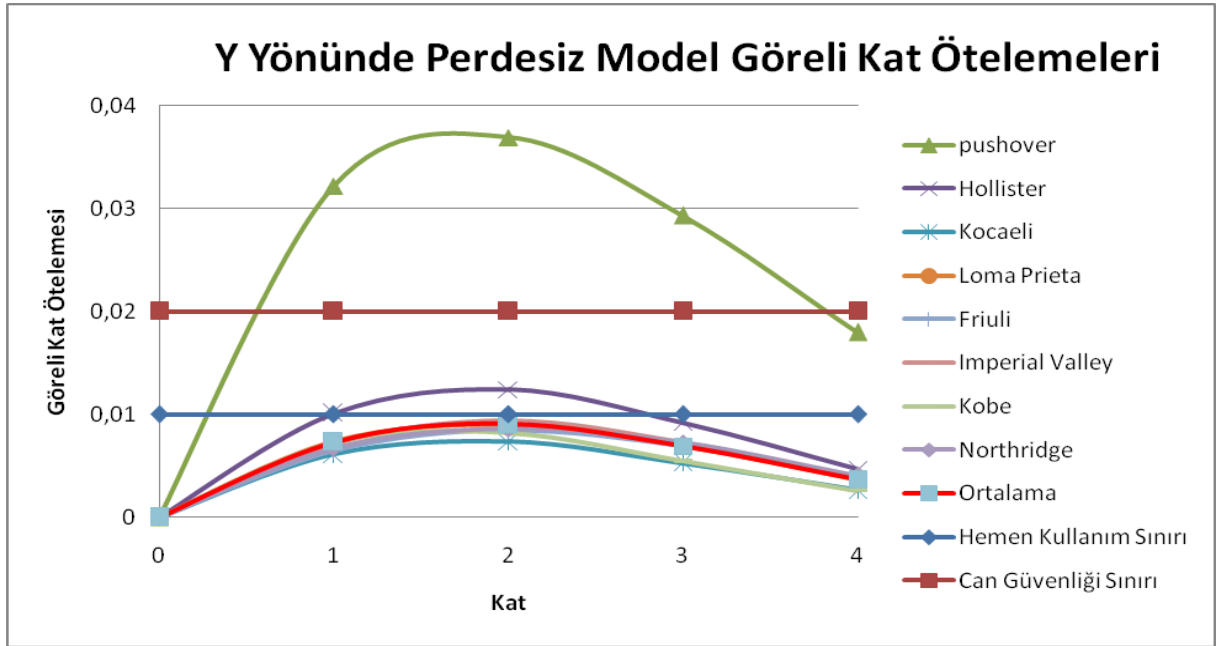
Y Yönünde Göreceli Kat Ötelemeleri									
Kat Sayısı	Pushover	Hollister	Kocaeli	Loma	Friuli	Imperial	Kobe	Northridge	Ortalama
4	0,017967	0,0047	0,002637	0,003713	0,003817	0,003933	0,002613	0,004067	0,00364
3	0,0293	0,00924	0,005283	0,006937	0,006913	0,007283	0,005433	0,007253	0,006906
2	0,036903	0,012447	0,007377	0,008987	0,008493	0,00944	0,008193	0,008613	0,009079
1	0,032197	0,010113	0,006157	0,007353	0,006467	0,00719	0,007243	0,006747	0,007324
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 5.10 Y yönünde analiz sonucu elde edilen adımlar ve mafsal durumlarını gösteren çizelge

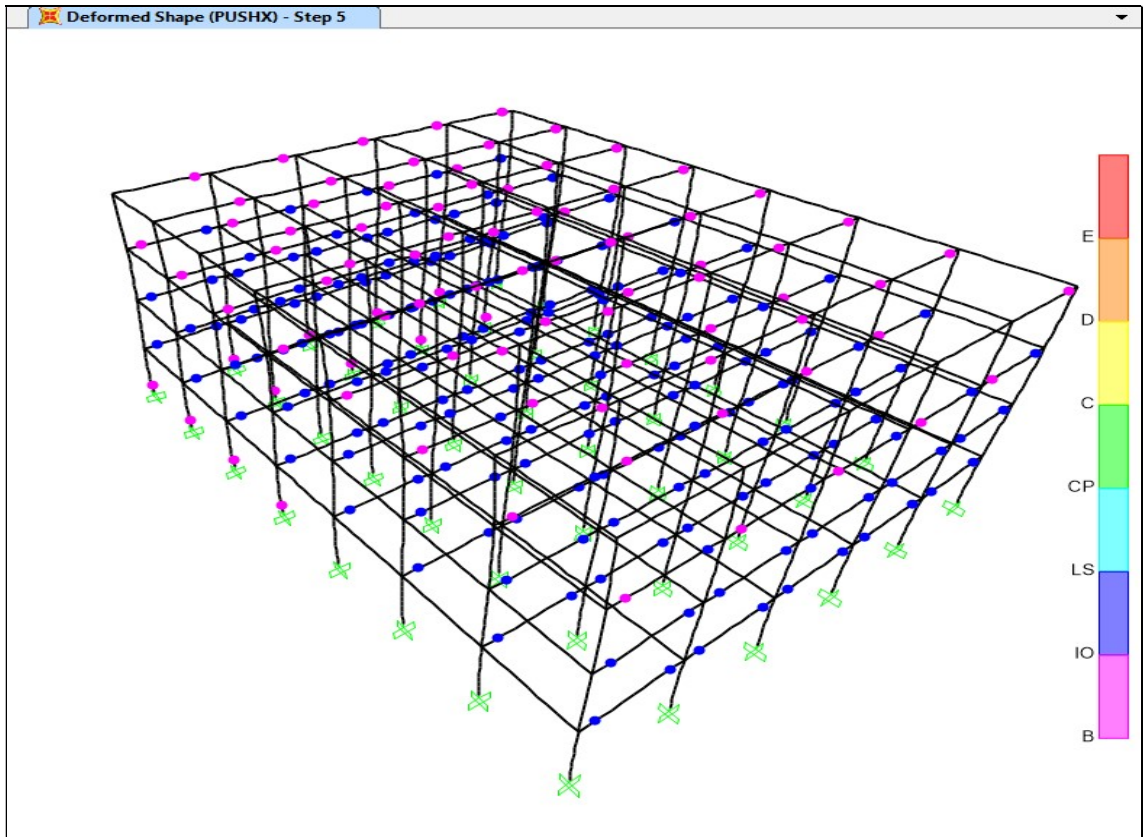
Perdesiz Çerçeve Model Y Yönü Pushover Sonuçları (ATC40-KSY)												
Yükleme	Adım	Deplasman	T. K. K. (V)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
		cm	KN									
PUSHY	0	3E-16	0	1040	0	0	0	0	0	0	0	1040
PUSHY	1	1,0933	1061,27	1038	2	0	0	0	0	0	0	1040
PUSHY	2	1,5881	1465,82	956	84	0	0	0	0	0	0	1040
PUSHY	3	4,013	2617,73	867	106	67	0	0	0	0	0	1040
PUSHY	4	6,647	3108,3	828	98	114	0	0	0	0	0	1040
PUSHY	P.N.	8,2	3320,09									1040
PUSHY	5	9,2567	3465,1	757	73	210	0	0	0	0	0	1040
PUSHY	6	10,9016	3622,52	704	126	209	1	0	0	0	0	1040
PUSHY	7	11,5443	3657,02	698	125	210	7	0	0	0	0	1040
PUSHY	8	14,0134	3736,43	698	76	182	84	0	0	0	0	1040
PUSHY	9	16,6201	3840,87	697	38	151	103	0	9	42	0	1040
PUSHY	10	19,3348	3935,77	692	42	138	74	0	5	89	0	1040
PUSHY	11	21,8595	4021,79	656	42	142	33	0	5	159	3	1040
PUSHY	12	23,5318	4059,64	656	41	131	42	0	2	141	27	1040
PUSHY	13	24,9341	4083,03	656	36	131	47	0	2	99	69	1040
PUSHY	14	25,9457	4094,17	656	21	137	50	0	7	82	87	1040
PUSHY	15	26,247	4095,94	656	6	145	57	0	7	81	88	1040
PUSHY	16	26,9556	4102,5	656	0	115	71	0	16	93	89	1040
PUSHY	17	27,2088	4103,53	656	0	101	75	0	26	90	92	1040
PUSHY	18	27,4703	4104,82	656	0	89	73	0	31	92	99	1040
PUSHY	19	27,4703	4104,82	656	0	89	73	0	25	98	99	1040
PUSHY	20	27,6737	4105,05	656	0	88	61	0	38	94	103	1040
PUSHY	21	27,6737	4105,05	656	0	88	61	0	27	105	103	1040
PUSHY	22	27,8878	4105,13	656	0	87	56	0	33	103	105	1040
PUSHY	23	27,8878	4105,13	656	0	87	56	0	31	105	105	1040
PUSHY	24	28,1025	4104,99	656	0	86	55	0	33	102	108	1040
PUSHY	25	28,266	4104,53	656	0	86	51	0	37	102	108	1040
PUSHY	26	28,5627	4102,7	656	0	84	47	0	43	94	116	1040
PUSHY	27	33,1246	4016,81	656	0	83	40	0	51	42	168	1040
PUSHY	28	34,9093	3978,97	655	1	78	6	0	48	84	168	1040



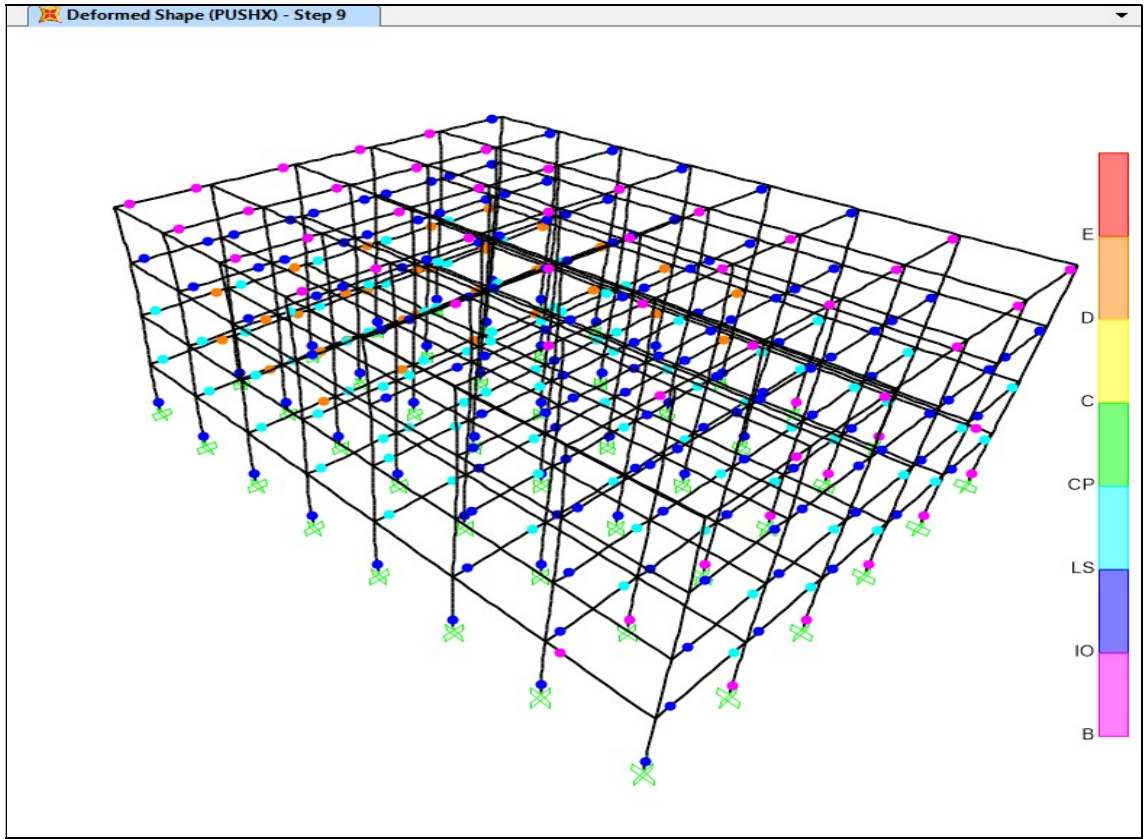
Şekil 5.54 Y yönünde statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrisi ve performans noktasının ZTA Analizden elde edilen deprem talepleriyle karşılaştırılması



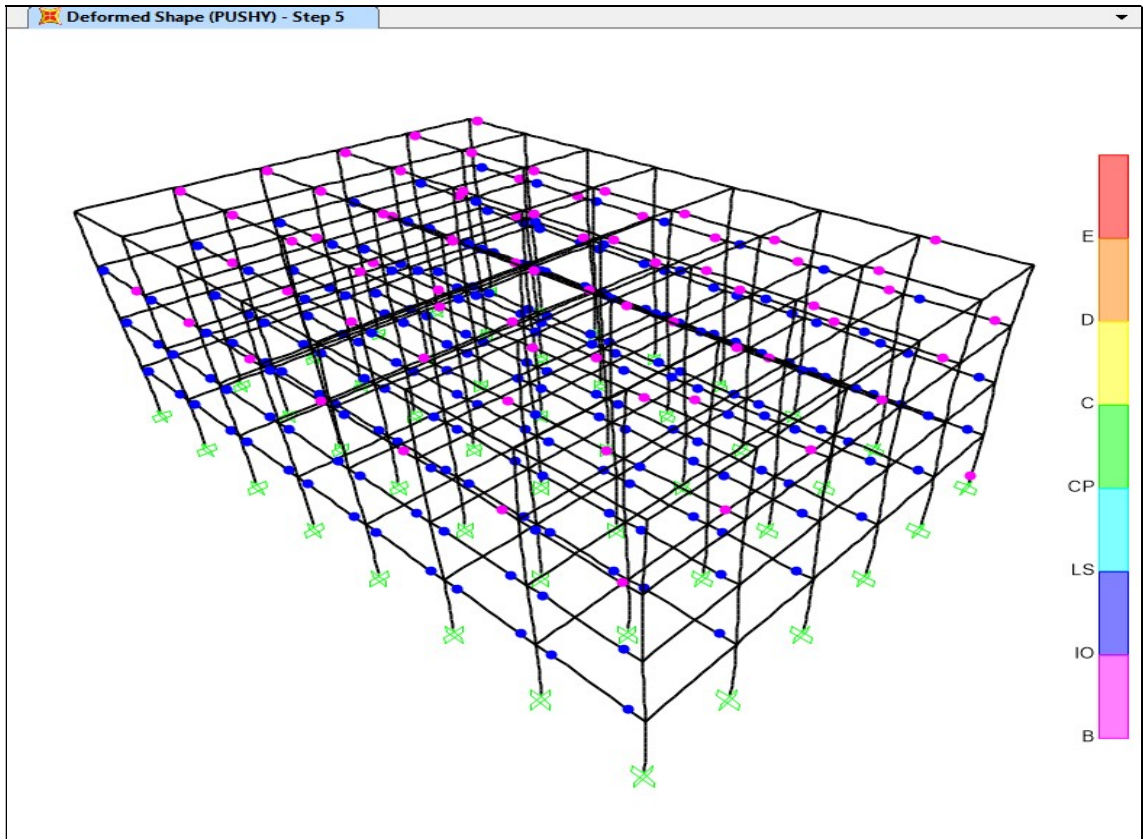
Şekil 5.55 X yönünde görelî kat ötelemesi kontrolü



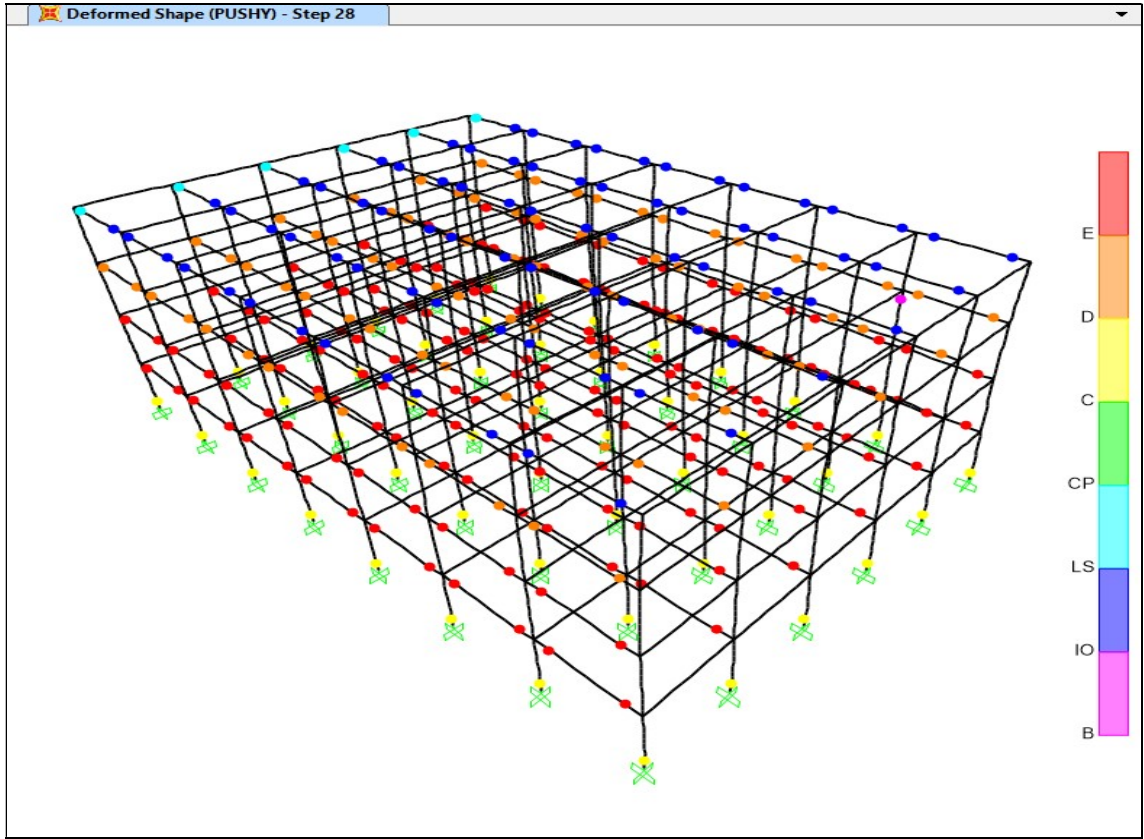
Şekil 5.56 Statik itme analizinde X yönünde performans noktasında plastik mafsallaşma



Şekil 5.57 Statik itme analizinde X yönünde göçme noktasında plastik mafsallaşma



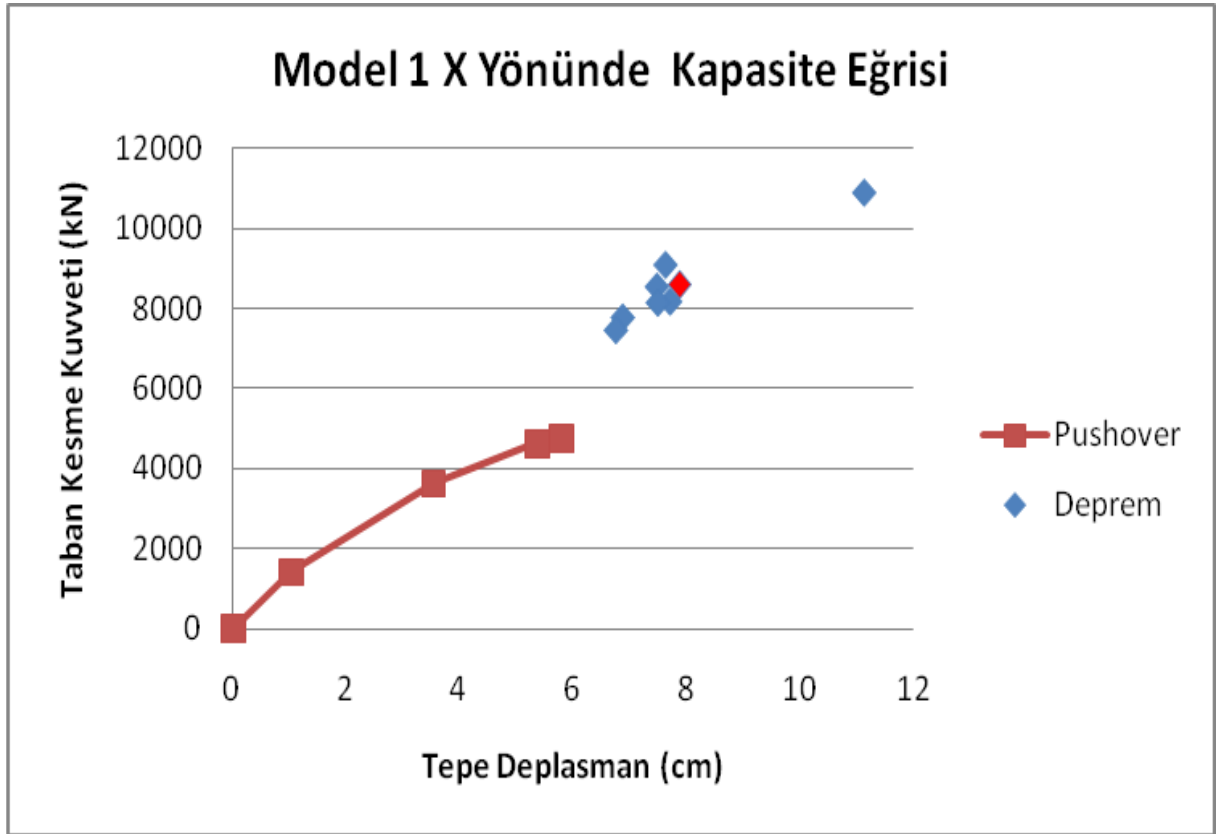
Şekil 5.58 Statik itme analizinde Y yönünde performans noktasında plastik mafsallaşma



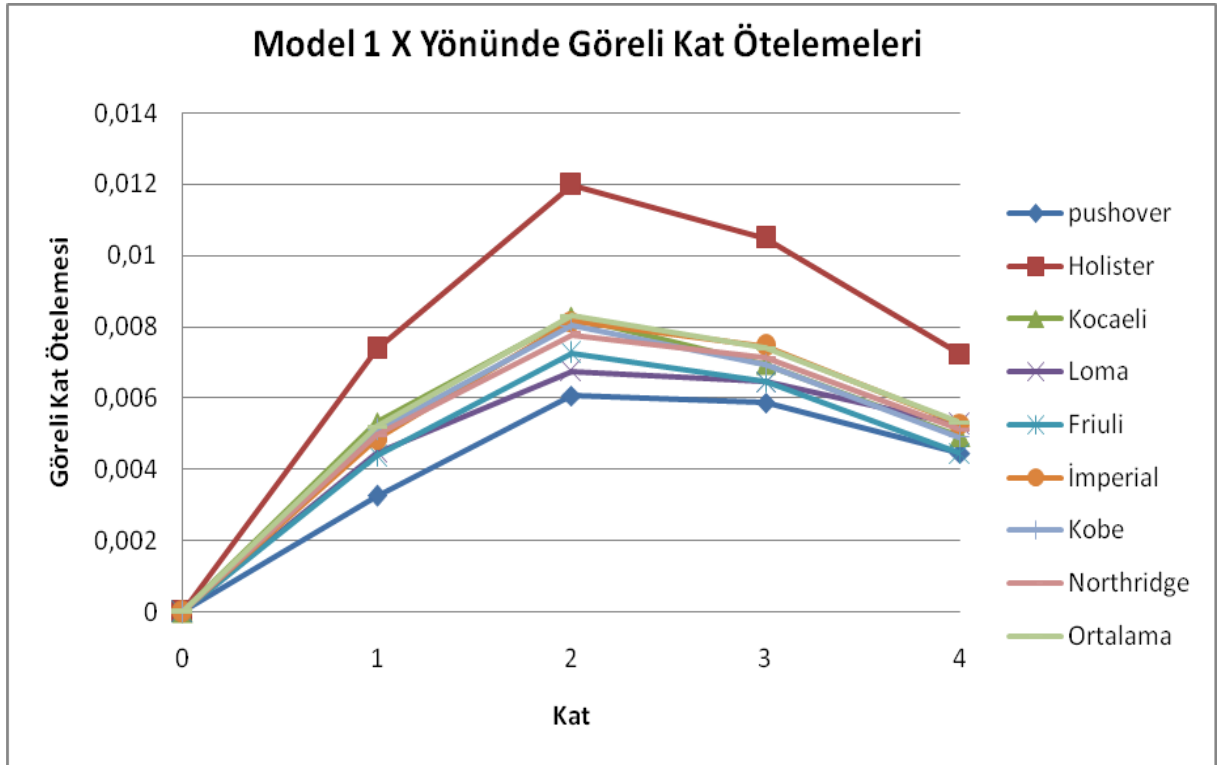
Şekil 5.59 Statik itme analizinde Y yönünde göçme noktasında plastik mafsallaşma

Şekil ve çizelgelerden de görüldüğü gibi perdesiz çerçeve yapıda Y yönündeki görelî kat ötelemesi ATC40 a göre can güvenliği sınır seviyesi olan 0,02 değerini geçmiştir. Bu sınır DBYBHY 2007’ de doğrusal analiz için 0.03 olarak verilmiştir. Y yönünde statik analiz sonucunda görüldüğü gibi maksimum görelî kat ötelemesi 0.0369 olup, yapının bu yönde güçlendirilmesine ihtiyaç olduğu görülmüştür. (Çizelge 5.7 ,Şekil 5.55)

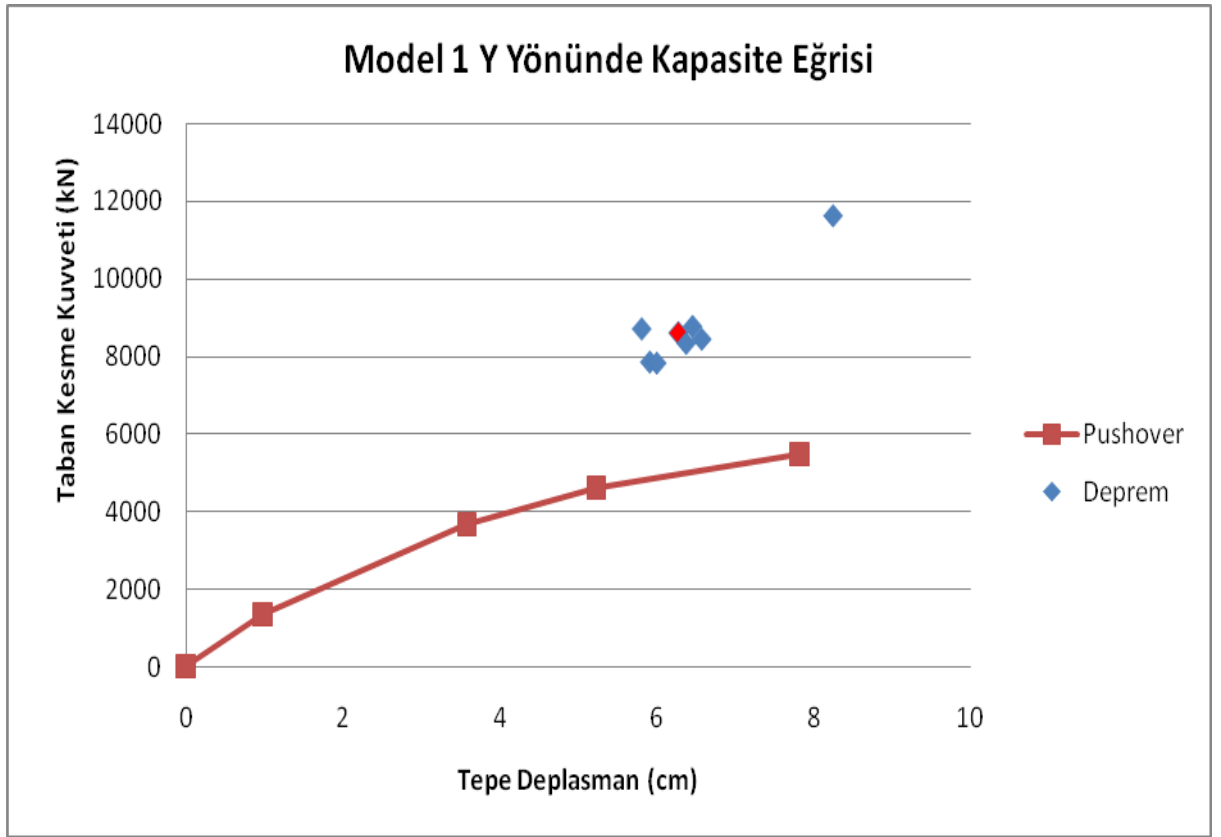
Aşağıda 12 adet yapı modelinin statik itme analizinden elde edilen kapasite eğrisi ve kat ötelemesi sonuçları zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla diyagram üzerinde karşılaştırılmıştır. Yapı modellerinde tek yönde burulma düzensizliği oluşturulmasına rağmen, her iki yönde de performans analizi sonuçları irdelenmiş, burulma düzensizliği ve perde duvar yeri değişiminin neden olabileceği olası performans farklılıklarını gözlemlene amaçlanmıştır.



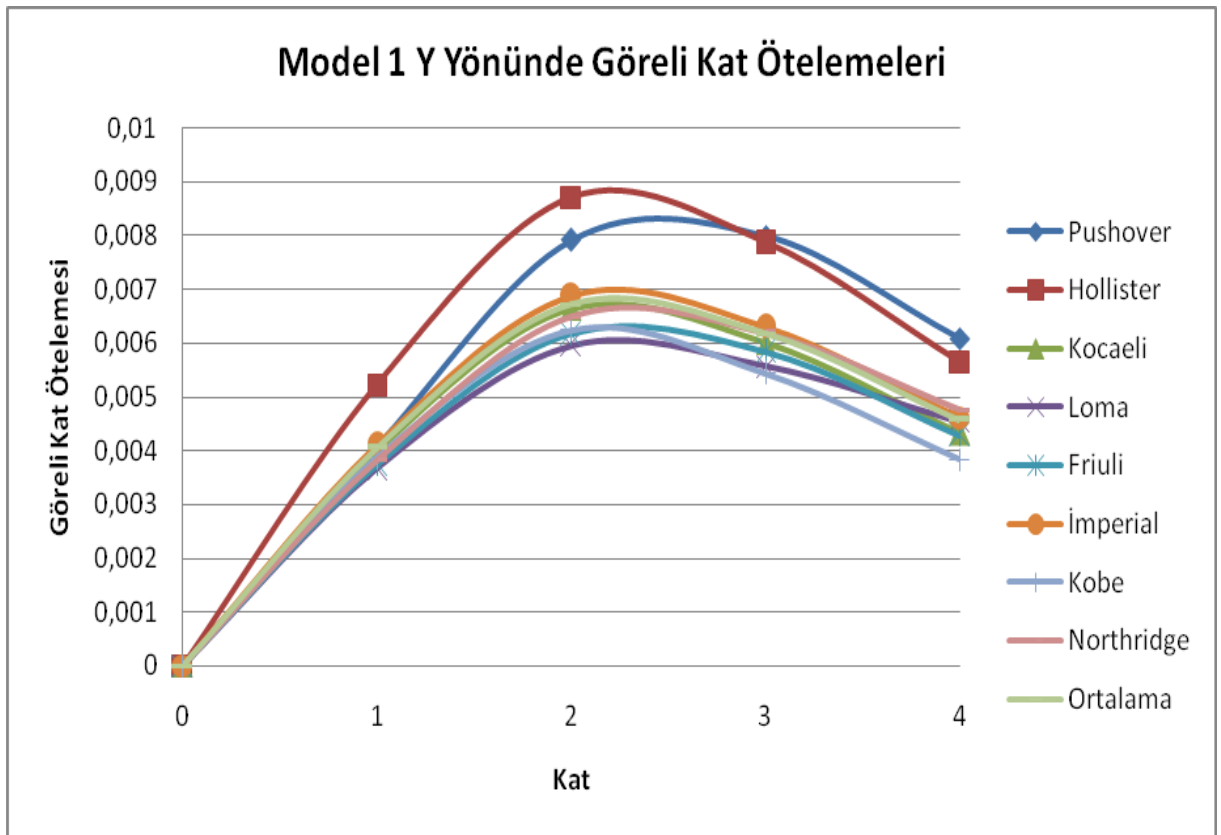
Şekil 5.60 Model 1 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



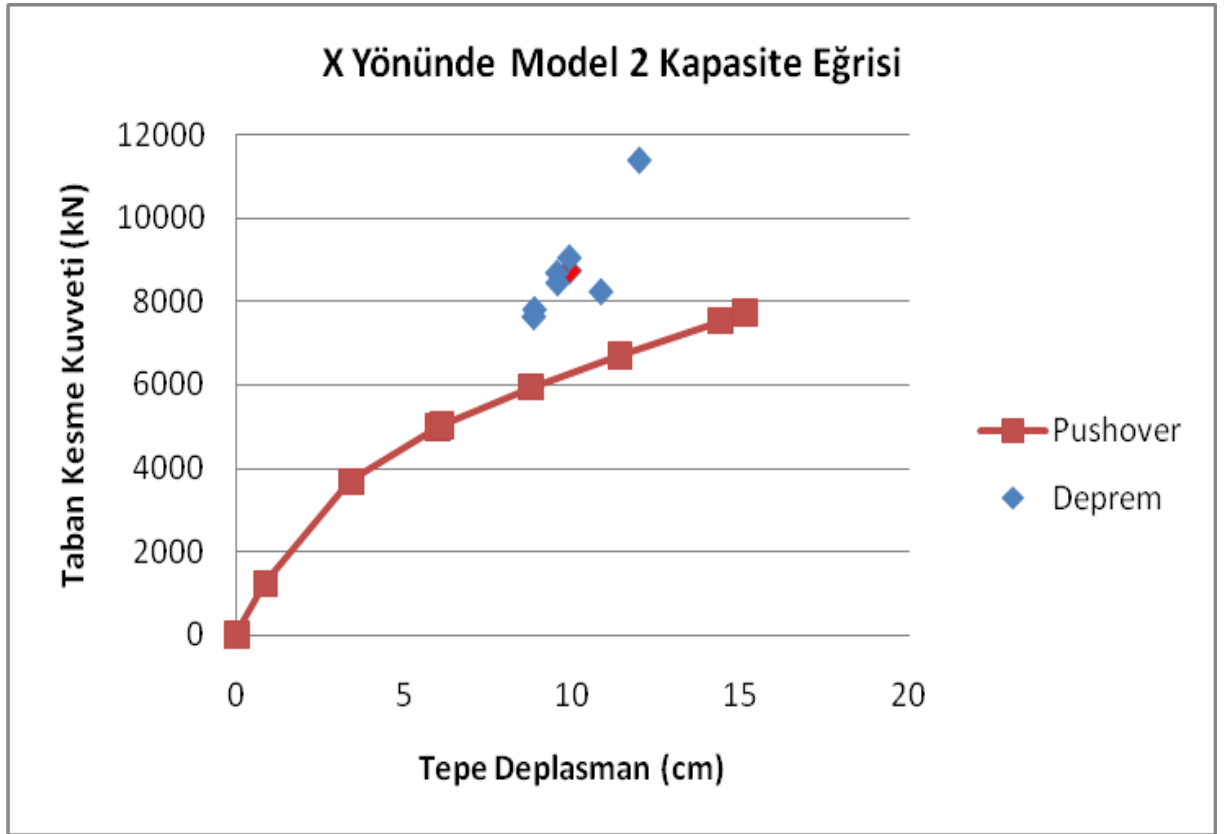
Şekil 5.61 Model 1 X yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



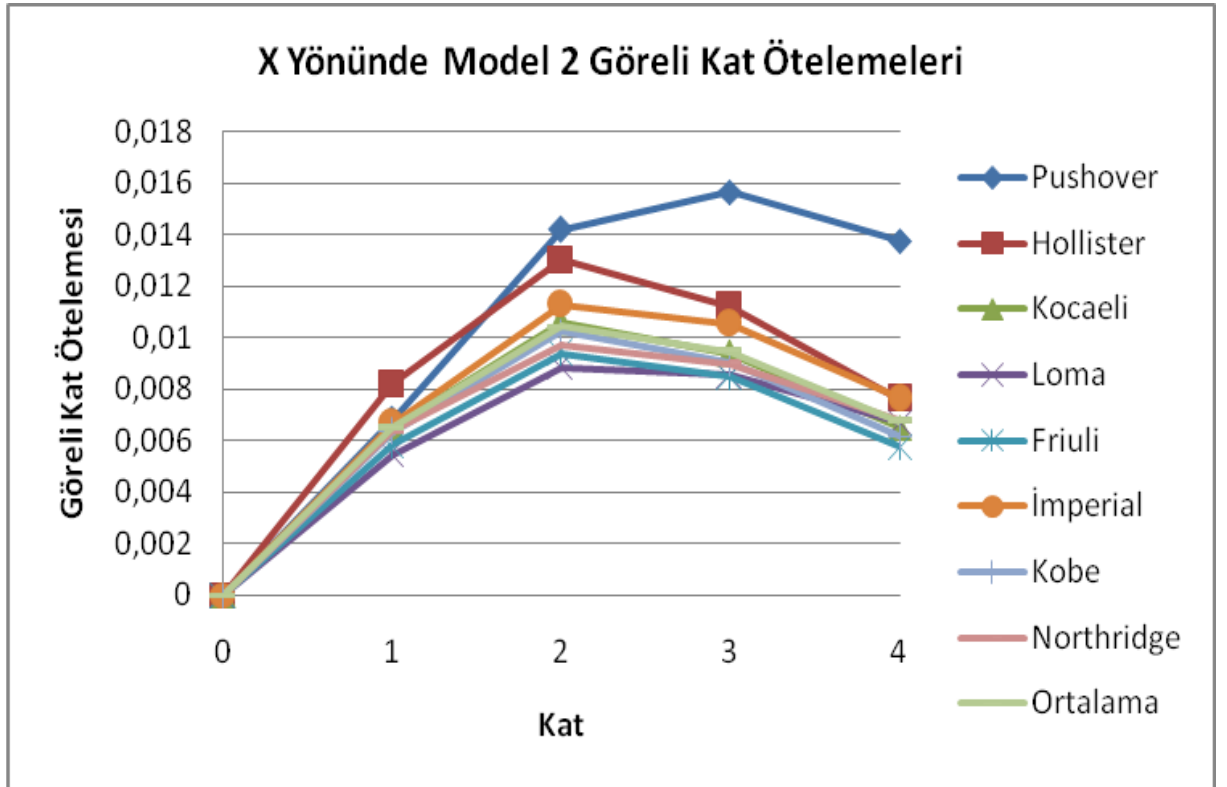
Şekil 5.62 Model 1 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



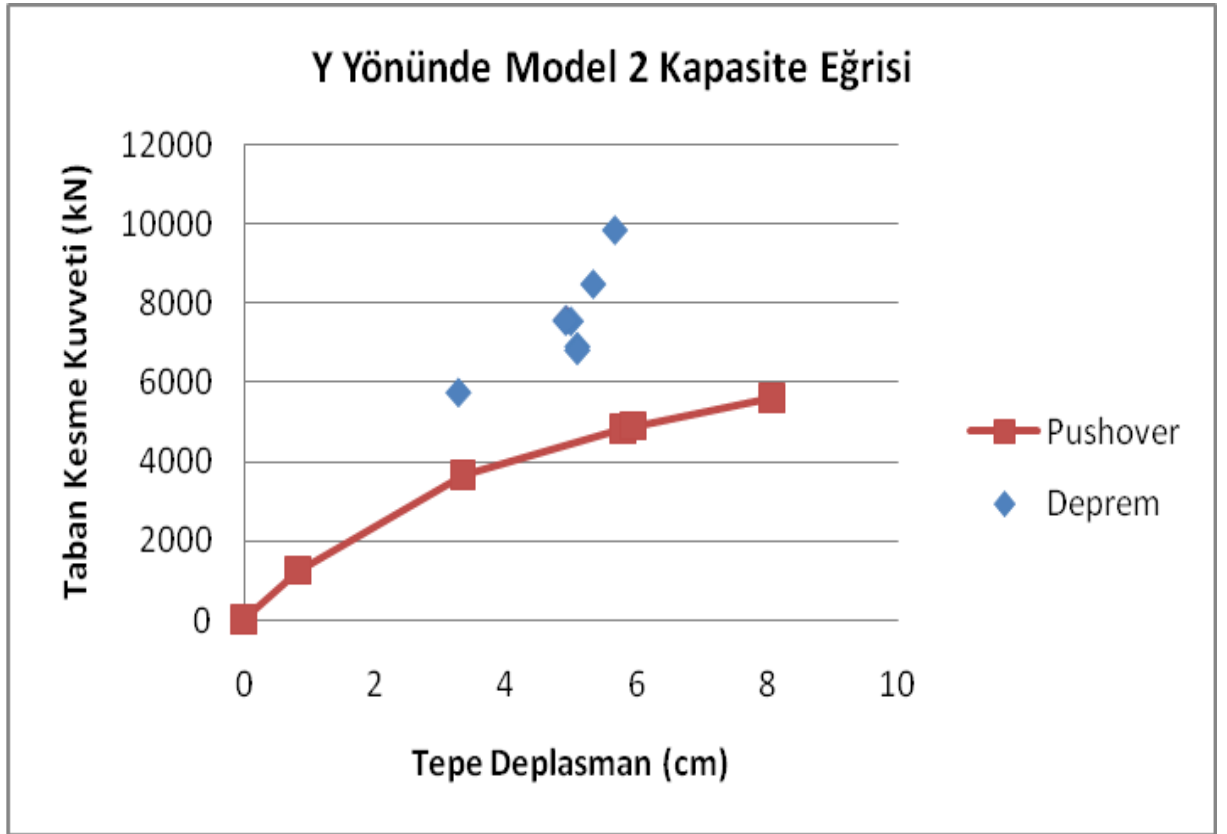
Şekil 5.63 Model 1 Y yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



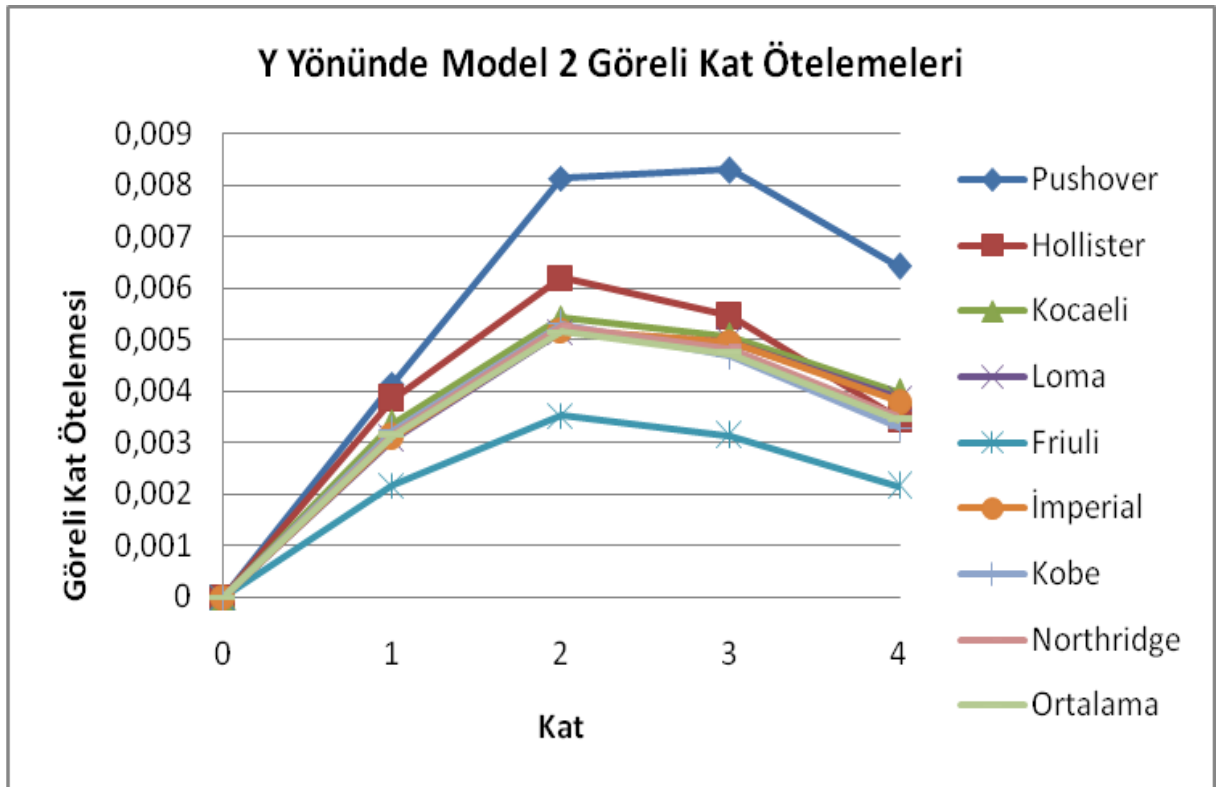
Şekil 5.64 Model 2 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



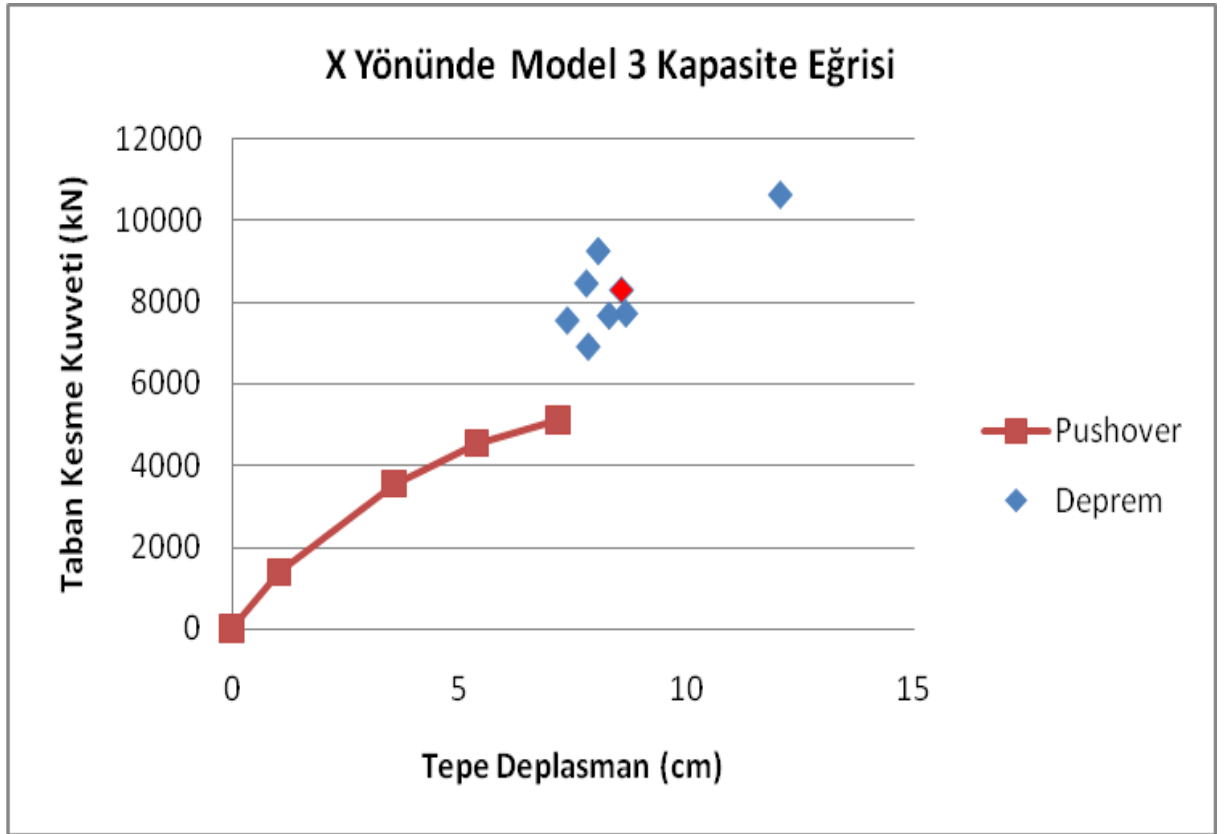
Şekil 5.65 Model 2 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



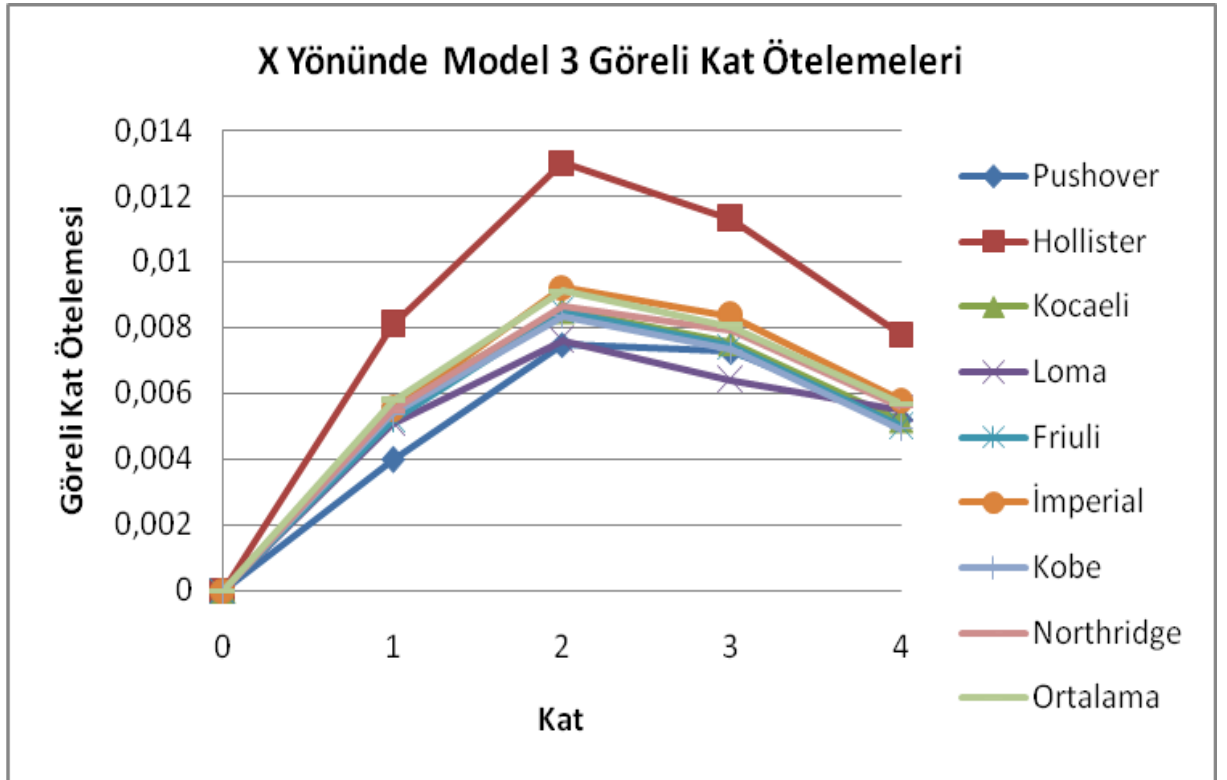
Şekil 5.66 Model 2 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



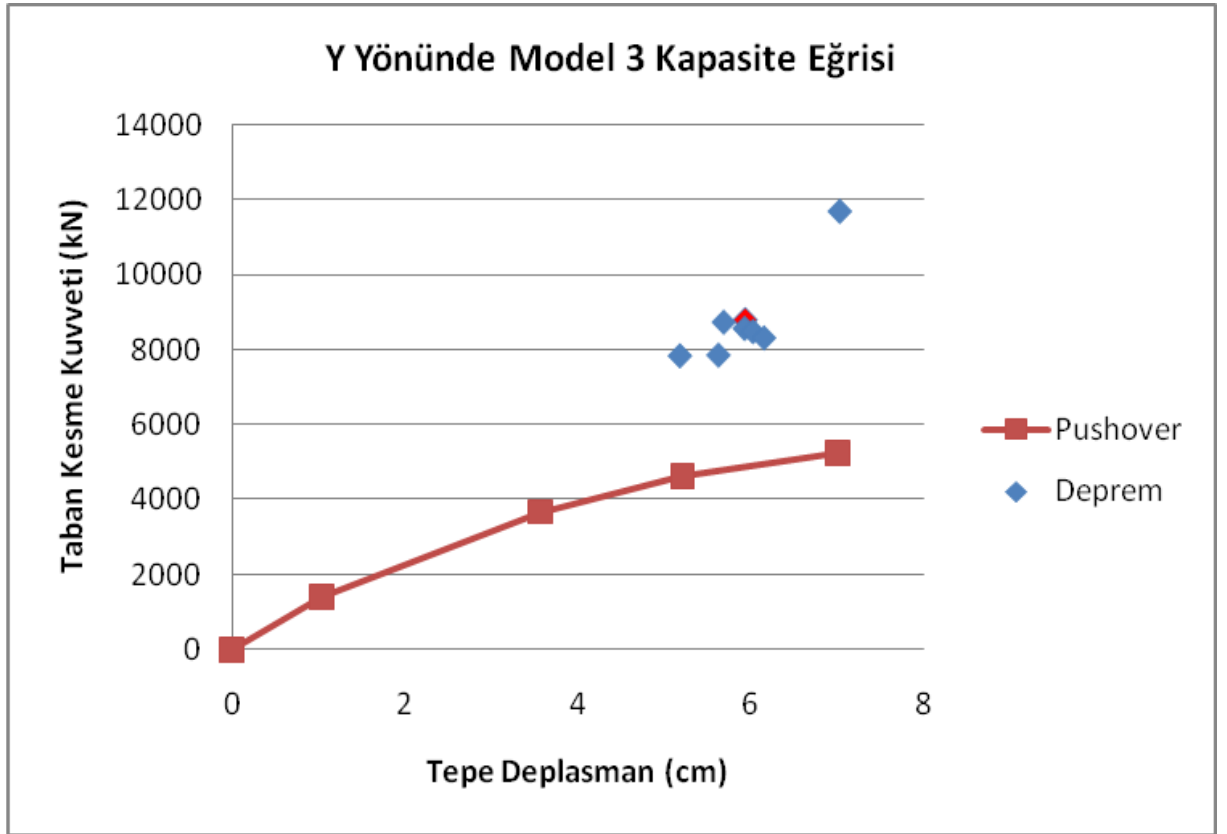
Şekil 5.67 Model 2 Y yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



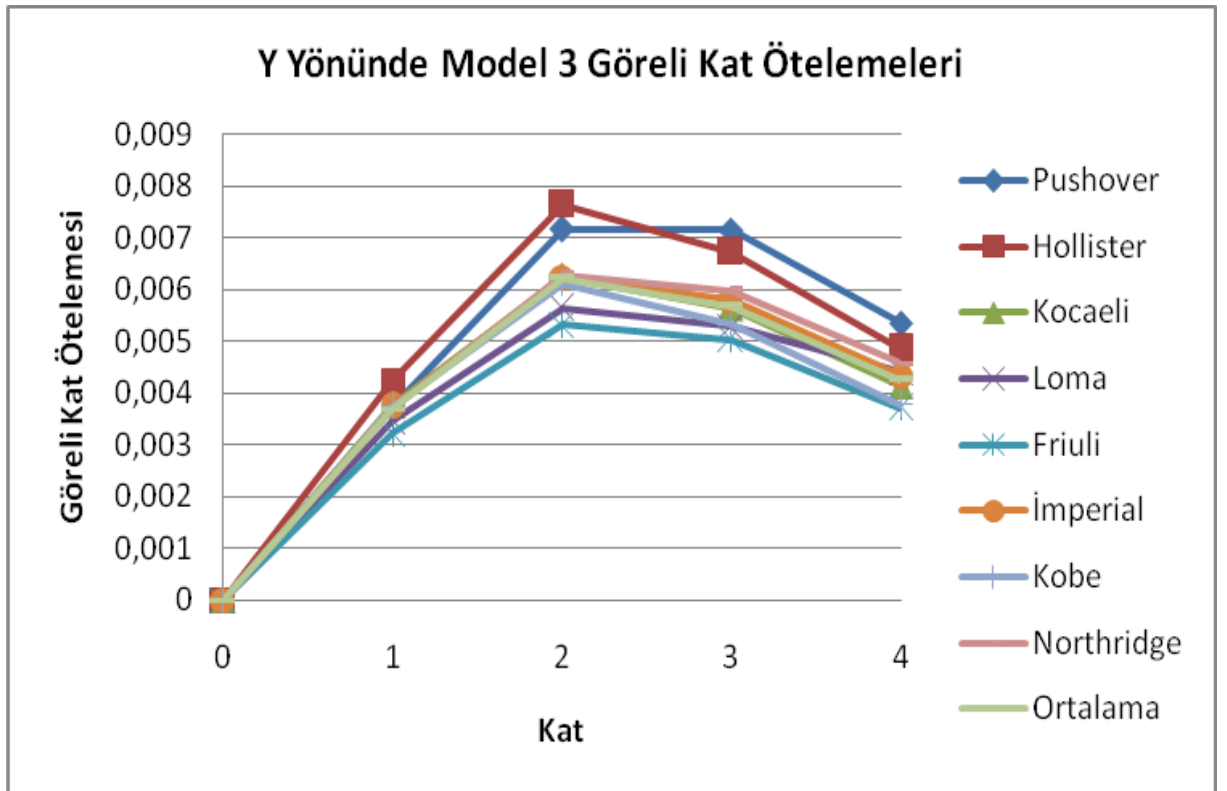
Şekil 5.68 Model 3 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



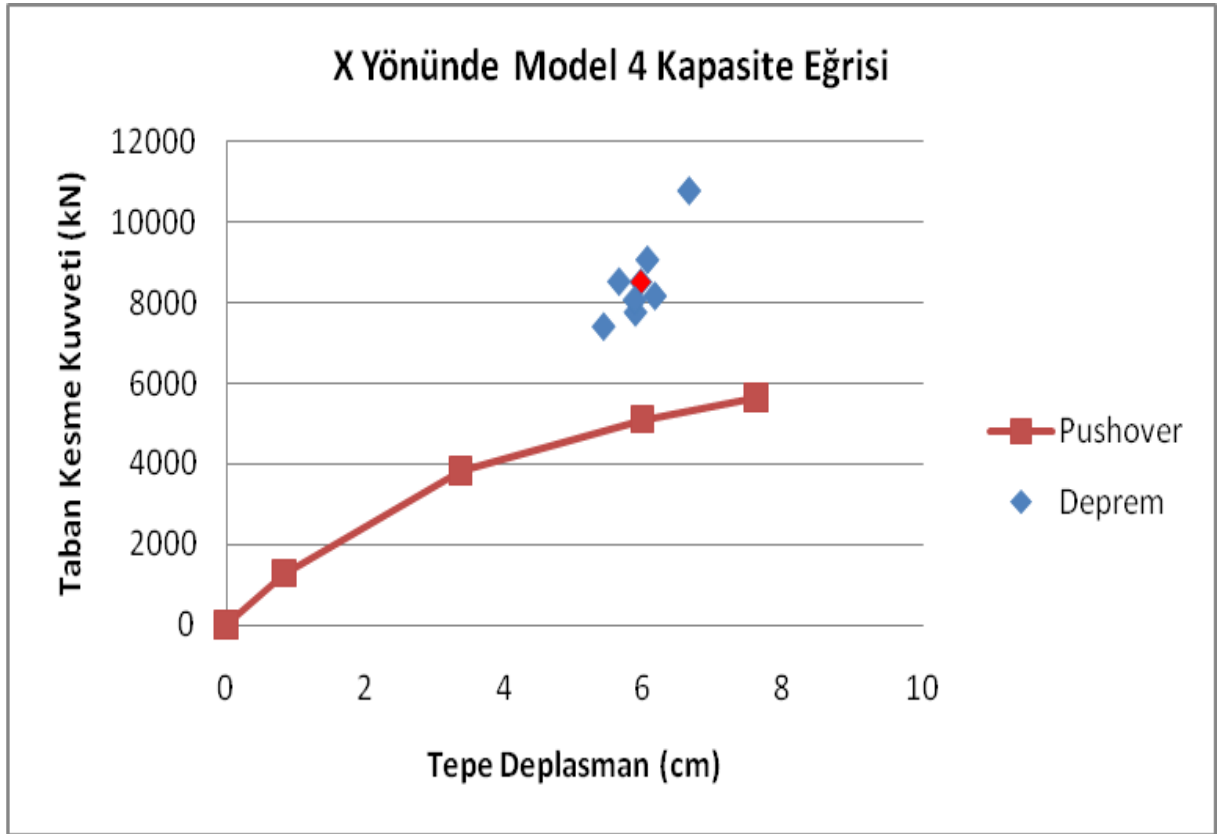
Şekil 5.69 Model 3 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



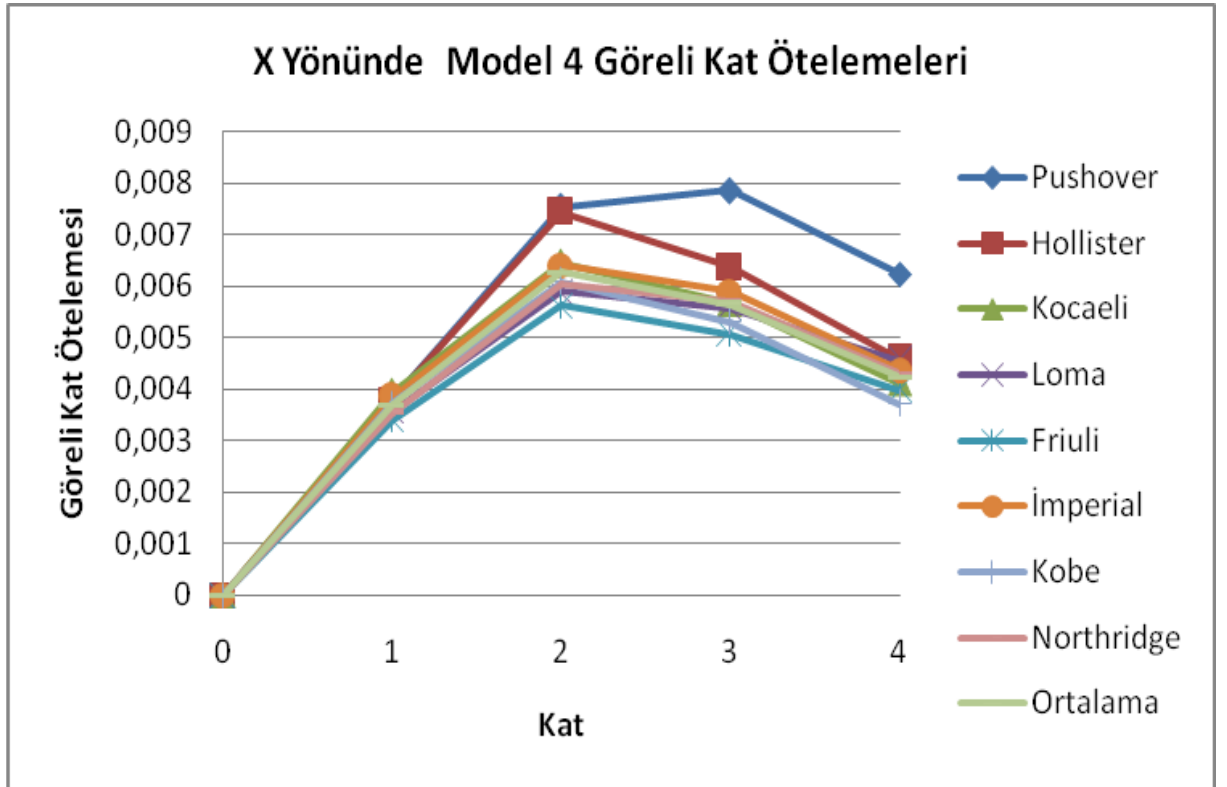
Şekil 5.70 Model 3 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



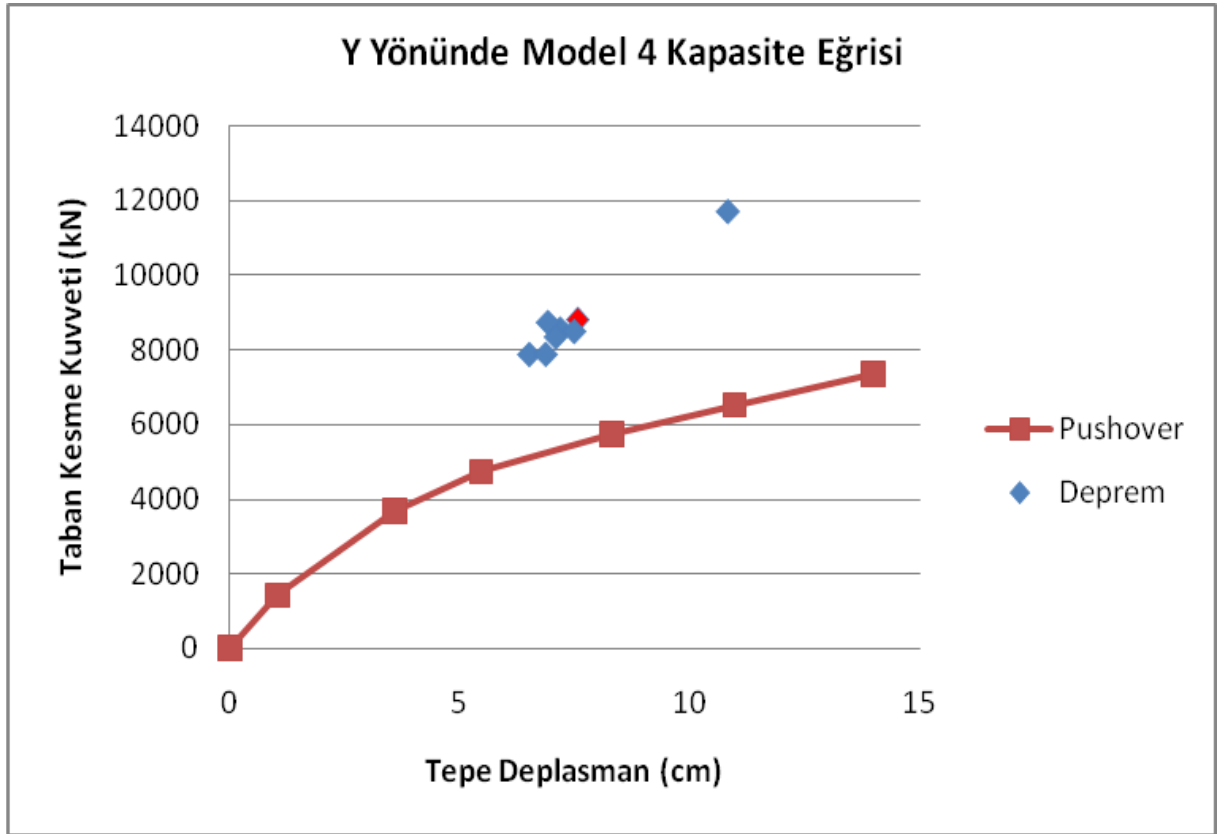
Şekil 5.71 Model 3 Y yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



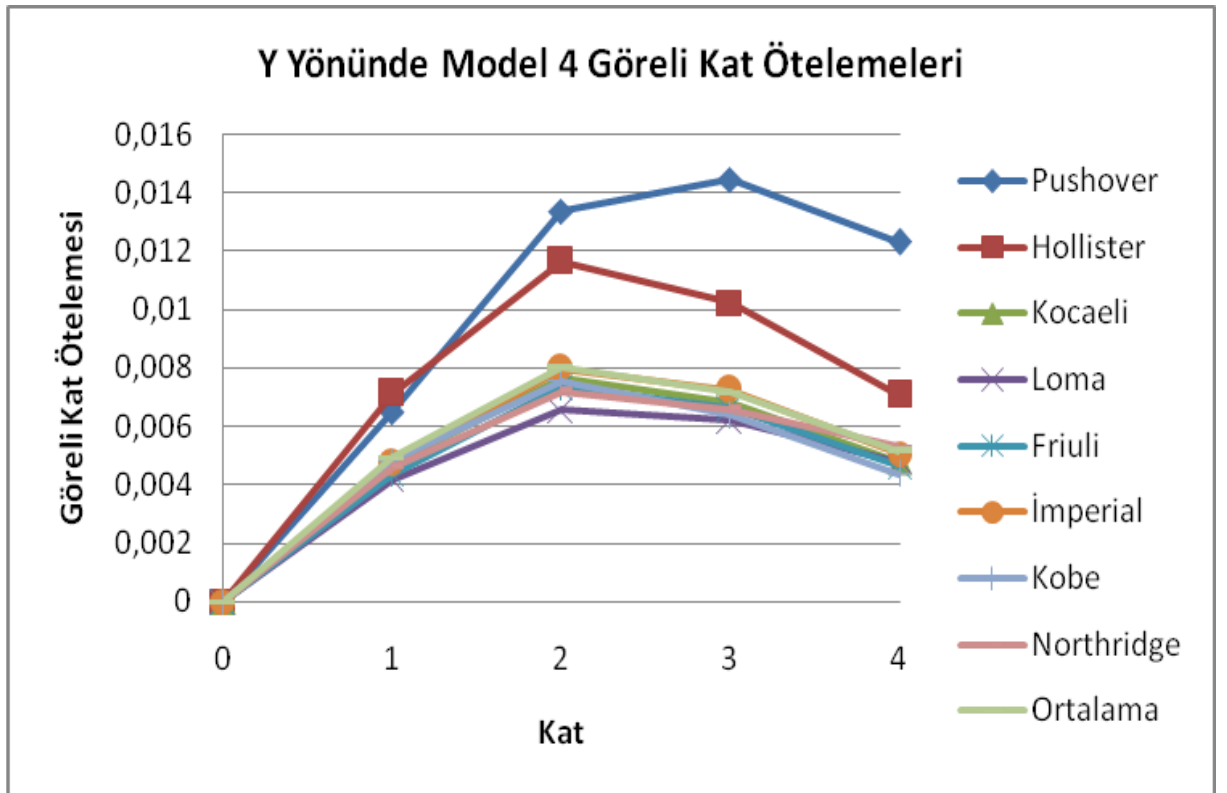
Şekil 5.72 Model 4 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



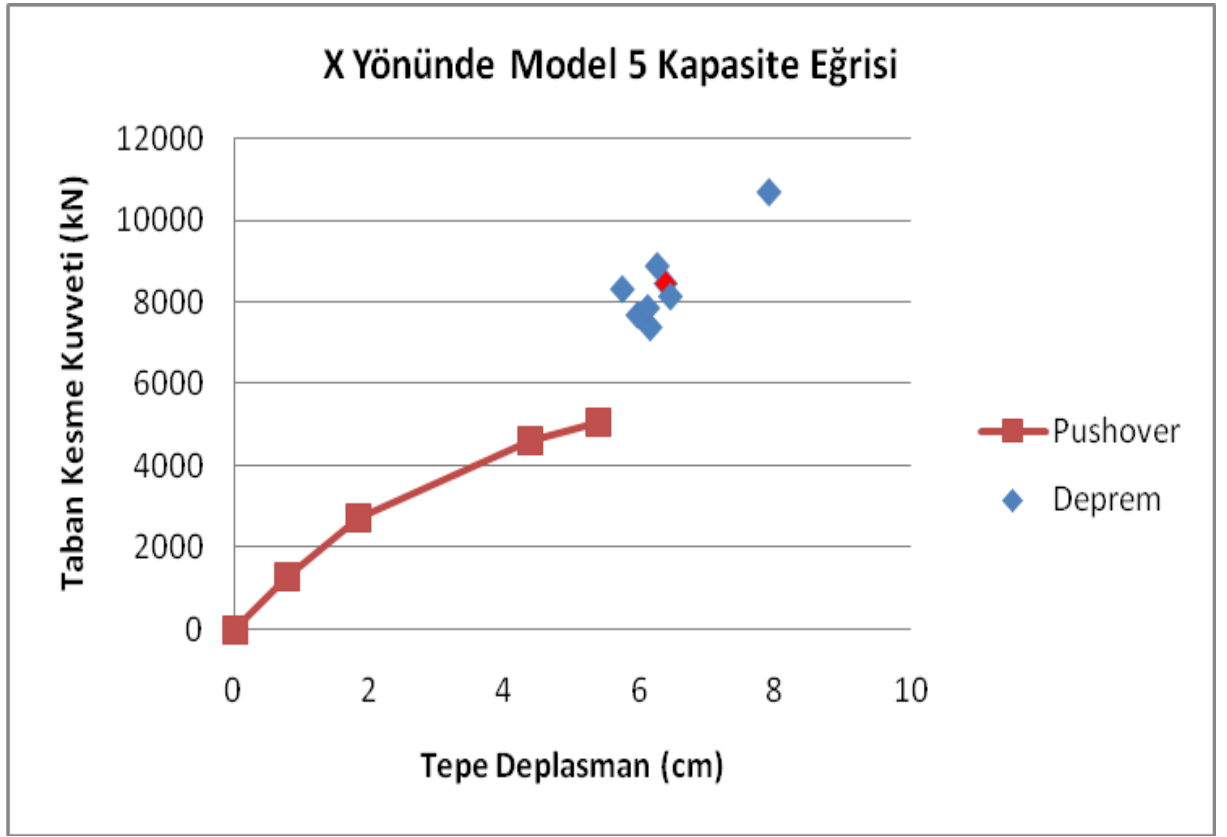
Şekil 5.73 Model 4 X yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



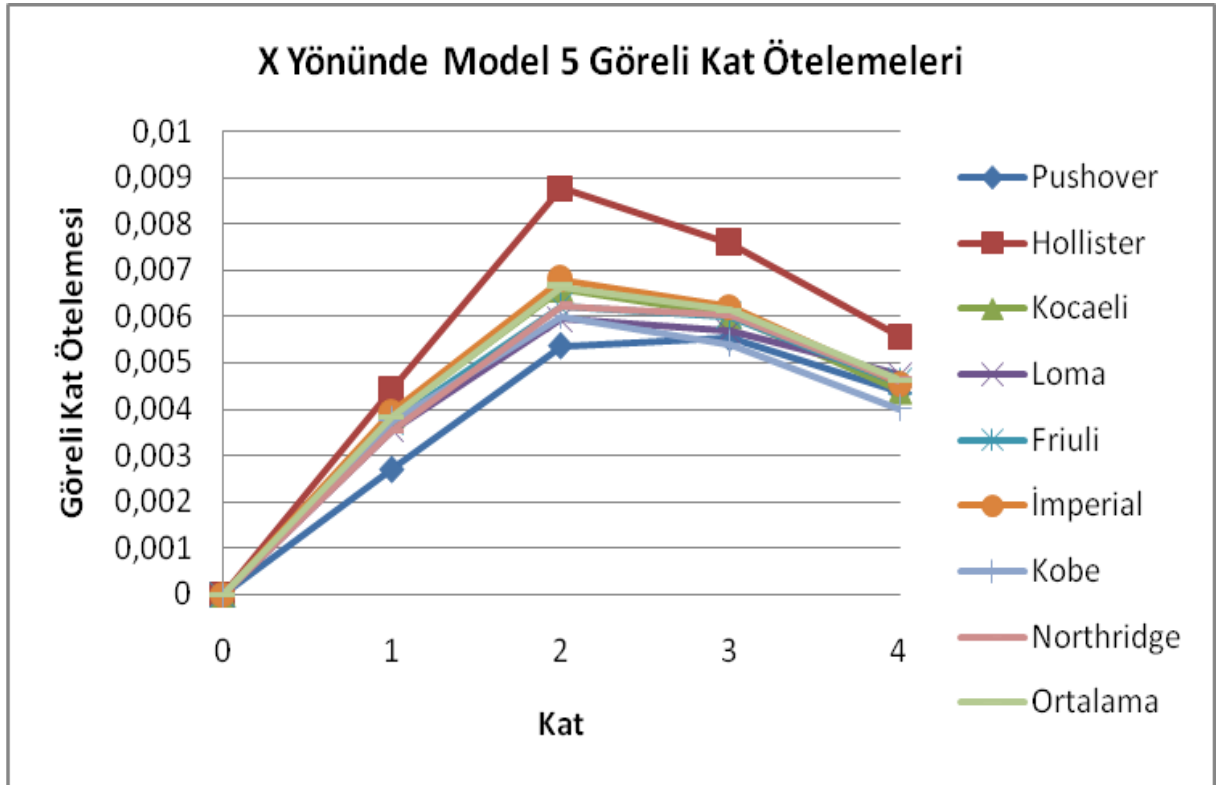
Şekil 5.74 Model 4 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



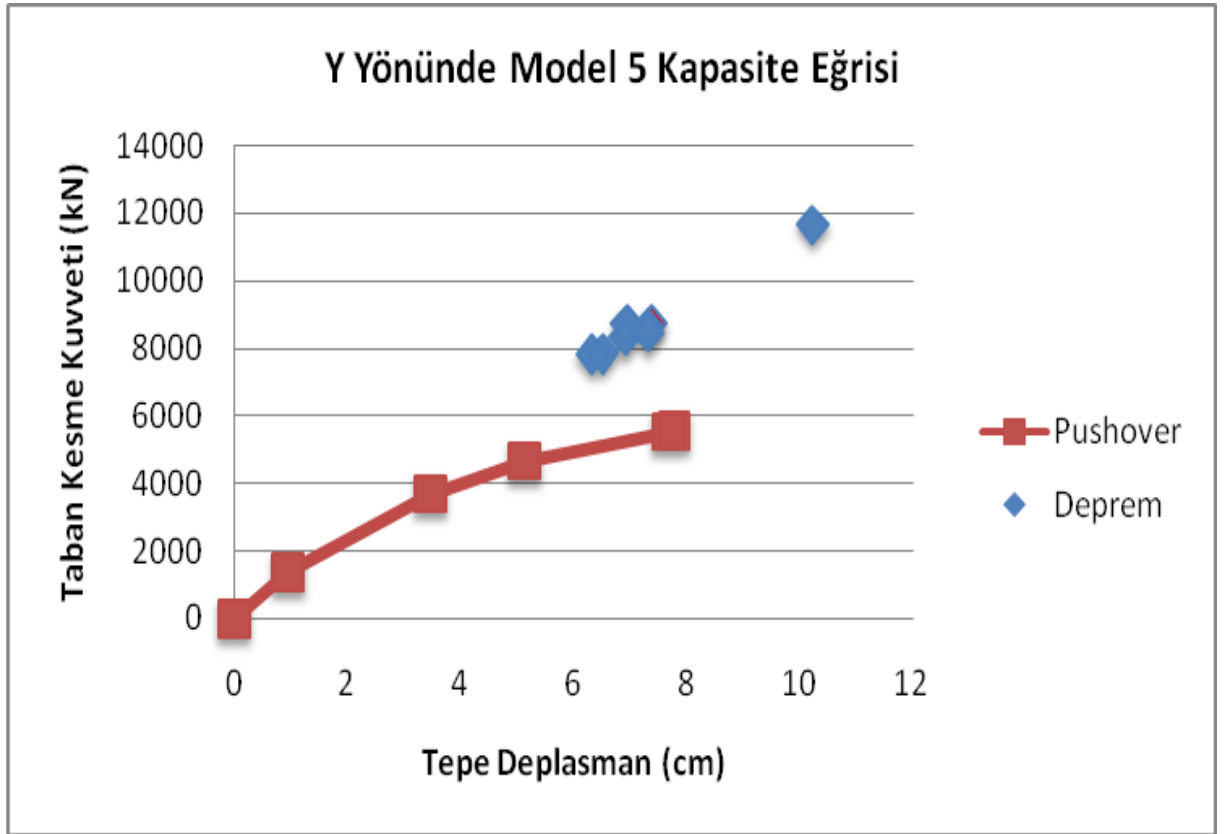
Şekil 5.75 Model 4 Y yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



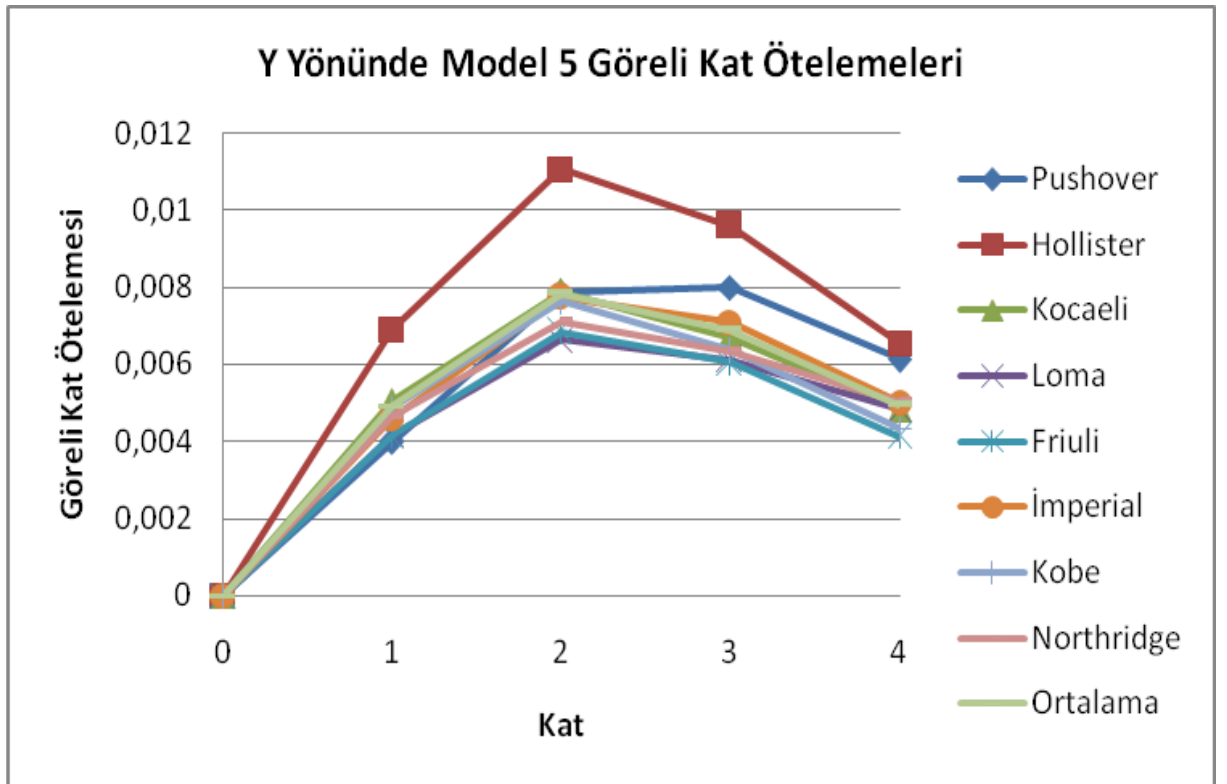
Şekil 5.76 Model 5 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



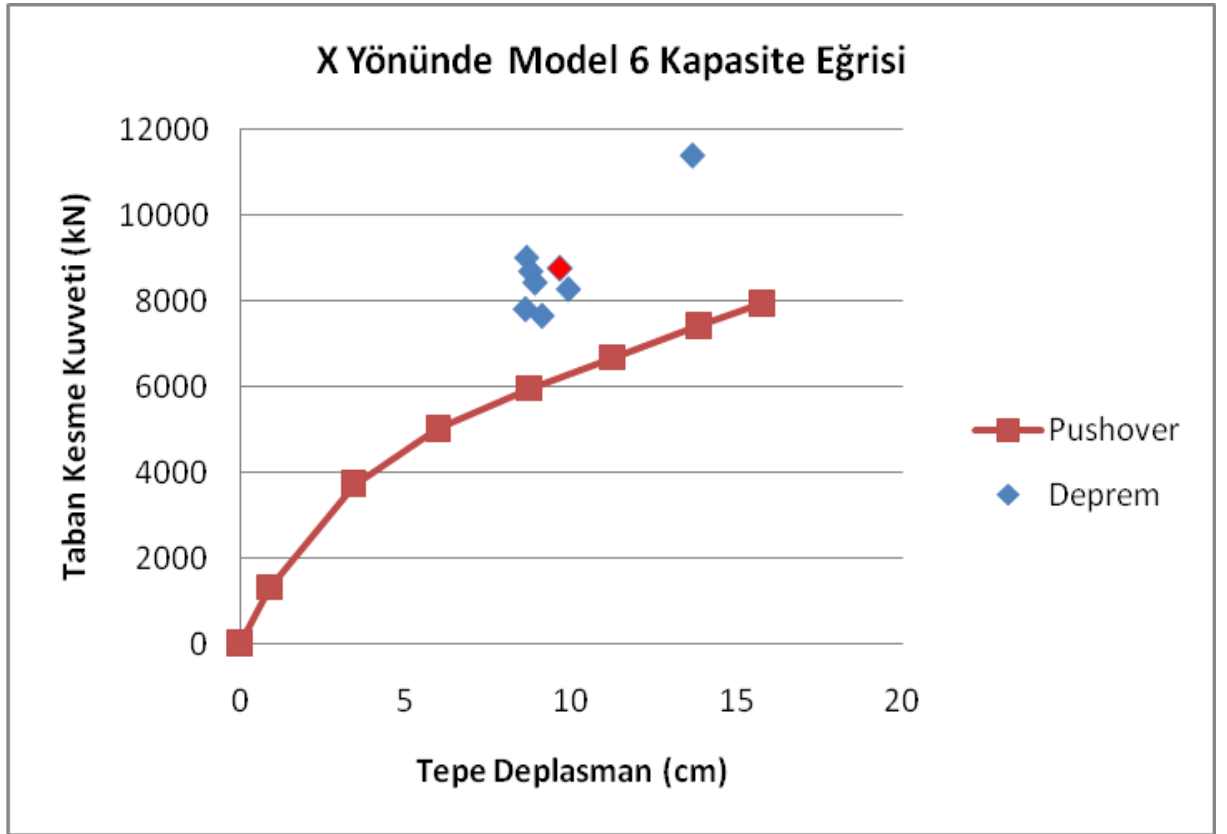
Şekil 5.77 Model 5 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



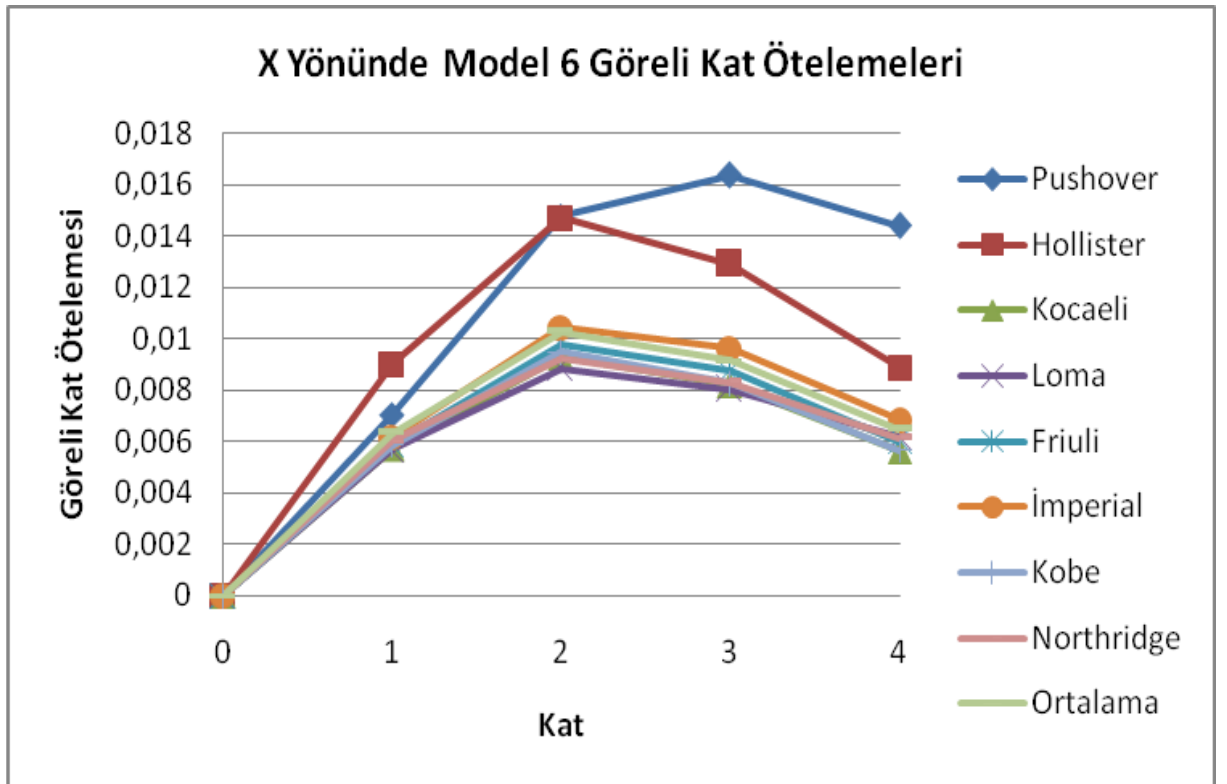
Şekil 5.78 Model 5 XY yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



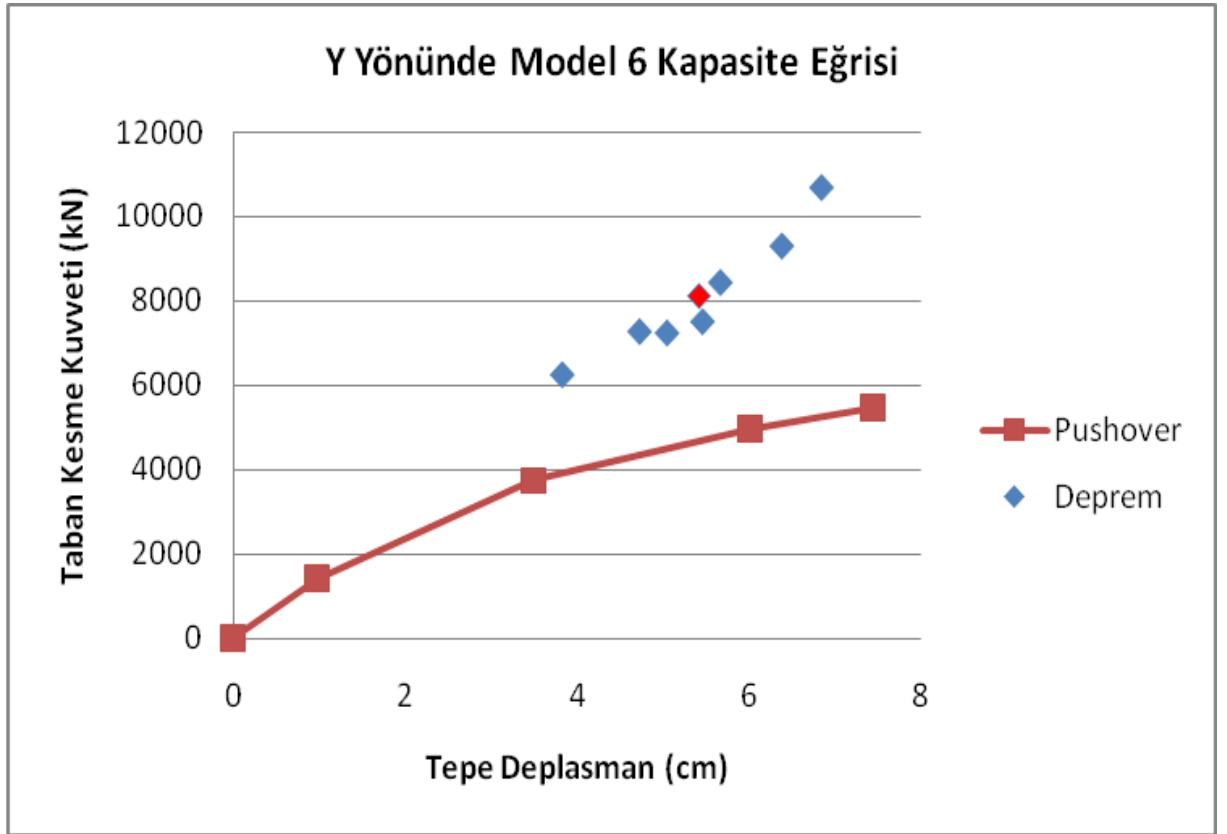
Şekil 5.79 Model 5 Y yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



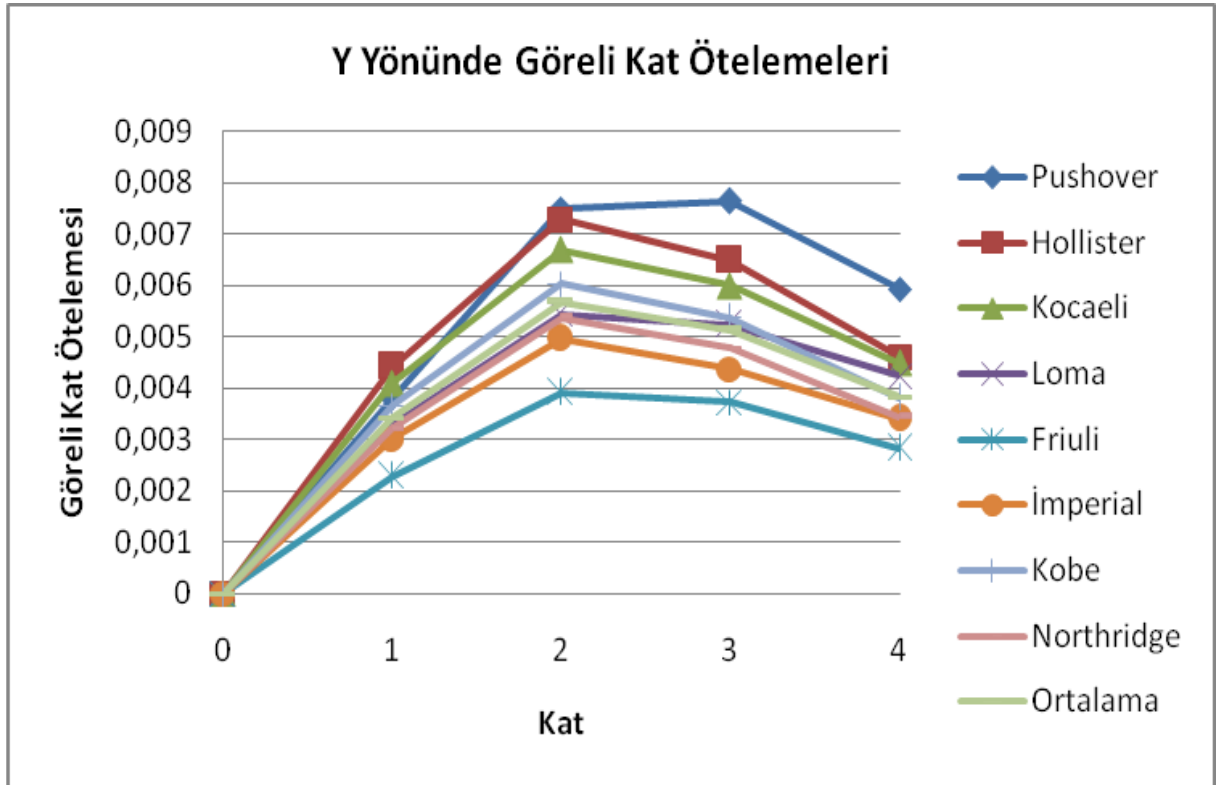
Şekil 5.80 Model 6 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



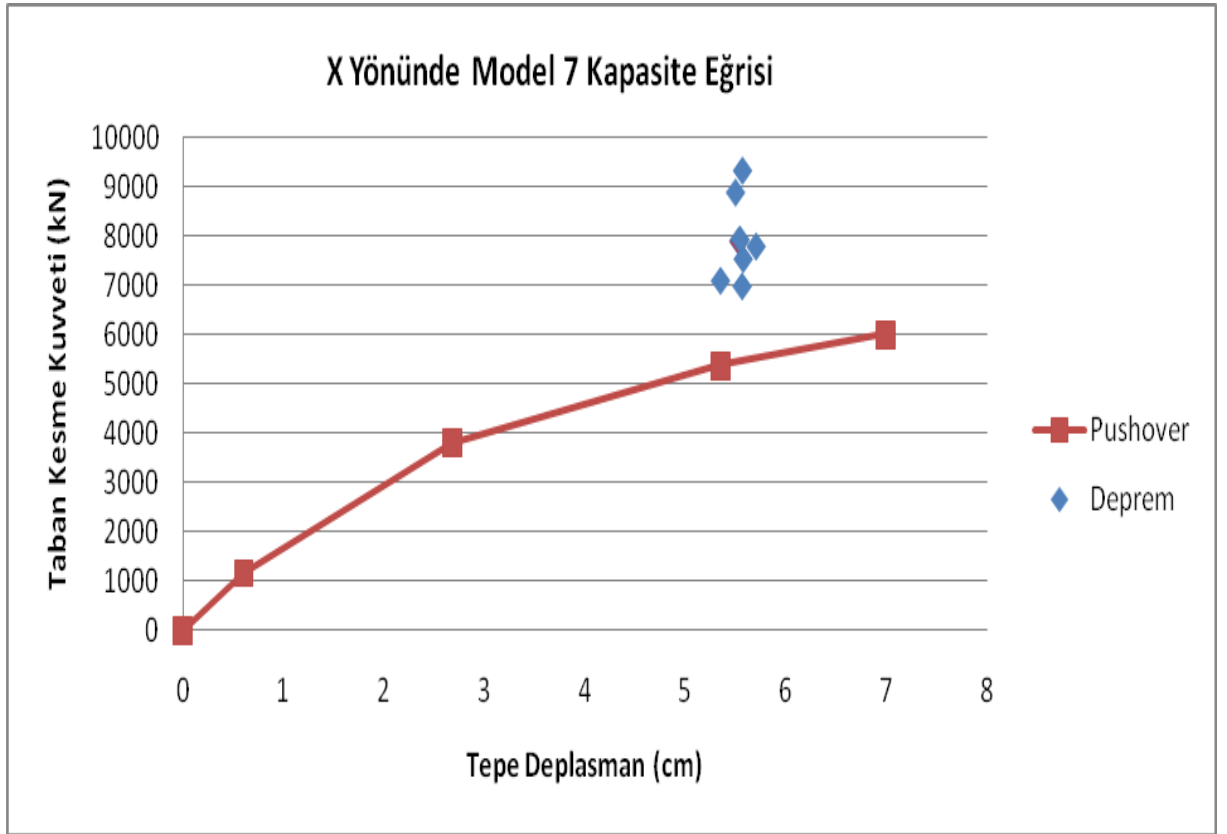
Şekil 5.81 Model 6 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



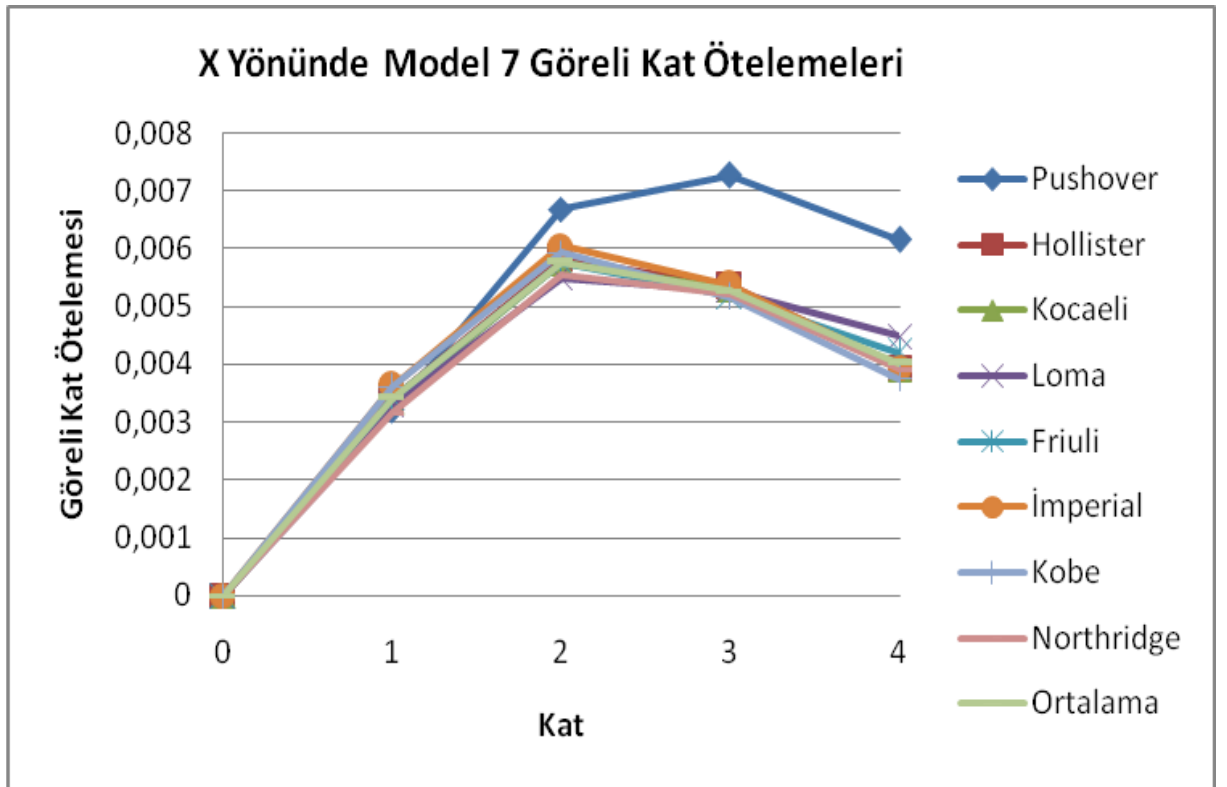
Şekil 5.82 Model 6 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



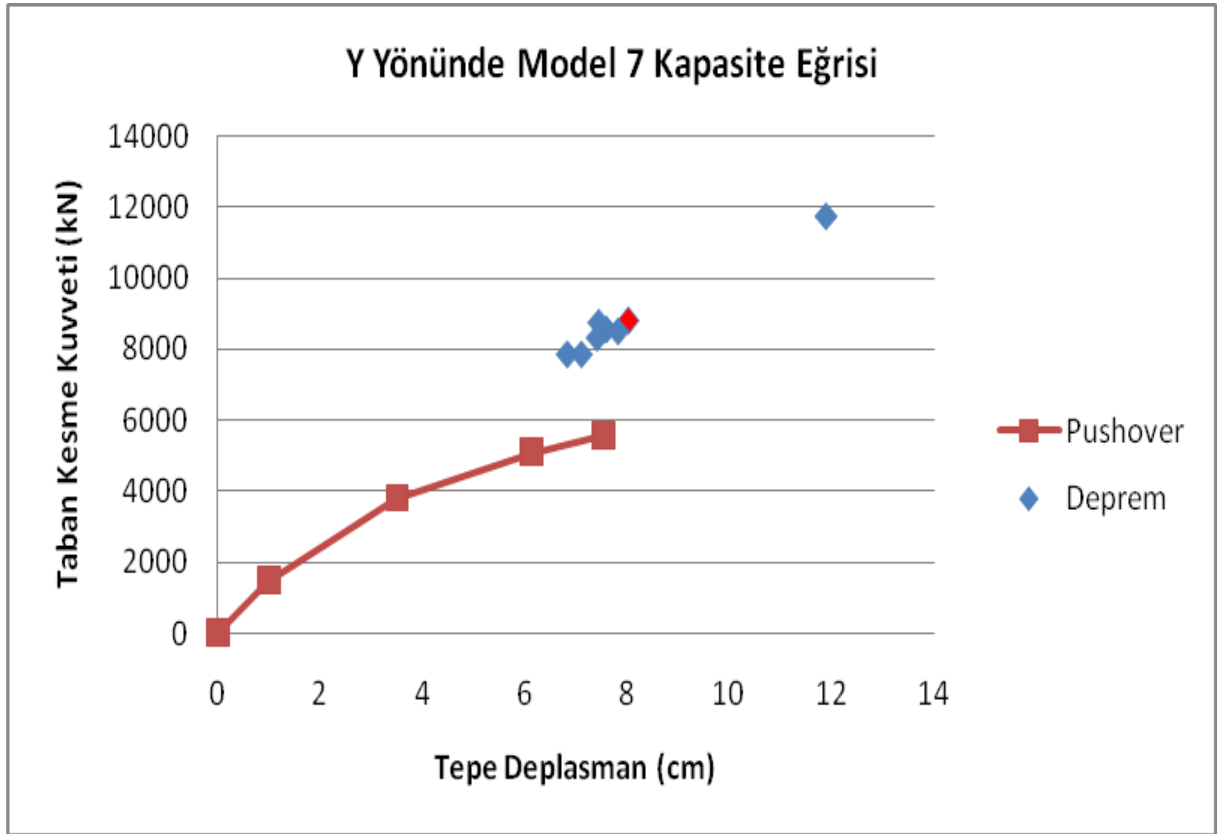
Şekil 5.83 Model 6 Y yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



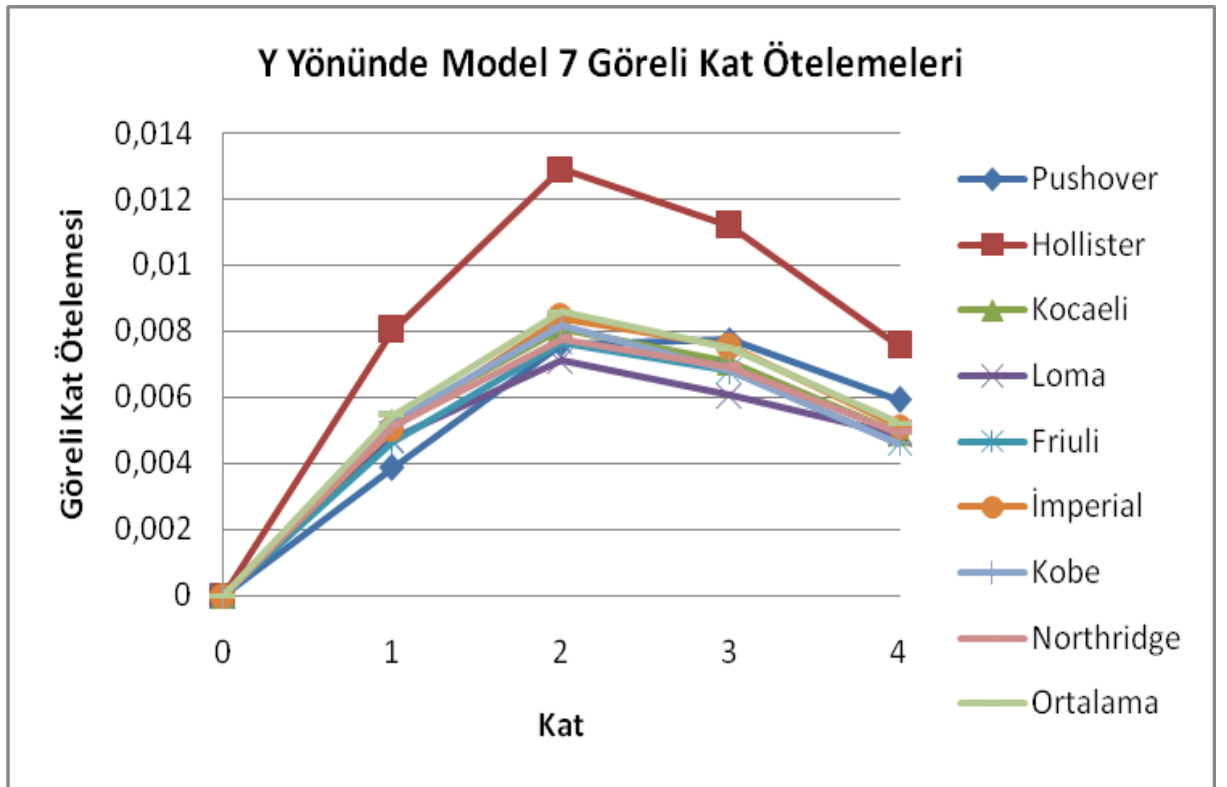
Şekil 5.84 Model 7 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



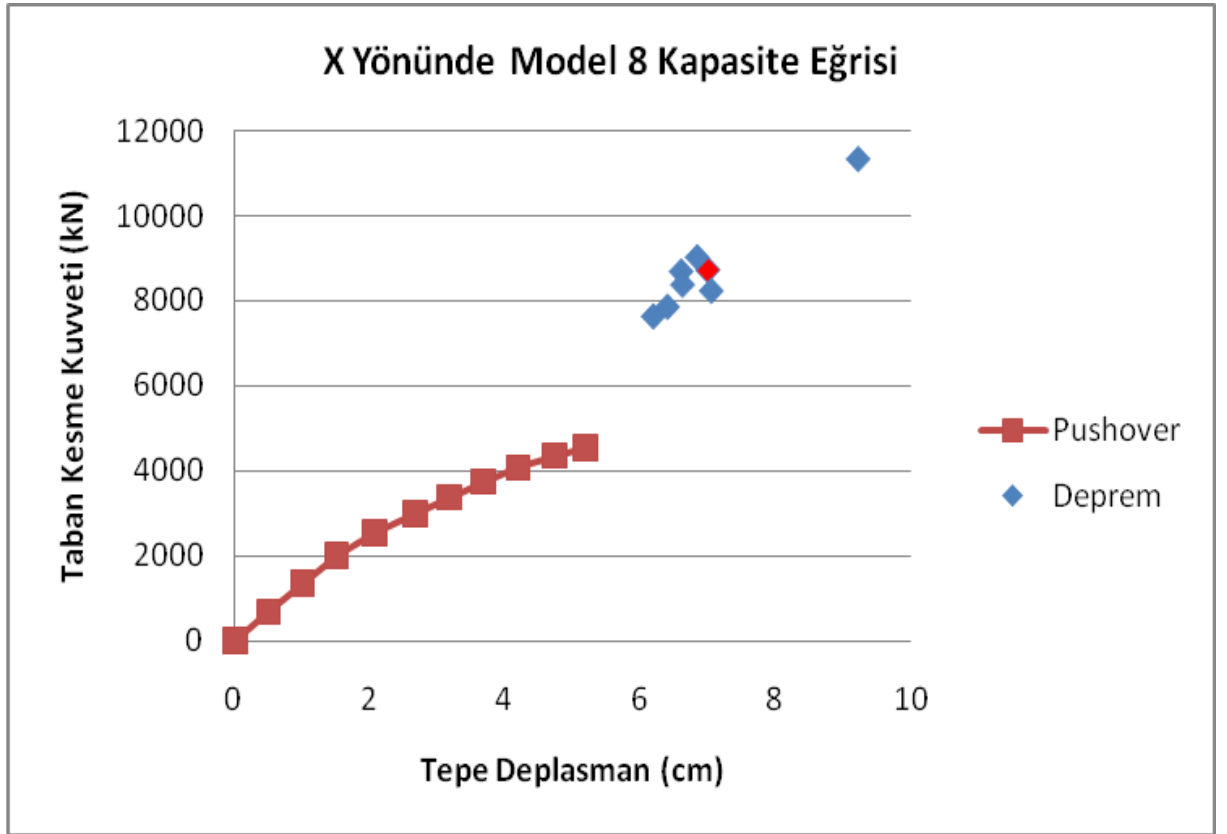
Şekil 5.85 Model 7 X yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



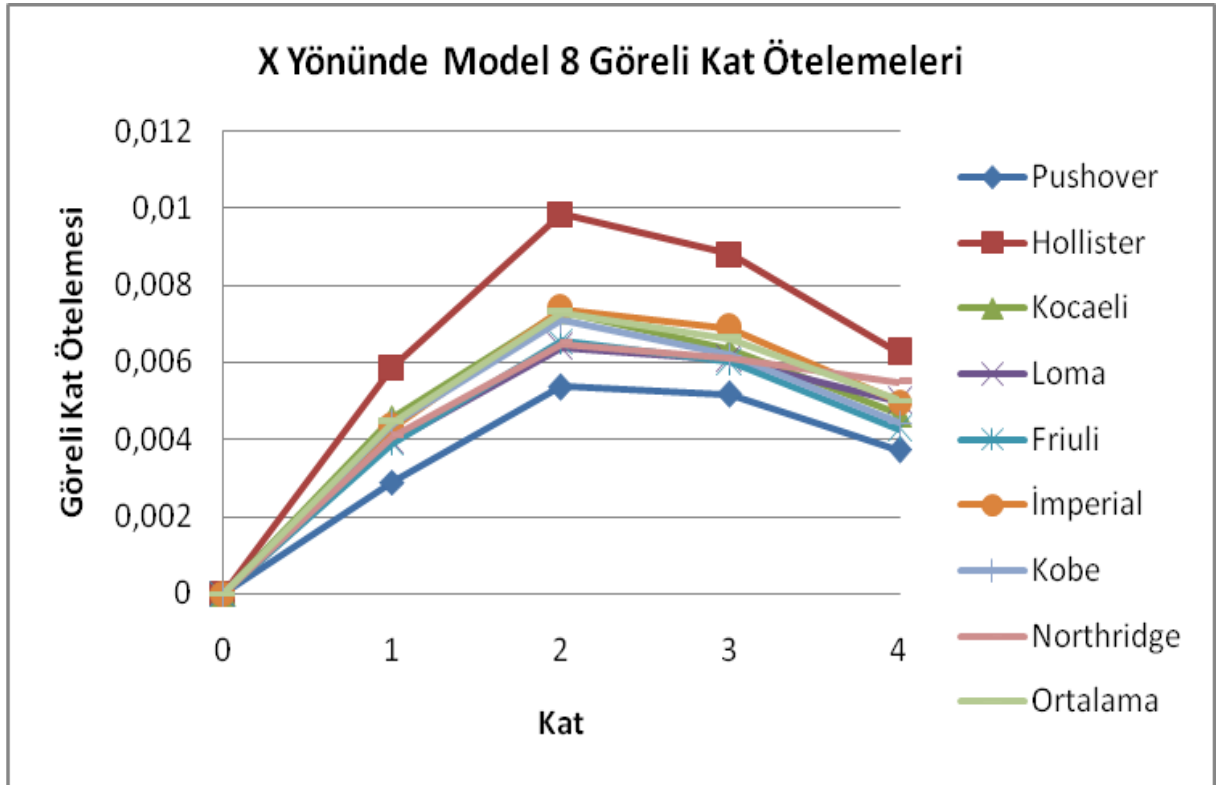
Şekil 5.86 Model 7 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



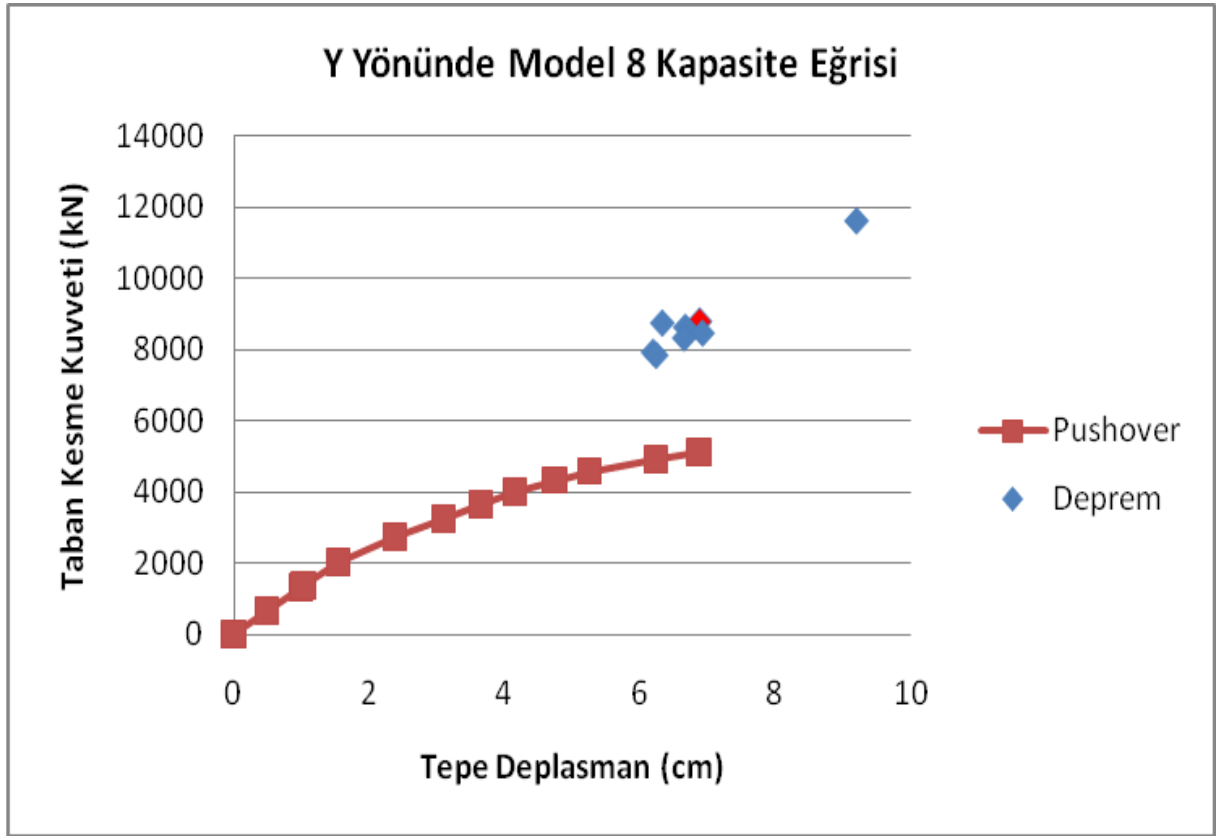
Şekil 5.87 Model 7 Y yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



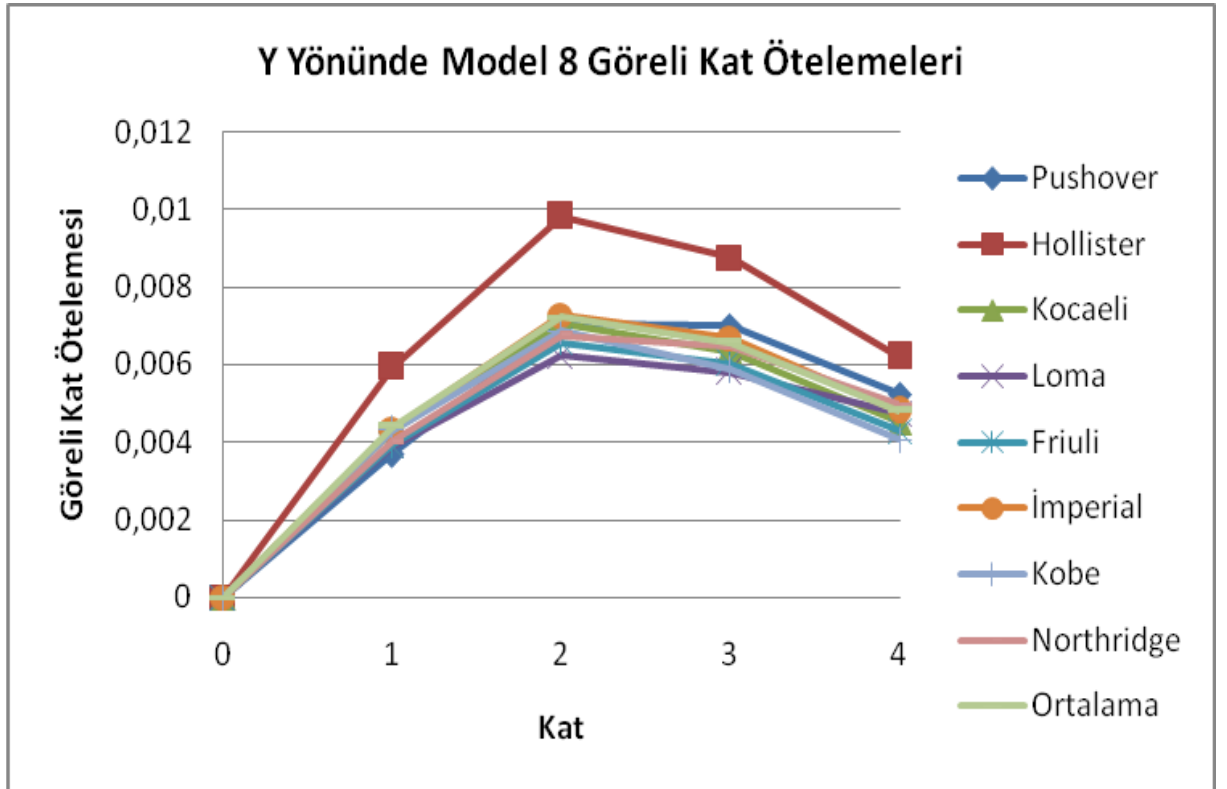
Şekil 5.88 Model 8 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



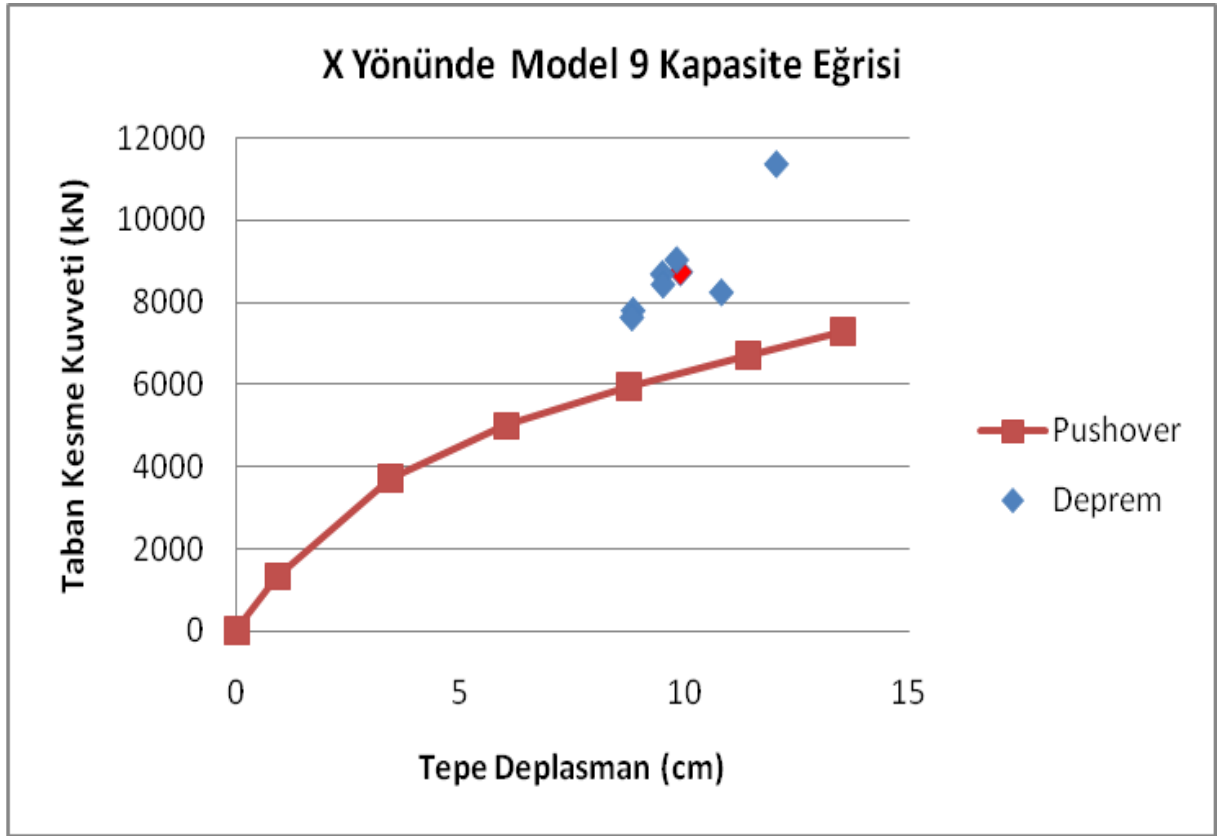
Şekil 5.89 Model 8 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



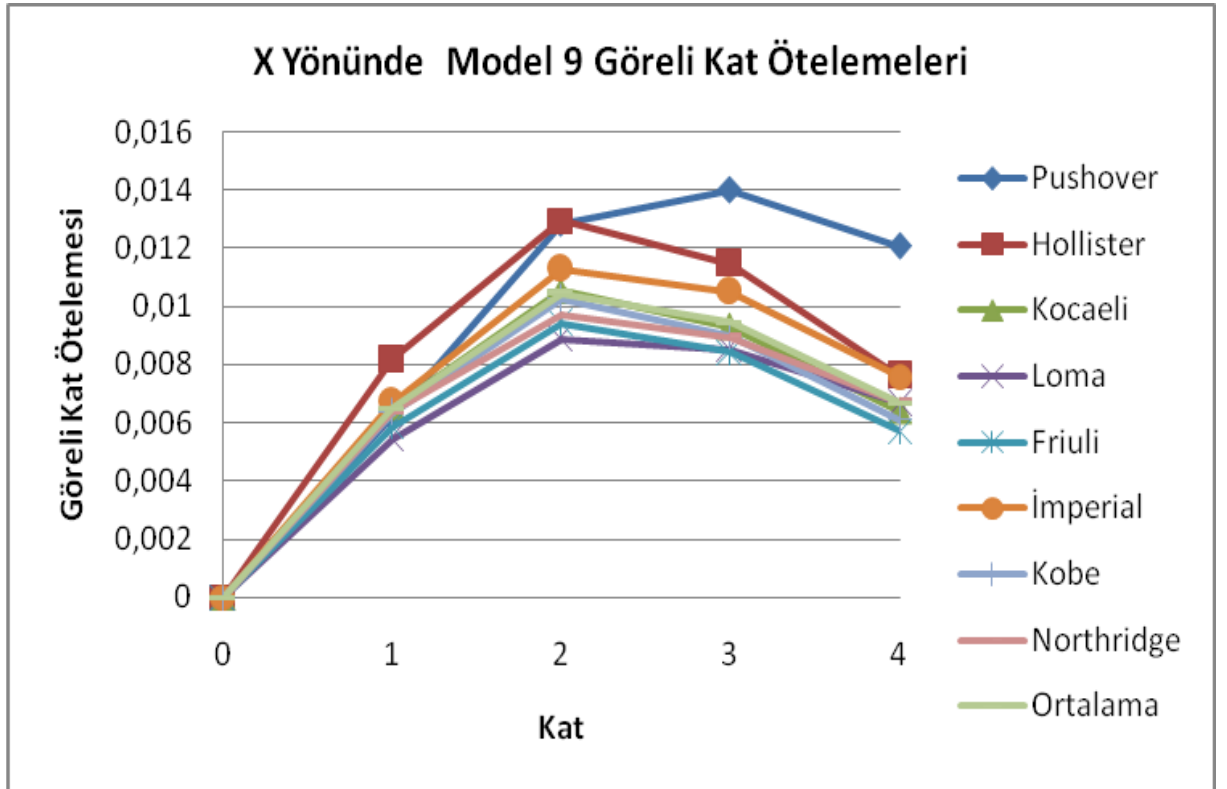
Şekil 5.90 Model 8 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



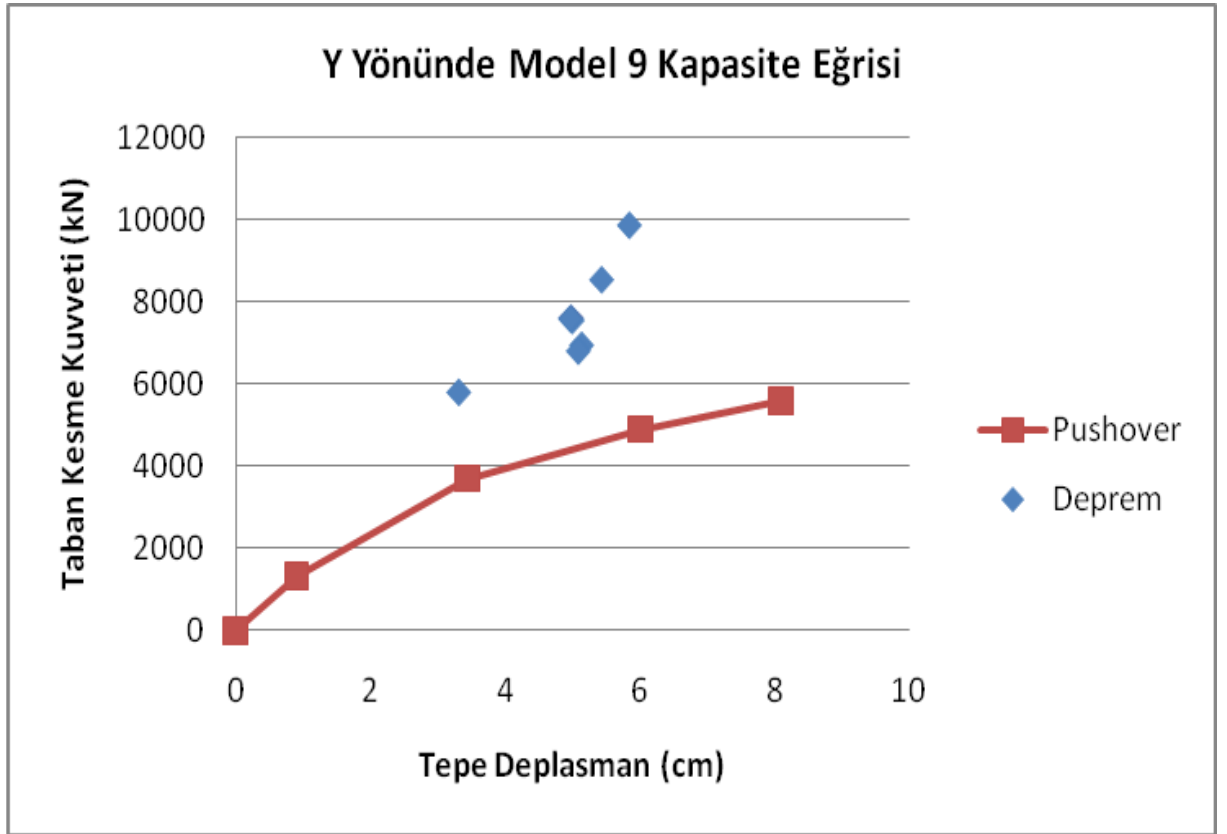
Şekil 5.91 Model 8 Y yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



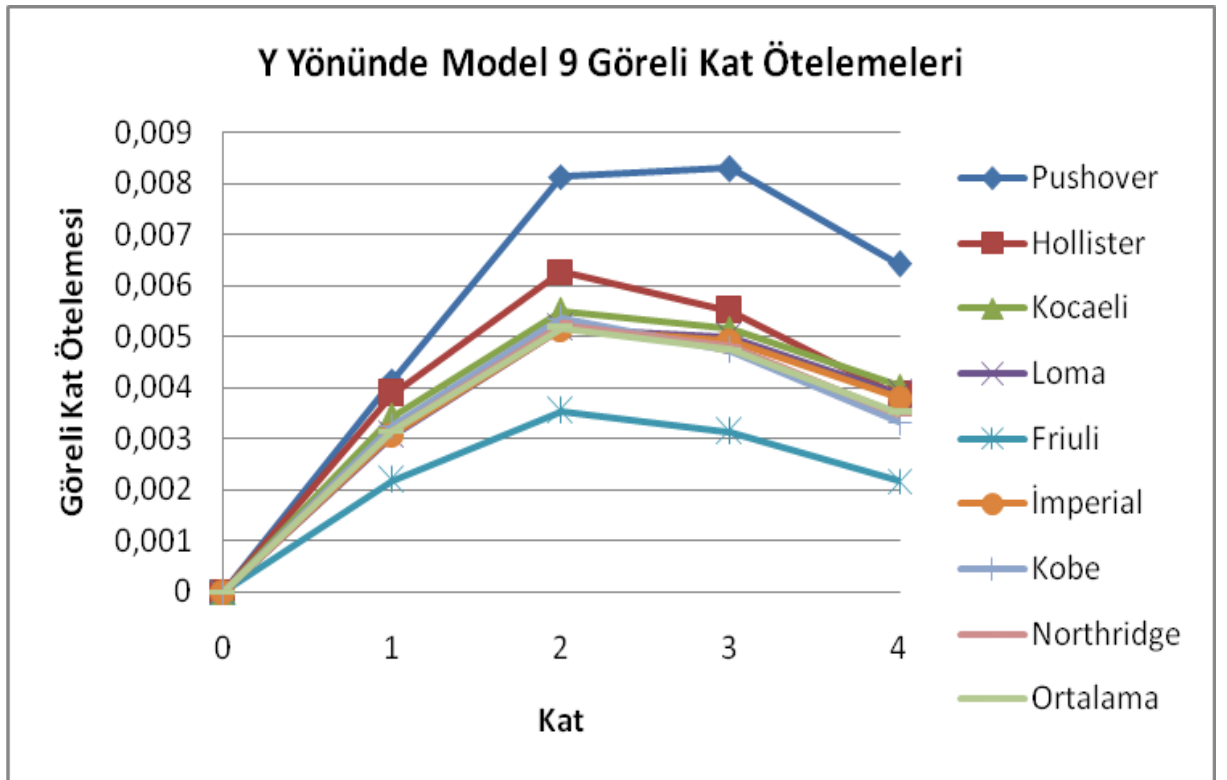
Şekil 5.92 Model 9 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



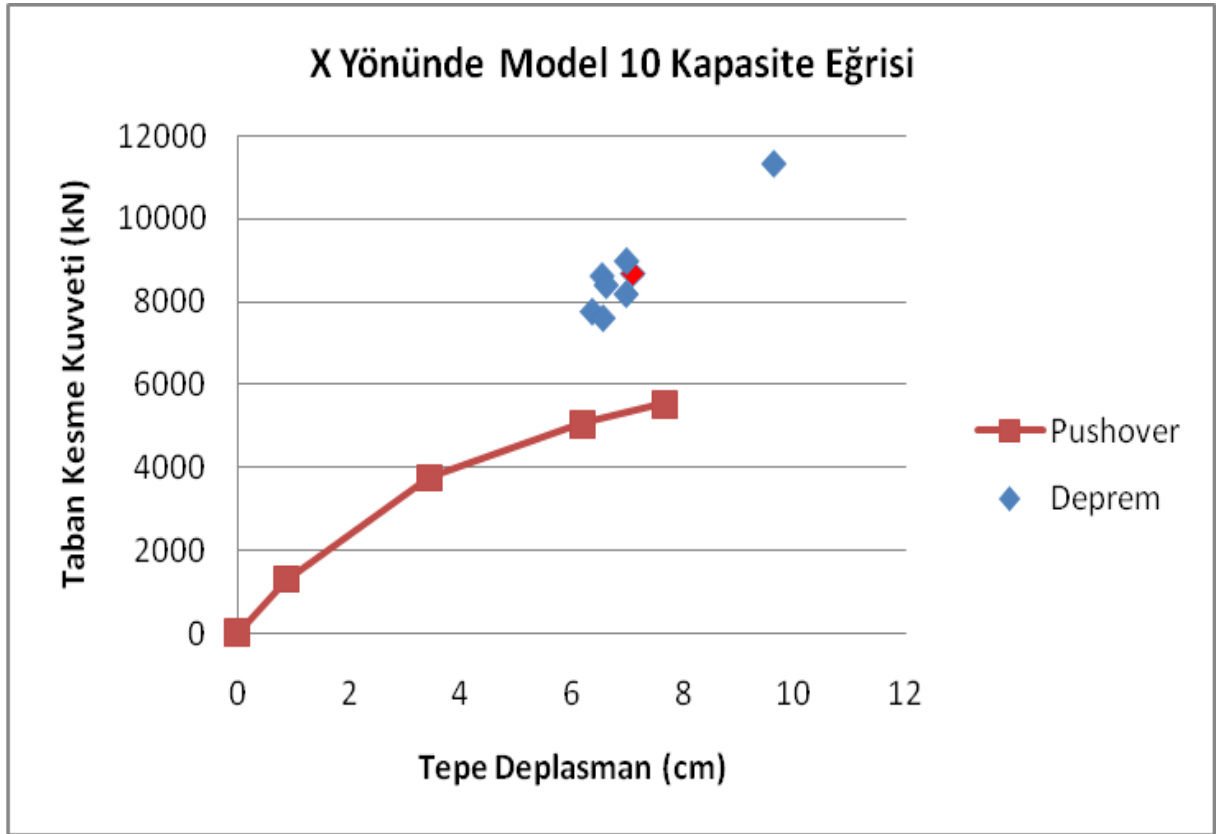
Şekil 5.93 Model 9 X yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



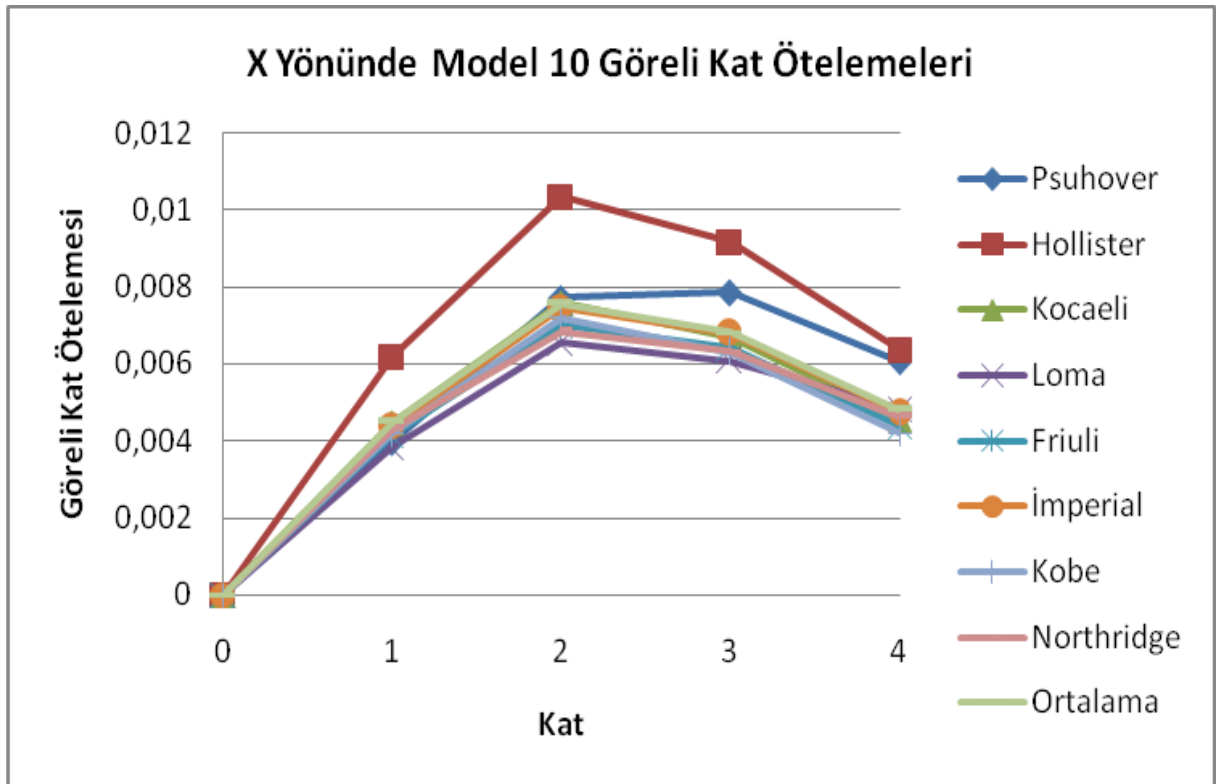
Şekil 5.94 Model 9 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



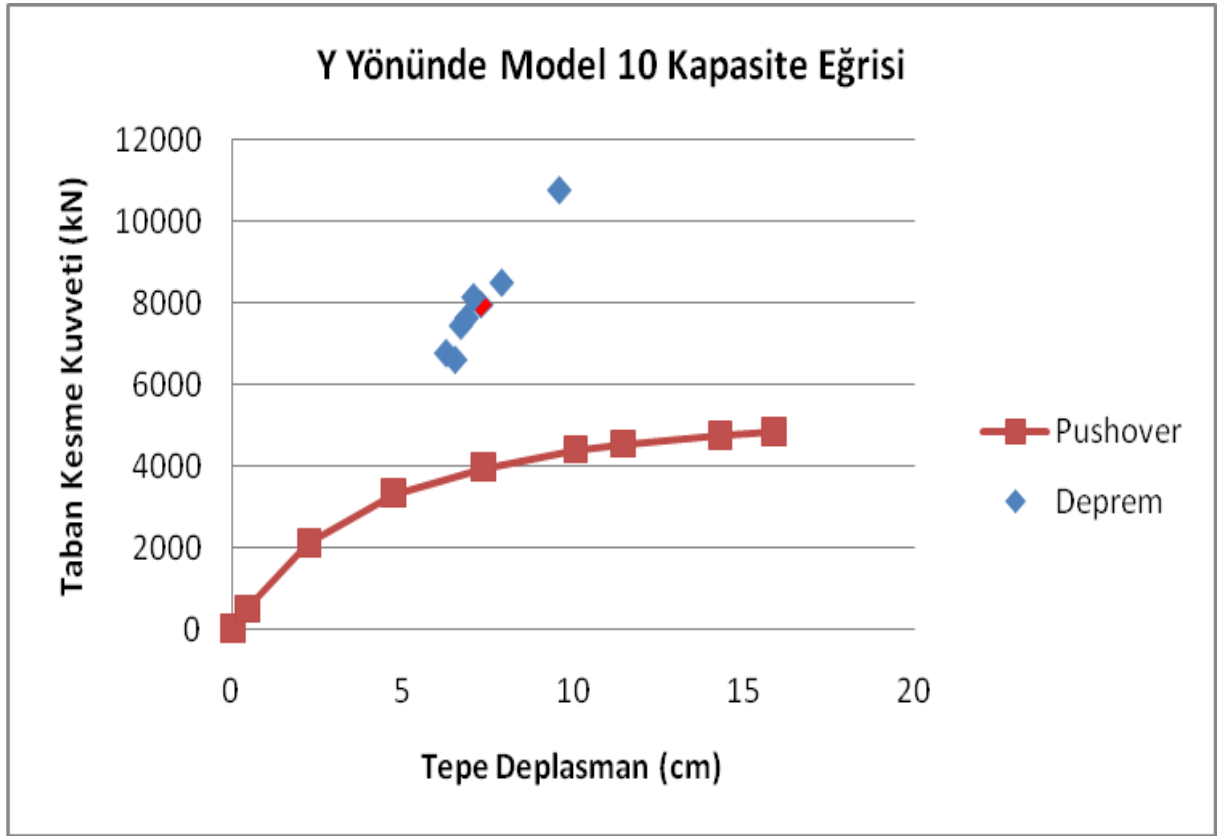
Şekil 5.95 Model 9 Y yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



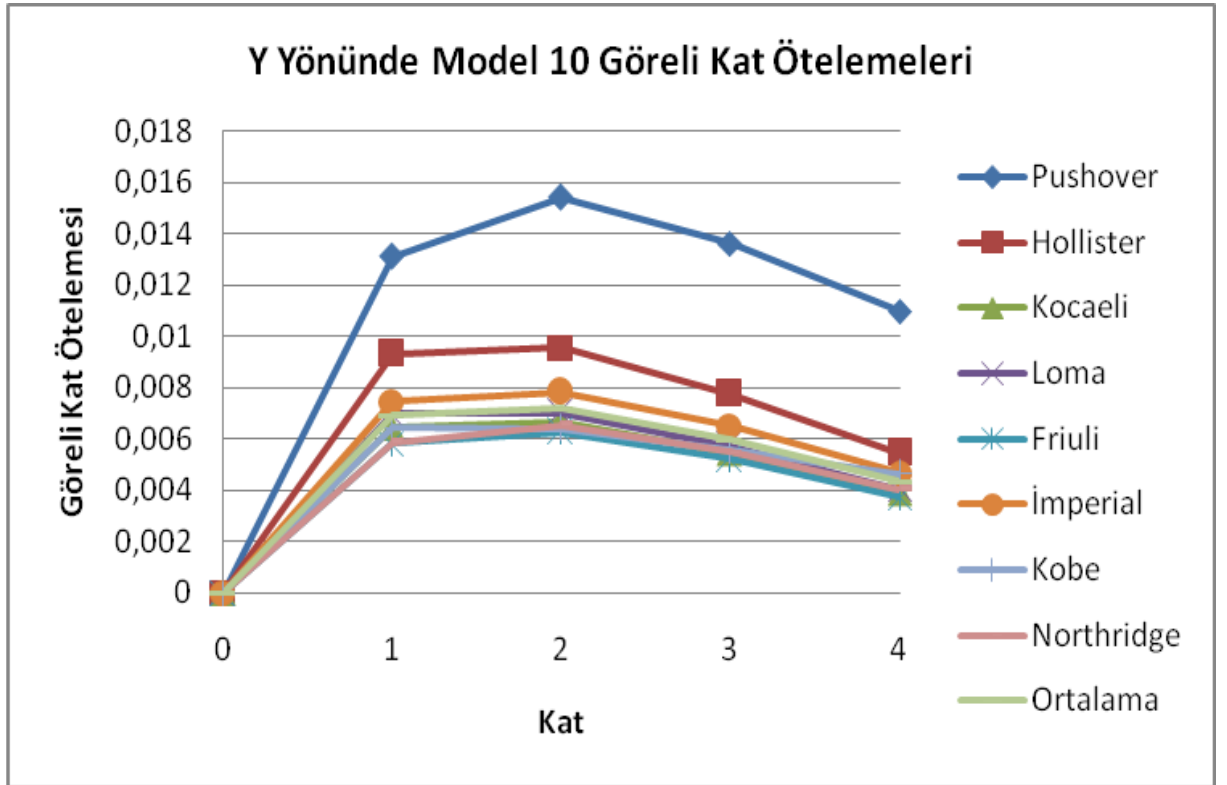
Şekil 5.96 Model 10 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



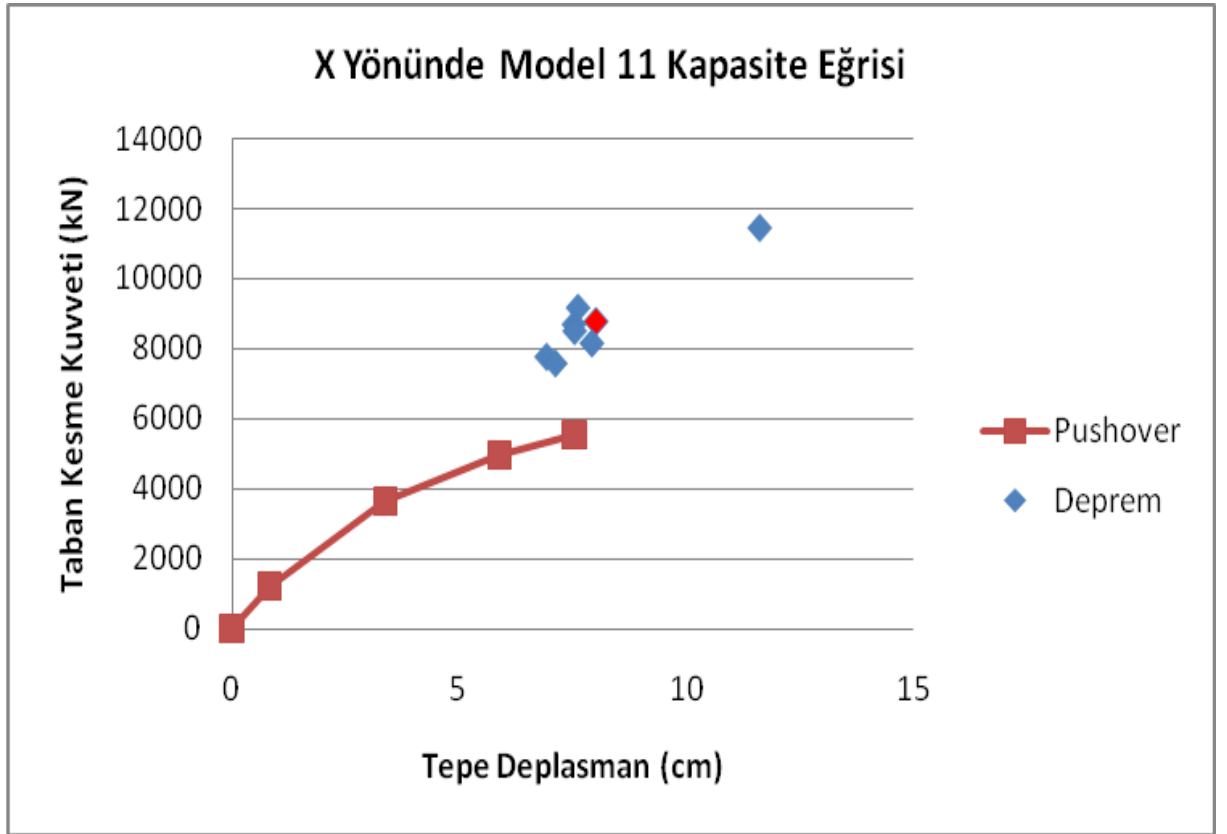
Şekil 5.97 Model 10 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



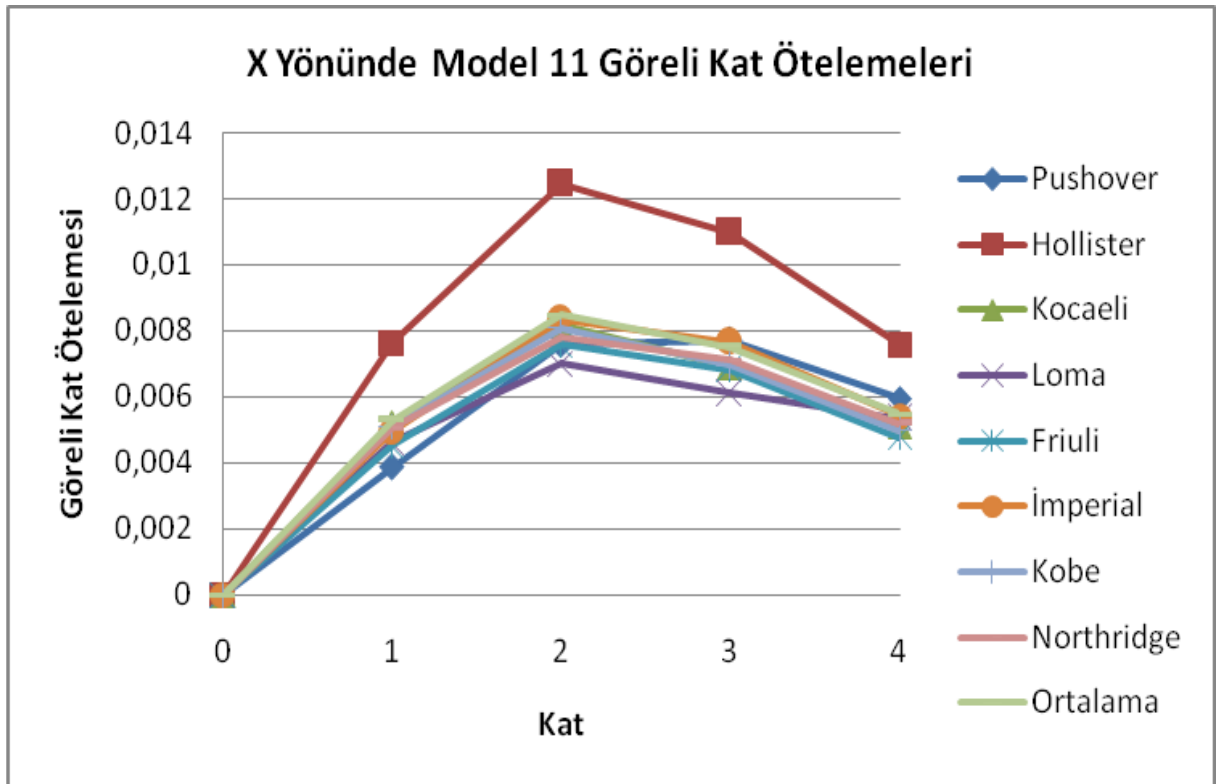
Şekil 5.98 Model 10 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



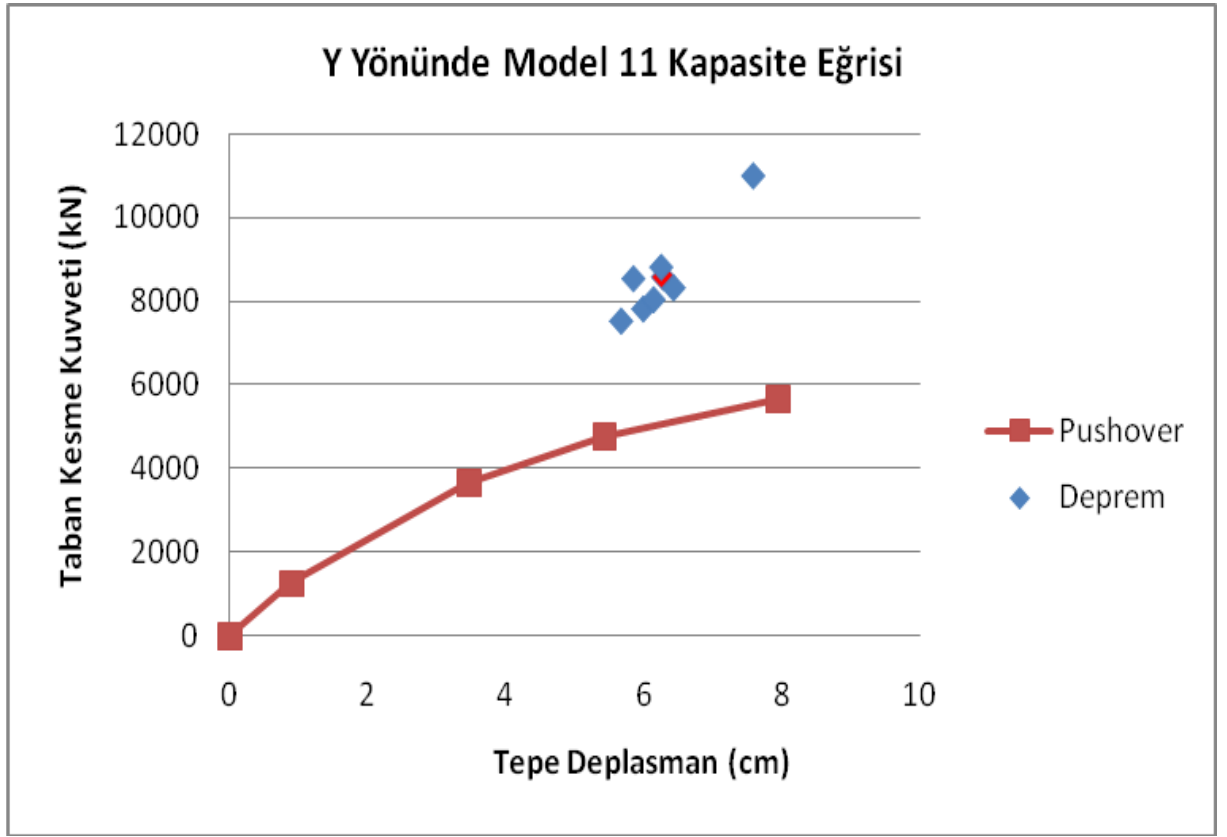
Şekil 5.98 Model 10 Y yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



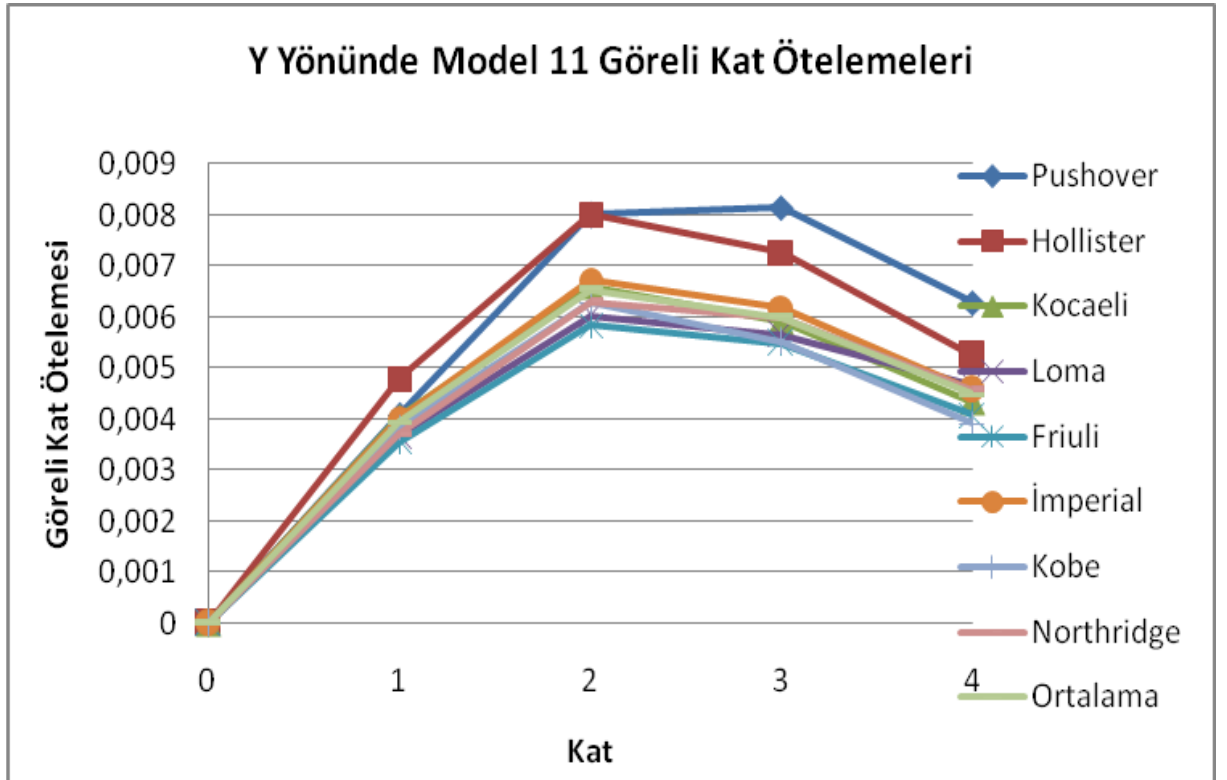
Şekil 5.99 Model 11 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



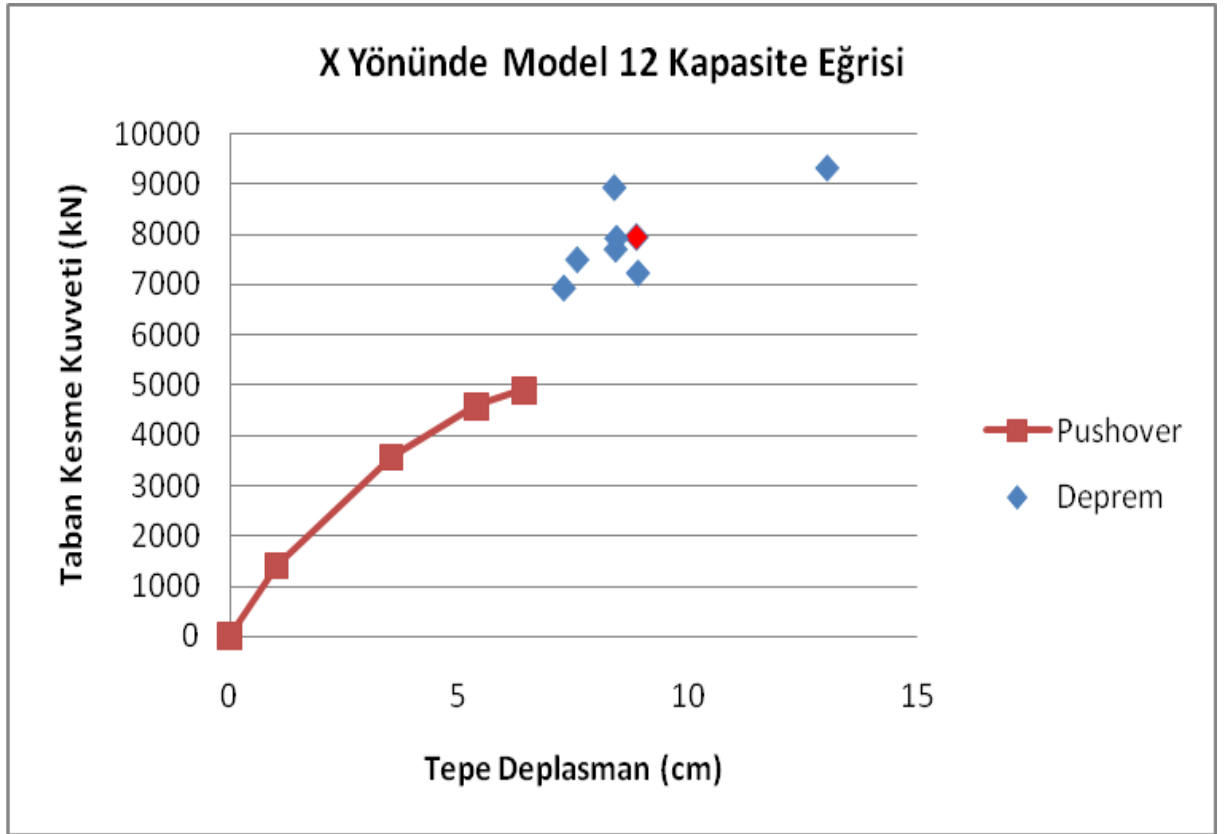
Şekil 5.100 Model 11 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



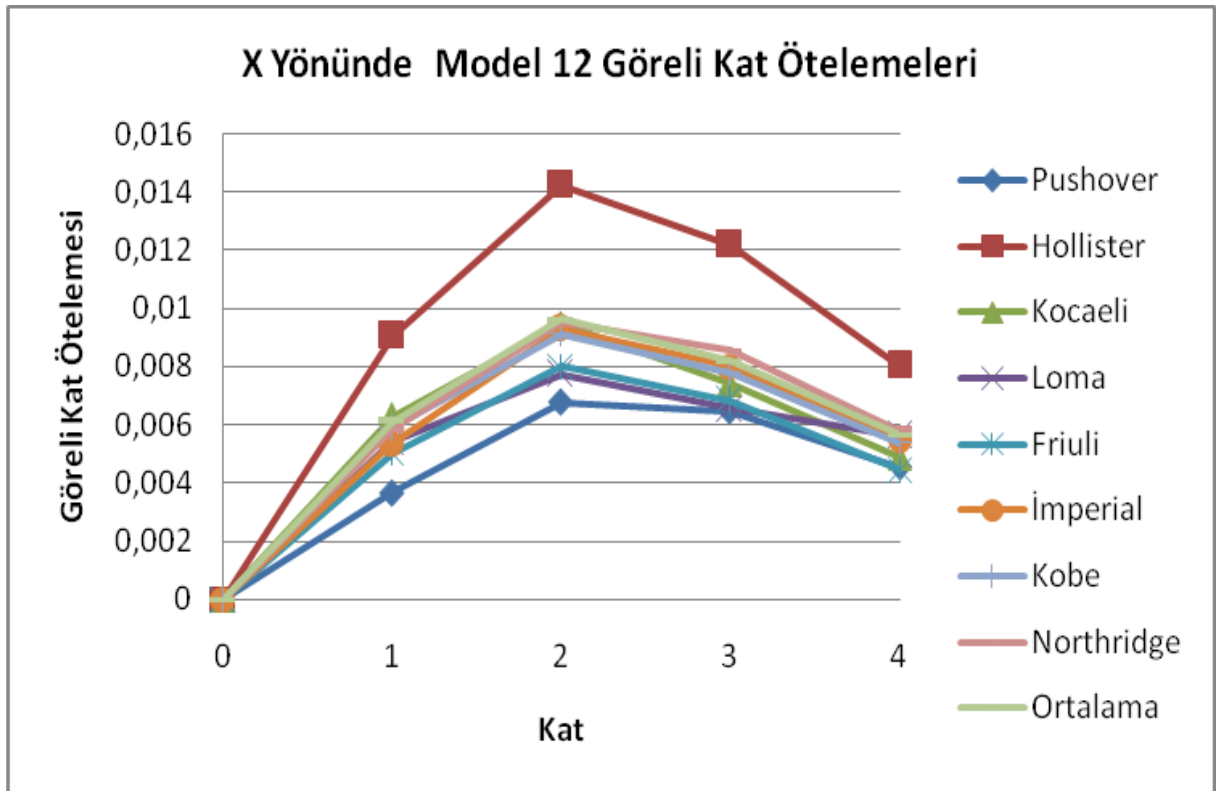
Şekil 5.101 Model 11 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



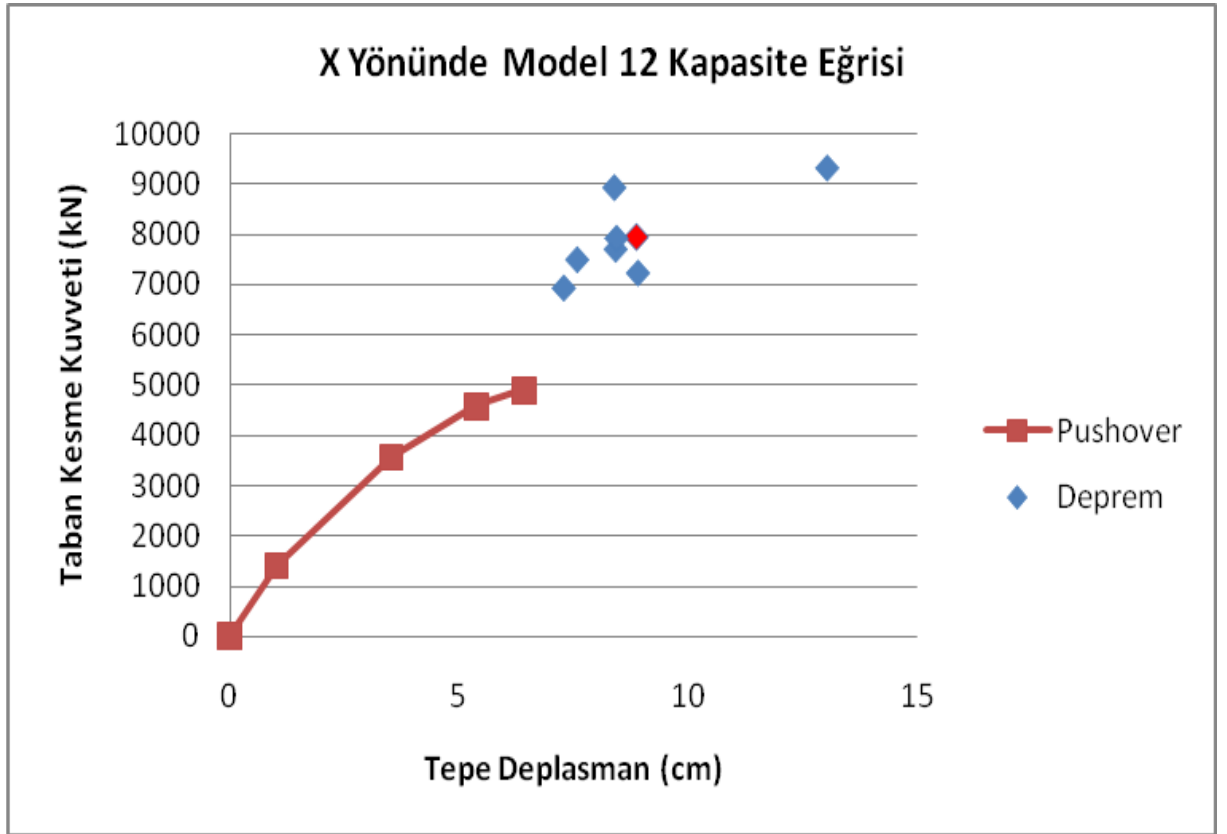
Şekil 5.102 Model 11 Y yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



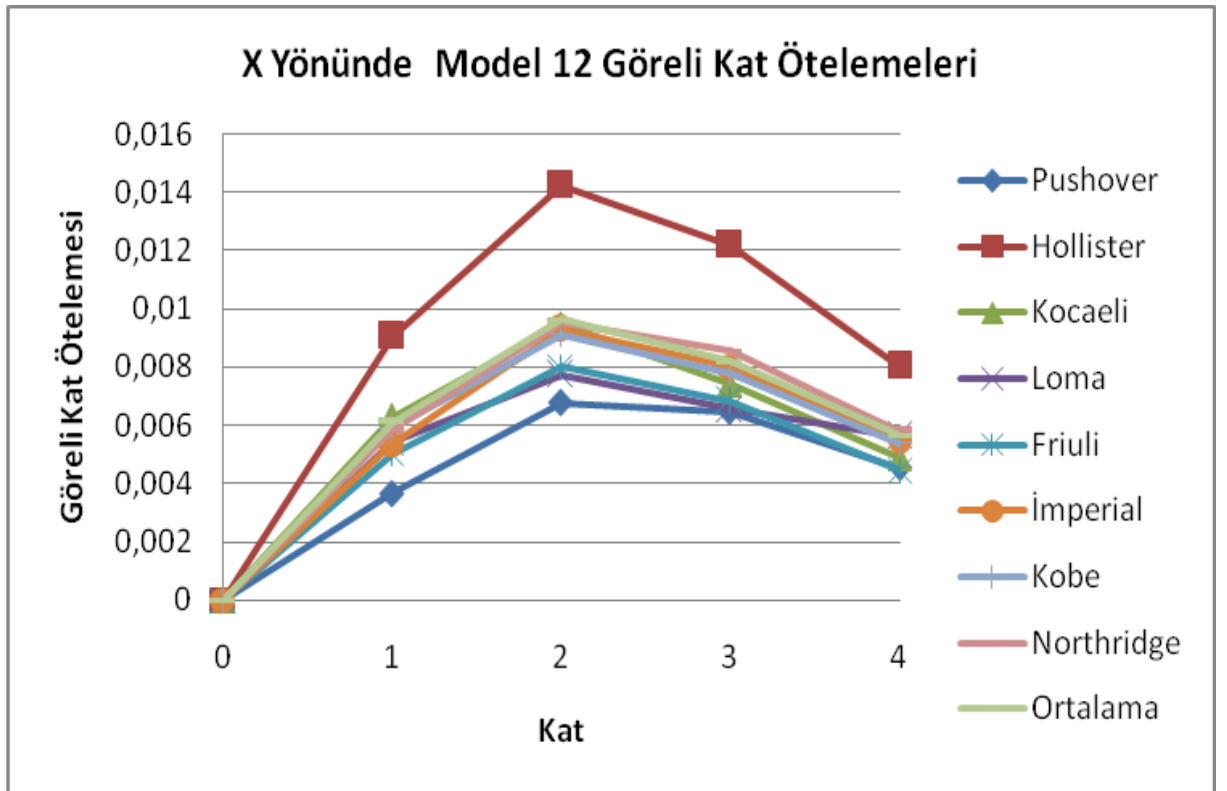
Şekil 5.103 Model 12 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



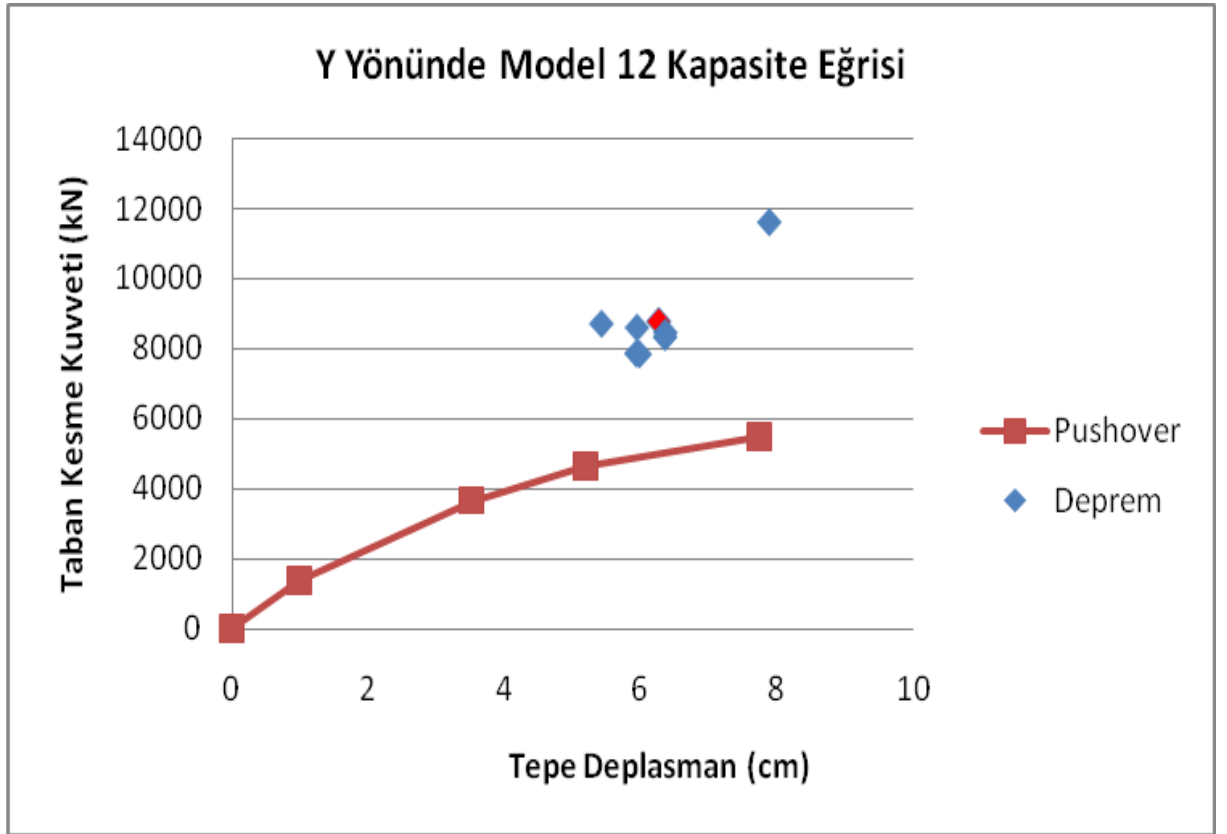
Şekil 5.104 Model 12 X yönünde göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması



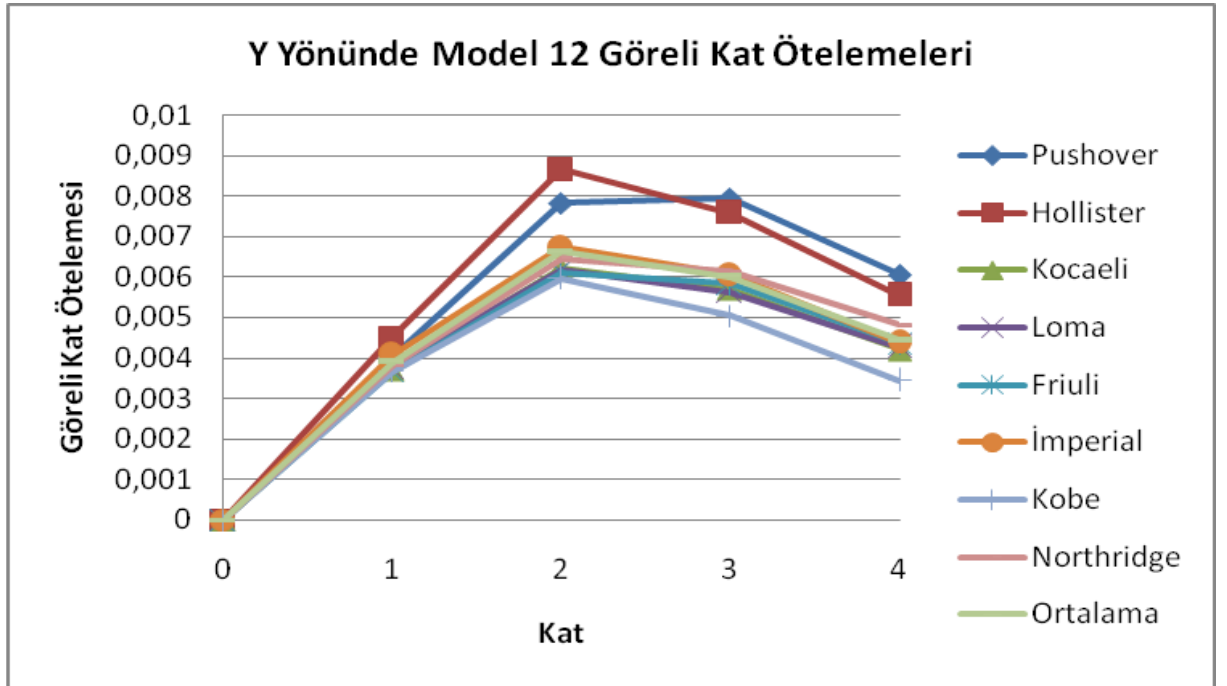
Şekil 5.105 Model 12 X yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması



Şekil 5.106 Model 12 X yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması



Şekil 5.107 Model 12 Y yönünde kapasite eğrisi ve deprem talebinin karşılaştırılması

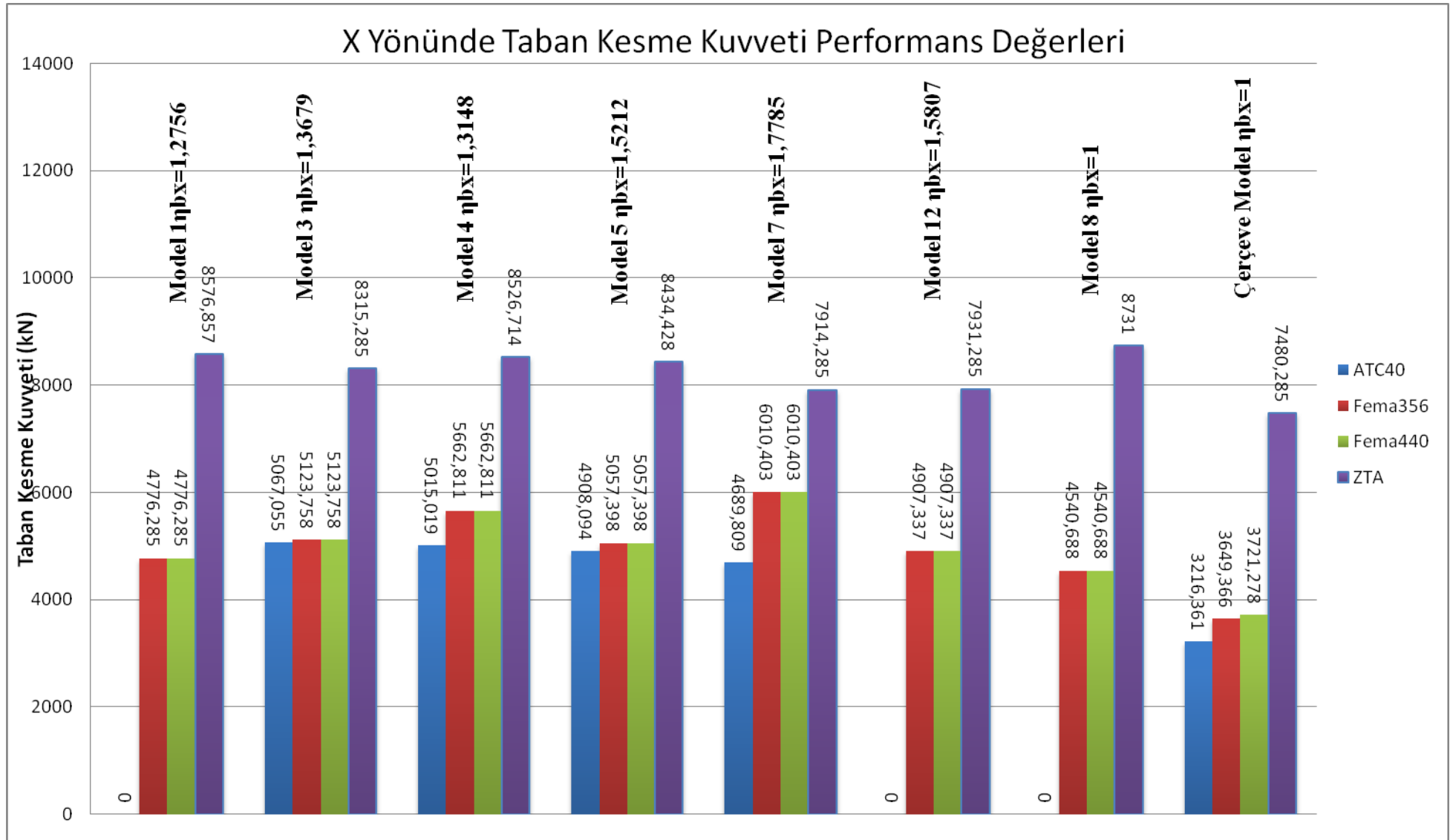


Şekil 5.108 Model 12 Y yönünde görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması

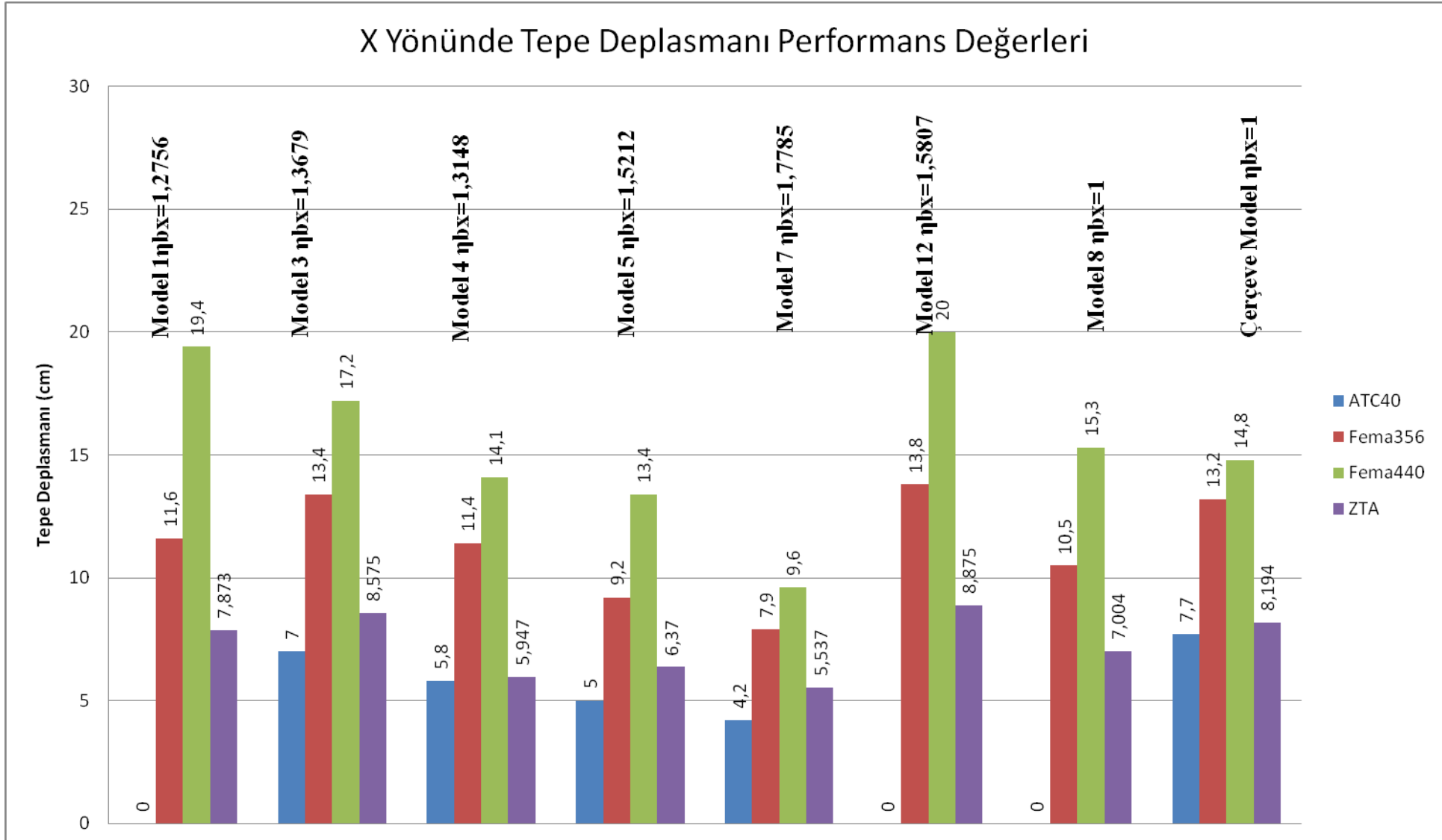
Çizelge 5.11 Pushover analiz sonuçlarının (ATC40 KSY, Fema356 DKY, Fema440 Linearizasyon, Fema440 DKY) zaman tanım alanında analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması

		Pushover Analiz Sonuçları								Zaman Tanım Alanında Analiz Sonuçları (Ortalama)	
		ATC40		Fema356		Fema440L		Fema440D			
		V(kN)	d (cm)	V(kN)	d (cm)	V(kN)	d (cm)	V(kN)	d (cm)	V(kN)	d (cm)
Model 1	X yönü	-	-	4776,285	11,6	-	-	4776,285	19,4	8576,857	7,873
	Y yönü	5218,928	7	5486,664	13,3	-	-	5486,664	16,4	7273,285	6,455
Model 2	X yönü	5021,369	6,1	6751,71	11,6	5849,08	8,5	7324,155	13,6	8731,571	9,922
	Y yönü	4812,969	5,8	5606,073	10,8	5525,928	7,9	5606,073	12,6	7554,857	4,923
Model 3	X yönü	5067,055	7	5123,758	13,4	-	-	5123,758	17,2	8315,285	8,575
	Y yönü	5180,663	6,9	5233,863	12,7	-	-	5233,863	16	8781,857	5,947
Model 4	X yönü	5015,019	5,8	5662,811	11,4	-	-	5662,811	14,1	8526,714	5,947
	Y yönü	5230,009	6,9	6981,97	12,6	6162,421	9,8	7356,523	14,8	8784,285	7,564
Model 5	X yönü	4908,094	5	5057,398	9,2	-	-	5057,398	13,4	8434,428	6,37
	Y yönü	5172,759	6,6	5565,722	12,6	-	-	5565,722	15,7	8768,714	7,377
Model 6	X yönü	5060,539	6,1	6795,744	11,7	5887,904	8,5	7368,687	13,7	8738,428	9,653
	Y yönü	5033,813	6,2	5475,422	11,3	-	-	5475,422	14,3	8120,142	5,412
Model 7	X yönü	4689,809	4,2	6010,403	7,9	5542,009	5,8	6010,403	9,6	7914,285	5,537
	Y yönü	5123,992	6,2	5570,515	12	-	-	5570,515	15,7	8793,571	8,02
Model 8	X yönü	-	-	4540,688	10,5	-	-	4540,688	15,3	8731	7,004
	Y yönü	-	-	5101,18	12,1	-	-	5101,18	17,2	8778	6,89
Model 9	X yönü	5023,01	6,1	6765,968	11,6	6128,328	9,4	7298,995	13,7	8736	9,912
	Y yönü	4815,311	5,8	5600,004	10,7	5524,791	0,079	5600,004	12,7	7580,285	4,966
Model 10	X yönü	5101,737	6,3	5547,651	12,4	-	-	5547,651	15,8	8697,428	7,106
	Y yönü	4057,868	8	4710,703	14,1	4376,963	10	4825,669	15,8	7693	7,308
Model 11	X yönü	5156,487	6,4	5558,424	12,3	-	-	5558,424	15,4	8757,285	8,03
	Y yönü	5264,785	6,8	5673,845	12,7	-	-	5673,845	15,5	8580,285	6,289
Model 12	X yönü	-	-	4907,337	13,8	-	-	4907,337	20	7931,285	8,875
	Y yönü	5235,379	6,9	5512,126	13,2	-	-	5512,126	16,4	8763,143	6,275
Çerçeve Model	X yönü	3216,361	7,7	3649,366	13,2	3392,806	9,1	3721,278	14,8	7480,285	8,194
	Y yönü	3320,088	8,2	3748,469	14,3	3508,486	9,7	3820,056	16,1	7626,143	8,084

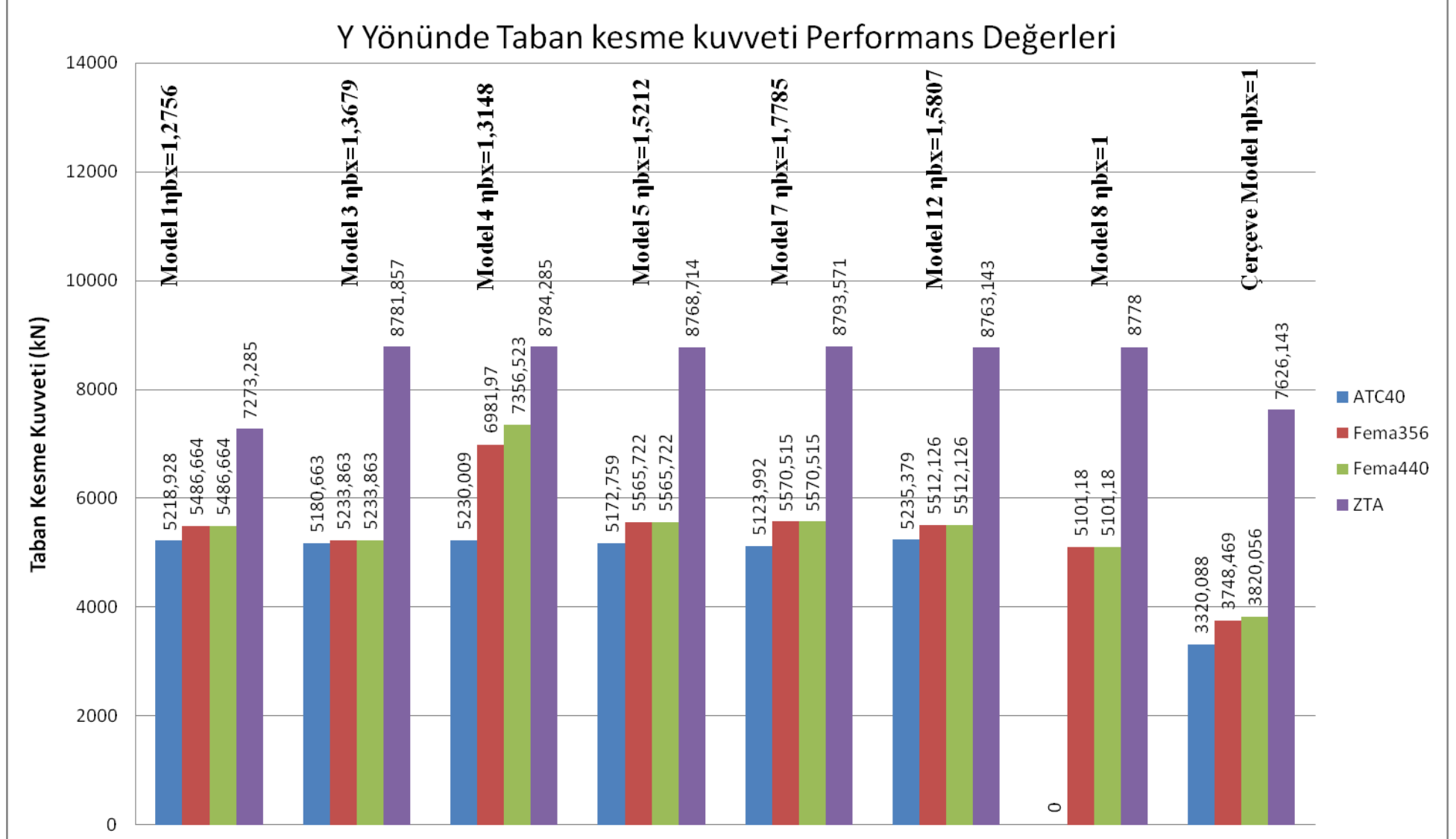
Şekil 5.12 X yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde X yönünde taban kesme kuvveti performans değerleri



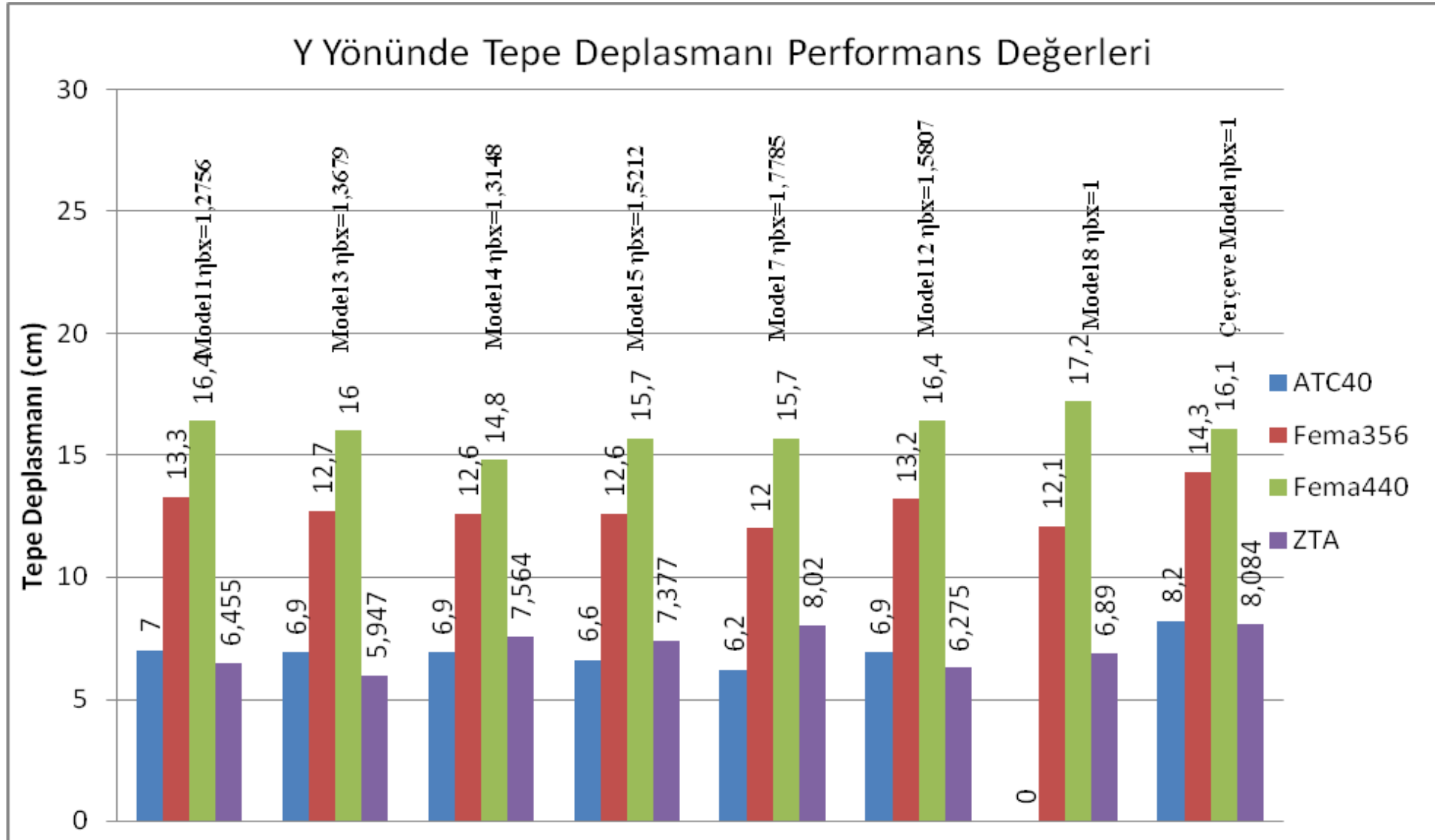
Şekil 5.13 X yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde X yönünde tepe deplasman performans değerleri



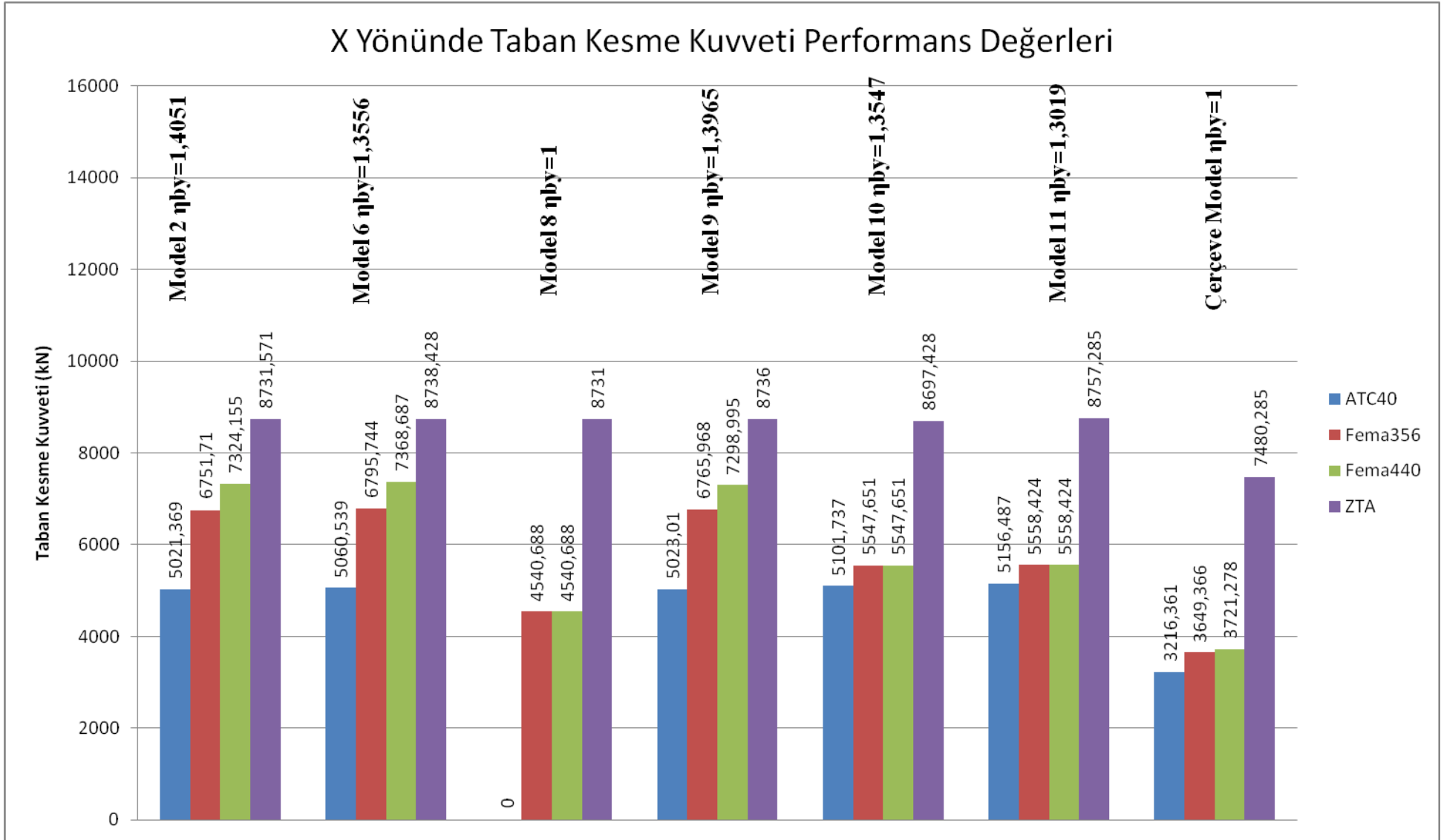
Şekil 5.14 X yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde Y yönünde taban kesme kuvveti performans değerleri



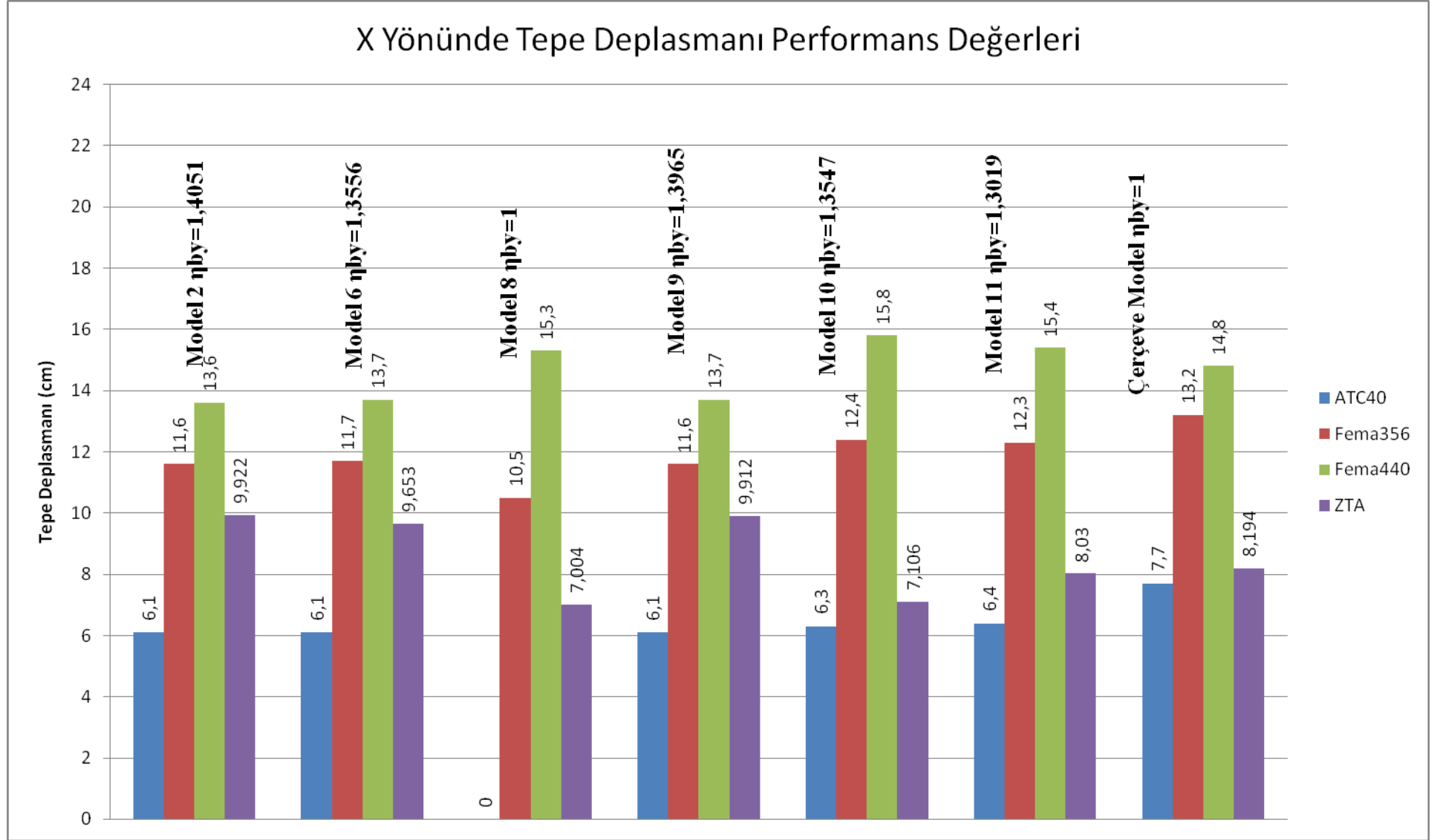
Şekil 5.15 X yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde Y yönünde tepe deplasman performans değerleri



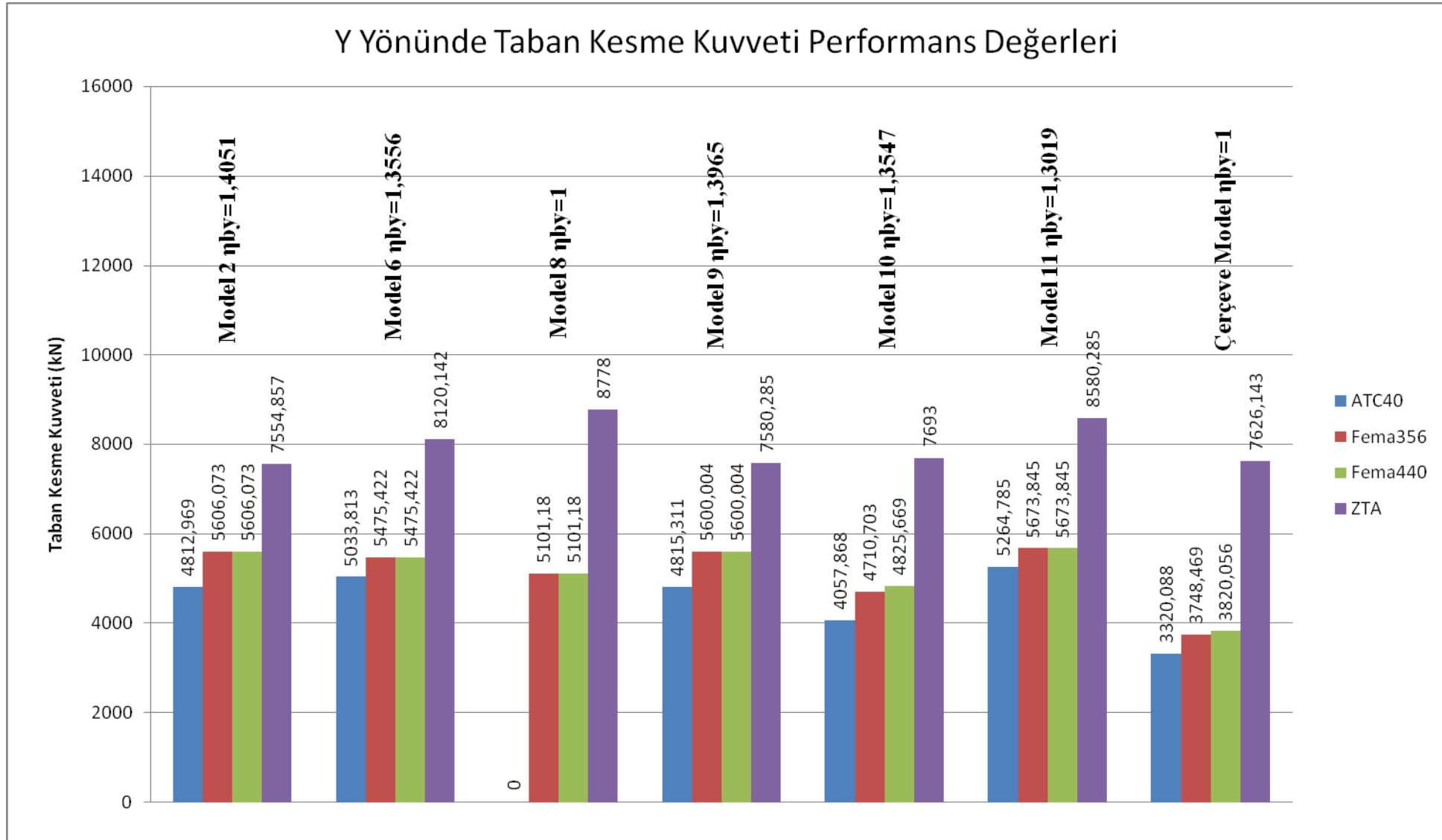
Şekil 5.16 Y yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde X yönünde taban kesme kuvveti performans değerleri



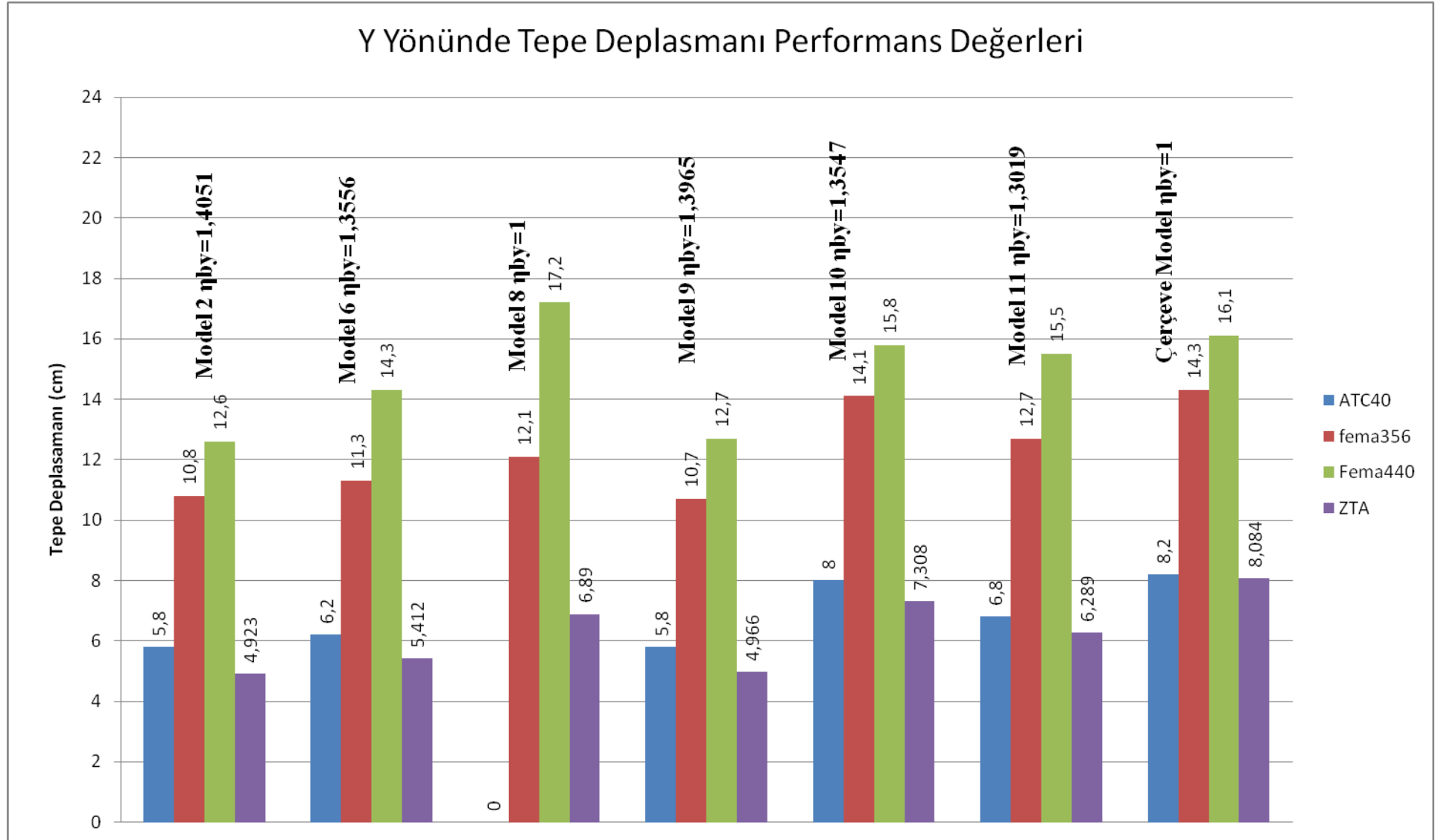
Şekil 5.17 Y yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde Y yönünde tepe deplasman performans değerleri



Şekil 5.18 Y yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde Y yönünde taban kesme kuvveti performans değerleri



Şekil 5.13 Y yönünde burulma düzensizliği bulunan yapı modellerinde Y yönünde tepe deplasman performans değerleri



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde amaç, sismik talepleri belirlenebilen güvenli yapıların projelendirilmesi ve inşa edilmesini sağlamaktır. Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Bu amaçla farklı hesap yöntemleri geliştirilmiş olup en güvenilir hesap yöntemlerinin doğrusal olmayan hesap yöntemleri olduğu bilim çevrelerince kabul görmüştür. Mevcut hesap yöntemlerinin güvenilirliği hala incelenmektedir.

Bu tez çalışması için başlangıçta tasarlanan çerçeve sistemli bir yapının perde duvarlı on iki adet değişik varyasyonu dikkate alınmıştır. İlk etapta perde duvarsız betonarme çerçeve bina olarak tasarlanan yapıya 4 adet aynı kesit alanı ve donatı düzenine sahip perde duvar eklenerek çerçeve-perde duvarlı yapılar haline getirilmiştir. Daha sonra bu yapıların deprem performansındaki değişimler yapılan analizlerle gözlemlenmiştir. Yapılarda tüm modelleme ve analiz çalışmaları SAP 2000 programı ile yapılmıştır. Yapılarda farklı perde duvar yerleşimlerinin ortaya çıkaracağı burulma düzensizliği ve farklı yatay rijitlik dağılımının deprem davranışına etkileri incelenmiştir.

Burulma düzensizliği, deprem etkilerine maruz yapı davranışını karmaşık hale getirdiği için yapı performansını belirlemek için doğrusal olmayan dinamik analiz en uygun analiz yöntemidir. Yönetmeliklerde burulma düzensizliğinin 2.0 değerini aşması halinde dinamik analiz uygulanması istenmiştir(ATC40, 1996), (DBYBHY, 2007). Burulma düzensizliğinin 1.4 ve 2.0 arasında kaldığı binalarda ise bina performansını gerçek deprem davranışına en yakın ve en az işlem gerektirecek şekilde bulabilmek için farklı yöntemler denenmektedir. Bu çalışmada geleneksel statik itme analizinin burulma düzensizliği bulunan binalarda kullanımı ile elde edilen performans analizi sonuçları, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinden zaman tanım alanında analiz sonuçları ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçların güvenilirliği üzerine bulgular elde edilmesi amaçlanmıştır.

Zaman tanım alanında analiz yönteminin uygulanması için yedi adet deprem kaydı kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının analizde kullanılabilmesi için spektrum eğrisine göre benzeştirilerek yönetmeliğimize uygun hale getirilmiştir. Zaman tanım alanında analiz sonuçları belirlenmiş ve artımsal eşdeğer deprem yükü analizi ile kıyaslanmıştır.

İncelenen yapılardan elde edilen burulma düzensizliği ve modal kütle katılım oranlarına bakıldığında, burulma düzensizliğinin 1.4 civarında olduğu binalarda kütle katılım oranlarının 0.6 - 0.7 değerlerini aldığı görülmüştür. Bina şekli ve yapı kat sayılarının farklılığına göre değişmekle beraber, iki parametre arasındaki ilişki göz önüne alındığında

burulma düzensizliğinin 1.4 ü geçmemesinin istenme nedenlerinden birinin hakim moda ait kütle katılım oranının 0.7 den daha küçük bir değer almaması olabilir.

Perde duvarların farklı lokasyonlara yerleştirilmesiyle burulma düzensizliğinin önlenmesi ve perdelerin en iyi çalışma durumlarını belirlenmesi adına yapılan çalışmalarda, perde duvarların bina kenar akslarında olması durumunun en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

Burulma düzensizliğinin sünek yapılarda olması gereken plastik mafsallı oluşma sırasını etkilediği ve yapı kapasitesini düşürdüğü gözlenmiştir. Normal bir sünek yapıda plastik mafsallı oluşma sırası alt katlardan üst katlara kadar kirişlerde plastik mafsalların oluşmasıyla başlar. Kolonlarda bu safhada plastik mafsallı oluşumu ve gelişimi istenmeyen bir durumdur. Bu amaçla tasarım yaparken kolonların kirişlerden güçlü olması prensibi gözetilir. Burulma düzensizliği nedeniyle özellikle perdelerin çalıştığı yönde ve akslarda kirişlerin bir kısmında plastik mafsallı henüz oluşmuşken kolonlarda da mafsallı olduğu, kolonlardaki mafsalların ilerlemesiyle birlikte yapının plastik mafsallı oluşturma kapasitesini kullanamadan erken göçmeye uğradığı gözlenmiştir. Kat mekanizması veya kısmi göçme şeklinde göçmeler oluşması muhtemel görünmektedir.

Binalarda burulma düzensizliğinden daha çok perdelerin konumu bina performansında olumlu ya da olumsuz rol oynamıştır. Yerleştirilen perdelerin kesme kuvveti kapasitesi eşit olmasına rağmen, yeri nedeniyle daha iyi çalışabildiği gözlenmiştir. Perdelerin yerleşiminde dikkat edilmesi gereken hususların gözetilmesinin önemi kavranmıştır.

Daha önceki çalışmalarda görüldüğü gibi perdelerin kenar akslarda bulunmaları hem burulma düzensizliğini azaltmış hem de performansına olumlu katkı yapmıştır. Bazı modellerde perdelerin kenar akslarda ve köşelerde olduğu durumda perde duvarlar komşu olduğu köşe kolonları çekme hasarına zorlamıştır. Bilindiği gibi perde duvarlar eğilme rijitliği büyük olan elemanlardır. Bu nedenle perdelerin beraber çalışacağı kiriş ve kolonlar yeterli güçte dizayn edilmelidir.

Pushover analizlerden elde edilen kapasite eğrilerine ve performans noktalarına zaman tanım alanında analiz değerleriyle beraber bakıldığında, deplasman değerlerinde pek fark olmamasına rağmen, kesme kuvvetlerinin oldukça düşük çıktığı görülür. Bunun pushover analizde dikkate alınan hakim moda ait modal kütle katılım oranlarının az olmasından ve burulma düzensizliğinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

- ABYYHY, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Arisoy, B. ve Arel, H. S., 2010, Performance Based Analysis of Rc Buildings with Different Structural Properties, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 3, 431-439.
- Arslan, M. H., Köroğlu, M. A. ve Köken, A., 2008, Binaların Yapısal Performansının Statik İtme Analizi İle Belirlenmesi *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2008 (2), 71-84.
- ASCE41-06, 2007, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers.
- ATC40, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council. 1.
- Bluebook, 1999, Recommended Lateral Force Requirements and Commentary. Structural Engineers Association of California. SEAOC.
- Celep, Z., 2007a, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, *Beta Dağıtım*, p. 226.
- Celep, Z., 2007b, Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul, Turkey: 14.
- Celep, Z., 2015, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *İstanbul*, Beta Basım Yayın dağıtım A.Ş., p.
- DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*.
- ESD, 2008, The European Strong-Motion Database, www.isesd.hi.is:
- Fajfar, P. ve Krawinkler, H., 2006, Expanded papers from an International Workshop on Performance-Based Design - Concepts and Implementation - Foreword, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* (1), 35.
- FEMA273, 1997, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA356, 2000, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency,.
- FEMA440, 2005, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Federal Emergency Management Agency.
- Freeman, S. A., 1978, Prediction of Response of Concrete Buildings to Sever Earthquake Motion, *ACI Journal*, 589-605.
- Gülkan, P. ve Sözen, M., 1974, Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions. , *ACI Journal*, 604-610.
- IBC, 2000, International Building Code. International Conference of Building Officials.
- Inel, M. ve Ozmen, H. B., 2006, Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings, *Engineering Structures*, 28 (11), 1494-1502.
- Inel, M., Özmen, H. B. ve Bilgin, H., 2008, Seismic Performance Evaluation of School Buildings in Turkey, *Structural Engineering & Mechanics*, 30:5.
- Kilar, V. ve Fajfar, P., 1997, Simple push-over analysis of asymmetric buildings, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26 (2), 233-249.
- Korkmaz, K. A. ve Uçar, T., 2005, Betonarme Yapıların Performansa Bağlı Analizi. Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005 Bildiriler Kitabı: 430-432.
- Korkmaz, K. A. ve Düzgün, M., 2006, Statik Artımsal İtme Analizinde Kullanılan Yük Dağılımlarının Değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi. 6: 3873-3878.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N. ve Park, R., 1988, Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering-Asce*, 114 (8), 1827-1849.

- Özer, E., 2005, Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım, *Betonarme Ders Notları*, 9.
- Özmen, G., 2001, Rijitlik Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri* (411-2001/1), 37-40.
- Özmen, G. ve Gülay, F. G., 2002, An investigation of torsionally irregular multi-story buildings under earthquake loading, *Structural Engineering and Mechanics*, 14 (2), 237-243.
- Özmen, G., 2004, Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği, *İMO Teknik Dergi*, 14 (210), 3131-3144.
- Paulay, T. ve Priestley, M. J. N., 1993, Stability of Ductile Structural Walls, *Aci Structural Journal*, 90 (4), 385-392.
- Pinho, R., Casarotti, C. ve Antoniou, S., 2007, A comparison of single-run pushover analysis techniques for seismic assessment of bridges, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 36 (10), 1347-1362.
- Seismosoft, 2015, Seismomatch V 2.1.2.
- Temür, F., 2007, Statik İtme (Pushover) Yöntemi Kullanılarak Yapıların Analizi, Yüksek Lisans tezi, *Sakarya Üniversitesi*, 86.
- TS498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım kurlaları. Türk Standartları Enstitüsü.
- Vision2000, 1995, Performance Based Seismic Engineering of Buildings. Structural Engineers Association of California. SEAOC.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ensar SUCİ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Gaziosmanpaşa/İstanbul /1985
Telefon : 5388120643
Faks :
e-mail : ensarsuci@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Erzurum Anadolu Lisesi /Erzurum	2003
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi/ Erzurum	2009
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Çat Belediyesi /Erzurum	İnş. Müh.
2012-2013	Çevre ve Şehircilik İl Müd./Erzurum	İnş. Müh.
2013-	Selçuk Üniversitesi/Konya	Arş. Gör.

UZMANLIK ALANI

İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

