

170431



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK ÇERÇEVELERDE HİSTERETİK
ENERJİ TALEPLERİ VE ÖTELEME
ANALİZLERİ

Ülgen MERT TUĞSAL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLGİSİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

GEBZE
2005

..Ülgen...MER.T...TUS SA.....'ın tez çalışması, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24./04./2005... tarih ve 2005/... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..Deprem...ve...Yapı.....Bilgisi..... Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ 
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Eren UĞKAN 

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. İrfan SAHİN 

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04./04./2005. tarih ve 2005/1/3..... sayılı kararı.

İmza / Mühür


ÖZET



Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel tasarım felsefelerinden bir tanesi, düşük performans seviyelerinde yapıların şiddetli deprem karşısında göçmeden hasar görerek yıkılmayacak şekilde tasarlanmasıdır. Bu ise yapıların doğrusal olmayan davranışını kabul etmek ve yapıları ona göre boyutlandırmak anlamına gelmektedir. Yapıların sismik davranışlarını belirlemedeki en gerçekçi yol doğrusal olmayan dinamik zaman artımı analizi olmasına rağmen bu yöntemin oldukça karmaşık olmasından dolayı son yıllarda öteleme analizi de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada alçak-, orta-, ve yüksek-katlı çelik çerçevelerde yapılan doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri değişik mukabele parametreleri yardımıyla öteleme analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve histeretik enerji talepleri incelenmiştir.

Sonuçlar göstermiştir ki öteleme analizi sonuçları çelik çerçevelerin gerçek deprem karşısındaki davranışlarını belirlemede yetersiz kalmaktadırlar.

SUMMARY



One of the earthquake resistant design philosophies is to design the structure so that it will not collapse at low performance levels when subject to a severe earthquake ground motion. This is to accept the nonlinear behavior of the structures and to design them accordingly. The most accurate and reliable way to determine the seismic behavior of a structure is to carry out nonlinear dynamic time history analysis, which is quite complicated. As an alternative to this analysis method, pushover analysis has recently been used.

This study is intended to compare the nonlinear dynamic time history analyses and pushover analysis at low-, mid-, and high-rise steel moment resisting frames by using different response parameters and also to investigate the hysteretic energy demand.

The results indicate that; pushover analysis is inadequate in predicting the seismic response of mid- and high-rise steel moment resisting frames.

TEŞEKKÜR



Hayatımın her döneminde benim yanımda olan ve kazandığım tüm başarılarımda imzaları bulunan sevgili annem Ülkü MERT'e ve sevgili babam Engin MERT'e; eğitim sürem boyunca bilgi birikimi ve vizyonuyla çalışmalarımnda bana ışık tutan ve yanımda olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ'a; tez süresi boyunca benden desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşım Araş. Gör. F. İlknur KARA'ya; bu süreci tamamlarken sevgisi, sabrı ve anlayışıyla yanımda olan sevgili eşim Serkan TUĞSAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Şubat 2005,

Ülgen MERT TUĞSAL



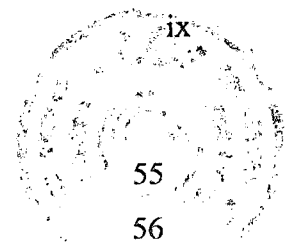
*Biricik kızlarım
Zeynep ve Deniz TUĞSAL'a...*



İÇİNDEKİLER DİZİNİ



ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	
1.1 Genel	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve İçeriği	6
2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA	
ENERJİ KAVRAMLARI	9
3. DEPREM HAREKETİNİN ÖZELLİKLERİ	
3.1 Temel Hareket Denklemi	15
3.1.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler (TSD)	15
3.1.2 Çok Serbestlik Dereceli Sistemler (ÇSD)	16
3.2 Doğrusal Olmayan Sistemler İçin Hareket Denkleminin	
Normalleştirilmesi	17
3.3 Enerji Denklemlerinin Elde Edilmesi	18
3.4 Enerji Spektrumu	20
4. BİNALARIN TANIMI	22
5. ANALİTİK ÇALIŞMA	
5.1 Doğrusal Olmayan Zaman Geçmişi Analizleri	26
5.2 Öteleme Analizleri	30
6. ANALİZ SONUÇLARI	
6.1 V/W-u	32
6.2 Kat Deplasmanlarının Değişimi	36
6.3 Kat Kesme Kuvvetlerinin Değişimi	40
6.4 Göreli Kat Ötelemesi Oranlarının Değişimi	44
6.5 Enerji Terimlerinin Değişimi	48



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

55

7.2 Öneriler

56

KAYNAKLAR

58

EK-1: Mod Şekilleri

63

EK-2 : Normalleştirilmiş Mukabele spektrumları

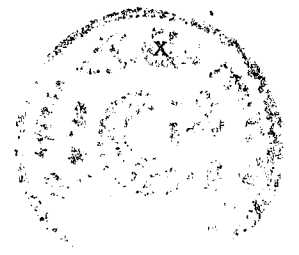
67

ÖZGEÇMİŞ

72



KISALTMALAR DİZİNİ



DOSY	Doğrusal Olmayan Statik Yöntem
ÖA	Öteleme Analizi
ÇMÇ	Çelik Moment Çerçevesi
EBYİ	En Büyük Yer İvmesi
EEBİ	Etkili En Büyük İvme
YHS	Yer Hareketi Spektrumu
DDTS	Düzeltilmiş Doğrusal Tasarım Spektrumu
DOTMS	Doğrusal Olmayan Tasarım Mukabele Spektrumu
TSD	Tek Serbestlik Dereceli
ÇSD	Çok Serbestlik Dereceli



ŞEKİLLER DİZİNİ



Sekil

Sayfa

3.1. Yer hareketine maruz TSD bir sistemin matematiksel modeli	15
4.1. 3 katlı yapının plan ve görünüşü	22
4.2. 9 katlı yapının plan ve görünüşü	23
4.3. 20 katlı yapının plan ve görünüşü	24
5.1. Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları	27
5.2. Depremlerin İvme-Zaman Grafikleri	28
6.1. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçları	32
6.2. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçları	32
6.3. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçları	33
6.4. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarının $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için karşılaştırılması	33
6.5. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarının $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için karşılaştırılması	34
6.6. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarının $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için karşılaştırılması	34
6.7. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre katlarının deplasman değerleri	36
6.8. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre katlarının deplasman değerleri	37
6.9. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre katlarının deplasman değerleri	38
6.10. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre kat kesme kuvveti değerleri	40
6.11. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre kat kesme kuvveti değerleri	41

6.12. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre kat kesme kuvveti değerleri	42
6.13. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre görelî kat ötelemesi oranları	44
6.14. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre görelî kat ötelemesi oranları	45
6.15. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre görelî kat ötelemesi oranları	46
6.16. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre histeretik ve toplam enerji değerleri	48
6.17. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre histeretik ve toplam enerji değerleri	49
6.18. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre histeretik ve toplam enerji değerleri	50
6.19. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarına göre $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için histeretik ve toplam enerji değerleri	51
6.20. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarına göre $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için histeretik ve toplam enerji değerleri	52
6.21. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarına göre $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için histeretik ve toplam enerji değerleri	53

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo

Sayfa

5.1. Depremlerin Özellikleri

26



1. GİRİŞ

1.1. Genel

Depremler çok sık olmamaları nedeniyle çok özel bir tip doğal felakettir ve dünyanın birçok bölgesinde yapının servis ömrü boyunca en az bir küçük deprem ile karşılaşma olasılığı çok yüksektir. Bir yapının ömrü boyunca şiddetli bir depremle karşılaşması olasılığı düşük olmasına rağmen ortaya çıkan can ve mal kaybı oldukça büyük olmaktadır. Bertero (1994) bu durumu şu şekilde ifade etmiştir: “Depremler oldukça nadir görülen ve meydana geldiğinde sonuçları yıkım ve acı ile sonuçlanan doğal hasarların çok özel bir tipidir.”

Tüm dünyada kabul edilen depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi şu üç kriterden oluşmaktadır;

- a. Yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı çok fazla olan hafif şiddetli depremlerde yapısal olan ve olmayan elemanlarda oluşacak hasar önlenmelidir.
- b. Yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı çok fazla olmayan orta şiddetli depremlerde yapısal olan ve olmayan elemanlarda oluşacak hasar onarılabilir düzeyde olmalıdır.
- c. Yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı çok az olan şiddetli bir depremde can kaybı ve yapının göçmesi önlenmelidir.

Yukarıdaki bu üç kriterlik depreme dayanıklı yapı tasarım felsefesi birkaç yıl öncesine kadar deprem yönetmeliklerinde sadece üçüncü madde ile kendini göstermekteydi, can güvenliği ve göçmenin önlenmesi; ilk iki madde ise imalı bir şekilde mimari kısıtlamalarla sağlanmaya çalışılmaktaydı. Son yıllarda gerek ülkemizde gerekse dünyada meydana gelen depremlerdeki (Nortridge, 1994; Kobe, 1995; İzmit, 1999) can ve mal kaybı deprem konusunda bilinmeyenlerin bilinenlerden daha fazla olduğunu göstermiştir. Elde edilen son veriler ışığında yapılan çalışmalar yukarıda bahsedilen üç maddenin de yapı tasarımında uygulanabilmesi ve mevcut yapıların sismik performanslarının değerlendirilebilmesi

amacı ile özellikle Amerika'da deprem yönetmeliklerinde önemli ölçüde değişiklikler meydana getirmiştir(IBC-2000; FEMA-356; ATC-55).

Depreme dayanıklı tasarım felsefesi, niteliksel olarak kapsamlı tasarım teorisine dayanmakla beraber, mevcut pratik uygulama amaçlarını realize etmemektedir. Bunun sebebi, niceliksel olarak deprem yer hareketlerini veya önlenmesi gereken hasarın derecesini tarif edememesidir. Buna çare olarak, yapıdaki hasarı kontrol altına almayı hedefleyen, daha kapsamlı ve detaylı bir tanım olan performans dayalı tasarım benimsenmiştir (Bertero, FEMA-273, Vision 2000 Committee, 1995).

Performansa dayalı depreme dayanıklı tasarım sismik riskin, performans seviyeleri seçiminin, zeminin uygunluğunun, kavramsal tasarımın, sayısal ön tasarımın, tasarım sırasındaki kabul edilebilirlik kontrollerinin, tasarımın gözden geçirilmesinin, inşaatın kalitesinin ve binanın ömrü boyunca bakımının tanımlanmasının ifade edilmesidir (SEAOC, Vision 2000).

Performansa dayalı tasarımda kabul edilebilirlik kontrolleri, tanımlanan seviyelerdeki yer hareketlerine göre seçilen performans seviyeleri için yapısal mukabele değerlerini kısıtlamaktır. Yapısal mukabele parametreleri olarak gerilmeler, şekil değiştirmeler, göreceli kat ötelemeleri oranları, yapısal ivmeler, süneklik değerleri, hasar indisi ve enerji parametreleri kullanılabilir.

Mevcut bir yapının, servis ömrü boyunca maruz kalabileceği farklı seviyelerdeki deprem hareketlerinde, performansının kabul edilebilirliği performansa dayalı kapsamlı depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımının konusudur. Bu nedenle mevcut yapı sistemlerinin (temelin etrafındaki zemin, temel yapısı, üst yapı ve yapısal olmayan elemanlar) gerçekçi matematiksel modellerinde 3 boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan zaman-geçmiş analizleri kullanılmaktadır (Bertero and Teran-Gilmore, 1994).

Performansa dayalı depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımı, enerji kavramlarının kullanımına ve yapısal dinamik ile kapsamlı tasarımın temel

prensiplerine dayanmakta olup, bütün yapı sisteminin gerçeğe uygun mekanik davranışını göz önüne almaktadır. Dayanım için eş zamanlı talep, deformasyonlar (burulma etkileri içeren) ve bu deformasyonların talep üzerinde bir araya gelen etkileri ve de yapının tüm sisteminin temin edilen enerji kapasitesi tasarım yönteminin başlatılmasında önem taşımaktadır. (Bertero and Teran-Gilmore, 1996).

Performansa dayalı kapsamlı depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımının ilk basamağı, seçilen yapının zemin çevresinin uygunluk analizini yürütmektir. Bunun için yapılması gereken tanımlamalar;

- Yapının zemin profili ve topoğrafya tanımlanmalı ve bu zemin durumunun sismik aktivite üzerindeki etkisi tayin edilmelidir.
- Bölgedeki ve yapının çevresindeki sismik aktivite tanımlanmalıdır.
- Yapı çevresindeki potansiyel sismik afetlerin ve bunların hasar potansiyellerinin bilgisi tanımlanmalıdır.
- Yapı performansının istenen farklı seviyelerinde tasarımı kontrol edecek sismik afetlerin tanımlanması: Deprem yer hareketleri, zemin sıvılaşması, tsunamiler, seller, yangınlar ve diğer afetler tasarımı kontrol etmektedir. Genelde yapıların depreme dayanıklı tasarımı, deprem yer hareketlerinin titreşimli tepkisi karşısında dayanımı amaçlasa da, pek çok olayda diğer hasar kaynakları tasarımı kontrol edebilmektedir. Kabul edilmelidir ki; kullanılabilirlik için tasarımı kontrol eden olan sismik afet, güvenlik için olan tasarımından biraz farklı olmalıdır. Mesela, sıvılaşma ve toprak kayması sıkça meydana gelen deprem hareketlerinde problem olmaz, fakat şiddetli depremler için olan tasarımı kontrol eder (ör: güvenlik)
- Binanın zemin çevresinin uygunluk analizi yapılmalıdır.

(Bertero, 1995).

Yukarıda da bahsedildiği gibi son yıllarda doğrusal elastik davranışı esas alan deprem yönetmeliklerinde önemli değişiklikler yapılmıştır ve deprem yönetmelikleri performans esaslı olmaya doğru hızla ilerlemektedir (ATC-55, FEMA-356, IBC-2000). Son çıkarılan deprem yönetmeliklerinde, yapıların sismik performanslarının belirlenmesi amacıyla dört değişik performans seviyesi önerilmektedir. Bu

performans seviyeleri yüksek performans seviyesinden sırasıyla düşük performans seviyesine doğru;

- İşlevsel seviye
- Hemen oturabilme seviyesi
- Can güvenliği seviyesi
- Göçmenin önlenmesi

seviyeleridir. Düşük performans seviyelerinde (can güvenliği ve göçmenin önlenmesi) sismik taleplerin tahmin edilebilmesi için yapının doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınması gerekmektedir.

Performans seviyelerinin kendileri depremden bağımsız olup, spesifik zemin hareketleri kriterleri ile birleştğinde performans tasarım amacı haline gelir. Performans seviyelerinin kararına varıldıktan sonra, bunlara uygun gelen minimum performans tasarım amaçları tespit edilmelidir. Bunlar;

- Sıkça meydana gelen hafif şiddetteki deprem hareketlerine, yapısal hasar almadan dayanacak,
- Ara sıra meydana gelen orta şiddetteki deprem hareketlerine, yapısal hasar almadan ve kontrollü yapısal olmayan eleman hasarı ile dayanacak,
- Nadiren meydana gelen büyük şiddetteki deprem hareketlerine, yaşam güvenliğini tehlikeye atmayacak kontrollü hasarla dayanacak,
- Çok nadir olsa da görülebilen çok şiddetli deprem hareketlerine, göçmeye yakın duruma kadar hasar alarak ama göçmeden ve içinde yaşayanların hayatlarını tehlikeye sokmadan dayanacak.

Başlangıç ve final tasarımlar performans tasarım amaçlarına dayanmaktadır. Bütün performans tasarım amaçlarına bağlı olan taleplerin sayısal tasarımını yapmak en ideali gibi gözükse de, bu amaçların pek azı tasarımı yönlendirmektedir. Herhangi bir durumda, şiddetle tavsiye edilen, bu amaçların en az ikisini göz önüne alan bir depreme dayanıklı başlangıç tasarımı yürütmektir: kullanılabilirlik ve yaşam güvenliği(göçmeye yakın durum) (Bertero, 1995).

Düzgün olmayan bir konfigürasyona, planda düzensizliğe ya da rijit veya yarı-rijit bir diyaframa sahip 3 boyutlu bir model dinamik analizle çözümlenebilir (Bertero and Teran-Gilmore, 1994). Her ne kadar mevcut deprem yönetmelikleri oluşabilecek burulma ve farklı yükleme etkilerine sebep olabilecek yapısal düzensizliğe dikkat çekecek ana noktaları belirtse de bunlar çoğu zaman belirsiz kalmakta ve çoğu tasarımcı bu noktaları ve her doğrultu için tahmin edilen dinamik taban kesme kuvvetleri ile statik taban kesme kuvvetlerini ölçeklendirmede yorumlama zorluğu çekmektedir. Bu nedenle tasarım taban kesme kuvvetleri her doğrultuda farklı olabileceğinden dolayı, deprem yönetmelikleri her doğrultuda analizlerde dinamik modların kullanılmasını gerekli görmektedir.

Yapının istenilen performansı sağlayabilecek şekilde tasarlanabilmesi için en ideal yöntem, yapısal elemanlar için gerçekçi 3 boyutlu doğrusal olmayan eleman modelleri oluşturmak ve bu modellerle oluşturulan yapıların dinamik zaman-geçmiş analizlerini yapmaktır. Şunu unutmamak gerekir ki çok serbestlik dereceli bir sistemin 3 boyutlu doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sadece çok vakit almakla kalmayıp, yapılan bir çok kabulde belirsizlikler taşımaktadır (kullanılan modelin gerçekçiliği ve özellikle doğrusal olmayan bölgedeki davranışı, yer hareketinin özellikleri, vb.).

Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi yapıların sismik tasarımında ve değerlendirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bu analizin genel amacı belirli bir sismik harekete maruz kalan yapının davranışını daha iyi anlamaktır. (Li and Pourzanjani, 1999). Fakat, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi gibi karmaşık analizler şu anda pratik olarak mühendislik ofislerinde kullanılmak için çok uygun değildir. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sismik taleplerin tahmin edilebilmesi için en kesin çözümü vermesine rağmen, yönetmelikler (IBC-2000, FEMA-356, ATC-55) yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda doğrusal olmayan statik yöntem (DOSY) veya diğer adıyla öteleme analizi (ÖA) yöntemini önermektedir. Öteleme analizi, yapıya gelen deprem etkilerini (yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları) tahmin etmek için yapıya monotonik artan yatay yükler etkitilen basit bir doğrusal olmayan statik analiz yöntemidir ve literatürde bu

konuda sunulmuş değişik analiz yöntemleri mevcuttur (Saaïdi and Sözen, 1981; Qi and Moehle, 1991; Fajfar and Gaspercis, 1996; Nicoletti, 1995; Kilar and Fajfar, 1996). Bu yöntemde sismik talepler, monotonik olarak yükseklik boyunca değişen yatay kuvvetlerin önceden belirlenen bir hedef yer değiştirmeye erişinceye kadar yapıya etki ettirilmesi ile bulunur. Yöntemin uygulanmasındaki iki anahtar adım yatay yük dağılımı ve hedef yer değiştirme esas olarak yapının mukabelesinin hakim moddan meydana geldiği ve mod şeklinin yapı aktıktan sonra da değişmediği kabulüne dayanır (Chopra and Goel, 2002). Yaygın olarak kullanılan modern bilgisayar programları (SAP2000, ADINA, DRAIN2DX, vb.) yardımıyla da öteleme analizlerini gerçekleştirmek mümkündür. Yönetmeliklerde yatay yük dağılımı için yapılan kabulün yapı akmaya başladıktan sonra ne kadar gerçekçi olup olmadığı ve öteleme analizi sonucu bulunan sonuçların zaman geçmişi analizi ile bulunan sonuçları ne ölçüde temsil ettiği ise halen tam olarak cevaplanabilmiş değildir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Alçak- ve orta-katlı çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan çelik moment çerçeveleri (ÇMÇ), yatay yüklere karşı (deprem yükleri) en hakim taşıyıcı sistem olma özelliğini sürdürmektedir. Bu tip çerçevelerin deprem yüklerini güvenli biçimde aktarabilmek için yaygın biçimde kullanılmalarının en önemli sebebi oldukça sünek davranış göstermeleridir. ÇMÇ'nin deprem hareketlerine maruz kalması durumundaki doğrusal olmayan davranışı uzun yıllar deneysel olarak ve modern bilgisayar programlarıyla çalışılmıştır. ÇMÇ'nin analizinde ve tasarımında davranış ve kiriş-kolon birleşimleriyle ilgili oldukça basit ve gerçekçi kabuller yapılmaktadır.

17 Ocak 1994 Northridge (Amerika) depremi çelik moment çerçevelerde birçok problemi de gün ışığına çıkarmıştır. Bu deprem sonucunda deprem davranışlarının çok iyi bir şekilde bilindiği tahmin edilen çelik binalarda daha önceden tahmin edilemeyen birçok hasar tipi ortaya çıkmıştır. 100'den fazla binada kiriş başlıklarıyla kolon başlıklarını birleştiren kaynak dikişlerinin içinde ve çevresinde kırılmalar tespit edilmiştir (Krawinkler and Al-Ali, 1996). Northridge depremine kadar tekrarlanan sismik kuvvetlere karşı tasarlanmış özel kaynaklanmış çelik

moment çerçeveleri ideal olarak gösterilmekteydi. Bu sistemlerin enerji dağıtma kapasitelerinin yüksek olduğu tahmin ediliyordu. Meydana gelen bu kırılmalar tahmin edilen sünek davranışın aksine ani gerilme ve güç kaybına sebep olmuştur. Bu kırılmalar binaların göçmesine yol açmamasına rağmen, çelik moment çerçeveli binaların deprem güvenliği konusunda tartışmalara yol açmış ve bu yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesi için çalışmalara başlanmıştır. Yapılan çalışmalardaki ana sorulardan bir tanesi de analitik olarak elde edilen sismik taleplerin birleşimlerin performansını değerlendirmede ne ölçüye kadar kullanılabileceği ve birleşimlerde meydana gelen kırılmaların binaların güvenliği açısından ne gibi sakıncalar doğurabileceğidir.

Bu çalışmanın amacı düşük, orta, ve şiddetli deprem hareketlerine maruz çelik moment çerçevelerinin sismik davranışlarının öteleme analizi yardımıyla ne ölçüde belirlenebileceğini araştırmaktır. Bu amaçla alçak-, orta-, ve yüksek-katlı yapıları temsil eden 3-, 9- ve 20-katlı üç adet çelik bina seçilmiştir. Seçilen binalar, deneysel amaçlı olarak düşey yükler, rüzgar ve deprem yüklerine göre tasarlanmış ve gerçekte inşa edilmemiştir. Bu yapılar üzerinde iki boyutlu öteleme analizleri ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri gerçekleştirilmiştir. Öteleme analizleri için üçgen, dikdörtgen ve parabolik yatay yük dağılımları, doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri için yedi değişik deprem hareketi kullanılmıştır. Deprem hareketlerinin maksimum yer ivmeleri 0.1g'den 0.8g'ye kadar 0.1g'lik artımlarla ölçeklenerek çelik çerçevelere etki ettirilmiştir. Bu çalışmada aşağıdaki temel sorulara cevap aranmaya çalışılmıştır.

1. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri sonucu taban kesme kuvveti / bina ağırlığı – çatı deplasmanı ile üçgen, dikdörtgen, ve IBC-2000 yatay yük dağılımları yardımıyla yapılan öteleme analizleri sonuçlarının karşılaştırılması,
2. Sabit süneklik için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri sonucu taban kesme kuvveti / bina ağırlığı – çatı deplasmanı ile üçgen, dikdörtgen ve IBC-2000 yatay yük dağılımları yardımıyla yapılan öteleme analizleri sonuçlarının karşılaştırılması,

3. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre kat deplasmanları, kat kesme kuvvetleri, ve görelî kat ötelemesi oranlarının değişimleri;
4. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre histeretik ve toplam enerji sonuçlarının değişimleri,
5. Sabit sünellik için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi ve öteleme analizi sonuçlarına göre histeretik ve toplam enerji sonuçlarının karşılaştırılması,



2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA ENERJİ KAVRAMLARI

İdeal bir depreme dayanıklı yapı tasarımının gereken rijitliği, dayanımı ve enerji tüketme kapasitesini sağlaması gereklidir. Bu tasarım felsefesi, bazı plastik şekil değiştirmelere müsaade edilmesine rağmen yapının yıkılmasını önleyebilecek derecede rijitliği sağlayan en uygun tasarım felsefesidir. Yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanmasında genel olarak üç problem mevcuttur: 1) kritik yer hareketinin belirlenmesi; 2) kritik yer hareketi sonucu yapıda oluşacak taleplerin belirlenmesi; 3) yapının ve yapısal elemanların kapasitelerinin belirlenmesi.

Geleneksel olarak, yapılar kuvvetli yer hareketlerinin meydana getireceği kuvvetlerden daha küçük yatay kuvvetler dikkate alınarak elastik olarak tasarlanmaktadır. Ekonomik sebeplerden dolayı, orta şiddetli ve şiddetli bir yer hareketi sırasında plastik şekil değiştirmeye izin verilen daha az kuvvetli bir yapı tasarlanır. Bu yolla, yapısal ve yapısal olmayan elemanların doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri sırasında yapılardaki enerji tüketimi kullanılır.

Housner (1956) ilk defa depreme dayanıklı yapı tasarımında seçenек bir yöntem olarak enerjinin kullanılmasını önermiştir. Enerjiye dayalı depreme dayanıklı yapı tasarımındaki temel ilke, bir yer hareketi süresince oluşan enerji talebini tahmin etmek ve yapının veya yapısal elemanların enerji tüketme kapasitelerini belirlemektir.

Bir yapının hasar tahmininde en gerçekçi ve güvenilir yol, bina bir deprem hareketine maruz kaldığındaki enerji miktarını belirlemektir ki bu toplam enerji girişidir (E_I). Toplam enerjinin bir kısmı histeretik enerji (E_H) olarak adlandırılır. Histeretik enerji, plastik şekil değiştirmeler tarafından yapılan iş olarak bilinir ve bu enerji histeretik davranış içerisinde dağılmıştır. Çünkü yapılardaki hasar, yapının dağıttığı histeretik enerji ile ilişkilidir. Histeretik enerji, yapısal özelliklerin ve zemin hareket karakteristiğinin fonksiyonu olarak incelenebilir ve özellikle hasarın belli

limitleri aşmayacağı beklendiği zaman bir tasarım parametresi olarak kullanılabilir (Bertero and Teran-Gilmore, 1994).



Bir depremin şiddeti genellikle yer hareketinin maksimum yer ivmesi esas alınarak değerlendirilir. Halbuki yapılan çalışmalar göstermiştir ki maksimum yer ivmesiyle hasar arasında doğrudan bir ilişki yoktur (Zahrah, 1982). Son otuz yıldır, deprem yönetmelikleri tasarım depremini zemin büyütme katsayısına, deprem bölgesine ve En Büyük Yer İvmesine (EBYİ) bağlı olarak tanımlıyordu. Fakat, yapılan çalışmalar bu parametreler ile hasar arasında doğrudan bir ilişki olmadığını ortaya koymuştur. Bunun yerine, Etkili En Büyük İvmeye (EEBİ) dayanan Yer Hareketi Spektrumlarını (YHS) ve Düzeltilmiş Doğrusal Tasarım Spektrumlarını (DDTS) kullanan yöntemler tavsiye edilmiştir. Bu durum kavramsal bir ilerleme olmamasına rağmen EEBİ ve YHS'nın elde edilmesinde bazı belirsizlikler bulunmaktadır. Yer değiştirme sünekliliği, yapıların depreme dayanıklı tasarımında Doğrusal Olmayan Tasarım Mukabele Spektrumlarının (DOTMS) elde edilmesi için bir kriter olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bertero and Teran-Gilmore, 1994).

Sismik yönetmeliklerin birçoğu, maksimum yer değiştirmenin akma yer değiştirmesine oranı olan yer değiştirme sünekliliğini dikkate almaktadır. Yer değiştirme sünekliliği, yapıların doğrusal olmayan performanslarının değerlendirilmesi için yapısal mukabele parametresi olarak sıkça kullanılmaktadır. Fakat yer değiştirme sünekliliği bir yapıya giren enerjinin miktarının ve kuvvetli hareketlere maruz yapıların şekil değiştirme kapasitesinin belirlenmesinde tek başına yeterli olmayabilir. Çünkü, bir yapının gerçek şekil değiştirme kapasitesi kuvvetli yer hareketleri için histeretik davranışının neden olduğu birikimsel hasar nedeniyle azalır (Bertero and Bertero, 1994).

Enerji ve enerji parametreleri orta veya şiddetli depremlere maruz yapıların tasarımı ve performans seviyelerinin belirlenmesi için en umut verici parametrelerdir (Bertero and Teran-Gilmore, 1994). Yapılara, yer hareketlerinin etkimesi sonucunda bir enerji girişi olacaktır. Yapılar, deprem sırasında yapıya giren bütün enerjiyi tüketmek zorundadır. Bu enerjinin bir kısmı elastik birim şekil değiştirme enerjisi ve



kinetik enerji olarak depolanmaktadır, diğerk kısmı ise yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönüm ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler (histeretik enerji) yoluyla tüketilmektedir (Berg and Thomaidess, 1960). Depremler oldukça düzensiz yer hareketleri olmalarına karşın, yapıya giren enerji oldukça kararlı bir değerdir. Enerji girişı, yer hareketinin özelliklerinin (etkili yer hareketi süresi, genlik, frekans içeriğı, vb.) ve yapısal özelliklerin (kütle, doğal periyod) bir fonksiyonudur ve yapının dayanımından çok az etkilenir (Akiyama, 1985). Yani, Housner (1956) tarafından ortaya atılan enerji kavramı depreme dayanıklı yapı tasarımı için bir temel teşkil edebilir. Doğrusal olmayan sistemlere enerji girişini doğru bir şekilde belirleyebilmek için maksimum yer değiştirme değil, doğrusal olmayan yer değiştirme artımlarının kümülatif değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Sucuoğlu at al., 1994; Hadjian, 1982; Penzien, 1960). Herhangi bir yapı için enerji kavramları kullanılarak tasarım yapılması için *Enerji Talebi*'nin *Enerji Tüketme Kapasitesi*'den küçük veya eşit olması gerekir.

$$Talep \leq Kapasite$$

Bu eşitlik, yer hareketinin yapı üzerindeki etkisini yapıya giren enerji (talep) olarak ve yapının buna karşılık dayanımını da enerji yutma kapasitesi (kapasite) olarak tanımlamaktadır. Bir deprem sonucu oluşacak yer hareketi süresince enerji talebinin tahmin edilmesi ve buna uygun enerji tüketme kapasitesine sahip yapıların tasarlanması gerekmektedir. Bir yapının veya yapısal elemanın enerji tüketme kapasitesi, onun histeretik davranış yoluyla bu enerjiyi tüketebilme yeteneğidir. Eğer enerji tüketme kapasitesi enerji talebinden büyükse depreme dayanıklı tasarım sağlanmış demektir.

Kapasiteler ve talepler; rijitliğin, dayanımın, stabilitenin, enerji yutma ve tüketme kapasitesinin mekanik özellikleri ile ilgilidir. Kapasite ve taleplerin belirlenmesi, tüm zemin-yapı sistemini dikkate alan matematik modellerin kullanılması ile nümerik analizlerden elde edilebilir. Dinamik bir problemde, talep ve kapasite birbirine bağlıdır. Taleplerin belirlenmesi ve kapasitelerin tahmini çok basit yöntemler değildir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde süre, frekans içeriğı ve EBYİ bakımından farklı özellikler içeren yer hareketleri kaydedilmektedir.

Tek serbestlik dereceli (TSD) ve hatta çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemlere enerji girişini tahmin etmek için çalışmalar yapılmaktadır. Housner (1956) doğrusal sistemdeki hız mukabelesi spektrumunu kullanarak yapının mukabelesine katkısını etkileyen toplam enerjiyi tahmin etmiştir ve doğrusal olmayan sistemde hasara yol açan enerji girişinin doğrusal sistemdekiyle aynı olduğunu kabul etmiştir. Bu limit tasarım yaklaşımı yapıya enerji girişine ve yapının bu enerjiyi tüketme yeteneğine bağlıdır. Housner (1956) ayrıca bir yapıya giren toplam enerji miktarının kütlenin yarısıyla yere göre relatif hızın karesinin çarpımı olarak tahmin etmiştir. Relatif hız belirli bir sönüm oranı (ζ) ve periyoda (T) bağlı olarak hız mukabele spektrumundan bulunabilir. Akiyama (1985), Housner'in (1956) yöntemini geliştirerek tek katlı yapılardan çok katlı yapılara kadar düzgün bir şekilde uygulanabilecek depreme dayanıklı tasarım yöntemi geliştirmiştir.

Veletsos and Newmark (1960) TSD doğrusal olmayan sistemler üzerinde yaptıkları çalışmada doğrusal olmayan sistemlerdeki maksimum yer değiştirmenin doğrusal sistemdeki maksimum yer değiştirmeye oranını elde etmişlerdir. Ayrıca birim şekil değiştirme enerjisini tahmin ederek bu orana bir üst sınır verilebilme ihtimalini araştırmışlardır. Penzien (1956) TSD ve ÇSD sistemlerde benzer sonuçlar elde etmiştir.

Tso at al. (1993) az katlı düktil moment çerçevelerde enerji girişi ve histeretik enerji talebini tahmin etmek için eşdeğer TSD sistemler üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda çok katlı düktil moment çerçevelerde yüksek modların katkısının önemli olduğu ve eşdeğer TSD sistemlerin bu tip yapılardaki enerji talebini daha düşük tahmin edebileceği sonucunu çıkarmışlardır. Bu özellikle yüksek frekans içeriğine sahip olup yüksek modların katkısını artıran deprem hareketleri için geçerlidir.

Nurtuğ and Sucuoğlu (1995) doğrusal bir TSD sistemde tüketilen enerjiyi hesaplamak için yer hareketinin spektral hızı, etkili mukabele süresi ve mukabele yer değiştirmelerinin genliklerinin dağılımına bağlı bir analitik yöntem önermişlerdir. Kuvamura and Galambos (1989) yapının ve yer hareketinin dinamik özellikleri ve deprem riski potansiyeline göre bir maksimum enerji girişini gözönüne alarak bir

limit durum kriteri geliştirmişlerdir. Fajfar at al. (1991) TSD sistemlere maksimum enerji girişini bulmak için bir formül önermiştir. Ayrıca Kuvamura ve Galambos'un (1989) formülünü değiştirerek diğer çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda enerji girişinin depremin şiddetiyle oldukça yakın ilişkili olduğu gözlenmiştir.

Kuvamura at al. (1992) düzleştirilmiş fourier spektrumundan, sönümlü doğrusal TSD sistemlerin enerji girişini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda sönüm oranındaki artışın TSD sistemlerde daha düzgün spektrumlara yol açtığı, ÇSD sistemlerde ise yüksek modların katkısından dolayı düzleştirme etkisinin sönümden dolayı olan düzleştirme etkisinden daha az önemli olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ÇSD sistemlerde birinci modun hakim olmasındandır. Fajfar and Vidic (1994) ise histeretik enerji ve toplam enerjiye bağlı olarak bir doğrusal olmayan tasarım spektrumu önermişlerdir.

Shen and Akbas (1999) az, orta ve çok katlı çelik moment çerçevelerde enerji girişini ve histeretik enerjiyi tahmin ederek çelik moment çerçeveler için bir enerjiye dayalı deprem tasarımı yöntemi önermişlerdir. Çalışmada ayrıca TSD sistemlerdeki enerji girişini tahmin etmek için yapılan çalışmaları karşılaştırmalar yapılmış ve TSD sistemlerin ÇSD sistemlerdeki enerji girişini tahmin etmek için kullanılmasının doğru bir yaklaşım olmadığı sonucuna varılmıştır.

Akbas and Shen (2002) değişik özelliklere sahip yedi deprem hareketine maruz TSD sistemler üzerinde bir çalışma yaparak $T = 0-3.0$ s aralığındaki yapılar için bir *Enerji Spektrumu* elde etmeye çalışmışlardır. Çalışmada ayrıca enerjiye dayalı bir hasar parametresi tanımlanmış ve bu parametrenin performansa dayalı deprem tasarımında nasıl kullanılacağı araştırılmıştır.

14

Enerji kavramlarının depreme dayanıklı yapı tasarımında bir kriter olarak kullanılması halen üç temel soru tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır (Akiyama, 1985).

1. Deprem sırasında yapıya girecek olan enerjinin miktarı,
2. Yapıya giren enerjinin yapı tarafından nasıl tüketileceği,
3. Yapı elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri.

Yukarıdaki sorulara cevap bulunduğunda, bir yapıya enerji girişi ve enerji kapasitesini karşılaştırmak mümkün olacak ve böylece yapının depreme dayanıklılığı hesaplanabilecektir.



3. DEPREM HAREKETİNİN ÖZELLİKLERİ

3.1. Temel Hareket Denklemi

3.1.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler (TSD)

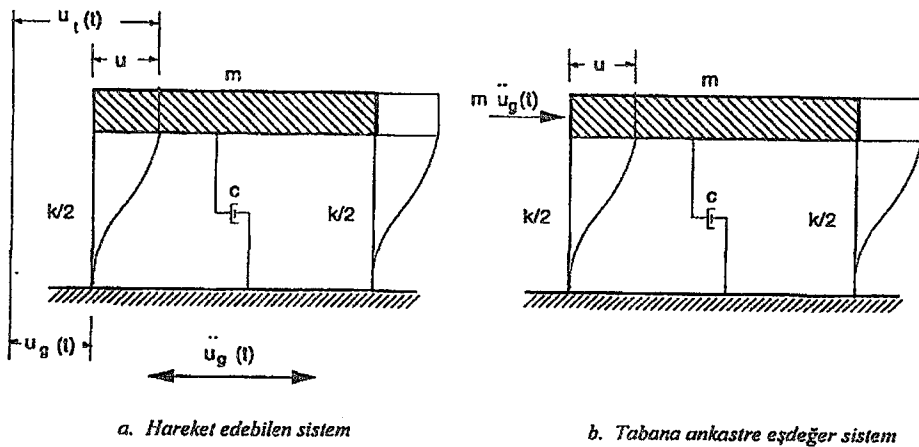
Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, tek bir parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistem tek serbestlik dereceli (TSD) olarak isimlendirilir (Şekil 3.1) (Celep ve Kumbasar, 2000). Yatay bir yer hareketi etkisindeki viskoz sönümlü tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi:

$$m\ddot{u}_t + c\dot{u} + f_s = 0 \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir (Chopra, 2000). Burada m , kütle; c , viskoz sönüm katsayısı; f_s , yay kuvveti (doğrusal bir sistem için $f_s = ku$, k =rijitlik); u , kütlenin yere göre relatif yer değiştirmesi; u_g , yer hareketi yer değiştirmesi; $u_t = u + u_g$ 'dir. Buna göre (1) denklemi yeniden yazılırsa,

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$

ifadesi elde edilir. (2) denkleminde görüleceği gibi sistem tabana ankastre ve büyüklüğü $-m\ddot{u}_g(t)$ olan etkili bir yatay dinamik kuvvet (P_{eff}) etkisindeki bir sisteme dönüşmektedir.



Şekil 3.1. Yer hareketine maruz TSD bir sistemin matematiksel modeli

3.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler (ÇSD)

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, eğer birden fazla parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistem çok serbestlik dereceli (ÇSD) olarak isimlendirilir. Sistemin serbestlik derecesi, hareket halindeki konumunu tam olarak belirlemek için gerekli ve yeterli bağımsız parametre sayısına eşittir. Böyle bir sistem, serbestlik derecesi sayısı kadar birbirinden bağımsız hareket türüne sahiptir. Sistemin hareketini, serbestlik derecesi kadar yazılacak diferansiyel denklem yönetir. Hareket denklemleri, sisteme etkiyen atalet kuvvetleri, sönüm etkileri ve şekil değiştirme sonucu meydana gelen elastik kuvvetlerle, varsa dış kuvvetlerin dengesinden ibarettir. Sadece yer hareketinin varlığı kabul edilirse, (2) denklemi,

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{c}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{k}\mathbf{u} = -\mathbf{m}\mathbf{1}\ddot{\mathbf{u}}_g(t) \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Burada;

$\mathbf{m} = [m_{ij}]$	Kütle matrisi	$\mathbf{c} = [c_{ij}]$	Sönüm matrisi
$\mathbf{k} = [k_{ij}]$	Rijitlik matrisi	$\mathbf{d} = [d_{ij}]$	Esneklik(fleksibilite) matrisi
$\mathbf{u} = [u_i]$	Yer değiştirme vektörü		
$\mathbf{u}_g$	Yer hareketi		
$\mathbf{1} = [1 \ 1 \dots 1]^T$			

olarak isimlendirilir (Celep ve Kumbasar, 2000).

3.2. Doğrusal Olmayan Sistemler İçin Hareket Denkleminin Normalleştirilmesi

(2) denklemi, doğrusal olmayan sistemlerde doğrusal olmayan davranışı etkileyen belirli parametreleri tanımlamak için normalleştirilmiş bir formda düzenlenebilir (Mahin and Lin, 1983). Dış yükleme durumunda, normalleştirme aşağıdaki tanımlanan parametrelere göre yapılabilir:

$$\mu(t) = \frac{u(t)}{u_y} \quad (4)$$

$$\rho(t) = \frac{R(t)}{R_y}$$

Burada u_y akma yer değiştirme, R_y akma kuvvetidir. $\mu(t)$ değeri genellikle yer değiştirme sürekliliği olarak adlandırılır. Yer değiştirme sürekliliğinin maksimum değeri, $\mu_{\max}$, yapının tasarımında dikkate alınması gereken bir parametredir.

(2) denklemi, u_y ile bölünürse,

$$\frac{\ddot{u}(t)}{u_y} + 2\omega\zeta \frac{\dot{u}(t)}{u_y} + \frac{R(t)}{mu_y} = -\frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} \quad (5)$$

şekline dönüşür. Burada ω açısal frekanstır. (5) denklemini daha uygun bir forma sokmak için aşağıdaki dönüşümler tanımlanabilir:

$$\frac{R(t)}{mu_y} = \frac{k}{m} \frac{R(t)}{ku_y} = \omega^2 \frac{R(t)}{R_y} = \omega^2 \rho(t) \quad (6)$$

$$\frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} = \frac{k}{k} \frac{\ddot{u}_g(t)}{u_y} = \frac{\omega^2 m \ddot{u}_g(t)}{R_y}$$

(5) denklemi yeniden yazılırsa,

$$\ddot{\mu}(t) + 2\omega\zeta \dot{\mu}(t) + \omega^2 \rho(t) = -\omega^2 \left[\frac{m}{R_y} \right] \ddot{u}_g(t) \quad (7)$$

şekline dönüşür. (7) denkleminin sağ tarafını basitleştirmek için bir parametre, η , tanımlanabilir:

$$\eta = \frac{R_y}{m \ddot{u}_{g,\max}} \quad (8)$$

Burada η , bir sistemin akma dayanımının sonsuz rijit bir sistemin yer hareketi sırasında maruz kalacağı maksimum atalet kuvvetine oranını ifade eder ve atalet kuvveti indisi olarak adlandırılır. η parametresi yapının akma dayanımı katsayısı (C_y) cinsinden yazılarak da ifade edilebilir:

$$R_y = C_y W = C_y mg \quad (9)$$

$$\eta = \frac{C_y}{\ddot{u}_{g,\max} / g} \quad (10)$$

Burada W yapının ağırlığı, g yerçekimi ivmesidir. (8) ve (10) denklemleri kullanılarak (7) denklemi yeniden yazılırsa:

$$\ddot{\mu}(t) + 2\omega\zeta \dot{\mu}(t) + \omega^2 \rho(t) = -\frac{\omega^2}{\eta} \frac{\ddot{u}_g(t)}{\ddot{u}_{g,\max}} \quad (11)$$

ifadesi elde edilir.

3.3. Enerji Denklemlerinin Elde Edilmesi

Enerjiye dayalı yöntemlerin oluşturulabilmesi için enerji denklemlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Yapısal sistemler gerçekte çok serbestlik derecelidirler, fakat enerji kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için enerji denklemleri aşağıda tek serbestlik dereceli sistemler için çıkarılmıştır. Doğrusal olmayan bir sisteme yer hareketi sırasında giren enerji, viskoz sönüm ve akma yoluyla tüketilmektedir.

Doğrusal olmayan bir sistem için değişik enerji terimleri hareket denklemleri (2 denklemleri) integre edilerek aşağıdaki gibi elde edilebilir (Chopra, 2000):

$$\int_0^u m\ddot{u}(t)du + \int_0^u c\dot{u}(t)du + \int_0^u f_s(u,\dot{u})du = -\int_0^u m\ddot{u}_g(t)du \quad (12)$$

(12) denkleminin sağ tarafı yapıya giren toplam enerjiyi, E_I , göstermektedir.

$$E_I(t) = -\int_0^u m\ddot{u}_g(t)du \quad (13)$$

(12) denkleminin sol tarafındaki ilk terim kütlelerin yere göre relatif hareketiyle ilişkili olan kinetik enerjiyi, E_K , göstermektedir.

$$E_K(t) = \int_0^u m\ddot{u}(t)du = \int_0^u m\dot{u}(t)d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2} \quad (14)$$

(12) denkleminin sol tarafındaki ikinci terim viskoz sönüm yoluyla tüketilen enerjiyi, E_D , göstermektedir.

$$E_D(t) = \int_0^u f_D(t)du = \int_0^u c\dot{u}(t)du \quad (15)$$

(12) denkleminin sol tarafındaki üçüncü terim ise sistemin akması sonucu oluşan histeretik enerjiyi, E_H , ve elastik birim şekil değiştirme enerjisinin, E_S , toplamını göstermektedir. Elastik birim şekil değiştirme enerjisi, E_S :

$$E_S(t) = \frac{[f_s(t)]^2}{2k} \quad (16)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada k doğrusal olmayan sistemin başlangıç rijitliğini göstermektedir. Sistemin akması sonucu tüketilen histeretik enerji, E_H :

$$E_H(t) = \int_0^u f_s(u,\dot{u})du - E_S(t) \quad (17)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu enerji terimleri göz önüne alınarak TSD bir sistemin enerji dengesi yeniden yazılabilir:

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_H(t) \quad (18)$$

Viskoz sönüm enerjisi, E_D , ve histeretik enerji, E_H , integraller zamana göre yeniden yazılarak daha uygun bir forma sokulabilir.

$$E_D(t) = \int_0^t c \left[\dot{u}(\tau) \right]^2 d\tau \quad (19)$$

$$E_H(t) = \left[\int_0^t \dot{u} f_s(\tau) d\tau \right] - E_s(t) \quad (20)$$

Herhangi bir t anındaki kinetik enerji, E_K , ve birim şekil değiştirme enerjisi, E_s , sırasıyla (14) ve (16) denklemlerinden kolaylıkla hesaplanabilir.

Bu bölümdeki değişik enerji terimleri, tabana ankastre ve büyüklüğü $-m\ddot{u}_g(t)$ olan etkili bir yatay dinamik kuvvete (p_{eff}) maruz bir sistem için yapılmıştır. Bu sebeple (18) denklemindeki enerji terimleri toplam hareket sonucu oluşan değil, kütlelerin yere göre relatif hareketi sonucu oluşan hareket enerjisini ifade etmektedir. Toplam enerji, E_t , yer hareketi sonucu yapının temelinde oluşan toplam kesme kuvvetinin yaptığı işe göre de mutlak enerji şeklinde ifade edilebilir (Uang and Bertero, 1988). Fakat, bir yapıda iç kuvvetlere yol açan etkilerin relatif yer değiştirmeler ve hızlar olduğu göz önüne alındığında, relatif harekete göre yazılan enerji terimlerinin mutlak hız ve yer değiştirmelere göre yazılan enerji terimlerinden daha anlamlı olduğu görülmektedir (Chopra, 2000).

3.4. Enerji Spektrumu

Enerji spektrumu, bir deprem sırasında bir yapıya giren enerji miktarı eşdeğer hız (V_e) cinsinden ifade edilerek çizilebilir (Akiyama, 1985).

$$V_e = \sqrt{\frac{2E_t}{m}} \quad (21)$$

Bu ifade, belirli bir deprem için birim kütle enerjisinin tek olduğunu gösterir. Maksimum yer ivmesi depremden depreme değiştiği için V_e 'nin maksimum yer ivmesi standartize edilerek elde edilmesi daha uygundur (Uang and Bertero, 1988).

Enerji spektrumu, değişik μ ve η değerlerine bağlı olarak değişik depremler için elde edilebilirler.

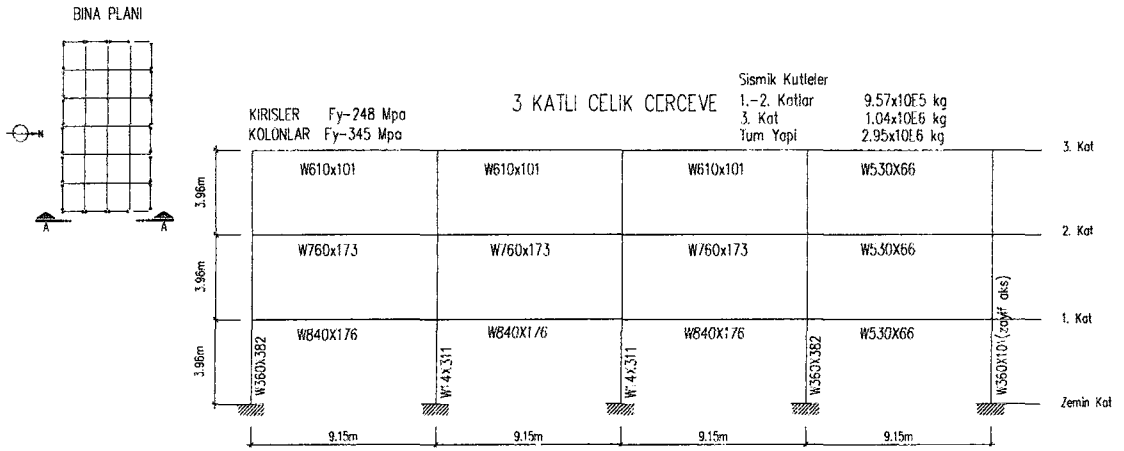


4. BİNALARIN TANIMI



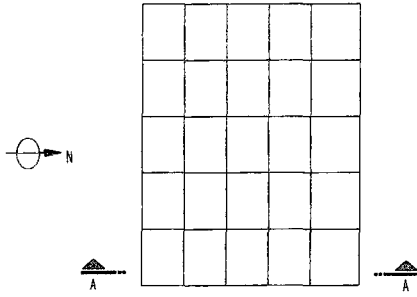
Bu çalışmada kullanılan 3-, 9- ve 20- katlı çelik binalar, deneysel amaçlı olarak düşey yükler, rüzgar ve deprem yüklerine göre tasarlanmışlardır (Ohtori at al., 2000). Gerçekte inşa edilmemiş olan bu yapılar, Los Angeles, ABD bölgesine ait deprem yönetmeliklerinin şartlarını sağlamakta ve alçak, orta ve yüksek katlı tipik yapıları temsil etmektedir. Tüm yapılar için taşıyıcı sistem moment aktaran dış çerçevelerden ve sadece düşey yük taşıyan iç çerçevelerden oluşmaktadır. Yatay yükler dış çerçevelerle taşınmakta, iç çerçevelerin deprem yüklerini karşılamakta katkısı bulunmamaktadır. Yapı düzlemleri simetriktir. 3 katlı yapı planda 36.60mx54.90m olup, K-G doğrultusunda 4, D-B doğrultusunda 6 adet 9.15m'lik açıklıklara sahiptir (Şekil 4.1). Kat yükseklikleri kiriş merkezinden kiriş merkezine 3.96m'dir. Kolonlar temele ankastre bağlıdır. 9 katlı yapı planda 45.75mx45.75m olup, K-G ve D-B doğrultularında 5'er adet 9.15m'lik açıklıklara sahiptir (Şekil 4.2). Yapının tek bodrum katı olup (B1), bodrum kat yüksekliği 3,65m, zemin kat yüksekliği 5,96m ve diğer tüm kat yükseklikleri 3,96m'dir. 20 katlı yapı planda 45,75mx54,90m olup, K-G doğrultusunda 5, D-B doğrultusunda 6 adet 6,10m'lik açıklıklara sahiptir (Şekil 4.3). İki bodrum katı olan binanın (B-1,B-2), bodrum kat yükseklikleri 3,65m, zemin kat yüksekliği 5,96m ve diğer tüm kat yükseklikleri 3,96m'dir. 9 ve 20 katlı yapılar B-1 ve B-2 seviyelerinden zemine oturtulmuşlardır. 9 ve 20 katlı yapılarda bodrum katlar toprak altında ve betonarme perde duvar ile çevrili olduklarından yapının zemin katında yatay yer değiştirmesinin önleildiği kabul edilmiştir.

Yapılardaki tüm kolonların akma dayanımları $F_y=345$ Mpa olarak belirtilmiştir. Kolonlar ve kirişler geniş başlıklı (W) profil olup, eleman boyutları 3-, 9- ve 20- katlı yapılar için sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir. Yapıların kat sistemi kompozit olarak tasarlanmış olup, döşeme ile birlikte kompozit olarak çalışan $F_y=248$ Mpa akma dayanımına sahip kirişlerden oluşmaktadır.



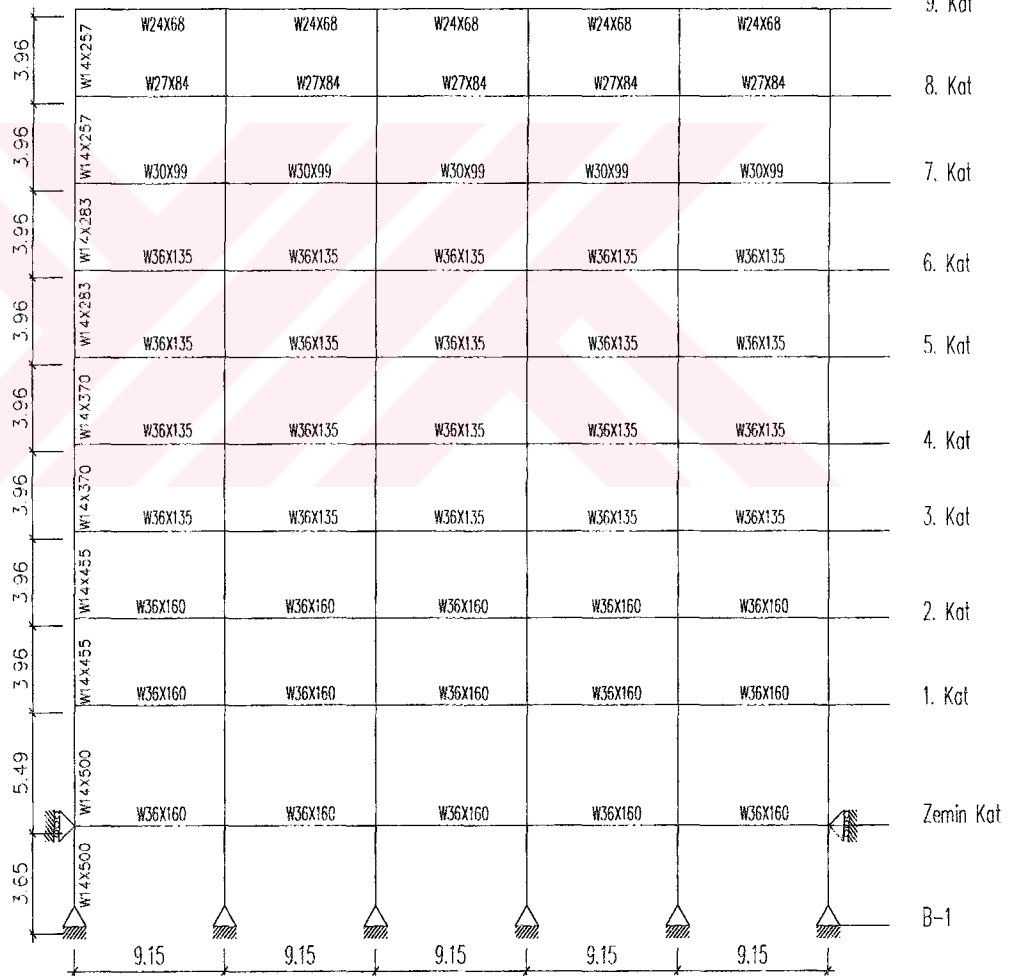
Şekil 4.1. 3 Katlı Yapının Plan ve Görünüşü

BINA PLANI



KIRISLER $F_y=248 \text{ Mpa}$ 9 KATLI CELIK CERCEVE
 KOLONLAR $F_y=345 \text{ Mpa}$

Sismik Kütleler
 Zemin Kat $9.65 \times 10^6 \text{ kg}$
 1. Kat $1.01 \times 10^6 \text{ kg}$
 2.-8. Katlar $9.89 \times 10^6 \text{ kg}$
 9. Kat $1.07 \times 10^6 \text{ kg}$
 Tüm Yapı $9.00 \times 10^6 \text{ kg}$



Şekil 4.2. 9 Katlı Yapının Plan ve Görünüşü

5. ANALİTİK ÇALIŞMA

5.1. Doğrusal Olmayan Zaman Geçmişi Analizleri

Yapıların kat sistemlerinin diyafram etkisi gösterdiği ve yatay düzlemde rijit olduğu kabul edilmiştir. Tüm yapılarda her kat seviyesinde oluşan atalet etkilerinin moment çerçeveleri tarafından karşılandığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla moment çerçeveleri her doğrultuda yapının sismik kütlelerinin yarısını taşımaktadır. Bu sismik kütleler 3-, 9- ve 20- katlı yapı için sırasıyla 2950t, 9000t ve 11100t olarak verilmiştir. 3-, 9- ve 20- katlı binaların iki boyutlu modelleri doğrusal olmayan dinamik analiz programı DRAIN-2DX (Prakash et al., 1993) kullanılarak oluşturulmuştur. DRAIN-2DX programı olaydan-olaya yöntemiyle doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirmektedir. Bu yöntemde, yapının herhangi bir noktasında meydana gelen rijitlik değişimi olay olarak adlandırılmakta ve iki olay arası doğrusallaştırılarak çözüm yapılmaktadır. Ayrıca statik analizlerde, olaydan-olaya yöntemi iki adım arasında yapılan doğrusallaştırmadan ve olayların tam olarak belirlenebilmesinden dolayı herhangi bir dengelenmemiş kuvvet doğurmamaktadır. Zaman geçmişi analizleri ise ortalama ivme yöntemiyle çözülmektedir. Analizlerde kiriş-kolon elemanları kullanılmıştır. Doğrusal olmayan etkiler eleman uç noktalarındaki plastik mafsallarda göz önüne alınmıştır. Kolon elemanlarının akma yüzeyleri olarak, AISC-LRFD(1999) tarafından önerilen eksenel yük-moment etkileşim ilişkileri kullanılmıştır. Analizlerde panel bölgesi etkileri ihmal edilmiş ve 9- ve 20- katlı yapılar için $P-\Delta$ (büyük deformasyon) etkileri göz önüne alınmıştır. 3-, 9- ve 20- katlı çerçevelerin birinci titreşim periyotları sırasıyla 1.0109sn, 2.2862sn ve 3.7863sn olarak bulunmuştur.

Seçilen binalarda doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri yapmak için yedi ayrı deprem hareketi, El Centro, İzmit NS, Miyagi EW, Miyagi NS, Northridge New-360, Olympia N04W ve Parkfield N65E kullanılmıştır. Seçilen bu depremler farklı zemin şartlarında kaydedilmiş olup, değişik etkin yer hareketi sürelerine, frekans içeriklerine ve maksimum zemin ivmelerine sahiptirler (Tablo 5.1).

Adı	Yeri	Tarih	ML	Odak Der. (km)	MrkzÜst. Mes. (km)	PGA (g)	Tg (sn)	tD (sn)	Zemin
El Centro SE	El Centro Imperial Walley	18/05/1940	7	16	12	0.3417	0.431	24.46	Sert Kil
İzmit NS	İzmit Meteoroloji İstasyonu	17/08/1999	7.2	18	10	0.171	1	34.08	Sert Kil
Miyagi EW	Miyagi	12/06/1978	7.4	30	100	0.2063	1.12	24.78	Alüvyon
Miyagi NS	Miyagi	12/06/1978	7.4	30	100	0.2636	0.95	17.75	Alüvyon
Northridge New-360	California	17/01/1994	6.4	19	19.2	0.5963	0.68	5.50	Organik Kaya
Olympia N04W	Western Washington	13/04/1949	7.1	N/A	39	0.1661	1.18	21.64	N/A
Parkfield N65E	California Earthquake	27/06/1966	6.1	N/A	7	0.4911	0.68	6.44	Kaya

Tablo 5.1. Depremlerin Özellikleri

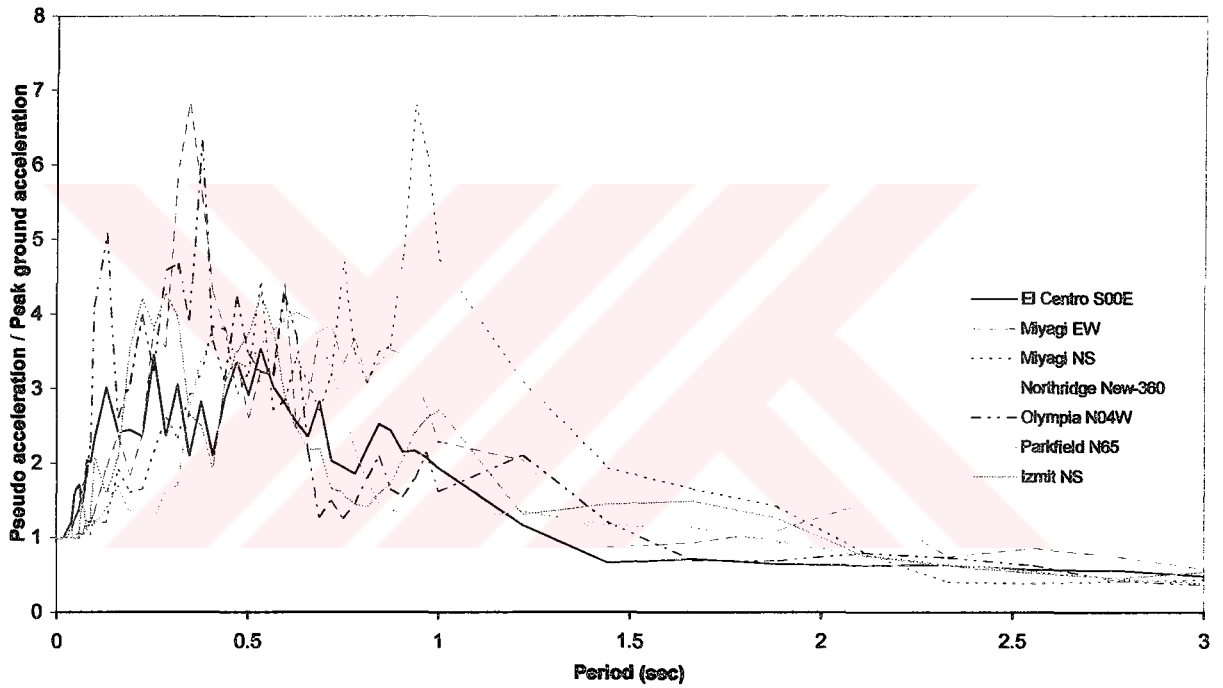
Bu depremlerin normalleştirilmiş mukabele spektrumları Şekil 5.1’de, ivme-zaman grafikleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Seçilen bu depremlerin maksimum yer ivmeleri, g yer ivmesi olmak üzere, $\ddot{u}_{g0} = 0,1g$ ’den $\ddot{u}_{g0} = 0,8g$ ’ye $0.1g$ ’lik artımlarla ölçeklendirilmiştir. Bu sayede çelik çerçevelere düşük, orta şiddetli ve şiddetli depremlerin etkimesi durumunda her üç çerçevenin de sismik mukabelelerini belirlemek mümkün olmuştur. Daha sonra doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi için bütün çerçeveler bu artan maksimum yer ivmelerine sahip deprem yer hareketlerine maruz bırakılmıştır. Kütlenin düğüm noktalarında yığıldığı kabul edilmiştir. Sönüm oranı %5 olarak alınıp, 3-, 9- ve 20- katlı çerçeveler için Rayleigh sönüm oranları sırasıyla, birinci ve üçüncü, ikinci ve dördüncü, üçüncü ve altıncı doğal frekanslar alınarak hesap edilmiştir.

Rayleigh sönüm oranı matrisi şu şekilde çözümlenebilir (Chopra, 2000);

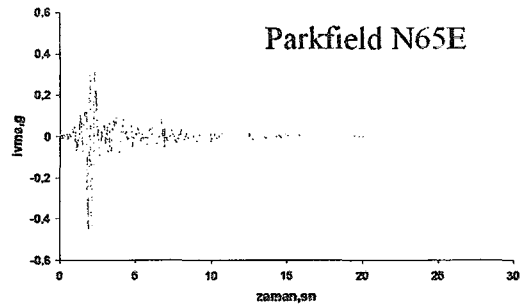
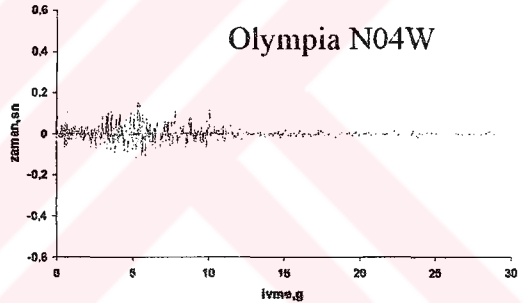
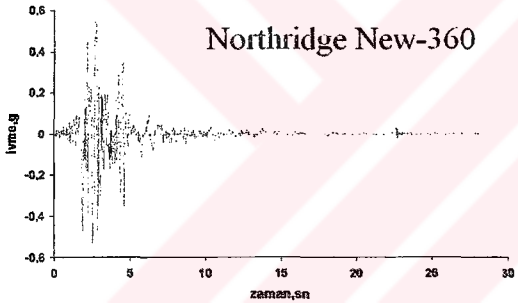
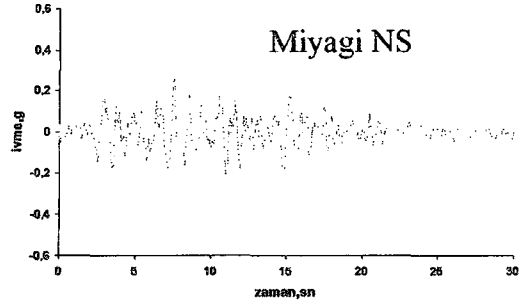
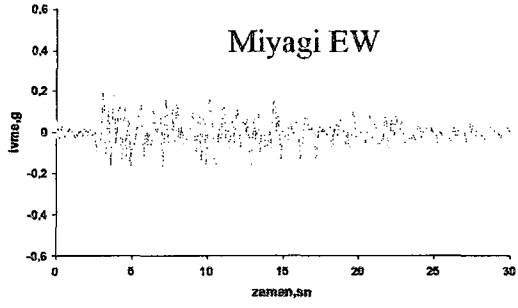
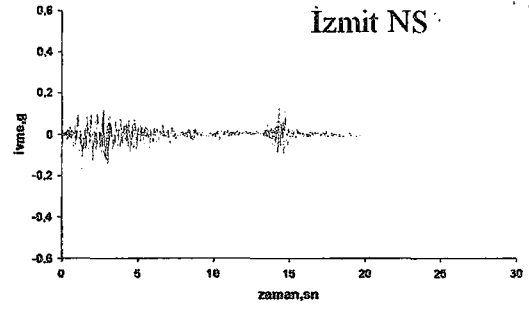
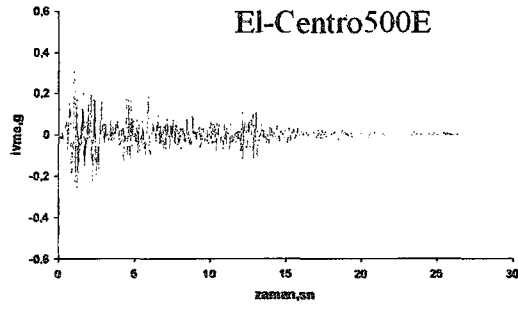
$$c = \alpha m + \beta k \quad (11)$$

Eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim kütle-orantılı sönüm, ikinci terim rijitlik-orantılı sönümdür. α ve β değerleri sırasıyla i.inci ve j.inci modlara ait ζ_i ve ζ_j sönüm oranları kullanılarak elde edilmiştir.

$$\alpha = \zeta \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad \beta = \zeta \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (12)$$



Şekil 5.1. Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları



Şekil 5.2. Depremlerin İvme – Zaman Grafikleri

5.2. Öteleme Analizleri

Öteleme analizleri için üçgen, dikdörtgen ve parabolik yatay yük dağılımları kullanılmıştır. IBC-2000’nde önerilen parabolik dağılıma göre ;

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{W_i h_i^k} \quad k = \begin{cases} 1.25 \rightarrow 3 - katlı \\ 1.89 \rightarrow 9 - katlı \\ 2.00 \rightarrow 20 - katlı \end{cases}$$

C_{vx} : Kata etkitilen yatay kuvvet

W_x : Kat ağırlığı

W_i : Bina ağırlığı

h_x : Katın yerden yüksekliği

h_i : Binanın yüksekliği

monotonik olarak yükseklik boyunca değişen yatay kuvvetler hesaplanmış ve önceden belirlenen bir hedef yer değiştirmeye erişinceye kadar çelik çerçevelere etki ettirilmiştir. Bu analiz sonucunda hangi dağılımın V/W oranını daha iyi tahmin ettiği araştırılmıştır. Yatay yükler 3-, 9- ve 20-katlı çerçeveler için sırasıyla çatı deplasmanı 2.00m, 2.60m ve 6.00m değerine ulaşana kadar arttırılmıştır.

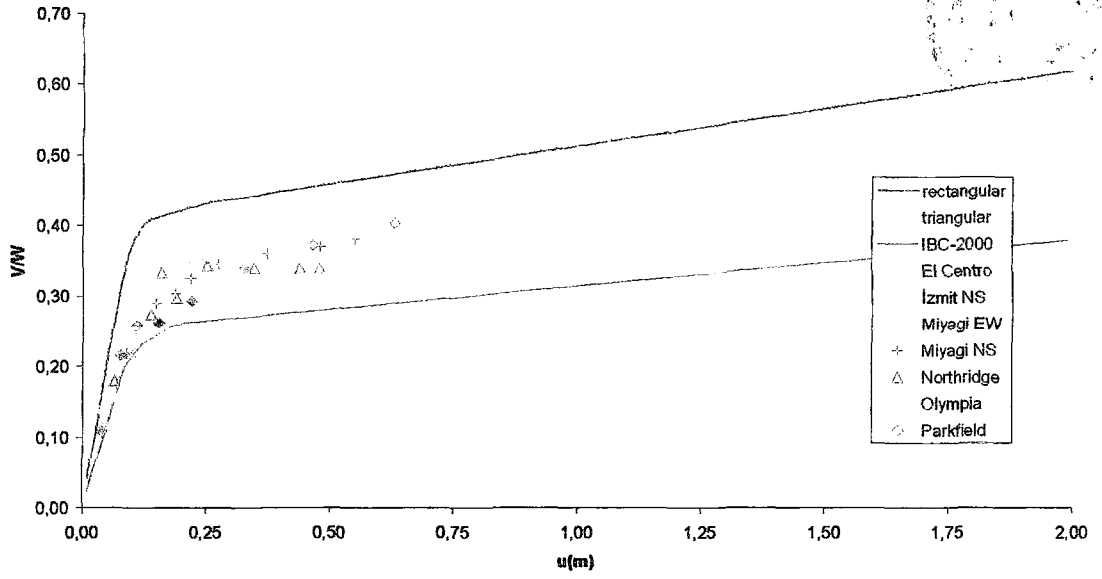
6. ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde öteleme ve doğrusal olmayan zaman geçmişi analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki mukabele parametreleri yardımıyla sunulmuştur:

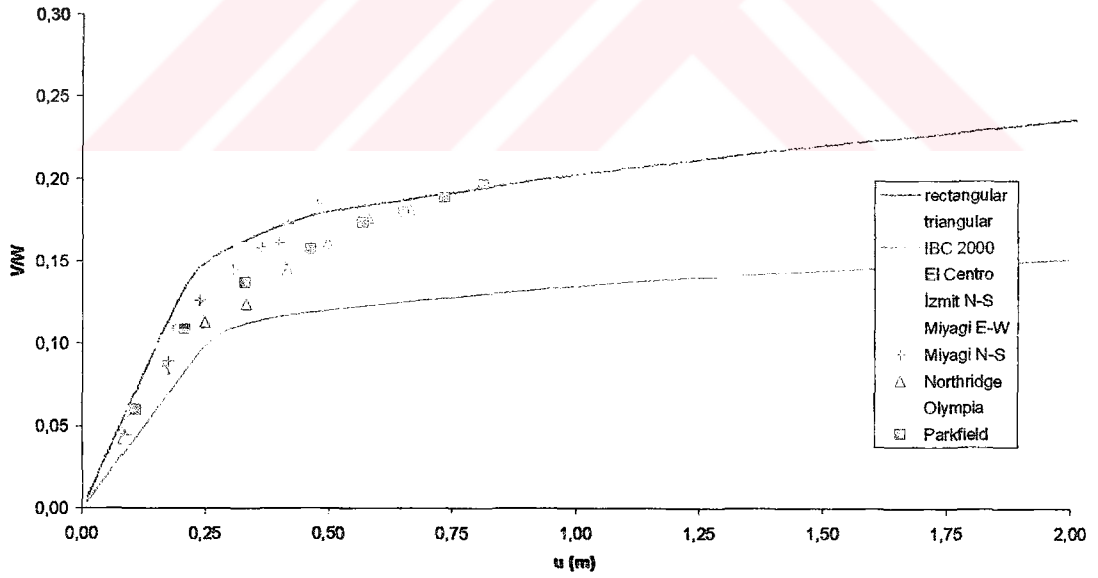
- a. $V/W - u$: Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi ve öteleme analizlerinden elde edilen sonuçlar toplam taban kesme kuvveti(V) / bina ağırlığı(W) - çatı deplasmanı(u) grafikleri formunda sunulmuştur.
- b. Kat deplasmanlarının değişimi : Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen maksimum kat deplasmanlarının değişimleri verilmiştir.
- c. Kat kesme kuvvetlerinin değişimi : Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen maksimum kat kesme kuvvetlerinin değişimleri verilmiştir.
- d. Görelî kat ötelemesi oranlarının değişimi : Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen maksimum görelî kat ötelemelerinin değişimleri verilmiştir.
- e. Enerji terimlerinin değişimi: Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen toplam enerji girişi (E_I), histeretik enerji (E_h) ve sönüm enerjisinin (E_D) değişimleri verilmiştir.

6.1. $V/W - u$

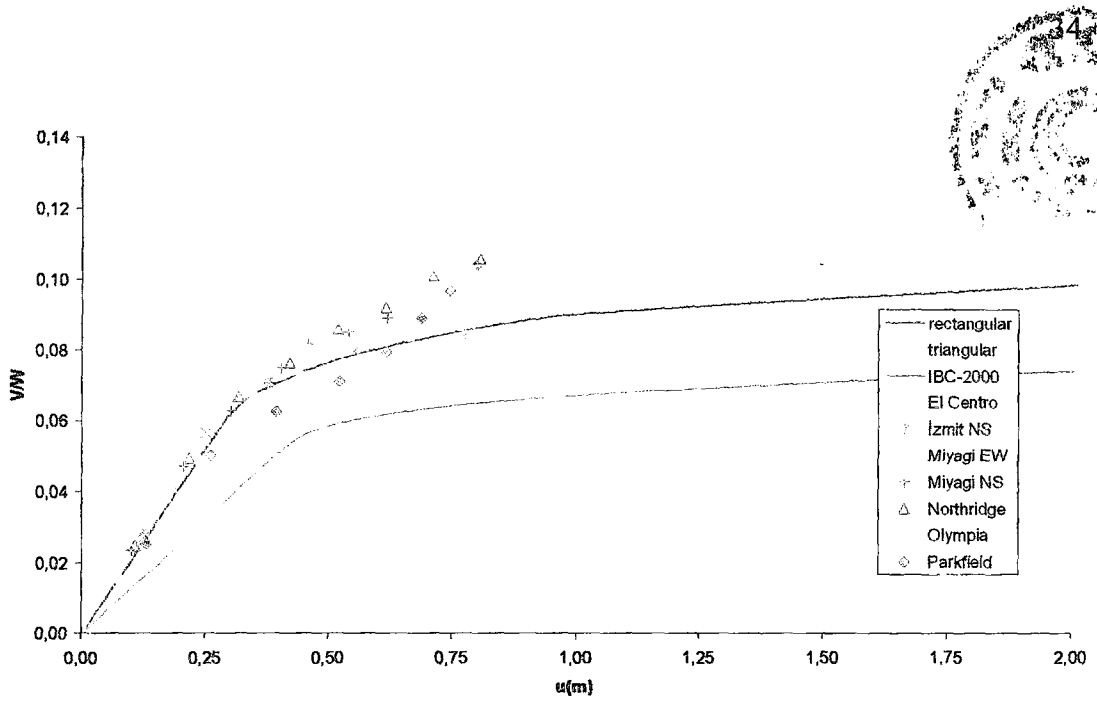
Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizi ve öteleme analizlerinden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti (V) / bina ağırlığı (W) - çatı deplasmanı (u) grafikleri 3-, 9-, ve 20-katlı çerçeveler için sırasıyla Şekil 6.1, Şekil 6.2, ve Şekil 6.3'de sunulmuştur. Şekillerden de görüldüğü gibi $V/W-u$ eğrileri deprem hareketleri için doğrusal olmayan bölgede üniform bir dağılımdan çok dalgalı bir dağılıma sahiptirler. Bu dalgalanmalar deprem yer hareketlerinin artan şiddetlerinde yapıların göçme modlarındaki değişime ve doğrusal olmayan bölgede kesme kuvvetlerinin dağılımına bağlıdır. Ayrıca gözlenmiştir ki; üçgen yük dağılımı V/W oranını düşük tahmin ederken, dikdörtgen yük dağılımı tam tersine inelastik bölgede V/W oranını genelde daha iyi tahmin etmektedir. 3-katlı yapının davranışı yüksek mod etkilerinin fazla olmaması sebebiyle üçgen ve dikdörtgen arasında bir dağılım gösterirken, 9- ve özellikle 20-katlı yapılarda yüksek modların yapının doğrusal olmayan davranışına etkisi oldukça önemli olmaktadır. Şekil 6.4, Şekil 6.5, ve Şekil 6.6'da ise sabit süneklik ($\mu = 2, 4, 6, 8, 10$) için doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizleri sonuçları karşılaştırılmıştır. Herhangi bir çerçevede sabit bir süneklığe karşı gelen mukabeleleri bulabilmek için yer hareketinin maksimum yer ivmesi hedef süneklığe ulaşmaya kadar artırılmıştır. Aynı sonuçlar burada da geçerlidir. Üçgen yatay yük dağılımı yapı akmaya başladıktan sonra yapının doğrusal olmayan davranışını hiçbir şekilde temsil edememektedir. Kat sayısı arttıkça yüksek modların da etkisi artmaktadır.



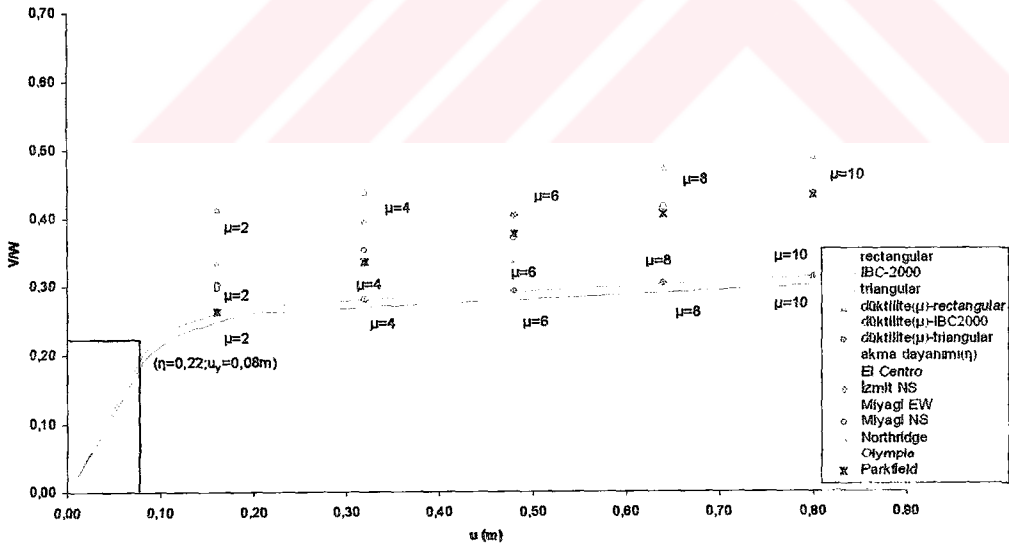
Şekil 6.1. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçları



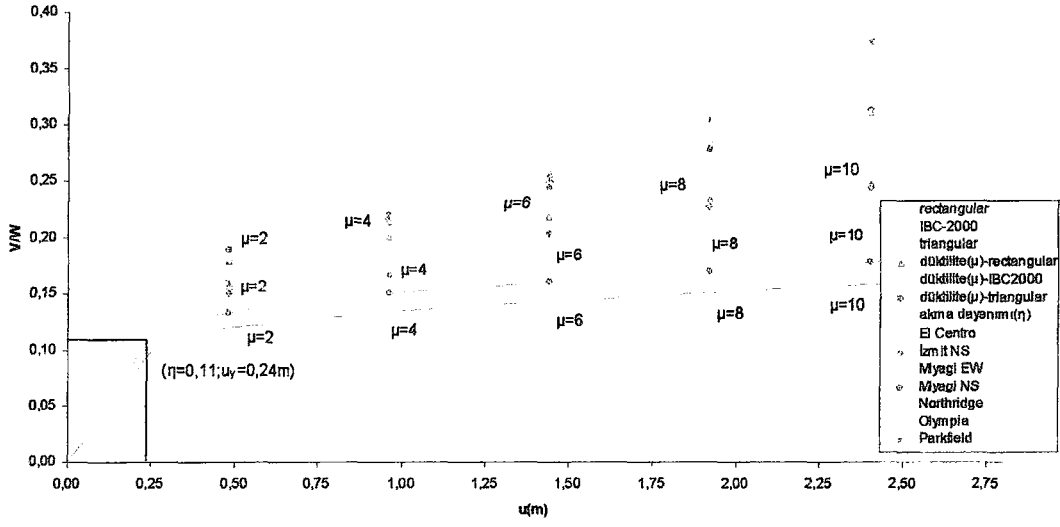
Şekil 6.2. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçları



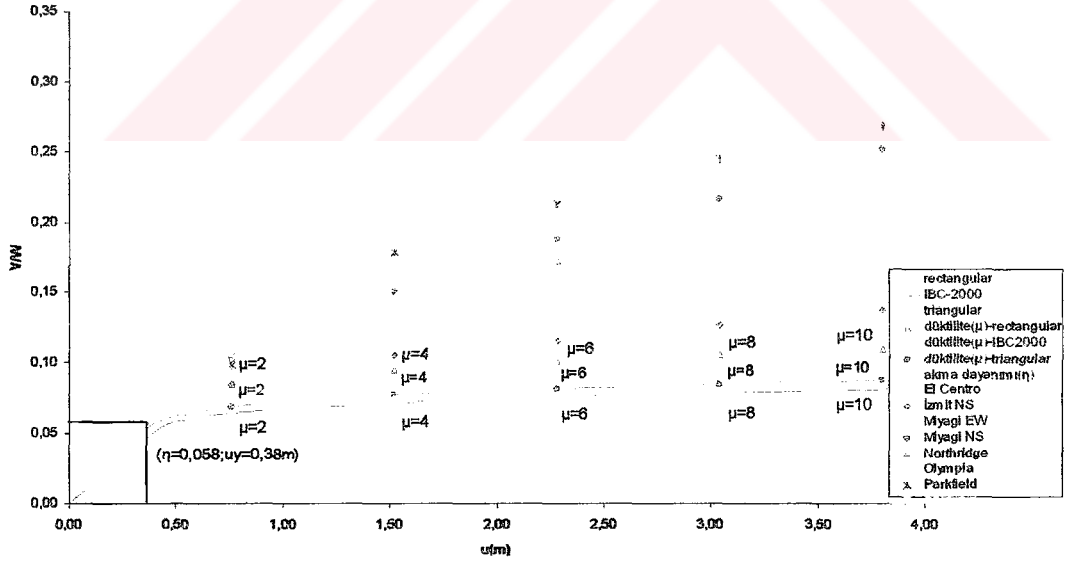
Şekil 6.3. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçları



Şekil 6.4. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarının $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için karşılaştırılması



Şekil 6.5. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarının $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için karşılaştırılması

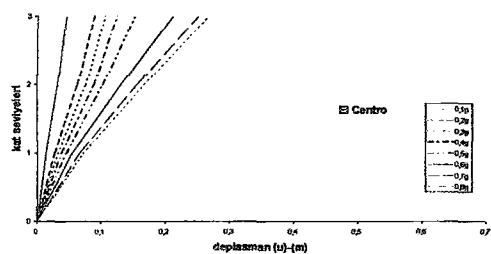


Şekil 6.6. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarının $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için karşılaştırılması

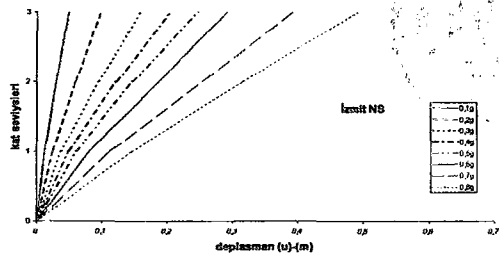
6.2. Kat Deplasmanlarının Değişimi

Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen maksimum kat deplasmanlarının değişimi 3-, 9-, ve 20-katlı çerçeveler için sırasıyla Şekil 6.7, Şekil 6.8, ve Şekil 6.9'da verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi kat deplasmanları yapının doğrusal olmayan bölgeye girmesi durumunda doğrusal olmayan bir davranış göstermektedirler. 3-katlı yapıda en büyük çatı deplasmanına Parkfield yer hareketi yol açarken, 9- ve 20-katlı yapılarda en büyük çatı deplasmanına İzmit yer hareketi neden olmuştur.

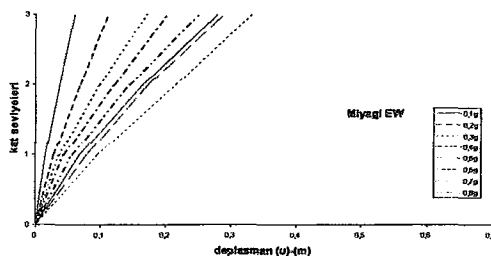




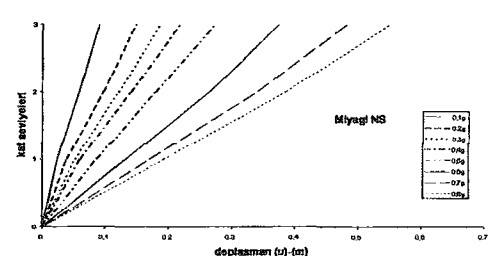
(a)



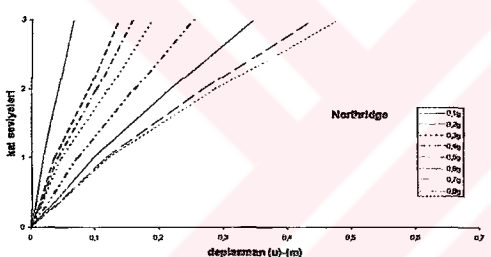
(b)



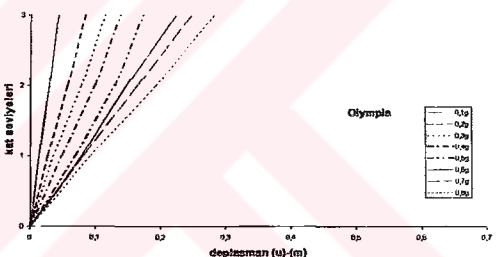
(c)



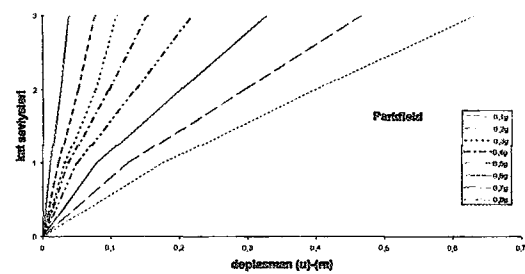
(d)



(e)

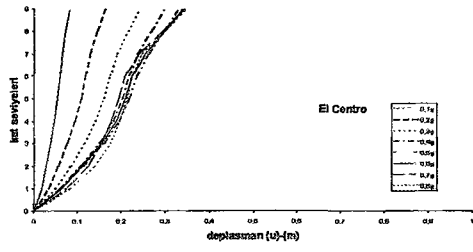


(f)

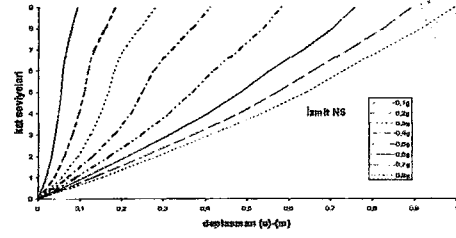


(g)

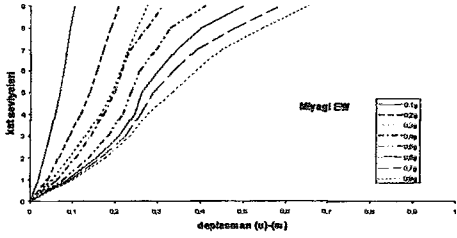
Şekil 6.7. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre katlarının deplasman değerleri



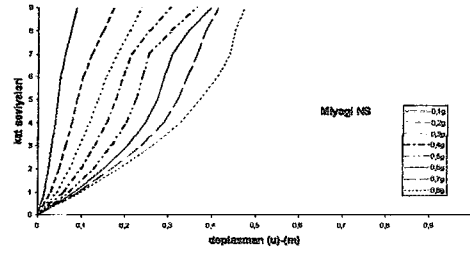
(a)



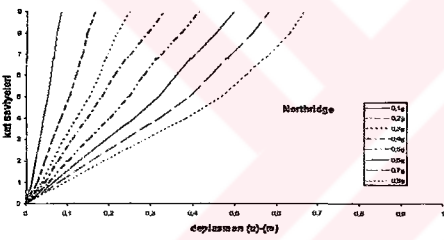
(b)



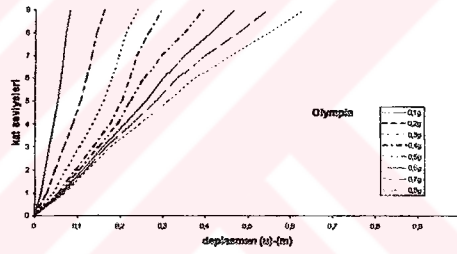
(c)



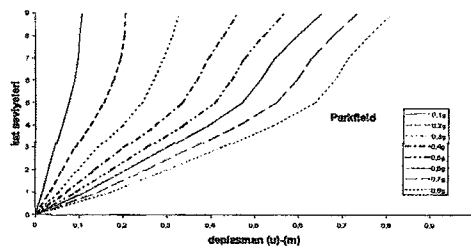
(d)



(e)

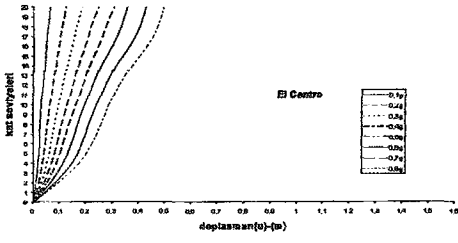


(f)

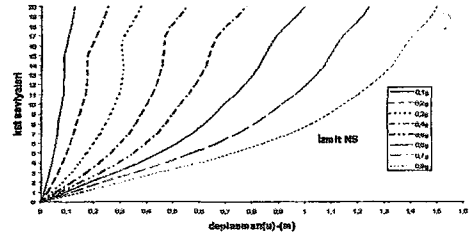


(g)

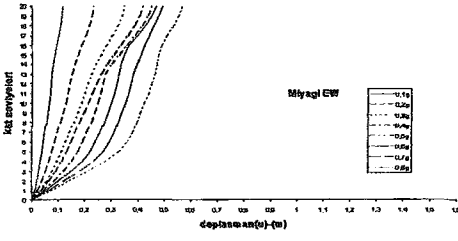
Şekil 6.8. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre katlarının deplasman değerleri



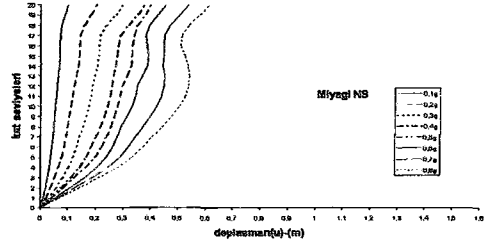
(a)



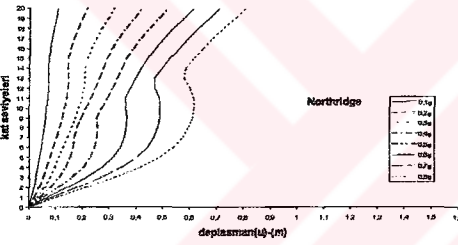
(b)



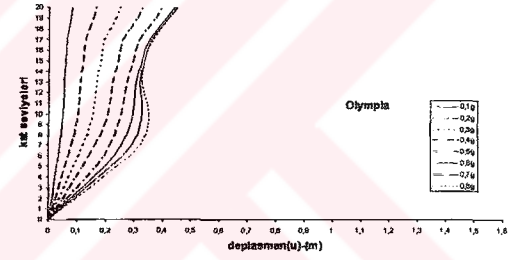
(c)



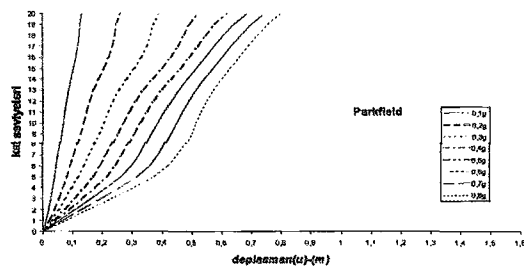
(d)



(e)



(f)



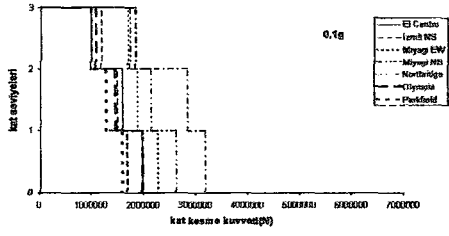
(g)

Şekil 6.9. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre katlarının deplasman değerleri

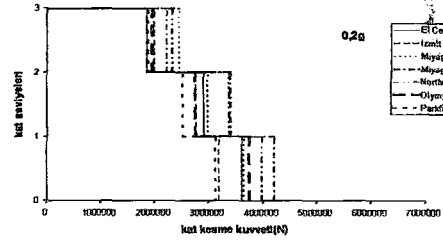
6.3. Kat Kesme Kuvvetlerinin Değişimi

Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen maksimum kat kesme kuvvetlerinin değişimi 3-, 9-, ve 20-katlı çerçeveler için sırasıyla Şekil 6.10, Şekil 6.11, ve Şekil 6.12’de verilmiştir. Düşük şiddetli depremlerde yapılar henüz çok fazla akmadığından dolayı kat kesme kuvveti dağılımları da yönetmeliklerde hakim moda göre belirlenen dağılımlara benzemektedir. Fakat depremin şiddeti arttıkça, özellikle 9- ve 20-katlı yapılarda kat kesme kuvveti dağılımında yüksek modların katkısıyla önemli değişiklikler meydana gelmektedir.

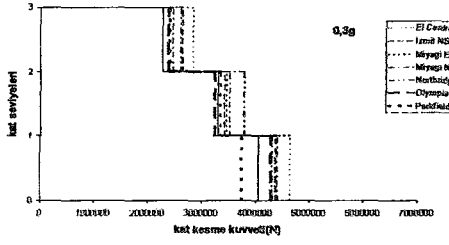




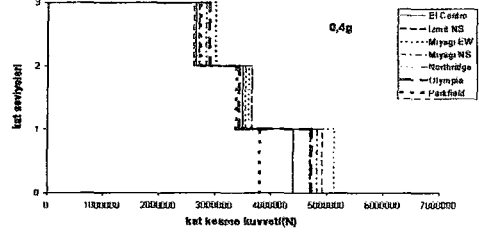
(a)



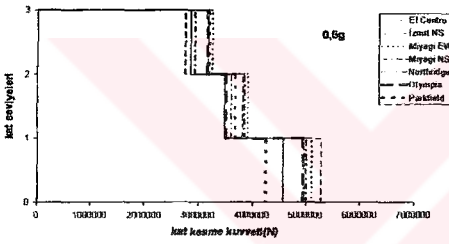
(b)



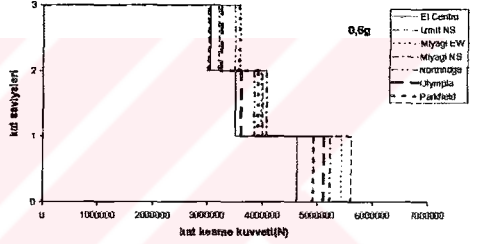
(c)



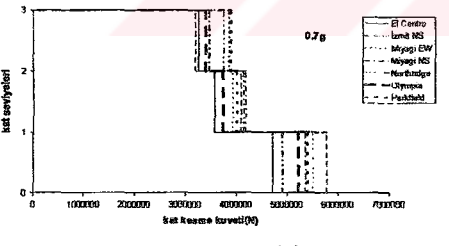
(d)



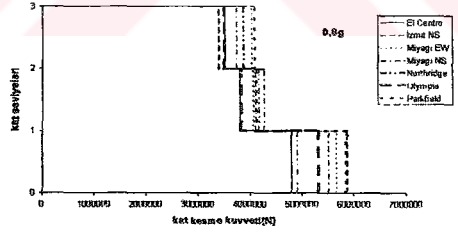
(e)



(f)

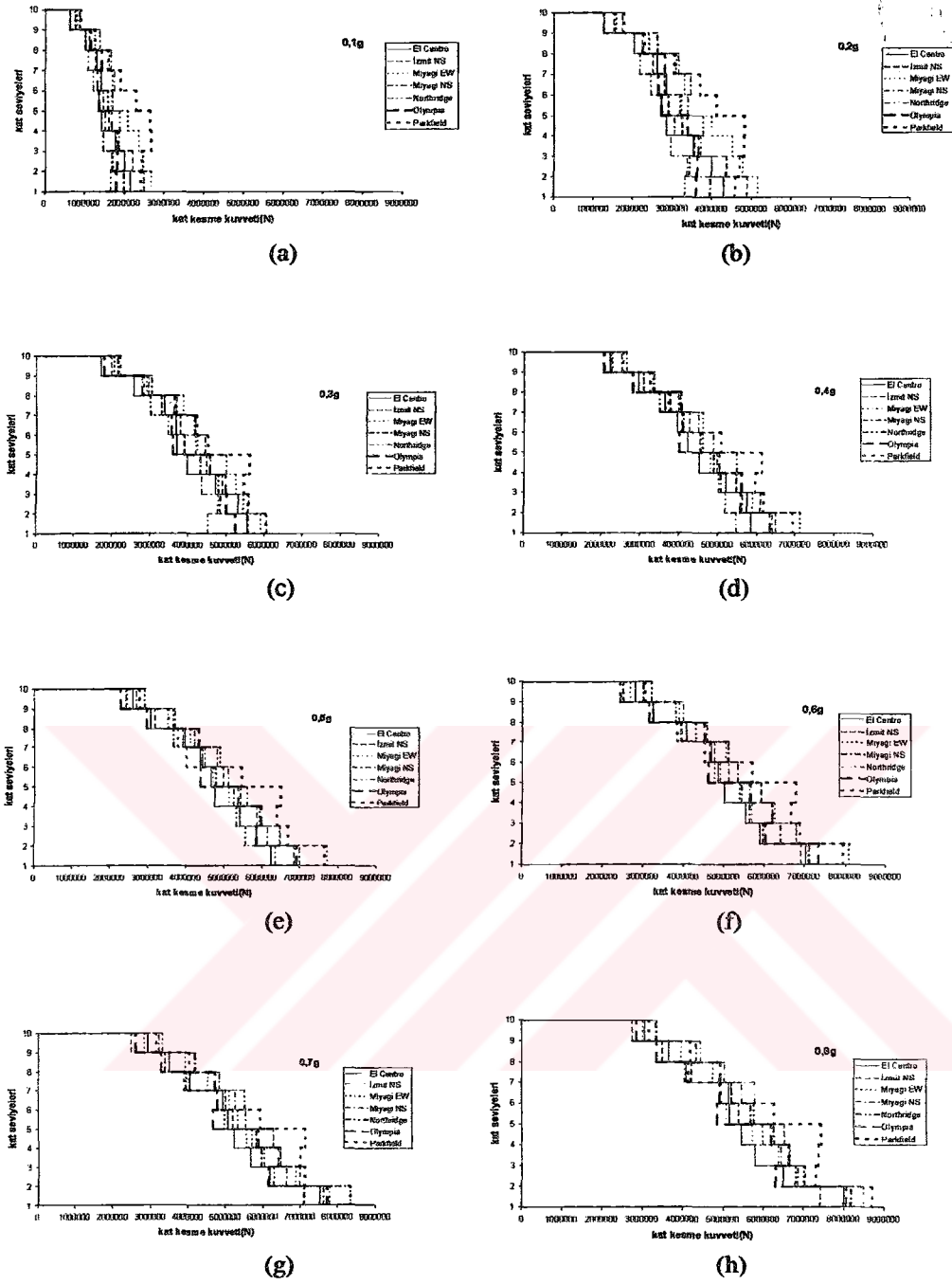


(g)

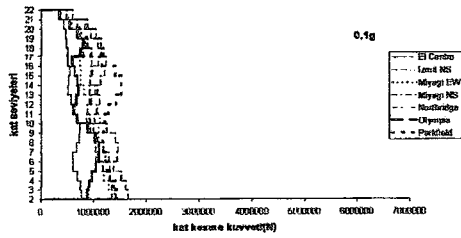


(h)

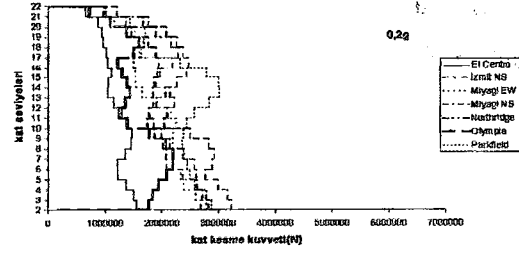
Şekil 6.10. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre kat kesme kuvveti değerleri



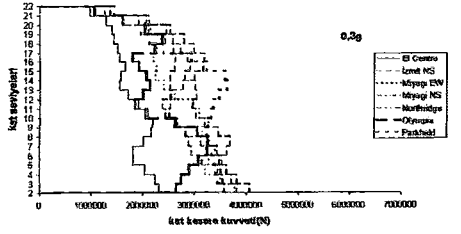
Şekil 6.11. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre kat kesme kuvveti değerleri



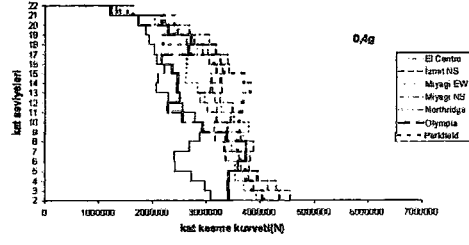
(a)



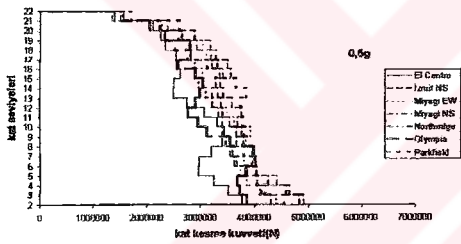
(b)



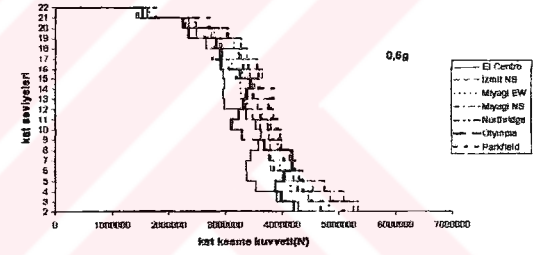
(c)



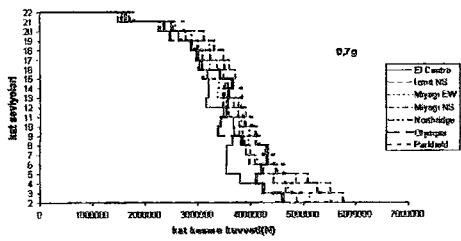
(d)



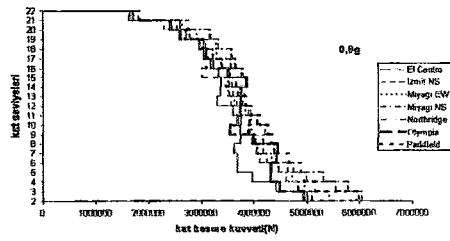
(e)



(f)



(g)

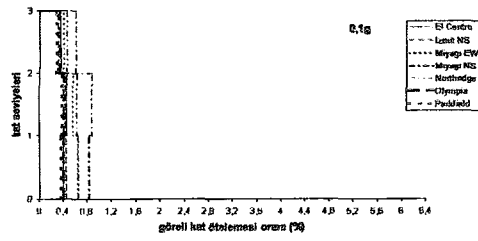


(h)

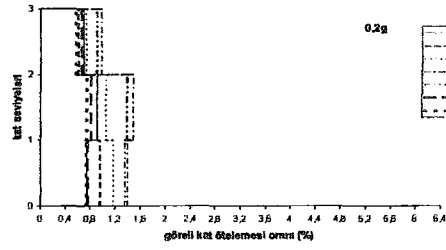
Şekil 6.12. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre kat kesme kuvveti değerleri

6.4. Göreli Kat Ötelemesi Oranlarının Değişimi

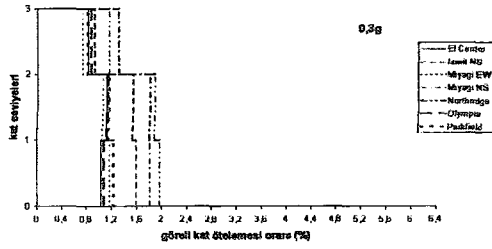
Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerinden elde edilen göreli kat ötelemelerinin değişimleri 3-, 9-, ve 20-katlı çerçeveler için sırasıyla Şekil 6.13, Şekil 6.14, ve Şekil 6.15’de verilmiştir. Yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasara yol açan mukabele değeri kat deplasmanı değil göreli kat ötelemesidir. Bu sebeple katların aralarında yapmış oldukları yatay deplasmanın farkını ifade eden göreli kat ötelemesi de yapının doğrusal olmayan davranışı hakkında oldukça önemli fikirler verebilir. $\ddot{u}_{g0} = 0,8g$ için göreli kat ötelemesi oranları 3-,9- ve 20-katlı yapılar için sırasıyla %6, %3,8 ve %3,5 ‘a kadar ulaşmıştır. Tasarımda dikkate alınması gereken sınır göreli kat ötelemesi değeri 0.25 olmasına rağmen $\ddot{u}_{g0} = 0,1g$ için bile bu değer in üstünde göreli kat ötelemeleri elde edilmiştir. Göreli kat ötelemesi değerlerinin 9- ve 20-katlı yapılarda en üst katlara yakın katlarda en büyük değerlerini aldığı gözlemlenmiştir.



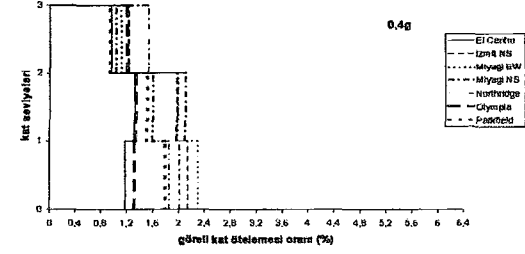
(a)



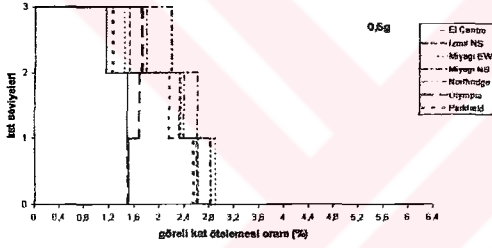
(b)



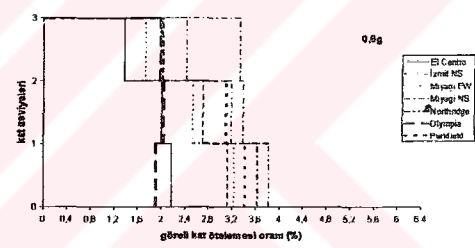
(c)



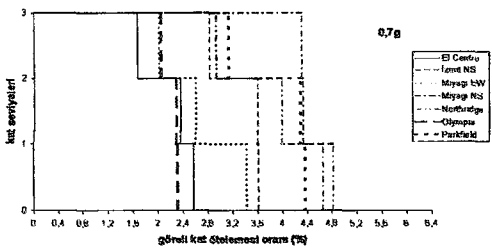
(d)



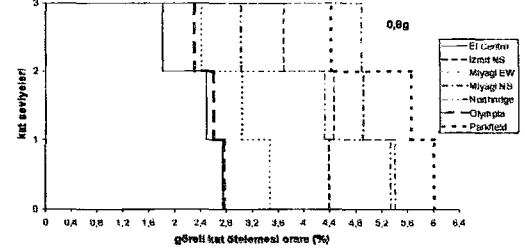
(e)



(f)

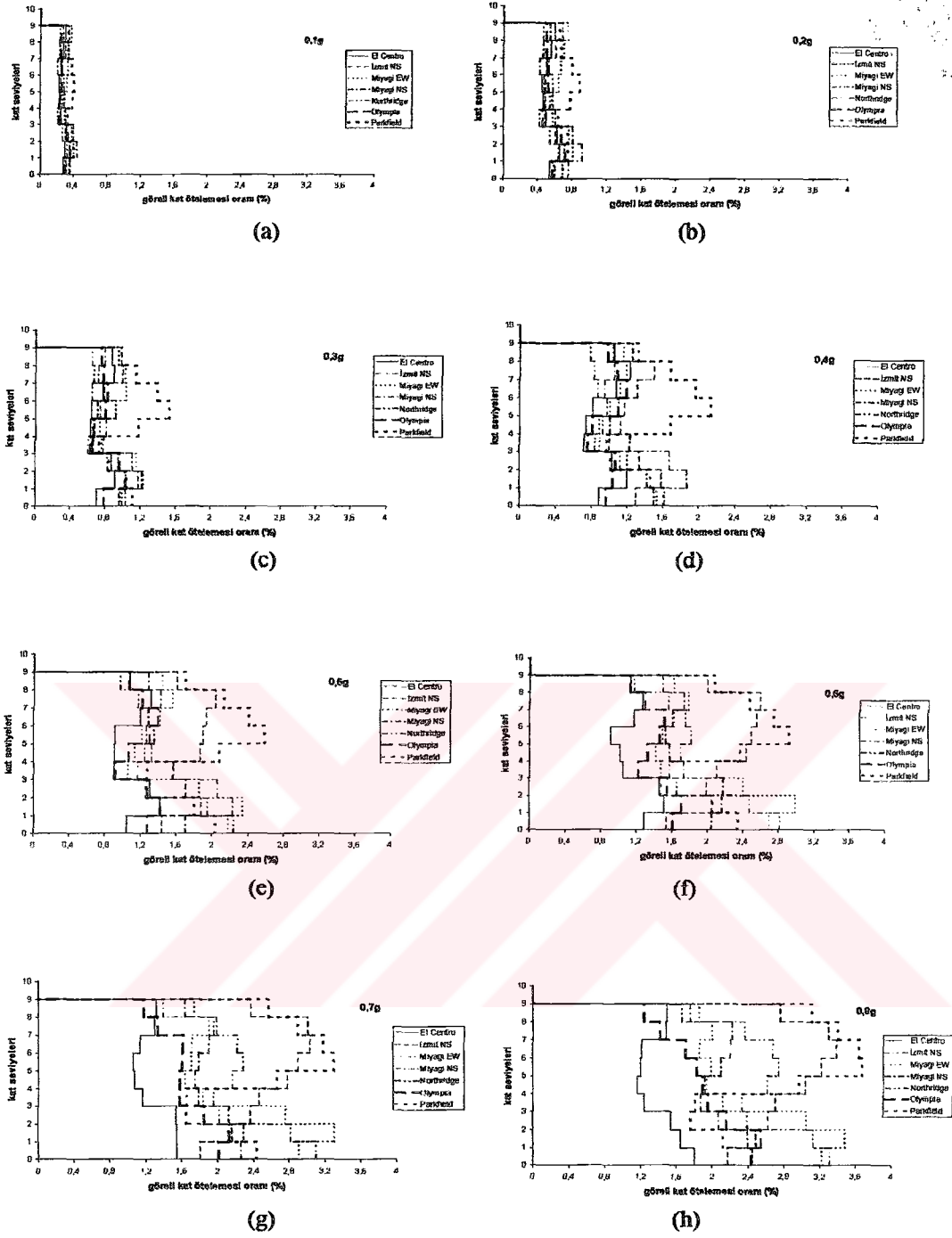


(g)

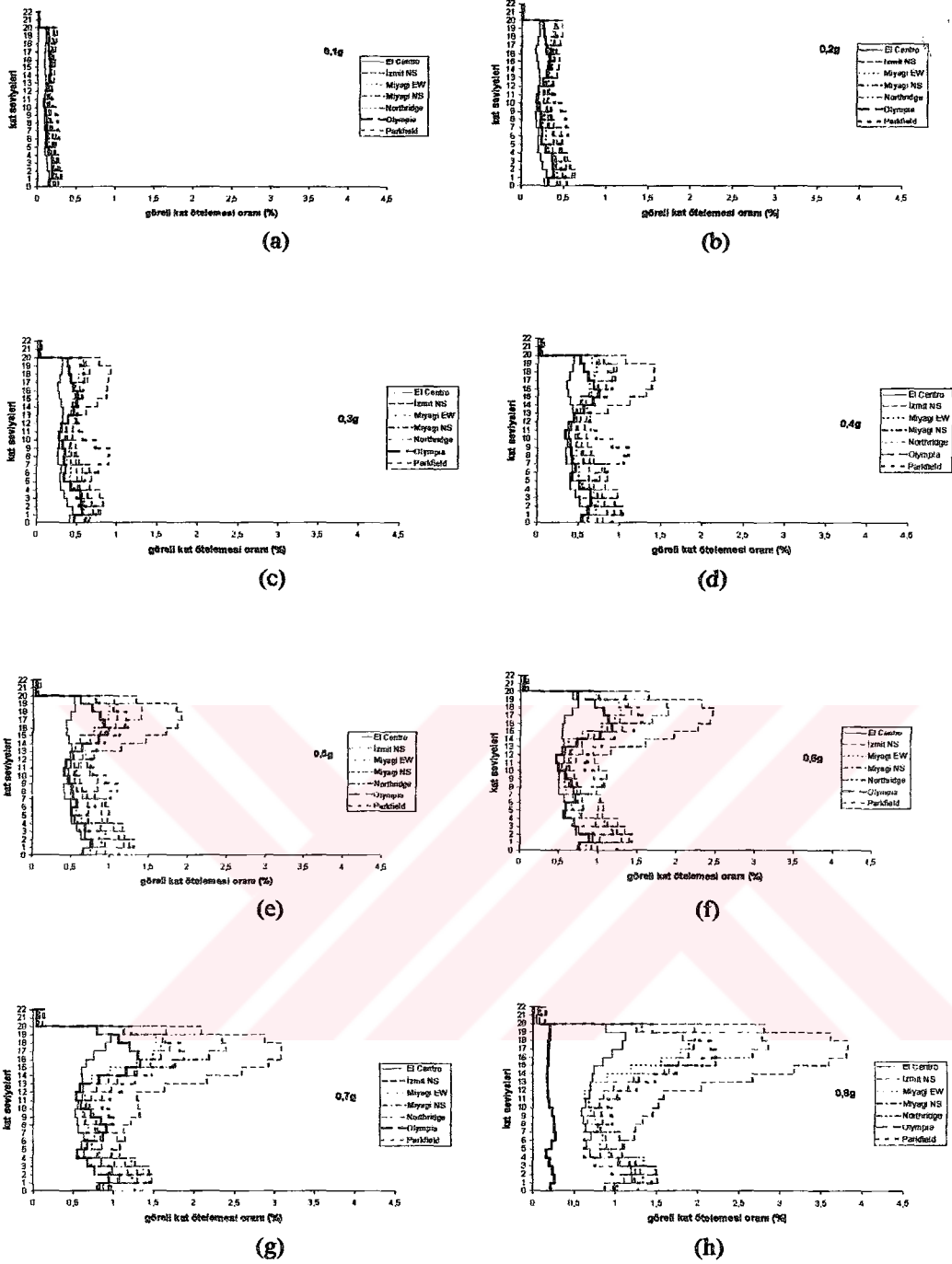


(h)

Şekil 6.13. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre görel kat ötelemesi oranları



Şekil 6.14. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre görel kat ötelemesi oranları

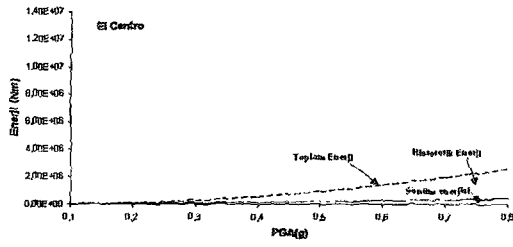


Şekil 6.15. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre görel kat ötelemesi oranları

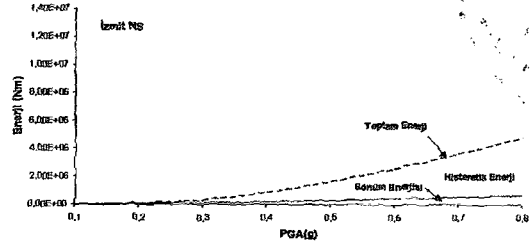
6.5. Enerji Terimlerinin Değişimi

Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmiş analizlerinden elde edilen enerji terimlerinin değişimleri 3-, 9-, ve 20-katlı çerçeveler için sırasıyla Şekil 6.16, Şekil 6.17, ve Şekil 6.18’de verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi depremin şiddeti arttıkça histeretik enerji ve toplam enerji de gittikçe artan doğrusal olmayan bir dağılım göstermektedir. Miyagi EW ve Miyagi NS yer hareketleri her üç yapıda da en fazla enerji girişine neden olmuşlardır. Şekil 6.19, Şekil 6.20, ve Şekil 6.21’de ise $\mu=2, 4, 6, 8, 10$ için enerji terimlerinin değişimi verilmiştir.

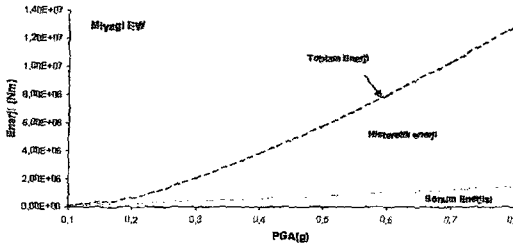




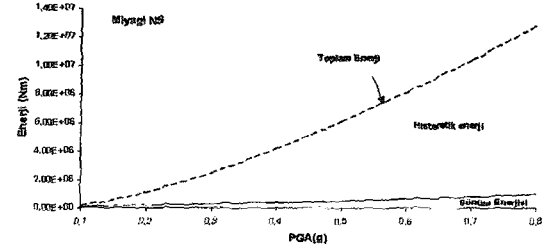
(a)



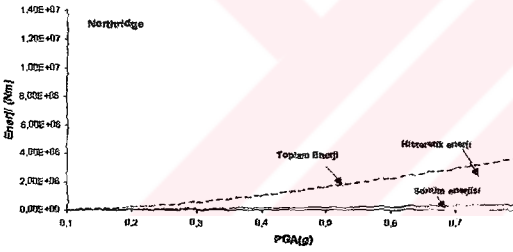
(b)



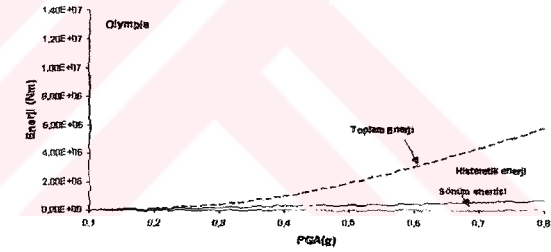
(c)



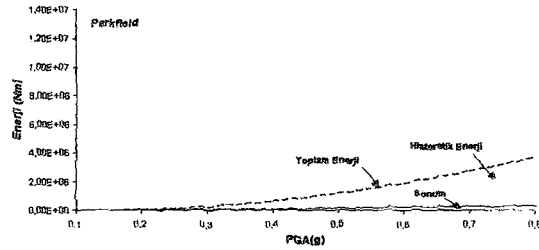
(d)



(e)

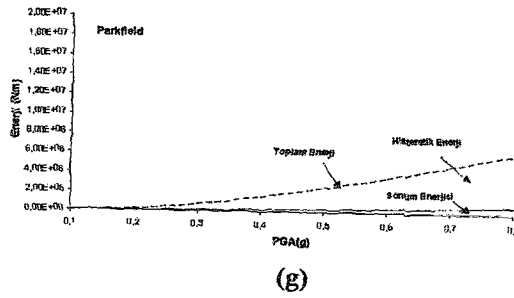
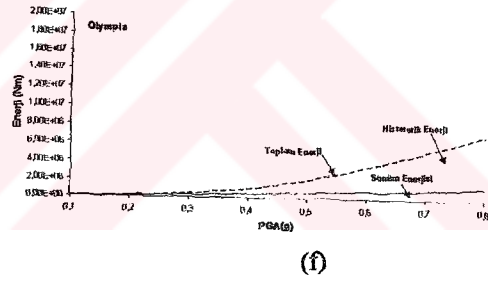
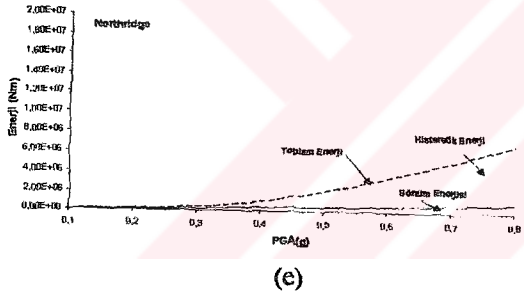
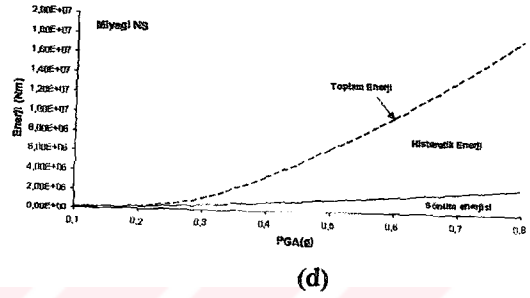
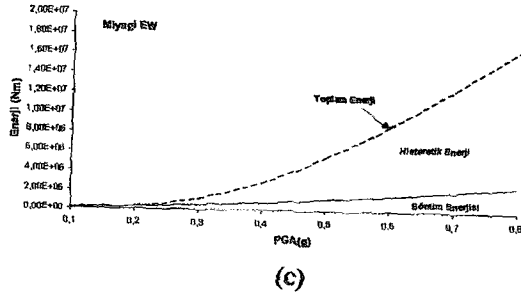
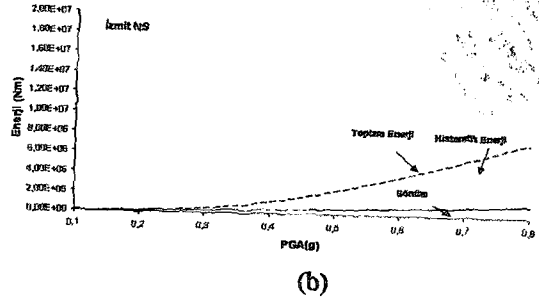
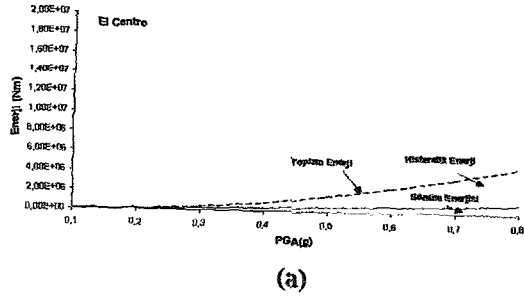


(f)

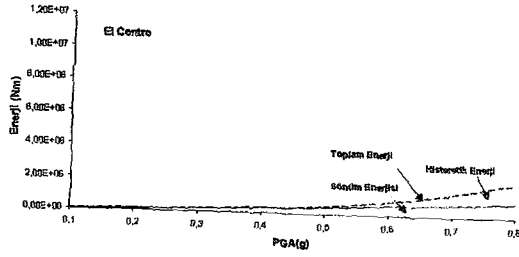


(g)

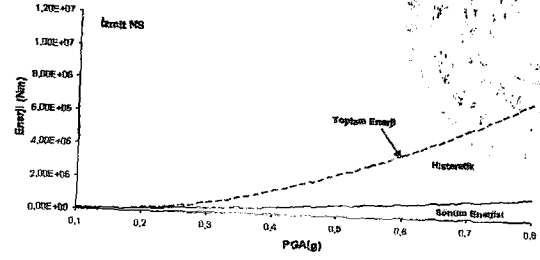
Şekil 6.16. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre enerji değerleri



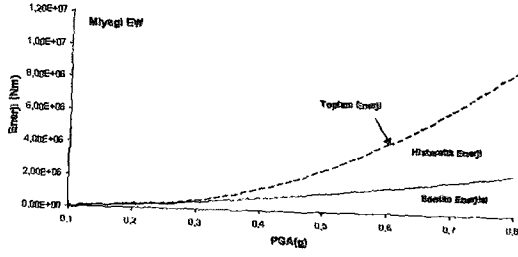
Şekil 6.17. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre enerji değerleri



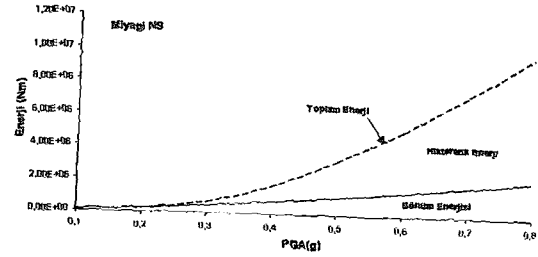
(a)



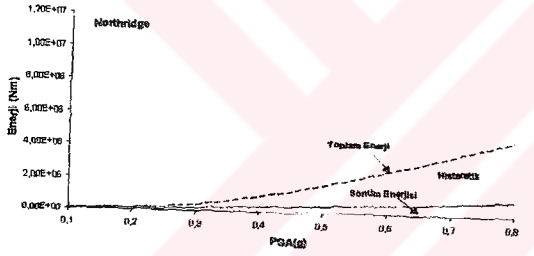
(b)



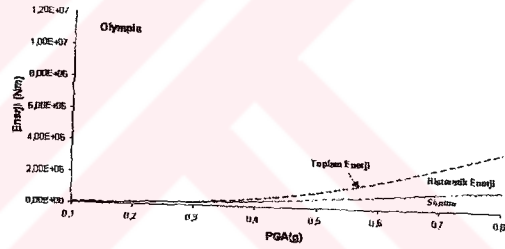
(c)



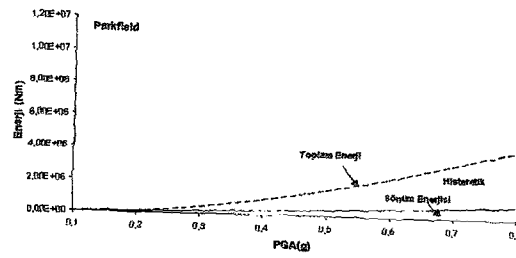
(d)



(e)

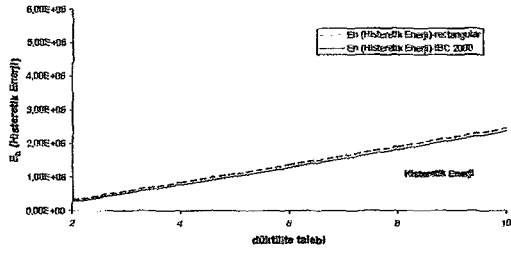


(f)

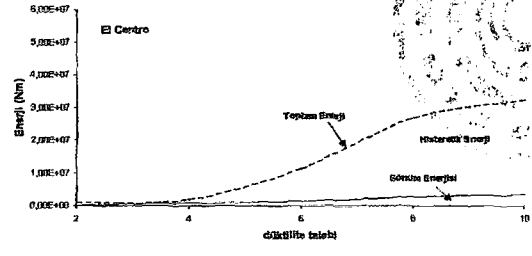


(g)

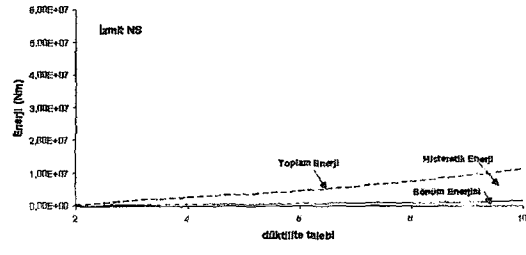
Şekil 6.18. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre enerji değerleri



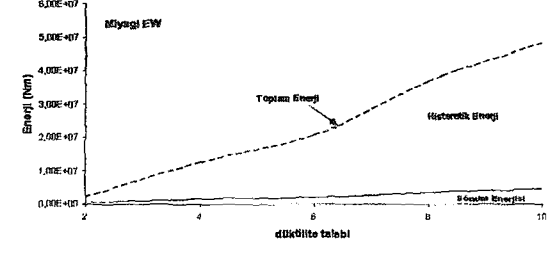
(a)



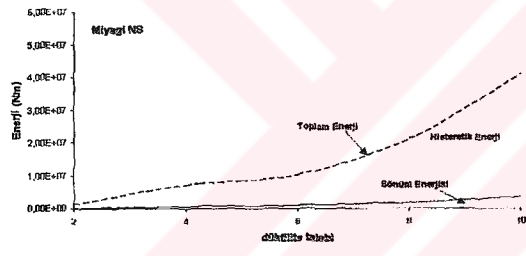
(b)



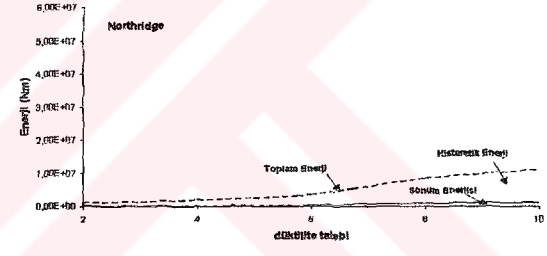
(c)



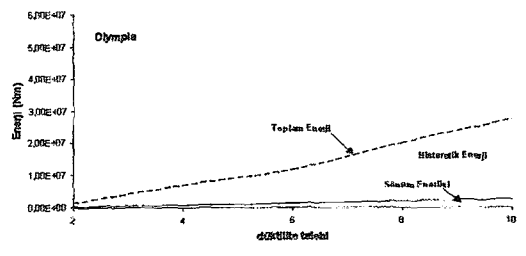
(d)



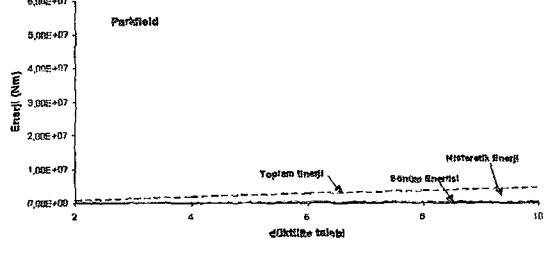
(e)



(f)

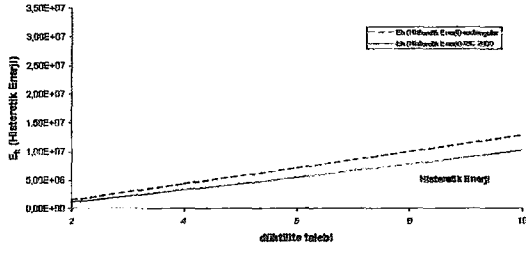


(g)

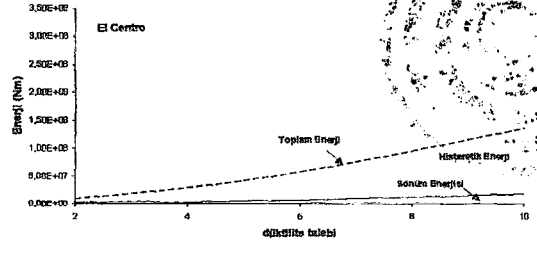


(h)

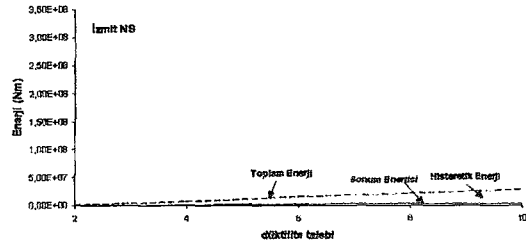
Şekil 6.19. 3 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarına göre $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için enerji değerleri



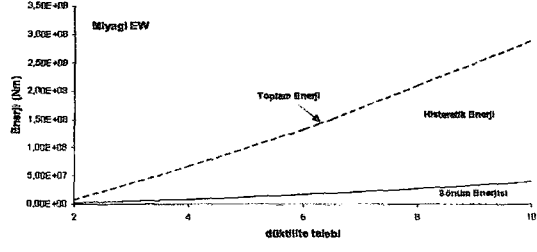
(a)



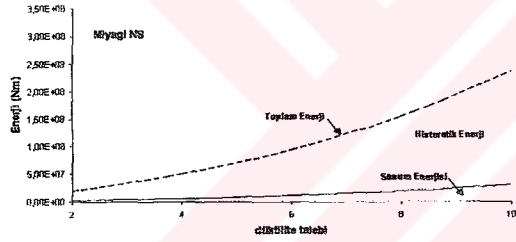
(b)



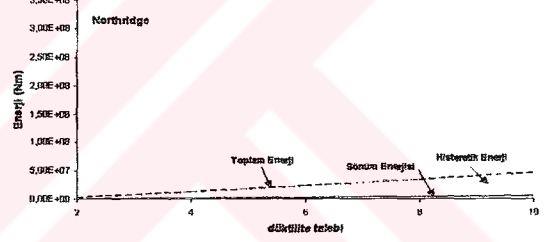
(c)



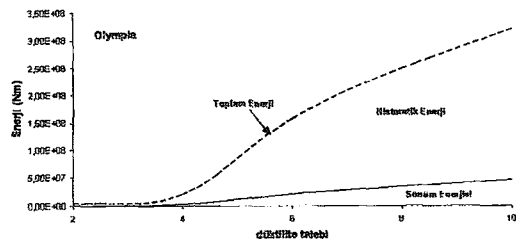
(d)



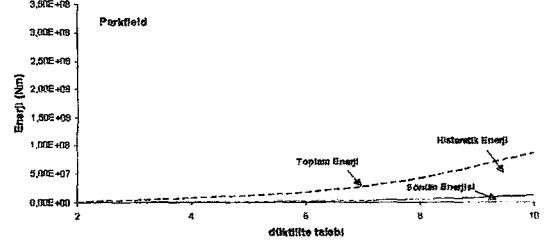
(e)



(f)

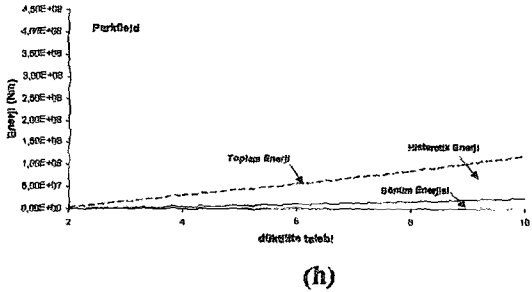
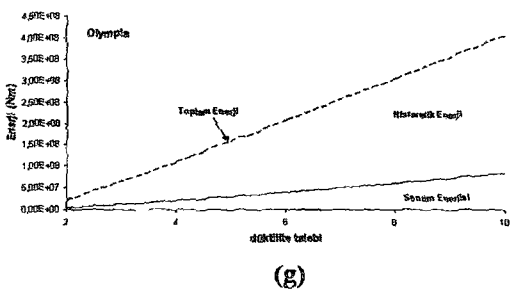
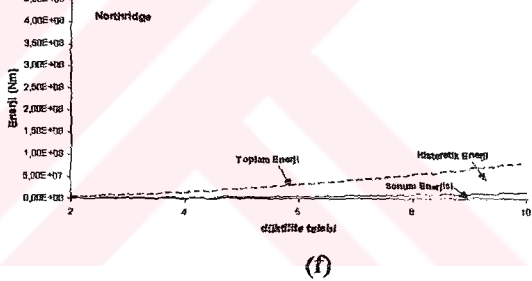
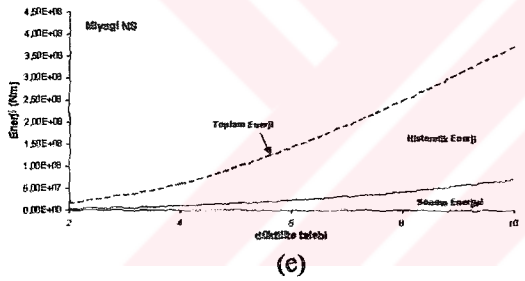
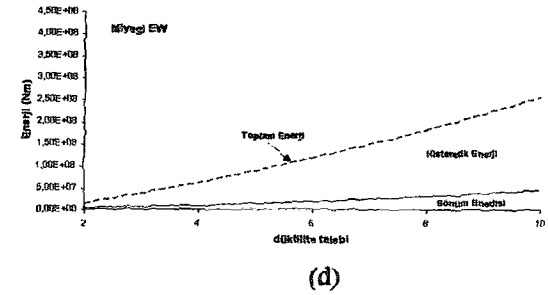
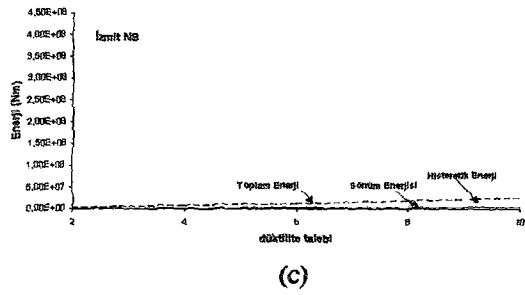
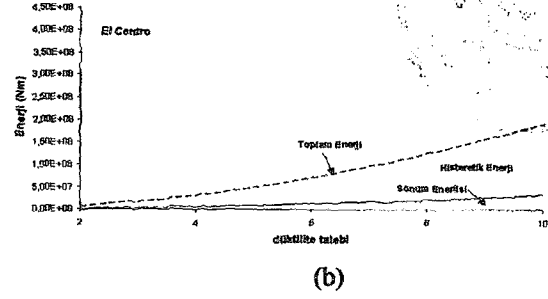
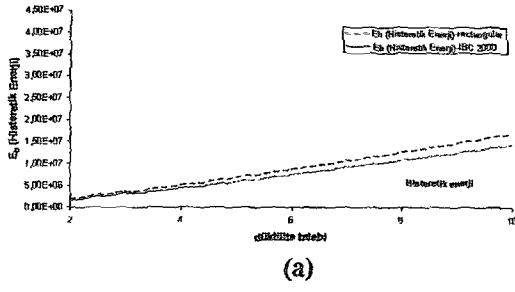


(g)



(h)

Şekil 6.20. 9 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarına göre $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için enerji değerleri



Şekil 6.21. 20 katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi ve öteleme analizi sonuçlarına göre $\mu=2,4,6,8$ ve 10 için enerji değerleri

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde, grafiksel gösterimler baz alınarak şu değerlendirmelere varılmıştır;

- V/W -u eğrileri deprem hareketleri için doğrusal olmayan bölgede üniform bir dağılımdan çok dalgalı bir dağılıma sahiptirler. Bu dalgalanmalar deprem yer hareketlerinin artan şiddetlerinde yapıların göçme modlarındaki değişime ve doğrusal olmayan bölgede kesme kuvvetlerinin dağılımına bağlıdır.
- Üçgen yük dağılımı V/W oranını düşük tahmin ederken, dikdörtgen yük dağılımı tam tersine inelastik bölgede V/W oranını genelde daha iyi tahmin etmektedir.
- Kat deplasmanları yapının doğrusal olmayan bölgeye girmesi durumunda doğrusal olmayan bir davranış göstermektedirler. 3-katlı yapıda en büyük çatı deplasmanına Parkfield yer hareketi yol açarken, 9- ve 20-katlı yapılarda en büyük çatı deplasmanına İzmit NS yer hareketi neden olmuştur.
- Düşük şiddetli depremlerde yapılar henüz çok fazla akmadığından dolayı kat kesme kuvveti dağılımları da yönetmeliklerde hakim moda göre belirlenen dağılımlara benzemektedir. Fakat depremin şiddeti arttıkça, özellikle 9- ve 20-katlı yapılarda kat kesme kuvveti dağılımında yüksek modların katkısıyla önemli değişiklikler meydana gelmektedir.
- $\ddot{u}_{g0} = 0,8g$ için görel kat ötelemesi oranları 3-,9- ve 20-katlı yapılar için sırasıyla %6, %3,8 ve %3,5 'a kadar ulaşmıştır. Tasarımda dikkate alınması gereken sınır görel kat ötelemesi değeri 0.25 olmasına rağmen $\ddot{u}_{g0} = 0,1g$ için bile bu değerin üstünde görel kat ötelemeleri elde edilmiştir. Görel kat ötelemesi değerlerinin 9- ve 20-katlı yapılarda en üst katlara yakın katlarda en büyük değerlerini aldığı gözlemlenmiştir.
- Depremin şiddeti arttıkça histeretik enerji ve toplam enerji de gittikçe artan doğrusal olmayan bir dağılım göstermektedir. Miyagi EW ve Miyagi NS yer hareketleri her üç yapıda da en fazla enerji girişine neden olmuşlardır.

- Enerji girişi (toplam enerji) dağılımları da histeretik enerji ile aynı değişimleri göstermişlerdir. Daha önce de belirtildiği gibi enerji girişi, histeretik enerji talebi ve sönüm yoluyla dağıtılan enerji miktarının toplamıdır.
- Hedef süneklik değeri arttıkça histeretik enerji taleplerinde artımlar gözlenmiştir. Bu artımlar özellikle 9- ve 20- katlı yapılarda Miyagi EW, Miyagi NS ve Olympia deprem yer hareketlerinde kendini göstermiştir.

Yukarıdaki değerlendirmeler ışığında aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir:

- Üçgen yatay yük dağılımı yapı akmaya başladıktan sonra yapının doğrusal olmayan davranışını hiçbir şekilde temsil edememektedir.
- Deprem yer hareketlerinin kuvvetli hareket sürelerinin, enerji girişi ve histeretik enerji talebi üzerinde kuvvetli bir etkisi vardır. Kuvvetli hareket süresi fazla olan bir deprem sonucu yapıya girecek olan enerji, kuvvetli hareket süresi az olan bir deprem sonucu yapıya girecek olan enerjiden daha fazla olabilir.
- Süneklik değerinin düşük seviyeleri için enerji dağılımı oldukça düzenli iken, süneklik değeri arttıkça enerji dağılımları değişmektedir.
- Süneklik değeri arttıkça, enerji girişi ve histeretik enerji talebi artmaktadır.
- Deprem yer hareketlerinin kaydedildikleri zemin yapıları ve karakteristik özellikleri birbirlerinden çok farklıdır. Enerji girişi ve histeretik enerji talebi, deprem yer hareketlerinin karakteristik özelliklerine ve zemin yapılarına bağlı olarak çok farklı değişimler göstermektedir.

7.2. Öneriler

1. Yapılan bu çalışmada kullanılan deprem yer hareketleri sınırlı sayıda olup, rasgele seçilmişlerdir. Aynı zemin yapılarında kaydedilmiş olan daha fazla sayıdaki deprem yer hareketleri kullanılarak bu çalışma tekrarlanmalı, istatistiksel veriler elde edilmelidir.
2. Deprem yer hareketleri, yerel zemin koşulları ve zemin yapısının durumuna bağlı olarak oldukça büyük değişiklikler ve etkiler göstermektedir. Bu kavramlar, depreme dayanıklı yapı tasarımında oldukça önem taşımaktadır.

Özellikle zemin büyümesi ve sıvılaşma potansiyeli dikkatli bir şekilde incelenmelidir.

3. Enerji kavramlarının depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılmasına son yıllarda başlanmıştır. Halen kullanılan yönetmeliklerde enerjiye dayalı tasarım yöntemlerine yer verilmemiştir. Yeni gelişmeler ışığında, performans dayalı depreme dayanıklı tasarım ve enerjiye dayalı depreme dayanıklı tasarım yöntemleri analizlerde kullanılmalıdır.
4. Enerji kavramlarının depreme dayanıklı yapı tasarımında bir kriter olarak kullanılmasında üç temel problem olan; (a) Deprem sırasında yapıya girecek olan enerjinin miktarına, (b) Yapıya giren enerjinin yapı tarafından nasıl tüketileceğine, (c) Yapı elemanlarının enerji tüketme kapasitelerine cevap bulunduğunda, bir yapıya enerji girişi ve enerji kapasitesini karşılaştırmak mümkün olacak ve yapının depreme dayanıklılığı hesaplanabilecektir.
5. Tasarımcılar, yeni ve ileri hesap yöntemlerine uyum sağlamalı, dünyadaki değişimleri takip etmelidir.

KAYNAKLAR



1. Akbas, B., and Shen, J., "Energy Approach in Performance-Based Earthquake-Resistant Design", accepted for publication at Twelveth European Conference on Earthquake Engineering, London, England, 2002.
2. Akbaş, B., and Shen, J., "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı ve Enerji Kavramları", İMO Teknik Dergi, 2877-2901, Nisan 2003.
3. Akbaş, B., Kara, F.İ., ve Mert Tuğsal, Ü., "Alçak-, Orta- ve Yüksek Katlı Çelik Çerçevelerde Öteleme Analizleri ve Doğrusal Olmayan Zaman Geçmiş Analizlerinin Karşılaştırılması", GYTE-BAP, 02-A-02-01-03, Eylül 2003.
4. Akiyama, H., "Earthquake-Resistant Limit-State Design for Buildings", University of Tokyo Press, 1985.
5. Berg, G.V., and Thomaides, S.S., "Energy Consumption by Structures in Strong-Motion Earthquakes", Proc. of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, 681-697, 1960.
6. Bertero, R.D., and Bertero, V.V., Teran-Gilmore A. "Performance-Based Earthquake-Resistant Design Based on Comprehensive Design Philosophy and Energy Concepts. Proceedings of the Eleventh World Conference on Earthquake Engineering", Acapulco, Mexico. Paper No. 2125. Oxford: Pergamon, 1996.
7. Bertero, V.V., and Teran-Gilmore, A., "Use of Energy Concepts in Earthquake-Resistant Analysis and Design: Issues and Future Directions, Advances in Earthquake Engineering Practice: Series 2", University of California, Berkeley, 1994.
8. Bertero, V.V., and Bertero, R.D., (1994), "Earthquake-Resistant Design of Structures: Conceptual Numerical Earthquake-Resistant Design of Tall

Reinforced Concrete Buildings”, Advances in Earthquake Engineering Practice: Series 2, University of California, Berkeley.

9. Bertero, V.V., “Comprehensive Earthquake-Resistant Design Approach”, Vision 2000-Part 2, 1995.
10. Celep, Z., ve Kumbasar, N., “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000.
11. Chopra, A.K., “Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering”, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2000.
12. Chopra, A., and Goel, R.K., “A Modal Pushover Analysis Procedure For Estimating Seismic Demands For Buildings”, Earthquake Engng. Struct. Dyn., 31,561-582, 2002.
13. Conte, J.P., Pister, K.S., and Mahin, S.A., “Influence of the Earthquake Ground Motion Process and Structural Properties on Response Characteristics of Simple Structures”, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. UCB/EERC-90/09, 1990.
14. Fajfar, P., and Gasperic, P., “The N2 Method for the Seismic Damaga Analysis of RC Buildings”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 1996.
15. Fajfar, P., Vidic, T., and Fischinger, M., “On the Energy Input Into Structures, Proc. of the Pacific Conference on Earthquake Engineering, Auckland”, New Zealand, 1, 81-92, 1991.
16. Fajfar, P., and Vidic, T., “Consistent Inelastic Design Spectra: Hysteretic and Input Energy”, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 23, 523-537, 1994.

17. FEMA 273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, 1997.
18. Hadjian, A.H., "A Re-Evaluation of Equivalent Linear Models for Simple Yielding Systems", Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 10, 759-767, 1982.
19. Housner, G.W., "Limit Design of Structures to Resist Earthquakes", Proc. of the First World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, California, 5-1 to 5-3, 1956.
20. Kilar, V., and Fajfar, P., "Simplified Pushover Analysis of Building Structures", 11th WCEE, Acapulco, Mexico, 1996.
21. Krawinkler, H., and Al-Ali, A., "Seismic Demand Evaluation for a 4-Story Steel Frame Structure Damaged in the Northridge Earthquake", The Structural Design of Tall Buildings, 5, 1-27, 1996.
22. Kuwamura, H., and Galambos, T.V., "Earthquake Load for Structural Reliability", Journal of Structural Engineering, 115, 6, 1989.
23. Kuwamura, H., Akiyama, H., and Kirino, Y., "Prediction of Earthquake Energy Input from Smoothed Fourier Amplitude Spectrum", Journal of Construction Engineering: Transaction of AIJ, No. 442, 53-60, 1992.
24. Li, R., and Pourzani, M., "Sensitivity Of Buildings Response To Nonlinear Analysis Models", Struct. Design Tall Buildings, 8, 15-35, 1999.
25. Mahin, S.A., and Lin, J., "Construction of Inelastic Response Spectra for Single-Degree-of-Freedom Systems", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. UCB/EERC-83/17, 1983.
26. Nicoletti, J., "Static Nonlinear Pushover Analysis", Vision 2000, Part2, 1995.

27. Nurtuğ, A., and Sucuoğlu, H., "Prediction of Seismic Energy Dissipation in SDOF Systems", *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 24, 1215-1223, 1995.
28. Ohtori, Y., Christensen R.E., Spencer, B.F., and Dyke S.J., "Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings", Notre Dame University, Indiana, 2000.
29. Qi, X., and Moehle, J.P., "Displacement Design Approach for Reinforced Concrete Structures Subjected to Earthquakes", Report No. UCB/EERC-91/02, University of California, Berkeley, 1991.
30. Penzien, P., "Elasto-Plastic Response of Idealized Multi-Story Structures Subjected to a Strong Motion Earthquake", Proc. of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, 1960.
31. Saaidi, M. and Sözen, M.A., "Simple Nonlinear Seismic Analysis of RC Structures", *Journal of Structural Division, ASCE*, 107, 937-952, 1981.
32. SEAOC, "Performance Based Seismic Engineering of Buildings", San Francisco, Vision 2000, 1995.
33. Sucuoğlu, H., Dicleli, M., and Nurtuğ, A., "An Analytical Assessment of Elastic and Inelastic Response Spectra", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21, 386-395, 1994.
34. Tso, W.K., Zhu, T.J., and Heidebrecht, A.C., "Seismic Energy Demands on Reinforced Concrete Moment-Resisting Frames", *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 22, 533-545, 1993.
35. Uang, C.M., and Bertero, V.V., "Use of Energy as a Design Criterion in Earthquake-Resistant Design", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. UCB/EERC-88/18, 1988.

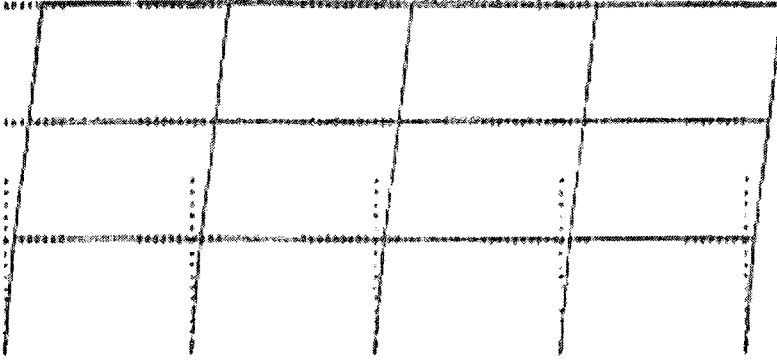
36. Veletsos, A.S., and Newmark, N.M., "Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Engineering", Proc. of the Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, 895-912, 1960.
37. Zahrah, T.F., "Seismic Energy Absorption in Simple Structures", Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, 1982.



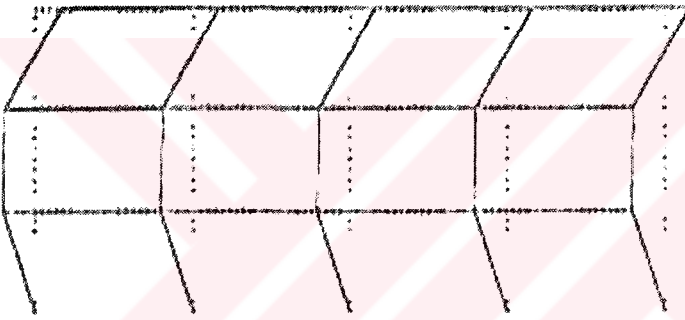
EK-1

Mod Şekilleri

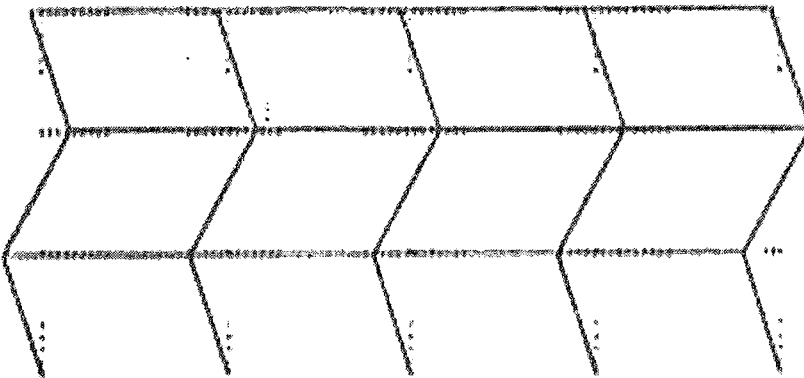




Mode1 (1.0109 sn)
(a)

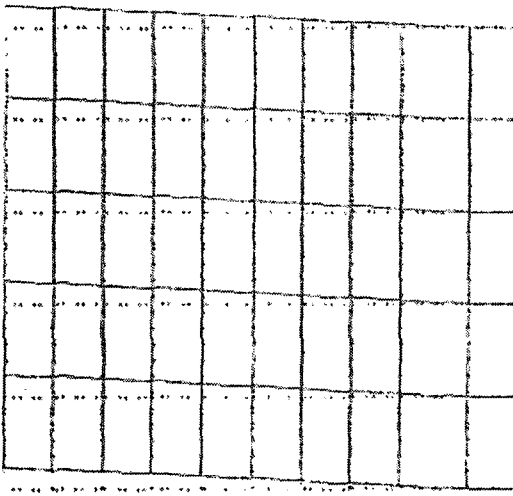


Mode2 (0.3279sn)
(b)

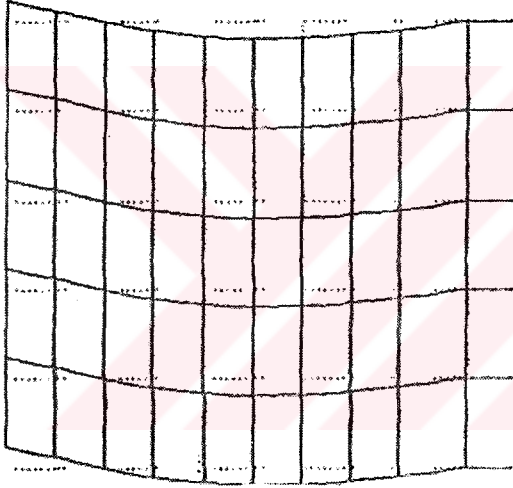


Mode3 (0.17271 sn)
(c)

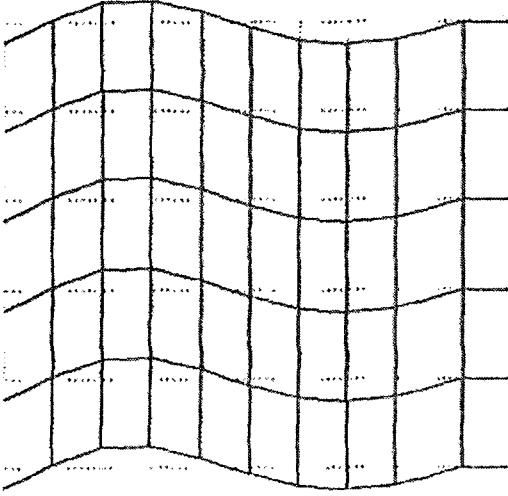
“3 Katlı Çerçevenin Mod Şekilleri”



Model 1 (1.2862 sn)
(a)

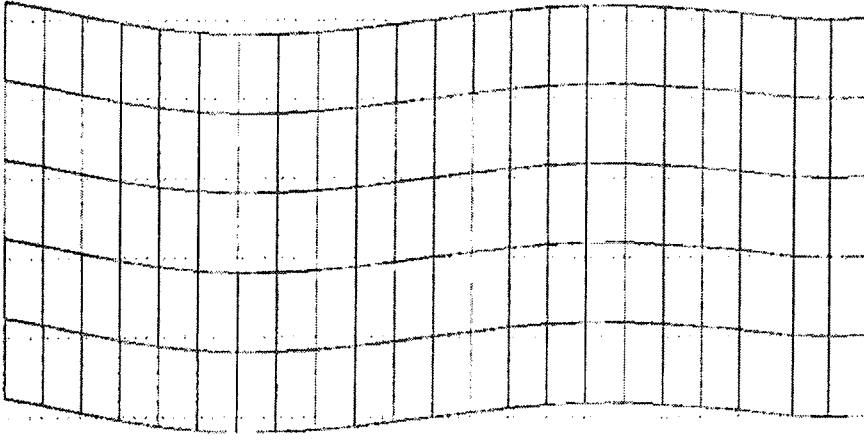


Model 2 (0.86274 sn)
(b)

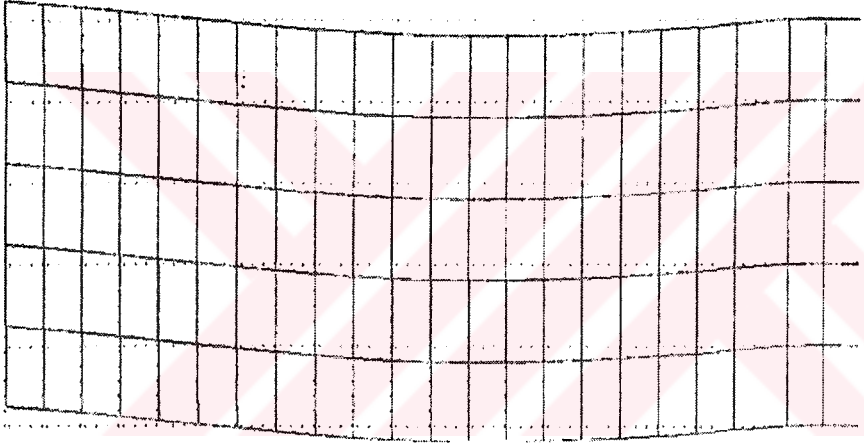


Model 3 (0.49563 sn)
(c)

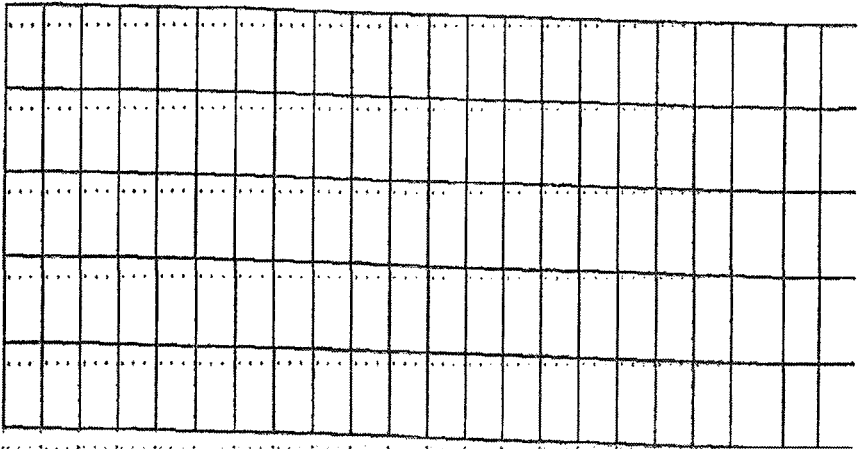
“9 Katlı Çerçevenin Mod Şekilleri”



Mode3 (0.77078 sn)
(c)



Mode2 (1.3253 sn)
(b)

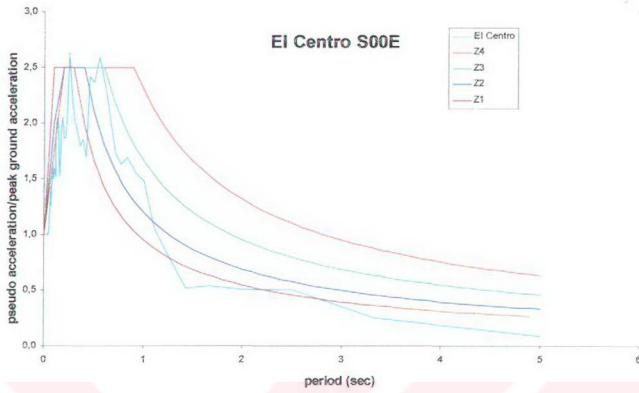


Mode1 (3.7863 sn)
(a)

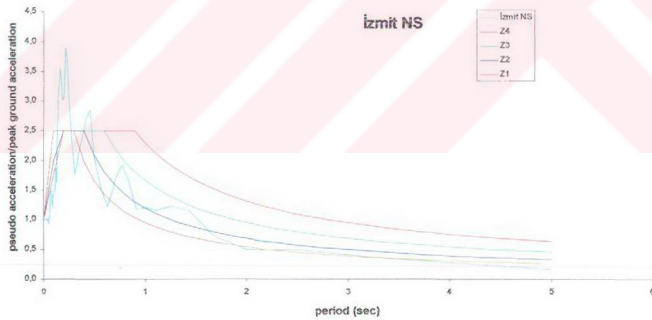
“20 Katlı Çerçevenin Mod Şekilleri”

EK-2

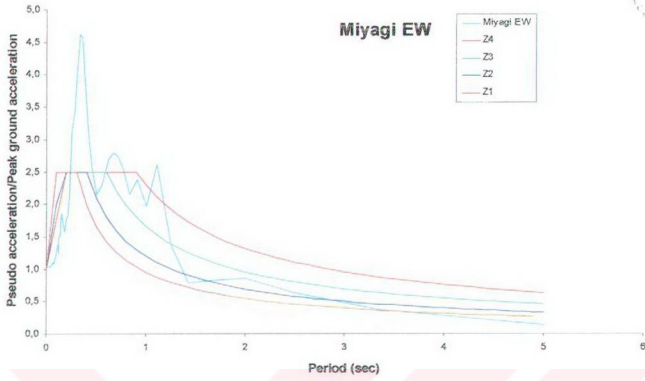
Normalleştirilmiş Mukabele
Spektrumları



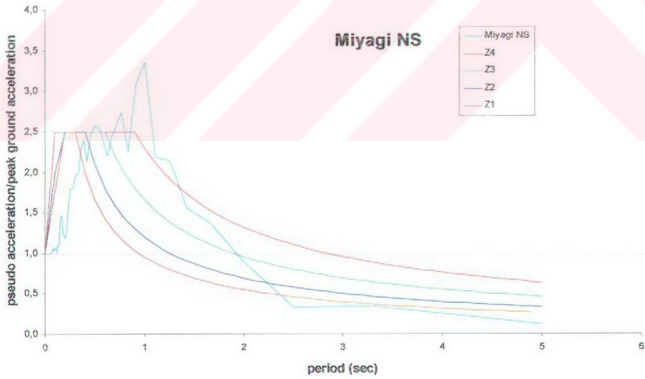
El-Centro Depremi; 0.1g,0.2g,0.3g,0.4g,0.5g,0.6g,0.7g,0.8g için
Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları



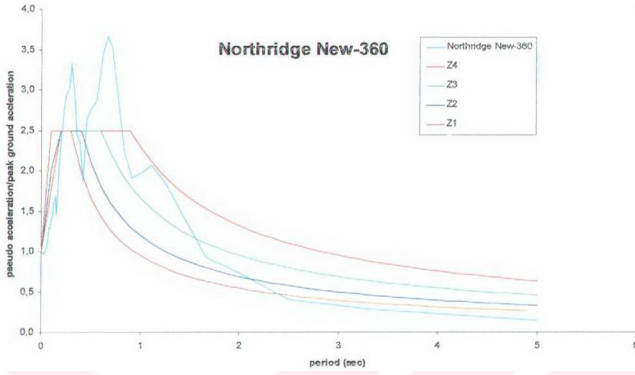
İzmit NS Depremi; 0.1g,0.2g,0.3g,0.4g,0.5g,0.6g,0.7g,0.8g için
Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları



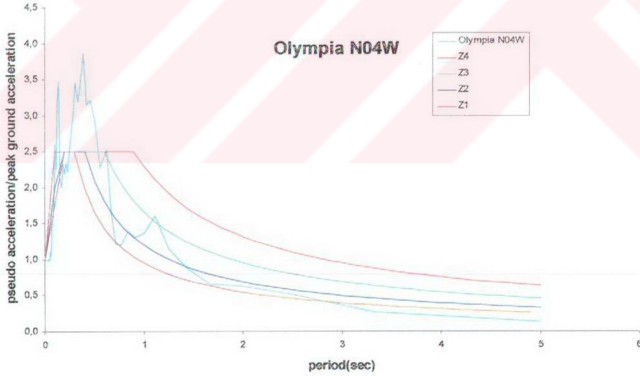
Miyagi EW Depremi; 0.1g,0.2g,0.3g,0.4g,0.5g,0.6g,0.7g,0.8g için
Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları



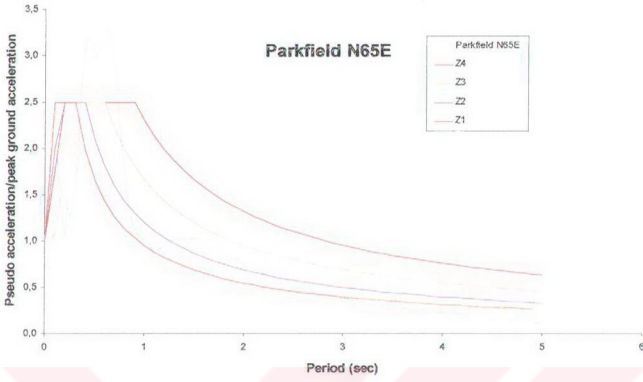
Miyagi NS Depremi; 0.1g,0.2g,0.3g,0.4g,0.5g,0.6g,0.7g,0.8g için
Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları



Northridge New-360 Depremi; 0.1g,0.2g,0.3g,0.4g,0.5g,0.6g,0.7g,0.8g için
Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları



Olympia N04 Depremi; 0.1g,0.2g,0.3g,0.4g,0.5g,0.6g,0.7g,0.8g için
Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları



Parkfield N65 Depremi: 0.1g,0.2g,0.3g,0.4g,0.5g,0.6g,0.7g,0.8g için
Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları

ÖZGEÇMİŞ



1976 yılında Bolu'da doğdu. İlkokulu Sakarya İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra, orta ve lise eğitimini İzmir Bornova Anadolu Lisesi'nde yaptı. 1994 senesinde İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 1998 yılında mezun olduktan sonra 3 yıl süre ile özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştı. 2002 yılında özel sektörden ayrılarak, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 2002 yılından itibaren aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

