

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ZAYIFLATILMIŞ KİRİŞ ENKESİTLİ
ÇELİK ÇERÇEVELERİN
SİSMİK PERFORMANSLARI

Abdullah SOYLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI

GEBZE

2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ZAYIFLATILMIŞ KİRİŞ ENKESİTLİ
ÇELİK ÇERÇEVELERİN
SİSMİK PERFORMANSLARI

Abdullah SOYLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEPREM VE YAPI

DANIŞMANI

Doç.Dr.Bülent AKBAŞ

GEBZE

2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından
..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan
.....'ın tez çalışması Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

**TEZİN BAŞLIĞI : ZAYIFLATILMIŞ KİRİŞ ENKESİTLİ ÇELİK
ÇERÇEVELERİN SİSMİK PERFORMANSLARI
YAZAR ADI : ABDULLAH SOYLU**

Bu çalışmanın amacı, Zayıflatılmış Kiriş Enkesitli Çelik Çerçevelerin deprem performanslarını incelemektir. Bu amaçla, ilk olarak Amerikan Deprem Yönetmeliği'ne (ASCE 7-05, 2005) uygun olarak tasarlanan iki adet, 4- ve 9- katlı moment çerçeve üzerinde, doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri ve statik öteleme analizleri yapılarak bu çerçevelerin sismik performansları incelenmiştir. Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri için 4 adet şiddetli deprem kaydı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve çizelge haline getirilerek sunulmuştur.

SUMMARY

**THESIS TITLE : SEISMIC PERFORMANCE OF REDUCED BEAM
SECTION (RBS) FRAMES**

AUTHOR : ABDULLAH SOYLU

The aim of this study is to investigate the seismic performance of steel moment resisting frames with reduced beam sections (RBS). For this purpose, nonlinear dynamic time history and pushover analyses are carried out on two steel moment frames with 4- and 9- stories designed in complying with ASCE 7-05 (2005) and Turkish Earthquake Code specifications. Four earthquake records are used in nonlinear dynamic time history analyses. Results obtained from the analyses are presented in tables and graphs.

TEŞEKKÜR

İlk olarak, danışmanım ve yüksek lisans hocam olan Doç.Dr.Bülent AKBAŞ’a tez süresince göstermiş olduğu büyük ilgi ve alakasından, yapmış olduğu bilimsel katkıdan dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans hocalarım Prof.Dr.Bilge SİYAHİ’ye ve Yrd.Doç.Dr.Yasin FAHJAN’a göstermiş oldukları ilgiden dolayı teşekkür ederim. Son olarak, yetişmemde büyük emeği olan anne ve babama, yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden, tez süresince desteğini esirgemeyen eşim Hatice’ye ve bu sürede ilgilenemediğim çocuklarım Zeynep ve Ömer Asaf’a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. Amaç ve Kapsam	1
1.3. Tezin Organizasyonu	2
2. ÇELİK MOMENT ÇERÇEVELERDE ZKEKB	3
2.1. Northridge Depremi ve Sonuçları	3
2.2. Moment Çerçevesi (MÇ)	6
2.3. ZKE Kavramı	7
2.4. Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY, 2007) ZKEKB	17
2.4.1. 4A.2.6. Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Birleşim Detayı	17
3. ANSI/AISC 358 – SİSMİK UYGULAMALAR İÇİN SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK VE NORMAL ÇELİK ÇERÇEVELERDE ONAYLANMIŞ BİRLEŞİMLER	19
3.1. Genel	19
3.2. Sistem	19
3.3. Ön Şartlar	19
3.3.1. Kiriş Sınırları	20
3.3.2. Kolon Şartları	21
3.3.3. Kiriş-Kolon İlişkisine Dair Sınırlar	21
3.3.4. Kiriş Başlığından Kolon Başlığı Birleşimindeki Kaynak Şartları	22
3.4. Tasarım Adımları (ANSI/AISC 358-05)	22

4. ANALİTİK ÇALIŞMA	26
4.1. Yapısal Model	29
4.2. Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Geçmişi ve Doğrusal Olmayan Statik Öteleme (Pushover) Analizleri	30
5. ANALİZ SONUÇLARI	33
5.1. 4- Katlı Çerçeve	33
a) Modal Analiz	33
b) Plastik Mafsal Dönmeleri	40
5.2. 9- Katlı Çerçeve	45
a) Modal Analiz	45
b) Plastik Mafsal Dönmeleri	56
5.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	66
a) 4- Katlı Çerçeve	66
b) 9- Katlı Çerçeve	67
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Kolon yüzünden zayıflatılmış kesitin başlangıcı arasındaki mesafe
b	: Zayıflatılmış kesitin uzunluğu
b_f	: Kiriş başlık genişliği
c	: Zayıflatılmış kiriş kesitinin merkezindeki derinlik
f_l	: Yönetmelikte belirtilen yük katsayısı
M_{pr}	: ZKE' nin merkezinde oluşabilecek maksimum moment
M_f	: Kolon yüzeyindeki muhtemel maksimum moment
M_{pe}	: Beklenen akma gerilmesine göre plastic moment
L'	: ZKE merkezleri arasındaki mesafe
t_f	: Kiriş başlık kalınlığı
V_u	: Kiriş için gerekli kesme kuvveti
$V_{düşey}$	: $1.2D + f_l L + 0.2S$ 'den kirişte oluşan kesme kuvveti
Z_b	: Tam kiriş kesitinin plastik mukavemet momenti
V_{ZKE}	: ZKE' lerin merkezindeki iki kesme kuvvetinden büyük olanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
2.1. Kolon-Kiriş birleşiminde kırılmalar	4
2.2. Kolon gövdesinde kırılmalar	4
2.3. Kolon-kiriş birleşiminde küt kaynakta kırılma	4
2.4. Northridge depremi öncesi moment birleşim detayı	5
2.5. Moment çerçevenin yatay yükler altındaki davranışı	6
2.6. Moment çerçevede muhtemel plastik mafsallık yerleri	7
2.7. ZKEKB modeli	8
2.8. ZKEKB şekilleri	9
2.9. Plumier tarafından geliştirilen ilk ZKEKB konsepti	9
2.10. Test düzeneği	10
2.11. ZKE 1 ve ZKE 2 test numuneleri için moment-dönme grafiği	12
2.12. ZKE profil detayı	14
2.13. Taban kesme kuvveti katsayısı ve toplam görelî kat ötelemesi oranı; a) üç-katlı çerçeve, b) 10 katlı çerçeve	15
2.14. Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim detayı	17
3.1. Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Moment Birleşimi	19
3.2. Kolon yüzü ve ZKE merkezi arasındaki serbest cisim diyagramı	24
4.1. 4- katlı bina planı ve A-A aksı kesiti	27
4.2. 9- katlı bina planı ve A-A aksı kesiti	28
4.3. Deprem hareketlerinin mukabele spektrumları ve TDY Deprem Spektrumu	32
5.1. 4- katlı çerçevenin mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları	33
5.2. 4- katlı çerçevenin Statik İtme Analizi (pushover) sonucu ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan analiz sonucundaki yer eğiştirme ve taban kesme kuvvetleri	34
5.3. Deformasyon şekillerinde kullanılan simgelerin lejantı	34
5.4. 4-katlı çerçevenin El Centro depremi etkisindeki deformasyon şekli	36
5.5. 4-katlı çerçevenin Northridge depremi etkisindeki deformasyon şekli	37

5.6. 4-katlı çerçevenin Düzce depremi etkisindeki deformasyon şekli	38
5.7. 4-katlı çerçevenin Kocaeli depremi etkisindeki deformasyon şekli	39
5.8. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 1.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	41
5.9. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 2.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	42
5.10. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 3.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	43
5.11. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 3.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	44
5.12. 9-katlı çerçevenin mod şekilleri ve titreşim periyotları	45
5.13. 9-katlı çerçevenin doğrusal olmayan statik öteleme analizi (pushover) sonucu ve doğrusal olmayan zaman geçmişi analiz sonucundaki yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri	46
5.14. Deformasyon şekillerinde kullanılan simgelerin lejantı	46
5.15. 9-katlı çerçevenin Düzce depremi etkisindeki deformasyon şekli	49
5.16. 9-katlı çerçevenin Kocaeli depremi etkisindeki deformasyon şekli	51
5.17. 9-katlı çerçevenin El Centro depremi etkisindeki deformasyon şekli	53
5.18. 9-katlı çerçevenin Northridge depremi etkisindeki deformasyon şekli	55
5.19. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 1.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	57
5.20. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 2.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	58
5.21. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 3.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	59
5.22. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 4.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	60
5.23. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 5.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	61
5.24. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 6.katta oluşan maksimum plastik mafsalsal dönmeleri	62
5.25. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 7.katta oluşan	63

maksimum plastik mafsal dönmeleri	
5.26.Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 8.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri	64
5.27.Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 9.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri.	65

TABLOLAR DİZİNİ

<u>TABLO</u>	<u>SAYFA</u>
2.1. Northridge Deprem Kaydı – Yer ivmeleri	3
2.2. Deney numuneleri ZKEKB değerleri	10
2.3. 4A.6 (TDY, 2007) – Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı kiriş-kolon birleşim detayının uygulama sınırları	18
4.1. 4- Katlı Çerçevenin Elemanları	29
4.2. 9- Katlı Çerçevenin Elemanları	29
4.3. Bütün çerçevelerdeki kirişler için ZKEKB tasarım kriterleri	31
4.4. Deprem hareketlerinin karakteristik özellikleri	32
5.1. 4- Katlı MÇ ve ZKE’li çerçevenin Göreli kat ötelemesi oranları	35
5.2. 9- Katlı Moment çerçeve ve ZKE’li çerçevenin Göreli kat ötelemesi oranları	47

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

17 Ocak 1994’de meydana gelen Northridge depremi, çelik moment çerçevelerde geniş çaplı hasara yol açmıştır. Oluşan bu hasarlar kaynaklama, birleşim tasarımı ve malzeme kalitesinden kaynaklanmıştır. Deprem öncesinde moment çerçevelerde uygulanan başlığa kaynaklı-gövdeye bulonlu birleşimlerde ciddi hasarlar tespit edilmiştir. Bir çok birleşim çok az veya hiç süneklik göstermeden gevrek kırılmayla göçmüştür. Kirişler elastik davranış bölgesinde kalmış ve birleşimler çok zayıf performans göstermiştir (Federal Emergency Management Agency, FEMA-267A, 1997). Bunun neticesinde başlığa kaynaklı-gövdeye bulonlu birleşimler yönetmeliklerden çıkartılmış ve deprem anında daha iyi davranış gösterecek birleşimler elde etmek için yoğun araştırma ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu birleşimlerden biri de çok büyük sünek davranış sergileyen ve en çok kullanılan moment birleşimlerden biri olan, aynı zamanda Türk Deprem Yönetmeliği’nde (2007) yer alan Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Birleşimidir (ZKEKB).

Zayıflatılmış kesitli kirişler, kiriş başlığının bir kısmının, plastik mafsallık birleşimden bir miktar uzakta oluşmasını sağlamak için kesilmesiyle elde edilirler. Böylece, kiriş uçlarında oluşacak süneklik talebinin kiriş-kolon birleşimi yerine zayıflatılmış kesitte oluşması amaçlanmaktadır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, ZKEKB’lerin şiddetli depremler altındaki performansları incelenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak Amerikan Deprem Yönetmeliği’ne (ASCE-7-05, 2005) uygun olarak tasarlanan iki adet, 4- ve 9- katlı moment çerçeve üzerinde doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri yapılmış ve sismik performansları incelenmiştir. Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri için 4 adet şiddetli deprem kaydı kullanılmıştır.

1.3. Tezin Organizasyonu

Bu çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

- a.* İlk olarak zayıflatılmış kesitli kirişlerin tasarımı ile ilgili bilgi verilmiştir.
- b.* Daha sonra ZKEKB' lerin tasarımı konusu anlatılmış ve ZKEKB' li moment çerçeveler üzerinde yapılan deneysel ve analitik çalışmalar özetlenmiştir.
- c.* ZKEKB' lerin deprem sırasındaki davranışını incelemek için iki adet 4- ve 9- katlı moment çerçeveler üzerinde doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri yapılmıştır.
- d.* Son olarak yapılan analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

2. ÇELİK MOMENT ÇERÇEVELERDE ZKEKB

2.1. Northridge Depremi ve Sonuçları

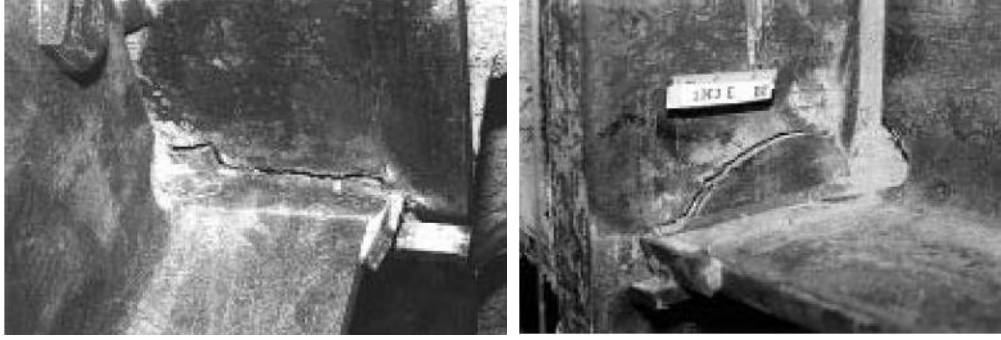
Northridge depremi; 17 Ocak 1994 tarihinde, merkez üstü Northridge olup San Fernando Vadisi (Los Angeles bölgesi) 'nde meydana gelmiştir. 6.8 büyüklüğünde olan depremde can kaybı 58 kişidir. Tahmini hasar ise 20 milyar dolardır (B. Akbaş; Ders notları 2009). Farklı istasyonlardan alınan yer ivmeleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Northridge Deprem Kaydı – Yer ivmeleri (B. Akbaş; Ders notları 2009).

Sylmar	0.91 g H	0.60 g V
Sherman Oaks	0.46 g H	0.18 g V
Granada Hills	0.62 g H	0.40 g V
Santa Monica	0.93 g H	0.25 g V
North Hollywood	0.33 g H	0.15 g V

Deprem sonrası hiçbir çelik moment çerçeve binasında göçme olmamıştır. Ancak çok sayıda çelik moment çerçeve binasında birleşim hasarı gözlenmiştir. Genel olarak bu hasarlar şöyle sıralanabilir;

- Küt kaynakta kırılma
- Kolon başlığının içinde “divot” kırılması (bir parçanın kopup atması)
- Kolon başlığı ve gövdesi boyunca kırılma



a. Kolon alt başlığında kırılma

b. Kolon başlığında “divot” kırılma

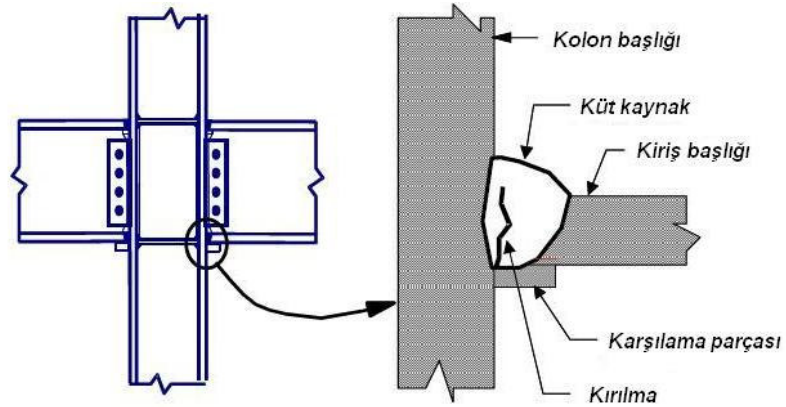
Şekil 2.1 Kolon-kiriş birleşiminde kırılmalar (FEMA-355C, 2000)



a. Kolon başlığında kırılma

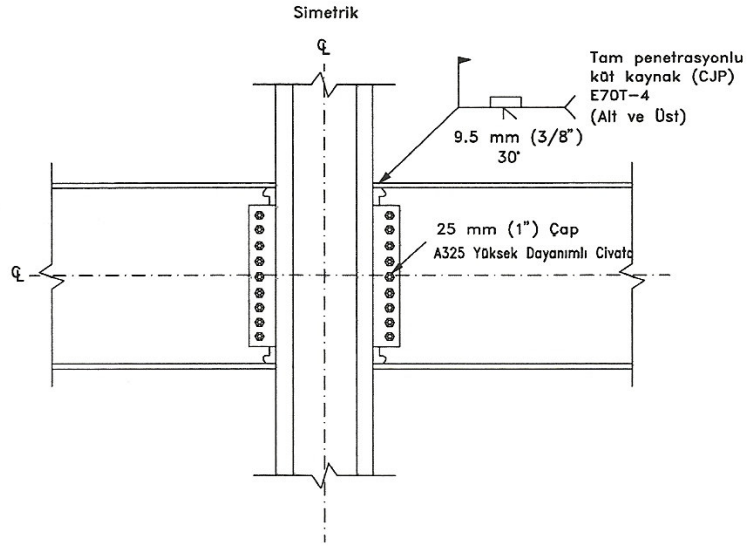
b. Kolon gövdesinde kırılma

Şekil 2.2 Kolon gövdesinde kırılmalar (FEMA-355C, 2000)



Şekil 2.3 Kolon-kiriş birleşiminde yaygın olarak gözlemlenen küt kaynakta kırılma(FEMA-355C, 2000)

Northridge depremi sonrasında çelik çerçeve sistemlerde sık kullanılan başlığa kaynaklı-gövdeye bulonlu moment birleşimlerin ısıdan etkilenen bölgelerinde ve yakınlarında (HAZ- Heat Affect Zone) beklenmeyen gevrek kırılmalar görülmüştür. (FEMA-267A, 1997). Deprem sonrası yapılan araştırmalar bu kırılmalara ve göçmelere yol açan bir çok faktörün olduğunu ortaya çıkardı. Bu faktörlerden en kritik olarak görülen ikisi; kaynaklı başlıklarda yüksek gerilme konsantrasyonu ve birleşimin yüksek süneklik talebini karşılayamamasıydı. (B.AKBAŞ, Ders notları 2009)



Şekil 2.4 Northridge depremi öncesi moment birleşim detayı (By Chia-Ming Uang ve ark. 2000)

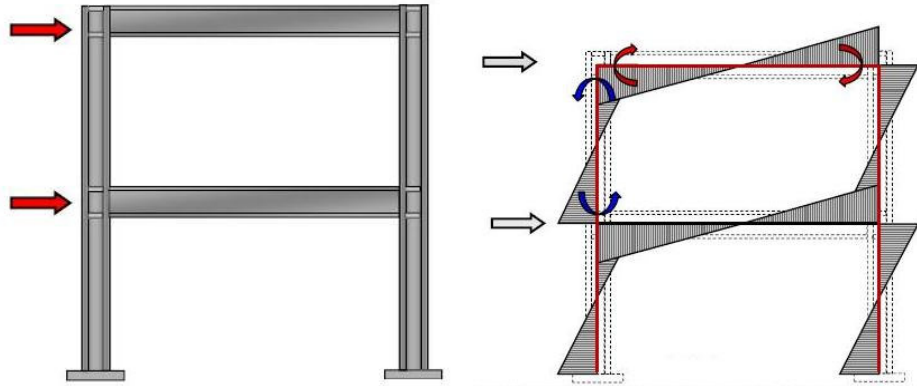
Birleşim bölgelerindeki yüksek süneklik talebini azaltarak gerilme konsantrasyonu seviyesini düşürmek, birleşim bölgelerindeki hasarı aza indirmenin bir yoludur. Northridge depreminden sonra yeni inşaatlarda ve çelik çerçevelerin sismik iyileştirmelerinde kullanılmak üzere birçok değişiklik önerilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır;

1. Geleneksel onarımlar (conventional repairs),
2. Kaynak üstüne kaynak yapmak (weld overlays),
3. Yivli kiriş-kolon birleşimi (slotted beam-to-column connection),
4. Bulonlu onarım (bolted repair),

5. Kaplama levhası ve destekli yöntemler (methods using cover plates, bolsters, fins),
6. Zayıflatılmış kiriş enkesiti (reduced beam section),
7. Yan levha birleşimi (sideplate connection).

2.2. Moment Çerçeveler (MÇ)

Rijit (moment) birleşimli kirişler ve kolonlardan oluşan moment çerçeveler, kirişler ve kolonlardaki eğilme ve kesmeyle yatay kuvvetlere karşı koyarlar.



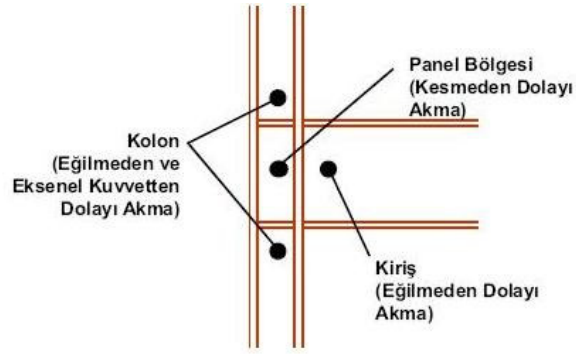
Şekil 2.5 Moment çerçevenin yatay yükler altındaki davranışı (Engelhardt.M.D. Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures, Teaching Aids, AISC 2003)

Moment çerçevelerde maksimum moment eleman uçlarında oluştuğu için, eğilmeden dolayı meydana gelecek akmalar muhtemelen kiriş ve kolonların uçlarında oluşur.

Moment çerçeveler düşük elastik rijitliğe sahip olmalarına karşın, yüksek süneklik ve mimari açıdan geniş alanlar sağlarlar.

Moment çerçevelerde süneklik aşağıdaki gibi sağlanır;

- Kirişlerin eğilmeden dolayı akması
- Kolon panel bölgelerinin kesmeden dolayı akması
- Kolonların eğilmeden dolayı akması (B.AKBAŞ, Ders Notları, 2009)



Şekil 2.6 Moment çerçevede muhtemel plastik mafsalları yerleri

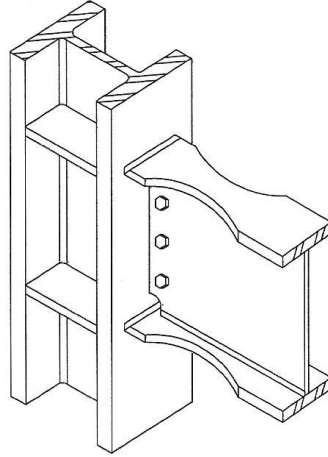
Plastik mafsallar çerçevelerde kiriş-kolon bölgelerinde oluşur; kiriş uçları, kolon uçları veya panel bölgelerinde. Plastik mafsalları nerede oluşursa oluşsun kiriş-kolon birleşimlerinde çok büyük kuvvet ve deformasyon istemleri oluşabilir.

Kiriş, kolon ve panel bölgesinin relatif mukavemetlerini kontrol ederek plastik mafsalların yerini kontrol etmek mümkündür. Plastik mafsalları en zayıf elemanda oluşacaktır. Birçok durumda, akma birden fazla noktada oluşabilir.

2.3. Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti (ZKE) Kavramı

Northridge depreminden önce moment çerçevelerdeki genel birleşim uygulaması, başlığa kaynaklı, gövdeye bulonlu moment birleşimidir (Şekil 2.4). Bu birleşimde kesme kuvvetini kirişin gövdesinden bulonlarla kolona aktardığı, momentin ise kiriş başlıklarından kaynaklanarak aktarıldığı varsayılırdı.

Fakat Lee (1997) ve diğer araştırmacıların yaptığı son çalışmalar bu kabulün, gerçek davranıştan çok uzak olduğunu göstermiştir. (Kevin S.Moore ve ark. 1999)



Şekil 2.7. ZKEKB modeli.

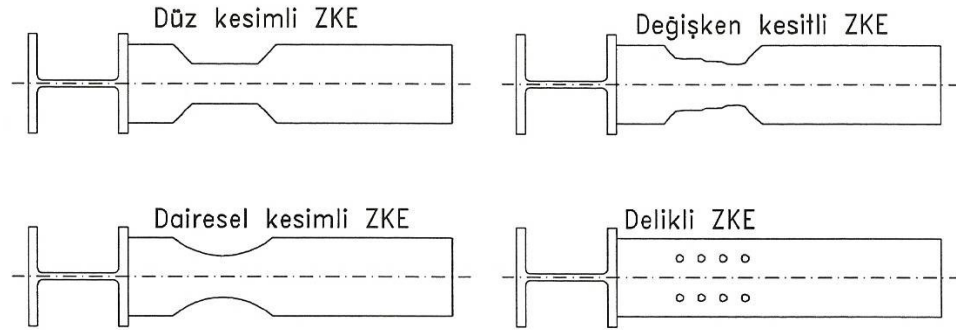
Northridge depreminden sonra MÇ birleşimlerinde bazı problemler gözlemlenmiştir. Birçok birleşimde kirişin kolon yüzüne yakın bölümü güçlendirilerek plastik mafsallın birleşimden uzakta kiriş üzerinde oluşması sağlanmıştır. Fakat bu işlem hem malzeme hem de iş gücü maliyetlerini artırmıştır.

İnelastik deformasyonun kolon yüzünden uzakta oluşması için yeni bir birleşim türü geliştirilmiştir. Adına Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Birleşim (ZKEKB) veya köpek kemiği (Dogbone) denildi. Bu birleşimde, MÇ birleşimine benzer şekilde başlığı ve gövdeyi kaynakla birleştirmekle beraber, kirişin kolon yüzüne yakın bölümünde, kirişin alt ve üst başlığı tıraşlanarak zayıflatılmıştır. Bu sayede azalan enkesit alanından dolayı zayıflayan bu bölgede moment kapasitesinin azaltılması amaçlanmıştır.

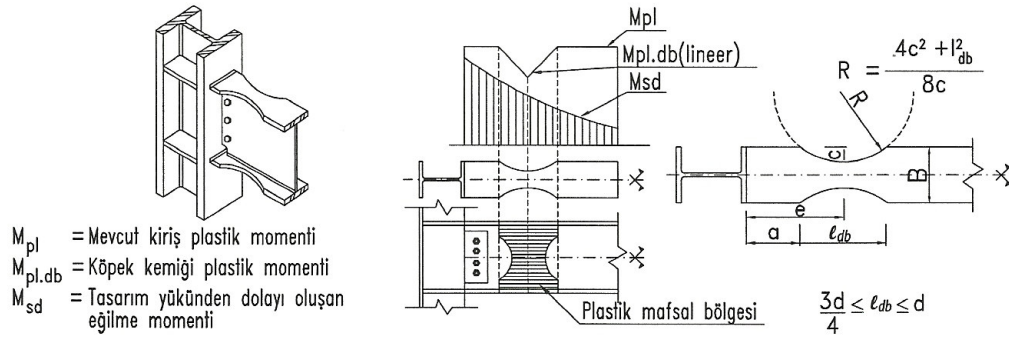
Northridge depremine kadar Luxemburg menşeli çelik üreticisi ARBED, ZKEKB' in patentini elinde bulundurmaktaydı. Ancak deprem sonrası ZKEKB' in tüm telif haklarını serbest bırakarak üzerinde araştırma yapılarak geliştirilmesini sağlamıştır.

ZKEKB' in şekli, boyutu ve konumu birleşimin performansını tamamen etkileyen unsurlardır. Değişik geometrik şekiller test edilerek geçmiş yıllarda denenmiştir. Bunlar, düz kesim (straight cut–Plumier, 1997), değişken kesim (variable- taper cut – Chen ve ark.1996) ve dairesel kesim (radius cut – Engelhardt 1997, Tremblay ve ark.1997, Popov ve ark.1998) Yapılan deneysel çalışmalar

dairesel kesimin en iyi performans sağladığını kanıtlamıştır. (Kevin S.Moore ve ark. 1999)



Şekil 2.8. ZKEKB şekilleri (D.T. Pachoumis ve ark. 2008)



Şekil 2.9. Plumier tarafından geliştirilen ilk ZKEKB konsepti (D.T. Pachoumis ve ark. 2008)

ZKEKB ile akma ve mafsallık oluşması zayıflatılmış kiriş en kesitinde oluşması sağlanırken kolon yüzünde oluşan moment sınırlanmış olur. ZKEKB; MÇ birleşimlerin kırılma ihtimalini azaltarak birleşimlerin ısıdan etkilenen bölgelerinde ve yakınlarında (HAZ- Heat Affected Zone) gevrek kırılmaları sınırlandırmaktadır.

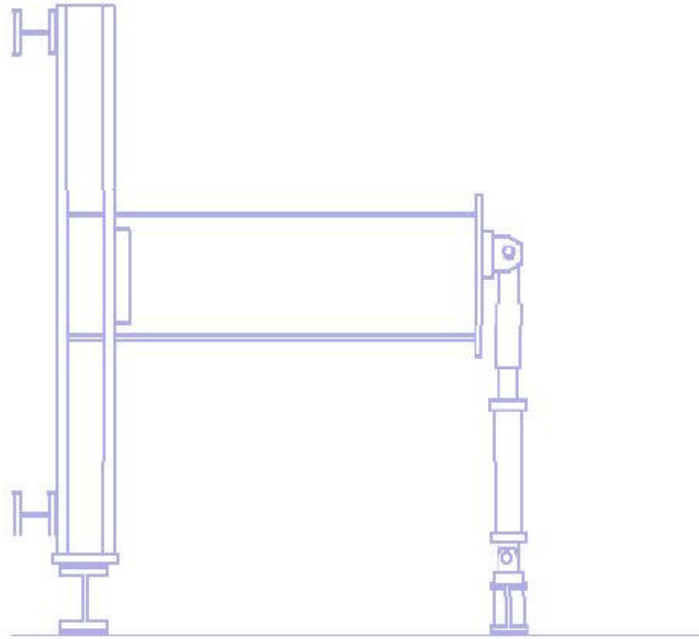
Ayrıca ZKEKB, Northridge depremi öncesi uygulanan ek ve güçlendirme plakaları ile özel kaynak ihtiyacını gidererek maliyet açısından gayet avantajlı olmuştur.

D.T. Pachoumis ve arkadaşları (2008)'nin yaptıkları çalışmada; aynı profillerden teşkil edilen iki ZKEKB'ı laboratuvarda çevrimsel yükleme testine tabi

tutmuştur. İki deney numunesi arasındaki tek fark kiriş başlığında yapılan dairesel kesimin geometrik değerleridir.

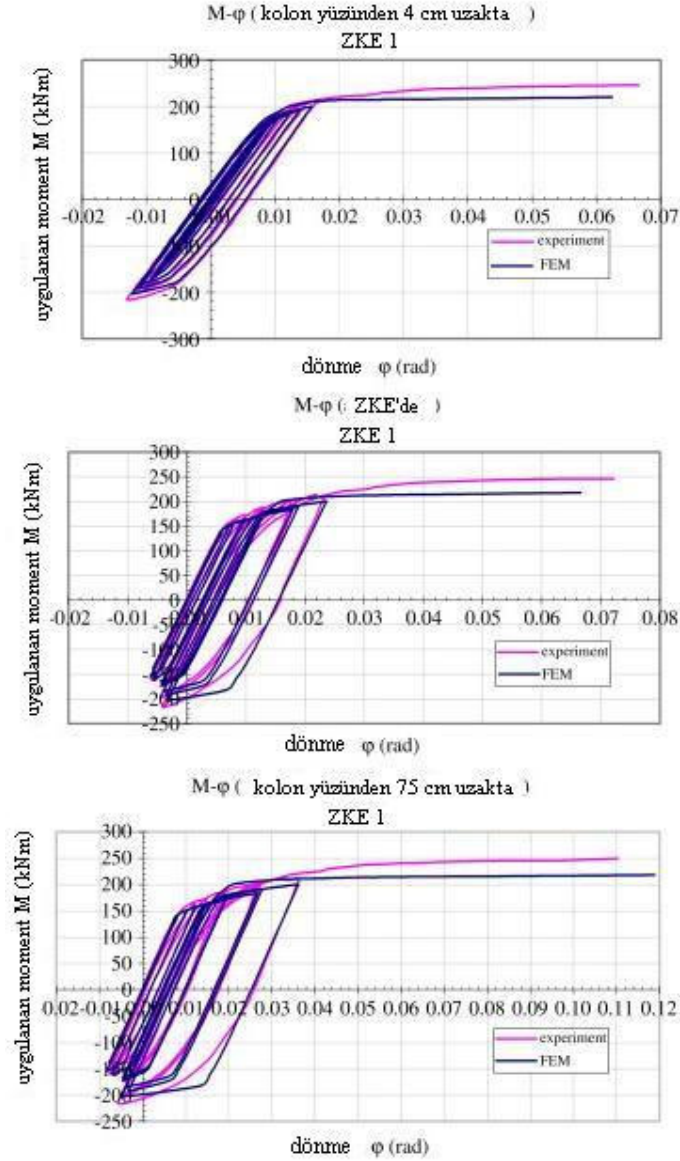
Tablo 2.2. Deney numuneleri ZKEKB değerleri (D.T. Pachoumis ve ark. 2008)

Numuneler	$\underline{b_f}$ (mm)	$\underline{d_b}$ (mm)	$\underline{a}$		$\underline{b}$		$\underline{g}$		$\underline{s}$ (mm)	$\underline{r}$ (mm)
			% $\underline{b_f}$	(mm)	% $\underline{d_b}$	(mm)	% $\underline{b_f}$	(mm)		
RBS1	240	230	65	156	80	184	50	60	248	100.53
RBS2	240	230	65	156	80	184	30	36	248	135.56

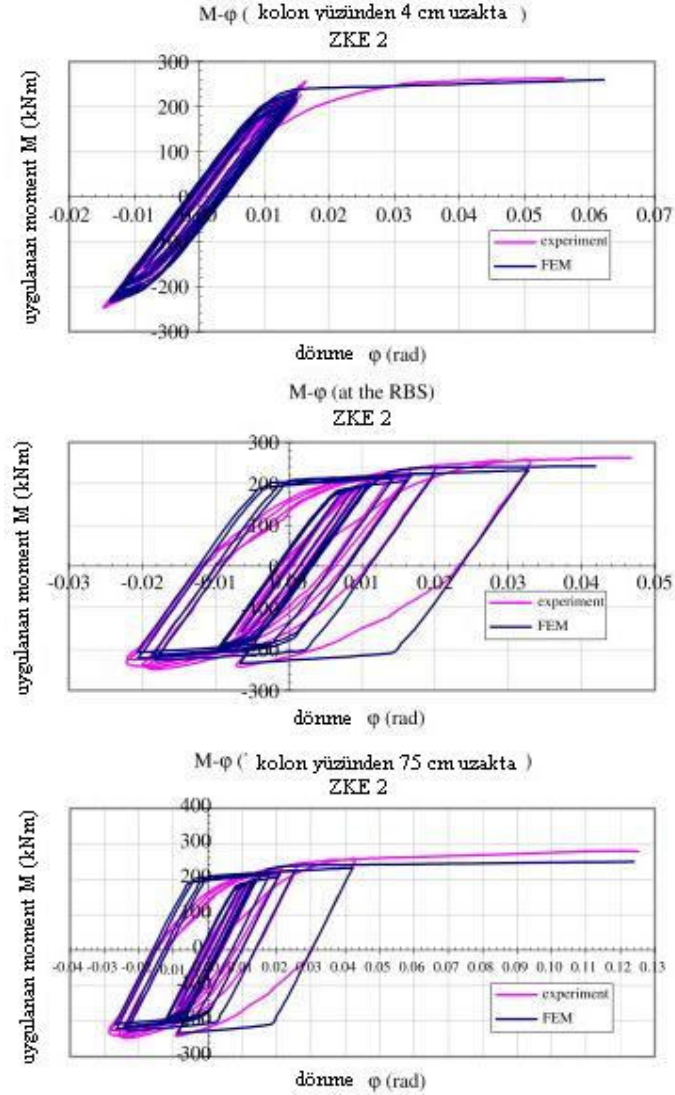


Şekil 2.10. Tipik test düzeneği (B.AKBAŞ, Ders Notları, 2009)

Test sonuçlarında; RBS 1 deney numunesinde plastik mafsallın ZKEKB bölgesinde oluştuğu ve çevrimsel yüklemde yüksek performans sergilediği gözlemlenmiştir. RBS 2 deney numunesinde ise, akmanın ZKEKB bölgesinde oluşması beklenirken, kirişin alt başlığının kolon yüzüne yakın bölgesinde oluştuğu ve çevrimsel yüklemde zayıf performans sergilediği gözlemlenmiştir.



a. Deneysel (experiment) ve Bilgisayar simülasyonu (FEM) moment-dönme grafiği
(ZKE 1 test numunesi)



b. Deneysel (experiment) ve Bilgisayar simülasyonu (FEM) moment-dönme grafiği (ZKE 2 test numunesi)

Şekil 2.11 ZKE 1 ve ZKE 2 test numuneleri için moment-dönme grafiği (D.T. Pachoumis ve ark. 2008)

Sonuç olarak ZKE'in çevrimsel kapasitesinin yüksek olduğu, plastik mafsallın ZKE bölgesinde oluştuğu, kaynaklarda hiçbir hasarın oluşmadığı saptanmıştır. ZKE 1 Deney numunesinde EC8 (European Council) normları uygulanmış olup EC8 Avrupa profiller için güvenle uygulanabileceği tespit edilmiştir. (D.T. Pachoumis ve ark. 2008)

1994 Northridge depremi sırasında başlığa kaynaklı - gövdeye bulonlu moment birleşimlerinde beklenmedik bir şekilde başlık bölgesinde veya yakınlarında kırılma göçmeleri gözlenmiştir. Deprem sonrası yapılan araştırmalarda bu göçmelerin kaynaklı başlıklardaki gerilme birikimi ve bağlantıların yüksek süneklik ihtiyacını karşılayamamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu istenmeyen göçmelerin önlenmesi için pek çok iyileştirme ve güçlendirme teknikleri ileri sürülmüştür. Bunlardan biride zayıflatılmış kiriş bölgesi (ZKE) düzenlemesidir.

J. Shen ve arkadaşları (1999), ZKE' li çelik moment çerçevelerin sismik performanslarını araştırmışlardır. Çalışmanın ana hatları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. LRFD, UBC 94 ve FEMA-267A' ya uygun üç ve on katlı iki yapı tasarlanmıştır. Rijit çerçevelerdeki kolon yüzeyindeki moment talebi (M_F) sırasıyla kirişin orijinal plastik moment kapasitesi M_{pb} 'nin % 80, % 80 -% 90 aralığına ve yaklaşık % 100'üne kadar azaltılmıştır.

2. Sismik analizde şunlar incelenmiştir:

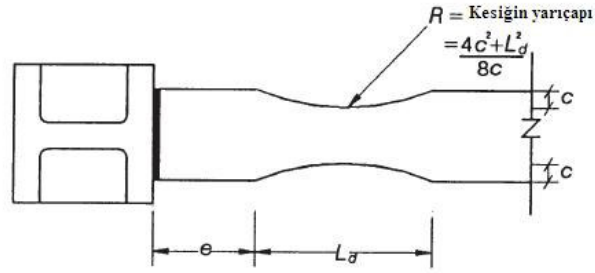
- Test sonuçlarına ve sonlu-elemanlar simulasyonuna göre gerçekçi ZKE' ler düzenlenmesi;
- Panel bölgesi etkisi;
- P-Δ etkisi.

RBS'lerin sismik tasarım ve çelik moment çerçeveler üzerine olan etkisi şu sonuçlar açısından değerlendirilmiştir:

- Rijitlik ve dayanımdaki değişim;
- Deformasyon ihtiyacı;
- Kiriş sonu, ZKE ve kolonlardaki plastik deformasyon dağılımı.

Sismik analizde Northridge (0.6 g) ve El centro (0.3 g) depremleri kullanılmıştır.

FRM-e1, FRM-e2, FRM-e3 isminde üç farklı tip ZKEKB çerçeve ve FRM-Fu isminde ZKE' siz moment çerçeve tasarlanmıştır. (Şekil 2.8).

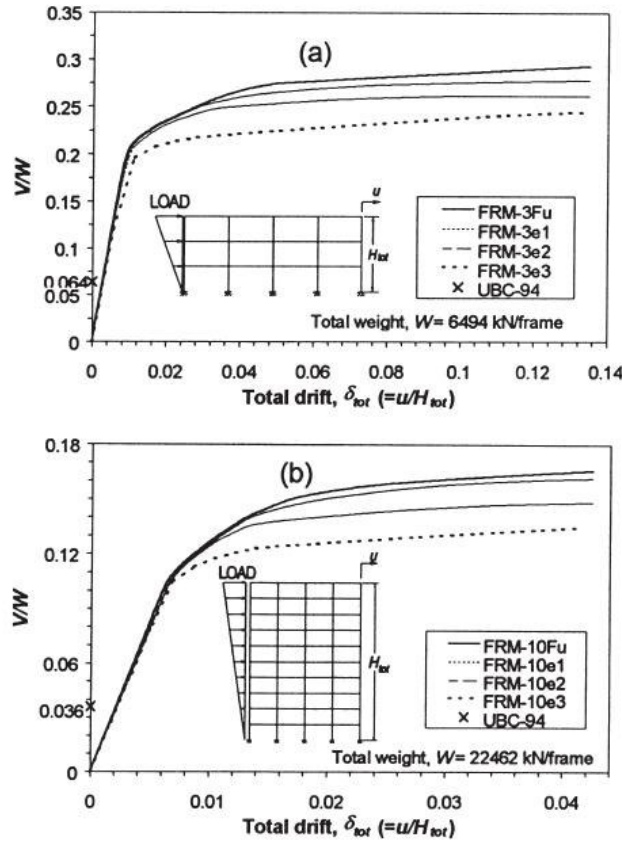


Çerçeve	Kiriş başlığı zayıflatma oranı	e	L_d
e1	40%	$d_b/4$	$3d_b/4$
e2		$3d_b/4$	
e3	60%	$d_b/2$	

d_b = Kiriş derinliği ; e = eksantrisite ; L_d = RBS boyu

Şekil 2.12. ZKE profil detayı. (J. Shen ve ark. 1999)

3 ve 10 katlı çerçevelerin öteleme analizi sonuçları şekil 2.8 de verilmiştir. FRM-3e1, FRM-3e2 ve FRM-3e3 'ün rijitliklerinde FRM-3Fu'ya göre sırasıyla %5 ve %8 lik bir azalma gözlenmiştir. Bütün çerçeveler hemen hemen aynı taban kesme kuvveti değerinde akmış fakat farklı inelastik ve plastik davranış göstermişlerdir. Çerçevelerin %8 toplam görelî kat ötelemesi yaptığı durumda, FRM-3e1, FRM-3e2 ve FRM-3e3 sırasıyla %8, %5 ve %20 dayanım azalması meydana gelmiştir. Bu akma sonrası oluşan farklı dayanım değerleri farklı ZKEKB düzenlemelerinden ve bunların panel bölgesine olan etkisinden kaynaklanmaktadır. 10 katlı çerçevede de benzer sonuçlar gözlenmiştir.



Şekil 2.13. Taban kesme kuvveti katsayısı ve toplam görelî kat ötelemesi oranı; a) üç-katlı çerçeve, b) 10 katlı çerçeve (J. Shen ve ark. 1999).

J. Shen ve arkadaşları (1999)' un çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1- ZKEKB tasarım çalışmalarında, Northridge depremi öncesi özel moment çerçeveler kullanılarak inşa edilmiş yapılarda, başlıkların zayıflatılması ile yeterli dayanımın ve çoğu durumda da rijitliğin (deplasman limitinin) sağlandığı görülmüştür. Başlıkların orta derecede zayıflatılması ile (% 40'a kadar) doğrusal olmayan kat ötelemesi değerlerinde önemli bir artış (% 5'ten daha az) olmamıştır. Ancak başlıkları % 60 zayıflatılarak tasarlanan ZKEKB' lerde, 3 ve 10 katlı yapılardaki %20 dayanım azalması, kat ötelemesi oranların %15-20 artmasına sebep olmuştur.

2- ZKE' lerde iki tasarım parametresi, başlık zayıflatma oranı ve eksantrisite, kolon yüzeyindeki dayanım kapasite oranını değiştirerek M_F/M_{pb} , ZKE verimliliğini belirlemektedir.

3- M_F/M_{pb} oranının 0.9 dan büyük olduğu durumlarda (FRM-3e2 ve FRM-10e2), Nortridge depremi etkisinde (0.6 g PGA Newhall) kolon yüzeyindeki plastik mafsallık dönmesi MÇ (moment çerçeve) de 0.008 radyan iken ZKE' de 0.002 radyana düşmüştür. Kolon yüzündeki bu gerilme azalmasının, kaynaklı kısımların erken göçmesini önlemede yetersiz kaldığı görülmüştür. M_F/M_{pb} oranının 0.8 ile 0.9 arasında kaldığı durumlarda ise kolon yüzündeki plastik dönmelerin ihmal edilebilir olduğu gözlenmiştir. M_F/M_{pb} oranının 0.8 in altında olduğu sıra dışı durumlarda ise plastik deformasyon büyük ölçüde ZKE' lerde oluşmuş, böylece kolon yüzeyindeki stres çok düşük olmuştur.

4- ZKE, kiriş başlığı (yada kolon yüzeyi) ve panel bölgesindeki plastik deformasyonlar, başlık zayıflatma oranı ve ZKE' nin konumu ile yakından ilişkilidir. e1 çerçevesinde (%40 başlık zayıflatma ve $d_b/4$ eksantrisite) yada e3 çerçevesinde (%60 başlık zayıflatma ve $d_b/2$ eksantrisite) plastik deformasyonlar ya çok çok küçük olmuş yada hiç görülmemiş, buna karşın e2 çerçevesinde (%40 başlık zayıflatma ve $3d_b/4$ eksantrisite) önemli ölçüde plastik dönme görülmemiştir. Bu üç elemandaki plastik dönmeler (kiriş başlığı, RBS, panel bölgesi), birbiri ile doğrudan ilişkili olup birindeki değişiklik genellikle diğerini de etkilemektedir. Örneğin, e3 çerçevesi kolon yüzeyinde en az gerilmeye sahipken ZKE' lerde en büyük plastik dönme görülmüştür.

5- Doğrusal olmayan itme analizi (pushover), ZKEKB' lerin deprem hareketi sırasındaki davranışını tahmin etmekte kullanılabilir. Bu yüzden, öteleme analizi ZKE' lerde en uygun plastik deformasyon örneği elde etmede kullanılabilir.

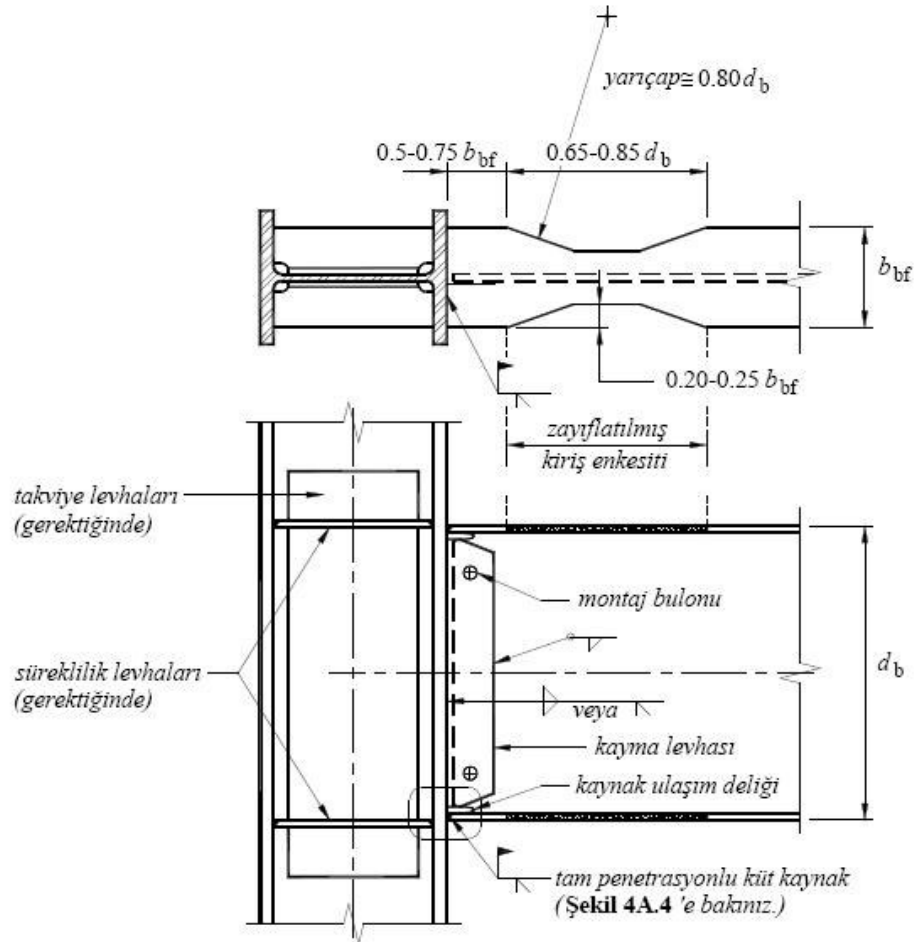
6- ZKE' lerde zayıflatma yapılırken, kolon yüzündeki gerilmeler azaltılmalı ancak ZKE' lerde de büyük plastik deformasyonlardan kaçınılmalıdır. Bu çalışmaya dayanılarak, $3d_b/4$ uzunluğunda dairesel ZKE' li çelik çerçeveler için en dengeli performans a) eksantrisite $d_b/4$ ile $3d_b/4$ arasında ve b) başlık zayıflatma faktörü %40 ile %60 arasında gözlenmiştir.

2.4. Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (TDY, 2007) ZKEKB

2.4.1. 4A.2.6. Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Birleşim Detayı

Zayıflatılmış kiriş enkesiti, kaynaklı birleşim detayı Şekil 2.14'te verilmiştir. Kaynaklı birleşim detayı ile aynı özelliklere sahip olan bu detayda, ayrıca zayıflatılmış kiriş enkesiti kullanılmaktadır. Zayıflatılmış kiriş enkesiti için öngörülen geometrik boyutlar şekil üzerinde gösterilmiştir.

Bu detayın süneklik düzeyi yüksek çerçevelere uygulanabilmesi için, birleşim detayı parametrelerinin Tablo 2.3. 4A.6'da verilen uygulama sınırlarını sağlaması gerekmektedir.



Şekil 4A.6

Şekil 2.14. Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim detayı.

TABLO 2.3. 4A.6 (TDY, 2007) – Zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı kiriş-kolon birleşim detayının uygulama sınırları.

Birleşim Detayı Parametreleri	Uygulama Sınırları
Kiriş ve kolon için izin verilen malzeme sınıfı	Fe 52
Kiriş enkesit yüksekliği	≤ 1000 mm
Kiriş birim boy ağırlığı	≤ 450 kg/m
Kiriş açıklığı / enkesit yüksekliği oranı	≥ 7
Kiriş başlık kalınlığı	≤ 45 mm
Kolon enkesit yüksekliği	≤ 600 mm
Kaynak ulaşım deliği	gerekli
Ek başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak

3. ANSI/AISC 358 –“Sismik Uygulamalar İçin Süneklik Düzeyi Yüksek ve Normal Çelik Çerçevelerde Onaylanmış Birleşimler

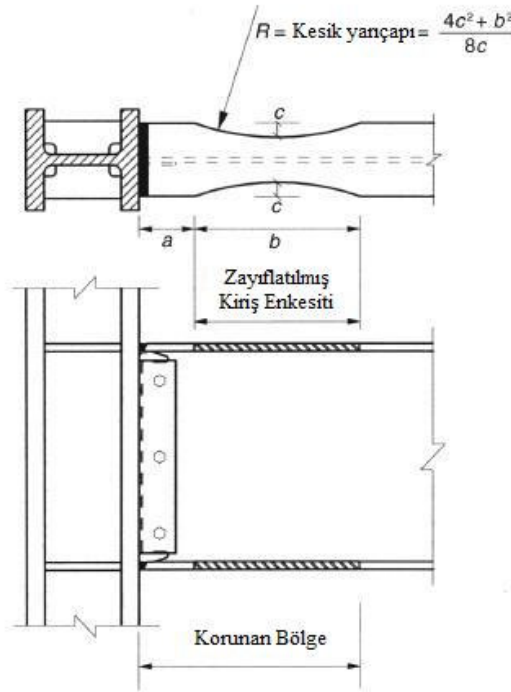
3.1. Genel

Şekil 3.1’ de gösterilen Azaltılmış Kiriş Kesitlerde, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kiriş başlıkları iyi tıraşlanmış olmalıdır.

3.2. Sistem

Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Çerçeveler ve Süneklik Düzeyi Normal Moment Çerçevelerdeki azaltılmış kiriş kesit kullanım ön şartları aşağıda sıralanmıştır.

3.3. Ön Şartlar



Şekil 3.1 Zayıflatılmış Kiriş Enkesiti Kaynaklı Moment Birleşimi (ANSI/AISC-358, 2005)

3.3.1. Kiriş Sınırları

Kirişler aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

- 1- Haddeli kirişler veya I-Kesitli profiller Bölüm 9.3' deki şartları sağlamalıdır.
- 2- Kiriş Boyu haddeli kirişlerde en fazla W36 (W920) olmalıdır. Yapma kesitli kirişlerin boyu da haddeli kirişlerde verilen şartı aşmamalıdır.
- 3- Kiriş ağırlığı en fazla 447kg/m (300lbs/ft) olmalıdır.
- 4- Kiriş başlığı en fazla 44,5 mm (1 1/3 in) olmalıdır.
- 5- Kirişlerdeki net en-boy oran şartları da aşağıda sıralanmıştır.
 - a- SMF Sistemlerde, 7 veya daha fazla
 - b- IMF Sistemlerde, 5 veya daha fazla
- 6- Başlık ve Kiriş gövdesindeki genişlik- kalınlık oranı (AISC 341-05) yönetmeliği şartlarını sağlamalıdır.
- 7- Yanal Destek Kirişleri için şartlar:
 - a- SMF Sistemler için, AISC Deprem Yönetmeliği Bölüm 9.8'e uyumlu olmalıdır. İlave yatay gergiler AISC Deprem Yönetmeliği Bölüm 9.8'de plastik mafsallaşma için istenen şartlar ile uyumlu olmalıdır. Montaj için AISC Deprem Yönetmeliği Bölüm 9.8'deki kurallar aranmaz.

Kirişteki ilave yatay gergilerin yerleri, kolon yüzeyi ile Azaltılmış Kiriş Kesitindeki diğer yüzeyi arasındaki mesafe $d/2$ 'den büyük olamaz.
 - b- IMF Sistemlerde, AISC Deprem Yönetmeliği Bölüm 10.8'deki şartlar sağlanmalıdır.

3.3.2. Kolon Şartları

Kolonların sağlaması gereken şartlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Kolonlar Bölüm 2.2' de (AISC 341-05, 2005) tarif edildiği şekliyle haddelenir veya imal edilir.
- 2- Kiriş kolon başlığına monte edilmelidir.
- 3- Haddelenerek yapılan kolonların boyu en fazla W36(W920) olabilir. İmal edilen kolonların başlık kalınlığı haddelenerek yapılanlara göre daha küçüktür. Haç şekilli kolonların eni veya boyu haddelenmişlere göre daha büyük olmamalıdır. İmal edilen kutu kesitli kolonların eni veya boyu ortogonal çerçeve sistemler için 24 in (610mm)den büyük olamaz.
- 4- Kolonların ağırlığı için bir sınırlama yoktur.
- 5- Başlık kalınlıkları için ek bir sınırlama yoktur.
- 6- Genişlik-Kalınlık oranı (AISC 341-05, 2005)' de tablo I-8-1 deki şartları sağlamalıdır.
- 7- Kolonlarda Yanal Destek bağlantılar SMF ve IMF Sistemler için (AISC 341-05, 2005)'de Bölüm 9.7 veya 10.7 'deki şartları sağlamalıdır.

3.3.3. Kiriş-Kolon İlişkisine Dair Sınırlar:

Kiriş-Kolon İlişkisine Dair Şartlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Panel Alanları (AISC 341-05, 2005)' de Bölüm 9.3 veya 10.3'deki şartları sağlamaz.
- 2- Kolon-Kiriş oranları için şartlar aşağıda sıralanmıştır:
 - a- SMF Sistemler için, kolon-kiriş moment oranı (AISC 341-05, 2005)' e uyumlu olmalıdır. Toplam M_p değeri M_{pr} ve M_v değerlerinin toplamına eşit olmalıdır. M_{pr} değeri 5.8-5 deki denklemden hesaplanabilir.
 - b- Kolon-Kiriş Birleşimindeki moment oranı (AISC 341-05, 2005)'de Bölüm 10.6'daki şartları IMF sistemleri için sağlamalıdır.

3.3.4. Kiriş Başlığında Kolon Başlığı Birleşimindeki Kaynak Şartları

- 1- Kiriş başlığındaki birleşimindeki kesme gerilmesi Denklem 5.8-9'a göre hesaplanmalıdır.
- 2- Gövde Birleşim Detayları için şartlar aşağıda sıralanmıştır:
 - a- SMF Sistemlerinde kiriş gövdesi kolon başlığına tam penetrasyonlu küt kaynak (CJP) kaynağı kullanılarak tüm başlık boyunca uygulanmalıdır. Tek plakalı kesme birleşimlerinde CJP kaynağına izin verilir. Plaka kalınlığı en az 10 mm (3/8 in) olmalıdır. Kiriş gövdesi için yapılan CJP kanal kaynağı için hesap yapmaya gerek yoktur. Kiriş başlıklarında bulon kullanılmasına montaj amaçlı izin verilmektedir.
 - b- IMF Sistemlerinde de kiriş gövdeleri, kolon başlığında SMF sistemlerindeki gibi montajı yapılabilir.

Uyarı: IMF Sistemlerinde kiriş gövdelerinin kolon başlığına tak parçalı kesme birleşimi ile montajına izin verilir. (AISC 341-05, 2005)' deki bölüm J3.8'e göre her bir bulon kayma gerilmesine göre dizayn edilebilir. Bulon delikleri en az gerilme değeri AISC Şartnamesindeki J3-6a denklemine göre hesap edilen değerden daha büyük olamaz. Tek Parçalı Plakalı Birleşimlerde kesme dayanımının hesabı tüm kesitteki kesme akma ve net kesitteki kesme çatlak dayanımına göre yapılmalıdır. Plaka kolon başlığına CJP kaynağı ile birleştirilmeli ve beraber akma değerine ulaşmalıdır veya plakanın her iki yanına "köşe" kaynağı yapılmalıdır. "Köşe" kaynağının minimum boyutu plaka kalınlığının %75'inden az olamaz. Kiriş gövdesi ve plakadaki standart delik boyutları sağlanmalıdır.

3.4. Tasarım Adımları (ANSI/AISC 358-05)

1. ADIM: Kiriş-Kolon kesitleri ve ZKE boyutları a, b, c (Şekil 5.1) için deneme değerleri limitlere bağlı olarak seçilir (ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-1):

$$0.50 b_f \leq a \leq 0.75 b_f \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-1})$$

$$0.65 d \leq b \leq 0.85 d \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-2})$$

$$0.10 b_f \leq c \leq 0.25 b_f \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-3})$$

b_f = Kiriş başlık genişliği

d = Kiriş yüksekliği

$c \leq 0.25 b_f$ = Kiriş başlık azaltması

a = Kolon yüzünden zayıflatılmış kesitin başlangıcı arasındaki mesafe, mm

b = Zayıflatılmış kesitin uzunluğu, mm

c = Zayıflatılmış kiriş kesitinin merkezindeki derinlik, mm

Kiriş ve kolonların, kirişin zayıflatılmış kesitini içerecek şekilde, yürürlükte bulunan tüm yönetmeliklerde belirtilen tüm yükleme kombinasyonlarına uygun olduğunu ve çerçeve için görelî kat ötelemesi sınırlarının yönetmelikte belirtilen sınırlara uygunluğu kontrol edilir. Elastik görelî kat ötelemesinin hesaplanmasında ZKE' nin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Özel hesaplamaların yerine, efektif elastik görelî kat ötelemeleri, görelî kat ötelemeleri ile 1.1 değeri çarpılarak hesaplanabilir. Lineer interpolasyon daha düşük kiriş genişlik zayıflatma değerleri için kullanılabilir.

2.ADİM: Minimum ZKE kesitinde plastic kesit modülünün hesabı

$$Z_{ZKE} = Z_b - 2ct_f(d - t_f) \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-4})$$

Z_b = Tam kiriş kesitinin plastik mukavement momenti

t_f = Kiriş başlık kalınlığı

3.ADİM: ZKE' nin merkezinde oluşabilecek maksimum moment.

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-5})$$

M_{pr} = ZKE' nin merkezinde oluşabilecek maksimum moment,

4.ADİM: Kiriş uçlarında ZKE' lerinin merkezindeki kesme kuvvetini hesaplayın:

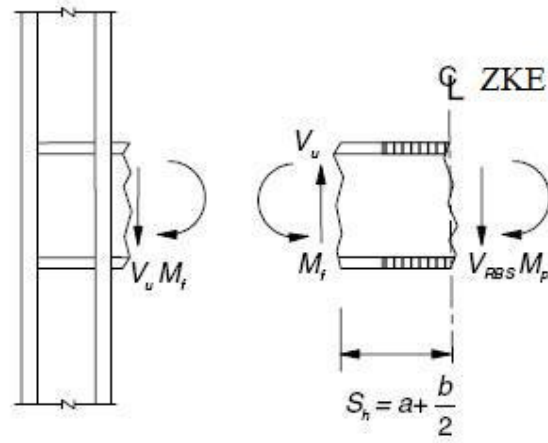
Zayıflatılmış kısmın merkezindeki kesme kuvveti, kirişin ZKE kesimlerinin merkezleri arasında kalan kısmın serbest cisim diyagramı ile belirlenmelidir. Bu hesaplama yapılırken her ZKE merkezindeki momentin M_{pr} olduğunu farz etmeli ve

$1.2D + f_1L + 0.2S$ yükleme kombinasyonuna dayalı kirişin üzerindeki düşey yükünü içermelidir.

f_1 = hareketli yük için yürürlükteki yönetmelikte belirtilen yük katsayısı 0.5 ten az olmamalıdır.

5.ADIM: Kolon yüzünde oluşabilecek maksimum momenti hesaplayın:

Kolon yüzündeki moment; ZKE merkezi ve kolon yüzü arasında kalan kiriş kısmının serbest cisim diyagramından hesaplanmalıdır, (Şekil 5. 2).



Şekil 3.2 Kolon yüzü ve ZKE merkezi arasındaki serbest cisim diyagramı
(ANSI/AISC 358-05)

Bu serbest cisim diyagramına dayanarak, kolonun yüzündeki moment aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_f = M_{pr} + V_{ZKE} S_h \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-6})$$

M_f = kolon yüzeyindeki muhtemel maksimum moment,

V_{ZKE} = Kiriş uçlarında ZKE' lerin merkezindeki iki kesme kuvvetinden büyük olanı,

$$S_h = (a + b/2) \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-6.1})$$

Denklem 5.8-6 kirişin; ZKE' nin merkezi ve kolon yüzü arasındaki kısmı üzerindeki düşey yükü ihmal etmektedir. Eğer istenirse kirişin üzerindeki bu küçük düşey yük, Şekil 5.2 de gösterilen serbest cisim diyagramından hesaplanarak denklem 5.8-6 ya eklenebilir.

6.ADIM: Beklenen akma gerilmesine göre kirişin plastik momentinin hesaplanması

$$M_{pe} = Z_b R_y F_y \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-7})$$

M_{pe} = Beklenen akma gerilmesine göre plastic moment

7.ADIM: M_f / M_{pe} oranının kontrolü

$$M_f / M_{pe} \approx 0.85 - 1.0 \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-8})$$

Eğer 5.8-8 denklemi sağlanmadıysa, c nin değerini yükselt ve/veya a ve b nin değerlerini azalt, ve adım 2'yi 7'ye kadar tekrarla.

8.ADIM: kiriş kesme kuvveti V_u ' nun hesaplanması.

$$V_u = 2 M_{pr} / L' + V_{düşey} \quad (\text{ANSI/AISC 341-05, Denklem 5.8-9})$$

V_u = Kiriş için gerekli kesme kuvveti

L' = ZKE merkezleri arasındaki mesafe

$V_{düşey} = 1.2D + f_1 L + 0.2S$ 'den kirişte oluşan kesme kuvveti

f_1 = hareketli yükler için yönetmelikte belirtilen yük katsayısı, 0.5' ten az olamaz.

Kirişin tasarım kesme mukavemetini (ANSI/AISC 358-05) yönetmeliğinin G Bölümüne göre kontrol et.

9.ADIM: Bölüm 5.6 ya göre Kiriş gövdesi kolon birleşimini tasarla.

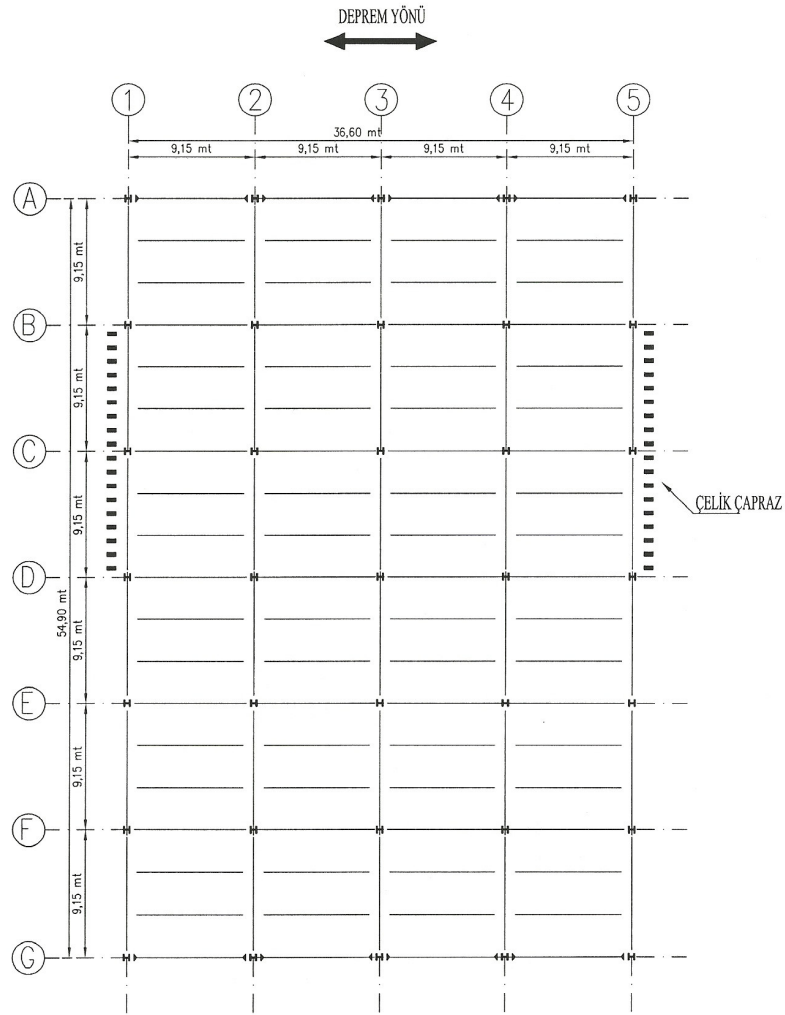
10.ADIM: Süreklilik levhası şartlarını Bölüm 2 (ANSI/AISC 358-05)' ye göre kontrol et

11.ADIM: Kolon plaka bölgesini Bölüm 5.4 (ANSI/AISC 358-05)' e göre kontrol et.

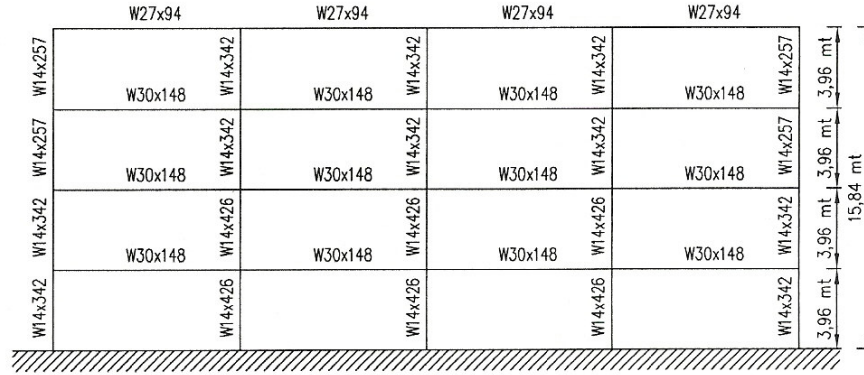
12.ADIM: Kolon- kiriş moment oranını kısım 5.4. (ANSI/AISC 358-05)' e göre kontrol et.

4. ANALİTİK ÇALIŞMA

ZKEKB'lerin deprem performansları, 4- ve 9- katlı iki adet süneklik düzeyi yüksek moment çerçevesinde, doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan 4- ve 9- katlı çerçeveler Shen ve ark. (2009)'dan alınmıştır. Bu çerçeveler 4- ve 9- katlı iki binanın dış çerçeveleri olup ANSI/AISC 341-05'e göre tasarlanmışlardır. Her iki binada da deprem yükleri dış çerçeveler tarafından taşınmakta olup bir yönde süneklik düzeyi yüksek moment çerçeveler, diğer yönde ise süneklik düzeyi yüksek dış merkez çaprazlı çerçeveler tasarlanmıştır. Her iki yöndeki iç çerçeveler ise sadece düşey yük taşıyacak şekilde basit birleşimli olarak tasarlanmıştır. Her iki binanın planı ve kesiti Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 'de verilmiştir.

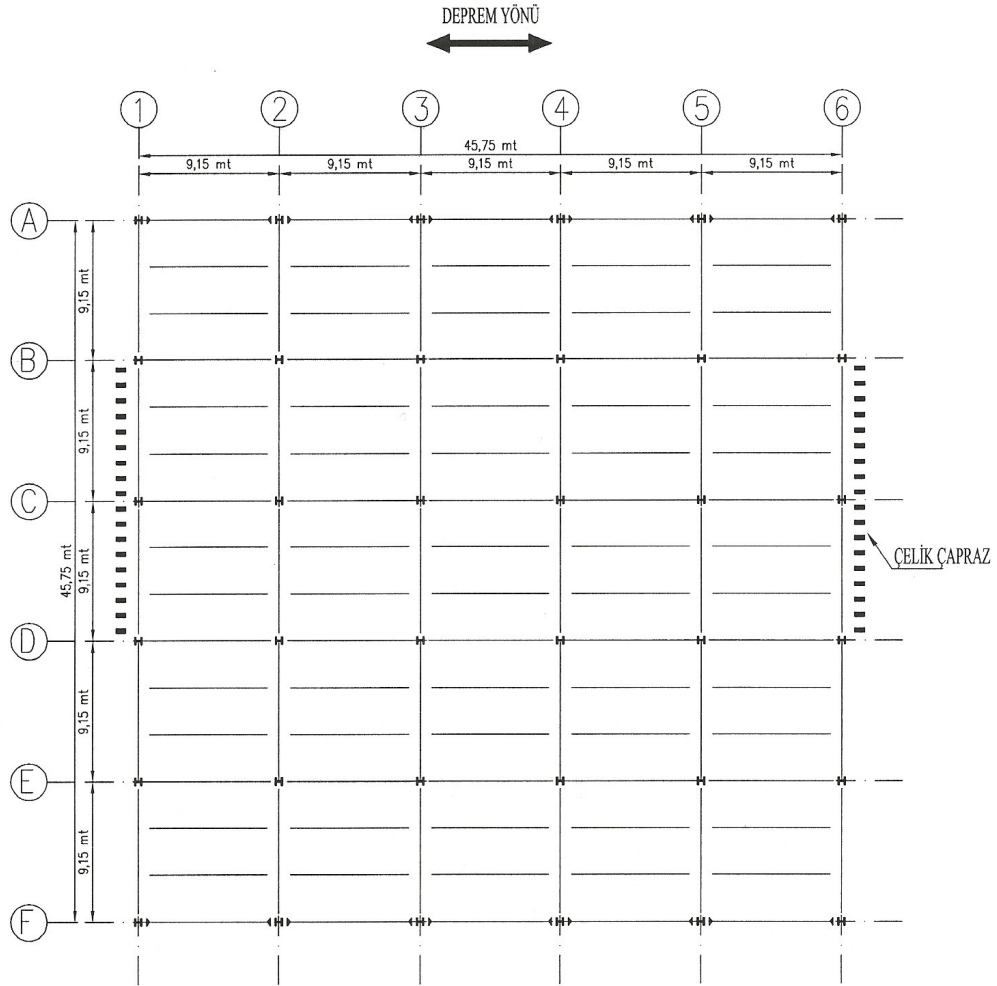


a. 4 katlı bina planı

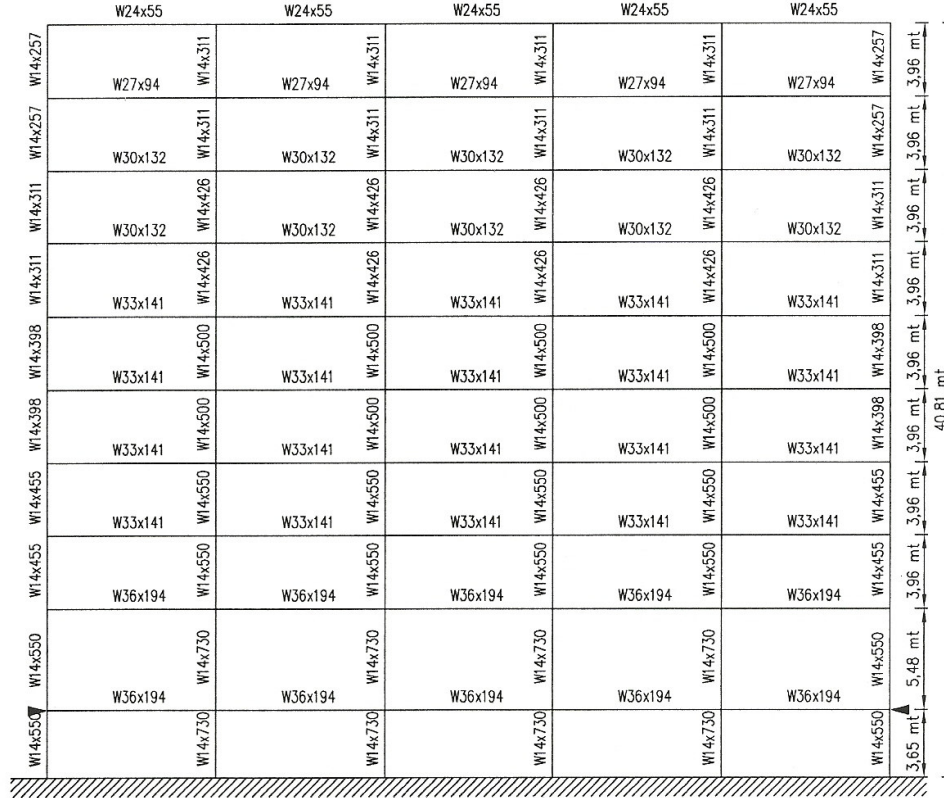


b. A-A aksı kesiti

Şekil 4.1 4- katlı bina planı ve A-A aksı kesiti (Shen ve ark. 2009)



a. 9 katlı bina planı



b. A-A aksı kesiti

Şekil 4.2 9- katlı bina planı ve A-A aksı kesiti (Shen ve ark. 2009)

Ölü yükler normal ve çatı katlarında; sırasıyla 4.60 kN/m^2 ve 3.97 kN/m^2 , hareketli yükler ise sırasıyla 2.39 kN/m^2 ve 0.96 kN/m^2 olarak alınmıştır. Binada tüm deprem yüklerinin moment çerçeveler tarafından karşılandığı, iç çerçevelerin ise sadece düşey yükleri taşıdığı kabul edilmiştir.

Bina planları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 de görüldüğü gibi simetriktir. 4- katlı bina $36.60 \text{ m} \times 54.90 \text{ m}$ boyutlarında olup, kat yüksekliği 3.96 m olmak üzere toplam 15.84 m yüksekliğindedir. 9.15 m arayla deprem yönünde 4, deprem yönüne dik doğrultuda 6 açıklık bulunmaktadır. 9- katlı bina $45.75 \text{ m} \times 45.75 \text{ m}$ boyutlarında olup, 1 bodrum, 9 normal kattan oluşmaktadır. Bodrum kat 3.65 m , zemin kat 5.48 m ve normal katlar 3.96 m olmak üzere toplam 40.81 m yüksekliğindedir. Deprem yönünde ve deprem yönüne dik doğrultuda 9.15 m 'lik 5 aks açıklığı mevcuttur. 4- katlı çerçevede kolonlar zemine ankastre bağlanmış olup, 9- katlı çerçevede kolonlar zemine basit mesnetli bağlanmış, bodrum kat seviyesinde bodrum katını

çevreleyen perdelerden dolayı, bodrum katının yanal ötelenmesinin önleildiği kabul edilmiştir.

4 katlı binayı oluşturan kolon ve kiriş profilleri Tablo 4.1’de, 9 katlı binayı oluşturan kolon ve kiriş profilleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Tüm kolon ve kirişler Fe 52 sınıfı çelik kullanılmıştır.

Tablo 4.1 4- Katlı Çerçevenin Elemanları

Kat	Dış Kolonlar	İç Kolonlar	Kirişler
4	W14x257	W14x342	W27x94
3	W14x257	W14x342	W30x148
2	W14x342	W14x426	W30x148
1	W14x342	W14x426	W30x148

Tablo 4.2 9- Katlı Çerçevenin Elemanları

Kat	Dış Kolonlar	İç Kolonlar	Kirişler
9	W14x257	W14x311	W24x55
8	W14x257	W14x311	W27x94
7	W14x311	W14x426	W30x132
6	W14x311	W14x426	W30x132
5	W14x398	W14x500	W33x141
4	W14x398	W14x500	W33x141
3	W14x455	W14x550	W33x141
2	W14x455	W14x550	W33x141
1	W14x550	W14x730	W36x194
BODRUM	W14x550	W14x730	W36x194

Bu çalışmada, moment birleşimler zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşim olarak tasarlanmış olup, zayıflatılmış kesitin orta noktasına plastik mafsalları tanımlanmıştır.

4.1 Yapısal Model

Yukarıda sayılan bina özelliklerini taşıyan 2 boyutlu moment çerçevelerle analiz yapılırken SAP2000 v14.0.0 Advanced programı kullanılmıştır. Kirişlere

döşemeden gelen yükler düzgün yayılı yük olarak, kolonlara ise kirişlerden gelen yükler noktasal yük olarak etkittirilmiştir. (Shen ve ark. 1999)

P- Δ etkisini göz önüne almak için yalancı kolon tanımlaması yapılmış ve bu kolonlar üzerine yalnızca ölü yük yükleme yapılmıştır. Seçilen kolon ve kiriş profilleri kompakt olup profil başlığında ve gövdesinde oluşabilecek lokal burkulmalar ihmal edilmiştir (Shen ve ark. 1999).

Her bir model için, ZKEKB'li Çerçeve ve ZKEKB'siz Moment Çerçeve (MÇ) olmak üzere ayrı ayrı iki model üzerinde analizler yapılmıştır. Tablo 4.3'de kiriş uçlarındaki zayıflatılmış kesitin geometrik özellikleri ve tasarım değerleri, Bölüm 3'de belirtilen ZKEKB'lerin tasarım ilkelerine uygun olarak hesaplanmıştır. ZKEKB'li çerçevede Tablo 4.3'de hesaplanan değerler SAP2000 programında plastik mafsalları tanımlamasında kullanılmıştır (Shen ve ark. 1999). MÇ'de ise kirişin kolon yüzünden, kiriş yüksekliğinin yarısı kadar uzaklıkta plastik mafsallar tanımlanmıştır.

4.2 Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Geçmişi ve Doğrusal Olmayan Statik Öteleme (Pushover) Analizleri

ZKEKB'lerin sismik tasarımındaki temel prensip, uygulanan deprem kuvveti altında, zayıflatılmış kesitin plastikleşerek önemli miktarda deprem enerjisini yutmasıdır. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizlerinde 4 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Bunlardan ikisi ülkemizde son yıllarda olmuş büyük depremler olup (Kocaeli, 1999; Düzce, 1999), diğer ikisi Northridge (1994) ve El Centro (1946) depremleridir.

Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri için kullanılan 4 adet deprem kaydının karakteristik özellikleri Tablo 4.4'de verilmiştir.

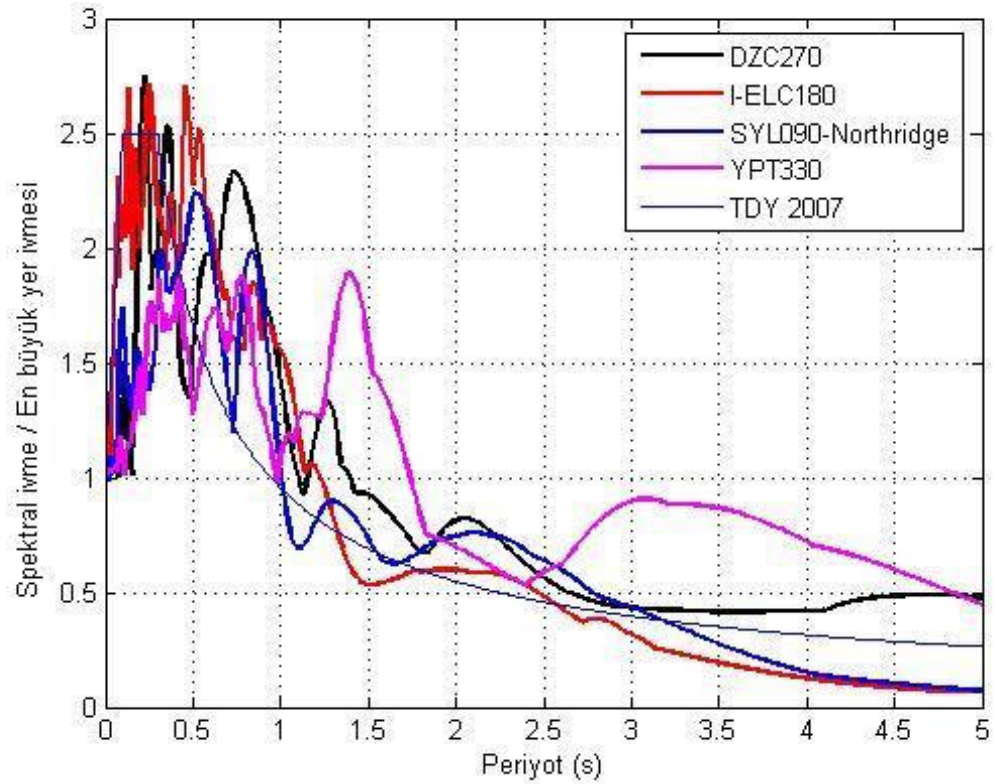
Tablo 4.3 Bütün çerçevelerdeki kirişler için ZKEKB tasarım kriterleri

KİRİŞ	d (mm)	b _{bf} (mm)	t _{bf} (mm)	Z _x (mm ³)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	S _x (mm)	Z _e (mm ³)	M _{pr} (kN-m)	V _{ZKE} (kN)	M _f (kN-m)	M _{pe} (kN-m)	M _f /M _{pe}
W27x94	683.26	253.75	18.92	4.56E+06	158.59	512.45	44.41	414.81	3.44E+06	1499.79	394.79	1663.55	1727.54	0.96
W30x148	763.78	266.70	29.97	8.19E+06	166.69	572.83	46.67	453.10	6.14E+06	2677.85	691.72	2991.27	3107.09	0.96
W24x55	599.44	178.05	12.83	2.20E+06	111.28	449.58	31.16	336.07	1.73E+06	753.11	213.36	824.82	832.70	0.99
W30x132	769.87	267.84	25.40	7.16E+06	167.40	577.41	46.87	456.10	5.39E+06	2349.88	614.25	2630.04	2715.60	0.97
W33x141	845.82	292.99	24.38	8.42E+06	183.12	634.37	51.27	500.30	6.37E+06	2777.47	723.60	3139.49	3194.09	0.98
W36x194	927.10	307.34	32.00	1.26E+07	192.09	695.33	53.78	539.75	9.49E+06	4137.39	1070.97	4715.45	4766.27	0.99

Tablo 4.4 Deprem hareketlerinin karakteristik özellikleri.

İsim	Kayıt	Deprem Büyüklüğü	PGA (g)	Faya Uzaklık (km)	Kayıt sayısı	Süre (sn)	Zaman aralığı
YPT330	1999 Kocaeli	7.4	0.349	2.6	7000	35.00	0.005
DZC270	1999 Düzce	7.1	0.535	8.2	5177	25.89	0.005
I-ELC180	1940 Imperial Valley	7.0	0.313	8.3	4000	40.00	0.01
SYL090	1994 Northridge	6.7	0.604	6.4	2000	40.00	0.02

Şekil 4.3’de analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının davranış spektrumları ve TDY (2007) deprem spektrumu gösterilmiştir.



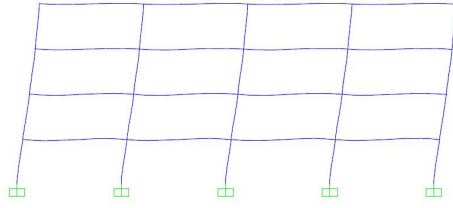
Şekil 4.3 Deprem hareketlerinin davranış spektrumları ve TDY Deprem Spektrumu

5. ANALİZ SONUÇLARI

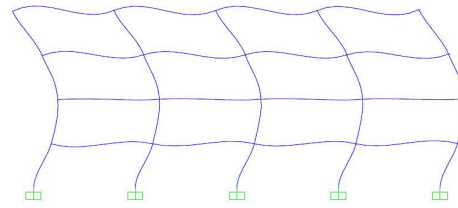
5.1 4-Katlı Çerçeve

a) Modal Analiz

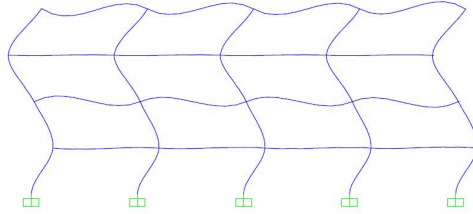
Aşağıda Şekil 5.1 de dört katlı çerçevenin mod şekilleri ve titreşim periyotları gösterilmiştir.



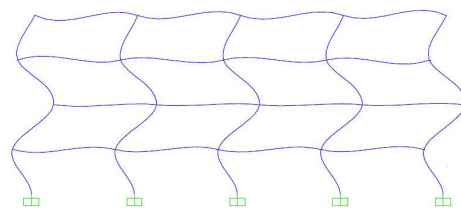
a) 1St mod şekli ve $T_1 = 0.813$



b) 2St mod şekli ve $T_2 = 0.266$



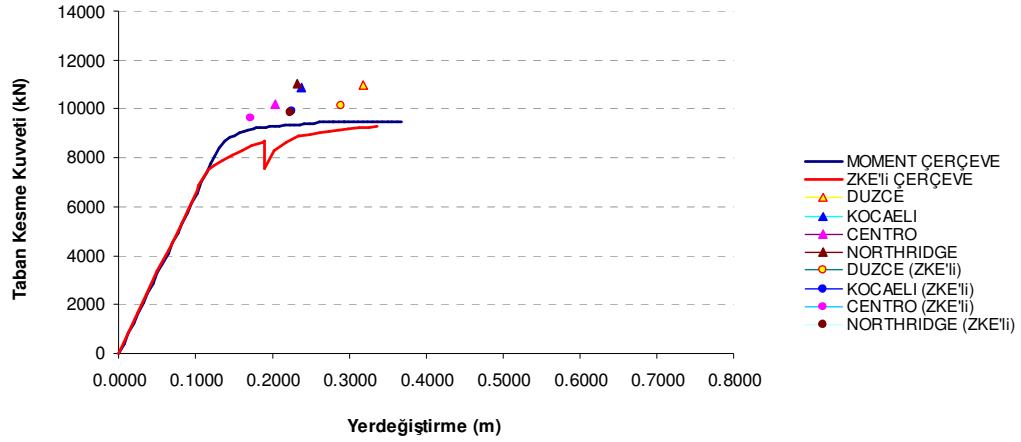
c) 3St mod şekli ve $T_3 = 0.144$



d) 4St mod şekli ve $T_4 = 0.093$

Şekil 5.1 4- katlı çerçevenin mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları

Şekil 5.2'de 4-katlı çerçevenin, ZKE'li çerçeve ve moment çerçeve olmak üzere, farklı deprem kayıtlarının doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi ve doğrusal olmayan statik öteleme analizi sonucundaki taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme değerleri verilmiştir. En büyük yerdeğiştirme 0.32 m ile MÇ'de Düzce depremi etkisinde olmuştur. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucundaki tüm taban kesme kuvvetleri, doğrusal olmayan statik öteleme analizi sonucundaki taban kesme kuvvetlerinden fazla çıkmıştır.



Şekil 5.2 4- katlı çerçevenin doğrusal olmayan statik öteleme analizi (pushover) sonucu ve doğrusal olmayan zaman geçmişi analiz sonucundaki yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri

Tablo 5.1’de 4-katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda farklı depremler için katlarda meydana gelen göreceli kat ötelemeleri verilmiştir. En büyük göreceli kat ötelemesi Düzce depremi etkisinde 1.katta meydana gelmiştir. ZKE’li çerçevede El Centro depremi sonucunda maksimum göreceli kat ötelemesi 2.katta meydana gelmiş, diğer analizlerde 1.katta meydana gelmiştir. Minimum kat göreceli kat ötelemesi ise 4.katta meydana gelmiştir.

Şekil 5.4’den Şekil 5.7’a kadar, 4- katlı çerçevenin ZKE’li çerçeve ve MÇ için, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucundaki maksimum yerdeğiştirme anındaki deformasyon şekilleri ile bu yerdeğiştirmeye eşit veya yakın doğrusal olmayan statik öteleme analizi sonucundaki deformasyon şekilleri verilmiştir.



Şekil 5.3 Deformasyon şekillerinde kullanılan simgelerin lejantı

Tablo 5.1 4- Katlı MÇ ve ZKE'li çerçevenin Görelî kat ötelemesi oranları
(Düzce Depremi)

Kat	h_i	Δ_i/h_i	
		Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve
4	3.96	0.003817	0.003341
3	3.96	0,005793	0.005433
2	3.96	0,007098	0.007429
1	3.96	0,012428	0.008587

(Kocaeli Depremi)

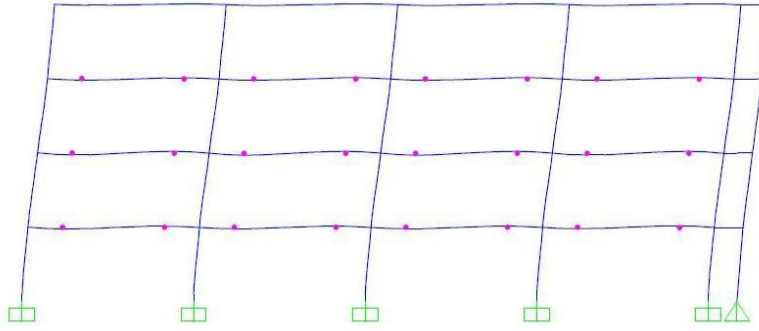
Kat	h_i	Δ_i/h_i	
		Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve
4	3.96	0.002488	0.002419
3	3.96	0.004112	0.004154
2	3.96	0.005843	0.005966
1	3.96	0.006586	0.006039

(El Centro Depremi)

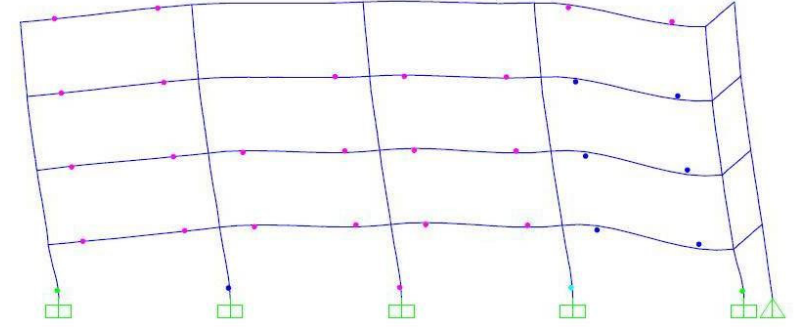
Kat	h_i	Δ_i/h_i	
		Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve
4	3.96	0.003141	0.002901
3	3.96	0.004081	0.004068
2	3.96	0.004675	0.004649
1	3.96	0.004731	0.003730

(Northridge Depremi)

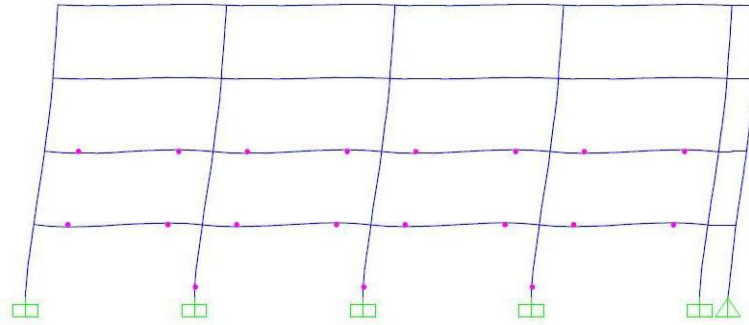
Kat	h_i	Δ_i/h_i	
		Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve
4	3.96	0.002759	0.002337
3	3.96	0.004143	0.003865
2	3.96	0.006074	0.005934
1	3.96	0.006897	0.005950



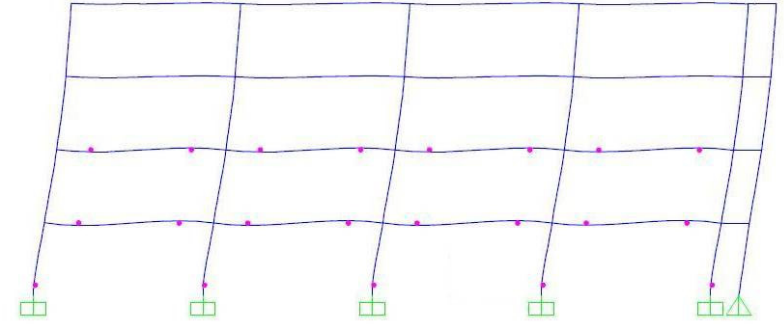
a. ZKEKB'nin El Centro depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.1722 m)



b. MÇ'nin El Centro depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2041 m)

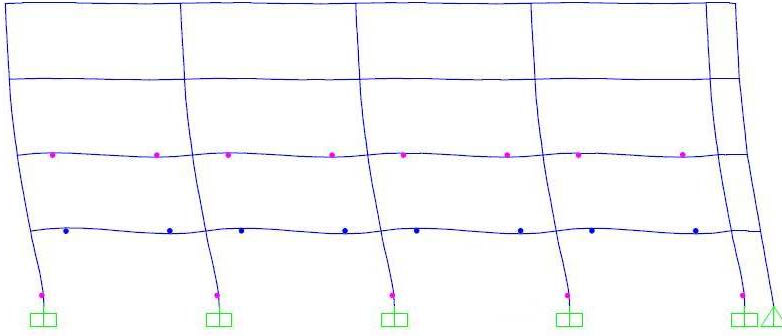


c. ZKEKB'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.1741 m)

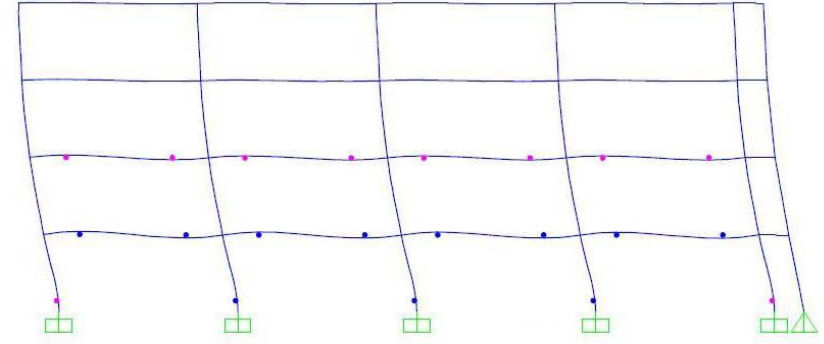


b. MÇ'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.2033 m)

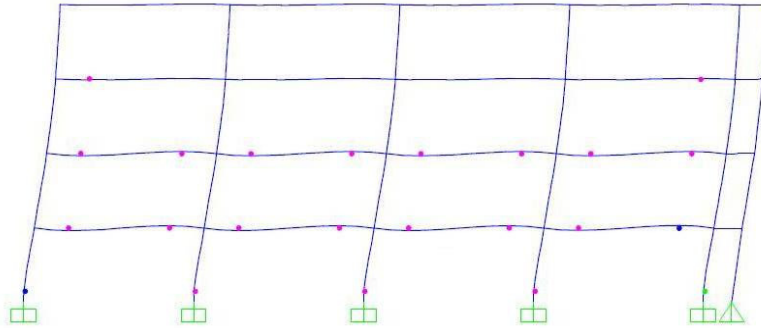
şekil 5.4 4-katlı çerçevenin El Centro depremi etkisindeki deformasyon şekli



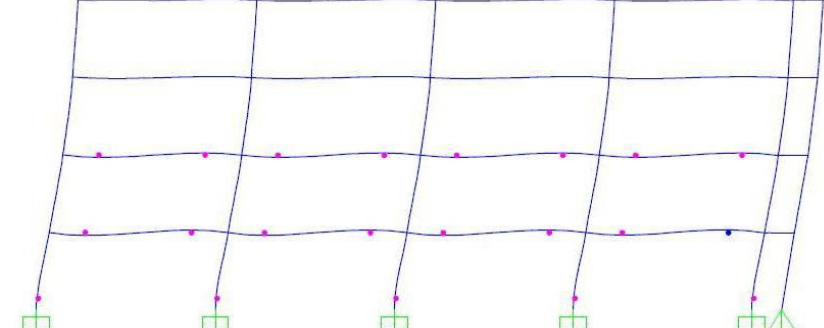
a. ZKEKB'nin Northridge depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2234 m)



b. MÇ'nin Northridge depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2313 m)

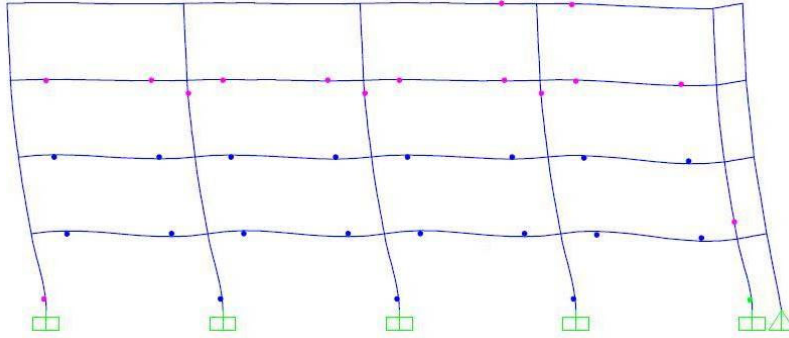


c. ZKEKB'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.2180 m)

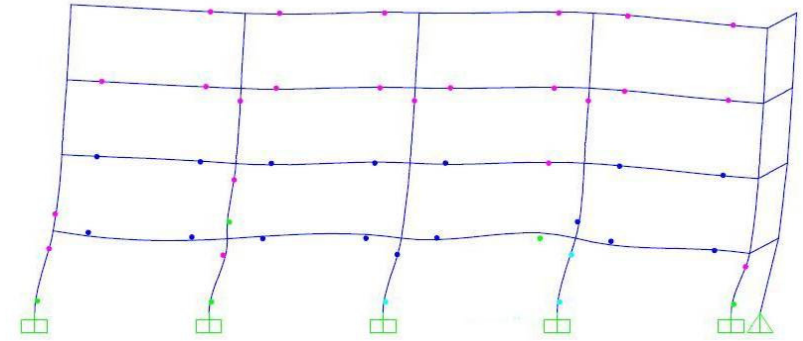


b. MÇ'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.2350 m)

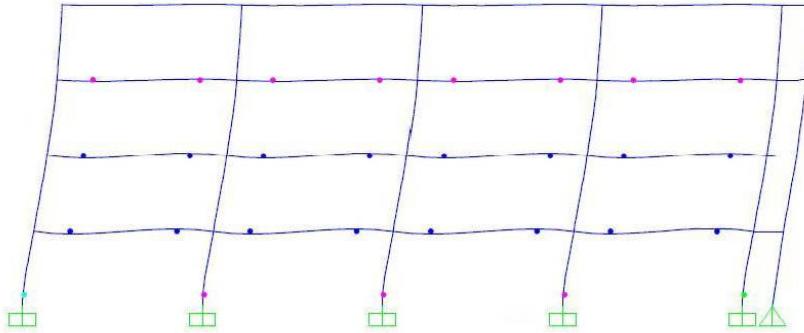
şekil 5.5 4-katlı çerçevenin Northridge depremi etkisindeki deformasyon şekli



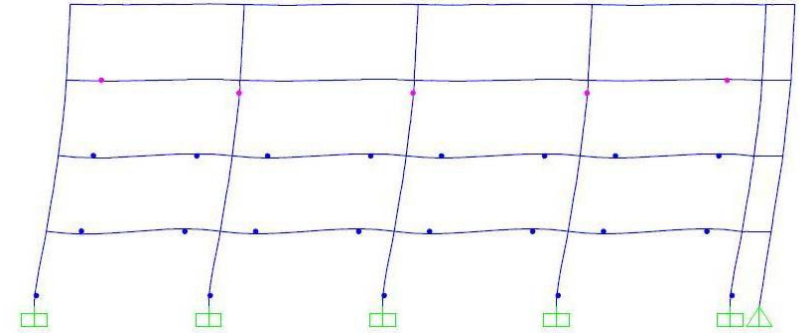
a. ZKEKB'nin Düzce depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2891 m)



b. MÇ'nin Düzce depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.3183 m)

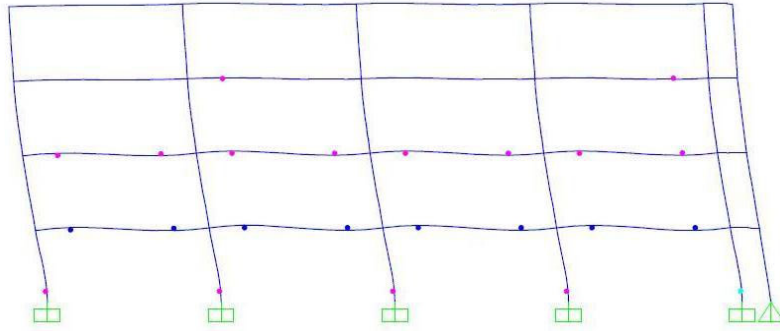


c. ZKEKB'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.2864 m)

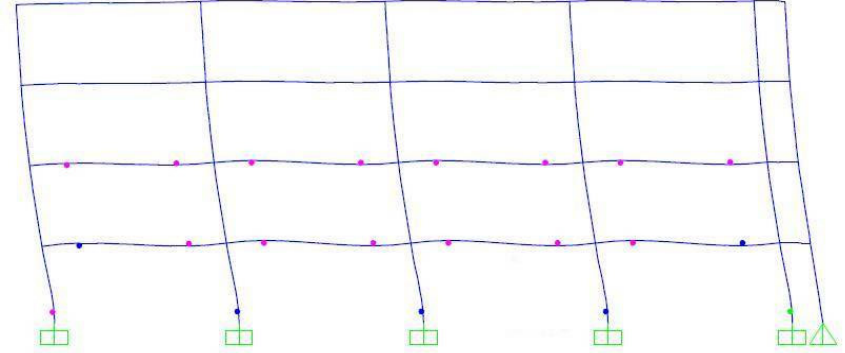


b. MÇ'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.3111 m)

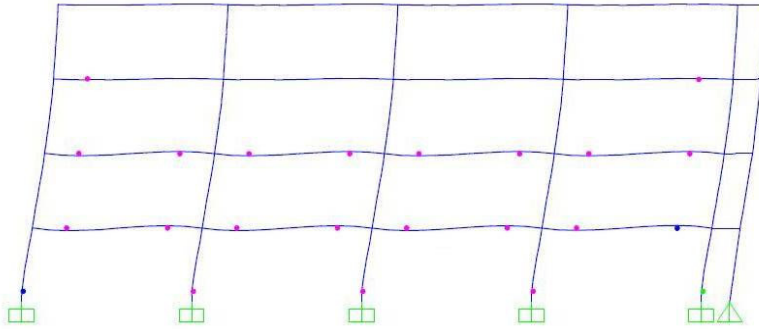
Şekil 5.6 4-katlı çerçevenin Düzce depremi etkisindeki deformasyon şekli



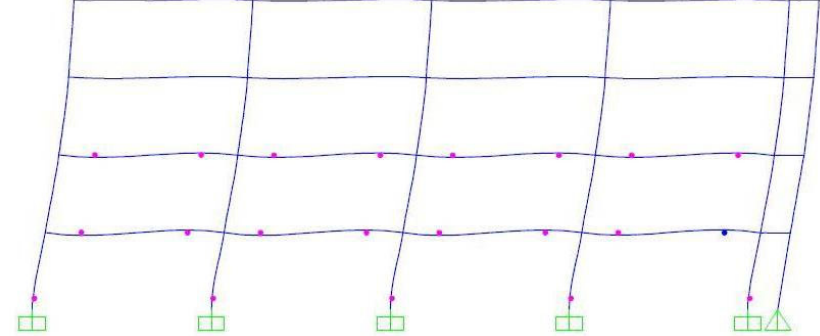
a. ZKEKB'nin Kocaeli depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2258)



b. MÇ'nin Kocaeli depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2372 m)



c. ZKEKB'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.2180 m)



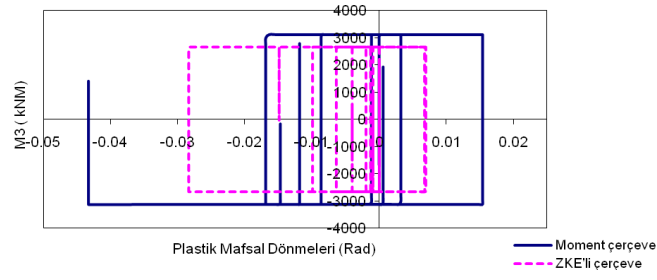
b. MÇ'nin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yer değiştirme 0.2350 m)

Şekil 5.7 4-katlı çerçevenin Kocaeli depremi etkisindeki deformasyon şekli

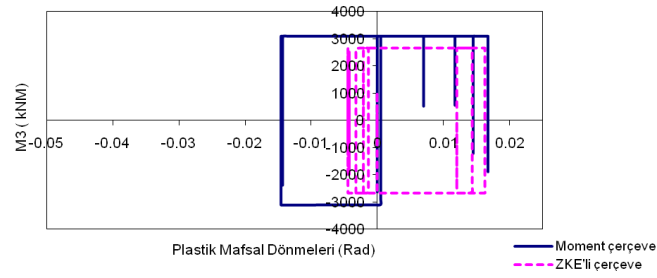
b) Plastik Mafsal Dönmeleri

Moment çerçeve ve ZKE' li çerçevede, Elcentro, Northridge, Düzce, Kocaeli depremleri uygulanarak yapılan doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri sonucunda katlardaki plastik mafsallarda oluşan maksimum dönmeler Şekil 5.8'dan Şekil 5.11'e kadar sunulmuştur.

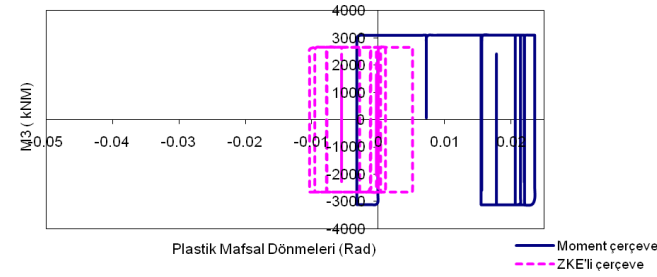
1.Kat:



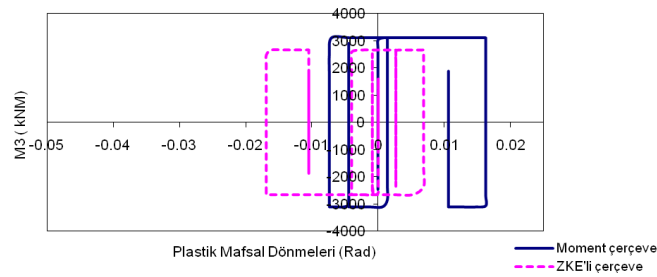
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



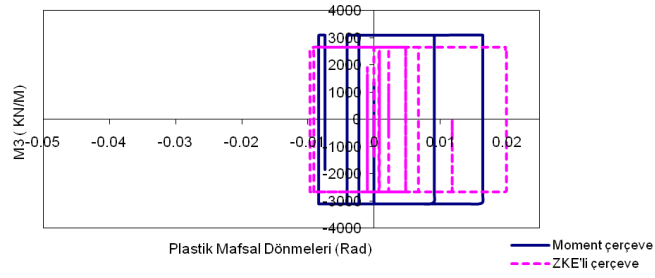
c. El Centro depremi



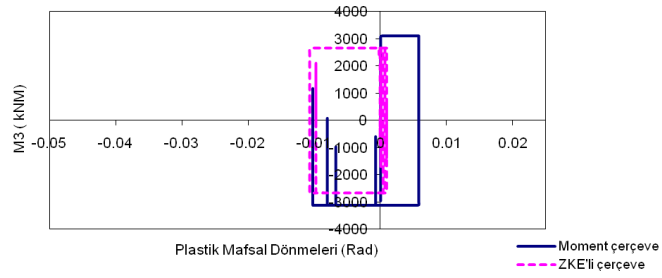
d. Nothridge depremi

Şekil 5.8 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 1.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

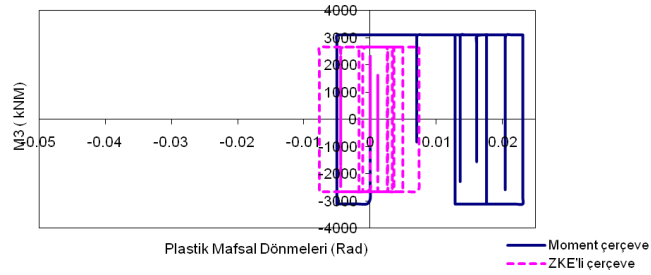
2.Kat:



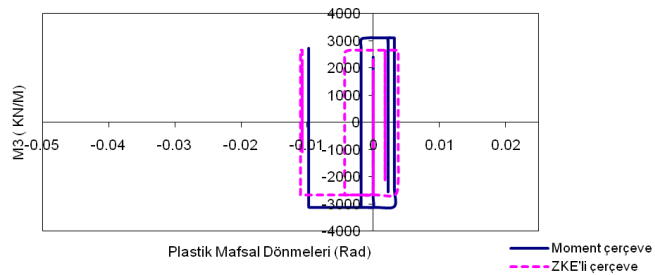
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



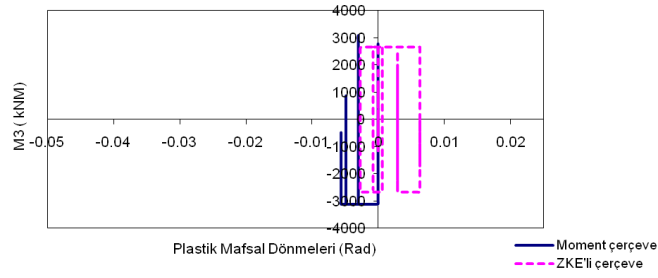
c. El Centro depremi



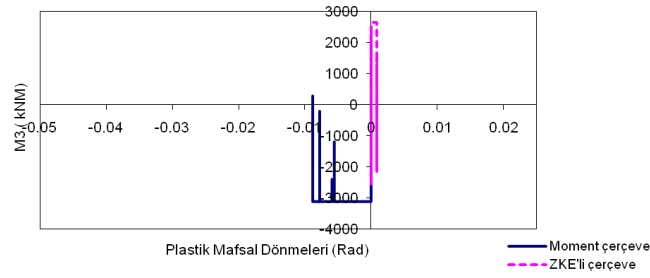
d. Nothridge depremi

Şekil 5.9 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 2.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

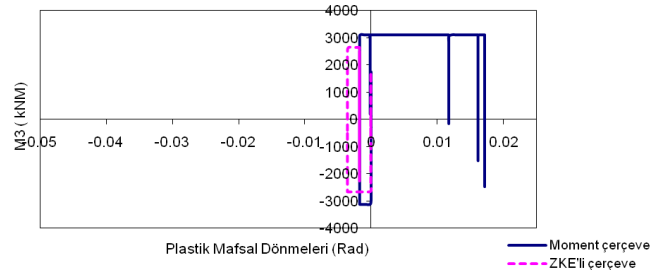
3.Kat:



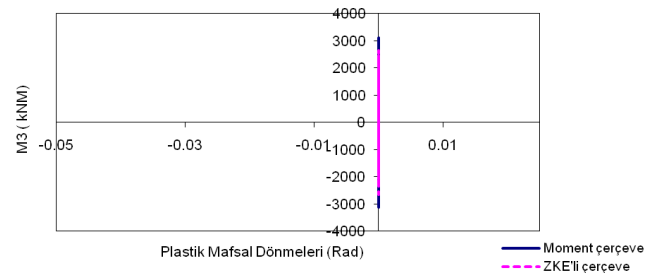
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



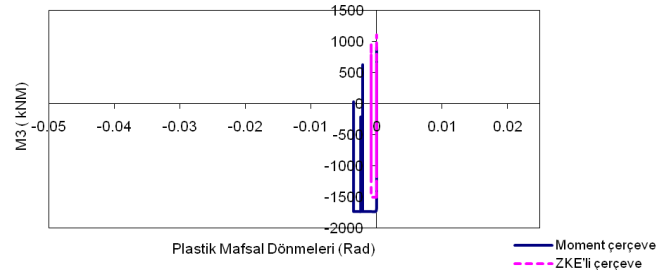
c. El Centro depremi



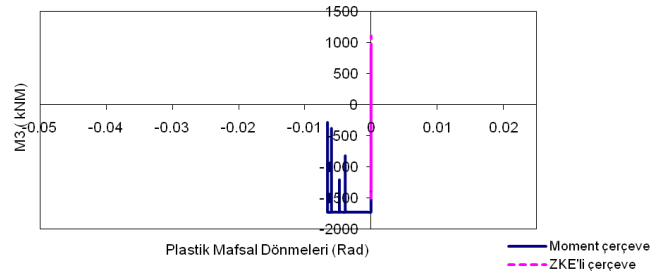
d. Nothridge depremi

Şekil 5.10 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 3.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

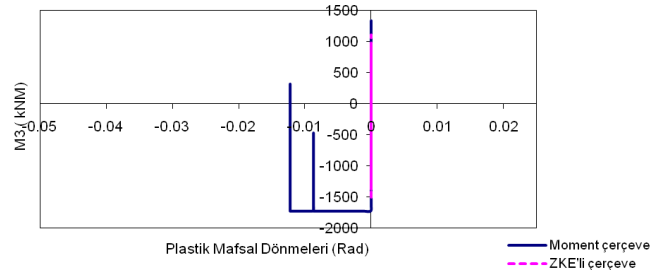
4.Kat:



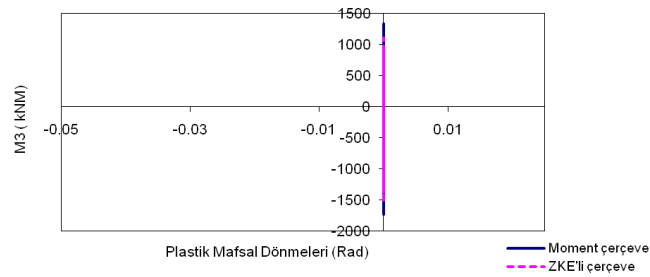
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



c. El Centro depremi



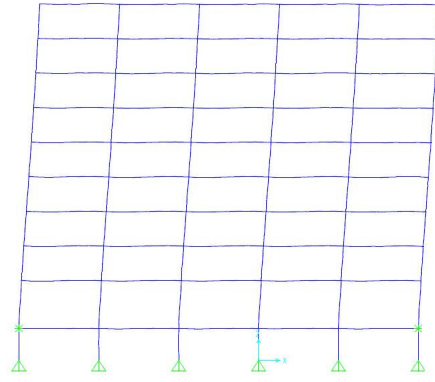
d. Nothridge depremi

Şekil 5.11 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 4.katta oluşan maksimum plastik mafsallı dönmeleri

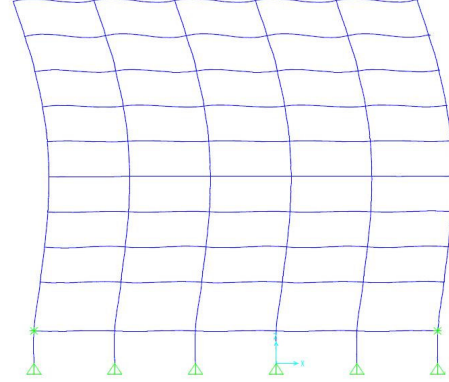
5.2. 9- Katlı Çerçeve

a) Modal Analiz:

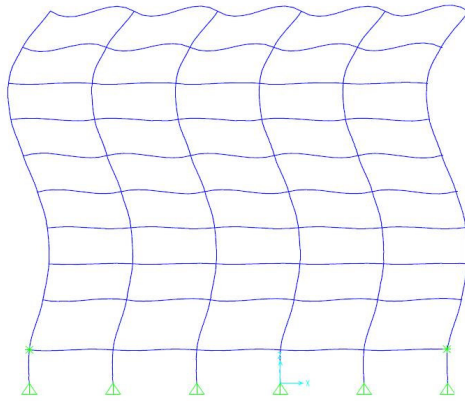
Aşağıda şekil 5.12’ de dokuz katlı çerçevenin mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları gösterilmiştir.



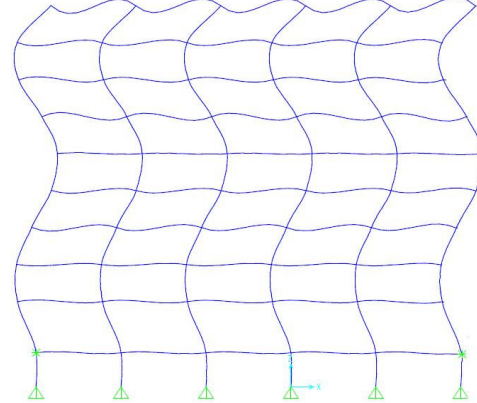
a) 1st mod şekli ve $T_1 = 1.588$



b) 2st mod şekli ve $T_2 = 0.594$



c) 3st mod şekli ve $T_3 = 0.349$

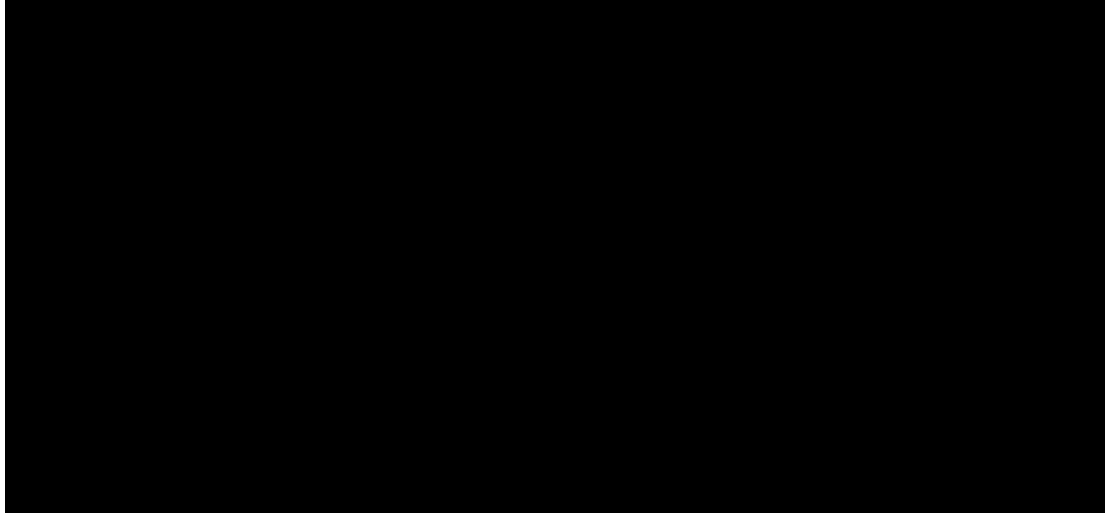


d) 4st mod şekli ve $T_4 = 0.234$

Şekil 5.12. 9- katlı çerçevenin mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları

Şekil 5.13’de 9- katlı çerçevenin, ZKE’li çerçeve ve moment çerçeve olmak üzere, farklı deprem kayıtlarının doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi ve doğrusal olmayan statik öteleme analizi sonucundaki taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme değerleri verilmiştir. En büyük yerdeğiştirme 0.93 m ile ZKE’li çerçevede Düzce depremi etkisinde olmuştur. Doğrusal olmayan zaman geçmişi

analizi sonucundaki tüm taban kesme kuvvetleri, doğrusal olmayan statik öteleme analizi sonucundaki taban kesme kuvvetlerinden fazla çıkmıştır.



Şekil 5.13. 9- katlı çerçevenin doğrusal olmayan statik öteleme analizi (pushover) sonucu ve doğrusal olmayan zaman geçmişi analiz sonucundaki yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri

Tablo 5.2’de 9-katlı çerçevenin doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda farklı depremler için katlarda meydana gelen görel kat ötelemesi oranları verilmiştir. En büyük görel kat ötelemesi Düzce depremi etkisinde 4.katta MÇ’de meydana gelmiştir. Kocaeli ve düzce depremi etkisinde maksimum görel kat ötelemeleri 3. ve 4. katlarda olmuştur. El Centro ve Northridge depremlerinde ise 9. katta olmuştur.

Şekil 5.15’den Şekil 5.18’e kadar, 9- katlı çerçevenin ZKE’li çerçeve ve MÇ için, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucundaki maksimum yerdeğiştirme anındaki deformasyon şekilleri ile bu yerdeğiştirmeye eşit veya yakın doğrusal olmayan statik öteleme analizi sonucundaki deformasyon şekilleri verilmiştir.

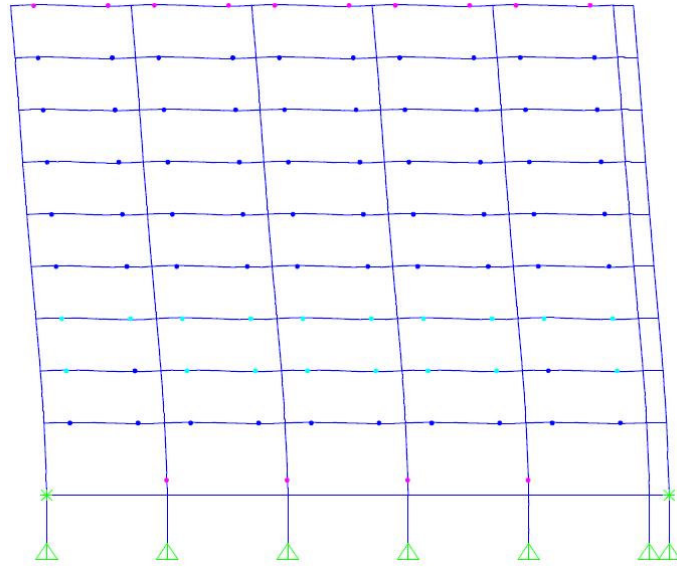


Şekil 5.14 Deformasyon şekillerinde kullanılan simgelerin lejantı

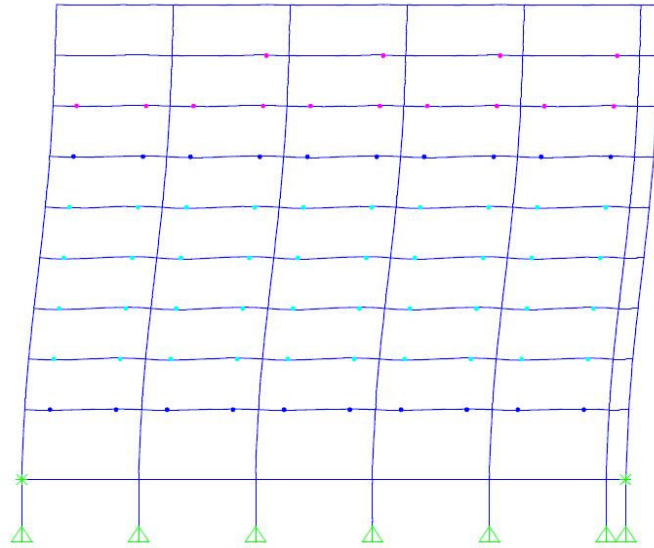
Tablo 5.2. 9- Katlı Moment çerçeve ve ZKE'li çerçevenin Görelî kat ötelemesi oranları

(Düzce Depremi)				(Kocaeli Depremi)			
Kat	h_i	Δ_i/h_i		Kat	h_i	Δ_i/h_i	
		Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve			Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve
9	3.96	0.008455	0.008785	9	3.96	0.004219	0.003763
8	3.96	0.007909	0.008751	8	3.96	0.004131	0.003620
7	3.96	0.008055	0.009066	7	3.96	0.003849	0.003126
6	3.96	0.008247	0.008962	6	3.96	0.004491	0.004422
5	3.96	0.008497	0.008755	5	3.96	0.004747	0.005349
4	3.96	0.009377	0.009194	4	3.96	0.006386	0.006916
3	3.96	0.009369	0.009201	3	3.96	0.006289	0.006893
2	3.96	0.007586	0.007602	2	3.96	0.004597	0.005191
1	5.48	0.004609	0.004438	1	5.48	0.003072	0.003221
B	3.65	0	0	B	3.65	0	0

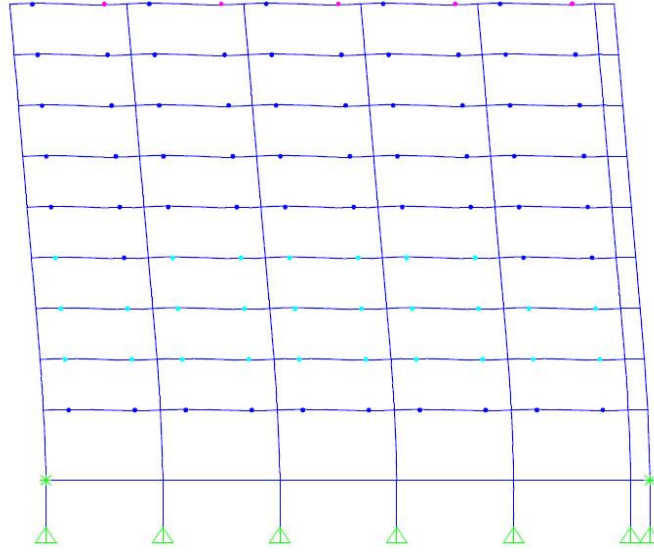
(El Centro Depremi)				(Northridge Depremi)			
Kat	h_i	Δ_i/h_i		Kat	h_i	Δ_i/h_i	
		Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve			Moment Çerçeve	ZKE'li Çerçeve
9	3.96	0.005075	0.005276	9	3.96	0.005050	0.005568
8	3.96	0.003557	0.003597	8	3.96	0.004258	0.005315
7	3.96	0.002580	0.002388	7	3.96	0.003881	0.005113
6	3.96	0.002576	0.002389	6	3.96	0.003521	0.004761
5	3.96	0.002415	0.002176	5	3.96	0.002856	0.003781
4	3.96	0.002743	0.002502	4	3.96	0.002867	0.002865
3	3.96	0.003165	0.002729	3	3.96	0.002782	0.002698
2	3.96	0.002822	0.002565	2	3.96	0.002413	0.002201
1	5.48	0.002350	0.002313	1	5.48	0.002211	0.001835
B	3.65	0	0	B	3.65	0	0



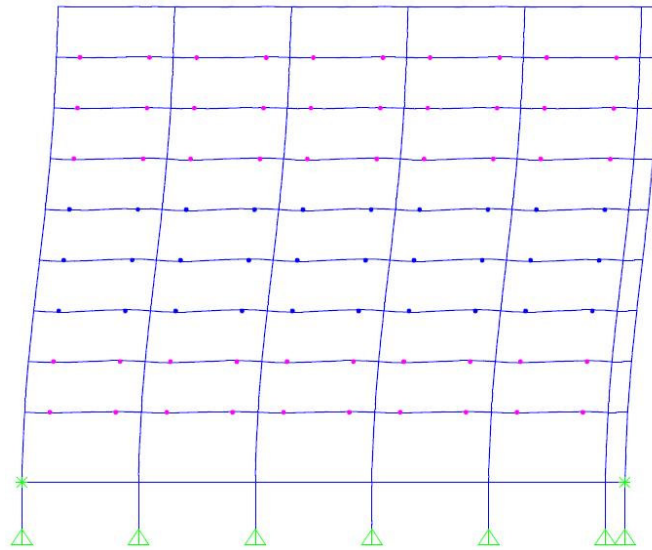
a. 9- katlı moment çerçevenin Düzce depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.9085 m)



b. 9- katlı moment çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.9076 m)

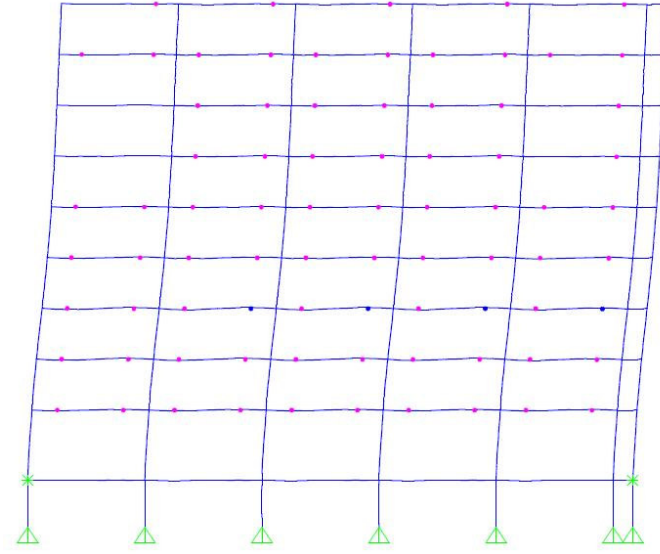


c. 9- katlı ZKE'li çerçevenin Düzce depremi etkisinde maksimum yerdeğiştirme halindeki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.9373 m)

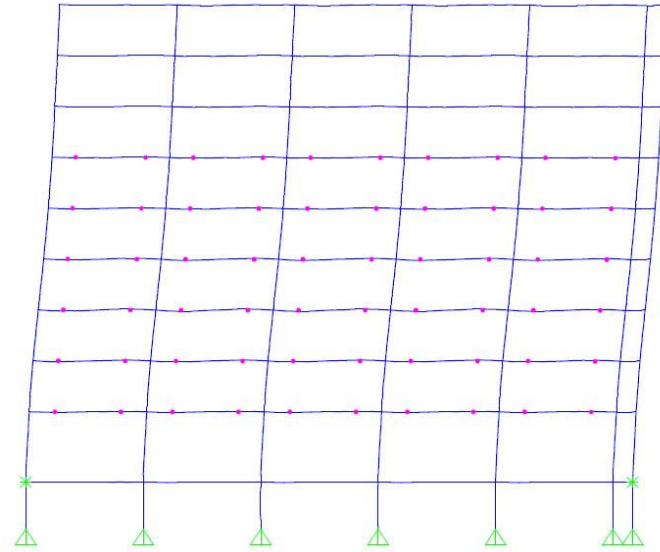


d. 9- katlı ZKE'li çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.9447 m)

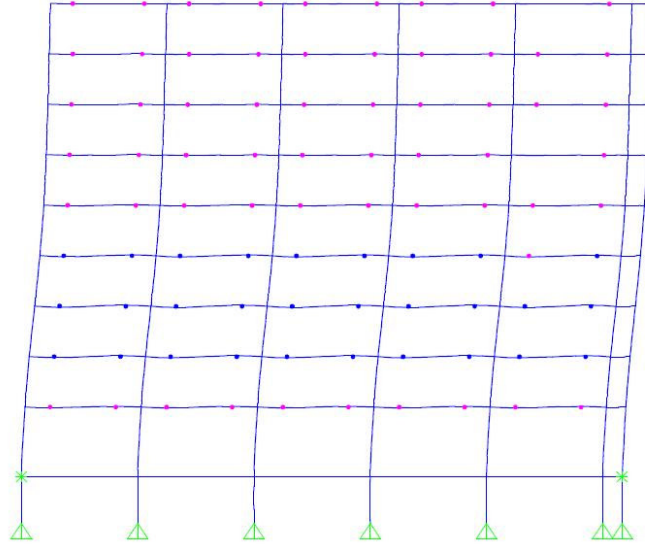
Şekil 5.15. 9- katlı çerçevenin Düzce depremi etkisindeki deformasyon şekli



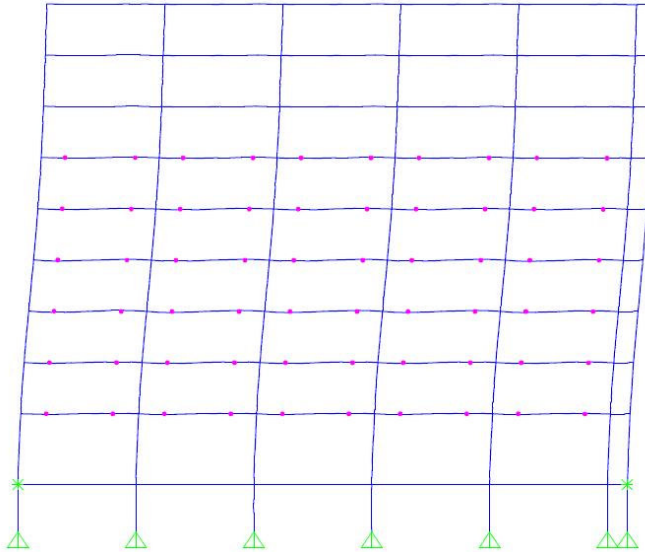
a. 9- katlı moment çerçevenin Kocaeli depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.4381 m)



b. 9- katlı moment çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.4405 m)

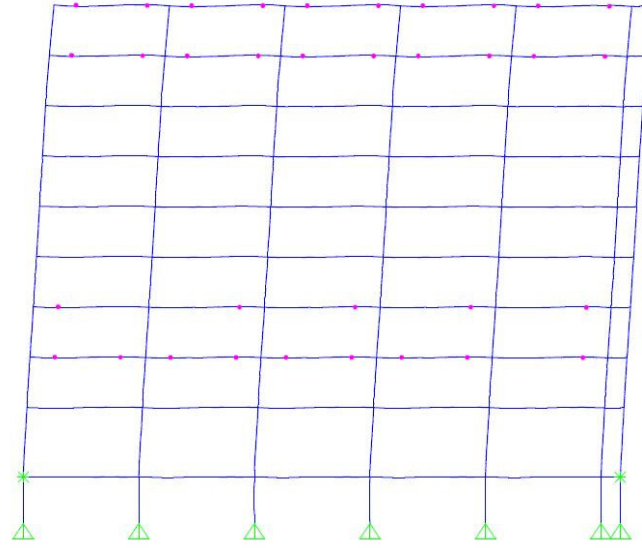


c. 9 katlı ZKE'li çerçevenin Kocaeli depremi etkisinde maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.4568 m)

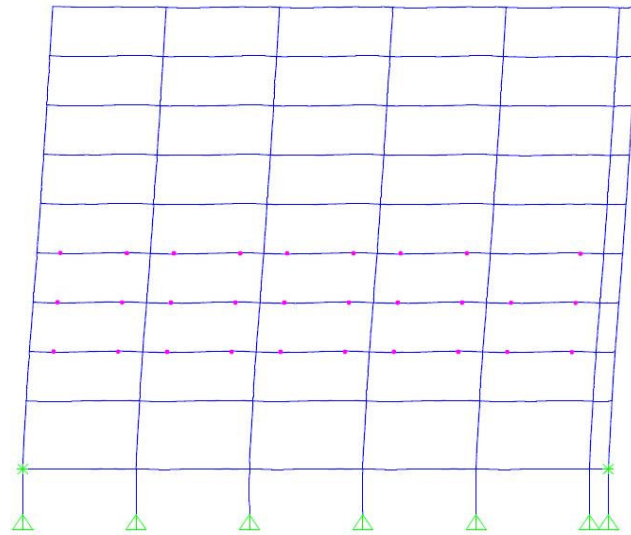


d. 9 katlı ZKE'li çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.4517 m)

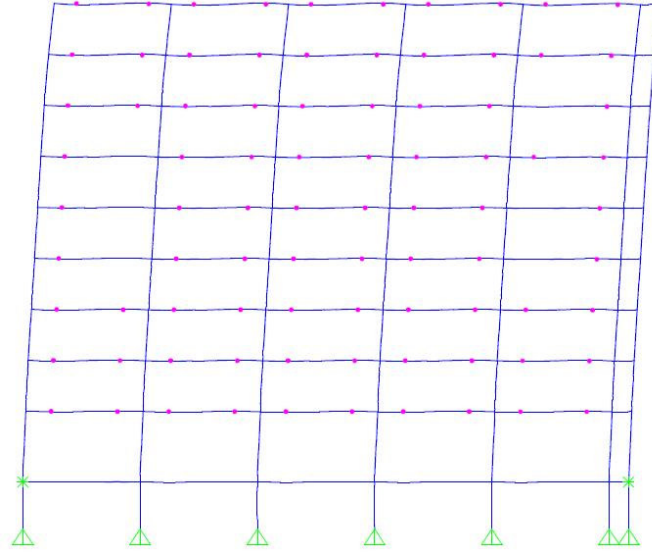
Şekil 5.16. 9- katlı çerçevenin Kocaeli depremi etkisindeki deformasyon şekli



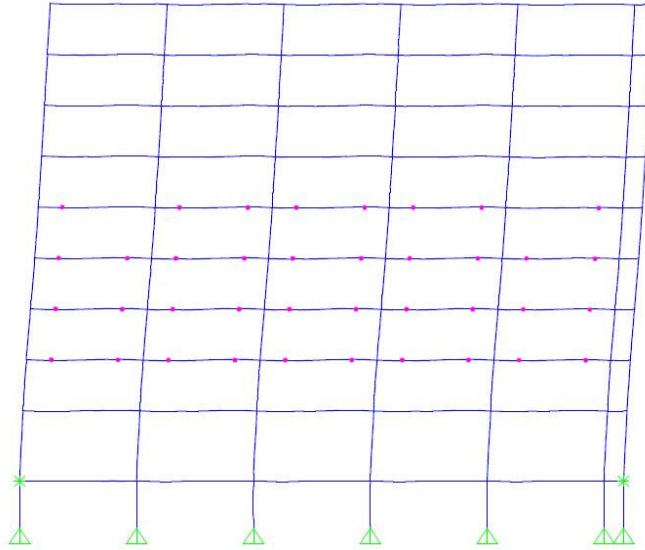
a. 9- katlı moment çerçevenin El Centro depremi etkisinde maksimum yerdeğiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.3033 m)



b. 9- katlı moment çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.3026 m)

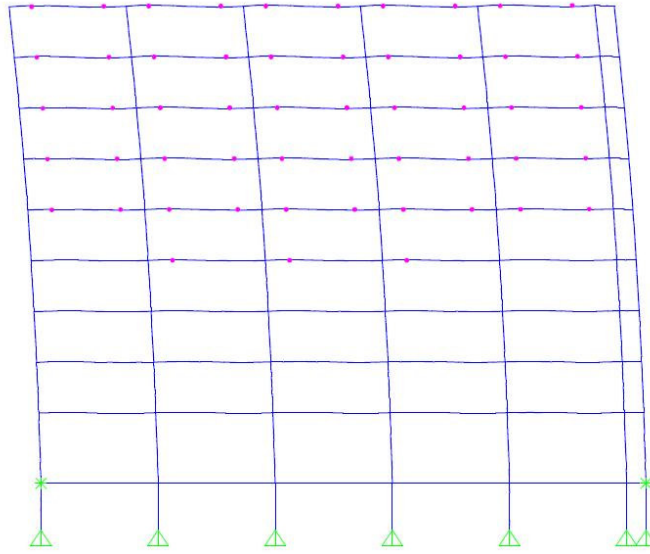


c. 9- katlı ZKE'li çerçevenin El Centro depremi etkisinde maksimum yerdeğiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2708 m)

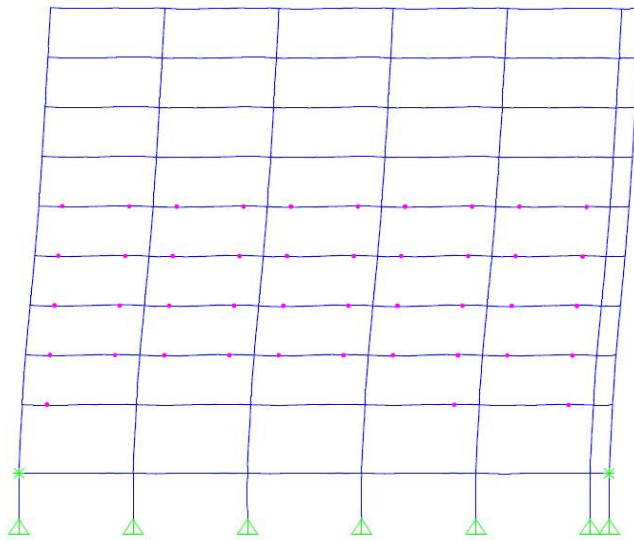


d. 9- katlı ZKE'li çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.2653 m)

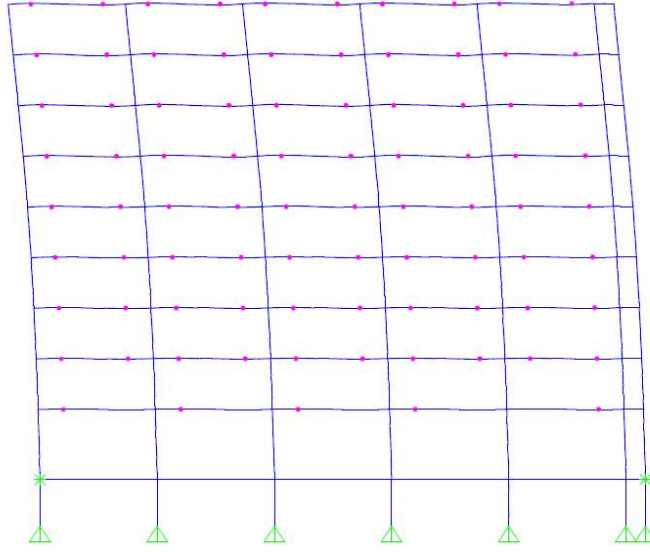
Şekil 5.17. 9- katlı çerçevenin El Centro depremi etkisindeki deformasyon şekli



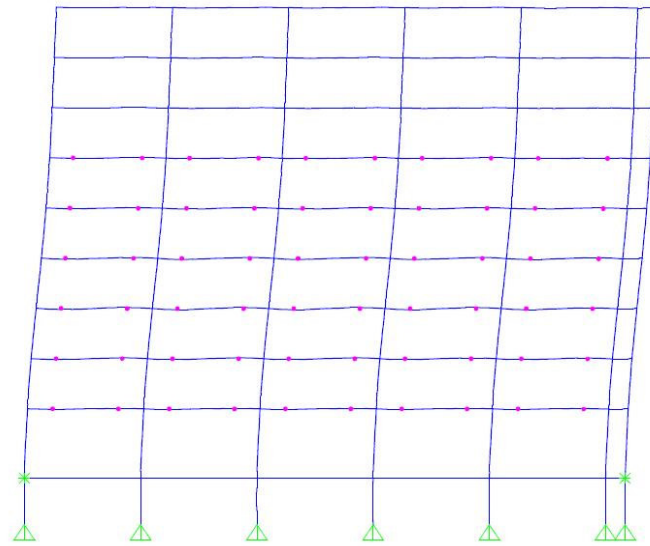
a. 9- katlı moment çerçevenin Northridge depremi etkisinde maksimum yerdeğiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.3540 m)



b. 9- katlı moment çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.3615 m)



c. 9- katlı ZKE'li çerçevenin Northridge depremi etkisinde maksimum yerdeğiştirme anındaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.4119 m)



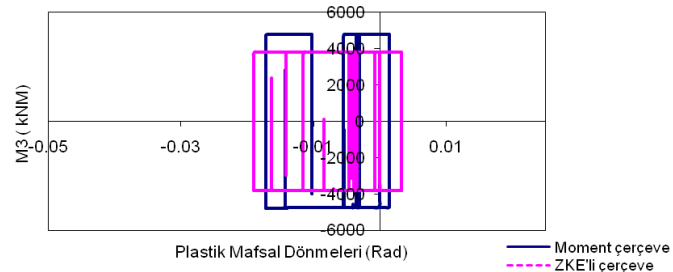
d. 9- katlı ZKE'li çerçevenin Statik Öteleme Analizi sonucundaki deformasyon şekli (maks. yerdeğiştirme 0.4190 m)

Şekil 5.18. 9- katlı çerçevenin Northridge depremi etkisindeki deformasyon şekli

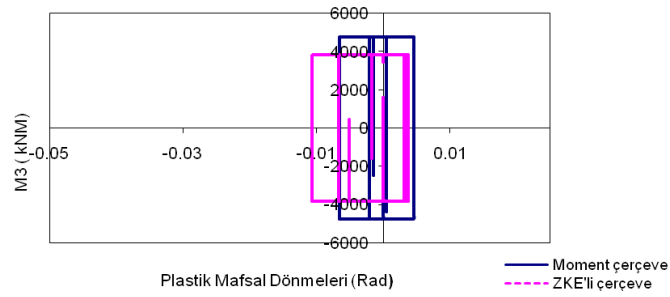
b) Plastik Mafsal Dönmeleri

Moment çerçeve ve ZKE' li çerçevede, Elcentro, Northridge, Düzce, Kocaeli depremleri uygulanarak yapılan doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri sonucunda katlardaki plastik mafsallarda oluşan maksimum dönmeler Şekil 5.19'den Şekil 5.27'ye kadar sunulmuştur.

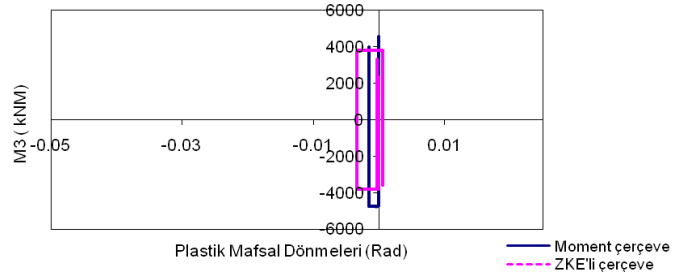
1. Kat:



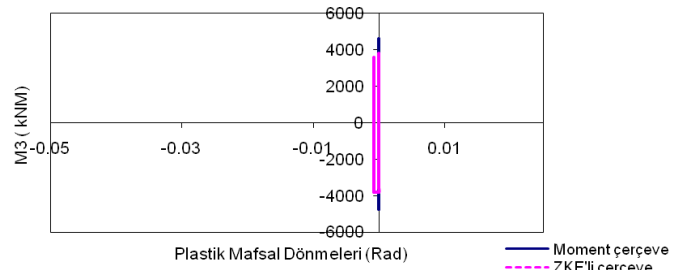
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



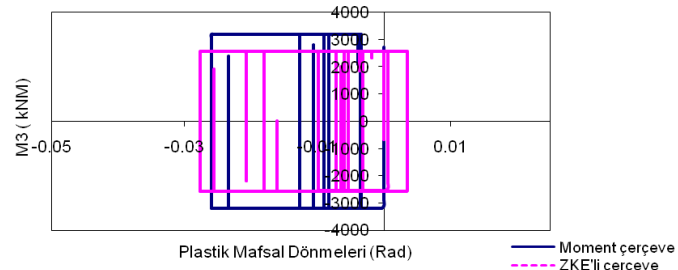
c. El Centro depremi



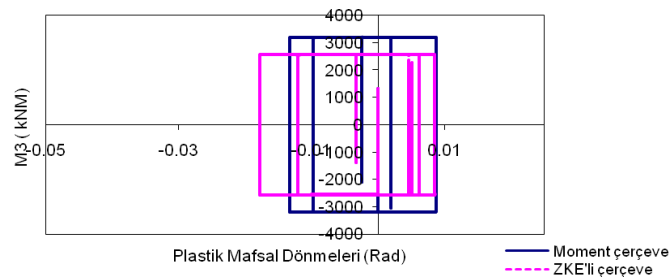
d. Northridge depremi

Şekil 5.19 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 1.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

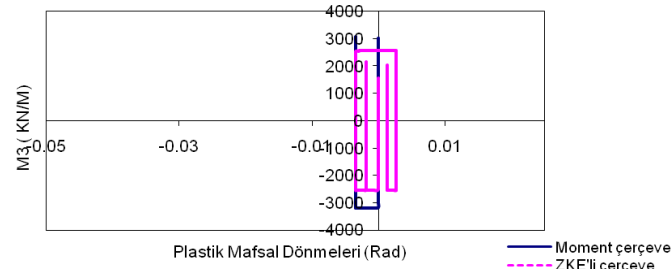
2.Kat:



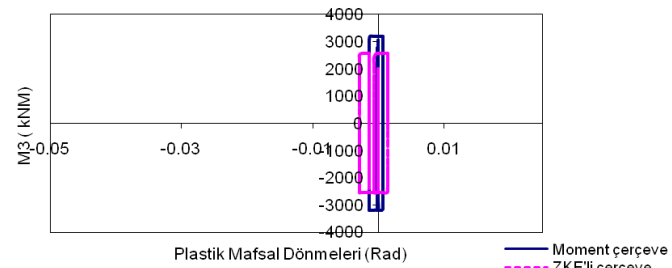
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



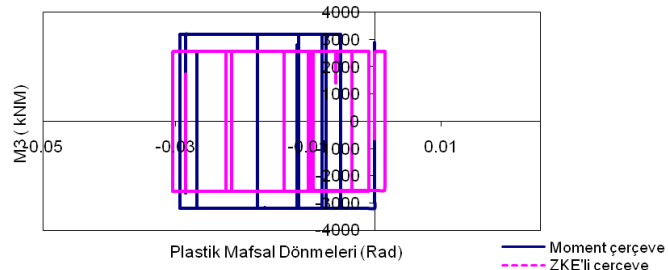
c. El Centro depremi



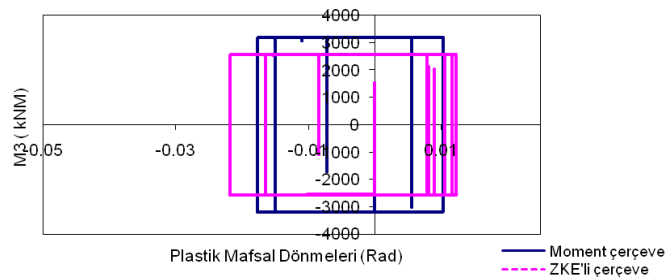
d. Northridge depremi

Şekil 5.20 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 2.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

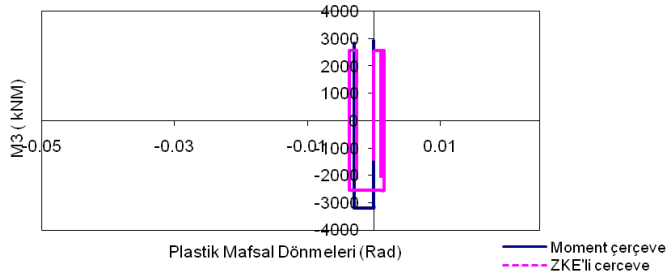
3.Kat:



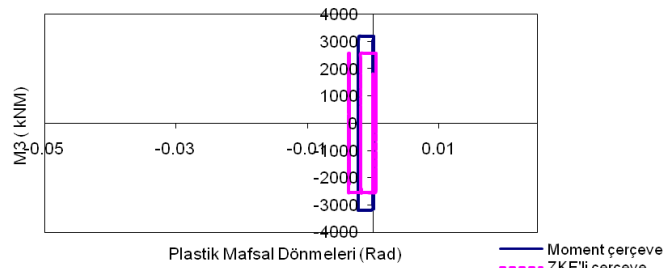
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



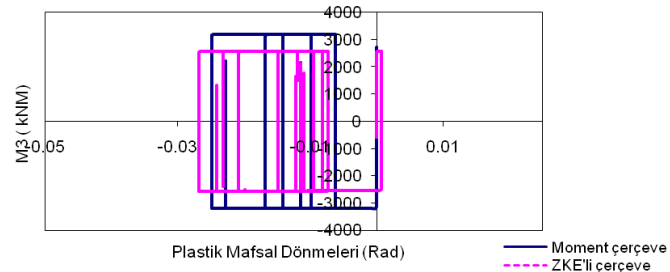
c. El Centro depremi



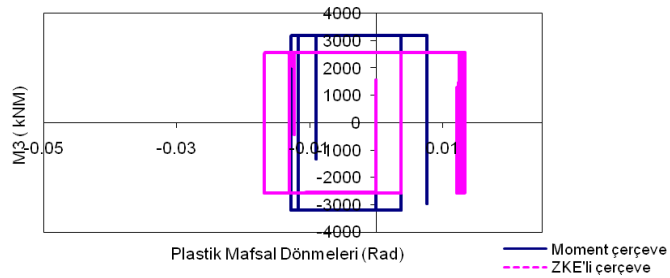
d. Northridge depremi

Şekil 5.21 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 3.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

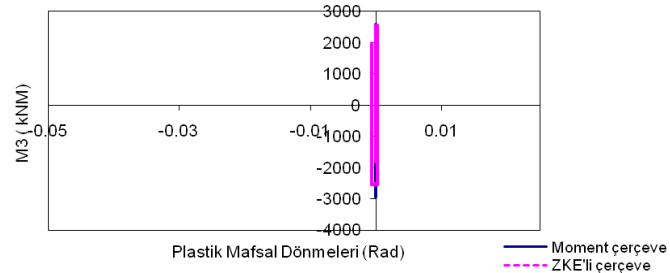
4.Kat:



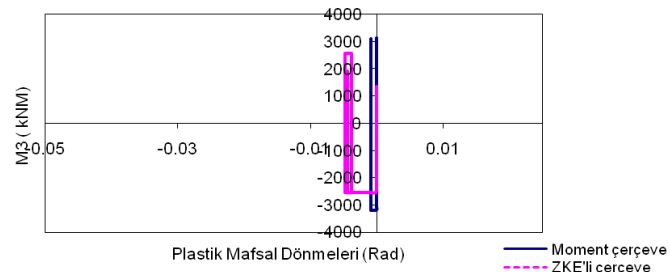
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



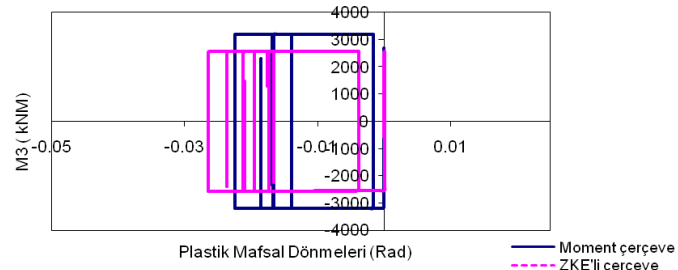
c. El Centro depremi



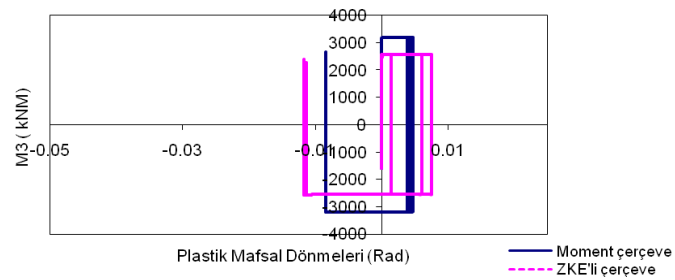
d. Northridge depremi

Şekil 5.22 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 4.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

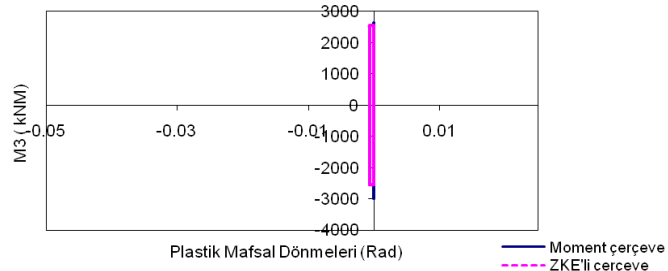
5.Kat:



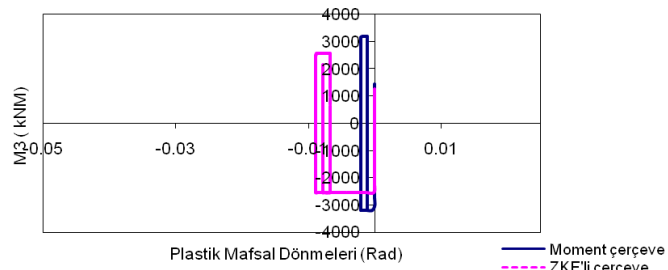
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



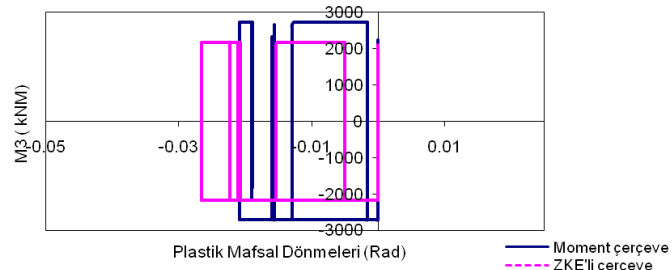
c. El Centro depremi



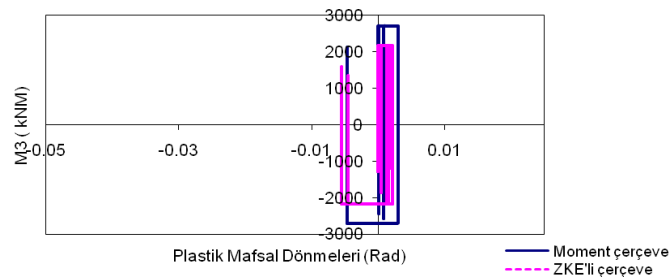
d. Northridge depremi

Şekil 5.23 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 5.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

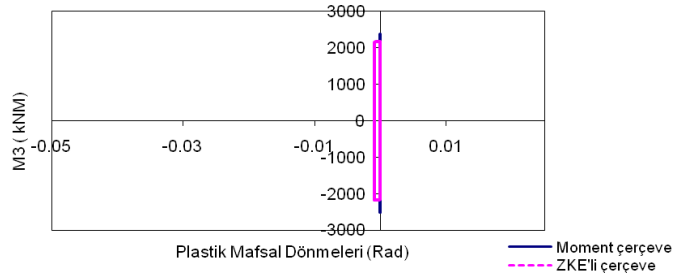
6. Kat:



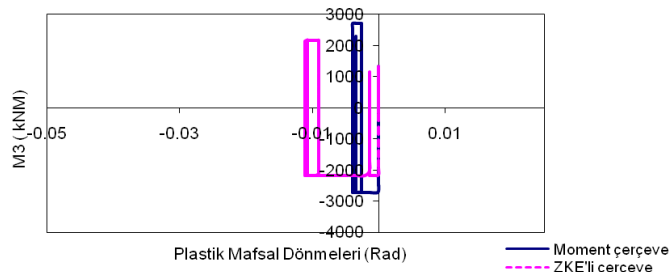
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



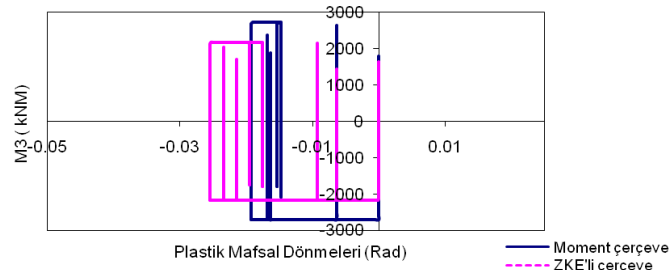
c. El Centro depremi



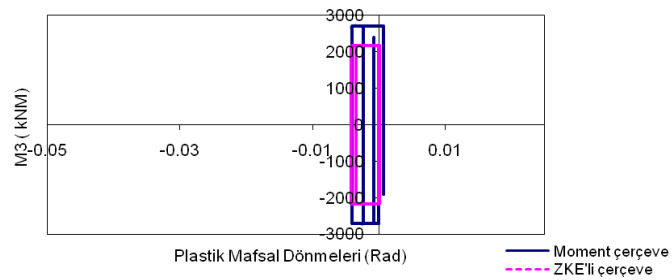
d. Northridge depremi

Şekil 5.24 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 6.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

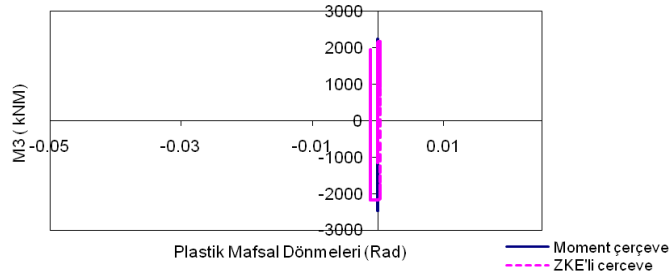
7. Kat:



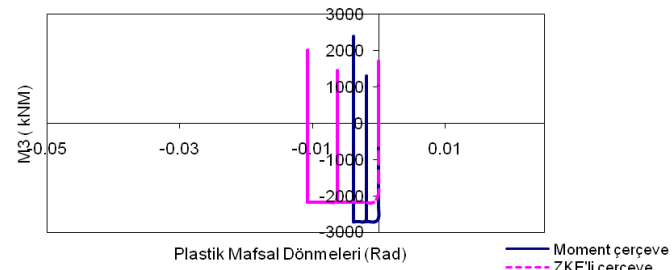
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi

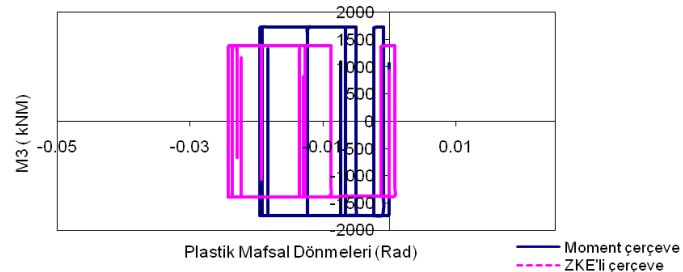
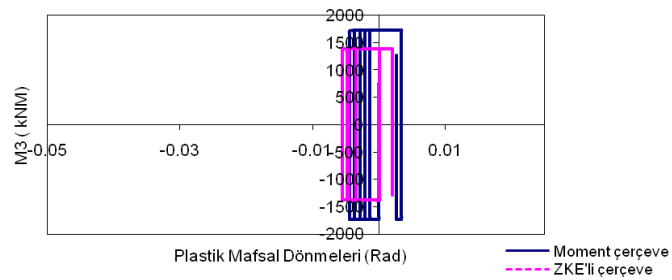
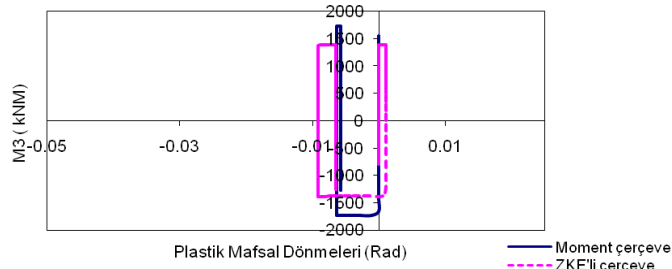
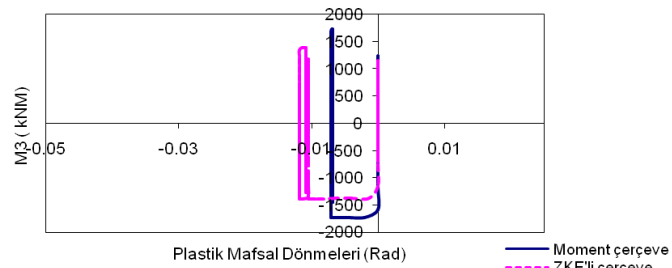


c. El Centro depremi



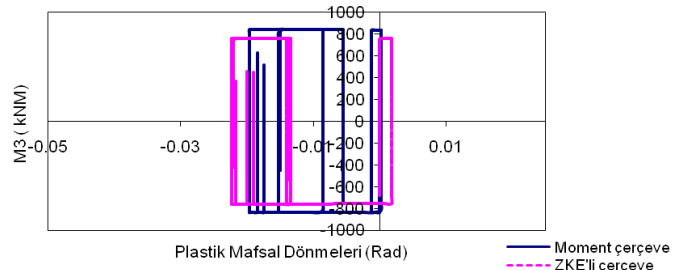
d. Northridge depremi

Şekil 5.25 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 7.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

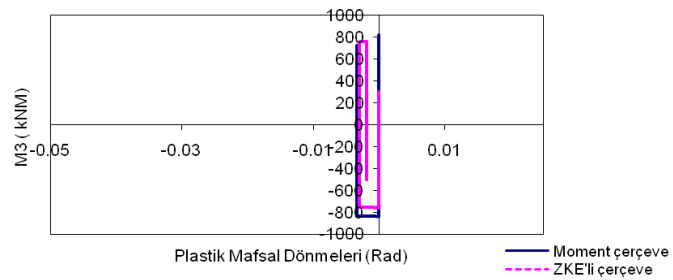
8. Kat:**a. Düzce depremi****b. Kocaeli depremi****c. El Centro depremi****d. Northridge depremi**

Şekil 5.26 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 8.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

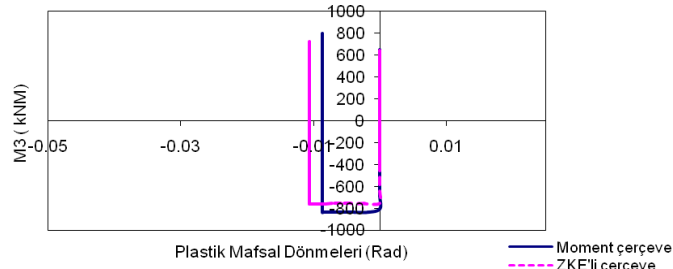
9. Kat:



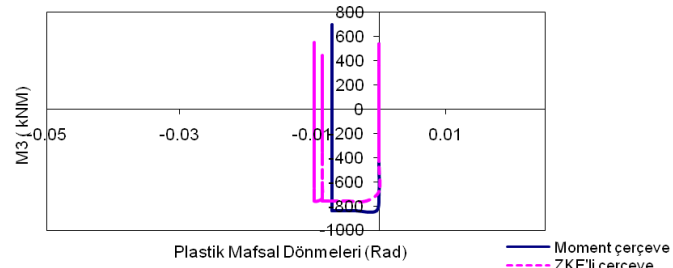
a. Düzce depremi



b. Kocaeli depremi



c. El Centro depremi



d. Northridge depremi

Şekil 5.27 Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucunda 9.katta oluşan maksimum plastik mafsal dönmeleri

5.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4- ve 9- katlı ZKE'li ve MÇ'lerde yapılan doğrusal olmayan dinamik zaman geçmiş analizleri sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

a) 4- Katlı Çerçeve

- ZKE'li çerçevenin yanal dayanımı daha düşüktür ($\approx$ % 11 Şekil 5.2).
- MÇ'lerde doğrusal olmayan yer değiştirme talepleri, ZKE'li çerçevelere göre genel olarak daha büyük bulunmuştur (Şekil 5.2).
- Doğrusal olmayan zaman geçmiş analizlerinden görel kat öteleme oranları da MÇ'lerde ZKE'li çerçevelere göre genel olarak daha büyük bulunmuştur (Tablo 5.1).
- El Centro depremi altında MÇ'li çerçevede ZKE'li çerçeveye göre daha fazla kirişte plastik mafsall oluşmuştur. ZKE'li çerçevede en üst katta plastik mafsall meydana gelmezken MÇ'li çerçevede en üst katta plastik mafsallar gözlenmiştir. Deformasyon şekilleri MÇ'li ve ZKE'li çerçevelerde statik öteleme analizi sonucunda benzer bulunmuştur (Şekil 5.4)
- Northridge depremi altında MÇ ile ZKE'li çerçevenin deformasyon şekilleri çok benzer olmuştur. Deformasyon şekilleri Statik öteleme analizi sonucunda ZKE'li çerçevede MÇ'den fazla olmuştur (Şekil 5.5).
- Düzce depremi altında MÇ'li çerçevede ZKE'li çerçeveye göre daha fazla kirişte plastik mafsall oluşmuştur. MÇ'de birçok kolon ve tüm kirişlerde plastik mafsall oluşurken, ZKE'li çerçevede kirişlerle birkaç kolonda plastik mafsall oluşmuştur (Şekil 5.6).
- Kocaeli depremi altında ZKE'li çerçevede, MÇ'ye göre daha fazla kirişte plastik mafsall oluşmuştur. MÇ'de ilk iki kat kirişlerinde plastik mafsall oluşurken, ZKE'li çerçevede üçüncü kat kirişlerinde de plastik mafsall gözlenmiştir. Statik öteleme analizi altındaki deformasyon şekilleri benzerdir (Şekil 5.7).

b) 9- Katlı Çerçeve

- ZKE’li çerçevenin yanal dayanımı daha düşüktür. ($\approx$ 20 Şekil 5.13)
- ZKE’li çerçevelerde doğrusal olmayan yer değiştirme talepleri MÇ’li çerçevelere göre genel olarak daha büyük bulunmuştur (Şekil 5.13).
- Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizlerinden görelî kat ötelemesi oranları ZKE’li çerçevelerde, MÇ’li çerçevelere göre genel olarak daha büyük bulunmuştur (Tablo 5.2).
- Düzce depremi altında MÇ ile ZKE’li çerçevede birbirine benzer deformasyon şekilleri oluşmuştur. Statik öteleme analizi sonucunda da; ZKE’li ve MÇ’li çerçevelerdeki deformasyon şekilleri benzer bulunmuştur (Şekil 5.15).
- Kocaeli depremi altında ZKE’li çerçevede, MÇ’ye göre daha fazla kirişte plastik mafsâl oluşmuştur. Statik öteleme analizi sonucunda da; ZKE’li ve MÇ’li çerçevelerdeki deformasyon şekilleri benzer bulunmuştur (Şekil 5.16).
- El Centro depremi altında ZKE’li çerçevede, MÇ’ye göre daha fazla kirişte plastik mafsâl oluşmuştur. ZKE’li çerçevede tüm kirişlerde plastik mafsâl oluşurken, MÇ’de 2-3-8 ve 9. kat kirişlerinde plastik mafsâl oluşmuştur. Statik öteleme analizi sonucunda; ZKE’li çerçevede MÇ’den daha fazla kirişte plastik mafsâl oluşmuştur (Şekil 5.17).
- Northridge depremi altında ZKE’li çerçevede MÇ’den daha fazla kirişte plastik plastik mafsâl oluşmuştur. MÇ’de son beş kat kirişlerinde plastik mafsâl oluşurken, ZKE’li çerçevede tüm kirişlerde plastik mafsâl oluşmuştur. Statik öteleme analizi sonucunda; ZKE’li çerçevede MÇ’den daha fazla kirişte plastik mafsâl oluşmuştur (Şekil 5.18).

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, TDY (2007)'de moment aktaran kiriş-kolon birleşimi olarak önerilen zayıflatılmış kiriş enkesiti kaynaklı birleşimlerden teşkil edilen çerçevelerin deprem performansları araştırılmıştır. Bu amaçla, 4- ve 9- katlı iki moment çerçevesi üzerinden doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri ve statik öteleme analizleri yapılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla aynı analizler zayıflatılmış kiriş enkesiti kullanılmayan çerçeveler üzerinde de tekrar edilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- a) ZKE'li ve MÇ'li sistemlerde deprem hareketleri altındaki plastik mafsallık dönmeleri benzerlik göstermekle beraber bazı depremlerde (Düzce, El Centro gibi) MÇ'li sistemlerde daha büyük plastik mafsallık dönmeleri görülmüştür.
- b) ZKE'li sistemlerin yanal dayanımları beklendiği gibi daha düşüktür. Bu ZKE'li sistemlerin daha çok sünek olduğu anlamına gelmez. Sadece kirişlerin zayıflatılmasının taşıyıcı sistem yanal dayanımına etkisidir.
- c) Statik öteleme analizi ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizi sonuçlarına göre plastik mafsallık dönmeleri, tam olarak bir benzerlik göstermemektedir. 4- katlı çerçevede benzerlik daha fazla olmasına rağmen, 9- katlı çerçevede daha farklı olarak gözlenmiştir. Bu farklılıklar yüksek mod etkisinden kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi statik öteleme analizi tek modlu analiz olup yüksek modların etkisi göz önüne alınmamaktadır.
- d) Statik öteleme analizi sonuçları bulunan plastik mafsallık dönmeleri ZKE'li ve MÇ'li çerçevelerde oldukça benzerdir.
- e) ZKE'li ve MÇ'li sistemlerde göreceli kat öteleme oranları deprem hareketine bağlı olarak benzerlik ve bazen farklılıklar göstermektedir.
- f) Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, ZKE'li çerçevelerin deprem performanslarının MÇ'li çerçevelere oldukça yakın olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

B. AKBAŞ, “Çelik Yapılar ders notları”, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, GYTE 2009

TDY 2007, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, İzmit, 2007

ANSI / AISC 358, “Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications”, American Institute of Steel Construction, Inc. One East Wacker Drive, Suite 700 Chicago, Illinois 60601 – 1802, 2005

J. Jay Shen, N. Sutchiewcharn, and W. Cai and Bülent Akbaş “Seismic Demands on Column Splices in Special Steel Moment Frames”, Department of Civil and Architectural Engineering Illinois Institute of Technology and Department of Earthquake and Structural Engineering Gebze Institute of Technology, Turkey, 2007

D.T. Pachousmis, E.G. Galoussis, C.N. Kalfas, A.D. Christitsas, “Reduced beam section moment connections subjected to cyclic loading: Experimental analysis and FEM simulation”, Steel Structures Laboratory, School of Civil Engineering, Democritus University of Thrace Xanthi, 67 100 Greece, 2008

Kevin S. Moore, James O. Malley, Michael D. Engelhardt, “Design of Reduced Beam Section (RBS) Moment Frame Connections”, Structural Steel Educational Council Technical Information & Product Service, California, 1999

J. Shen, T. Kitjasateanphun, W. Srivanich, “Seismic performance of steel moment frames with reduced beam sections”, Department of Civil and Architectural Engineering, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL 60616, USA, 1999

ASCE 7-05, “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, American Society of Civil Engineers, 2005

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Elazığ'da doğdum. Babam esnaf, annem ev hanımıdır. İki kardeşim var. İlköğretimimi Malatya'da bitirdim. 1996 yılında Malatya Merkez İmam Hatip Lisesini bitirdim. Aynı yıl, Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne kaydoldum. 2001 yılında mezun olduktan sonra, serbest olarak çalışmaya başladım. 2004 yılında askerliğimi Tekirdağ'da kısa dönem er olarak yaptım. 2005 yılında Darıca Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi Olarak başladığım görevime devam etmekteyim.