

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK PERDELİ BİNALARIN DEPREM
PERFORMANSLARI

Emel ALTINTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
OCAK 2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK PERDELİ BİNALARIN DEPREM
PERFORMANSLARI

Emel ALTINTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

GEBZE
OCAK 2013



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21.01.2013 tarih ve 2013/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 15.02.2013 tarihinde Emel ALTINTAŞ'ın tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

ÜYE

: Doç. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE

: Doç. Dr. Bilge DORAN

ONAY

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

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN ADI: ÇELİK PERDELİ BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARI

YAZARI: Emel ALTINTAŞ

AISC 341 yatay ve düşey sınır elemanlarla kuşatılan çelik levha perdeli binalar için kapasite tasarımı ilkelerini de içermektedir. İnce berkitmesiz levhaların düşük yükleme seviyelerinde kesme kuvveti altında burkulması ve çekme alanı geliştirmesi süneklik sağlar ve enerjinin gövde levhasındaki çekmeden dolayı oluşacak akma ile dağıtılması beklenir. Düşey sınır elemanları levhada akma oluşacak şekilde tasarlanırlar ve plastik mafsalların gövde levhasının kirişe yakın bölgelerinde oluşması beklenir.

Bu çalışmada çelik levha perdeli binaların deprem davranışları incelenmiştir. Merkezi çaprazlı ve çelik levha perdeli iki çerçeve tasarlanıp bu çerçevelerin doğrusal olmayan davranışları farklı yer hareketleri altında incelenmiştir. Yapılan itme analizi sonucunda elde edilen itme eğrileri karşılaştırıldığında çelik levha perdeli çerçevenin yatay dayanımının çaprazlı çerçevelerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

SUMMARY

SUBJECT: COMPARISON OF STEEL PLATE SHEAR WALLS & BRACED FRAMES

WRITER: Emel ALTINTAŞ

The AISC 341 Seismic Design Provisions now include capacity design requirements for steel plate shear walls, which consist of thin web plates that infill frames of steel beams, denoted horizontal boundary elements (HBEs), and columns, denoted vertical boundary elements (VBEs). The thin unstiffened web plates are expected to buckle in shear at low load levels and develop tension field action, providing ductility and energy dissipation through tension yielding of the web plate. HBEs are designed for stiffness and strength requirements and are expected to anchor the tension field formation in the web plates. VBEs are designed for yielding of web plates and plastic hinge formation at the ends of the HBEs.

This paper assesses the behavior of code designed SPSWs. Two types of buildings are designed and their behavior is evaluated using nonlinear response history analysis for ground motions corresponding to different hazard levels. It is found that designs meeting current code requirements satisfy maximum interstory drift requirements considering design level earthquakes and have maximum interstory drifts of less than 5% for maximum considered earthquakes. Puhover analysis indicate that SPSW have higher lateral strength then special concentrically braced frames.

TEŞEKKÜR

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı çerçevesinde hazırlamış olduğum bu yüksek lisans tezinde yüksek katlı çaprazlı ve levha perdeli çelik binaların deprem performansları uygulamalı olarak karşılaştırılmıştır.

Tezin hazırlanmasında bana yol gösteren ve çalışmalarımı yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Bülent AKBAŞ'a, katkılarından dolayı Doç. Dr. Yasin FAHJAN'a, Doç. Dr. Bilge DORAN'a, hayatım boyunca yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ocak 2013

Emel ALTINTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. Amaç ve Kapsam	1
1.3. Tezin Organizasyonu	2
2. ÇELİK LEVHA PERDELİ BİNALAR	3
2.1. Mekanik ve Davranış	5
2.2. Davranış ve Tasarım	7
2.3. Çelik Levha Perdeli Binalarda Sistem Gereklilikleri	10
2.3.1. Rijitlik	10
2.3.2. Levha	11
2.3.2.1. Levhada Delik	15
2.3.3. Rijitlik Levhası	15
2.3.4. Korunan Bölge	15
2.4. Birleşimler	16
2.4.1. Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Şartı	16
2.4.2. Gerekli Dayanım	16
3. ANALİZ YÖNTEMLERİ	18
3.1. Süneklik	18
3.2. Çelik Yapılarda Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Kriterleri	19
3.2.1. Doğrusal statik ve dinamik yöntemler	20
3.2.2. Doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemler	20
3.2.3. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi (Pushover)	22
3.2.3.1. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme	27

3.2.3.2.	Performans Seviyeleri	28
3.2.3.3.	Elastik Deprem Spektrumunun (İvme –Periyot) Oluşturulması	30
3.2.4.	Tasarım Kuvvetleri (FEMA 355F)	33
3.2.4.1.	Yatay Yük Şekli	33
3.2.4.2.	Periyot Tanımı	35
3.2.4.3.	Hedef Yer Değiştirme (FEMA 355F)	36
3.2.4.4.	Görelî Kat Ötelemesi (FEMA 355F)	39
3.2.4.5.	Performans Değerlendirmesi (FEMA 355F)	39
4.	ANALİTİK ÇALIŞMA	41
4.1.	Yapısal Model	41
4.2.	9 Katlı Merkezi Çapraz Perdeli Bina	44
4.3.	9 Katlı Çelik Levha Perdeli Bina	50
4.4.	Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Geçmişî Analizleri	58
4.5.	Sonuçlar	66
5.	KAYNAKLAR	68
	ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR DİZİNİ

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.
AISC	: American Institute of Steel Construction.
ASCE	: American Society of Civil Engineers.
FEMA	: Federal Emergency Management Agency,
ASD	: Allowable Strength Design
LRFD	: Load and Resistance Factor Design

SİMGELER DİZİNİ

Δ = katın görelî kat ötelemesi oranı

Δ_x = şeritler arası mesafe

a = kolonlar arasındaki levha genişliği

A_b = kirişin kesit alanı

A_c = kolonun kesit alanı

A_s = şerit elemanların kesit alanı

B_1 = bir saniyelik spektral ivme için kullanılan etkili sönüm oranına bağıli katsayı

B_s = spektral ivme için kullanılan etkili sönüm oranına bağıli katsayı

$\hat{C}$ = tasarım görelî kat ötelemesi

C_0 = spektral yer değıştirmeyi çatı yer değıştirmesiyle ilişkilendiren katsayı

C_1 = beklenen maksimum inelastik yer değıştirmelerle doğrusal elastik davranış için hesaplanan yer değıştirmeleri ilişkilendirmek için katsayı

C_2 = çevrimsel eğrinin maksimum yer değıştirme davranışına etkisini gösteren katsayı

C_3 = P-delta etkisinden dolayı yer değıştirme artışını gösteren katsayı

C_B = eğilim çarpanı

C_{vx} = düşey dağılım faktörü

= talep görelî kat ötelemesi

E = levhanın elastisite modülü

F = perdeye uygulanan yanal kuvvetler

F_a = kısa periyot spektral ivme parametrelerine bağıli katsayı

f_e = doğrusal elastik dayanım talebi

F_v = bir saniye periyot spektral ivme parametrelerine bağıli katsayı

F_y = dolu kesit için akma gerilmesi

f_y = sunulan dayanım

G = çeliğin kayma modülü

h = kat yüksekliği

HBE = Yatay sınır elemanı

h_i = i. kattan tabana olan yükseklik

h_n = Kirişler arasındaki levhanın net yüksekliği

h_x = x. kattan tabana olan yükseklik

I_b = kirişin levha çizgisi yönüne göre dik alınan atalet momenti

I_c = kolonun levha çizgisi yönüne göre dik alınan atalet momenti

K_e = etkili yatay rijitlik

K_i = yapının başlangıç yatay rijitliği

L = kolon merkezleri arasındaki mesafe

L_{cf} = kolon başlıkları arasındaki net açıklık

M_p = nominal eğilme dayanımı

M^*_{pb} = Kirişlerin kolon merkezindeki plastik mafsallardaki beklenen tasarım burulma dayanımı

M^*_{pc} = Kolonların alt ve üst düğüm noktasının kiriş merkezinde eksenel kuvvetten dolayı azalmayla birlikte tasarım nominal burulma dayanımları

n = şerit eleman sayısı

$P_{HBE(VBE)}$ = VBE’de gövde levhasındaki çekmeden dolayı HBE’nin ucunda oluşan eksenel kuvvet

P_{VBE} = VBE’de oluşan eksenel kuvvet

Q_{ce} = deformasyon kontrolü etkisindeki dayanım

Q_{cl} = kuvvet kontrol etkisindeki dayanım

R = dayanım azaltma katsayısı

R_y = beklenen akma gerilmesinin minimum akma gerilmesine oranı

S_1 = bir saniye periyotlu spektral ivme

S_a = spektral ivme

S_s = kısa periyotlu spektral ivme

S_{xs} = kısa periyot spektral ivme parametresi

T = periyot

T_e = yapının göz önünde bulundurulmuş yöndeki efektif temel periyodu

T_i = doğrusal dinamik çözümlemeden elde edilen serbest titreşim periyodu

T_s = spektrumun sabit ivme bölümünden sabit hız bölümüne geçerken periyodu

t_w = levha kalınlığı

u_{max} = doğrusal olmayan sistemin maksimum yer değiştirmesi

u_y = akma yer değiştirmesi

V = taban kesme kuvveti

V_{BE} = düşey sınır elemanı

V_{HBE} = levhadaki çekmeden dolayı HBE’de oluşan kesme kuvveti

V_t = hedef yer değiştirmedeki taban kesme kuvveti

V_{VBE} = levhadaki çekmeden dolayı VBE’de oluşan kesme kuvveti

V_y = iki doğru ile idealize edilmiş kapasite eğrisinin akma noktasındaki taban kesme kuvveti

W = toplam ölü ve hareketli yük

w_i = i. katta atanan toplam yapı ağırlığı W ’nin bir kısmı

w_x = x. katta atanan toplam yapı ağırlığı W ’nin bir kısmı

α = düşey düzleme göre ölçülen derece cinsinden levhanın akma açısı

δ_t = hedef yer değiştirme

θ_m = maksimum görelî kat ötelemesi açısı

μ = süneklik katsayısı

σ = levha çekme gerilmesi

σ_{11} = yatay sınırdaki asal gerilme

σ_{12} = yatay sınırdaki kayma gerilmesi

σ_{21} = düşey sınırdaki kayma gerilmesi

σ_{22} = düşey sınırdaki asal gerilme

Φ = dayanım azaltma katsayısı (LRFD)

Ω = güvenlik katsayısı (ASD)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Tipik çelik levhalı perde	4
2.2. Gövde plakasının, sınır elemanların ve çelik levha perdeli sistemin serbest cisim diyagramları	6
2.3. Çelik levha şerit modeli	12
2.4. Gövde levhasında akma meydana geldiğinde kolon ve kirişlerde oluşan gerilme dağılımları	13
2.5. Tipik çelik levha perdesinde tanımlamalar ve sistem gereklilikleri	17
3.1. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	19
3.2. Çelik eleman ya da birleşim için genelleştirilmiş yük-deformasyon ilişkisi	21
3.3. Tek kat göçme mekanizması	21
3.4. Statik itme ve modal kapasite eğrileri	25
3.5. n. moddaki inelastik tek serbestlik dereceli sistemin itme eğrisi özellikleri	26
3.6. Davranış Spektrumu ve Modal Kapasite Diyagramı	26
3.7. Tipik sismik talep kapasite ilişkisi a) güvenli tasarım; b) güvenli olmayan tasarım	27
3.8. Mevcut yapılarda performans seviyeleri ve yer değiştirme	29
3.9. Genel spektrum eğrisi	31
3.10. Yatay yük şekli	34
3.11. Efektif rijitliğin hesabı	36
4.1. Çelik kolonların moment–eksenel kuvvet etkileşim diyagramı	42
4.2. Seçilen deprem hareketleri için davranış spektrumları	43
4.3. Merkezi çaprazlı perdeyle modellenen çerçevenin plan ve kesiti	44
4.4. Çaprazlara atanan plastik mafsallık noktaları	45
4.5. Çaprazlara FEMA 356'ya uyumlu olarak atanan plastik mafsallar	45
4.6. Merkezi çaprazlı çerçeveye ait mod şekilleri	46
4.7. Merkezi çaprazlı binaya ait kapasite spektrumu	47
4.8. Merkezi çaprazlı çerçeveye ait hedef yer değiştirmede itme analizi sonucunda oluşan plastik mafsallar	48
4.9. Merkezi çaprazlı çerçeveye ait 3δ 'ya ulaşıldığında oluşan plastik mafsallar	48

4.10. Merkezi çaprazlı sistemin itme eğrisi	49
4.11. 2. kattaki çapraz elemana ait plastik mafsallık durumu	49
4.12. Tipik şerit model	51
4.13. Tekrarlayan eksenel yüklemeler altında şerit modele ait yük deformasyon ilişkisi	53
4.14. Şerit model	53
4.15. Şeritlere atanan plastik mafsallık noktaları	54
4.16. Şeritlerin yer değiştirme kontrol parametreleri	54
4.17. Şerit model çerçeveye ait mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları	55
4.18. Çelik levha perdeli binaya ait kapasite spektrumu	55
4.19. Şerit modele ait hedef yer değiştirme anında oluşan plastik mafsallar	56
4.20. Şerit modele ait 3δ 'ya ulaşıldığında oluşan plastik mafsallar	56
4.21. Çelik levha perdeli sistemin itme eğrisi	57
4.22. Şerit elemana ait plastik mafsallık durumu	57
4.23. Merkezi Çapraz ve Çelik Levha Perdeli sistemlerin statik itme eğrileri	58
4.24. LA depremlerine ait normalize edilmiş davranış spektrumları	59
4.25. LA depremlerine ait yer ivmesi-zaman bağıntıları	60
4.26. LA 23 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değiştirme - zaman ilişkisi	62
4.27. LA 23 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli	62
4.28. LA 23 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki göreceli kat ötelemeleri	62
4.29. LA 29 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değiştirme - zaman ilişkisi	63
4.30. LA 29 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli	63
4.31. LA 29 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki göreceli kat ötelemeleri	63
4.32. LA 30 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değiştirme - zaman ilişkisi	64
4.33. LA 30 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli	64

- 4.34. LA 30 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki görelî kat ötelemeleri 64
- 4.35. LA 39 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değıştirme - zaman ilişkisi 65
- 4.36. LA 39 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değıştirme anındaki deformasyon şekli 65
- 4.37. LA 39 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki görelî kat ötelemeleri 65

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. S_s kısa periyot spektral parametrelerine bağlı olarak F_a değerleri	31
3.2. S_1 bir saniye periyot spektral parametresine bağlı olarak F_v değerleri	31
3.3. Sönüm katsayıları β sönüm oranına bağlı olarak B_s ve B_1	33
3.4. Modifikasyon faktörü için değerler, C_0	37
4.1. Deprem hareketlerinin karakteristik özellikleri	43
4.2. Merkezi çapraz perdeli sistem eleman boyutları	45
4.3. Lineer Olmayan Yöntemlerin Kabul Kriterleri ve Modelleme Parametreleri (Fema 356, Tablo 5-6)	46
4.4. Plaka kalınlıkları ve eleman boyutları	50
4.5. Şerit model özellikleri	52
4.6. Levha en boy oranı	53
4.7. Çelik Levha Perdeli Yapılar İçin Lineer Olmayan Yöntemlerin Kabul Kriterleri ve Modelleme Parametreleri (Fema 356, Tablo 5-6)	54
4.8. Deprem etkisindeki merkezi çaprazlı bina ve çelik levha perdeli binanın göreceli kat öteleme oranları (%)	61

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Çelik yapı tasarımı çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. Mimari, ekonomi, zaman ve stabilite bunlardan bazılarıdır. Çelik yapı tasarımı için bilinen yöntemler gün geçtikçe gelişmekte ve gerçekçi yaklaşımlarla taşıyıcı sistem oluşturulmasına imkân sağlamaktadır.

Tasarımda kullanılan yöntemlerden biri de performansa dayalı tasarımıdır. Performansa dayalı tasarımda, farklı performans seviyelerine göre taşıyıcı sistemin modellenmesi hedeflenmektedir. Çelik yapıların tasarımında kullanılan taşıyıcı sistem elemanları farklı performanslar göstermektedir. Bu performans farklılıkları mühendisin tasarım aşamasında karşılaşıacağı şartlara göre nasıl bir yapı modeli oluşturması gerektiği yönündeki kararında önemli rol oynamaktadır.

Çelik perdeli binalar merkezi, dışmerkez çelik çaprazlı ve çelik levha perdeli olarak tasarlanabilirler. Bu tez çalışmasında Amerika, Kanada ve Japonya'da kullanılan fakat ülkemizde henüz çok kullanılmayan çelik levha perdeli binaların deprem performansları araştırılacaktır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla benzer bir bina taşıyıcı sistemi merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Sonuçlar performansa dayalı tasarım ilkelerine ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizlerine göre değerlendirilmiştir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu araştırmanın amacı çelik perdeli binaların deprem performanslarını araştırmaktır. Çelik perdeli binaların deprem performanslarını belirlemek amacıyla yüksek katlı bir bina ana taşıyıcı sistemi merkezi çaprazlı çelik perdelerden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan binaya doğrusal olmayan itme analizi uygulanmış ve dört adet deprem yer hareketi etki ettirilerek deprem performansı araştırılmıştır.

Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla benzer bir bina taşıyıcı sistemi çelik levha perdeli olacak şekilde tasarlanmış ve aynı şekilde doğrusal olmayan itme analizi yapılmış, aynı deprem yer hareketlerine maruz bırakılmıştır. Her iki binanın da (perdeli ve merkezi çaprazlı) görelî kat ötelemeleri, plastik mafsalları ve dayanımları zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişı analizleriyle belirlenerek karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

1.3. Tezin Organizasyonu

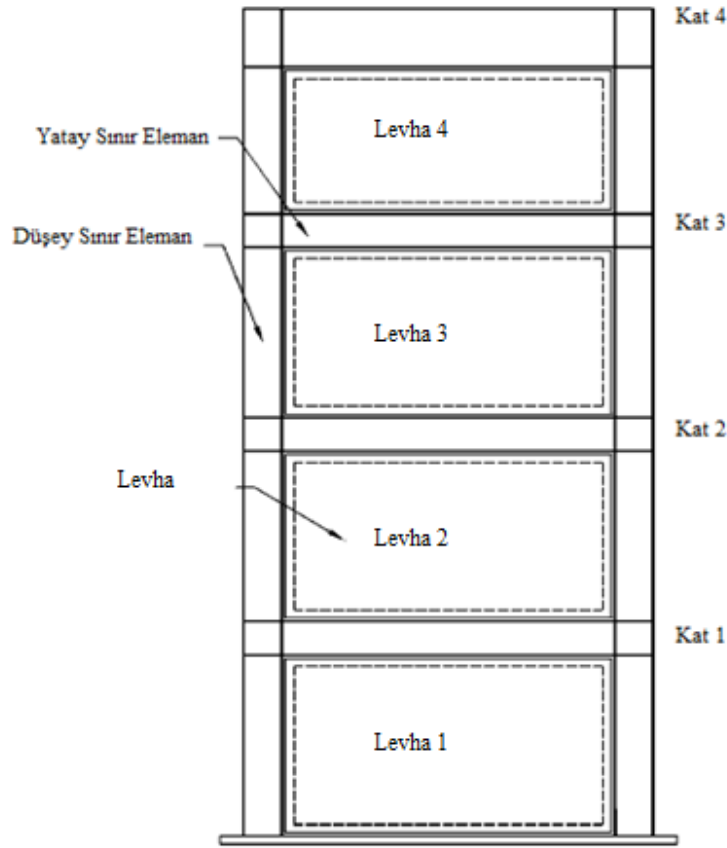
Bu çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

- a. İlk olarak çelik levha perdeli binalar ve bunların davranışı hakkında bilgi verilmiştir.
- b. Çelik levha perdeli binalar ve sistem gereklilikleri yönetmeliklere göre anlatılmıştır.
- c. Analiz yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.
- d. Çelik perdeli binaların tasarım parametreleri ve analizi anlatılmış sonuçlar karşılaştırılmıştır.
- e. Son olarak yapılan analiz sonuçları sunulmuş ve yorumlanmıştır.

2. ÇELİK LEVHA PERDELİ BİNALAR

Çelik levha perdeleri yeni bir fikir gibi görünse de daha yönetmeliklerde yerini almadan kullanılmaktaydılar. Bu tarz yapılar ilk kez Japonya’da 1960’lı yılların sonunda yapılmıştır. Günümüzde çelik levha perdeleri Amerika, Japonya, Tayvan ve Kanada’da deprem tehlikesinin olduğu bölgelerde bina taşıyıcı sistemi olarak kullanılmaktadırlar.

Çelik levha perdesi yatay yüklere karşı koyan kolon ve kirişlerin arasını çelik plakayla dolduran ve bir veya daha çok açıklık boyunca yapının bütün yüksekliği boyunca devam eden konsol perde yapıda bir sistemdir. Şekil 2.1.’de çelik levha perdeli bina elemanları görülmektedir. Bu perdeler çevrimsel inelastik deformasyonlarda yüksek başlangıç rijitliği sergiler, yüksek sünek davranışları vardır ve kayda değer enerji sönümlerler. Bu karakteristik özellikler yani deprem yüklerine karşı koymaları ve sönümlemeleri bu sistemleri tercih edilebilir yapar. Sayısız araştırma programı çelik levha perdeli binaların deprem, rüzgar gibi yatay yüklerin karşılanmasında etkili olduğunu göstermiştir. Dahası ekonomik sonuçlar da vermiştir (Timler ve ark., 1998). Bu perdeler sadece yeni yapılarda değil mevcut yapılarda da güçlendirme amacıyla kullanılmaktadırlar. Yönetmeliklerde yer alan kiriş kolon birleşimleri bu perdeler için de kullanılabilir. Geleneksel çelik levha perdeleri kolon ve kirişlere bağlı olarak ince ve berkitmesiz levhalardan oluşur (Şekil 2.1.). Çelik levha perdelerinin oldukça dayanıklı, sünek ve sağlam olduğu yapılan araştırmalar ve deneyler sonucu görülmüştür (Timler ve Kulak, 1983).



Şekil 2.1. Tipik çelik levhalı perde (Bruneau ve ark., 2005)

1980’lerde yapılan araştırmalarda bu perdeler için limit durumları levhanın düzlem dışı burkulması göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Burkulmayı önlemek için mühendisler oldukça rijit çelik levha perdesi tasarlamışlardı ancak bu perdelerin betonarme perdelerle göre ekonomik olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte yapılan deneysel araştırmalar ve analizler ince levhalı çelik perdelerin yarı statik ve dinamik yüklemeler altında makul sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Çelik levha perdeleri kapasite tasarımı gereklilikleri diğer depreme dayanıklı sünek çelik sistem hükümleriyle tutarlıdır. Kapasite tasarımı ilkelerine göre, kirişler ve kolonlar (sınır elemanlar) perde levhasında beklenen dayanımı sağlayabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Çelik perde sismik dayanımı levha gövdesinde oluşan kesme kuvvetiyle gelişir. Çelik levhalı perdeler çok yaygın olmamasına rağmen, deprem sonrası hemen kullanım ve işlevsellik gerektiren birkaç temel yapının güçlendirilmesi için kullanılmıştır. Rijitlikleri nedeniyle deprem kuvvetlerinden dolayı oluşan kesme kuvvetini karşılayabilmişlerdir. Levhaların rijitliği burkulmayı

önlemek için yeterlidir. Deneysel araştırmalar yeterli dayanım ve rijitlikteki kolon ve kirişlerin gövde levhası basınç bölgesindeki kuvvetin istenilen davranışı sağlamadaki önemini göstermektedir. Ayrıca levha en boy oranındaki azalışın levha dayanımında artış sağladığı ve rijitlikte önemli bir değişikliğe sebep olmadığı bulunmuştur. Bu artış 1.0 ve 2.0 arasındaki oranlarda ihmal edilebilir ancak 1.0'den az olduğu durumda göz önünde bulundurulacak düzeydedir (Behbahanifard ve ark., 2003).

2.1. Mekanik ve Davranış

Çelik levhalar levhada oluşan burkulma davranışlarına göre kategorize edilirler. Gövde levhası burkulmayı önlemek için yeterli rijitlikte olabilir ve levha akma kapasitesi sınırına ulaşabilir. Bu tür perdeler 'güçlendirilmiş' olarak bilinirler. Ama güçlendirilmemiş plakalardan daha ekonomik değildirler ve bu perdelerde gövde levhasında burkulma beklenir.

Şekil 2.2. çok katlı çelik levha perdeli bir binadaki uygulanan kuvvetler altında oluşan herhangi bir kattaki levhanın ve sınır elemanlarının serbest cisim diyagramlarını göstermektedir. Bu sisteme etkiyen F kuvveti altında gövde levhasında çekme kuvvetinden dolayı akma meydana gelir. Kolonlarda ve kirişlerde levhaya sınır olan kısımlarında kuvvetin yönüne bağlı olarak çekme ve basınç kuvvetleri oluşur.

Şekil 2.2.'deki semboller:

HBE = Yatay sınır elemanı

VBE = Düşey sınır elemanı

F = perdeye uygulanan yanal kuvvetler

$P_{HBE(VBE)}$ = VBE'de gövde levhasındaki çekmeden dolayı HBE'nin ucunda oluşan eksenel kuvvet

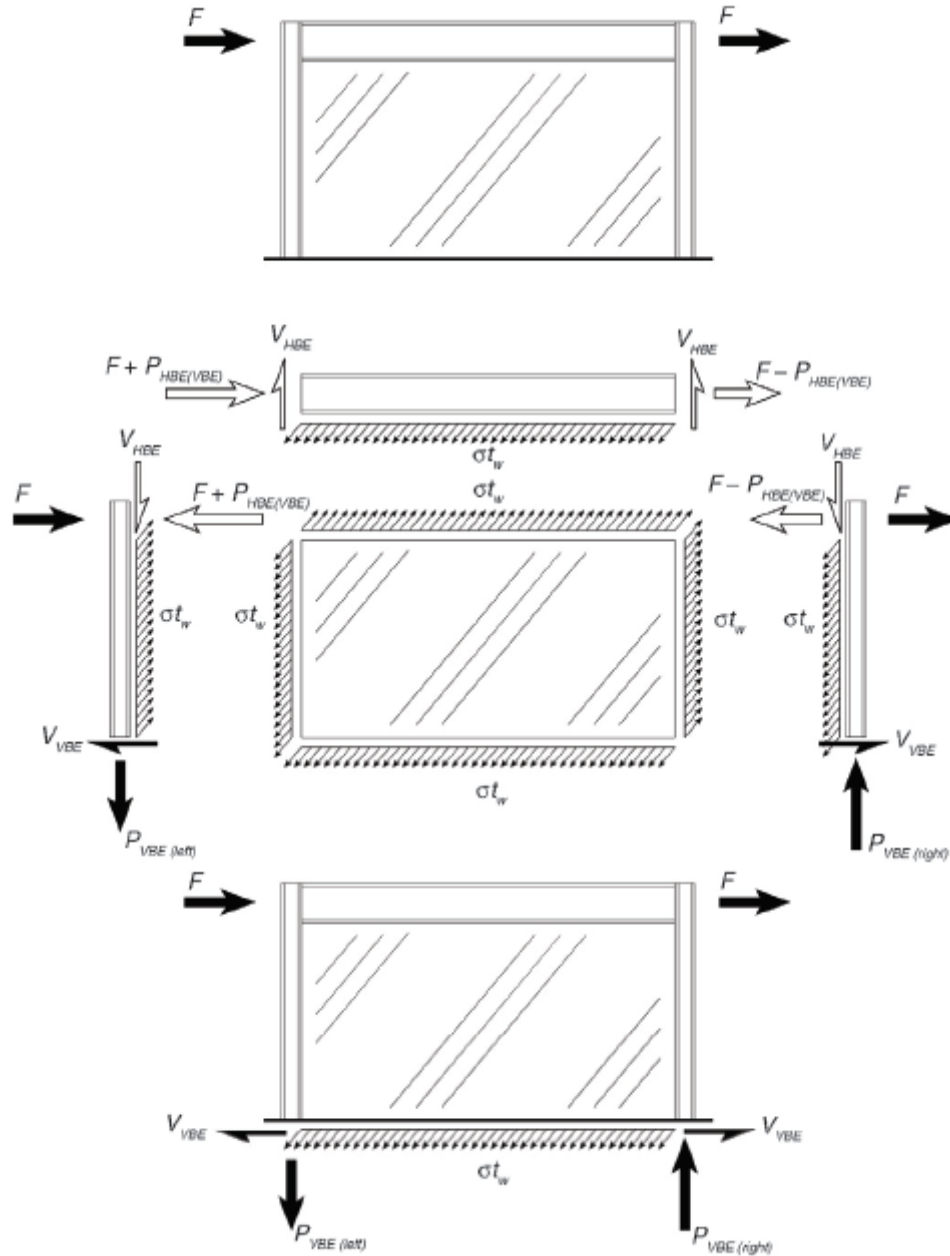
P_{VBE} = VBE'de oluşan eksenel kuvvet

V_{HBE} = Levhadaki çekmeden dolayı HBE'de oluşan kesme kuvveti

V_{VBE} = Levhadaki çekmeden dolayı VBE'de oluşan kesme kuvveti

t_w = Levha kalınlığı

σ = Levhadaki çekme gerilmesi ($R_y F_y$)



Şekil 2.2. Gövde plakasının, sınır elemanların ve çelik levha perdeli sistemin serbest cisim diyagramları (AISC 341-10, 2010).

Tipik olarak çelik levha perdelinde gövde plakası rijit değildir, narindir. Levha büyük çekme kuvvetlerine karşı koyabilirken çok küçük basınç kuvvetine karşı koyabilir ya da basınç kuvvetine karşı koyamaz. Yatay yükler sisteme etkirken, prensip olarak basınç kuvveti (kesme kuvvetine 45° olacak şekilde) levha basınç dayanımına ulaşmadan kesme kuvveti levhanın kapasite sınırına ulaşmasına neden

olur. Bu noktada levha burkulur ve diyagonal katlanma çizgisi oluşur. Yatay yükler levha sayesinde çekme kuvveti ile VBE'lere iletilir.

Tasarımda yatay yüklerin levha yüksekliği boyunca çekme kuvvetinden dolayı akmaya sebep olacağı varsayılır. Bu nedenle levha yükleri her katta aynıdır. İdeal olarak levha her seviyede eşit olarak çekme kuvvetinden dolayı akma kapasitesine ulaşır ya da yaklaşık olarak ulaştığı kabul edilir ve sistemde akma kesme kuvvetinden dolayı oluşur. Kirişlerde akma özellikle tabanda, izin verilmeyen bir durumdur. Rijitlik levhalarının kullanılması durumunda ise bu levhaların eğilmeden dolayı akması kesme kuvvetinden dolayı akma mekanizmasının bir parçası olarak beklenen bir durumdur (Ericksen ve Sabelli, 2008).

2.2. Davranış ve Tasarım

Çelik levha dört tarafından sınır elemanlarına kaynak veya bulonlu olarak bağlanmalıdır. Çelik levha perdeler sismik yatay yükleri tek başına veya başka elemanlarla birlikte karşılayacak şekilde tasarlanır. Kolon veya kirişler sınır elemanları olarak değerlendirilir.

Süneklik düzeyi yüksek çelik levha perdeli sistemlerde levhada akma ve HBE'nin uçlarında plastik mafsall oluşması doğrusal olmayan deformasyon yapımları sonucu oluşur.

Çelik levha perdeli bir çerçevenin yatay (deprem, rüzgar) yükler altındaki davranışı gövde levhası güçlendirilmiş yüksek gövdeli kirişin düşey yükler altındaki davranışına eşdeğerdir. Dikey yerleştirilmiş yüksek gövdeli çelik kirişe benzer şekilde çalışan sistemde kenar kolonlar yüksek gövdeli kirişin düşey sınır elemanları, kat kirişleri de yüksek gövdeli kirişin yatay sınır elemanları olarak göz önüne alınabilir. Bilindiği gibi düşey yükler altındaki yüksek gövdeli kirişin hesabında göz önüne alınan en önemli davranış biçimi gövde levhasının kesme kuvvetleri altındaki davranışdır. Bu kuvvetlerden doğan gerilmeleri karşılayacak levhanın narin bir levha olması sebebiyle üzerine belirli aralıklarla rijitlik elemanları tespit edilir ve böylece kiriş gövdesi dört kenarı basit mesnetli daha küçük panellere bölünmüş olur.

Panel, kayma gerilmelerinin artması ile birlikte öncelikle elastik burkulmaya maruz kalacak ve bunu takip eden burkulma sonrası yükleme seviyelerinde diyagonal çekme alanı etkisi ile daha fazla yük taşıyabilecektir. Çelik levha perdeli binaların tekrarlı yatay yükler altındaki dayanım, süneklik ve çevrimsel davranışı üzerine yapılan analitik ve deneysel çalışmalar bu etkinin önemli seviyede enerji sönümleme sağladığı sonucunu vermiştir (Timler, 1998).

Çelik levhalı perdeler rijitlik levhalı ya da rijitlik levhası kullanılmadan uygulanabilir. Rijitlik levhalı çelik levha kullanılması hedef levhanın kesme kuvveti altında akma kapasitesine ulaşmadan önce burkulmasının önüne geçmektir. Rijitlik levhası kullanılmadan yapılan uygulamada ise çelik levhanın burkulmasına izin verilir ve kat kesme kuvvetleri elastik burkulma sonrası oluşan diyagonal çekme alanı etkisi ile taşınır. Aynı kat kesme kuvvetini taşıyan rijitlik levhası kullanılmayan durumdaki gövde levhası kalınlığı, rijitlik levhası kullanıldığı duruma göre daha fazla olacaktır. Ancak yapılan araştırmalar rijitlik levhasının kullanılmadığı düz levha uygulamasının daha ekonomik olacağı yönünde sonuçlar vermiştir (Timler, 1998).

Çelik levha perde tasarımında göz önüne alınan önemli eleman davranış şekilleri aşağıda verildiği gibi sıralanabilir (Astaneh-Asl, 2001):

Çelik levha:

1. Levhanın kolon-kirişlere bağlantısı bulonlu ise bulonların kesme davranışı
2. Çelik levhanın burkulması
3. Çelik levha malzemesinin kesme kuvvetleri altında akması
4. Çelik levhanın yırtılması

Üst ve alt kat kirişlerinde:

1. Levhanın üstünde ve altında yer alan kat kirişlerinin kesme etkisi ile akması
2. Kirişlerde plastik mafsallık oluşması
3. Kirişlerin gövde veya başlık plakalarının yerel burkulması
4. Rijit çerçeve ise kirişlerin moment aktaran uç birleşimlerinde çatlama
5. Kirişlerin eleman ya da yanal burulmalı burkulması
6. Kiriş üstü döşeme kesme bağlantı elemanlarının kırılması

Kolonlarda:

1. Kolonlarda plastik mafsall oluşması
2. Kolonların gövde veya başlık plakalarının yerel burkulması
3. Kolonların eleman seviyesinde burkulması
4. Kolon taban plakalarının yatay yükler altında çerçeve düzeyinde dönme dolayısıyla oluşan çekme kuvvetleri altında akması bağlantı bulonlarının kopması
5. Perde altı temellerde çatlama

Çerçevenin yatay yükler altında olumlu bir çevrimsel davranış sergileyebilmesi için hesaplarda yukarıda sıralanan davranış biçimlerinin belli bir sıra ile oluşması sağlanır. Örneğin, artan yükler altında yukarıda kolonlar için sıralanan davranış biçimleri kiriş ve levha davranışlarından sonra meydana gelmelidir. Sıralama önce levha, sonra alt ve üst kirişleri ve en son kolonlar şeklinde düşünülmelidir. Levhaları çok kalın, kolonları narin olarak düzenlenen bir çerçevede levhanın elastik burkulmasından önce kolonların burkulması veya üzerlerinde plastik mafsall oluşması olasıdır ve bunun olumlu bir çerçeve davranışı olduğu söylenemez. Özetle, çelik levha perdeli bir çerçevede levhalar yatay yük etkileri altında enerjilerini tüketmeden kiriş ve kolon göçmelerine izin verilememelidir.

Son yıllarda çelik levha perdeli sistemler üzerinde yoğunlaşan çalışmaların sonuçları yukarıda anlatılan ana prensipler doğrultusunda düzenlenerek bazı tasarım kuralları geliştirilmiştir. Amerikan yönetmeliği konuyla ilgili güncel verilerin sonuçlarını içeren yürürlükteki yönetmeliklerden biridir. Yönetmelikte verilen tasarım kuralları genel olarak çelik levhanın kalınlığı, diyagonal çekme alanının açısı, kolonlar arası temiz açıklık, kolon ve kiriş rijitlikleri ile levhanın kolon ve kirişleriyle birleşimleri üzerinedir. Daha önce inşa edilen çelik levha perdeli binalarda yatay yük taşıyıcı sistem hesabında çalışmada bahsi geçen analoji gereği yüksek gövdeli çelik kirişlere ait hesap yöntemleri kullanılmıştır.

2.3. Çelik Levha Perdeli Binalarda Sistem Gereklilikleri

2.3.1. Rijitlik

Doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle yapılan hesaplarda perdenin global rijitliği, K_w , şu şekilde hesaplanır (FEMA 356, Bölüm 5, Eşitlik 5-33):

$$K_w = \frac{12EI_c}{h^3} \left(\frac{I_b}{I_c} + \frac{a^3}{h^3} \right) \quad (2.1)$$

G = Çeliğin kesme modülü

a = Kolonlar arasındaki levhanın net genişliği

h_n = Kirişler arasındaki levhanın net yüksekliği

t_w = Levha kalınlığı

Düşey sınır elemanlarının atalet momenti, I_c , gövde düzleminde dik olarak alınan aksa göre eşitlik (2.2)'den az olmayacak şekilde alınır. Kirişlerin atalet momenti, I_b , alt ve üst plaka kalınlıkları farkının $0.0031L^4/h$ katından az olmayacak şekilde tasarım yapılır (ANSI/AISC 341-10, Bölüm F5, 4).

$$I_c \geq \frac{12EI_c}{h^3} \left(\frac{I_b}{I_c} + \frac{a^3}{h^3} \right) \quad (2.2)$$

I_b = Kirişin levha çizgisi yönüne göre dik alınan atalet momenti (mm^4)

I_c = Kolonun levha çizgisi yönüne göre dik alınan atalet momenti (mm^4)

L = Kolon merkezleri arasındaki mesafe (mm)

h = Kirişlerin merkezleri arasındaki mesafe (mm)

t_w = Levha kalınlığı (mm)

2.3.2. Levha

AISC gerekliliklerine göre genellikle tasarım gereklilikleri şu prensipleri takip eder;

Levhalar uygulanan yükten dolayı oluşan talep kesme dayanımıyla örtüşecek şekilde tasarlanır.

Çelik levhaların düşey yükleri karşılayabilmesi beklenmez. Levhaların bütün kesme dayanımına ulaşmasını sağlamak için, birleşimlerin gerekli dayanımları olarak levhanın tamamen akmış durumundaki beklenen akma dayanımı kullanılır ($R_y F_y$). Kesme kuvveti kolon ve kirişlerde yüksek olabilir ve limit durumu kesme kuvvetinden dolayı oluşan akmaya göre belirlenir.

Levha sınır elemanlarına bağlantılar kaynaklı veya bulonlu olarak sahada bağlanır ve imalathanede kolon ve kirişlere kaynaklanır.

Kolonlar ve kirişler levha beklenen çekme dayanımına α açısında ulaştığında elastik kalacak şekilde tasarlanır. Çünkü levhanın çekme kuvvetinden dolayı tamamen aktığı varsayılır, kolonlar, kirişler ve onların birleşimleri, levha ve yatay birleşim elemanlarının gerekli plastik moment dayanımları hesaplanırken düşey yüklerin etkisiyle birlikte düşünülerek tasarım yapılır.

Levhanın tasarım kesme dayanımı, ΦV_n (LRFD), ve emniyetli kesme dayanımı, V_n/Ω (ASD), kesmeden dolayı akma limit durumuna göre şu şekilde belirlenir:

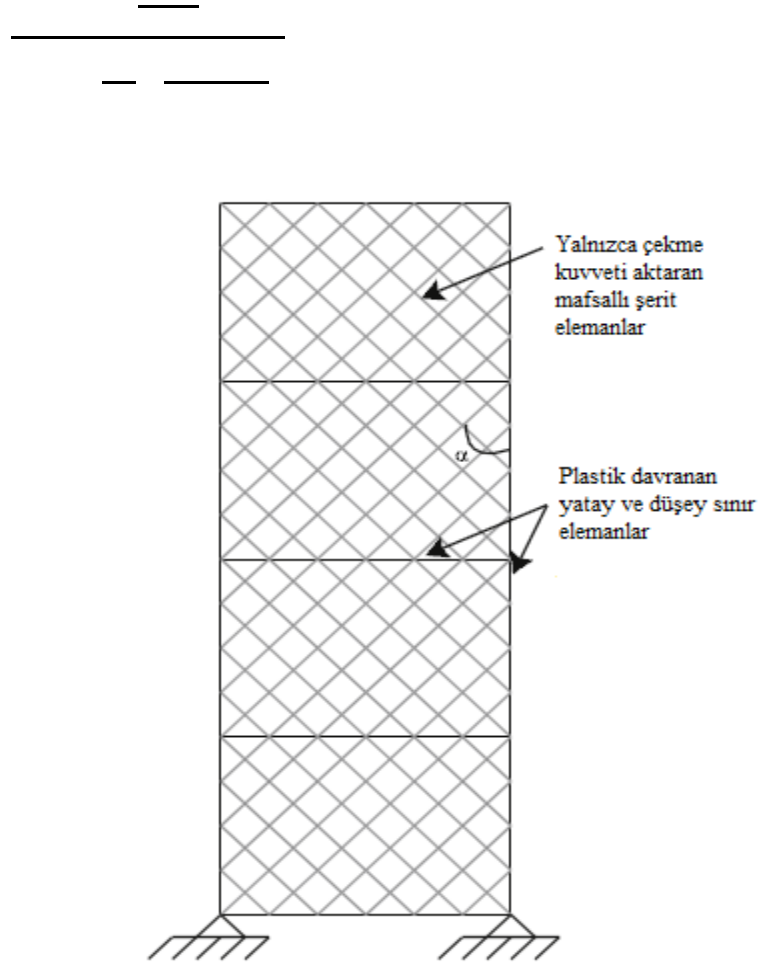
$$V_n = 0.42 F_y t_w L_{cf} \sin 2\alpha \quad (2.3)$$

$$\Phi = 0.9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$

L_{cf} = Kolon başlıkları arasındaki net açıklık (mm)

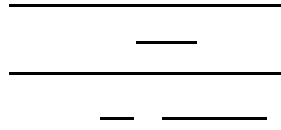
t_w = Levha kalınlığı (mm)

α = Düşey düzleme göre ölçülen derece cinsinden levhanın akma açısı. Eğim açısı, α , 40° alınabilir ya da şu şekilde hesaplanabilir:



Şekil 2.3. Çelik levha şerit modeli (Berman, 2011)

Şekil 2.3.'de kiriş ve kolonlardan (düşey yük taşıyor ya da taşıymıyor olabilir) meydana gelen tipik bir çelik levha perdesi, kesme kuvveti etkisiyle burkulan ince levha ve diyagonal çekme alanı formuyla yatay yükleri taşır. Timler ve Kulak (1983) elastik enerji dayanımına dayalı çekme alanı eğim açısı, α 'yı levha için aşağıdaki formüldeki eşitlikten türetmiştir:



Burada;

t = levha kalınlığı

h = kat yüksekliği (kirişlerin merkezleri arasındaki yükseklik)

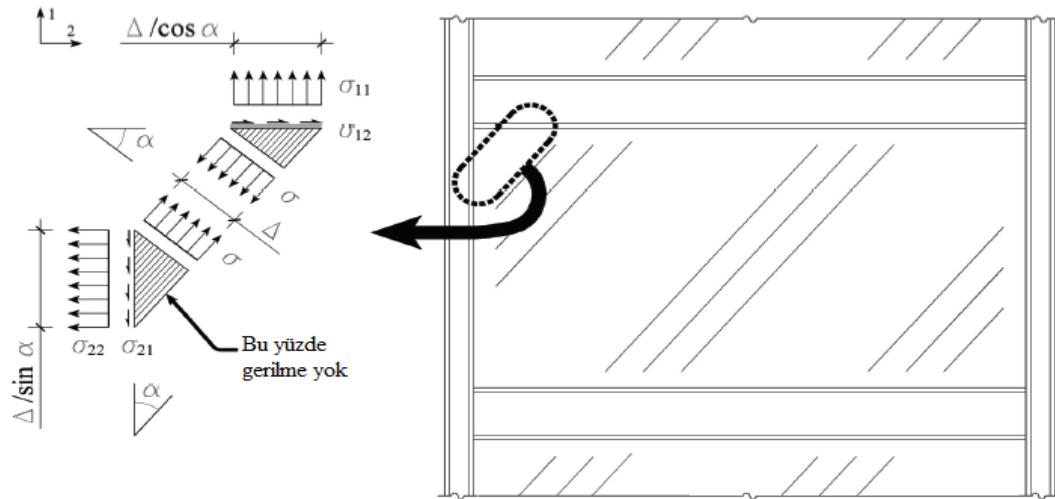
L_{cf} = levha genişliği

I_c = başlık levhasının atalet momenti

A_c = kolonun kesit alanı

A_b = kirişin kesit alanı

Formül türetilirken berkitme elemanının eğilme rijitliği bunun dışında tutulmuştur çünkü aşağı ve yukarı doğru gelişen karşılıklı çekme alanları neredeyse birbirini götürür ve sonuç olarak bu bölgede çok az bir eğilme oluşur. Şekil 2.4.'te gövde levhasında akma meydana geldiğinde kolon ve kirişlerde oluşan gerilme dağılımları görülmektedir.



Şekil 2.4. Gövde levhasında akma meydana geldiğinde kolon ve kirişlerde (sınır elemanlarda) oluşan gerilme dağılımları (AISC, Steel Plate Shear Walls, 2006)

Şekil 2.4.'de kullanılan semboller:

α = çekme gerilmesi açısı (düşeyden ölçülen)

Δ = levha genişliği

σ_{11} = yatay sınırdaki asal gerilme

σ_{12} = yatay sınırdaki kayma gerilmesi

σ_{22} = düşey sınırdaki asal gerilme

σ_{21} = düşey sınırdaki kayma gerilmesi

σ = levha çekme gerilmesi

$$\sigma_{11} = \sigma \cos^2(\alpha) \quad (2.6)$$

$$\sigma_{12} = \sigma \sin(\alpha) \cos(\alpha) = 1/2 \sigma \sin(2\alpha) \quad (2.7)$$

$$\sigma_{22} = \sigma \sin^2(\alpha) \quad (2.8)$$

$$\sigma_{21} = \sigma \sin(\alpha) \cos(\alpha) = 1/2 \sigma \sin(2\alpha) \quad (2.9)$$

α açısının her seviyesinde levhanın çekme kuvvetinden dolayı akma kapasitesine ulaştığı farz edilir. α açısı perde geometrisine ve sınır elemanlarının özelliklerine bağlıdır.

Eşitlik (2.3)'teki α eşitlik (2.5)'ten hesaplanır. Gövde levhasının tasarım kesme dayanımı ΦV_n olarak verilmiştir ve $\Phi = 0.90$ 'dır. Bu kurallara göre kiriş ve kolonlar tamamen akan gövde elemanlarına gelen kuvvetler altında aslında elastik kalır ama kirişlerin birleşim bölgelerinde burulma mafsallı oluşmasına izin verilir.

Yönetmeliklere göre $0.80 < L / h \leq 2.50$ en boy şartı sağlanmalıdır. Bu şart levha yüksekliğinin genişliğine oranını sınırlamak için kullanılmaktadır.

Fema 450 levha narinliğiyle ilgili şu tanımlamayı yapmıştır:



E = levhanın elastisite modülü

2.3.2.1. Levhada delik

Gövdedeki delikler başka şekilde test edilip doğrulanmadıkça ya da analiz edilmedikçe levhanın genişliği ve yüksekliği boyunca uzayan sınır elemanları ile sınırlandırılmıştır.

2.3.3. Rijitlik Levhası

Rijitlik levhaları sünek elemanlar için yönetmelikte tanımlanan sistem gereklilikleri şartlarını sağlamalıdır.

Sünek çelik kirişler için rijitlik levhaları şu gereklilikleri sağlamalıdır:

1. Kirişlerin iki başlığı da yanal olarak veya kiriş enkesiti burulmaya karşı desteklenmeli
2. Kiriş berkitmelerinin yanal ve burulma kiriş destekleri için gerekli eğilme dayanımı aşağıdaki gibi olmalıdır;

$$M_r = R_y F_y Z \quad (\text{LRFD}) \quad (2.11)$$

$$M_r = R_y F_y Z / 1.5 \quad (\text{ASD}) \quad (2.12)$$

M_r = Kirişin eğilme dayanımı (kNm)

R_y = Beklenen akma dayanımının minimum akma dayanımına oranı

F_y = Çeliğin akma dayanımı

Z = Plastik kesit modülü (mm^3)

2.3.4. Korunan Bölge

Çelik levha perdelerinin korunan bölgesi şunlardan oluşur:

1. Çelik levhanın gövdesi
2. Yatay ve düşey elemanlara bağlı elemanlar
3. Her yatay sınır elemanın sonundaki plastik mafsallık bölgesi (kolon yüzünden bir kiriş derinliği kadar) (L_{cf}).

2.4. Birleşimler

2.4.1. Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Şartı

Güçlü kolon zayıf kiriş şartı bütün kolon ve kiriş kesişimleri için levhaların etkisi göz önünde tutulmaksızın;

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1.0 \quad (2.13)$$

$\sum M_{pc}^*$ = Kolonların alt ve üst düğüm noktasının kiriş merkezinde eksenel kuvvetten dolayı azalmayla birlikte tasarım nominal eğilme dayanımları toplamı

$\sum M_{pb}^*$ = Kirişlerin kolon merkezindeki plastik mafsallarda beklenen tasarım eğilme dayanımı toplamı

2.4.2. Gerekli Dayanım

Rijitlik levhasından kolona birleşimde gerekli kesme dayanımı deprem yönetmeliğindeki arttırılmış deprem yüklerini içerek yük kombinasyonlarına dayalı olmalıdır. Arttırılmış deprem yükleri tanımı için, E_{mh} dayanım fazlalığını içeren yatay yük etkileri eşitlik (2.14)'le hesaplanan kesme kuvveti olarak α açısı oluştuğunda levhada çekme kuvvetinden dolayı meydana gelmesi beklenen akma dayanımı olarak alınabilir.

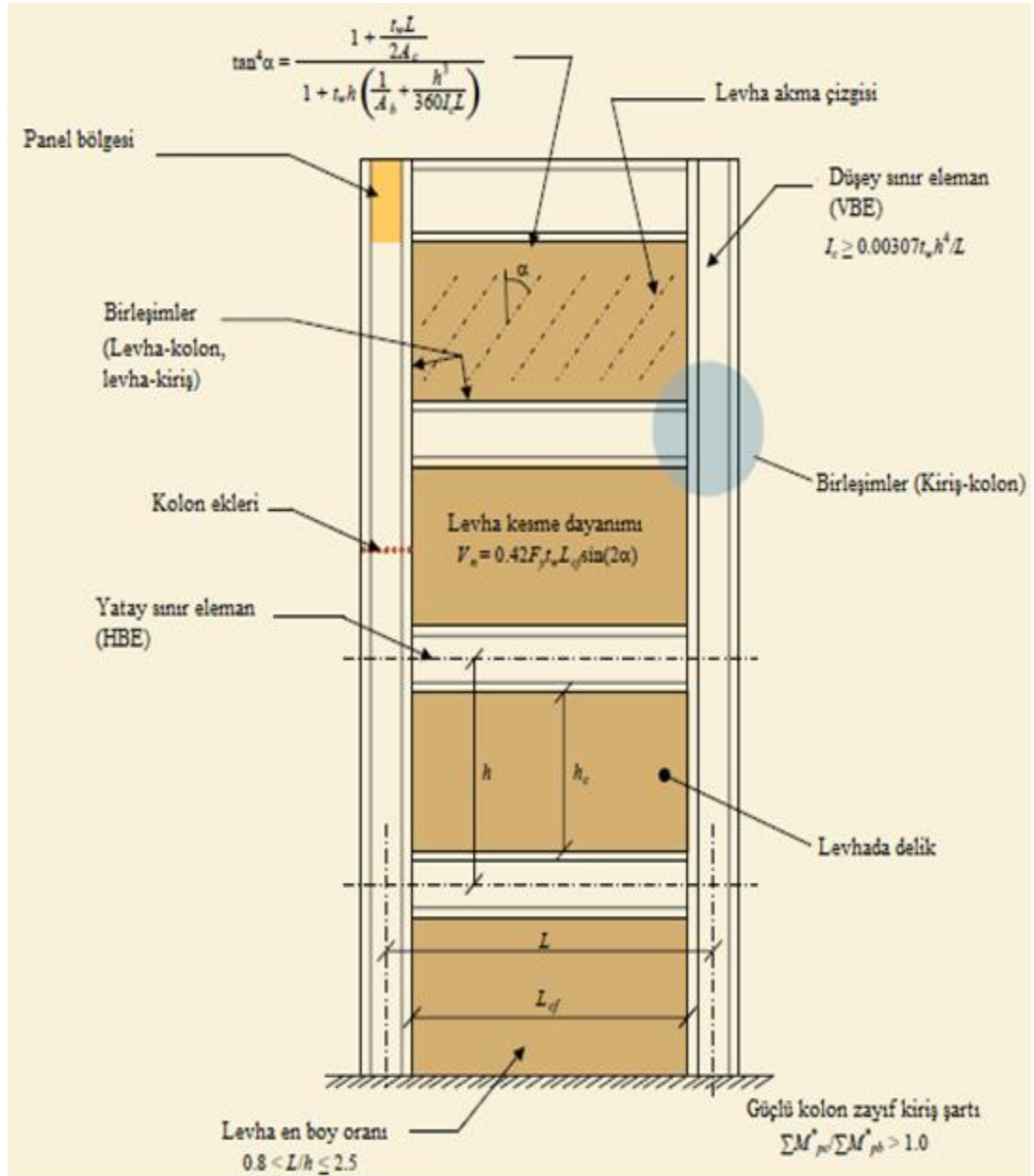
$$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.0 \quad (2.14)$$

M_p = Nominal eğilme dayanımı

R_y = Beklenen akma gerilmesinin minimum akma gerilmesine oranı

L_{cf} = Kolon başlıkları arasındaki net açıklık (mm)

Şekil 2.5.'te çelik levha perdesine ait tanımlamalar ve yönetmelikte tanımlanan sistem gereklilikleri görülmektedir.



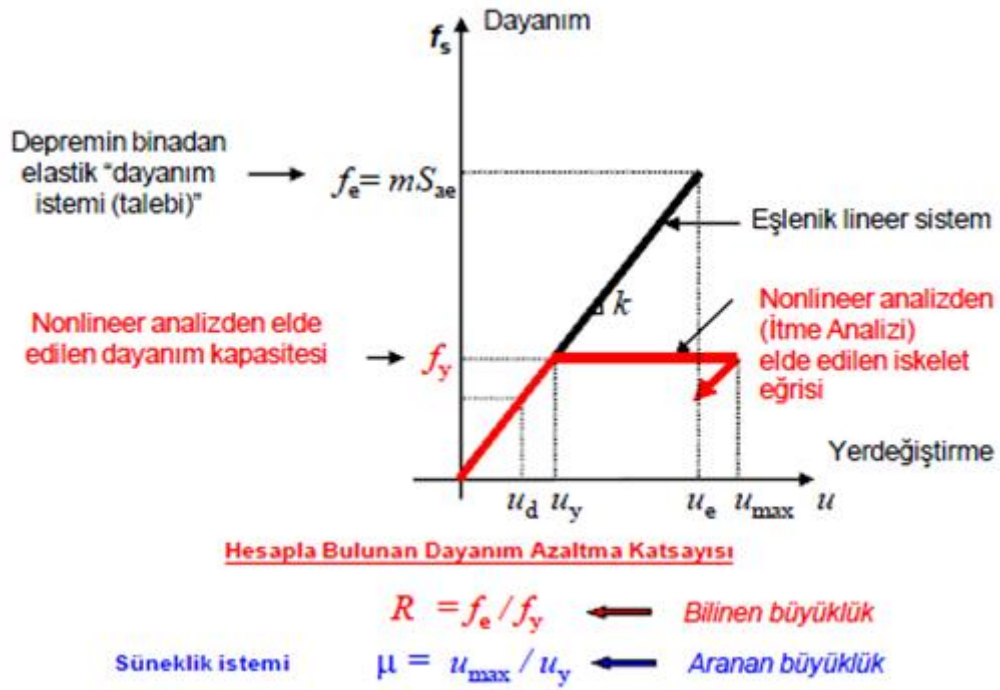
Şekil 2.5. Tipik çelik levha perdesinde tanımlamalar ve sistem gereklilikleri (Ericksen ve Sabelli, 2008)

3. ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1. Süneklik

Yapıların doğrusal elastik olarak kabul edilip hesaplanması daha kolaydır. Buna göre doğrusal olmayan bir deprem hesabı doğrusal elastik bir hesap yapılarak bulunan etkilerin süneklik oranında azaltılmasıyla elde edilen değerlere göre elemanların boyutlaması şeklinde yaklaşık olarak gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, modern deprem yönetmeliklerinde süneklik düzeyine bağlı olarak bir yapı davranış katsayısı (R) tanımlanmakta ve hesaplamalarda yapıya etkitilecek olan deprem kuvvetleri bu davranış katsayısına bölünerek azaltılmaktadır. Süneklik yapının göçmeden önce yapabileceği en büyük yer değiştirme yeteneğidir.

Yeni yapılan binalarda kullanıcıların can güvenliğini sağlamak şartıyla, şiddetli depremlerde bina taşıyıcı sisteminde belirli düzeyde hasara bilerek izin verilir. Tamamen ekonomik nedenlere dayalı bu yaklaşım doğrultusunda, depremin binadan elastik dayanım talebine olumsuz yanıt verilir ve Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, bina için bu talep değerinden daha küçük bir dayanım sunumu yapılır. Buna dayanım kapasitesi de denilebilir (Şekil 3.1’de f_y ile gösterilen ve akma dayanımı olarak da adlandırılabilen büyüklük: $f_y < f_e$). Bu durumda taşıyıcı sistem, sunulan dayanımı f_y olan bir doğrusal olmayan sistem olacaktır. Doğrusal olmayan sistemi niteleyen iki temel parametreden birincisi, Şekil 3.1’den görüldüğü üzere, Dayanım Azaltma Katsayısı’dır. R ile gösterilen bu katsayısı, doğrusal elastik dayanım talebinin (f_e) sunulan dayanıma (f_y) oranıdır: $R = f_e / f_y$. Süneklik Katsayısı olarak adlandırılan ve μ ile gösterilen ikinci temel parametre ise, doğrusal olmayan sistemin maksimum yer değiştirmesinin (u_{max}) akma yer değiştirmesine (u_y) oranıdır: $\mu = u_{max} / u_y$. Süneklik Katsayısı, bina (veya onun tasarımını yapan mühendis) tarafından sunulan dayanıma göre, depremin binadan talep ettiği plastik şekil değiştirmenin ölçüsüdür (Aydinoğlu, 2007).



Şekil 3.1. Şekil değiştirmeye göre değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı (Aydınoğlu, 2007)

3.2. Çelik Yapılarda Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Kriterleri

Çelik elemanlar deformasyon ya da kuvvet kontrollü olacak şekilde tasarlanırlar.

Deformasyon kontrol etkisi; Deformasyon kontrolü etkisindeki dayanımı tasarlarken, Q_{ce} , mekanikteki kabul kriterlerini kullanarak deneysel ya da hesapla bulunan dayanım alınır. Beklenen dayanım ilgili birleşenin muhtemel ortalama dayanımı olarak tanımlı deformasyon alanına göre tanımlanır. Beklenen ortalama dayanım hesaplanırken pekleşmeyi göz önünde bulunduran malzeme özellikleri kullanılır. Kesme davranışı deformasyon kontrollü olacak şekilde belirlenir.

Kuvvet kontrol etkisi; Kuvvet kontrol etkisindeki dayanım tasarımında, Q_{el} , mekanik prensiplerle kanıtlanan hesaplarla ya da deneye dayalı alt sınır dayanımından elde edilmelidir. Alt sınır dayanımı ortalama dayanım eksi bir standart

sapma olarak tanımlanır. Alt sınır dayanımını tanımlamak için hesap kullanıldığında alt sınır malzeme özellikleri kullanılır. Alternatif tasarım dayanım tanımlamaları kullanılacaksa deneysel olarak kanıtlanmalıdır.

Hedef yer değiştirmedeki taban kesme kuvveti, V_t , efektif akma dayanımının (F_y) %80'inden az olmayacak şekilde belirlenmelidir. Birincil ve ikincil elemanların dayanım alt sınırı maksimum tasarım kuvvetlerinden az olmamalıdır.

3.2.1. Doğrusal statik ve dinamik yöntemler

Doğrusal statik ve dinamik yöntemlere göre tasarım etkileri tasarım dayanımıyla doğrusal analiz yöntemlerine göre deformasyon veya kuvvet kontrollü olacak şekilde karşılaştırılabilir.

Doğrusal statik ve dinamik yöntemlerle yapılan analizlerde çelik levhanın beklenen kesme dayanımı, Q_{ce} , AISC (1993) LRFD Bölüm 6'daki eşitliklere göre $\Phi=1.0$, beklenen akma dayanımı F_{ye} , F_y yerine kullanılarak tanımlanır. Levha kirişin gövdesi olarak modellenebilir. Eğer burkulmayı önlemek için rijitlik levhası kullanılacaksa levhada burkulma olmayacakmış gibi yerleştirilir ve beklenen levha dayanımı eşitlik (3.1)'deki gibi hesaplanır:

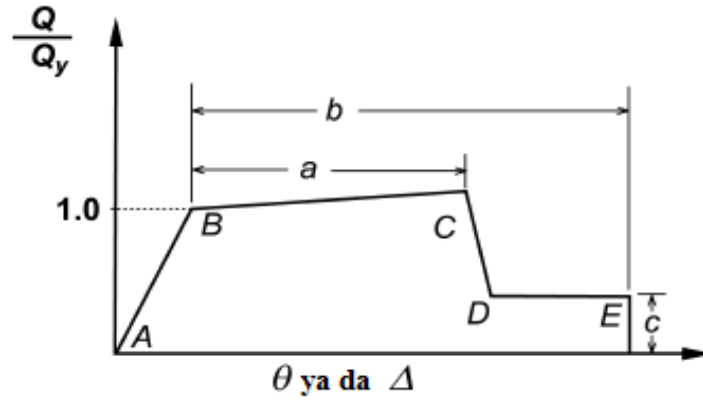
$$Q_{ce} = V_{ce} = 0.6F_{ye}at_w \quad (3.1)$$

a = kolonlar arasındaki levha genişliği

3.2.2. Doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemler

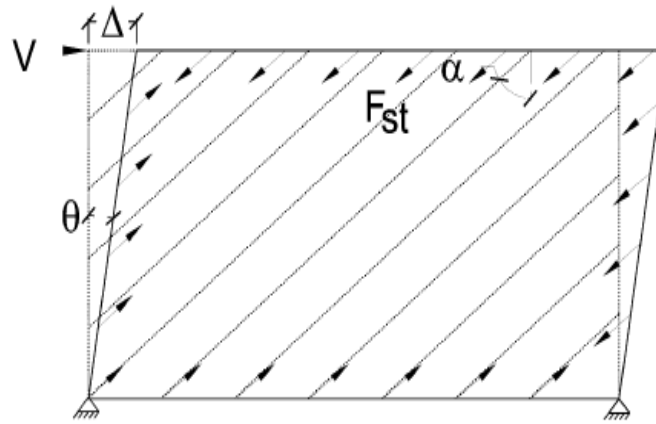
Doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemlere göre deformasyon kontrollü analiz yapılır. Birincil ve ikincil elemanların yer değiştirmeleri hesaplanan hedef yer değiştirmeyi geçmemelidir. Birincil ve ikincil eleman talepleri ikincil elemanlar için seçilen yapı performans seviyesi kabul kriterleri içinde kalmalıdır. Beklenen deformasyon kapasitesi bütün kuvvetler ve deformasyonları göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

Doğrusal olmayan statik ve dinamik yöntemlerle yapılan analizlerde genelleştirilmiş yük deformasyon grafiği Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çelik eleman ya da birleşim için genelleştirilmiş yük-deformasyon ilişkisi

Tasarımda kuvvetler direkt olarak modelden alınıp levha, yatay ve düşey sınır elemanları tasarlanabilir ya da levhada ortalama gerilme dağılımı varsayımı yapılarak tasarım yapılabilir.



Şekil 3.3. Tek kat göçme mekanizması (AISC, Steel Design Guide 20, SPSW)

Şekil 3.3.'teki tek kat için çelik levha perdesinin göçme mekanizmasını kullanarak taban kesme kuvveti için şu eşitlik yazılabilmektedir (Berman ve Bruneau, 2003).:

–

(3.2)

F_y = dolu kesit için akma gerilmesi

L = Kolonlar arasındaki mesafe

Diğer terimler daha önce tanımlandı.

3.2.3. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi (Pushover)

Çelik çerçeveli binaların deprem sırasındaki performansı şu şekilde tanımlanan ve çeşitli yönetmeliklerde tanımlanan dört faktörden etkilenir: (1) yer hareketinin şiddet karakteristiği; (2) tasarım kesme kuvveti ve tanımlanan tasarım kuvvetlerinin dağılımı; (3) yapısal elemanların kapasiteye dayalı kabul kriterleri ve izin verilen görelî kat ötelemesi; (4) detay gereklilikleri, (lokal burkulma vb). Tabi ki yönetmeliklerin kapsamadığı faktörler de vardır. Bu parametrelerden herhangi birinin değişimi yapının tasarımını ve buna bağılı olarak deprem sırasındaki performansını etkileyecektir. Sonuç olarak, bu faktörlerin diğerleri üzerindeki etkilerini bilmeden ve ölçmeden göz önünde bulundurmak uygun ve yeterli değildir (FEMA 355F, 2000).

Yapının deprem sırasındaki performansı yapısal konfigürasyon ve oran, yapının dinamik karakteristikleri, dayanım, rijitlik, birleşimlerin sünekliği, kullanılan yapısal olmayan elemanlar, malzemenin kalitesi, fabrikasyon ve inşada kullanılan yapı konstrüksiyonu, şantiye şartları, şantiyedeki yer hareketinin şiddet ve dinamiği gibi birçok faktöre bağılıdır. Sonuç olarak, sismik performans tahmini veya mevcut yapının değerlendirilmesi sırasında bu faktörler açıkça veya üstü kapalı olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Yeni veya mevcut bir yapının sismik davranışını tahmin etmek sadece sismik yanıtın karmaşıklığı ve göz önünde bulundurulması gereken pek çok faktörden değil bu tahminin yapılmasındaki belirsizliklerin birleşiminden dolayı oldukça karmaşıktır. Açık olarak gelecekteki deprem karakteristikleri, yapıya etkiyen yükleri ancak belirsizliklerden dolayı yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Yapı çeşitliliği tasarım yapan kişinin yaklaşımına ve tasarımına ya da depreme bağılı olarak farklılık gösterebilir. Analiz metotları gerçek davranışı analiz yöntemlerinden ve yapı modelinden dolayı tam olarak gösteremeyebilir. Bizim deprem sırasındaki yapı

davranışıyla ilgili bilgilerimiz tam değildir ve belirsizlikler içerir. Sonuç olarak sismik performans tahmini bu belirsizlikler göz önünde bulundurularak yapılır.

Performans hedefleriyle davranış parametreleri ilişkilidir. Performans hedeflerinden biri yapının göçmesini önlemektir. Tepki parametreleri geçici ya da kalıcı maksimum görelî kat ötelemeleri olabilir. Performans hedefi yapısal ve yapısal olmayan hasarın yapısal elemanlarda göçme olmayacak şekilde sınırlandırılmasıdır. Bu yüzden hedeflerden biri de tasarım ve değerlendirme sırasında görelî kat ötelemelerinin ve yapısal elemanlara gelen gerilimlerin seçilen analiz metoduna göre verilen deprem karakteristikleri için hesaplanmasıdır (FEMA 355F, 2000).

Sismik risk periyodun bir fonksiyonu olarak elastik davranış ivme spektrumu olarak ifade edilir.

Yönetmeliğin amacı yapıların bütün bölgelerde eşit seviyede performans sağlamasıdır. Amaç göz önünde bulundurulmuş maksimum deprem için göçmeye karşı eşit seviyede güvenlik sağlamaktır. Amerika'daki birçok bölge için tanımlanan yer hareketi 50 yılda aşılma olasılığı yüzde 2 olan depremdir (2/50). Bu tekrar etme periyodu 2475 yıl olan depremdir.

Performans değerlendirmesi bütün yeni binalar için tasarım aşamasının bir parçası olmalıdır. Performans seviyeleri işlevsellik için; yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmemesini, göçme öncesi için; bölgesel ya da geniş kapsamlı göçme olmaması ama finansal hasar meydana gelmesini kapsar.

Yer değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmesi çalışmaları esnasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya eyaletinde 1989 yılında meydana gelen Loma Prieta ve 1994'te Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar,

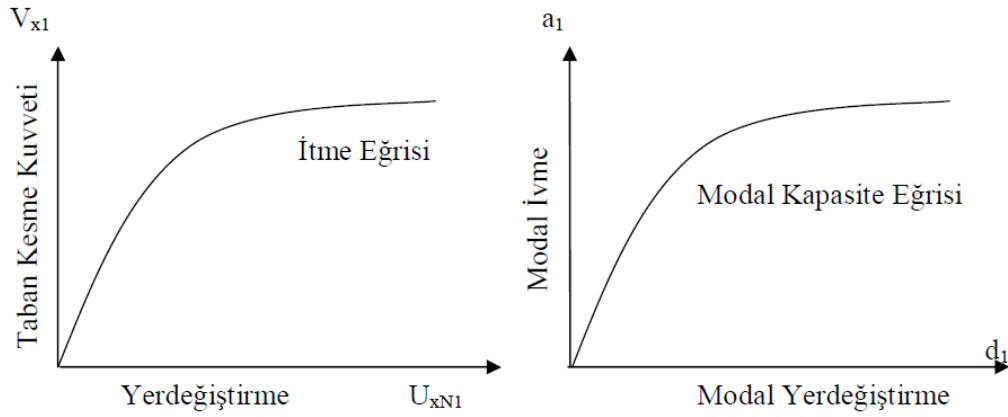
deprem etkileri altında can güvenliğini öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yer değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacını da ortaya koymuştur.

Statik itme (pushover) analizi olarak bilinen doğrusal olmayan statik yöntemin geçmişi 1970'li yıllara dayanmakla birlikte son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Statik itme analizinin amacı, yapının dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerini belirleyerek ilgili performans düzeylerindeki deprem talepleri ile karşılaştırmak suretiyle, yapının performansını değerlendirmektir. Bu yöntemde ikinci mertebe etkisi, malzemenin elastik ötesi davranışı ve iç kuvvetlerin yeniden dağılımı da dikkate alınmaktadır. İn elastik malzeme davranışı P-delta etkisinin hesaba katıldığı çerçeve modelin analizinde kullanılır. Model hedef yer değiştirmeye ulaşana ya da yapı göçene ya da kararsız duruma gelene kadar monoton bir şekilde yüklenir. Burada kastedilen statik kuvvet kontrollü itme analizidir. Analiz bazen her kata hedef yer değiştirmeye ulaşana kadar artan yer değiştirmeler uygulanarak yapılır. Burada kastedilen statik yer değiştirme kontrollü itme analizidir. Hedef yer değiştirme deprem sırasında meydana gelmesi muhtemel maksimum yer değiştirmeyi ifade eder. Hedef yer değiştirme, yer değiştirme cevabına doğrusal olmayan davranışın etkisini hesaba katan herhangi bir yöntemle hesaplanabilir. Çünkü matematik model direkt olarak inelastik davranışı hesaba katar, hesaplanan iç moment kuvvetleri ve deformasyonlar tasarım depremi sırasında yaklaşık olarak makul olacaktır (FEMA 355F, 2000).

Yapısal kapasite, yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin birleşimi olarak belirlenmektedir. Doğrusal elastik sınırın ötesindeki kapasitenin belirlenmesi söz konusu olduğunda, sistemin hesabının malzeme ve geometrik değişimler bakımından doğrusal olmayan teoriye göre yapılması gerekmektedir.

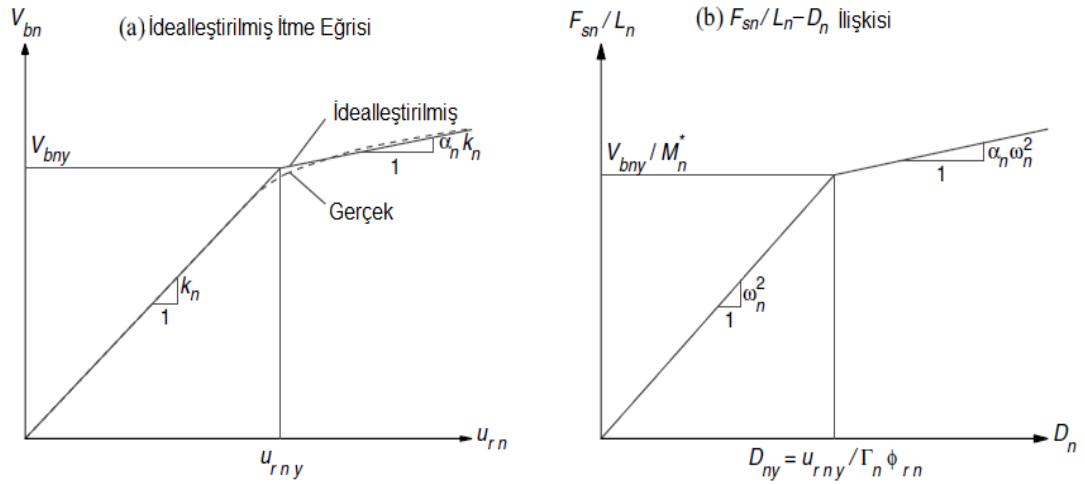
Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilmektedir. Bu eğri, taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yer değiştirme arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmekte ve bu sırada, yapı sabit yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında taşıma kapasitesinin sona erdiği sınır duruma kadar hesaplanmaktadır.

Performansa dayalı tasarımda kullanılan doğrusal olmayan statik hesap yönteminde, yapının kapasite eğrisi bir seri statik analiz sonucunda elde edilmektedir. Bir yapının “kapasite eğrisi” yanal kuvvetlerden elde edilen taban kesme kuvvetinin en üst kat yer değiştirmesine bağlı grafiği olmaktadır. Şekil 3.4.’te tipik itme ve kapasite eğrileri görülmektedir.



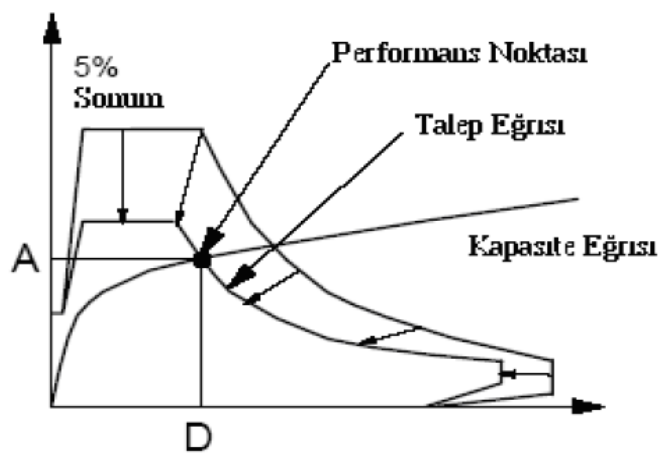
Şekil 3.4. Statik itme ve modal kapasite eğrileri

Yapısal kapasite eğrisi, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu esas alınarak belirlenen eşdeğer statik deprem kuvvetleri altında belirlenmektedir. Başka bir deyişle, yapıların davranışında birinci modun etkin olduğu varsayılmaktadır. Çok serbestlik dereceli sistemi çözerken tek serbestlik dereceli sistem için yapılan çözümlerden faydalanılmaktadır. Şekil 3.5.’te görüldüğü gibi itme eğrisinde elde edilen kesme kuvveti etkin kütleye (M_n) bölünerek spektral ivme değeri elde edilmekte, tepe noktası yer değiştirmesi ise o yöndeki modal katkı çarpanı (Γ) ve ardışık iki plastik mafsallı oluşumu arasındaki (i). itme adımı tanımlanan birinci mod şekline (ϕ) bölünerek spektral yer değiştirmesi elde edilmekte ve sonuç olarak çok serbestlik dereceli sisteme ait itme eğrisi eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme (kapasite diyagramı) dönüştürülmektedir.



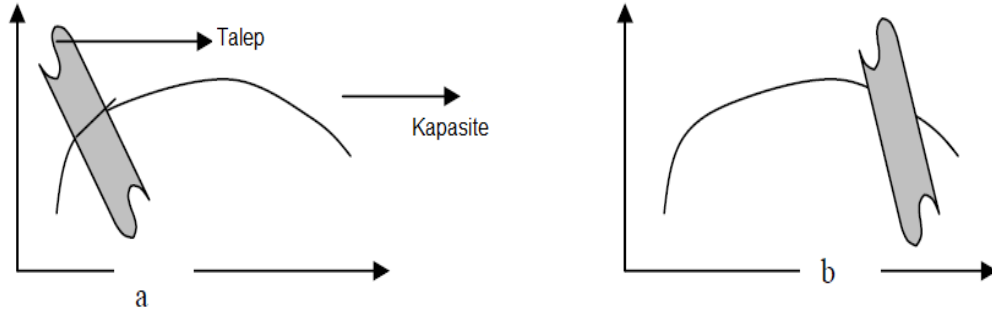
Şekil 3.5. n. moddaki inelastik tek serbestlik dereceli sistemin itme eğrisi özellikleri

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin üç temel parametresi talep, kapasite ve performans olarak tanımlanmaktadır. Burada talep, deprem hareketinin göstergesini, kapasite, yapının bu deprem etkisi altındaki davranışını temsil etmektedir. Performans ise talep spektrum eğrisi ile kapasite spektrum eğrisinin kesişim noktası ile ifade edilen (performans noktası), yapının taşıyıcı elemanlarının performans seviye sınırlarından hangisinde kaldığına göre belirlenen durum olmaktadır. Şekil 3.6.'da sembolik bir performans noktasının gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.6. Davranış Spektrumu ve Modal Kapasite Diyagramı

Şekil 3.7.'de tipik bir talep kapasite ilişkisi görülmektedir. Depremin yapıdan talep ettiği kapasiteye bağlı olarak tasarımın güvenli olup olmadığı hakkında yorum yapılabilmesi sağlanabilmektedir (Kadid ve Boumrkik, 2008).



Şekil 3.7. Tipik sismik talep kapasite ilişkisi a) güvenli tasarım; b) güvenli olmayan tasarım

Yapı için tanımlanan yapısal performans seçilen deprem hareketi altında değerlendirilerek belirlenebilir. Yapısal performans, yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların performans seviyelerinin genel ve kümülatif bir değerlendirilmesinin sonucunda elde edilir. Bir yapı için birden fazla deprem hareketi altında farklı performans hedefleri elde edilebilir.

3.2.3.1. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme

Tüm dünyada depreme dayanıklı yapı tasarımındaki temel tasarım felsefesi şu şekildedir:

1. Küçük sarsıntılarda yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar yok.
2. Orta şiddetteki sarsıntılarda yapısal olmayan elemanlarda sınırlı hasar, yapısal elemanlarda hasar yok.
3. Şiddetli sarsıntılarda yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar var ama göçme önlenmiş.

3.2.3.2. Performans Seviyeleri

Performans seviyesi yapıda veya yapı elemanında gözlenebilen ve tanımlı hasardır. Bu, yapının yıkılmasından pencere ve cephe çatlaklarına kadar olabilir. En önemli amaçlardan biri de yapının performans seviyesini ve hedefini tanımlamak ve tespit etmektir. Performans seviyesi ve hedefi Wen ve Foutch (1997) tarafından hazırlanan son SAC raporuna göre şöyle yorumlanmıştır:

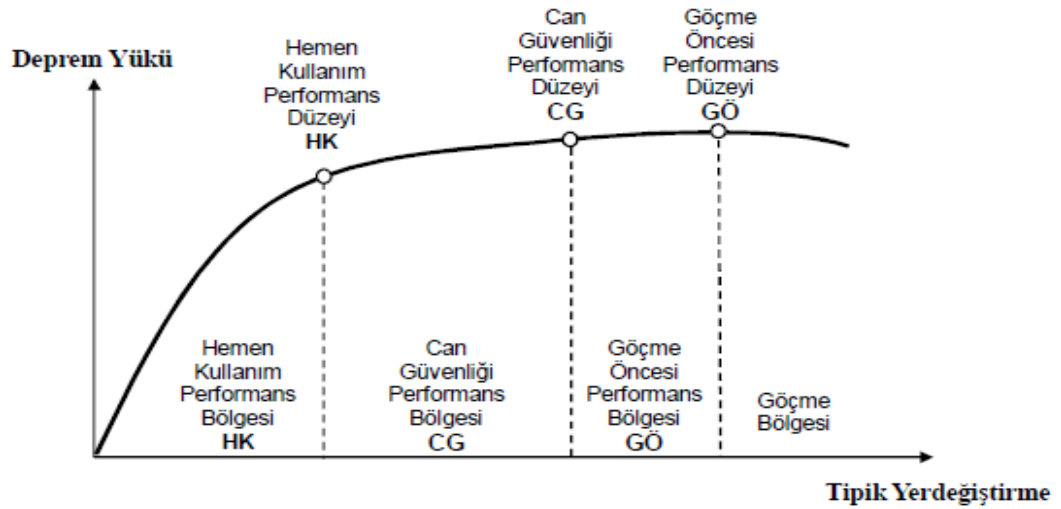
1. Performans seviyelerinin yükler ve dayanımla ilgili belirsizlikleri belirtilmelidir. Performans seviyeleri direkt olarak çeşitli performans hedefleri için olası terimlerle tanımlanmalıdır. Performans hedefi birleştirilmiş yer hareketlerinden oluşan spektralar ve yapısal performans kriterleri için her seviyede tatmin edici seviyeye ulaşmalıdır.
2. Performans seviyeleri göçme başlamadan önce bütün performans seviyelerini kapsmalı ve gözlemlenebilen tanımlanmış davranış hesaplanabilir yapı davranışıyla birleştirilmelidir. Hesaplanan yapı davranışı ve sismik risk seviyesine karar verilmeli ve performans hedefi için uygun limit kullanılmalıdır. Örneğin göçme öncesi göreceli kat ötelemesi %9 ve hasar öncesi %2 gibi.
3. Hedef dayanım seviyesine risk karşılaştırması yaparak sismik ve diğer risklerden dolayı her performans seviyesinde beklenen kayıp ve hasarla bağlantılı olarak karar verilmelidir. Değerlendirme ve tasarım için farklı performans hedeflerini içeren basit birtakım kabul kriterlerine göre hedef dayanım seviyeleri kullanılabilir.

Tanımlanan dört performans seviyesi şöyledir:

1. İşletme seviyesi – Yapılar bu performans seviyesinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda minimum ya da hiç hasar görmeden kalırlar. Yapı istenen tasarım için uygundur.

2. Hemen kullanım seviyesi – Yapılar bu performans seviyesinde yapısal elemanlara minimum ya da hiç hasar görmez ve yapısal olmayan elemanlarda çok az hasar görürler. Yapı bu performans seviyesinde şiddetli depremle karşılaştığında, yapısal olmayan elemanlar işlevini yerine getirmeyebilir.
3. Can güvenliği seviyesi – Yapılar bu performans seviyesindeyken yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar görülebilir. Onarım gerekebilir ve bu ekonomik olmayabilir. Bu yapıda yaşam riski düşüktür.
4. Göçme öncesi seviyesi – Yapılar bu performans seviyesinde şiddetli yapısal hasar ve yapısal olmayan elemanlarda önemli kayıplar görebilirler. Bununla birlikte yapı göçmediği için can kaybı olmaz.

Şekil 3.8.'de Türk deprem yönetmeliğinde tanımlandığı şekilde bu performans seviyeleri görülmektedir.



Şekil 3.8. Mevcut yapılarda performans seviyeleri ve yer değiştirme (Aydinoğlu, 2007)

Bu performans seviyelerine göre verilen göreceli kat ötelemeleri oranları şöyledir; işletme seviyesi $< 0.5\%$, can güvenliği 1.5% ve 0.5% , göçme yakınlarında 2.5% .

3.2.3.3. Elastik Deprem Spektrumunun (İvme–Periyot) Oluşturulması

Amerika’da yeni yapılacak yapılar için, Fema tarafından hazırlanan haritalardan deprem spektrumlarını oluşturmak için gerekli parametre değerleri alınabilmektedir. Bu haritalardan, binanın bulunduğu bölge ile ilgili spektral değerler olan ve spektrum eğrisinin oluşturulmasında kullanılacak, kısa periyot ivme parametresi S_s ve bir saniye periyot ivme parametresi S_1 değerleri bulunur. Ülkemizde de bu değerleri elde edebilmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Fema 356’ya göre spektrum oluşturabilmek için bazı parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Kısa periyot spektral ivme parametresi S_{xs} ve bir saniye spektral ivme parametresi S_{x1} ;

$$S_{xs}=F_a S_s \quad (3.3)$$

F_a = kısa periyot spektral ivme parametrelerine bağlı katsayı

S_s = kısa periyotluk spektral ivme

$$S_{x1}=F_v S_1 \quad (3.4)$$

F_v = bir saniye periyot spektral ivme parametrelerine bağlı katsayı

S_1 = bir saniye periyotluk spektral ivme

şeklinde hesaplanır.

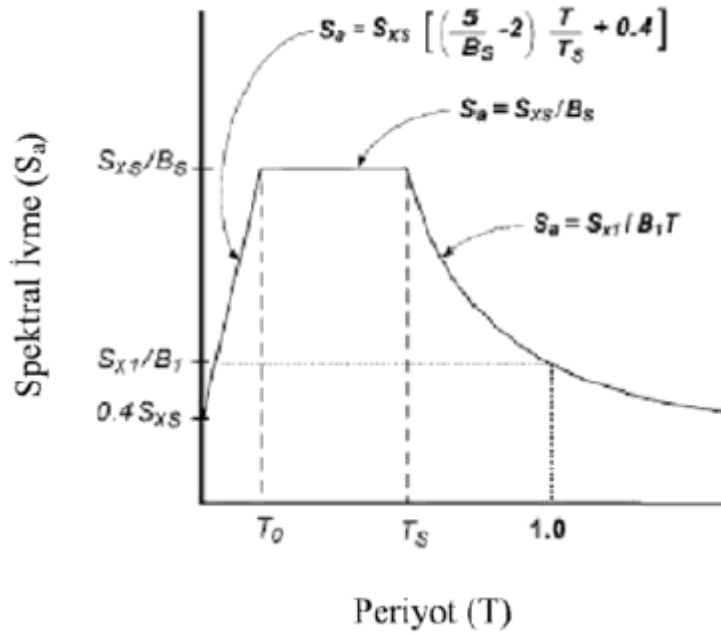
Zemin özelliklerini göz önüne almakta kullanılan F_a ve F_v değerleri Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.’de tanımlanmıştır (FEMA 356).

Zemin Sınıfı	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.5$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1.0$	$S_1 \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1
C	1.2	1.2	1.1	1	1
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	*	*	*	*	*

Tablo 3.1. S_s kısa periyot spektral parametrelerine bağlı olarak F_a değerleri

Zemin Sınıfı	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	*	*	*	*	*

Tablo 3.2. S_1 bir saniye periyot spektral parametresine bağlı olarak F_v değerleri



Şekil 3.9. Genel spektrum eğrisi (FEMA 356)

Yapının performans amacının belirlenmesinde etkili olan davranış spektrumu Şekil 3.9.'da gösterildiği gibi olup;

$$T_s = \text{——} \quad (3.5) \quad T_0 = 0.2T_s \text{ olmak üzere}$$

$$S_a = \text{—— - ——} \quad 0 < T < T_0 \quad (3.6)$$

$$S_a = \text{——} \quad T_0 < T < T_s \quad (3.7)$$

$$S_a = \text{——} \quad T_s < T \quad (3.8)$$

S_a = spektral ivme

B_1 = bir saniyelik spektral ivme için kullanılan etkili sönüm oranına bağlı katsayı

B_s = spektral ivme için kullanılan etkili sönüm oranına bağlı katsayı

S_{xs} = kısa periyot spektral ivme parametresi

T = periyot

Spektrum ifadesindeki B_s ve B_1 katsayıları tavsiye edilen %5 sönümden farklı sönümü göz önüne almak için olup Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Etkili Sönüm Oranı β	B_s	B_1
≤ 2	0.8	0.8
5	1	1
10	1.3	1.2
20	1.8	1.5
30	2.3	1.7
40	2.7	1.9
≥ 50	3	2.0

Tablo 3.3. Sönüm katsayıları β sönüm oranına bağlı olarak B_s ve B_1 (FEMA 356)

3.2.4. Tasarım Kuvvetleri (FEMA 355F)

3.2.4.1. Yatay Yük Şekli

Doğrusal olmayan statik yöntem bir yük durumu tanımlamayı gerektirir. Bu yükler hedef yer değiştirmeye ulaşılan ya da yapı kararsız hale gelene kadar arttırılır. Yatay yükler yapıdaki profillere yaklaşık olarak depremdeki iç kuvvetlerin dağılımı gibi uygulanır. En az iki yatay yük düşey dağılımı göz önünde bulundurulur. Birincisi yatay yüklerin her katın ağırlığıyla orantılı şekilde, ikincisi aşağıda tanımlanan iki seçenektan biri alınır (ASCE 7-10).

1. Yatay yük durumu eğer göz önüne alınan yönde etkin mod kütle katılımı %75'den fazlaysa eşitlik (3.10)'de verilen C_{vx} değeriyle kullanılabilir. X kat seviyesinde uygulanan F_x yatay yükü aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanmıştır:

$$F_x = C_{vx}V \quad (3.9)$$

$$C_{vx} = \frac{V_x}{V} \quad (3.10)$$

$$K = T \leq 0.5 \text{ sn ise } 1.0$$

$$T \geq 2.5 \text{ sn ise } 2.0$$

Ara değerler için interpolasyon yapılır.

C_{vx} = düşey dağılım faktörü

V = taban kesme kuvveti

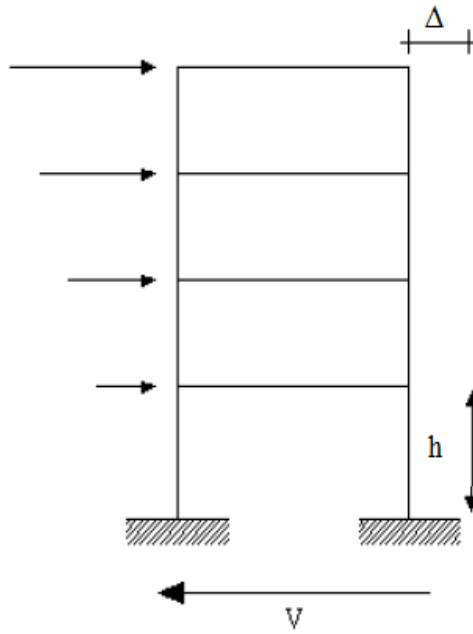
w_i = i. katta atanan toplam yapı ağırlığı W 'nin bir kısmı

w_x = x. katta atanan toplam yapı ağırlığı W 'nin bir kısmı

h_i = i. kattan tabana olan yükseklik

h_x = x. kattan tabana olan yükseklik

Yatay yük şekli ve grel kat ötelemesi sembolik olarak Şekil 3.10.'da verildiği gibi olmaktadır.



Şekil 3.10. Yatay yük şekli

2. Yatay yük durumu modal kuvvetlerin yeterli mod sayısını sağlayan toplam kütlenin %90'ını içeren analizle elde edilen davranış spektrumuyla ya da yaklaşık yer hareketi spektrumuyla elde edilen kombinasyonlardan hesaplanan kesme kuvvetiyle uyumlu kat i kuvvetleriyle orantılıdır.

3.2.4.2. Periyot Tanımı

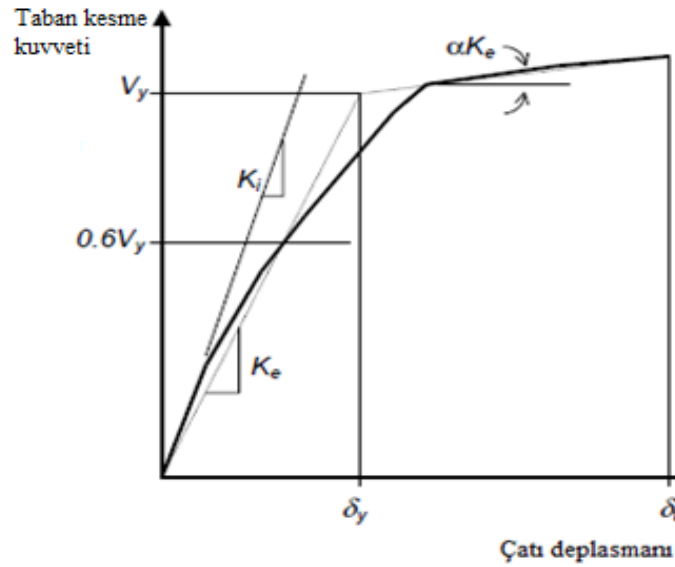
Doğrusal olmayan statik yöntemdeki kuvvet yer değiştirme ilişkisine göre göz önünde bulundurulmuş yönlerdeki efektif temel periyot T_e 'dir. Hedef noktadaki taban kesme kuvveti ve yer değiştirme arasındaki doğrusal olmayan ilişki yapının efektif yatay rijitliği K_e ve akma dayanımı V_y 'nin tahmini için doğrusal hale getirilir. Yapının tasarım depremi altında yapacağı en büyük yer değiştirmeyi diğer bir deyimle performans noktasını hesaplayabilmek için sistemin etkili yatay rijitliğini hesaplamak gerekir ki bunun için kapasite eğrisi iki adet doğru ile idealize edilir. İki adet doğru ile idealize edilmiş, doğrusal hale getirilmiş kapasite eğrisi Şekil 3.11.'de verilmiştir. Bu işlem kapasite eğrisi altında kalan alanın eşit olması prensibinden hareketle yapılır. Dikkat edilmesi gereken nokta, ikili doğrusal gösterim ile gerçek kapasite eğrisinin performans noktasında kesişmesi gereğidir. Bunu sağlamak için, iteratif bir uygulamaya gidilmesi gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda kapasite eğrisi üzerindeki bir nokta, performans noktası olarak tahmin edilir. Buna bağlı olarak yeni bir performans noktası hesaplanır. Hesaplanan performans noktası, tahmin edilen noktaya, kabul edilebilir düzeyde yakınsayana kadar iterasyona devam edilir. Burada K_i başlangıçta yapı yatay rijitliğini, K_e ise idealize edilmiş kapasite eğrisinin ilk doğrusunun eğimi olan etkili yatay rijitliği temsil etmektedir. Efektif yatay rijitlik taban kesme kuvvetinin akma dayanımının %60'a eşit olduğu noktadaki hesaplanan sekant rijitliği olarak alınır.

$$T_e = T_i \quad (3.11)$$

T_i = doğrusal dinamik çözümlemeden elde edilen serbest titreşim periyodu

K_i = yapının başlangıç (elastik) yatay rijitliği

K_e = etkili yatay rijitlik



Şekil 3.11. Efektif rijitliğin hesabı

3.2.4.3. Hedef Yer Değiştirme (FEMA 355F)

Yapı için hedef yer değiştirme δ_t , yapının doğrusal olmayan davranışına uygun olacak şekilde kanıtlanmış yöntemlere uygun olarak hesaplanır. Birleşim kontrolü için ilgili noktadaki yer değiştirmenin hedef yer değiştirmeye ulaşmış veya aşmış durumundaki etkiler ve yer değiştirmeler kullanılır.

Hedef yer değiştirme aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{g}{T_e} \quad (3.12)$$

T_e = yapının göz önünde bulundurulmuş yöndeki efektif temel periyodu (sn)

C_0 = spektral yer değiştirmeyi çatı yer değiştirmesine ilişkilendiren katsayı

C_0 'ı hesaplamak için şu yöntemler kullanılabilir:

- . Kontrol noktası seviyesindeki birinci modal katılım faktörü
- . Yapının hedef yer değiştirmede deforme olmuş şekliyle ilgili şekil vektörünü kullanarak hesaplanan kontrol noktası seviyesindeki modal katılım faktörü
- . Yaklaşık değerler Tablo 3.4.'de verilmiştir:

Kat Sayısı	Modifikasyon Faktörü ¹ , C ₀
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10+	1.5
¹ Ara değerler için interpolasyon yapılacaktır.	

Tablo 3.4. Modifikasyon faktörü için değerler, C₀

C₁ = beklenen maksimum inelastik yer değiştirmelerle (çok serbestlik dereceli sistemin) doğrusal elastik (eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin) davranış için hesaplanan yer değiştirmeleri ilişkilendiren katsayı

$$= T_e \geq T_s \text{ için } 1.0$$

$$= T_e < T_s \text{ için } [1.0 + (R-1) \frac{T_s - T_e}{T_s}] / R \quad (3.13)$$

C₁ değeri 1'den küçük 1.5'ten büyük olamaz.

T_s = spektrumun sabit ivme bölümünden sabit hız bölümüne geçerkenki karakteristik periyodu

R = Beklenen akma gerilmesinin minimum akma gerilmesine oranı Eşitlik (3.16)

C₂ = çevrimsel eğrinin maksimum yer değiştirme davranışına etkisini gösteren katsayı.

C₃ = P-delta etkisinden dolayı yer değiştirme artışını gösteren katsayı. Akma sonrasında pozitif rijitlikteki binalar için 1.0 alınır. Akma sonrasında negatif değerler için Eşitlik (3.17)'le hesaplanır. C₃ aşağıdaki değerleri geçmeyecektir:

$$\theta < 0.1 \text{ için } C_3 = 1.0$$

$$\theta \geq 0.1 \text{ için } C_3 = 1 + \frac{\theta - 0.1}{0.1} \quad (3.14)$$

θ i. kat için maksimum değerdir

S_a = spektral ivme

Dayanım azaltma katsayısı R şöyle hesaplanır:

S_a ve C_0 yukarıda açıklandığı gibi ve:

V_y = iki doğru ile idealize edilmiş kapasite eğrisinin (doğrusal olmayan yöntem kullanılarak hesaplanan) akma noktasındaki taban kesme kuvveti

W = toplam ölü ve hareketli yük

C_3 eğer taban kesmesi ve kontrol noktası yer değiştirmesi akma sonrası negatif değer gösteriyorsa şu şekilde hesaplanır:

R ve T_e yukarıda açıklandığı gibi ve:

α = doğrusal olmayan kuvvet- yer değiştirme ilişkisinin bilineer olarak tanımlandığı durumda akma sonrası rijitliğin efektif elastik rijitliğe oranı

3.2.4.4. Göreli Kat Ötelemesi (FEMA 355F)

Görelî kat ötelemeleri tasarım sismik kuvvetleri uygulamasına dayalı yapı matematik modelinden hesaplanır. Model panel bölgesi deformasyonlarını içerir. Tasarım göreli kat ötelemesi, Δ , üst ve alt kattaki hesaplanan yer değiştirme farkıyla hesaplanır. Hedef yer değiştirmeye ulaşıldığında her kattaki göreli kat ötelemesi δ_x ;

$$\frac{\delta_x}{h_x} = \Delta_x \quad (3.18)$$

δ_x, δ_{x-1} = x ve x-1 katındaki yer değiştirme

h_x = x katının yüksekliği

Δ_x = katın göreli kat ötelemesi oranı

Sismik kuvvetlerin talep ettiği göreli kat ötelemesi açısı θ_m ise şu şekilde hesaplanır;

$$C_B \theta_m = \Delta_x \quad (3.19)$$

θ_m = Eşitlik (3.19)'la hesaplanan bütün katlar için, maksimum göreli kat ötelemesi açısı Δ_x

C_B = eğilim çarpanı (beklenen maksimum göreli kat ötelemesi ve hesaplanan göreli kat ötelemesi arasındaki oran)

3.2.4.5. Performans Değerlendirmesi (FEMA 355F)

Performans değerlendirmesi öncelikle performans hedefini ve performans hedefine ulaşmak için güvenilirlik derecesini seçmeyi gerektirir. Yeni bir tasarım için tavsiye edilen performans hedefi 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan göçme öncesi (GÖ) performans seviyesidir. GÖ performans seviyesi maksimum tasarım göreli kat ötelemesi ' $\hat{C}$ ' çarpı dayanım faktörü ' Φ ' ile tanımlanır.

Göçme öncesi performans seviyesi için istenen performans genel ya da bölgesel göçmenin önlenmesidir. Genel göçme durumunda hesap sonucu dinamik yapı davranışında kararsızlık ya da katlardaki görelî kat ötelemesi %10'a ulaşmış olur (Yun ve Foutch, 1999). Bölgesel göçme durumunda kirişlerde şekil değıştirme çoksa düşey yük taşıma kapasitesinde kayıplar olur.

Dayanım faktörü (Φ), yer hareketlerinin bir fonksiyonudur ve performanstaki belirsizliktir. Sismik talep () ortalama tahmin edilen sismik taleplerin çarpılmasıyla birlikte genel talep faktörü (γ) ve analiz talep faktörü (γ_a) kullanılarak belirlenir. Talep (), maksimum görelî kat ötelemesi θ_m ve eğilim çarpanı C_b 'ye bağılı olarak $=Q_m C_b$ olarak hesaplanır. Eğilim çarpanı θ_m 'in kullanıldığı analiz yöntemine bağılıdır.

Eğer bu eşitlikler $\hat{C}$ ve değerleri 2/50 riskle birlikte kullanılırsa performans seviyesine ulaşma ihtimali %50'dir. Hemen kullanım seviyesi yeni binalar için gerekli olmasa da bu performans seviyesine göre tasarım yapılması önerilir. Ayrıca her performans değerdendirmesi için kullanılması da önerilir. Eğer yapıda tamir edilmesi gerekli hasar gözlenmişse ve katlardaki kalıcı olarak % 0.5 görelî kat ötelemesi aşılımışsa HK performans seviyesine ulaşılmıştır.

4. ANALİTİK ÇALIŞMA

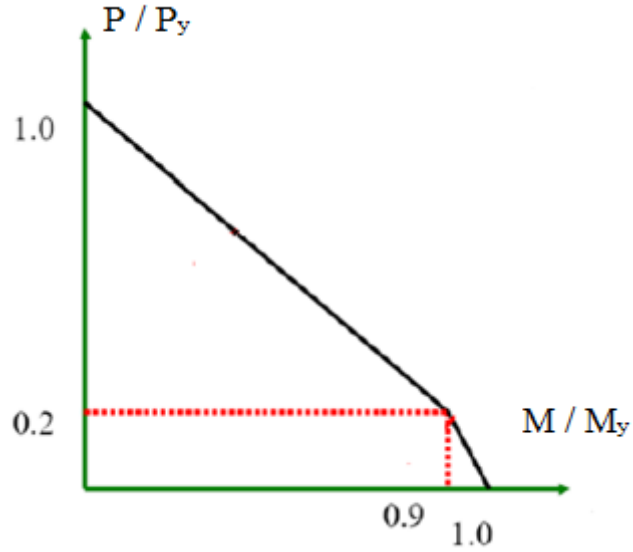
4.1. Yapısal Model

Bu bölümde 9 katlı iki adet çelik perdeli çerçeveli bina seçilmiş ve bunların deprem performansları incelenmiştir. Bunlardan biri merkezi çaprazlı ki Akbaş ve arkadaşlarının 2012’de yaptığı çalışmadan diğeri J. W. Berman’ın 2011’de yaptığı çalışmadan alınmıştır. Doğrusal olmayan statik itme ve deprem kaydı verileri kullanılarak doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri yapılmıştır. Analizlerde yük kabulleri Akbaş ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan alınmıştır ve şöyledir; 3.83 kN/m^2 ’lik ölü ve 2.4 kN/m^2 ’lik hareketli yük değerleri kullanılmıştır. Zemin sınıfı Z2 olarak seçilmiştir. Deprem bölgesi 1. derece deprem bölgesi olarak hesaplara dahil edilmiştir ($A_0=0.4g$). Çelik perdeli binalar doğrusal olmayan yöntemlere göre modellenmiş ve doğrusal olmayan statik itme analizleri için FEMA 356’yla uyumlu plastik mafsallar ilgili elemanlar için tanımlanmıştır.

Referans alınan çalışmaya bağlı olarak kolonların akma dayanımı 345 MPa, kirişlerin akma dayanımı 248 MPa olarak tanımlanmıştır. Panel bölgesi etkisi analizlerde ihmal edilmiştir. P-Δ etkisi göz önüne alınmıştır. Sönüm oranı %5 olarak hesaplarda kullanılmıştır.

Kolonlar için eksenel kuvvet-moment karşılıklı etki diyagramı prensibi göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 4.1.). Çelik perdeli binalarda merkezi çaprazlı binadaki kirişler ve çapraz elemanlar, çelik levha perdeli binada ise şerit elemanlar moment aktarmayacak şekilde tanımlanmışlardır.

Şerit elemanları tanımlamak için şerit model yöntemi kullanılmış ve bu tasarım yöntemi doğrultusunda taşıyıcı sistem modeli oluşturulmuştur.



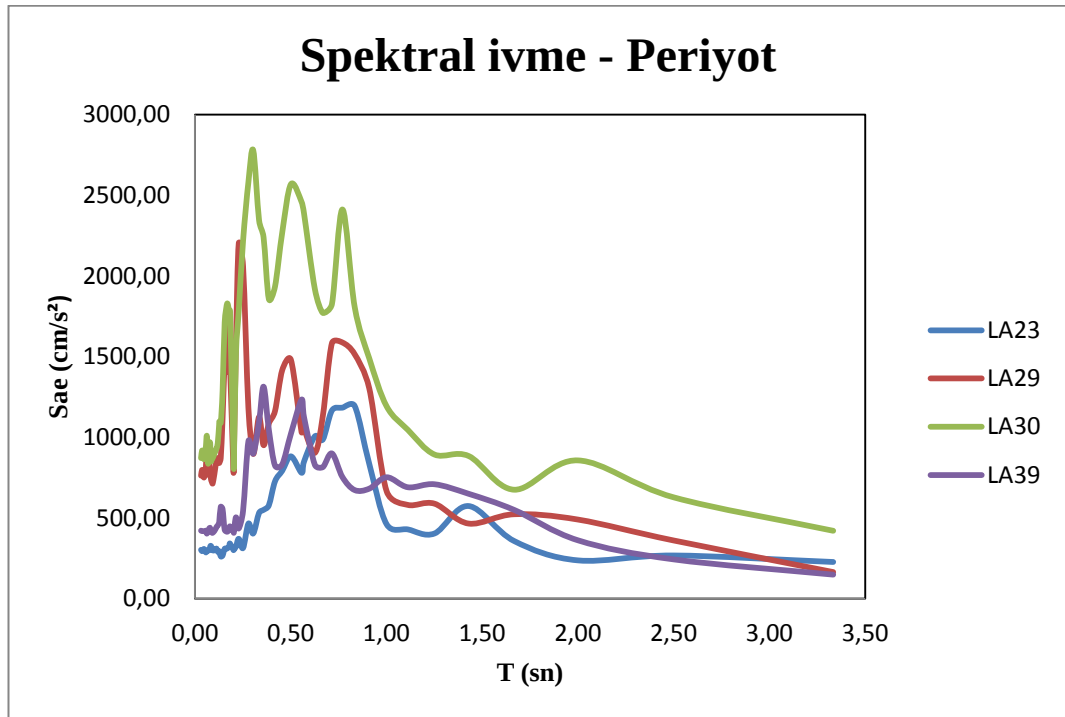
Şekil 4.1. Çelik kolonların moment – eksenel kuvvet etkileşim diyagramı (Akbaş, 2012)

Çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan statik itme ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri SAP2000 statik analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizi ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri yapılarak çelik perdeli binaların performansları belirlenmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizleri 1. modla uyumlu olacak şekilde yapılmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizlerinde her iki çerçeve de önce hedef yer değiştirme (δ) seviyesine kadar, sonra da hedef yer değiştirmelerin yaklaşık 3 katına kadar itilmiş ve oluşan plastik mafsallar gösterilerek binaların performansları değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri sonucu göreceli kat ötelemesi oranları elde edilerek yönetmelikte tanımlanan sınır değerlere göre değerlendirme yapılmıştır.

Deprem kaydı olarak 50 yılda aşılma olasılığı %2, isimleri LA23, LA29, LA30, LA39 olan Los Angeles deprem kayıtları seçilmiştir. Tablo 4.1.'de analizlerde kullanılan Los Angeles deprem kayıtlarına ait bilgiler verilmiştir. Şekil 4.2.'de de bu depremlere ait davranış spektrumları görülmektedir.

İsim	Kayıt	Depremin Büyüklüğü	Faya Uzaklık (km)	Kayıt Sayısı	Süre (sn)	PGA (cm/sn ²)	Δt (sn)
LA23	1989 Loma Prieta	7	3.5	2500	24.99	409.95	0.01
LA29	1974 Tabas	7.4	1.2	2500	49.98	793.45	0.02
LA30	1974 Tabas	7.4	1.2	2500	49.98	972.58	0.02
LA39	Palos Verdes (simulated)	7.1	1.5	3000	59.98	490.58	0.02

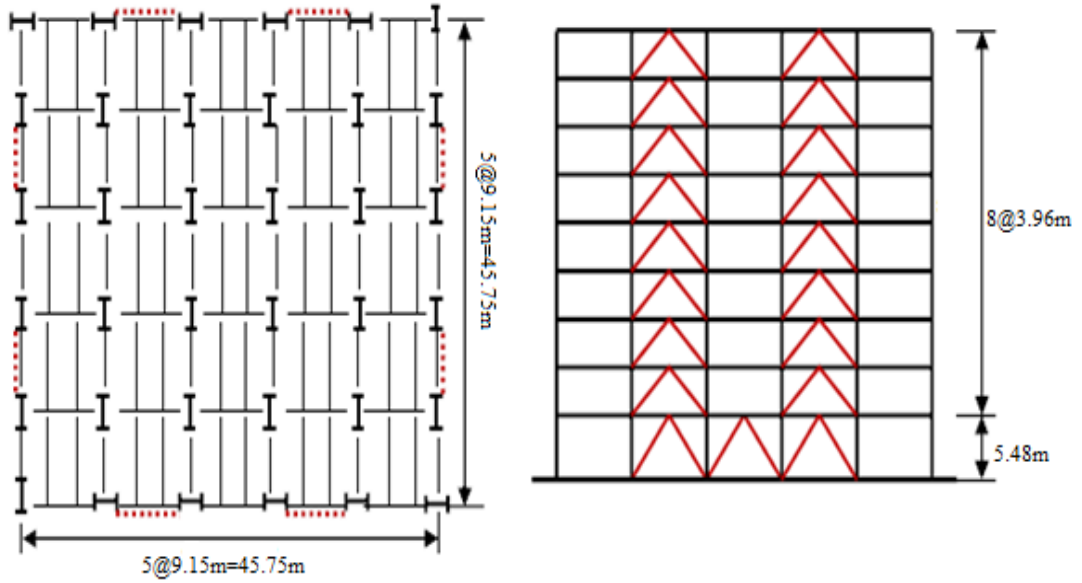
Tablo 4.1. Deprem hareketlerinin karakteristik özellikleri



Şekil 4.2. Seçilen deprem hareketleri için davranış spektrumları

4.2. 9 Katlı Merkezi Çapraz Perdeli Bina

Bu bölümde kullanılan 9 katlı merkezi çaprazlı bina Akbaş ve arkadaşlarının çalışmasından alınmıştır. Akbaş ve arkadaşlarının yaptıkları bu çalışmada doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizi yöntemini kullanarak sünek ve sünek olmayan merkezi çaprazlı binaların deprem etkisi altındaki davranışlarını araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan 3, 9, ve 20 katlı binalar kapasite tasarımı ilkelerine uygun olarak boyutlandırılmıştır. Sismik davranışı değerlendirmek için analizler ATC-63'le uyumlu olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması için kullanılan merkezi çapraz perdeli sistem detayları Şekil 4.3.'te görülmektedir. 1. kat yüksekliği 5.48 m, 2 ve 9 katları arası 3.96 m'dir. Kolonlar arası açıklık 5 aralıkta aynı olup 9.15 m'dir.



Şekil 4.3. Merkezi çaprazlı perdeyle modellenen çerçevenin plan ve kesiti (Akbaş ve ark., 2012)

9 katlı merkezi çaprazlı sisteme ait eleman boyutları Akbaş ve arkadaşlarının çalışmasından alınmıştır ve Tablo 4.2.'de görüldüğü gibidir.

Kat	Çaprazlar	Çaprazsız açıklıktaki kirişler	Çaprazlı açıklıktaki kirişler	Çaprazlı açıklıktaki kolonlar	Dış kolonlar
1	HSS10x10x5/8	W21x44	W36x395	W14x455	W14x61
2	HSS10x10x5/8	W21x44	W33x354	W14x455	W14x61
3	HSS10x10x5/8	W21x44	W33x354	W14x233	W14x48
4	HSS9x9x5/8	W21x44	W30x357	W14x233	W14x48
5	HSS9x9x5/8	W21x44	W30x357	W14x159	W14x48
6	HSS8x8x5/8	W21x44	W33x291	W14x159	W14x48
7	HSS8x8x5/8	W21x44	W33x291	W14x68	W14x48
8	HSS7x7x1/2	W21x44	W33x221	W14x68	W14x48
9	HSS7x7x1/2	W21x44	W33x221	W14x48	W14x48

Tablo 4.2. Merkezi çapraz perdeli sistem eleman boyutları (Akbaş ve ark., 2012)

Çapraz elemanlar için mafsallı özellikleri Şekil 4.4. ve 4.5.'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

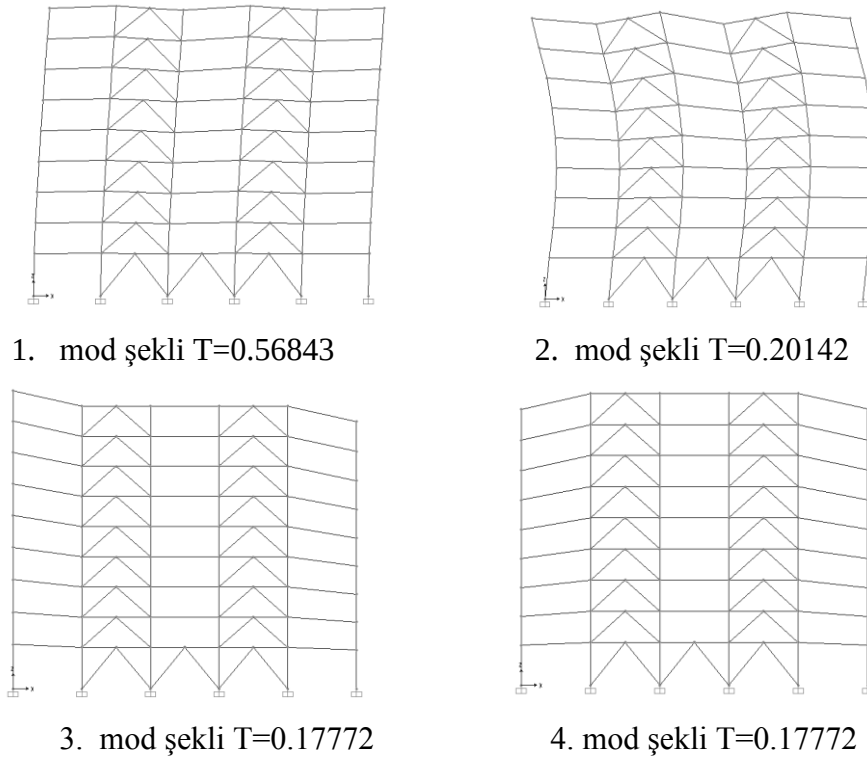
Şekil 4.4. Çaprazlara atanan plastik mafsallı noktaları

Şekil 4.5. Çaprazlara FEMA 356'ya uyumlu olarak atanan plastik mafsallar

Lineer Olmayan Yöntemlerin Kabul Kriterleri ve Modelleme Parametreleri								
Eğilme	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
	Plastik Dönme Açısı, Radyan		Rezidüel Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radyan				
				IO	Birincil		İkincil	
	a	b	c		LS	CP	LS	CP
	a. $b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{F_y}$ ve $h / t_w \leq 418 / \sqrt{F_{ye}}$	90 _y	110 _y	0.60	θ _y	60 _y	80 _y	90 _y
b. $b_f / 2t_f \geq 65 / \sqrt{F_{ye}}$ ve $h / t_w \geq 640 / \sqrt{F_{ye}}$	40 _y	60 _y	0.20	0.250 _y	20 _y	30 _y	30 _y	40 _y
c. Diğer	a ve b arasındaki değerlerde başlık ve gövde narinlik değerleri için interpolasyon yapılacaktır, ve en küçük değer kullanılacaktır.							

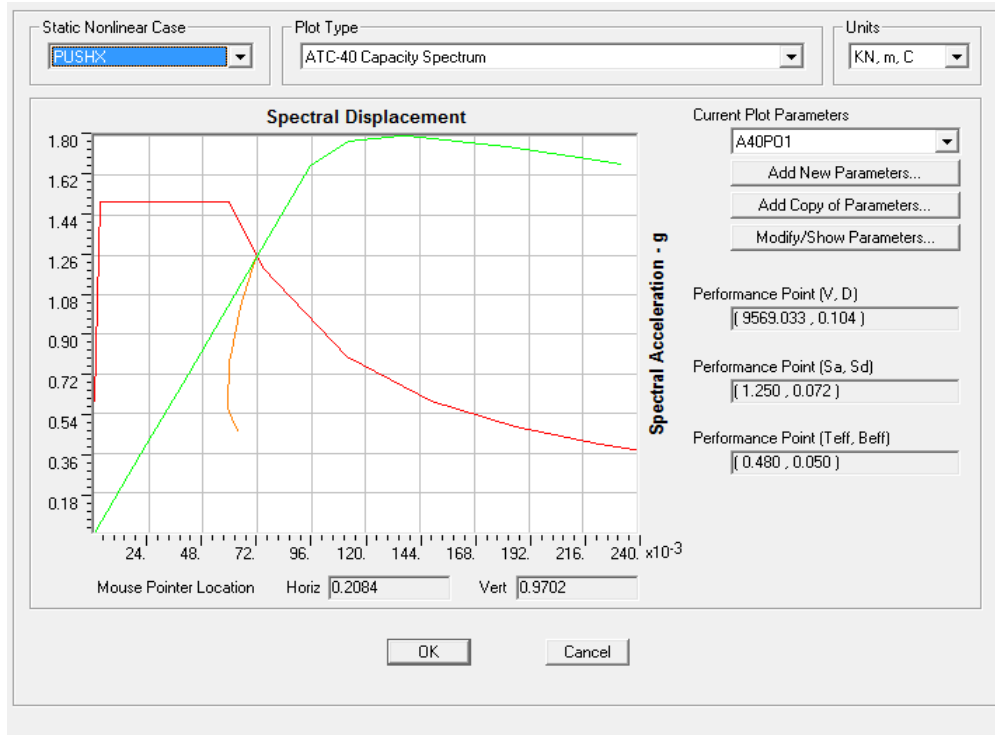
Tablo 4.3. Lineer Olmayan Yöntemlerin Kabul Kriterleri ve Modelleme Parametreleri (Fema 356, Tablo 5-6)

Aşağıda Şekil 4.6.'da 9 katlı binanın mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları gösterilmiştir.



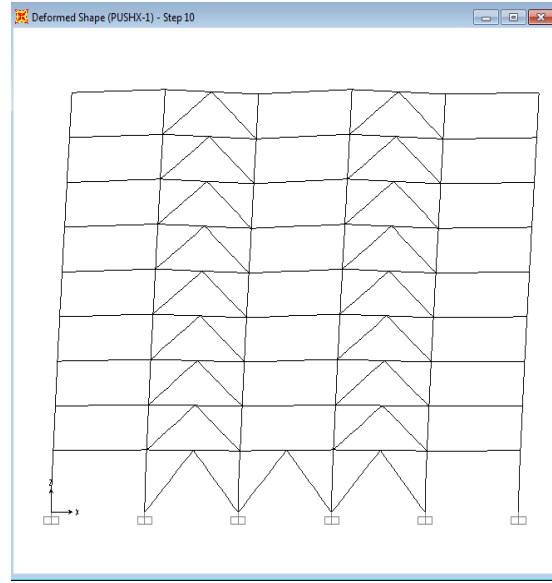
Şekil 4.6. Merkezi çaprazlı çerçeveye ait mod şekilleri

Şekil 4.7.'de merkezi çaprazlı perdenin modal kapasite diyagramı ve davranış spektrumu görülmektedir. Hesaplanan hedef yer değiştirme ATC-40 Kapasite Spektrumu yöntemine göre belirlenmiş ve 0.104 m bulunmuştur. Bu noktada kesme kuvveti 9569 kN'dur.



Şekil 4.7. Merkezi çaprazlı binaya ait kapasite spektrumu

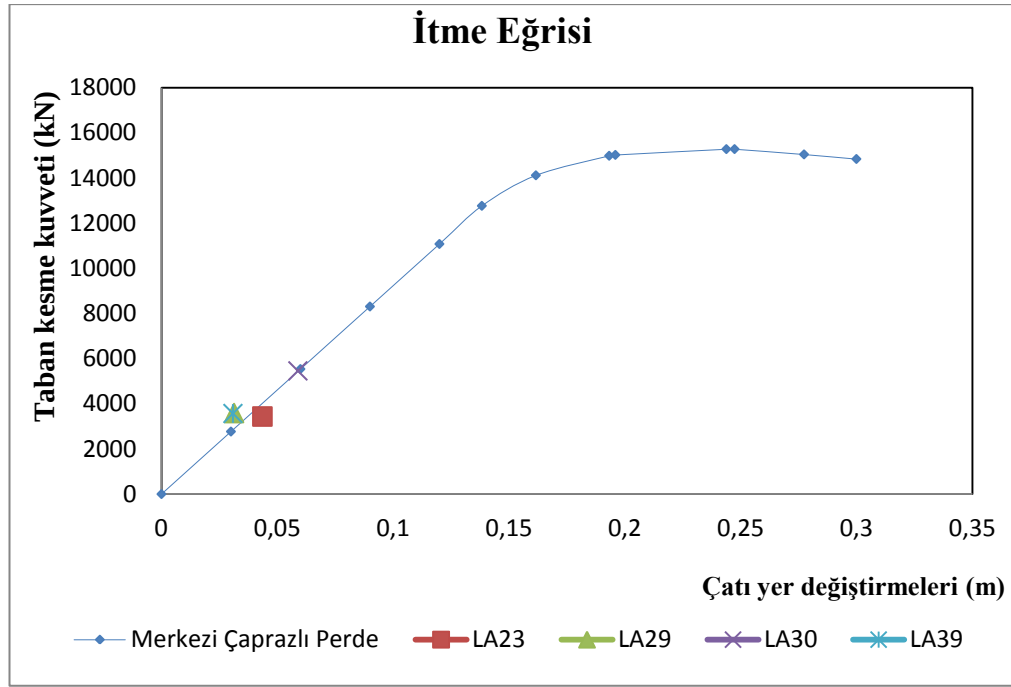
Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi sistem hedef yer değiştirmeye (δ) kadar itildiğinde plastik mafsall oluşmamıştır. Hedef yer değiştirmenin yaklaşık 3 katına kadar itildiğinde oluşan plastik mafsallar Şekil 4.9.'da görülmektedir.



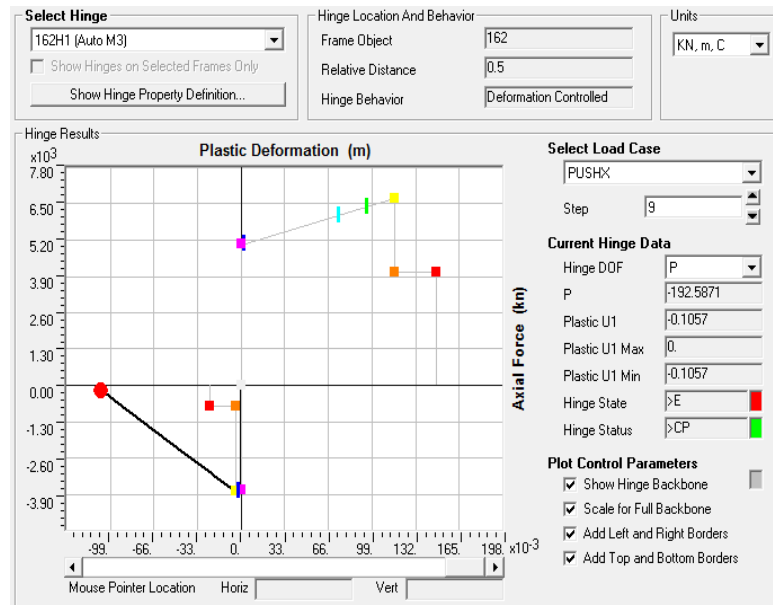
Şekil 4.8. Merkezi çaprazlı çerçeveye ait hedef yer değiştirmede itme analizi sonucunda oluşan plastik mafsallar



Şekil 4.9. Merkezi çaprazlı çerçeveye ait 3δ 'ya ulaşıldığında oluşan plastik mafsallar



Şekil 4.10. Merkezi çaprazlı sistemin itme eğrisi



Şekil 4.11. 2. kattaki çapraz elemana ait plastik mafsals durumu

4.3. 9 Katlı Çelik Levha Perdeli Bina

Bu bölümde 9 katlı çelik levha perdeli sistem için Akbaş ve arkadaşlarının çalışmasında kullanılan binalar karşılaştırma yapabilmek amacıyla kullanılmıştır. Analizlerde çelik levha perdeli sistemin davranışını görmek için şerit model yaklaşımı kullanılmıştır. Çerçeve elemanları J. W. Berman'ın çalışmasından alınmıştır. Şerit model boyutları bu çalışmada kullanılan elemanlar doğrultusunda boyutlandırılmıştır. Bu çalışmada SAC binaları için yapılan araştırmalardan faydalanılmıştır. Burulma ihmal edilmiştir.

Tablo 4.4.'te çelik levha perdeli sistemde kullanılan elemanların boyutları ve levha kalınlıkları görülmektedir. 1. kat yüksekliği 5.48 m, 2 ve 9 katları arası 3.96 m'dir. Kolonlar arası açıklık 5 aralıkta aynı olup 9.15 m'dir (Berman, 2011).

Kat	Levha kalınlıkları (mm)	Düşey Sınır Elemanları	Yatay Sınır Elemanları
1	6.35	W14X730	W18x86
2	6.35	W14X730	W18x86
3	6.35	W14x500	W24x146
4	4.46	W14x500	W18x86
5	4.46	W14x500	W18x86
6	4.46	W14x500	W24x146
7	3.18	W14x370	W16x57
8	3.18	W14x370	W24x146
9	1.59	W14x370	W18x106

Tablo 4.4. Plaka kalınlıkları ve eleman boyutları (Berman, 2011)

Çelik levha perdeli sistem davranışını tasarlamak için çeşitli yöntemler tanımlanmıştır. Bunlardan en yaygın olanı şerit modeldir (Thorburn ve ark., 1983). Bu modelde, her panelin levhası levhaların çekme alanı eğimini temsil eden, sadece çekmeye çalışan elemanlar minimum on eşit aralıklı parçaya bölünmüş ve yatay yükler altında oluşan temel gerilim prensibine göre hesaplanan ortalama eğim açısına göre hizalanmıştır (CSA, 2001). Seçilen şerit elemanlar denklem (4.2)'deki formülden bulunan kesit alanlarına göre seçilmiş ve denklem (4.1)'e göre

yerleştirilmiştir (AISC). Yatay ve düşey yükler modele etkitilmiş daha sonra da yapı davranışı tanımlanmıştır.

$$- [L_{cf} + h \tan(\alpha)] \quad (4.1)$$

$$(4.2)$$

Δ_x = şeritler arası mesafe

α = düşey düzleme göre ölçülen derece cinsinde levha akma açısı

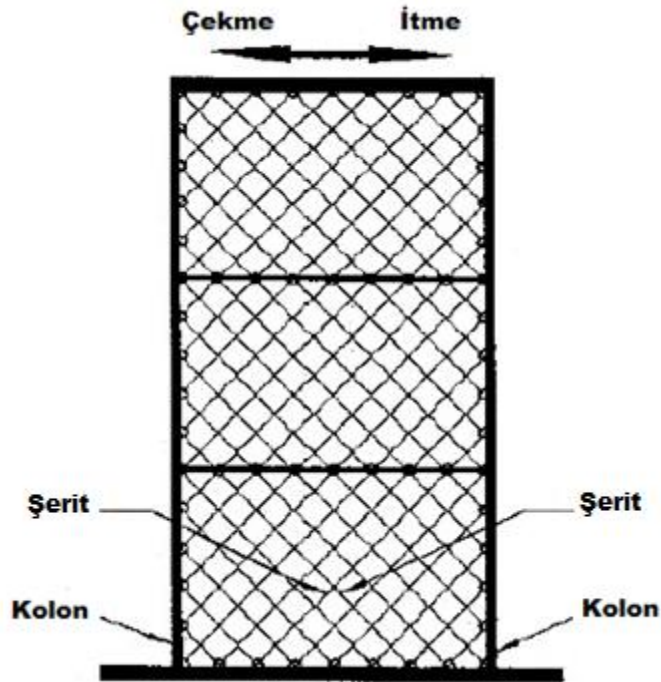
A_s = şerit elemanların kesit alanı

L_{cf} = levha genişliği

h = levha yüksekliği

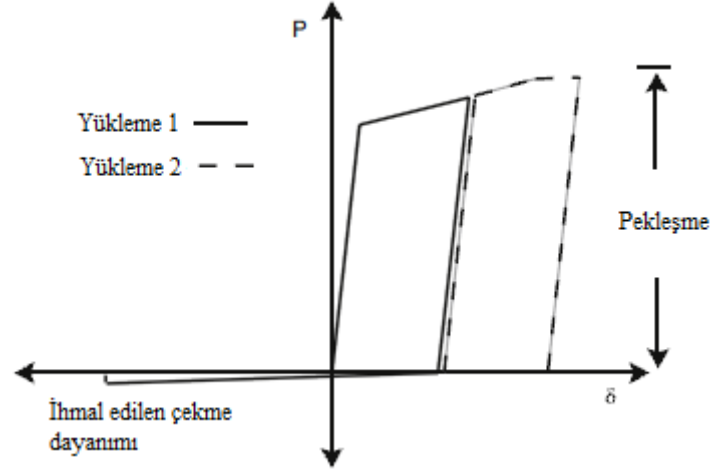
n = şerit eleman sayısı

Driver ve arkadaşları (1998) elasto-plastik şeridi ve çerçeve mafsallarını içeren şerit modelin çelik levha perde davranışını tahminde geniş ölçüde fayda sağladığı ama elastik rijitlik ve maksimum dayanımla ilgili yeterli bilgi sağlayamadığını raporlamıştır. Burada temel amaç çelik levha perdeli binanın doğrusal olmayan davranışını tahmin etmektir.



Şekil 4.12. Tipik şerit model (Elgaaly ve ark., 1993).

Çok katlı çelik levha perdelerinin çeşitli göçme mekanizmaları için eşitlikler Berman ve Bruneau (2003) tarafından türetilmiştir.



Şekil 4.13. Tekrarlayan eksenel yüklemeler altında şerit modele ait yük deformasyon ilişkisi (Berman, 2011)

	α (°)	A_s (m ²)	Δ_x (m)
1	38	0.0067	1.3
2	39	0.0061	1.2
3	42	0.0060	1.3
4	41	0.0042	1.3
5	41	0.0042	1.3
6	42	0.0042	1.3
7	40	0.0030	1.2
8	43	0.0030	1.3
9	43	0.0015	1.3

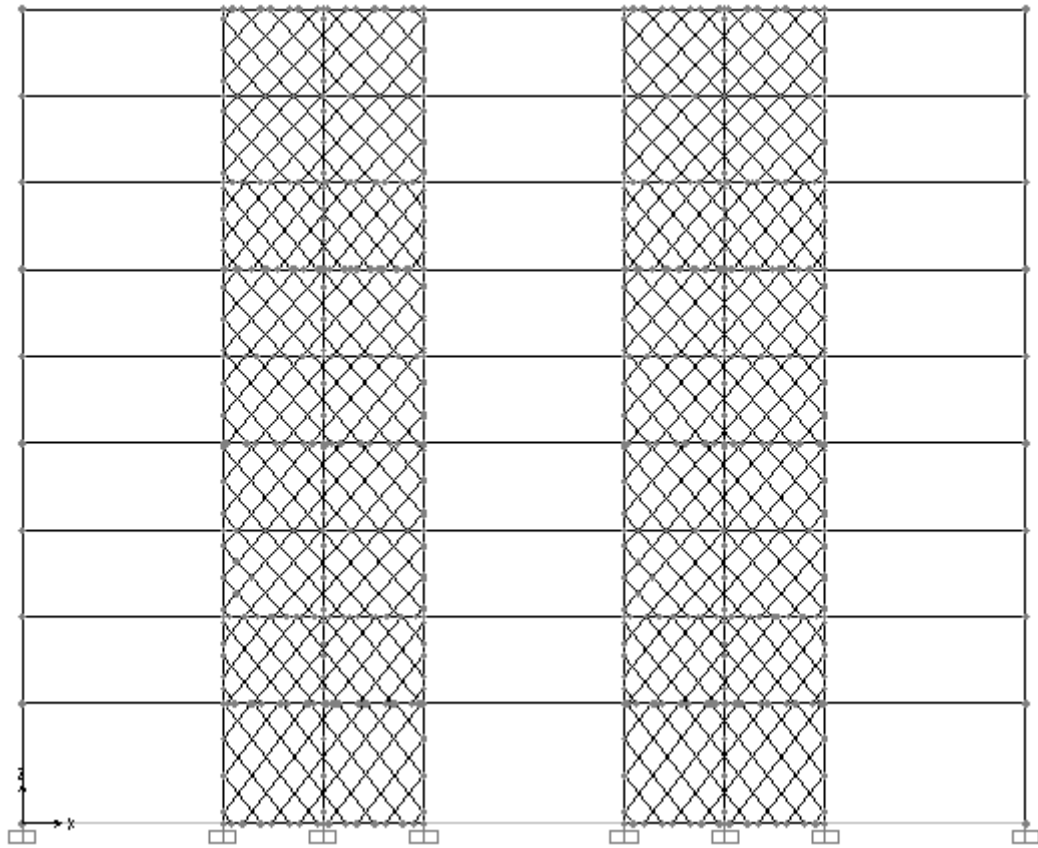
Tablo 4.5. Şerit model özellikleri

Tablo 4.5. çelik levha perdeli sistemde şerit modeli oluşturan geometrik özellikleri göstermektedir. A_s şerit elemanın kesit alanı olmak üzere aynı kesit alanına sahip çelik elemanlar seçilmiştir. SAP2000 programında bu elemanlar Δ_x aralıklarla ve α açısı oluşturacak şekilde yerleştirilerek şerit model oluşturulmuştur.

Tablo 4.6.'da yönetmeliklere göre tanımlanan levha en boy oranları verilmiştir. Levha boyutlarının tanımlanan sınır değerleri aralığında olduğu görülmektedir.

	L	h	$0.8 < L/h \leq 2.5$
1	9.15	5.48	1.67
2	9.15	3.96	2.31
3	9.15	3.96	2.31
4	9.15	3.96	2.31
5	9.15	3.96	2.31
6	9.15	3.96	2.31
7	9.15	3.96	2.31
8	9.15	3.96	2.31
9	9.15	3.96	2.31

Tablo 4.6. Levha en boy oranı



Şekil 4.14. Şerit model

Şerit elemanlar için mafsallık özellikleri Şekil 4.15. ve 4.16.'da gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
Strip-1	0.5
Strip-1	0.5

Add
Modify
Delete

Auto Hinge Assignment Data

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

Şekil 4.15. Şeritlere atanan plastik mafsalsal noktaları

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.02	-8.
D-	-0.02	-6.
C-	-0.02	-6.
B-	-0.02	0.
A	0.	0.
B	1.977	0.
C	1.9774	6.
D	1.9774	6.
E	1.9774	8.

☐ Symmetric

Type
☒ Force - Displacement
☐ Stress - Strain
 Hinge Length
☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters
 Hysteresis Type
 No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E
☒ Drops To Zero
☐ Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

	Positive	Negative
☐ Use Yield Force	Force SF 2194.436	2035.2711
☐ Use Yield Disp (Steel Objects Only)	Disp SF 6.466E-03	5.997E-03

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

	Positive	Negative
☒ Immediate Occupancy	2.	-2.
☐ Life Safety	4.	-4.
☐ Collapse Prevention	6.	-6.

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

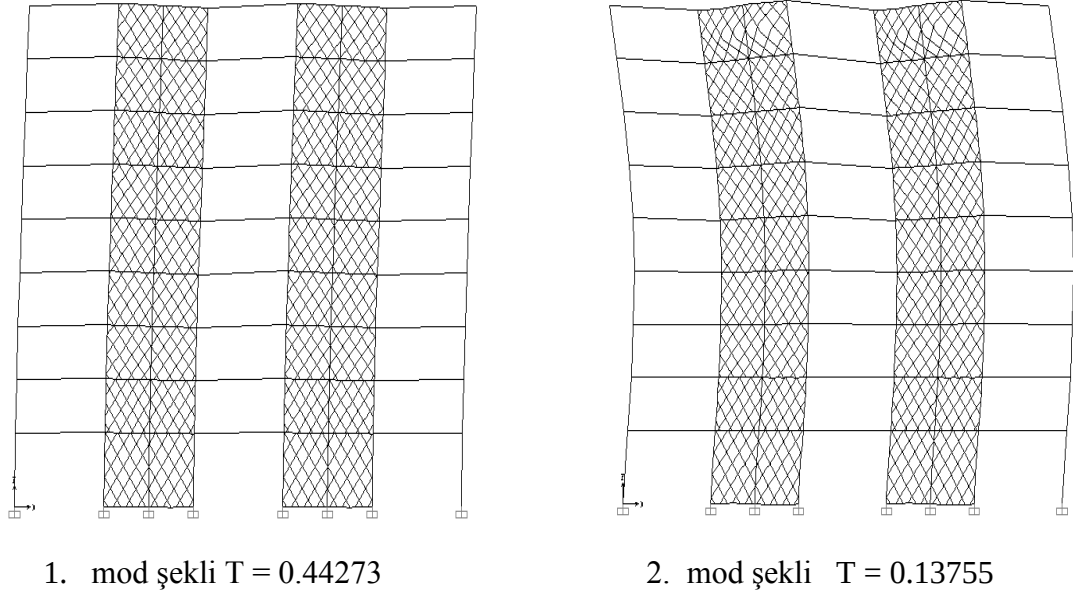
OK Cancel

Şekil 4.16. Şeritlerin yer değiştirme kontrol parametreleri

Şekil 4.17.'de 9 katlı perdeli çerçevenin mod şekilleri ve titreşim periyotları gösterilmiştir.

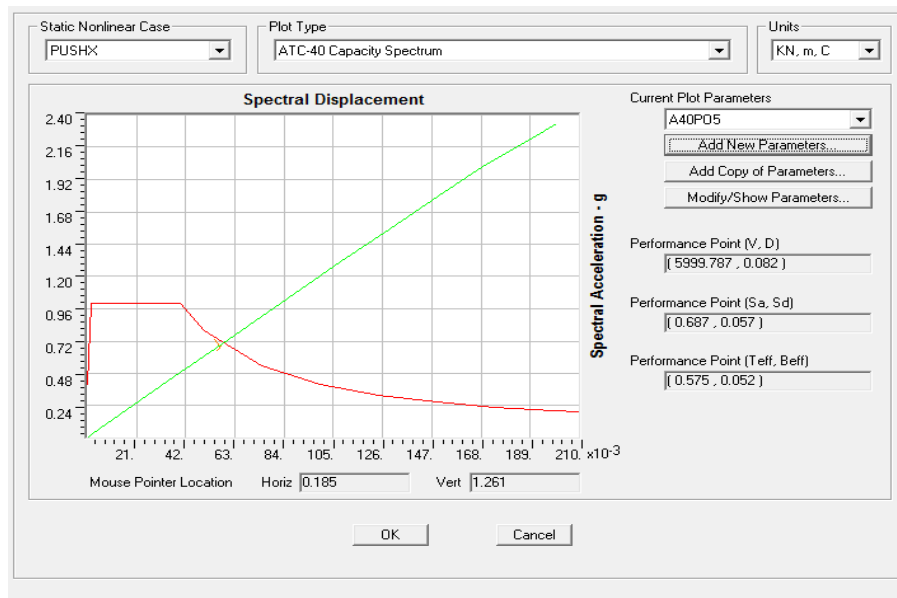
Lineer Olmayan Yöntemlerin Kabul Kriterleri ve Modelleme Parametreleri								
Çelik Levha Perdeli Binalar	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
	Plastik Dönme Açısı, Radyan		Rezidüel Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radyan				
				IO	Birincil		İkincil	
	a	b	c		LS	CP	LS	CP
	140 _y	160 _y	0.70		0.50 _y	100 _y	130 _y	130 _y

Tablo 4.7. Çelik Levha Perdeli Yapılar İçin Lineer Olmayan Yöntemlerin Kabul Kriterleri ve Modelleme Parametreleri (Fema 356, Tablo 5-6)



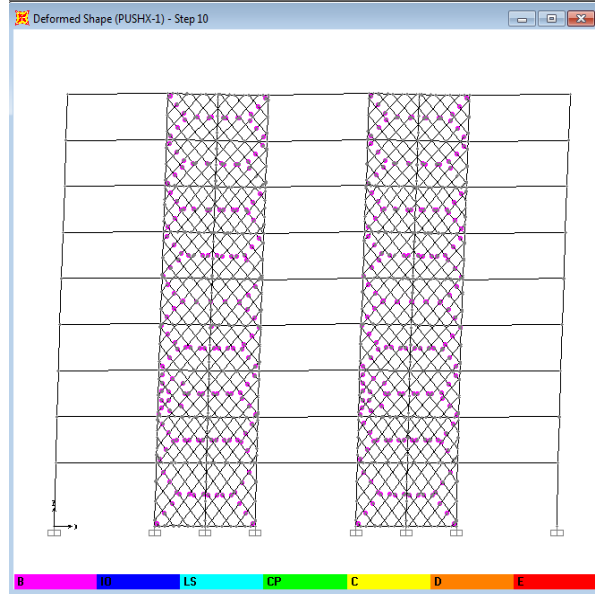
Şekil 4.17. Şerit model çerçeveye ait mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları

Şekil 4.18. 'de çelik levha perdeli binanın modal kapasite diyagramı ve davranış spektrumu görülmektedir. Hesaplanan hedef yer değiştirme ATC-40 Kapasite Spektrumu yöntemine göre 0.082 m bulunmuştur. Bu noktada kesme kuvveti 6000 kN'dur.

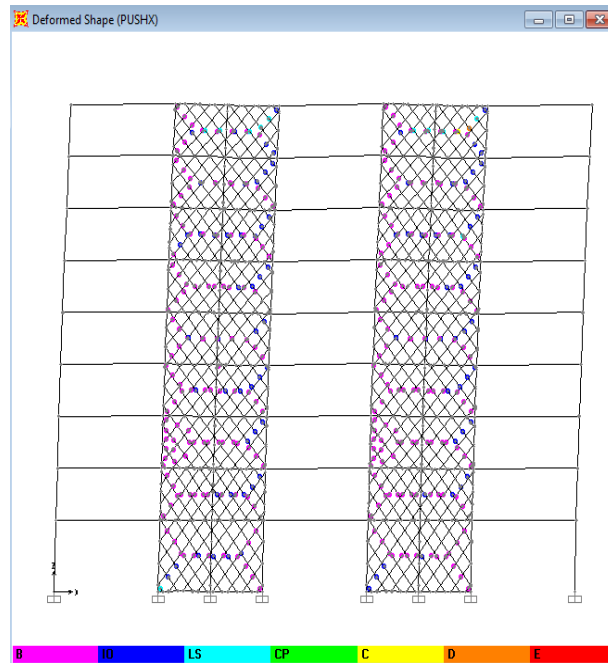


Şekil 4.18. Çelik levha perdeli binaya ait kapasite spektrumu

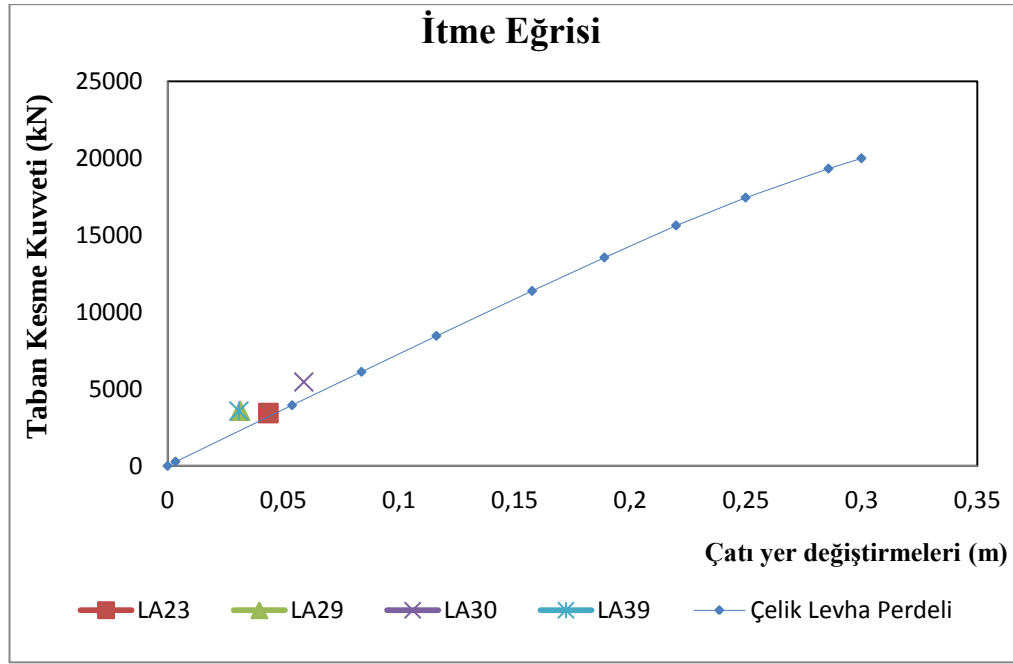
Sistem hedef yer değiştirmeye kadar itildiğinde oluşan plastik mafsallar Şekil 4.19.'da görüldüğü gibidir. Hedef yer değiştirmenin yaklaşık 3 katına kadar itildiğinde oluşan yer değiştirmeler ise Şekil 4.20.'de görülmektedir.



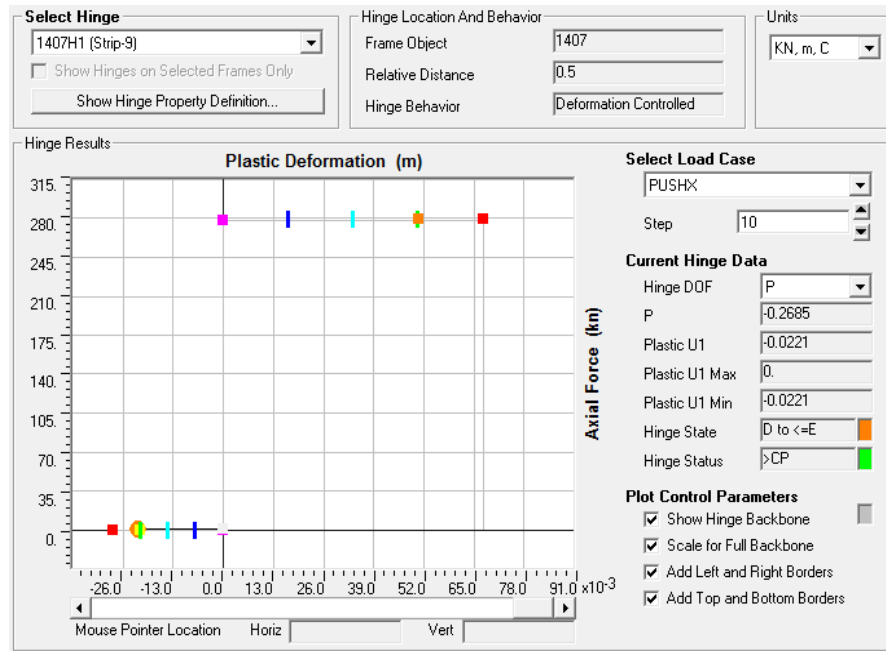
Şekil 4.19. Şerit modele ait hedef yer değiştirme anında oluşan plastik mafsallar



Şekil 4.20. Şerit modele ait 3δ 'ya ulaşıldığında oluşan plastik mafsallar

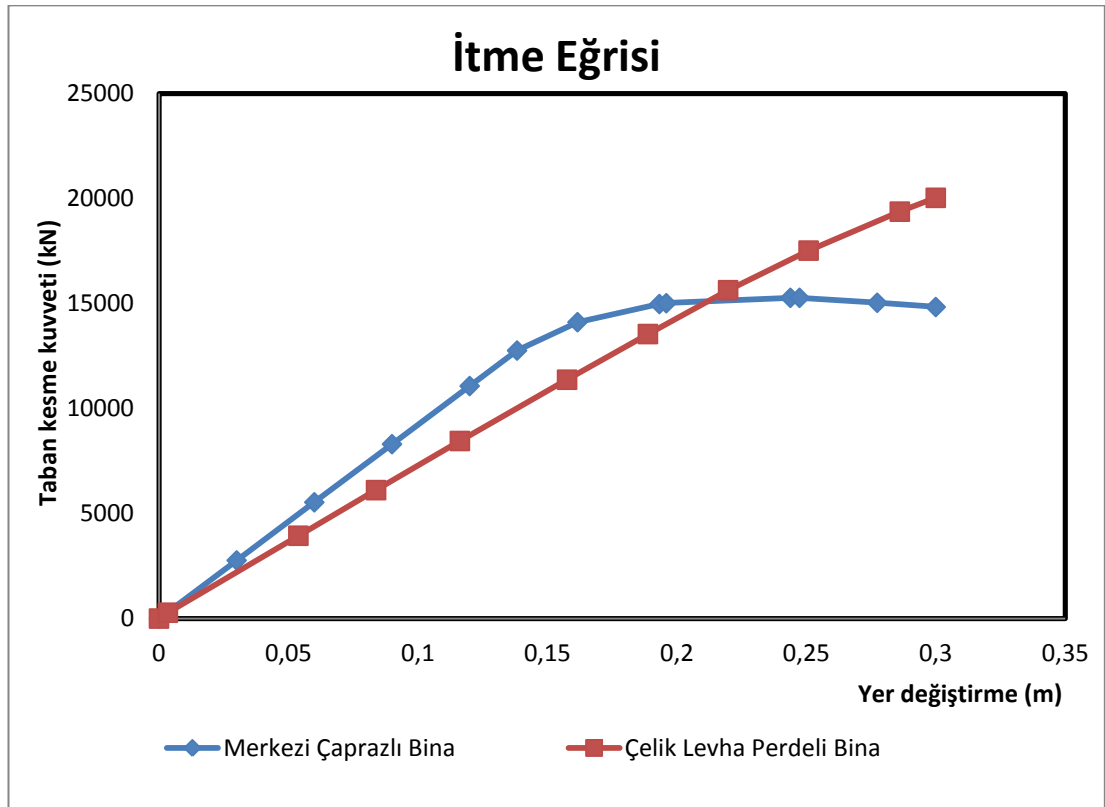


Şekil 4.21. Çelik levha perdeli sistemin itme eğrisi



Şekil 4.22. Şerit elemana ait plastik mafsalları durumu

Şekil 4.23.'de merkezi çaprazlı ve levha perdeli çelik binaların statik itme eğrileri verilmiştir.

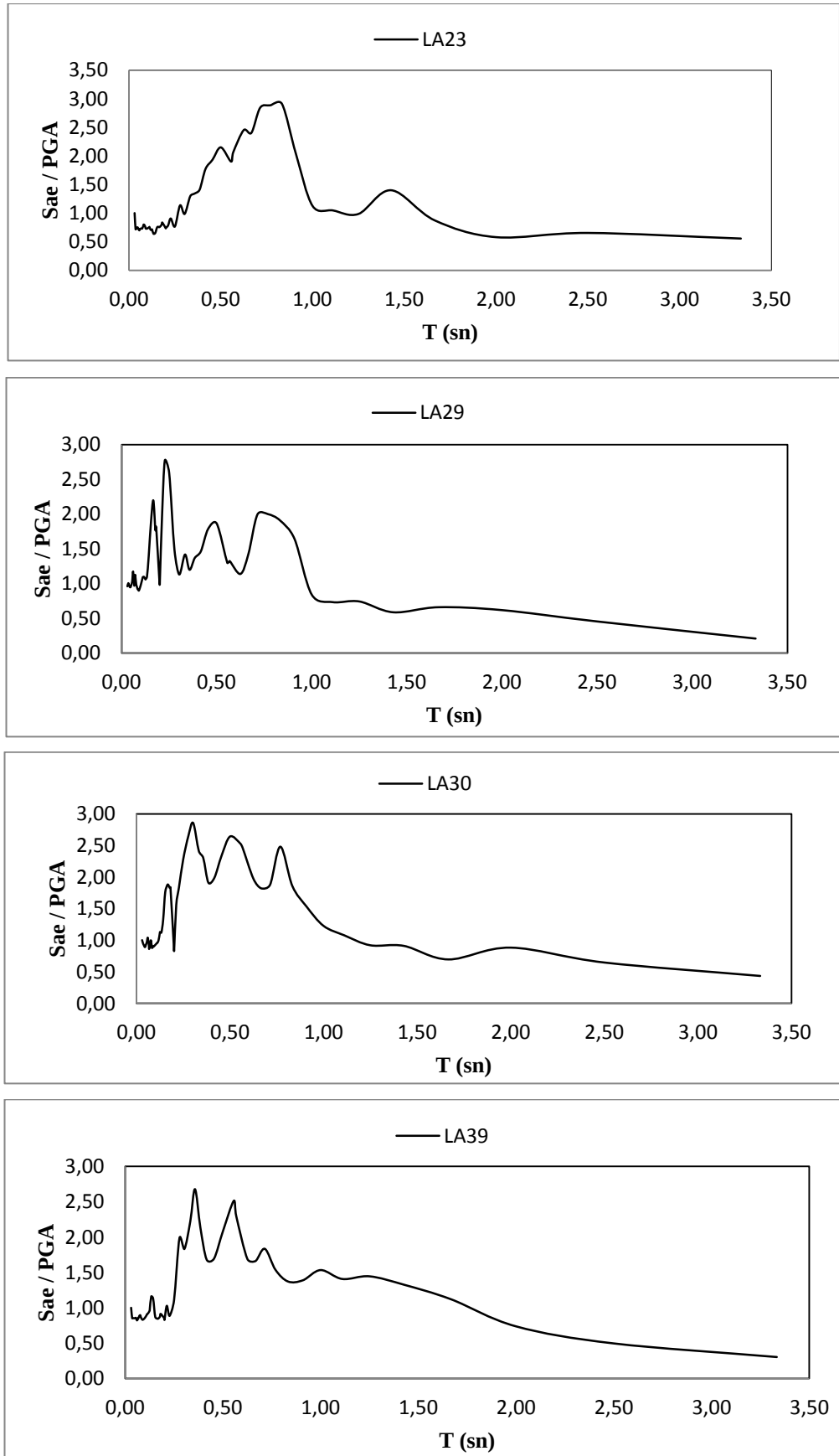


Şekil 4.23. Merkezi Çapraz ve Çelik Levha Perdeli sistemlerin statik itme eğrileri

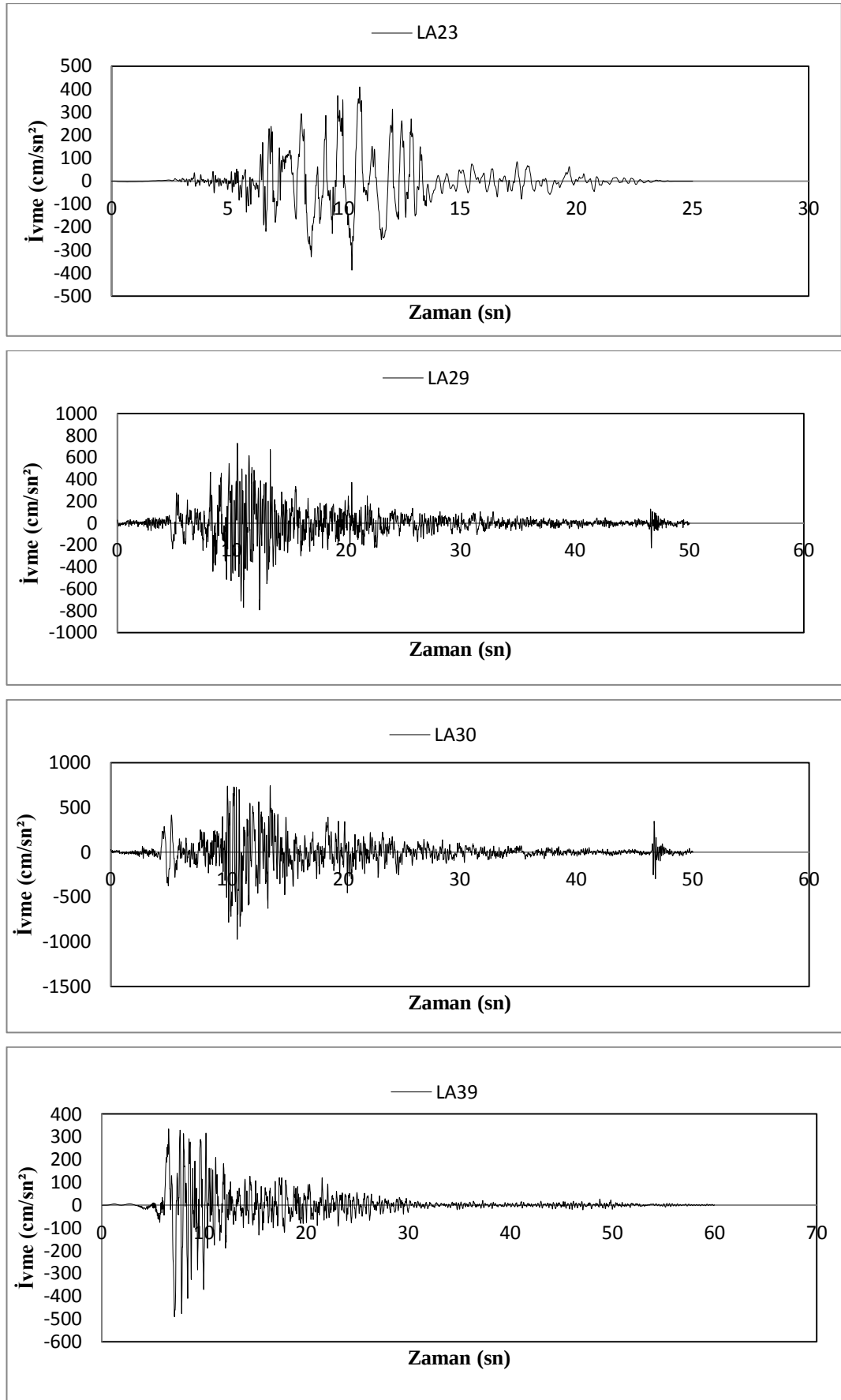
4.4. Doğrusal Olmayan Dinamik Zaman Geçmişçi Analizleri

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemiyle, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilmiş ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem talebine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar FEMA 356'da katlar arası göreceli kat ötelemesi oranlarına göre tanımlanan performans seviyeleri ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.24.'te LA depremlerine ait normalize edilmiş davranış spektrumları, Şekil 4.25.'te LA depremlerine ait yer ivmesi-zaman bağıntıları verilmiştir.



Şekil 4.24. LA depremlerine ait normalize edilmiş davranış spektrumları



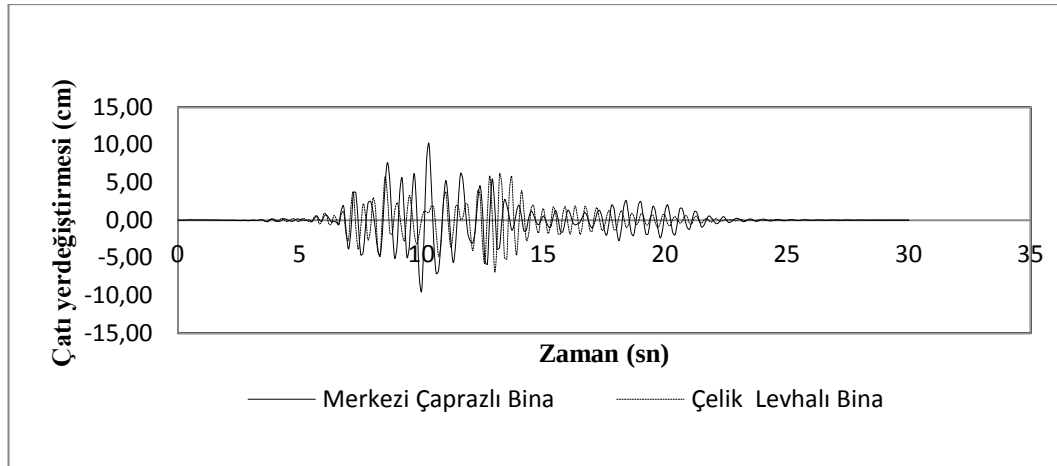
Şekil 4.25. LA depremlerine ait yer ivmesi-zaman bağıntıları

Tablo 4.8.'de merkezi çaprazlı ve levha perdeli binalara ait görelî kat ötelemesi oranları görölmektedir ($\Delta x = (\delta_x - \delta_{x-1})/h$).

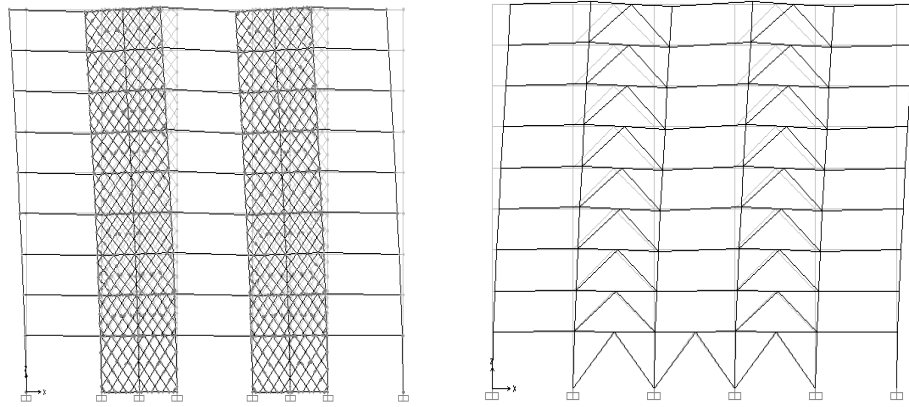
Kat	h	LA23		LA29		LA30		LA39	
		Merkezi çaprazlı çerçeve	Levha perdeli çerçeve	Merkezi çaprazlı çerçeve	Levha perdeli çerçeve	Merkezi çaprazlı çerçeve	Levha perdeli çerçeve	Merkezi çaprazlı çerçeve	Levha perdeli çerçeve
1	5.48	0.1369	0.0918	0.0967	0.0398	0.1515	0.0662	0.1095	0.0590
2	3.96	0.2222	0.1355	0.1389	0.0537	0.1995	0.0863	0.1667	0.0723
3	3.96	0.2475	0.1563	0.1338	0.0553	0.1667	0.1011	0.1919	0.0634
4	3.96	0.2955	0.2089	0.1641	0.0703	0.2222	0.1344	0.2222	0.0742
5	3.96	0.3106	0.2252	0.1793	0.0931	0.2323	0.1418	0.2172	0.1081
6	3.96	0.3359	0.2282	0.2399	0.1219	0.2879	0.1407	0.2449	0.1288
7	3.96	0.3308	0.2580	0.2904	0.1458	0.2929	0.1572	0.3182	0.1507
8	3.96	0.3434	0.2328	0.3207	0.1396	0.3056	0.1401	0.3535	0.1411
9	3.96	0.3081	0.2339	0.2879	0.1432	0.2753	0.1400	0.3182	0.1437

Tablo 4.8. Deprem etkisindeki merkezi çaprazlı bina ve çelik levha perdeli binanın görelî kat ötelemesi oranları (%)

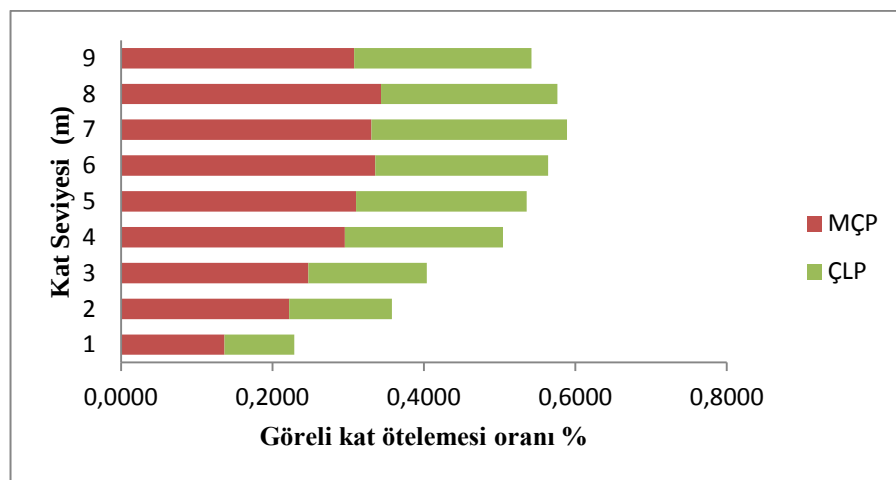
LA 23, LA 29, LA 30 ve LA 39 depremleri altında merkezi çaprazlı ve levha perdeli binaların çatı yer değıştirmesi - zaman ilişkileri Şekil 4.26., Şekil 4.29., Şekil 4.32. ve Şekil 4.35.'te, deprem sırasında meydana gelen maksimum yer değıştirme anındaki deformasyon şekilleri Şekil 4.27., Şekil 4.30., Şekil 4.33. ve Şekil 4.36.'da ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırmalı olarak grafik halinde Şekil 4.28., Şekil 4.31., Şekil 4.34. ve Şekil 4.37.'de verilmiştir.



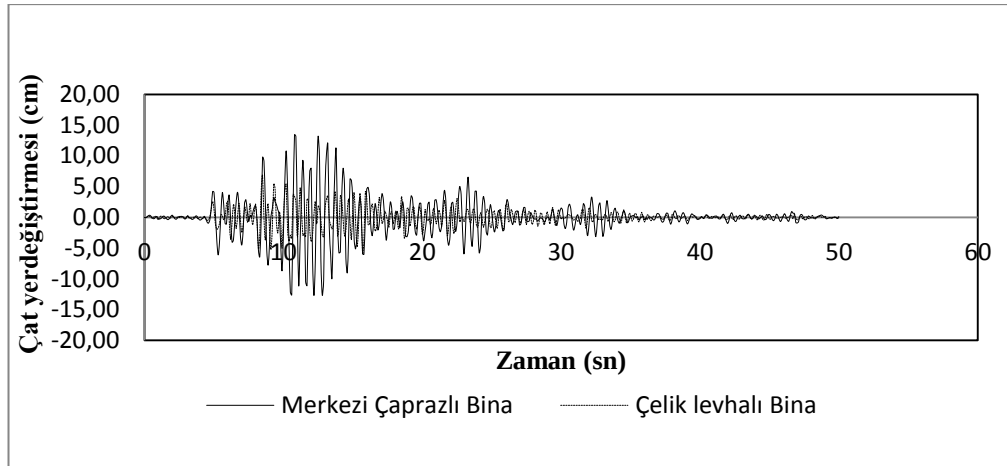
Şekil 4.26. LA 23 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değiştirme - zaman ilişkisi



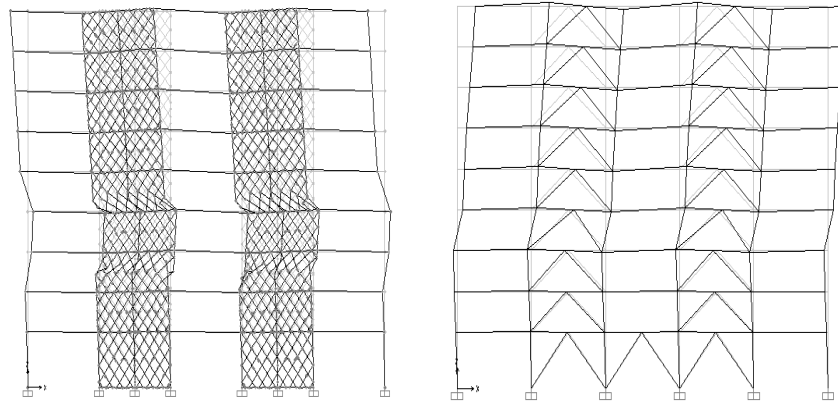
Şekil 4.27. LA 23 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli



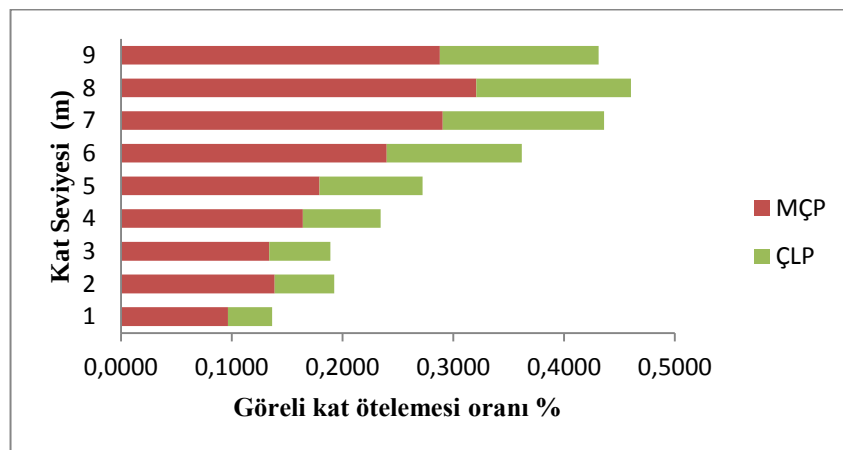
Şekil 4.28. LA 23 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki göreceli kat ötelemeleri



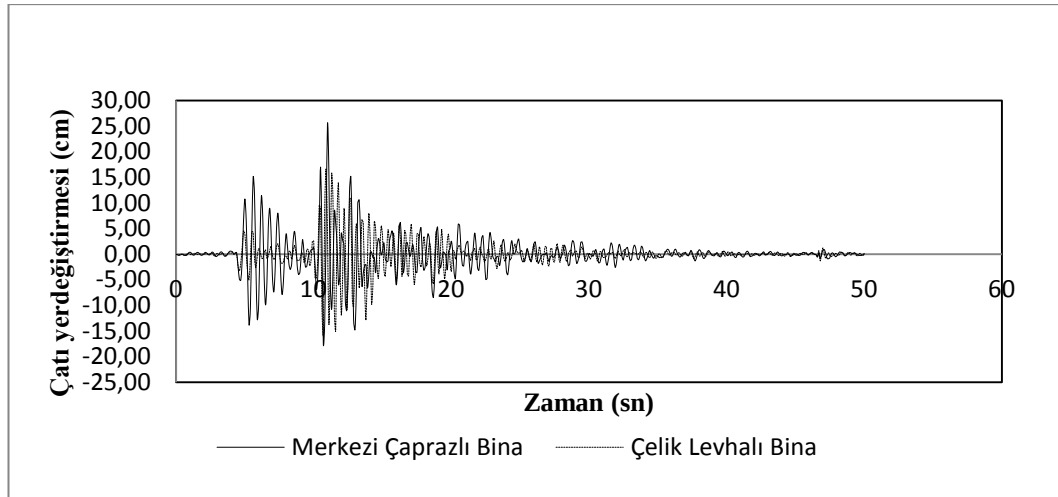
Şekil 4.29. LA 29 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değiştirme - zaman ilişkisi



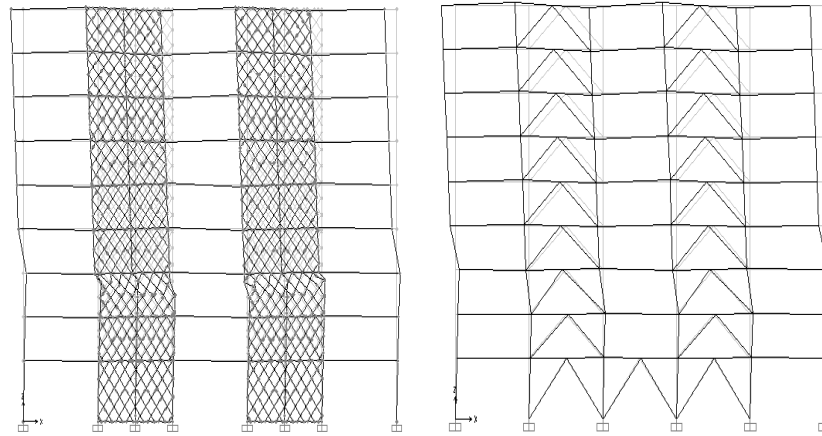
Şekil 4.30. LA 29 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli



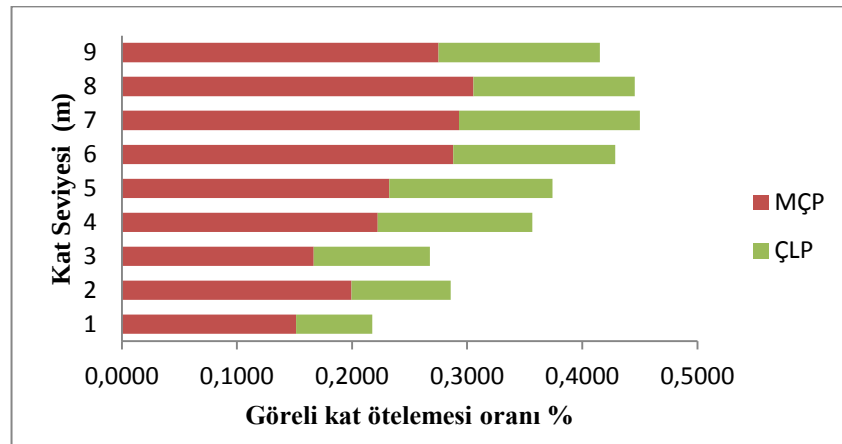
Şekil 4.31. LA 29 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki göreceli kat ötelemeleri



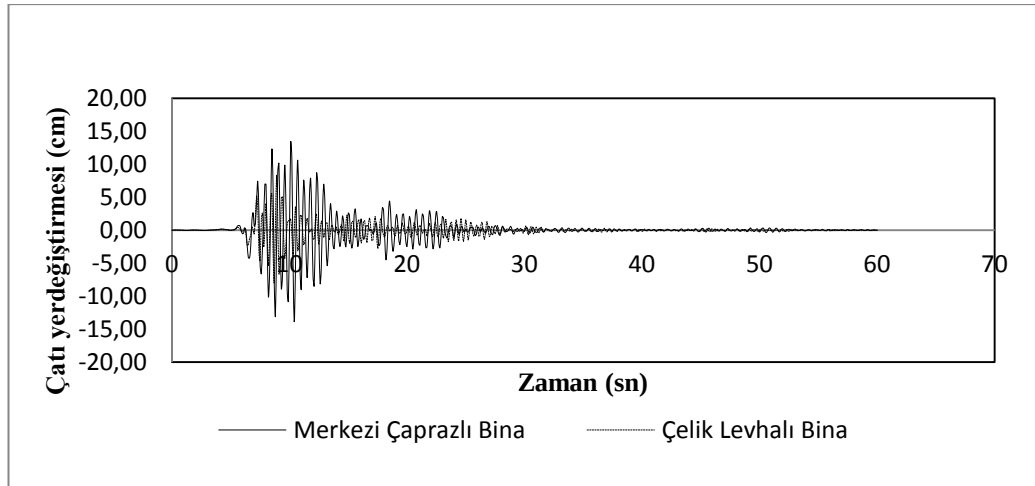
Şekil 4.32. LA 30 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değiştirme - zaman ilişkisi



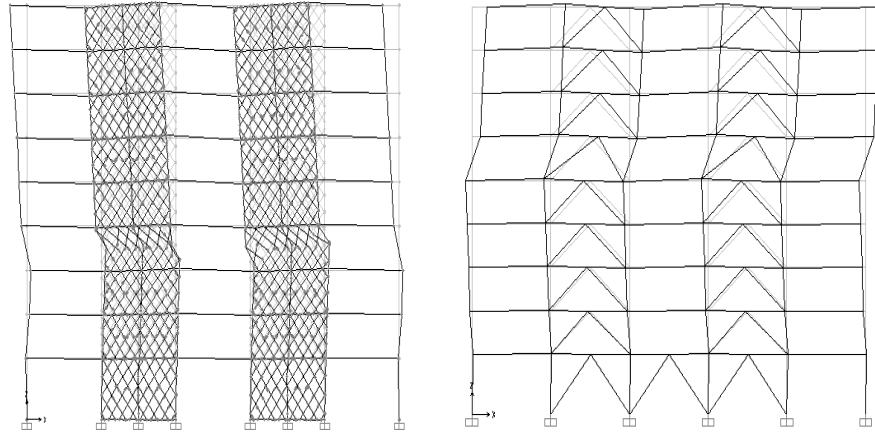
Şekil 4.33. LA 30 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli



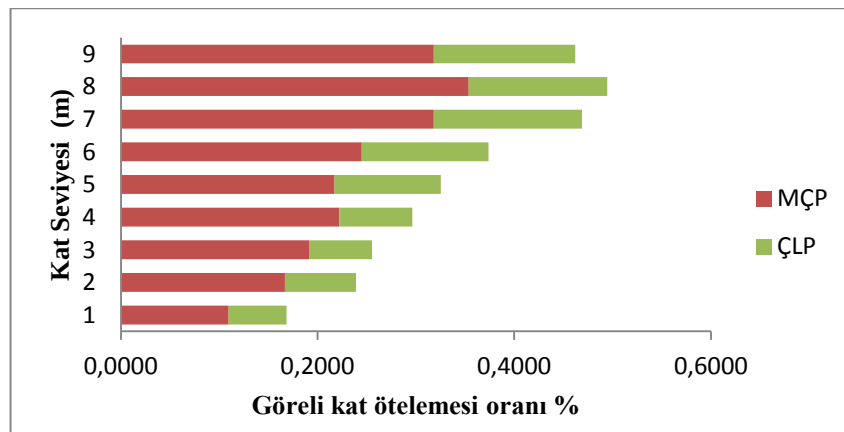
Şekil 4.34. LA 30 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki göreceli kat ötelemeleri



Şekil 4.35. LA 39 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemde yer değiştirme - zaman ilişkisi



Şekil 4.36. LA 39 depremi etkisindeki binanın maksimum yer değiştirme anındaki deformasyon şekli



Şekil 4.37. LA 39 depremi için çelik levha perdeli ve merkezi çapraz perdeli sistemlerdeki göreceli kat ötelemeleri

4.5. Sonuçlar

Çelik binaların tasarımında kullanılan doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri gerçek davranışa çok yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayabilmektedirler. Bu yöntemler mühendislere tasarım aşamasında binaların deprem etkisi altında nasıl davrandığını göstermekte oldukça faydalı olmaktadır. Bu çalışmada seçilen merkezi çaprazlı ve levha perdeli çelik binaların doğrusal olmayan statik itme analizi ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri yapılmıştır. Birinci bölümde yapılan çalışmayla ilgili ön bilgi verilmiştir. İkinci bölümde performansı araştırılacak olan çelik levha perdeli sistemlerle ilgili literatür taraması yapılmış ve sistem gereklilikleri ilgili yönetmeliklere göre anlatılmıştır. Üçüncü bölümde analiz yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise tasarlanan çelik yapı modellerinin doğrusal olmayan statik itme analizi ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri SAP2000 statik analiz programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

a) Merkezi çaprazlı çerçevede bina hedef yer değiştirmeye kadar itildiğinde hiç plastik mafsall oluşmamıştır. Ancak hedef yer değiştirmenin yaklaşık 3 katına yani 30 cm kadar itildiğinde merkezi çaprazlı binada plastik mafsalların oluştuğu elemanlar yatay yükleri aktaran çapraz elemanlar olmuştur. 9 elemanda plastik mafsall oluşmuştur. Kolonlar ve kirişlerde yapısal hasar oluşmamıştır. Sonuç olarak bina can güvenliği performans seviyesindedir.

b) Çelik levha perdeli bina hedef yer değiştirmeye kadar itildiğinde plastik mafsall oluşmamıştır. Hedef yer değiştirmenin yaklaşık 3 katına kadar yani 30 cm itildiğinde ise plastik mafsall oluşan eleman deprem yüklerini aktaran şerit eleman olmuştur. 1 elemanda plastik mafsall oluşmuştur. Bu durumda çelik levha perdeli bina da can güvenliği performans seviyesi sınırlarının içinde kalmıştır.

c) Merkezi çaprazlı perdeli binada göçme bölgesindeki eleman sayılarının toplam eleman sayısına oranı %6.5, çelik levha perdeli binada göçme bölgesindeki eleman sayılarının toplam eleman sayısına oranı %0.2'dir. Ayrıca yapılan itme analizi sonucunda elde edilen itme eğrileri karşılaştırıldığında çelik levha perdeli binanın yatay dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür.

d) FEMA 356[9] dokümanında katlar arası görelî kat ötelemelerine bağılı olarak birkaç performans seviyesi tanımlanmıştır. Bu dokümanda; can güvenliği ve göçmenin önlenmesi gibi performans seviyeleri sırasıyla % 2.0 katlar arası görelî kat ötelemesi oranı ile sınırlandırılmıştır. Merkezi çaprazlı ve çelik levha perdeli 9 katlı ve 5 açıklıklı binaların LA23, LA29, LA30, LA39 depremleri için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Görelî kat ötelemesi sınır değerleri her iki bina için de aşılmamıştır. Her iki binanın da tüm deprem kayıtları için FEMA 356'da verilen can güvenliği performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında çelik levha perdeli binaların merkezi çaprazlı binaya göre daha fazla yatay yer değiştirme yaptığı görülmektedir.

e) Merkezi çapraz perdeli binanın mod şekillerinin ve periyotlarının değiştiğı ancak çelik levha perdeli binanın 2. moddan sonra periyotlarının ve mod şekillerinin neredeyse hiç değişmediğı görülmüştür.

f) Sonuç olarak, doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi yeni yapılacak ve mevcut binalar için kullanılabilmekte eleman bazında hasar kontrolü yapılabilmesini sağlamaktadır. Aynı şekilde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişı analiziyle binaların kullanım ömrü boyunca karşılaşılabileceğı depremlerden sonra ne kadar hasar göreceğı belirlenebilmekte ve tasarım yönetilebilmektedir. Mevcut yapılarda onarım ve güçlendirme sürecinde önemli rol oynamaktadırlar. Bu yöntemler mühendislerin kullanması gereken gelişmekte olan yöntemlerdir.

5. KAYNAKLAR

- AISC. (2007). *Steel Design Guide, Steel Plate Shear Walls*, American Institute of Steel Construction. Buffalo, NY.
- AISC. (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-10*, American Institute of Steel Construction. Chicago, IL.
- AISC. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings, 360-10*. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.
- Akbaş, B., Sutchiewcharn, N., Cai, W., Wen, R., & Shen, J. (2012). Comparative study of special and ordinary braced frames. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*.
- Astaneh-Asl, A. (2001). Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls. *Steel Tips*.
- Aydinoğlu, M. N. (2011). *Performance Based Design, Ders Notları*, GYTE. Kocaeli.
- Berman, J. W. (2011). Seismic behavior of code designed steel plate shear walls. *Engineering Structures*, 230-244.
- Bruneau, M. B.-G. (2005). Steel Plate Shear Wall Buildings: Design Requirements and Research. *Proceedings of 2005 North American Steel Construction Conference*. Montreal, Canada.
- Bruneau, M., Berman, J., Garcia, D. L., & Darren, V. (2005). *Steel Plate Shear Wall Buildings: Design Requirements and Research*. Retrieved March 11, 2012 (de indirildi) from world wide web: <http://www.eng.buffalo.edu/~bruneau/NASCC%202005%20Bruneau%20Berman%20Lopez-Garcia%20Vian.pdf>.
- Chopra, A. K., & Rakesh, K. G. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 561–582.
- Ericksen, J., & Sabelli, R. (2008). *A Closer Look at Steel Plate Shear Walls*. Retrieved March 11, 2012 (de indirildi) from world wide web: http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/January_2008/012008_30773_steelwise_web.pdf.
- Erkan, M. (tarihsiz). *Performans bazlı tasarım itme(pushover) analizi - Temel Kavramlar ve Metot*. Retrieved May 28, 2012 (de indirildi) from world wide web: <http://www.2n.com.tr/Narticles/Performans%20Analizi.pdf>.

- FEMA-355F. (2000). *State of the art report on performance prediction and evaluation of steel moment-frame buildings*. California.
- FEMA-356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Washington, DC.
- Kadid, A., & Boumrkik, A. (2008). Pushover Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures. *Asian Journal of Civil Engineering*, 75-83.
- Kıymaz, G., & Coşkun, E. (tarihsiz). *Çelik Levha Perdeli Yapılar*. Retrieved October 9, 2011 (de indirildi) from world wide web:
<http://web.iku.edu.tr/~ecoskun/%C3%A7elik%20levha%20perdeli%20yap%C4%B1lar.pdf>.
- Sap2000. (2010). *Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures, Version 14.2.2*. Berkeley, California.
- Timler, G. L., Thorburn, L. J., & Montgomery, C. J. (1983). *Analysis of steel plate shear walls*. Alberta: Structural engineering report no: 107.
- Topaloğlu, N. (2007). *Merkezi çelik çaprazlı perde türlerinin etkinliğinin doğrusal olmayan statik itme analizi ile incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Turkey.

ÖZGEÇMİŞ

Emel Altıntaş 1983 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini Yıldırım Beyazıt İlköğretim Okulu’nda, lise eğitimini Gebze Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2008 yılında lisans eğitimi tamamladıktan sonra 2011 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü’nde yüksek lisans eğitimine başladı.