

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK ÇELİK ÇERÇEVELERİN ETKİN
GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİNİN İRDELENMESİ**

ONUR ŞEKER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. A. ZAFER ÖZTÜRK**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK ÇELİK ÇERÇEVELERİN ETKİN
GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİNİN İRDELENMESİ**

ONUR ŞEKER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. A. ZAFER ÖZTÜRK**

İSTANBUL, 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan çelik taşıyıcı sistemlerden biri olan süreklilik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin Türk ve Amerikan Deprem Yönetmeliklerinde biri birinden farklı tanımlanan ve çerçevelerin tasarımına hükmeden dolayısıyla maliyeti ve performansı büyük ölçüde etkileyen yer değiştirme arttırma katsayıları karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın başından sonuna kadar yanımda olan ve benden bilgisini ve desteğini esirgemeyen hocalarım Prof. A. Zafer Öztürk ve Doç. Dr. Bülent Akbaş'a bana kattıkları için sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs, 2011

Onur ŞEKER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Litaretür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2 TASARIM	4
2.1 Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçevelerin Tasarım Esasları.....	4
2.2 Çerçevelerin Tasarımı.....	12
2.3 Çerçevelerin Analitik Modeli ve Deprem İvme Kayıtları	19
BÖLÜM 3 R ve C _d KATSAYILARININ GEÇMİŞİ ve TEORİSİ	28
3.1 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Bileşenlerinin Tanımlanması	28
3.1.1 Süneklik Bileşeni.....	29
3.1.1.1 Newmark ve Hall	31
3.1.1.2 Lai ve Biggs	33
3.1.1.3 Riddell ve Newmark	34
3.1.1.4 Elghadamsi ve Mohraz	36
3.1.1.5 Riddell, Hidalgo ve Cruz	36
3.1.1.6 Nassar ve Krawinkler	37
3.1.1.7 Vidic, Fajfar ve Fischinger	38
3.1.1.8 Miranda.....	39
3.1.2 Fazla Dayanım Bileşeni (Overstrength Factor).....	40
3.1.2.1 Fazla Dayanım Katsayısı ile İlgili Yapılan Çalışmalar	41
3.1.2.1.1 Freeman	42
3.1.2.1.2 Osteraas ve Krawinkler	42

3.1.2.1.3 Kappos	42
3.1.2.1.4 Balendra ve Huang	42
3.1.2.1.5 Kim ve Choi	42
3.1.2 Süneklik ve Fazla Dayanım Bileşenlerinin Değerlendirilmesi	43
3.2 C_d Katsayısının Tanımlanması	44
BÖLÜM 4 ANALİZ SONUÇLARI	47
4.1 4 Katlı Yapıların Doğrusal Elastik Olmayan (Non-linear) Analiz Sonuçları.....	47
4.1.1 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları	47
4.1.1.1 Doğrusal Elastik Olmayan Statik İtme Analizi Sonuçları.....	55
4.1.1.2 İvme-Yer Değiştirme Spektrumu Yöntemi (ADRS).....	57
4.1.2 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları	64
4.1.2.1 Yer Değiştirme Talebinin İvme-Yer Değiştirme Spektrumu Yöntemiyle Belirlenmesi (ADRS)	74
4.2 9 Katlı Yapıların Doğrusal Elastik Olmayan (Non-linear) Analiz Sonuçları.....	78
4.2.1 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları	78
4.2.2 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları	94
4.3 20 Katlı Yapıların Doğrusal Elastik Olmayan (Non-linear) Analiz Sonuçları.	107
4.3.1 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları	107
4.3.2 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları	122
BÖLÜM 5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER	133
KAYNAKLAR	137
EK-A AZALTIKIRIŞ KİRİŞ KESİTİ HESAPLARI	140
ÖZGEÇMİŞ	142

SİMGE LİSTESİ

a_o	Rayleigh sönümü kütle çarpanı
a_1	Rayleigh sönümü rijitlik çarpanı
$a_1^{(i)}$	İtme analizi esnasında i'inci itme adımında birinci moda ait modal ivme
b_{bf}	Kiriş kesitinin başlık genişliği
c	Viskoz sönüm katsayısı
C_d	Yer değiştirme arttırma katsayısı
d_1	1. moda ait modal yer değiştirme
d_c	Kolon en kesit yüksekliği
d_i	i'inci katın azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirmesi
d_{i-1}	i-1'inci katın azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirmesi
D_a	Akma gerilmesi arttırma katsayısı
F_a	Kısa periyot bölgesi için bölge çarpanı
F_v	Uzun periyot bölgesi için bölge çarpanı
F_y	Akma dayanımı
h_i	i'inci katın yüksekliği
M_1	Birinci moda ait etkin kütle
M_{vi}, M_{vj}	Kirişin i ve j uçlarındaki olası plastik mafsaldaki kesme kuvvetinden dolayı kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momenti
M_{pa}	Kolonların alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi
$M_{pü}$	Kolonların üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi
M_{pi}	Kirişlerin sol ucu i'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{pj}	Kirişlerin sağ ucu j'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_p	Eğilme momenti kapasitesi
PGA	En büyük yer ivmesi
PSA	Spektral sözde ivme
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
R_n	Nominal mukavemet
R_μ	Taşıyıcı sistem davranış katsayısının süneklik bileşeni
$S(T)$	Spektrum katsayısı
S_a	Spektral ivme
S_{ae}	Elastik spektral İvme
S_{de}	Doğrusal elastik spektral yer değiştirme
S_{di}	Doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme
SD	Spektral yer değiştirme
S_{DS}	%5 sönüm oranına sahip tepki spektrumunun kısa periyot ivme parametresi
S_{D1}	%5 sönüm oranına sahip tepki spektrumunun 1 sn'lik periyoda karşılık

	gelen ivme parametresi
S_s	Sismik tehlike eğrilerinden elde edilen %5 sönüm oranına sahip tepki spektrumunun kısa periyot ivme parametresi
S_I	Sismik tehlike eğrilerinden elde edilen %5 sönüm oranına sahip tepki spektrumunun 1 sn'lik periyoda karşılık gelen ivme parametresi
S_{MS}	%5 sönüm oranına sahip tepki spektrumunun zemin sınıfına bağlı kısa periyot ivme parametresi
S_{MI}	%5 sönüm oranına sahip tepki spektrumunun zemin sınıfına bağlı 1 sn'lik periyoda karşılık gelen ivme parametresi
V_d	Tasarıma esas alınan taban kesme kuvveti
V_e	Yapının elastik kalması durumunda sistemde oluşacak en büyük taban kesme kuvveti
V_t	Taban kesme kuvveti
$V_I^{(i)}$	İtme analizi esnasında yapının tepesinde (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim moda) ait taban kesme kuvveti değeri
Q_i	Değişik yük etkileri
T	Yapının doğal titreşim periyodu
T_1	Yapının 1. doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	DBYBHY (2007)'de tanımlanan spektrum karakteristik periyotları
T_0, T_s	ASCE 7-05'de tanımlanan spektrum karakteristik periyotları
T_L	Uzun periyot bölgesi dönüşüm periyodu
$u_{nl}^{(i)}$	İtme analizi esnasında yapının tepesinde (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme değeri
ϕ	Mukavemet azaltma katsayısı
ϕ_{nl}	Binanın tepesinde birinci moda ait mod şekli genliği
Γ_1	Birinci moda ait katkı çarpanı
Δ_p	Plastik yer değiştirme
Δ_{tepe}	Çatı yer değiştirmesi
Δ_d	Tasarıma esas alınan taban kesme kuvvetine karşılık gelen çatı yer değiştirmesi
Δ_y	Akma dayanımına karşılık gelen çatı yer değiştirmesi
Δ_e	Yapının elastik kalması durumunda sistemde oluşacak çatı yer değiştirmesi
Δ_{max}	Yapıda elastik-ötesi durumda meydana en büyük çatı yer değiştirmesi
Δ_i	Binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
μ	Süneklik katsayısı
Ω	Fazla dayanım katsayısı (Overstrength factor)
γ	Yük arttırma katsayısı
δ_i	Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
ω_n	Yapının doğal frekansı
ξ_n	Sönüm oranı

KISALTMA LİSTESİ

ADRS	Acceleration Displacement Response Spectrum
AISC	American Institute of Steel Construction
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASD	Allowable Stress Design
ATC	Applied Technology Council
CUREe	California Universities for Research in Earthquake Engineering
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EC8	Eurocode 8
FEMA	Federal Emergency Management Agency
LRFD	Load and Resistance Factor Design
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
RBS	Reduced Beam Section
SAC	SEAOC - ATC - CUREe
SEAOC	Structural Engineers Association of California
SMRF	Special Moment Resisting Frame
TDY	Türk Deprem Yönetmeliği
UBC	Uniform Building Code

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	DBYBHY(2007)'de Tanımlanan Özel Tasarım İvme Spektrumu6
Şekil 2.2	ASCE 7-05(2005)'de Tanımlanan Tasarım İvme Spektrumu8
Şekil 2.3	Deprem Anında Düğüm Noktalarında Plastik Moment Yönleri.....10
Şekil 2.4	4 Katlı Çerçeveye ait Plan ve Elevasyon.....13
Şekil 2.5	9 Katlı Çerçeveye ait Plan ve Elevasyon.....13
Şekil 2.6	20 Katlı Çerçeveye ait Plan ve Elevasyon.....14
Şekil 2.7	AISC 358-05'e göre Zayıflatılmış Kiriş Kesiti.....15
Şekil 2.8	4 Katlı Yapılara ait Etkin Görelî Kat Ötelemeleri.....16
Şekil 2.9	9 Katlı Yapılara ait Etkin Görelî Kat Ötelemeleri.....17
Şekil 2.10	20 Katlı Yapılara ait Etkin Görelî Kat Ötelemeleri.....18
Şekil 2.11	a) Yapısal sönümün kütle bileşeni b) Yapısal sönümün rijitlik bileşeni21
Şekil 2.12	a) Doğal Frekans-Sönüm Oranı İlişkisi b) Rayleigh Sönümü21
Şekil 2.13	P-Δ Kolonu22
Şekil 2.14	50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Spektrumları.....25
Şekil 2.15	50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Spektrumları.....26
Şekil 3.1	Genel Yapı Davranışı29
Şekil 3.2	Yatay Dayanım-Süneklik İlişkisi30
Şekil 3.3.a	Newmark ve Hall'a ait R_{μ} Değerleri33
Şekil 3.3.b	Lai ve Biggs'e ait R_{μ} Değerleri.....34
Şekil 3.3.c	Riddel ve Newmark'a ait R_{μ} Değerleri35
Şekil 3.3.d	Riddel, Hidalgo ve Cruz'a ait R_{μ} Değerleri.....37
Şekil 3.3.e	Nassar ve Krawinkler'e ait R_{μ} Değerleri.....38
Şekil 4.1	4 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (I. grup).....48
Şekil 4.2	4 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (I. grup).....49
Şekil 4.3	4 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (II. grup)50
Şekil 4.4	4 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (II. grup)51
Şekil 4.5	4 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (III. grup).....52
Şekil 4.6	4 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (III. grup)52
Şekil 4.7	ASCE 7-05 (2005)'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri56
Şekil 4.8	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri56
Şekil 4.9	Modal Kapasite Diyagramı - İvme/Yer Değiştirme Spektrumu.....58
Şekil 4.10	ASCE 7-05(2005)'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En Büyük Depreme ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu60
Şekil 4.11	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En

	Büyük Depreme ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu.....	62
Şekil 4.12	4 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (I. grup).....	65
Şekil 4.13	4 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (I. grup).....	66
Şekil 4.14	4 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (II. grup)	67
Şekil 4.15	4 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (II. grup)	69
Şekil 4.16	4 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (III. grup).....	70
Şekil 4.17	4 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (III. grup)	71
Şekil 4.18	ASCE 7-05 (2005)'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değişirme Değerleri.....	73
Şekil 4.19	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değişirme Değerleri	73
Şekil 4.20	ASCE 7-05(2005)'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu	74
Şekil 4.21	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu	76
Şekil 4.22	9 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (I. grup).....	79
Şekil 4.23	9 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (I. grup).....	81
Şekil 4.24	9 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (II. grup)	82
Şekil 4.25	9 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (II. grup)	86
Şekil 4.26	9 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (III. grup).....	87
Şekil 4.27	9 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (III. grup)	89
Şekil 4.28	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değişirme Değerleri	90
Şekil 4.29	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değişirme Değerleri	90
Şekil 4.30	ASCE 7-05(2005)'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En Büyük Depreme ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu	91
Şekil 4.31	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En Büyük Depreme ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu.....	92
Şekil 4.32	9 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (I. grup).....	95
Şekil 4.33	9 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (I. grup).....	96
Şekil 4.34	9 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (II. grup)	97
Şekil 4.35	9 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (II. grup)	98
Şekil 4.36	9 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (III. grup).....	99
Şekil 4.37	9 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (III. grup)	101
Şekil 4.38	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değişirme Değerleri	102
Şekil 4.39	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değişirme Değerleri	103
Şekil 4.40	ASCE 7-05(2005)'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu	103
Şekil 4.41	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu	104
Şekil 4.42	20 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (I. grup)	108
Şekil 4.43	20 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (I. grup).....	109
Şekil 4.44	20 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (II. grup)	110
Şekil 4.45	20 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (II. grup)	114
Şekil 4.46	20 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (III. grup).....	116
Şekil 4.47	20 Katlı Yapıların Görelî Kat Ötelemeleri (III. grup)	118
Şekil 4.48	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değişirme Değerleri	119
Şekil 4.49	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük	

Yer Değiştirme Değerleri	119
şekil 4.50 20 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (I. grup)	122
şekil 4.51 20 Katlı Yapıların Görelı Kat Ötelemeleri (I. grup).....	123
şekil 4.52 20 Katlı Yapıların Plastik Mafsal Dönmeleri (II. grup)	125
şekil 4.53 20 Katlı Yapıların Görelı Kat Ötelemeleri (II. grup)	127
şekil 4.54 ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri	129
şekil 4.55 TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri	130

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Spektrum Karakteristik Periyotları (T_a , T_b).....7
Çizelge 2.2	ASCE 7-05'de Tanımlanan F_a Katsayıları8
Çizelge 2.3	ASCE 7-05'de Tanımlanan F_v Katsayıları9
Çizelge 2.4	4 Katlı Yapılara ait Eleman Kesitleri.....17
Çizelge 2.5	9 Katlı Yapılara ait Eleman Kesitleri.....18
Çizelge 2.6	20 Katlı Yapılara ait Eleman Kesitleri.....19
Çizelge 2.7	Yapıların 1. Doğal Titreşim Periyotları20
Çizelge 2.8	50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 olan Depremlerin Detayları.....23
Çizelge 2.9	50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 olan Depremlerin Detayları.....24
Çizelge 3.1	α ve β Katsayıları.....33
Çizelge 3.2	R^* ve T^* Katsayıları36
Çizelge 3.3	a ve b Katsayıları37
Çizelge 3.4	DBYBHY(2007) ve ASCE 7-05(2005)'in Önerdiği R , R_{μ} , Ω Katsayıları ...44
Çizelge 3.5	ASCE 7-05 (2005)'in Önerdiği R ve C_d Katsayıları45
Çizelge 4.1	4 Katlı Yapılara ait %2'lik Deprem Grupları48
Çizelge 4.2	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları.....63
Çizelge 4.3	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları64
Çizelge 4.4	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları64
Çizelge 4.5	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları.....64
Çizelge 4.6	4 Katlı Yapılara ait %10'luk Deprem Grupları65
Çizelge 4.7	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları.....76
Çizelge 4.8	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları77
Çizelge 4.9	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları77
Çizelge 4.10	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları.....77
Çizelge 4.11	9 Katlı Yapılara ait %2'lik Deprem Grupları78
Çizelge 4.12	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları.....93
Çizelge 4.13	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları93
Çizelge 4.14	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları94
Çizelge 4.15	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları.....94
Çizelge 4.16	9 Katlı Yapılara ait %10'luk Deprem Grupları94
Çizelge 4.17	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları.....105
Çizelge 4.18	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları105
Çizelge 4.19	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları106
Çizelge 4.20	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Katsayıları.....106
Çizelge 4.21	20 Katlı Yapılara ait %2'lik Deprem Grupları.....107
Çizelge 4.22	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları.....120

Çizelge 4.23	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Değerleri.....	120
Çizelge 4.24	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları	121
Çizelge 4.25	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Değerleri	121
Çizelge 4.26	20 Katlı Yapılara ait %10'luk Deprem Grupları	122
Çizelge 4.27	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları.....	130
Çizelge 4.28	ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Değerleri.....	131
Çizelge 4.29	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları	131
Çizelge 4.30	TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ort. C_d Değerleri	131
Çizelge 4.31	4, 9 ve 20 katlı yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlere verdiği tepkiler.....	132
Çizelge 4.32	4, 9 ve 20 katlı yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlere verdiği tepkiler.....	132

SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK ÇELİK ÇERÇEVELERDE ETKİN GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİNİN İRDELENMESİ

Onur ŞEKER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. A. Zafer ÖZTÜRK
Eş Danışman: Doç. Dr. Bülent AKBAŞ

Genel olarak yapıların tasarlanmasında üç temel adım mevcuttur: a) dayanım tahkiki, b) etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü, c) kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu. Ancak çelik çerçevelerde tasarım, yönetmeliklerde belirtilen etkin görelî kat ötelemeleri koşulunun sağlanarak kesit seçilmesiyle başlamaktadır. Etkin görelî kat ötelemeleri şartını sağlayan kesitler genellikle dayanım şartını sağlamaktadır. Türk Deprem Yönetmeliği (TDY, 2007), kat deplasmanlarını hesaplarken (doğrusal elastik olmayan deplasman), azaltılmış deprem kuvvetleri kullanılarak hesaplanan elastik deplasmanın "Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı" (R) ile çarpılarak hesaplanmasını isterken; ASCE 7-05(2005) ise azaltılmış deprem kuvvetleri ile hesaplanan elastik deplasmanları, inelastik deplasmana çevirmek için "Deplasman Arttırma Katsayısı" (C_d) kullanmaktadır.

Süneklîk düzeyi yüksek çelik çerçeveler için C_d ve R sayıları ASCE 7-05 (2005)'de ve TDY (2007)'de sırasıyla 5.5 ve 8 olarak belirlenmiştir. Etkin görelî kat ötelemelerinin belirlenmesinde iki yönetmelik arasındaki bu tutarsızlık Türkiye'deki binalarda oldukça yüksek ve ağır kesitler seçilmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmanın amacı güçlü yer hareketleri etkisindeki az, orta ve çok katlı süneklîk düzeyi yüksek çelik çerçevelerin doğrusal

elastik olmayan deplasmanlarının değerlendirilmesidir. Bu amaçla; 4, 9 ve 20 katlı süneklik düzeyi yüksek elik çerçeveler, doğrusal elastik olmayan dinamik ve statik itme analizlerine tabi tutularak, çerçevelerin dayanım, grelil kat ötelemeleri ve plastik mafsal dönmeleri değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler:

Deprem Yönetmelikleri, Yapısal Deprem Mühendisliği, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), Deplasman Arttırma Katsayısı (C_d)

**EVALUATION OF STORY DRIFTS IN STEEL MOMENT RESISTING
FRAMES**

Onur ŞEKER

Department of Civil Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. A. Zafer ÖZTÜRK
Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bülent AKBAŞ

General design of a structural system follows a three-step procedure: a) strength design, b) drift design, c) strong column-weak beam design. However, in SMRFs, the first step of structural design starts with the selection of the structural sections based on drift limit set forth by the seismic design codes. The sections that satisfy the drift limit, in general, satisfy the strength design criteria. Turkish Earthquake Code (TEC, 2007) requires that story displacements (inelastic displacements) be calculated by multiplying the response modification factor (R) with the deflection determined by elastic analysis under earthquake forces. However, ASCE 7-05 (2005) allows determining the story displacements (inelastic displacements) by multiplying the deflections determined by elastic analysis under earthquake forces with a deflection amplification factor (C_d).

For special moment resisting frames, C_d is given as 5.5 in ASCE 7-05 (2005) and R is given as 8 in TEC (2007). This high discrepancy in determining the story drift results in using higher and heavier sections in Turkey. This study aims at investigating the seismic displacements that low-, medium-, and high-rise SMRFs can experience under severe earthquake ground motions and evaluating the inelastic displacement of SMRFs in a rational way. For this purpose, nonlinear dynamic time history and pushover analyses will be carried

out on SMRFs with 4-, 9-, 20-stories. The results obtained from this study will be presented in terms of strength, story drift, and plastic hinge rotations.

Keywords:

Seismic Design Codes, Structural Earthquake Engineering, Response Modification Factor (R), Deflection Amplification Factor (C_d)

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde, deprem mühendisliğindeki ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesini büyük ölçüde etkilemiştir. Bilgisayar teknolojisinin olanak sağlamasıyla teorik temeli daha eskilere dayanan birtakım analizler (doğrusal elastik olmayan dinamik analiz ve statik itme analizi) yapılabilir hale gelmiştir. Bilhassa yapıların elastik-ötesi davranışı hakkında bilgi edinilmesi, yapının henüz tasarım aşamasındayken ekonomik ve hedeflenen aşamada güvenli olmasını sağlamaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, -belirli farklılıklar gösterse de- bütün sismik yönetmeliklerde, yapının güçlü yer hareketlerine maruz kaldığında hasar almasını, ancak ayakta kalmasını öngörerek yapılmaktadır [1],[2]. Yapının ömrü boyunca belki de hiç karşılaşmayacağı depremlerin etkisi altında elastik davranış göstermesi, yani hiç hasar almaması, ekonomik ve akılcı olmadığından arzu edilen bir tasarım yöntemi değildir. Kabul gören tasarım yöntemi, yapının üzerine gelen yükleri, elastik bölgede kalmak yerine bir miktar elastik-ötesi deformasyon yaparak karşılaması, başka bir deyişle elastik ötesi enerji tüketme kapasitesini kullanmasıdır. Bu amaçla yapı, elastik tasarım spektrumlarından elde edilen ve taşıyıcı sistemin süneklik düzeyine, malzeme cinsine (betonarme, prefabrik, çelik), taşıyıcı sistemin yapısına (merkezi çaprazlı çerçeveler, moment aktaran çerçeveler vs.) ve yapının dinamik özelliklerine bağlı olarak değişen bir katsayıyla azaltılarak, doğrusal elastik olmayan deprem yüklerine göre boyutlandırılır. Şartnamelerde "Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı"na (R) bağlı olarak belirlenen "Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a)", bahsi geçen elastik deprem yüklerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

Öte yandan, "Etkin Göreli Kat Ötelemeleri" gibi bazı sınır şartlar kontrol edilirken, azaltılmış yükler kullanılarak elde edilen yer değiştirme değerleri büyütülerek yapının elastik-

ötesi davranışı esnasındaki yer değiştirme değerlerinin yaklaşık olarak elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu işlevi yerine getirmek üzere ASCE 7-05 (2005)'de *Deflection Amplification Factor* (C_d), DBYBHY (2007)'de ise Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) kullanılmaktadır. Taşıyıcı sistem bakımından aynı özelliklere sahip yapılara ait Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları her iki yönetmelik için farklılık göstermezken, Azaltılmış Göreli Kat Ötelemeleri'ni, Etkin Göreli Kat Ötelemeleri'ne dönüştüren katsayılar (R ve C_d) arasında büyük farklılıklar göze çarpmaktadır. Tasarım mühendisi, güvenlik konusunda temkinli olduğu kadar yapının maliyetini de göz önünde bulundurmalı, gereğinden büyük kesitler seçmemelidir. Özellikle, Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçeveler'in tasarımında kesitler seçilirken etkin göreli kat ötelemeleri şartının belirleyici olduğu göz önüne alındığında, bu farklılık daha da önemli hale gelmektedir. Bu sebeple TDY (2007)'ye göre tasarlanan süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin kesitleri ASCE 7-05 (2005)'e göre daha yüksek ve ağır çıkmaktadır.

Deprem yüklerinin azaltılması tasarım felsefesi olarak ekonomik olmakla birlikte, yönetmeliklerin önerdiği katsayıların güvenilirliği tartışmaya açıktır. Önerilen katsayıların kendi içindeki ve daha önemlisi yönetmelikler arasındaki tutarsızlıkları birçok araştırmacının dikkatini çekmiş, farklı zamanlarda konuyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [16], [17], [22], [25]. Yönetmeliklerde halen geçerliliğini koruyan bu katsayıların güvenilirliği, sahip olunan bilgisayar teknolojisi sayesinde artık daha somut ve akılcı biçimde tartışılabilen ve dahası analitik ve/veya deneysel olarak sınanabilmektedir. Bu çalışmada R ve C_d katsayılarının bağlı olduğu değişkenler ve bu değişkenlerle ilgili yapılan eski çalışmalar hatırlatılarak, yapılan yeni çalışmadaki bulgular ve sonuçlar yorumlanacaktır. Böylece hangi yönetmeliğin kullandığı katsayının daha gerçekçi olduğuna dair bir fikir edinilmeye çalışılacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçeveler, çelik taşıyıcı sistemler arasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde meydana gelen 1989 Loma Prieta ve ardından 1994 Northridge depremleri mühendislik camiasını şaşırta sonuçlar doğurmuştur. Özellikle 1994 Northridge depremiyle görülmüştür ki, can kaybı yaşanmamasına rağmen pek çok moment aktaran çerçevede büyük maddi hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durum o zamana kadar ciddi şekilde tartışılmayan birçok soruyu gündeme getirmiştir. Birleşim bölgelerinde beklenmeyen hasarların ortaya çıkması üretim, tasarım ve uygulama bakımından

değişimlere sebep olmuştur. Birleşim bölgelerinde kaynakların uygulanışı esnasındaki hataları bir kenara bırakırsak, yapıların tasarıma esas alınandan daha yüksek dayanıma sahip olması (fazla dayanım) depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesinin temel taşı olan "Dayanım Azaltma Katsayısı"nın farklı biçimde ele alınmasına sebep olmuştur. Bahsi geçen dayanım fazlalığının yarattığı olumsuzlukların fark edilmesiyle yer değiştirme esaslı tasarımın gelişmesi hız kazanmıştır. FEMA, NEHRP, ATC, AISC gibi kurumların hazırladığı raporlar ve akabinde yenilenen yönetmeliklerle desteklenen bu gelişim, Fazla Dayanım Faktörü (Overstrength Factor) kavramının önemini gündeme getirmiştir. Bu çalışmada güvenilirliği sınınan, sırasıyla TDY (2007) ve ASCE 7-05 (2005)'in azaltılmış görelî kat ötelemelerini, etkin görelî kat ötelemelerine çevirmek için kullandığı R ve C_d katsayıları, doğrudan fazla dayanımın fonksiyonudur. R ve C_d katsayılarının bağılı olduğu fazla dayanım ve diğer kavramlar ileriki bölümlerde detaylı şekilde ele alınacaktır.

1.3 Hipotez

Bu kapsamda az, orta ve çok katlı çelik çerçeveler önce ASCE 7-05 (2005) ve AISC'nin hükümlerine göre, ardından TDY (2007)'nin hükümlerine göre tasarlanacaktır. Bahsi geçen farklı kat sayılarına sahip toplam 6 çelik çerçevenin 50 yılda aşılma olasılığı %2 (frekansı 2475 yıl) ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (frekansı 475 yıl) olan 40 farklı deprem kaydı kullanılarak elastik ötesi davranışları gözlenecektir. Bu çalışmanın temel amacı, azaltılmış görelî kat ötelemelerini, etkin görelî kat ötelemelerine dönüştürmek için ASCE 7-05 (2005)'in önerdiği C_d katsayısına ve TDY (2007)'nin önerdiği R katsayısına göre tasarlanan süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin, doğrusal elastik olmayan analizlerle yer değiştirme taleplerinin, plastik mafsâl dönmelerinin, görelî kat ötelemelerinin belirlenmesi ve bu sayede yapıların deprem davranışı hakkında fikir edinerek, hangi yönetmeliğin önerisinin daha gerçekçi ve doğru sonuç verdiğinin belirlenmesidir.

BÖLÜM 2

TASARIM

2.1 Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçevelerin Tasarım Esasları

Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binaların tasarımı üç temel adımdan oluşmaktadır. Bunlar; dayanım esaslı tasarım, etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü ve düğüm noktalarında kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuludur.

Dayanıma göre kesitlerin boyutlandırılması için farklı hesap yöntemleri mevcuttur. Emniyet Gerilmeleri Yöntemi (ASD), Yük ve Mukavemet Faktörü Yöntemi (LRFD), Plastik Hesap Yöntemi ve Limit tasarım başlıca tasarım yöntemleri olmakla birlikte en yaygın olanları ASD ve LRFD'dir. ASD, yaklaşık yüzyıldır kullanılan elastik hesap yöntemidir ve hâlâ geçerliliğini korumaktadır. Denklem 2.1'de genel formu verilmiş olan ASD yönteminde bütün yüklerin aynı ortalama değışkenliğe sahip olduğu kabul edilir.

$$\frac{\phi R_n}{\gamma} \geq \sum Q_i \quad (2.1)$$

LRFD ise son 25 yıldır kullanılan ve giderek yaygınlaşan nispeten yeni bir yöntemdir. Genel formu Denklem 2.2'de verilmiştir.

$$\phi R_n \geq \sum Q_i \gamma_i \quad (2.2)$$

ϕ : Mukavemet azaltma katsayısı

γ : Yük arttırma katsayısı

R_n : Nominal Mukavemet

Q_i : Değişik yük etkileri

ASD'den farklı olarak bu yöntemde, tüm yükler aynı katsayıyla çarpılmaz. LRFD, ASD'ye göre belirsizliklerin ve çelik elemanların gerçek davranışlarının göz önüne alınmasında daha gerçekçidir. Yük arttırma faktörü ve mukavemet azaltma faktörü, değişik yüklerdeki ve mukavemetteki belirsizlik derecesini tanımlar [3]. Başka bir deyişle ASD'de işletme yük durumuna göre verilen yük kombinasyonlarıyla elde edilen kesit tesirleri altında kesitlerin elastik kalması beklenirken, LRFD'de her yük tipi için farklı yük arttırma faktörü ve farklı mukavemet azaltma katsayıları kullanılarak kesitlerin elastik kalması yerine taşıma gücüne ulaşması beklenmektedir. Türk ve Amerikan yönetmeliklerinde ASD ve LRFD hesap yöntemlerine göre çeşitli yük kombinasyonları aşağıda özetlenmiştir.

TS-648 ve TDY 2007'ye göre Yük Kombinasyonları (ASD):

$$G + Q$$

$$G + Q \mp E_x \mp 0,3E_y$$

$$G + Q \mp 0,3E_x \mp E_y$$

$$0,9G \mp E_x \mp 0,3E_y$$

$$0,9G \mp 0,3E_x \mp E_y$$

$$G + Q \mp W_x$$

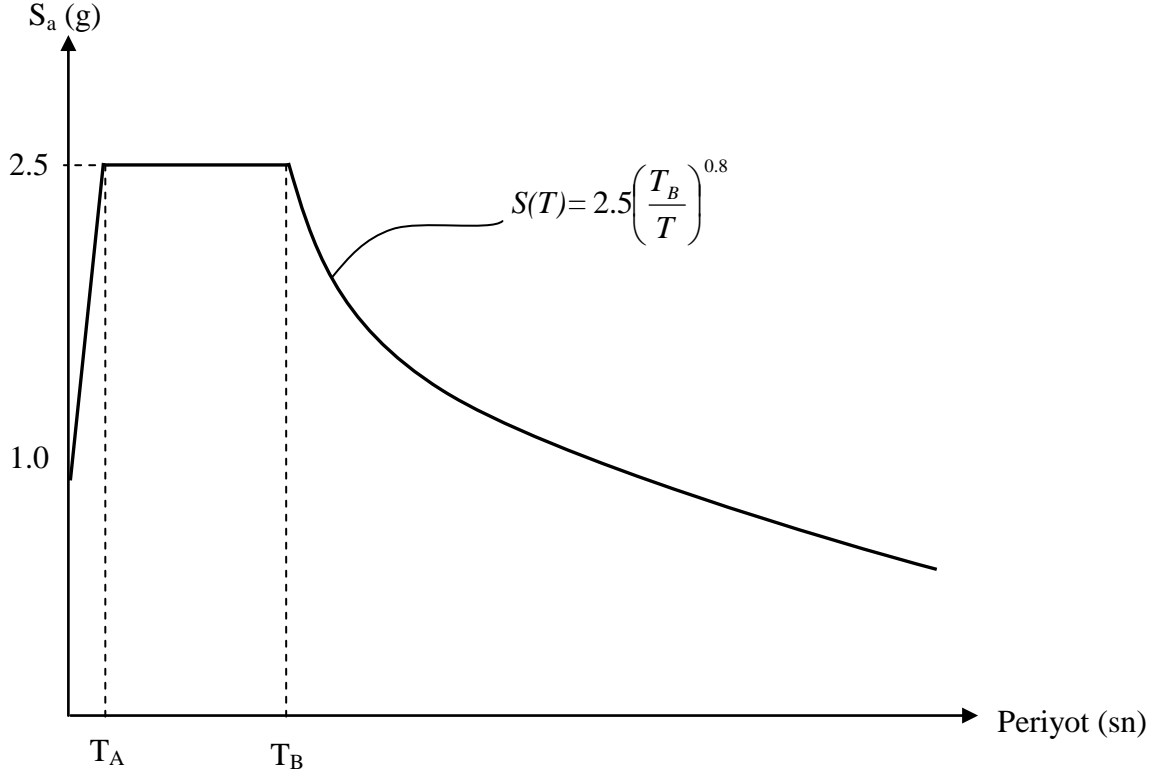
$$G + Q \mp W_y$$

ASCE 7-05'e göre Yük Kombinasyonları (LRFD):

1,4D	<i>D : Ölü Yük</i>
1,2D + 1,6L + 0,5(L _r veya S)	<i>L : Hareketli Yük</i>
1,2D + 1,6(L _r veya S) + (0.5L veya 0.8W)	<i>L_r : Çatı Hareketli Yüğü</i>
1.2D + 1.6W + 0.5L + 0.5(L _r veya S)	<i>W: Rüzgar Yüğü</i>
0.9D + 1.6W	<i>S : Kar Yüğü</i>
1.2D + 1.0E + 0.5L + 0.2S	<i>E : Deprem Yüğü</i>
0.9D + 1.0E	

Tasarımın ikinci adımı etkin görelî kat ötelemelerinin kontrol edilmesidir. Şartnamelerde zemin sınıfına, deprem bölgesine ve yapının önemine göre değişen elastik deprem yükleri "Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a)" ile azaltılarak yapıya eşdeğer yatay statik yük olarak etkililir. Spektrumların yapısı ASCE 7-05 ve TDY-2007'de az da olsa

farklılık göstermektedir. Şekil 2.1'de TDY(2007)'ye ait "Özel Tasarım İvme Spektrumu" verilmiştir.



Şekil 2.1- DBYBHY(2007)'de Tanımlanan Özel Tasarım İvme Spektrumu [2]

Şekil 2.1'de verilen Tasarım Spektrumuna ait $S(T)$ değerlerinin yapının periyoduna bağlı olarak değişimi Denklem 2.3'de, karakteristik periyotların (T_a ve T_b) yerel zemin sınıflarına göre değişimi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

$$S(T) = 1 + \frac{1.5}{T_a} \quad (2.3.a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (2.3.b)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (2.3.c)$$

Yerel Zemin Sınıfı	T _a (sn)	T _b (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Çizelge 2.1-Spektrum Karakteristik Periyotları (T_a , T_b) [2]

Elastik deprem spektrumundan elde edilen yatay yükün Deprem Yüğü Azaltma Katsayılarıyla R_a(T) çarpılarak "eşit yatay statik yük" olarak katlara etkilmesi sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri "Azaltılmış Görelî Kat Ötelemesi" olarak tanımlanmaktadır. TDY (2007)'de verilen ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ile yapının periyoduna bağılı olarak Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı'nın değışimi Denklem 2.4 de gösterilmiştir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \rightarrow (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.4.a)$$

$$R_a(T) = R \rightarrow (T_A < T) \quad (2.4.b)$$

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, Denklem 2.4'den de anlaşılacağı gibi uzun periyotlu yapılarda (T_A<T) Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı'na eşit olarak alınmaktadır. Başka bir deyişle sisteme etkileyen elastik deprem yükleri (R) kadar azaltılmaktadır.

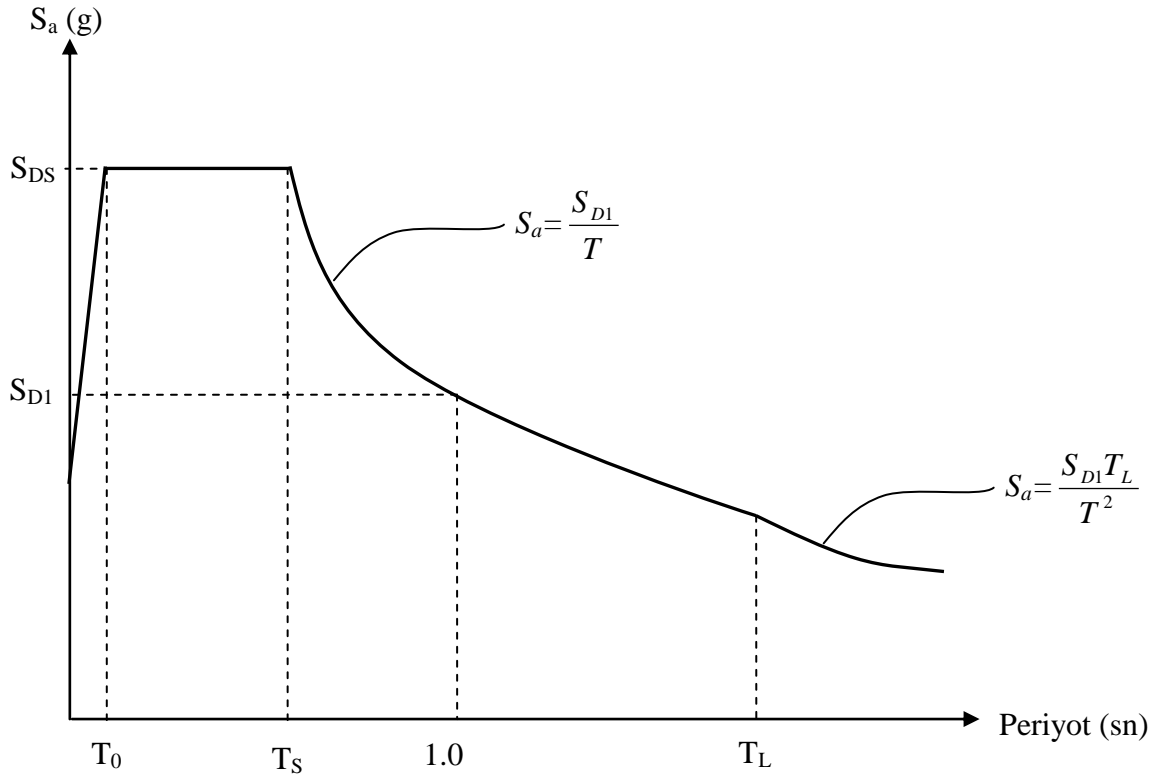
Şekil 2.2'de ASCE 7-05(2005)'de %5 sönüm oranı ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi için tanımlanan spektrum görülmektedir. Bu tasarım spektrumundaki karakteristik noktalar S_{DS} ve S_{D1}, Denklem 2.5'den faydalanarak elde edilmektedir.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5.a)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_1 \quad (2.5.b)$$

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.5.c)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.5.d)$$



Şekil 2.2- ASCE 7-05(2005)'de Tanımlanan Tasarım İvme Spektrumu [1]

Denklem 2.5.c ve 2.5.d'de görülen F_a katsayısı, zemin sınıfına ve S_s değerine, F_v katsayısı ise yine zemin sınıfına ve S_1 değerine bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 2.2 ve 2.3'de bu katsayıların çeşitli zemin sınıfları için değerleri verilmiştir.

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

Çizelge 2.2 - ASCE 7-05'de Tanımlanan F_a Katsayıları [1]

Zemin Sınıfı	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 \geq 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F					

Çizelge 2.3 - ASCE 7-05'de Tanımlanan F_v Katsayıları [1]

ASCE 7-05(2005)'de tanımlanan tasarım spektrumunun karakteristik periyot değerleri ise S_{D1} ve S_{DS} 'e bağlı olarak Denklem 2.6'daki gibi elde edilecektir.

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6.a)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6.b)$$

Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçeveler'in R katsayıları bakımından Türk ve Amerikan yönetmelikleri arasında herhangi bir fark bulunmamaktadır. Her iki yönetmelik de, yapıya etkimesi beklenen elastik deprem yüklerini 8'e bölerek kullanmaktadır. Azaltılmış deprem yükleri kullanılarak elde edilen azaltılmış görelî kat ötelemeleri Δ_i , Denklem 2.7.a ile elde edilmektedir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (2.7.a)$$

$$\delta_i = R \times \Delta_i \quad (2.7.b)$$

$$\delta_i = C_d \times \Delta_i \quad (2.7.c)$$

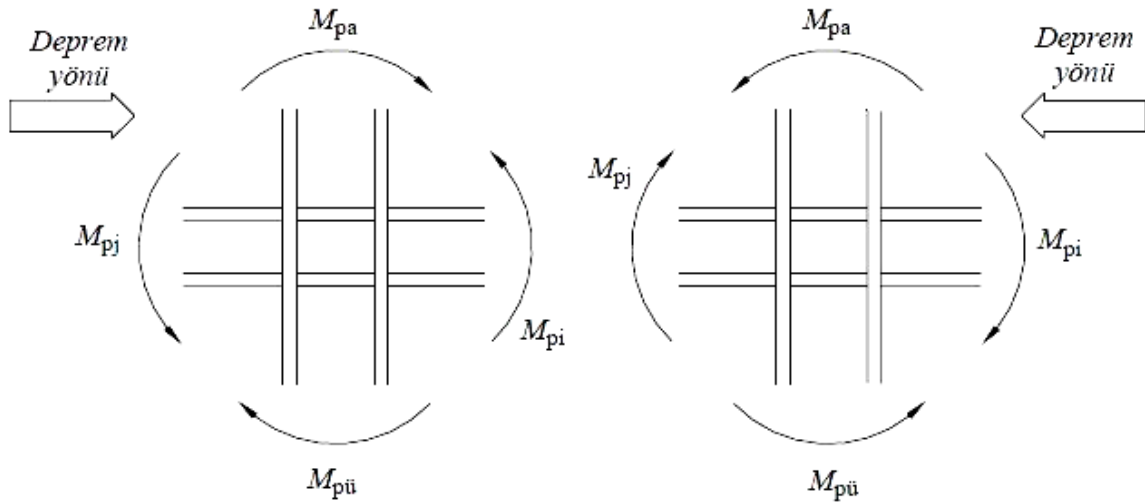
$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (2.7.d)$$

d_i : *i*'inci katın azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirmesi

d_{i-1} : *i-1*'inci katın azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirmesi

Azaltılmış deprem yükleri kullanılarak Denklem 2.7.a'ya göre elde edilen azaltılmış görelî kat ötelemeleri, ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre farklılık göstermez. Buna karşılık etkin görelî kat ötelemelerinin hesabında TDY (2007), Denklem 2.7.b'yi kullanırken, ASCE 7-05(2005)'de Denklem 2.7.c'yi kullanılmaktadır. Denklem 2.7.b ve 2.7.c kullanılarak elde edilen δ_i değerlerinden en büyüğü Denklem 2.7.d'de verilen sınır şartını sağlamalıdır.

Tasarımın üçüncü adımı, düğüm noktalarında birleşen kolonların kirişlerden güçlü olması koşuludur. Bu koşul sayesinde güçlü yer hareketlerine maruz kalan yapılarda plastik mafsalların kirişlerin uçlarında oluşması; böylece yapının hasar alması ancak göçmemesi hedeflenmektedir. Deprem esnasında, çelik çerçevelerde, kolonlardan önce "sigorta eleman" olarak nitelendirilen kiriş uçlarının plastikleşmesi, yapının mekanizma durumuna geçmemesini sağlamak dışında, deprem esnasında tüketilen histeretik enerji miktarını da büyük ölçüde arttırmaktadır [3].



Şekil 2.3-Deprem Anında Düğüm Noktalarında Plastik Moment Yönleri [2]

Şekil 2.3'de bir düğüm noktasının deprem anındaki momentlerinin konumu verilmiştir. Çerçeve türü sistemlerde veya perdeli-çerçeve sistemlerin çerçevelerinde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların eğilme momenti kapasitelerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki

eğilme momenti kapasiteleri toplamının $1.1D_a$ katından daha büyük olacaktır. Başka bir deyişle Denklem 2.7.d'de verilen şart çerçeve boyunca düğüm noktaların en az %70'inde sağlanmalıdır [2].

$$(M_{pa} + M_{pü}) \geq 1.1D_a (M_{pi} + M_{pj} + M_{vi} + M_{vj}) \quad (2.8)$$

Denklem 2.8'de, M_{pa} , $M_{pü}$, M_{pi} ve M_{pj} sırasıyla kolon ve kiriş uçlarında hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi olmak üzere;

D_a : Akma gerilmesi arttırma katsayısı

M_{vi} : Kirişin i ucundaki olası plastik mafsaldaki kesme kuvvetinden dolayı kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momenti

M_{vj} : Kirişin j ucundaki olası plastik mafsaldaki kesme kuvvetinden dolayı kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momenti

olarak tanımlanmaktadır [2].

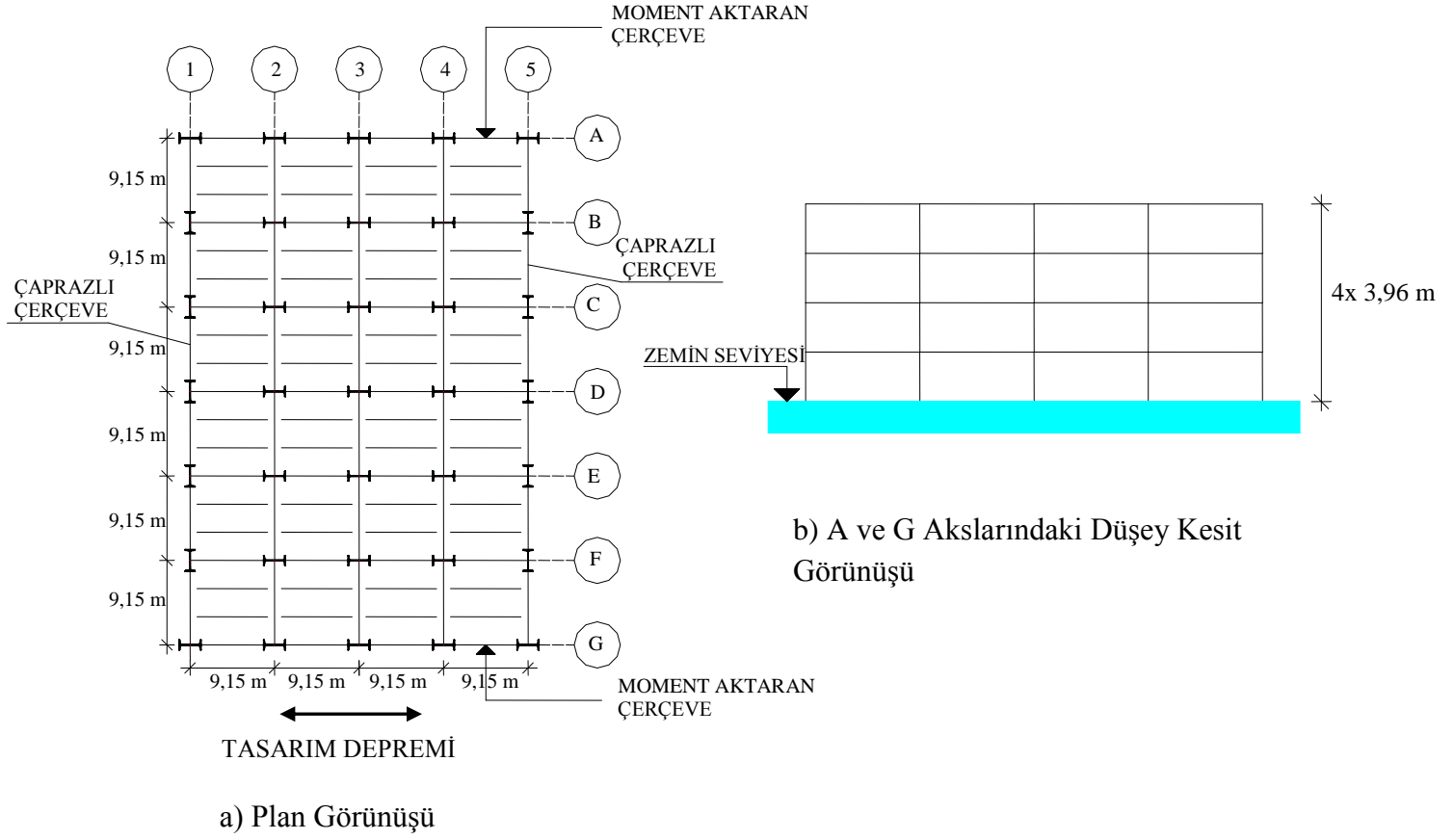
Süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin tasarımı yapılırken -diğer taşıyıcı sistemlerin aksine- bahsi geçen üç temel adımın sırası değişmektedir. Öyle ki, tasarıma, etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü yapılarak başlanır, ardından diğer adımlara geçilir. Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı çelik sistemler, oldukça sünek davranış gösteren sistemler olduğu için etkin görelî kat ötelemeleri şartını sağlayan kesitler, dayanım şartını ve büyük olasılıkla kolonların kirişlerden daha güçlü olması şartını da sağlamaktadır. Etkin görelî kat ötelemeleri şartının kesit seçiminde belirleyici kriter olması, azaltılmış görelî kat ötelemelerini etkin görelî kat ötelemelerine dönüştüren katsayıların (R ve C_d) yapı maliyeti ve güvenliği açısından daha önemli hale gelmesini sağlamıştır. Her iki şartnamede de deprem yükleri $R=8$ alınarak azaltılırken, azaltılmış görelî kat ötelemelerini TDY (2007) yine $R=8$ ile çarparak, ASCE 7-05 ise $C_d=5.5$ ile çarparak elde etmektedir. Bunun anlamı TDY (2007)'nin elastik durumdaki yer değiştirmelerin elastik ötesi davranıştaki yer değiştirmelere eşit olacağını kabul etmesidir. Bu kabul, "eşit yer değiştirme kuralı" olarak adlandırılmaktadır. R ve C_d katsayılarının anlamı ve geçmişte yapılan çalışmalardan daha detaylı olarak ilerleyen bölümlerde bahsedilecektir.

TDY-2007'de yaklaşık %45 oranında daha büyük katsayı ile çarpılan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin her iki yönetmelikte de kat yüksekliğinin 0.02 katından az olması beklenmektedir. Bu durum TDY 2007'ye göre tasarlanan yapıların daha rijit olmasını gerektirmektedir; bu da daha büyük kesitler seçilmesine ve maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Öte yandan ASCE 7-05'e göre tasarlanan yapının maliyetinin nispeten düşük olması, seçilen katsayının (C_d) güvenilir olduğunu göstermeyebilir. İlerleyen bölümde tasarımı yapılan çelik çerçevelerin yapısal ve geometrik özellikleri anlatılarak, seçilen kesitler karşılaştırmalı olarak belirtilecektir.

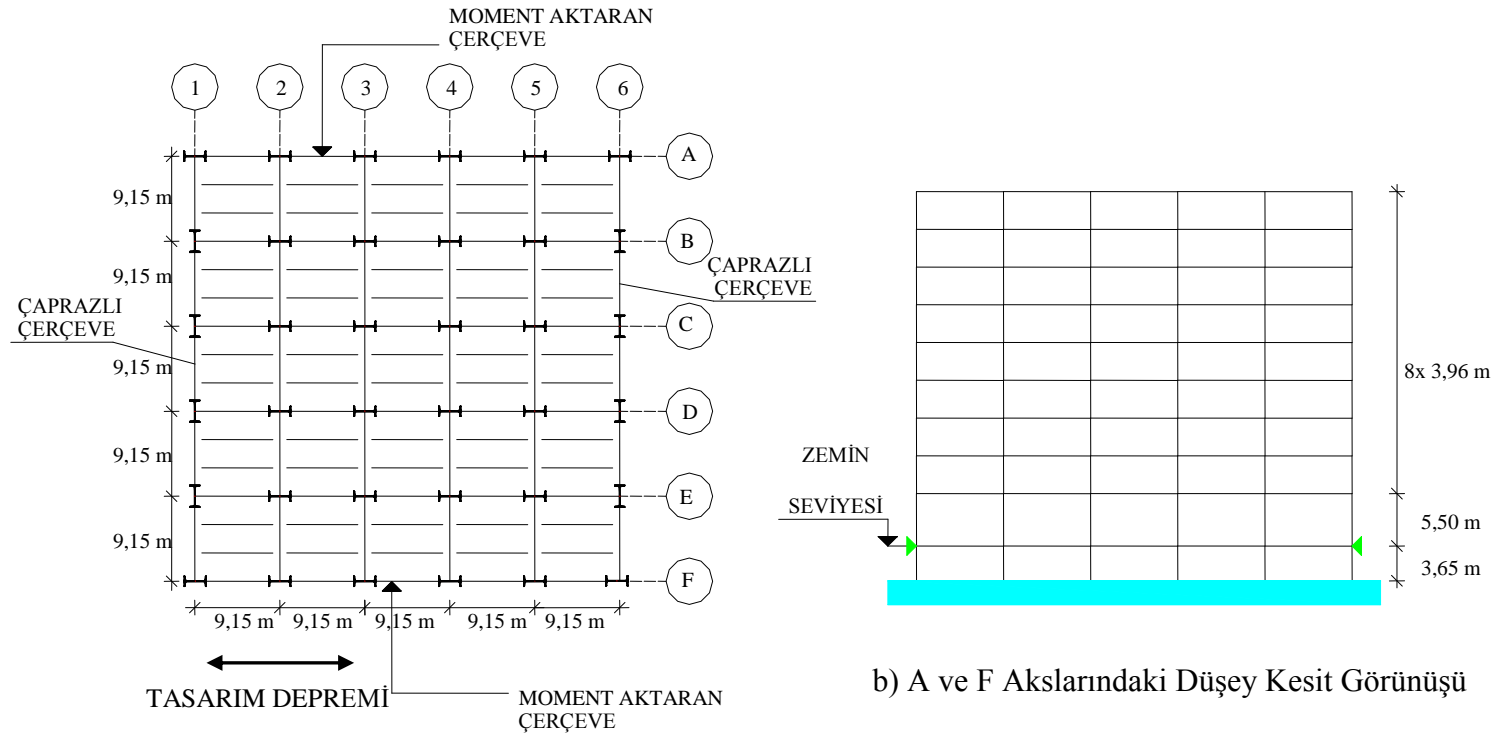
2.2 Çerçevelerin Tasarımı

Planda ve düşey kesitte herhangi bir düzensizlik içermeyen 4, 9 ve 20 katlı üç tipik çelik çerçeve ASCE 7-05(2005) ve TDY (2007)'nin vermiş olduğu sınır şartlara göre ayrı ayrı tasarlanacaktır [4], [5]. Tasarımın etkin görelî kat ötelemeleri şartı dışında kalan tasarım parametreleri AISC 341-05, AISC 360-05 ve AISC 358-05 yönetmeliklerine uygun olarak, ortak şekilde belirlenmiştir [6], [7], [8].

Her üç yapının plan görünüşü ve analizlerde kullanılan A ve G akslarındaki çerçevelerin düşey kesit görünüşü Şekil 2.4.a, Şekil 2.4.b, Şekil 2.5.a, Şekil 2.5.b, Şekil 2.6.a ve Şekil 2.6.b'de verilmiştir. Üç yapının da iç açıklıklarındaki kirişler, uçları mafsallı olduğundan sadece düşey yük taşımaktadırlar. Yapılar birbirine dik doğrultularda sadece dış çerçevelerle yatay yük taşımaktadır. Şekil 2.4'e göre düşey doğrultuda merkezi çaprazlı çerçeveler kullanılırken dik doğrultudaki deprem yükleri sadece moment aktaran çerçeveler tarafından taşınmaktadır. Başka bir deyişle, tasarım depremi doğrultusunda, kütle nin yarısı A aksındaki çerçeve tarafından diğer yarısı G aksındaki çerçeve tarafından taşınmaktadır. 4 katlı yapı, düşey yönde 6, yatay yönde 4 eşit açıklıktan oluşmaktadır. Toplamda 36.6x54.9 m²'lik alana ve 15.84 m (4x3.96 m) yüksekliğe sahip yapının kesit seçimlerine ve dinamik özelliklerine ilerde yer verilecektir.



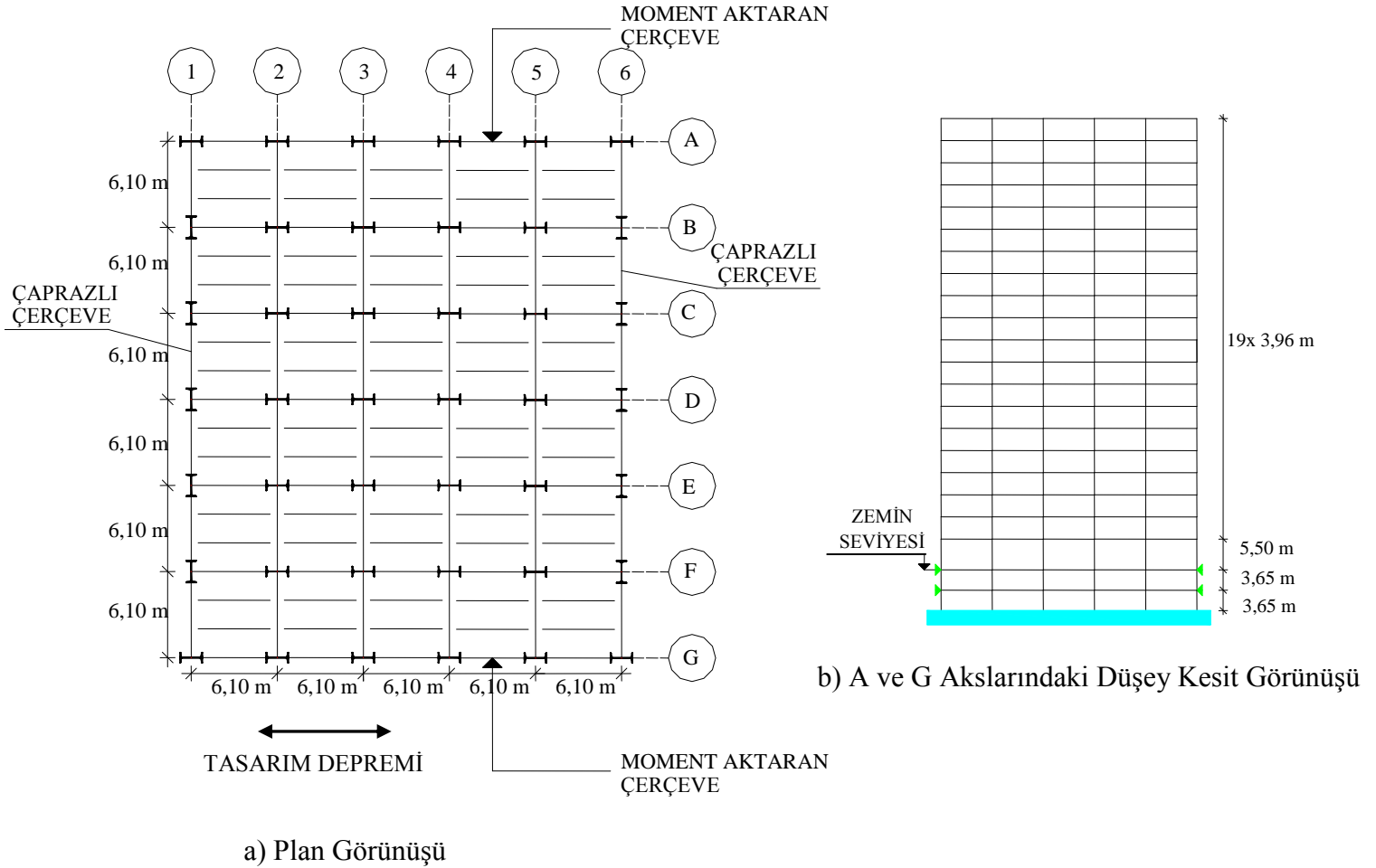
Şekil 2.4 - 4 Katlı Çerçeveye ait Plan ve Düşey Kesit Görünüşü



Şekil 2.5 - 9 Katlı Çerçeveye ait Plan ve Düşey Kesit Görünüşü

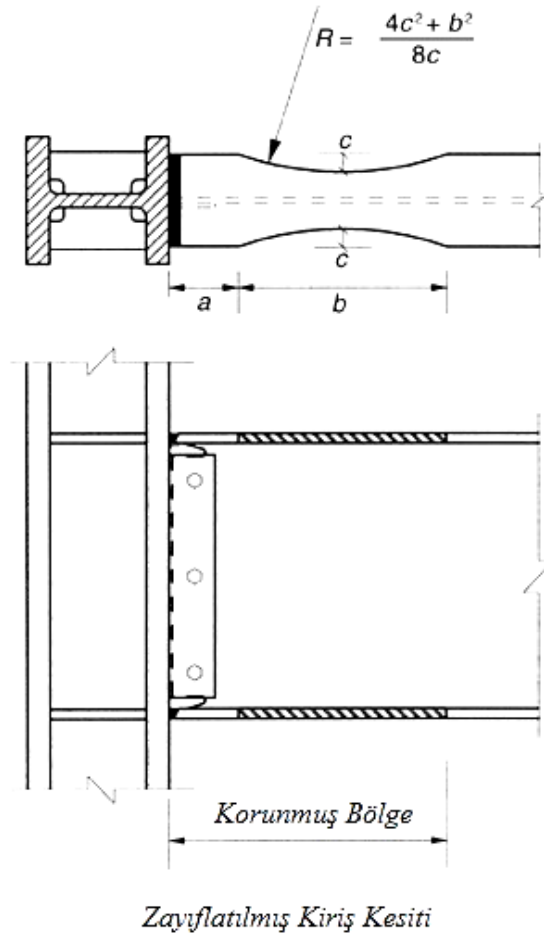
9 katlı yapı 5x5 açıklıklı kare bir plana sahip olmakla birlikte düşey kesitte kat yükseklikleri arasında birtakım farklılıklar bulunmaktadır. Yapı, 3.65m yüksekliğinde bodrum ve 5.5 m yüksekliğindeki 1. katın üzerine 3.96 m yüksekliğinde 8 kattan oluşmaktadır. Toplamda 45.75x45.75 m²'lik alana ve 40.83 m yüksekliğe sahiptir.

Şekil 2.6'da 20 katlı yapının plan ve düşey kesit görünüşleri gösterilmiştir. Yapı, birbirine dik doğrultularda 5x6.10 m ve 6x6.10 m ölçülerine ve 2 adet 3.65m yüksekliğinde bodrum kata sahiptir. Zemin seviyesinden itibaren 5.5m'lik ilk kattan sonra 3.96m yüksekliğinde 19 kat bulunmaktadır. 4 ve 9 katlı yapılar yaklaşık 3 m, 20 katlı yapı ise yaklaşık 2 m arayla yerleştirilen ikincil kirişlerle döşemelerden gelen ölü ve hareketli yükleri ana kirişlere aktarmaktadır. 4 katlı yapı zemine doğrudan bağlandığı ve bodrum katı bulunmadığı için modelleme sırasında kolon ayakları ankastre olarak dikkate alınırken, 9 ve 20 katlı yapıların modellenmesi sırasında kolon ayakları alttan mafsallı, bodrum katlar hizasında ise rijit bodrum kabulü yapılarak yatay doğrultuda tutulu olarak modellenmiştir.



Şekil 2.6 - 20 Katlı Çerçeveye ait Plan ve Düşey Kesit Görünüşü

Tasarım esnasında dikkate alınan ve üzerinde durulması gereken diğer önemli tasarım kriteri, zayıflatılmış kiriş kesitleridir. Çelik yapılarda betonarme yapıların tersine plastik mafsallın nerede oluşacağı tasarımı yapan mühendis tarafından belirlenebilmektedir. Plastik mafsallın oluşması istenen bölgedeki (kiriş uçları) kesitler zayıflatılarak hem plastik mafsallın yeri belirlenmiş olur, hem de plastik mafsall boyu dolayısıyla yutulan enerji miktarı tasarımcı tarafından belirlenebilir. Bilhassa kolon-kiriş birleşim bölgelerinde büyük hasarların görüldüğü Northridge Depremi gibi depremlerden sonra giderek yaygınlaşan *zayıflatılmış kiriş kesitleri (RBS)*, temel olarak, plastik mafsalların kolon yüzünde oluşmamasını amaçlamaktadır. Böylece birleşimde hasar oluşmayacak ve gevrek göçme modlarının önüne geçilmiş olacaktır. Bu amaçla geliştirilmiş en temel iki birleşimden biri RBS diğeri ise takviye levhali birleşimdir. RBS'li birleşimler doğru boyutlandırıldığı takdirde maliyet ve performans açısından takviye levhali birleşimlere oranla çok daha uygun sonuçlar vermektedir [9], [10]. Şekil 2.7'de AISC 358-05'e göre kirişlerin nasıl zayıflatılacağı ve Denklem 2.10'da zayıflatılacak kesitlerin sınır şartları görülmektedir.



Şekil 2.7 - AISC 358-05'e göre Zayıflatılmış Kiriş Kesiti [7]

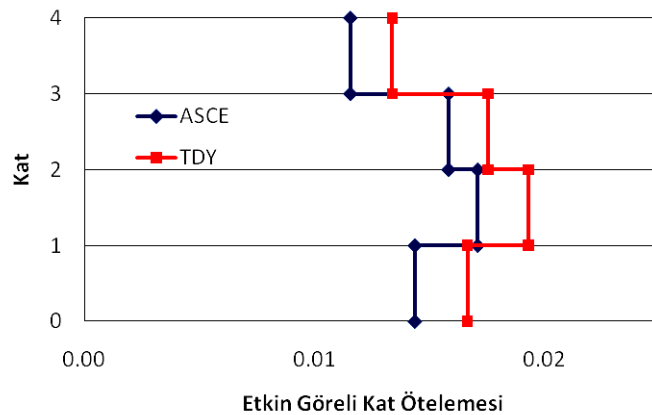
$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf}$$

$$0.65d \leq b \leq 0.85d \quad (2.9)$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf}$$

Bunların dışında, zayıflatılan kiriş kesitlerinin yükseklikleri, başlık kalınlıkları ve ağırlıkları gibi özellikleri AISC 358-05 ve DBYBHY(2007)'nin benzer değerlere sahip sınır koşullarını aşmayacak şekilde belirlenmiştir [2], [7]. Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu ve kolon yüzünde birleşim bölgesinin güvenliği aranırken zayıflatılmış kiriş kesitlerinin plastikleşme durumları göz önüne alınmıştır.

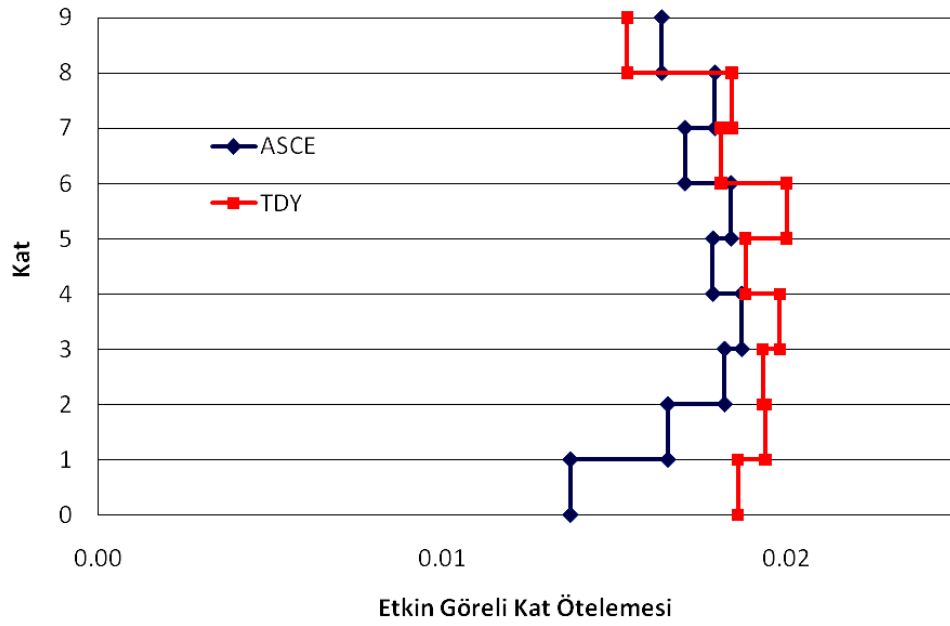
Yapıların her biri ofis binası olarak tasarlanacaktır. Ölü yükler, normal katlar ve çatı katında sırasıyla 4,6 kN/m² (96 psf) ve 3,97 kN/m² (83 psf) olarak; hareketli yükler ise normal katlar ve çatı katında sırasıyla 2,53 kN/m² (50 psf) ve 0,96 kN/m² (20 psf) olarak alınarak yapıya uygun şekilde belirlenmiştir [1],[4]. Görelî kat ötelemelerinin kontrolünde kullanılan eşdeğer statik yatay yüklerin bulunmasında ASCE 7-05'in önerdiği tasarım spektrumu kullanılmıştır. Yatay yüklerin elde edilmesinde ASCE 7-05'de önerilen yaklaşık periyot formülünden faydalanılmıştır. Yapılar ofis binası olarak tasarlandığından *yapı önem katsayısı* (Occupancy Category II) 1.0 olarak alınmıştır. Elastik deprem yükleri R=8 alınarak azaltılmış ve yapıya etkilmiştir. Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da ASCE 7-05(2005) ve TDY (2007)'ye göre R=8 ve C_d=5.5 kullanılarak 4, 9 ve 20 katlı yapıların etkin görelî kat ötelemeleri, Çizelge 2.4, Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'de ise her iki yönetmeliğe göre tasarlanan binalar için seçilen kesitler karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 2.8 - 4 Katlı Yapılara ait Etkin Görelî Kat Ötelemeleri

Kat	ASCE 7-05 (2005)			TDY (2007)		
	Dış Kolon	İç Kolon	Kiriş	Dış Kolon	İç Kolon	Kiriş
4	W14×257	W14×342	W27×94	W14x283	W14x426	W27x102
3	W14×257	W14×342	W30×148	W14x283	W14x426	W30x191
2	W14×342	W14×426	W30×148	W14x370	W14x500	W30x191
1	W14×342	W14×426	W30×148	W14x370	W14x500	W30x191

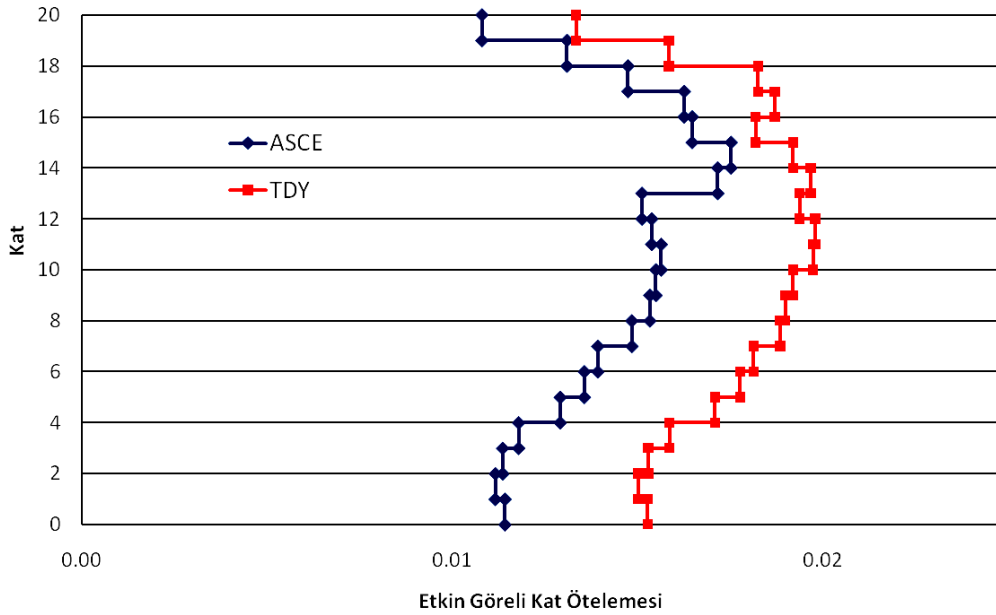
Çizelge 2.4 - 4 Katlı Yapılara ait Eleman Kesitleri



Şekil 2.9 - 9 Katlı Yapılara ait Etkin Görelî Kat Ötelemeleri

Kat	ASCE 7-05 (2005)			TDY (2007)		
	Dış Kolon	İç Kolon	Kiriş	Dış Kolon	İç Kolon	Kiriş
9	W14×257	W14×311	W24×55	W14×257	W14×342	W27×84
8	W14×257	W14×311	W27×94	W14×257	W14×342	W30×108
7	W14×311	W14×426	W30×132	W14×311	W14×426	W33×169
6	W14×311	W14×426	W30×132	W14×311	W14×426	W33×169
5	W14×398	W14×500	W33×141	W14×398	W14×550	W36×182
4	W14×398	W14×500	W33×141	W14×398	W14×550	W36×182
3	W14×455	W14×550	W33×141	W14×500	W14×605	W36×182
2	W14×455	W14×550	W33×141	W14×500	W14×605	W36×182
1	W14×550	W14×730	W36×194	W14×605	W14×730	W36×210
B	W14×550	W14×730	W36×194	W14×605	W14×730	W36×210

Çizelge 2.5 - 9 Katlı Yapılara ait Eleman Kesitleri



Şekil 2.10 - 20 Katlı Yapılara ait Etkin Görelî Kat Ötelemeleri

Kat	ASCE 7-05 (2005)			TDY (2007)		
	Dış Kolon	İç Kolon	Kiriş	Dış Kolon	İç Kolon	Kiriş
20	W24x207	W24x103	W24x55	W24x207	W24x207	W24x55
19	W24x207	W24x103	W27x94	W24x207	W24x207	W27x94
18	W24x207	W24x146	W27x94	W24x207	W24x229	W27x94
17	W24x207	W24x146	W27x94	W24x207	W24x229	W27x94
16	W24x207	W24x192	W27x114	W24x229	W24x250	W33x130
15	W24x207	W24x192	W27x114	W24x229	W24x250	W33x130
14	W24x207	W24x192	W27x114	W24x229	W24x250	W33x130
13	W24x207	W24x279	W30x148	W24x250	W24x279	W36x135
12	W24x207	W24x279	W30x148	W24x250	W24x279	W36x135
11	W24x207	W24x279	W30x148	W24x250	W24x279	W36x135
10	W24x250	W24x306	W30x148	W24x279	W24x306	W36x150
9	W24x250	W24x306	W30x148	W24x279	W24x306	W36x150
8	W24x250	W24x306	W30x148	W24x279	W24x306	W36x150
7	W24x250	W24x335	W30x173	W24x306	W24x335	W36x150
6	W24x250	W24x335	W30x173	W24x306	W24x335	W36x150
5	W24x250	W24x335	W30x173	W24x306	W24x335	W36x150
4	W24x306	W24x370	W30x191	W24x335	W24x370	W36x160
3	W24x306	W24x370	W30x191	W24x335	W24x370	W36x160
2	W24x306	W24x370	W30x191	W24x335	W24x370	W36x160
1	W24x306	W24x370	W30x191	W24x335	W24x370	W36x160
B1	W24x306	W24x370	W30x191	W24x335	W24x370	W36x160
B2	W24x306	W24x370	W30x191	W24x335	W24x370	W36x160

Çizelge 2.6 - 20 Katlı Yapılara ait Eleman Kesitleri

Seçilen tüm kesitler sismik kompaktlık şartını sağladıkları gibi, beklenildiği şekilde *görelî kat ötelemeleri şartını* sağlayan kesitler *dayanım şartını* ve *düğüm noktalarında kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunu* da sağlamışlardır. Çizelge 2.4, Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6'da görüldüğü gibi TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıdaki kesitler, her katın kolon ve kirişlerinde daha yüksek ve ağır çıkmıştır. Bu durum maliyet açısından büyük farklar yarattığı halde gerekliliği tartışmalıdır. İlerleyen bölümlerde yapılacak bir dizi analizle bu ikileme bir yorum getirilmeye çalışacaktır.

2.3 Çerçevelerin Analitik Modeli ve Deprem İvme Kayıtları

ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'nin etkin görelî kat ötelemeleri şartına göre tasarlanan iki boyutlu çerçeveler SAP2000 v14.1 analiz programı kullanılarak oluşturulmuştur [11]. Çerçevelerin 1. doğal titreşim periyotları Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Kat Sayısı	ASCE 7-05 (2005)	TDY (2007)
4	$T_1=0.816$ sn	$T_1=0.787$ sn
9	$T_1=1.602$ sn	$T_1=1.410$ sn
20	$T_1=2.487$ sn	$T_1=2.275$ sn

Çizelge 2.7 - Yapıların 1. Doğal Titreşim Periyotları

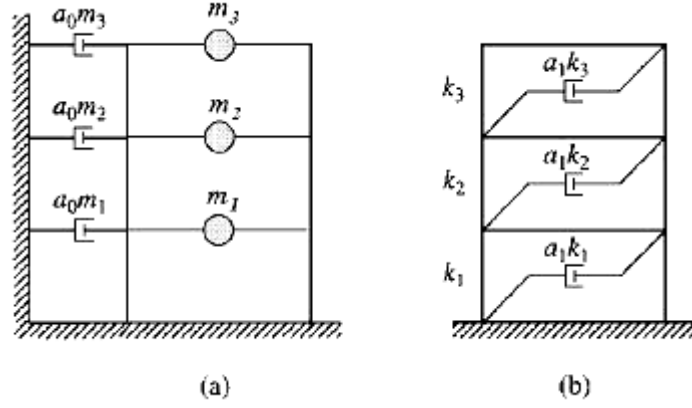
Malzeme olarak St52 çelik sınıfı kullanılmış ve doğrusal elastik olmayan analizler sırasında malzemedeki elastik ötesi davranış, plastik mafsâl teorisine göre (yığılılî plastisite) tanımlanmıştır. Çelik malzemeye ait moment-eğrilik ilişkisi %5 pekleşmeli iki doğrulu elasto-plastik olarak göz önünde bulundurulmuştur. Sistemde plastik mafsallar, zayıflatılmış kiriş kesitlerine ait M_p değerleri ve kolon yüzünden rölatif mesafeleri hesaplanarak tanımlanmıştır. Kolonlardaki normal kuvvet-moment etkileşimine ait akma yüzeyi, AISC'nin önerisine uygun şekilde göz önünde bulundurulmuştur [8]. Yapıların ABD'nin Los Angeles kentinde tasarlandığı düşünülerek ASCE 7-05(2005)'de tanımlanan tasarım spektrumuna ait S_s ve S_1 değerleri, sırasıyla, %200g ve %100g olarak alınmıştır. Kolon kiriş birleşimlerinde panel bölgesi deformasyonları ve kolon ekleri modellemede dikkate alınmamıştır [4].

Sistemde kat kütleleri, kolon uçlarındaki düğüm noktalarında toplu kütle olarak dikkate alınmıştır. Kompozit döşeme, kesme çivileriyle kirişlere bağlandığından kolon uçları her kat hizasında rijit diyafram hareketi yapacak şekilde tanımlanmıştır. Sönüm oranı %5 olarak tanımlanmıştır ve doğrusal elastik olmayan analizlerde *Rayleigh Sönümü* kullanılmıştır. Şekil 2.11'de *Rayleigh Sönümünün* fiziksel anlamı ve Denklem 2.10.a'da sönüm bileşenleri görülmektedir. Gerekli dönüşümler yapılsa, a_0 ve a_1 katsayıları sönüm oranına bağlı olarak Denklem 2.10.b'deki gibi yazılabilir.

$$c = a_0 m \quad \text{ve} \quad c = a_1 k \quad (2.10.a)$$

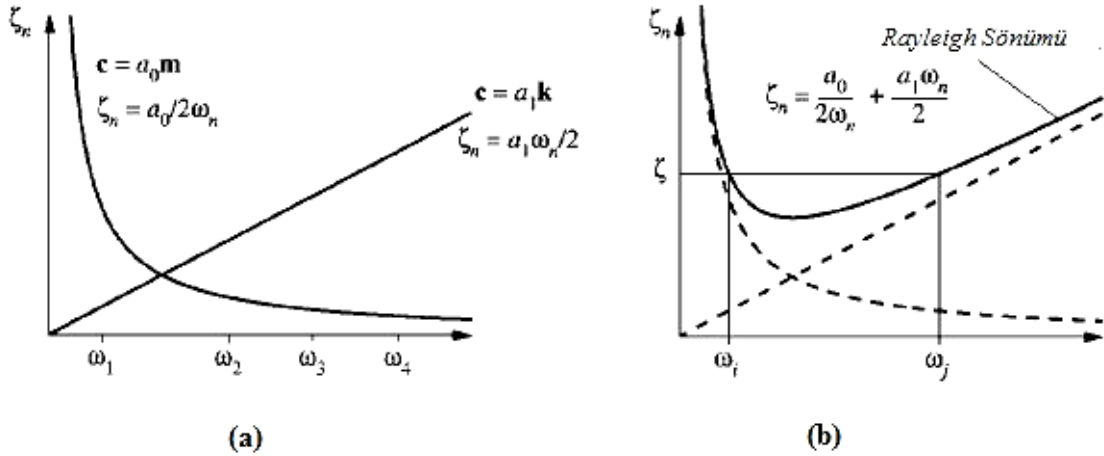
$$a_0 = 2\xi_i \omega_i \quad \text{ve} \quad a_1 = \frac{2\xi_j}{\omega_j} \quad (2.10.b)$$

$$c = a_0 m + a_1 k \quad (2.10.c)$$



Şekil 2.11 - a) Yapısal sönümün kütle bileşeni b) Yapısal sönümün rijitlik bileşeni [12]

Yapının doğal frekansı (ω_n) ile sönüm oranı (ζ_n) arasındaki ilişki Şekil 2.12.a'da görülmektedir. Denklem 2.13'de *Rayleigh sönümünün* genel ifadesi verilmiştir. Uygun olacak şekilde seçilen ω_i ve ω_j frekanslarıyla hesaplanan (Denklem 2.11) a_0 ve a_1 katsayılarına göre çizilen *Rayleigh sönümü*, Şekil 2.12.b'de gösterilmiştir [12].

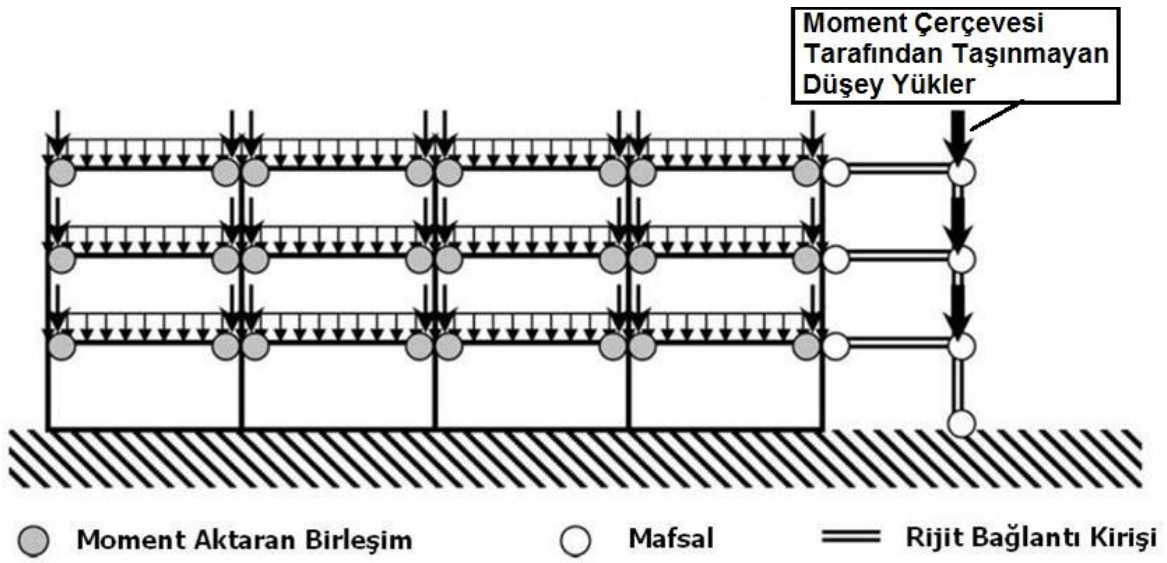


Şekil 2.12 - a) Doğal Frekans-Sönüm Oranı İlişkisi b) Rayleigh Sönümü [12]

$$a_0 = \xi \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \text{ ve } a_1 = \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (2.11)$$

Doğrusal olmayan dinamik analizlerde a_0 ve a_1 katsayıları hesaplanırken 4 katlı yapılarda birinci ve üçüncü, 9 katlı yapılarda ikinci ve dördüncü, 20 katlı yapılarda ise üçüncü ve altıncı doğal frekanslar dikkate alınmıştır [4].

Modellerde kullanılan önemli tasarım yöntemlerinden biri de *P-Δ Kolonu*'dur. Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle taşındığı sistemlerde, tipik şekilde, iç açıklıklardaki çerçeveler sadece düşey yük taşıyacak şekilde iki ucu mafsallı olarak tasarlanmaktadır. Ancak yapının bilgisayar ortamında modellenmesi sırasında sistem iki boyutlu çerçeve haline getirildiğinden, iç açıklıklardaki düşey yüklerden doğan *P-Δ* etkileri iki boyutlu çerçeveye dahil edilmelidir. İki boyutlu sistemi eşdeğer hale getirmek amacıyla kullanılan *P-Δ Kolonu*, iki ucu mafsallı kolon ve kirişlerle teşkil edilmektedir. Dolayısıyla yatay yönde herhangi bir taşıyıcı özelliğe sahip olmadığı halde iç açıklıklardaki *P-Δ* etkilerini eşdeğer sisteme aktarmaktadır.



Şekil 2.13 - *P-Δ Kolonu* [13]

Şekil 2.13'de tipik bir *P-Δ Kolonu* şematize edilmiştir. Bu yöntemde, her katın iç açıklıklarında bulunan yatay yüklerin yarısı o kata ait *P-Δ Kolonuna* etkililmektedir. Yatay taşıyıcı sistemden belirli bir uzaklıkta, iki ucu mafsallı olarak tasarlanan *P-Δ Kolonu*, uzama ve eğilme rijitlikleri çok büyük olan rijit bağlantılarla ana çerçeveye bağlanmaktadır. Böylelikle *P-Δ Kolonuna* ait elemanlardaki uzama ve eğilmeler, sistemdeki *P-Δ* etkilerinin hatalı hesaplanmasına sebep olmayacaktır [13], [14].

Doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerde kullanılmak üzere SAC'ın iki ayrı deprem ivme kaydı seti kullanılmıştır. 20 adet 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem kaydı (LA21-LA40) ve 20 adet 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kaydı (LA01-LA20) olmak üzere toplam 40 adet deprem ivme kaydı kullanılarak 6 adet çelik çerçevenin deprem davranışları incelenmiştir. ABD'nin Los Angeles şehrinde kaydedilmiş 40 depremin

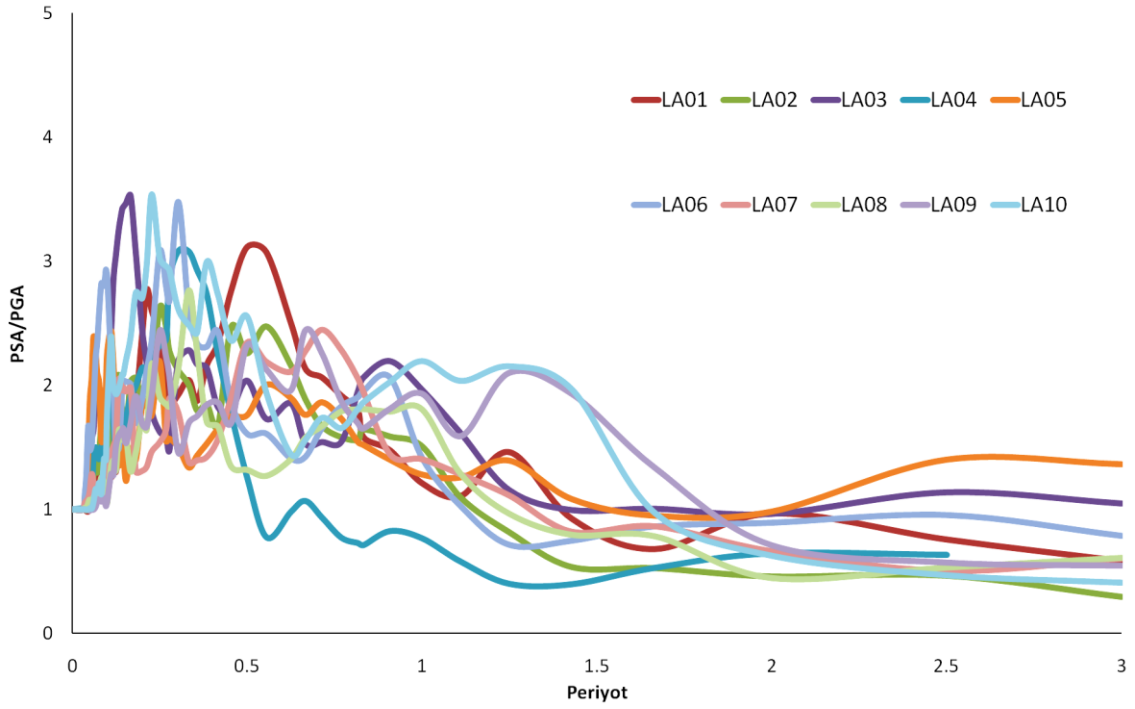
büyüklüğü, uzaklığı ve en büyük yer ivmesi vb. özellikleri Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9'da belirtilmiştir.

Deprem İsmi	Kayıt Yeri	Deprem Bütüklüğü	Uzaklık	Süre	PGA
			(km)	(sn)	(cm/sn ²)
LA21	1995 Kobe	6.9	3.4	59.98	1258
LA22	1995 Kobe	6.9	3.4	59.98	902.75
LA23	1989 Loma Prieta	7	3.5	24.99	409.95
LA24	1989 Loma Prieta	7	3.5	24.99	463.76
LA25	1994 Northridge	6.7	7.5	14.945	851.62
LA26	1994 Northridge	6.7	7.5	14.945	925.29
LA27	1994 Northridge	6.7	6.4	59.98	908.7
LA28	1994 Northridge	6.7	6.4	59.98	1304.1
LA29	1974 Tabas	7.4	1.2	49.98	793.45
LA30	1974 Tabas	7.4	1.2	49.98	972.58
LA31	Elysian Park	7.1	17.5	29.99	1271.2
LA32	Elysian Park	7.1	17.5	29.99	1163.5
LA33	Elysian Park	7.1	10.7	29.99	767.26
LA34	Elysian Park	7.1	10.7	29.99	667.59
LA35	Elysian Park	7.1	11.2	29.99	973.16
LA36	Elysian Park	7.1	11.2	29.99	1079.3
LA37	Palos Verdes	7.1	1.5	59.98	697.84
LA38	Palos Verdes	7.1	1.5	59.98	761.31
LA39	Palos Verdes	7.1	1.5	59.98	490.58
LA40	Palos Verdes	7.1	1.5	59.98	613.28

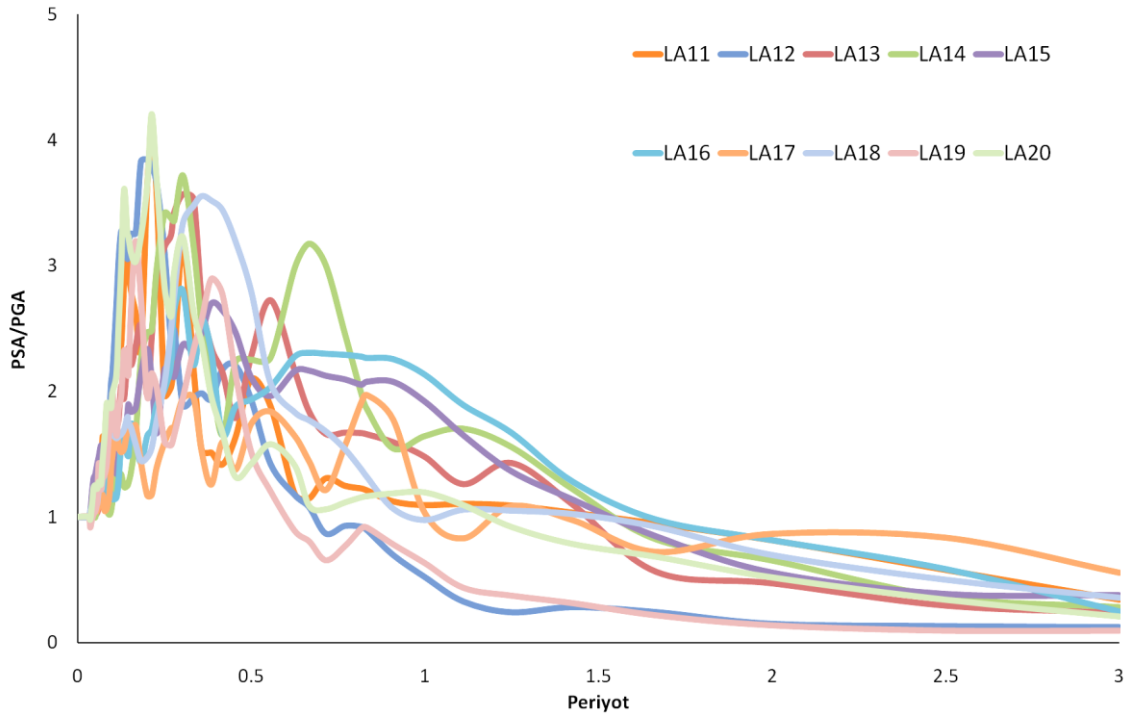
Çizelge 2.8 - 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 olan Depremlerin Detayları

Deprem İsmi	Kayıt Yeri	Deprem B�y�kl�g�	Uzaklık	S�re	PGA
			(km)	(sn)	(cm/sn ²)
LA01	Imperial Valley, 1940, El Centro	6.9	10	39.38	452.03
LA02	Imperial Valley, 1940, El Centro	6.9	10	39.38	662.88
LA03	Imperial Valley, 1979, Array #05	6.5	4.1	39.38	386.04
LA04	Imperial Valley, 1979, Array #05	6.5	4.1	39.38	478.65
LA05	Imperial Valley, 1979, Array #06	6.5	1.2	39.08	295.69
LA06	Imperial Valley, 1979, Array #06	6.5	1.2	39.08	230.08
LA07	Landers, 1992, Barstow	7.3	36	79.98	412.98
LA08	Landers, 1992, Barstow	7.3	36	79.98	417.49
LA09	Landers, 1992, Yermo	7.3	25	79.98	509.7
LA10	Landers, 1992, Yermo	7.3	25	79.98	353.35
LA11	Loma Prieta, 1989, Gilroy	7	12	39.98	652.49
LA12	Loma Prieta, 1989, Gilroy	7	12	39.98	950.93
LA13	Northridge, 1994, Newhall	6.7	6.7	59.98	664.93
LA14	Northridge, 1994, Newhall	6.7	6.7	59.98	644.49
LA15	Northridge, 1994, Rinaldi RS	6.7	7.5	14.945	523.3
LA16	Northridge, 1994, Rinaldi RS	6.7	7.5	14.945	568.58
LA17	Northridge, 1994, Sylmar	6.7	6.4	59.98	558.43
LA18	Northridge, 1994, Sylmar	6.7	6.4	59.98	801.44
LA19	North Palm Springs, 1986	6	6.7	59.98	999.43
LA20	North Palm Springs, 1986	6	6.7	59.98	967.61

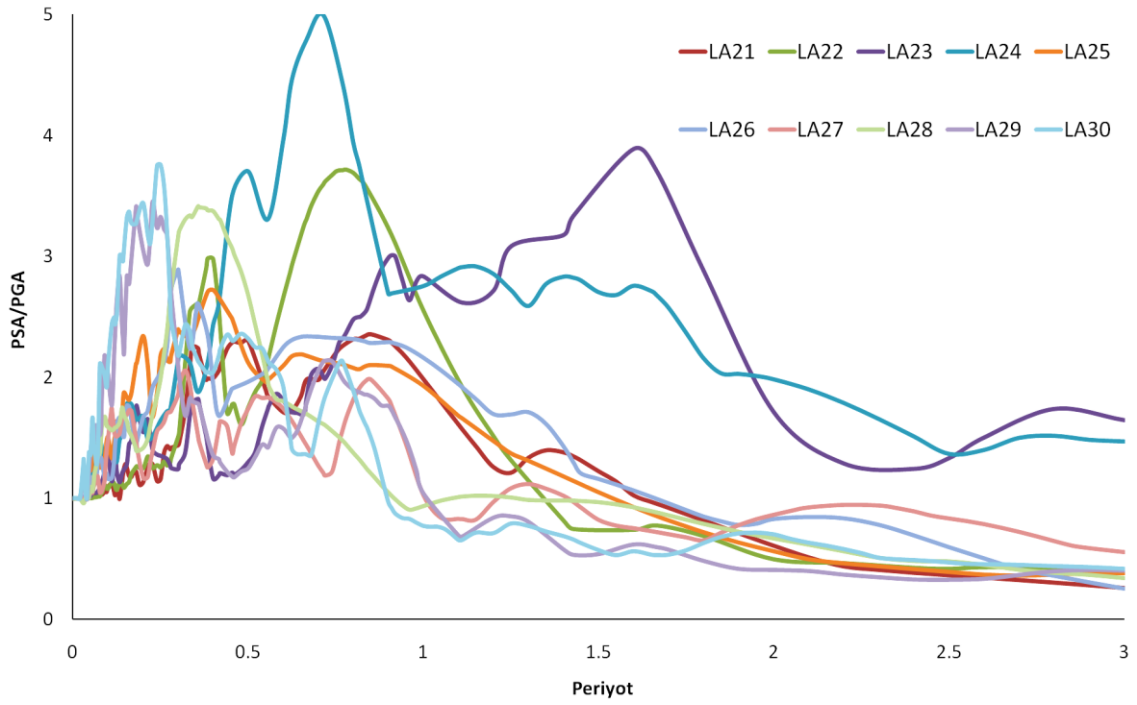
Çizelge 2.8 - 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Detayları



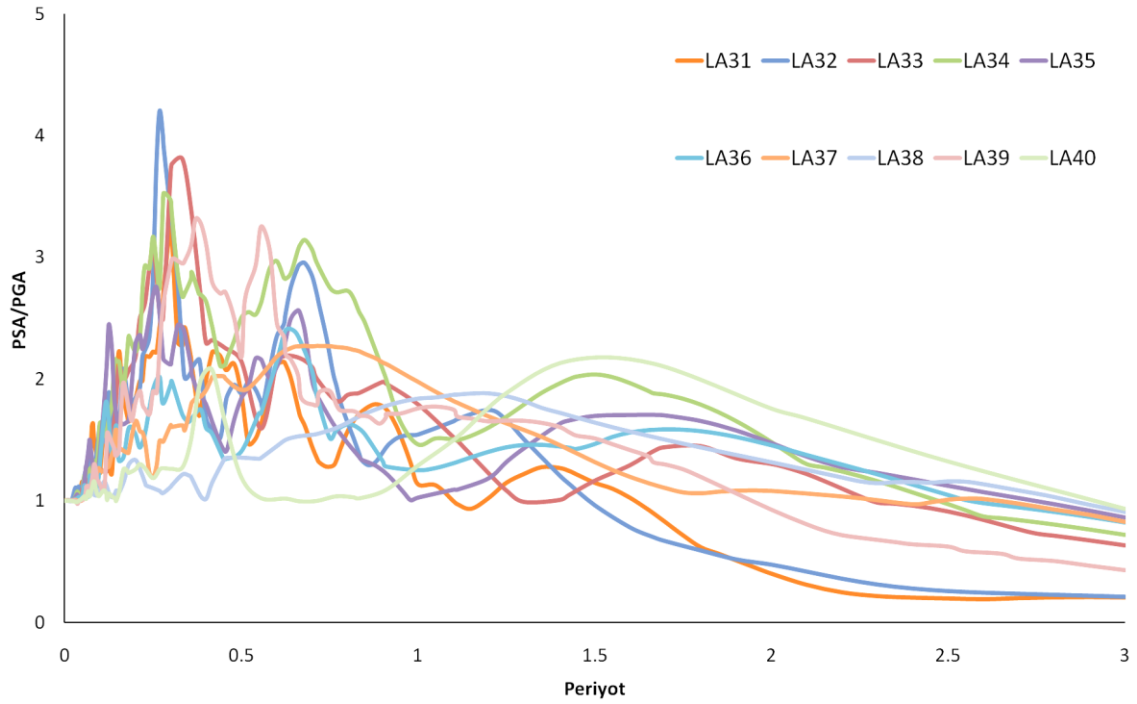
Şekil 2.14.a-50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Spektrumları (LA01-L10)



Şekil 2.14.b-50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Spektrumları (LA11-L20)



Şekil 2.15.a - 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Spektrumları (LA21-L30)



Şekil 2.15.b - 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Spektrumları (LA31-L40)

Şekil 2.14 ve 2.15'de analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtlarından %5 sönüm oranı için elde edilmiş tepki spektrumlar görülmektedir. Sprektrumların yatay eksenleri periyotları, düşey eksenleri ise en büyük yer ivmesiyle (PGA) ile normalize edilmiş *spektral sözde ivmeleri* (PSA) belirtmektedir. PSA/PGA oranları yer ivmesi (g) cinsinden verilerek yönetmeliklerde tanımlanan *elastik tasarım spektrumuna* benzetilmiştir.

Özellikleri verilmiş olan deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan dinamik analizler sonucunda sistemlerin, deprem etkisinde, en büyük çatı deplasmanları, en büyük taban kesme kuvvetleri, katlara göre plastik mafsal dönmeleri ve görelî kat ötelemeleri incelenecektir. Bu sayede yapıların deprem esnasındaki gerçek yer değiştirme istemleri belirlenecek ve aynı zamanda plastik dönmeler ve görelî kat ötelemeleri üzerinden yapıların deprem performansları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilecektir. Doğrusal olmayan dinamik analizlerin yanı sıra sistemlerin kapasitesine dair fikir edinmek üzere, 20 katlı yapılar dışındaki yapılarda doğrusal elastik olmayan statik itme analizlerinden de faydalanılacaktır. 20 katlı yapıda yüksek mod etkilerinden dolayı statik itme analizi uygulanmayacaktır [15]. Her iki doğrusal elastik olmayan analiz sırasında da P- Δ etkileri dikkate alınmıştır. Yapının deprem esnasındaki gerçek yer değiştirme istemi, elastik ötesi davranış esnasında yapının ne kadar deplasman yaptığını ve bahsi geçen büyütme katsayılarından (R ve C_d) hangisinin daha gerçekçi sonuç verdiğini görmemizi sağlayacaktır.

R ve C_d KATSAYILARININ GEÇMİŞİ ve TEORİSİ

Bu bölümde, *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)* ve etkin görelî kat ötelemelerinin elde edilmesinde kullanılan, *Yer Değiştirme Arttırma Katsayısının (C_d)* teorik anlamı, bu katsayılarla ilgili geçmişte yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular özetlenerek konunun daha sağlıklı ve anlaşılır bir biçimde ele alınması amaçlanmaktadır.

Yapıların deprem hesabında, bütün sismik yönetmelikler temel olarak aynı yaklaşımı ele almaktadır. Bu yaklaşım, yapının deprem esnasındaki elastik ötesi davranışının, yapının elastik davranışına bakılarak elde edilebileceğidir. *Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları* yapıların elastik dayanım taleplerinden yola çıkarak yapıya gelen yatay deprem yüklerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Yapının taşıyıcı sistemine bağılı olarak verilen *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)*, elastik deprem yükünün ne oranda azaltılacağını belirleyen parametredir. Tasarımda kullanılacak deprem yükü -genellikle- sadece taşıyıcı sistemin türü göz önüne alınarak belirlenmekte, başka bir deyişle, deprem yükleri taşıyıcı sistemi aynı olan yapıların tümü için aynı oranda azaltılmaktadır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, yapının deprem yüklerinin azaltılması taşıyıcı sistemin yapısı dışında birçok farklı değışkene bağılı olarak değışmektedir [16], [17].

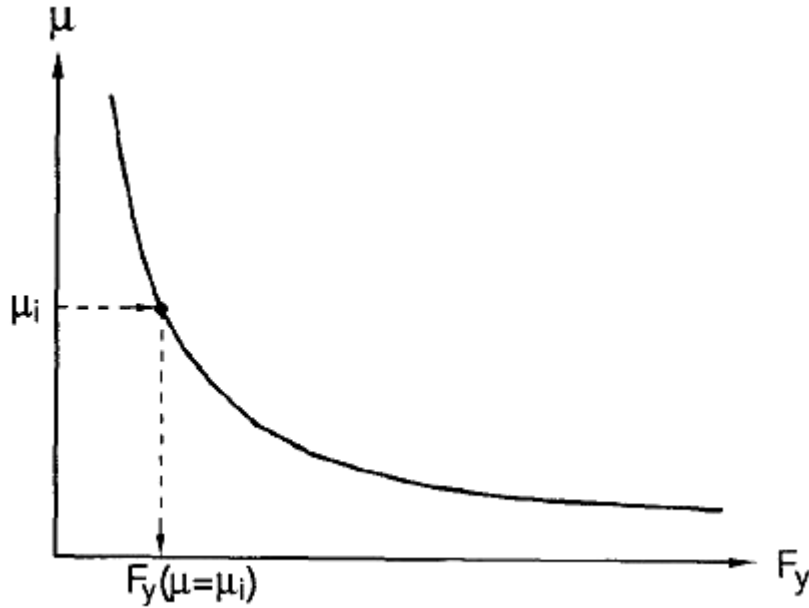
3.1 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Bileşenlerinin Tanımlanması

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının (R) bağılı olduğı parametrelerden bahsetmeden önce R katsayısının yapısal davranış açısından ne anlama geldiğı daha açık şekilde ifade edilmelidir. Şekil 3.1'de şematize edilmiş olan genel yapı davranışına ait tipik Taban kesme kuvveti (V_t) - Yer değıştirme (Δ_{tepe}) grafiğı görülmektedir. Burada V_e yapının elastik kalması

Sistem, elastik sınırı aşır plastik deformasyon yapmaya başladıktan sonra en büyük yer değıştirme değeri ulaşır. Elastik sınıra karşılık yer değıştirme (Δ_y) değeriyle en büyük yer değıştirme değeri (Δ_{max}) arasında kalan yer değıştirmeler, plastik yer değıştirme olarak adlandırılır (Δ_p). O halde, herhangi bir sistemin veya kesitin sünekliğı, plastik deformasyon yapabilme, dolayısıyla enerji yutabilme kapasitesini tanımlamaktadır. Denklem 3.3'de görüldüğü gibi, plastik deformasyon ne kadar artarsa sistemin yaptığı en büyük deformasyon da o denli artacaktır. Bu da sistemde sünekliğın arttığını göstermektedir. Tasarım yükündeki azalmanın bir kısmı, sistemin -sünekliğıyle orantılı olarak- elastik ötesi histeretik davranışına bağlı olarak histeretik enerji tüketme kapasitesiyle karşılanmaktadır [16]. Bu bağlamda Şekil 3.1'de verilen *kapasite eğrisinin* altında kalan alanın enerjii temsil ettiğı söylenebilir.

$$\Delta_p = \Delta_{max} - \Delta_y \quad (3.3)$$

Şekil 3.2'de sistem sünekliğıyle akma dayanımı arasındaki ilişki verilmektedir. Yatay eksen sistemin akma anındaki yatay dayanımını (F_y), düşey eksen ise sistem sünekliğini göstermektedir [16].



Şekil 3.2 - Yatay Dayanım-Süneklik İlişkisi [16]

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının ilk bileşeni sistemin sünekliği ile ilgilidir. *Süneklik Bileşeni* (R_μ), yatay dayanım ile süneklik ilişkisi kullanılarak Denklem 3.4'de verilen şekilde ifade edilebilir [16].

$$R_\mu = \frac{F_y(\mu = 1)}{F_y(\mu = \mu_i)} \quad (3.4)$$

Süneklik Bileşeni (R_μ), sistem sünekliğinin $\mu=1$ olması durumundaki akma dayanımının, sistemin gerçek sünekliğine $\mu=\mu_i$ göre elde edilen akma dayanımına oranı olarak tanımlanabilir. Sünekliğin $\mu=1$ olması, sistemin plastik deformasyon yapmadığı ve yatay dayanımın sistemin elastik kaldığı durumda elde edildiği anlamına gelmektedir. Bu durumda *Süneklik Bileşeni* (R_μ), Denklem 3.5'deki gibi de ifade edilebilir.

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \quad (3.5)$$

Özellikle uzun periyotlu yani "yer değiştirmeye duyarlı" yapılarda bu bileşen, sistemin sünekliğine eşit olarak alınmaktadır [18]. *Süneklik Bileşeni* ile süneklik arasındaki ilişkiyi keşfetmek adına araştırmacıların yaptığı çok sayıda çalışma ve sonucunda türetilmiş birçok bağıntı mevcuttur.

3.1.1.1 Newmark ve Hall [18]

Newmark ve Hall, 1973 yılında El Centro, California deprem kaydından elde ettikleri spektrumu kullanarak yaptıkları çalışma sonucu yüksek ve orta uzunluktaki periyotlara sahip yapıların elastik yer değiştirme değerinin elastik ötesi durumdaki maksimum yer değiştirme değerine çok yakın olduğunu fark etmişlerdir ($\Delta_{max} \approx \Delta_e$). Literatürde *Eşit Yer Değiştirme Kuralı* olarak bilinen bu kural, depreme dayanıklı yapıların tasarım felsefesinin dayanak noktasını oluşturmaktadır. Yapının elastik ötesi davranışının, yaklaşık da olsa, elastik davranışına bakılarak tahmin edilebiliyor olması, sistemin ne kadar sünek tasarlanması gerektiğinin yani deprem enerjisinin ne kadarının elastik dayanımla ne kadarının elastik olmayan deformasyonlarla tüketilebileceğinin görülmesine imkân sağlamıştır. Aynı çalışmada çok düşük periyotlu yapıların elastik ve elastik ötesi durumda aynı kuvvete maruz kalacağı, orta periyotlu yapılarda ise *enerjinin korunumu prensibi* gereği, elastik sistemde monotonik yük etkisinde oluşan yük-deformasyon ilişkisinin, elastik ötesi durumda, pekleşmesiz elasto-plastik davranışının aynısı olacağı sonucuna varılmıştır. Özetle, sistemler periyotlarına bağlı olarak üç bölüme ayrılmıştır. Düşük periyotlu yapıların rijitliği çok yüksek olacağından,

ivmeye dolayısıyla kuvvete, orta periyotlu yapıların hızı, uzun periyotlu yapıların ise yer değiştirmeye duyarlı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışma sonucu birçok periyot aralığı için farklı R_μ değerleri elde edilmiş ve görülmüştür ki belirli bir periyodun üzerindeki yapıların *Süneklik Bileşeni* (R_μ) değerleri *eşit yer değiştirme kuralına* uygun şekilde süneklığe (μ) eşit çıkmaktadır. Denklem 3.6'da Newmark ve Hall'un çeşitli periyot aralıkları için elde etmiş olduğu R_μ değerleri görülmektedir. Denklem 3.6'daki bağıntılara göre çizilmiş R_μ -T grafikleri Şekil 3.3.a'da verilmiştir.

$$0 \leq T \leq \frac{T_1}{10} \quad R_\mu = 1 \quad (3.6.a)$$

$$\frac{T_1}{10} \leq T \leq \frac{T_1}{4} \quad R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \left[\frac{T_1}{4T} \right]^{2.513 \log \left[\frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} \right]} \quad (3.6.b)$$

$$\frac{T_1}{4} \leq T \leq T_1' \quad R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (3.6.c)$$

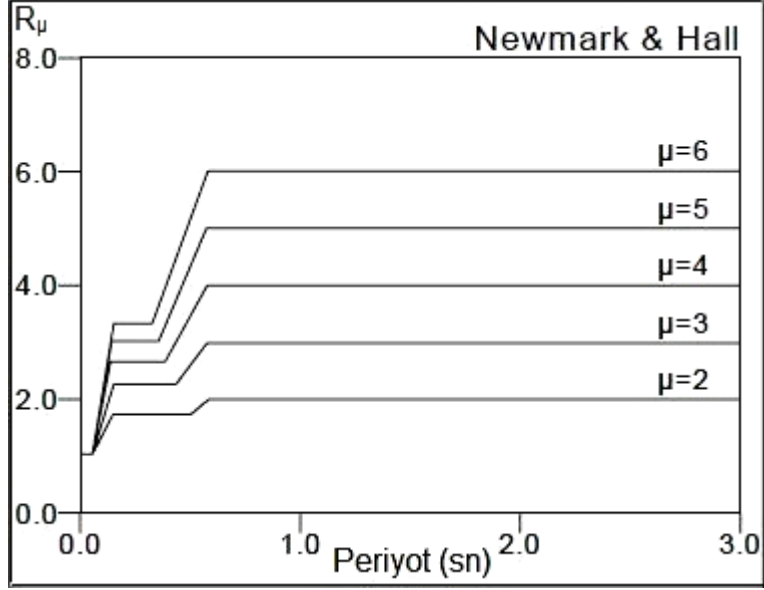
$$T_1' \leq T \leq T_1 \quad R_\mu = \frac{T\mu}{T_1} \quad (3.6.d)$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 \quad R_\mu = \mu \quad (3.6.e)$$

$$T_1 \leq T \leq 10sn \quad R_\mu = \mu \quad (3.6.f)$$

ϕ_{ev} , ϕ_{ea} ve ϕ_{ed} sırasıyla hız, ivme ve yer değiştirme arttırma faktörleri olmak üzere T_1 , T_1' ve T_2 sınır değerleri Denklem 3.6.g'deki gibidir.

$$T_1 = 2\pi \frac{\phi_{ev} V}{\phi_{ea} A} \quad T_1' = T_1 \frac{\mu}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad T_2 = 2\pi \frac{\phi_{ed} D}{\phi_{ev} V} \quad (3.6.g)$$



Şekil 3.3.a - Newmark ve Hall'a ait R_μ Değerleri [18],[31]

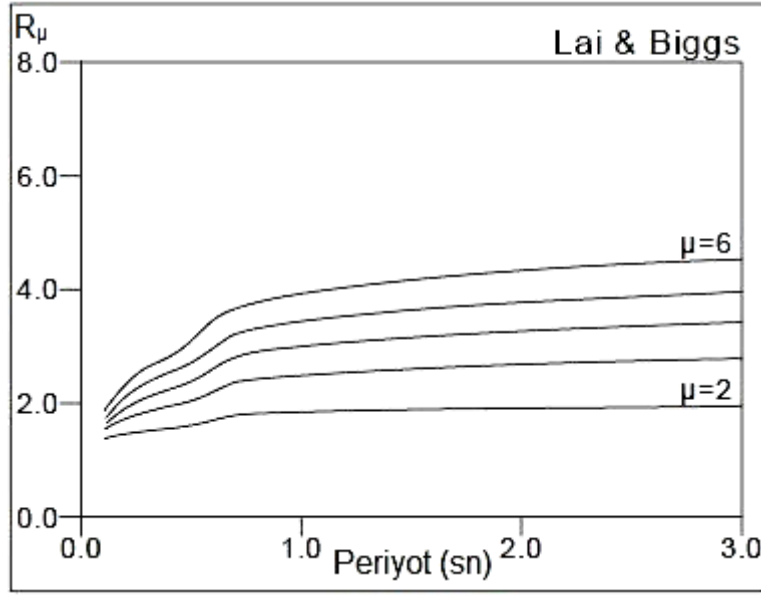
3.1.1.2 Lai ve Biggs [19]

Süneklik Bileşeniyle ilgili 1980 yılında yapılan çalışmada ise 20 farklı yer hareketi için türetilmiş tepki spektrumları kullanılarak 0.01sn ile 10 sn arasında değişen 50 farklı doğal periyot için analizler yapılmış ve Denklem 3.7'de verilen bağıntı elde edilmiştir. Çizelge 3.1'de farklı süneklik değerleri için türetilen α ve β çarpanları, Şekil 3.3.b'de ise R_μ grafikleri görülmektedir. Denklem 3.7'deki bağıntılara göre çizilmiş R_μ -T grafikleri Şekil 3.3.b'de verilmiştir.

Periyot Aralığı	Çarpan	$\mu=2$	$\mu=3$	$\mu=4$	$\mu=5$
$0.1 \leq T \leq 0.5sn$	α	1.6791	2.2296	2.6587	3.1107
	β	0.3291	1.0587	1.0587	1.4307
$0.5 \leq T \leq 0.7sn$	α	2.0332	2.7722	3.3700	3.8336
	β	1.5055	2.5320	3.4217	3.8323
$0.7 \leq T \leq 4sn$	α	1.8409	2.4823	2.9853	3.4180
	β	0.2642	0.6605	0.9380	1.1493

Çizelge 3.1 - α ve β Katsayıları

$$R_\mu = \alpha + \beta (\log T) \quad (3.7)$$



Şekil 3.3.b - Lai ve Biggs'e ait R_μ Değerleri [19],[31]

3.1.1.3 Riddell ve Newmark [20]

Newmark ve Hall'un çalışmasında katkısı ihmal edilen sönüm etkisini de kapsayacak şekilde genişleterek Denklem 3.8'de verilen bağıntıları elde etmişlerdir

$$0 \leq T < 0.0303s \quad R_\mu = 1 \quad (3.8.a)$$

$$0.0303 \leq T < 0.125s \quad R_\mu = (p_a \mu - q_a)^{r_a} \left[\frac{1}{8T} \right]^{1.625 \log[(p_a \mu - q_a)^{-r_a}]} \quad (3.8.b)$$

$$0.125 \leq T < T' \quad R_\mu = (p_a \mu - q_a)^{r_a} \quad (3.8.c)$$

$$T' \leq T < T_1 \quad R_\mu = \frac{T}{T_1} (p_v \mu - q_v)^{r_v} \quad (3.8.d)$$

$$T_1 \leq T < T_2' \quad R_\mu = (p_v \mu - q_v)^{r_v} \quad (3.8.e)$$

$$T_2' \leq T < T_2 \quad R_\mu = \frac{T}{T_2 p_d \mu^{-r_d}} \quad 1.5 \leq \mu < 10 \quad (3.8.f)$$

$$T_2 \leq T < 10.0 s \quad R_\mu = \frac{1}{p_d \mu^{-r_d}} \quad 1.5 \leq \mu < 10 \quad (3.8.g)$$

Denklem 3.8'de kullanılan sönüm oranına (β) bağlı katsayıların formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$p_a = q_a + 1 \quad q_a = 3.0 \beta^{-0.3} \quad r_a = 0.48 \beta^{-0.08} \quad 2 \leq \beta \leq 10 \quad (3.9.a)$$

$$p_v = q_v + 1 \quad q_v = 2.7 \beta^{-0.4} \quad r_v = 0.66 \beta^{-0.04} \quad 2 \leq \beta \leq 10 \quad (3.9.b)$$

$$p_d = 0.87 \beta^{0.055} \quad r_d = 1.07 \quad 2 \leq \beta \leq 10 \quad (3.9.c)$$

Periyotların sınır değerleri ise Newmark ve Hall'un çalışmasına benzer şekilde;

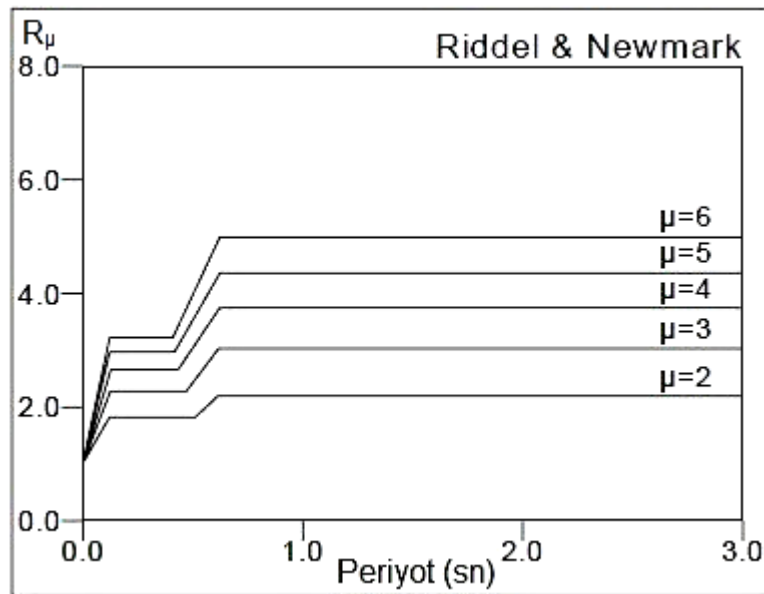
$$T_1 = 2\pi \frac{\phi_{ev} V}{\phi_{ea} A} \quad (3.10.a)$$

$$T_1' = T_1 \frac{(p_a \mu - q_a)^{r_a}}{(p_v \mu - q_v)^{r_v}} \quad (3.10.b)$$

$$T_2 = 2\pi \frac{\phi_{ed} D}{\phi_{ev} V} \quad (3.10.c)$$

$$T_2' = T_2 p_d \mu^{-r_d} (p_v \mu - q_v)^{r_v} \quad (3.10.d)$$

olarak ifade edilebilir. Denklem 3.8'deki bağıntılara göre çizilmiş R_μ -T grafikleri Şekil 3.3.c'de verilmiştir.



Şekil 3.3.c - Riddel ve Newmark'a ait R_μ Değerleri [20],[31]

3.1.1.4 Elghadamsi ve Mohraz [21]

R_μ katsayısına sönüm oranının etkisinin eklenmesinden sonra Elghadamsi ve Mohraz yaptıkları çalışmada, ilk kez, zemin sınıflarının azaltma katsayısına olan etkisini göz önünde bulundurmuşlardır. Bu çalışmada, elasto-plastik davranışa sahip tek serbestlik dereceli sistem, farklı zeminlerde kaydedilmiş çok sayıda deprem kaydı kullanılarak R_μ katsayıları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak azaltma katsayısının zemin sınıfından önemli biçimde etkilendiği görülmüştür.

3.1.1.5 Riddell, Hidalgo ve Cruz [22]

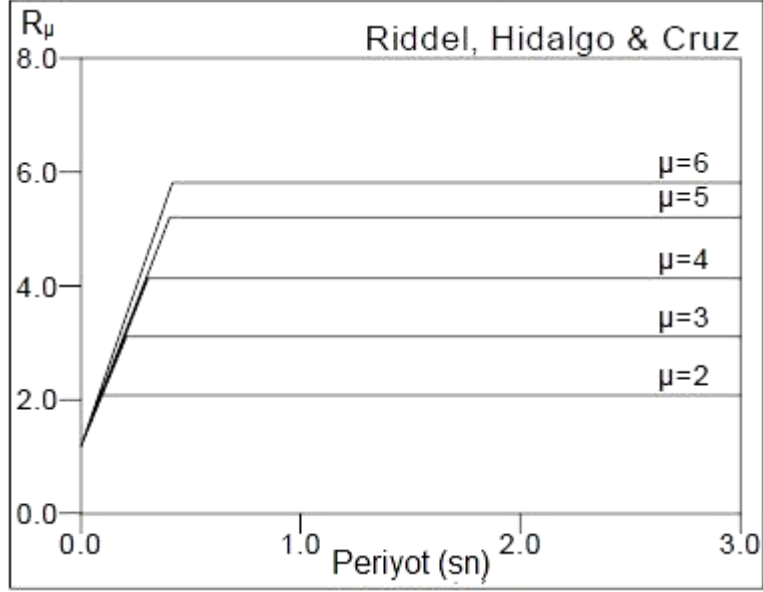
Riddell, Hidalgo ve Cruz, yaptıkları çalışmada 4 ayrı deprem setini baz alarak, %5 sönüm oranına sahip ve histeretik davranışı elasto-plastik olan tek serbestlik dereceli sisteme ait elastik ötesi spektrumlar kullanarak iki doğrulu bir R_μ - μ - T ilişkisi elde etmişlerdir. Denklem 3.11'de bahsi geçen bağıntılar ile Çizelge 3.2'de süneklığe bağlı çarpanlar görülmektedir. Denklem 3.11'deki bağıntılara göre çizilmiş R_μ - T grafikleri Şekil 3.3.d'de verilmiştir.

$$0 \leq T < T^* \quad R_\mu = 1 + \frac{R^* - 1}{T^*} T \quad (3.11.a)$$

$$T^* \leq T \quad R_\mu = R^* \quad (3.11.b)$$

	$\mu=2$	$\mu=3$	$\mu=4$	$\mu=5$	$\mu=6$	$\mu=7$	$\mu=8$
R^*	2.0	3.0	4.0	5.0	5.6	6.2	6.8
T^*	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4

Çizelge 3.2 - R^* ve T^* Katsayıları



Şekil 3.3.d - Riddel, Hidalgo ve Cruz'a ait R_μ Değerleri [22],[31]

3.1.1.6 Nassar ve Krawinkler [23]

Bu çalışmada, R_μ katsayısının etkilendiği parametreler daha da genişletilmeye çalışılmıştır. Merkez üsse (Episantr) olan mesafe, doğal titreşim periyodu, akma seviyesi, pekleşme oranı ve elastik ötesi davranış gibi değişkenler göz önüne alınarak R_μ katsayısı için yeni bağıntılar türetilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen veriler, merkez üsse olan mesafe ve elastik ötesi davranışın R_μ üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceğini göstermiştir.

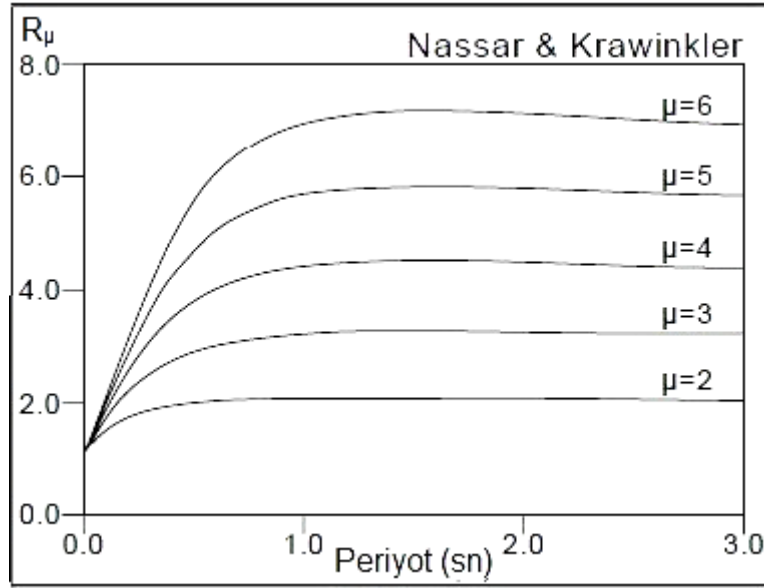
$$R_\mu = [c(\mu - 1) + 1]^{1/c} \quad (3.12.a)$$

$$c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (3.12.b)$$

α başlangıç rijitliğinin yüzdesi cinsinden pekleşme oranına karşılık gelmek üzere, Denklem 3.12'de kullanılan a ve b katsayıları α 'ya bağlı olarak Çizelge 3.3'de verilmiştir. Denklem 3.12'deki bağıntılara göre çizilmiş R_μ -T grafikleri Şekil 3.3.e'de verilmiştir.

α	a	b
0.00	1.00	0.42
0.02	1.00	0.37
0.10	0.80	0.29

Çizelge 3.3 - a ve b Katsayıları



Şekil 3.3.e - Nassar ve Krawinkler'e ait R_μ Değerleri [23],[31]

3.1.1.7 Vidic, Fajfar ve Fischinger [24]

Vidic, Fajfar ve Fischinger, ABD'nin batısındaki 20 deprem ve Yugoslavya'da meydana gelmiş depremlerin kayıtları kullanılarak, tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalar sırasında, histeretik davranış iki doğrulu pekleşmeli olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak iki doğru parçasından oluşan bir ilişki elde edilmiştir. Denklem 3.13'de süneklığe ve periyoda bağlı olarak verilen R_μ değerleri görülmektedir

$$T \leq T_0 \quad R_\mu = (\mu - 1) \frac{T}{T_0} + 1 \quad (3.13.a)$$

$$T_0 < T \quad R_\mu \cong \mu \quad (3.13.b)$$

$$T_0 = 0.65\mu^{0.3}T_1 \quad (3.13.c)$$

$$T_1 = 2\pi \frac{\phi_{ev} V}{\phi_{ea} A} \quad (3.13.d)$$

3.1.1.8 Miranda [25]

Bu çalışmada, üç farklı zemin sınıfı için toplam 124 farklı deprem kaydı kullanılarak, %5 sönüm oranına sahip ve süneklikleri 2 ile 6 arasında değişen tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde analizler yapılmıştır. Çalışmada daha iyi sonuçlar elde etmek amacıyla çok sayıda deprem kaydı kullanılmış ve zemin özellikleri dışında depremin büyüklüğü ve uzaklığı da göz önüne alınarak, R_μ üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucu -Nassar ve Krawinkler'in çalışmasında olduğu gibi-, depremin büyüklüğünün ve uzaklığının R_μ üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Denklem 3.14'de çalışma sonucu elde edilen R_μ bağıntısı verilmiştir. Burada, ϕ zeminin türüne bağlı olarak değişen bir katsayı olmak üzere, μ , T ve T_g 'nin fonksiyonudur. Zemin cinsine göre ϕ katsayısının formülasyonu Denklem 3.15'de görülmektedir.

$$R_\mu = (\mu - 1) \frac{T}{\phi} + 1 \quad (3.14)$$

$$\text{Kaya Zemin} \quad \phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} \times e^{\left[\frac{-3}{2} (\ln T - \frac{3}{5})^2 \right]} \quad (3.15.a)$$

$$\text{Alüvyonlu Zemin} \quad \phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \times e^{\left[-2 (\ln T - \frac{1}{5})^2 \right]} \quad (3.15.b)$$

$$\text{Yumuşak Zemin} \quad \phi = 1 + \frac{T_g}{3T} - \frac{3T_g}{4T} \times e^{\left[\frac{-3 (\ln \frac{T}{T_g} - \frac{1}{4})^2 \right]} \quad (3.15.c)$$

Bahsi geçen çalışmalar dışında da *süneklik bileşeniyle* ilgili pek çok çalışma yapılmış, farklı fakat benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda görülmüştür ki, R_μ katsayısı -kullanılan deprem ivme kaydına bağlı olarak- sistemin doğal titreşim periyoduna, sönüm oranına ve yapının histeretik davranışına, dolayısıyla elastik ötesi deformasyon kapasitesine göre değişmektedir. O halde *süneklik bileşeni*, belirli bir deprem kaydı (zemin sınıfına bağlı olarak) ve sönüm oranı için Denklem 3.16'daki gibi ifade edilebilir.

$$R_\mu = R_\mu(T, \mu_i) \quad (3.16)$$

Tüm çalışmalarda -istinasız şekilde- "hıza duyarlı" ve "yer değiştirmeye duyarlı", yüksek periyotlu esnek yapılar için *süneklik bileşenin*, yapının sünekliğine eşit kabul edilebileceği sonucu elde edilmiştir. Çok esnek yapılarda periyot sonsuza yaklaşacağından ($T \rightarrow \infty$) sistemdeki en büyük rölatif yer değiştirme, en büyük zemin yer değiştirmesine eşit olacaktır.

$$R_{\mu} = \mu \quad (3.17)$$

"İvmeye duyarlı", çok rijit sistemlerde ise akma dayanımı sonsuza yaklaşırken, süneklik ve periyot ta sıfıra yaklaşmakta ($T \rightarrow 0, \mu \rightarrow 0$) ve sistemin elastik dayanımı, elastik ötesi dayanımına eşit olmaktadır [16].

$$R_{\mu} = 1 \quad (3.18)$$

Sonuç olarak, R_{μ} katsayısı için şunlar söylenebilir;

- i. R_{μ} katsayısı, zemin koşullarının, periyodun ve sünekliğin fonksiyonudur.
- ii. Sistemdeki sönüm oranı R_{μ} katsayısı üzerinde etkilidir.
- iii. Depremin büyüklüğünün, histeretik davranışın ve merkez üssüne olan mesafenin R_{μ} katsayısı üzerindeki etkileri ihmal edilebilir düzeydedir.
- iv. "Hıza ve yer değiştirmeye duyarlı" esnek yapılar için R_{μ} katsayısı -yaklaşık olarak- süneklik katsayısına eşit alınabilir.
- v. "İvmeye duyarlı" rijit yapılar için R_{μ} katsayısı, zemin koşullarına, periyoda ve sünekliğe bağlı olarak elde edilen bağıntılarla elde edilebilir.

3.1.2 Fazla Dayanım Bileşeni (Overstrength Factor)

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının ikinci bileşeni *Fazla Dayanım Bileşenidir* (Ω). Yapıların tasarım dayanımı çeşitli sebeplerden ötürü gerçek dayanımlarından daha azdır. Gerçek dayanımın tasarım dayanımına oranı olarak tanımlanan *fazla dayanım katsayısı* (Ω), sistemin gerçek davranışının göz önüne alınabilmesi bakımından çok büyük önem taşımaktadır. Denklem 3.19'da *fazla dayanım katsayısının* (Ω) Şekil 3.1'de verilen genel yapı davranışı üzerinden genel formu verilmiştir.

$$\Omega = \frac{V_y}{V_d} \quad (3.19)$$

Sistemin tasarlanandan daha fazla dayanıma sahip olmasının sebeplerinden bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Malzemelerin gerçek dayanımının hesapta kullanılan dayanımdan daha yüksek olması.
- Hesap modellerinin emniyetli tarafta kalması (ASD'ye göre tasarlanmış bir yapının fazla dayanımı LRFD'ye göre hesaplanmış yapıdan daha büyük çıkmaktadır).
- Yönetmeliklerdeki sınır koşulları (Basınca çalışan elemanlarda narinlik şartı ve kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu gibi).
- Tablo kullanımından gelen yuvarlatma hataları.
- Yükleme hızı.
- İç kuvvetlerin yeniden dağılımı (Redundancy Factor).
- Yük ve malzeme katsayıları.
- Kesit seçimlerinde güvenli tarafta kalınması.
- Yapısal olmayan elemanların katkısının göz ardı edilmesi (Dolgu duvarların yatay dayanıma katkısı).
- Yapısal elemanların katkısının göz ardı edilmesi (Döşemelerin yatay dayanıma katkısı).
- Tasarım esnasında pekleşmenin ihmal edilmesi.
- Şartnamelerin görelî kat ötelemelerini sınırlandırılması sebebiyle -özellikle moment aktaran çerçevelerde- dayanım için gerekenden büyük kesitler seçilmesi.

3.1.2.1 Fazla Dayanım Katsayısı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde *Fazla Dayanım Katsayısı* (Ω) ile ilgili yapılmış eski çalışmalardan bazıları kısaca özetlenmeye çalışılacaktır.

3.1.2.1.1 Freeman [26]

Freeman, 1990 yılında yaptığı çalışmada iki farklı deprem bölgesinde inşa edilmiş 3 adet 3 katlı çelik çerçeveye ait *fazla dayanım katsayılarını* sırasıyla 1.9, 3.6 ve 3.3 olarak elde etmiştir [31].

3.1.2.1.2 Osteraas ve Krawinkler [27]

1990 yılında Osteraas ve Krawinkler tarafından hazırlanan raporda, yapıların, dayanım ve süneklik kapasiteleri ve talepleri, fazla dayanımları ve bunların sismik performansları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada *fazla dayanımın* lokal ve global bileşenleri tanımlanmış, çeşitli yönetmeliklere göre hazırlanmış farklı yükseklikte ve farklı açıklıklara sahip moment aktaran ve çaprazlı çelik çerçeveler kullanılarak yapıların *fazla dayanım katsayıları* belirlenmiştir.

3.1.2.1.3 Kappos [28]

1999 yılında A. J. Kappos'un yaptığı çalışmada, Güney Avrupa ve özellikle Yunanistan'da meydana gelmiş deprem kayıtlarını kullanarak UBC, NEHRP, EC8 gibi yönetmeliklerdeki *R* katsayılarını incelemiştir. 10 farklı deprem kaydı kullanarak değişik yüksekliklerdeki betonarme binalar için elde edilen *fazla dayanım katsayılarını* değerlendiren Kappos, yüksek olmayan binalarda, orta ve yüksek binalara göre *fazla dayanım katsayısının* daha yüksek çıktığı fark etmiştir. Düşük periyotlu yapılarda fazla dayanım katsayısı 2.7'ye kadar çıkarken orta ve yüksek periyotlu yapılarda bu oranın 1.5'e kadar düştüğü görülmüştür.

3.1.2.1.4 Balendra ve Huang [29]

Bu çalışmada üç açıklıklı 3, 6 ve 10 katlı çelik çerçeveler modellenmiştir. Çerçeveler, taşıyıcı sistem bakımından, moment aktaran, merkezi çaprazlı (X ve Ters V Çaprazlı) ve yarı rijit birleşimli olarak modellenmiştir. Hedef deplasmanların belirlenmesinde N2 yöntemi [36] kullanılmış ve sonuç olarak farklı yük kombinasyonları için birçok *fazla dayanım katsayısı* elde edilmiştir.

3.1.2.1.5 Kim ve Choi [30]

Yapılan çalışmada 6, 8 ve 10 m açıklıklı 3, 6, 9, 12, 15, 18 ve 21 katlı olmak üzere toplam 21 adet Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeveler ile yine 6, 8 ve 10 m açıklıklı 3, 6, 9 katlı olmak üzere toplam 9 adet Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı

Çerçeveler tasarlanmıştır. Doğrusal elastik olmayan analizlere tabi tutulan çerçevelerin *fazla dayanım katsayıları* ve araştırmacıların önerdiği farklı bağıntılar kullanılarak R_μ *katsayıları* irdelenmiştir. Sonuç olarak, yapının yüksekliği azaldıkça ve açıklıklarının genişliği arttıkça *fazla dayanım katsayısının* arttığı gözlenmiştir.

Fazla Dayanım Katsayısı(Ω) lokal ve global etkenler sebebiyle bir çerçeveden diğerine farklılık gösterebilmektedir. Bu değişim genel hatlarıyla aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- i. Taşıyıcı sistem türü Ω katsayısı üzerinde etkilidir.
- ii. Yapının tasarımında belirleyici (dayanım, görelî kat ötelemeleri vb.) tasarım kriteri Ω katsayısı üzerinde etkilidir.
- iii. Yapıların kat sayısı azaldıkça Ω katsayısı genellikle artmaktadır.
- iv. Yapıların açıklıkları büyüdükçe Ω katsayısı genellikle artmaktadır.

3.1.3 Süneklik ve Fazla Dayanım Bileşenlerinin Değerlendirilmesi

Süneklik Bileşeni (R_μ) ve *Fazla Dayanım Katsayısının* (Ω) tanımlanması ile Şekil 3.1'de verilmiş olan Genel Yapı Davranışını göz önüne alınırsa, *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısını* (R), *süneklik* ve *fazla dayanım bileşenleri* cinsinden Denklem 3.20'deki gibi ifade edilebilir.

$$R = \frac{V_e}{V_d} = \frac{V_e}{V_y} \times \frac{V_y}{V_d} \quad (3.20.a)$$

$$R = R_\mu \times \Omega \quad (3.20.b)$$

DBYBHY (2007) ve ASCE 7-05 (2005) tarafından çelik yapılar için önerilen *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları* (R), *Fazla Dayanım Katsayıları* (Ω) bunlardan türetilmiş *Süneklik Bileşeni Katsayıları* (R_μ) Çizelge 3.4'de özetlenmiştir [1], [2].

Taşıyıcı Sistem Türü	DBYBHY (2007)			ASCE 7-05 (2005)		
	R	R _μ	Ω	R	R _μ	Ω
Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveler	8	3.2	2.5	8	2.67	3
Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler	5	2.5	2.0	3.5	1.17	3
Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi	5	2.5	2.0	6	3.0	2
Süneklik Düzeyi Normal Merkezi	4	2.0	2.0	3.25	1.63	2
Dış Merkez Çaprazlı Çerçeveler	7	2.8	2.5	8	4.0	2

Çizelge 3.4 - DBYBHY (2007) ve ASCE 7-05 (2005)'in Önerdiği R, R_μ, Ω Katsayıları [1], [2]

Çizelge 3.4'de görüldüğü gibi, farklı taşıyıcı sistemler için iki yönetmelik arasında belirgin farklar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada ele alınan süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler açısından *fazla dayanım* (Ω) ve *süneklik bileşeni katsayıları* (R_μ) arasında farklılıklar olsa da *taşıyıcı sistem davranış katsayıları* (R) açısından iki yönetmeliğin mutabık oldukları görülmektedir. Başka bir deyişle her iki yönetmelik de elastik deprem yüklerini eşit oranda azaltılmasını önermektedir.

3.2 C_d Katsayısının Tanımlanması [1], [32]

ASCE 7-05 (2005)'de azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan görelî kat ötelemelerinin, etkin görelî kat ötelemelerine dönüştürülmesi amacıyla kullanılan ve *Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı* olarak isimlendirilen C_d Katsayısı, yapının elastik ötesi davranış esnasında yaptığı en büyük yer değiştirme değerinin, tasarıma esas alınan yatay kuvvetler altında yapının yapmış olduğu yer değiştirme değerine oranı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle C_d Katsayısı, yapının elastik durumdaki yer değiştirme değerinden, elastik ötesi durumdaki yer değiştirme değerinin (deprem esnasında yapıda meydana gelen gerçek yer değiştirme değeri) elde edilmesi için kullanılmaktadır. C_d Katsayısı, Şekil 3.1'de verilmiş olan Genel Yapı Davranışına bağlı olarak Denklem 3.21'deki gibi ifade edilebilir.

$$C_d = \frac{\Delta_{\max}}{\Delta_d} = \frac{\Delta_{\max}}{\Delta_y} \times \frac{\Delta_y}{\Delta_d} \quad (3.21)$$

$$\Omega = \frac{\Delta_y}{\Delta_d} \quad (3.22)$$

Fazla Dayanım Katsayısı (Ω) Denklem 3.22'de verilen şekilde ifade edilirse ve Denklem 3.2 ile birlikte Denklem 3.21'de yerine yazılırsa, *C_d Katsayısı* Denklem 3.23 şeklinde ifade edilebilir.

$$C_d = \mu \times \Omega \quad (3.23)$$

Yer değiştirmelerin ne oranda arttırılması gerektiğini bilebilmek, birçok açıdan önem arz etmektedir. Görelî kat ötelemelerinin kontrolü, depremin yapıdan yer değiştirme talebi ve buna bağlı olarak yapının deformasyon kapasitesi, P- Δ etkilerinin doğru belirlenmesi gibi yapısal davranışın tanımlanması ve tasarım açısından bilinmesi zarurî bilgiler *C_d Katsayısına* bağlı olarak değişmektedir [17], [32]. Bilhassa deprem yüklerinin sadece çerçevesizle karşılandığı sistemlerde olduğu gibi, tasarımın görelî kat ötelemeleri tarafından belirlendiği sistemlerde bu katsayı daha da önem kazanmaktadır.

R ve C_d katsayıları tanımları gereği (Denklem 3.20.b ve Denklem 3.23) hıza ve yer değiştirmeye duyarlı bölgelerde ($R_{\mu}=\mu$) birbirlerine eşit çıkmaktadırlar [17]. TDY (2007)'de birbirlerine eşit verilen bu iki katsayı ASCE 7-05 (2005)'de birbirinden oldukça farklı tanımlanmıştır. ASCE 7-05 (2005)'in önerdiği R ve C_d katsayılarıyla R/C_d oranları Çizelge 3.5'de verilmiştir.

şüphesiz R ve C_d arasında türetilen bağıntılar, "eşit yer değiştirme kuralı" kabulüyle elde edilmiştir. Bu kabule göre R ve C_d katsayıları, -TDY (2007)'nin önerisine uygun şekilde yer değiştirmeye duyarlı, uzun periyot bölgesinde birbirine eşit çıkmalıdır (Denklem 3.20.b ve Denklem 3.23). Bu çalışmanın esas amacı, süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevesizlerde eşit yer değiştirme kuralının geçerliliğini sorgulamaktır.

"Eşit yer değiştirme kuralı" çerçevesinde elde edilen ve Denklem 3.23'de görülen formülasyondan farklı olarak ASCE 7-05 (2005)'de tanımlanan C_d katsayılarının elde edilişi Denklem 3.24'de verilmiştir.

$$\frac{\Delta_e}{\Delta_y} = \frac{V_e}{V_y} = \frac{V_d}{V_y} \times R \quad (3.24.a)$$

$$\frac{\Delta_i}{\Delta_d} = \frac{\Delta_e}{\Delta_y} \quad (3.24.b)$$

Denklem 3.24.a'da yapının elastik yer değiştirme talebinin (Δ_e), akma yer değiştirmesi talebine (Δ_y) oranının R katsayısına bağlı formülasyonu görölmektedir. ASCE 7-05(2005)'in önersine göre elastik ötesi yer değiştirme talebinin (Δ_i), tasarım yer değiştirmesine (Δ_d) oranı, elastik yer değiştirme talebinin (Δ_e), akma yer değiştirmesi talebine (Δ_y) oranına eşit kabul edilebilir. Bu kabule göre elastik ötesi yer değiştirme talebinin (Δ_i), tasarım yer değiştirmesine (Δ_d) oranı Denklem 3.24.c'deki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{\Delta_i}{\Delta_d} = \frac{\Delta_e}{\Delta_y} = \frac{V_d}{V_y} \times R \quad (3.24.c)$$

Denklem 3.24c'de verilen ifadeden elastik ötesi yer değiştirme talebini (Δ_i) elde etmek istersek Denklem 3.24.d'deki ifadeye ulaşırız. Yapılan dönüşümler sonucu elastik ötesi yer değiştirmeleri elde ederken kullanılan ve yapının R ve Fazla Dayanım Katsayılarının fonksiyonu olan C_d katsayısı elde edilir.

$$\Delta_i = \left(\frac{V_d}{V_y} \times R \right) \times \Delta_d \quad (3.24.d)$$

$$C_d = \frac{V_d}{V_y} \times R \quad (3.24.e)$$

Taşıyıcı Sistem Türü	ASCE 7-05 (2005)		
	R	C_d	R/ C_d
Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveseler	8	5.5	1.45
Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveseler	3.5	3	1.17
Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeveseler	6	5	1.2
Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçeveseler	3.25	3.25	1
Dış Merkez Çaprazlı Çerçeveseler	8	4	2

Çizelge 3.5 - ASCE 7-05 (2005)'in Çelik Taşıyıcılar İçin Önerdiği R ve C_d Katsayıları [1]

BÖLÜM 4

ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde TDY (2007) ve ASCE 7-05 (2005)'in etkin görelî kat ötelemeleri şartları sağlatılarak tasarlanan 4, 9 ve 20 katlı yapıların davranışları, doğrusal elastik olmayan analizler vasıtasıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir.

4.1 4 Katlı Yapıların Doğrusal Elastik Olmayan (Non-linear) Analiz Sonuçları

4 katlı yapıların geometrik ve dinamik özellikleri ile analitik modelde kullanılan özellikleri 2. bölümde detaylı şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde 4 katlı yapıların doğrusal elastik olmayan statik itme analizi ve SAC'a ait 2 set deprem kaydı kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizlere verdikleri tepkiler değerlendirilecektir.

4.1.1 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları

SAC'a ait 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (frekansı yaklaşık 2500 yıl) 20 adet deprem kaydı (LA21-LA40), yapıların dinamik analizlere verdikleri tepkilere göre üç gruba ayrılmıştır [4]. Gruplar şu şekilde tanımlanabilir;

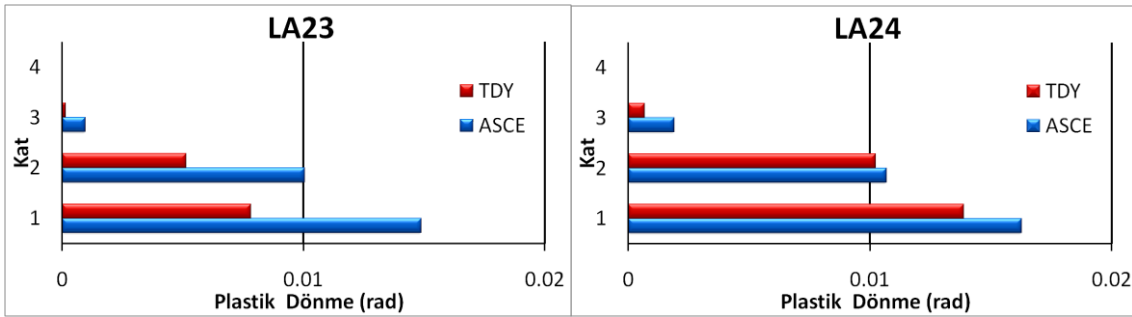
- i. Grup-I: Kiriş uçlarında %1'den az veya %1'e yakın plastik mafsal dönmesi meydana getiren depremler.
- ii. Grup-II: Kiriş uçlarında %1 ile %3 arasında plastik mafsal dönmesi meydana getiren depremler.
- iii. Grup-III: Kiriş uçlarında %4 ve daha fazla plastik mafsal dönmesi meydana getiren depremler.

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem kayıtlarının gruplara göre dağılımı Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

Grup	Deprem	Plastik Mafsal Dönmesi (rad)
I	LA23-LA24-LA29-LA30-LA34-LA39-LA40	~% 1
II	LA27-LA28-LA31-LA33-LA35	% 1-% 3
III	LA21-LA22-LA25- LA26-LA32-LA36-LA37-LA38	~%4

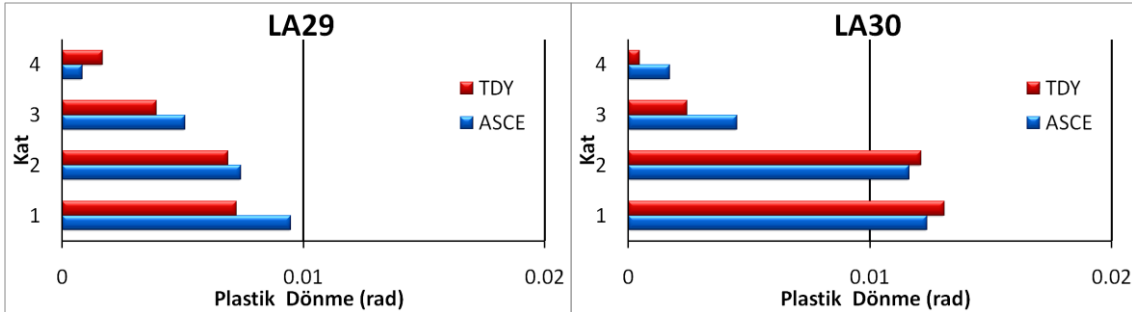
Çizelge 4.1 - 4 Katlı Yapılara ait Deprem Grupları

Şekil 4.1'de ASCE 7-05(2005) ve TDY(2007)'ye göre tasarlanan 4 katlı yapıların I. grup deprem kayıtları kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizler sonucu elde edilen her kat hizasındaki en büyük plastik mafsal dönmeleri görülmektedir.



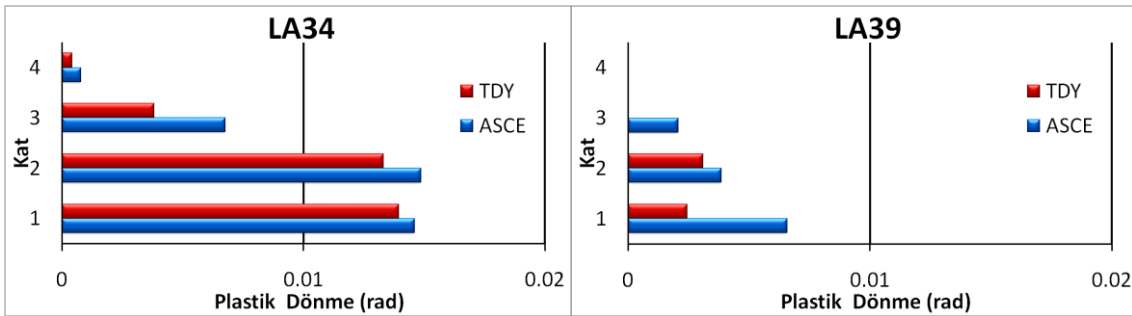
Şekil 4.1.a

Şekil 4.1.b



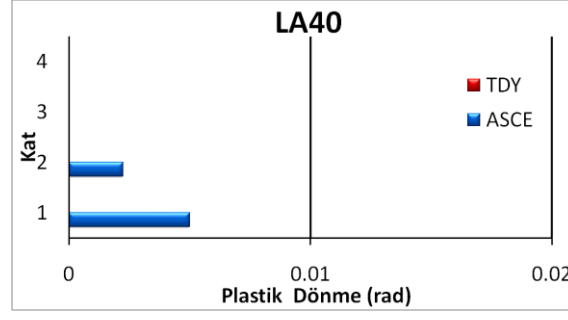
Şekil 4.1.c

Şekil 4.1.d



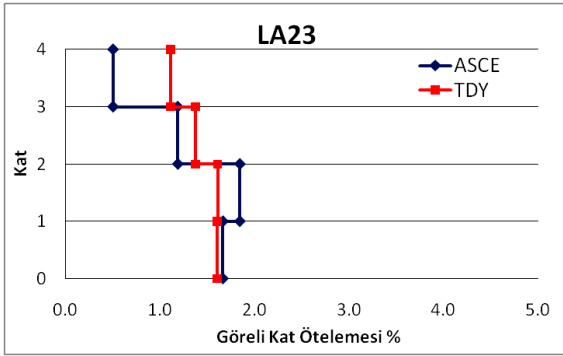
Şekil 4.1.e

Şekil 4.1.f

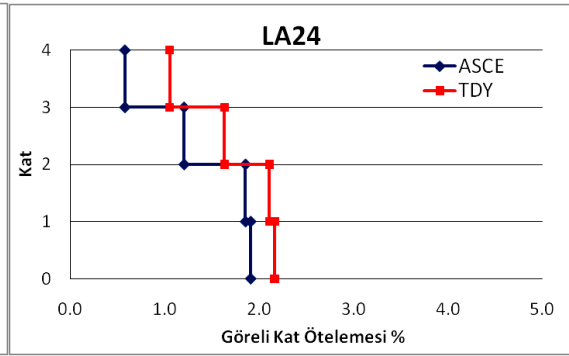


Şekil 4.1.g

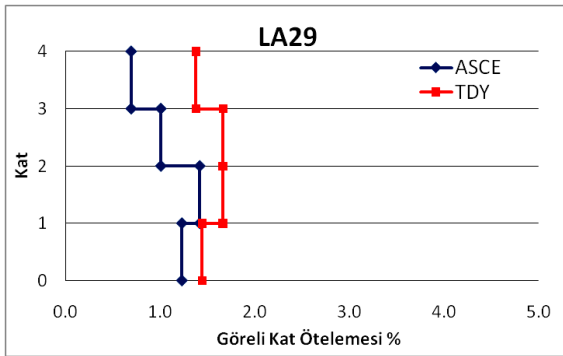
I. grup depremlerin etkisinde 4 katlı yapılar %1 civarında plastik dönme yaparken, bazı katların hiç hasar almadan elastik kaldığı görülmektedir. I. gruba dâhil edilen 7 deprem ivme kaydının hemen hepsinde, plastik dönmelerin üst katlara doğru azaldığı görülmektedir. TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının kesitleri ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının kesitlerine göre daha ağır ve yüksek olduğundan I. grup depremler etkisi altında -beklendiği gibi- daha az plastik dönme yapmışlardır. Ancak her iki yapıda da oluşan hasarlar yıkıcı düzeylere ulaşmadığından her ikisinin de I. grup depremler etkisinde performanslarının yeterli olduğu rahatlıkla söylenebilir.



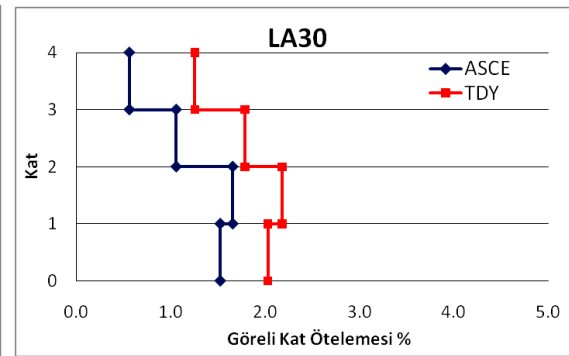
Şekil 4.2.a



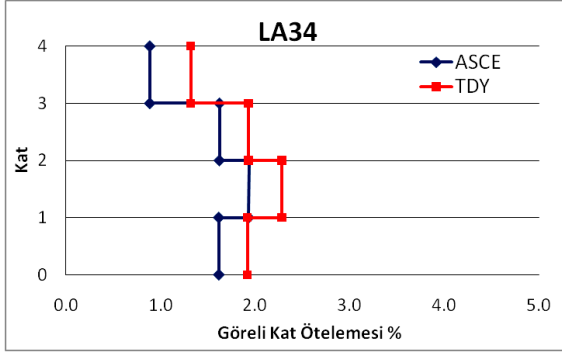
Şekil 4.2.b



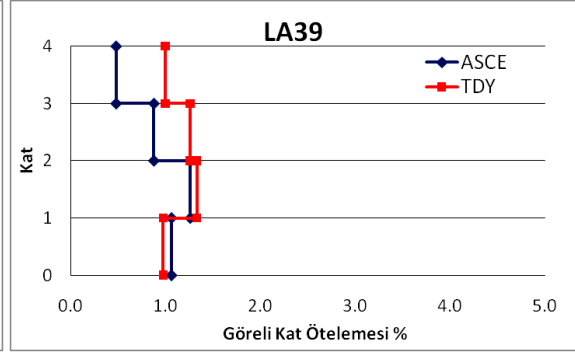
Şekil 4.2.c



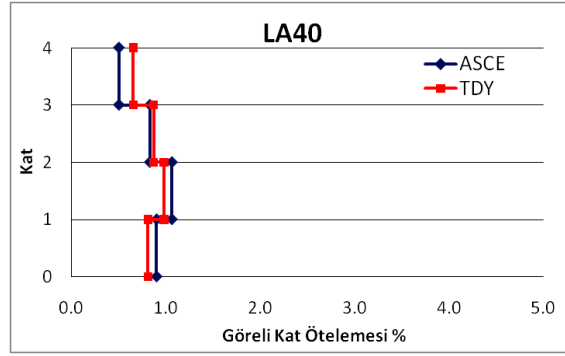
Şekil 4.2.d



Şekil 4.2.e

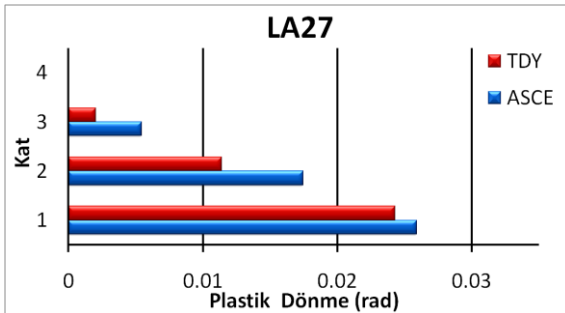


Şekil 4.2.f

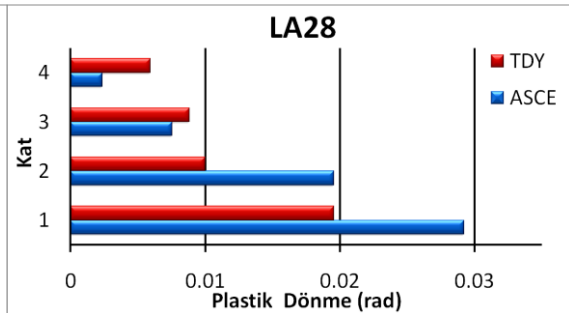


Şekil 4.2.g

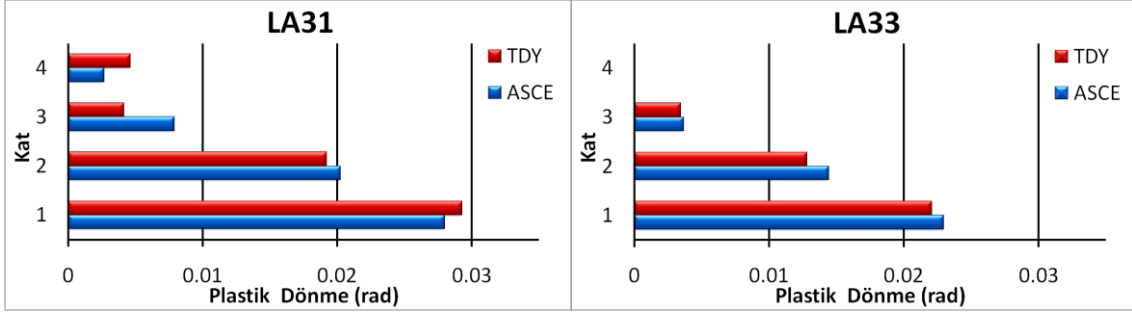
Şekil 4.2'de I. grup depremler etkisinde 4 katlı yapının katlara göre, deprem boyunca meydana gelmiş en büyük görece kat ötelemesi oranları verilmiştir. I. grup depremler etkisinde her iki yönetmeliğe göre tasarlanan yapıların %2'nin altında veya %2'ye çok yakın görece kat ötelemeleri yaptığı görülmüştür. TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapının kesitleri daha yüksek ve ağır olmasına rağmen plastik mafsal dönmelerindeki tutarlılık, görece kat ötelemelerinde görülmemektedir. I. gruba dâhil edilen yedi depremin bir çoğunda TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapı, ASCE 7-05'e göre tasarlanan yapıdan daha fazla görece kat ötelemesi yapmıştır. Plastik mafsal dönmelerinde olduğu gibi görece kat ötelemeleri bakımından da, I. grup depremlerde yapıların her ikisinin de yıkıcı bir hasara maruz kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.3.a

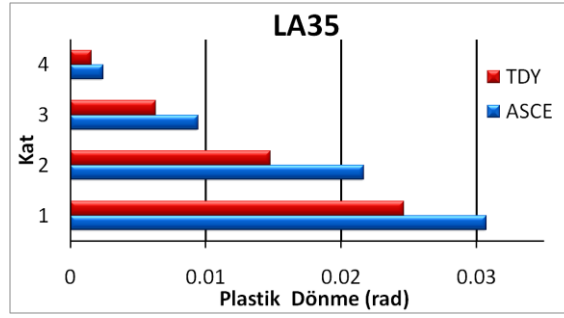


Şekil 4.3.b



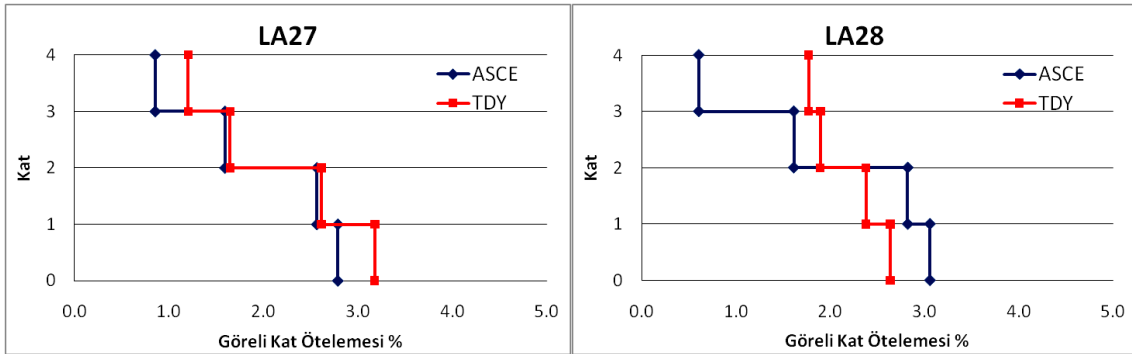
Şekil 4.3.c

Şekil 4.3.d



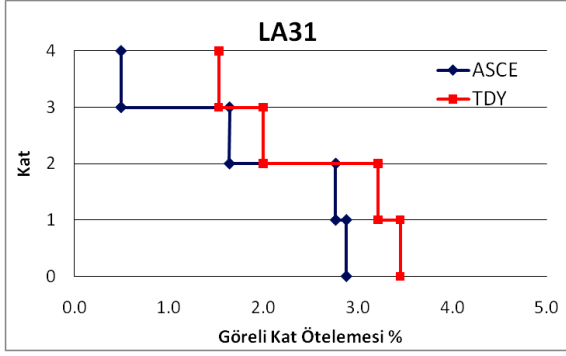
Şekil 4.3.e

II. grup olarak nitelendirilen deprem kayıtları etkisinde 4 katlı yapıların plastik mafsallı dönmeleri Şekil 4.3'de, görel kat ötelemeleri Şekil 4.4'de verilmiştir.

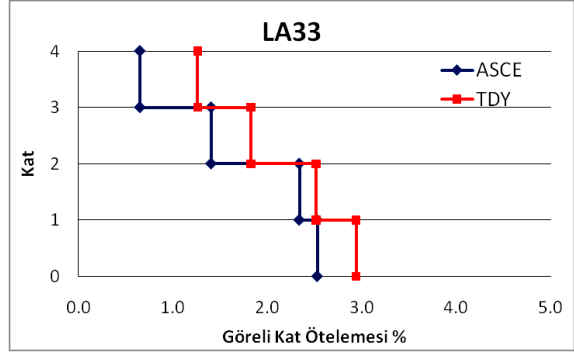


Şekil 4.4.a

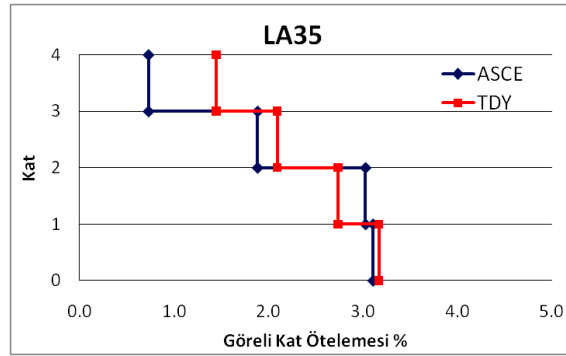
Şekil 4.4.b



Şekil 4.4.c

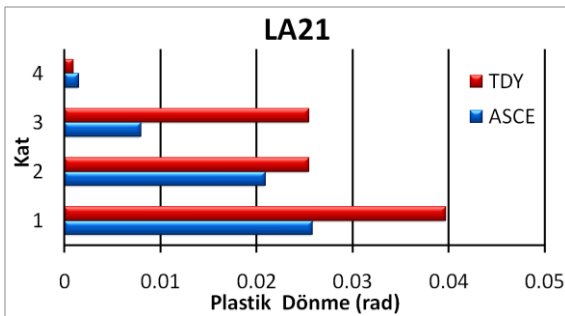


Şekil 4.4.d

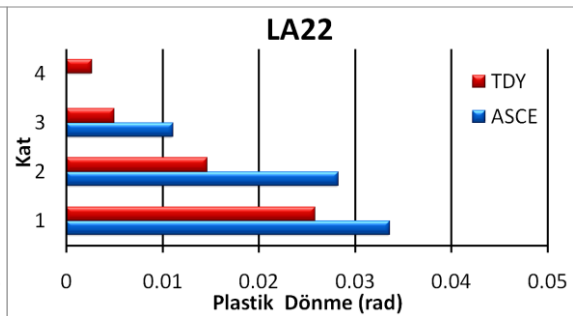


Şekil 4.4.e

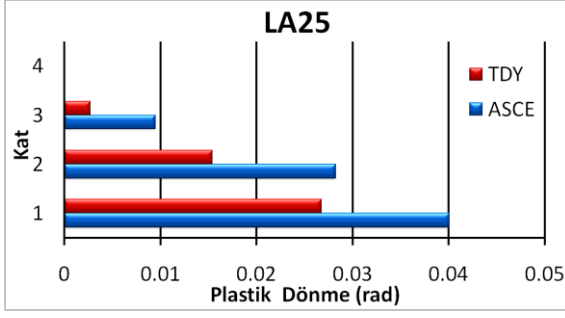
II. grup olarak sınıflandırılan beş deprem kaydı kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar, merite olarak olmasa da kıyaslamalı olarak I. grup depremlerden alınan tepkilere benzerdir. Plastik mafsal dönmeleri, ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapıda daha büyük değerlere ulaşırken (yaklaşık %2~3 civarında), görel kat ötelemeleri bakımından, TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının -az da olsa- daha fazla ötelendiği görülmektedir. II. grup deprem kayıtları arasında en büyük plastik mafsal dönmesi %3 olarak LA35 depreminden elde edilmiştir. Görel kat ötelemeleri bakımından II. gruptaki bütün depremlerin yaklaşık %3 civarında değerler aldıkları görülmektedir.



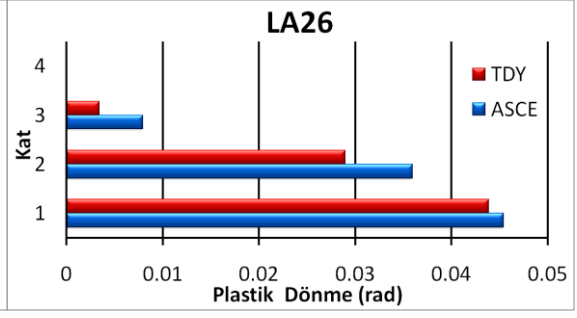
Şekil 4.5.a



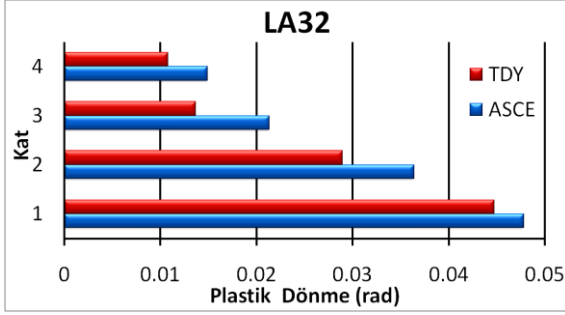
Şekil 4.5.b



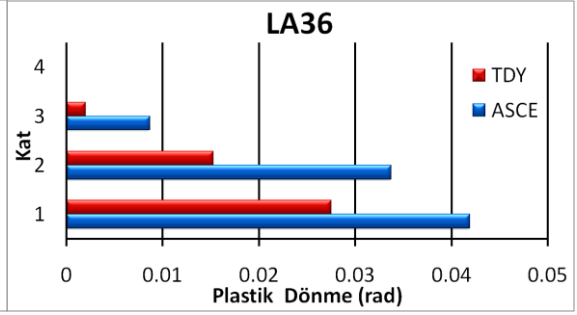
Şekil 4.5.c



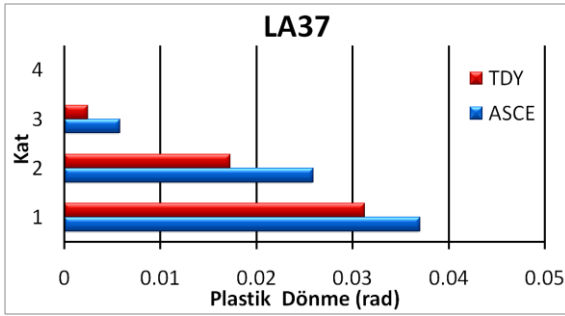
Şekil 4.5.d



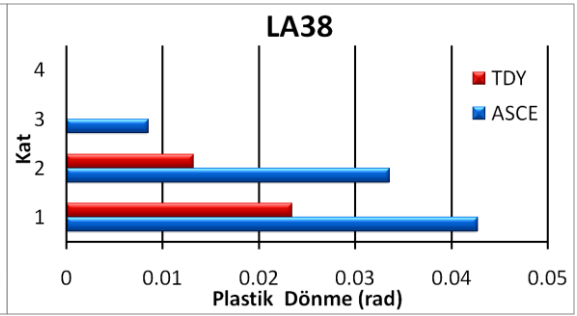
Şekil 4.5.e



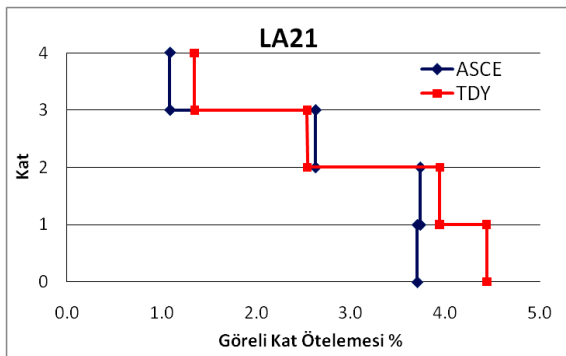
Şekil 4.5.f



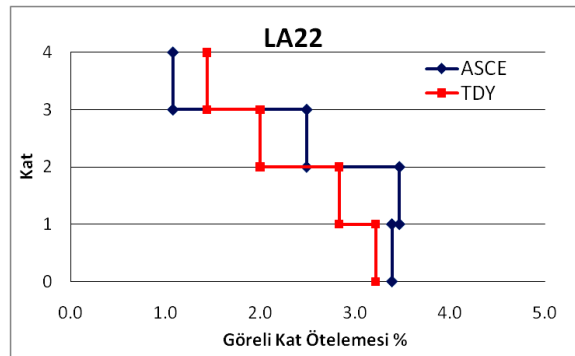
Şekil 4.5.g



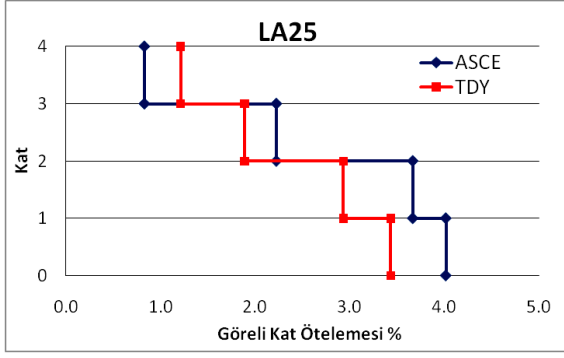
Şekil 4.5.h



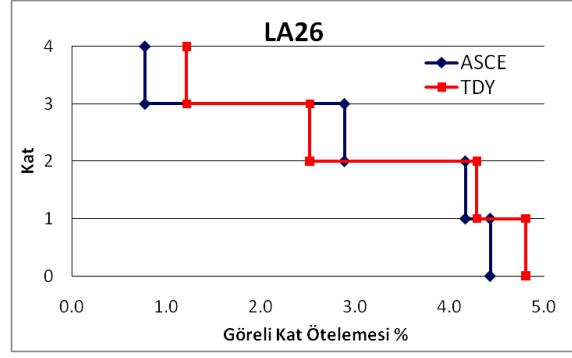
Şekil 4.6.a



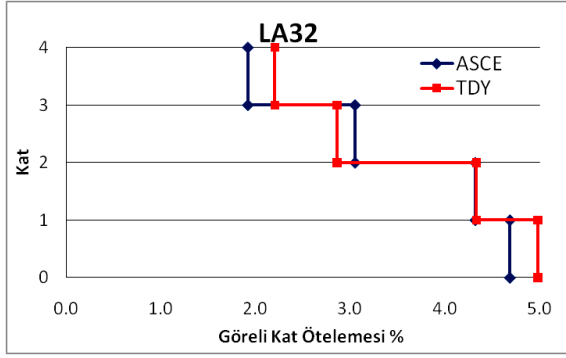
Şekil 4.6.b



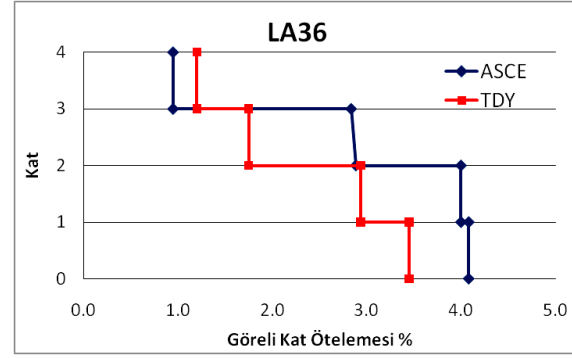
Şekil 4.6.c



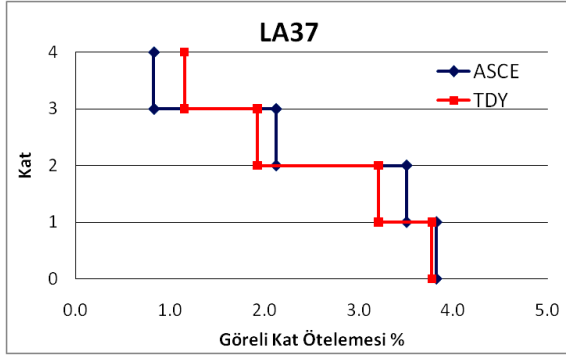
Şekil 4.6.d



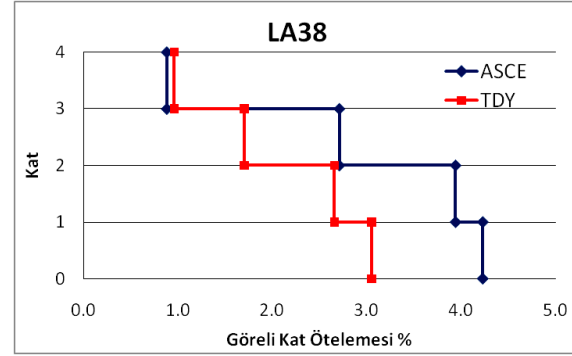
Şekil 4.6.e



Şekil 4.6.f



Şekil 4.6.g



Şekil 4.6.h

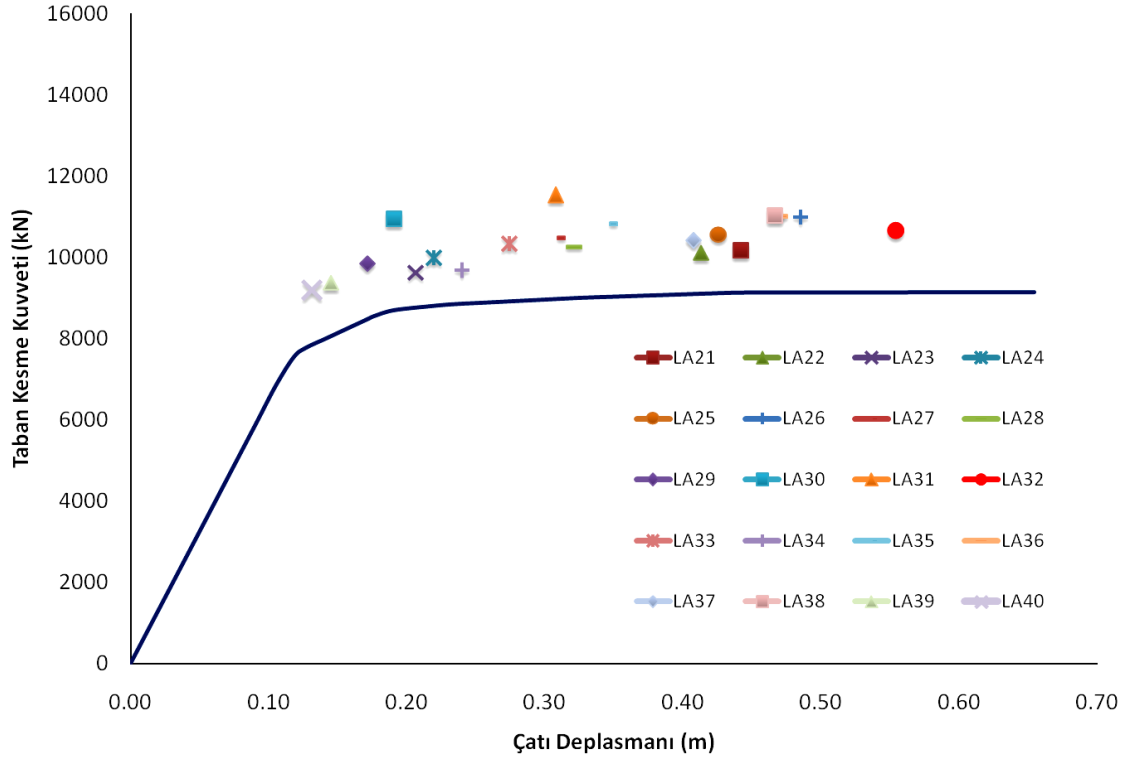
Şekil 4.5'de verilen III. grup depremler etkisinde oluşan plastik mafsal dönmeleri, her iki yapı için %4 civarındadır. Her iki yapı da, tüm katlarda, en büyük plastik dönme değerine LA32 depremi etkisinde ulaşmıştır. LA21 dışındaki III. grup depremlerin hepsinde ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının daha fazla plastik dönme yaptığı görülmüştür. Şekil 4.6'da verilmiş olan göreli kat ötelemeleri oranları bakımından da durum farklı gözükmemektedir. Zira yapıların her ikisi de bu depremler etkisinde %4~5 civarında göreli kat ötelemesi

yapmışlardır. Plastik mafsal dönmelerinde olduğu gibi, görelî kat ötelemelerinde en büyük değer LA32 depreminden elde edilmiştir.

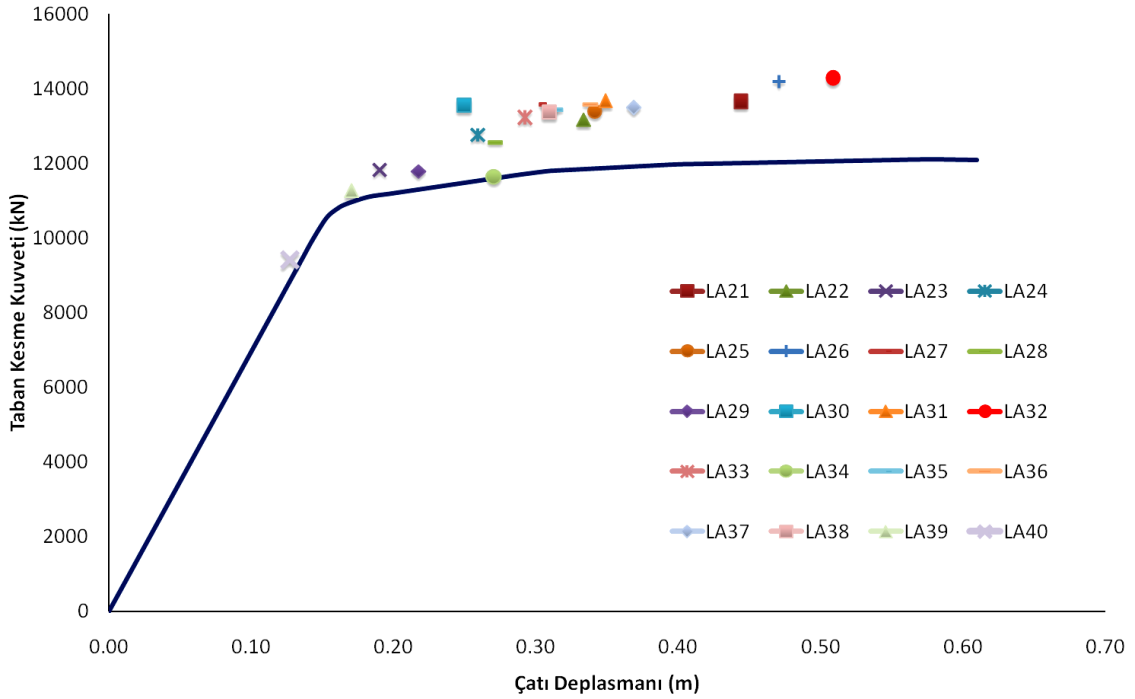
4.1.1.1 Doğrusal Elastik Olmayan Statik İtme Analizi Sonuçları

Yapıların kapasiteleri hakkında fikir sahibi olmak amacıyla her iki yapı, tek modlu doğrusal elastik olmayan statik itme analizine tabi tutulmuştur. Statik itme analizi, temel olarak, çok serbestlik dereceli sistemlerin deprem esnasındaki tepkisinin, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemlerin tepkisiyle benzer olacağı kabulüne dayanmaktadır. Bu dönüşüm, aynı zamanda, yapının depreme verdiği tepkinin tek bir mod tarafından kontrol edildiği ve deprem boyunca sabit kaldığı anlamına da gelmektedir. Yapılan çalışmalar, bu kabullerin, 1. modun hakim olduğu yapılarda doğruya çok yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir [15]. Yapıların her ikisinde de 1. mod hakim olduğundan (1. mod kütle katılım oranları her iki yapı için de %80'nin üzerinde) seçilen yük profili 1. mod şekline uygun şekilde belirlenmiştir. Doğrusal elastik olmayan statik itme analizi, tasarıma esas alınan yatay yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri (Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4), yapıların fazla dayanım katsayıları ve yapıların modal kapasite diyagramlarının dolayısıyla spektral yer değiştirme taleplerinin belirlenebilmesi amacıyla uygulanacaktır.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de 4 katlı yapıların doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri ile doğrusal elastik olmayan dinamik analizler sonucu 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem kayıtlarından (LA21-LA40) elde edilen en büyük çatı yer değiştirmesi ve en büyük taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri



Şekil 4.8 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görüldüğü gibi statik itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri (pushover curve), deprem kayıtlarıyla elde edilen değerlerle örtüşmektedir. Kapasite eğrisi üzerinde işaretlenen her nokta o depreme ait en büyük çatı yer değiştirmesiyle en büyük taban kesme kuvveti değerinin kesişimini göstermektedir. Başka bir deyişle noktaların her biri, o depremin yapıdan ne kadar yer değiştirme talep ettiğini göstermektedir.

Plastik mafsal dönmelerine göre bölümün başında üç gruba ayrılan depremlerin, yer değiştirme talepleri bakımından da gruplara uyumlu şekilde sonuçlar verdiği görülmüştür. III. gruba dâhil edilen deprem kayıtları kapasite eğrisinin plastik davranış gösteren kısımlarında yer alırken, I. grup depremlerde çoğunlukla yapının aktığı ya da çok az plastikleştiği hatta elastik kaldığı (LA40) görülmüştür. Her iki yapı için de en büyük çatı yer değiştirmesi değeri LA32'den elde edilirken, yapıların rijitlikleriyle uyumlu şekilde ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapı daha fazla yer değiştirme yaptığı gözlenmiştir.

4.1.1.2 İvme-Yer Değiştirme Spektrumu Yöntemi (ADRS)

Herhangi bir yapı için depremin yer değiştirme talebi, deprem kayıtları kullanılarak belirlenebileceği gibi belirli bir sönüm oranı için hazırlanmış tasarım spektrumu kullanılarak, doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme şeklinde de elde edilebilir. İvme-yer değiştirme spektrumu yöntemi, temel olarak, yapının kapasitesinin depremin talebiyle grafik yöntem kullanılarak karşılaştırılması esasına dayanmaktadır [14], [33], [34], [35]. Yöntem, bir depreme âit tepki spektrumunun veya yönetmeliklerde belirli bir zemin sınıfı için önerilen tasarım spektrumlarının ivme-yer değiştirme spektrumu formatına dönüştürülmesiyle elde edilen yeni bir spektrumla uygulanmaktadır.

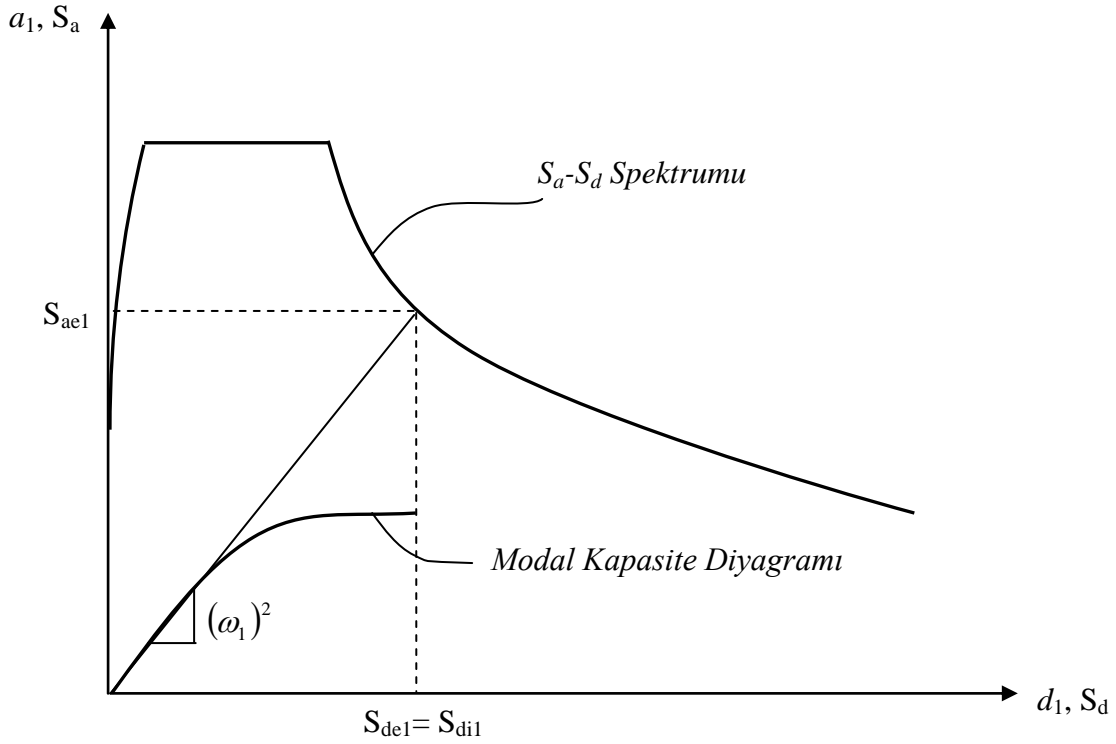
$$PSA = \omega^2 (SD) \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de *sözde spektral ivme* ile *spektral yer değiştirme* arasındaki ilişki verilmiştir. Bu

ilişkiden faydalanarak gerekli dönüşümler yapılırsa ($T = \frac{2\pi}{\omega}$);

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae} \quad (4.2)$$

ifadesi elde edilebilir. Şu halde, şartnamelerde standart olarak, *elastik spektral ivme-periyot* ($S_{ae}-T$) koordinatlarıyla ifade edilen tasarım spektrumları *spektral ivme-spektral yer değiştirme* formatına dönüştürülebilir.



Şekil 4.9 - Modal Kapasite Diyagramı - İvme/Yer Değiştirme Spektrumu [2]

Şekil 4.9'da *Modal Kapasite Diyagramı* ile *İvme-Yer Değiştirme Spektrumu* arasındaki ilişki grafik olarak gösterilmiştir. Burada *İvme-Yer Değiştirme Spektrumu* depremin talebini, *Modal Kapasite Diyagramı* ise yapının kapasitesini anlatmaktadır. Yapıya ait *modal kapasite diyagramı* doğrusal elastik olmayan statik itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisinden faydalanarak elde edilmektedir. Buradaki sorun, depremin talebi ile yapının kapasitesinin aynı eksenlerde ifade edilmemiş olmasıdır. Talep, spektral ivme-spektral yer değiştirme eksenlerinde ifade edilirken, kapasite, taban kesme kuvveti-yer değiştirme eksenlerinde ifade edilmektedir. Talep ve kapasite arasında karşılaştırma yapılabilmesi için itme analizinden elde edilen kapasite eğrisinde eksen dönüşümü yapılmalıdır. Diğer bir deyişle, çok serbestlik dereceli sistemden elde edilen kuvvet ve yer değiştirme değerleri eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem üzerinde modal ivme - modal yer değiştirme şeklinde ifade edilmelidir.

Bu amaçla, çok serbestlik dereceli sistemden elde edilen taban kesme kuvveti, Denklem 4.3'deki gibi 1. moda ait etkin kütleyle bölünerek modal ivme değerleri elde edilmelidir.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_1^{(i)}}{M_1} \quad (4.3)$$

$V_1^{(i)}$: *İtme analizi esnasında yapının tepesinde (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim moda) ait taban kesme kuvveti değeri*

M_1 : *Birinci moda ait etkin kütle*

Yapılarda birinci mod hakim olduğundan, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme geçilirken kullanılan kütleler, birinci moda ait etkin kütlelerdir ve gerçek kütlelerin birinci moda ait kütle katılım oranıyla çarpımından elde edilmektedir. Aynı şekilde, ivme ve yer değiştirme değerleri de birinci moda ait modal -sözde- ivme (a_1) ve birinci moda ait modal yer değiştirme (d_1) olarak isimlendirilmektedir.

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{n1}^{(i)}}{\phi_{n1}\Gamma_1} \quad (4.4)$$

Birinci moda ait modal yer değiştirme (d_1) değerinin nasıl elde edileceği Denklem 4.4'de gösterilmiştir. Bu denklemde;

$u_{n1}^{(i)}$: *İtme analizi esnasında yapının tepesinde (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme değeri*

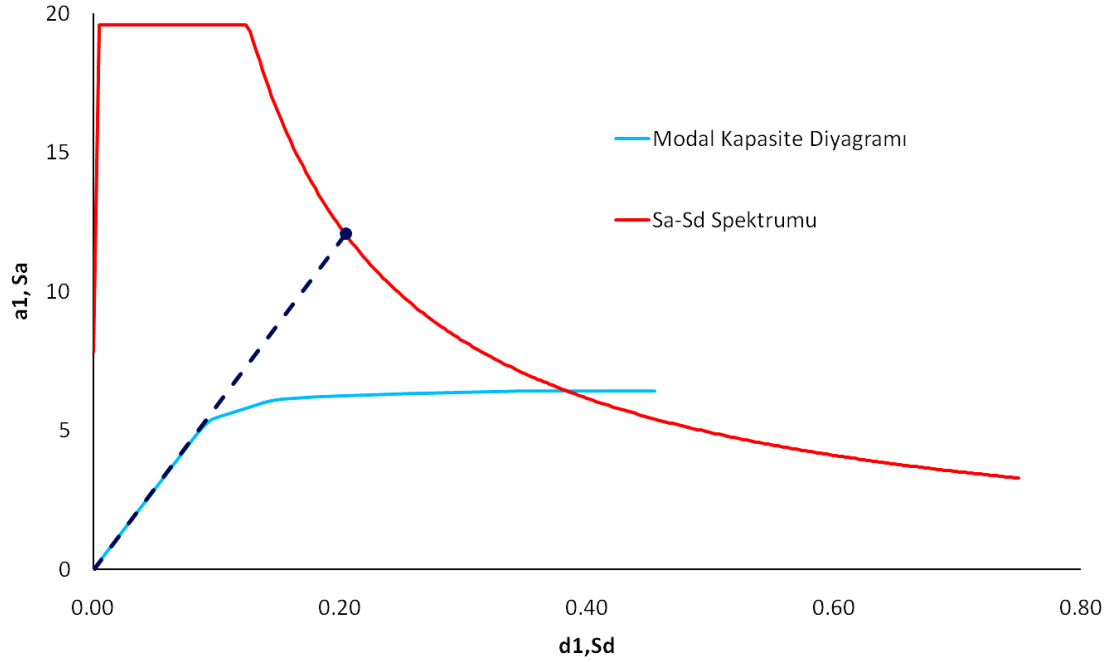
ϕ_{n1} : *Binanın tepesinde birinci moda ait mod şekli genliği*

Γ_1 : *Birinci moda ait katkı çarpanı*

olarak tanımlanmaktadır [2].

Yapılan dönüşümlerle *İvme-Yer Değiştirme Spektrumu* ile aynı koordinat sisteminde ifade edilen *Modal Kapasite Diyagramının* teğetinin spektrumu kestiği nokta, yapının elastik kalması halinde yapacağı doğrusal elastik spektral yer değiştirme (S_{de}) değerini vermektedir. Elde edilen değer spektral bir değer olduğundan, yapının en büyük yer değiştirme değerine karşılık gelmektedir. Spektrumun "ivmeye duyarlı" bölgesinde, *eşit yer değiştirme kuralına* uygun şekilde, doğrusal elastik spektral yer değiştirme değeri (S_{de}), doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme değerine (S_{di}) eşit olacaktır.

Şekil 4.10'da elastik ivme spektrumu kullanılarak elde edilen *İvme-Yer Değiştirme Spektrumu* (S_a-S_d Spektrumu) görülmektedir. ASCE 7-05 (2005)'de tasarım depremi (50 yılda aşılma olasılığı %10) için verilen değerlerin en büyük depreme (50 yılda aşılma olasılığı %2) dönüştürülmesiyle elde edilen spektrum, Denklem 4.2'de verilen formülasyondan yararlanılarak *İvme-Yer Değiştirme Spektrumu* (S_a-S_d Spektrumu) haline getirilmiştir. Tasarım depremini, en büyük depreme dönüştürürken tasarım depremi için hazırlanan spektrum değerleri %50 arttırılmıştır [1].



Şekil 4.10 - ASCE 7-05(2005)'e Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En Büyük Depreme ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu

Aşağıda ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapının doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme değerinin belirlenmesi amacıyla yapılan hesap adımları özetlenmiştir. Kısa periyot bölgesi için $S_s=2.0 g$ ve 1 sn'lik periyoda karşılık gelen $S_1=1.0 g$ olmak üzere;

$$\Rightarrow F_a = 1.0 \text{ ve } F_v = 1.0$$

$$\Rightarrow S_{MS} = F_a \times S_s = 1.0 \times 2.0 g = 2.0 g \rightarrow S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 1.33 g$$

$$\Rightarrow S_{M1} = F_v \times S_1 = 1.0 \times 1.0 g = 1.0 g \rightarrow S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = 0.67 g \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

Bu değerlere bağlı olarak ASCE 7-05 (2005)'de tanımlanan B zemin sınıfı (Site Class B) için elde edilen karakteristik periyotlar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\Rightarrow T_o = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.1sn \text{ ve } T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.5sn$$

$T_L > T_1 > T_s$ olduğundan;

$$\Rightarrow S_{a1} = 1.5 \times \frac{S_{D1}}{T_1} = 1.5 \times \frac{0.67}{0.816} = 1.232g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 1.232 \times 9.81 = 12.09m/sn^2$$

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

$$\Rightarrow S_{de1} = \frac{0.816^2}{4\pi^2} \times 12.09 = 0.204m \quad (T_1 > T_s \rightarrow S_{de1} = S_{dil} \rightarrow S_{dil} = d_1)$$

Elde edilen yer değiştirme değeri, eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğundan yapının gerçek yer değiştirme değerini bulmak amacıyla, modal kapasite diyagramının elde edilmesi sırasında yapılan dönüşüm tersine uygulanacaktır (Denklem 4.4).

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1$$

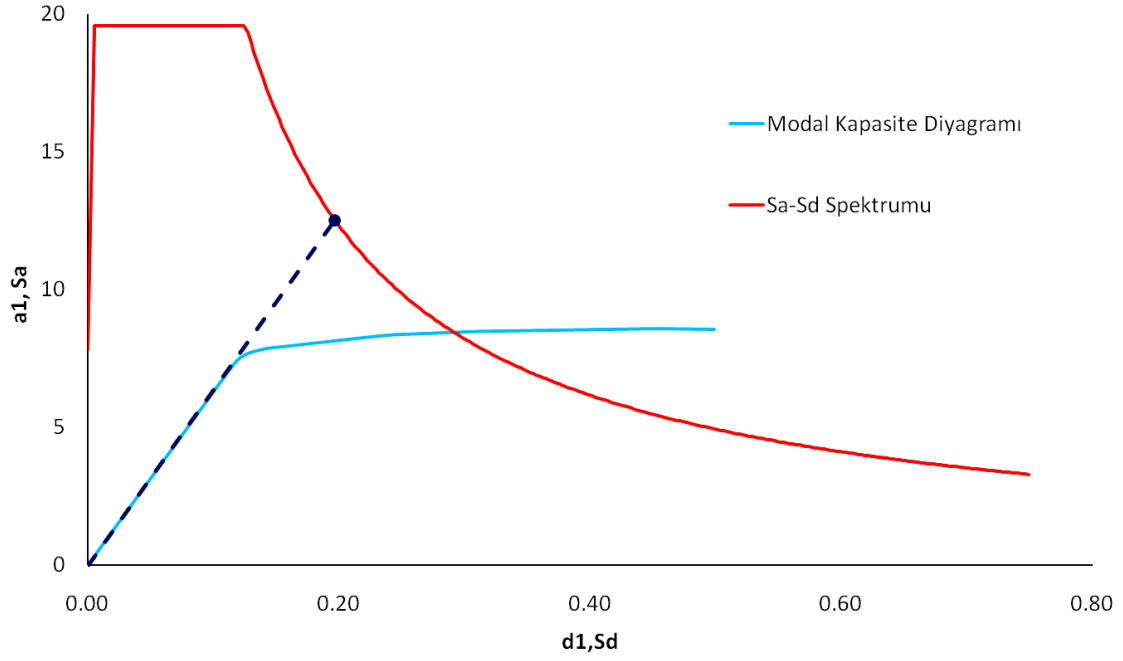
$$\Rightarrow d_1 = S_{dil} = S_{de1} = 0.204; \phi_{n1} = 0.0392; \Gamma_1 = 32.412$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.204 \times 0.0392 \times 32.412 = 0.2592m$$

Bulunan sonuç (25.92 cm) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin yapıdan talep ettiği yer değiştirme değerini göstermektedir. Bu değer kullanılarak yapının *yer değiştirme arttırma katsayısı* (C_d) hesaplanırsa;

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{25.92}{4.9} = 5.29 \text{ olarak elde edilir.}$$

C_d katsayısının hesaplanmasında kullanılan tasarım yer değiştirmesi (Δ_d), tasarıma esas alınan taban kesme kuvvetine karşılık gelen çatı yer değiştirmesi olup, Şekil 4.7'de verilmiş olan kapasite eğrisinden elde edilmiştir.



Şekil 4.11 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En Büyük Depreme ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu

Aynı dönüşümler TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapı için yapılarak Şekil 4.11'de görülen modal kapasite diyagramı ile ivme-yer değiştirme spektrumu elde edilmiştir. Şekil 4.11'de grafiksel olarak gösterilen değerlerin elde edilişi aşağıda kısaca özetlenmiştir.

$$\Rightarrow S_{a1} = 1.5 \times \frac{S_{D1}}{T_1} = 1.5 \times \frac{0.67}{0.787} = 1.277g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 1.277 \times 9.81 = 12.53m/sn^2$$

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

$$\Rightarrow S_{de1} = \frac{0.787^2}{4\pi^2} \times 12.53 = 0.1966m \quad (T_1 > T_s \rightarrow S_{de1} = S_{d1} \rightarrow S_{d1} = d_1)$$

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1 \Rightarrow d_1 = S_{d1} = S_{de1} = 0.1966; \phi_{n1} = 0.0395; \Gamma_1 = 32.303$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.1966 \times 0.0395 \times 32.303 = 0.2509m$$

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{25.09}{4.6} = 5.45$$

Yapılan tüm doğrusal elastik olmayan analizlerin sonuçlarını özetlemek ve yapıların deprem etkisinde genel davranışını daha düzenli şekilde görebilmek amacıyla Tablo 4.2'de, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerin etkisinde ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının en büyük çatı yer değiştirmesi, tasarıma esas alınan yatay yükler altındaki çatı yer değiştirmesi ve bu değerlere göre hesaplanan C_d katsayıları gösterilmiştir. 20 farklı deprem için elde edilen C_d katsayılarının gruplara göre ortalaması Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'de ise sırasıyla TDY (2007)'ye göre tasarlanan 4 katlı yapı için hesaplanan C_d katsayıları ve bunların ortalamaları verilmiştir.

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değiştirmesi (cm)	Tasarım Yer Değiştirmesi (cm)	Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA21	III	44.18	4.9	9.02
LA22	III	41.29		8.43
LA23	I	20.65		4.21
LA24	I	21.98		4.49
LA25	III	42.58		8.69
LA26	III	48.53		9.90
LA27	II	30.90		6.31
LA28	II	32.10		6.55
LA29	I	17.16		3.50
LA30	I	19.07		3.89
LA31	II	30.80		6.29
LA32	III	55.37		11.3
LA33	II	27.43		5.60
LA34	I	24.01		4.90
LA35	II	34.66		7.07
LA36	III	46.98		9.59
LA37	III	40.74		8.31
LA38	III	46.61		9.51
LA39	I	14.52		2.96
LA40	I	13.10		2.67

Çizelge 4.2 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C_d Değeri
I	3.80	6.66	5.29
II	6.36		
III	9.34		

Çizelge 4.3 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değişirmesi (cm)	Tasarım Yer Değişirmesi (cm)	Yer Değişirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA21	III	44.38	4.6	9.65
LA22	III	33.34		7.25
LA23	I	18.99		4.13
LA24	I	25.89		5.63
LA25	III	34.11		7.42
LA26	III	47.05		10.23
LA27	II	30.23		6.57
LA28	II	27.13		5.90
LA29	I	21.76		4.73
LA30	I	24.95		5.42
LA31	II	34.87		7.58
LA32	III	50.86		11.06
LA33	II	29.22		6.35
LA34	I	27.05		5.88
LA35	II	31.38		6.82
LA36	III	33.84		7.36
LA37	III	36.88		8.02
LA38	III	30.94		6.73
LA39	I	17.04		3.70
LA40	I	12.71		2.76

Çizelge 4.4 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C_d Değeri
I	4.61	6.66	5.45
II	6.64		
III	8.46		

Çizelge 4.5 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

4.1.2 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları

SAC'a ait 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (frekansı yaklaşık 500 yıl) 20 adet deprem kaydı (LA01-LA20), 4 katlı yapıların dinamik analizlere verdikleri tepkilere göre üç gruba ayrılmıştır. Gruplar şu şekilde tanımlanabilir;

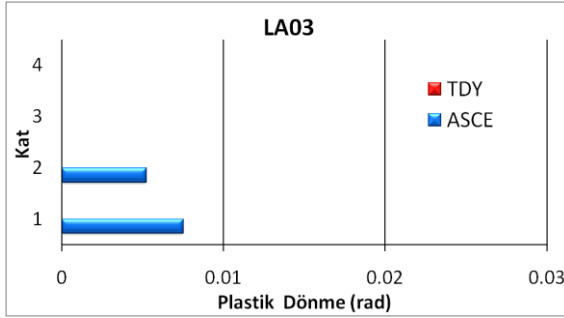
- i. Grup-I: Yapının kısmen ya da tamamen elastik kaldığı depremler.
- ii. Grup-II: Kiriş uçlarında %1'e yakın veya daha az plastik mafsalsal dönmesi meydana getiren depremler.
- iii. Grup-III: Kiriş uçlarında %1 ile %2 arasında plastik mafsalsal dönmesi meydana getiren depremler.

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kayıtlarının gruplara göre dağılımı Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

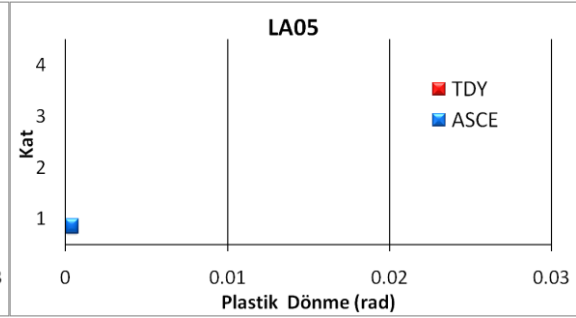
Grup	Deprem	Plastik Mafsalsal Dönmesi (rad)
I	LA03-LA04-LA05-LA06-LA10	<< % 1
II	LA01-LA02-LA07-LA08-LA09-LA11-LA12-LA18-LA19	< % 1
III	LA13-LA14-LA15-LA16-LA17-LA20	% 1-% 2

Çizelge 4.6 - 4 Katlı Yapılara ait Deprem Grupları

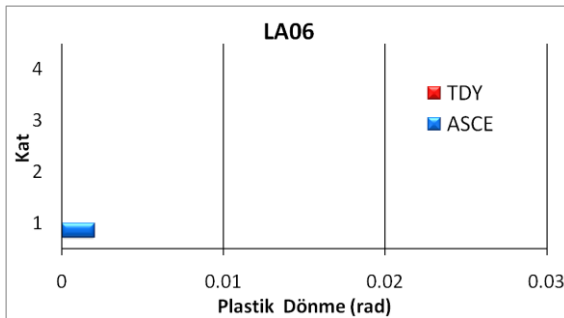
Şekil 4.12'de ASCE 7-05(2005) ve TDY(2007)'ye göre tasarlanan 4 katlı yapıların I. grup deprem kayıtları kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizler sonucu elde edilen plastik mafsalsal dönmeleri görülmektedir.



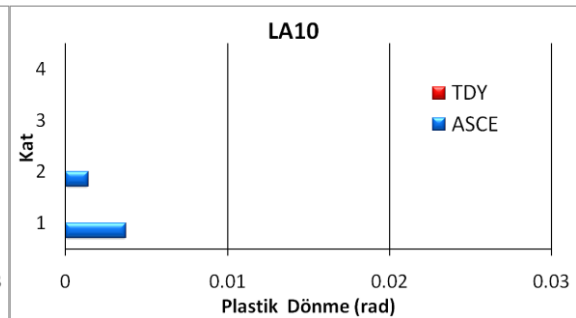
Şekil 4.12.a



Şekil 4.12.b

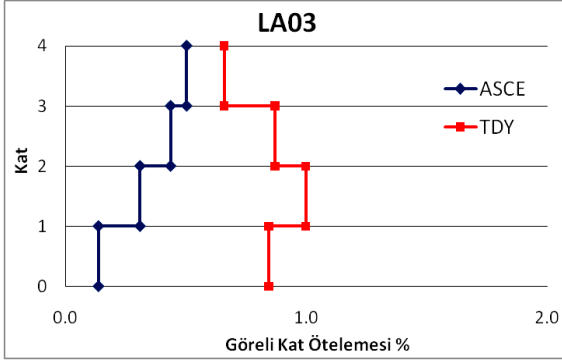


Şekil 4.12.c

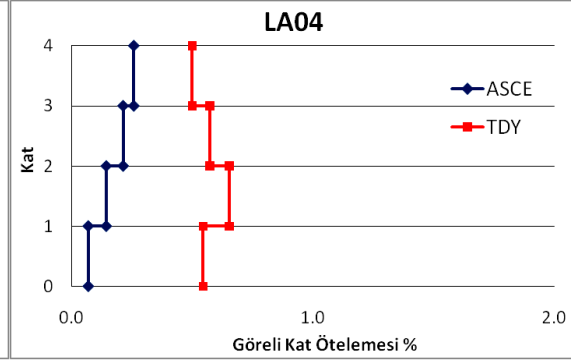


Şekil 4.12.d

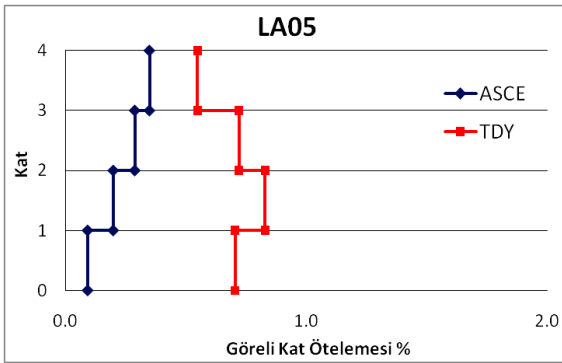
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde I. grup olarak nitelendirilen 5 deprem etkisinde, TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının hepsinde elastik kaldığı, ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının ise LA04'de tamamen elastik kaldığı diğer 4 deprem etkisinde katların çoğunda elastik kaldığı, yer yer çok küçük plastik dönmeler yaptığı gözlenmiştir.



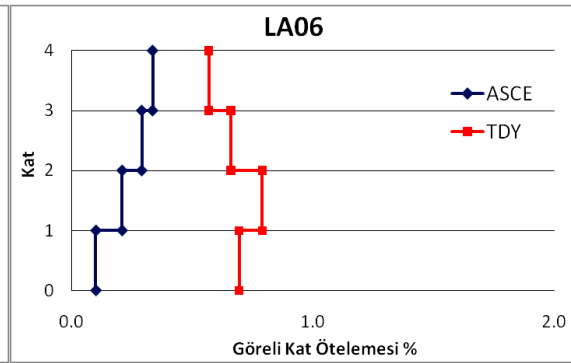
Şekil 4.13.a



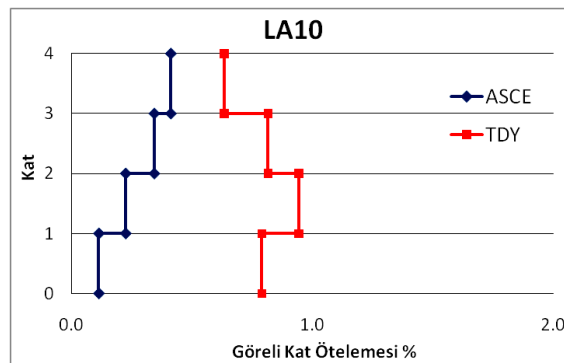
Şekil 4.13.b



Şekil 4.13.c



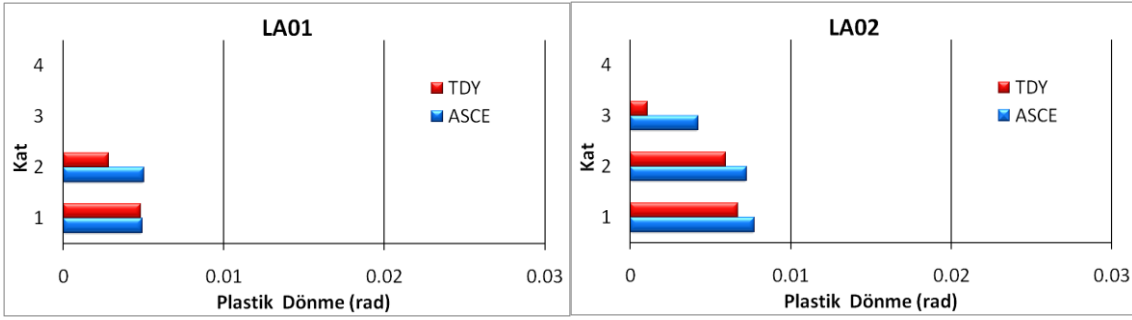
Şekil 4.13.d



Şekil 4.13.e

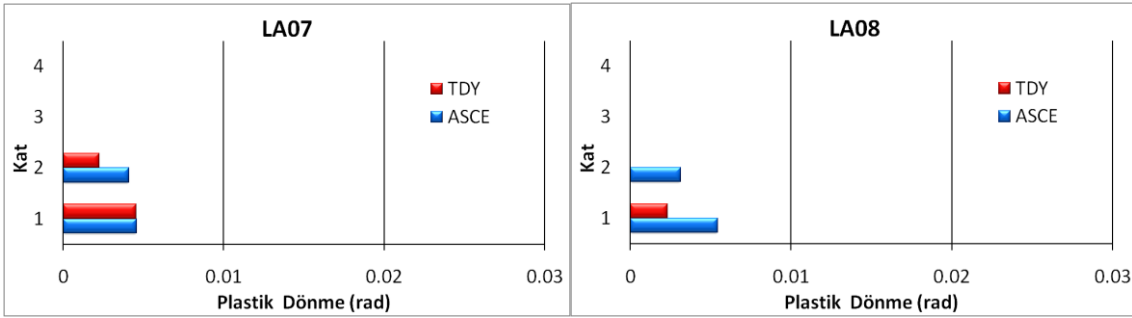
Şekil 4.13'de I. grup depremler etkisinde 4 katlı yapıların katlara göre, deprem boyunca meydana gelmiş en büyük göreceli kat öteleme oranları verilmiştir. I. grup depremler

etkisinde her iki yönetmeliğe göre tasarlanan yapıların %1'in altında görel kat ötelemeleri yaptığı görülmüştür. İki yapının tepkileri kıyaslanırsa, TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapı, ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapıdan daha az plastik mafsal dönmesi yapmasına rağmen görel kat ötelemeleri bakımından, TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının -50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerde olduğu gibi- daha fazla görel kat ötelemesi yaptığı görülmüştür. Bunların dışında, I. grup depremler etkisinde her iki yapının da görel kat ötelemesi açılarının yükseklik boyunca çok fazla değişmediği, neredeyse sabit kaldığı gözle çarpılmaktadır.



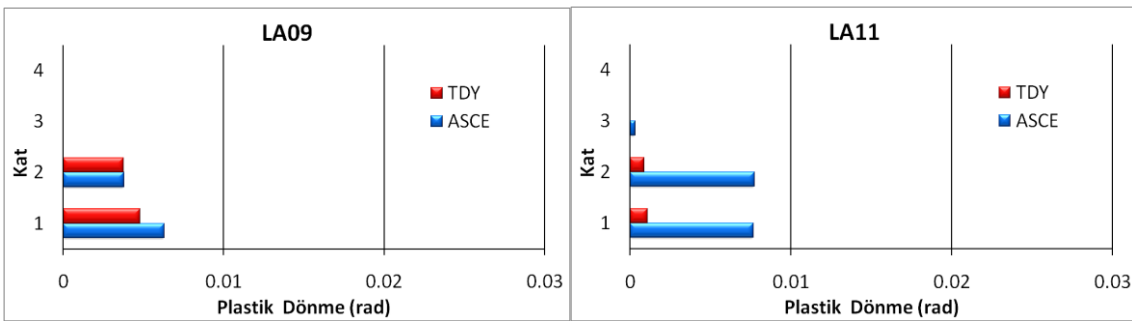
Şekil 4.14.a

Şekil 4.14.b



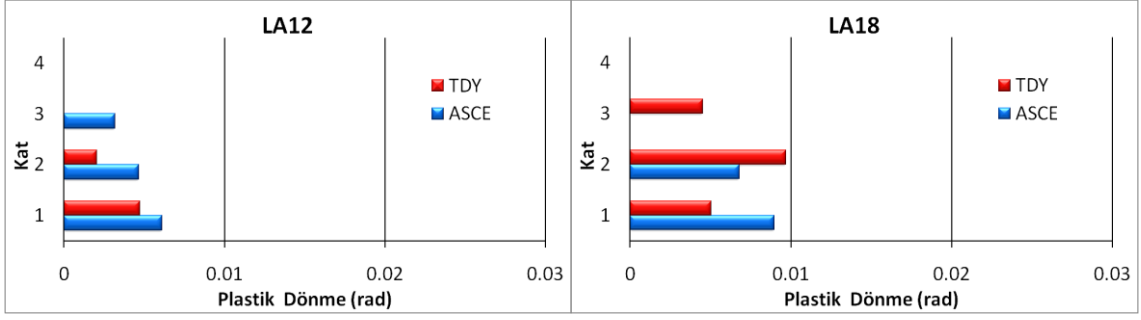
Şekil 4.14.c

Şekil 4.14.d



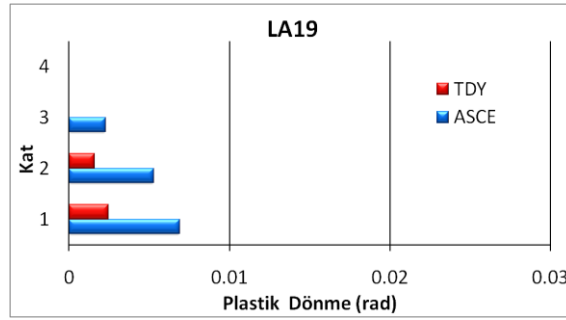
Şekil 4.14.e

Şekil 4.14.f



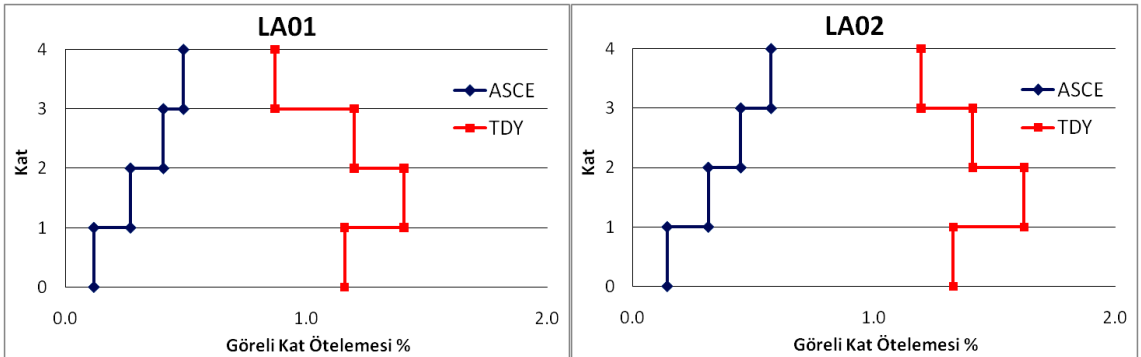
Şekil 4.14.g

Şekil 4.14.h



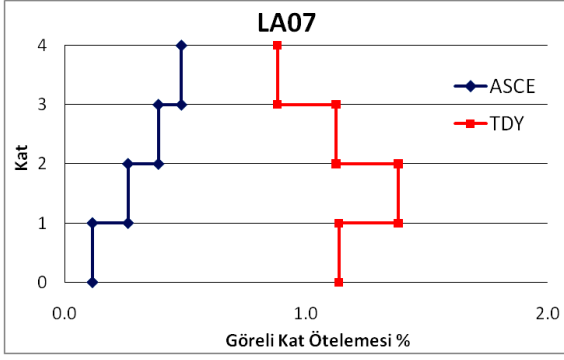
Şekil 4.14.i

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de II. grup deprem kayıtları etkisinde, sırasıyla plastik mafsallı dönmeleri ve görel kat ötelemeleri verilmiştir. Depremlerin her iki yapıda da %1'in altında plastik mafsallı dönmesi oluşturduğu ve yine ASCE 7-05'e göre tasarlanan yapının daha fazla plastik dönme yaptığı gözlenmiştir. Görel kat ötelemelerinde ise TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının tüm depremlerde %1 ve daha fazla görel kat ötelemesi yaptığı ancak ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının neredeyse bunun yarısı kadar ötelendiği görülmektedir.

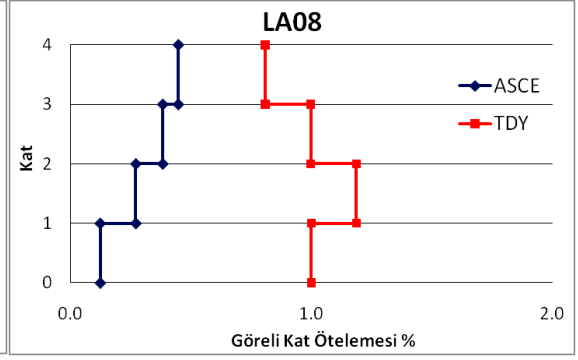


Şekil 4.15.a

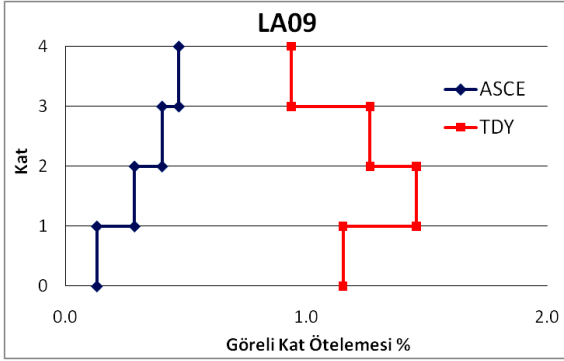
Şekil 4.15.b



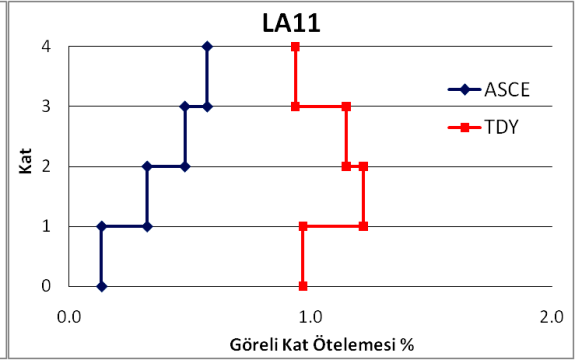
Şekil 4.15.c



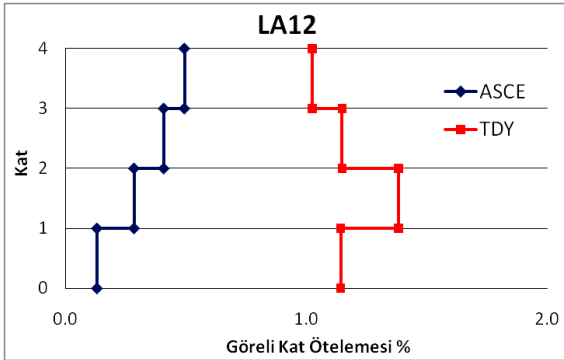
Şekil 4.15.d



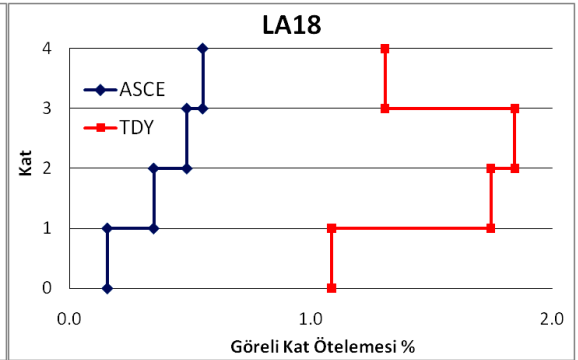
Şekil 4.15.e



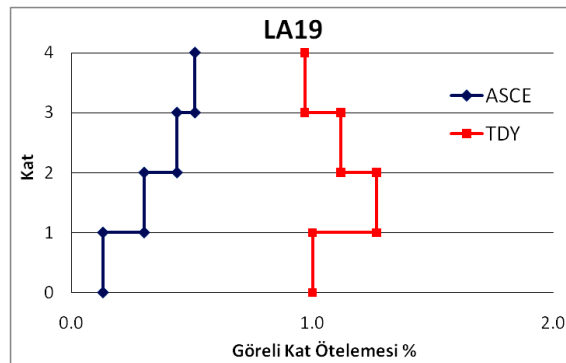
Şekil 4.15.f



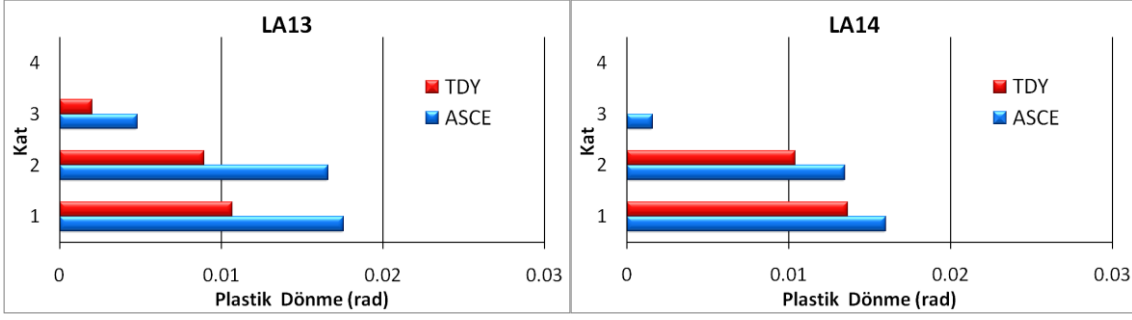
Şekil 4.15.g



Şekil 4.15.h

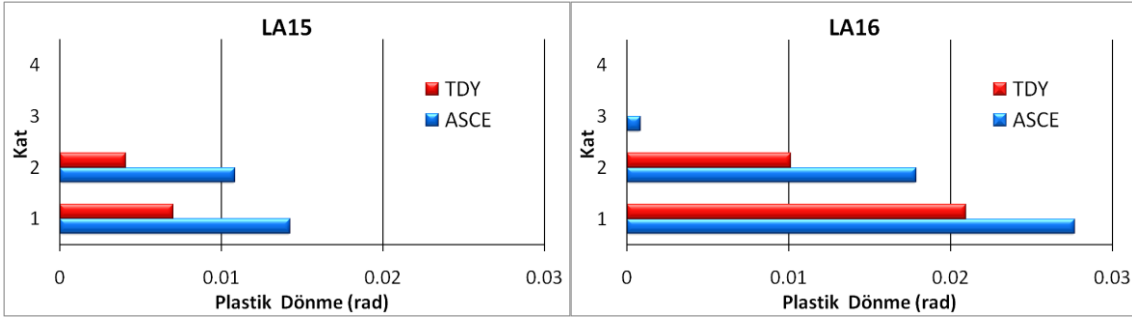


Şekil 4.15.i



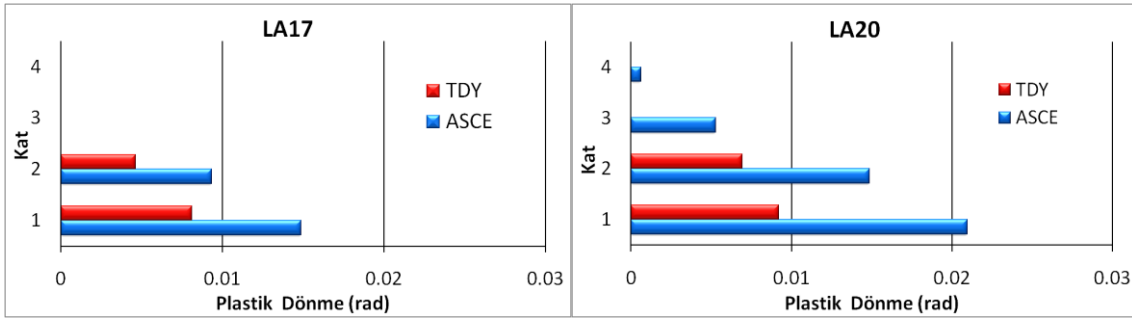
Şekil 4.16.a

Şekil 4.16.b



Şekil 4.16.c

Şekil 4.16.d

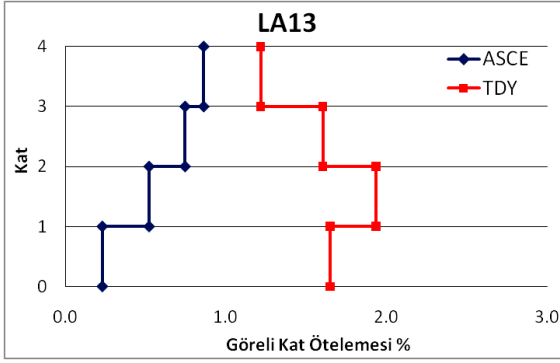


Şekil 4.16.e

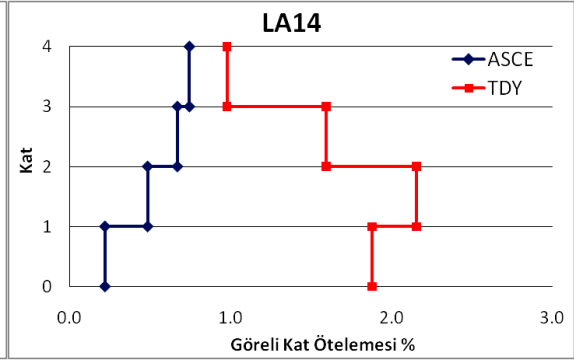
Şekil 4.16.f

Şekil 4.16 ve 4.17'de 4 katlı yapıların III. grup depremler etkisindeki plastik mafsallık dönmeleri ve görelî kat ötelemeleri verilmiştir. LA16 dışındaki beş depremde yapıların %2'ye yakın veya %2'nin altında plastik mafsallık dönmeleri yaptı, LA16'da ise plastik dönmelerin %2'nin üstüne çıktığı görülmüştür. Diğer deprem gruplarında olduğu gibi ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapının TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıya nispetle daha az görelî kat ötelemesi yaptı ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının görelî kat ötelemesi açılarının her kat hizasında daha keskin geçişler yaptı gözlenmiştir. ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapıda görelî kat ötelemeleri %1'in üzerine çıkmazken, TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının genel olarak %2 civarında değerler almıştır. En büyük görelî kat ötelemesi değeri -

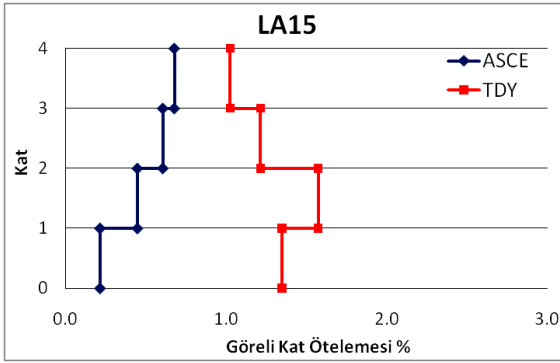
plastik mafsal dönmelerinde olduğu gibi- LA16 depreminden elde edilirken, bu değer TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıda %3'e yakındır.



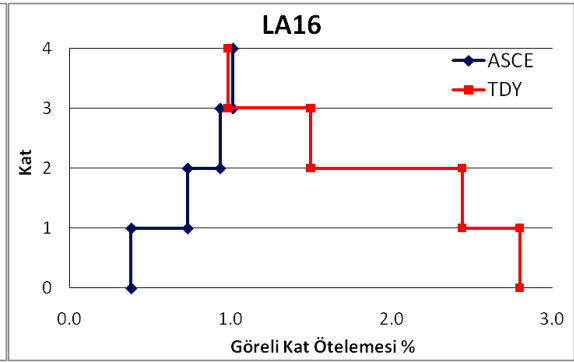
Şekil 4.17.a



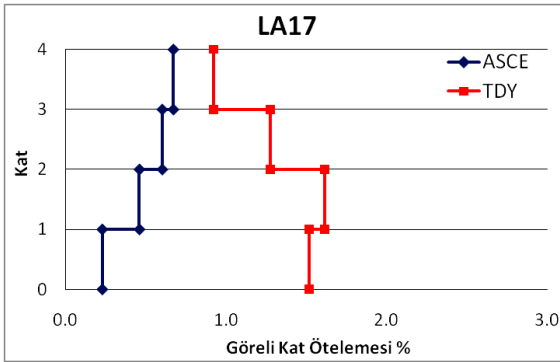
Şekil 4.17.b



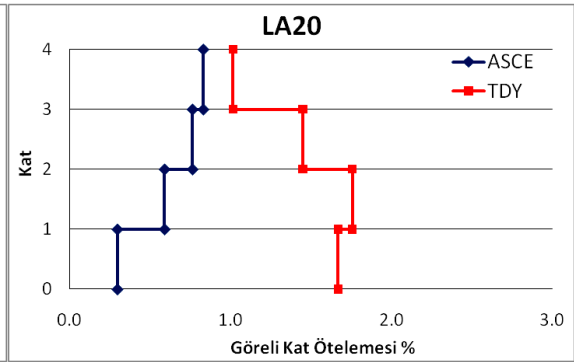
Şekil 4.17.c



Şekil 4.17.d



Şekil 4.17.e

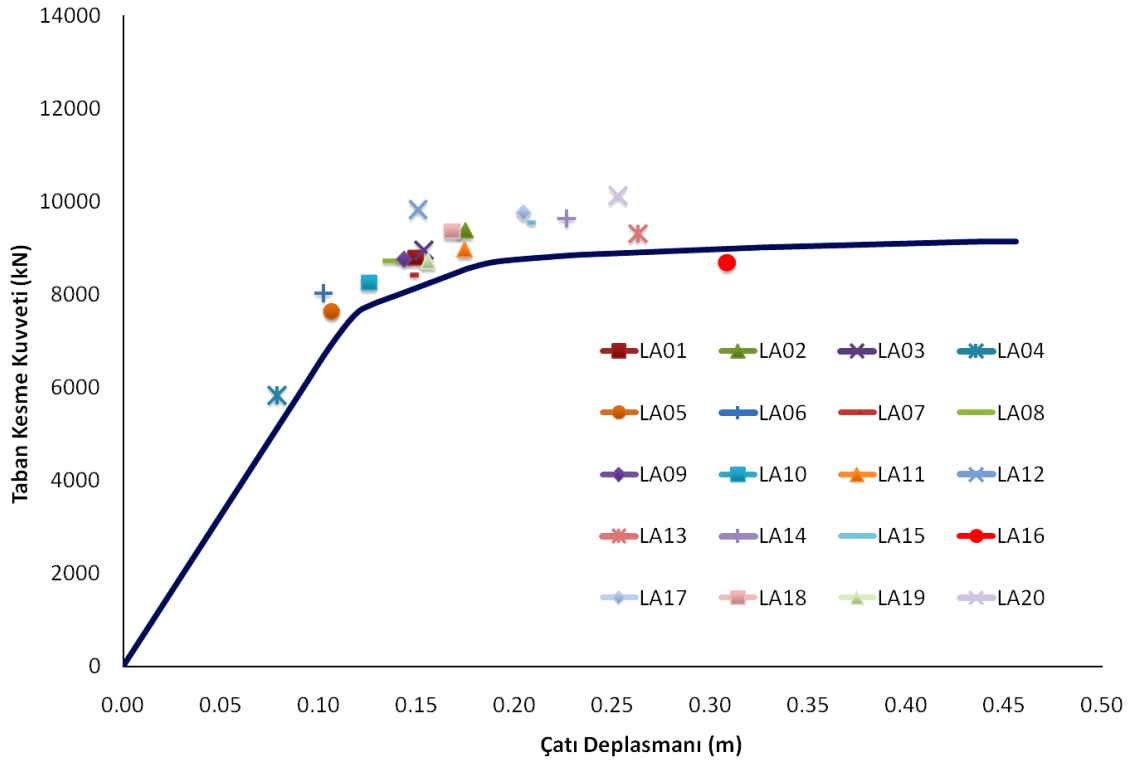


Şekil 4.17.f

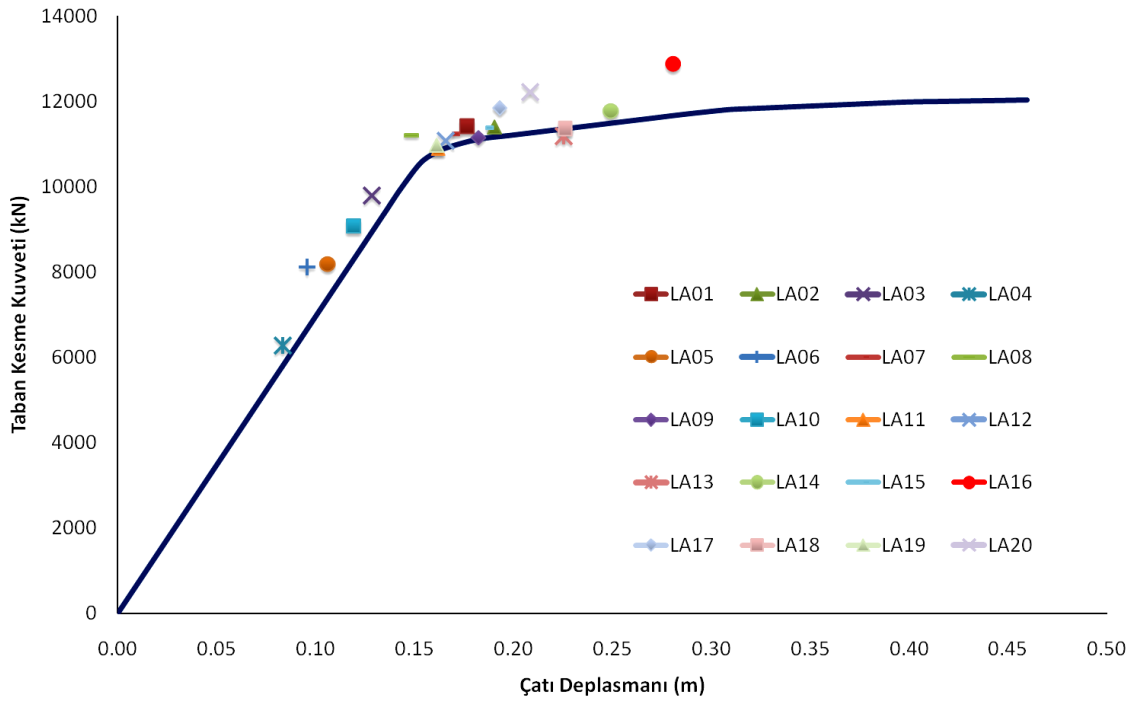
Şekil 4.18'de 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlerin yer değiştirme talepleriyle birlikte önceden doğrusal elastik olmayan statik itme analizi ile ASCE 7-05'e göre tasarlanan 4 katlı yapı için elde edilen *kapasite eğrisi* bir arada verilmiştir. Görüldüğü gibi, kapasite eğrisi üzerinde işaretlenen her bir nokta, kapasite eğrisiyle örtüşecek şekilde

yaklaşık olarak eğrinin üzerinde yer almaktadır. LA04 eğrinin elastik bölgesinde kalırken, en büyük plastik mafsalsal dönmesi ve en büyük görelî kat ötelemelerine ulaştıran LA16 depreminin diğers sonuçlara uygun şekilde en büyük çatı yer değıştirmesini verdiğı görülmüştür. III. grup depremler dışındaki depremler kapasite eğrisi üzerinde -yaklaşık olarak- yapının aktığı veya az da olsa plastikleştiğı noktaya denk gelirken, III. grup olarak sınıflandırılan LA13, LA14, LA15, LA16, LA17 ve LA20 depremleri yapıya, sırasıyla 26.27, 22.26, 20.66, 30.86, 20.44, 25.26 cm çatı yer değıştirmesi yaptırmışlardır.

Şekil 4.19'da 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlerin yer değıştirme talepleriyle birlikte, önceden doğrusal elastik olmayan statik itme analizi ile TDY (2007)'ye göre tasarlanan 4 katlı yapı için elde edilen *kapasite eğrisi* karşılaştırmalı olarak verilmiştir. I. grup depremlerin (LA03, LA04, LA05, LA06 ve LA10) elde edilen diğers sonuçlara uyumlu şekilde kapasite eğrisinin elastik kısmında kaldığı diğers deprem gruplarının ise yapının henüz aktığı veya plastikleştiğı görülmüş, en büyük çatı yer değıştirmesi ise ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapıda olduğu gibi yine LA16 depreminden elde edilmiştir



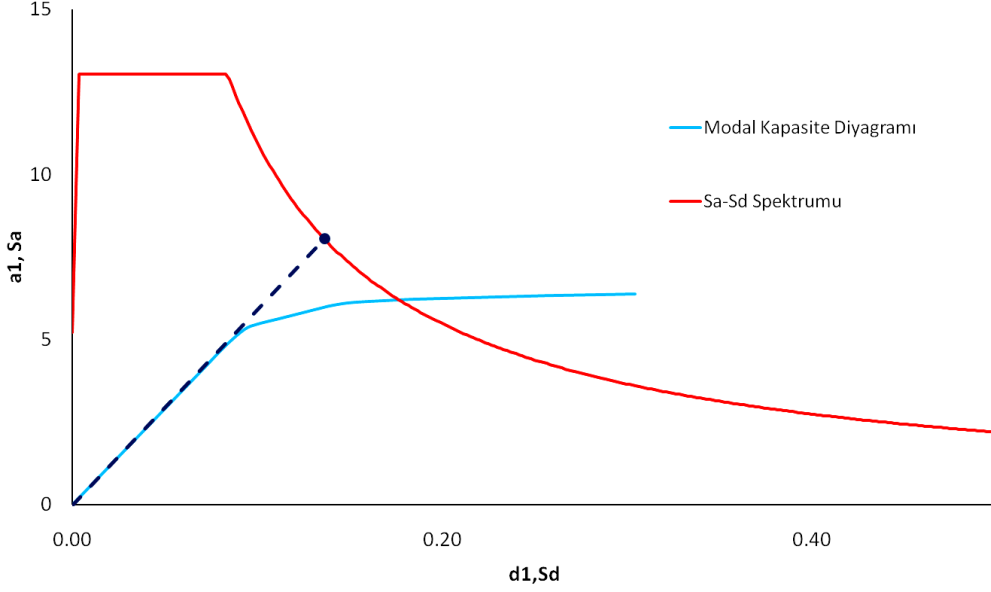
Şekil 4.18 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değıştirme Değersleri



Şekil 4.19 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri

4.1.2.1 Yer Değiştirme Talebinin İvme-Yer Değiştirme Spektrumu Yöntemiyle Belirlenmesi (ADRS)

Bölüm 4.1.1.2'de İvme-Yer Değiştirme Spektrumu Yöntemi'nin (ADRS) teorisi özetlenmiş ve aynı bölüm içinde 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depreme karşılık gelen "en büyük deprem" spektrumu kullanılarak yapının yer değiştirme talebi belirlenmiştir. Aynı kapasite eğrisi kullanılarak elde edilen modal kapasite diyagramı ve tasarım spektrumu (50 yılda aşılma olasılığı %10) kullanılarak elde edilen ivme-yer değiştirme spektrumu Şekil 4.20'de ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapı için, Şekil 4.21'de ise TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapı için grafik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.20 - ASCE 7-05(2005)'e Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değişirme Spektrumu

Şekil 4.20'de grafik olarak ifade edilen modal kapasite diyagramı ve S_a - S_d spektrumunda faydalanılarak tasarım depreminin ASCE 7-05'e göre tasarlanan yapıdan yer değiştirme talebinin elde edilişi ve C_d katsayısının hesaplanması aşağıda kısaca özetlenmiştir.

$T_L > T_1 > T_S$ olduğundan;

$$\Rightarrow S_{a1} = \frac{S_{D1}}{T_1} = \frac{0.67}{0.816} = 0.821g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 0.821 \times 9.81 = 8.05m/sn^2$$

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

$$\Rightarrow S_{de1} = \frac{0.816^2}{4\pi^2} \times 8.05 = 0.136m \quad (T_1 > T_S \rightarrow S_{de1} = S_{d1} \rightarrow S_{d1} = d_1)$$

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1$$

$$\Rightarrow d_1 = S_{d1} = S_{de1} = 0.136; \phi_{n1} = 0.0392; \Gamma_1 = 32.412$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.136 \times 0.0392 \times 32.412 = 0.1728m$$

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{17.28}{4.9} = 3.53$$

Şekil 4.21'de grafik olarak ifade edilen modal kapasite diyagramı ve S_a - S_d spektrumunda faydalanılarak tasarım depreminin TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapıdan yer değiştirme talebinin elde edilişi ve C_d katsayısının hesaplanması aşağıda kısaca özetlenmiştir.

$T_L > T_1 > T_S$ olduğundan;

$$\Rightarrow S_{a1} = \frac{S_{D1}}{T_1} = \frac{0.67}{0.787} = 0.851g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 0.851 \times 9.81 = 8.35m/sn^2$$

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

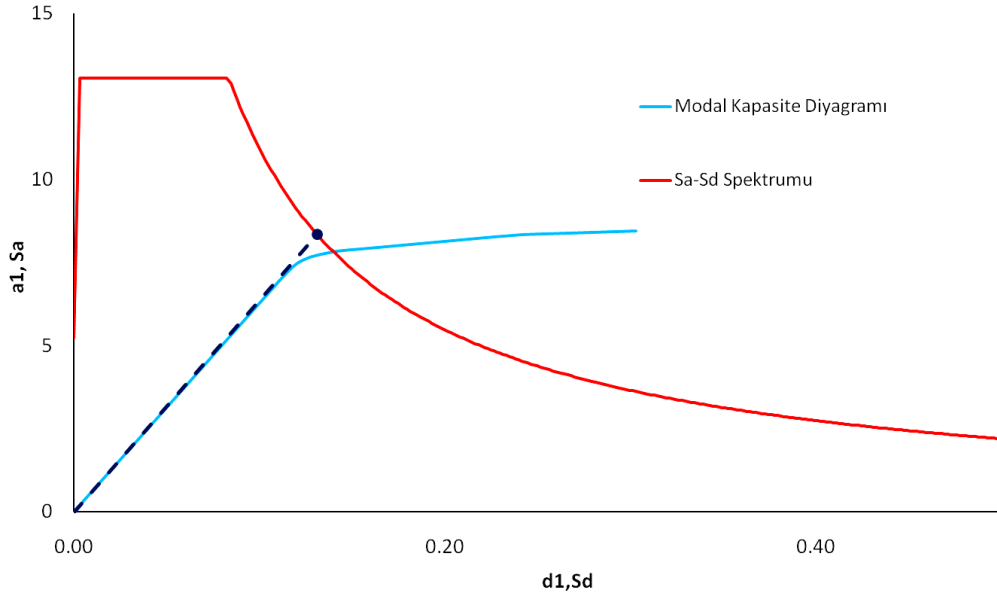
$$\Rightarrow S_{de1} = \frac{0.787^2}{4\pi^2} \times 8.35 = 0.131m \quad (T_1 > T_S \rightarrow S_{de1} = S_{d1} \rightarrow S_{d1} = d_1)$$

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1$$

$$\Rightarrow d_1 = S_{d1} = S_{de1} = 0.131; \phi_{n1} = 0.0395; \Gamma_1 = 32.303$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.131 \times 0.0395 \times 32.303 = 0.1672m$$

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{16.72}{4.6} = 3.63$$



Şekil 4.21 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değiştirmesi (cm)	Tasarım Yer Değiştirmesi (cm)	Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA01	II	14.91	4.9	3.04
LA02	II	17.49		3.57
LA03	I	15.37		3.14
LA04	I	7.85		1.60
LA05	I	10.65		2.17
LA06	I	10.24		2.09
LA07	II	14.66		2.99
LA08	II	13.66		2.79
LA09	II	14.35		2.93
LA10	I	12.55		2.56
LA11	II	17.44		3.56
LA12	II	15.04		3.07
LA13	III	26.27		5.36
LA14	III	22.66		4.62
LA15	III	20.66		4.22
LA16	III	30.86		6.30
LA17	III	20.44		4.17
LA18	II	16.82		3.43
LA19	II	15.57		3.18
LA20	III	25.26		5.16

Çizelge 4.7 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C_d Değeri
I	2.31	3.50	3.53
II	3.17		
III	4.97		

Çizelge 4.8 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değiştirme (cm)	Tasarım Yer Değiştirme (cm)	Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA01	II	17.65	4.6	3.84
LA02	II	19.06		4.14
LA03	I	12.86		2.80
LA04	I	8.35		1.82
LA05	I	10.62		2.31
LA06	I	9.59		2.09
LA07	II	16.92		3.68
LA08	II	14.84		3.23
LA09	II	18.24		3.97
LA10	I	11.94		2.60
LA11	II	16.18		3.52
LA12	II	16.57		3.60
LA13	III	22.54		4.90
LA14	III	24.93		5.42
LA15	III	18.62		4.05
LA16	III	28.05		6.10
LA17	III	19.32		4.20
LA18	II	22.61		4.92
LA19	II	16.12		3.50
LA20	III	20.86		4.55

Çizelge 4.9 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C_d Değeri
I	2.32	3.76	3.63
II	3.82		
III	4.87		

Çizelge 4.10 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

4.2 9 Katlı Yapıların Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Sonuçları

Bu bölümde 9 katlı yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %2 (frekansı yaklaşık 2500 yıl) ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (frekansı yaklaşık 500 yıl) olan deprem kayıtları kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizler ve doğrusal elastik olmayan statik itme analizleri ile elde edilen sonuçlar irdelenecektir.

4.2.1 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları

SAC'a ait 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan 20 adet deprem kaydı (LA21-LA40), 9 katlı yapıların dinamik analizlere verdikleri tepkilere göre üç gruba ayrılmıştır [4]. Gruplar şu şekilde tanımlanabilir;

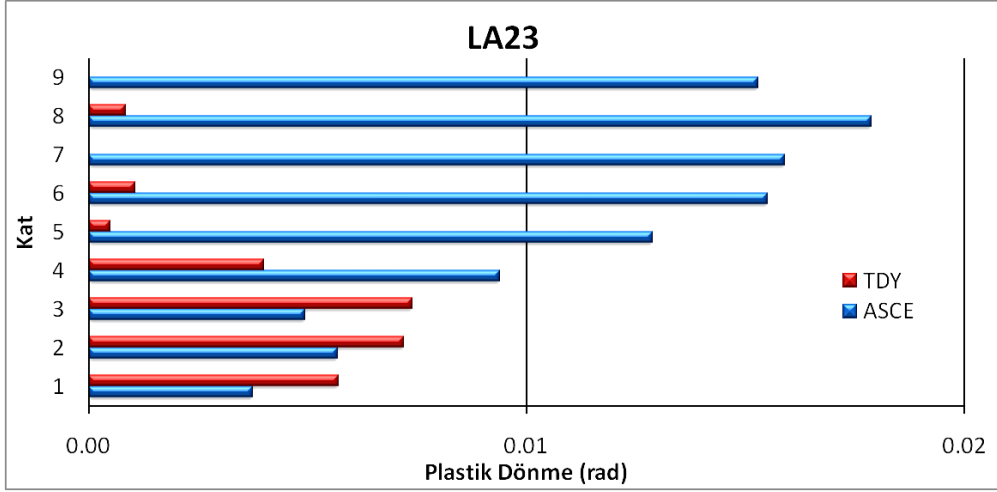
- i. Grup-I: %2'den daha az plastik mafsalsal dönmesi ve %2'den az görelî kat ötelemesi meydana getiren depremler.
- ii. Grup-II: %2 ile %4 arasında plastik mafsalsal dönmesi ve %2 ile %4 arasında görelî kat ötelemesi meydana getiren depremler.
- iii. Grup-III: %4 ile %6 arasında plastik mafsalsal dönmesi ve %4 ile %5 arasında görelî kat ötelemesi meydana getiren depremler.

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem kayıtlarının gruplara göre dağılımı Çizelge 4.11'de belirtilmiştir.

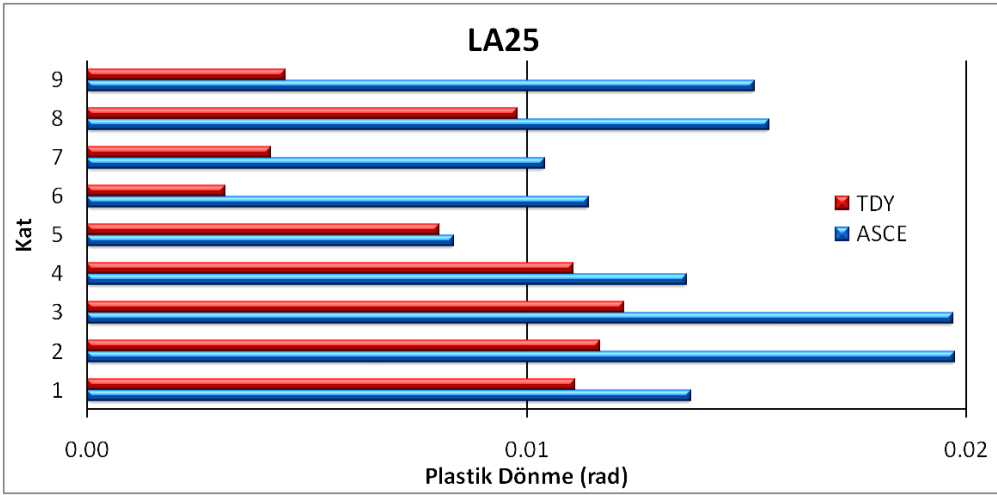
Grup	Deprem	Plastik Mafsalsal Dönmesi (rad)	Görelî Kat Ötelemesi
I	LA23-LA25-LA29-LA30-LA39	< %2	< %2
II	LA21-LA22-LA24-LA26-LA27-LA28-LA31-LA32-LA33-LA34-LA37	%2 - %4	%2 - %4
III	LA35-LA36-LA38-LA40	%4 - %6	%4 - %5

Çizelge 4.11 - 9 Katlı Yapılara ait Deprem Grupları

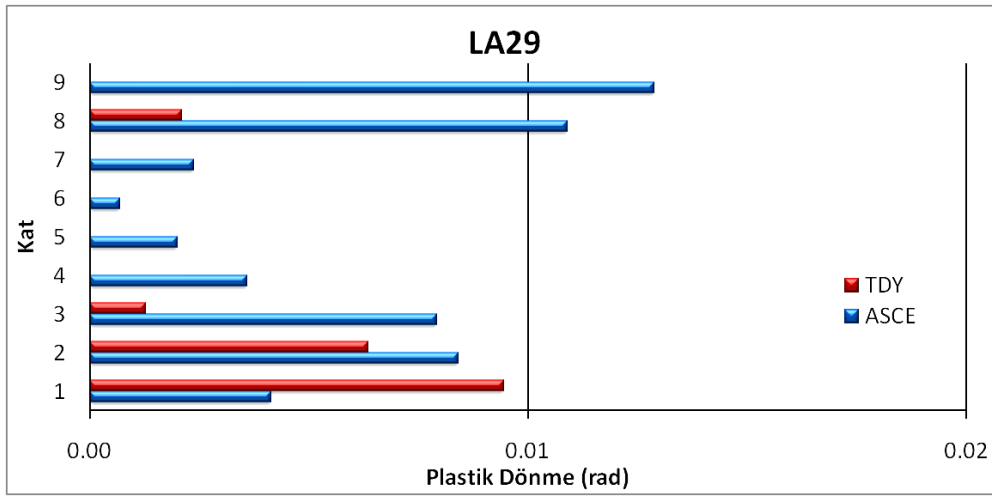
ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan 9 katlı yapıların I. grup depremlere tabi tutulması sonucu elde edilen plastik mafsalsal dönmeleri ve görelî kat ötelemesi değerleri, sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



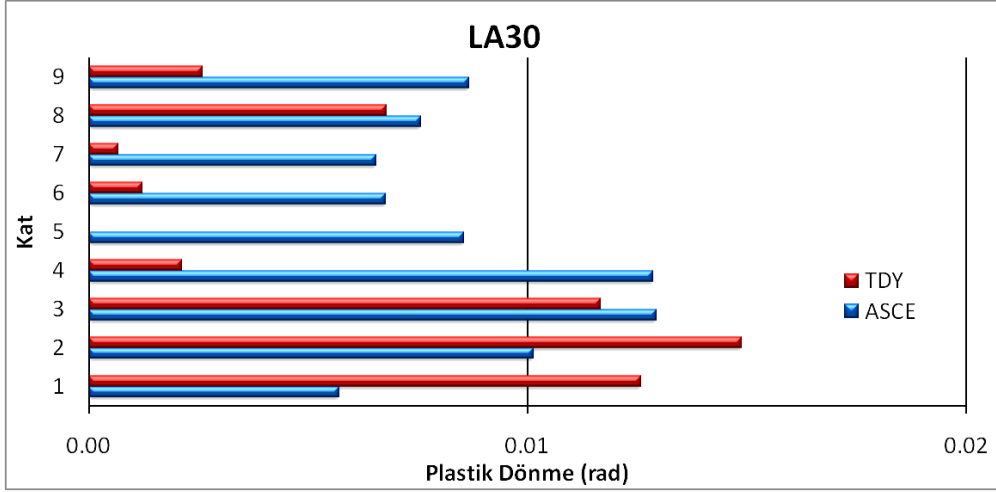
Şekil 4.22.a



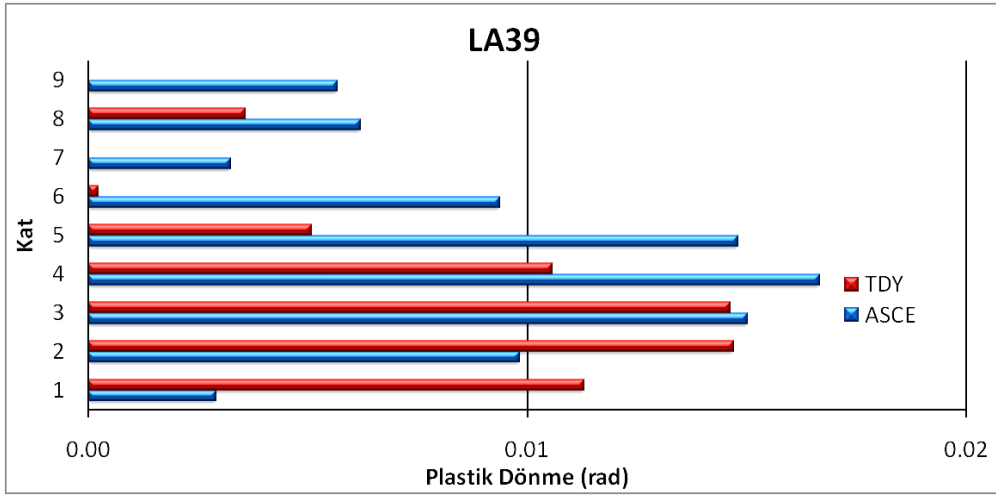
Şekil 4.22.b



Şekil 4.22.c

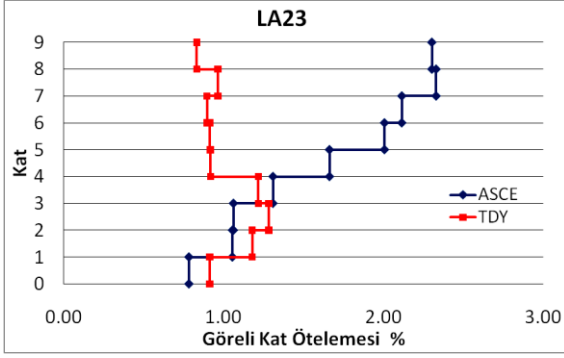


Şekil 4.22.d

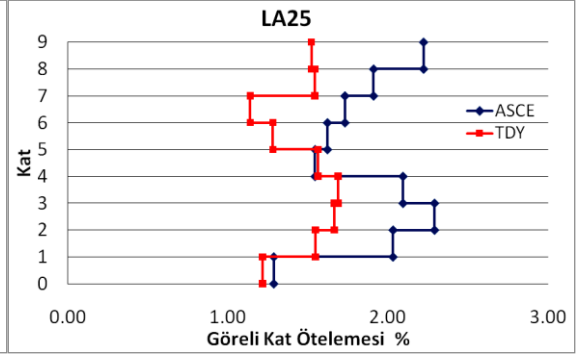


Şekil 4.22.e

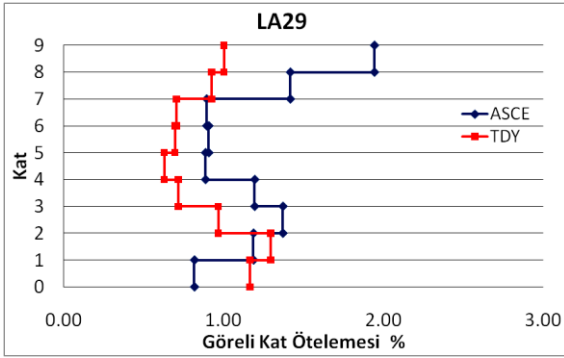
Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de görüldüğü gibi I. gruba ait depremler sonucu her iki yapıda da %2'den az plastik mafsalsal dönmesi meydana gelmiştir. Genel itibariyle, ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapı, TDY (2007)'ye göre tasarlanandan daha "zayıf" kesitlere sahip olduğundan daha fazla plastik dönme yaptığı ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının bazı katlarda elastik kaldığı gözlenmiştir. Öte yandan, görelî kat ötelemeleri incelendiğinde iki yapının da LA23 depremi dışındaki depremlere benzer tepkiler verdiği söylenebilir. Ayrıca görelî kat ötelemelerinin birbirine yakın değerler aldığı ve bu değerlerin %2'ye yakın veya altında olduğu görülmektedir.



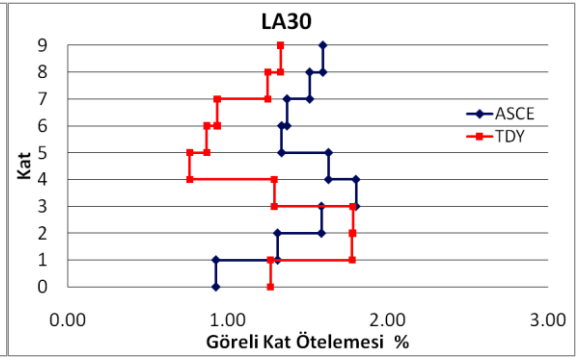
Şekil 4.23.a



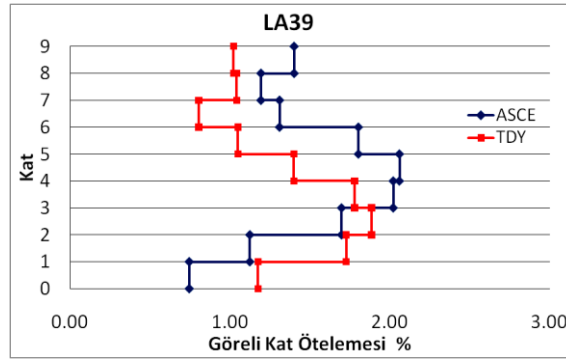
Şekil 4.23.b



Şekil 4.23.c

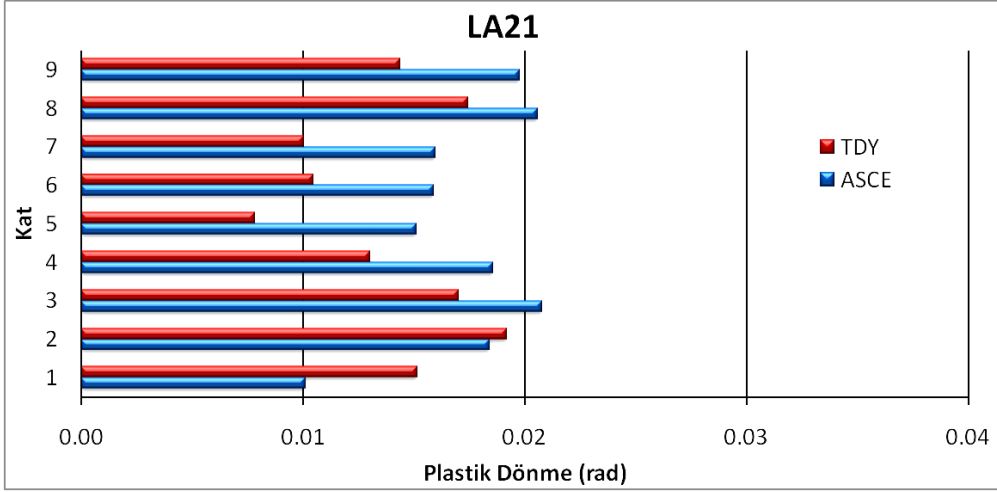


Şekil 4.23.d

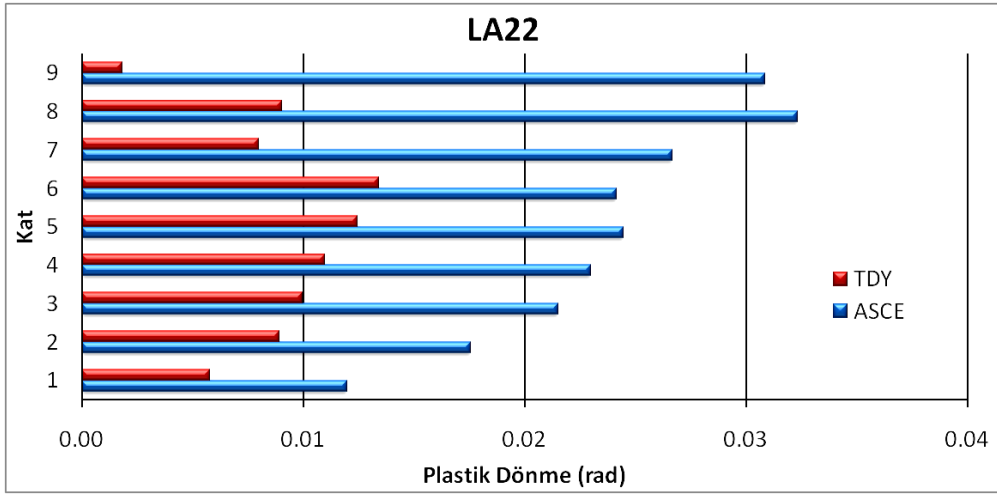


Şekil 4.23.e

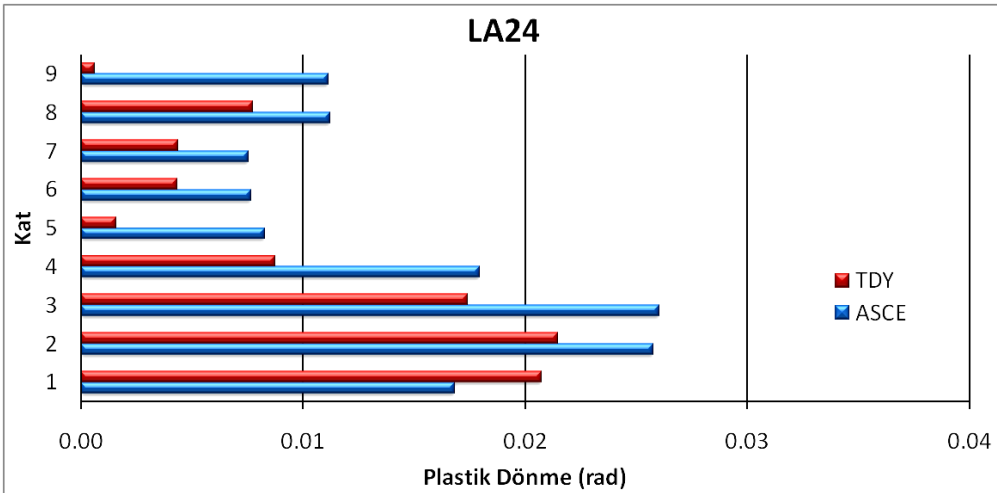
ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan 9 katlı yapıların II. grup depremlere tabi tutulması sonucu elde edilen plastik mafsal dönmeleri Şekil 4.24'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



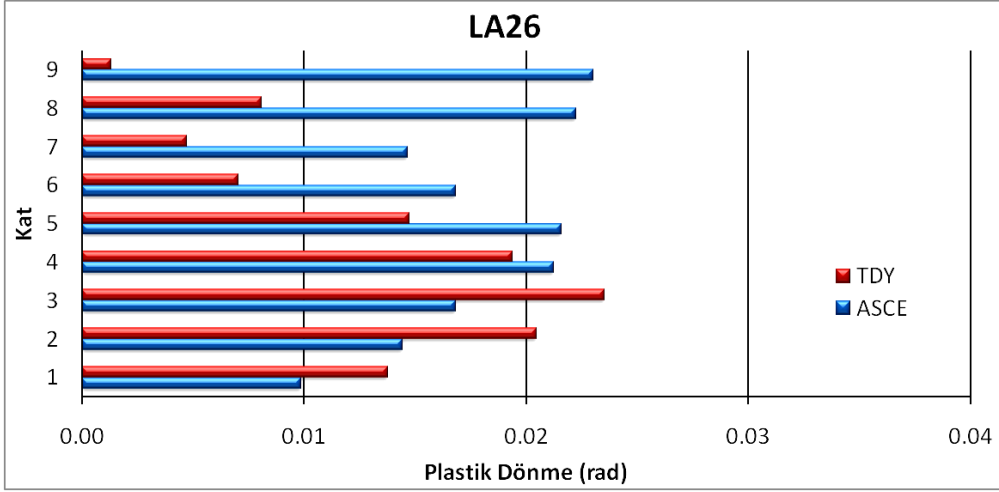
Şekil 4.24.a



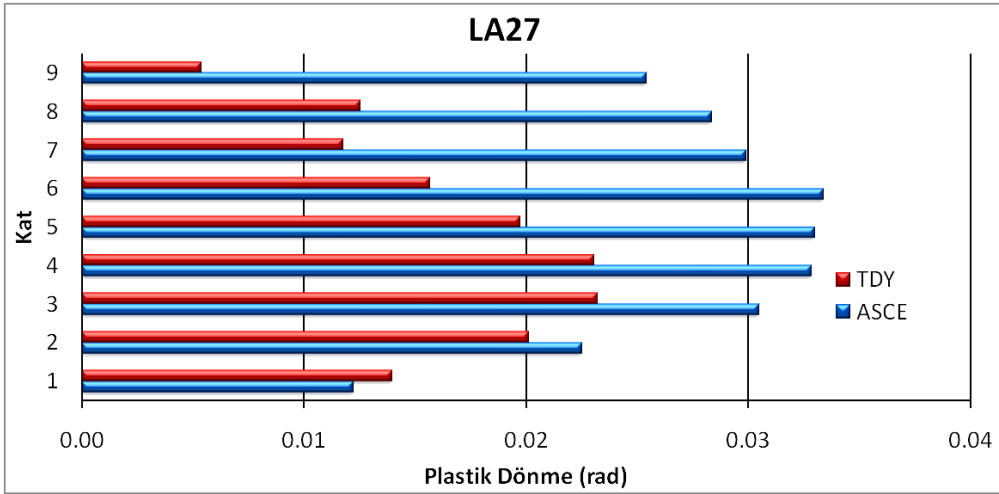
Şekil 4.24.b



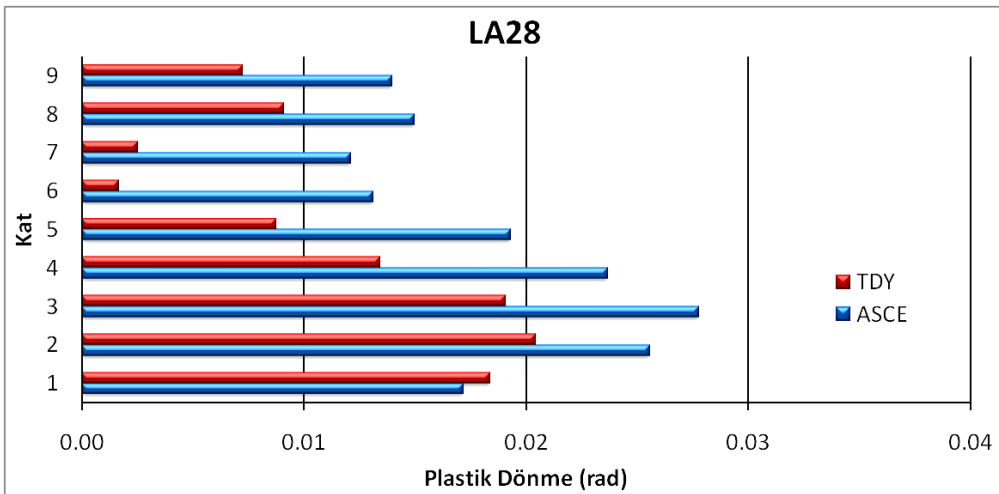
Şekil 4.24.c



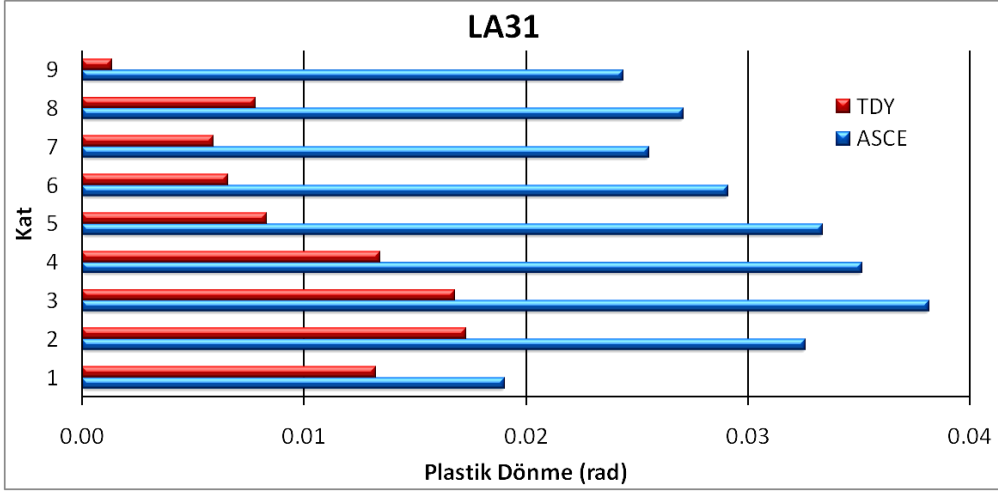
Şekil 4.24.d



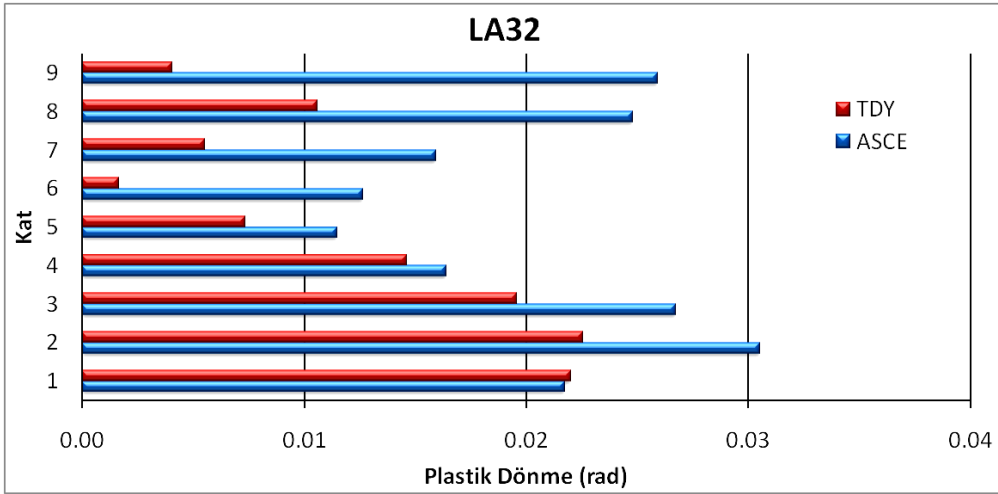
Şekil 4.24.e



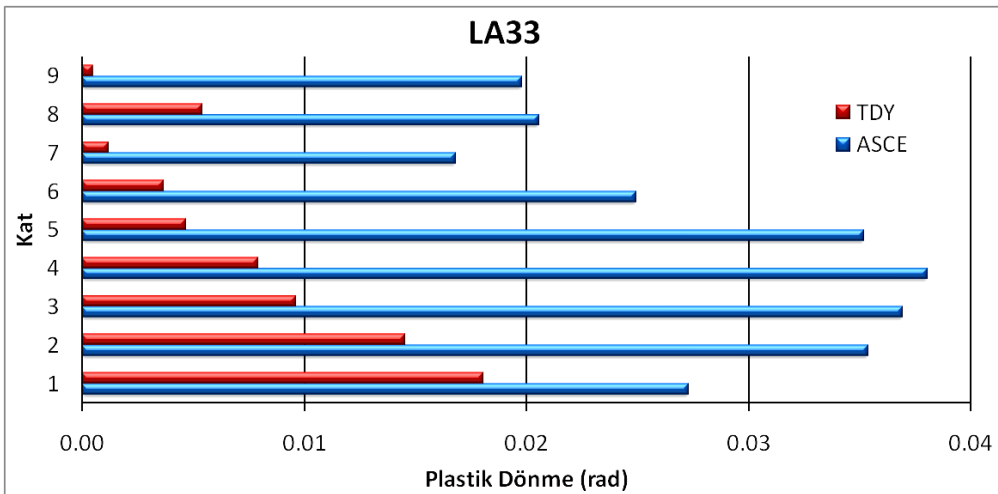
Şekil 4.24.f



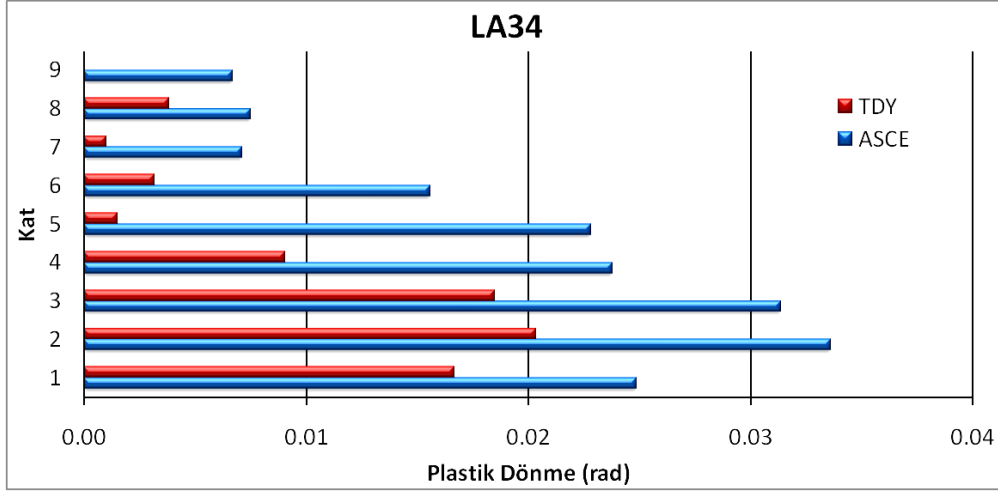
Şekil 4.24.g



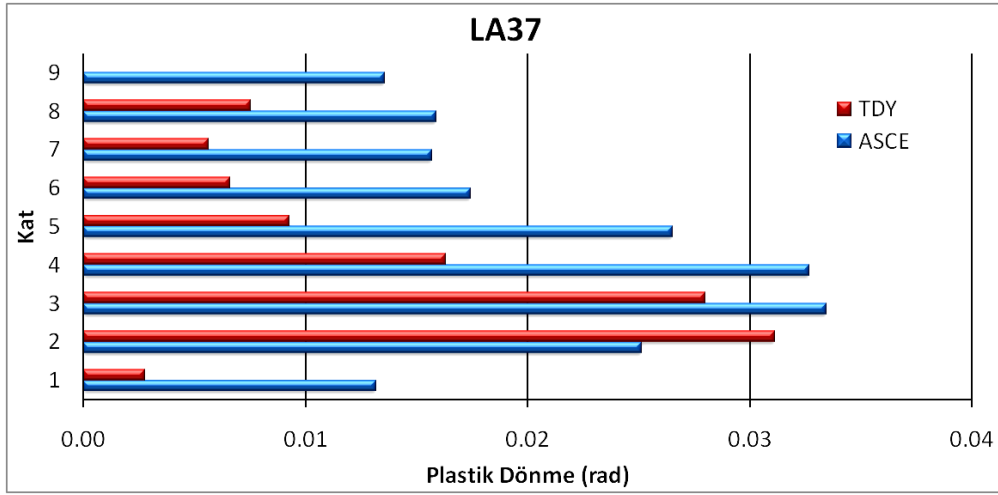
Şekil 4.24.h



Şekil 4.24.i

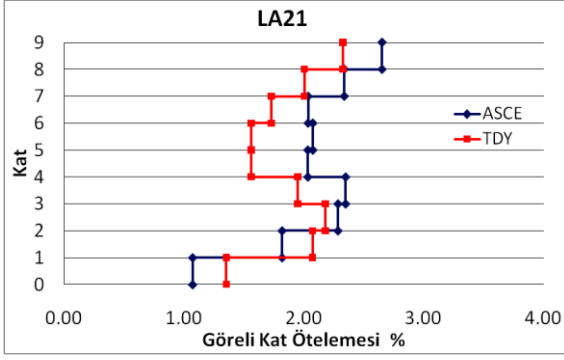


Şekil 4.24.j

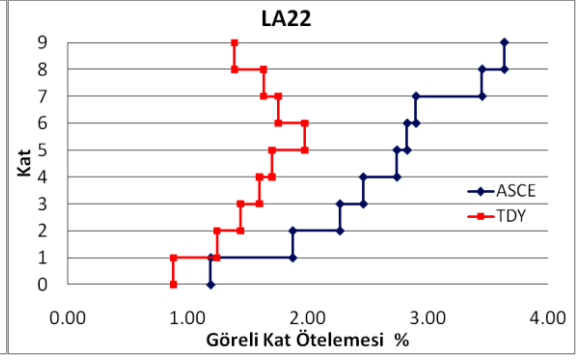


Şekil 4.24.k

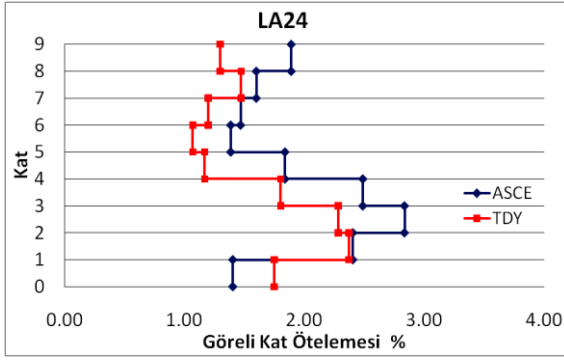
II. grup depremler etkisinde 9 katlı yapıların %2 ile %4 arası plastik mafsalsal dönmesi yapıldığı görülmüştür. Yapılar, depremlere benzer tepkiler verirken, plastik mafsalsal dönmelerinin katlara dağılımının bir depremden diğerine farklılık gösterdiği gözle çarpılmaktadır. Görelî kat ötelemeleri bakımından incelendiğinde ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapı daha çok ötelenirken, bu değer II. gruba dahil olan tüm depremlerden %2'nin üzerine çıkmıştır. LA22, LA31 ve LA33 depremlerinde TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapı %2 civarında ötelenirken, ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapı neredeyse %4'e yakın görelî kat ötelemesi değerlerine ulaşmıştır. Bahsedilen depremler (LA22, LA31 ve LA33) etkisinde plastik mafsalsal dönmeleri incelendiğinde benzer sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür. II. gruba dahil olan diğer depremlerde yakın değerler alan yapıların, bu üç depreme birbirlerinden oldukça farklı tepkiler verdiği gözlenmiştir.



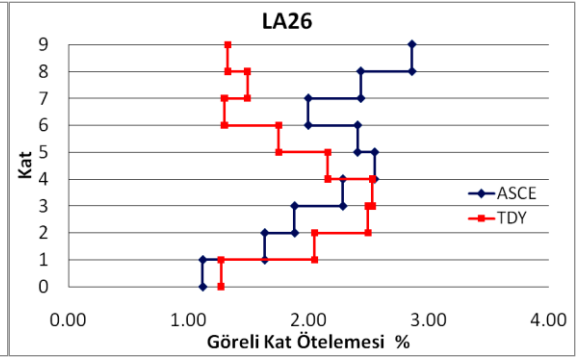
Şekil 4.25.a



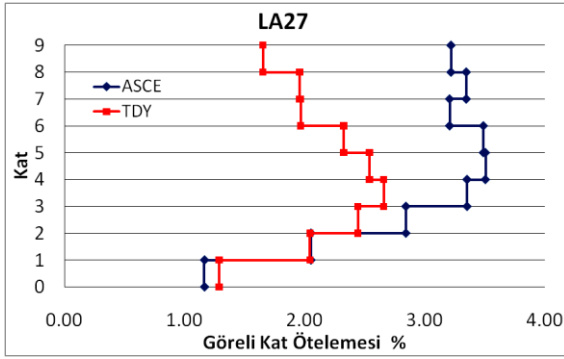
Şekil 4.25.b



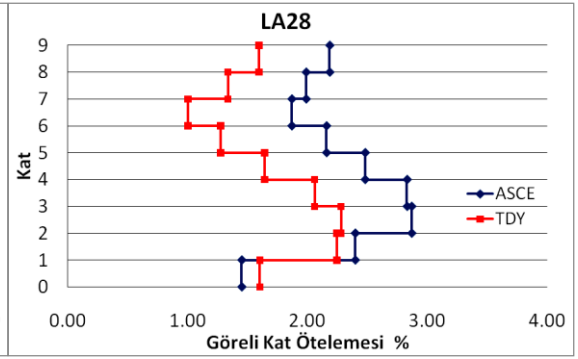
Şekil 4.25.c



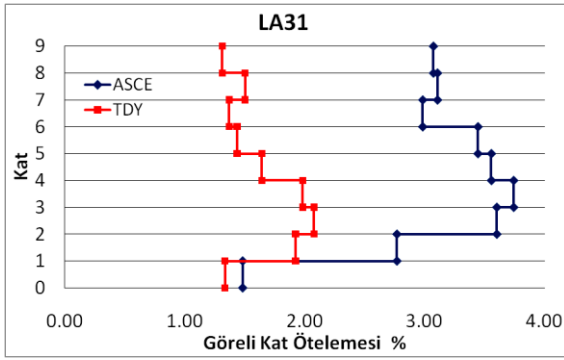
Şekil 4.25.d



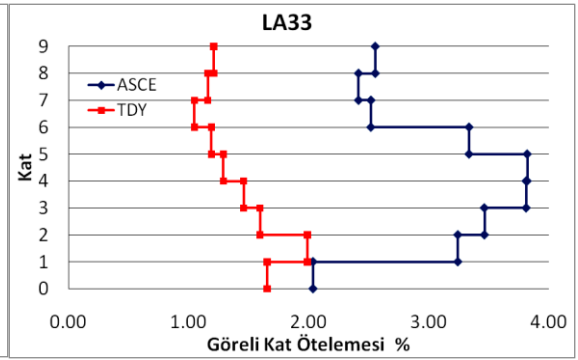
Şekil 4.25.e



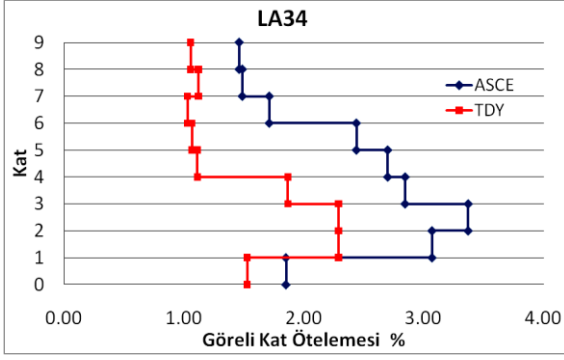
Şekil 4.25.f



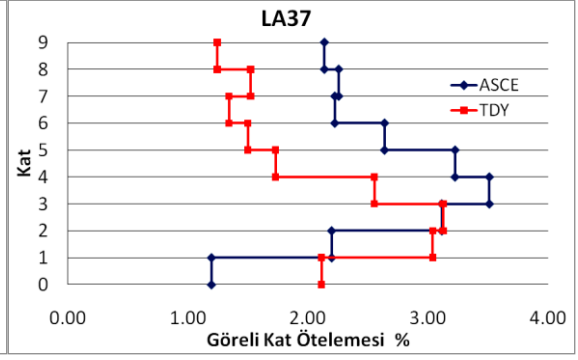
Şekil 4.25.g



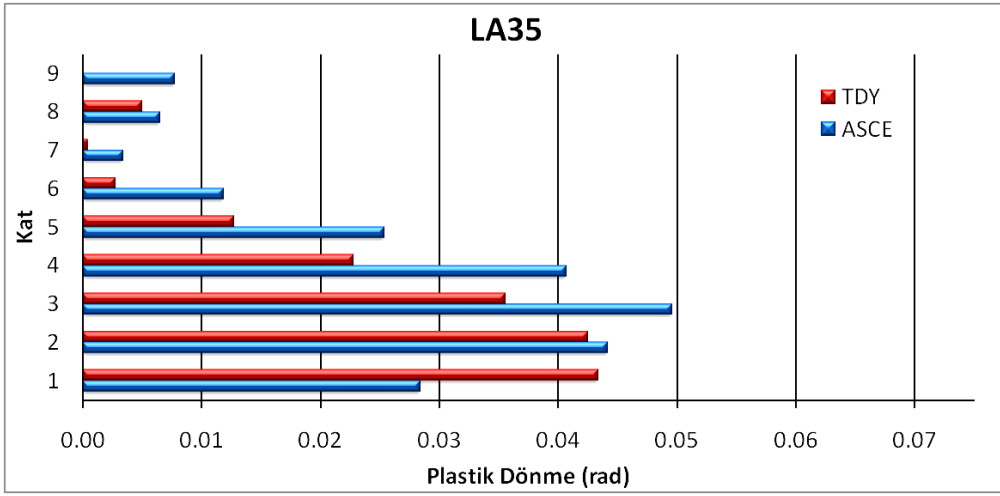
Şekil 4.25.h



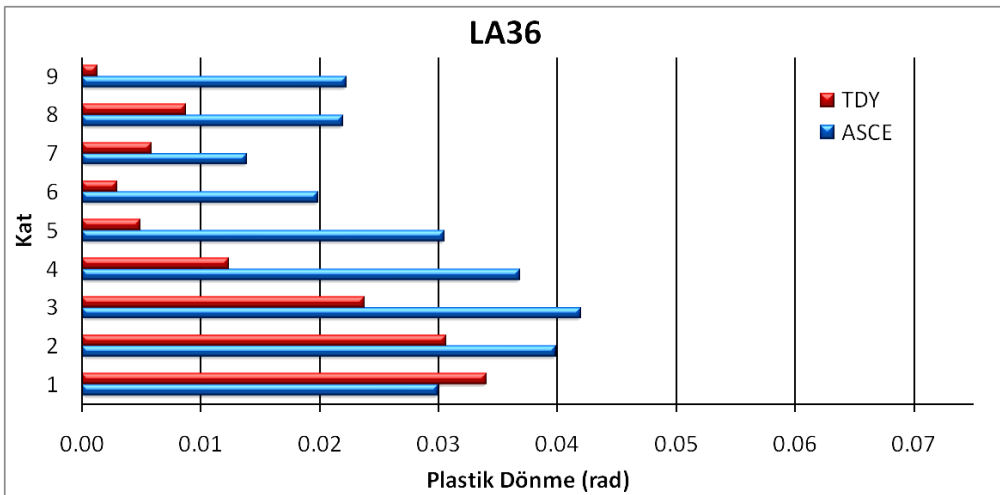
Şekil 4.25.i



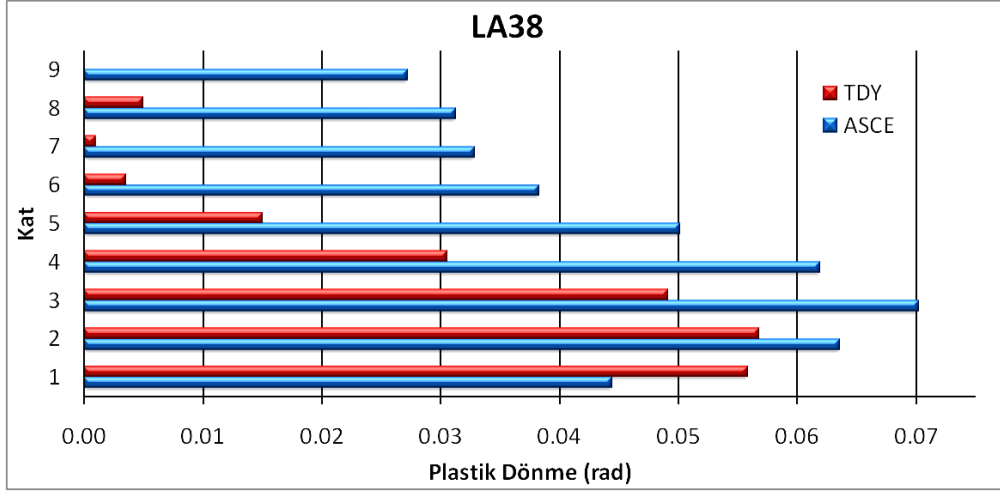
Şekil 4.25.j



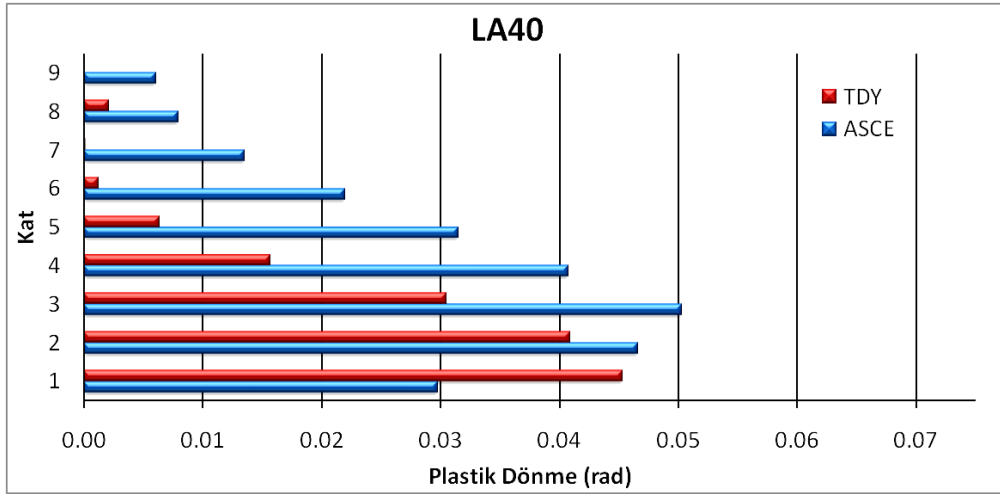
Şekil 4.26.a



Şekil 4.26.b

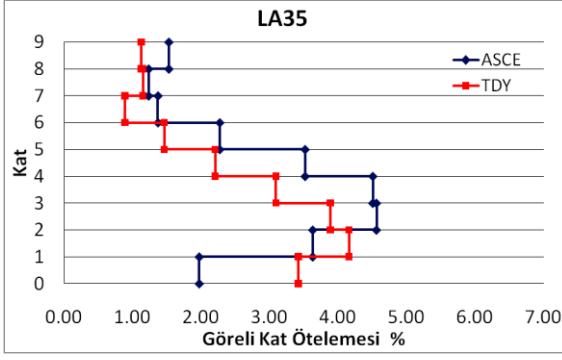


Şekil 4.26.c

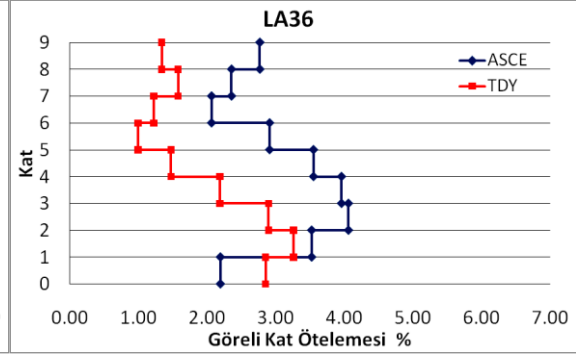


Şekil 4.26.d

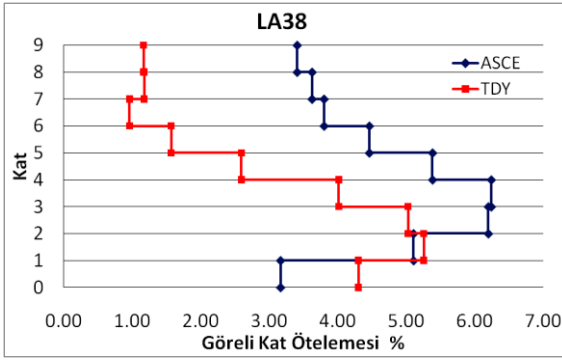
ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan 9 katlı yapıların III. grup depremlere tabi tutulması sonucu elde edilen plastik mafsal dönmeleri ve görelî kat ötelemesi değerleri, sırasıyla Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir. III. grup depremler etkisinde yapıların %4 ve daha fazla plastik mafsal dönmesi ve %4'ün üzerinde görelî kat ötelemesi yaptıkları görülmüştür. Yapıların her ikisinin de en büyük plastik mafsal dönmesi, görelî kat ötelemesi ve çatı yer değiştirmesi değerlerine LA38 depremi etkisinde ulaştığı görülmüştür. LA38 etkisinde yaklaşık %7 civarında plastik dönme oluşurken, görelî kat ötelemesi %6'ya yaklaşmıştır.



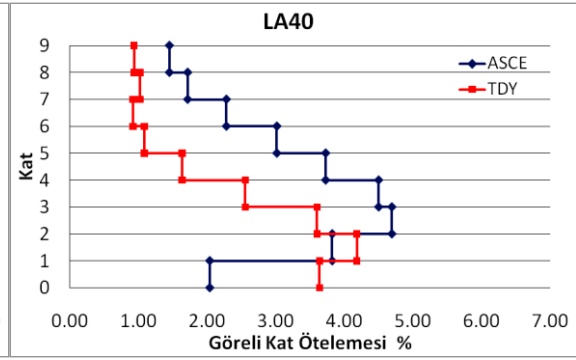
Şekil 4.27.a



Şekil 4.27.b

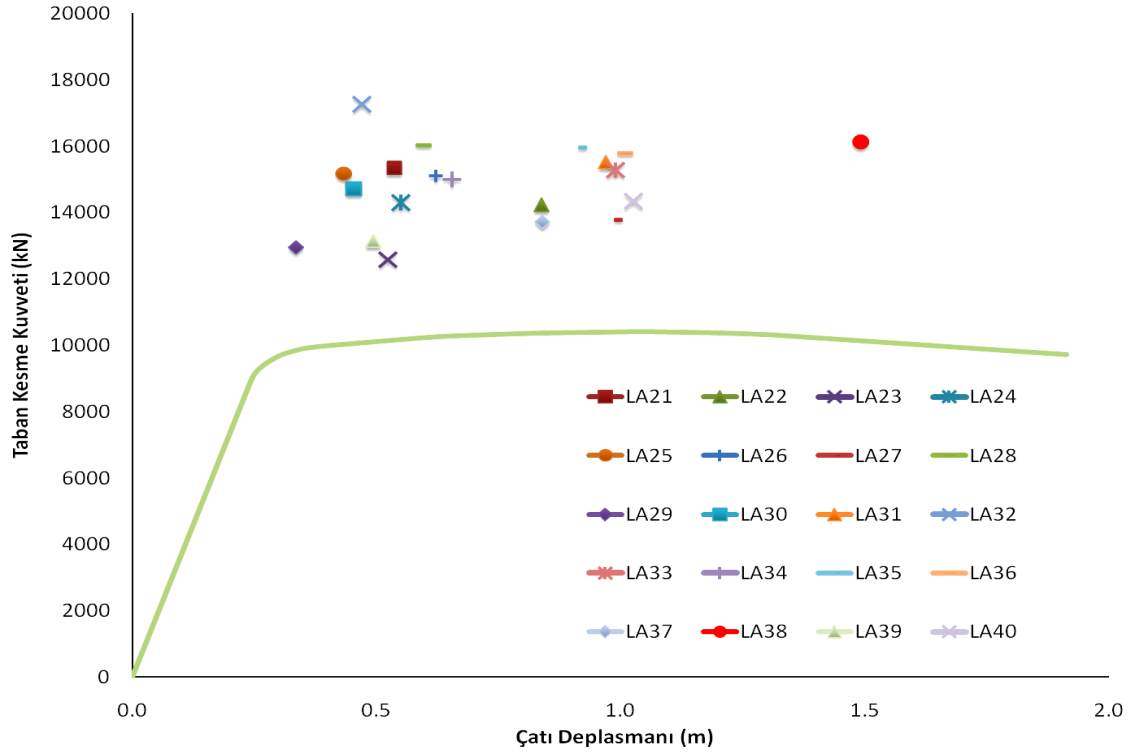


Şekil 4.27.c

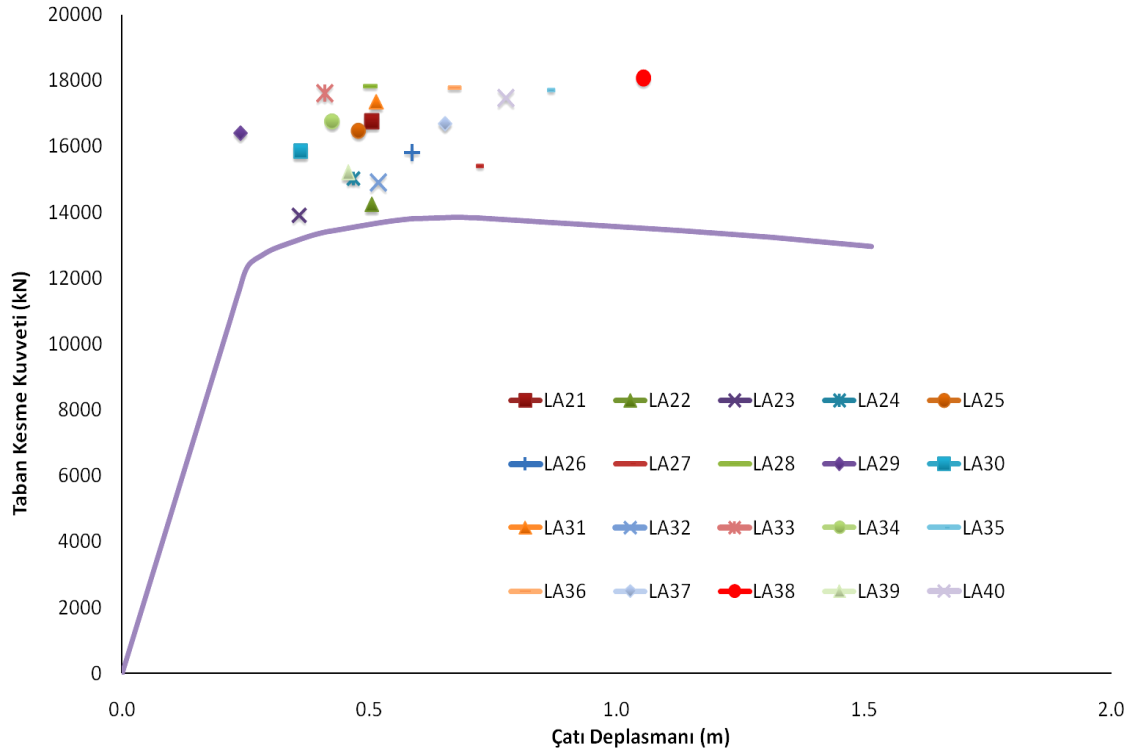


Şekil 4.27.d

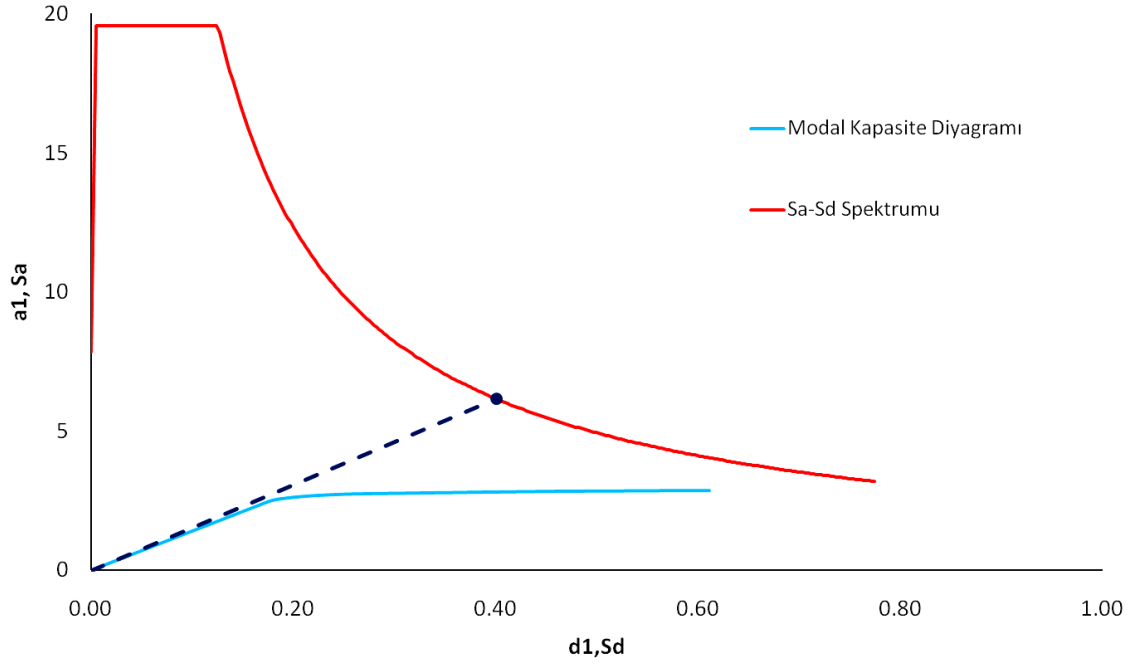
Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da 9 katlı yapılara tek modlu doğrusal elastik olmayan statik itme analizi uygulanmasıyla elde edilen kapasite eğrileri, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem kayıtlarından elde edilen en büyük çatı yer değıştirmesi değerleriyle birlikte verilmiştir. 9 katlı yapıların birinci moda ait kütle katılım oranları yaklaşık %80 ve %82 olduğundan birinci moda (hakim mod) uygun yatay yük dağılımı kullanılmış ve analiz boyunca sabit kabul edilmiştir. Doğrusal elastik olmayan statik itme analizlerinde de dinamik analizlerde olduğu gibi P-Δ etkileri göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.28 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri



Şekil 4.29 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri



Şekil 4.30 - ASCE 7-05(2005)'e Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En Büyük Depreme ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu

$$\Rightarrow S_{a1} = 1.5 \times \frac{S_{D1}}{T_1} = 1.5 \times \frac{0.67}{1.602} = 0.627 g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 0.627 \times 9.81 = 6.15 m / sn^2$$

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

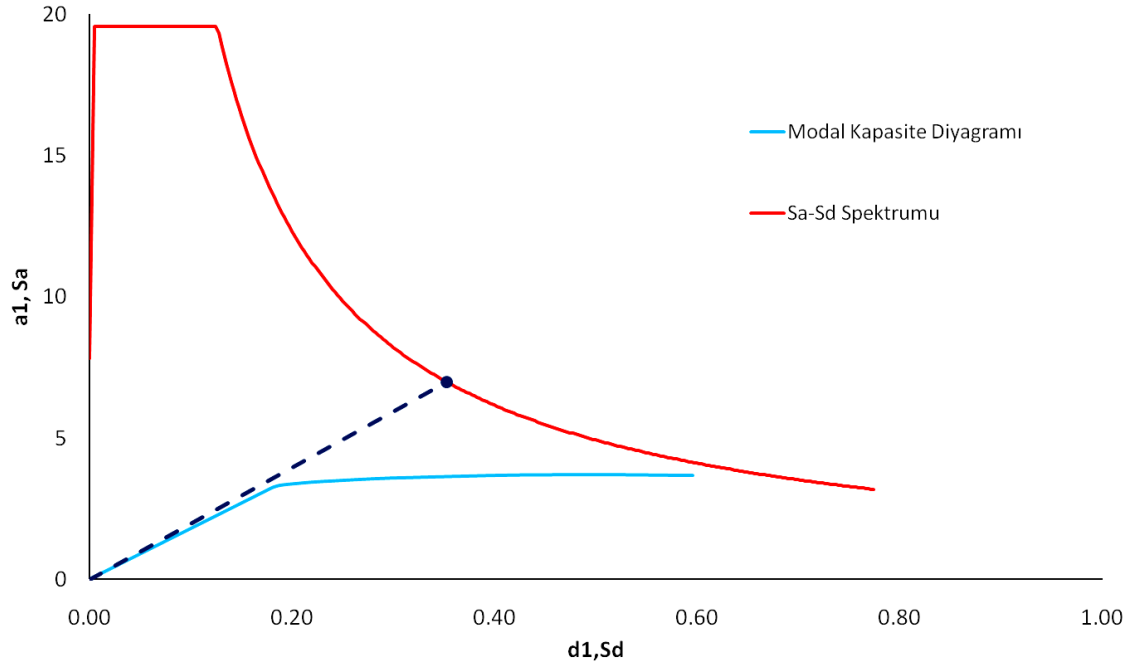
$$\Rightarrow S_{del} = \frac{1.602^2}{4\pi^2} \times 6.15 = 0.3998 m \quad (T_1 > T_s \rightarrow S_{del} = S_{dil} \rightarrow S_{dil} = d_1)$$

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1$$

$$\Rightarrow d_1 = S_{dil} = S_{del} = 0.473; \phi_{n1} = 0.02687; \Gamma_1 = 51.642$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.3998 \times 0.02687 \times 51.642 = 0.55.47 m$$

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{55.47}{11.52} = 4.82$$



Şekil 4.31 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - En Büyük Depreme ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu

$$\Rightarrow S_{a1} = 1.5 \times \frac{S_{D1}}{T_1} = 1.5 \times \frac{0.67}{1.41} = 0.713g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 0.713 \times 9.81 = 7.00m/sn^2$$

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

$$\Rightarrow S_{de1} = \frac{1.41^2}{4\pi^2} \times 7.00 = 0.3525m \quad (T_1 > T_s \rightarrow S_{de1} = S_{d1} \rightarrow S_{d1} = d_1)$$

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1$$

$$\Rightarrow d_1 = S_{d1} = S_{de1} = 0.406; \phi_{n1} = 0.0261; \Gamma_1 = 52.44$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.3525 \times 0.0261 \times 52.44 = 0.4825m$$

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{48.25}{8.66} = 5.57$$

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değişirmesi (cm)	Tasarım Yer Değişirmesi (cm)	Yer Değişirme Arttırma Katsayısı (C _d)
LA21	II	53.60	11.52	4.65
LA22	II	83.81		7.28
LA23	I	52.35		4.54
LA24	II	55.09		4.78
LA25	I	43.40		3.77
LA26	II	62.11		5.39
LA27	II	98.78		8.57
LA28	II	59.71		5.18
LA29	I	33.56		2.91
LA30	I	45.32		3.93
LA31	II	96.91		8.41
LA32	II	46.96		4.08
LA33	II	99.00		8.59
LA34	II	65.45		5.68
LA35	III	91.43		7.94
LA36	III	101.03		8.77
LA37	II	83.93		7.29
LA38	III	149.12		12.94
LA39	I	49.37		4.29
LA40	III	102.67		8.91

Çizelge 4.12 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değişirmesi (cm)	Tasarım Yer Değişirmesi (cm)	Yer Değişirme Arttırma Katsayısı (C _d)
LA21	II	50.50	8.66	5.83
LA22	II	50.51		5.83
LA23	I	35.80		4.13
LA24	II	46.74		5.40
LA25	I	47.85		5.53
LA26	II	58.69		6.78
LA27	II	71.71		8.28
LA28	II	50.26		5.80
LA29	I	24.00		2.77
LA30	I	36.18		4.18
LA31	II	51.39		5.93
LA32	II	51.86		5.99
LA33	II	41.07		4.74
LA34	II	42.48		4.91
LA35	III	86.07		9.94
LA36	III	67.19		7.76
LA37	II	65.33		7.54
LA38	III	105.36		12.17
LA39	I	45.67		5.27
LA40	III	77.58		8.96

Çizelge 4.13 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C_d Değeri
I	3.89	6.4	4.82
II	6.35		
III	9.64		

Çizelge 4.14 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C_d Değeri
I	5.48	6.39	5.57
II	6.09		
III	9.71		

Çizelge 4.15 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

4.2.2 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları

SAC'a ait 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan 20 adet deprem kaydı (LA01-LA20), 9 katlı yapıların dinamik analizlere verdikleri tepkilere göre üç gruba ayrılmıştır. Gruplar şu şekilde tanımlanabilir;

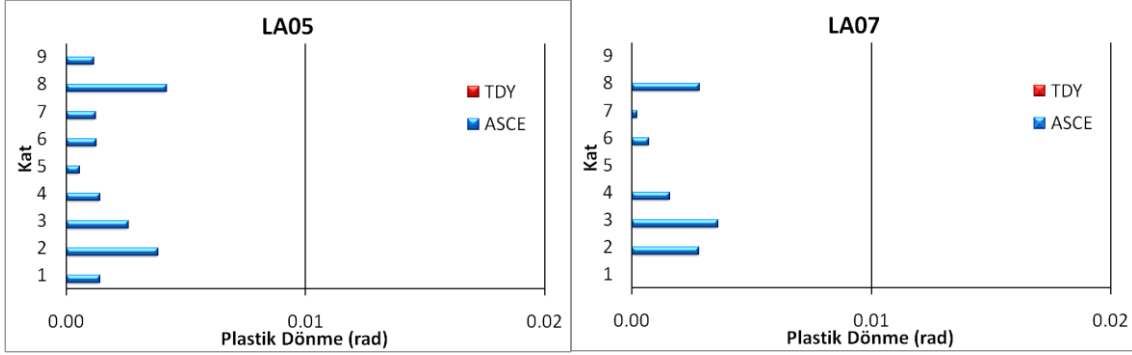
- Grup-I: Yapının kısmen ya da tamamen elastik kaldığı depremler.
- Grup-II: Kiriş uçlarında %1 veya daha az plastik mafsalsal dönmesi meydana getiren depremler.
- Grup-III: Kiriş uçlarında %1 ile %2 arasında plastik mafsalsal dönmesi meydana getiren depremler.

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kayıtlarının gruplara göre dağılımı Çizelge 4.16'da belirtilmiştir.

Grup	Deprem	Plastik Mafsalsal Dönmesi (rad)
I	LA04-LA05-LA06-LA07-LA08-LA12-LA19	\ll %1
II	LA01-LA02-LA03-LA10-LA13-LA17	\leq %1
III	LA09-LA11-LA14-LA15-LA16-LA18-LA20	%1-%2

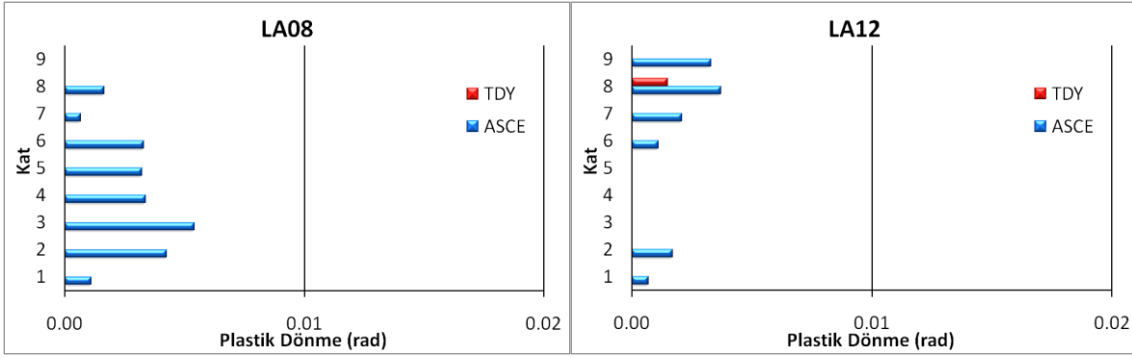
Çizelge 4.16 - 9 Katlı Yapılara ait Deprem Grupları

Şekil 4.32'de ASCE 7-05(2005) ve TDY(2007)'ye göre tasarlanan 9 katlı yapıların I. grup deprem kayıtları kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizler sonucu elde edilen her kat hizasındaki en büyük plastik mafsal dönmeleri görülmektedir.



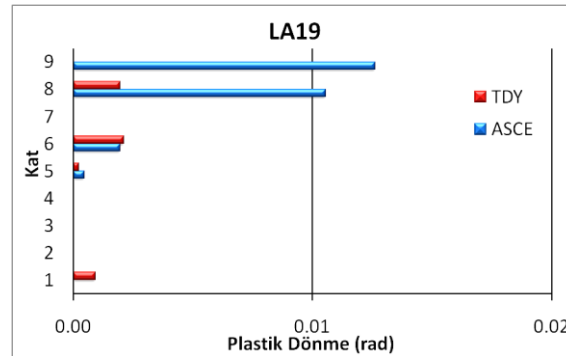
Şekil 4.32.a

Şekil 4.32.b



Şekil 4.32.c

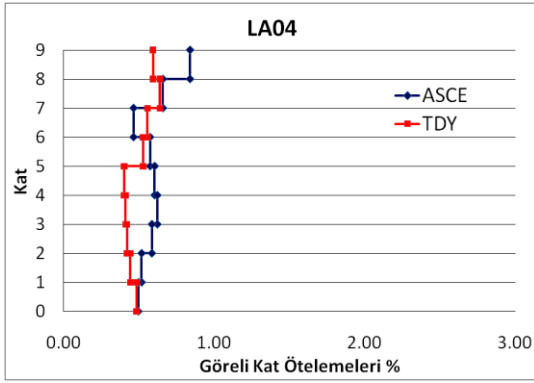
Şekil 4.32.d



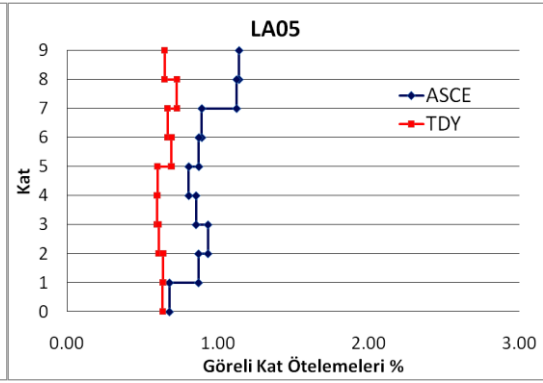
Şekil 4.32.d

Şekil 4.32 incelendiğinde, LA04 ve LA06 depremleri etkisinde yapıların her ikisinin de tamamen elastik kaldığı görülmüştür. LA05, LA07 ve LA08 depremlerinde TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapı tamamen elastik kalırken, ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapının az

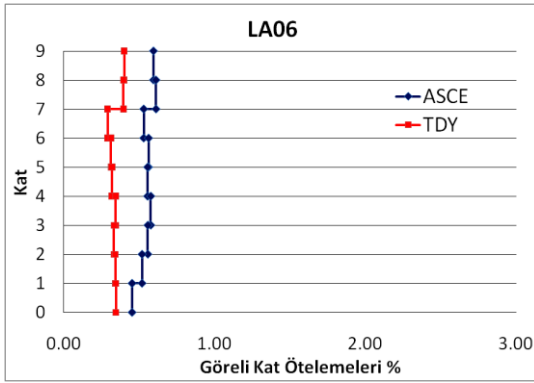
da olsa plastik mafsal dönmesi yaptığı görülmektedir. LA12 ve LA19'da ise iki yapı da bazı katlarda elastik kalırken bazı katlarda kiriş uçlarının plastikleştiği göze çarpmaktadır.



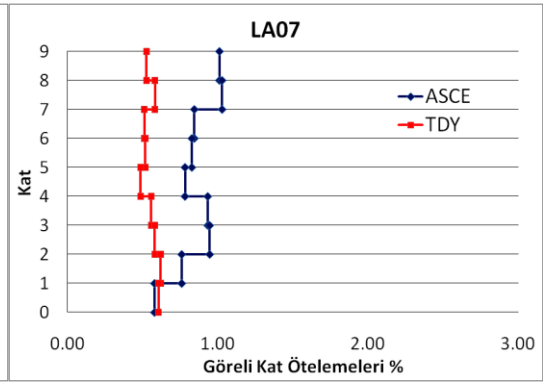
Şekil 4.33.a



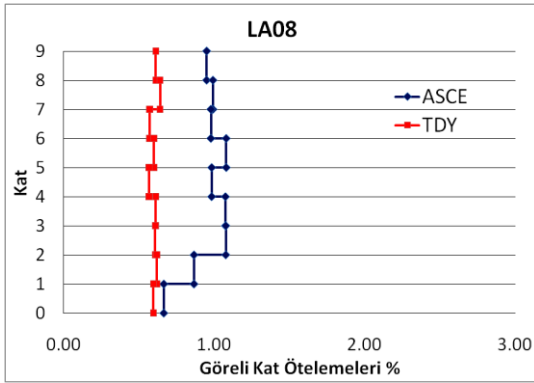
Şekil 4.33.b



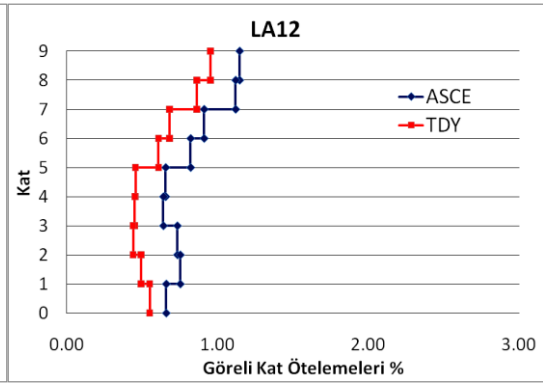
Şekil 4.33.c



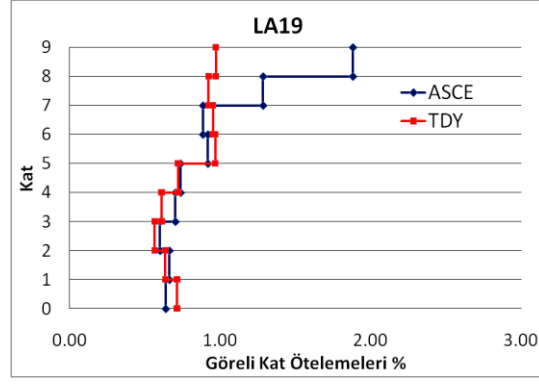
Şekil 4.33.d



Şekil 4.33.e

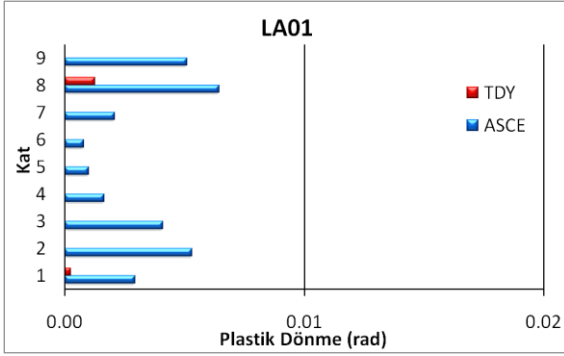


Şekil 4.33.f

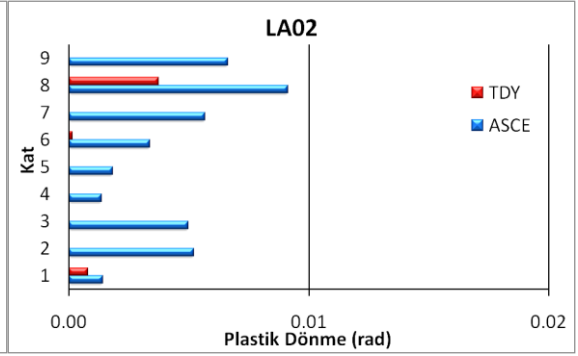


Şekil 4.33.e

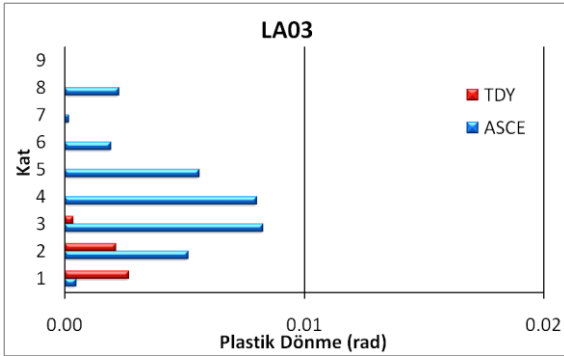
Şekil 4.33'de yapıların I. grup depremler etkisinde yapmış olduğu görel kat ötelemeleri görülmektedir. Yapıların her ikisinin de LA19 dışındaki depremlerde en fazla %1 civarında görel kat ötelemesi yaptığı ve genel olarak yapıların görel kat ötelemesi açılarının sabit olduğu görülmektedir. Görel kat ötelemeleri ve plastik mafsalsal dönmeleri birlikte değerlendirildiğinde, yapıların her ikisinin de I. grup depremlerin bir kısmında hiç hasar almadığı kalanında ise çok az hasar aldığı açıkça görülmektedir.



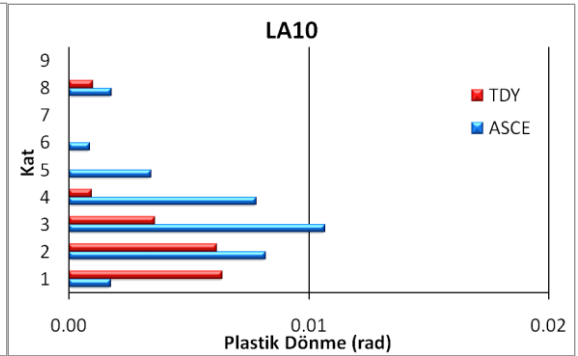
Şekil 4.34.a



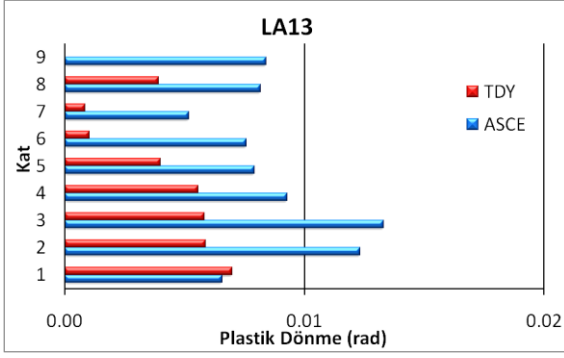
Şekil 4.34.b



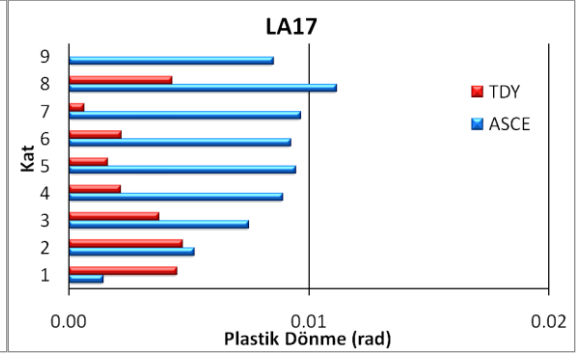
Şekil 4.34.c



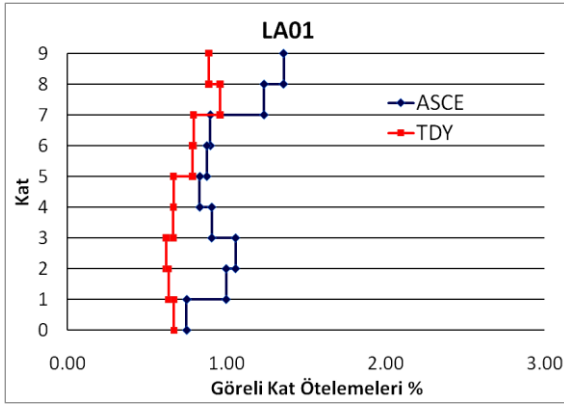
Şekil 4.34.d



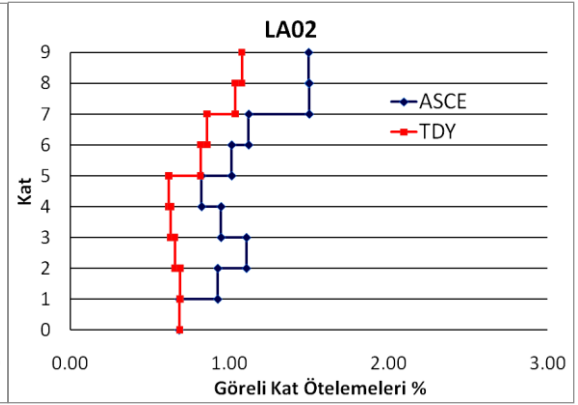
Şekil 4.34.c



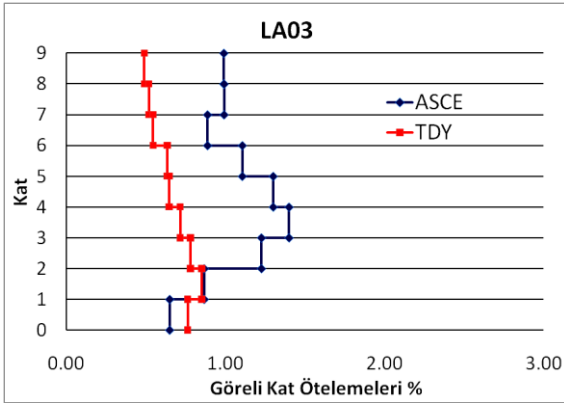
Şekil 4.34.d



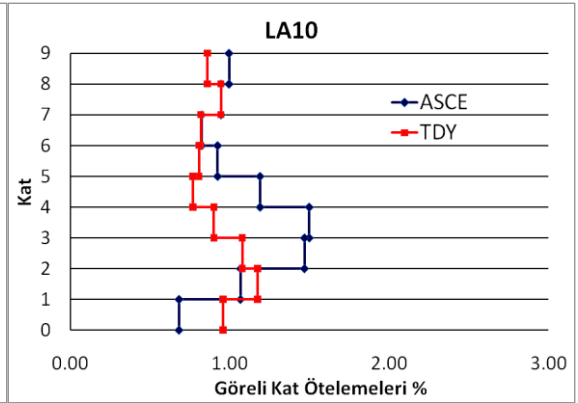
Şekil 4.35.a



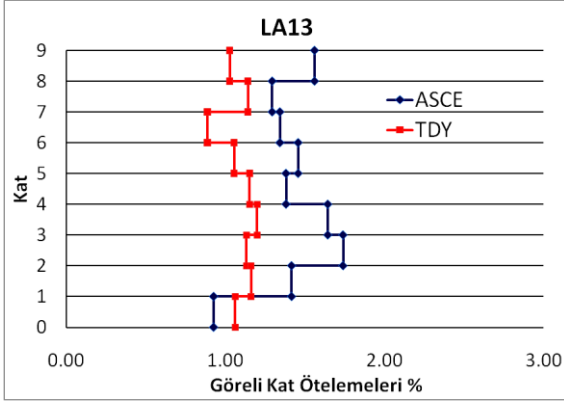
Şekil 4.35.b



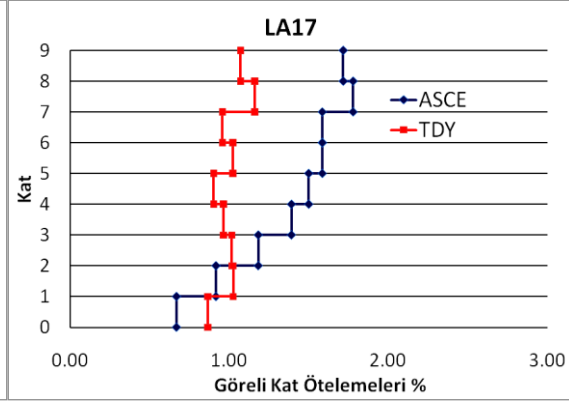
Şekil 4.35.c



Şekil 4.35.d

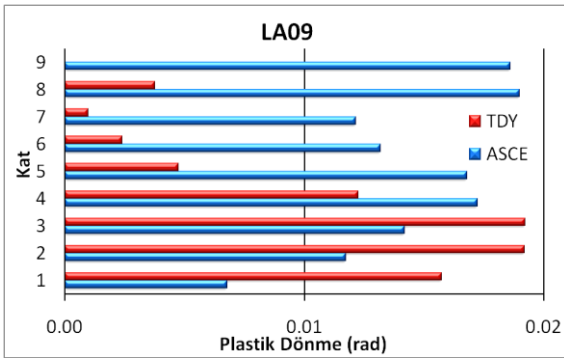


Şekil 4.35.e

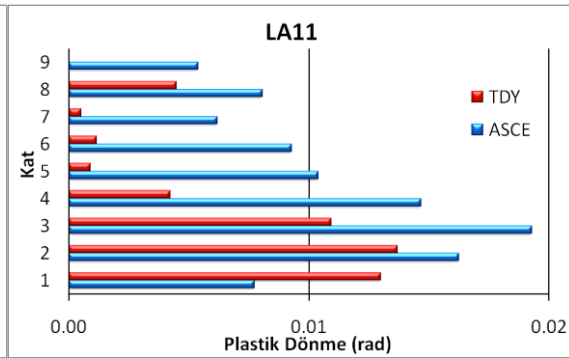


Şekil 4.35.f

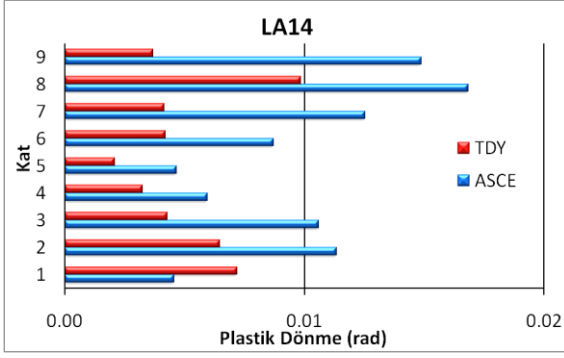
Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de 9 katlı yapıların II. grup depremler etkisinde, sırasıyla, plastik mafsallı dönmeleri ve göreli kat ötelemeleri verilmiştir. Plastik mafsallı dönmeleri ve göreli kat ötelemeleri bakımından yapılar ayrı ayrı değerlendirilirse; LA01, LA02 ve LA03 etkisinde TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının katların çoğunda elastik kaldığı diğer katlarda ise çok az plastik mafsallı dönmesi yaptığı ve göreli kat ötelemesi değerlerinin %1'in kaldığı görülmektedir. LA10, LA13 ve LA17 etkisinde ise katların çoğunda %1'in altında plastik mafsallı dönmesi ve tüm katlarda neredeyse sabit şekilde %1'lik göreli kat ötelemesi değerleri gözlenmiştir. ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapı, LA01, LA02 ve LA03 etkisinde tüm katlarda %1'in altında, LA10, LA13 ve LA17 etkisinde ise bazı katlarda %1'in üzerinde plastik mafsallı dönmesi yapmıştır. Görel kat ötelemelerinin ise genel olarak %1 ile %2 arasında değerler aldığı görülmüştür.



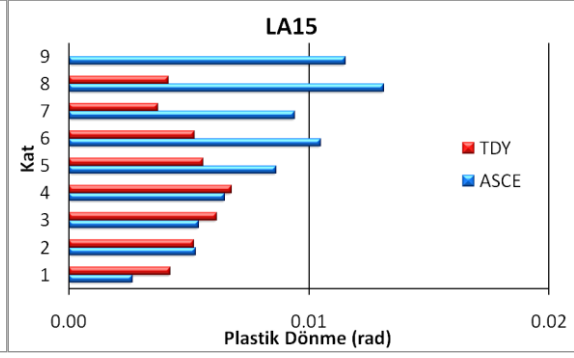
Şekil 4.36.a



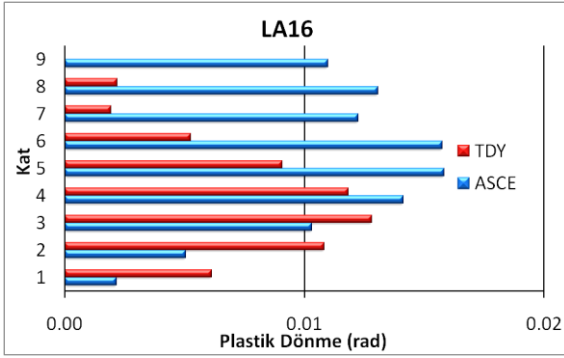
Şekil 4.36.b



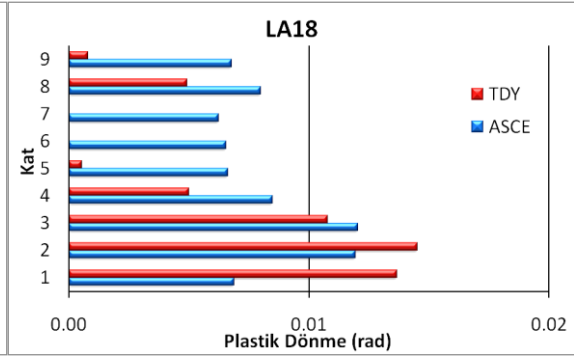
Şekil 4.36.c



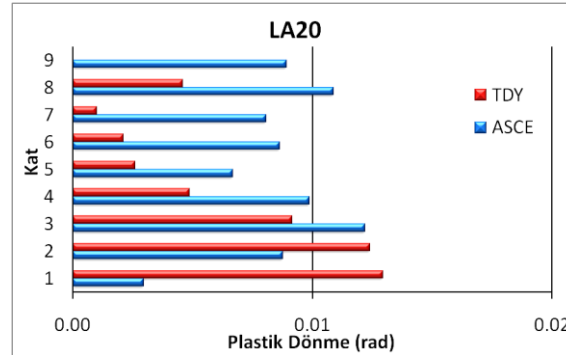
Şekil 4.36.d



Şekil 4.36.e

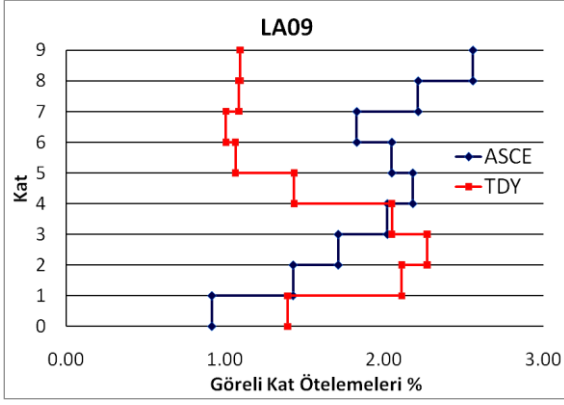


Şekil 4.36.f

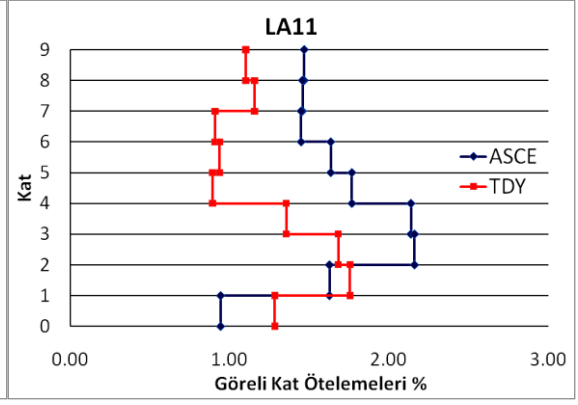


Şekil 4.36.f

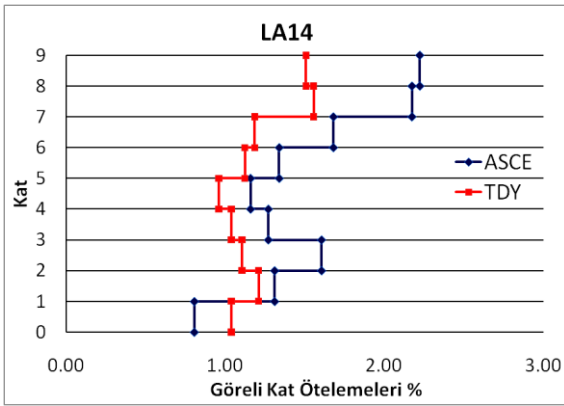
III. grup depremler etkisinde yapıların %1'den fazla plastik mafsal dönmesi yaparken, LA09'da bu değer %2'ye yaklaştığı görülmektedir. Göreli kat ötelemeleri açısından, yapıların %1 ile %2 arasında değerler aldığı ve bazen %2'yi az da olsa geçtiği görülmektedir. Gerek plastik mafsal dönmeleri gerekse göreli kat ötelemeleri açısından ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapının, TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapıdan daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.



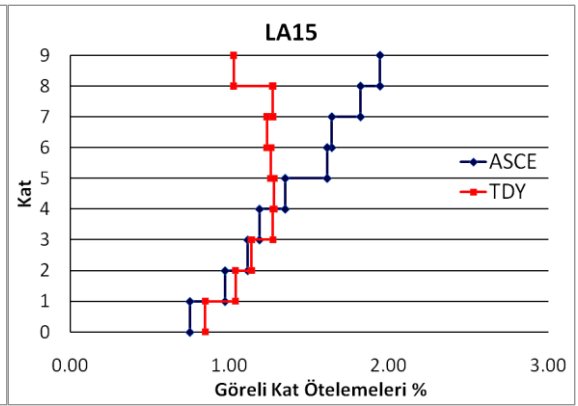
Şekil 4.37.a



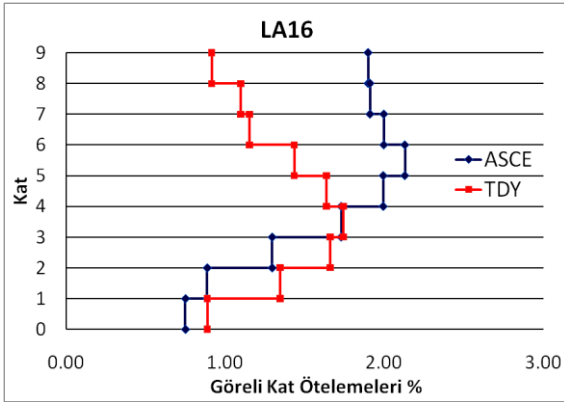
Şekil 4.37.b



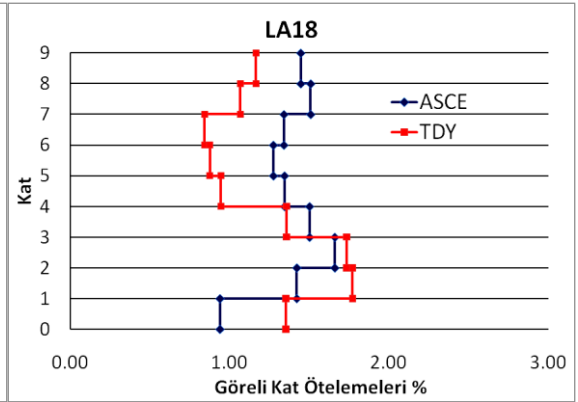
Şekil 4.37.c



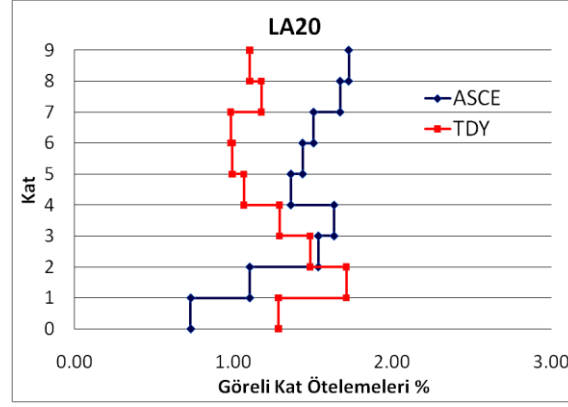
Şekil 4.37.d



Şekil 4.37.e

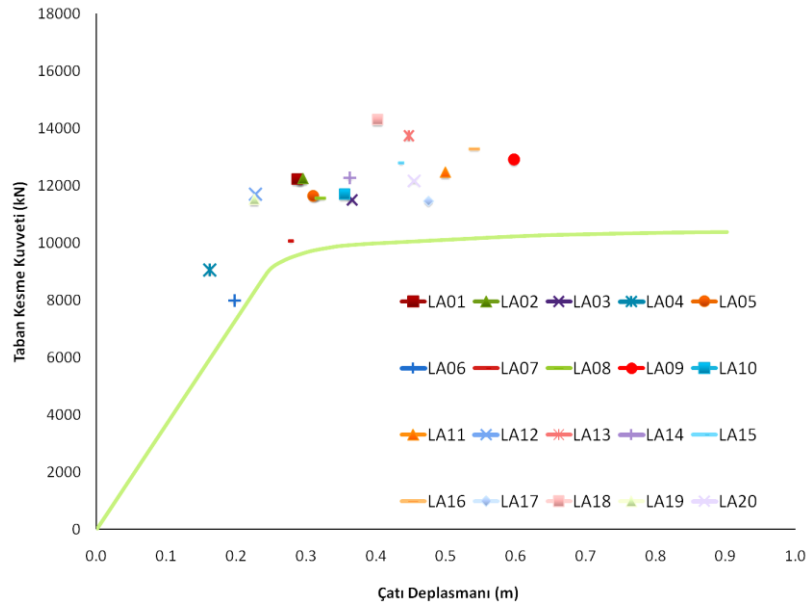


Şekil 4.37.f

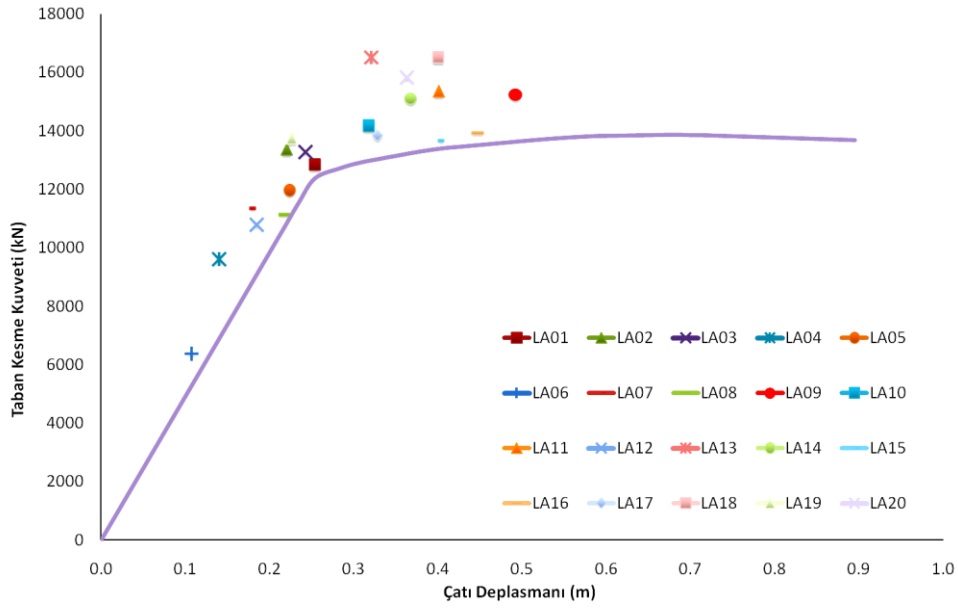


Şekil 4.37.g

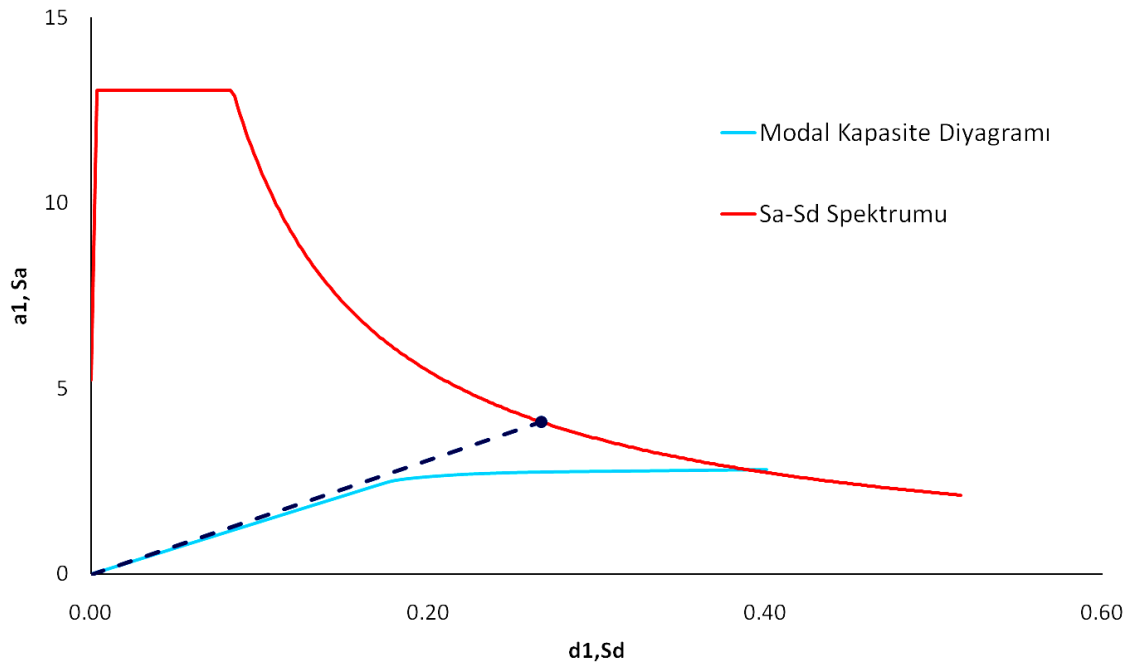
Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da sırasıyla ASCE 7-05(2005)'e ve TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapılardan doğrusal elastik olmayan statik itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisi ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kayıtları kullanılarak elde edilen en büyük çatı yer değiştirmesi ve en büyük taban kesme kuvveti değerleri gösterilmiştir. 9 katlı yapıların her ikisinde de en büyük yer değiştirme değerinin, plastik mafsal dönmeleri ve göreceli kat ötelemelerinde olduğu gibi LA09 depreminden elde edildiği görülmektedir. Yapıların tamamen veya kısmen elastik kaldığı depremlerin (I. grup) yapıların kapasite eğrisi üzerinde de elastik bölgede kaldığı, nispeten daha büyük plastik deformasyonlar yaptıran II. grup depremlerin yapının aktığı veya henüz plastikleştiği ve III. grup depremlerin yapının plastikleştiği bölgede yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.38 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri



Şekil 4.39 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Kapasite Eğrisi ve En Büyük Yer Değiştirme Değerleri



Şekil 4.40 - ASCE 7-05 (2005)'e Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu

$$\Rightarrow S_{a1} = \frac{S_{D1}}{T_1} = \frac{0.67}{1.602} = 0.418g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 0.418 \times 9.81 = 4.10m / sn^2$$

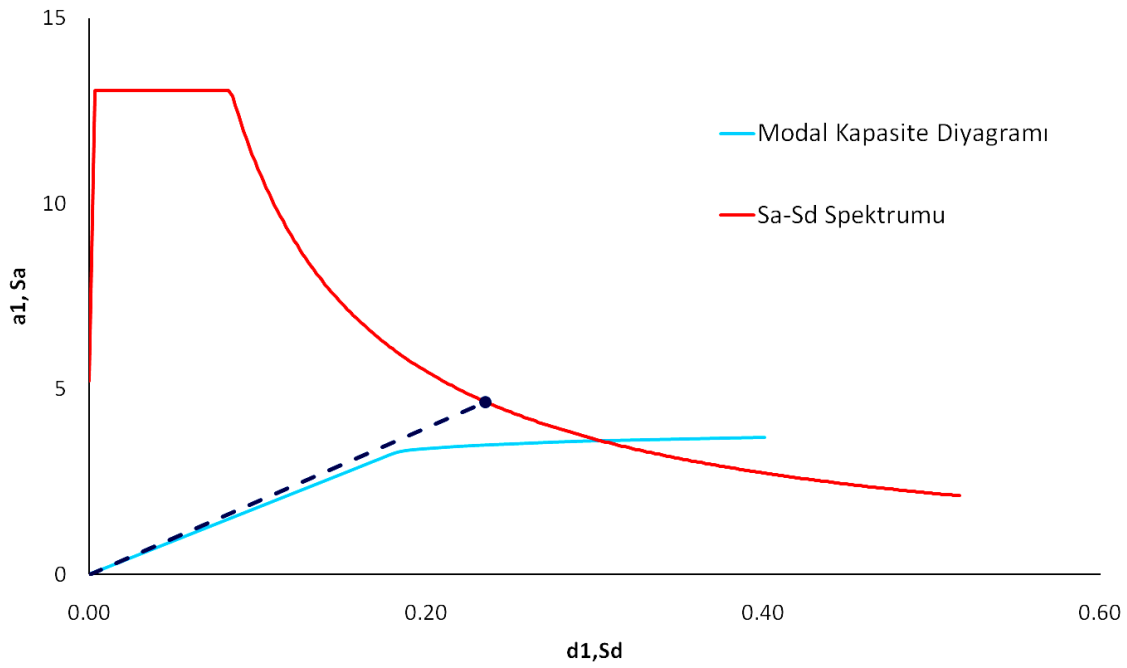
$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

$$\Rightarrow S_{del} = \frac{1.602^2}{4\pi^2} \times 4.10 = 0.2665m \quad (T_1 > T_S \rightarrow S_{del} = S_{dil} \rightarrow S_{dil} = d_1)$$

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1 \Rightarrow d_1 = S_{dil} = S_{del} = 0.21; \phi_{n1} = 0.02687; \Gamma_1 = 51.642$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.2665 \times 0.02687 \times 51.642 = 0.3698m$$

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{36.98}{11.52} = 3.21$$



Şekil 4.41 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan Yapının Modal Kapasite Diyagramı - Tasarım Depremine ait İvme-Yer Değiştirme Spektrumu

$$\Rightarrow S_{a1} = \frac{S_{D1}}{T_1} = \frac{0.67}{1.41} = 0.475g$$

$$\Rightarrow S_{ae1} = 0.475 \times 9.81 = 4.66m / sn^2$$

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

$$\Rightarrow S_{del} = \frac{1.41^2}{4\pi^2} \times 4.66 = 0.2347m \quad (T_1 > T_S \rightarrow S_{del} = S_{dil} \rightarrow S_{dil} = d_1)$$

$$u_{n1} = d_1 \phi_{n1} \Gamma_1 \Rightarrow d_1 = S_{dil} = S_{del} = 0.1804; \phi_{n1} = 0.0261; \Gamma_1 = 52.44$$

$$\Rightarrow u_{n1} = 0.2347 \times 0.0261 \times 52.44 = 0.3212m$$

$$C_d = \frac{u_{n1}}{\Delta_d} = \frac{32.12}{8.66} = 3.71$$

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değişirmesi (cm)	Tasarım Yer Değişirmesi (cm)	Yer Değişirme Arttırma Katsayısı (C _d)
LA01	II	28.73	11.52	2.49
LA02	II	29.57		2.57
LA03	II	36.60		3.18
LA04	I	16.24		1.41
LA05	I	31.06		2.70
LA06	I	19.77		1.72
LA07	I	27.43		2.38
LA08	I	32.05		2.78
LA09	III	59.73		5.19
LA10	II	35.51		3.08
LA11	III	49.90		4.33
LA12	I	22.74		1.97
LA13	II	44.65		3.88
LA14	III	36.22		3.14
LA15	III	43.19		3.75
LA16	III	54.08		4.69
LA17	II	47.54		4.13
LA18	III	40.25		3.49
LA19	I	22.57		1.96
LA20	III	45.42		3.94

Çizelge 4.17 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C _d Değerleri	Ortalama C _d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C _d Değeri
I	2.13	3.13	3.21
II	3.22		
III	4.08		

Çizelge 4.18 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 9 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değişirmesi (cm)	Tasarım Yer Değişirmesi (cm)	Yer Değişirme Arttırma Katsayısı (C _d)
LA01	II	25.38	8.66	2.93
LA02	II	22.08		2.55
LA03	II	24.26		2.80
LA04	I	14.01		1.62
LA05	I	22.39		2.59
LA06	I	10.76		1.24
LA07	I	17.70		2.04
LA08	I	21.74		2.51
LA09	III	49.22		5.68
LA10	II	31.76		3.67
LA11	III	40.15		4.64
LA12	I	18.46		2.13
LA13	II	32.08		3.70
LA14	III	36.81		4.25
LA15	III	40.05		4.63
LA16	III	44.72		5.16
LA17	II	32.80		3.79
LA18	III	40.01		4.62
LA19	I	22.62		2.61
LA20	III	36.31		4.19

Çizelge 4.19 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C _d Değerleri	Ortalama C _d Değeri	ADRS Yöntemiyle Elde Edilen C _d Değeri
I	2.11	3.38	3.71
II	3.24		
III	4.74		

Çizelge 4.20 - TDY (2007)'ye Göre Tasarlanan 4 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

4.3 20 Katlı Yapıların Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Sonuçları

Bu bölümde 20 katlı yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kayıtları kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerin sonuçları irdelenecektir. 20 katlı yapılar yüksek mod etkilerinden dolayı doğrusal elastik olmayan statik itme analizine tabi tutulmayacaktır.

4.3.1 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları

SAC'a ait 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan 20 adet deprem kaydı (LA21-LA40), 20 katlı yapıların doğrusal elastik olmayan dinamik analizlere verdikleri tepkilere göre üç gruba ayrılmıştır [4]. Gruplar şu şekilde tanımlanabilir;

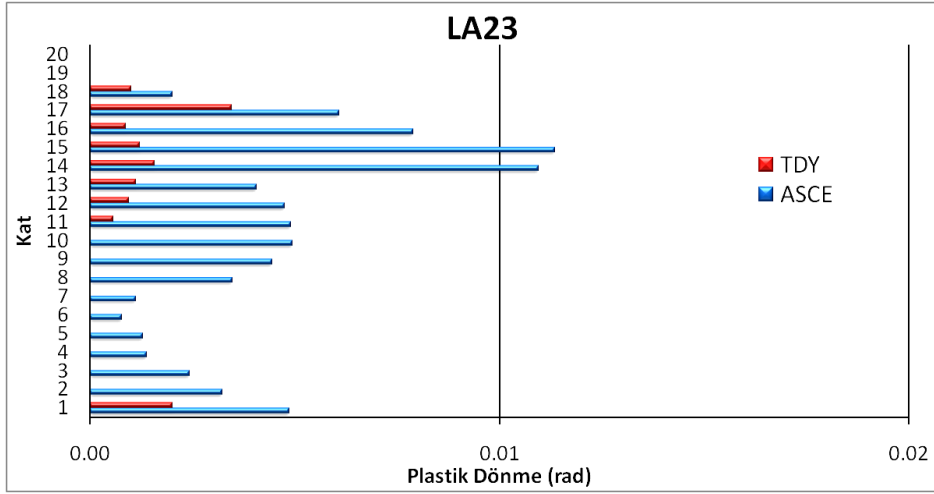
- i. Grup-I: %1 veya %1'e yakın görel kat ötelemesi meydana getiren depremler.
- ii. Grup-II: %2 ile %3 arasında görel kat ötelemesi meydana getiren depremler.
- iii. Grup-III: %3'ün üzerinde görel kat ötelemesi meydana getiren depremler.

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem kayıtlarının gruplara göre dağılımı Çizelge 4.21'de belirtilmiştir.

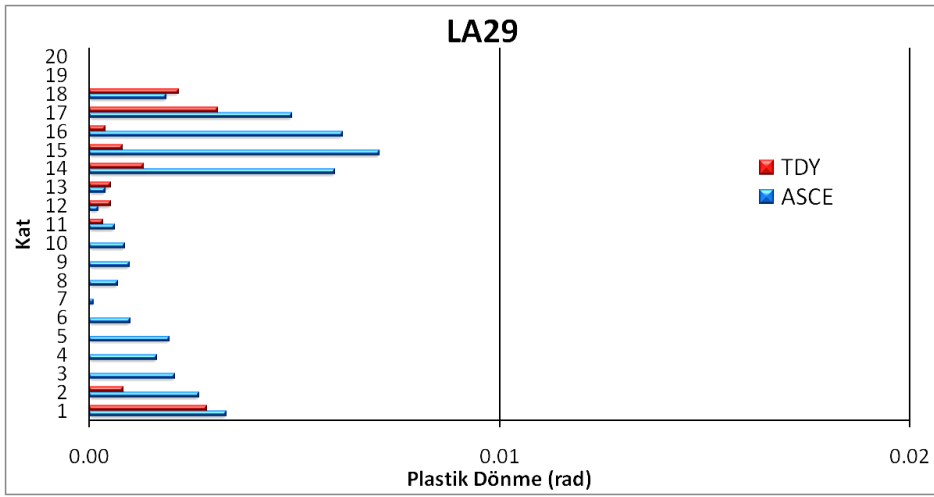
Grup	Deprem	Görel Kat Ötelemesi
I	LA23-LA29-LA31-LA39	~ %1
II	LA21-LA22-LA25-LA26-LA27-LA28-LA30-LA32-LA33-LA34-LA37-LA40	%2 - %3
III	LA35-LA36-LA38-LA40	≤ %3

Çizelge 4.21 - 20 Katlı Yapıya ait Deprem Grupları

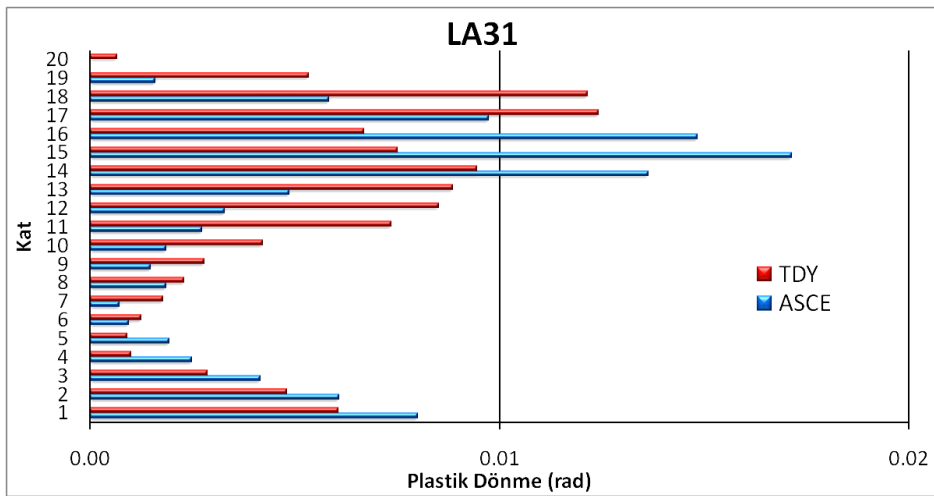
ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıların I. grup depremlere tabi tutulması sonucu elde edilen plastik mafsal dönmeleri ve görel kat ötelemesi değerleri, sırasıyla Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



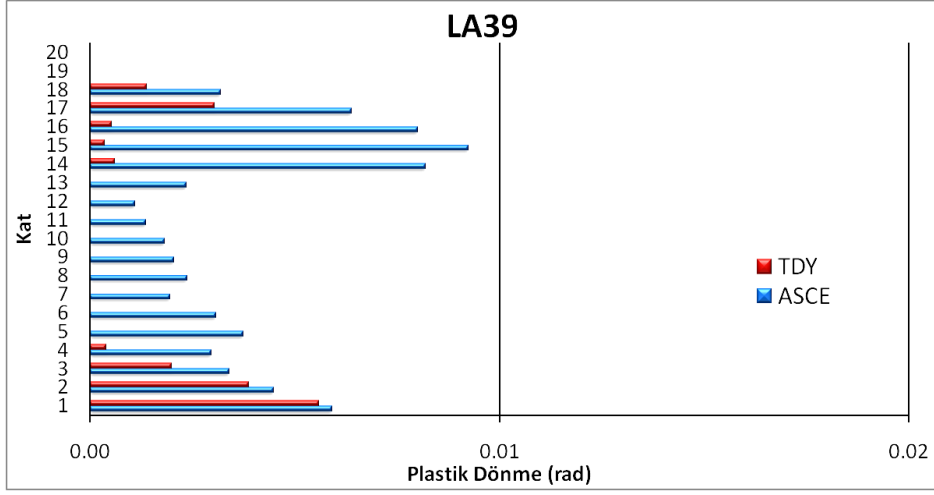
Şekil 4.42.a



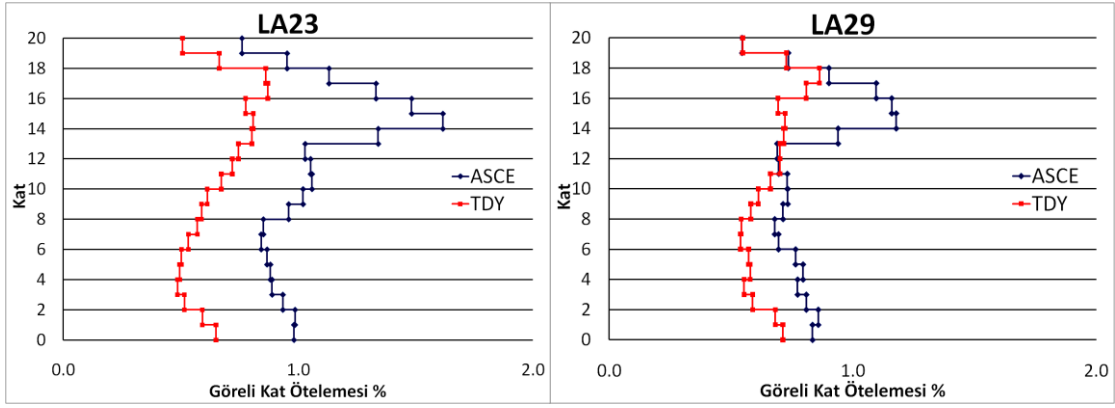
Şekil 4.42.b



Şekil 4.42.c

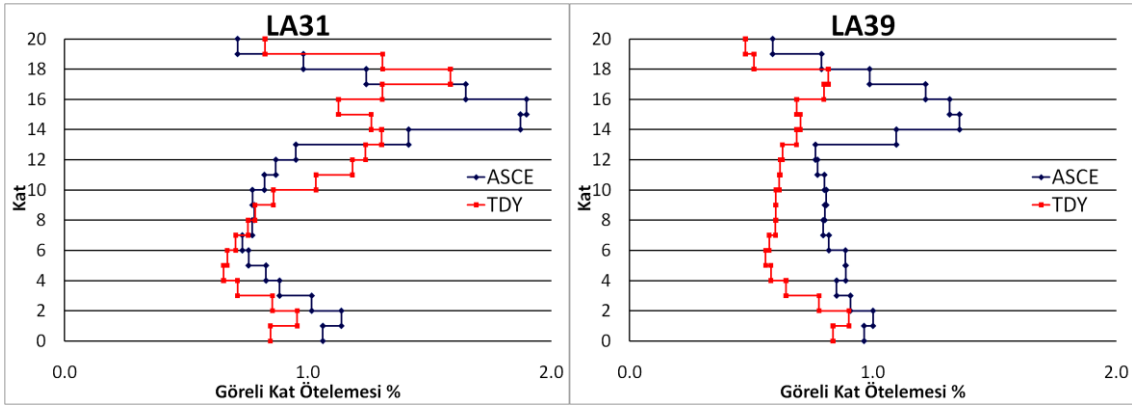


Şekil 4.42.d



Şekil 4.43.a

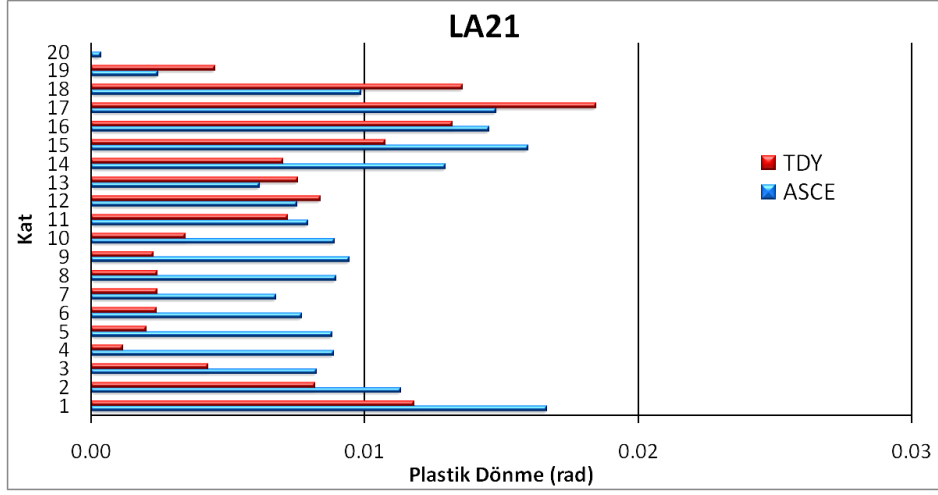
Şekil 4.43.b



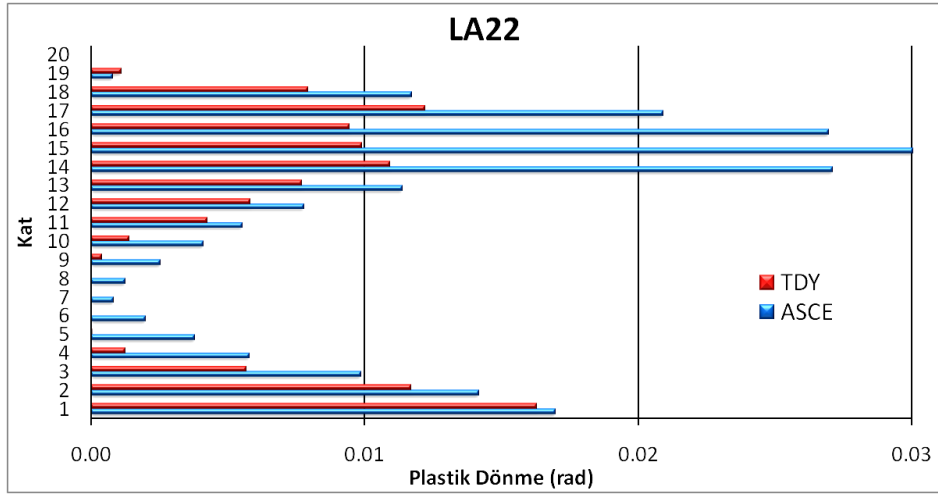
Şekil 4.43.c

Şekil 4.23.d

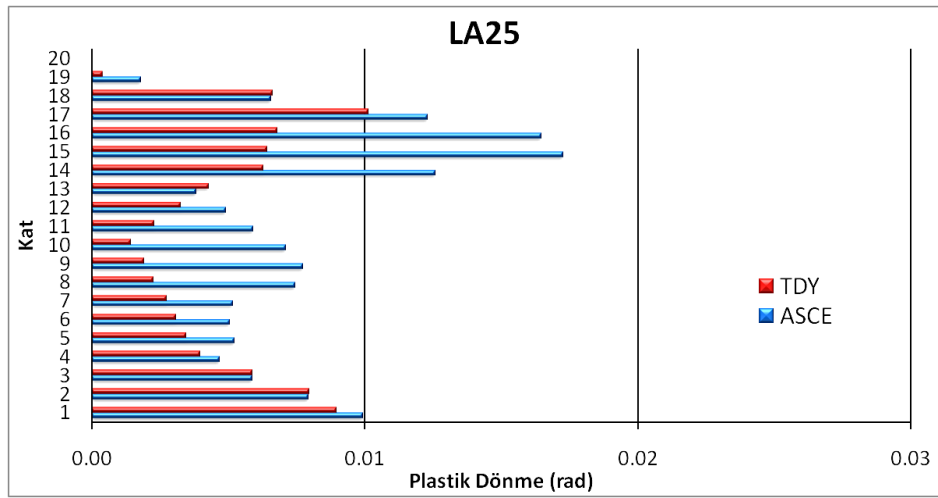
ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıların II. grup depremlere tabi tutulması sonucu elde edilen plastik mafsal dönmeleri Şekil 4.44'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



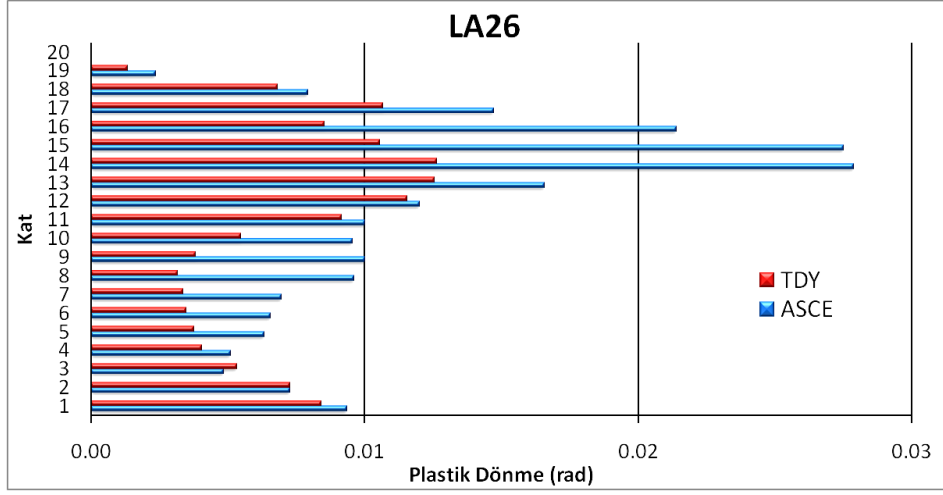
Şekil 4.44.a



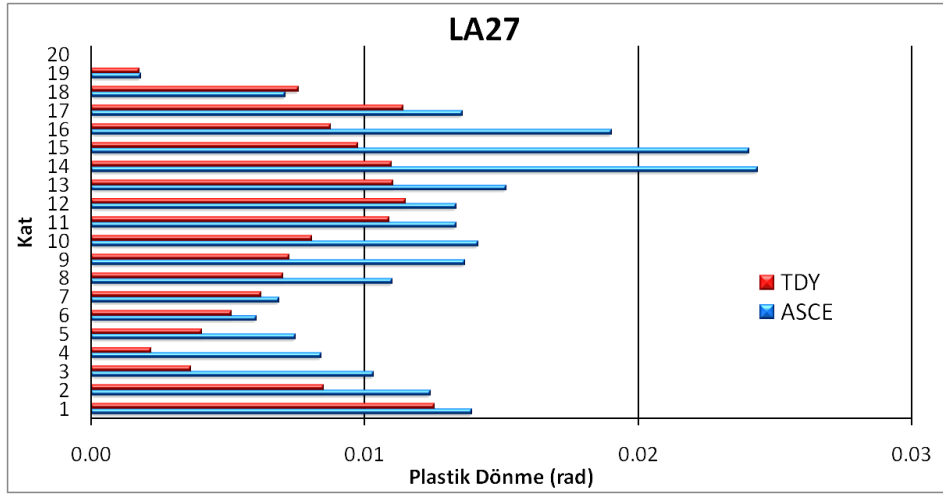
Şekil 4.44.b



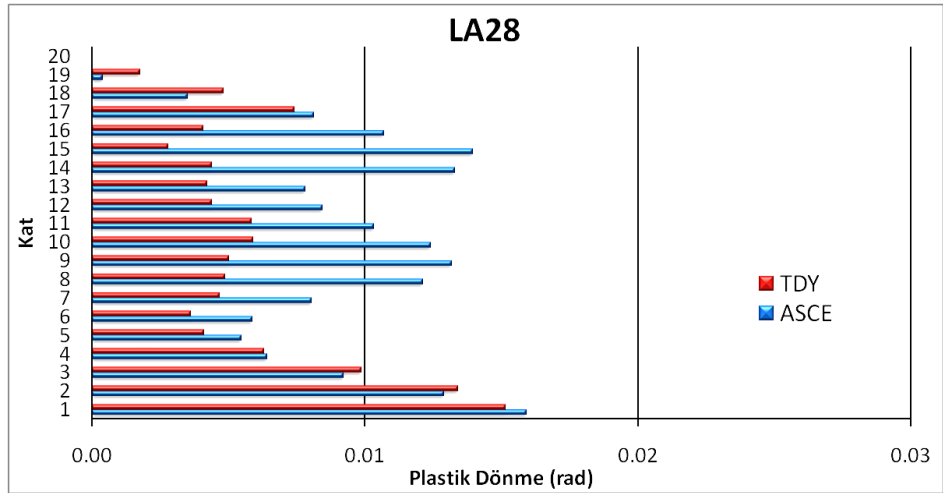
Şekil 4.44.c



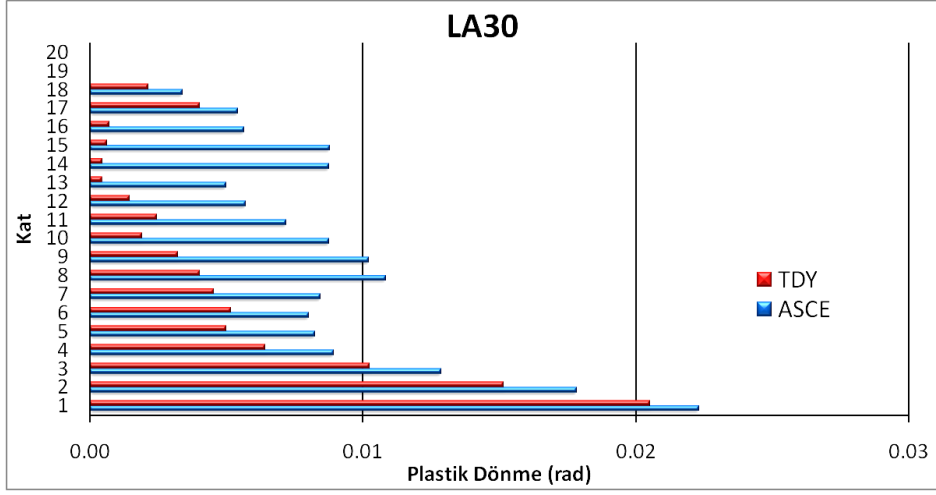
Şekil 4.44.d



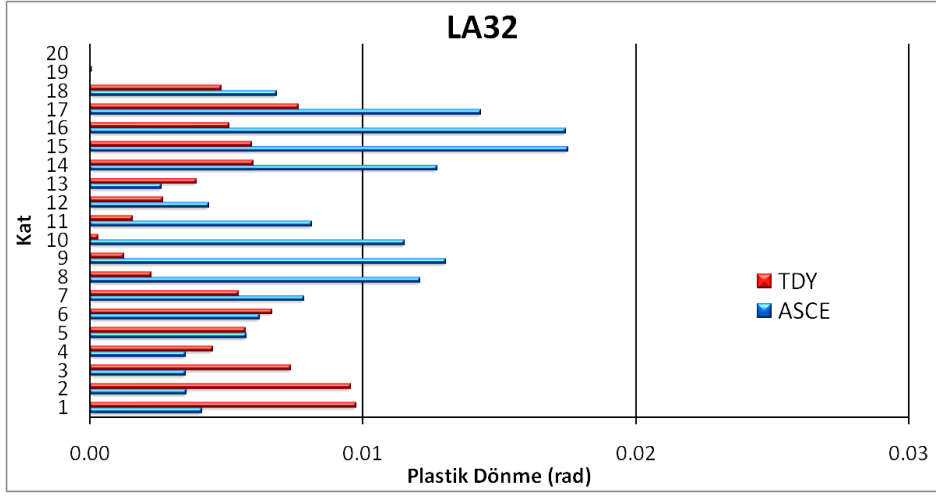
Şekil 4.44.e



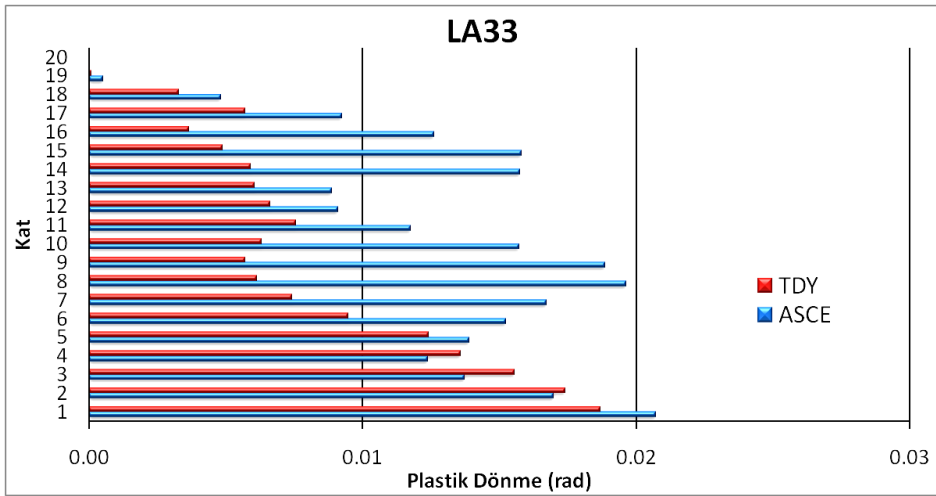
Şekil 4.44.f



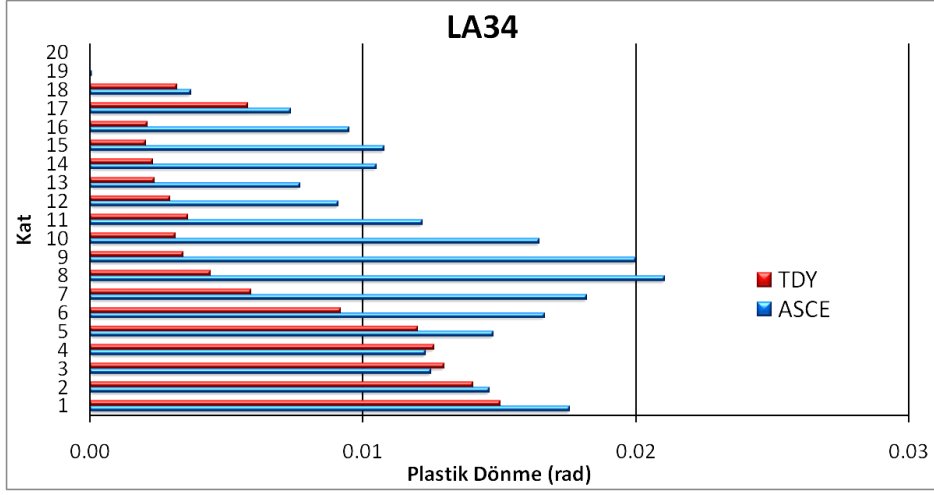
Şekil 4.44.g



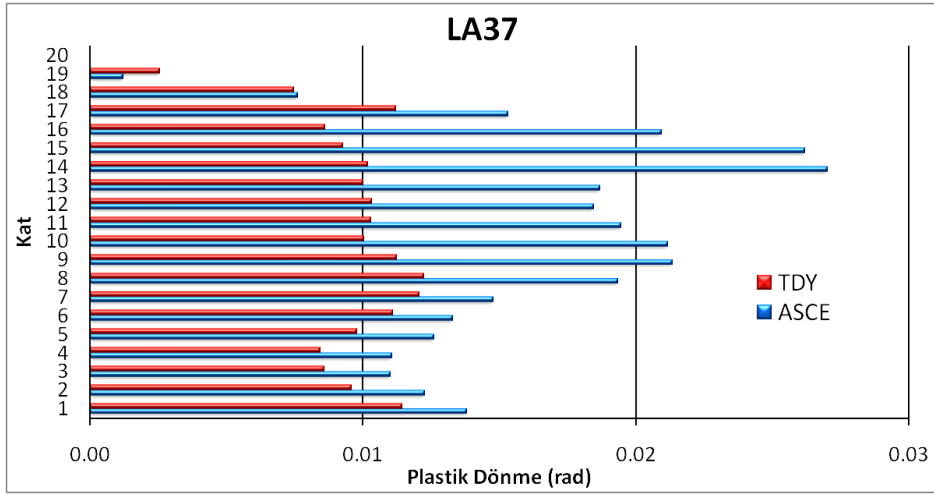
Şekil 4.44.h



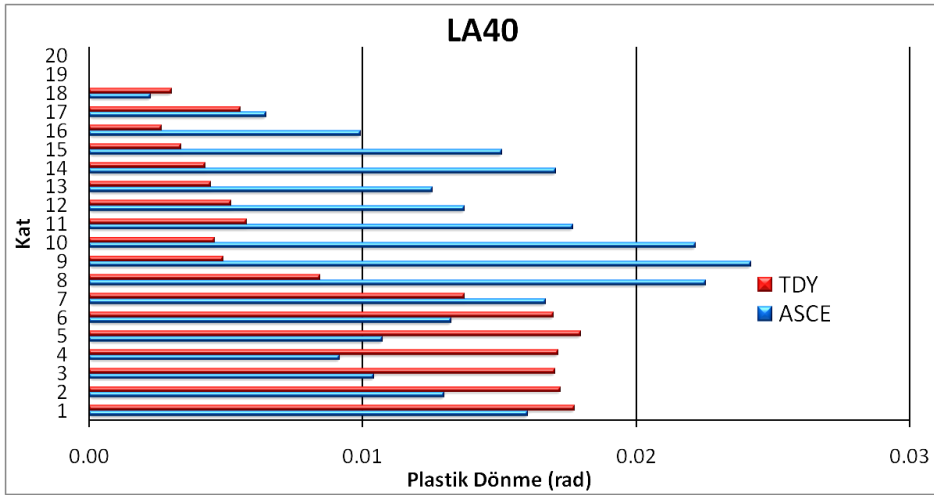
Şekil 4.44.i



Şekil 4.44.j

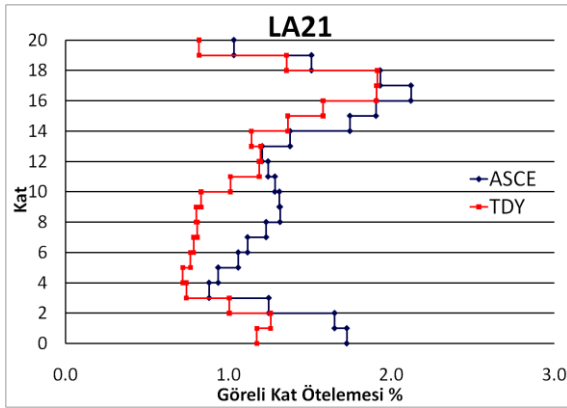


Şekil 4.44.k

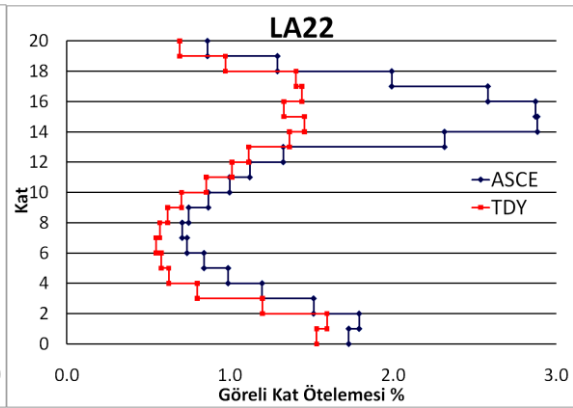


Şekil 4.44.l

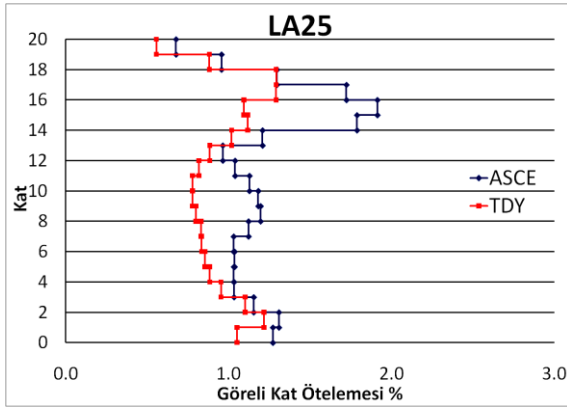
II. grup depremler etkisinde ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapının %2 civarında veya üzerinde plastik mafsal dönmesi yaptığı, LA22'de ise plastik mafsal dönmelerinin %3'e ulaştığı görülmektedir. İki yapının da II. grup depremlere benzer tepkiler verdiği görülürken ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapının hemen tüm depremlerde ve tüm katlarda daha fazla plastik dönme yaptığı göze çarpmaktadır. Göreli kat ötelemelerinde de durum değişmezken, en büyük göreli kat ötelemesi değerleri LA22 ve LA26 depremlerinden yaklaşık %3 olarak elde edilmiştir.



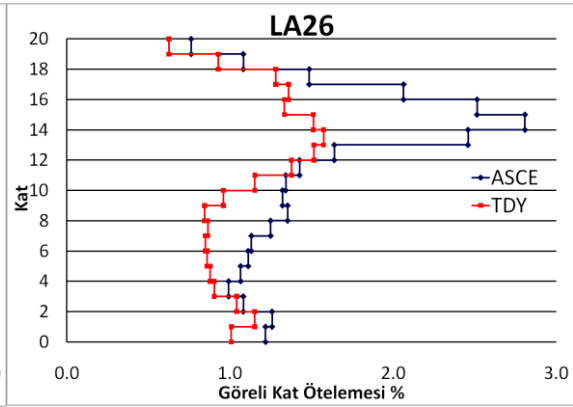
Şekil 4.45.a



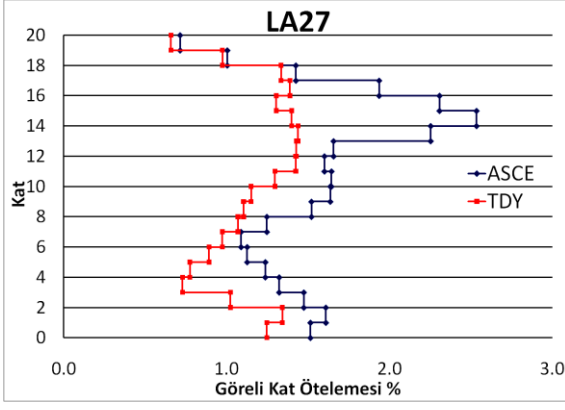
Şekil 4.45.b



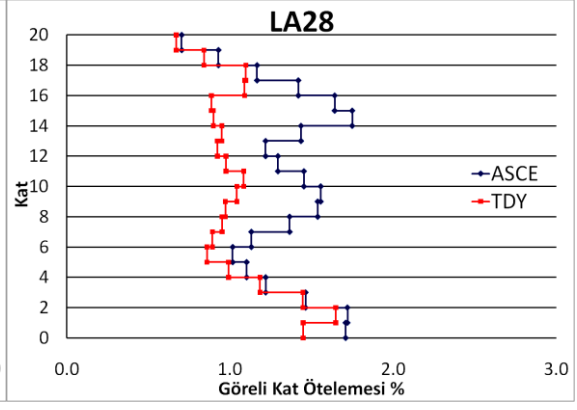
Şekil 4.45.c



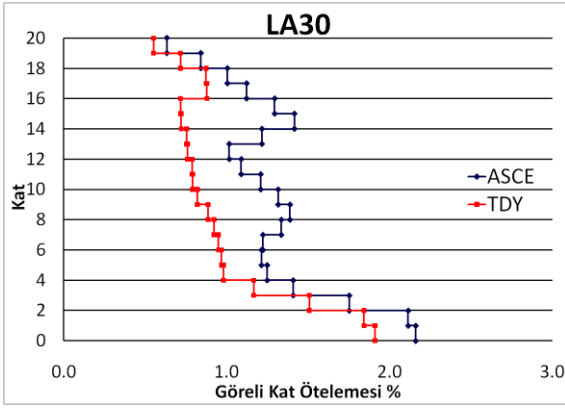
Şekil 4.45.d



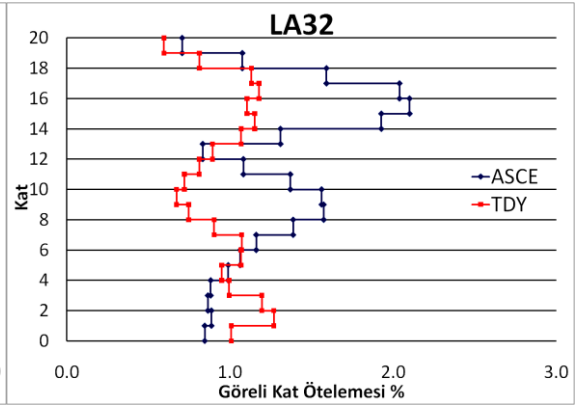
Şekil 4.45.e



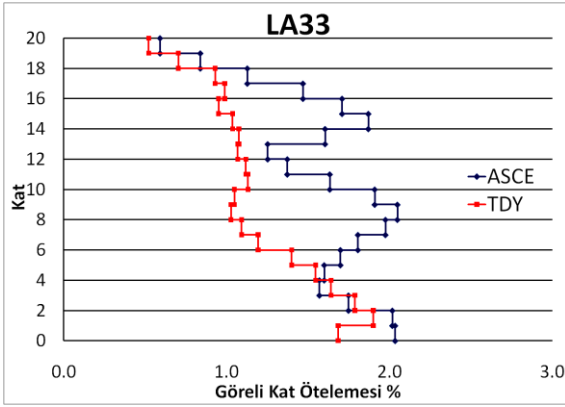
Şekil 4.45.f



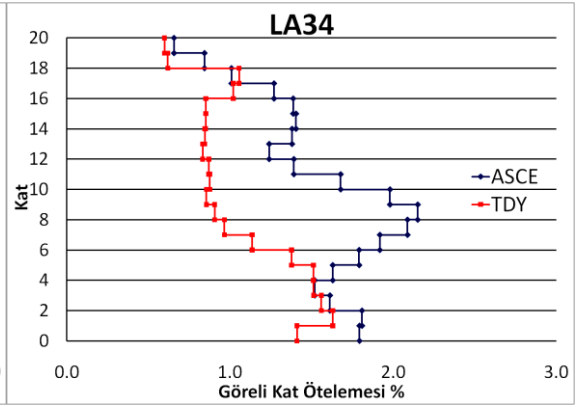
Şekil 4.45.g



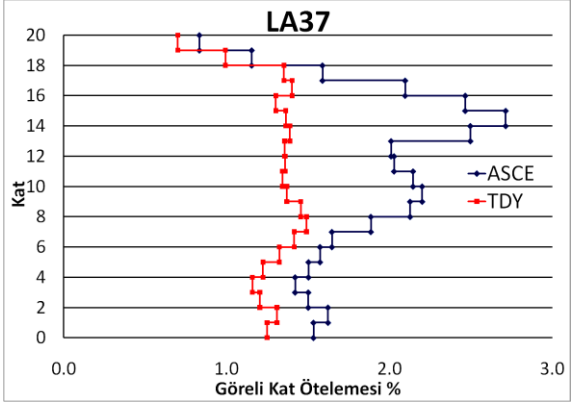
Şekil 4.45.h



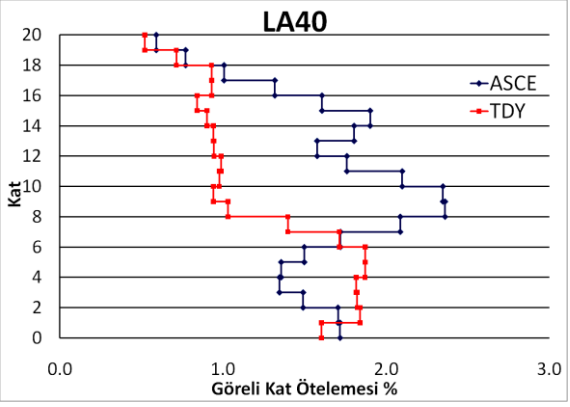
Şekil 4.45.i



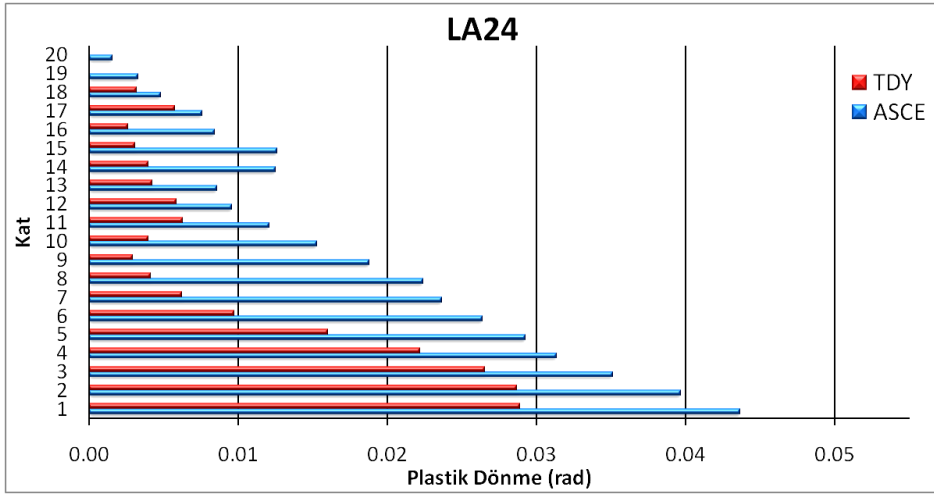
Şekil 4.45.j



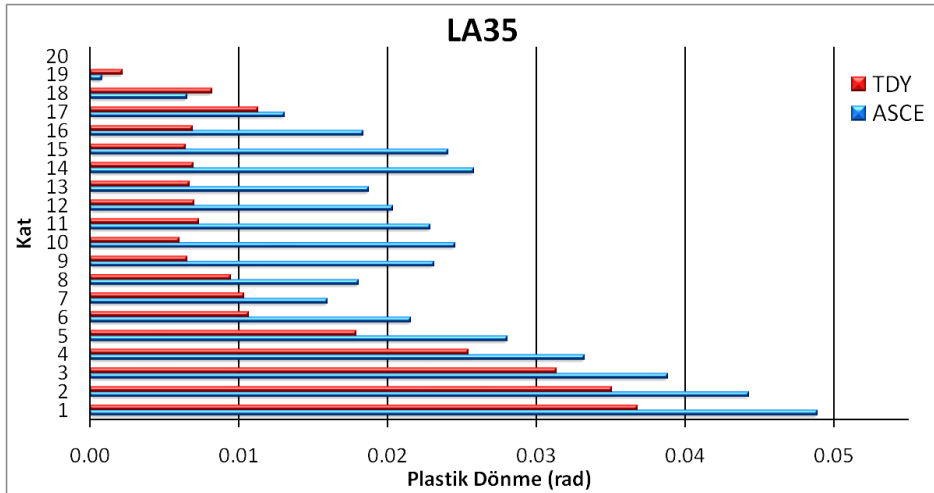
Şekil 4.45.k



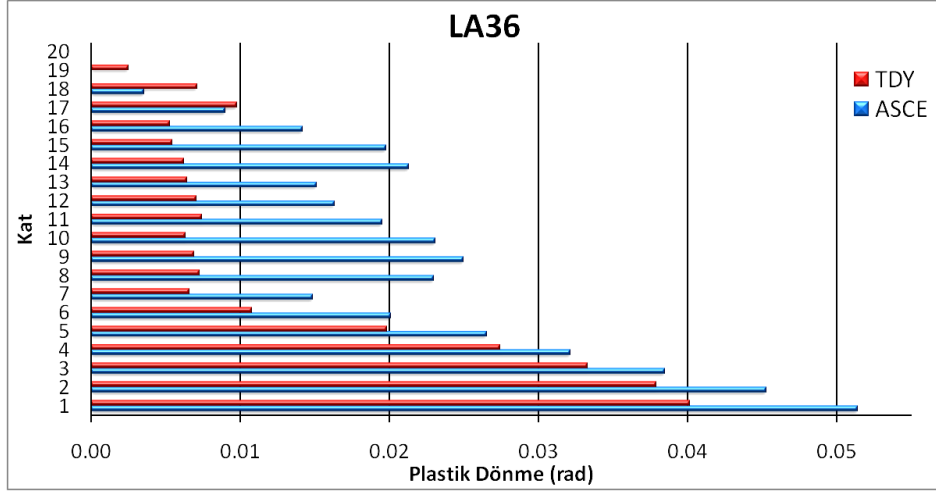
Şekil 4.45.1



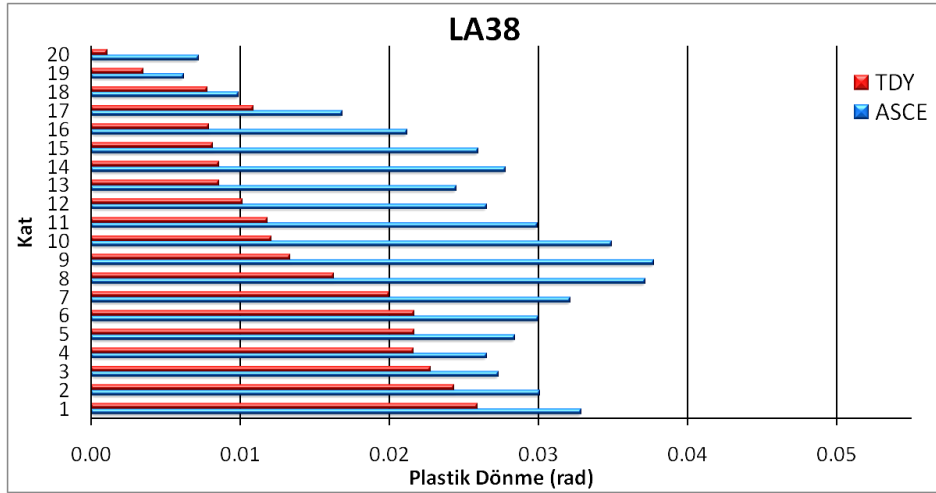
Şekil 4.46.a



Şekil 4.46.b

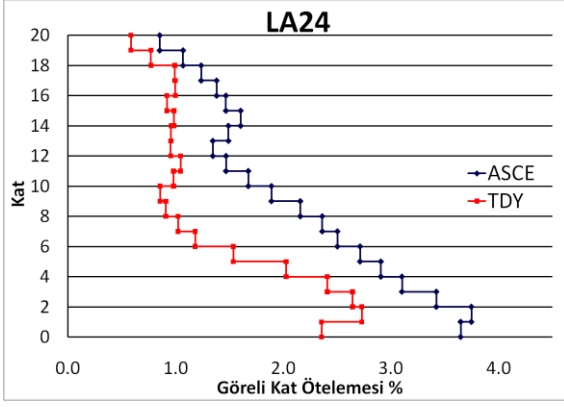


Şekil 4.46.c

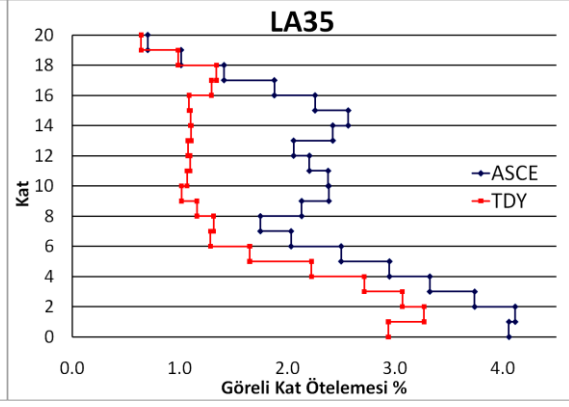


Şekil 4.46.d

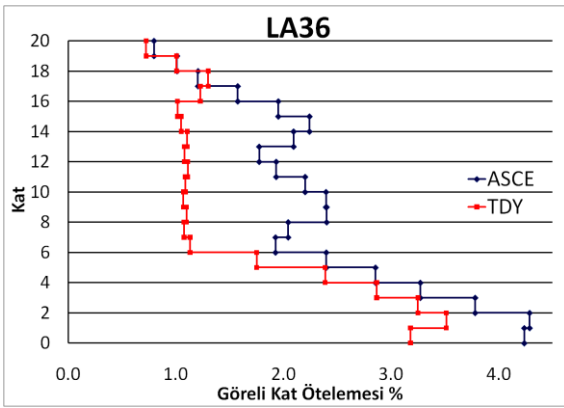
ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan 20 katlı yapıda LA38 depreminin %4'e yakın, LA24, LA35 ve LA36 ise %4'ün üzerinde plastik mafsalsal dönmesi meydana getirdiği görülmektedir. Aynı depremlerin TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıda ise %3 ve üzerinde plastik mafsalsal dönmesi meydana getirdiği ve her iki yapının da en büyük plastik mafsalsal dönmelerinin LA36 depreminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.46). Göreli kat ötelemelerinin ASCE 7-05(2005)'e göre tasarlanan yapıda III. grup olarak nitelendirilen depremlerin her birinde %3'ün üzerinde olduğu LA35 ve LA36'da ise bu değer %4'ü az da olsa aştığı görülmektedir. Ayrıca III. grup depremlere maruz kalan 20 katlı yapılardan ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının tüm katlarda daha fazla ötelendiği ve her iki yapının da göreli kat ötelemesi açılarının katlar boyunca sürekli değiştiği söylenebilir (Şekil 4.47).



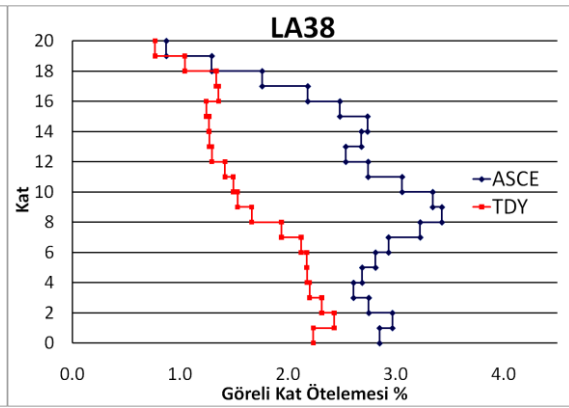
Şekil 4.47.a



Şekil 4.47.b



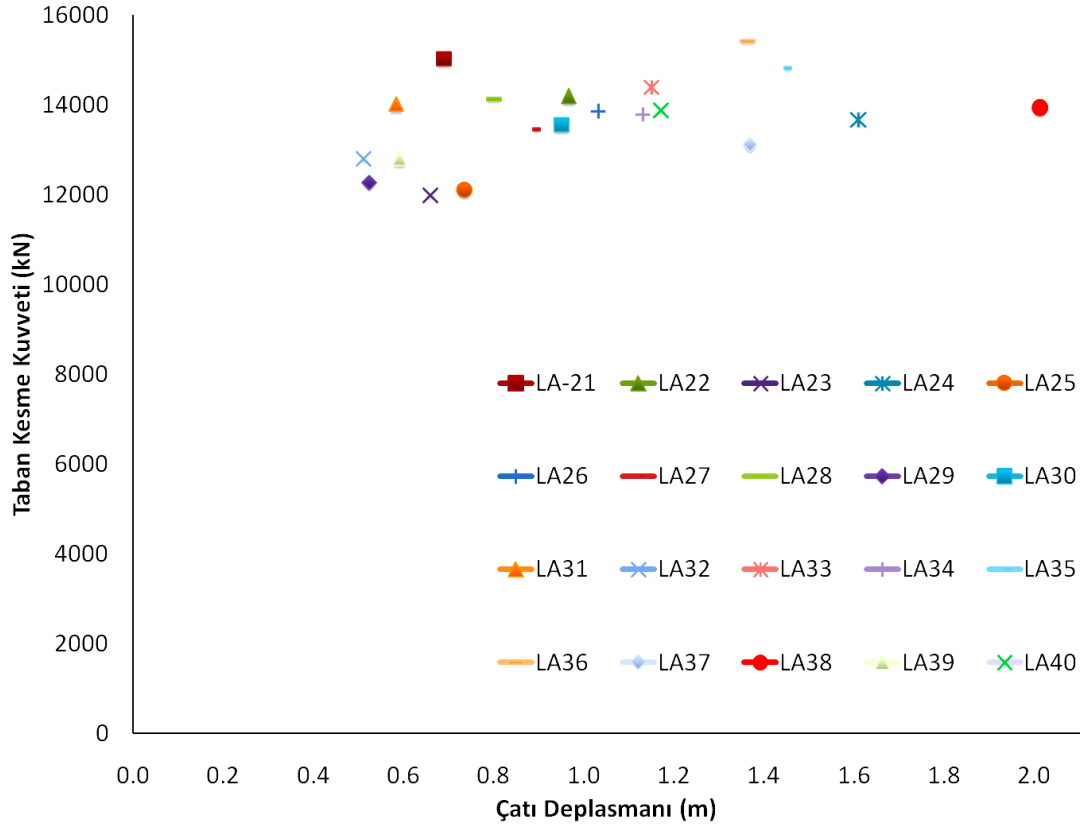
Şekil 4.47.c



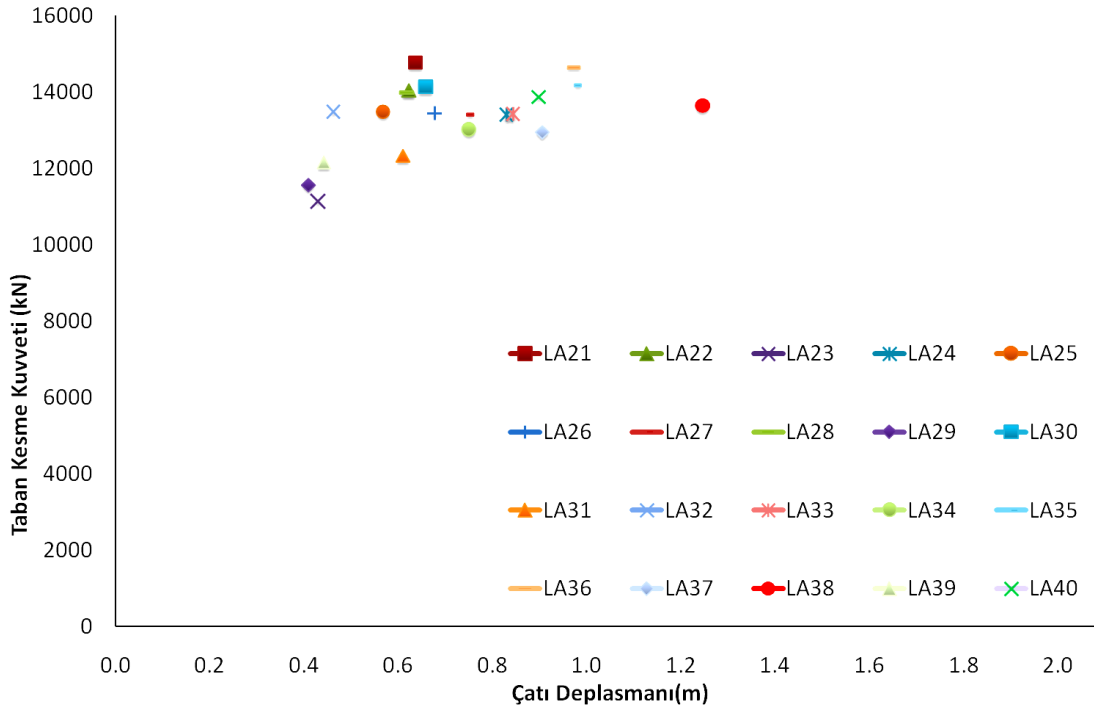
Şekil 4.47.d

Şekil 4.48 ve Şekil 4.49'da sırasıyla ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan 20 katlı yapıların tüm depremlerden (LA21-LA40) elde edilen en büyük çatı yer değiştirmesi değerleri görülmektedir. Her iki yapının da en büyük çatı yer değiştirmesini LA38 depreminde yaptığı ve III. gruba dahil edilen diğer depremlerde (LA24, LA35 ve LA36) buna yakın değerler aldığı görülmektedir. En büyük plastik mafsal dönmesi ve göreceli kat öteleme oranları LA36 depreminden elde edilirken en büyük çatı yer değiştirmesi değerleri LA38 depreminden ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007) için sırasıyla 201.20 cm ve 124.53 cm olarak elde edilmiştir.

ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan 20 katlı yapının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremler etkisinde yaptığı en büyük çatı yer değiştirmeleri, tasarım yer değiştirmesi ve C_d katsayıları Çizelge 4.22'de, C_d katsayılarının gruplara ve depremlere göre ortalaması Çizelge 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.48 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait En Büyük Yer Değiştirme Değerleri



Şekil 4.49 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait En Büyük Yer Değiştirme Değerleri

TDY (2007)'ye göre tasarlanan 20 katlı yapının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremler etkisinde yaptığı en büyük çatı yer değiştirmeleri, tasarım yer değiştirmesi ve C_d katsayıları Çizelge 4.24'de, C_d katsayılarının gruplara ve depremlere göre ortalaması Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değiştirmesi (cm)	Tasarım Yer Değiştirmesi (cm)	Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA21	II	68.96	22.16	3.11
LA22	II	96.67		4.36
LA23	I	65.86		2.97
LA24	III	160.81		7.26
LA25	II	73.54		3.32
LA26	II	103.19		4.66
LA27	II	88.62		4.00
LA28	II	80.03		3.61
LA29	I	52.26		2.36
LA30	II	95.09		4.29
LA31	I	58.34		2.63
LA32	II	51.08		2.31
LA33	II	114.95		5.19
LA34	II	113.05		5.10
LA35	III	144.43		6.52
LA36	III	136.36		6.15
LA37	II	136.77		6.17
LA38	III	201.20		9.08
LA39	I	58.94		2.66
LA40	II	117.01		5.28

Çizelge 4.22 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri
I	2.65	4.55
II	4.28	
III	7.25	

Çizelge 4.23 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

20 katlı yapılarda yüksek mod etkilerinden dolayı, birinci modun hakim olduğu kabulüyle yapılan tek modlu doğrusal elastik olmayan statik itme analizi uygulanmamıştır. Dolayısıyla 20 katlı yapıların C_d katsayıları, ADRS yöntemiyle elde edilen yer değiştirme talepleri kullanılarak değerlendirilmemiş, sadece doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerden elde edilen yer değiştirme talepleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değiştirmesi (cm)	Tasarım Yer Değiştirmesi (cm)	Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA21	II	63.54	18.95	3.35
LA22	II	62.18		3.28
LA23	I	42.89		2.26
LA24	III	82.82		4.37
LA25	II	56.67		2.99
LA26	II	67.62		3.57
LA27	II	74.46		3.93
LA28	II	61.68		3.26
LA29	I	40.83		2.15
LA30	II	65.76		3.47
LA31	I	60.69		3.22
LA32	II	46.09		2.43
LA33	II	84.21		4.44
LA34	II	74.98		3.96
LA35	III	97.37		5.14
LA36	III	97.12		5.13
LA37	II	90.47		4.77
LA38	III	124.53		6.57
LA39	I	44.16		2.33
LA40	II	89.75		4.74

Çizelge 4.24 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri
I	2.49	3.76
II	3.68	
III	5.30	

Çizelge 4.25 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

4.3.2 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 Olan Depremlerin Analiz Sonuçları

SAC'a ait 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan 20 adet deprem kaydı (LA01-LA20), 20 katlı yapıların dinamik analizlere verdikleri tepkilere göre iki gruba ayrılmıştır. Gruplar şu şekilde tanımlanabilir;

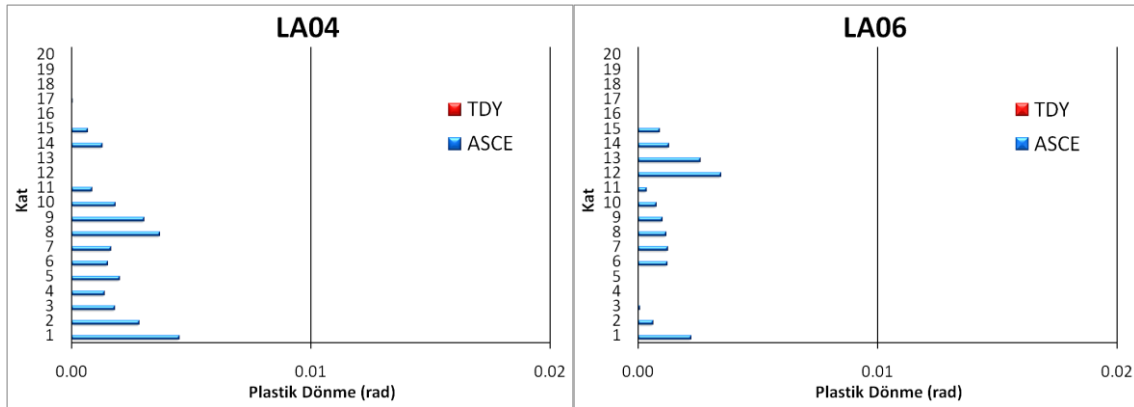
- i. Grup-I: Yapının kısmen ya da tamamen elastik kaldığı depremler.
- ii. Grup-II: Yapıda %1'den fazla görel kat ötelemesi meydana getiren depremler.

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kayıtlarının gruplara göre dağılımı Tablo 4.26'da belirtilmiştir.

Grup	Deprem	Görel Kat Ötelemesi
I	LA04-LA06-LA07-LA08-LA10-LA12-LA13-LA19	$\leq \%1$
II	LA01-LA02-LA03-LA05-LA09-LA11-LA14-LA15-LA16-LA17-LA18-LA20	$\%1 <$

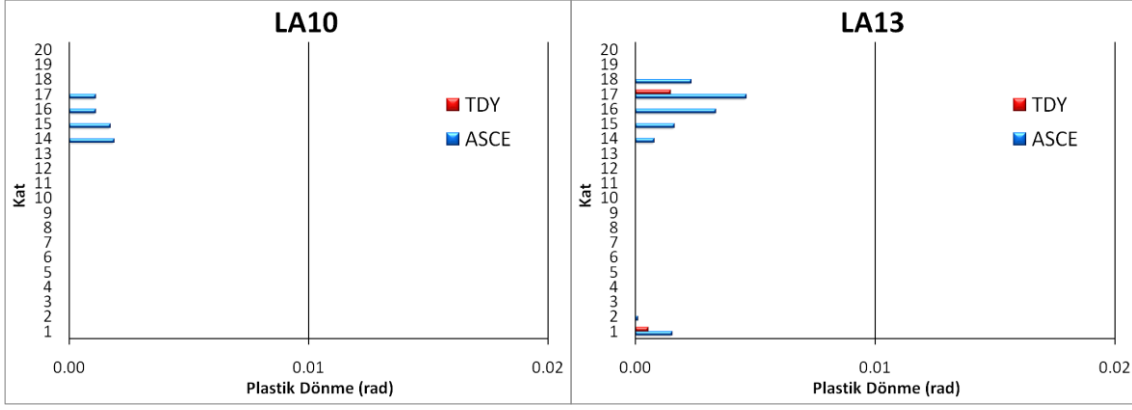
Çizelge 4.26 - 20 Katlı Yapılara ait Deprem Grupları

Şekil 4.32'de ASCE 7-05(2005) ve TDY(2007)'ye göre tasarlanan 20 katlı yapıların I. grup deprem kayıtları kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizler sonucu elde edilen her kat hizasındaki en büyük plastik mafsal dönmeleri görülmektedir.



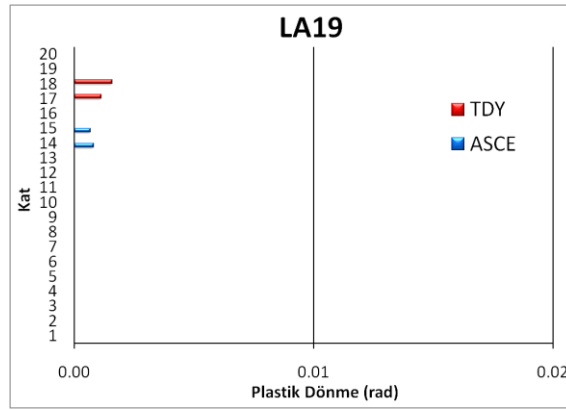
Şekil 4.50.a

Şekil 4.50.b



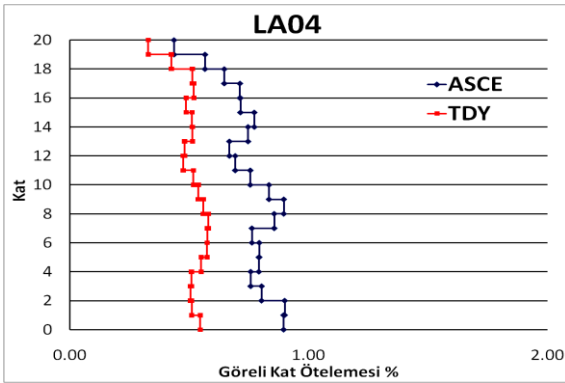
Şekil 4.50.c

Şekil 4.50.d

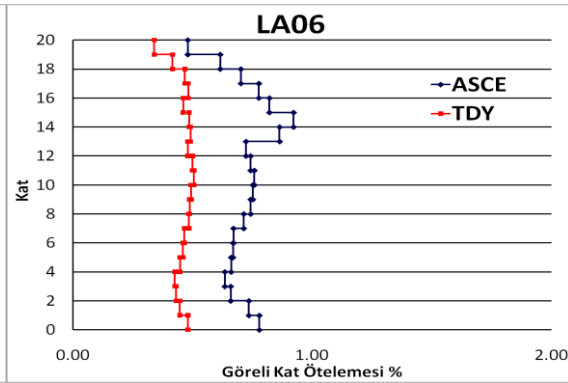


Şekil 4.50.e

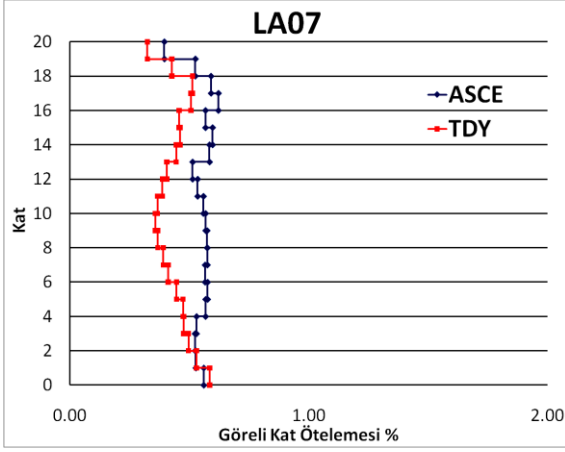
I. grup depremler etkisinde TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının LA13 ve LA19 depremleri dışındaki depremlerde tamamen elastik kaldığı LA13 ve LA19'da ise çok küçük plastik mafsal dönmeleri (yaklaşık % 0.15) meydana geldiği görülmüştür. ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının LA07, LA08 ve LA12 depremleri etkisinde tüm katlarda elastik kaldığı, I. gruptaki diğer depremler etkisinde %0.5'den az plastik mafsal dönmesi yaptığı gözlenmiştir.



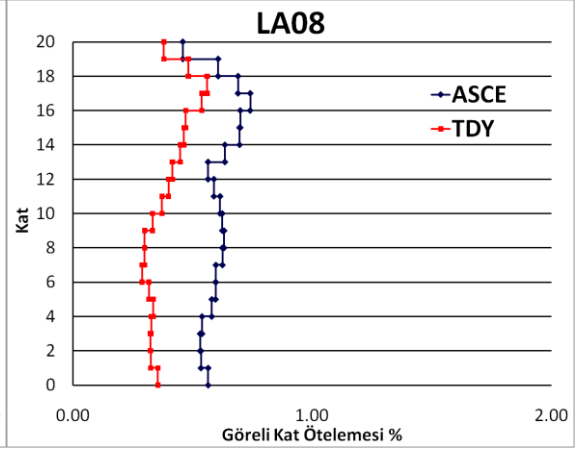
Şekil 4.51.a



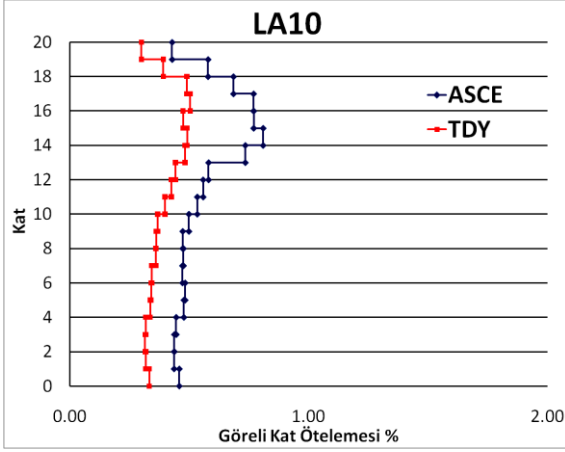
Şekil 4.51.b



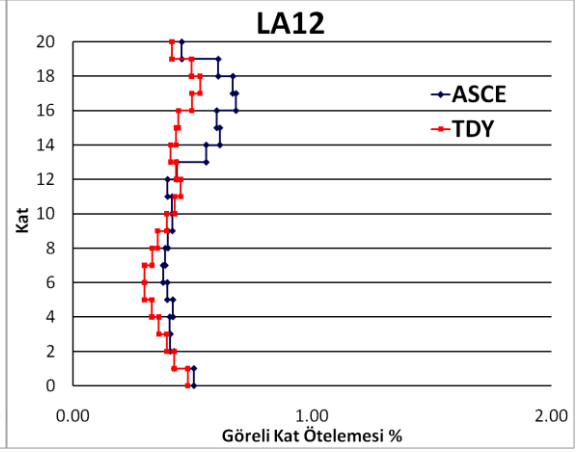
Şekil 4.51.c



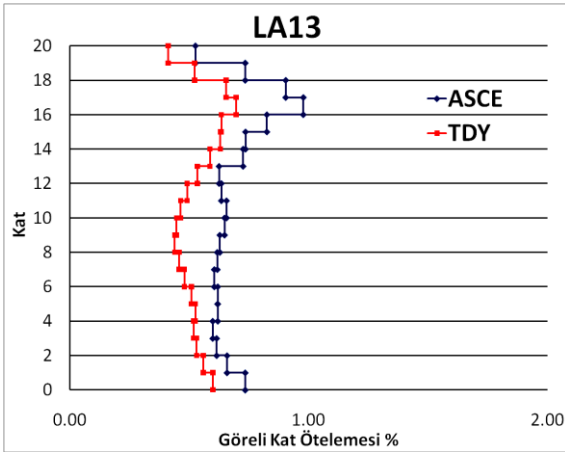
Şekil 4.51.d



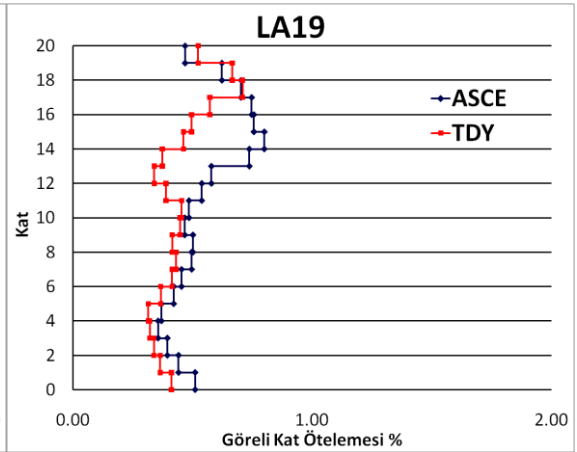
Şekil 4.51.e



Şekil 4.51.f

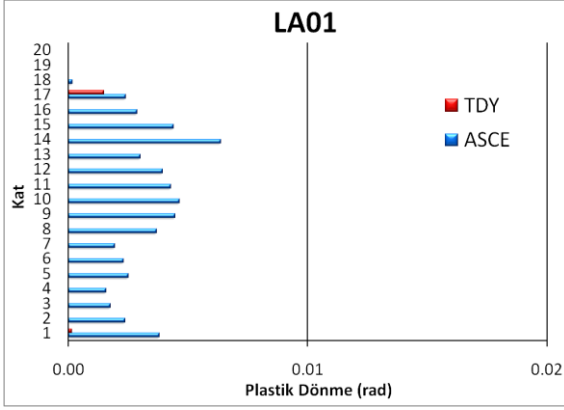


Şekil 4.51.g

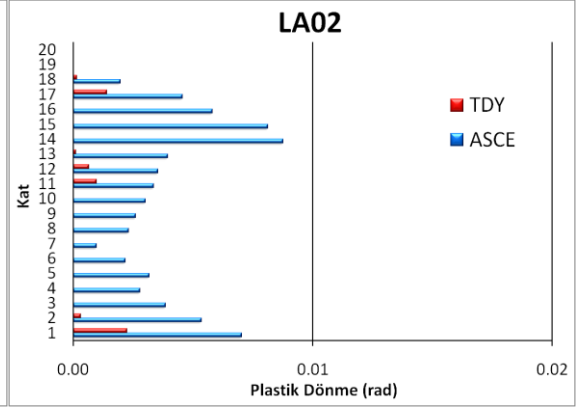


Şekil 4.51.h

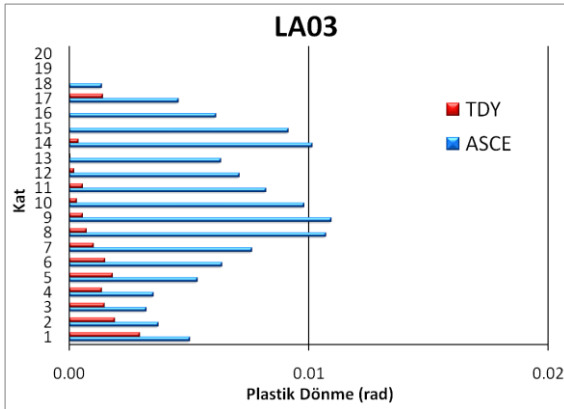
Şekil 4.51'de 20 katlı yapıların I. grup depremler etkisinde yapmış olduğu görel kat ötelemeleri görülmektedir. Yapıların her ikisinin de I. grup depremlerin tümünde %1'in altında görel kat ötelemesi yaptığı ve yapıların görel kat ötelemelerinin katlar boyunca çok az farklılık gösterdiği görülmektedir.



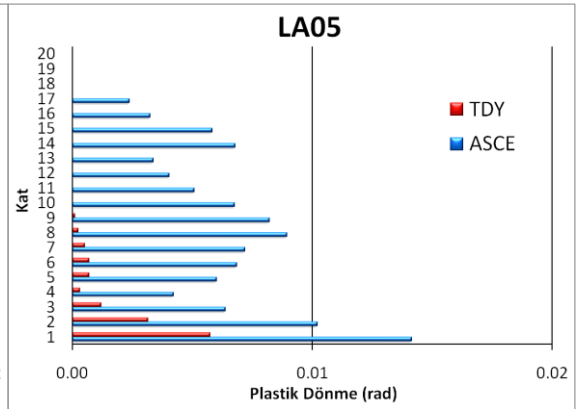
Şekil 4.52.a



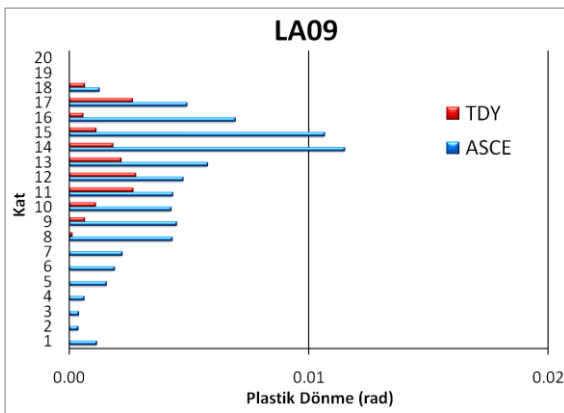
Şekil 4.52.b



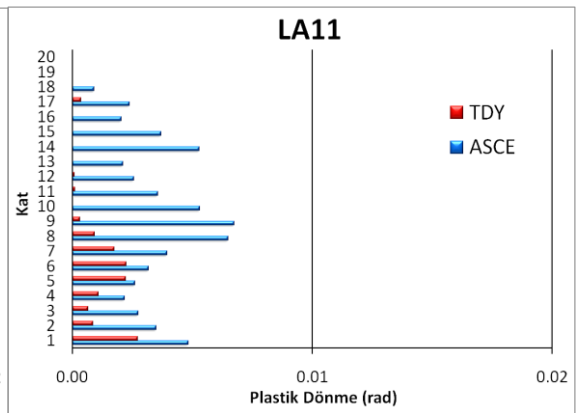
Şekil 4.52.c



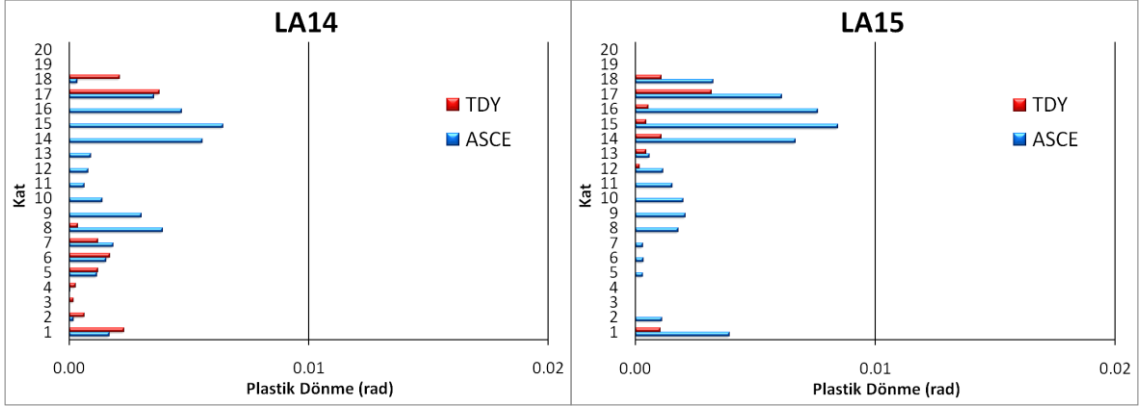
Şekil 4.52.d



Şekil 4.52.e

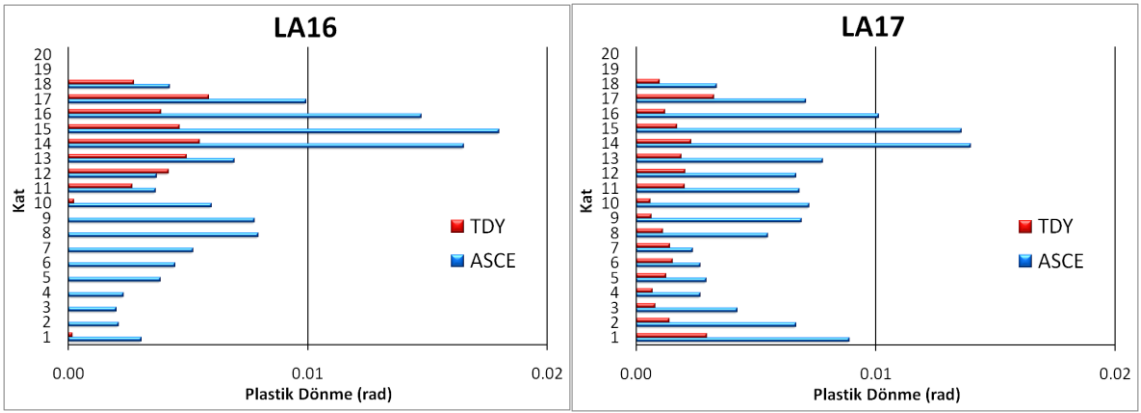


Şekil 4.52.f



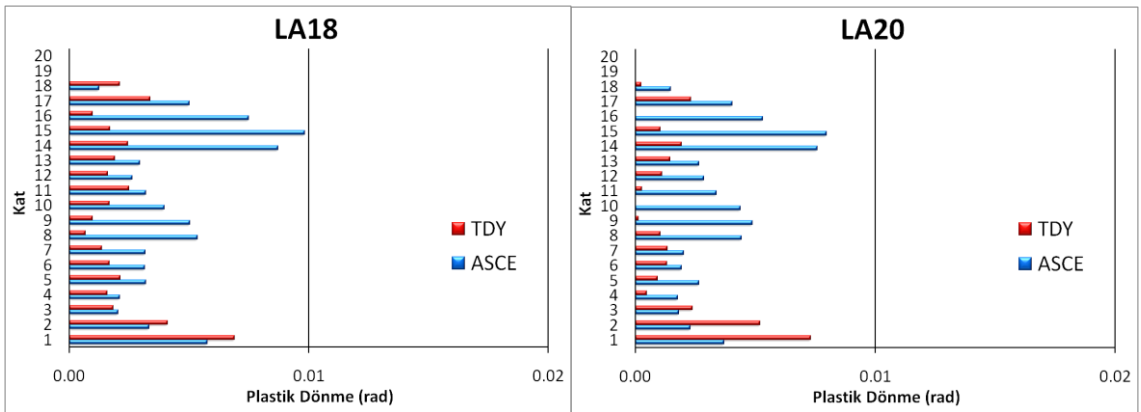
Şekil 4.52.g

Şekil 4.52.h



Şekil 4.52.i

Şekil 4.52.j

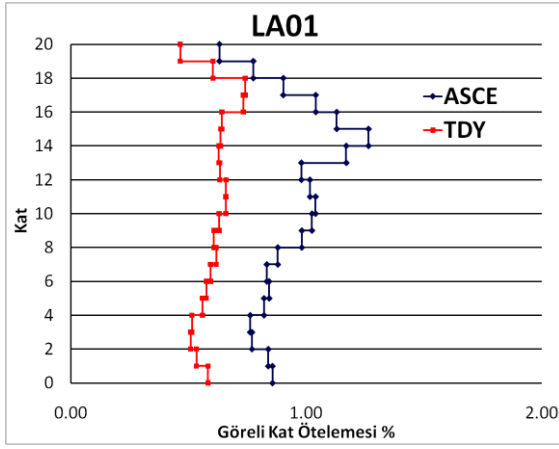


Şekil 4.52.k

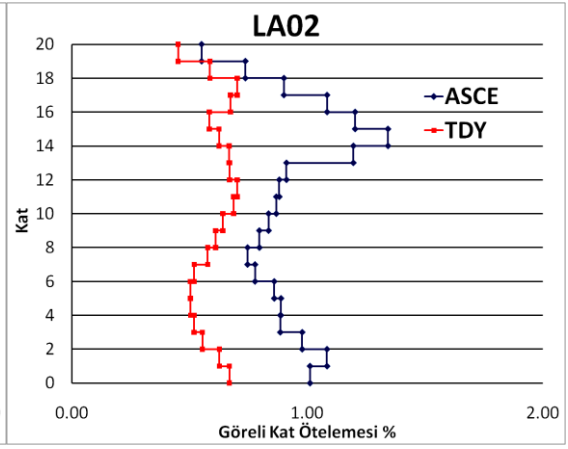
Şekil 4.52.l

Şekil 4.52'de yapıların II. grup depremler etkisinde kiriş uçlarında meydana gelen en büyük plastik mafsalsal dönmesi değerleri görülmektedir.

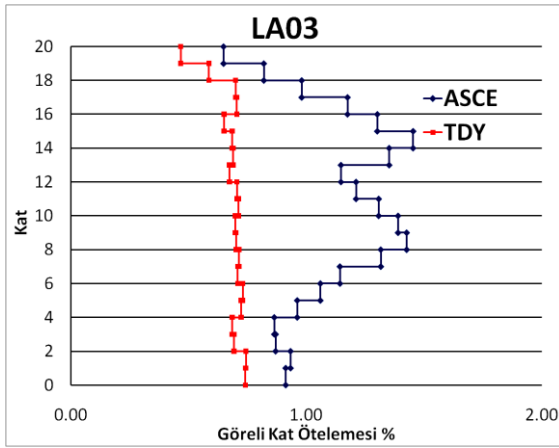
Şekil 4.53'de 20 katlı yapıların II. grup depremler etkisinde yapmış olduğu görece kat ötelemesi değerleri verilmiştir.



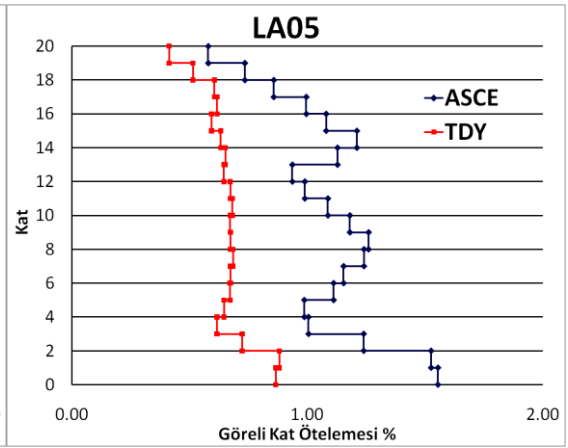
Şekil 4.53.a



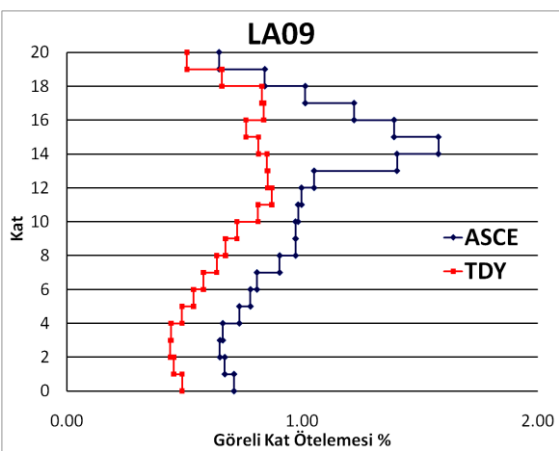
Şekil 4.53.b



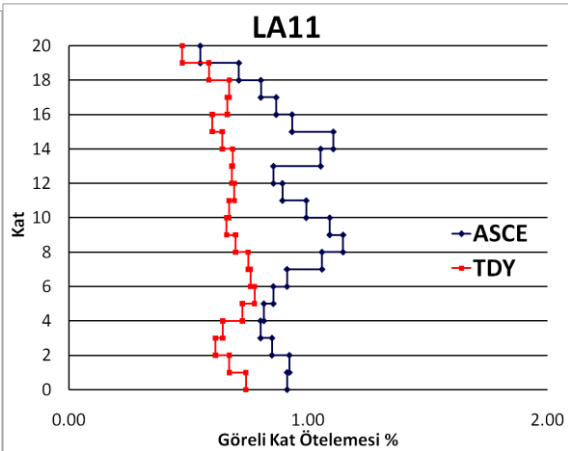
Şekil 4.53.c



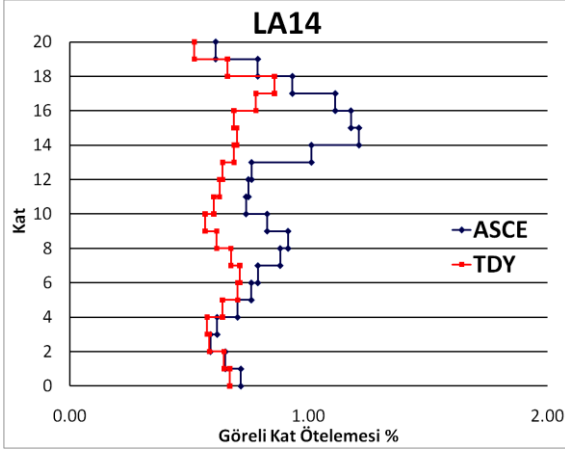
Şekil 4.53.d



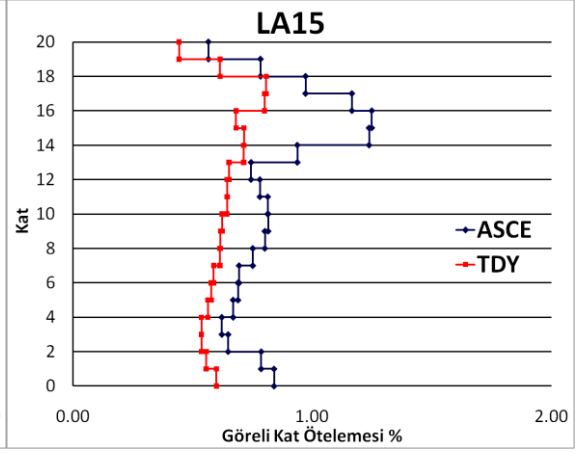
Şekil 4.53.e



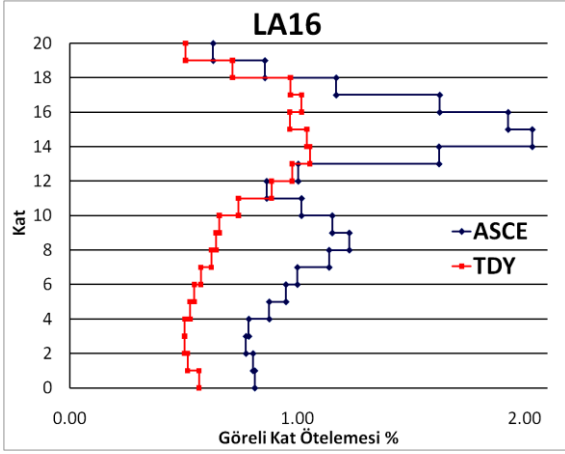
Şekil 4.53.f



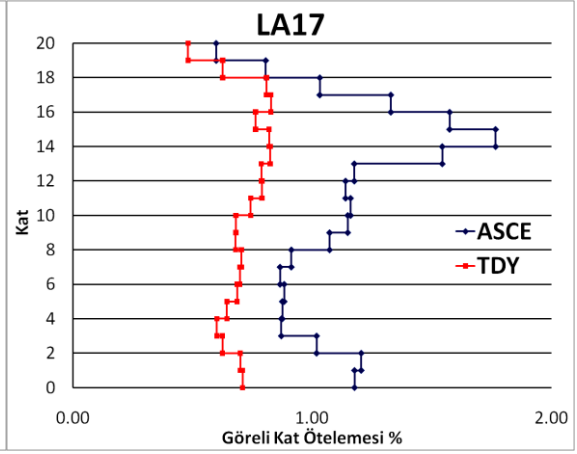
Şekil 4.53.g



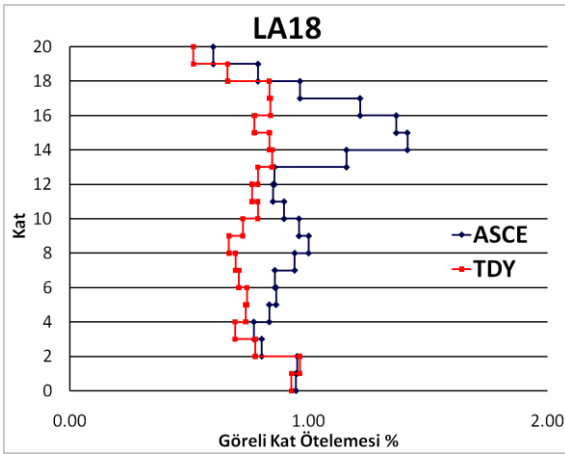
Şekil 4.53.h



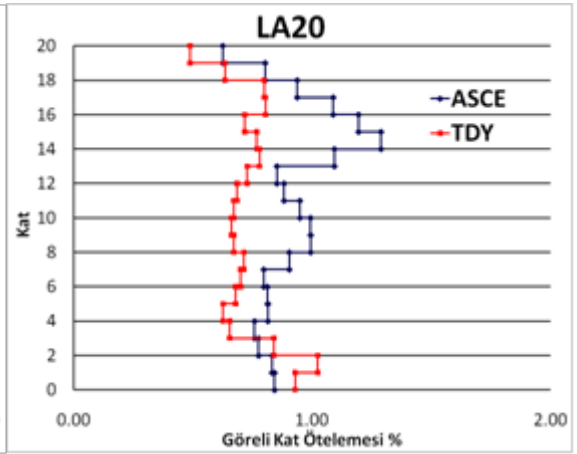
Şekil 4.53.i



Şekil 4.53.j



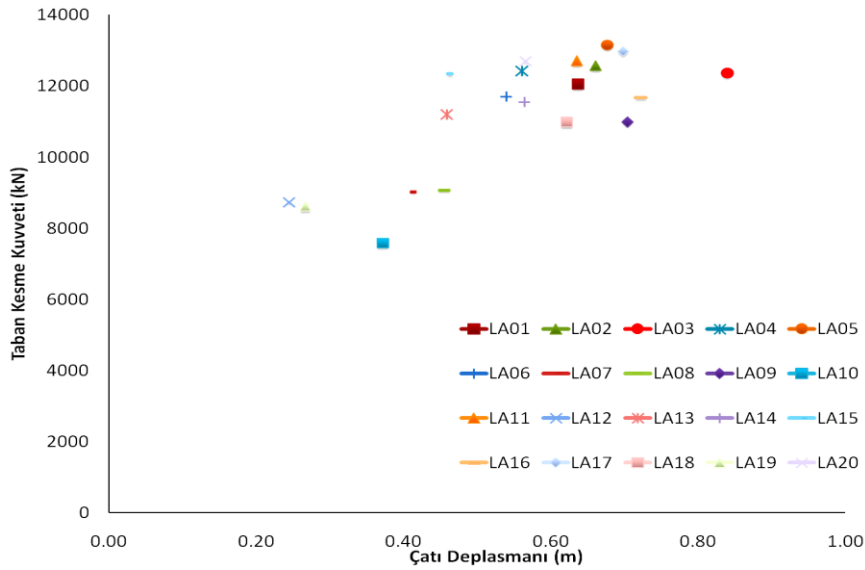
Şekil 4.53.k



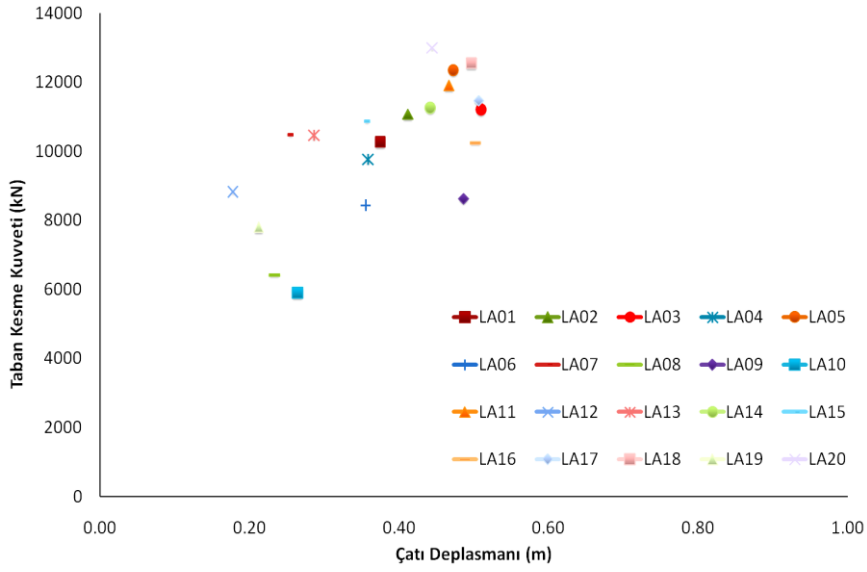
Şekil 4.53.l

ASCE 7-05'e göre tasarlanan yapının LA03, LA05, LA09, LA16 ve LA17 depremlerinde %1'in üzerinde, geri kalan II. grup depremlerde %1'in altında plastik mafsal dönmesi yaptığı görülmüştür. Daha güçlü kesitlere sahip olan TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının ise diğer yapıya oranla çok daha az plastik mafsal dönmesi yaptığı ve depremlerin bazılarında neredeyse elastik kaldığı gözlenmiştir. TDY(2007)'ye göre tasarlanan yapının görelî kat ötelemeleri II.grup depremlerin hiçbirinde %1'in üzerine çıkmazken ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının en büyük görelî kat ötelemesi değerine %2 ile LA16 depreminde ulaşmıştır.

Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'de 20 katlı yapıların en büyük yer değıştirme değerleri gösterilmiştir. En büyük çatı yer değıştirmesi değeri her iki yapı için de LA03 depreminden elde edilmiştir. Bu değeri, ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapı için 83.99 cm iken TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıda 50.98 cm olarak elde edilmiştir. Yapıların kısmen veya tamamen elastik kaldığı I. grup depremlerde yapıların, çatı yer değıştirmelerinin de azaldığı ve en küçük değeri aldığı LA12 depreminde tasarıma esas alınan taban kesme kuvvetine karşılık gelen çatı yer değıştirmesine çok yakın değeri aldığı görülmüştür. ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıların tasarım yer değıştirmeleri sırasıyla, 22.16 ve 18.95 iken LA12 depreminde çatı yer değıştirmesi değeri, 24.48 cm ve 17.17 cm olarak elde edilmiş olması ilgi çekicidir. Çizelge 4.27 ve Çizelge 4.28'de ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının, Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30'da TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapının çatı yer değıştirmeleri ve C_d katsayıları detaylı şekilde belirtilmiştir.



Şekil 4.54 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait En Büyük Yer Değıştirme Değeri



Şekil 4.55 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait En Büyük Yer Değiştirme Değerleri

Deprem	Grubu	Çatı Yer Değiştirmesi (cm)	Tasarım Yer Değiştirmesi (cm)	Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA01	II	63.69	22.16	2.87
LA02	II	66.09		2.98
LA03	II	83.99		3.79
LA04	I	56.07		2.53
LA05	II	67.71		3.06
LA06	I	53.95		2.43
LA07	I	40.94		1.85
LA08	I	45.54		2.06
LA09	II	70.40		3.18
LA10	I	37.27		1.68
LA11	II	63.60		2.87
LA12	I	24.48		1.10
LA13	I	45.93		2.07
LA14	II	56.45		2.55
LA15	II	45.89		2.07
LA16	II	72.19		3.26
LA17	II	69.86		3.15
LA18	II	62.20		2.81
LA19	I	26.73		1.21
LA20	II	56.60		2.55

Çizelge 4.27 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri
I	1.87	2.50
II	2.93	

Çizelge 4.28 - ASCE 7-05'e Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Çatı Yer Değiştirmesi (cm)	Tasarım Yer Değiştirmesi (cm)	Yer Değiştirme Arttırma Katsayısı (C_d)
LA01	II	37.47	1.98
LA02	II	41.19	2.17
LA03	II	50.98	2.69
LA04	I	35.84	1.89
LA05	II	47.26	2.49
LA06	I	35.52	1.87
LA07	I	25.19	1.33
LA08	I	23.36	1.23
LA09	II	48.65	2.57
LA10	I	26.44	1.40
LA11	II	46.71	2.47
LA12	I	17.77	0.94
LA13	I	28.62	1.51
LA14	II	44.23	2.33
LA15	II	35.39	1.87
LA16	II	50.24	2.65
LA17	II	50.69	2.67
LA18	II	49.73	2.62
LA19	I	21.22	1.12
LA20	II	44.42	2.34

Çizelge 4.29 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait C_d Katsayıları

Deprem Grubu	Gruplara Göre Ortalama C_d Değerleri	Ortalama C_d Değeri
I	1.41	2.01
II	2.41	

Çizelge 4.30 - TDY(2007)'ye Göre Tasarlanan 20 Katlı Yapıya ait Ortalama C_d Katsayıları

Yapılan doğrusal elastik olmayan analizlere yapıların verdikleri tepkileri özetlemek amacıyla Çizelge 4.31 ve 4.32'de sırasıyla 50 yılda aşılma olasılığı %2 (en büyük deprem) ve %10 (tasarım depremi) olan deprem kayıtları kullanılarak 4, 9 ve 20 katlı yapılardan elde edilen en büyük plastik mafsalsal dönmeleri, en büyük göreceli kat ötelemeleri ve ortalama C_d katsayıları, bu bölümde tanımlanan gruplara göre ayrı ayrı belirtilmiştir.

Kat Sayısı	Deprem Grubu	En Büyük Plastik Mafsalsal Dönmesi (rad)		En Büyük Göreceli Kat Ötelemesi %		Ortalama C_d Değerleri	
		ASCE7-05	TDY	ASCE7-05	TDY	ASCE7-05	TDY
4	I	~ 0.015	~ 0.015	~ 2.0	~ 2.0	3.80	4.61
	II	~ 0.030	~ 0.030	~ 3.0	~ 3.0	6.36	6.64
	III	~ 0.045	~ 0.045	~ 5.0	~ 5.0	9.34	8.46
9	I	~ 0.020	~ 0.015	~ 2.5	~ 2.0	3.89	5.48
	II	~ 0.035	~ 0.030	~ 4.0	~ 2.5	6.35	6.09
	III	~ 0.070	~ 0.055	~ 6.0	~ 5.0	9.64	9.71
20	I	~ 0.015	~ 0.010	~ 2.0	~ 1.5	2.65	2.49
	II	~ 0.030	~ 0.020	~ 3.0	~ 2.0	4.28	3.68
	III	~ 0.050	~ 0.040	~ 4.0	~ 3.0	7.25	5.30

Çizelge 4.31 - 4, 9 ve 20 katlı yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlere verdiği tepkiler

Kat Sayısı	Deprem Grubu	En Büyük Plastik Mafsalsal Dönmesi (rad)		En Büyük Göreceli Kat Ötelemesi %		Ortalama C_d Değerleri	
		ASCE 7-05	TDY	ASCE 7-05	TDY	ASCE 7-05	TDY
4	I	~ 0.005	0.00	~ 0.5	~ 1.0	2.31	2.32
	II	~ 0.01	~ 0.01	~ 0.75	~ 2.0	3.17	3.82
	III	~ 0.03	~ 0.02	~ 1.0	~ 3.0	4.97	4.87
9	I	~ 0.01	~ 0.003	~ 2.0	~ 1.0	2.13	2.11
	II	~ 0.01	~ 0.005	~ 2.0	~ 1.0	3.22	3.24
	III	~ 0.02	~ 0.02	~ 2.5	~ 2.0	4.08	4.74
20	I	~ 0.005	~ 0.001	~ 0.5	~ 0.5	1.87	1.41
	II	~ 0.01	~ 0.005	~ 2.0	~ 1.0	2.93	2.41

Çizelge 4.32 - 4, 9 ve 20 katlı yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlere verdiği tepkiler

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada en yaygın çelik taşıyıcı sistemlerden biri olan süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin görelî kat ötelemeleri irdelenmiştir. Süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin tasarımında etkin görelî kat ötelemeleri tahkikinî belirleyici unsur olması ve seçilen kesitleri, dolayısıyla maliyeti doğrudan etkilemesi sebebiyle; 4, 9 ve 20 katlı 6 çelik çerçeve, 20 adet 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve 20 adet 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan toplam 40 farklı deprem kaydı kullanılarak yapılan doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerin yanı sıra doğrusal elastik olmayan statik itme analizlerine tabi tutulmuştur. Yapılan doğrusal elastik olmayan analizlerin sonuçları üzerinden yapıların elastik ötesi davranışı incelenmiş ve deprem kayıtları kullanılarak, depremlerin yapılardan ne kadar yer değiştirme talep ettiği incelenmiştir. Bu sayede ASCE 7-05 (2005)'in önerdiği $C_d=5.5$ ve TDY (2007)'nin önerdiği $R=8$ katsayılarından hangisinin daha akılcı sonuçlar verdiği konusunda bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- 1) TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapı için seçilen kesitler, -görelî kat ötelemesi şartından dolayı- ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanandan daha büyük çıkmıştır. Ancak yapılan analizler göstermiştir ki 4 katlı yapılar, I, II ve III. grup depremlere tabi tutulduğunda plastik mafsal dönmeleri arasında pek az fark gözlenirken (Şekil 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.5), görelî kat ötelemeleri bakımından -beklenenin aksine- daha büyük kesitlere sahip olan TDY (2007), hemen tüm depremlerde daha fazla görelî kat ötelemesi yaptığı görülmüştür (Şekil 4.2, Şekil 4.4 ve Şekil 4.6).

- 2) Beklendiği gibi 4 katlı yapılardan ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlananın fazla dayanım katsayısı (Ω), TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapınınkinden yaklaşık %25 oranında daha büyük çıkmıştır. Fazla dayanıma sebep olan diğer etkenlerin iki yapı için de sabit olduğu düşünülürse ortaya çıkan dayanım farkının sebebi görelî kat ötelemeleri şartları arasındaki farktır.
- 3) 4 katlı yapılar için en büyük depremlerden (LA21-LA40) elde edilen C_d katsayılarının ortalaması eşit ve 6.6 olarak bulunmuştur. ADRS yöntemiyle ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007) için sırasıyla, 5.29 ve 5.49 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31).
- 4) Plastik mafsal dönmelerinin ve görelî kat ötelemelerinin 9 katlı yapılar için tüm deprem gruplarında ve tüm katlarda daha büyük kesitlere sahip olan ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapıda daha büyük değerler aldığı görülmüştür (Çizelge 4.30).
- 5) Etkin görelî kat ötelemelerinin elde edilmesi esnasında TDY (2007)'nin önerisine göre tasarlanan yapıların ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapılara oranla %45 daha büyük katsayıyla çarpılarak arttırılması, 4 katlı yapılarda olduğu gibi 9 katlı yapılarda da fazla dayanım katsayısının (Ω) TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıda yaklaşık %25 daha büyük çıkmasına sebep olduğu görülmüştür.
- 6) 9 katlı yapıların 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerin yer değiştirme taleplerine bağılı olarak elde edilen yer değiştirme arttırma katsayıları (C_d) ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007) için ortalama olarak sırasıyla, 6.40 ve 6.39 olarak bulunmuştur. ADRS yöntemi ile bulunan yer değiştirme talepleri kullanılarak elde edilen yer değiştirme arttırma katsayıları ise ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007) için sırasıyla, 4.82 ve 5.57 olarak elde edilmiştir.
- 7) 20 katlı yapılar I. grup depremler etkisinde yaklaşık %1, II. grup depremlerde %2 ile %3 arasında plastik mafsal dönmesi yaparken, III. grup depremlerde bu değerî %5'lere ulaştığı görülmüştür. Görelî kat ötelemelerinde ise I, II ve III. gruplarda sırasıyla %2, %3 ve %4 değerlerine ulaşıldığı ve gerek plastik mafsal dönmesi gerekse görelî kat ötelemeleri bakımından ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının TDY (2007)'ye göre tasarlanandan daha büyük değerlere ulaştığı gözlenmiştir.

- 8) 20 katlı yapılarda da 4 ve 9 katlı yapılarda olduğu fazla dayanım katsayısı ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapıda yaklaşık %10 daha büyük olarak elde edilmiştir.
- 9) 20 katlı yapılar için doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerden elde edilen C_d katsayıları sırasıyla, 4.55 ve 3.76'dır. Yüksek mod etkilerinden dolayı yapı doğrusal elastik olmayan statik itme analizlerine tabi tutulmamıştır. Dolayısıyla ADRS yöntemiyle C_d hesaplanmamıştır.

50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- 1) ASCE 7-05'e göre tasarlanan 4 katlı yapının I. grup depremlerde kısmen elastik kaldığı, II. grup depremlerde en fazla %1 civarında, III. grup depremlerde ise yaklaşık %3 radyan plastik mafsal dönmesi meydana geldiği gözlenmiştir. TDY (2007)'ye göre tasarlanan 4 katlı yapının ise diğer yapıya oranla daha az hasar aldığı, I. grup depremlerde elastik kaldığı, II. ve III. grup depremlerde ise sırasıyla %1 ve %2 radyan plastik mafsal dönmesi meydana geldiği gözlenmiştir.
- 2) 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerde (LA21-LA40) olduğu gibi, %10'luk depremlerde de TDY (2007)'ye göre tasarlanan 4 katlı yapıda ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan 4 katlı yapıya oranla daha fazla görel kat ötelemesi meydana gelmiştir. ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının görel kat ötelemeleri hiç bir depremde %1'i geçmezken, TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıda bu değer; I, II ve III. gruplarda sırasıyla, %1, %2 ve %3'e ulaşmıştır.
- 3) ASCE 7-05 (2005)'in önerisine göre tasarlanan 4 katlı yapının 20 deprem için elde edilen ortalama C_d katsayısı 3.5 iken aynı değer, ADRS yöntemiyle 3.53 olarak elde edilmiştir. TDY (2007)'ye göre tasarlanan yapıda ise depremlerden elde edilen ortalama C_d katsayısı 3.76, ADRS yöntemiyle elde edilen 3.63 olarak bulunmuştur.
- 4) Tasarım depremine karşılık gelen depremler etkisinde 9 katlı yapıların her ikisinde de en fazla %2 radyan plastik mafsal dönmesi olduğu gözlenirken, daha zayıf kesitlere sahip olan ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapının her kat hizasında nispeten daha fazla dönme yaptığı görülmüştür. Görel kat ötelemelerinde ise TDY (2007)'ye göre tasarlanan grupların hiç birinde %2'yi geçmezken, ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapıda III. grup depremler etkisinde %2.5 civarında görel kat ötelemesi meydana gelmiştir.

- 5) ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan 9 katlı yapının depremlerden ve ADRS yöntemiyle elde edilen C_d katsayıları sırasıyla, 3.13 ve 3.21 iken TDY (2007)'ye göre tasarlanan 9 katlı yapıda bu değerler 3.38 ve 3.71 olarak elde edilmiştir.
- 6) 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler 20 katlı yapıların tepkileri doğrultusunda iki gruba ayrılmıştır (Çizelge 4.25). Bahsi geçen 20 deprem etkisinde ASCE 7-05 (2005)'e göre tasarlanan yapıda en fazla %1 radyan plastik mafsal dönmesi meydana gelirken, TDY (2007)'ye göre tasarlananda bu değer en fazla %0.5 olduğu gözlenmiştir. Her iki yapının görelî kat ötelemeleri %2'yi aşmazken TDY (2007)'ye göre tasarlananda bu değer en fazla %1'e ulaştığı görülmüştür.
- 7) 20 depremin ortalama C_d katsayıları, ASCE 7-05 (2005) ve TDY (2007)'ye göre tasarlanan 20 katlı yapılarda sırasıyla 2.5 ve 2.01 olarak elde edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucu oldukça esnek sistemler olan süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin tasarımında belirleyici olan etkin görelî kat ötelemeleri tahkikinde kullanılan R ve C_d katsayıları değerlendirilmiştir. Yapıların performansları nisbi olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanmasında genellikle “eşit yer değiştirme kuralı” kullanılmaktadır. “Eşit yer değiştirme kuralı”nın akma dayanımının tasarım dayanımına yakın olduğu yapılarda kabul edilebilir sonuçlar verdiği söylenebilir. Analizler sonucu, akma dayanımı ile tasarım dayanımı arasında büyük farkların bulunduğu süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerde “eşit yer değiştirme kuralı”nın uygulanmasının fazla tutucu olduğu görülmüştür.

C_d katsayıları, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan III. grup depremlerin bazılarında 8'i geçse de elde edilen sonuçlarda görülen, gerek ASCE 7-05 (2005)'e gerekse TDY (2007)'ye göre tasarlanan 4, 9 ve 20 katlı yapıların C_d katsayılarının ortalamalarının ASCE 7-05 (2005)'in önerisine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. TDY(2007)'nin "tasarım depremi" için önerdiği yer değiştirme arttırma katsayısının ($R=8$) "en büyük deprem"lerde dahi elde edilememiş olması düşündürücü olsa da, yapılan çalışmada kullanılan yapı ve deprem adedinin kısıtlı olması sebebiyle "eşit yer değiştirme kuralı"nın süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerdeki geçerliğinin sorgulanabilmesi için daha fazla deneysel ve analitik çalışma yapılması gerektiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ASCE 7-05, (2005). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Virginia, U.S.A
- [2] DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2. Baskı, İstanbul.
- [3] Akbaş, B.,(2008). Advanced Steel Structures Ders Notları, GYTE, İstanbul.
- [4] Shen, J., Sabol, T., Akbaş, B., ve Sutchiewcharn, N., (2011). "Seismic Demand On Column Splices in Steel Moment Frames" Engineering Journal, 4th Quarter, 223.
- [5] FEMA 355C, (2000). State of the Art Report on Systems Performance of Steel Moment Frames Subject to Earthquake Ground Shaking, FEMA, Washington, DC.
- [6] ANSI/AISC 341-05, (2005). Seismic Provisions for Steel Structural Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, U.S.A.
- [7] ANSI/AISC 358-05, (2005). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, U.S.A.
- [8] ANSI/AISC 360-05, (2005).Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, U.S.A.
- [9] Jin, J. ve El-Tawil, S., (2005). "Seismic Performance of Steel Frames with Reduced Beam Section Connections", Journal of Constructional Steel Research, 61: 453–471.
- [10] Shen, J., Kitjasetanphun, T., Srivanich, W., (2000). "Seismic performance of steel moment frames with reduced beam sections", Engineering Structures, 22: 968–983.
- [11] Sap2000 Advanced ver.14.1, 2010, Structural Analyses Program, Computers and Structures,Inc.
- [12] Chopra, A. K., (2001). Dynamics of structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, 844.
- [13] Foutch, D., A. ve Yun, S., (2002). "Modeling of Steel Moment Frames for Seismic Loads", Journal of Constructional Steel Research, 58 (5-8): 529-564.
- [14] FEMA 695 (2008) Quantification of Building Seismic Performance Factors, ATC-63 Project Report, Washington, D.C.
- [15] Krawinkler, H. ve Seneviratna, G. D. P. K., (1998). "Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evolution", Engineering Structures, 20: 452–464.
- [16] Miranda E., ve Bertero V.V., (1994). "Evaluation of Strength Reduction Factors

- for Earthquake-Resistant Design”, *Earthquake Spectra*, 10(2).
- [17] Uang, C.-M., (1991). “Establishing R (or R_w) and Cd Factors for Building Seismic Provisions”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 117(1).
- [18] Newmark, N.M. ve Hall, W.J., (1973). “Seismic Design Criteria for Nuclear Reactor Facilities” Rep. No. 46, *Building Practices for Disaster Mitigation*, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce,
- [19] Lai, S.-P. ve Biggs, J.M., (1980). “Inelastic Response Spectra for A seismic Building Design” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 106 (ST6).
- [20] Riddell, R. ve Newmark, N.M., (1979). “Statistical Analysis of the Response of Nonlinear Systems Subjected to Earthquakes” *Structural Research Series No. 468*, University of Illinois, Urbana.
- [21] Elghadamsi, F. E. ve Mohraz, B., (1987). "Inelastic Earthquake Spectra", *Earthquake and Engineering Structural Dynamics*, 15: 91-104.
- [22] Riddell, R., Hidalgo, P. and Cruz, E., (1989). “Response Modification Factors for Earthquake Resistant Design of Short Period Structures” *Earthquake Spectra*, 5 (3).
- [23] Nassar, A.A. ve Krawinkler, H., (1991). “Seismic Demands for SDOF and MDOF Systems” Rep. No. 95, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California.
- [24] Vidic, T., Fajfar, P. ve Fischinger, M., (1992). " A Procedure for Determining Consistent Inelastic Design Spectra", *Proc. Workshop on Nonlinear Seismic Analysis of RC Structures*, Bled, Slovenia.
- [25] Miranda, E., (1993). “Site-Dependent Strength Reduction Factors”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 119 (12).
- [26] Freeman, S.A., (1990). “On the Correlation of Code Forces to Earthquake Demands” *Proc., 4th U.S.-Japan Workshop On Improvement of Build. Struct. Des. And Constr. Practices*, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- [27] Osteraas, J.D. ve Krawinkler, H., (1990). “Strength and Ductility Considerations in Seismic Design” Rep.No. 90, John A. Blume Earthquake Engineering. Center, Stanford University, California.
- [28] Kappos, A.J., (1999). “Evaluation of Behavior Factors on the Basis of Ductility and Overstrength Studies” *Engineering Structures*, 21: 823–835.
- [29] Balendra, T. ve Huang, X. (2003). “Overstrength and Ductility Factors for Steel Frames Designed According to BS 5950” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 129(8).
- [30] Kim, J., ve Choi, H., (2005). “Response Modification Factors of Chevron-Braced Frames” *Engineering Structures*, 27.
- [31] Bakır, S., (2006). *Evaluation of Seismic Response Modification Factors for Steel Frames by Non-Linear Analysis*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [32] Uang, C.-M., Associate Member, ASCE, and Maarouf, A., (1994). "Deflection Amplification Factor for Seismic Design Provisions", *Journal of Structural Engineering*, 120(8).
- [33] Fajfar, P., (1999). "Capacity Spectrum Method Based on Inelastic Demand Spectra", *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 28: 979-993.
- [34] Freeman, S. A., (1998) "The Capacity Spectrum Method as a Tool for Seismic Design", 11th European Conference.
- [35] Federal Emergency Management Agency (FEMA), (1997). "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings" (FEMA 273), Washington, DC.
- [36] Fajfar, P., Gasperic, P., (1996). "The N2 Method for the Seismic Damage Analysis of RC Buildings", *Earthquake Engng. Struct. Dyn.* 25: 31-46.

AZALTI MIŞ KİRİŞ KESİTİ HESAPLARI

Azaltılan Kiriş Kesiti	Bağlandığı Kolon Kesiti		Plastik Mafsalların Kolon Eksenlerine Göre Rölatif Mesafeleri		M _p
	Sol uç	Sağ uç			kNm
W24X55	W14X257	W14X311	0.0595	0.0605	762.16277
	W14X311	W14X311	0.0605	0.0605	
	W24X207	W24X103	0.0998	0.0973	
	W24X103	W24X103	0.1062	0.1062	
W27X84	W14X257	W14X342	0.0679	0.0694	1329.0194
	W14X342	W14X342	0.0694	0.0694	
	W14X257	W14X311	0.0679	0.0689	
	W14X311	W14X311	0.0689	0.0689	
W27X94	W14X257	W14X342	0.0681	0.0697	1501.0984
	W14X342	W14X342	0.0697	0.0697	
	W24X103	W24X207	0.1191	0.1216	
	W24X207	W24X207	0.1216	0.1216	
	W24X207	W24X229	0.1216	0.1222	
	W24X229	W24X229	0.1222	0.1222	
	W24X207	W24X103	0.1216	0.1191	
	W24X103	W24X103	0.1191	0.1191	
	W24X207	W24X146	0.1216	0.1195	
W24X146	W24X146	0.1195	0.1195		
W27X102	W14X283	W14X426	0.0688	0.0716	1635.473
	W14X426	W14X426	0.0716	0.0716	
W27X114	W24X207	W24X192	0.1225	0.1221	1833.1427
	W24X192	W24X192	0.1221	0.1221	
W30X108	W14X257	W14X342	0.0720	0.0736	1894.4625
	W14X342	W14X342	0.0736	0.0736	
W30X132	W14X311	W14X426	0.0736	0.0759	2351.5953
	W14X426	W14X426	0.0759	0.0759	

Çizelge Ek-A.1- Zayıflatılmış Kiriş Kesitlerine ait Eğilme Momenti Kapasiteleri

Azaltılan Kiriş Kesiti	Bağlandığı Kolon Kesiti		Plastik Mafsalların Kolon Eksenlerine Göre Rölatif Mesafeleri		M _p kNm
	Sol uç	Sağ uç			
W30X191	W14X283	W14X426	0.0812	0.0840	3508.7784
	W14X426	W14X426	0.0840	0.0840	
	W14X370	W14X500	0.0829	0.0852	
	W14X500	W14X500	0.0852	0.0852	
	W24X306	W24X370	0.1435	0.1454	
	W24X370	W24X370	0.1454	0.1454	
W33X130	W24X229	W24X250	0.1358	0.1365	2546.3541
	W24X250	W24X250	0.1365	0.1365	
W33X141	W14X398	W14X500	0.0801	0.0819	2779.5958
	W14X500	W14X500	0.0819	0.0819	
	W14X455	W14X550	0.0811	0.0828	
	W14X550	W14X550	0.0828	0.0828	
W33X169	W14X311	W14X426	0.0789	0.0812	3353.368
	W14X426	W14X426	0.0812	0.0812	
W36X135	W24X250	W24X279	0.1417	0.1425	2814.1998
	W24X279	W24X279	0.1425	0.1425	
W36X150	W24X279	W24X306	0.1430	0.1438	3168.1065
	W24X306	W24X306	0.1438	0.1438	
	W24X306	W24X335	0.1438	0.1446	
	W24X335	W24X335	0.1446	0.1446	
W36X160	W24X335	W24X370	0.1448	0.1458	3391.1653
	W24X370	W24X370	0.1458	0.1458	
W36X182	W14X398	W14X550	0.0842	0.0869	3879.8119
	W14X550	W14X550	0.0869	0.0869	
	W14X500	W14X605	0.0860	0.0878	
	W14X605	W14X605	0.0878	0.0878	
W36X194	W14X550	W14X730	0.0871	0.0902	4140.5858
	W14X730	W14X730	0.0902	0.0902	
W36X210	W14X605	W14X730	0.0884	0.0905	4489.4783
	W14X730	W14X730	0.0905	0.0905	
W30X148	W14X257	W14X342	0.0730	0.0745	2660.5493
	W14X342	W14X342	0.0745	0.0745	
	W14X342	W14X426	0.0745	0.0762	
	W14X426	W14X426	0.0762	0.0762	
	W24X207	W24X279	0.1264	0.1309	
	W24X279	W24X279	0.1309	0.1309	
	W24X250	W24X306	0.1301	0.1318	
	W24X306	W24X306	0.1318	0.1318	
W30X173	W24X250	W24X335	0.1414	0.1439	3162.7922
	W24X335	W24X335	0.1439	0.1439	

Çizelge Ek-A.1- Zayıflatılmış Kiriş Kesitlerine ait Eğilme Momenti Kapasiteleri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Onur Şeker

Doğum Tarihi ve Yeri: 30.07.1983 / İstanbul

Yabancı Dili: İngilizce

E-posta: oseker@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	YTÜ	2009
Lise	Fen	Vefa Anadolu Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	YTÜ/İnşaat Mühendisliği	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Akbaş, B., Shen, J., Şeker, O., Toru, P., (2011). "Çelik Çerçevelerde Görelî Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi", 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs-3 Haziran 2011, İstanbul.

