



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

BİNALARIN PERFORMANS ANALİZİNDE

YAKLAŞIK BİR YÖNTEM

ABDUL RAHİM HALİMİ

Tez Danışmanı:

PROF. DR. KANAT BURAK BOZDOĞAN

ÇANAKKALE - 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNALARIN PERFORMANS ANALİZİNDE
YAKLAŞIK BİR YÖNTEM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDUL RAHİM HALİMİ

Tez Danışmanı:

PROF. DR. KANAT BURAK BOZDOĞAN

ÇANAKKALE - 2022



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Abdul Rahim HALİMİ tarafından Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN yönetiminde hazırlanan ve **25/11/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Binaların Performans Analizinde Yaklaşık Bir Yöntem**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ Üyeleri

İmza

Prof. Dr. K. Burak BOZDOĞAN
(Danışman)

.....

Prof. Dr. H. Orhun KÖKSAL

.....

Dr. Öğr. Üyesi Duygu ÖZTÜRK

.....

Tez No : 10487811

Tez Savunma Tarihi : 25/11/2022

.....

Doç. Dr. Yener PAZARCIK
Enstitü Müdürü

.../.../2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

.....
Abdul Rahim HALİMİ

25/ 11/2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca bilgi birikiminden yararlandığım, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve kıymetli zamanını bana ayıran saygı değer danışman hocam sayın Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN' a, bugüne kadar üzerimde emeği olan tüm hocalarıma, hayatımın her aşamasında bana her türlü desteği sağlayan başta değerli babam Abdul Halim HALİMİ olmak üzere değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Abdul Rahim HALİMİ
Çanakkale, Kasım 2022

ÖZET

BİNALARIN PERFORMANS ANALİZİNDE YAKLAŞIK BİR YÖNTEM

Abdul Rahim HALİMİ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

25/11/2022, 129

Bu tez çalışmasında burulmasız binaların doğrusal olmayan analizi için basitleştirilmiş bir model önerilmiştir. Önerilen modelde çok katlı bina iki Timoshenko kirişinin kat hizalarında iki ucu mafsallı çubuklarla birleştirilmesinden oluşan bir sandviç kiriş olarak temsil edilmektedir. Sunulan yöntemle taşıyıcı sistem türünden bağımsız olarak burulmasız tüm binalar eşdeğer bir sandviç kiriş olarak temsil edilebilmektedir. Sandviç kiriş modeli literatürde daha önce geliştirilmiş olan Fishbone modeli ve eşdeğer çerçeve modelinden farklı olarak yalnızca çerçeve taşıyıcı sistemlere değil her türlü taşıyıcı sisteme sahip binaların analizinde kullanılabilir. Literatürde perdeli binaların doğrusal olmayan analizi için kullanılan eğilme- kayma kiriş modelinde ise düşey taşıyıcı elemanların aksel yer değiştirmeleri ile perdelerdeki kayma deformasyonları dikkate alınmamaktadır. Burada önerilen sandviç kiriş modelinde ise perdelerdeki kayma deformasyonları ile düşey taşıyıcı elemanlardaki aksel yer değiştirmeler doğrusal olmayan analizde dikkate alınmaktadır. Çerçeve ve bağ kirişlerinin plastik momentleri toplamı eşdeğer bir kesme kapasitesi olarak, kolon ve perdelerin eğilme momenti kapasitelerinin toplamı ise eşdeğer bir eğilme momenti kapasitesi olarak her katta tanımlanmaktadır. Çalışmanın son bölümünde sunulan modelin uygunluğunu göstermek üzere bir dizi örnek çözümlerle sonuçlar detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sunulan yöntemin yeter uygunlukta sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Doğrusal Olmayan Analiz, Sandviç Kiriş, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, Statik İtme Analizi

ABSTRACT

AN APPROXIMATE METHOD FOR PERFORMANCE ANALYSIS OF BUILDINGS

Abdul Rahim HALIMI

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

25/11/2022, 129

In this thesis, a simplified model is proposed for the nonlinear analysis of torsionless buildings. In the proposed model, the multi-storey building is represented as a sandwich beam, which consists of two Timoshenko beams joined at floor levels by hinged bars at both ends. With the presented method, all non-torsion buildings can be represented as an equivalent sandwich beam, regardless of the structural system type. The presented method, unlike the Fishbone model and the equivalent frame model, which has been previously developed in the literature, can be used in the analysis of buildings with not only frame carrier systems, but also all kinds of carrier systems. In the flexural shear beam model used for nonlinear analysis of sheared buildings in the literature, the axial displacements of the vertical structural members and shear deformations in the shear walls are not taken into account. In the sandwich beam model proposed here, shear deformations in the walls and axial displacements in the vertical bearing elements are taken into account in the nonlinear analysis. The sum of the plastic moments of the frame and the tie beams is defined as an equivalent shear capacity, and the bending moment capacities of the columns and walls are defined as a total equivalent bending moment capacity at each floor. In order to show the suitability of the model presented in the last part of the study, a series of examples were solved and the results were compared with the detailed finite element method. As a result, it was evaluated that the presented method gave satisfactory results.

Keywords: Nonlinear Analysis, Sandwich Beam, Nonlinear Analysis In Time History, Static Pushover Analysis

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETKİN BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xxi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xxix

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2

2.1. Literatür Araştırması	2
2.1.1. Doğrusal Olmayan Analiz ile İlgili Genel Çalışmalar	7
2.1.2. Doğrusal Olmayan Analiz İçin Geliştirilmiş Yaklaşık Yöntemler ile İlgili Çalışmalar	10

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

11

3.1. Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz	11
3.2. Doğrusal Olmayan Statik Analizi	12
3.2.1. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi	12
3.2.2. Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi.....	12
3.2.3. Çok Modlu İtme Analizi.....	13

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

14

4.1. Sürekli Sistem Hesap Modeli	14
4.2. Sandviç Kiriş Modeli İle Binaların Doğrusal Olmayan Analizi	16
4.3. Esnek Temele Oturan Boşluklu Perdelerin Sandviç Kiriş Modeli İle Doğrusal Olmayan Analizi.....	21

BEŞİNCİ BÖLÜM

SAYISAL UYGULAMALAR

23

5.1. Birinci Sayısal Uygulama.....	24
5.2. İkinci Sayısal Uygulama.....	31
5.3. Üçüncü Sayısal Uygulama.....	53
5.4. Dördüncü Sayısal Uygulama.....	63
5.5. Beşinci Sayısal Uygulama.....	79
5.6. Altıncı Sayısal Uygulama.....	95
5.7. Yedinci Sayısal Uygulama.....	110
5.8. Sekizinci Sayısal Uygulama.....	120

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

121

6.1. SONUÇLAR	119
KAYNAKLAR	123
ÖZGEÇMİŞ	I

SİMGELER VE KISALTMALAR

m	Metre
E	Elastisite modülü
μ	Poisson Oranı
g	Gram
K_{θ}	Perde altlarındaki dönme yaylarının etkisi
K_v	Temel de ankastre dönen yay katsayısı
Mak	Maksimum
Min	Minimum
T-K	Taban kesme
S	Saniye
$V_{t.mak}$	Maksimum taban kesme kuvveti
$V_{t.min}$	Minimum taban kesme kuvveti
EI	Eğilme rijitlik
x_j	j. Kolonun ağırlık merkezine uzaklığı
\bar{x}	Kolon ağırlık merkezinin yeri
V_{pi}	Kirişinde eşdeğer kat kesme kapasitesi
M_{pbj}	Çerçeve ve/veya bağ kirişinin kesitindeki eğilme momenti kapasitesi
M_{pci}	Kolon ve kirişlerin eğilme momenti kapasiteleri
DSE	Detaylı sonlu eleman
SKM	Sandviç kiriş modeli
KN	Kilo Newton
P	Perde
KK	Köşe kiriş
OK	Orta kiriş
PGA	Tepe yer ivmesi
$(EI)_i$	i. Kattaki perde ve kolonların eğilme rijitlikleri toplamı
$(GA')_i$	i. Katta perde ve kolonların kayma rijitlikleri toplamı
Ksi	İ. Katta çerçeve, kombine perde ve/veya boşluklu perdelerin oluşturmuş olduğu kayma rijitliği toplamı
r_g ve s_g	Sırasıyla zemin katta kirişlerin ve kolonların redörleri toplamı
r_i ve s_i	i. Kattaki kiriş ve kolonların redörleri toplamı

D_i	i. Katta Eksenel kuvvetlerin yatay yer değiştirmeye katkısını gösteren global eğilme rijitliği
A_j	j. Kolonun alanı
h_i	i. Katın yüksekliği
Y-D	Yer değiştirme
D-Olmayan	Doğrusal olmayan



TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Sürekli sistem hesap modelinde kullanılan kiriş modelleri ve kullanıldığı yerler	15
Tablo 2	1. Örneğe ait özellikler (1. örnek)	25
Tablo 3	İki açıklıklı betonarme çerçeve örneği için plastik mafsallık özellikleri (1. örnek)	25
Tablo 4	Örnek 1 için EI, GA' ve D değerleri (1. örnek)	25
Tablo 5	Örnek 1 için K_s değerleri (kN) (1. örnek)	25
Tablo 6	Birinci örnek için doğrusal olmayan statik analiz sonucu elde edilen statik itme eğrisi noktalarının karşılaştırılması (1. örnek)	26
Tablo 7	Birinci örnek için periyotların karşılaştırılması (1. örnek)	27
Tablo 8	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	27
Tablo 9	Büyütülmüş El Centro kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu bulunan tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	27
Tablo 10	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	28
Tablo 11	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	28
Tablo 12	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (1. örnek)	30
Tablo 13	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	30
Tablo 14	Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	30

Tablo 15	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	31
Tablo 16	Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)	31
Tablo 17	Kobe deprem kaydı etkinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda bulunan taban kesme kuvvetleri (1. örnek)	31
Tablo 18	Örnek 1 için çözüm sürelerinin karşılaştırması (1. örnek)	31
Tablo 19	İkinci örneğe ait özellikler (2. örnek)	32
Tablo 20	Tek açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneğin kesit özellikleri (2. örnek)	32
Tablo 21	Tek açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği için plastik mafsâl özellikleri (2. örnek)	32
Tablo 22	Örnek 2 için EI, GA' ve D değerleri (2. örnek)	32
Tablo 23	Örnek 2 için Ks değerleri (kN) (2. örnek)	33
Tablo 24	İkinci örnek için doğrusal olmayan statik analiz sonucu elde edilen statik itme eğrisi noktalarının karşılaştırılması (2. örnek)	34
Tablo 25	İkinci örnek için periyotların karşılaştırılması (2. örnek)	35
Tablo 26	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (2. örnek)	35
Tablo 27	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)	37
Tablo 28	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)	37
Tablo 29	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (2. örnek)	39

Tablo 30	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (2. örnek)	39
Tablo 31	Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (2. örnek)	40
Tablo 32	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)	41
Tablo 33	Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)	41
Tablo 34	Kobe deprem kaydı etkinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda bulunan taban kesme kuvvetleri (2. örnek)	42
Tablo 35	Örnek 2 için çözüm sürelerinin karşılaştırması (2. örnek)	42
Tablo 36	Üçüncü örneğe ait özellikleri (3. örnek)	42
Tablo 37	Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği için plastik mafsâl özellikleri (3. örnek)	43
Tablo 38	Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği için kesit (kolon, kiriş) özellikleri (3. örnek)	44
Tablo 39	Örnek 3 için EI, GA' ve D değerleri (3. örnek)	44
Tablo 40	Örnek 3 için Ks değerleri (kN) (3. örnek)	44
Tablo 41	Detaylı sonlu elemanlar ve sandviç kiriş modeli ile elde edilen statik itme eğrilerinin koordinatlarının karşılaştırılması (3. örnek)	45
Tablo 42	Periyot değerlerinin karşılaştırılması (3. örnek)	46
Tablo 43	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmeleri (3. örnek)	46
Tablo 44	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)	48
Tablo 45	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman	48

	tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)	
Tablo 46	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (3. örnek)	50
Tablo 47	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (3. örnek)	50
Tablo 48	Kobe deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında analizlerden elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (3. örnek)	51
Tablo 49	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)	52
Tablo 50	Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)	52
Tablo 51	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (3. örnek)	52
Tablo 52	Örnek 3 için çözüm sürelerinin karşılaştırılması (3. örnek)	52
Tablo 53	4. örneğe ait özellikler (4. örnek)	53
Tablo 54	Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneğinin kesit (kolon, kiriş) özellikleri (4. Örnek)	53
Tablo 55	Örnek 4 için EI, GA' ve D değerleri (4. örnek)	55
Tablo 56	Örnek 4 için Ks değerleri (kN) (4. örnek)	55
Tablo 57	Örnek 4 için statik itme eğrilerinin noktalarının karşılaştırılması (4. Örnek)	55-56
Tablo 58	Periyot değerlerinin karşılaştırılması (4. örnek)	57
Tablo 59	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmeleri (4. örnek)	57
Tablo 60	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal	58

	olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)	
Tablo 61	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)	58
Tablo 62	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar ve sandviç kiriş modelleri ile doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (4. örnek)	60
Tablo 63	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (4. örnek)	61
Tablo 64	Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analizlerden elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (4. örnek)	62
Tablo 65	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)	62
Tablo 66	Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)	63
Tablo 67	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (4. örnek)	63
Tablo 68	Örnek 4 için çözüm sürelerinin karşılaştırması (4. örnek)	63
Tablo 69	5. Örneğe ait özellikler (5. örnek)	65
Tablo 70	Boşluklu perde örneği için yay katsayıları (5. örnek)	65
Tablo 71	Örnek 5 için EI, GA' ve D değerleri (5. örnek)	65
Tablo 72	Örnek 5 için K_s değerleri (kN) (5. örnek)	65
Tablo 73	Doğrusal olmayan statik itme eğrisinin noktalarının karşılaştırılması (5. örnek)	66
Tablo 74	Rijit temel durumu için periyot değerlerinin karşılaştırılması (5. örnek)	68
Tablo 75	Rijit temel durumu için büyütölmüş El Centro deprem	68-69

	kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analize göre kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (5. örnek)	
Tablo 76	Rijit temel durumu için Zaman tanım alanında analizinde tepe noktasındaki yer değiştirmelerin karşılaştırılması (5. örnek)	70
Tablo 77	Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)	70
Tablo 78	Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)	71
Tablo 79	4 farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (5. örnek)	71
Tablo 80	4 farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (5. örnek)	72
Tablo 81	Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)	74
Tablo 82	Dört farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)	74
Tablo 83	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (5. örnek)	74-75
Tablo 84	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerin karşılaştırılması (5. örnek)	76
Tablo 85	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî	76

kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Tablo 86	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)	77
Tablo 87	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (5. örnek)	77
Tablo 88	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (5. örnek)	78
Tablo 89	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)	78
Tablo 90	Dört farklı temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilmiş taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)	78
Tablo 91	Örnek 5 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (5. örnek)	79
Tablo 92	Örnek 5 için esnek temel durumunda (D durumu) çözüm sürelerinin karşılaştırması (5. örnek)	79
Tablo 93	Boşluklu perde örneği için yay katsayıları (6. örnek)	79
Tablo 94	6. Örneğe ait özellikler (6. örnek)	80
Tablo 95	Örnek 6 için EI, GA' ve D değerleri (6. örnek)	80
Tablo 96	Örnek 6 için K_s değerleri (kN) (6. örnek)	80
Tablo 97	Doğrusal olmayan statik itme eğrisinin noktalarının karşılaştırılması (6. örnek)	82
Tablo 98	Rijit temel durumu için Örnek 6 için periyotların karşılaştırılması (6. örnek)	84
Tablo 99	Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (6. örnek)	84-85
Tablo 100	Rijit temel durumu için zaman tanım alanında analizinde tepe noktasındaki yer değiştirmeleri (6.	85

örnek)

Tablo 101	Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)	87
Tablo 102	Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)	87
Tablo 103	El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (6. örnek)	87
Tablo 104	El Centro etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (6. örnek)	87
Tablo 105	Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin zarf değerlerinin karşılaştırılması (6. örnek)	89
Tablo 106	Dört farklı temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (6. örnek)	90
Tablo 107	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş elemanlarının kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (6. örnek)	90
Tablo 108	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (6. örnek)	91
Tablo 109	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)	92
Tablo 110	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)	92
Tablo 111	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (6. örnek)	93
Tablo 112	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım	93

alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (6. örnek)

Tablo 113	Rijit temel durumu için Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinin taban kesme kuvvetleri (6. örnek)	94
Tablo 114	Dört farklı temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (6. örnek)	94
Tablo 115	Örnek 6 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (6. örnek)	94
Tablo 116	Örnek 6 için esnek temel durumunda (D durumu) çözüm sürelerinin karşılaştırması (6. örnek)	94
Tablo 117	7. Örneğe ait özellikler (7. örnek)	96
Tablo 118	Boşluklu perde örneği için yay katsayıları (7. örnek)	96
Tablo 119	Örnek 7 için EI, GA' ve D değerleri (7. örnek)	96
Tablo 120	Örnek 7 için K_s değerleri (kN) (7. örnek)	96
Tablo 121	Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması (7. örnek)	97
Tablo 122	Rijit temel durumu için Periyot değerlerinin karşılaştırılması (7. örnek)	99
Tablo 123	Rijit temel durumunda büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	99
Tablo 124	Rijit temel durumu için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktasındaki yer değiştirmeleri (7. örnek)	101
Tablo 125	Rijit temel durumu için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	101
Tablo 126	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	101
Tablo 127	Farklı temel durumları için büyütölmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım	102

alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)

Tablo 128	Farklı temel durumları için büyütölmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)	102
Tablo 129	Rijit temel için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)	104
Tablo 130	Dört farklı temel durumu için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)	105
Tablo 131	Rijit temel durumu için büyütölmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	105
Tablo 132	Rijit temel durumunda büyütölmüş Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	106
Tablo 133	Rijit temel durumu için büyütölmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	107
Tablo 134	Rijit temel durumu için büyütölmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	107
Tablo 135	Farklı temel durumları için büyütölmüş Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)	108
Tablo 136	Farklı temel durumları için büyütölmüş Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)	108
Tablo 137	Rijit temel durumunda büyütölmüş Kobe deprem kaydı etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)	109

Tablo 138	Dört farklı temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)	109
Tablo 139	Örnek 7 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	109
Tablo 140	Örnek 7 için esnek temelin (D) durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırılması (7. örnek)	109
Tablo 141	8. Örneğe ait özellikler (8. örnek)	110
Tablo 142	Perde-çerçeve sistem için plastik mafsal özellikleri (8. örnek)	110
Tablo 143	8. Örnek için EI, GA' ve D değerleri (8. örnek)	110
Tablo 144	Örnek 8 için K_s değerleri (kN) (8. örnek)	112
Tablo 145	Statik itme eğrisinin noktalarının karşılaştırılması (8. örnek)	113
Tablo 146	Periyot değerlerinin karşılaştırılması (8. örnek)	114
Tablo 147	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri (8. örnek)	114
Tablo 148	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)	115
Tablo 149	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)	115
Tablo 150	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (8. örnek)	117
Tablo 151	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmeleri (8. örnek)	118
Tablo 152	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)	119
Tablo 153	Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat	119

ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)

Tablo 154	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (8. örnek)	120
Tablo 155	Örnek 8 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (8. örnek)	120



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Statik İtme Analizi yönteminin temsili gösterimi	12
Şekil 2	Çok modlu itme analizi	13
Şekil 3	Eşdeğer kiriş modelleri	14
Şekil 4	Sandviç kiriş modeli	16
Şekil 5	Tipik çerçeve	18
Şekil 6	Çerçevelerde zemin katta eşdeğer kayma rijitliğinin bulunmasında kullanılan model	18
Şekil 7	Çerçevelerde ara katlarda eşdeğer kayma rijitliğinin bulunmasında kullanılan model	18
Şekil 8	Çerçevelerde en üst katta eşdeğer kayma rijitliğinin bulunmasında kullanılan model	18
Şekil 9	Boşluklu perdeli tipik çerçeve	19
Şekil 10	Doğrusal olmayan sandviç kiriş modeli	20
Şekil 11	El Centro deprem kaydı	23
Şekil 12	Kobe deprem kaydı	23
Şekil 13	İki açıklıklı betonarme çerçeve örneği. (Sayısal örnek 1)	24
Şekil 14	Birinci uygulama için statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 1)	26
Şekil 15	Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 1)	28
Şekil 16	Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 1)	29
Şekil 17	Detaylı sonlu elemanlar modeli kullanılarak büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerin değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal	29

	örnek 1)	
Şekil 18	Tek açıklıklı çelik düzlem çerçevesi yapı örneği. (Sayısal örnek 2)	33
Şekil 19	İkinci uygulama için statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)	34
Şekil 20	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)	36
Şekil 21	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum göreceli kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)	36
Şekil 22	Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 2)	37
Şekil 23	Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 2)	38
Şekil 24	Detaylı sonlu elemanlar modeli kullanılarak büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)	38
Şekil 25	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)	40
Şekil 26	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum göreceli kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)	41
Şekil 27	Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği. (Sayısal örnek 3)	43
Şekil 28	Üçüncü örnek için elde edilmiş olan statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)	45
Şekil 29	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)	47

Şekil 30	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)	47
Şekil 31	Büyütülmüş El Centro depremi etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli için doğrusal zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 3)	48
Şekil 32	Büyütülmüş El Centro depremi etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 3)	49
Şekil 33	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı için detaylı sonlu elemanlar modeli ile zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimlerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)	49
Şekil 34	Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)	50
Şekil 35	Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)	51
Şekil 36	Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği. (Sayısal örnek 4)	54
Şekil 37	Örnek 4 için statik itme eğrilerinin noktalarının karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4)	56
Şekil 38	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4)	57
Şekil 39	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4)	58
Şekil 40	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar modeli ile doğrusal zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerini değişimi. (Sayısal örnek 4)	59
Şekil 41	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar modeli ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerini değişimi. (Sayısal örnek 4)	59
Şekil 42	Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu	60

elemanlar modeli ile doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırması. (Sayısal örnek 4)

- Şekil 43** Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4) 61
- Şekil 44** Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4) 62
- Şekil 45** Tek açıklıklı boşluklu perde örneği. (Sayısal örnek 5) 64
- Şekil 46** Rijit temel durumunda statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5) 67
- Şekil 47** 4 farklı temel durumu için statik itme (push over) eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5) 67
- Şekil 48** Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5) 69
- Şekil 49** Rijit temel durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5) 70
- Şekil 50** İki farklı zemin durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5) 71
- Şekil 51** Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumunda El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizinden elde edilen taban kesme kuvveti grafiği. (Sayısal örnek 5) 72
- Şekil 52** Rijit temel durumu için dolu perdelerin kabuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5) 73
- Şekil 53** Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk ve kabuk elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. 73

	(Sayısal örnek 5)	
Şekil 54	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)	75
Şekil 55	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)	76
Şekil 56	Kobe deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)	77
Şekil 57	Tek açıklıklı boşluklu perde örneği. (Sayısal örnek 6)	81
Şekil 58	Rijit temel durumunda statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	83
Şekil 59	Dört farklı temel durumu için elde edilen statik itme (push over) eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	83
Şekil 60	Rijit temel durumu için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	85
Şekil 61	Rijit temel durumu için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	86
Şekil 62	Büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	86
Şekil 63	Rijit temel durumu için çubuk eleman için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 6)	88
Şekil 64	Rijit temel durumu için kabuk eleman için büyütölmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 6)	88
Şekil 65	Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk ve kabuk	89

elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

Şekil 66	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	91
Şekil 67	Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	92
Şekil 68	Kobe deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)	93
Şekil 69	Üç açıklıklı boşluklu perde örneği. (Sayısal örnek 7)	95
Şekil 70	Yedinci uygulama için rijit temel durumunda statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)	98
Şekil 71	Dört farklı temel durumu için elde edilen statik itme eğrilerinin (push over) karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)	98
Şekil 72	Rijit temel durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)	100
Şekil 73	Şekil 73. Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)	101
Şekil 74	Farklı temel durumları için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)	102
Şekil 75	Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizinden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 7)	103
Şekil 76	Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizinden	103

elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal rnek 7)

şekil 77	Rijit temel durumu için dolu perde kısımlarında çubuk ve kabuk eleman kullanılması durumunda bytlmş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişimi karşılaştırması. (Sayısal rnek 7)	104
şekil 78	Rijit temel durumu için bytlmş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan kat yer değiştirmelerin karşılaştırması. (Sayısal rnek 7)	106
şekil 79	Rijit temel durumu için bytlmş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelili kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal rnek 7)	107
şekil 80	Farklı temel durumları için bytlmş Kobe deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelili kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal rnek 7)	108
şekil 81	çok aıklıklılı perdeli ereve örneğinin 2 boyutlu görünüşü. (Sayısal rnek 8)	111
şekil 82	şekil 82. Çok aıklıklılı perdeli ereve örneğinin 3 boyutlu görünüşü. (Sayısal rnek 8)	112
şekil 83	Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal rnek 8)	113
şekil 84	Bytlmş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal rnek 8)	114
şekil 85	Bytlmş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelili kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal rnek 8)	115
şekil 86	Bytlmş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli ile iki boyutlu eleman için doğrusal zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal rnek 8)	116
şekil 87	Bytlmş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli ile üç boyutlu eleman için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal rnek 8)	116
şekil 88	Bytlmş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu	117

elemanlar modeli ile iki boyutlu ve üç boyutlu elemanların doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinin sonucu taban kesme kuvvetlerinin değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8)

- Şekil 89** Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8) 118
- Şekil 90** Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8) 119



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Deprem etkisi altında binaların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi önemlidir. Doğrusal olmayan analiz için kullanılan ve tek tek bütün elemanların dikkate alındığı yöntemler oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. Özellikle ön boyutlandırma aşamasında ve detaylı analiz yapan programların kontrolü için kullanılmak üzere yaklaşık hesap yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez kapsamında ön boyutlandırma aşamasında ve detaylı analiz yapan yapı analiz programlarının kontrolünde kullanılmak üzere binaların doğrusal olmayan analizi için basit ve hızlı bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tezde öncelikle binaların doğrusal olmayan analizi ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar genel çalışmalar ve yaklaşık yöntemlerle doğrusal olmayan analiz olmak üzere iki başlıkta 2. bölümde verilmiştir. Üçüncü bölümde doğrusal olmayan analiz hakkında kısa bir açıklama yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise bu tez kapsamında önerilen model anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise önerilen sandviç kiriş modelinin uygunluğunu göstermek üzere çözülmüş sayısal örneklere yer verilmiştir. Beşinci bölümde 8 sayısal örnek çözülmüştür.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde doğrusal olmayan analiz ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

2.1. Literatür Araştırması

2.1.1. Doğrusal Olmayan Analiz ile İlgili Genel Çalışmalar

Tso ve Moghadam (1998), simetrik ve asimetrik olarak tasarlanmış üç katlı iki betonarme binanın statik itme analizi ve elastik olmayan dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Analizler sonucunda yatay yer değiştirmeler, görelî kat ötelemeleri ve kolon-kiriş süneklikleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak simetrik olmayan binalar ile düzensiz binalarda tek modla analizin yeterli olmadığı vurgulanmıştır.

Yang ve Wang (2000), yatayda ve düşeyde düzensizliklere sahip sekiz, on iki ve on beş katlı betonarme binaların doğrusal olmayan analizini tek modlu statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Statik itme analizleri için üç farklı yatay yükleme durumu dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda her bir yükleme durumu için tepe noktası yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ve plastik mafsâl dönmeleri karşılaştırılmıştır. Statik itme analizi ile zaman tanım alanında analiz karşılaştırıldığında üçüncü yatay yükleme ile yapılan itme analizinin diğer yüklemelere göre daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak üçüncü yatay yüklemenin daha gerçeğe yakın olduğu görülmüştür.

Moghadam ve Tso (2000), üç açıklığa sahip yedi katlı betonarme bir binayı üç farklı şekilde tasarlamışlardır. Bu binalardan birincisinin taşıyıcı sistemi salt çerçevelerden oluşmaktadır. İkinci binanın taşıyıcı sistemi perde duvarlar eklenerek oluşturulmuştur. Üçüncü bina ise kat planı değiştirilerek son dört katında sadece orta açıklığın devam ettiği salt çerçeve sistem ile tasarlanmıştır. Bu üç binanın analizleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz

ve statik itme analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra iki analiz yöntemi ile hesaplanan maksimum yer değiştirmeleri ve maksimum görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır.

Mwafy ve Elnashai (2001), sekiz katlı taşıyıcı sistemi salt çerçevelerden ve perde-çerçevelerden oluşan düzenli iki binada, sekiz katlı düzensiz çerçeve bir binada ve son olarak sekiz katlı perde duvarlı bir binada statik itme analizi ve dinamik analiz yöntemlerini uygulamışlardır. Statik itme analizleri üç farklı yatay yükleme durumu için yapılmıştır. Dinamik analizler ise yapay ve doğal deprem kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Analizler sonucunda taban kesme kuvveti ve yer değiştirme eğrileri incelendiğinde üç bina için de statik ve dinamik analizler sonucunda bulunan yer değiştirme değerlerinin farklı çıktığı görülmüştür. Düzensiz çerçeve binada statik göçme aralığı büyük çoğunlukla dinamik göçme aralığının içinde kalmıştır. Düzenli çerçeve binada ise göçme aralıklarının kesiştiği ancak statik göçme aralığının daha önce başladığı görülmüştür. Son olarak perde duvarlı binada statik ve dinamik göçme aralıklarının kesişmediği ve statik göçme aralığının dinamik göçme aralığına göre daha erken başladığı gözlemlenmiştir.

Elnashai (2001), altı ve on katlı betonarme binalarda geleneksel pushover analizi, geliştirilmiş pushover analizi ve zaman tanım alanında analizler yaparak taban kesme kuvveti ve tepe noktası yer değiştirmelerini karşılaştırmıştır. Statik itme analizinde yükleme olarak düzgün yayılı, üçgen yayılı ve birinci mod şekline uygun yatay yükleme olmak üzere üç farklı durum dikkate alınmıştır.

Chopra ve Goel (2002), dokuz katlı çelik bir yapının deprem performansını çok modlu statik itme analizi ve zaman tanım alanında analiz yöntemlerini kullanarak incelemiştir. Analizler FEMA 273'e göre gerçekleştirilmiştir. Çok modlu statik itme analizi ile çözümde üç mod dikkate alınmış olup her mod için kat yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve statik itme eğrileri elde edilmiştir.

Anson vd. (2002), dört farklı perde duvarı ele alarak bunları çubuk ve membran eleman olarak modellemişler ve nümerik analizlerini

gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra ele alınan perdelerin statik itme analizini deneysel ve teorik olarak yapmışlardır. Analiz sonucunda kapasite eğrileri, süneklikleri ve dönme açıları karşılaştırılmıştır.

Hasan vd. (2002), performansa dayalı tasarım için statik itme analizi yapan bilgisayar tabanlı bir program geliştirmişlerdir. Bu program ile üç ve dokuz katlı çelik çerçevelerden oluşan iki bina analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda çeşitli performans düzeylerindeki süneklik, taban kesme kuvveti ve tepe noktası yer değiştirmeleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca her performans düzeyinde oluşan plastik mafsallar detaylı olarak incelenmiştir.

Rana vd. (2004), tasarımı UBC-1997' ye göre yapılan on dokuz katlı, betonarme perdeli bir binanın deprem performansını statik itme analizi yöntemini kullanarak hesaplamışlardır. Statik itme analizleri Sap2000 programı kullanılarak x ve y asal eksen yönlerinde yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda her iki yön için de pushover eğrisi elde edilmiş ve yapı performans noktası tespit edilmiştir.

Zou ve Chan (2005), virtuel iş prensibi ve Taylor serisi yaklaşımını kullanarak elastik olmayan performansa dayalı bir tasarım tekniği geliştirmişlerdir. Çalışmada tek katlı tek açıklıklı ve on katlı iki açıklıklı betonarme binaların farklı düşey yükler altında itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yatay yer değiştirmeleri SAP2000 ve virtuel iş yöntemi ile elde edilen sonuçlarla kıyaslamışlardır. Ayrıca her iki farklı yükleme durumu için kapasite eğrileri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Son olarak itme analizi sonucunda oluşan plastik mafsallar ve deprem performansları belirlenmiştir.

Qian ve Chen (2005), kesit ve donatı özellikleri birbirinden farklı dokuz perde duvarın farklı aksenal yük düzeyleri için doğrusal olmayan davranışlarını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Nümerik analizlerde statik itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonunda nümerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Galasco vd. (2006), iki katlı yığma bir binanın statik itme analizini gerçekleştirmiştir. İtme analizlerinde yük şekli olarak üniform ve birinci mod

şekliyle orantılı yük durumu ayrı olarak dikkate alınmıştır. Daha sonra doğrusal olmayan artımsal dinamik analizler yapılarak statik itme analizlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca gerçek yer değiştirme değerleri ile uyarlanmış statik itme analizi prosedürü geliştirilmiştir. Sonuç olarak uyarlanmış itme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi diğer statik ve dinamik analizler ile karşılaştırılmıştır.

Han ve Chopra (2006), üç dokuz ve yirmi katlı çelik binaların yaklaşık artımsal dinamik analizini ve çok modlu statik itme analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Tepe noktası yer değiştirmelerini, tepe noktası dönmelerini, görelî kat ötelemelerini ve farklı PGA değerleri ile kat yer değiştirmelerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak tek modlu analizin yüksek yapılarda yanlış sonuçlar çıkardığı belirtilmiştir.

Nie vd. (2006), beton ile doldurulmuş çelik kolonlardan ve çelik kirişlerden oluşan on katlı bir binanın statik itme analizlerini yapmışlardır. Statik itme analizi için gerekli olan moment-eğrilik ve eksenel kuvvet-moment diyagramları iki ayrı yöntem ile hesaplanmıştır. Analiz sonucunda her iki deprem doğrultusunda statik itme eğrileri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra plastik mafsall oluşum sırası bina üzerinde şekilsel olarak gösterilmiştir.

Boonyapinyo vd. (2008), dokuz katlı betonarme bir binayı kazık temelli ve kazık temelsiz olmak üzere iki farklı tipte tasarlamışlardır. Çalışmada ele alınan binanın çok modlu statik itme analizlerini ve elastik olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Üç mod dikkate alınarak yapılan statik itme analizinden elde edilen kat ötelemelerinin zemin katta dinamik analizle elde edilen sonuçlara yakın olduğu gözlemlenirken üst katlarda ise sonuçların uzak olduğu görülmüştür.

Kadid ve Boumrkik (2008), aynı kat planına sahip beş, sekiz ve on iki katlı betonarme binaların doğrusal olmayan statik itme analizini Sap2000 programını kullanarak yapmışlardır. Analizler sonucunda statik itme eğrileri karşılaştırılarak hedef yer değiştirme değerleri belirlenmiştir. Daha sonra üç ayrı

binada oluşan plastik mafsallar incelenmiştir. Son olarak Cezayir’de deprem sonrası ağır hasar oluşan binaların güçlü kiriş zayıf kolon olarak tasarlandığı belirtilmiştir.

D’ambrisi vd. (2009), yatay ve düşey düzensizliğe sahip dört katlı bir betonarme okul binasını incelemiştir. Yapının performans analizleri geleneksel pushover, değiştirilmiş pushover ve elastik olmayan dinamik analiz yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca PGA değerleri değiştirilerek analizler tekrarlanıp, yer değiştirmeler, görel kat ötelemeleri ve dönme değerleri karşılaştırılmıştır.

Duan ve Hueste (2012), Çin yönetmeliğine göre tasarlanmış çok katlı bir betonarme binanın deprem performansını statik itme analizi yöntemini kullanarak incelemiştir. Statik itme analizinde yük şekli olarak hem üçgen yayılı hem de düzgün yayılı yük dikkate alınmıştır. Çalışmada binaya yedi deprem kaydı etkilerek zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Statik itme ve zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Han vd. (2010), dokuz katlı ve yirmi katlı çelik iki binanın analizini statik itme analizi, artımsal dinamik analiz ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz olmak üzere üç farklı yöntem kullanarak yapmışlardır.

Poluraju ve Rao (2011), taşıyıcı sistemi salt çerçevelerden oluşan dört katlı betonarme bir binanın deprem performansını doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemini kullanarak belirlemiştir. Statik itme analizi yığılı plastik davranış modeli esas alınarak yapılmıştır. Her bir itme analizi adımından elde edilen plastik mafsallar şekilsel olarak bina üzerinde gösterilmiştir. İtme analizi sonucunda oluşan plastik mafsalların büyük çoğunluğunun kirişlerde meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Sucuoğlu ve Günay (2011), on iki katlı betonarme çerçeve bir bina ile on altı katlı perde duvarlı bir binanın deprem performanslarını tek modlu statik itme analizi, genelleştirilmiş statik itme analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz olmak üzere farklı analiz yöntemleri kullanarak incelemiştir. Bu analizler on farklı yer hareketine göre yapılmıştır ve kirişlerdeki plastik

dönmeler grafiksel olarak gösterilmiştir. Katlara gelen taban kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır.

Shahrin ve Hossain (2011), altı katlı betonarme çerçeve bir binayı üç farklı şekilde tasarlamışlardır. Bu binalardan ilki düzenli, ikincisi yumuşak kat düzensizliğine sahip ve üçüncüsü ise komşu katlar arası dayanım düzensizliğine sahiptir. Daha sonra bu yapıların statik itme analizi FEMA-356 ve ATC-40 yönetmeliklerine uygun bir şekilde ETABS programı yardımı ile yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda görelî kat ötelemelerini, statik itme eğrilerini ve plastik mafsall oluşum yerleri karşılaştırılarak performans düzeylerini belirlenmiştir.

Naik ve Annigeri (2017), dokuz katlı betonarme bir binanın statik itme analizini hem varsayılan plastik mafsall kabulüne göre hem de FEMA-356 ve ATC-40 yönetmeliklerinde tanımlanan plastik mafsall kabulüne göre gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca kolon ve kirişlerin moment eğrilik ilişkileri çalışmada incelenmiştir. Daha sonra kapasite eğrileri, performans noktası yer değiştirmelerini ve tasarım taban kesme kuvveti ile performans noktası taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

2.1.2. Doğrusal Olmayan Analiz İçin Geliştirilmiş Yaklaşık Yöntemler ile İlgili Çalışmalar

İlk kez Lighfoot tarafından düzlem çerçevelerin analizi için önerilen basitleştirilmiş yöntemler ile ilgili daha sonraki yıllarda bir dizi çalışma yapılmıştır. Aşağıda bunlardan bazıları kısaca sunulmuştur.

Kilar ve Fajfar (1997), çok katlı üç boyutlu binaların nonlinear analizi için basit bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntemde üç boyutlu binanın eşdeğer iki boyutlu sistemlerin toplamından oluştuğu kabul edilmiştir. Çerçeve perde ve birleşik perde gibi taşıyıcı sistemlerin indirgenmiş rijitlik matrislerinin plastikleşmeyi de dikkate alarak oluşturulması için bir formülasyon önerilmiştir. Çalışmanın sonunda simetrik ve asimetric iki örnek çözülerek önerilen yöntemin uygunluğu gösterilmiştir.

Miranda (1999), çok katlı binaların deprem yükleri altında yaklaşık yatay yer değiştirmelerinin bulunması için eğilme–kayma kirişi modelini önermiştir. Çalışmada modelin klasik sonlu elemanlar yöntemine uygunluğu çeşitli örnekler üzerinde gösterilmiştir.

Nakashima vd. (2002), ilk kez generic frame adını verdikleri basit bir modeli çok katlı çok açıklıklı çelik çerçevelerin pratik olarak modellenmesi için önermişlerdir. Çalışmanın sonunda önerdikleri yöntemin uygunluğunu çeşitli örnekler üzerinde göstermişlerdir.

Kuang ve Huang (2011), çok katlı burulmasız perde–çerçeve sistemlerin deprem davranışlarının belirlenmesi için çok serbestlik dereceli basit bir model önermişlerdir. Önerilen modelin geliştirilmesinde sürekli sistem modeli kullanılmış olup çok katlı bina sistem eşdeğer bir eğilme kayma kirişi olarak idealize edilmiştir. Çalışmada malzeme özellikleri için çift doğrusal histeretik model kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda çözülen 20 katlı bir örnek üzerinde yöntemin uygunluğu gösterilmiştir.

Khaloo ve Khosravi (2013), çok katlı çok açıklıklı çerçevelerin lineer ve nonlinear analizinde kullanılan Fishbone modelini modifiye ederek geliştirmişlerdir. Bunun için klasik Fishbone modelinde üç değişiklik yapmışlardır. Öncelikle klasik fishbone modelinde kabul edilen düğüm noktalarının eşit dönme yaptığı kabulü modifiye edilmiştir. İkincisi aksenal uzamaları dikkate almak üzere ilave truss elemanlar eklenmiştir. Üçüncüsü de çerçeve kirişlerinin iki ucunda eş zamanlı oluştuğu kabul edilen plastikleşmeyi dikkate almak için moment dönme ilişkisi trilinear yerine bilinear alınmıştır. Çalışmada çözülen örneklerden sunulan yaklaşımın klasik Fishbone modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Tekeli ve Atımtay (2015), perdeli binaların kapasite eğrilerinin belirlenmesi için analitik bir yöntem önermişlerdir. Yöntemde doğrusal olmayan davranışta perdenin davranışının etkin olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada sunulan yöntem ile çok kısa bir sürede sonuca ulaşılabildiği gösterilmiştir.

Khaloo vd. (2015), 5-10-20 ve 30 katlı binaların iideal yönlü darbe etkisindeki davranışlarının incelenmesi için “Fishbone” modelini kullanmışlardır.

Xiong vd. (2016), yüksek binaların bölgesel doğrusal olmayan sismik davranışlarının belirlenmesi için çok serbestlik dereceli eğilme -kayma kirişi modelini önermişlerdir. Modelde kullanılan parametrelerin belirlenmesi için ilk iki mod periyotları kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Çalışmada çözülen örneklerden sunulan yaklaşımın binaların deprem davranışını oldukça iyi temsil ettiği gösterilmiştir.

Georgoussis (2017) ve Georgoussis (2020), perde-çerçeve taşıyıcı sistemlerde yaklaşık kapasite spektrumunun bulunması için bir yöntem önermiştir. Yöntemin geliştirilmesinde sürekli sistem hesap modelinden yararlanılmıştır. Çalışmanın sonunda çözülen örnekten yöntemin yeterli uygunlukta olduğu gösterilmiştir.

Haghighat ve Sharifi (2018), çalışmalarında değiştirilmiş Fishbone modelinin düzensiz çerçevelerde yaklaşıklığını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında değiştirilmiş Fishbone modelinin düzensiz çerçevelerde kullanılabilirliğini sağlamak üzere yöntemde birtakım değişiklikler yapılmıştır.

Qu vd. (2019), betonarme çerçevelerin doğrusal ve doğrusal olmayan analizinde kullanılan Fishbone modelinin uygunluğunu araştırmışlardır. Bunun için kolon kiriş rijitliği farklı 4, 8 ve 12 katlı sekiz farklı bina çözülmüştür. Çalışmada özellikle güçlü kolon zayıf kiriş durumunda fishbone modelinin çok iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Soleimani vd. (2019), daha önce çelik çerçeve sistemlerin simülasyonu için kullanılan Fishbone modelini betonarme binalara uyarlamışlardır. Bunun için Medina-Krawinkler yayları kullanılmıştır. Çalışmada hem Fishbone modelinde hem de Eşdeğer çerçeve modelinde değişiklikler yapılarak bu yöntemlerin betonarme çerçevelerin analizi için kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Jamsek ve Dolsek (2020), eski ve günümüzde yapılmış binaların analizi için geliştirilmiş fishbone modelini önermişlerdir. Geliştirilen modelde yalnızca güçlü kolon zayıf kirişe sahip çerçeveler için değil zayıf kolon güçlü kirişe sahip çerçeveler içinde iyi, sonuçlar elde edilmektedir.

Kazaz (2021), perde tabanında oluşan plastik mafsallı sonrası değişen modal özellikleri hesaplamak için analitik bir yöntem önermiştir. Bunun için konsol perde eşdeğer bir eğilme kirişi olarak idealize edilerek tabanda oluşan plastik davranışı dikkate almak için özel bir sınır koşulu tanımlanmıştır.

Soleimani ve Hamidi (2021), çok katlı düzlem çelik ve betonarme çerçevelerin deprem davranışlarının belirlenmesi için “Genel Eşdeğer çerçeve” modelini önermişlerdir. Modelde çok açıklıklı çerçeve sistem eşdeğer olarak tek açıklıklı bir sisteme dönüştürülmektedir. Daha önce Eşdeğer çerçeve modellerinden farklı olarak sunulan yöntem kiriş açıklıkları farklı sistemlere uygulanmıştır. Sunulan yöntemin uygunluğunu göstermek üzere 4, 12 ve 20 katlı 24 çerçevenin, doğrusal ve doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Sonuç olarak sunulan yöntemin yeter uygunlukta sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Sullivan vd. (2021), çok katlı çerçevelerin yaklaşık pushover analizi için elle ya da excel dosyaları kullanılarak yapılabilecek bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada önerilen yöntemin özellikle yapı analizi yapan bilgisayar programlarının sonuçlarının kontrolünde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Soleimani vd. (2022), çalışmalarında “Eşdeğer çerçeve” modelini çözüm hızı ve yakınsaklık açısından incelemişlerdir. Bunun için Artımsal dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda “Eşdeğer çerçeve” modelinin yeter uygunlukta sonuçlar verdiği görülmüştür.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

Az ve orta şiddetli depremlerde binalar doğrusal davranış gösterirken şiddetli depremlerde davranış doğrusal olmayan bölgede gerçekleşmektedir. Bu nedenle binaların doğrusal olmayan davranışının doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Genel olarak doğrusal olmayan davranış ikiye ayrılabilir bunlar malzeme bakımından doğrusal olmayan davranış ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranıştır. Malzeme bakımından doğrusal olmayan analizi ikiye ayırmak mümkündür.

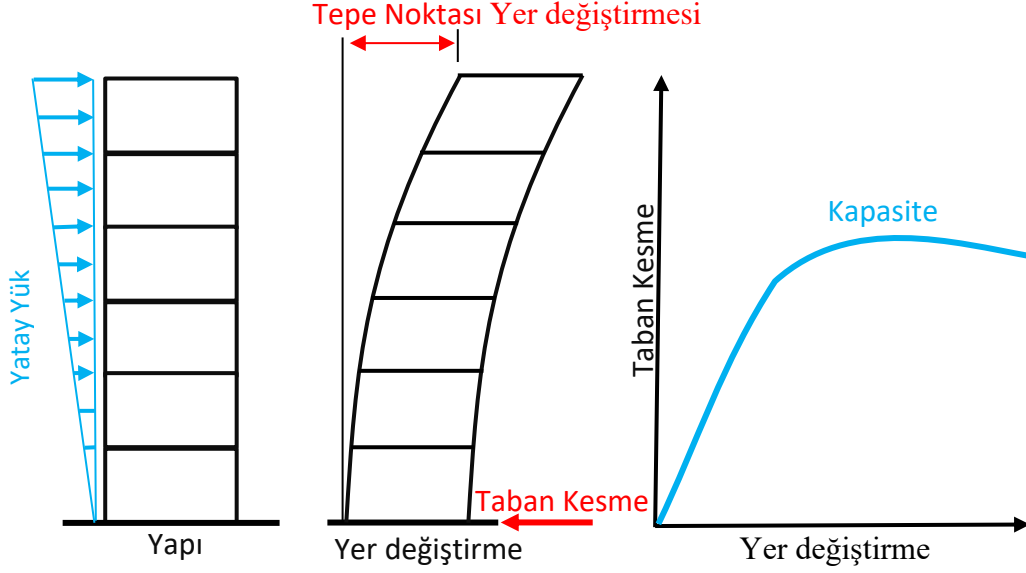
- a) Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz
- b) Doğrusal Olmayan Statik Analiz

3.1. Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

Burada doğrusal olmayan dinamik analizden kasıt zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizdir. Bu analiz türünde belirli bir deprem kaydı altında hareket denklemi sayısal olarak integre edilmekte ve her adımda plastikleşme durumuna göre rijitlik matrisi ve buna bağlı olarak sönüm matrisi güncellenmektedir.

3.2. Doğrusal Olmayan Statik Analizi

Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi sismik etkiler altında binaların dayanım ve deformasyon kapasitelerini belirlemek için yaygın uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde bina kademeli olarak artan yanal yükler için analiz edilmekte ve analiz sırasında her yük artışında rijitlik matrisi güncellenerek doğrusal olmayan yapısal davranış hesaba katılmaktadır. Her itme adımında tepe noktası yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti belirlenerek en sonunda bir eğriye dönüştürülmektedir. Bu eğriye statik itme eğrisi adı verilmektedir (Şekil 1). Statik itme analizi yöntemleri genel olarak üçe ayrılabilir aşağıda bunlar kısaca tanıtılmıştır.



Şekil 1. Statik İtme Analizi yönteminin temsili gösterimi

3.2.1. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi

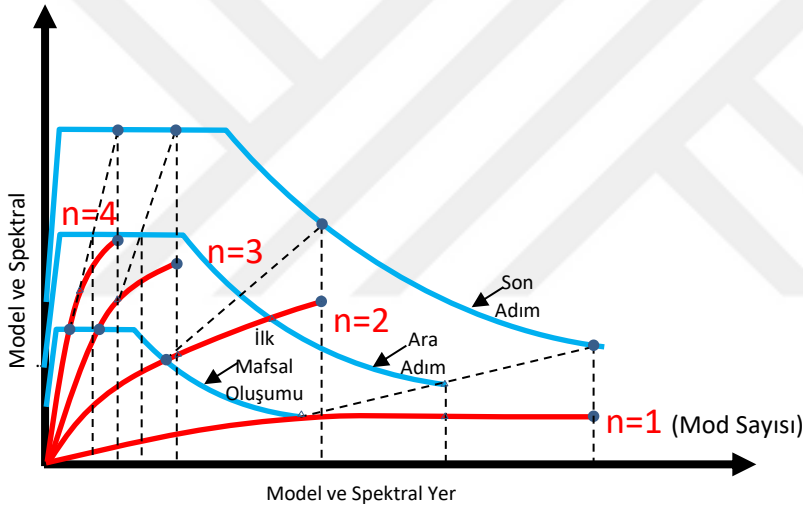
Bu yöntemde sadece birinci mod şekli dikkate alınarak yapıya her kat seviyesine birinci mod şekli ile orantılı olacak şekilde yük verilir. Bu yaklaşımda bina elemanlarında meydana gelen plastikleşme sonucu değişen dinamik özellikler dikkate alınmaz ve her itme adımında başlangıçtaki yük şekli dikkate alınır. Yöntem birinci modun etkin kütle oranı 0.70'ten büyük olan taşıyıcı sistemi ağırlıklı olarak çerçevelerden oluşan binalar için uygundur.

3.2.2. Değişken Tek Modlu İtme Yöntemi

Bu yöntemde de sadece birinci moda ait dinamik özellikler dikkate alınır ancak yapıda her itme adımı sonunda meydana gelen plastikleşmeler sonucu değişen dinamik özellikler dikkate alınarak kat yükleri tekrar hesaplanır. Yöntem sabit tek modlu yöntemle benzer olarak birinci modun etkin kütle oranı 0.70'ten büyük olan taşıyıcı sistemi ağırlıklı olarak çerçevelerden oluşan binalar için uygundur.

3.2.3. Çok Modlu İtme Analizi

Çok modlu itme analizi yöntemleri doğrusal olmayan deprem davranışına katkısı olan tüm modları hesaba katarak yapı davranışını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Şekil 2’de çok modlu itme yöntemi kısaca gösterilmiştir. Çok modlu analizi esas alan literatürde birçok yöntem geliştirilmiştir. Chopra ve Goel (2002) burulmasız binalar için modal itme analizi yöntemi geliştirmiştir. Aydınoğlu (2003) yüksek modların etkisini dikkate almak için Artımsal spectrum analizi yöntemini önermiştir. Chopra ve Goel (2004) daha önce burulmasız binalar için geliştirmiş oldukları modal itme analizi yöntemini burulmalı binalara uyarlamışlardır.



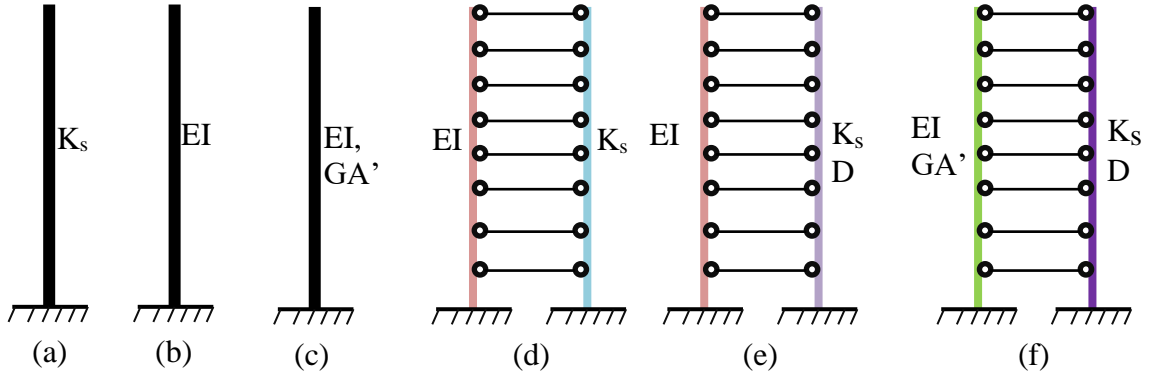
Şekil 2. Çok modlu itme analizi

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

4.1. Sürekli Sistem Hesap Modeli

Sürekli sistem hesap modeli ilk kez ikinci dünya savaşı sonrasında ortaya çıkmış olup temel mantığı binaların eşdeğer bir kiriş ile modellenmesine dayanmaktadır. Şekil 3'te kullanılan eşdeğer kiriş modelleri görülmektedir. Bunlar; (a) Kayma kirişi, (b) Euler-Bernoulli kirişi, (c) Timoshenko kirişi, (d) Csonka (Eğilme+Kayma) kirişi, (e) Sandviç kiriş modeli 1 (Eğilme + Timoshenko) ve (f) Sandviç kiriş 2 (Timoshenko + Timoshenko) modelidir.



Şekil 3. Eşdeğer kiriş modelleri

Kayma kirişi modeli ile kayma davranışı gösteren çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme veya çelik binalar ile yığma binalar modellenebilmektedir.

Euler-Bernoulli kiriş modeli ile ise kayma deformasyonları ihmal edilebilen taşıyıcı sistemi salt perdelerden oluşan tünel kalıp tipi betonarme binalar ile betonarme baca ve istinat duvarı gibi yapılar modellenebilir.

Timoshenko kiriş modeli ile aksenal yer değiştirmeleri önemli mertebede olan çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binalar ile kayma yer değiştirmeleri önemli olan kısa perde gibi taşıyıcı sistemi salt perdelerden oluşan binalar modellenebilir.

Csonka (Eğilme+kayma) kirişi ile kolon ve perdelerde aksel yer değiştirmeler ile perde elemanlarda kayma yer değiştirmeleri ihmal edilebilen taşıyıcı sistemi perde-çerçeve veya tıp sistem olan binalar modellenabilir.

Sandviç kiriş 1 modelinde perdelerdeki kayma yer değiştirmeleri ihmal edilebilen her türlü perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binalar modellenabilir.

Sandviç kiriş 2 modelinde perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip her tür bina modellenabilir.

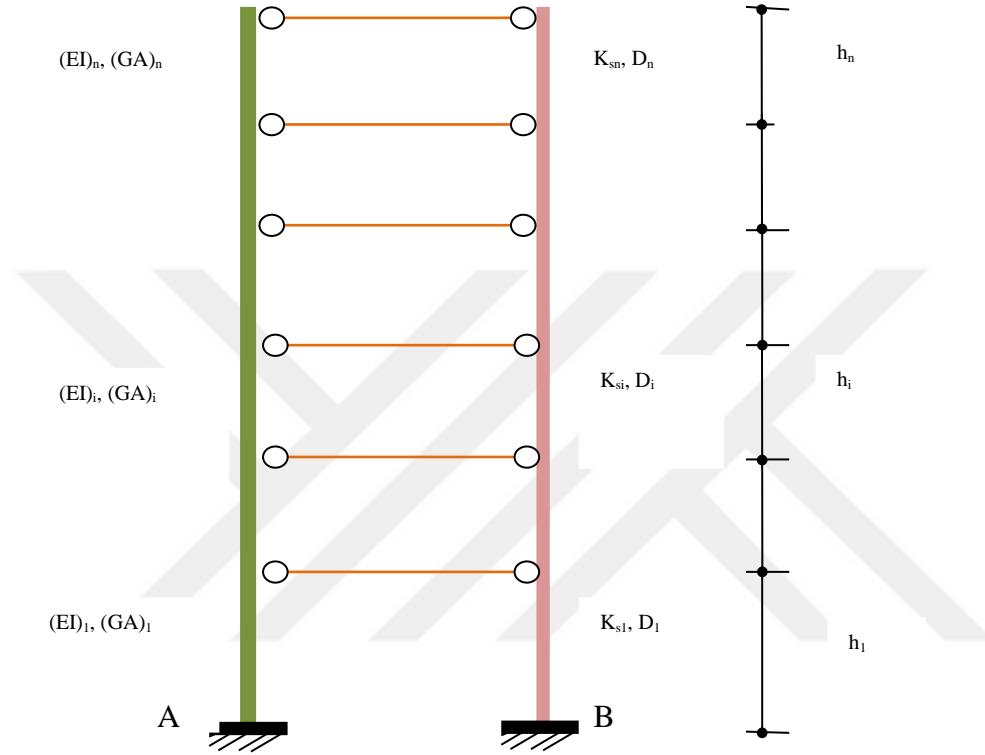
Tablo 1’de modeller ve kullanıldığı yerler verilmiştir.

Tablo 1
Sürekli sistem hesap modelinde kullanılan kiriş modelleri ve kullanıldığı yerler

Kiriş Modeli	Kullanıldığı yapılar
Kayma	Kayma davranışı gösteren çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme veya çelik binalar ile yığma binalar
Eğilme	Tünel kalıp tipi betonarme binalar, betonarme baca ve istinat duvarı
Timoshenko	Eksenel yer değiştirmeleri önemli mertebede olan çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binalar ile kayma yer değiştirmeleri önemli olan kısa perde gibi taşıyıcı sistemi salt perdelerden oluşan binalar
Csonka (Eğilme+Kayma)	Kolon ve perdelerde aksel yer değiştirmeler ile perde elemanlarda kayma yer değiştirmeleri ihmal edilebilen taşıyıcı sistemi perde-çerçeve veya tıp sistem olan binalar
Sandviç 1	Perdelerdeki kayma yer değiştirmeleri ihmal edilebilen her türlü perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binalar
Sandviç 2	Perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip her tür binalar

4.2. Sandviç Kiriş Modeli İle Binaların Doğrusal Olmayan Analizi

Şekil 4'ten görüldüğü üzere çok katlı bina iki Timoshenko kirişinin iki ucu mafsallı çubuklarla bağlanmasıyla oluşan eşdeğer bir sandviç kiriş olarak idealize edilebilir.



Şekil 4. Sandviç kiriş modeli

Eşdeğer sandviç kirişinde $(EI)_i$ i. kattaki perde ve kolonların eğilme rijitlikleri toplamını göstermekte olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$(EI)_i = \sum_{j=1}^i (EI)_j \quad (4.1)$$

$(GA')_i$ i. katta perde ve kolonların kayma rijitlikleri toplamını göstermekte olup (4.2) nolu bağıntı ile hesaplanabilir.

$$(GA')_i = \sum_{j=1}^t (GA)_j \quad (4.2)$$

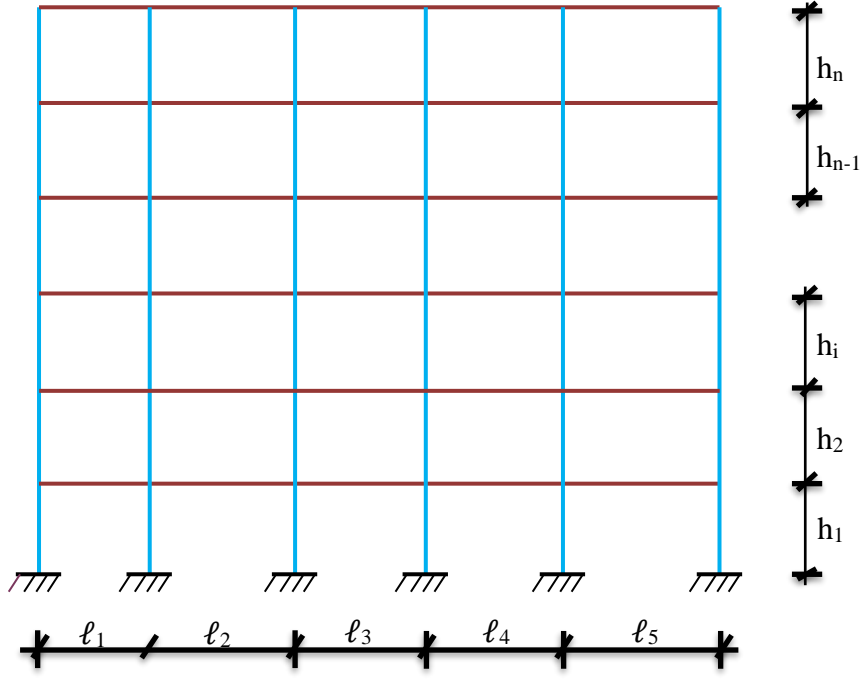
K_{si} i. katta çerçeve, kombine perde ve/veya boşluklu perdelerin oluşturmuş olduğu eşdeğer kayma rijitliği toplamını göstermektedir. Çerçeve taşıyıcı sistem için K_s değeri zemin kat için (4.3) nolu ve normal katlar için (4.4) nolu bağıntı ile hesaplanabilir (Baikov ve Sigalov,1978; Bilyap, 1979; Alku, 1986; Ertutar 1995a; Zalka 2019; Zalka 2020).

$$K_{sg} = \frac{8}{h_g \left[\frac{1}{5r_g} + \frac{1}{s_g} \right]} \quad (4.3)$$

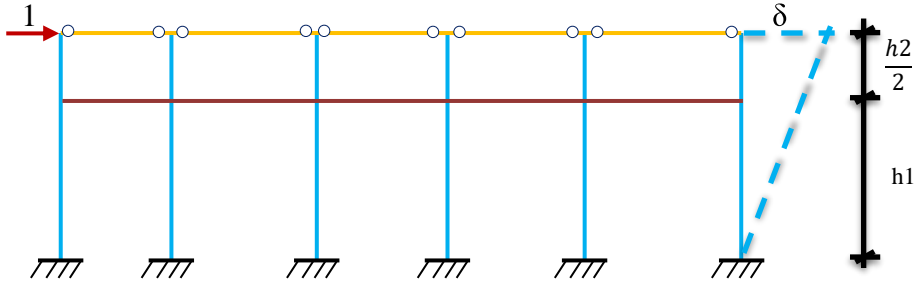
$$K_{si} = \frac{12}{h_i \left[\frac{1}{r_i} + \frac{1}{s_i} \right]} \quad (4.4)$$

Burada r_g ve s_g sırasıyla zemin katta kirişlerin ve kolonların redörleri toplamını göstermektedir. r_i ve s_i ise i. kattaki kiriş ve kolonların redörleri toplamını göstermektedir.

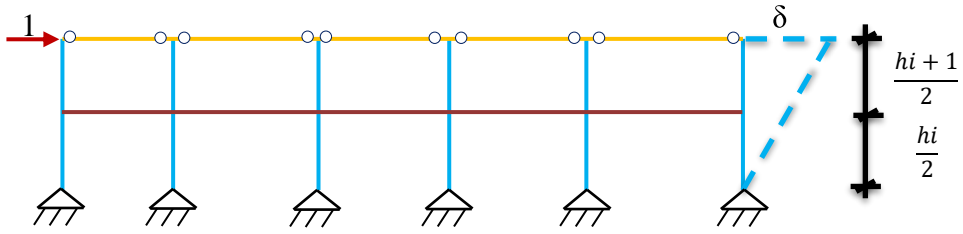
Çerçevelerde K_s kayma rijitliği ayrıca SAP2000 veya benzeri bir program kullanılarak hesaplanabilir (Franco vd., 2022). Bunun için Şekil 5'te gösterilen tipik bir çerçevede zemin katta Şekil 6'da gösterilen sistem dikkate alınabilir. Normal katlarda Şekil 7'de gösterilen sistem dikkate alınırken Şekil 8'de ise en üst kat için dikkate alınabilecek sistem görülmektedir.



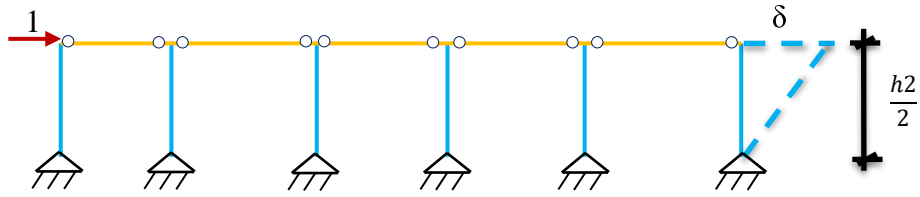
Şekil 5. Tipik çerçeve



Şekil 6. Çerçevelerde zemin katta eşdeğer kayma rijitliğinin bulunmasında kullanılan model



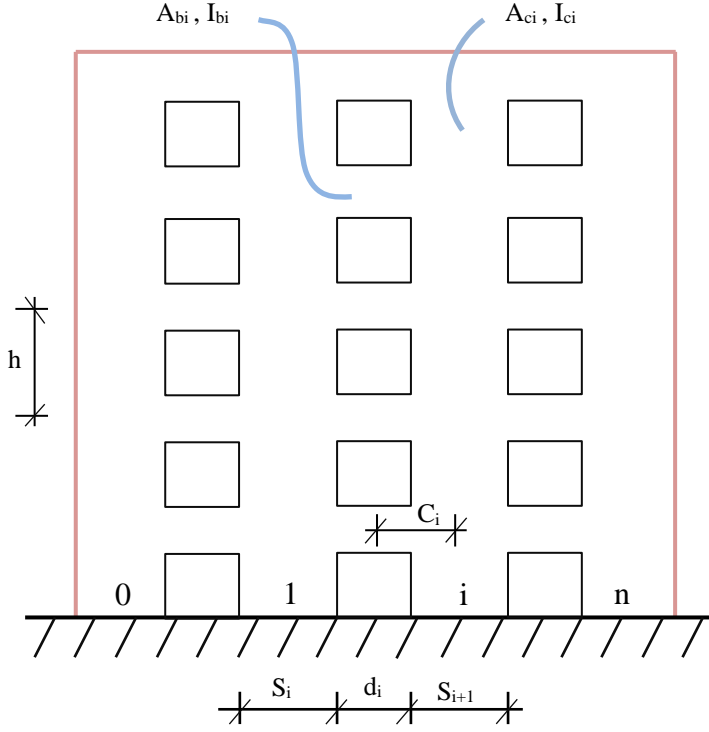
Şekil 7. Çerçevelerde ara katlarda eşdeğer kayma rijitliğinin bulunmasında kullanılan model



Şekil 8. Çerçevelerde en üst katta eşdeğer kayma rijitliğinin bulunmasında kullanılan model

Boşluklu ve kombine perdelerde benzer şekilde eşdeğer kayma rijitliği elde edilebilir (Ertutar ve Arısoy,1994).

Şekil 9’da görülen tipik bir boşluklu perdede kayma rijitliği bağıntısı (4.5) bağıntısı ile hesaplanabilir (Potzta ve Kollar,2003).



Şekil 9. Boşluklu perdeli tipik çerçeve

$$K_s = \sum_1^{m-1} \frac{6EI_{bj} \left[(d_j + s_j)^2 + (d_j + s_{j+1})^2 \right]}{d_j^3 h_i \left(1 + 12 \frac{\nu E_{bj} I_{bj}}{d_j^2 G_{bj} A_{bj}} \right)} \quad (4.5)$$

Burada d_j j. bağ kirişi açıklığını, h_i i. kat yüksekliğini E elastisite modülünü, I_{bj} j. bağ kirişinin atalet momentini, A_{bj} j. bağ kirişinin kesit alanını, ν kayma şekil faktörünü göstermekte olup dikdörtgen kesit için 1.2 alınmaktadır. s_j ve s_{j+1} sırasıyla j. bağ kirişinin yanındaki dolu perde kısımlarının genişliğini göstermektedir.

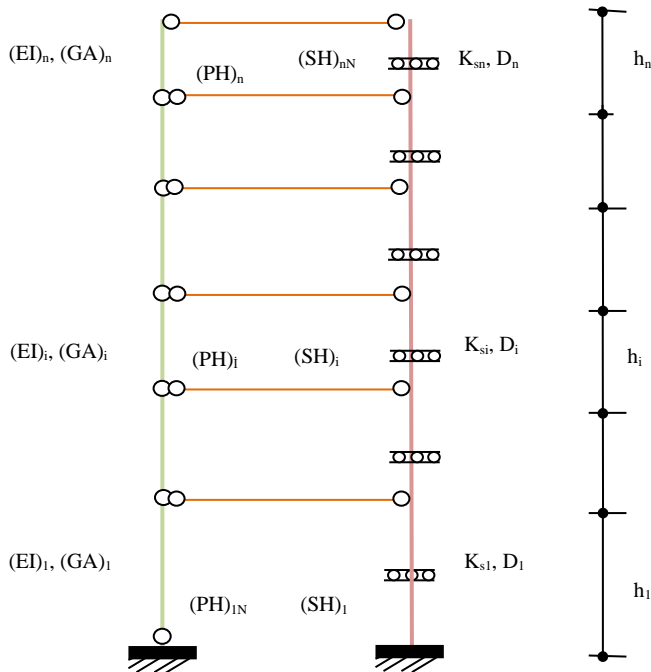
Bu bağıntının dışında literatürde benzer bağıntılar bulunabilir. Ertutar (1995b)'de simetrik olmayan boşluklu perdelerin eşdeğer kayma rijitliği için bir bağıntı önerilmiştir.

D_i ise i . katta aksenal kuvvetlerin yatay yer değiştirmeye katkısını gösteren global eğilme rijitliğini göstermekte olup (4.6) nolu denklem ile hesaplanabilir (Zalka,2019; Zalka 2020).

$$D_i = E \sum_j^I A_j (x_j - \bar{x})^2 \quad (4.6)$$

Burada A_j j . Kolonun alanını, E elastisite modülünü x_j j . kolonun ağırlık merkezine uzaklığını ve \bar{x} ağırlık merkezinin yerini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında sunulan yaklaşımda binanın nonlinear analizi için kurulan model Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Doğrusal olmayan sandviç kiriş modeli

Bu modele göre B kirişinde i. katın eşdeğer kayma kapasitesi (4.7) nolu bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$V_{pi} = \frac{\sum_{j=1}^m M_{pbj}}{h_i} \quad (4.7)$$

Burada V_{pi} B kirişinde eşdeğer kat kesme kapasitesini, M_{pbj} i.katta j. çerçeve ve/veya bağ kirişlerinin uçlarındaki eğilme momenti kapasitelerinin toplamını, h_i ise i. katın yüksekliğini göstermektedir.

A kirişinde ise M_{pci} ise i. katta kolon ve kirişlerin eğilme momenti kapasitelerinin toplamını temsil eden eşdeğer eğilme momenti kapasitesini göstermekte olup (4.8) bağıntısıyla hesaplanır.

$$M_{pci} = \sum_{j=1}^t M_{pej} \quad (4.8)$$

4.3. Esnek Temele Oturan Boşluklu Perdelerin Sandviç Kiriş Modeli İle Doğrusal Olmayan Analizi

Esnek temele oturan boşluklu perdelerin analizi için ise sandviç kiriş modelinde analiz yapılırken A ve B kirişlerinin altına eşdeğer yaylar tanımlanacaktır. Perde altlarındaki dönme yaylarının etkisi A çubuğunda (4.9) nolu denklem ile tanımlanan eşdeğer dönme yayı ile hesaplanır (Bozdoğan,2010).

$$K_{\theta A} = \sum_{j=1}^n (k_{\theta j}) \quad (4.9)$$

Perde altlarındaki düşey yayların etkisi ise B kirişinde (4.10) nolu denklemle hesaplanan eşdeğer dönme yayı ile hesaplanır.

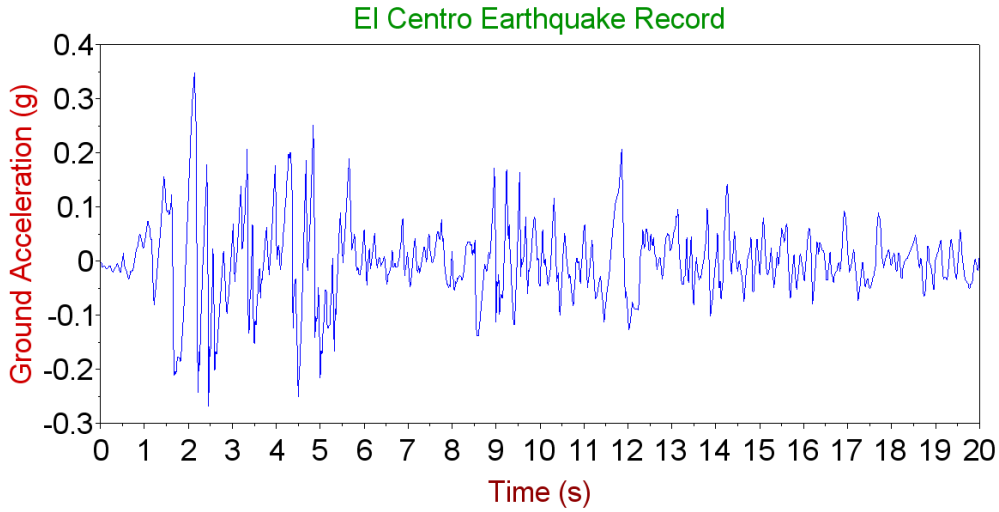
$$K_{\theta B} = \sum_{j=1}^n k_{V_j} (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.10)$$



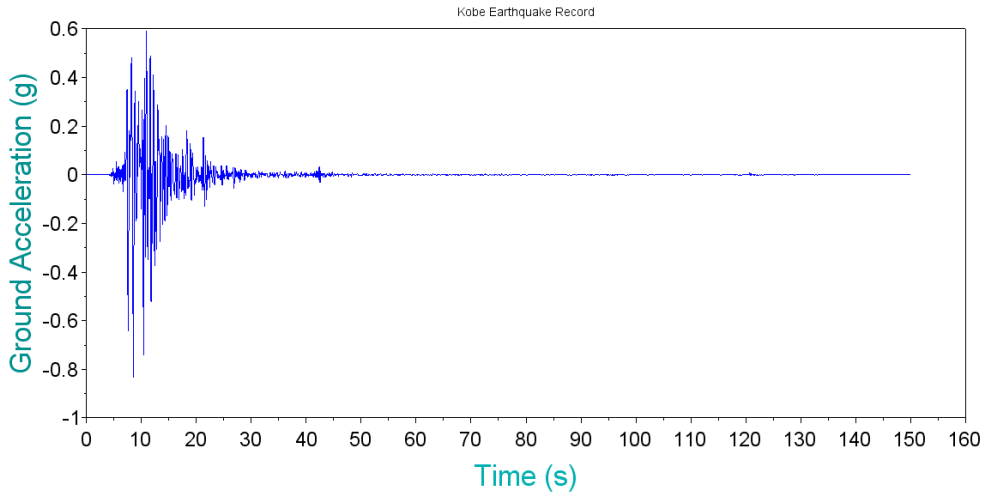
BEŞİNCİ BÖLÜM

SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde bu tez kapsamında binaların doğrusal olmayan analizi için önerilen sandviç kiriş modelinin detaylı sonlu elemanlar yöntemine uygunluğunu araştırmak üzere 8 örnek çözülerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Analizlerde SAP2000 ve ETABS programları kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analizlerde Şekil 11’de ve Şekil 12’de gösterilen El centro ve Kobe deprem kaydı kullanılmıştır.



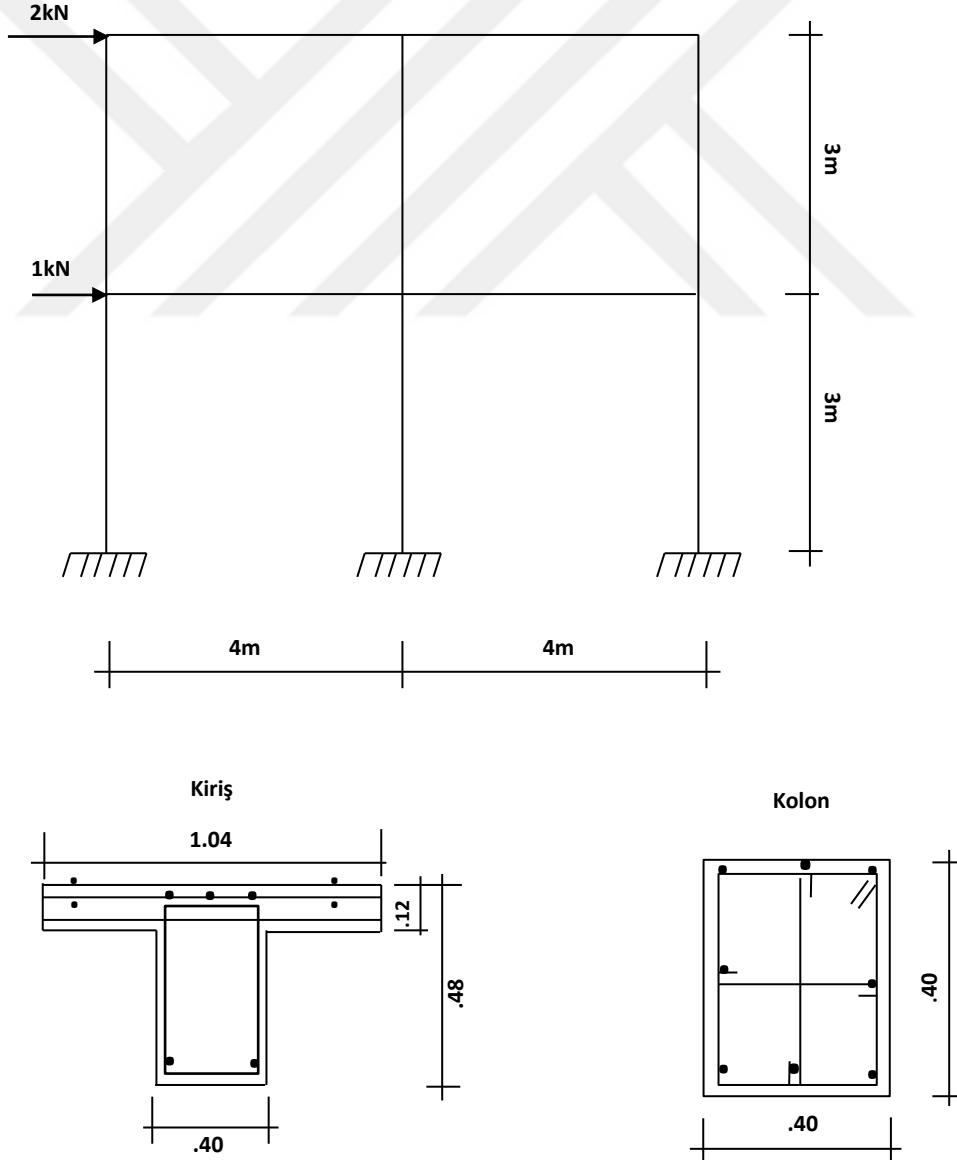
Şekil 11. El Centro deprem kaydı



Şekil 12. Kobe deprem kaydı

5.1. Birinci Sayısal Uygulama

Literatürden (Celep, 2014) alınan ve Şekil 13'te gösterilen iki açıklıklı 2 katlı betonarme çerçeve sistemin genel özellikleri Tablo 2'de ve plastik mafsal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Ele alınan örnekte mesnetler ankastre olarak dikkate alınmıştır. Örnekte ele alınan iki açıklıklı çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi ve iki farklı deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca görelî kat ötelemeleri ETABS programı yardımıyla yapılmıştır.



Şekil 13. İki açıklıklı betonarme çerçeve örneği. (Sayısal örnek 1)

Tablo 2

1. Örneğe ait özellikler (1. örnek)

Bina Yüksekliği H (m)	6.0
Kat yüksekliği h (m)	3.0
Kiriş açıklığı c (m)	4.0
Elastisite modülü E (kN/m ²)	3x10 ⁷
Poisson Oranı (μ)	0.2
1. kat kütlesi (ton)	48.93
2. kat kütlesi (ton)	48.93

Tablo 3

İki açıklıklı betonarme çerçeve örneği için plastik mafsal özellikleri (1. örnek)

Kat	M+pb (kNm)	M-pb (kNm)	Kesit
1-2	210	100	Kiriş
	170	170	Kolon

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA' ve D değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4

Örnek 1 için EI, GA' ve D değerleri (1. örnek)

Kat	EI (kNm ²)	GA'(kN)	D (kNm ²)
1	159975	4998750	153600000
2	159975	4998750	153600000

K_s değerleri ise hem Bölüm 5'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

Örnek 1 için K_s değerleri (kN) (1. örnek)

Kat	Bağıntı	SAP 2000
1	157928	185033
2	182509	259437

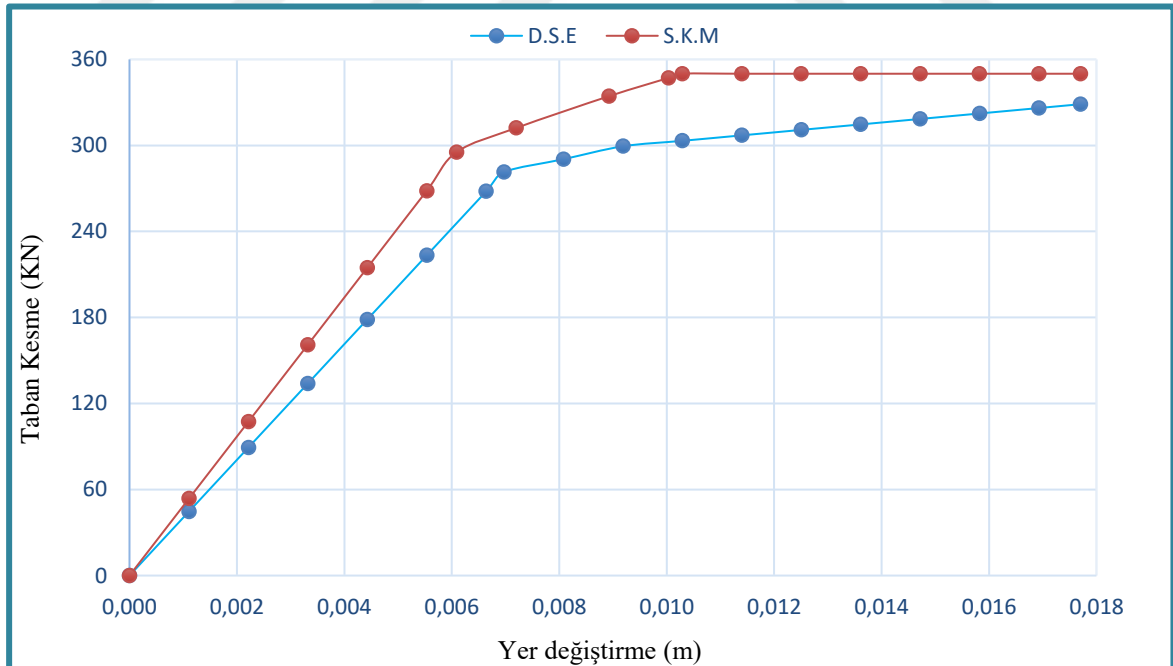
Örnekte ele alınan üç açıklıklı çelik düzlem çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi hem detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile hem de bu tez kapsamında geliştiren sandviç kiriş modeli ile sabit üçgen yayılı yük için SAP2000 ve ETABS programları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 6'da ve Şekil 14'te karşılaştırılmıştır. Burada Y-D yer değiştirmeyi T-K ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.

Tablo 6

Birinci örnek için doğrusal olmayan statik analiz sonucu elde edilen statik itme eğrisi noktalarının karşılaştırılması (1. örnek)

Adım (n)	DSE		SKM	
	Y-D (m)	T-K (KN)	Y-D (m)	Y-D (m)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0011	44.649	0.0011	53.649
3	0.0022	89.298	0.0022	107.298
4	0.0033	133.947	0.0033	160.947
5	0.0044	178.595	0.0044	214.597
6	0.0055	223.244	0.0055	268.246
7	0.0066	267.893	0.0061	295.332
8	0.0070	281.401	0.0072	312.139
9	0.0081	290.393	0.0089	334.327
10	0.0092	299.385	0.0100	347.048
11	0.0103	303.199	0.0103	350.000
12	0.0114	307.013	0.0114	350.000
13	0.0125	310.827	0.0125	350.001
14	0.0136	314.640	0.0136	350.001
15	0.0147	318.454	0.0147	350.001
16	0.0158	322.268	0.0158	350.001
17	0.0169	326.082	0.0169	350.001
18	0.0177	328.742	0.0177	350.001

Şekil 14'te ise doğrusal olmayan statik itme eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 14. Birinci uygulama için statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 1)

Aynı örneğin iki farklı deprem kaydı (El Centro, Kobe) altında zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizi detaylı sonlu elemanlar

yöntemi ve bu tez kapsamında önerilen sandviç kiriş modeli ile yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zaman tanım alanında analizde El Centro depremi 1.8 katsayısı ile büyütülmüştür. Periyot değerleri hesaplanarak Tablo 7’de verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır.

Tablo 7

Birinci örnek için periyotların karşılaştırılması (1. örnek)

Mod	DSE	SKM
(n)	Periyot (s)	Periyot (s)
1	0.28162	0.26770
2	0.10202	0.08777

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

Kat	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.01852	-0.03995	0.00774	-0.01760
2	0.02617	-0.05026	0.01899	-0.04034

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinin sonucu elde edilmiş olan tepe noktası maksimum ve minimum yer değiştirmeleri Tablo 9’da karşılaştırılmıştır.

Tablo 9

Büyütülmüş El Centro kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu bulunan tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
Doğrusal	0.03032	-0.02719	0.03084	-0.02784
D-Olmayan	0.02617	-0.05026	0.01899	-0.04034

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan ve doğrusal zaman

tanım alanında analizlerinin sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 10'da ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

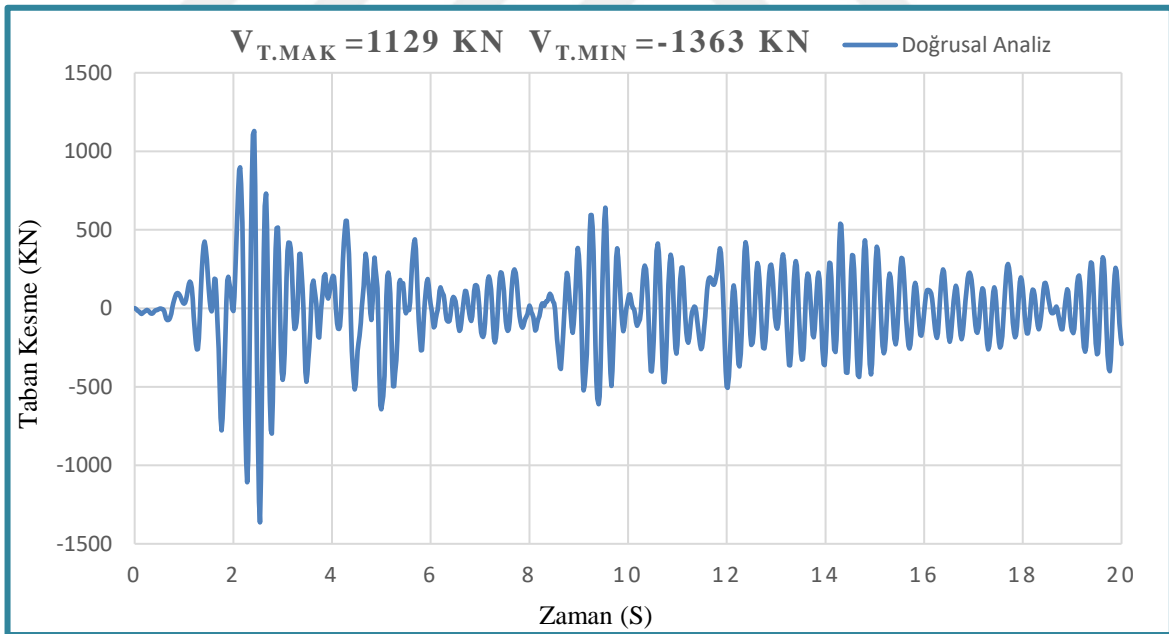
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.00499	0.00419

Tablo 11

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

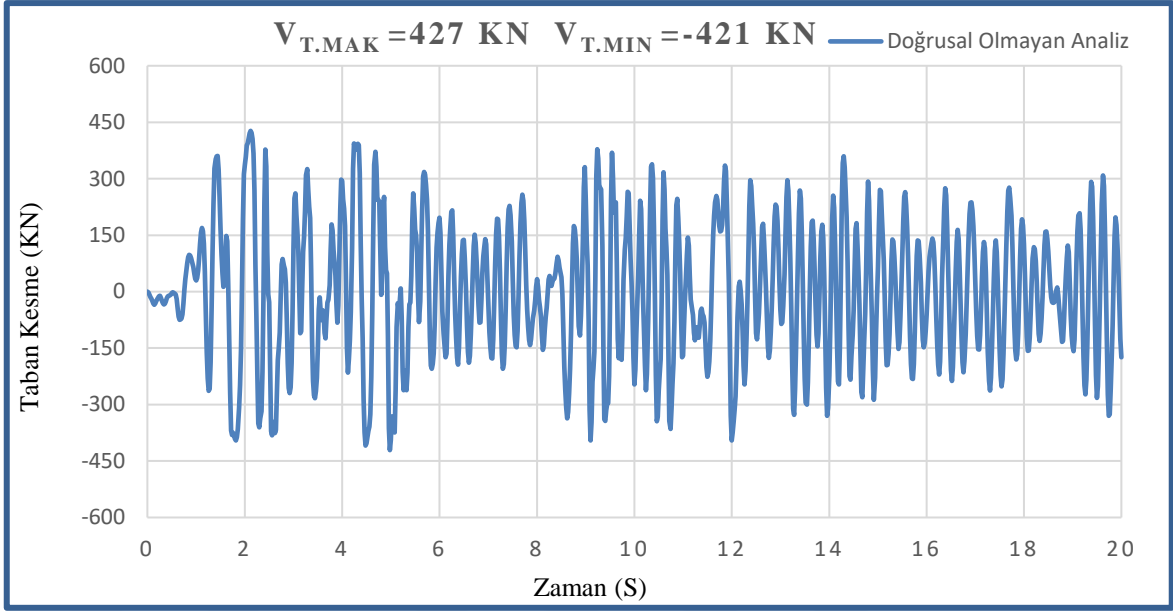
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.00589	0.00518

Şekil 15'te ise detaylı sonlu elemanlar yöntemine göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



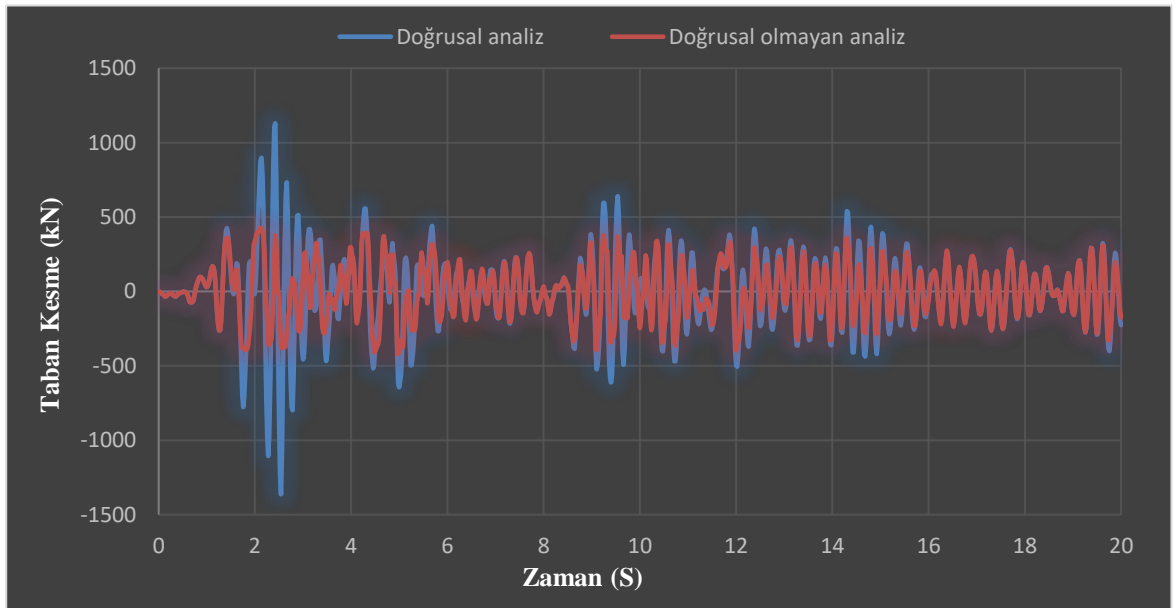
Şekil 15. Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 1)

Şekil 16'da ise detaylı sonlu elemanlar yöntemine göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



Şekil 16. Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 1)

Şekil 17’de ise detaylı sonlu elemanlar modeli kullanılarak çubuk elemanın büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişimleri karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 17. Detaylı sonlu elemanlar modeli kullanılarak büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerin değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 1)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 12’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 12

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (1. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	1034	-1176	1100	-1246
D-Olmayan	366	-352	413	-418

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

Kat (n)	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.20300	-0.01061	0.10438	-0.00606
2	0.24175	-0.01537	0.21487	-0.01359

Kobe deprem kaydı etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri sonucu elde edilmiş olan tepe noktası maksimum ve minimum yer değiştirmeleri Tablo 14’te karşılaştırılmıştır.

Tablo 14

Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
Doğrusal	0.03129	-0.04257	0.03211	-0.03841
D-Olmayan	0.24175	-0.01537	0.21487	-0.01359

Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum göreceli kat ötelemeleri Tablo 15’te ve Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 15

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan göreceli kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.00966	0.04027

Tablo 16

Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan göreceli kat ötelemelerinin karşılaştırılması (1. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.00594	0.00541

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 17’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 17

Kobe deprem kaydı etkinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda bulunan taban kesme kuvvetleri (1. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	1663	-1200	1589	-1332
D-Olmayan	374	-395	465	-476

Tablo 18’de ise SAP2000 ortamında analiz sürelerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 18

Örnek 1 için çözüm sürelerinin karşılaştırması (1. örnek)

DSE	SKM
98 (S)	51 (S)

5.2. İkinci Sayısal Uygulama

Literatürden (Malhotra, 2021) alınan ve Şekil 18’de gösterilen tek açıklıklı 5 katlı çelik düzlem çerçeve sistemin genel özellikleri Tablo 19’da kesit özellikleri Tablo 20’de ve plastik mafsallı özellikleri Tablo 21’de verilmiştir. Ele alınan örnekte mesnetler ankastre olarak dikkate alınmıştır. Örnekte ele alınan tek açıklıklı çelik düzlem çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi ve iki farklı deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan

analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca görelî kat ötelemelere ETABS programı yardımıyla yapılmıştır.

Tablo 19

İkinci örneğe ait özellikler (2. örnek)

Bina Yüksekliği H (m)	18.30
Kat yüksekliği h (m)	3.66
Kiriş açıklığı c (m)	7.32
Kolon boyutları	3.66
Elastisite modülü E (kN/m ²)	2x10 ⁸
Poisson Oranı (μ)	0.20
1-5. kat kütleleri (ton)	78.40

Tablo 20

Tek açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneğin kesit özellikleri (2. örnek)

Numara	Kolon	Kiriş	Tip
1.2.3.8.9.10	√	-	W 24 x 162
4.5.6.7	√	-	W 21 x 147
11.12.13	-	√	W 21 x 147
14.15	-	√	W 18 x 97

Tablo 21

Tek açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği için plastik mafsallık özellikleri (2. örnek)

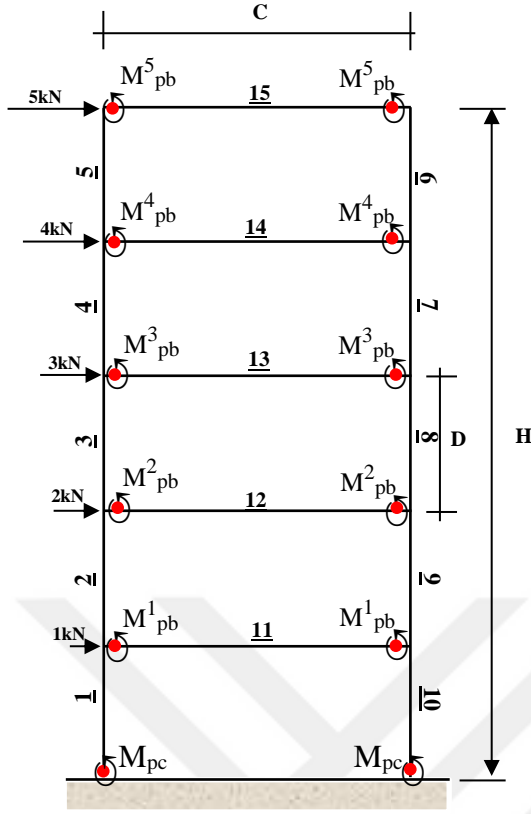
Birim	Kolon	Kiriş	Değer
M1pb=M2pb=M3pb	-	√	1517 kNm
M4pb=M5pb	-	√	858 kNm
Mpc	√	-	1904 kNm

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA' ve D değerleri Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22

Örnek 2 için EI, GA' ve D değerleri (2. örnek)

Kat	EI (kNm ²)	GA' (kN)	D (kNm ²)
1-3	857200	1900000	164497968
4-5	603600	1716667	148959072



Şekil 18. Tek açıklıklı çelik düzlem çerçevesi yapı örneği. (Sayısal örnek 2)

K_s değerleri ise hem Bölüm 4'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23
Örnek 2 için K_s değerleri (kN) (2. örnek)

Kat	Bağıntı	SAP 2000
1	239654	196212
2	114944	121637
3	114944	118014
4	57832	63444
5	57832	125878

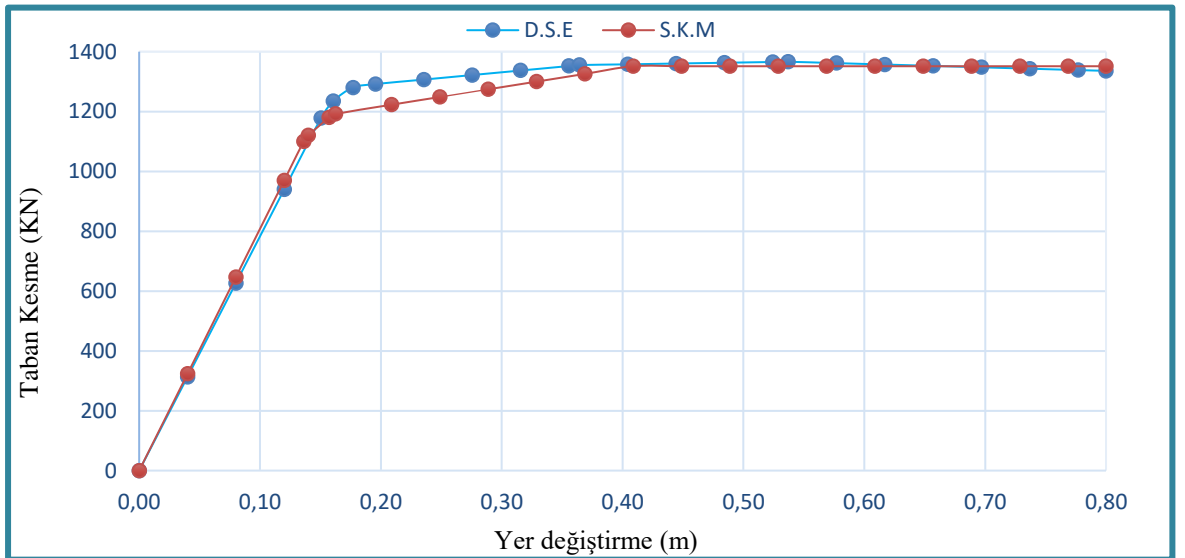
Örnekte ele alınan tek açıklıklı çelik düzlem çerçevesi rijit temel durumu için doğrusal olmayan statik itme analizi sabit üçgen yayılı yük için SAP2000 ve ETABS programları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 24'te ve Şekil 19'da karşılaştırılmıştır. Burada Y-D yer değiştirmeyi T-K ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.

Tablo 24

İkinci örnek için doğrusal olmayan statik analiz sonucu elde edilen statik itme eğrisi noktalarının karşılaştırılması (2. örnek)

Adım (n)	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Mak T-K (kN)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0400	313.227	0.0400	323.216
3	0.0800	626.355	0.0800	646.432
4	0.1200	939.460	0.1200	969.647
5	0.1505	1177.829	0.1362	1100.488
6	0.1607	1234.841	0.1398	1119.865
7	0.1770	1280.106	0.1572	1180.158
8	0.1957	1291.815	0.1625	1191.773
9	0.2357	1306.710	0.2088	1222.740
10	0.2757	1321.917	0.2488	1248.460
11	0.3157	1336.969	0.2888	1274.180
12	0.3557	1352.021	0.3288	1299.900
13	0.3643	1355.304	0.3688	1325.621
14	0.4043	1357.629	0.4088	1351.341
15	0.4443	1360.371	0.4488	1351.341
16	0.4843	1362.917	0.4888	1351.341
17	0.5243	1365.464	0.5288	1351.342
18	0.5370	1366.300	0.5688	1351.342
19	0.5770	1361.633	0.6088	1351.342
20	0.6170	1356.995	0.6488	1351.343
21	0.6570	1352.358	0.6888	1351.343
22	0.6970	1347.722	0.7288	1351.343
23	0.7370	1343.088	0.7688	1351.343
24	0.7770	1338.455	0.8	1351.344
25	0.8000	1335.792	-	-

Şekil 19'da ise doğrusal olmayan statik itme eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 19. İkinci uygulama için statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)

Aynı örneğin iki farklı deprem kaydı (El Centro, Kobe) altında zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizi detaylı sonlu elemanlar yöntemi ve bu tez kapsamında önerilen sandviç kiriş modeli ile yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zaman tanım alanında analizde El Centro deprem kaydı 1.8 katsayısı ile büyütülmüştür. Periyot değerleri hesaplanarak Tablo 25'te verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır.

Tablo 25
İkinci örnek için periyotların karşılaştırılması (2. örnek)

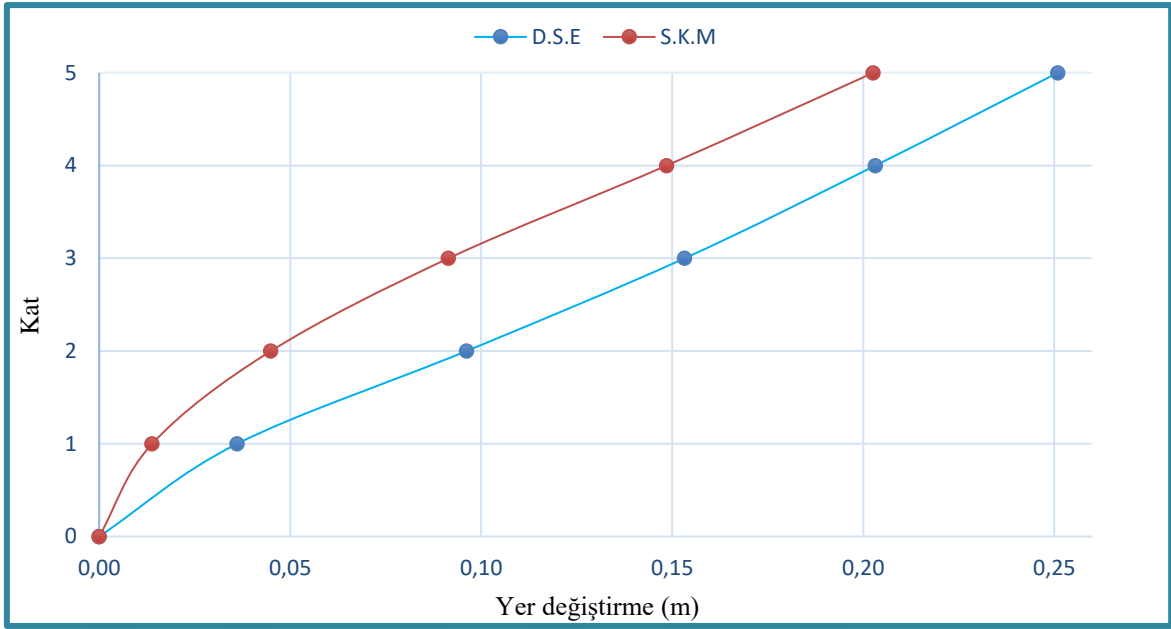
Mod	DSE	SKM
(n)	Periyot (s)	Periyot (s)
1	1.08378	1.04656
2	0.35758	0.35000
3	0.17802	0.16975
4	0.11620	0.10466
5	0.08719	0.07443

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26
Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (2. örnek)

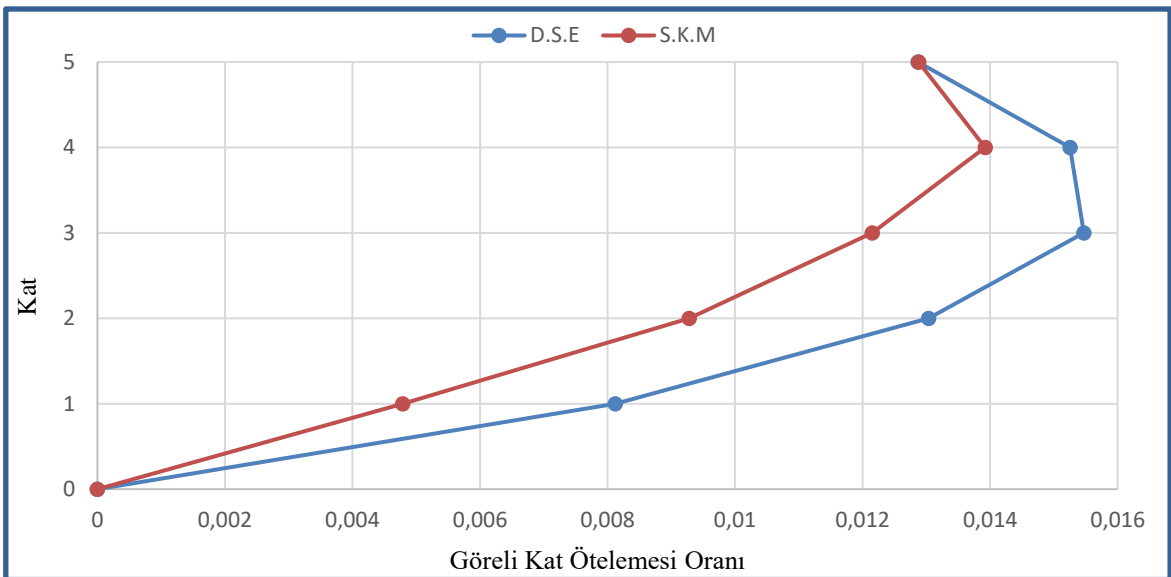
Kat	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.03615	-0.03504	0.01387	-0.01985
2	0.09618	-0.09469	0.04495	-0.06336
3	0.15327	-0.15652	0.09146	-0.11560
4	0.20320	-0.23322	0.14855	-0.16823
5	0.25094	-0.30123	0.20266	-0.21132

Şekil 20'de ise büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 20. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum göreceli kat ötelemesi grafiği Şekil 21'de aşağıda verilmiştir.



Şekil 21. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum göreceli kat ötelemelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 27’de ve Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 27

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)

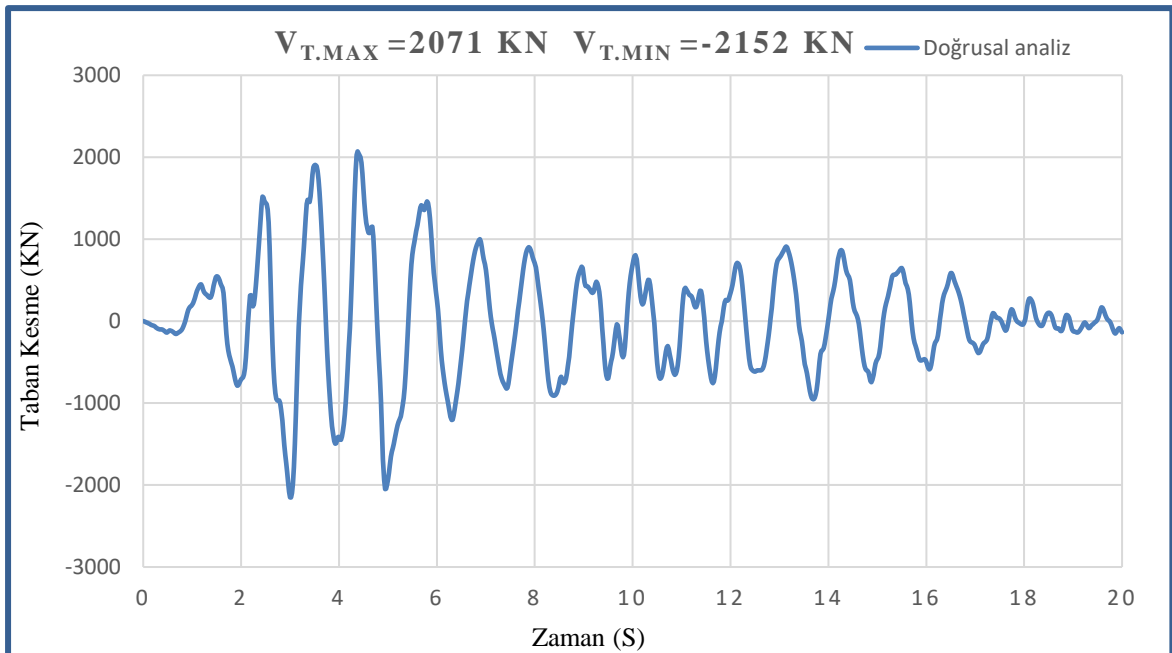
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.01547	0.01392

Tablo 28

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)

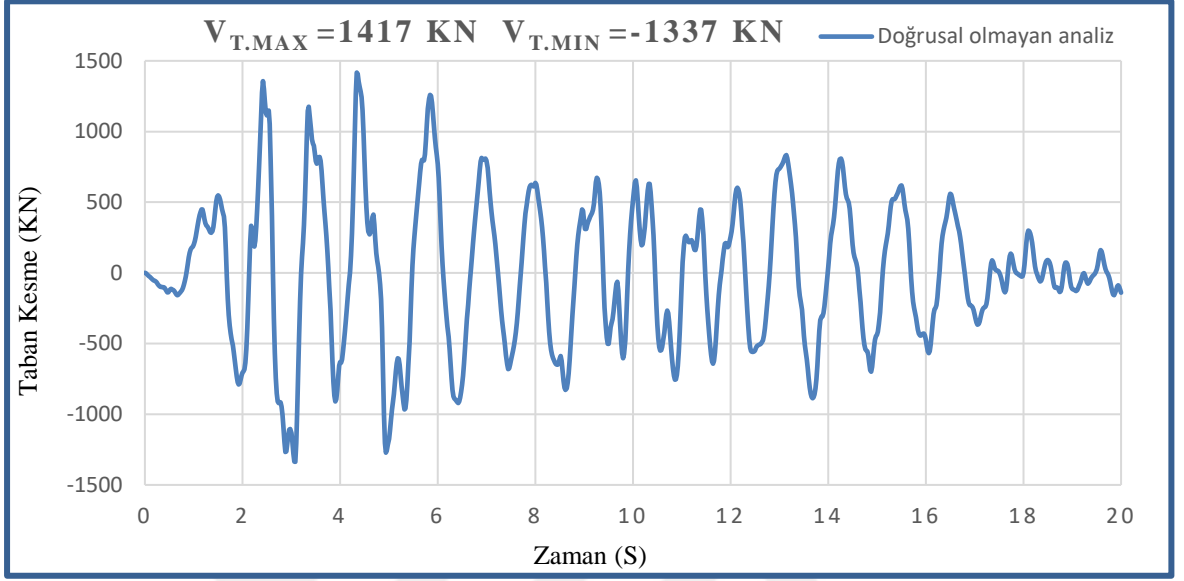
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.01717	0.01956

Şekil 22’de ise detaylı sonlu elemanlar yöntemine göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



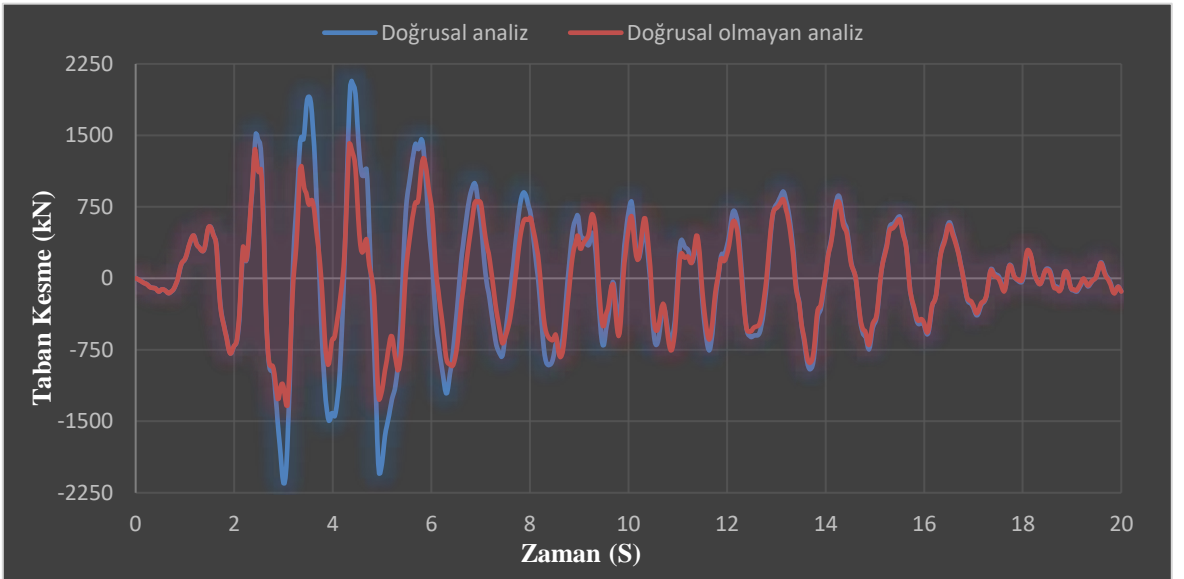
Şekil 22. Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 2)

Şekil 23'te detaylı sonlu elemanlar yöntemine göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



Şekil 23. Detaylı sonlu elemanlar modeline göre büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 2)

Şekil 24'te detaylı sonlu elemanlar modeli kullanılarak büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişimleri karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 24. Detaylı sonlu elemanlar modeli kullanılarak büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 29’da karşılaştırılmıştır.

Tablo 29

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (2. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	2071	-2151	2520	-2425
D-Olmayan	1417	-1337	1475	-1208

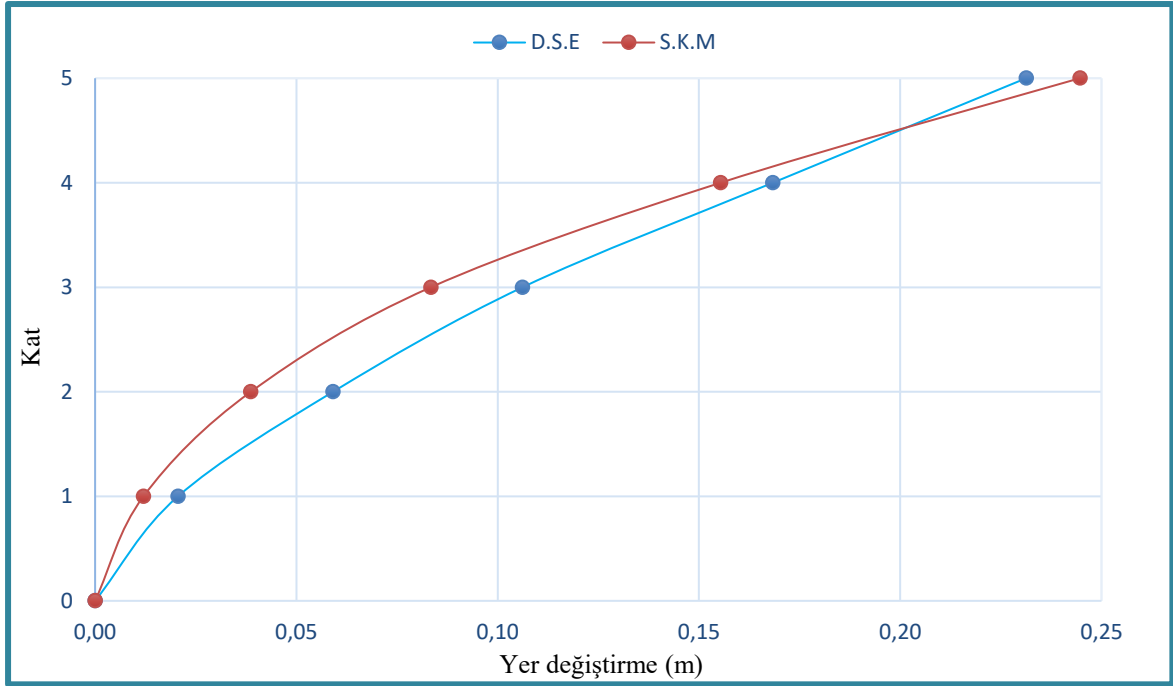
Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 30’da verilmiştir.

Tablo 30

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (2. örnek)

Kat (n)	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.02060	-0.07642	0.01203	-0.04020
2	0.05911	-0.14894	0.03869	-0.09508
3	0.10618	-0.22134	0.08340	-0.14853
4	0.16836	-0.29498	0.15537	-0.21602
5	0.23129	-0.35463	0.24464	-0.30277

Şekil 25’te ise Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan maksimum kat yer değiştirmeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 25. Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)

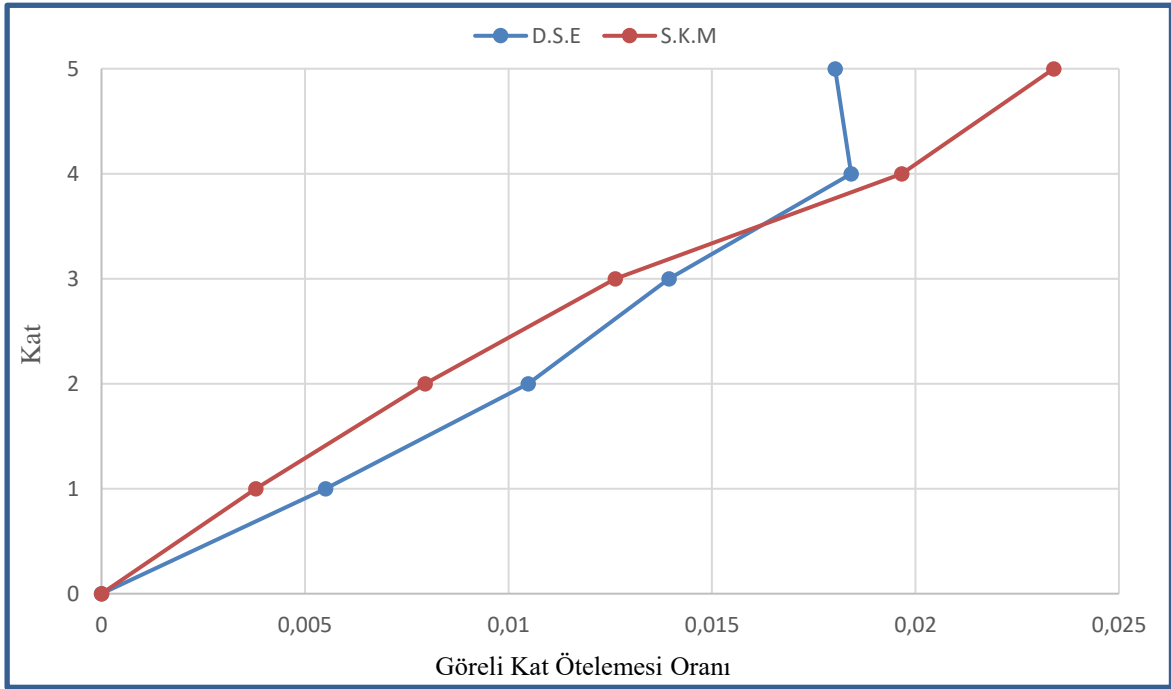
Kobe deprem kaydı etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri sonucu elde edilmiş olan tepe noktası maksimum ve minimum yer değiştirmeleri Tablo 31’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 31

Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analizler sonucu bulunan tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (2. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K(kN)
Doğrusal	0.50022	-0.40611	0.52062	-0.40997
D-Olmayan	0.23129	-0.35463	0.24464	-0.30277

Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 26’da verilmiştir.



Şekil 26. Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görel kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 2)

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görel kat ötelemeleri Tablo 32’de ve Tablo 33’te verilmiştir.

Tablo 32

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.01842	0.02340

Tablo 33

Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması (2. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.03296	0.03804

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 34’te karşılaştırılmıştır.

Tablo 34

Kobe deprem kaydı etkinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda bulunan taban kesme kuvvetleri (2. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K(kN)
Doğrusal	2998	-3307	3057	-3313
D-Olmayan	1929	-1421	1978	-1542

Tablo 35'te ise SAP2000 ortamında analiz sürelerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 35

Örnek 2 için çözüm sürelerinin karşılaştırması (2. örnek)

DSE	SKM
11 (S)	11 (S)

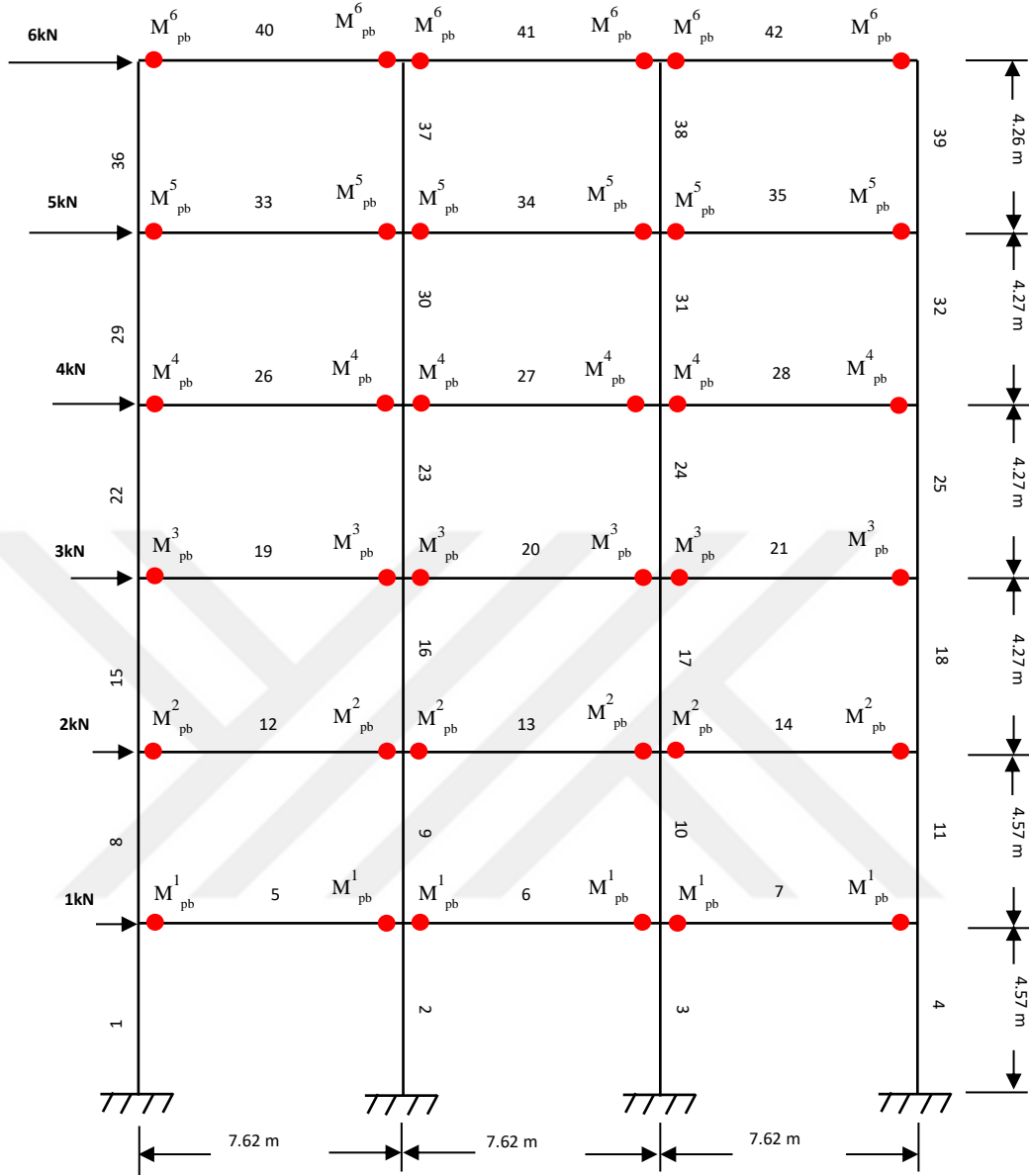
5.3. Üçüncü Sayısal Uygulama

Literatürden (Wong, Yang, 1999) alınan ve Şekil 27'de gösterilen altı katlı üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve sistemin genel özellikleri Tablo 36'da plastik mafsallı özellikleri Tablo 37'de ve kesit özellikleri Tablo 38'de verilmiştir. Ele alınan örnekte mesnetler ankastre olarak dikkate alınmıştır. Çelik düzlem çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi ve iki farklı deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca görelî kat ötelemeleri ETABS programı yardımıyla yapılmıştır.

Tablo 36

Üçüncü örneğe ait özellikleri (3. örnek)

Bina Yüksekliği H (m)	26.21
Kiriş açıklığı c (m)	7.62
Elastisite modülü E (kN/m ²)	2x10 ⁸
Poisson Oranı (μ)	0.20
1. kat kütlesi (ton)	402.80
2. kat kütlesi (ton)	233.20
3-5. kat kütleleri (ton)	180.40
6. kat kütle (ton)	182.10



Şekil 27. Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği. (Sayısal örnek 3)

Tablo 37

Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği için plastik mafsallık özellikleri (3. örnek)

Kat	M+pb (kNm)	M-pb (kNm)	Tip
1-3	3282	3494	W 36 x 210
4	2257	2469	W 36 x 150
5	1964	2176	W 36 x 135
6	1025	1237	W 27 x 94

Tablo 38

Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği için kesit (kolon, kiriş) özellikleri (3. örnek)

Numara	Kolon	Kiriş	Tip
1.4.8.11.15.18	√	-	W 14 x 283
2.3.9.10.16.17	√	-	W 14 x 500
22.25.29.32	√	-	W 14 x 257
23.24.30.31	√	-	W 14 x 455
36.39	√	-	W 14 x 193
37.38	√	-	W 14 x 342
5.6.7.12.13 14.19.20.21	-	√	W 36 x 210
26.26.28	-	√	W 36 x 150
33.34.35	-	√	W 36 x 135
40.41.42	-	√	W 27 x 94

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA' ve D değerleri Tablo 39'da verilmiştir.

Tablo 39

Örnek 3 için EI, GA' ve D değerleri (3. örnek)

Kat	EI (kNm ²)	GA'(kN)	D (kNm ²)
1-3	2002800	6933333	3345090084
4-5	1760000	6183333	3039671340
6	1214040	4400000	2277866412

K_s değerleri ise hem Bölüm 4'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 40'ta verilmiştir.

Tablo 40

Örnek 3 için K_s değerleri (kN) (3. örnek)

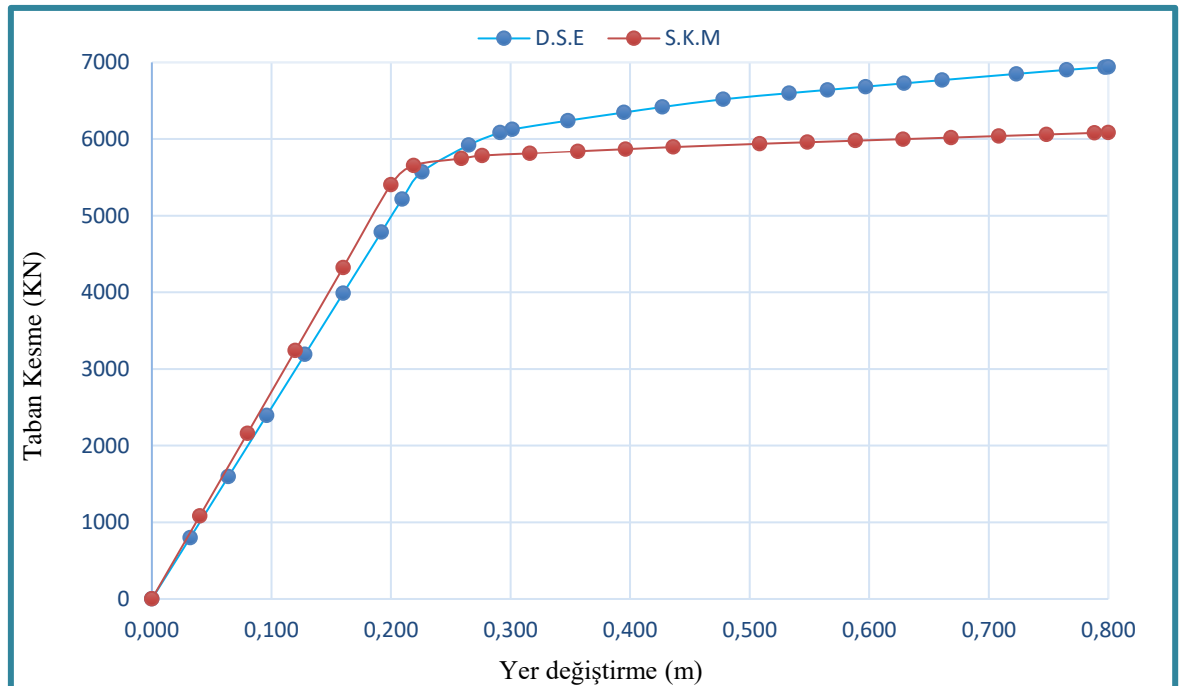
Kat	Bağıntı	SAP 2000
1	636740	614247
2	568490	573962
3	628823	584846
4	480147	465366
5	438608	395108
6	217027	375768

Örnekte ele alınan üç açıklıklı çelik düzlem çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi hem detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile hem de sandviç kiriş modeli ile sabit üçgen yayılı yük için SAP2000 ve ETABS programları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 41'de ve Şekil 28'de karşılaştırılmıştır. Burada Y-D yer değiştirmeyi T-K ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.

Tablo 41

Detaylı sonlu elemanlar ve sandviç kiriş modeli ile elde edilen statik itme eğrilerinin koordinatlarının karşılaştırılması (3. örnek)

Adım (n)	DSE		SKM	
	Y-D (m)	T-K (KN)	Y-D (m)	T-K (KN)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0320	797.580	0.0400	1080.965
3	0.0640	1595.138	0.0800	2161.930
4	0.0960	2392.537	0.1200	3242.895
5	0.1280	3190.050	0.1600	4323.860
6	0.1600	3987.336	0.2000	5404.825
7	0.1920	4784.670	0.2189	5655.297
8	0.2093	5215.927	0.2589	5745.942
9	0.2258	5570.323	0.2762	5785.130
10	0.2651	5921.541	0.3162	5812.638
11	0.2911	6084.983	0.3562	5840.146
12	0.3013	6126.472	0.3962	5867.654
13	0.3480	6240.113	0.4362	5895.162
14	0.3949	6346.296	0.5084	5937.650
15	0.4269	6417.476	0.5484	5957.996
16	0.4777	6518.493	0.5884	5978.341
17	0.5330	6598.413	0.6284	5998.687
18	0.5650	6641.036	0.6684	6019.033
19	0.5970	6683.654	0.7084	6039.379
20	0.6290	6726.269	0.7484	6059.725
21	0.6610	6768.881	0.7884	6080.071
22	0.7230	6850.075	0.8000	6085.989
23	0.7651	6902.169	-	-
24	0.7971	6937.780	-	-
25	0.8000	6940.981	-	-



Şekil 28. Üçüncü örnek için elde edilmiş olan statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)

Aynı örneğin iki farklı deprem kaydı etkisi altında (El Centro, Kobe) zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizi hem detaylı sonlu elemanlar modeli hem de bu çalışma kapsamında önerilen sandviç kiriş modeli kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Zaman tanım alanında analizlerde El Centro deprem kaydı 1.8 katsayısı ile büyütülürken Kobe deprem kaydı mevcut haliyle kullanılmıştır. Çelik çerçevesel binanın periyot değerleri hesaplanarak Tablo 42’de verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır.

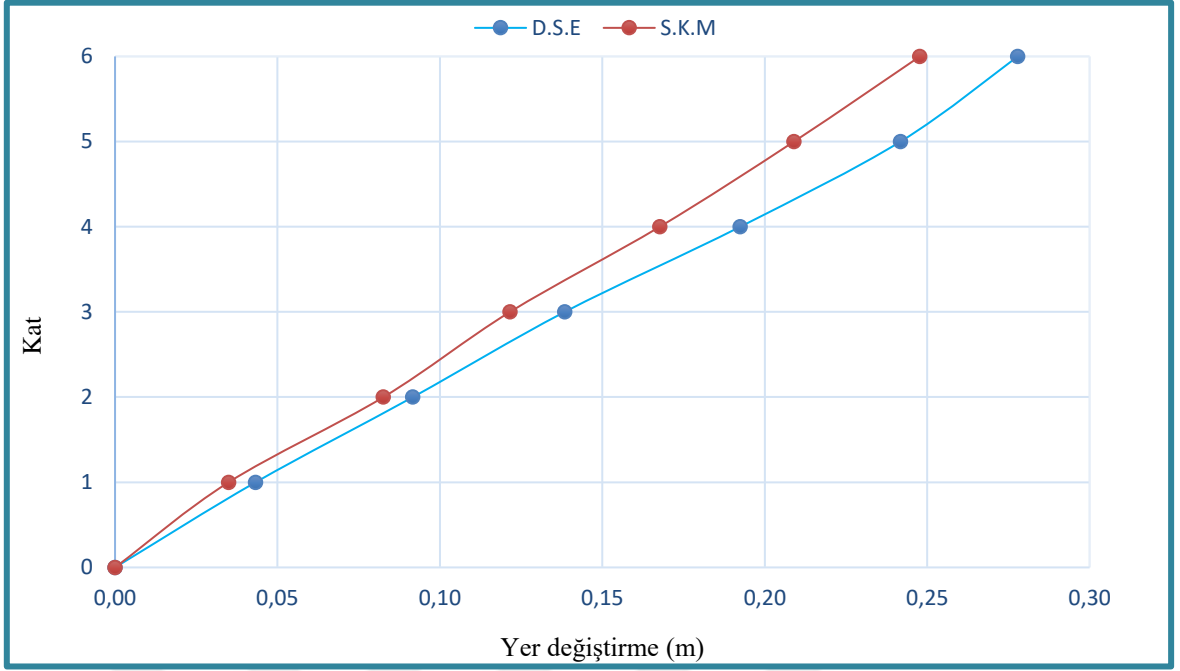
Tablo 42
Periyot değerlerinin karşılaştırılması (3. örnek)

Mod	DSE	SKM
(n)	Periyot (s)	Periyot (s)
1	1.04377	1.04656
2	0.40776	0.38910
3	0.26223	0.23470
4	0.19793	0.15692
5	0.15470	0.11151

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 43’te ve Şekil 29’da verilmiştir.

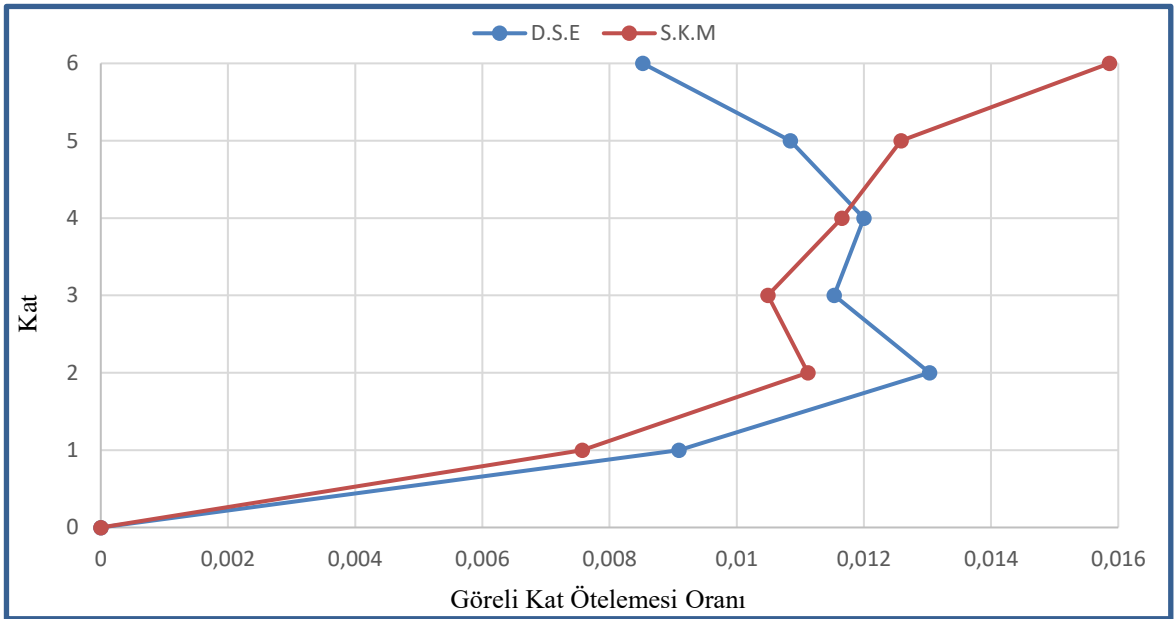
Tablo 43
Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmeleri (3. örnek)

Kat	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
0	0	0	0	0
1	0.04329	-0.05515	0.03499	-0.04054
2	0.09169	-0.12857	0.08263	-0.10151
3	0.13843	-0.17941	0.12159	-0.14082
4	0.19245	-0.21701	0.16769	-0.16905
5	0.24177	-0.24614	0.20899	-0.19004
6	0.27788	-0.27163	0.24776	-0.21616



Şekil 29. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 30'da aşağıda verilmiştir.



Şekil 30. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görece kat ötelemeleri Tablo 44'te ve Tablo 45'te verilmiştir.

Tablo 44

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)

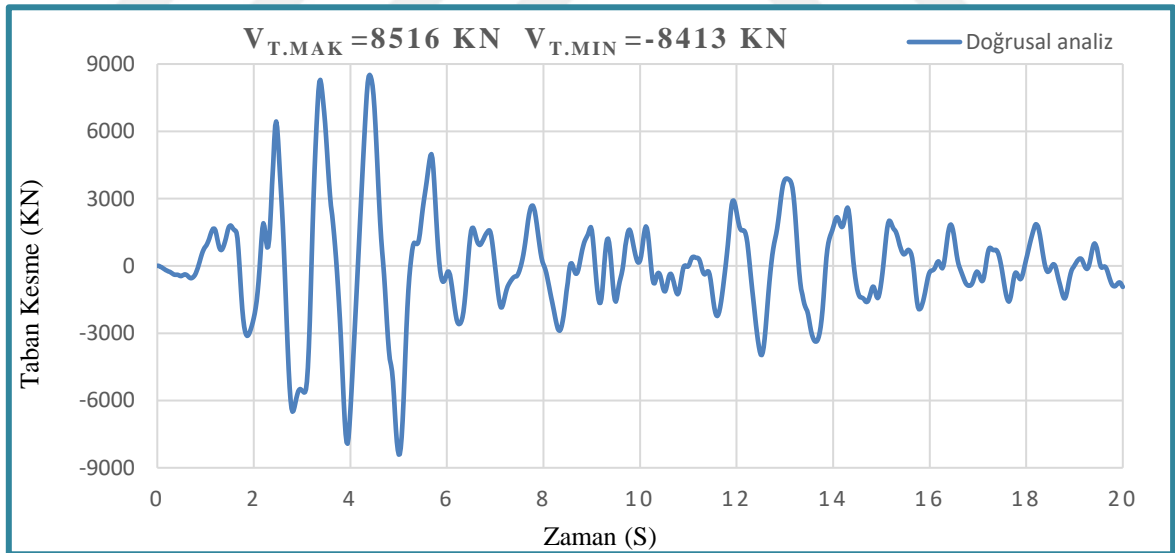
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.01303	0.01586

Tablo 45

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)

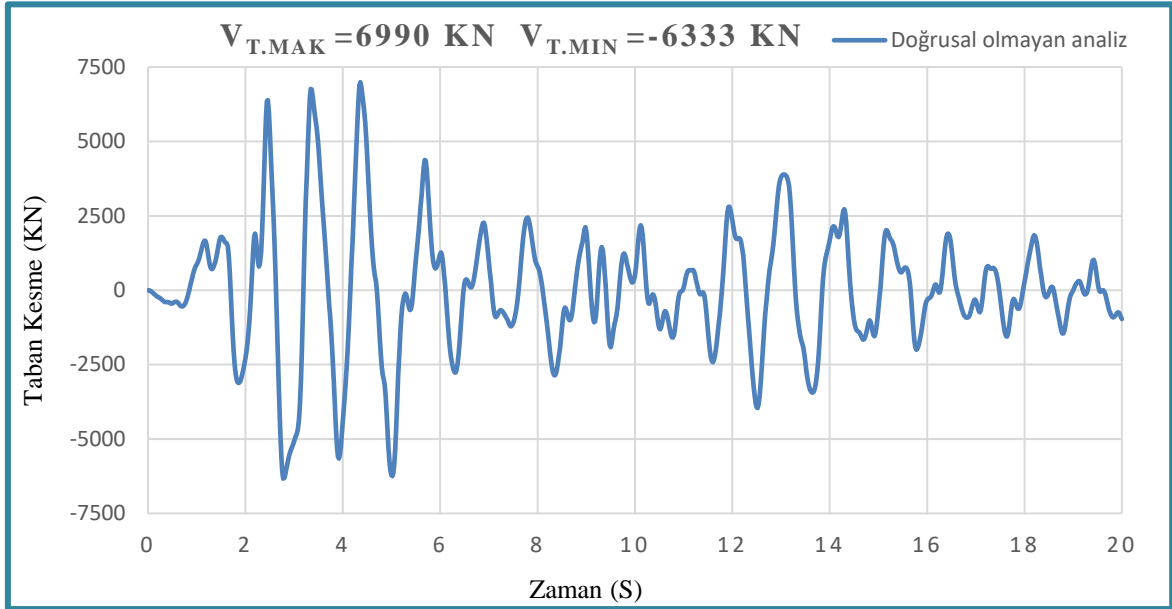
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.01365	0.01656

Şekil 31'de ise büyütmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan taban kesme kuvvetleri değişimi verilmiştir.



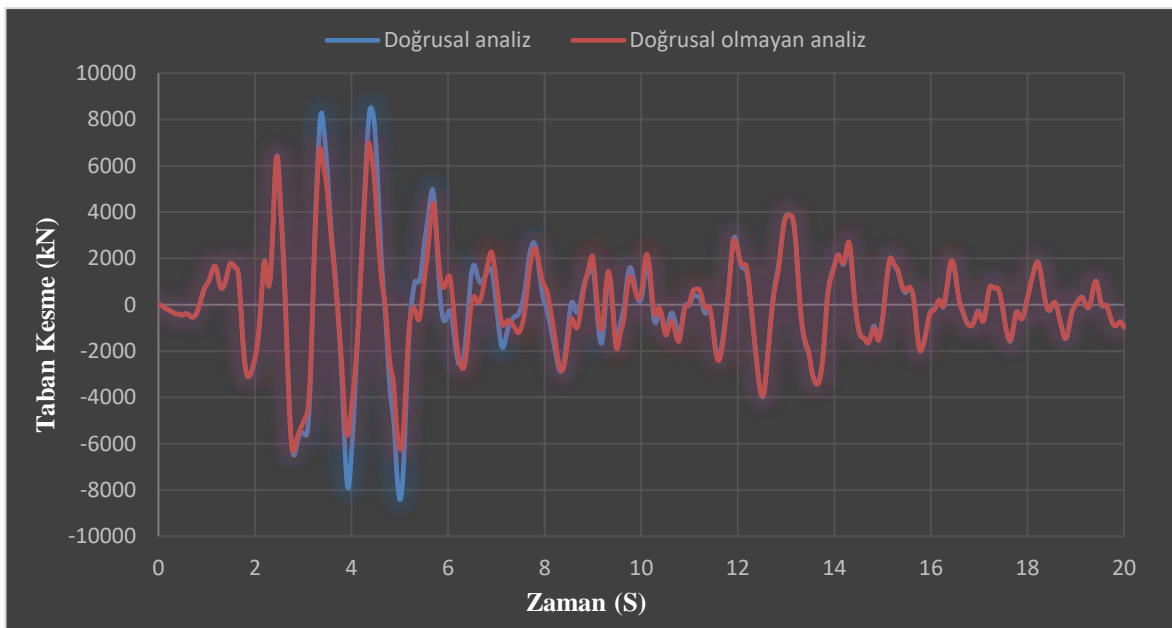
Şekil 31. Büyütülmüş El Centro depremi etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli için doğrusal zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 3)

Şekil 32'de ise büyütmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan taban kesme kuvvetleri değişimi verilmiştir.



Şekil 32. Büyütülmüş El Centro depremi etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 3)

Şekil 33'te ise büyütmüş El Centro deprem kaydı altında detaylı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kesme kuvvetlerinin değişimi karşılaştırılmıştır.



Şekil 33. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı için detaylı sonlu elemanlar modeli ile zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti değişimlerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 46’da karşılaştırılmıştır.

Tablo 46

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (3. örnek)

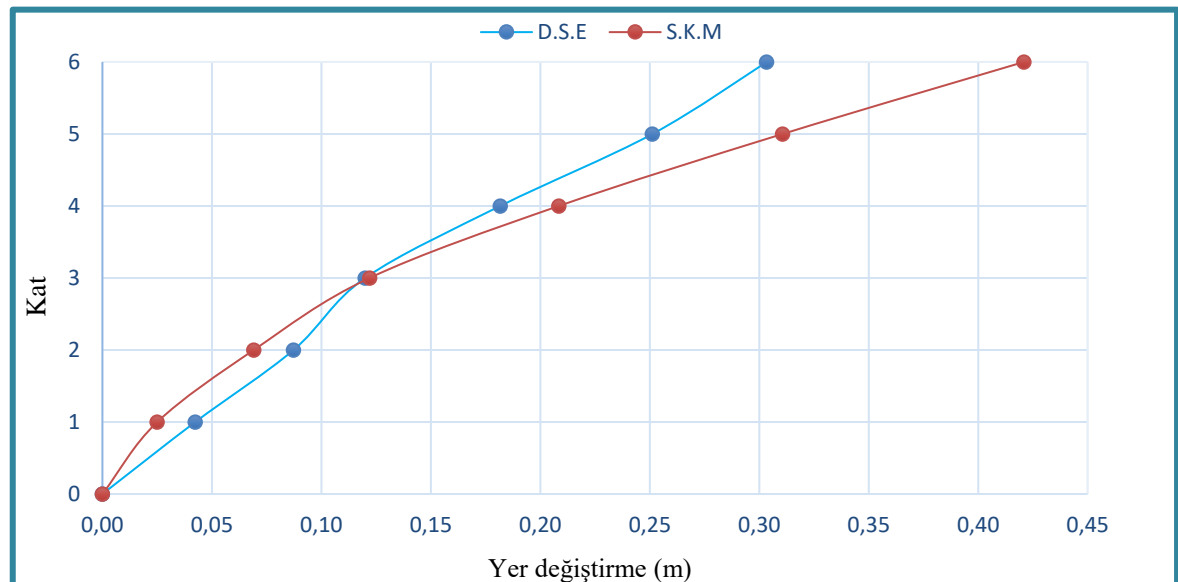
Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	8516	-8413	10180	-8551
D-Olmayan	6990	-6333	7409	-7101

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 47’de ve Şekil 34’te verilmiştir.

Tablo 47

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (3. örnek)

Kat (n)	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.04243	-0.08486	0.02507	-0.06210
2	0.08730	-0.19094	0.06914	-0.15614
3	0.12002	-0.25669	0.12206	-0.21198
4	0.18172	-0.29596	0.20851	-0.23992
5	0.25127	-0.32346	0.31073	-0.24501
6	0.30345	-0.35189	0.42098	-0.24490



Şekil 34. Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)

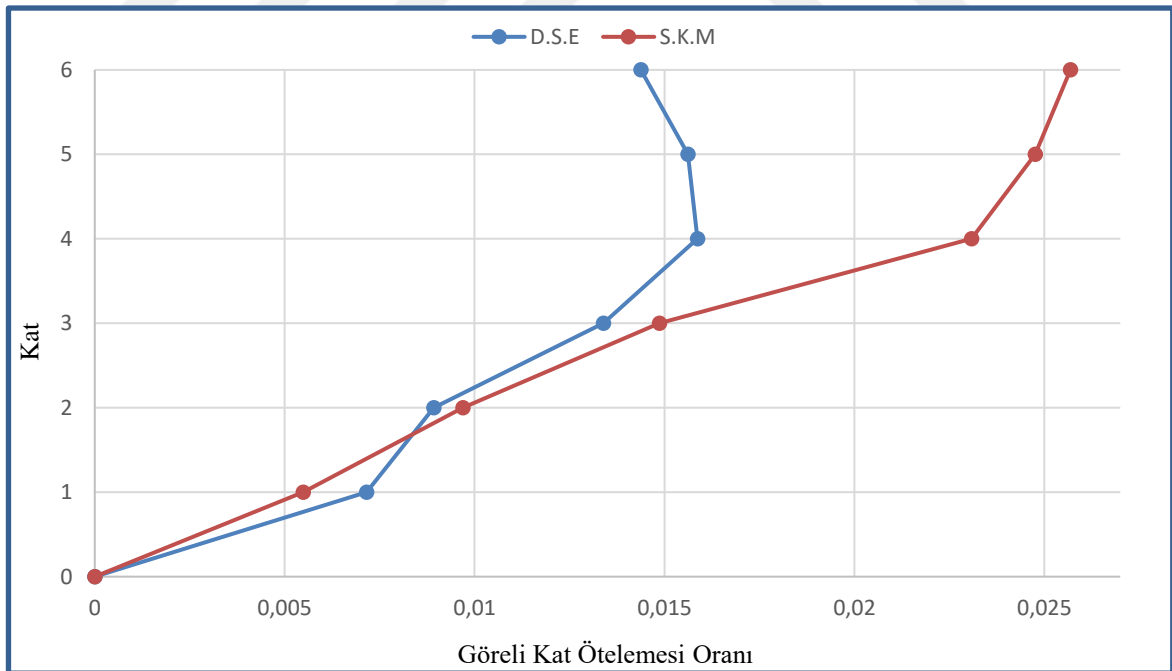
Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan tepe noktası maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 48’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 48

Kobe deprem kaydı etkisinde zaman tanım alanında analizlerden elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (3. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	0.54396	-0.42218	0.55841	-0.45779
D-Olmayan	0.30345	-0.35189	0.42098	-0.24490

Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 35’te aşağıda verilmiştir.



Şekil 35. Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 3)

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 49’da ve Tablo 50’de verilmiştir.

Tablo 49

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.01587	0.02569

Tablo 50

Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (3. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.02533	0.02390

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 51’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 51

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (3. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	12690	-13110	13280	-14050
D-Olmayan	9121	-6459	8689	-6857

Detaylı sonlu elemanlar ve sandviç giriş modeli ile yapılan analizlerin sürelerinin karşılaştırılması Tablo 52 ‘de sunulmuştur.

Tablo 52

Örnek 3 için çözüm sürelerinin karşılaştırılması (3. örnek)

DSE	SKM
19 (S)	11 (S)

5.4. Dördüncü Sayısal Uygulama

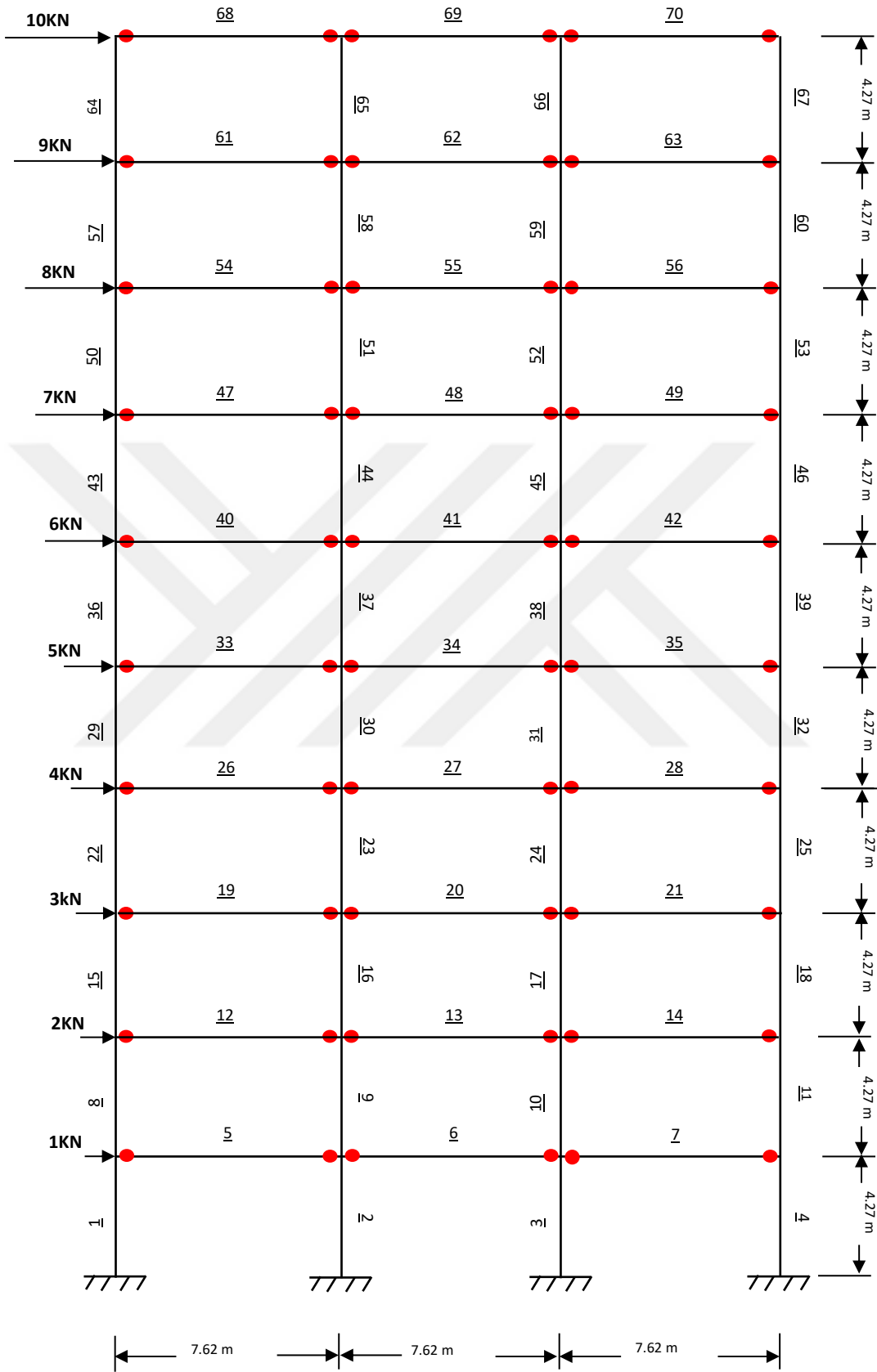
Literatürden (Wong, 2011) alınan ve Şekil 36’da gösterilen üç açıklıklı 10 katlı çelik düzlem çerçeve sistemin genel özellikleri Tablo 53’te ve kesit özellikleri Tablo 54’te verilmiştir. Ele alınan örnekte mesnetler ankastre olarak dikkate alınmıştır. Bu örnekte de üç açıklıklı çelik düzlem çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi ve iki farklı deprem kaydı altında zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca görelî kat ötelemeleri ETABS programı yardımıyla yapılmıştır.

Tablo 53
4. örneğe ait özellikler (4. örnek)

Bina Yüksekliği H (m)	42.70
Kat yüksekliği h (m)	4.27
Kiriş açıklıkları (m)	7.62
Elastisite modülü E (kN/m ²)	2x10 ⁸
Poisson Oranı (μ)	0.20
1-10. kat kütleleri (ton)	218.9
Tüm kirişlerdeki Plastik Mafsallık M _{pb} (kNm)	5.978

Tablo 54
Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneğinin kesit (kolon, kiriş) özellikleri (4. Örnek)

Numara	Kolon	Kiriş	Tip
1.4.8.11.15.18	√	-	W 14 x 370
2.3.9.10.16.17	√	-	W 14 x 605
22.25.29.32	√	-	W 14 x 311
23.24.30.31	√	-	W 14 x 550
36.39.43.46	√	-	W 14 x 283
37.38.44.45	√	-	W 14 x 455
50.53.57.60	√	-	W 14 x 257
51.52.58.59	√	-	W 14 x 426
64.67	√	-	W 14 x 193
65.66	√	-	W 14 x 342
5.6.7.12.13.14	-	√	W 36 x 260
19.20.21.26.27.28	-	√	W 36 x 230
33.34.35.40.41.42	-	√	W 36 x 210
47.48.49	-	√	W 36 x 182
54.55.56	-	√	W 36 x 150
61.62.63	-	√	W 36 x 135
68.69.70	-	√	W 27 x 94



Şekil 36. Üç açıklıklı çelik düzlem çerçeve örneği. (Sayısal örnek 4)

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA' ve D değerleri Tablo 55'te verilmiştir.

Tablo 55
Örnek 4 için EI, GA' ve D değerleri (4. örnek)

Kat	EI (kNm ²)	GA'(kN)	D (kNm ²)
1-3	2704800	9016667	4377933144
4-5	2285600	7783333	3677218452
6-7	1833200	6433333	3295735344
8-9	1664400	6183333	3009477852
10	1214040	4400000	2277866412

K_s değerleri ise hem Bölüm 4'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 56'da verilmiştir.

Tablo 56
Örnek 4 için K_s değerleri (kN) (4. örnek)

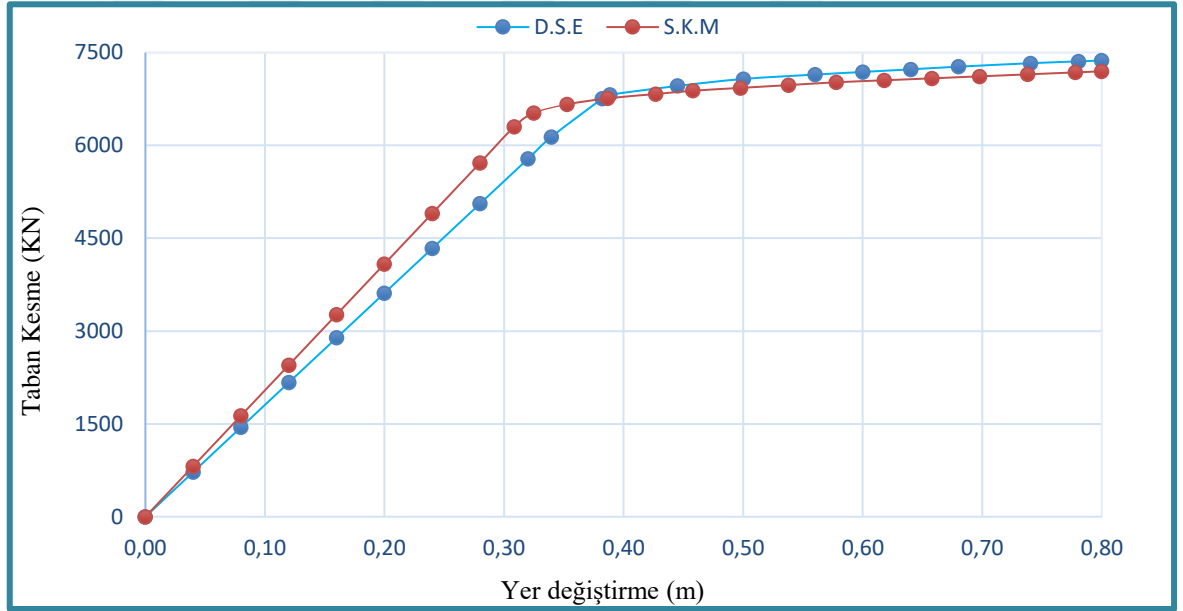
Kat	Bağıntı	SAP 2000
1	967550	890697
2	834623	785056
3	773261	736793
4	716202	675829
5	668268	608884
6	602243	578603
7	555412	522396
8	468981	454286
9	429272	390344
10	216382	677846

Örnekte ele alınan on katlı üç açıklıklı çelik düzlem çerçevenin doğrusal olmayan statik itme analizi sabit üçgen yayılı yük için hem detaylı sonlu elemanlar modeli hem de sandviç kiriş modeli kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 57'de ve Şekil 37'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 57
Örnek 4 için statik itme eğrilerinin noktalarının karşılaştırılması (4. Örnek)

Adım (n)	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0400	722.976	0.0400	817.030
3	0.0800	1445.939	0.0800	1634.059
4	0.1200	2168.816	0.1200	2451.089
5	0.1600	2891.755	0.1600	3268.119
6	0.2000	3614.571	0.2000	4085.148

57. Tablonun devamı				
7	0.2400	4337.412	0.2400	4902.178
8	0.2800	5060.229	0.2800	5719.208
9	0.3200	5783.021	0.3086	6302.687
10	0.3397	6138.269	0.3251	6524.756
11	0.3822	6756.767	0.3527	6662.693
12	0.3887	6817.816	0.3869	6760.467
13	0.4451	6961.037	0.4269	6829.707
14	0.5003	7073.612	0.4580	6883.546
15	0.5602	7144.274	0.4980	6929.003
16	0.6002	7186.975	0.5380	6974.460
17	0.6402	7229.161	0.57800	7019.916
18	0.6802	7271.903	0.6180	7051.888
19	0.7406	7328.056	0.6580	7083.859
20	0.7806	7357.609	0.6980	7115.830
21	0.8000	7371.681	0.7380	7147.802
22	-	-	0.7780	7179.773
23	-	-	0.8000	7197.360



şekil 37. rnek 4 için statik itme eğrilerinin noktalarının karşılaştırılması.(Sayısal rnek 4)

Aynı rneğin iki farklı deprem kaydı etkisinde (El Centro, Kobe) zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizi hem detaylı sonlu elemanlar modeli hem de bu tez kapsamında önerilen sandviç kiriş modeli ile yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizlerde El Centro deprem kaydı 1.8 ile büyütülerek kullanılırken Kobe deprem kaydı ise aynen kullanılmıştır. Periyot değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 58’de verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %3 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır.

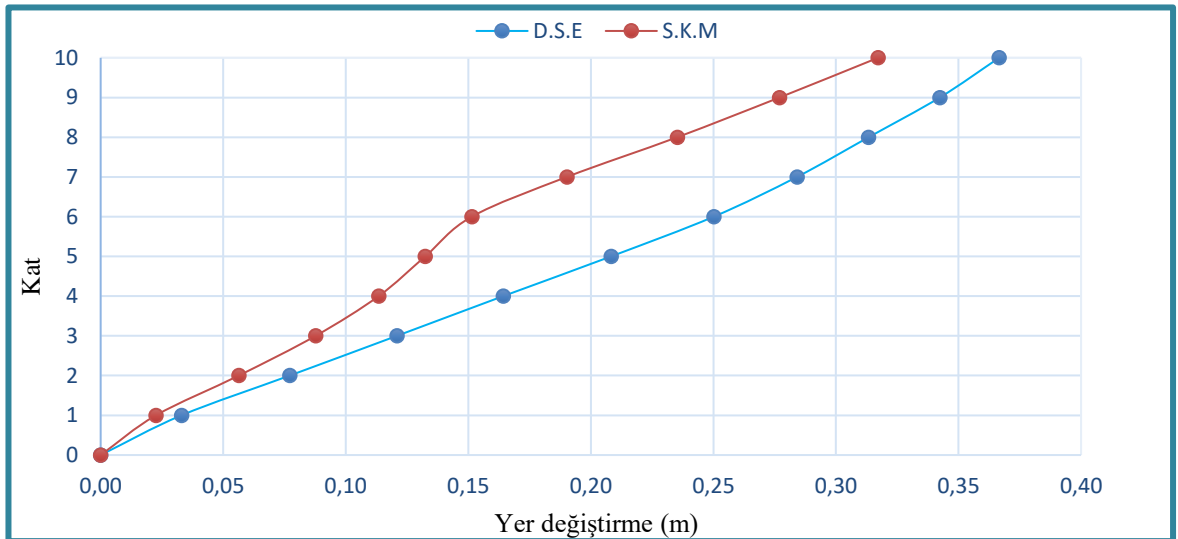
Tablo 58
Periyot değerlerinin karşılaştırılması (4. örnek)

Mod (n)	DSE Periyot (s)	SKM Periyot (s)
1	1.65863	1.53910
2	0.59864	0.56641
3	0.36498	0.34308
4	0.26625	0.23917
5	0.21161	0.17688

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 59’da ve şekil 38’de verilmiştir.

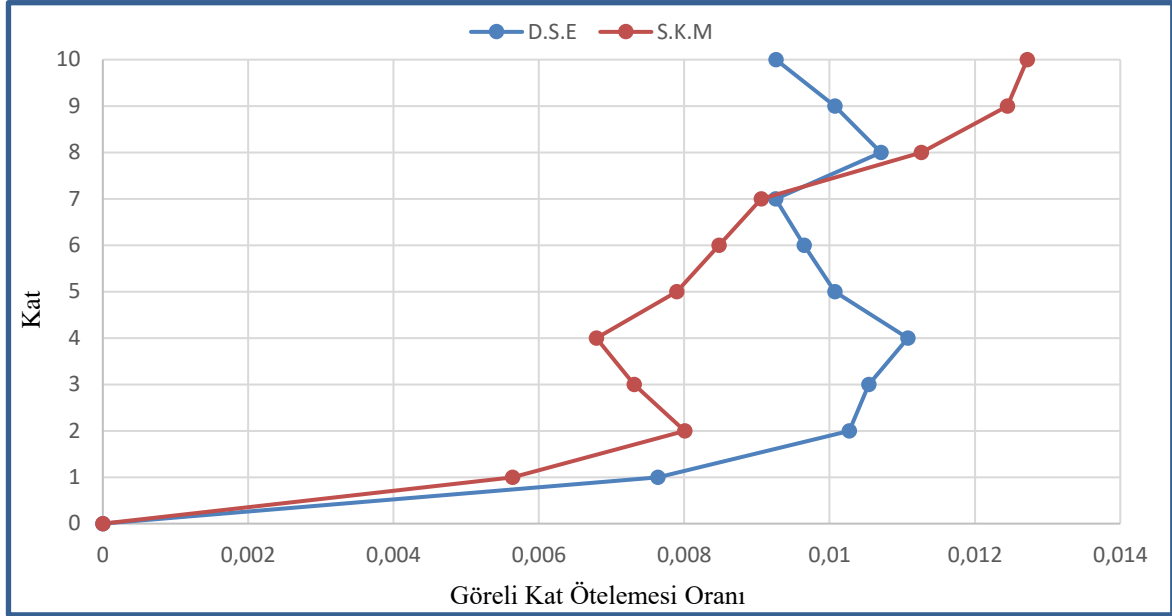
Tablo 59
Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmeleri (4. örnek)

Kat (n)	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Mak Y-D (m)
1	0.03301	-0.03181	0.02259	-0.02335
2	0.07712	-0.07478	0.05634	-0.06307
3	0.12087	-0.11595	0.08771	-0.10826
4	0.16425	-0.15589	0.11342	-0.14555
5	0.20826	-0.19513	0.13241	-0.17712
6	0.25014	-0.23291	0.15142	-0.20477
7	0.28408	-0.27079	0.19018	-0.22575
8	0.31332	-0.30498	0.23526	-0.23428
9	0.34236	-0.32908	0.27695	-0.23825
10	0.36659	-0.35288	0.31720	-0.26893



Şekil 38. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 39'da aşağıda verilmiştir.



Şekil 39. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 60'ta ve Tablo 61'de verilmiştir.

Tablo 60

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)

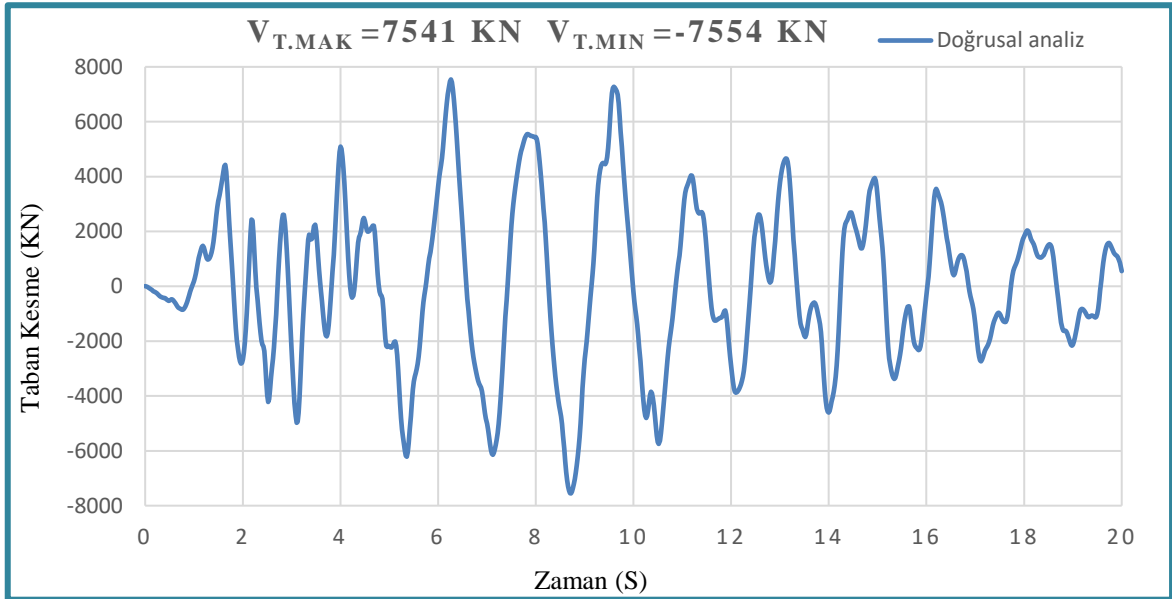
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.01108	0.01272

Tablo 61

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)

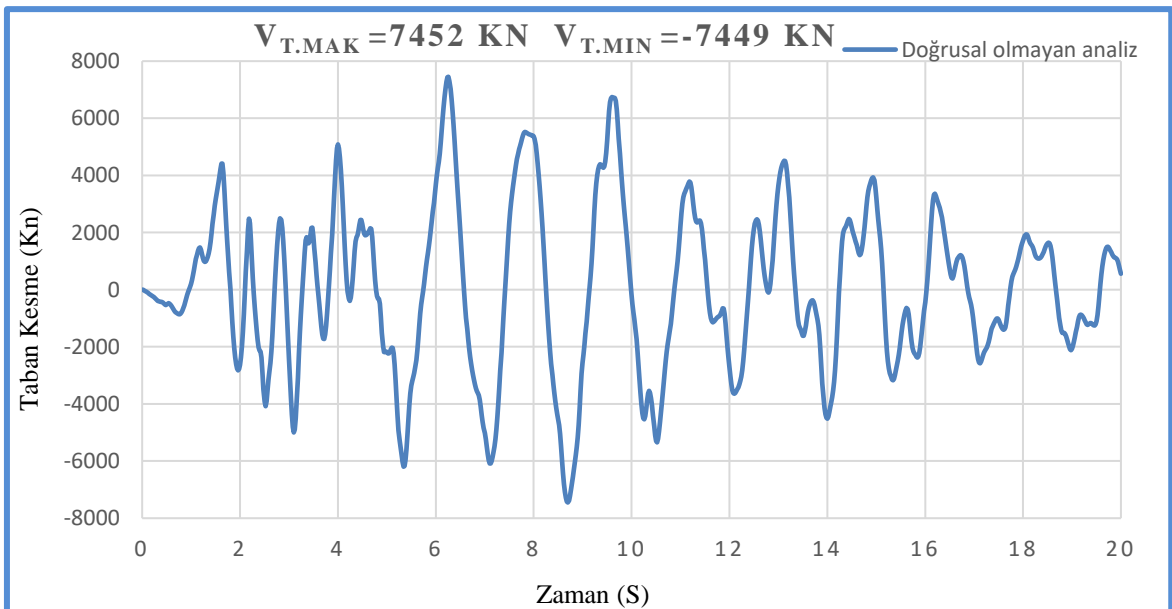
Deprem kaydı	DSE	SKM
El Centro	0.01095	0.01160

Şekil 40'ta ise büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar modelinin doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



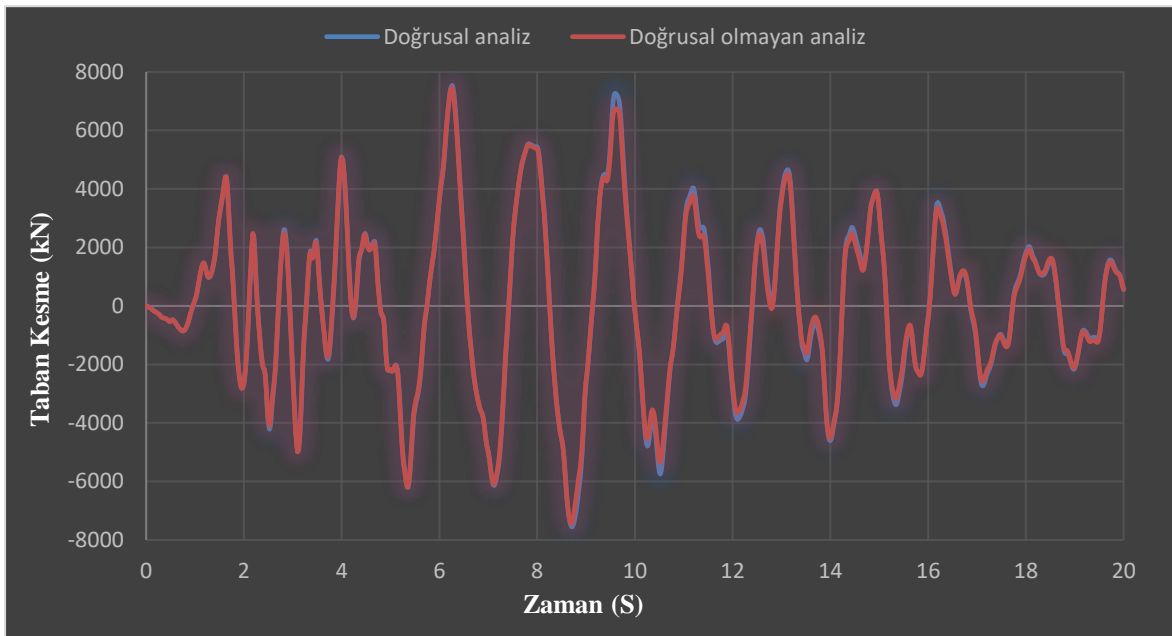
Şekil 40. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar modeli ile doğrusal zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerini değişimi. (Sayısal örnek 4)

Şekil 41'de ise büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar modelinin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



Şekil 41. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisi altında detaylı sonlu elemanlar modeli ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerini değişimi. (Sayısal örnek 4)

Şekil 42’de ise büyütmüş El Centro deprem kaydı altında detaylı sonlu elemanlar modeli kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 42. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli ile doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırması. (Sayısal örnek 4)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 62’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 62

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar ve sandviç kiriş modelleri ile doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (4. örnek)

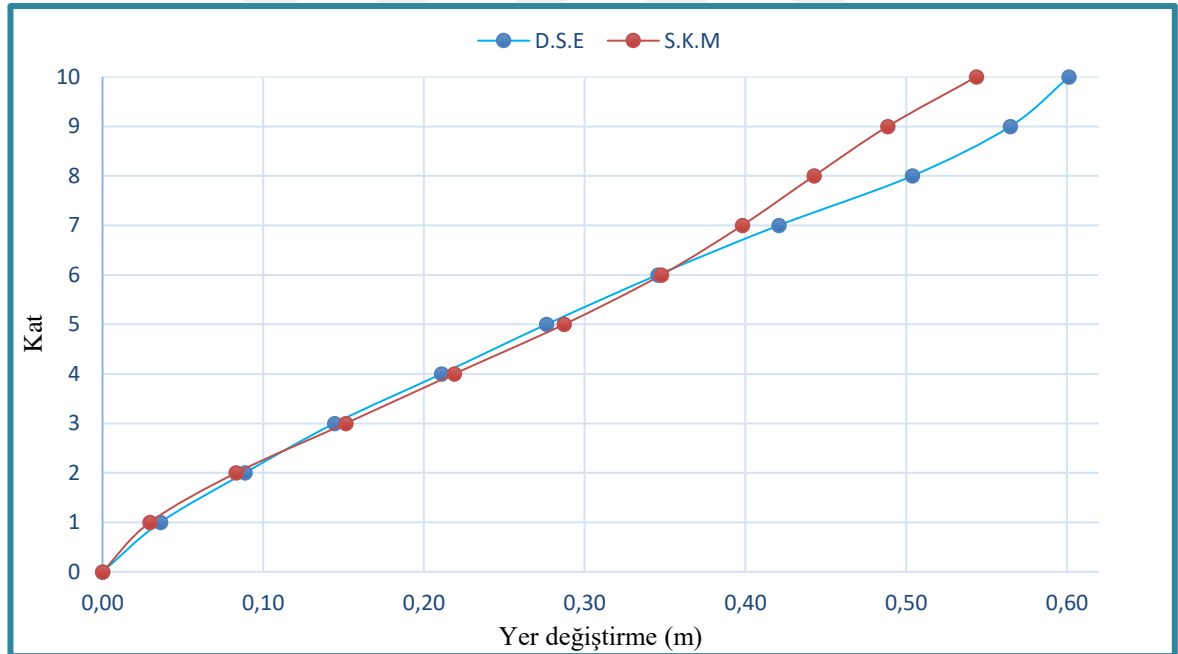
Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	7541	-7554	8645	-8167
D-Olmayan	7452	-7449	7242	-7191

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 63'te ve Şekil 43'te verilmiştir.

Tablo 63

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (4. örnek)

Kat (n)	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.03599	-0.03627	0.02947	-0.02079
2	0.08851	-0.07929	0.08308	-0.05215
3	0.14432	-0.11299	0.15138	-0.08750
4	0.21088	-0.15919	0.21882	-0.12696
5	0.27616	-0.20669	0.28721	-0.17594
6	0.34544	-0.25967	0.34779	-0.23110
7	0.42077	-0.31807	0.39803	-0.29071
8	0.50383	-0.38415	0.44267	-0.34339
9	0.56485	-0.43504	0.48853	-0.37317
10	0.60132	-0.46894	0.54375	-0.38843



Şekil 43. Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4)

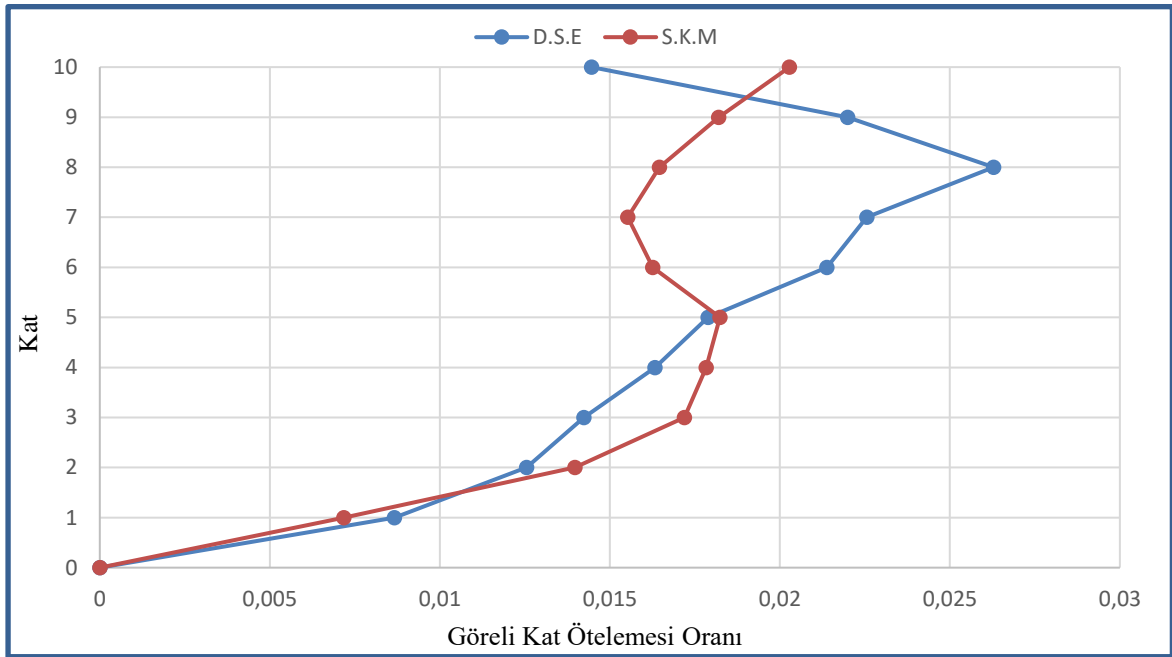
Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan tepe noktası maksimum ve minimum yer değiştirmeleri Tablo 64'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 64

Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analizlerden elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (4. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
Doğrusal	0.72250	-0.56246	0.78139	-0.68844
D-Olmayan	0.60132	-0.46894	0.54375	-0.38843

Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 44'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 44. Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 4)

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 65'te ve Tablo 66'da verilmiştir.

Tablo 65

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.02629	0.02029

Tablo 66

Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan göreceli kat ötelemelerinin karşılaştırılması (4. örnek)

Deprem kaydı	DSE	SKM
Kobe	0.02386	0.02477

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 67’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 67

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (4. örnek)

Analiz türü	DSE		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	12330	-10120	15260	-14180
D-Olmayan	8477	-8023	7144	-9153

Örnek 4 için detaylı sonlu elemanlar ve sandviç kiriş modellerinin SAP2000 kapsamında analiz süreleri karşılaştırmalı olarak Tablo 68’de sunulmuştur.

Tablo 68

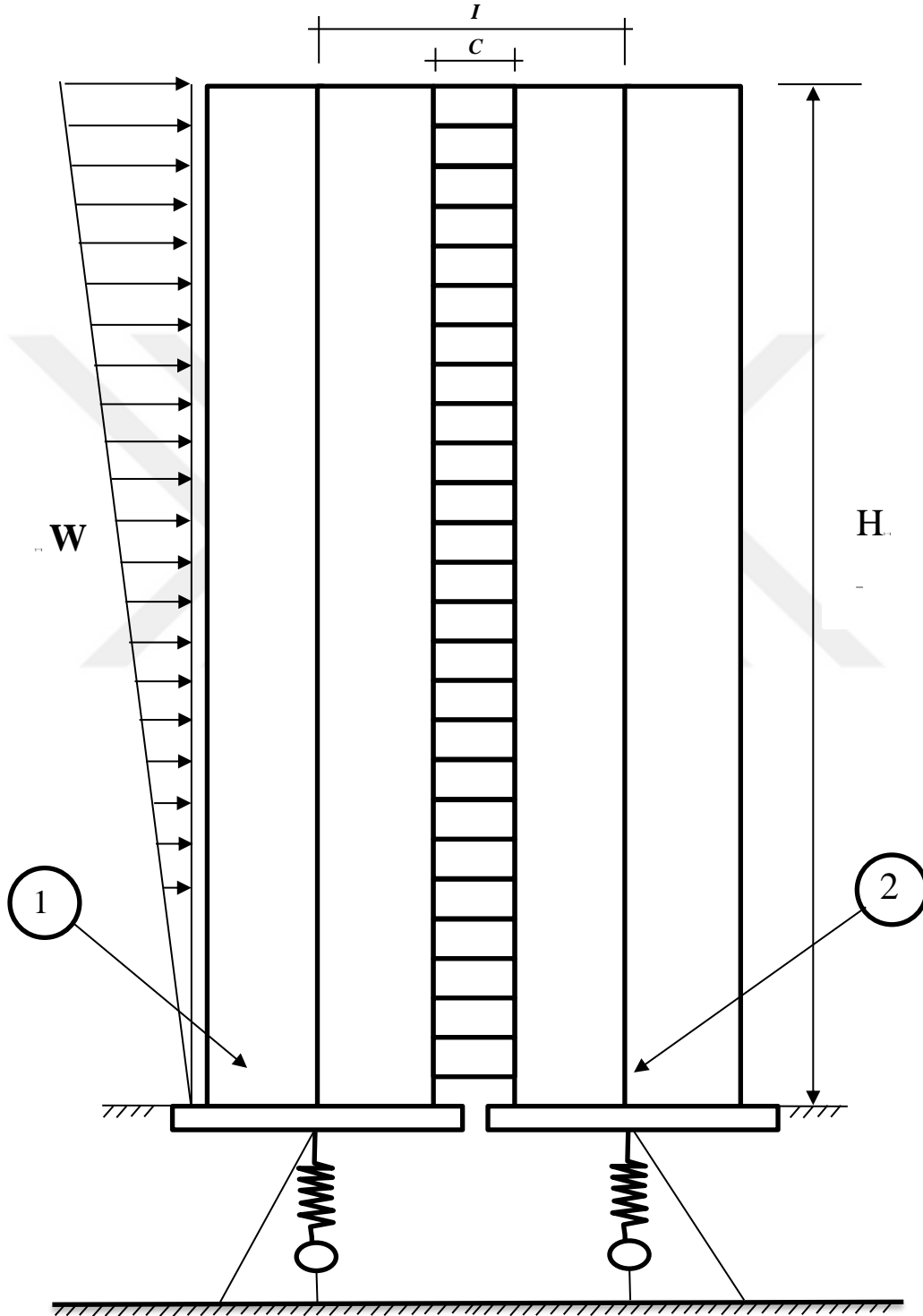
Örnek 4 için çözüm sürelerinin karşılaştırılması (4. örnek)

DSE	SKM
28 (S)	16 (S)

5.5. Beşinci Sayısal Uygulama

Literatürden (Nadjai, Johnson, 1997) alınan ve Şekil 45’te gösterilen 26 katlı boşluklu perdenin genel özellikleri Tablo 69’da verilmiştir. Ele alınan örnekte temeldeki yer değiştirmelerin boşluklu perdeye olan etkisi yaylar yardımıyla dikkate alınmıştır. Dört farklı durum için yay katsayıları Tablo 70’te verilmiştir (Nadjai, Johnson, 1997). Örnekte ele alınan boşluklu perdeli yapının doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca göreceli kat ötelemeleri ETABS programı yardımıyla

yapılmıştır. Boşluklu perdenin dolu perde kısımlarının çubuk ve kabuk elemanlarla modellenmesi durumları için analizler ayrı ayrı yapılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 45. Tek açıklıklı boşluklu perde örneği. (Sayısal örnek 5)

Tablo 69

5. Örneğe ait özellikler (5. örnek)

Bina Yüksekliği H (m)	78.0
Kat yüksekliği h (m)	3.0
Sol taraftaki Perde genişliği b1 (m)	7.32
Sağ taraftaki Perde genişliği b2 (m)	7.32
Kalınlık t (m)	0.305
İki Perde arasında Merkezden Merkeze Uzunluğu I (m)	9.0
Bağ Kiriş açıklığı c (m)	1.68
Bağ kirişinin yüksekliği d (m)	0.70
Elastisite modülü E (kN/m ²)	25x10 ⁶
Poisson Oranı (μ)	0.137
1. kat kütlesi (ton)	52.578
2-25. kat kütleleri (ton)	35.052
26.kat kütlesi (ton)	17.526

Tablo 70

Boşluklu perde örneği için yay katsayıları (5. örnek)

Durum	Tanım	Birim	Değer
A	Kaya Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	∞
		K_v (kN/m)	∞
B	Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	1.56×10^7
		K_v (kN/m)	8.1×10^5
C	60% Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	8.9×10^6
		K_v (kN/m)	4.6×10^5
D	15% Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	2.2×10^6
		K_v (kN/m)	1.2×10^5

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA' ve D değerleri Tablo 71'de verilmiştir.

Tablo 71

Örnek 5 için EI, GA' ve D değerleri (5. örnek)

Kat	EI (kNm ²)	GA' (kN)	D (kNm ²)
1-26	498450000	40908090	2260507500

K_s değerleri ise hem Bölüm 4'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 72'de verilmiştir.

Tablo 72

Örnek 5 için K_s değerleri (kN) (5. örnek)

Kat	Bağıntı	SAP 2000
1	9953942	27027027
2-25	9953942	5074670
26	9953942	10422095

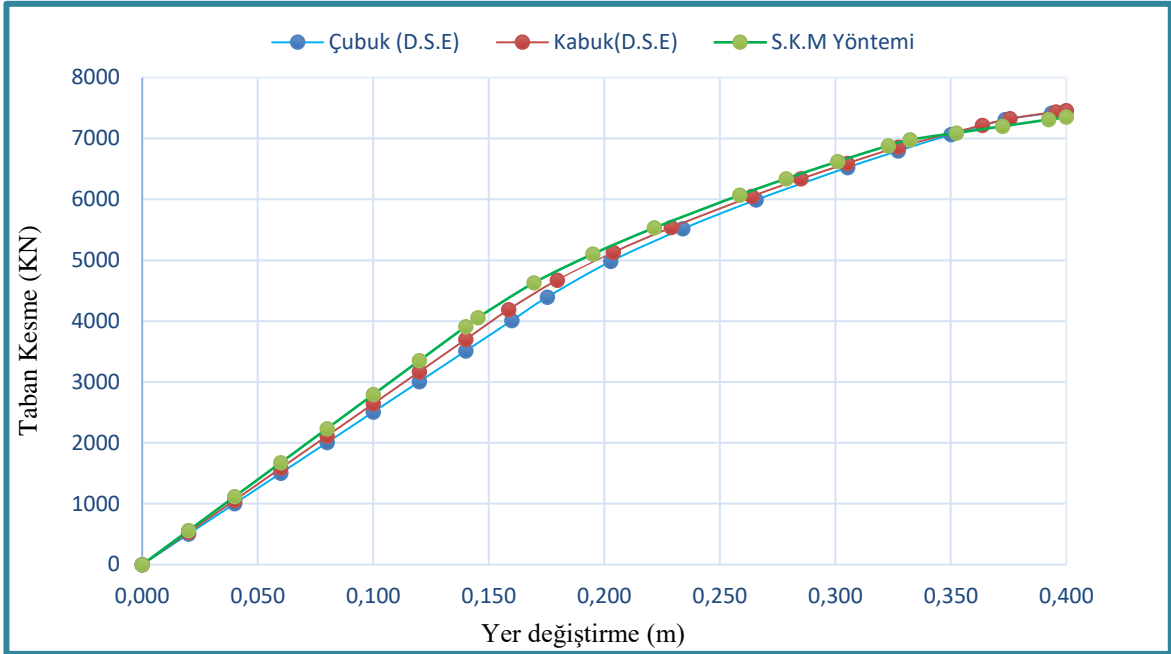
Örnekte ele alınan tek açıklıklı boşluklu perdenin rijit temel durumu için statik itme analizi sabit üçgen yayılı yük için detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile ve bu çalışmada önerilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile analizde dolu perde kısımların kabuk eleman ve çubuk elemanla modellenmesi durumu için ayrı ayrı hesap yapılmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analiz sonucu elde edilmiş olan statik itme eğrisinin noktaları Tablo 73'te verilmiştir. Şekil 46'da ise doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu elde edilmiş olan maksimum kat yer değiştirmeleri grafik olarak verilmiştir.

Tablo 73'te ve Şekil 46'da ise statik itme eğrilerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 73

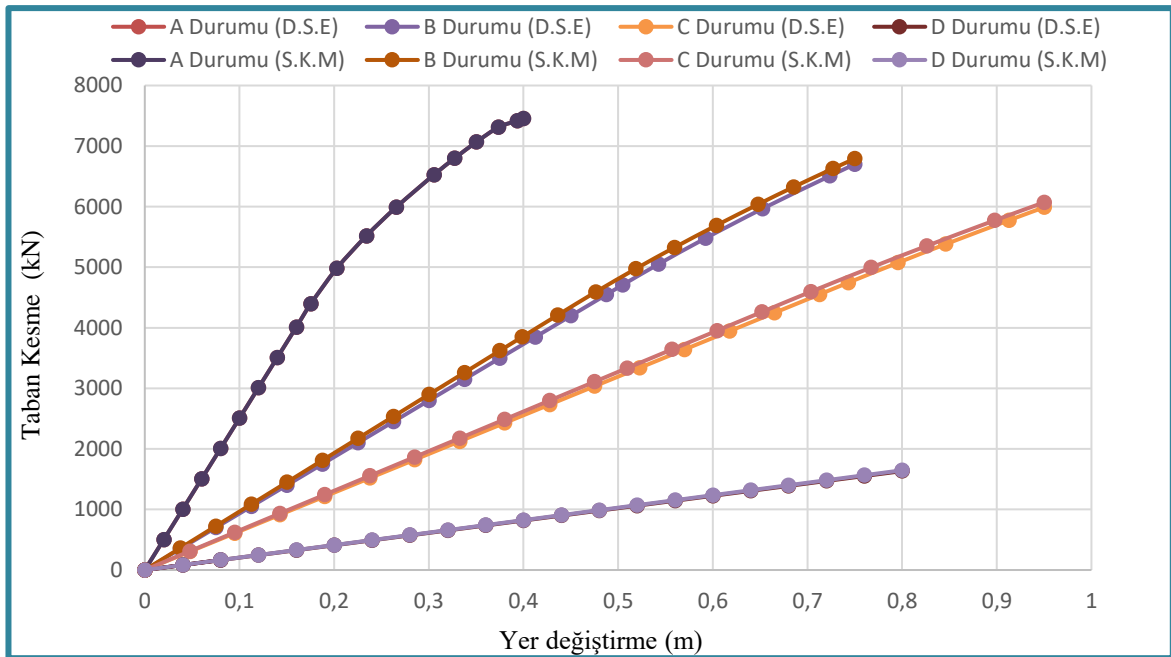
Doğrusal olmayan statik itme eğrisinin noktalarının karşılaştırılması (5. örnek)

Adım (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	T Kesme (KN)	Mak Y-D (m)	T Kesme (KN)	Mak Y-D (m)	T Kesme (KN)
1	0	0	0	0	0	0
2	0.0200	501.287	0.0200	529	0.0200	559
3	0.0400	1002.561	0.0400	1057.090	0.0400	1117.297
4	0.0600	1503.823	0.0600	1585.586	0.0600	1675.945
5	0.0800	2005.071	0.0800	2113.724	0.0800	2234.594
6	0.1000	2506.306	0.1000	2642.156	0.1000	2793.242
7	0.1200	3007.528	0.1200	3170.197	0.1200	3351.891
8	0.1400	3508.737	0.1400	3698.564	0.1400	3910.539
9	0.1600	4009.933	0.1586	4188.653	0.1453	4058.154
10	0.1753	4394.296	0.1796	4673.587	0.1696	4629.338
11	0.2028	4979.977	0.2039	5128.843	0.1951	5102.612
12	0.2340	5516.464	0.2290	5537.222	0.2216	5531.574
13	0.2657	5991.489	0.2640	6049.737	0.2587	6070.754
14	0.3054	6524.638	0.2851	6336.312	0.2787	6339.166
15	0.3272	6797.052	0.3051	6590.297	0.3011	6622.628
16	0.3501	7065.336	0.3274	6857.239	0.3229	6881.506
17	0.3736	7309.389	0.3636	7218.592	0.3324	6980.429
18	0.3936	7418.175	0.3756	7327.391	0.3524	7090.736
19	0.4000	7453.113	0.3956	7436.036	0.3724	7201.043
20	-	-	0.4000	7459.888	0.3924	7311.349
21	-	-	-	-	0.4000	7353.112



Şekil 46. Rijit temel durumunda statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

4 farklı zemin durumu için detaylı sonlu elemanlar yöntemi ve sandviç kiriş modeli ile statik itme eğrileri elde edilerek sonuçlar Şekil 47'de karşılaştırılmıştır. Detaylı sonlu elemanlar analizinde dolu perde kısımları çubuk elemanlarla modellenmiştir.



Şekil 47. 4 farklı temel durumu için statik itme (push over) eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için iki farklı deprem (El Centro, Kobe) kaydı kullanılarak analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. El Centro deprem kaydı 1.8 ile büyütülürken Kobe deprem kaydı mevcut haliyle kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analiz için sönüm matrisinin oluşturulmasında gerekli olan periyot değerleri hesaplanarak Tablo 74'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır. Rayleigh sönüm matrisinin oluşturulmasında ilk iki mod dikkate alınmıştır.

Tablo 74

Rijit temel durumu için periyot değerlerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Mod (n)	DSE (Çubuk) Periyot (s)	DSE (Kabuk) Periyot (s)	SKM Periyot (s)
1	0.80243	0.77719	0.75189
2	0.17959	0.16713	0.15014
3	0.08180	0.07652	0.06451
4	0.05205	0.05012	0.03884
5	0.03792	0.03847	0.02691

Büyütülmüş El Centro deprem kapsamında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 75'te verilmiştir.

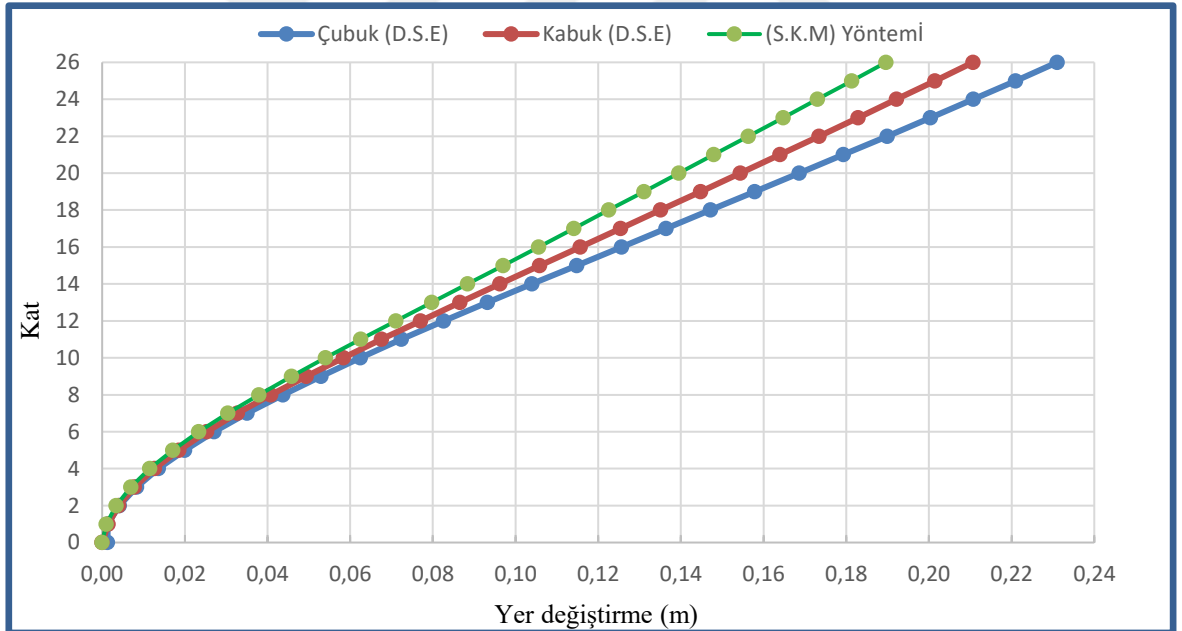
Tablo 75

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analize göre kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Kat (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
0	0	0	0	0	0	0
1	0.00131	-0.001185	0.00144	-0.001343	0.00102	-0.000959
2	0.00415	-0.003687	0.00401	-0.003722	0.00336	-0.003119
3	0.00831	-0.007297	0.00779	-0.007182	0.00691	-0.006397
4	0.01362	-0.011994	0.01267	-0.011659	0.01153	-0.010656
5	0.01993	-0.017659	0.01852	-0.017002	0.01706	-0.015761
6	0.02708	-0.02416	0.02526	-0.023078	0.02339	-0.021583
7	0.03508	-0.031395	0.03273	-0.02976	0.03038	-0.028001
8	0.04374	-0.039261	0.04081	-0.036923	0.03790	-0.03493
9	0.05291	-0.047661	0.04938	-0.044451	0.04582	-0.042535
10	0.06250	-0.056645	0.05833	-0.05224	0.05406	-0.050527
11	0.07240	-0.066043	0.06757	-0.060196	0.06251	-0.058815
12	0.08258	-0.075773	0.07701	-0.068336	0.07109	-0.067317

75. Tablonun devamı						
13	0.09320	-0.085758	0.08657	-0.076931	0.07974	-0.075959
14	0.10396	-0.095932	0.09619	-0.085612	0.08840	-0.085139
15	0.11478	-0.106233	0.10582	-0.094332	0.09702	-0.094488
16	0.12562	-0.116609	0.11562	-0.103061	0.10560	-0.10388
17	0.13642	-0.127017	0.12540	-0.111869	0.11411	-0.113273
18	0.14717	-0.137661	0.13513	-0.121343	0.12256	-0.122641
19	0.15783	-0.148299	0.14480	-0.130836	0.13103	-0.131971
20	0.16858	-0.158899	0.15441	-0.140322	0.13949	-0.141888
21	0.17931	-0.169429	0.16396	-0.149776	0.14793	-0.151807
22	0.18992	-0.179863	0.17344	-0.159326	0.15634	-0.161705
23	0.20039	-0.190181	0.18285	-0.169389	0.16472	-0.171564
24	0.21073	-0.200371	0.19217	-0.179368	0.17305	-0.181373
25	0.22093	-0.210434	0.20141	-0.189258	0.18135	-0.191126
26	0.23102	-0.220386	0.21067	-0.199165	0.18962	-0.200828

Şekil 48’de ise büyütülmüş El Centro deprem kaydı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum kat yer değiştirmelerin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 48. Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

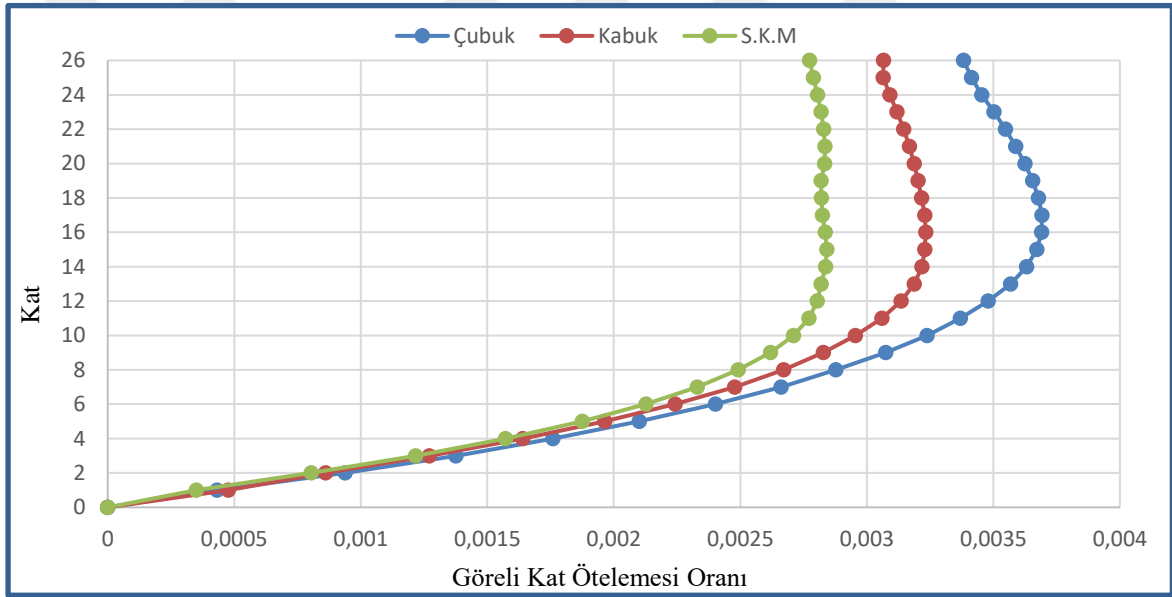
Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan tepe noktasındaki maksimum ve minimum yer değiştirmeler Tablo 76’da karşılaştırılmıştır.

Tablo 76

Rijit temel durumu için Zaman tanım alanında analizinde tepe noktasındaki yer değiştirmelerin karşılaştırılması (5. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
Doğrusal	0.22306	-0.21603	0.22945	-0.19646	0.22560	-0.20187
D-Olmayan	0.23102	-0.22039	0.21067	-0.19917	0.18962	-0.20083

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 49'da aşağıda verilmiştir.



Şekil 49. Rijit temel durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 77'de ve Tablo 78'de verilmiştir.

Tablo 77

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)

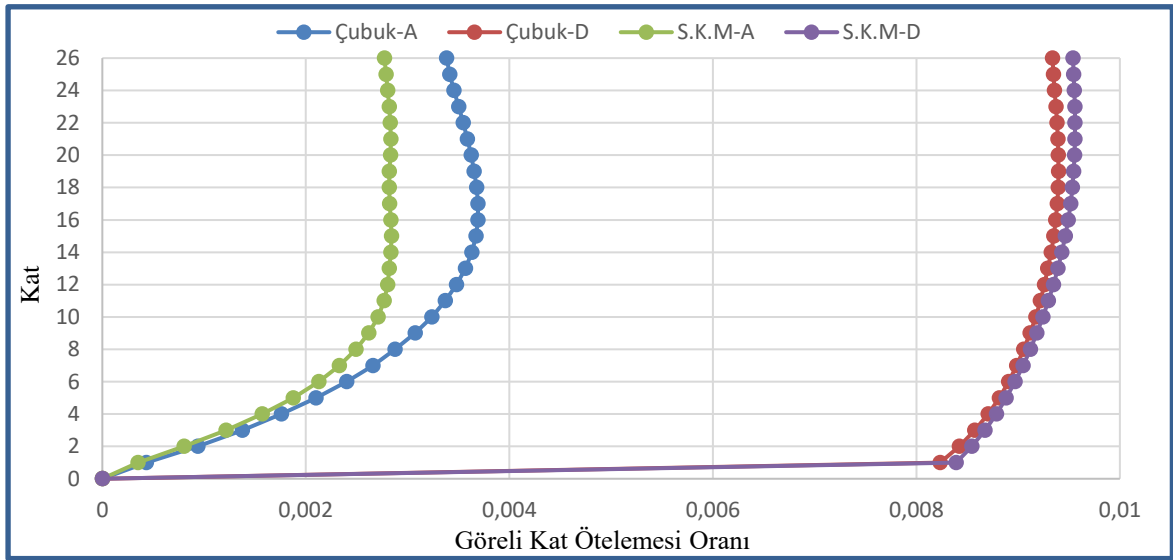
Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
El Centro	0.00369	0.00323	0.00284

Tablo 78

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
El Centro	0.00404	0.00385	0.00378

İki farklı zemin durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 50’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 50. İki farklı zemin durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

4 farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi Tablo 79’da ve Tablo 80’da karşılaştırılmıştır.

Tablo 79

4 farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (5. örnek)

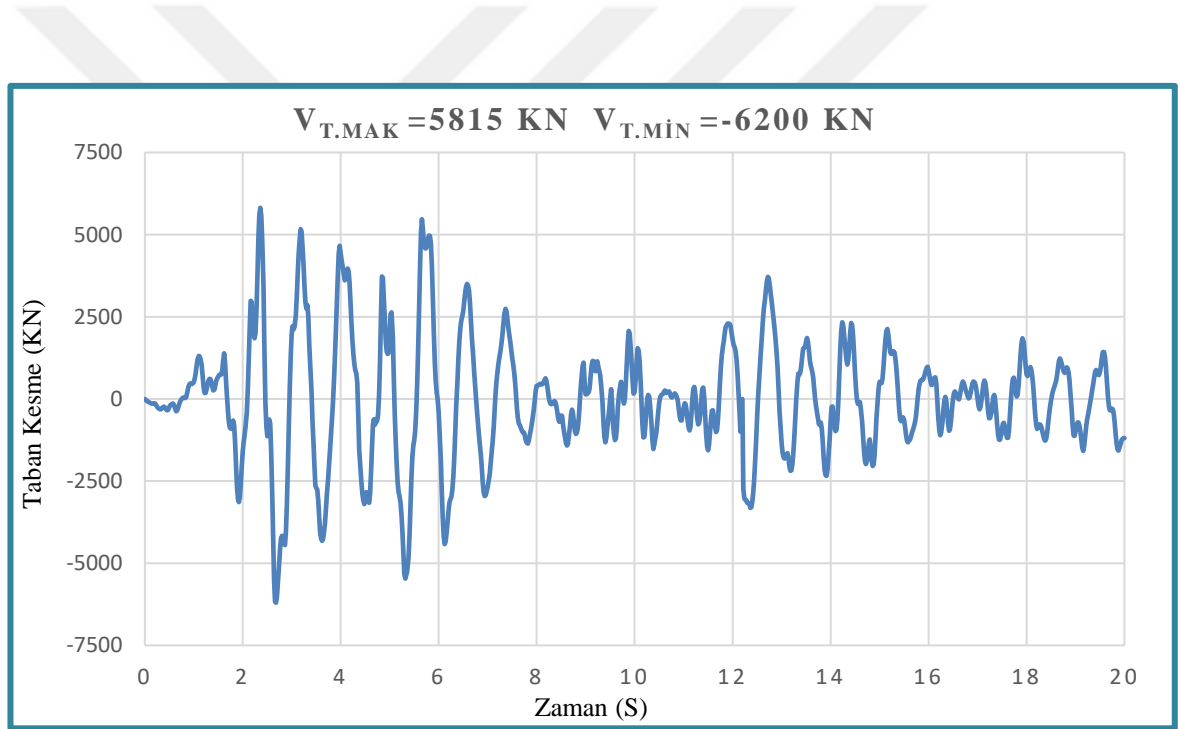
Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00369	0.00284
B	0.00331	0.00352
C	0.00451	0.00429
D	0.00940	0.00956

Tablo 80

4 farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (5. örnek)

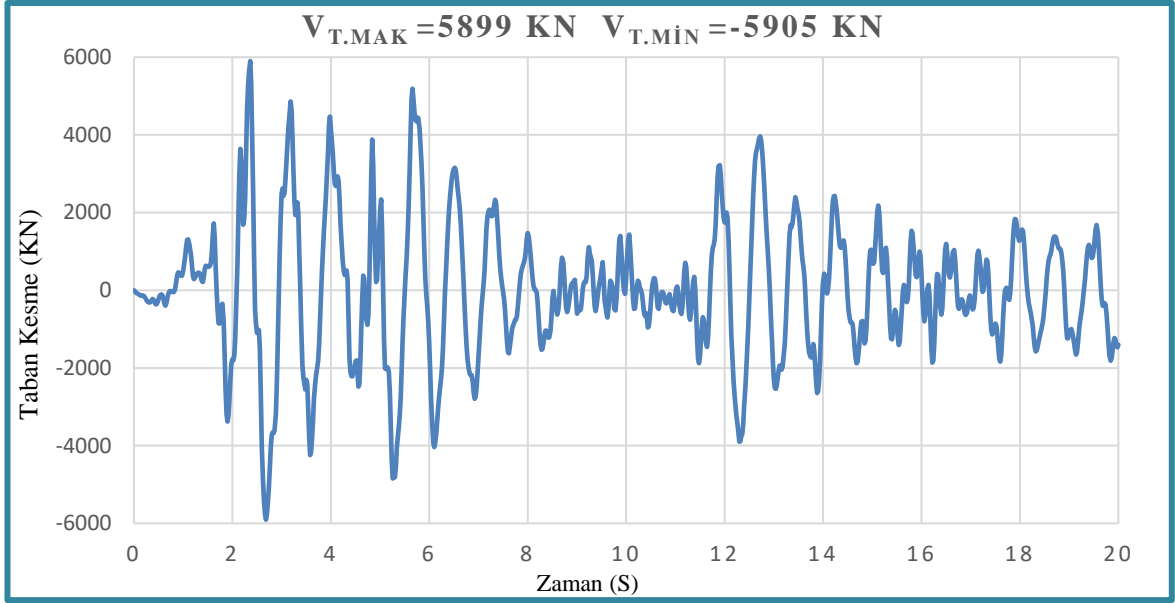
Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00404	0.00378
B	0.00316	0.00352
C	0.00451	0.00429
D	0.00940	0.00956

Şekil 51’de ise rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri verilmiştir.



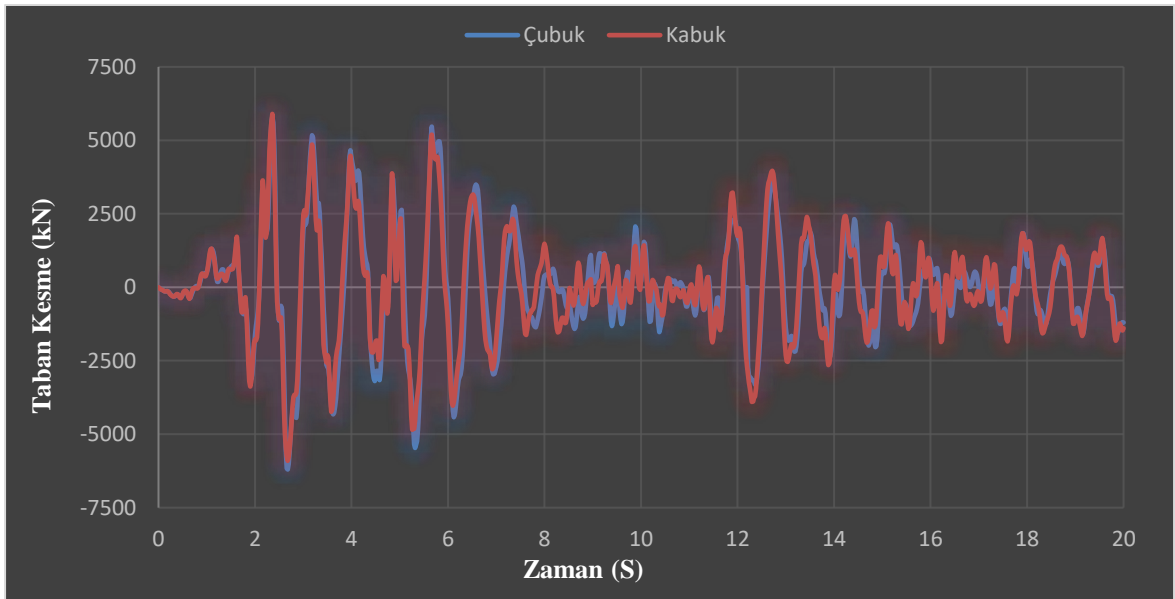
Şekil 51. Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumunda El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizinden elde edilen taban kesme kuvveti grafiği. (Sayısal örnek 5)

Şekil 52’de ise dolu perdelerin kabuk elemanla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizde maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 52. Rijit temel durumu için dolu perdelerin kabuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

Şekil 53'te rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk ve kabuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında da doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için çubuk ve kabuk elemanlarının maksimum ve minimum taban kesme kuvvetlerin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 53. Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk ve kabuk elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 81’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 81

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	6223	-7051	6517	-6716	6009	-7374
D-Olmayan	5815	-6200	5899	-5905	5645	-5873

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında 4 farklı temel durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırması Tablo 82’de verilmiştir. Detaylı sonlu elamanlar yöntemi ile analizde dolu perdeler çubuk elemanlarla modellenmiştir.

Tablo 82

Dört farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
A-Durumu	5815	-6200	5645	-5873
B-Durumu	2674	-3267	3000	-2592
C-Durumu	2645	-2645	2879	-2848
D-Durumu	2374	-2422	2214	-1632

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 83’te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

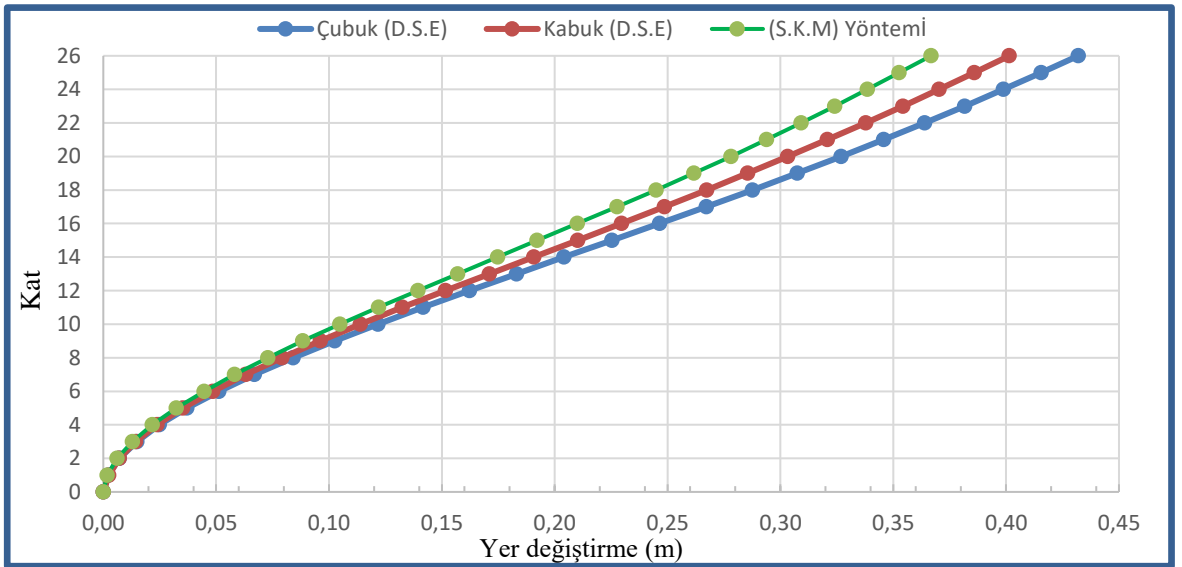
Tablo 83

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Kat (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.00214	-0.00168	0.00240	-0.00183	0.00179	-0.00122
2	0.00718	-0.00535	0.00715	-0.00510	0.00615	-0.00409

83. Tablonun devamı						
3	0.01485	-0.01076	0.01434	-0.00995	0.01290	-0.00841
4	0.02489	-0.01768	0.02379	-0.01617	0.02173	-0.01398
5	0.03709	-0.02591	0.03525	-0.02358	0.03240	-0.02060
6	0.05121	-0.03524	0.04846	-0.03197	0.04464	-0.02810
7	0.06698	-0.04547	0.06317	-0.04118	0.05821	-0.03631
8	0.08415	-0.05644	0.07914	-0.05102	0.07286	-0.04507
9	0.10249	-0.06797	0.09613	-0.06136	0.08837	-0.05425
10	0.12177	-0.07991	0.11391	-0.07205	0.10489	-0.06372
11	0.14176	-0.09213	0.13246	-0.08297	0.12196	-0.07336
12	0.16225	-0.10450	0.15164	-0.09400	0.13940	-0.08307
13	0.18305	-0.11692	0.17112	-0.10505	0.15703	-0.09278
14	0.20415	-0.12929	0.19071	-0.11605	0.17469	-0.10242
15	0.22537	-0.14154	0.21026	-0.12694	0.19224	-0.11195
16	0.24644	-0.15362	0.22962	-0.13767	0.21000	-0.12133
17	0.26723	-0.16549	0.24868	-0.14821	0.22763	-0.13056
18	0.28762	-0.17712	0.26734	-0.15861	0.24490	-0.13964
19	0.30754	-0.18852	0.28552	-0.16883	0.26173	-0.14863
20	0.32692	-0.19971	0.30318	-0.17889	0.27808	-0.15756
21	0.34572	-0.21074	0.32074	-0.18881	0.29391	-0.16644
22	0.36395	-0.22159	0.33776	-0.19862	0.30923	-0.17527
23	0.38161	-0.23226	0.35425	-0.20833	0.32406	-0.18404
24	0.39878	-0.24278	0.37026	-0.21794	0.33848	-0.19277
25	0.41553	-0.25317	0.38587	-0.22747	0.35258	-0.20146
26	0.43198	-0.26345	0.40142	-0.23701	0.36673	-0.21011

Şekil 54'te ise rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum kat yer değiştirmelerin karşılaştırılması grafik olarak verilmiştir.



Şekil 54. Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

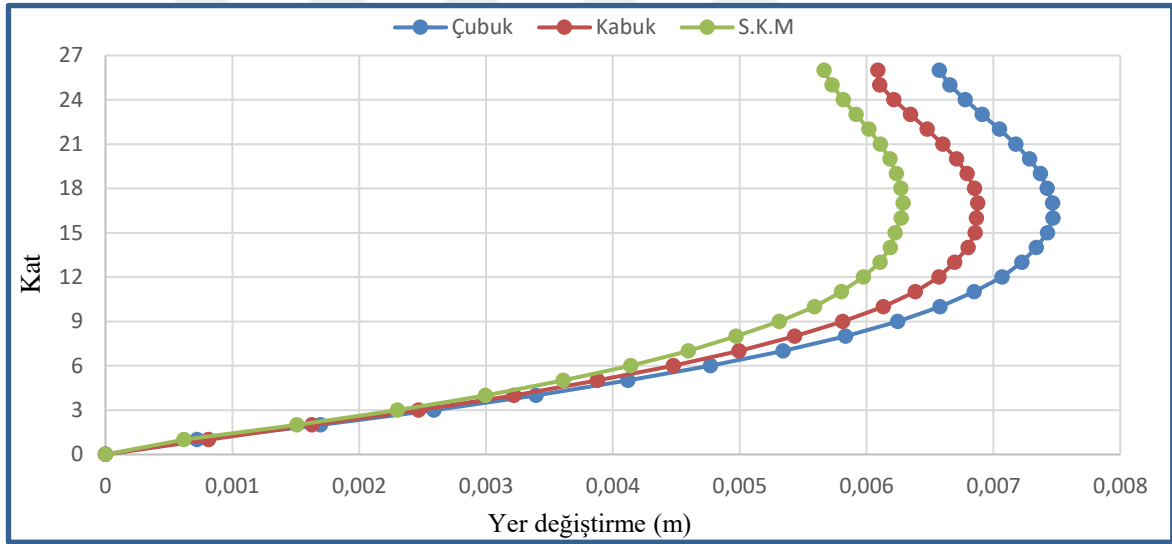
Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan tepe noktasındaki maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 84’te karşılaştırılmıştır.

Tablo 84

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerin karşılaştırılması (5. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak (m)	Min (m)	Mak (m)	Min (m)	Mak (m)	Min (m)
Doğrusal	0.46610	-0.43660	0.429158	0.46610	0.38494	-0.38827
D-Olmayan	0.43198	-0.26345	0.401420	0.43198	0.36673	-0.21011

Rijit zemin durumu için Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 55’te aşağıda verilmiştir.



Şekil 55. Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 85’te ve Tablo 86’da verilmiştir.

Tablo 85

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)

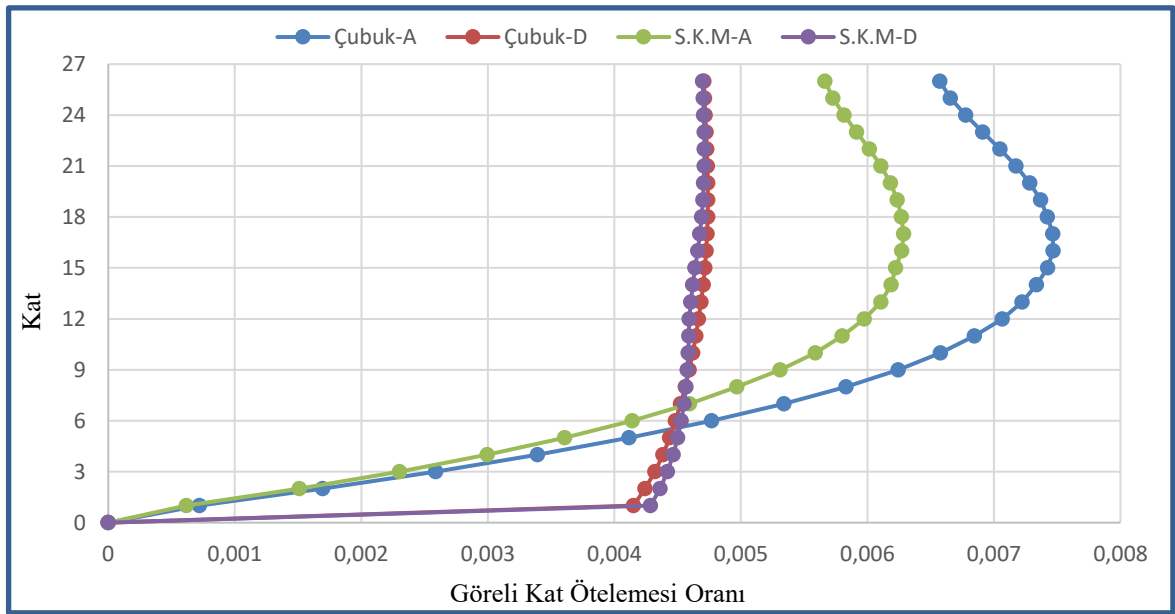
Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
Kobe	0.00747	0.00688	0.00629

Tablo 86

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
Kobe	0.00759	0.00705	0.00644

Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan iki farklı temel durumu için doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 56'da aşağıda verilmiştir.



Şekil 56. Kobe deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 5)

4 farklı temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi Tablo 87'de ve Tablo 88'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 87

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (5. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00747	0.00629
B	0.00777	0.00713
C	0.00895	0.00876
D	0.00474	0.00471

Tablo 88

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum göreceli kat ötelemesi oranları (5. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00759	0.00644
B	0.00677	0.00727
C	0.00895	0.00876
D	0.00474	0.00471

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri ise Tablo 89’da karşılaştırılmıştır.

Tablo 89

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	10480	-10830	10390	-11050	9753	-10930
D-Olmayan	7526	-8169	7276	-8283	7054	-8438

Kobe deprem kaydı altında 4 farklı temel durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri ise Tablo 90’da verilmiştir.

Tablo 90

Dört farklı temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilmiş taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (5. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
A-Durumu	7526	-8169	7054	-8436
B-Durumu	5870	-6218	5249	-6144
C-Durumu	5073	-5496	5068	-4984
D-Durumu	2458	-2322	2051	-1713

Rijit temel durumu için SAP2000 kapsamında analiz çözüm sürelerinin karşılaştırılması Tablo 91’de verilmiştir.

Tablo 91

Örnek 5 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (5. örnek)

DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
720 (S)	6819 (S)	109 (S)

D durumunu temsil eden esnek temel kabulü için SAP2000 kapsamında analiz çözüm sürelerinin karşılaştırılması ise Tablo 92’de verilmiştir.

Tablo 92

Örnek 5 için esnek temel durumunda (D durumu) çözüm sürelerinin karşılaştırması (5. örnek)

DSE (Çubuk)	SKM
53 (S)	32 (S)

5.6. Altıncı Sayısal Uygulama

Literatürden (Nadjai, Johnson, 1997) alınan ve Şekil 57’de gösterilen 20 katlı boşluklu perdenin verilmiştir. Ele alınan örnekte temeldeki yer değiştirmelerin boşluklu perdeye olan etkisi yaylar yardımıyla dikkate alınmıştır. Dört farklı durum için yay katsayıları Tablo 93’te (Nadjai, Johnson, 1997) ve genel özellikleri Tablo 94’te verilmiştir. Örnekte ele alınan boşluklu perdeli yapının doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca görelî kat ötelemeleri ETABS programı yardımıyla yapılmıştır. Boşluklu perdenin dolu perde kısımlarının çubuk ve kabuk elemanlarla modellenmesi durumları için analizler ayrı ayrı yapılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 93

Boşluklu perde örneği için yay katsayıları (6. örnek)

Durum	Tanım	Birim	Değer
A	Kaya Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	∞
		K_v (kN/m)	∞
B	Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	1.56×10^7
		K_v (kN/m)	8.1×10^5
C	60% Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	8.9×10^6
		K_v (kN/m)	4.6×10^5
D	15% Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	2.2×10^6
		K_v (kN/m)	1.2×10^5

Tablo 94

6. Örneğe ait özellikler (6. örnek)

Bina yüksekliği H (m)	60.0
Kat yüksekliği h (m)	3.0
Sağ alt taraftaki perde genişliği b1 (m)	8.0
Sol alt taraftaki perde genişliği b2 (m)	6.0
Sağ üst taraftaki Perde genişliği b3 (m)	5.0
Sol üst taraftaki Perde genişliği b4 (m)	4.0
Kalınlık t (m)	0.25
1-10. katlar arasındaki bağ kiriş açıklığı c1 (m)	2.5
11-20. katlar arasındaki bağ kiriş açıklığı c2 (m)	5.0
Bağ kirişinin yüksekliği d (m)	0.67
Elastisite modülü E (kN/m ²)	20x10 ⁶
Poisson Oranı (μ)	0.137
1-10. kat kütlesi (ton)	15.47
11-20. kat kütleleri (ton)	22.26

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA' ve D değerleri Tablo 95'te verilmiştir.

Tablo 95

Örnek 6 için EI, GA' ve D değerleri (6. örnek)

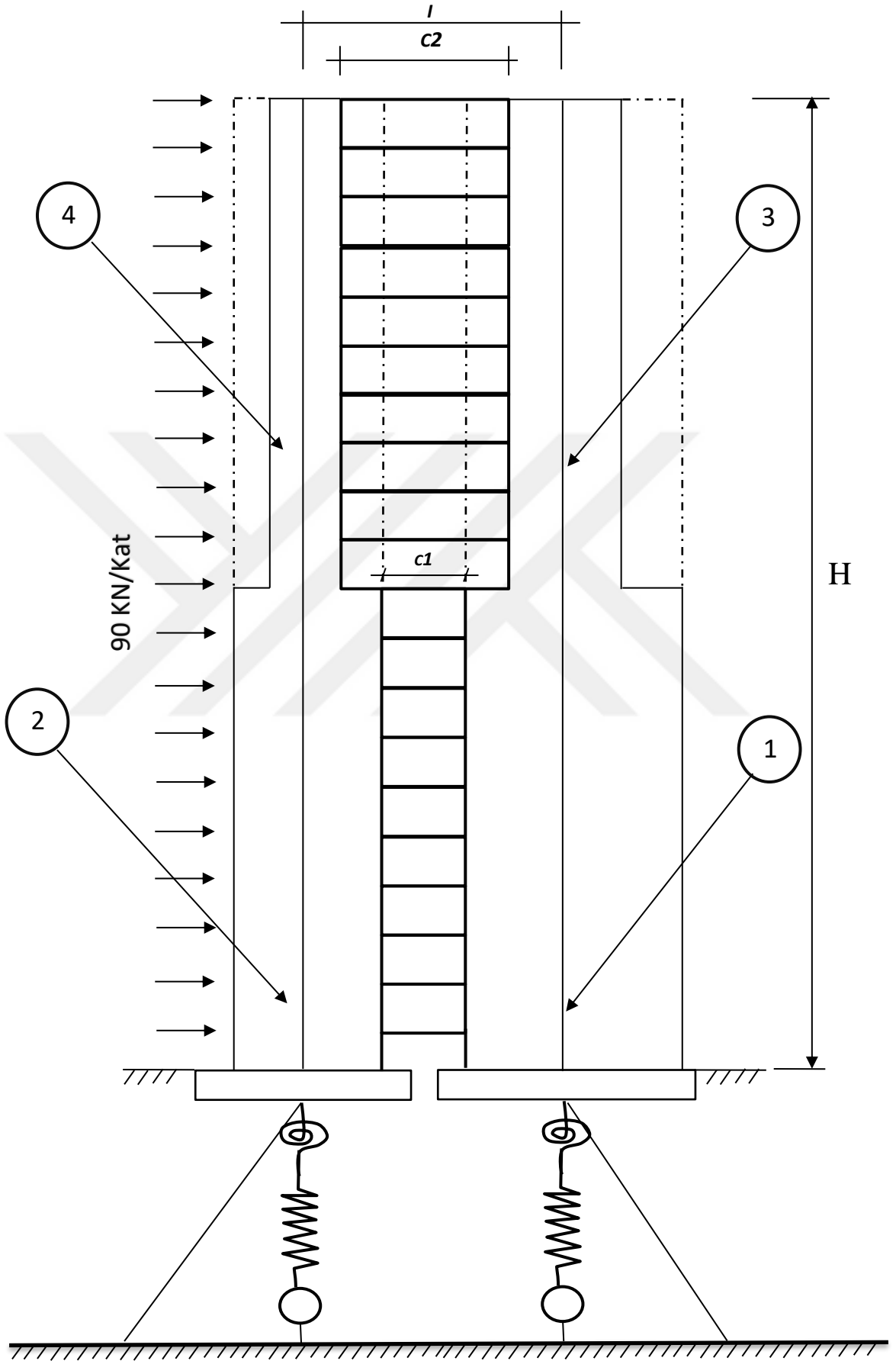
Kat	EI (kNm ²)	GA'(kN)	D (kNm ²)
1-10	303334000	25652595	1547142857
11-20	78750000	16490766	1002777778

K_s değerleri ise hem Bölüm 4'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 96'da verilmiştir.

Tablo 96

Örnek 6 için K_s değerleri (kN) (6. örnek)

Kat	Bağıntı	SAP2000
1	2433004	16316171
2-9	2433004	1784804
10	2433004	1745636
11-19	344838	371510
20	346947	830220



Şekil 57. Tek açıklıklı boşluklu perde örneği. (Sayısal örnek 6)

Örnekte ele alınan tek açıklıklı boşluklu perdenin rijit temel durumu için doğrusal olmayan statik itme analizi sabit üçgen yayılı yük durumu için dolu perde kısımların kabuk eleman ve çubuk elemanla modellenmesi durumu için SAP2000 ve ETABS programları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Burada Y-D yer değiştirmeyi T-K ise taban kesme kuvvetini göstermektedir.

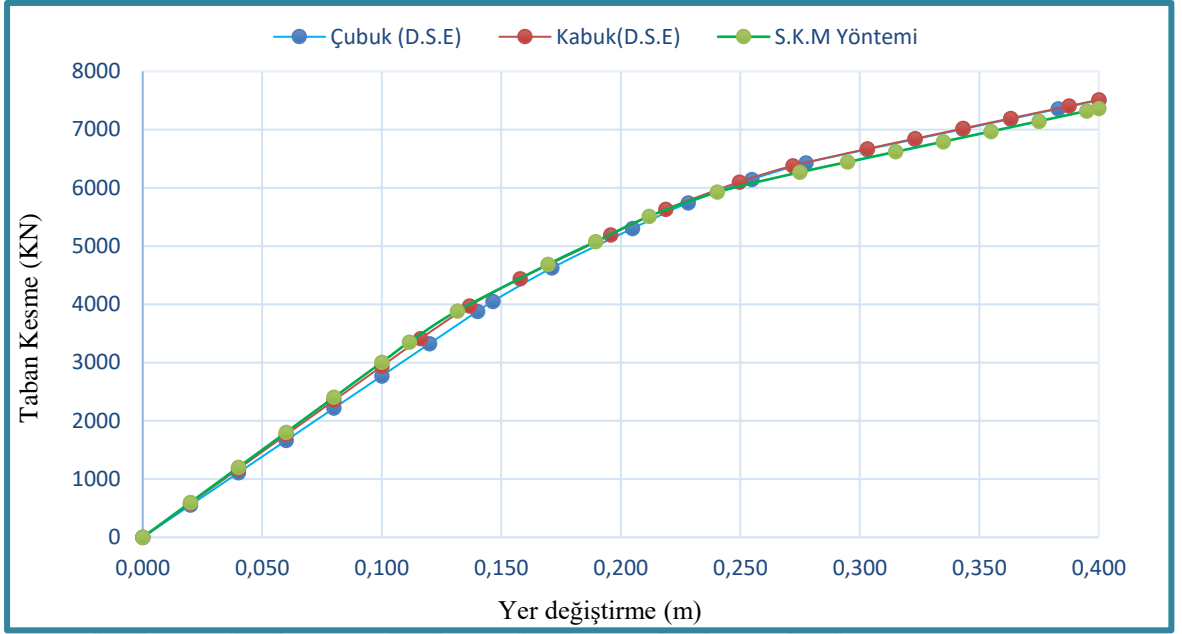
Doğrusal olmayan statik itme analiz sonucu elde edilmiş olan statik itme eğrisi koordinatları Tablo 97’de verilmiştir.

Tablo 97

Doğrusal olmayan statik itme eğrisinin noktalarının karşılaştırılması (6. örnek)

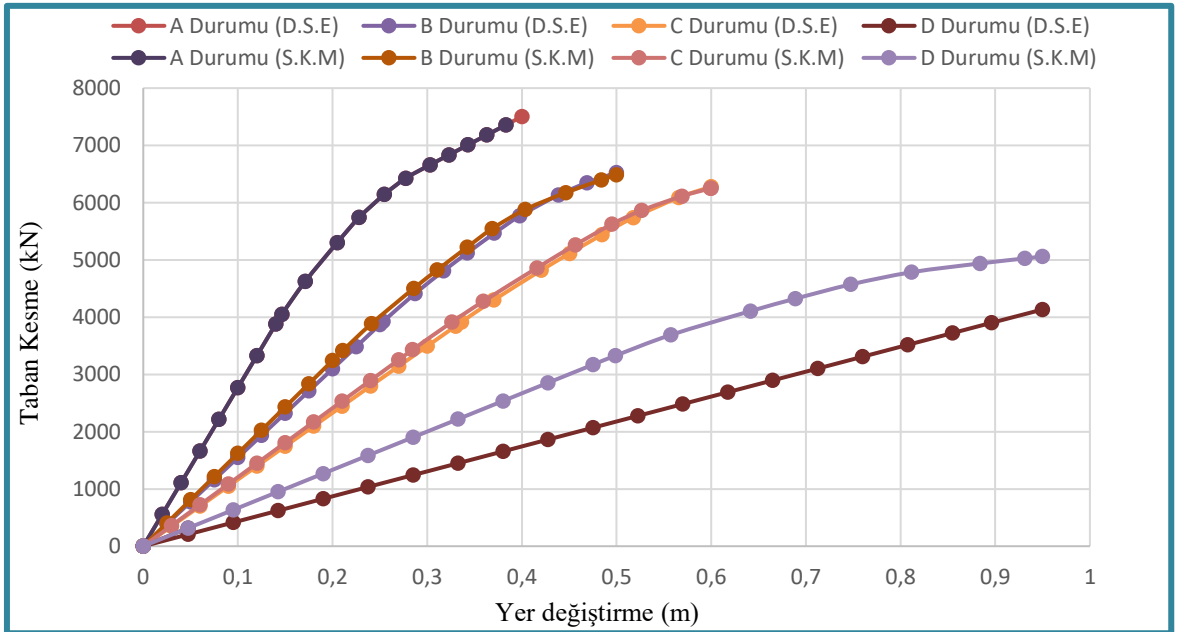
Adım (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0	0	0	0	0	0
2	0.0200	554.352	0.0200	587.543	0.0200	600.915
3	0.0400	1108.669	0.0400	1175.016	0.0400	1201.830
4	0.0600	1662.951	0.0600	1762.417	0.0600	1802.746
5	0.0800	2217.198	0.0800	2349.041	0.0800	2403.661
6	0.1000	2771.410	0.1000	2936.301	0.1000	3004.576
7	0.1200	3325.588	0.1162	3411.508	0.1115	3351.583
8	0.1400	3879.730	0.1367	3972.494	0.1316	3885.577
9	0.1464	4051.326	0.1578	4441.521	0.1695	4685.848
10	0.1711	4624.062	0.1958	5189.667	0.1895	5078.527
11	0.2049	5301.176	0.2188	5631.542	0.2119	5511.716
12	0.2281	5741.161	0.2496	6100.779	0.2404	5926.333
13	0.2548	6144.565	0.2720	6379.611	0.2749	6267.586
14	0.2774	6426.690	0.3031	6670.960	0.2949	6442.953
15	0.3030	6660.160	0.3231	6845.392	0.3149	6618.319
16	0.3230	6834.261	0.3431	7019.752	0.3349	6793.686
17	0.3430	7008.309	0.3631	7194.042	0.3549	6969.053
18	0.3630	7182.304	0.3876	7405.562	0.3749	7144.420
19	0.3830	7356.244	0.4000	7512.625	0.3949	7319.787
20	0.4000	7503.147	-	-	0.4000	7364.663

Şekil 58’de ise doğrusal olmayan statik itme eğrilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 58. Rijit temel durumunda statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

4 farklı zemin durumu için detaylı sonlu elemanlar analizi ve sandviç kiriş modeli ile statik itme eğrileri elde edilerek sonuçlar Şekil 59’da karşılaştırılmıştır. Detaylı sonlu elemanlar analizinde dolu perde kısımları çubuk elemanlarla modellenmiştir.



Şekil 59. Dört farklı temel durumu için elde edilen statik itme (push over) eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

Sonlu elemanlar yöntemi ile iki farklı deprem (El Centro, Kobe) kaydı altında dolu perdelerin kabuk ve çubuk elemanlarla modellenmesi durumunda ve bu tez kapsamında önerilen sandviç kiriş modeli ile ayrı ayrı çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizlerde El Centro deprem kaydı 1.8 katsayısı ile çarpılarak kullanılırken Kobe deprem kaydı mevcut haliyle kullanılmıştır. Zaman tanım alanında analizlerde sönüm matrisinin oluşturulmasında gerekli olan periyot değerleri rijit temel durumu için hesaplanarak Tablo 98’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır. Rayleigh sönüm matrisinin oluşturulmasında ilk iki mod dikkate alınmıştır.

Tablo 98

Rijit temel durumu için Örnek 6 için periyotların karşılaştırılması (6. örnek)

Mod (n)	DSE (Çubuk) Periyot (s)	DSE (Kabuk) Periyot (s)	SKM Periyot (s)
1	0.55358	0.53606	0.52826
2	0.17166	0.16637	0.15941
3	0.07879	0.07677	0.07099
4	0.05124	0.05021	0.04169
5	0.03656	0.03708	0.02732

Rijit temel durumu için büyütülmüş Elcentro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmelerinin Tablo 99’da verilmiştir.

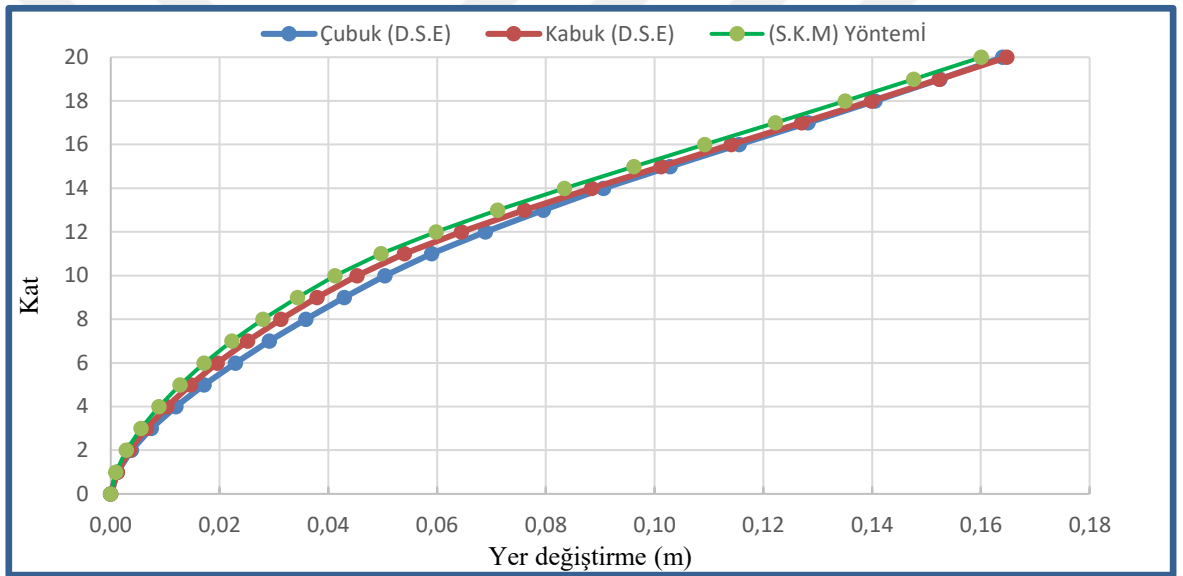
Tablo 99

Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Kat (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.00109	-0.00112	0.00106	-0.00112	0.00093	-0.00113
2	0.00343	-0.00378	0.00304	-0.00346	0.00285	-0.00355
3	0.00677	-0.00777	0.00589	-0.00696	0.00556	-0.00707
4	0.01091	-0.01293	0.00948	-0.01150	0.00890	-0.01158
5	0.01570	-0.01913	0.01370	-0.01696	0.01274	-0.01698
6	0.02101	-0.02626	0.01850	-0.02327	0.01720	-0.02318
7	0.02678	-0.03421	0.02386	-0.03034	0.02232	-0.03008
8	0.03294	-0.04288	0.02975	-0.03809	0.02798	-0.03762
9	0.03979	-0.05219	0.03619	-0.04647	0.03434	-0.04584
10	0.04723	-0.06206	0.04318	-0.05546	0.04126	-0.05458
11	0.05604	-0.07333	0.05150	-0.06573	0.04975	-0.06473

99. Tablonun devamı						
12	0.06647	-0.08614	0.06146	-0.07753	0.05986	-0.07622
13	0.07801	-0.09991	0.07255	-0.09029	0.07117	-0.08858
14	0.09027	-0.11417	0.08437	-0.10358	0.08346	-0.10141
15	0.10289	-0.12859	0.09660	-0.11706	0.09625	-0.11441
16	0.11562	-0.14288	0.10895	-0.13046	0.10926	-0.12735
17	0.12822	-0.15686	0.12121	-0.14359	0.12225	-0.14007
18	0.14054	-0.17040	0.13321	-0.15634	0.13509	-0.15248
19	0.15248	-0.18347	0.14488	-0.16867	0.14769	-0.16460
20	0.16404	-0.19611	0.15647	-0.18086	0.16009	-0.17651

Şekil 60'ta ise rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 60. Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

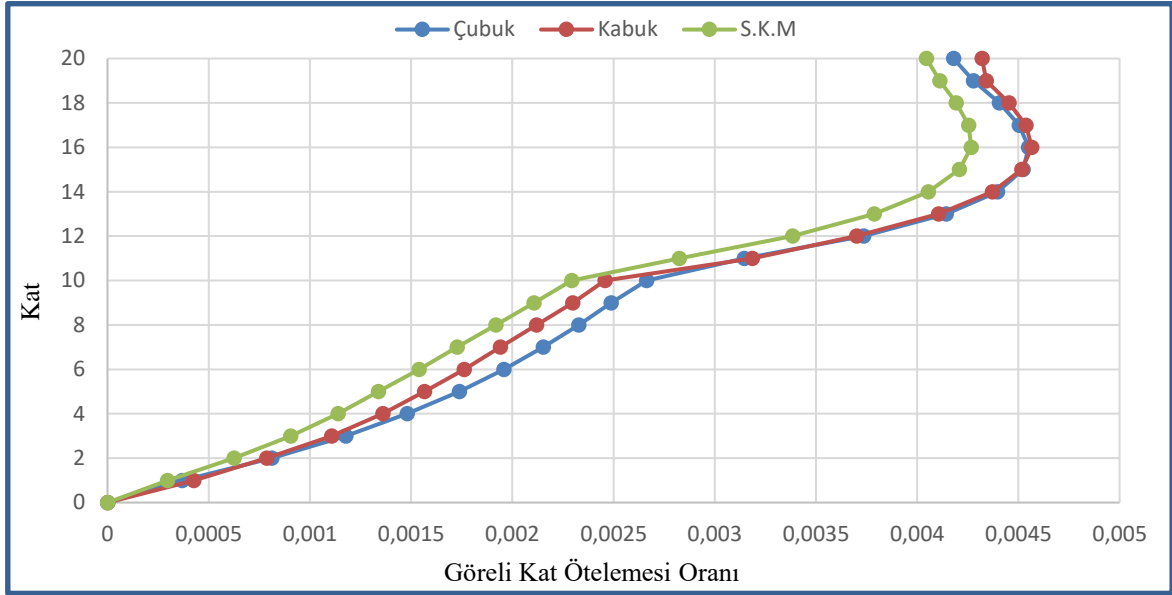
Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktası maksimum ve minimum yer değiştirmeleri Tablo 100'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 100

Rijit temel durumu için zaman tanım alanında analizinde tepe noktasındaki yer değiştirmeleri (6. örnek)

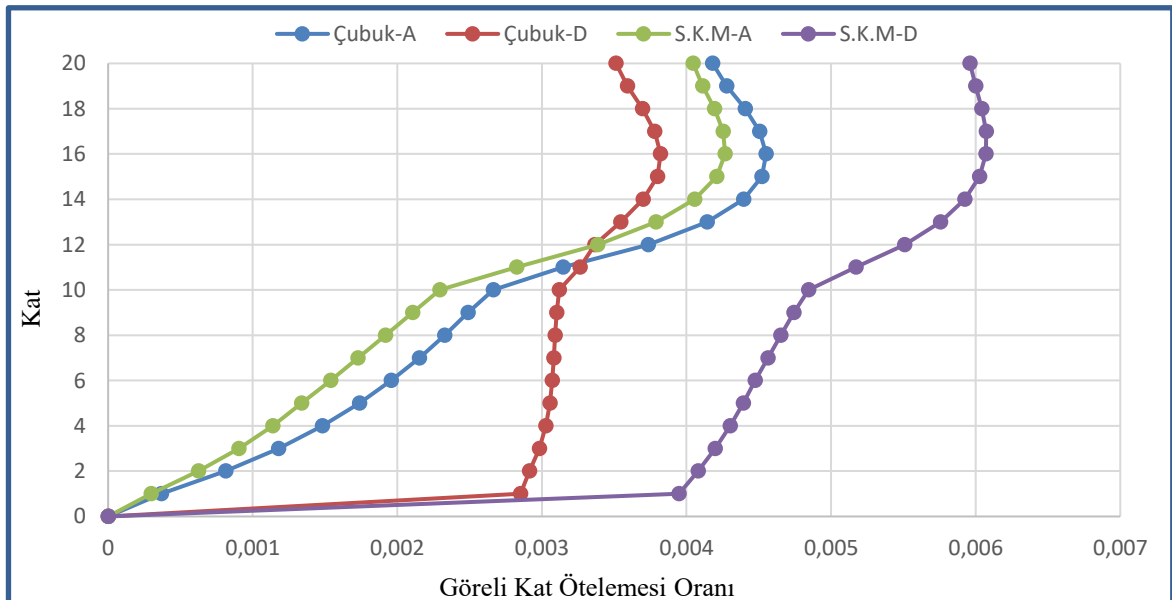
Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
Doğrusal	0.16813	-0.19666	0.16119	-0.18119	0.16563	-0.17775
D-Olmayan	0.16404	-0.19611	0.15647	-0.18086	0.16009	-0.17651

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 61'de aşağıda verilmiştir.



Şekil 61. Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 62'de aşağıda verilmiştir.



Şekil 62. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 101’de ve Tablo 102’de verilmiştir.

Tablo 101

Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
El Centro	0.00444	0.00457	0.00427

Tablo 102

Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
El Centro	0.00448	0.00456	0.00451

4 farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi Tablo 103’te ve Tablo 104’te karşılaştırılmıştır.

Tablo 103

El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (6. örnek)

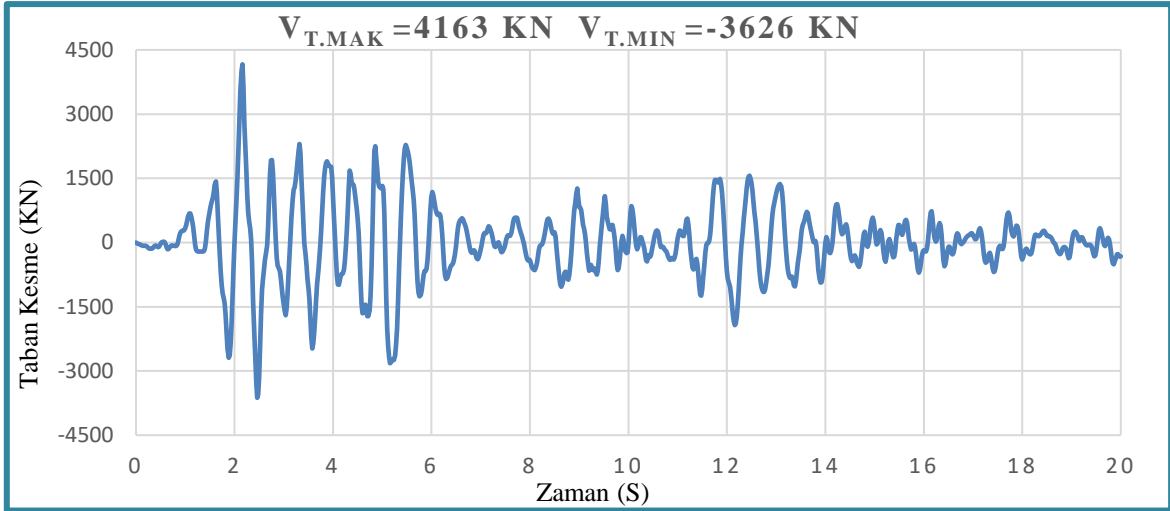
Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00444	0.00427
B	0.00456	0.00454
C	0.00450	0.00582
D	0.00382	0.00607

Tablo 104

El Centro etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (6. örnek)

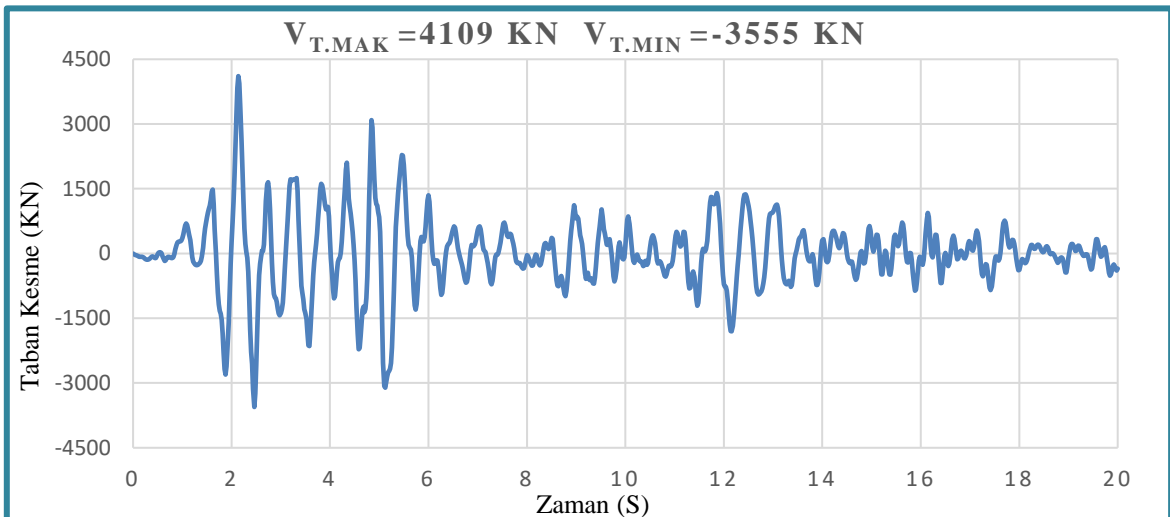
Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00448	0.00451
B	0.00481	0.00454
C	0.00465	0.00582
D	0.00430	0.00607

Şekil 63'te ise rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilmiş olan taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



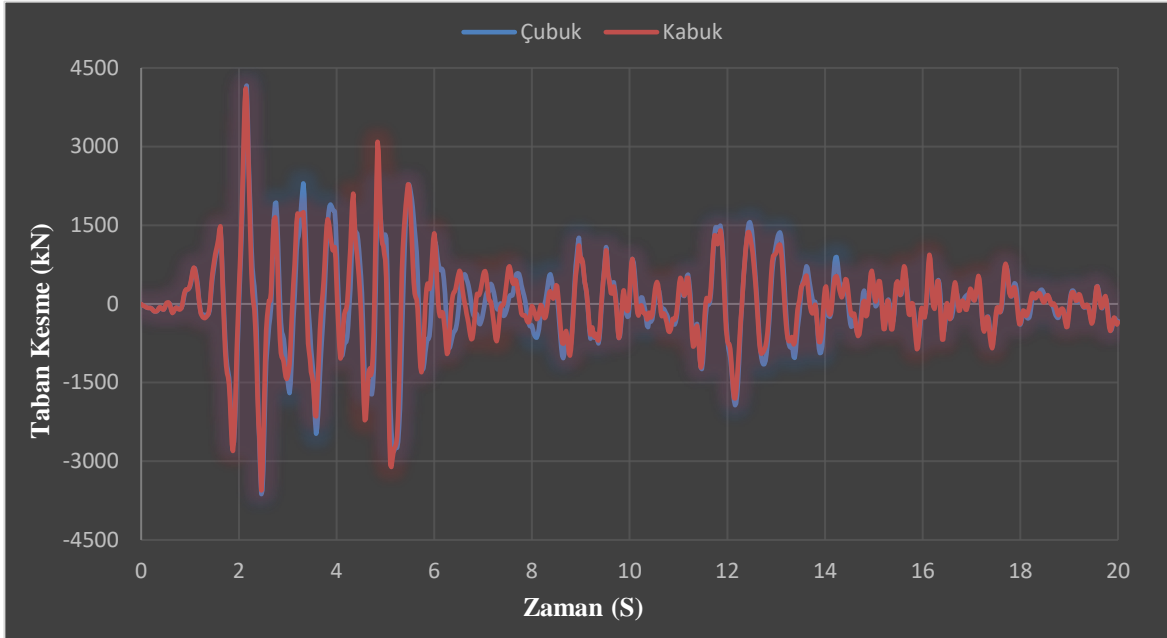
Şekil 63. Rijit temel durumu için çubuk eleman için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 6)

Şekil 64'te ise rijit temel durumu için dolu perdelerin kabuk elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için elde edilen taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



Şekil 64. Rijit temel durumu için kabuk eleman için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 6)

Şekil 65'te ise rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için çubuk ve kabuk elemanla modelleme durumlarında taban kesme kuvvetlerinin değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 65. Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk ve kabuk elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilmiş olan taban kesme kuvvetleri Tablo 105'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 105

Rijit temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin zarf değerlerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	4259	-3983	4364	-36878	4314	-3282
D-Olmayan	4163	-3626	4109	-3555	3946	-3390

Dört farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri karşılaştırılması ise Tablo 106'da verilmiştir.

Tablo 106

Dört farklı temel durumu için El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
A-Durumu	4163	-3626	3946	-3390
B-Durumu	2472	-3272	2635	-3487
C-Durumu	2277	-2596	2554	-2426
D-Durumu	870	-1005	2637	-2055

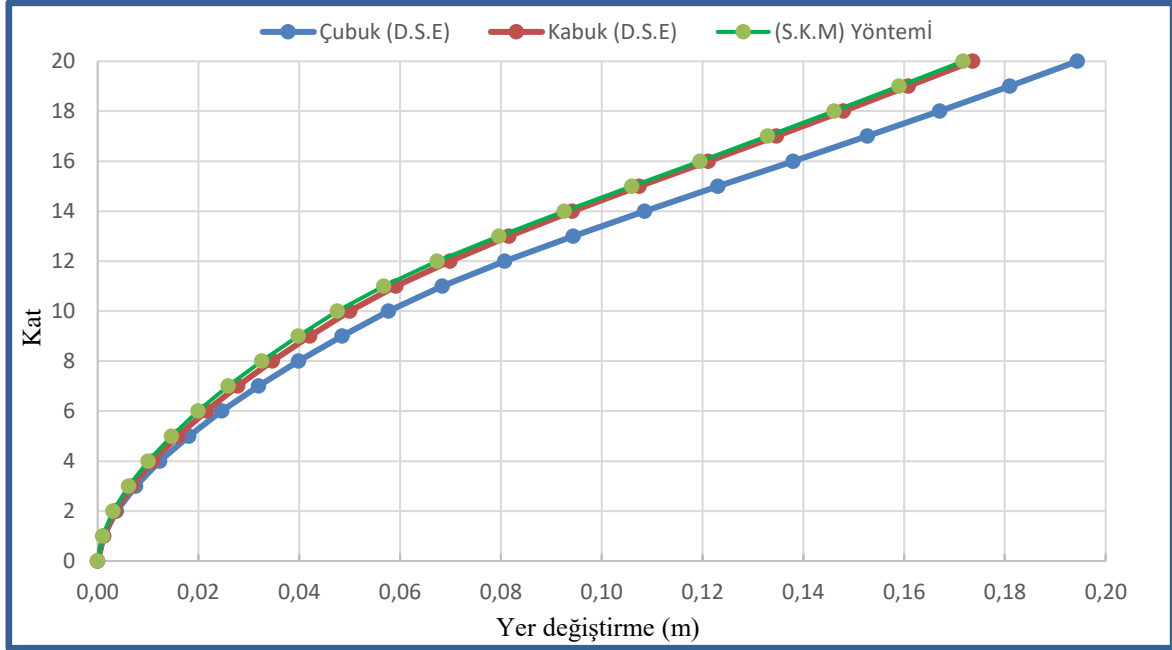
Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat kat yer değiştirmeleri Tablo 107'de verilmiştir.

Tablo 107

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş elemanlarının kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Kat (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.00116	-0.00124	0.00121	-0.00126	0.00097	-0.00100
2	0.00376	-0.00395	0.00348	-0.00360	0.00306	-0.00316
3	0.00755	-0.00786	0.00675	-0.00696	0.00612	-0.00640
4	0.01233	-0.01277	0.01094	-0.01116	0.01001	-0.01059
5	0.01807	-0.01852	0.01590	-0.01609	0.01463	-0.01566
6	0.02463	-0.02500	0.02155	-0.02166	0.01994	-0.02157
7	0.03192	-0.03214	0.02782	-0.02815	0.02592	-0.02824
8	0.03990	-0.03986	0.03467	-0.03537	0.03257	-0.03561
9	0.04850	-0.04812	0.04207	-0.04328	0.03980	-0.04362
10	0.05770	-0.05689	0.05002	-0.05188	0.04756	-0.05222
11	0.06840	-0.06702	0.05920	-0.17330	0.05676	-0.06236
12	0.08080	-0.07868	0.06988	-0.06204	0.06737	-0.07405
13	0.09434	-0.09134	0.08161	-0.07408	0.07960	-0.08712
14	0.10855	-0.10458	0.09419	-0.08740	0.09258	-0.10101
15	0.12305	-0.11804	0.10745	-0.10155	0.10597	-0.11528
16	0.13797	-0.13148	0.12114	-0.11612	0.11948	-0.12963
17	0.15270	-0.14469	0.13469	-0.13080	0.13289	-0.14386
18	0.16706	-0.15754	0.14796	-0.14532	0.14609	-0.15784
19	0.18097	-0.16996	0.16083	-0.15952	0.15902	-0.17152
20	0.19442	-0.18199	0.17361	-0.18697	0.17173	-0.18497

Şekil 66’da rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 66. Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

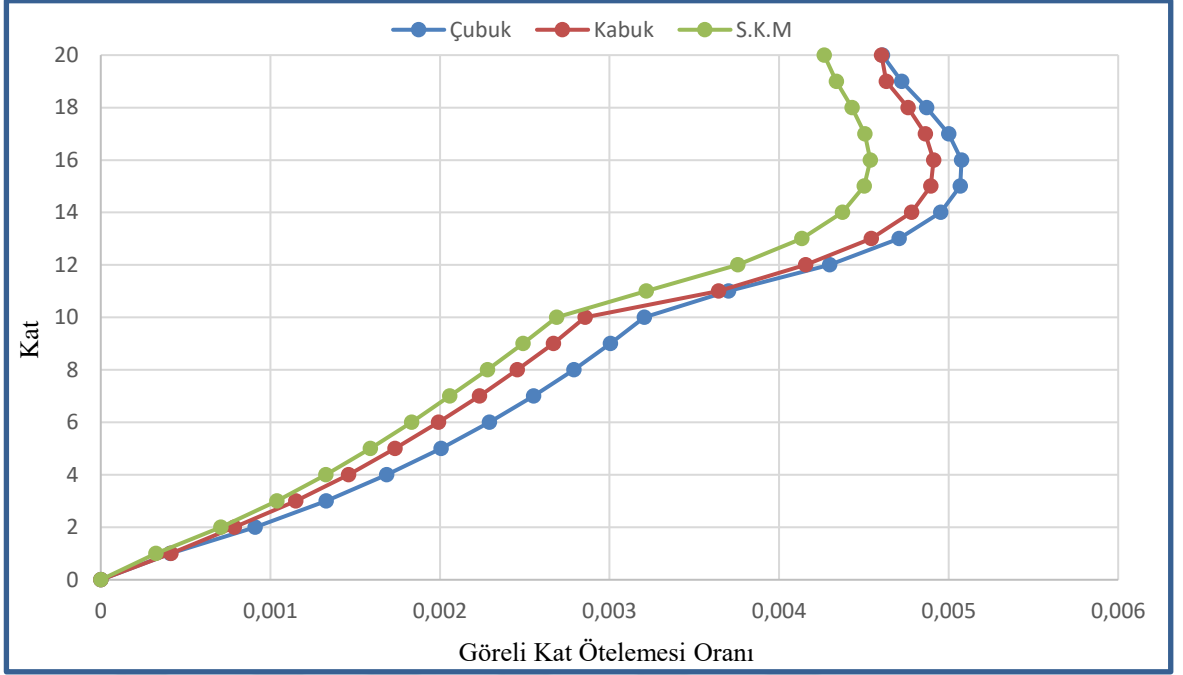
Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan tepe noktasındaki maksimum ve minimum yer değiştirmeleri Tablo 108’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 108

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
Doğrusal	0.20323	-0.18472	0.19106	-0.19319	0.19685	-0.19853
D-Olmayan	0.19442	-0.18199	0.17361	-0.18697	0.17173	-0.18497

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 67’de aşağıda verilmiştir.



Şekil 67. Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görece kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görece kat ötelemeleri Tablo 109'da ve Tablo 110'da verilmiştir.

Tablo 109

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)

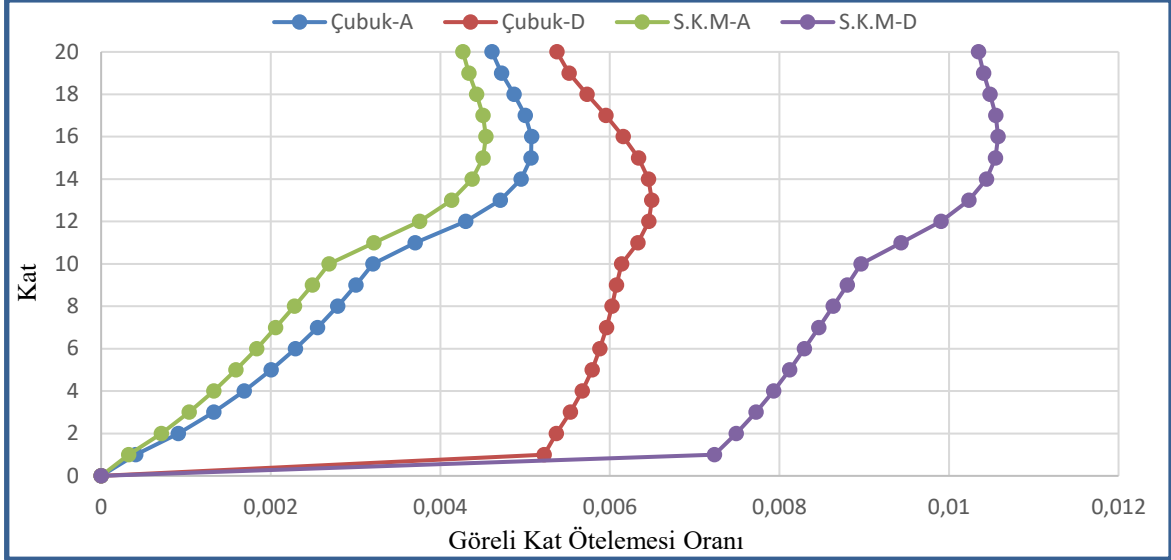
Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
Kobe	0.00508	0.00491	0.00454

Tablo 110

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görece kat ötelemelerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
Kobe	0.00542	0.00531	0.00526

Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görece kat ötelemesi grafiği Şekil 68'de aşağıda verilmiştir.



Şekil 68. Kobe deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görece kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 6)

4 farklı temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum görece kat ötelemesi Tablo 111’de ve 112’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 111

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görece kat ötelemesi oranları (6. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00508	0.00454
B	0.00600	0.00726
C	0.00640	0.01131
D	0.00650	0.01058

Tablo 112

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görece kat ötelemesi oranları (6. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00542	0.00526
B	0.00748	0.00754
C	0.00724	0.01130
D	0.00650	0.01059

Rijit temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri ise Tablo 113’te verilmiştir.

Tablo 113

Rijit temel durumu için Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinin taban kesme kuvvetleri (6. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	3598	-3406	3723	-3373	3756	-3399
D-Olmayan	3488	-3386	3371	-3339	3394	-3431

Dört farklı temel durumu dikkate alınarak Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması ise Tablo 114’te verilmiştir.

Tablo 114

Dört farklı temel durumu için Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (6. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
A-Durumu	3488	-3386	3394	-3431
B-Durumu	3602	-4643	3418	-4416
C-Durumu	3609	-4111	3467	-4162
D-Durumu	2423	-2665	2940	-2874

Rijit temel durumundaki SAP2000 kapsamında analiz süreleri karşılaştırmalı olarak Tablo 115’te sunulmuştur.

Tablo 115

Örnek 6 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (6. örnek)

DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
47 (S)	428 (S)	27 (S)

D durumunu temsil eden esnek temel kabulü için SAP2000 kapsamında analiz süreleri karşılaştırmalı olarak Tablo 116’da sunulmuştur.

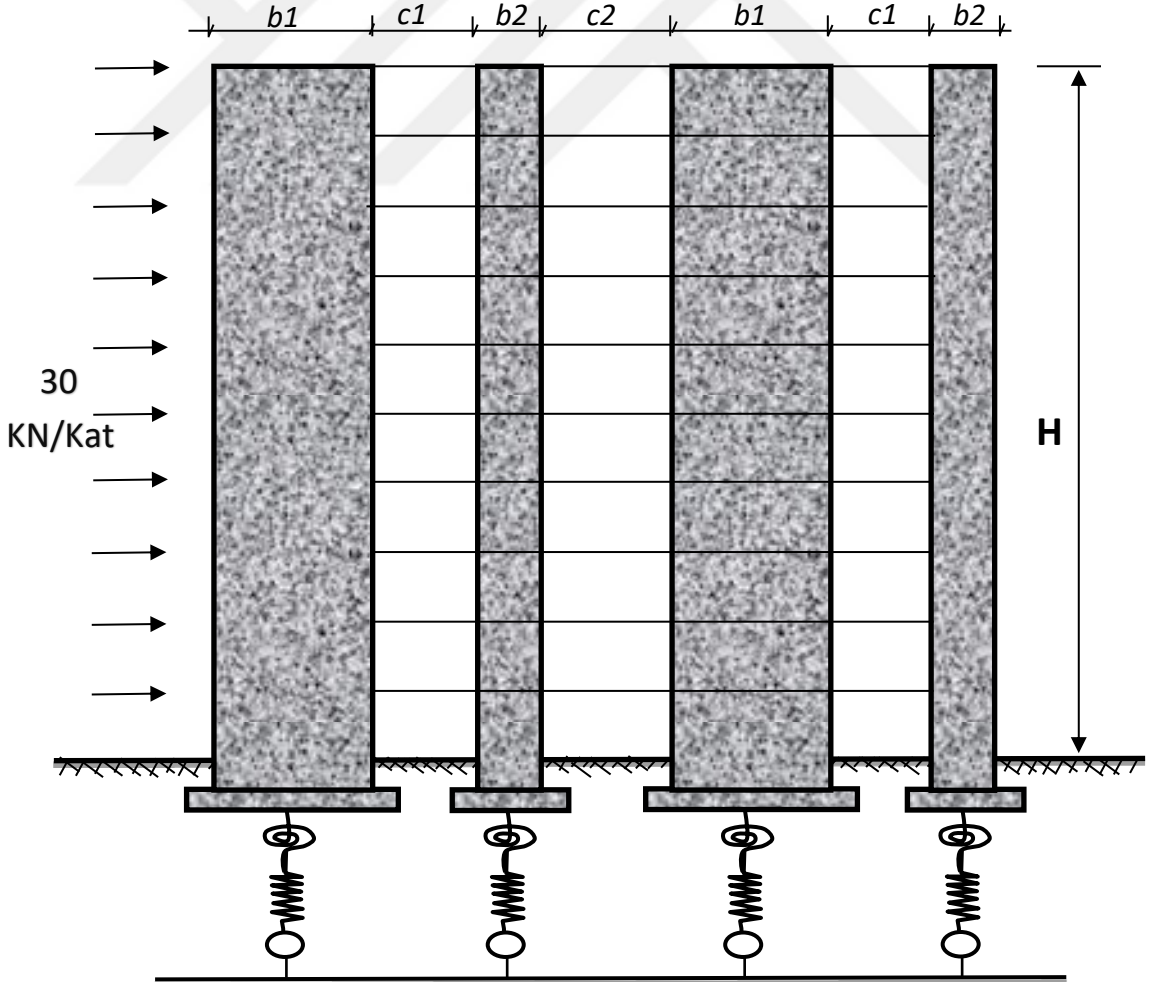
Tablo 116

Örnek 6 için esnek temel durumunda (D durumu) çözüm sürelerinin karşılaştırması (6. örnek)

DSE (Çubuk)	SKM
43 (S)	26 (S)

5.7. Yedinci Sayısal Uygulama

Literatürden (Nadjai, Johnson, 1997) alınan ve Şekil 69'da gösterilen 10 katlı boşluklu perdenin genel özellikleri Tablo 117'de verilmiştir. Ele alınan örnekte temeldeki yer değiştirmelerin boşluklu perdeye olan etkisi yaylar yardımıyla dikkate alınmıştır. Dört farklı durum için yay katsayıları Tablo 118'de verilmiştir (Nadjai, Johnson, 1997). Örnekte ele alınan boşluklu perdeli yapının doğrusal olmayan statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca görelî kat ötelemeleri ETABS programı yardımıyla yapılmıştır. Boşluklu perdenin dolu perde kısımlarının çubuk ve kabuk elemanlarla modellenmesi durumları için analizler ayrı ayrı yapılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 69. Üç açıklıklı boşluklu perde örneği. (Sayısal örnek 7)

Tablo 117

7. Örneğe ait özellikler (7. örnek)

Bina Yüksekliği H (m)	30.0
Kat yüksekliği h (m)	3.0
Sol dış yan ve ortadaki Perde genişliği b1 (m)	3.0
Sağ dış yan ve ortadaki Perde genişliği b2 (m)	2.0
Kalınlık t (m)	0.20
Sağ ve sol yan bağ kiriş açıklığı c1 (m)	1.2
Ortadaki bağ kiriş açıklığı c2 (m)	3.0
Bağ kirişinin yüksekliği d (m)	0.50
Elastisite modülü E (kN/m ²)	25x10 ⁶
Poisson Oranı (μ)	0.137
1. kat kütlesi (ton)	25.005
2-9. kat kütleleri (ton)	16.67
10. kat kütlesi (ton)	8.335

Tablo 118

Boşluklu perde örneği için yay katsayıları (7. örnek)

Durum	Tanım	Birim	Değer
A	Kaya Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	∞
		K_v (kN/m)	∞
B	Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	1.56 x 10 ⁷
		K_v (kN/m)	8.1 x 10 ⁵
C	60% Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	8.9 x 10 ⁶
		K_v (kN/m)	4.6 x 10 ⁵
D	15% Yoğun Kum Zemin	K_{θ} (kNm/rad)	2.2 x 10 ⁶
		K_v (kN/m)	1.2 x 10 ⁵

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA' ve D değerleri Tablo 119'da verilmiştir.

Tablo 119

Örnek 7 için EI, GA' ve D değerleri (7. örnek)

Kat	EI (kNm ²)	GA'(kN)	D (kNm ²)
1-10	42500000	18322339	1222280000

K_s değerleri ise hem Bölüm 4'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 120'de verilmiştir.

Tablo 120

Örnek 7 için K_s değerleri (kN) (7. örnek)

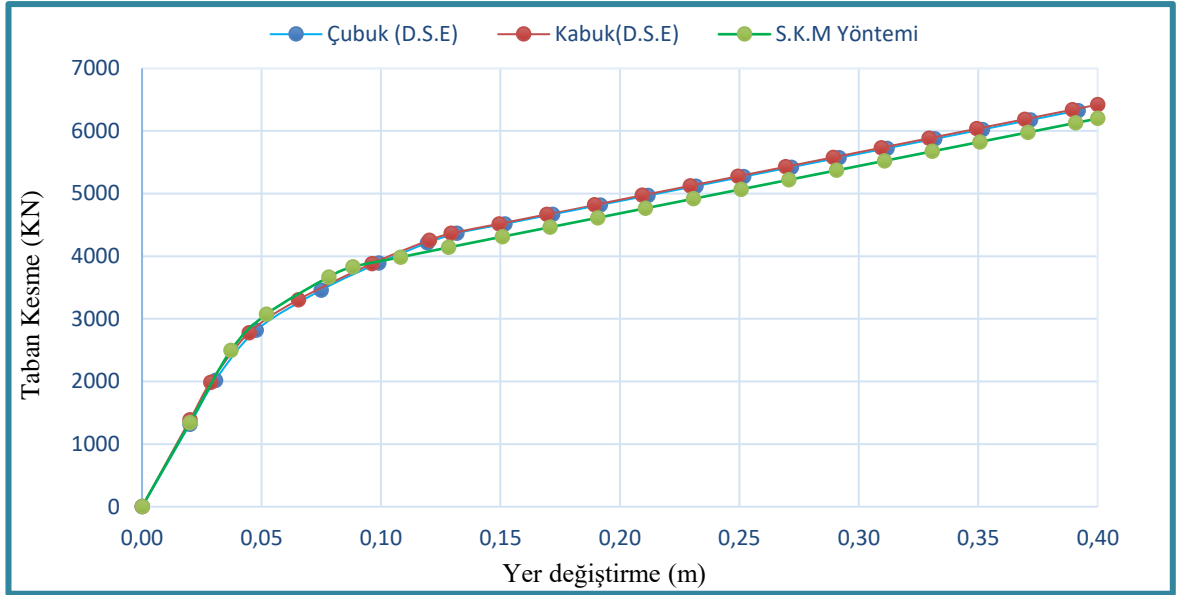
Kat	Bağıntı	SAP 2000
1	2393688	3546099
2-9	2393688	1966292
10	2393688	3916193

Üç açıklıklı boşluklu perdenin rijit temel durumu için doğrusal olmayan statik itme analizi üniform yayılı yük için dolu perde kısımların kabuk eleman ve çubuk elemanla modellenmesi durumu için SAP2000 ve ETABS programları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar tablo ve şekillerde karşılaştırılmıştır. Bu örnekte formülle hesaplanan K_s ve D değerleri ile yapılan çözümde SAP2000 ve ETABS programından uzak sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum özellikle boşluklu perdenin simetrik olmamasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada K_s ve D değerleri SAP2000 ile hesaplanan ilk iki periyodu sağlayacak şekilde kalibre edilmiştir.

Doğrusal olmayan statik itme analiz sonucu elde edilmiş statik itme eğrileri karşılaştırılması Tablo 121’de ve Şekil 70’te verilmiştir.

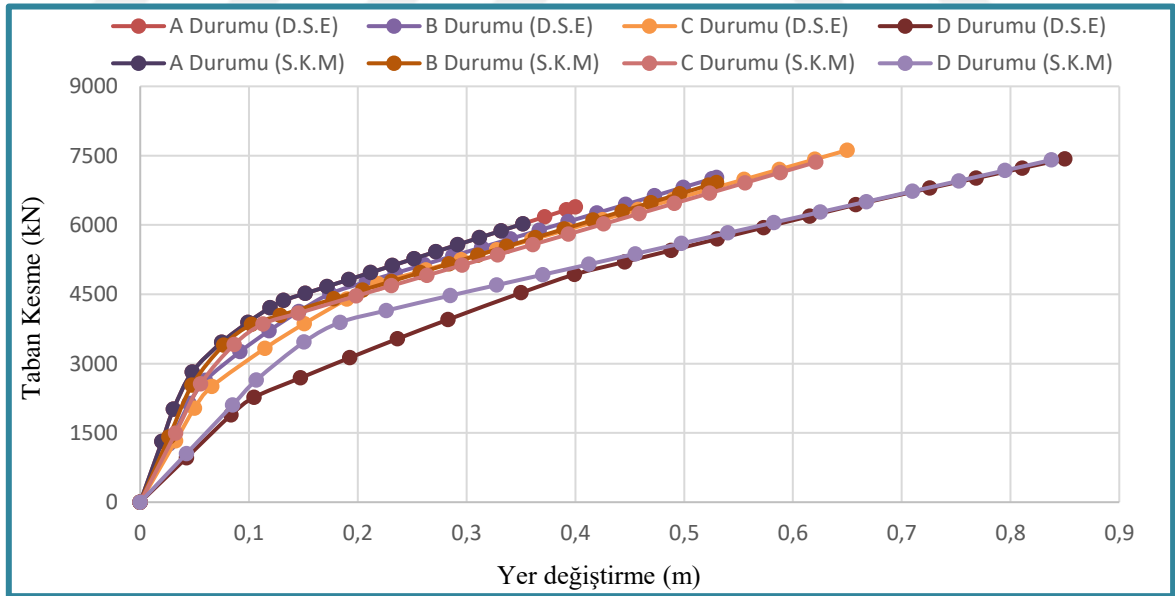
Tablo 121
Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Adım (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	T Kesme (KN)	Mak Y-D (m)	T Kesme (KN)	Mak Y-D (m)	T Kesme (KN)
1	0	0	0	0	0	0
2	0.0200	1316.081	0.0200	1385.184	0.0200	1343.270
3	0.0306	2016.043	0.0287	1987.293	0.0372	2496.312
4	0.0478	2816.751	0.0448	2779.534	0.0520	3072.049
5	0.0750	3458.758	0.0654	3305.019	0.0781	3668.763
6	0.0991	3893.240	0.0962	3882.102	0.0882	3829.445
7	0.1193	4210.985	0.1202	4255.741	0.1082	3984.771
8	0.1318	4366.689	0.1294	4364.830	0.1282	4140.098
9	0.1518	4517.465	0.1494	4516.904	0.1507	4311.285
10	0.1718	4668.241	0.1694	4668.770	0.1707	4462.739
11	0.1918	4819.018	0.1894	4820.691	0.1907	4614.193
12	0.2118	4969.794	0.2094	4972.563	0.2107	4765.647
13	0.2318	5120.570	0.2294	5124.501	0.2307	4917.101
14	0.2518	5271.347	0.2494	5276.378	0.2507	5068.555
15	0.2718	5422.123	0.2694	5428.336	0.2707	5220.009
16	0.2918	5572.899	0.2894	5580.274	0.2907	5371.462
17	0.3118	5723.676	0.3094	5732.211	0.3107	5522.916
18	0.3318	5874.452	0.3294	5884.155	0.3307	5674.370
19	0.3518	6025.228	0.3494	6036.107	0.3507	5825.824
20	0.3718	6176.005	0.3694	6188.067	0.3707	5977.278
21	0.3918	6326.781	0.3894	6340.035	0.3907	6128.732
22	0.4000	6388.795	0.4000	6420.838	0.4000	6199.180



Şekil 70. Yedinci uygulama için rijit temel durumunda statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)

4 farklı temel durumu için elde edilen statik itme eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 71'de verilmiştir. Detaylı sonlu elemanlar analizinde dolu perde kısımları çubuk elemanlarla modellenmiştir.



Şekil 71. Dört farklı temel durumu için elde edilen statik itme eğrilerinin (push over) karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)

Zaman tanım alanında analiz için iki farklı deprem (El Centro, Kobe) kaydı dolu perdelerin kabuk ve çubuk elemanlarla modellenmesi durumu ve bu

tez kapsamında önerilen sandviç kiriş modeli ile ayrı ayrı çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizlerde ele alınan örneğin zaman tanım alanında analizde doğrusal olmayan bölgeye geçmesi için El Centro deprem kaydı 2.5 ile, Kobe depremi ise 2 ile büyütülerek dikkate alınmıştır. Üç açıklıklı boşluklu perdenin periyotları rijit temel durumu için hesaplanarak Tablo 122’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır. Rayleigh sönüm matrisinin oluşturulmasında ilk iki mod dikkate alınmıştır.

Tablo 122

Rijit temel durumu için Periyot değerlerinin karşılaştırılması (7. örnek)

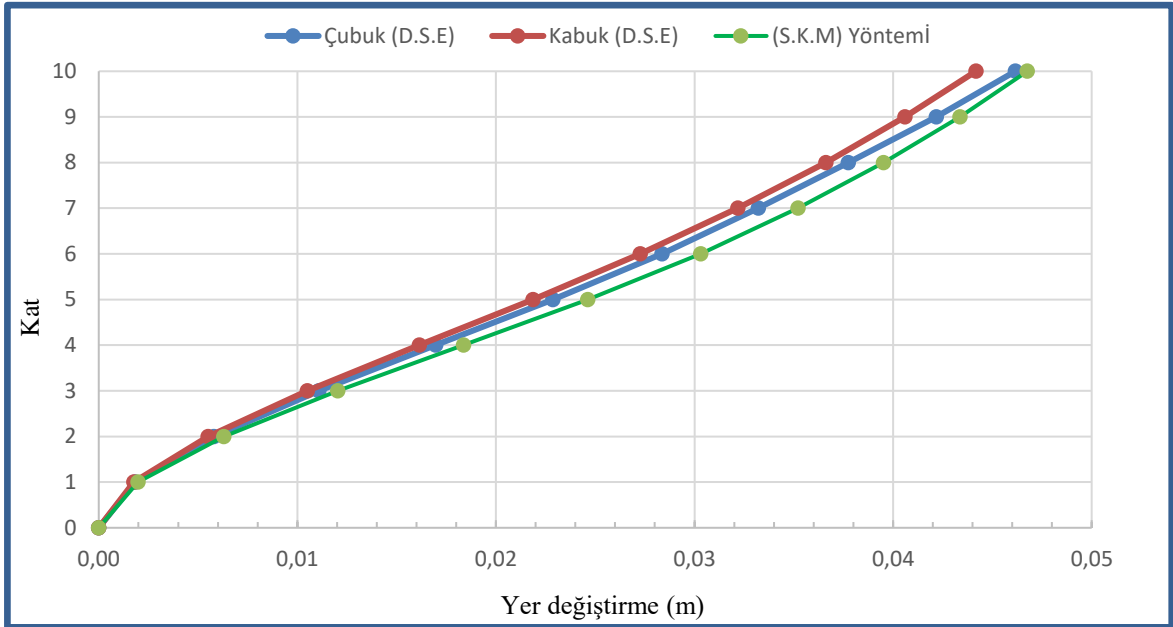
Mod (n)	DSE (Çubuk) Periyot (s)	DSE (Kabuk) Periyot (s)	SKM Periyot (s)
1	0.25201	0.24516	0.25271
2	0.07307	0.06648	0.07175
3	0.04033	0.03280	0.03471
4	0.02848	0.02165	0.02115
5	0.02183	0.01547	0.01471

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmelerinin Tablo 123’te ve Şekil 72’de verilmiştir.

Tablo 123

Rijit temel durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Kat (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.00183	-0.00170	0.00177	-0.00163	0.00198	-0.00189
2	0.00580	-0.00524	0.00551	-0.00506	0.00629	-0.00590
3	0.01108	-0.00984	0.01050	-0.00948	0.01203	-0.01104
4	0.01696	-0.01491	0.01615	-0.01427	0.01837	-0.01662
5	0.02287	-0.02002	0.02187	-0.01901	0.02463	-0.02214
6	0.02836	-0.02494	0.02726	-0.02348	0.03031	-0.02726
7	0.03321	-0.02956	0.03218	-0.02762	0.03521	-0.03187
8	0.03774	-0.03381	0.03662	-0.03142	0.03951	-0.03588
9	0.04218	-0.03762	0.04059	-0.03485	0.04337	-0.03935
10	0.04616	-0.04106	0.04417	-0.03796	0.04676	-0.04242



Şekil 72. Rijit temel durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)

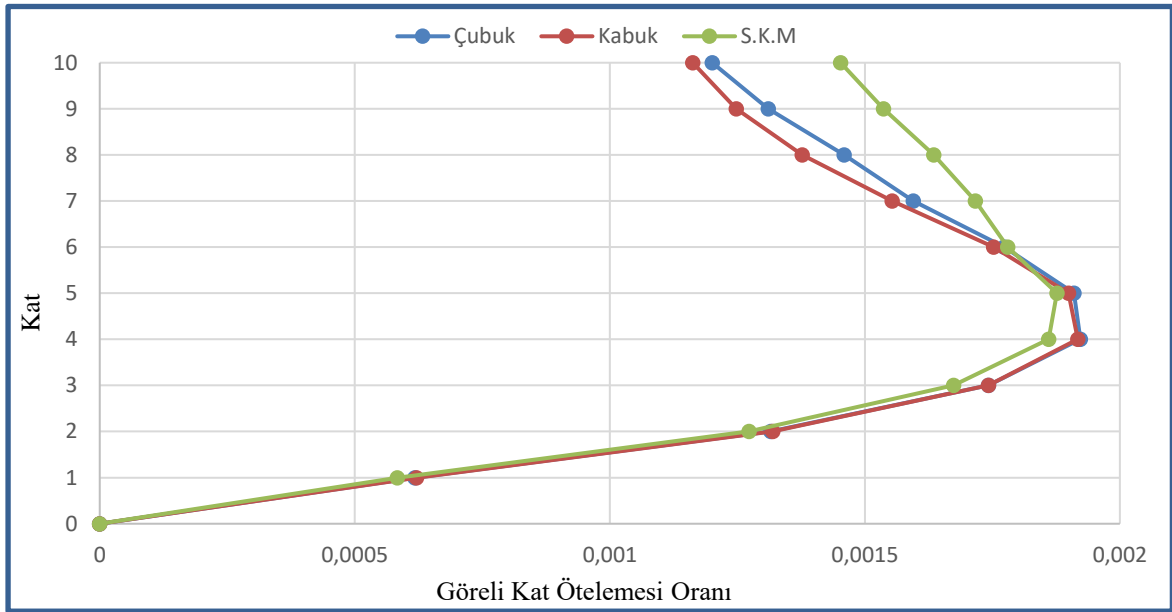
Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan tepe noktasındaki maksimum ve minimum yer değiştirmeleri Tablo 124'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 124

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktasındaki yer değiştirmeleri (7. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	0.05458	-0.04686	0.05031	-0.04176	0.04766	-0.04151
D-Olmayan	0.04616	-0.04106	0.04417	-0.03796	0.04676	-0.04242

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat öteleme grafiği Şekil 73'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 73. Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görel kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görel kat ötelemeleri Tablo 125'te ve Tablo 126'da verilmiştir.

Tablo 125

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)

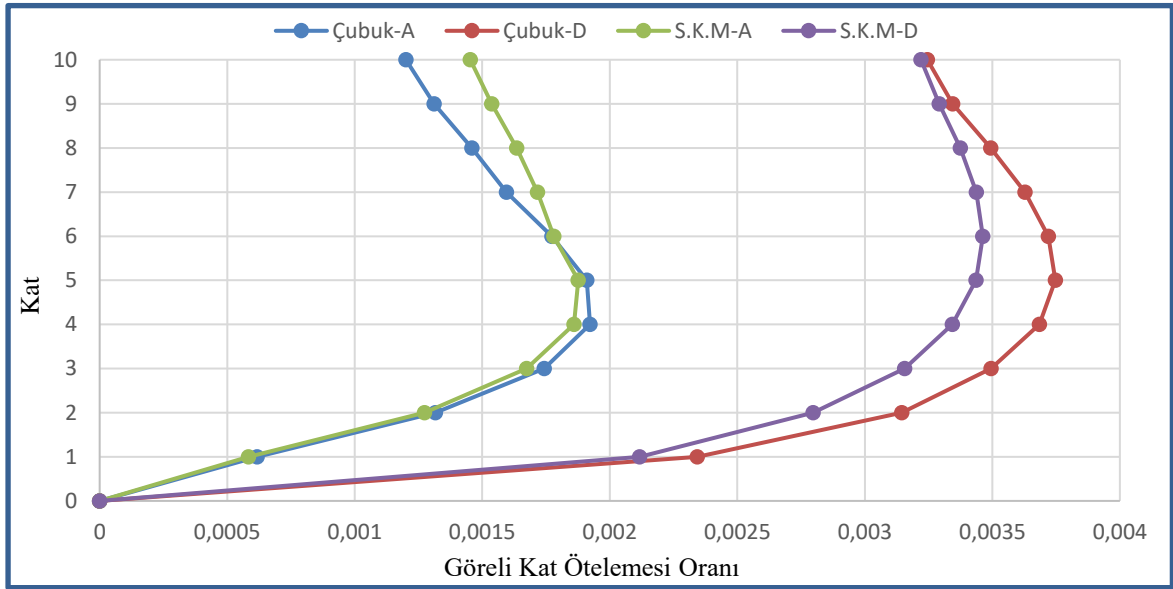
Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
El Centro	0.00192	0.00192	0.00188

Tablo 126

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
El Centro	0.00215	0.00208	0.00224

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görel kat ötelemesi grafiği Şekil 74'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 74. Farklı temel durumları için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)

4 farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi Tablo 127’de ve Tablo 128’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 127

Farklı temel durumları için büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)

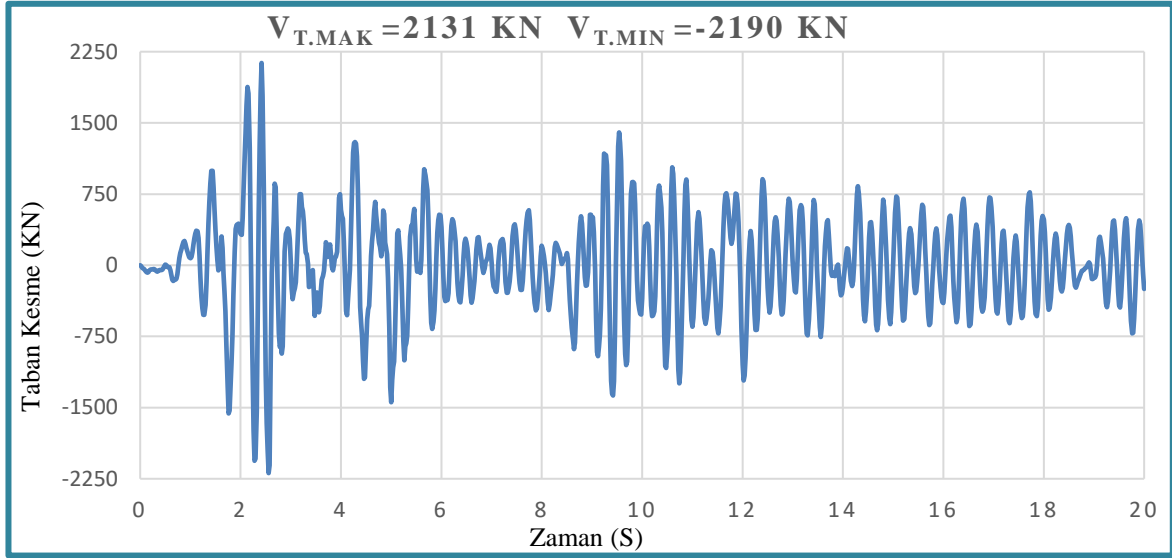
Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00192	0.00188
B	0.00217	0.00217
C	0.00243	0.00239
D	0.00374	0.00346

Tablo 128

Farklı temel durumları için büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)

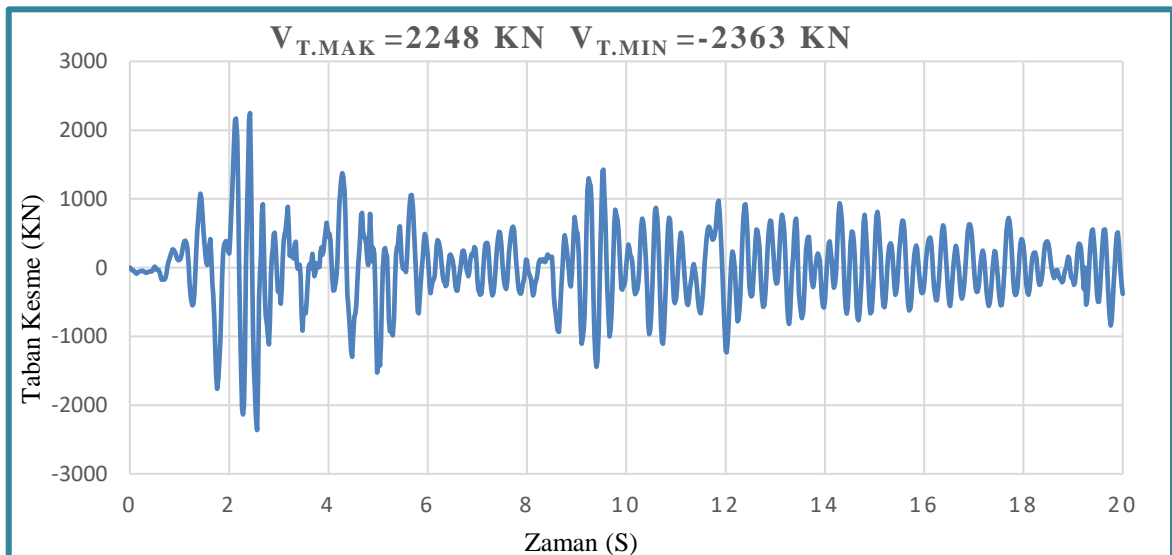
Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00215	0.00224
B	0.00221	0.00215
C	0.00248	0.00241
D	0.00372	0.00346

Şekil 75'te ise rijit temel durumunda dolu perde kısımların çubuk elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetinin değişimi verilmiştir.



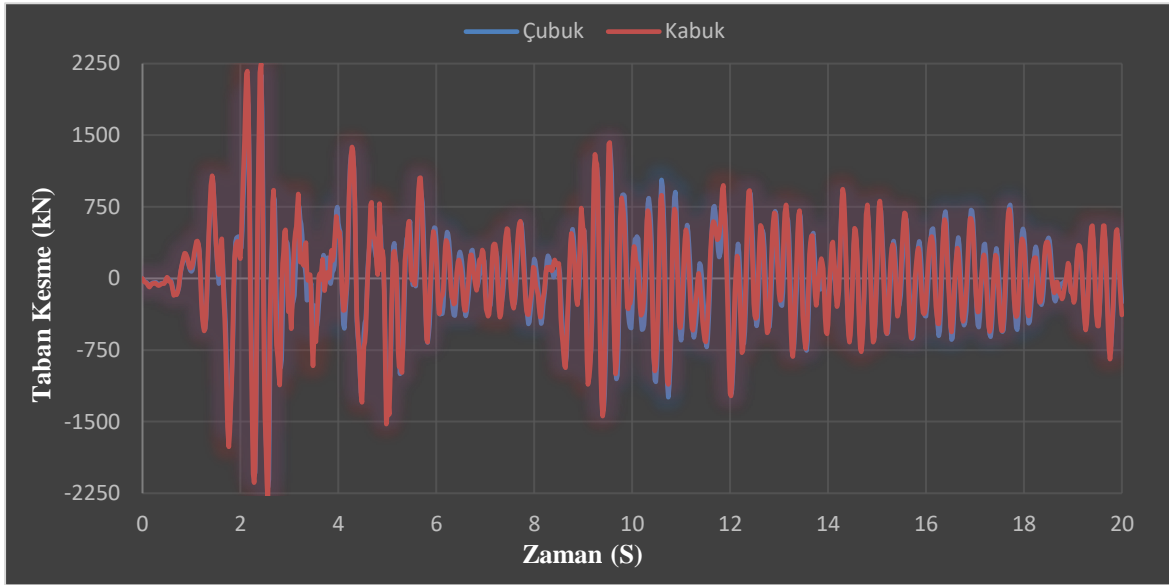
Şekil 75. Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizinden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 7)

Şekil 76'da ise rijit temel için dolu perdelerin kabuk elemanlarla modellenmesi durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



Şekil 76. Rijit temel durumu için dolu perdelerin çubuk elemanlarla modellenmesi durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizinden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 7)

Şekil 77'de ise rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için çubuk ve kabuk eleman kullanılması durumunda taban kesme kuvveti değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 77. Rijit temel durumu için dolu perde kısımlarında çubuk ve kabuk eleman kullanılması durumunda büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvveti değişimi karşılaştırması. (Sayısal örnek 7)

Rijit temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan taban kesme kuvvetleri Tablo 129'da karşılaştırılmıştır.

Tablo 129

Rijit temel için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	2518	-2705	2533	-2784	2372	-2586
D-Olmayan	2131	-2190	2248	-2363	2335	-2301

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında 4 farklı temel durumu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırması Tablo 130’da verilmiştir.

Tablo 130

Dört farklı temel durumu için büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
A-Durumu	2131	-2190	2335	-2301
B-Durumu	1653	-2157	1790	-2327
C-Durumu	1677	-1975	1868	-2192
D-Durumu	1923	-1804	1971	-1946

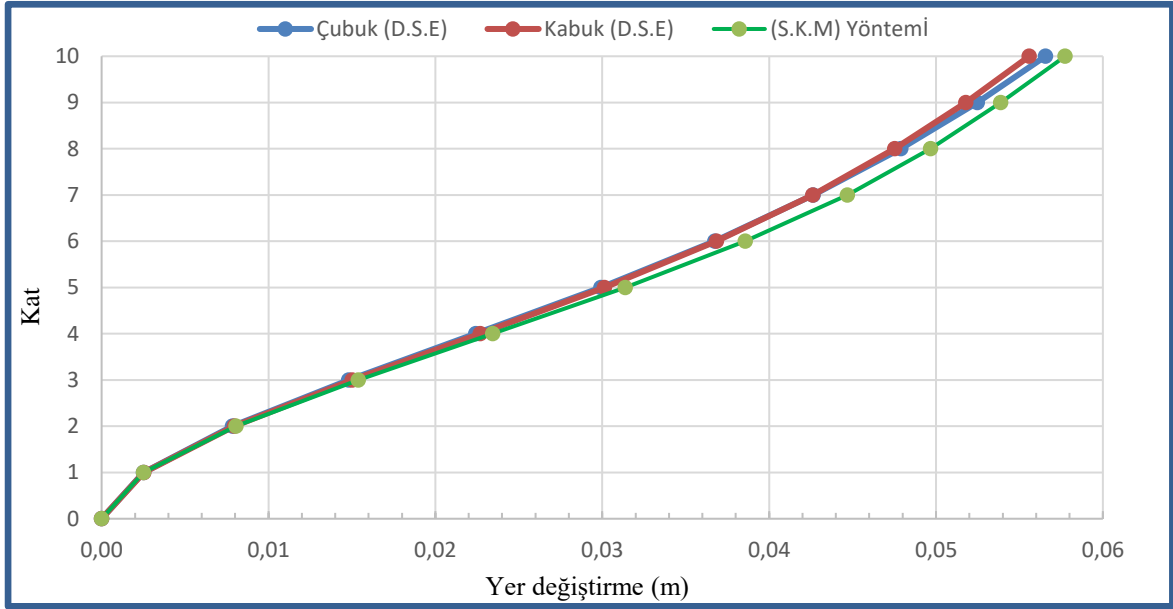
Rijit temel durumunda büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 131’de verilmiştir.

Tablo 131

Rijit temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Kat (n)	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.00251	-0.00300	0.00252	-0.00264	0.00251	-0.00281
2	0.00784	-0.00925	0.00795	-0.00825	0.00805	-0.00911
3	0.01480	-0.01733	0.01501	-0.01556	0.01538	-0.01752
4	0.02242	-0.02610	0.02268	-0.02350	0.02344	-0.02679
5	0.02991	-0.03465	0.03013	-0.03122	0.03137	-0.03594
6	0.03674	-0.04240	0.03685	-0.03821	0.03856	-0.04424
7	0.04264	-0.04903	0.04261	-0.04422	0.04468	-0.05130
8	0.04790	-0.05459	0.04752	-0.04935	0.04967	-0.05703
9	0.05248	-0.05930	0.05178	-0.05380	0.05388	-0.06173
10	0.05656	-0.06347	0.05559	-0.05776	0.05774	-0.06581

Şekil 78’de ise rijit temel durumunda büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum kat yer değiştirmelerin karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 78. Rijit temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan kat yer değiştirmelerin karşılaştırması. (Sayısal örnek 7)

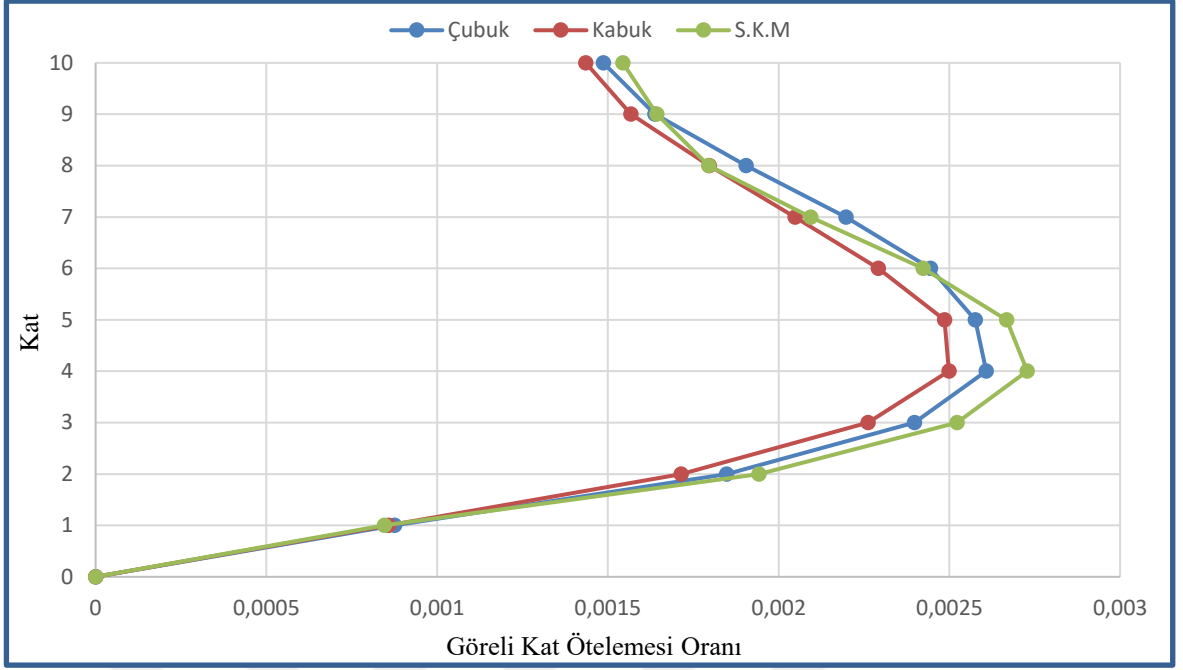
Büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan tepe noktası maksimum ve minimum yer değiştirmelerinin Tablo 132’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 132

Rijit temel durumunda büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	0.07132	-0.07741	0.06279	-0.06735	0.07045	-0.07647
D-Olmayan	0.05656	-0.06347	0.05559	-0.05776	0.05774	-0.06581

Rijit temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 79’da aşağıda verilmiştir.



Şekil 79. Rijit temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görel kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)

Rijit temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görel kat ötelemeleri Tablo 133'te ve Tablo 134'te verilmiştir.

Tablo 133

Rijit temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)

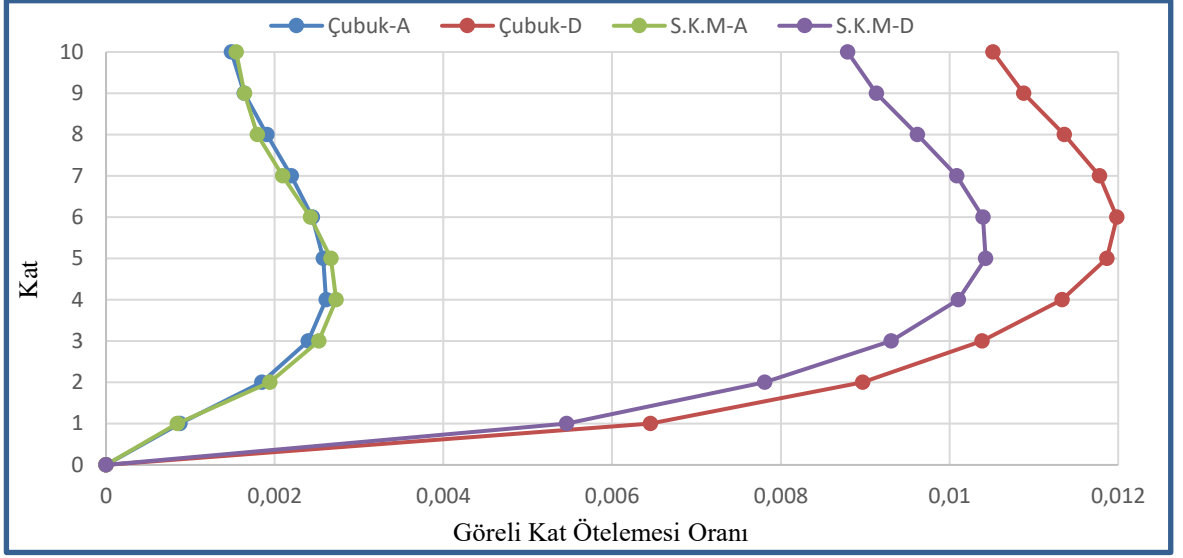
Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
Kobe	0.00261	0.00250	0.002

Tablo 134

Rijit temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Deprem kaydı	DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
Kobe	0.00293	0.00260	0.00306

Büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görel kat ötelemesi grafiği Şekil 80'da aşağıda verilmiştir.



Şekil 80. Farklı temel durumları için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında iki farklı zemin durumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 7)

4 farklı temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analizler sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi Tablo 135'te ve Tablo 136'da karşılaştırılmıştır.

Tablo 135

Farklı temel durumları için büyütülmüş Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00261	0.00273
B	0.00283	0.00283
C	0.00430	0.00341
D	0.01200	0.01043

Tablo 136

Farklı temel durumları için büyütülmüş Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal zaman tanım alanında analizle elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi oranları (7. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)	SKM
A	0.00293	0.00306
B	0.00361	0.00325
C	0.00546	0.00421
D	0.01126	0.00999

Rijit temel durumunda büyütülmüş Kobe deprem kaydı etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde

edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 137’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 137

Rijit temel durumunda büyütülmüş Kobe deprem kaydı etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Analiz türü	DSE (Çubuk)		DSE (Kabuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	4188	-3995	4117	-3971	4298	-4057
D-Olmayan	3201	-2857	3341	-3199	3243	-2898

Büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda 4 farklı temel durumu için elde edilmiş taban kesme kuvvetleri karşılaştırılması ise Tablo 138’de verilmiştir.

Tablo 138

Dört farklı temel durumu için büyütülmüş Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (7. örnek)

Durum	DSE (Çubuk)		SKM	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
A-Durumu	3201	-2857	3243	-2898
B-Durumu	3327	-2964	3676	-3152
C-Durumu	3243	-3260	3706	-3214
D-Durumu	2592	-3837	3491	-4261

Rijit temel durumu için SAP2000 kapsamında analiz süreleri karşılaştırmalı olarak Tablo 139’da verilmiştir.

Tablo 139

Örnek 7 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (7. örnek)

DSE (Çubuk)	DSE (Kabuk)	SKM
394 (S)	2303 (S)	50 (S)

D durumunu temsil eden esnek temel kabulü için SAP2000 kapsamında analiz sürelerinin karşılaştırması Tablo 140’ta sunulmuştur.

Tablo 140

Örnek 7 için esnek temelin (D) durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (7. örnek)

DSE (Çubuk)	SKM
242 (S)	88 (S)

5.8. Sekizinci Sayısal Uygulama

Literatürden (Kılar, Fajfar, 1997) alınan ve Şekil 81’de iki boyutlu ve şekil 82’de üç boyutlu olarak gösterilen çok açıklıklı 7 katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapının genel özellikleri Tablo 141’de ve plastik mafsalsal özellikleri Tablo 142’de verilmiştir. Ele alınan örnekte mesnetler ankastre olarak dikkate alınmıştır. Bu örneğinde doğrusal olmayan statik itme analizi ve iki farklı deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri hem detaylı sonlu elemanlar modeli ile (iki boyut ve üç boyut) hem de bu tez kapsamında geliştirilen sandviç kiriş modeli ile (iki kolonlu ve üç kolonlu) olarak SAP2000 programı yardımıyla yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca görelî kat ötelemeleri ETABS programı yardımıyla yapılmıştır.

Tablo 141

8. Örneğe ait özellikler (8. örnek)

Bina Yüksekliği H (m)	21.75
Kat yüksekliği h (m)	3.0
Kat yüksekliği h _z (m)	3.75
Elastisite modülü E (kN/m ²)	2.5x10 ⁷
Poisson Oranı (μ)	0.25
1-6. kat kütleleri (ton)	290.0
7. kat kütlesi (ton)	220.0

Tablo 142

Perde-çerçeve sistem için plastik mafsalsal özellikleri (8. örnek)

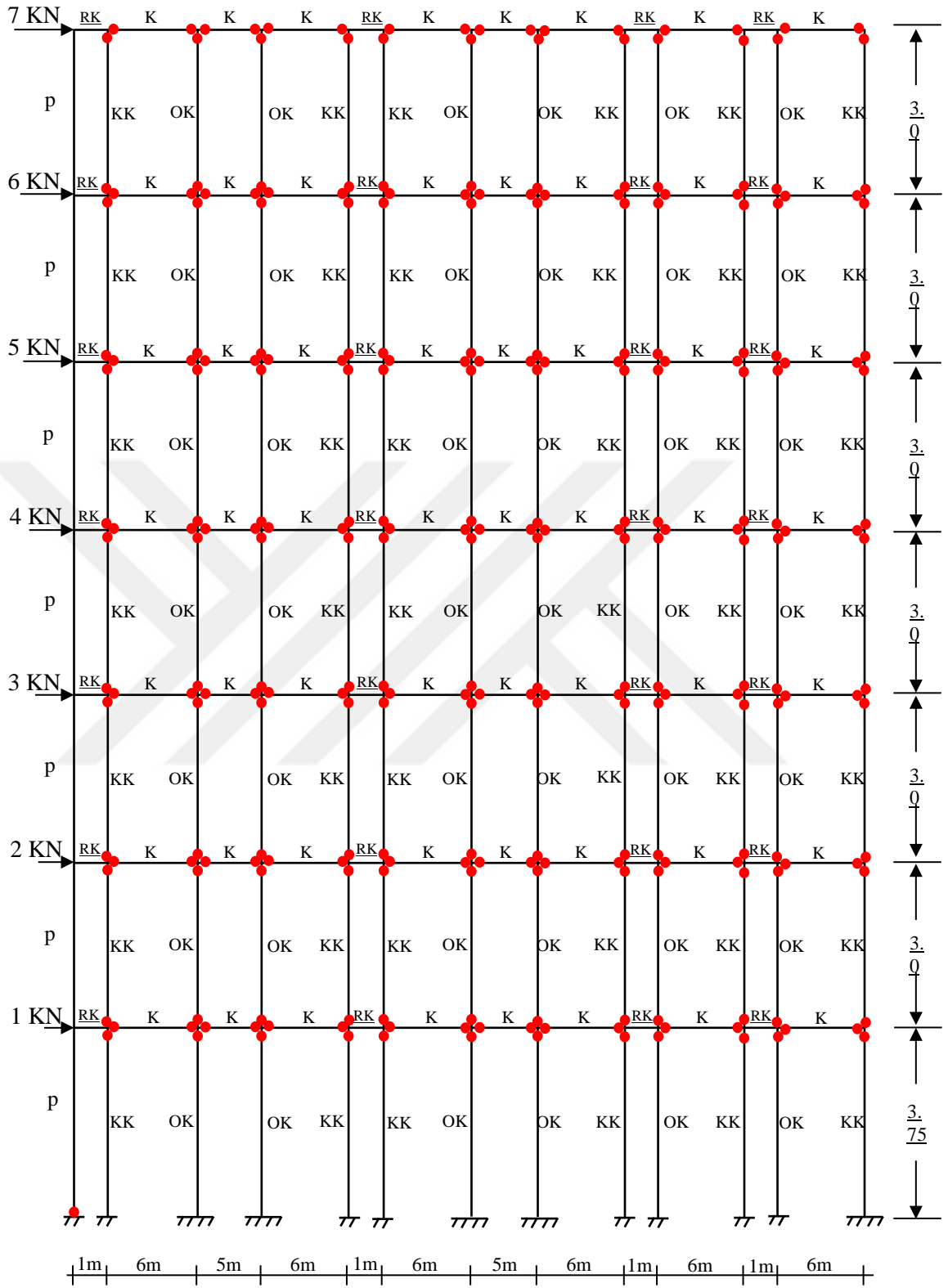
Kat	Köşe kolon		Orta kolon		Kiriş		Perde	
	M+pb (kNm)	M-pb (kNm)	M+pb (kNm)	M-pb (kNm)	M+pb (kNm)	M-pb (kNm)	M+pb (kNm)	M-pb (kNm)
1	310	310	384	384	87	230	14250	14250
2-7	310	310	384	384	87	230	-	-

Sandviç kiriş modeli için gerekli olan EI, GA’ ve D değerleri Tablo 143’te verilmiştir.

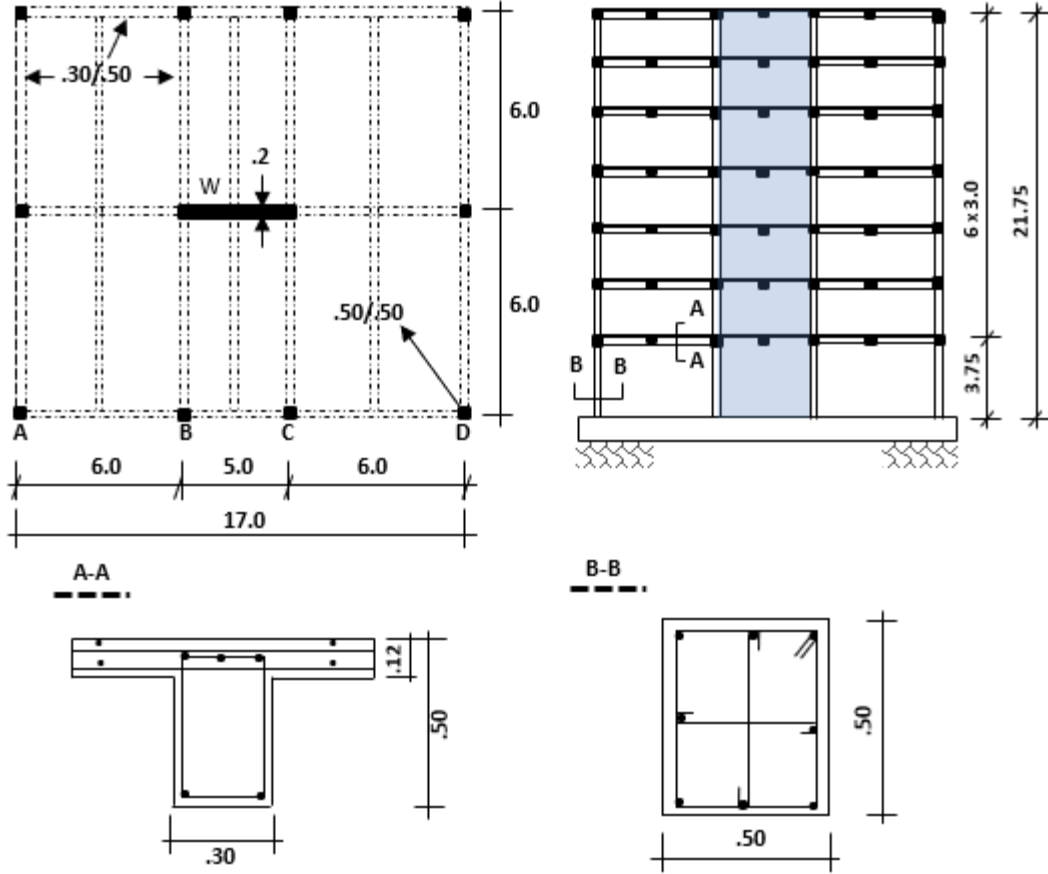
Tablo 143

8. Örnek için EI, GA’ ve D değerleri (8. örnek)

Kat	EI (kNm ²)	GA’(kN)	D (kNm ²)
1-7	1562400	8467480	2187500000
1-7 Perde	52082500	20832500	-



Şekil 81. Çok açıklıklı perdeli çerçeve örneğin 2 boyutlu görünüşü. (Sayısal örnek 8)



Şekil 82. Çok açıklıklı perdeli çerçeve örneğin 3 boyutlu görünüşü. (Sayısal örnek 8)

K_s değerleri ise hem Bölüm 4'te verilen bağıntıyla hem de SAP2000 ile hesaplanarak Tablo 144'te verilmiştir.

Tablo 144

Örnek 8 için K_s değerleri (kN) (8. örnek)

Kat	Bağıntı	SAP2000
1	605980	4022989
2-6	539920	655467
7	539920	1046025

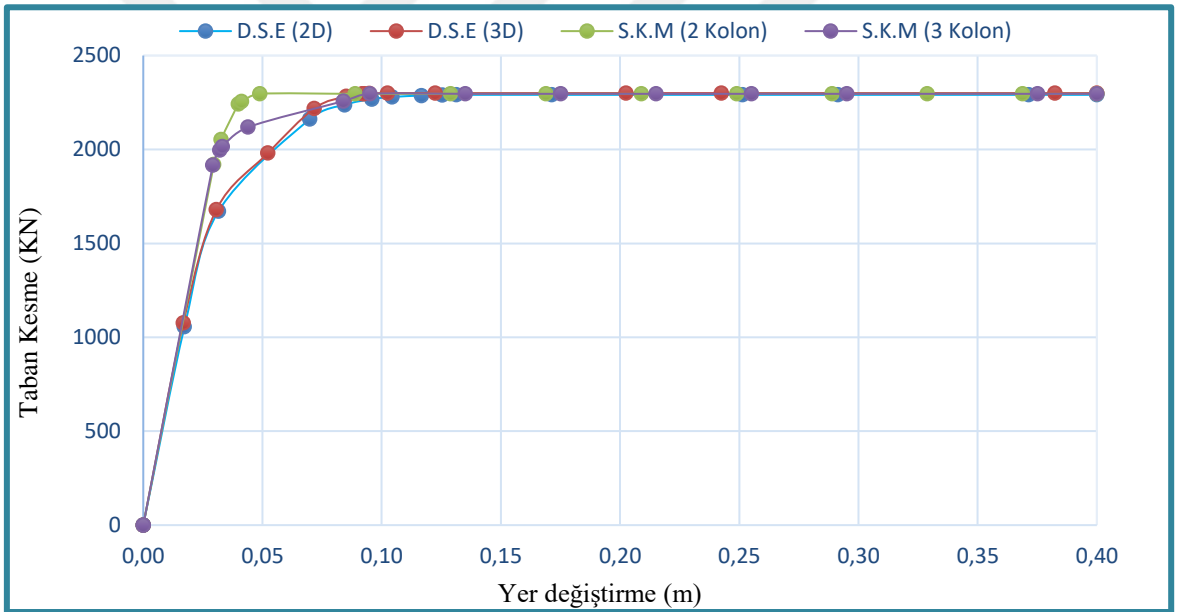
Örnekte ele alınan burulmasız perde çerçeve sistemin doğrusal olmayan statik itme analizi sabit üçgen yayılı yük için SAP2000 programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu elde edilmiş olan statik eğrisinin noktaları karşılaştırmalı olarak Tablo 145'te ve Şekil 83'te verilmiştir.

Tablo 145

Statik itme eğrisinin noktalarının karşılaştırması (8. örnek)

Adım (n)	DSE (2D)		DSE (3D)		SKM (2 kolon)		SKM (3 kolon)	
	Y-D (m)	T-K (KN)	Y-D (m)	T-K (KN)	Y-D (m)	T-K (KN)	Y-D (m)	T-K (KN)
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.017	1056.01	0.017	1076.16	0.030	1920.28	0.000	0.00
3	0.032	1671.55	0.031	1680.13	0.033	2052.62	0.029	1916.27
4	0.070	2161.62	0.052	1980.55	0.040	2242.32	0.032	1996.56
5	0.084	2237.77	0.072	2218.09	0.041	2255.01	0.033	2015.03
6	0.096	2268.24	0.085	2283.40	0.049	2296.09	0.044	2118.54
7	0.104	2279.48	0.092	2296.26	0.089	2296.09	0.084	2257.23
8	0.117	2287.20	0.093	2297.19	0.129	2296.09	0.095	2296.20
9	0.125	2290.16	0.095	2298.28	0.169	2296.10	0.135	2296.20
10	0.131	2290.89	0.103	2300.26	0.209	2296.10	0.175	2296.20
12	0.171	2290.89	0.123	2300.26	0.249	2296.10	0.215	2296.21
13	0.251	2290.90	0.203	2300.26	0.289	2296.10	0.255	2296.21
14	0.291	2290.90	0.243	2300.27	0.329	2296.11	0.295	2296.21
16	0.371	2290.90	0.383	2300.28	0.369	2296.11	0.375	2296.22
17	0.400	2290.90	0.400	2300.28	0.400	2296.11	0.400	2296.22



Şekil 83. Statik itme eğrilerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8)

Aynı örneğin iki farklı deprem kaydı etkisinde (El Centro, Kobe) zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizi detaylı sonlu elemanlar ve bu tez kapsamında önerilen sandviç kiriş modeli ile ayrı ayrı çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizlerde El Centro deprem kaydı 1.8 ile büyütülerek etki ettirilmiştir. Perde-çerçeve sistemin periyot değerleri ise hesaplanarak Tablo 146'da verilmiştir. Zaman tanım alanında analizde sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmış olup sönüm matrisinin oluşturulmasında Rayleigh sönüm matrisi kabulü yapılmıştır.

Tablo 146

Periyot değerlerinin karşılaştırılması (8. örnek)

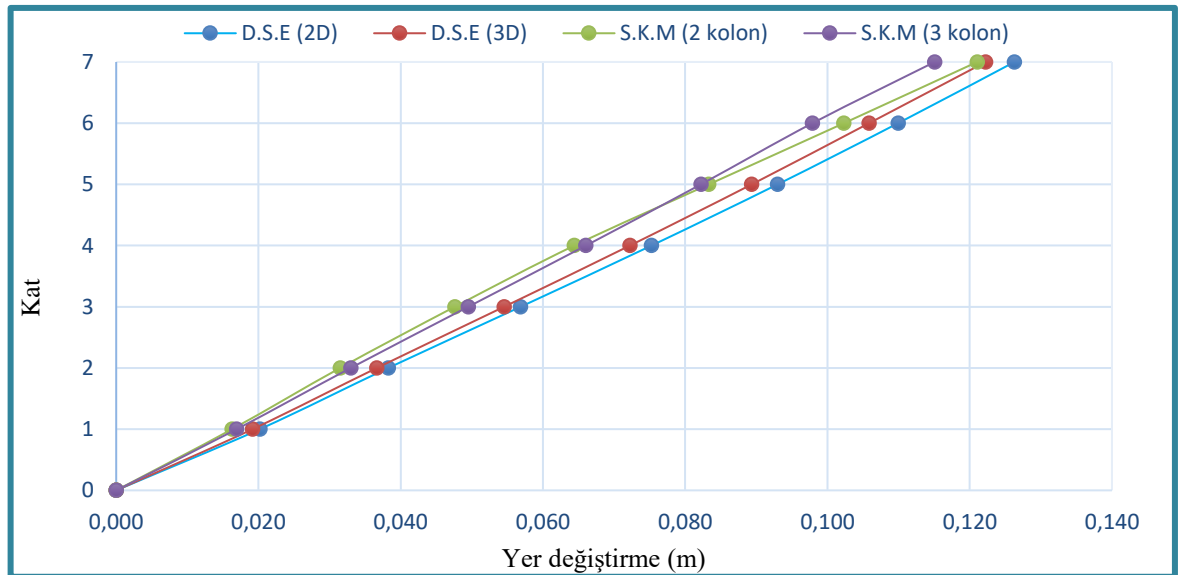
Mod	DSE (2D)	DSE (3D)	SKM (2 kolon)	SKM (3 kolon)
(n)	Periyot (s)	Periyot (s)	Periyot (s)	Periyot (s)
1	0.80733	0.79250	0.7872	0.7870
2	0.20400	0.19838	0.2009	0.1986
3	0.09421	0.09100	0.0932	0.0915
4	0.05981	0.09112	0.0592	0.0576
5	0.04488	0.05724	0.0445	0.0429

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 147’de ve Şekil 84’te verilmiştir.

Tablo 147

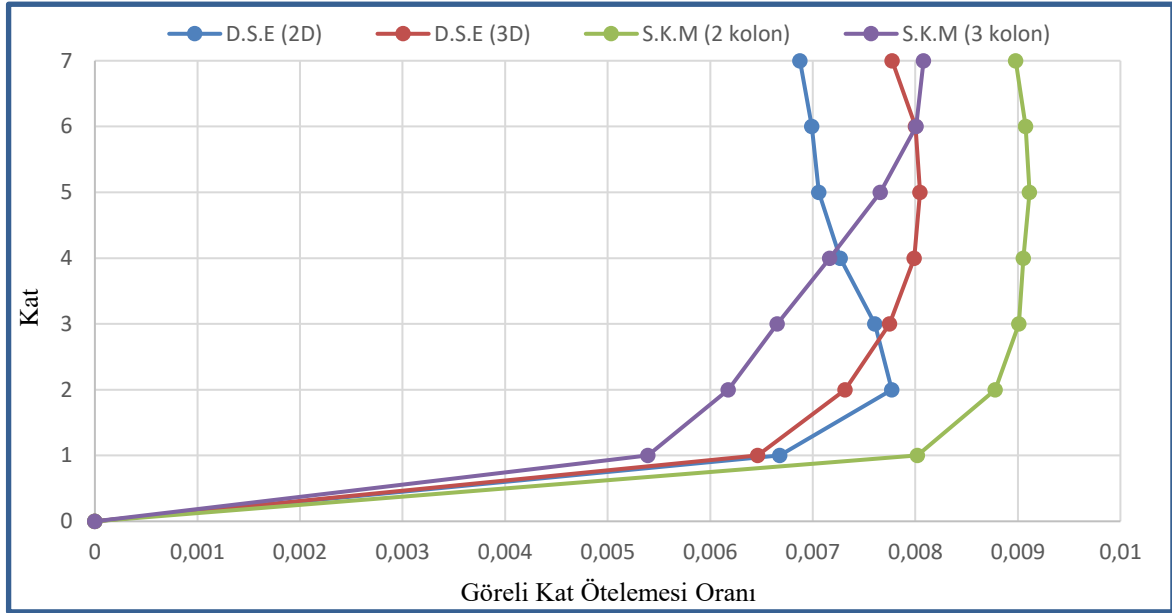
Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri (8. örnek)

Kat	DSE (2D)		DSE (3D)		SKM (2 kolon)		SKM (3 kolon)	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.020	-0.013	0.019	-0.012	0.016	-0.014	0.017	-0.013
2	0.038	-0.026	0.037	-0.024	0.031	-0.028	0.033	-0.027
3	0.057	-0.041	0.055	-0.039	0.048	-0.044	0.049	-0.042
4	0.075	-0.058	0.072	-0.055	0.064	-0.064	0.066	-0.060
5	0.093	-0.077	0.089	-0.072	0.083	-0.084	0.082	-0.080
6	0.110	-0.096	0.106	-0.091	0.102	-0.106	0.098	-0.100
7	0.126	-0.115	0.122	-0.108	0.121	-0.127	0.115	-0.121



Şekil 84. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda bulunan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 85'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 85. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 148'de ve Tablo 149'da verilmiştir.

Tablo 148

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)

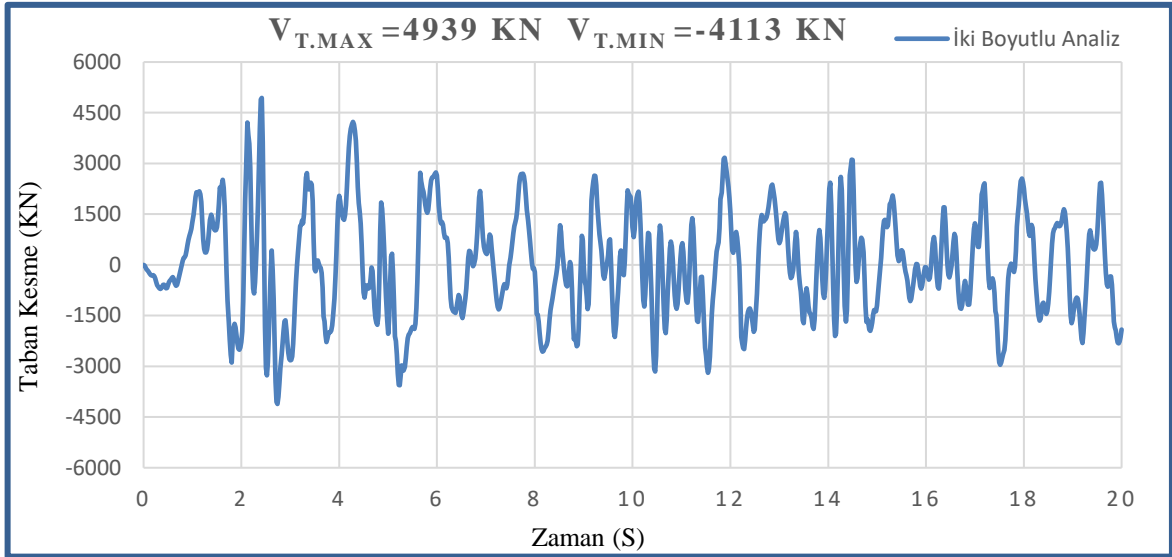
Deprem kaydı	DSE (2D)	DSE (3D)	SKM (2 Kolon)	SKM (3 Kolon)
El Centro	0.00777	0.00805	0.00911 (m)	0.00808

Tablo 149

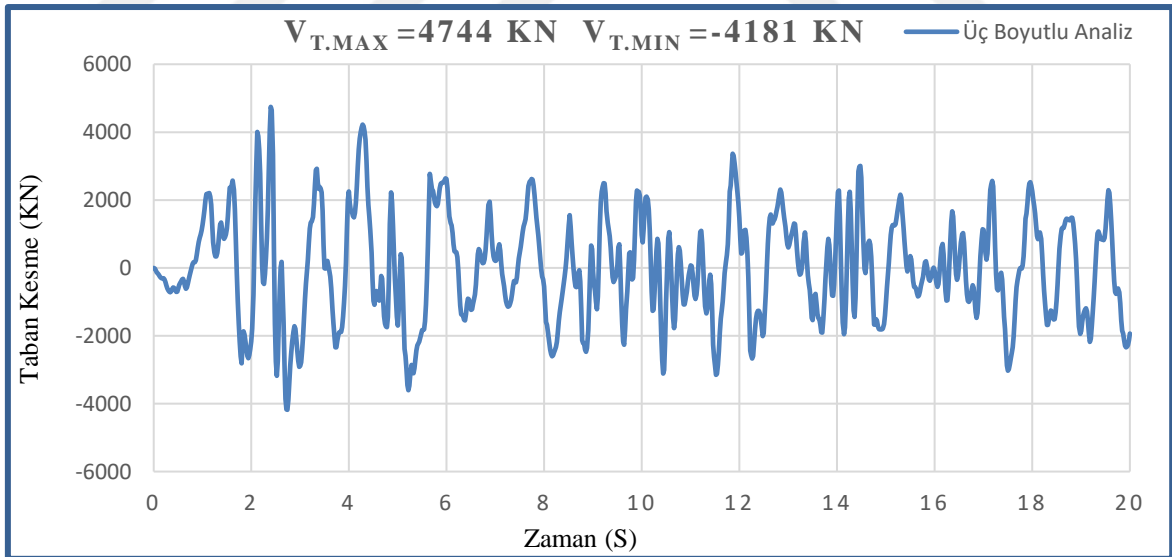
Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)

Deprem kaydı	DSE (2D)	DSE (3D)	SKM (2 Kolon)	SKM (3 Kolon)
El Centro	0.01315	0.01232	0.01782	0.01743

Şekil 86’da ve Şekil 87’de büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli (iki boyutlu ve üç boyutlu) ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizle bulunan taban kesme kuvveti değişimi verilmiştir.



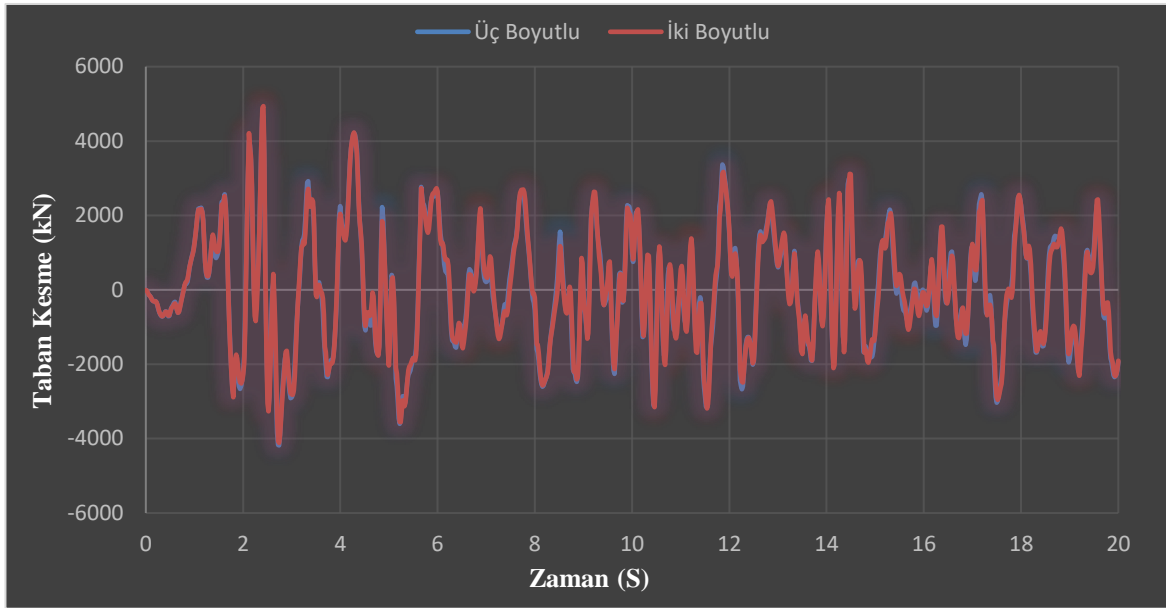
Şekil 86. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli ile iki boyutlu eleman için doğrusal zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 8)



Şekil 87. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli ile üç boyutlu eleman için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizden elde edilen taban kesme kuvveti değişimi. (Sayısal örnek 8)

Şekil 88’de ise büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında detaylı sonlu elemanlar modeli iki boyutlu ve üç boyutlu kullanılarak doğrusal olmayan zaman

tanım alanında analizler sonucunda bulunan taban kesme kuvveti değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 88. Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde detaylı sonlu elemanlar modeli ile iki boyutlu ve üç boyutlu elemanların doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinin sonucu taban kesme kuvvetlerinin değişiminin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8)

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum taban kesme kuvvetleri Tablo 150'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 150

Büyütülmüş El Centro deprem kaydı altında doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (8. örnek)

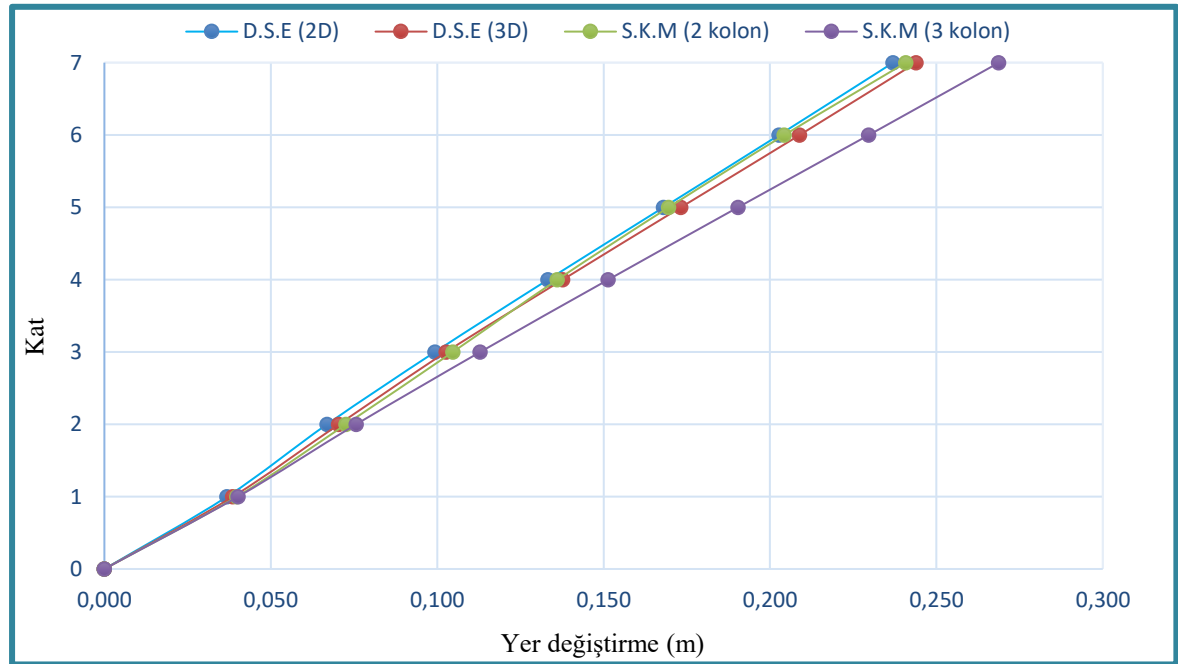
Analiz türü	DSE (2D)		DSE (3D)		SKM (2 kolon)		SKM (3 kolon)	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	15080	-17160	14600	-17790	14380	-17940	13950	-18190
D-Olmayan	4939	-4113	4744	-4181	4892	-3747	4847	-4058

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum ve minimum kat yer değiştirmeleri Tablo 151'de ve Şekil 89'da verilmiştir.

Tablo 151

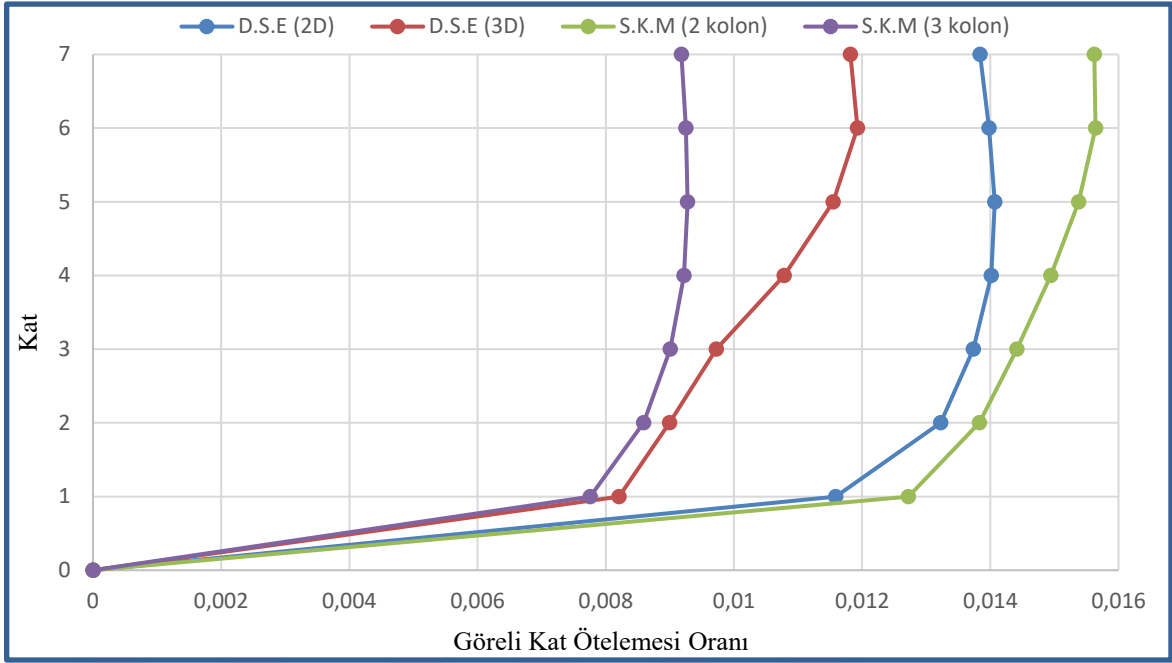
Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilen kat yer değiştirmeleri (8. örnek)

Kat (n)	DSE (2D)		DSE (3D)		SKM (2 kolon)		SKM (3 kolon)	
	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)	Mak Y-D (m)	Min Y-D (m)
1	0.0368	-0.0168	0.0386	-0.0144	0.0398	-0.0118	0.0402	-0.0116
2	0.0669	-0.0341	0.0705	-0.0301	0.0726	-0.0248	0.0757	-0.0257
3	0.0993	-0.0558	0.1027	-0.0502	0.1047	-0.0419	0.1129	-0.0445
4	0.1333	-0.0818	0.1377	-0.0746	0.1361	-0.0635	0.1514	-0.0675
5	0.1680	-0.1104	0.1732	-0.1015	0.1696	-0.0885	0.1904	-0.0935
6	0.2027	-0.1402	0.2089	-0.1297	0.2043	-0.1149	0.2297	-0.1210
7	0.2370	-0.1699	0.2439	-0.1576	0.2408	-0.1414	0.2688	-0.1485



Şekil 89. Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilmiş olan kat yer değiştirmelerinin karşılaştırması. (Sayısal örnek 8)

Kobe deprem kaydı altında ETABS programı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemesi grafiği Şekil 90'da aşağıda verilmiştir.



Şekil 90. Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş maksimum görelî kat ötelemelerin karşılaştırılması. (Sayısal örnek 8)

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan ve doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu elde edilmiş olan maksimum görelî kat ötelemeleri Tablo 152'de ve Tablo 153'te verilmiştir.

Tablo 152

Kobe deprem kaydı altında doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)

Deprem kaydı	DSE (2D)	DSE (3D)	SKM (2 Kolon)	SKM (3 Kolon)
Kobe	0.01407	0.01193	0.01564	0.00928

Tablo 153

Kobe deprem kaydı altında doğrusal zaman tanım alanında analiz sonucu bulunan görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması (8. örnek)

Deprem kaydı	DSE (2D)	DSE (3D)	SKM (2 Kolon)	SKM (3 Kolon)
Kobe	0.02681	0.02423	0.03194	0.03156

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucu elde edilmiş olan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması Tablo 154'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 154

Kobe deprem kaydı etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (8. örnek)

Analiz türü	DSE (2D)		DSE (3D)		SKM (2 kolon)		SKM (3 kolon)	
	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)	Mak T-K (kN)	Min T-K (kN)
Doğrusal	25190	-26120	25510	-26480	25170	-26750	25240	-26590
D-Olmayan	4759	-4915	4957	-4816	4734	-5091	4681	-4940

Bu örnek için detaylı sonlu elemanlar (iki boyutlu ve üç boyutlu) ve sandviç kiriş modeli (iki kolon ve üç kolon) kullanılması durumlarındaki SAP2000 kapsamında analiz süreleri karşılaştırmalı olarak Tablo 155'te sunulmuştur.

Tablo 155

Örnek 8 için rijit temel durumunda çözüm sürelerinin karşılaştırması (8. örnek)

DSE (2D)	DSE (3D)	SKM (2 kolon)	SKM (3 kolon)
519 (S)	593 (S)	16 (S)	27 (S)

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında literatürde daha önce binaların doğrusal statik, dinamik ve stabilite analizi için kullanılan “Sandviç kiriş modeli” burulmasız binaların statik ve dinamik doğrusal olmayan analizine uyarlanmıştır. Sunulan yöntemle taşıyıcı sistem türünden bağımsız olarak burulmasız tüm binalar eşdeğer bir sandviç kiriş olarak temsil edilebilmektedir. Sunulan yöntem literatürde daha önce geliştirilmiş olan Fishbone modeli ve eşdeğer çerçeve modelinden farklı olarak yalnızca çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binalarda değil her türlü taşıyıcı sisteme sahip binaların analizinde kullanılabilir. Perdeli binaların doğrusal olmayan analizi için kullanılabilen eğilme-kayma kiriş modelinde düşey taşıyıcı elemanların aksel yer değiştirmeleri ile perdelerdeki kayma deformasyonları dikkate alınmamaktadır. Burada önerilen sandviç kiriş modelinde ise perdelerdeki kayma deformasyonları ile aksel yer değiştirmeler doğrusal olmayan analizde dikkate alınmaktadır. Katlarda çerçeve ve bağ kirişlerinin moment kapasiteleri toplamı eşdeğer bir kat kesme kapasitesi olarak, kolon ve perdelerin eğilme moment kapasiteleri toplamı ise eşdeğer eğilme momenti kapasitesi olarak her katta tanımlanmaktadır.

Çalışmanın son bölümünde sunulan yöntemin uygunluğunu araştırmak üzere çözülen sayısal örneklerden sunulan yöntemin detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sunulan yöntemde hata oranının en fazla %15 olduğu görülmüştür.

Elde edilen sonuçlardan sunulan yöntemin özellikle ön boyutlandırma aşamasında güvenle kullanılabilceği değerlendirilmiştir. Ayrıca sunulan yöntem hazır paket programlar ile analizde yapılabilecek modelleme hatalarının belirlenmesinde dolayısıyla hazır paket program sonuçlarının kontrolünde kullanılabilir. Detaylı sonlu elemanlar yöntemi ile çözümde eleman sayısının ve dolayısıyla sonuç çıktılarının kalabalıklığı nedeniyle bina davranışı gözden kaçmaktadır. Bu çalışmada sunulan yöntemde bina davranışı az bir parametre ile temsil edilmekte ve dolayısıyla bina davranışı daha iyi anlaşılmaktadır.

Sunulan model ayrıca binaların hızlı değerlendirilmesi içinde kullanılabilir.

İleriki çalışmalarda bu çalışma kapsamında burulmasız binalar için önerilen sandviç kiriş modeli burulmalı binaların analizi için geliştirebilir. Ayrıca sunulan sandviç kiriş yönteminin yaklaşıklığı da arttırılabilir.



KAYNAKLAR

- Alku, Ö. Z. (1986). “Kademeli Veya Kesik Perdeler İçeren Binaların Yatay Kuvvetler Etkisinde Yaklaşık Hesabı”. Deprem Araştırma Bülteni, (13-53).
- Anson, M., Ko, J. M., & Lam, E. S. S. (2002, December). “A Macro-Model of RC Shear Wall for Pushover Analysis”. In Advances in Building Technology: Proceedings of the International Conference on Advances in Building Technology, 4-6 December, 2002, Hong Kong, China (p. 273). Elsevier Science.
- Aydinoğlu, M. N. (2003). “An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation”. Bulletin of Earthquake Engineering, 1(1), 3-36.
- Baikov, V., Sigalov, E. (1978). “Reinforced Concrete Structures”. Design of Buildings and Structures, Mir Publishers, (2-392).
- Bilyap, S. (1979). “Betonarme Yüksek Yapılarda Perde Çerçeve Sistemlerinin Yatay Kuvvetlere Göre Hesabı”. Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir.
- Boonyapinyo, V., Choopool, N., & Warnitchai, P. (2008, October). “Seismic performance evaluation of reinforced-concrete buildings by static pushover and nonlinear dynamic analyses”. In 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Bozdoğan, K. B. (2010). “Çok katlı yapıların taşıma matrisi yöntemiyle statik dinamik ve stabilite çözümü”. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Celep, Z. (2014). “Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme”. Deprem Yönetmeliği (2007) Kavramları. Beta Dağıtım.
- Chen, Z. Y., Chen, W., & Zhang, W. (2014). “Seismic performance evaluation of

multi-story subway structure based on pushover analysis”. In *Advances in Soil Dynamics and Foundation Engineering* (pp. 444-454).

Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2002). “A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings”. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 561-582.

Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2004). “A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for unsymmetric plan buildings”. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 33(8), 903-927.

D'Ambrisi, A., De Stefano, M., & Tanganelli, M. (2009). “Use of pushover analysis for predicting seismic response of irregular buildings: a case study”. *Journal of Earthquake Engineering*, 13(8), 1089-1100.

Duan, H., & Hueste, M. B. D. (2012). “Seismic performance of a reinforced concrete frame building in China”. *Engineering Structures*, 41, 77-89.

Elnashai, A. S. (2001). “Advanced inelastic static (pushover) analysis for earthquake applications”. *Structural engineering and mechanics*, 12(1), 51-69.

Ertutar, Y., & Arisoy, B. (1994). “Computation of the shear stiffness for the combined shear wall with multi span systems”, *Housing Science*, vol. 18, pp. 105-112.

Ertutar, Y. (1995a). “Betonarme yüksek yapılarda yatay yük etkisi”. *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, İzmir.

Ertutar, Y. (1995b). “Simetrik Olmayan Boşluklu Perdelerin Kayma Rijitliğinin Hesabı”. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 22(73), 40-45.

Franco, C., Chesnais, C., Semblat, J-F., Desprez, C., & Girys, C. (2022). “Seismic analysis of tall buildings through an enriched equivalent beam model:

Application to Grenoble City Hall”.

- Galasco, A., Lagomarsino, S., & Penna, A. (2006, September). “On the use of pushover analysis for existing masonry buildings”. In First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (No. 9, pp. 1-10).
- Georgoussis, G. K. (2017). “Preliminary structural design of wall-frame systems for optimum torsional response”. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(1), 45-58.
- Georgoussis, G. K. (2020). “Suggestions for Optimal Seismic Design of Wall-Frame Concrete Structures”. In *Seismic Behaviour and Design of Irregular and Complex Civil Structures III* (pp. 321-334). Springer, Cham.
- Han, S. W., Moon, K. H., & Chopra, A. K. (2010). “Estimation of Collapse Capacity and Collapse Fragility Using Modal Pushover Analysis”. In 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering.
- Hasan, R., Xu, L., & Grierson, D. E. (2002). “Push-over analysis for performance-based seismic design”. *Computers & structures*, 80(31), 2483-2493.
- Haghighat, A., & Sharifi, A. (2018). “Evaluation of Modified Fish-Bone Model for Estimating Seismic Demands of Irregular MRF Structures”. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(3), 800-811.
- Jamsek, A., & Dolšek, M. (2020). “Seismic analysis of older and contemporary reinforced concrete frames with the improved fish-bone model”. *Engineering Structures*, 212, 110514.
- Kadid, A., & Boumrkik, A. (2008). “Pushover analysis of reinforced concrete frame structures”. 1(9), 75-83.
- Kazaz, İ. (2021). “An analytical method to visualize higher mode effects on yielding cantilever walls”. *The Structural Design of Tall and Special*

Buildings, 30(3), e1827.

- Khaloo, A. R., & Khosravi, H. (2013). "Modified fish-bone model: A simplified MDOF model for simulation of seismic responses of moment resisting frames". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 55, 195-210.
- Khaloo, A. R., Khosravi, H., & Jamnani, H. H. (2015). "Nonlinear interstory drift contours for idealized forward directivity pulses using "modified fish-bone" models". *Advances in Structural Engineering*, 18(5), 603-627.
- Kilar, V., & Fajfar, P. (1997). "Simple push-over analysis of asymmetric buildings". *Earthquake engineering & structural dynamics*, 26(2), 233-249.
- Kuang, J. S., & Huang, K. (2011). "Simplified multi-degree-of-freedom model for estimation of seismic response of regular wall-frame structures". *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 20(3), 418-432.
- Malhotra, P. K. (2021). "Seismic analysis of structures and equipment". Springer.
- Miranda, E. (1999). "Approximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings". *Journal of structural engineering*, 125(4), 417-425.
- Moghadam, A. S., & Tso, W. K. (2000, February). "Pushover analysis for asymmetric and set-back multi-story buildings". In *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering (Vol. 1093)*.
- Mwafy, A. M., & Elnashai, A. S. (2001). "Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings". *Engineering structures*, 23(5), 407-424.
- Nadjai, A., & Johnson, D. (1998). "Elastic and elasto-plastic analysis of planar coupled shear walls with flexible bases". *Computers & structures*, 68(1-3), 213-229.
- Naik, P., & Annigeri, S. (2017). "Performance evaluation of 9 storey RC building

located in North Goa”. *Procedia engineering*, 173, 1841-1846.

- Nakashima, M., Ogawa, K., & Inoue, K. (2002). “Generic frame model for simulation of earthquake responses of steel moment frames”. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 671-692.
- Nie, J., Qin, K., & Xiao, V. (2006). “Push-over analysis of the seismic behavior of a concrete-filled rectangular tubular frame structure”. *Tsinghua science and technology*, 11(1), 124-130.
- Poluraju, P., & Rao, N. (2011). “Pushover analysis of reinforced concrete frame structure using SAP 2000”. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6), 684-690.
- Potzta, G., & Kollar, L. P. (2003). “Analysis of building structures by replacement sandwich beams”. *International Journal of Solids and Structures*, 40(3), 535-553.
- Qian, J., & Chen, Q. (2005). “A macro model of shear walls for push-over analysis”. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 158(2), 119-132.
- Qu, Z., Gong, T., Li, Q., & Wang, T. (2019). “Evaluation of the fishbone model in simulating the seismic response of multistory reinforced concrete moment-resisting frames”. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 18(2), 315-330.
- Rana, R., Jin, L., & Zekioglu, A. (2004, August). “Pushover analysis of a 19 story concrete shear wall building”. In *13th world conference on Earthquake Engineering* (Vol. 133).
- Shahrin, R., & Hossain, T. R. (2011). “Seismic performance evaluation of residential buildings in Dhaka city by using pushover analysis”. In *Proceedings of 4th Annual Paper Meet and 1st Civil Engineering Congress*,

Dhaka, Bangladesh (Vol. 4, pp. 547-556).

- Soleimani, R., Khosravi, H., & Hamidi, H. (2019). “Substitute Frame and adapted Fish-Bone model: Two simplified frames representative of RC moment resisting frames”. *Engineering Structures*, 185, 68-89.
- Soleimani, R., & Hamidi, H. (2021). “Improved Substitute-Frame (ISF) model for seismic response of steel-MRF with vertical irregularities”. *Journal of Constructional Steel Research*, 186, 106918.
- Soleimani, R., Hamidi, H., & Khosravi, H. (2022, May). “On advantages of the “Substitute Frame” model for incremental dynamic analysis: Integration of speed and accuracy”. In *Structures* (Vol. 39, pp. 266-277). Elsevier.
- Sucuoğlu, H., & Günay, M. S. (2011). “Generalized force vectors for multi-mode pushover analysis”. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 40(1), 55-74.
- Sullivan, T. J., Saborio-Romano, D., O’Reilly, G. J., Welch, D. P., & Landi, L. (2021). “Simplified pushover analysis of moment resisting frame structures”. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(4), 621-648.
- Tekeli, H., & Atımtay, E. (2015). “A simplified non-linear procedure for buildings with shear walls”. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 168(1), 56-66.
- Tso, W. K., & Moghadam, A. S. (1998). “Pushover procedure for seismic analysis of buildings”. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 1(3), 337-344.
- Wong, K. K., & Yang, R. (1999). “Inelastic dynamic response of structures using force analogy method”. *Journal of Engineering Mechanics*, 125(10), 1190-1199.

- Wong, K. K. F. (2011). "Nonlinear dynamic analysis of structures using modal superposition". In Structures Congress 2011 (pp. 770-781).
- Xiong, C., Lu, X., Guan, H., & Xu, Z. (2016). "A nonlinear computational model for regional seismic simulation of tall buildings". Bulletin of Earthquake Engineering, 14(4), 1047-1069.
- Yang, P., & Wang, Y. (2000). "A study on improvement of pushover analysis". Journal of Building Structures, 1(007).
- Zalka, K. (2019). "Global structural analysis of buildings". CRC Press.
- Zalka, K. (2020). "Individual bracing units: frames, (coupled) shear walls and cores". In Structural Analysis of Multi-Storey Buildings (pp. 5-82). CRC Press.
- Zou, X. K., & Chan, C. M. (2005). "Optimal seismic performance-based design of reinforced concrete buildings using nonlinear pushover analysis". Engineering structures, 27(8), 1289-1302.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :

Doğum Yeri :

Doğum Tarihi :

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi :

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Bildiriler

1) Uluslararası

Boşluklu Perdelerin Doğrusal Olmayan Analizinde Dolu Perdelerin Farklı Elemanlarla Modellenmesinin Karşılaştırılması

İLETİŞİM

E-posta Adresi :

ORCID :