

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇERÇEVELERİN
LİNEER OLMAYAN TEPKİ
SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ

Oktay DEMİRDAĞ

Ağustos, 2005

İZMİR

**ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇERÇEVELERİN
LİNEER OLMAYAN TEPKİ
SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

Oktay DEMİRDAĞ

Ağustos, 2005

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

OKTAY DEMİRDAĞ, tarafından **Prof. Dr. HİKMET HÜSEYİN ÇATAL** yönetiminde hazırlanan “**ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇERÇEVELERİN LİNEER OLMAYAN TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL

Danışman

.....
Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Prof. Dr. Atilla ORBAY

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Prof. Dr. Şerif SAYLAN

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Ömer Zafer ALKU

Jüri Üyesi

.....
Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu doktora çalışmasının isminin belirlendiği andan bu satırların yazıldığı şu ana kadar bilgisi ve desteğiyle her zaman danışmanlığını eksik etmeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca, beni dünyaya getiren ve hayatımdaki her adımda maddi ve manevi olarak yanımda olan anne ve babama, şimdiye kadar çok şeyi paylaştığım ve paylaşacağıma inandığım kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

Dünya tatlısı kızımın doğumuyla şenlenen yuvamızı beraber kurduğumuz, doktora süresince sıkıntılarımı paylaşarak azaltan, sevinçlerimi paylaşarak çoğaltan, kızımın annesi sevgili eşime de teşekkür ve sevgilerimi yolluyorum.

Doktora çalışmamda ve bölüm içi görevlerde ihtiyacım olduğu her anda yardımını gördüğüm Araştırma Görevlisi arkadaşım Yusuf Yeşilce'ye de teşekkür ederim.

Oktay DEMİRDAĞ

ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇERÇEVELERİN LİNEER OLMAYAN TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ

ÖZET

Depremde yapılarda oluşan yapısal hasarların, toptan göçmelerin bir sebebi de zemin parametrelerinin dikkate alınmadan yapısal analizin gerçekleştirilmesidir. Bu nedenle çalışmada, zemine yarı-rijit bağlanmış olan çerçevelerin doğrusal olmayan davranışlarının tepki spektrumlarının elde edilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla, çerçevenin zemine bağlandığı noktalar, zemin özelliklerine temsilen dönmeye ve ötelenmeye karşı elastik yaylar ile modellenmiştir.

Birçok yapı toplanmış kütleli sistemler ile modellenmesine rağmen gerçekte tüm yapıların, sonsuz sayıda serbestlik dereceleri vardır. Bu çalışmada, çerçevelerin yanal rijitliğini temsil eden düşey taşıyıcı elemanların yayılı kütleleri ve deformasyonları da analize dahil edilerek hesap modelleri toplanmış kütleli sürekli sistem olarak kurulmuştur.

Deprem mühendisliğinde, taşıyıcı sistemlerinin eleman kuvvetleri ve deplasmanlarının hesabı için tepki spektrumu metodunu kullanmak büyük hesap kolaylıkları sağlamakta olup yaygın şekilde kullanılır. Tasarımcı, ilgili deprem için elde edilen spektrum eğrilerinden, periyodu belli olan bir yapının spektral ivmesini okuyabilmekte ve depreme dayanıklı olarak tasarlayacağı yapıya etkileyen deprem kuvvetini hesaplayabilmektedir. Bu çalışmada, zemine yarı-rijit bağlı çerçevelerin doğrusal olmayan malzeme davranışı da dikkate alınarak güçlü yer ivmeleri etkisindeki tepkileri incelenmiştir. Çerçevelerin farklı süneklilik seviyeleri için doğrusal ve doğrusal olmayan tepki spektrumları elde edilmiştir. Yarı-rijit olarak modellenen kolon-zemin birleşiminin, zemin etkilerini gösteren farklı yay değerleri için elde edilen tepki deplasman, hız ve ivme spektrumları grafiklerle sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Düzlem çerçeve, yarı-rijit mesnet, doğrusal olmayan analiz, tepki spektrumu.

OBTAINING NONLINEAR RESPONSE SPECTRUM OF SEMI-RIGID SUPPORTED FRAMES

ABSTRACT

One of the reasonable causes of considerable damages observed in structures after the earthquakes is the performing analysis without considering soil parameters. In this thesis, obtaining response spectra for nonlinear behavior of the semi-rigid supported frames is studied. For this purpose, column-soil joints of the frame are modeled with elastic springs against translation and rotation to include soil properties.

Although structures are frequently modeled as discrete parameter system with concentrated masses, all structures, in fact, have infinite degree of freedom. In this study, the distributed mass and deformations of vertical structural elements representing the lateral stiffness of the frame are also taken into consideration in the response spectrum analysis and the mathematical model of the frame is established as a continuous system with concentrated masses.

Response spectrum method supplies a great arithmetic comfort in modern earthquake engineering for calculation of element forces and displacements of structural systems and therefore is widely used in the discipline. The designer can read the spectral acceleration of a structure having a certain period from the spectrum curves obtained for the considered earthquake and can calculate the earthquake force acting to the structure that will be designed as earthquake-resistant. The response of semi-rigid supported frames subjected to strong ground motions is searched, in this study, taking inelastic material behavior into consideration. Elastic and inelastic response spectra of semi-rigid supported frames are obtained for different ductility levels. Response displacement, velocity and acceleration spectra obtained for different spring coefficients defining soil properties are presented in graphs.

Key words: Planar frame, semi-rigid support, inelastic analysis, response spectrum.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEZ SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	3
1.3 Amaç ve Kapsam.....	6
1.4 Kabuller.....	7
1.5 Temel Yaklaşımlar.....	8
1.5.1 Dinamik Analizin Temel İlkeleri.....	8
1.5.2 Sürekli Sistemler.....	9
1.5.3 Genelleştirilmiş TSD Sistemler.....	11
1.5.4 Doğrusal Olmayan Dinamik analiz.....	13
1.5.5 Doğrusal Olmayan Yapısal Tepkinin Çözümü.....	14
1.5.6 Tepki Spektrumu.....	16
BÖLÜM İKİ - TIMOSHENKO KOLONUNA AİT DİFERANSİYEL DENKLEMİN ELDE EDİLMESİ VE ÇÖZÜMÜ.....	19
2.1 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Timoshenko Kolonunun Diferansiyel Hareket Denkleminin Elde Edilmesi.....	20
2.2 Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Timoshenko Kolonunun Diferansiyel Hareket Denkleminin Çözümü.....	22
2.3 Kolonun Kesit Dönmesi, Moment ve Kesme Kuvveti Fonksiyonlarının Elde Edilmesi.....	24

BÖLÜM ÜÇ - ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI TEK KATLI	
ÇERÇEVEYE AİT HESAP MODELİNİN SERBEST	
TİTREŞİM ANALİZİ..... 27	
3.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin	
Sınır Şartları.....	27
3.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin	
Frekans Denklemine Elde Edilmesi.....	28
BÖLÜM DÖRT - ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI TEK KATLI	
ÇERÇEVEYE AİT HESAP MODELİNİN	
ZORLANMIŞ MODAL TİTREŞİM ANALİZİ..... 30	
4.1 Şekil Fonksiyonunun Elde Edilmesi.....	30
4.2 Enerji İfadelerinin Elde Edilmesi.....	31
4.2.1 Kinetik Enerji.....	31
4.2.2 Potansiyel Enerji.....	33
4.2.3 Dış Yükleme Enerjisi.....	35
4.3 Genelleştirilmiş Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Modal Hareket	
Denkleminin Lagrange Denklemi İle Elde Edilmesi.....	36
BÖLÜM BEŞ - ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇOK KATLI	
ÇERÇEVEYE AİT HESAP MODELİNİN SERBEST	
TİTREŞİM ANALİZİ..... 40	
5.1 i.inci Kat Çubuğunun Moment, Kesme Kuvveti ve Kesit Dönmesi	
Fonksiyonlarının Elde Edilmesi.....	43
5.2 (n) Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Sınır Şartları.....	44
5.2.1 1.inci ve (n-1).inci Küteller Arasındaki (i.)inci Kata Ait Sınır	
Şartları.....	44
5.2.2 Kolon-Zemin Birleşimine Ait Sınır Koşulları.....	45
5.2.3 (n.)inci Kütleye Ait Sınır Şartları.....	46
5.3 Çok Katlı Sistemin Açısız Frekanslarının Hesabı.....	46

BÖLÜM ALTI - ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇOK KATLI	
ÇERÇEVEYE AİT HESAP MODELİNİN	
ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ.....	
	51
6.1 Şekil Fonksiyonlarının Elde Edilmesi.....	51
6.2 Enerji İfadelerinin Elde Edilmesi.....	52
6.2.1 Kinetik Enerji.....	52
6.2.2 Potansiyel Enerji.....	53
6.2.3 Dış Yükleme Enerjisi.....	54
6.3 Çok Katlı Sistemin Modal Hareket Denkleminin Lagrange	
Denklemleri İle Elde Edilmesi.....	55
BÖLÜM YEDİ - TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ.....	
	58
7.1 Doğrusal Tepki Spektrumu.....	58
7.2 Doğrusal Tepki Spektrumunun Sayısal Çözümü.....	59
7.3 Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumu.....	61
7.4 Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumunun Analizi.....	65
BÖLÜM SEKİZ - TEK KATLI ÇERÇEVELERİN HESAP	
MODELİNE AİT UYGULAMALAR.....	
	68
8.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçevelere Ait Hesap	
Modelinin Serbest Titreşim Analizi İçin Geliştirilen Bilgisayar	
Programı.....	68
8.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Serbest	
Titreşimine Ait Sayısal Uygulamalar.....	69
8.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Doğrusal	
Sismik Analizi İçin Geliştirilen Bilgisayar Programı.....	76
8.4 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modeli İçin Doğrusal	
Sismik Analiz Uygulamaları.....	76
8.4.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Hareket	
Denkleminin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	78
8.4.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Tepki	
Zaman Geçmişlerinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	79

8.5 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modeli İçin Spektral Analiz Uygulaması.....	85
---	----

BÖLÜM DOKUZ - ÇOK KATLI ÇERÇEVELERİN HESAP

MODELİNE AİT DOĞRUSAL TEPKİ

SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİNE

AİT UYGULAMALAR..... 94

9.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Serbest Titreşimine Ait Sayısal Uygulama.....	95
9.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Sismik Analiz Uygulamaları.....	98
9.2.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Hareket Denkleminin Elde Edilmesi.....	99
9.2.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Her Katı İçin Tepki Zaman Geçmişlerinin Elde Edilmesi.....	102
9.2.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Spektral Değerlerinin Elde Edilmesi.....	126
9.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Spektral Analiz Uygulaması.....	129

BÖLÜM ON - TEK KATLI ÇERÇEVELERE AİT HESAP

MODELİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN TEPKİ

SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİNE AİT

SAYISAL UYGULAMALAR..... 137

10.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Sismik Analiz Uygulaması.....	137
10.1.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman İlişkisinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	138

10.1.2	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Tepki Zaman Geçmişlerinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	147
10.1.3	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Süneklik Oranlarının Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	162
10.2	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumlarının Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	164
BÖLÜM ONBİR - ÇOK KATLI ÇERÇEVELERE AİT HESAP MODELİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİNE AİT SAYISAL UYGULAMALAR.....		
174		
11.1	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Sismik Analiz Sayısal Uygulamaları.....	174
11.1.1	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman İlişkisinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	175
11.1.2	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Son Katına Ait Doğrusal Olmayan Tepki Zaman Geçmişlerinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	184
11.1.3	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Süneklik Oranlarının Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama.....	199
11.2	Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumlarının Elde edilmesine Ait Sayısal Uygulamalar.....	201
BÖLÜM ONİKİ – SONUÇLAR.....		
211		
KAYNAKLAR.....		
216		
EKLER.....		
223		

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Düzlemsel çerçeve yapılar, yükleri ile birlikte aynı düzlem içinde olan taşıyıcı sistem oluşturan çubuklardan meydana gelmektedir. Düzlem yapıların statik analizi, etkisi altında kaldıkları yüklerin durağan olduğu veya çok yavaş hareket ettiği ve fakat bu yüklerin büyüklerinin zamandan bağımsız olarak her zaman sabit kaldığı kabulü ile, statik denge ilkelerini ve zamandan bağımsız deformasyon-uygunluk koşullarını içermektedir.

Bir çok yapının yapısal analizi statik analiz kategorisine girmesine karşın, aniden uygulanan veya büyüklüğü zamanla hızlı değişen dinamik zorlamalar etkisindeki taşıyıcı sistemler de bulunmaktadır. Bu sistemlerin analizinde dinamik denge ilkeleri ve zamana bağlı deformasyon-uygunluk koşulları geçerlidir; bu nedenle bu tür sistemlere dinamik sistem adı verilir.

Tüm yapılar zamana bağlı yükler veya deplasmanlar etkisinde kaldıklarında dinamik titreşim hareketi yaparlar. Statik yüklere ek olarak ortaya çıkan eylemsizlik kuvvetleri, Newton'un II. Yasasına göre, kütle ile ivmenin çarpımına eşittir. Yükler veya deplasmanlar çok yavaş etkiyorsa eylemsizlik kuvvetleri ihmal edilebilir ve statik yük analizi yapılabilir.

Yapıların hesap modeli, sürekli hesap modeli olarak düşünüldüğünde sonsuz sayıda deplasmana sahiptir. Bu nedenle, bir yapı analizinin en kritik aşaması, gerçek yapı davranışını modelleyecek uygun bir hesap modeli kurmaktır. Yapı sisteminin, düğümlerde topaklanan kütleleri ve rijitlik özellikleri belirli kabuller altında gerçeğe yakın olarak belirlenebilir. Ancak bu yapı deprem etkisinde ise, sisteme etkiyen dinamik yüklemeyi belirli bir fonksiyon ile tanımlamak oldukça güçtür.

Deprem mühendisliğinde, taşıyıcı sistemlerinin iç kuvvetleri ve deplasmanlarının hesabı için tepki spektrumu metodunu kullanmak büyük hesap kolaylıkları sağlamakta olup yaygın şekilde kullanılır. Bu yaygınlığın diğer bir sebebi de deprem yüklemesini belirtmek için tasarımcıya gerçek ve basit bir yaklaşım sağlamasıdır.

Bir taşıyıcı sistemin dinamik denkleminin kesin çözümü, şayet dinamik zorlama, zamana bağlı olarak değişiyorsa veya sistem davranışı doğrusal değil ise mümkün değildir. Bu tip problemlerde, diferansiyel dinamik tepki denklemi zaman-adımlı sayısal metotlar ile çözülebilir. Merkezi farklar, sonlu farklar, Newmark- β , Wilson- θ bu metotlardan en yaygın olarak kullanılanlarıdır.

Taşıyıcı elemanlarının bağlantı noktalarının, yapının güçlü yer ivmelerine karşın gösterdiği tepki davranışı üzerindeki etkisi olduğu yadsınamaz. Bu nedenle, çerçevelerin zemin ile bağlantı noktalarını gerçek yapısal davranışı, çok iyi temsil edecek şekilde modellenmesi önem kazanmaktadır.

Ülkemizin hemen hemen tamamı aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu neden ile ülkemizde yapı üretimi ve tasarımı çalışmalarında deprem mühendisliği çalışmaları önem kazanmaktadır. Ülkemizde kullanılan ve 1997 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte (ABYYHY) olduğu gibi pek çok deprem yönetmeliğinde, yapıların deprem etkilerine göre tasarımında kullanılan doğrusal tasarım ivme spektrumları yer almaktadır. Yapının inşa edildiği zemin parametrelerine, yapının kullanım amacına, davranışına bağlı olarak yönetmeliklerdeki tasarım ivme spektrumları kullanılarak, yapıya etkimesi olası yükler hesaplanabilmektedir. Yönetmeliklere göre hesaplanmış olan, yapıya etkimesi olası yatay yüklerin güvenilirliği, tasarım ivme spektrumuna bağlı kalmaktadır. Öte yandan, güçlü yer ivmeleri altında yapıların deplasmanlarının kısıtlandığı, deplasman esaslı deprem yönetmelikleri de son zamanlarda ön plana çıkmaktadır.

Çalışmada, zemine bağlı düğüm noktalarının yarı-rijit davranışı ve taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan malzeme davranışı dikkate alınarak deplasman tepki spektrumlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çok katlı yapıların zemine bağlandığı noktalar, zemin parametrelerine bağlı olarak dönmeye ve ötelenmeye karşı doğrusal elastik yaylar ile modellenmiştir.

Yapıda kullanılan malzeme davranışının doğrusal olmadığı varsayılarak, önceden belirlenen akma oranlarına bağlı olarak zemine yarı-rijit bağlı taşıyıcı sistemin tepki spektrumlarını hesaplayan bir hesap algoritması oluşturulmuştur.

Zemine yarı-rijit bağlı, malzeme davranışı doğrusal olmayan taşıyıcı sistemin tepki spektrumları, 18 Mayıs 1940 El-Centro depremi ve ülkemizde 17 Ağustos 1999 gününde oluşmuş İzmit depreminin güçlü yer ivme kayıtları kullanılarak hesaplanmıştır.

1.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Bir çok araştırmacı, düzlem çerçevelerin kolon-kiriş birleşim noktalarının yarı-rijit davranışını incelemiş ve yaylar ile modellenen bu birleşimlerin çerçevenin statik ve dinamik analizi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır (Sekulovic, Salatic ve Nefovska, 2002; Xu ve Zhang, 2001; Awkar ve Lui, 1999; Gross, 1998; Chui ve Chan, 1997; Lui ve Lopes, 1997; Chui ve Chan, 1996; Tin-Loi ve Vimonsatit, 1996; Suarez, Singh ve Matheu 1995; Yardımoğlu ve Çatal, 1995; Chan ve Ho, 1994).

Ayrıca literatürde, topaklanmış kütleli kirişlerin titreşimi (Maurizi ve Belles, 1991; Chai ve Low, 1993; Low, 1994), topaklanmış kütleli konsol kirişlerin titreşimi (Maurizi ve Belles, 1992; Low, Lim ve Chai, 1993; Gürgöze, Özgür ve Erol, 1995), elastik mesnetli ve topaklanmış kütleli kirişlerin titreşimi (Goel, 1976; Bapat, 1987), elastik mesnetli ve topaklanmış kütleli konsol kirişlerin titreşimi (Laura, Maurizi ve Pambo, 1975; DeRosa, Franciosi ve Maurizi, 1996) ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur.

Ayrık parametrelili olarak modellenen, kolonlarının yayılı kütlesi ve deformasyonları dikkate alınmayan çerçeve sistemlerin dinamik analizine literatürde sık rastlanmaktadır. Rodriguez ve Montes, zemin-yapı etkileşiminin, bina-temel sistemlerinin doğrusal olmayan sismik tepkisi ve hasarı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çok katlı binanın sismik davranışını analiz etmek için tek serbestlik dereceli (TSD) bir model kullanmışlardır. Model, ötelenme ve dönme yayı ile zemine yarı-rijit bağlı TSD ayrık parametrelili bir sistemdir (Rodriguez ve Montes, 2000). Bielak, bina-temel sisteminin kararlı sinüzoidal zorlamaya olan tepkisinin doğrusal olmayan analizini araştırmıştır. Zemini doğrusal visko-elastik ortam olarak, binayı ise ikili-doğrusal kuvvet-deformasyon ilişkisine sahip TSD bir osilatör olarak modellemiştir (Bielak, 1978). Wu , Wang ve Lin, zemin-yapı etkileşiminin ve burulmanın asimetrik binalar üzerindeki birleşik etkilerini incelemek için modal analize dayanan etkili bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu amaçla, homojen elastik zemin üzerindeki tek katlı bir bina modeli kurmuşlardır (Wu, Wang ve Lin, 2001). Sivakumaran & Balendra, fleksibil temel üzerine oturan 3-boyutlu asimetrik çok katlı binaların sismik analizi için bir yöntem önermişlerdir. Ele aldıkları bina-temel sistemi için, doğrusal-elastik bir zemin üzerine oturan rijit mesnetli doğrusal-elastik n-katlı asimetrik bir bina modeli kurmuşlardır. Analizlerinde $P-\Delta$ etkisini de dikkate almışlardır (Sivakumaran ve Balendra, 1994). Bhattachaya ve Dutta, zemin-yapı etkileşiminin, çerçevelerin yanal doğal periyotları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Farklı zemin koşulları, kat adedi, açıklık adedi, kolonların eğilme rijitliğinin kiriş rijitliklerine oranı ve yer zorlamasının frekansı gibi birçok parametrenin değişimini dikkate almışlardır. Binaları rijit ve elastik mesnetli olarak iki şekilde modellemiştir (Bhattachaya ve Dutta, 2004). Aviles ve Perez-Rocha, akma sistemlerinde zemin-yapı etkileşiminin etkisini çalışmışlardır. Daha önce doğrusal davranan sistemler için elde edilmiş etkileşim parametreleri, yapının doğrusal olmayan davranışını da içerecek şekilde geliştirilmiştir (Aviles ve Perez-Rocha, 2003). Takewaki, dinamik zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak bir kayma bina modeli için yeni bir süneklik tasarım yöntemi önermiştir. Kayma yapısı modeli olarak, dönme ve ötelenme yayları ile zemine yarı-rijit bağlı ayrık parametrelili toplu kütleli çerçeve modelini kullanmıştır (Takewaki, 1998). Hjelmstad ve Williamson, TSD olarak modellenen ve yer hareketi etkisindeki doğrusal olmayan sistemlerin

dinamik stabilitesini incelemişlerdir (Hjelmstad ve Williamson, 1998). Halabian, El Naggar ve Vickery, temel rijitliğinin, doğrusal olmayan betonarme kulelerin yer sarsıntısına olan tepkisine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, zemin-yapı sistemi için zemine ötelenme ve dönme yayları ile bağlı ayırık parametrelili bir model kullanmışlardır. Betonun kırılmasını ve donatının akmasını dikkate alan doğrusal olmayan bir model kabul etmişlerdir. Zemin-betonarme kule sisteminin doğrusal olmayan tepki spektrumunu elde etmek için itirme analizi tekniğini kullanan ve yalancı-dinamik analiz adı verilen bir yöntem sunmuşlardır (Halabian, El Naggar ve Vickery, 2002). Stewart ve Fenves, zemin-yapı etkileşiminin binalardaki etkilerini değerlendirmek için parametrik sistem tanımlamasını kullanmışlardır. Temel rijitliğinin farklı durumları için, doğal moda ait parametreler olan titreşim periyodunu ve sönüm oranını incelemişlerdir (Stewart ve Fenves, 1998).

Yayıllı parametrelili modellenen sistemlerin sismik analizi de birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Michaltsos ve Ermopoulos, bu doktora çalışmasında tek katlı çerçeveler için kullanılan hesap modelinin serbest ve zorlanmış titreşimini, kolonun kayma deformasyonunun ve dönme ataletini dikkate almadan, Bernoulli-Euler modeli ile incelemişlerdir (Michaltsos ve Ermopoulos, 2001). Zorlanma fonksiyonunu mesnet deplasmanı olarak ele almışlardır. Dönme yay katsayısı için doğrusal olmayan bir ilişki kullanmışlardır. F_u , değişken sismik zorlama etkisindeki elastik mesnetli konsol kirişlerin rasgele (random) titreşim analizini yapmıştır (Fu, 1998). Üst ucunda topaklanmış kütle bulunan elastik mesnetli konsol kolon modelini köprü kolonları için kullanmışlardır. Glabisz, statik yükleme etkisindeki, sadece ötelenmeye karşı elastik mesnetli, sürekli ve doğrusal çubukların titreşimini ve stabilitesini incelemiştir (Glabisz, 1999). Güler, zemin fleksibilitesinin kule tipi yapıların serbest titreşimi üzerindeki etkisini Bernoulli-Euler modeliyle araştırmıştır (Güler, 1996). Bu amaçla, sürekli kütleli elastik mesnetli ve topaklanmış kütleli kolon modelini kullanmıştır.

Yapıların dinamik analizi ve tepki spektrumu kavramı birçok çalışmaya konu olmuştur. Iwan, doğrusal olmayan tepki deplasmanı spektrumunu tanımlamak için bazı sık kullanılan yöntemlerin doğruluk derecesini araştırmıştır ve çeşitli TSD yapı

modellerinin tepkilerinin gözlemlerine dayanan yeni bir ampirik yöntem sunmuş, doğrusal periyot ve sönüm parametrelerini sünekliğin bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır (Iwan, 1980). Cruz ve Chopra, bir binanın maksimum tepkisini doğrudan doğruya olarak deprem tasarım spektrumdan tahmin etmek için tepki spektrumunu analiz yönteminin geçerliliğini incelemişler ve binaların ön tasarımı için uygun olan daha basit analiz yöntemleri geliştirmişler, tepki spektrum analizinin, tasarım uygulamaları için yeterli doğrulukta sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır (Cruz ve Chopra, 1985). Baron ve Venkatesan, çeşitli yük geçmişi etkisindeki yapıların doğrusal olmayan davranışlarını inceleyen genel ve etkili iki yöntem sunmuşlardır (Baron ve Venkatesan, 1969). Mcniven ve Matzen, tek katlı çelik bir çerçevenin deprem yüküne göstereceği doğrusal olmayan tepkiyi tahmin edecek bir matematiksel modeli formüleştirmek için deney dataları kullanmışlardır. Mcniven ve Matzen'in çalışmalarında model, doğrusal viskoz sönümlü ikinci mertebe doğrusal olmayan diferansiyel denklem biçimindedir (Mcniven ve Matzen, 1978). Pal, Dasaka ve Jain, viskoz sönümlü TSD sistemlerin iki gerçek ve üç yapay deprem verisi için akma deplasmanı, sabit dayanım, sabit süneklik, indirgeme faktörü, doğrusal olmayan ivme ve doğrusal olmayan akma deplasmanı spektrumlarını modelin elasto-plastik, ikili doğrusal ve azalan rijitlik davranışlarına göre incelemişlerdir (Pal, Dasaka ve Jain, 1987). Housner, tek ve çok dereceli yapıların deprem etkisindeki davranışlarını, maksimum deplasman, hız ve ivmeler için etki diyagramları olan tepki spektrum eğrileri ile tanımlamıştır.

1.3 Amaç ve Kapsam

Çerçeve kolonlarının zemine rijit yada mafsallı olarak bağlandıkları modellere pratikte çok sık rastlanır. Ancak gerçek bağlantı noktasının davranışı zemin parametrelerine ve çerçevenin güçlü yer ivmeleri altındaki davranışına bağlı olarak bu iki sınır durum arasındadır ve kolonun zemine yarı-rijit olarak bağlandığı model yapısal davranışa daha uygundur.

Çalışmada, zemin parametrelerine bağlı olarak zemine yarı-rijit bağlanmış olan çok katlı, çok açıklıklı çerçevelerin doğrusal olmayan davranışlarının tepki spektrumlarının hesaplanma yöntemleri araştırılmıştır.

Zemin parametrelerine bağlı olarak çok katlı, çok açıklıklı çerçevelerin zemine bağlandığı noktalar rijit ya da yarı-rijit kabul edilmektedir. Bu noktaların, yapı-zemin etkileşimine bağlı olarak yarı-rijit davrandığının kabul edildiği hesap modelleri, gerçek davranışa daha uygundur.

Doğrusal davranış göstermeyen yapıların güçlü yer ivmeleri altında davranışını temsil eden tepki spektrumları, depreme güvenli yapıların projelendirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Çalışmada, zemine yarı-rijit bağlanmış çerçevelerin bu düğüm noktaları dönmeye ve ötelenmeye karşı doğrusal-elastik yaylar ile modellenmiş ve çerçevenin hareket denklemi ikinci mertebe teorisine göre elde edilmiş böylece geometri non-lineerliği dikkate alınarak, sismik analizin yapılması ve tepki spektrumlarının hesaplanması amaçlanmıştır.

1.4 Kabuller

Çalışma kapsamında, hesaplamaları kolaylaştırıcı, aşağıda belirtilen kabuller yapılmıştır:

1. Aksenal kuvvet sabittir.
2. Yarı-rijit mesnet, ötelenmeye ve dönmeye karşı doğrusal-elastik yaylar ile modellenmiştir.
3. Kat seviyelerinde topaklanmış kütlelerin dönme eylemsizliği dikkate alınmıştır.
4. İkinci mertebe teorisi geçerlidir.
5. Malzeme doğrusal olmayan davranış göstermektedir.
6. Sönüm ihmal edilmiştir.

1.5 Temel Yaklaşımlar

Çalışmada kullanılan sürekli sistemler, genelleştirilmiş tek serbestlik dereceli (TSD) sistemler, doğrusal olmayan analiz, tepki spektrumu ve sayısal yöntemler için genel bilgiler aşağıda sunulmuştur.

1.5.1 Dinamik Analizin Temel İlkeleri

Sisteme etkiyen kuvvetler zamanın bir fonksiyonu ise problem, ivmelenen kütlelerin eylemsizliğinin dikkate alındığı dinamik problem haline gelir. Zamana bağlı kuvvetlerin etkidiği bir yapıda asıl problem, çözümü yapının kuvvetlere tepkisini veren diferansiyel hareket denklemini kurmaktır.

Sönümün ihmal edildiği taşıyıcı sistem, enerjisi itibarı ile korunumludur; yani, oluşan deplasmanlar doğrultusunda etkiyen dış kuvvetlerin yaptığı iş, deforme olmuş yapıda potansiyel yada şekil değiştirme enerjisi olarak saklanır. Bu sebeple, şekil değiştirme enerjisi bu kuvvetlerin yaptığı işin hesaplanması ile tanımlanabilir.

Sönümün ihmal edildiği ve serbest titreşim etkisindeki taşıyıcı sisteme salınımını durduracak bir dış kuvvet uygulanmazsa, titreşim sonsuz bir zaman periyodu için devam edebilir. Bu olay sadece teoride mümkündür. Ancak birçok yapı ve yapı malzemesi pratikte küçük miktarda iç sönüme sahiptir ve serbest titreşimler sadece genlikte meydana gelen kademeli azalmalar ile çok uzun zaman periyotları için devam eder. İdeal bir yapının serbest titreşim karakteri kütle dağılımına, yük-deplasman özelliklerine ve başlangıç koşullarına bağlıdır.

Doğal modda, yapıdaki her bir nokta statik bir denge pozisyonu etrafında harmonik hareket gerçekleştirir. Böylece, salınım frekansı her noktada aynıdır ve bu frekans yapının o moddaki doğal frekansıdır. Bu sebeple doğal mod, her noktanın hareketinin harmonik olduğu ve titreşimin o moda ait belli bir doğal frekansa sahip olduğu, sistemin şekil değiştirmiş halinin bir gösterimidir.

Elastik bir yapı birçok moda sahip olabilir. Gerçekte, yayılı özelliklere sahip bir yapı teoride sonsuz sayıda moda sahiptir ve her mod diğerlerinden ayrıdır ve frekansı da diğer modların frekanslarından farklıdır. Ayrık olarak modellenen ideal bir yapı için tanımlanabilecek mod sayısı yapının serbestlik derecesi sayısına eşittir.

Modlar ve frekanslar hakkında bilgiler, yapının herhangi bir zorlama altındaki dinamik tepkisinin anlaşılmasına temel teşkil eder. Modlar, en düşük frekansa sahip olanla başlayacak şekilde sırayla numaralandırılır ($\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots < \omega_n$).

1.5.2 Sürekli Sistemler

Taşıyıcı sistemin deplasman ve kuvvetlerini tanımlamak amacı ile koordinat sistemi kullanılır. Koordinat sisteminin seçimi yapının geometrisine, mesnetlerin şekline ve konumuna, kuvvetlerin dağılımına ve deplasmanlar ile ilgili gerekli bilgiye bağlıdır.

Yapı dinamiği problemlerinde iki tür koordinattan bahsedilebilir (Hurty & Rubinstein, 1964):

Ayrık koordinatlar olarak bilinen sistemde deplasmanlar ve kuvvetler, belirli yönlere sahip bileşenlere bağlı olarak ayrık noktalar kümesinde tanımlanır.

Yayılı koordinat sisteminde ise koordinatlar, yayılı parametrelerin büyüklüklerini tanımlar. Bu koordinat sistemi genellikle, özellikleri sürekli olarak yayılı yapılara ve kuvvetlerin yayılı olduğu problemlere uygulanır. Ancak bu sistem, ayrık yapı sistemleri ve kuvvetleri için de kullanılabilir.

Birçok yapı topaklanmış kütleli sistemler ile modellenmesine rağmen gerçekte tüm yapılar, sonsuz derecede çok sayıda parçadan oluşan ve bu parçaların hareketlerini tanımlamak için sonsuz sayıda koordinat sayısı gereken yayılı kütleli sistemler olup sonsuz sayıda serbestlik dereceleri vardır ve hareketleri tekrarlı ise sonsuz sayıda frekansa ve moda sahiptirler.

Denge durumu etrafında küçük titreşimler durumunda yayılı kütleli sistemin hareketi, aynı frekans ve fazda hareket eden sistemin tüm parçaları için ortak olan ve her biri basit harmonik olan, sonsuz sayıda periyodik hareketin bir toplamı olarak ele alınabilir. Bu yüzden sürekli bir sistemin tümü için bir diferansiyel denklem yazılır. Sistemin dinamik yer değiştirme denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$u(x, t) = \sum X(x) \cdot T(t) \quad (1.1)$$

Burada $u(x, t)$, x konumundaki ve t anındaki toplam deplasmanı; $X(x)$, şekil fonksiyonunu; $T(t)$, zaman fonksiyonunu göstermektedir.

$$\frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} + \frac{m}{EI} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = p(t) \quad (1.2)$$

denklemi sadece eğilme deformasyonunun dikkate alındığı birinci mertebeli deformasyon teorisi kabulüyle sınır koşullarından bağımsız olarak elde edilmiştir (Tuma & Cheng, 1983). Burada m , sürekli sistemin birim boya yayılı kütlelerini; E , malzemenin elastisite modülünü; I , alan atalet momentini; EI , eğilme rijitliğini göstermektedir. Mühendislik sistemlerinin çoğunda ikinci mertebeli etkiler çok küçük ve ihmal edilebilir seviyede olmasına rağmen, bazı durumlarda bu etkiler kayda değer değerlere ulaşırlar ve analizde dikkate alınmaları gerekir.

Kayma ve dönme eylemsizliği etkileri beraber dikkate alındığında genel bir durum ortaya çıkar. Bu modele Timoshenko modeli adı verilir ve Timoshenko çubuğunun serbest titreşim denklemi aşağıdaki gibi yazılır (Chopra, 1995).

$$\frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} - \left(\frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m \cdot I}{EI \cdot A} \right) \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{m}{EI} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} + \frac{m^2 \cdot I \cdot k}{EI \cdot A \cdot AG} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1.3)$$

Burada A , çubuğun en kesit alanını; G , malzemenin kayma modülünü; AG , sistemin kayma rijitliğini; k , çubuğun en kesit formuna bağlı nümerik çarpanı göstermektedir.

Eksenel basınç kuvvetine maruz Timoshenko çubuğunda, denge denklemleri ikinci mertebe teorisine göre yazılır ve eksenel kuvvetin P- δ etkisi de dikkate alınırsa serbest titreşim hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} + \frac{N}{EI} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} - \left(\frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m \cdot I}{EI \cdot A} \right) \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{m}{EI} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} + \frac{m^2 \cdot I \cdot k}{EI \cdot A \cdot AG} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1.4)$$

Burada N, sisteme etkileyen ve sabit kaldığı kabul edilen eksenel basınç kuvvetini göstermektedir. Timoshenko çubuğu için dinamik yer değiştirme denklemi

$$u(x, t) = \sum X_p(x) \cdot T_p(t) \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada X_p , p. modun şekil fonksiyonunu; T_p , zaman fonksiyonunu göstermektedir.

1.5.3 Genelleştirilmiş TSD Sistemler

Ayrık parametrelili sistemlerde TSD hareket denklemini ve tepki analizini işlemlerini formüle ederken, ilgili yapının tek bir topaklanmış kütleyle sahip olduğu ve sadece tek bir yönde hareket edecek şekilde kısıtlandığı varsayılmıştır. Bu durumda sistemin sadece tek bir serbestlik derecesine sahip olduğu ve tepkinin bu tek deplasman ile ifade edildiği açıktır.

Ancak, birçok gerçek sistem genelleştirilmiş TSD kapsamında ele alındığında, bu sistemlerin dinamik analizi daha karmaşık idealleştirmeleri gerektirmektedir. Bu kapsamda sistemler yayılı rijitliğe sahip olup, deformasyonlar yapı boyunca süreklidir ve bu süreklilik gerçekte sonsuz değişik deplasman şeklinin oluşmasına izin verir. Bu nedenle, sistem, tek bir deplasman şekline sahip olduğu kabul edilirse, matematiksel açıdan sadece bir serbestlik derecesine sahip olacaktır ve yapı TSD bir

sistem gibi davranmaya zorlanacaktır. Böylece, genelleştirilmiş TSD sistem haline dönüşmüş sürekli sistemin hareket fonksiyonu için aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$u(x, t) = X(x) \cdot Z(t) \quad (1.6)$$

Burada $X(x)$, şekil fonksiyonunu; $Z(t)$, hareketin zemine göre bağlı genliğini gösteren genelleştirilmiş koordinatı göstermektedir.

(n) serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi, toplam kinetik enerji, toplam potansiyel enerji ve toplam dış kuvvet enerjisi bağıntılarına bağlı olarak aşağıda verilen Lagrange denklemi kullanılarak genelleştirilmiş koordinata göre elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{Z}_n} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial Z_n} + \frac{\partial E_p}{\partial Z_n} = \frac{\partial E_g}{\partial Z_n} \quad (1.7)$$

Burada E_k , genelleştirilmiş koordinat $Z(t)$ 'nin zamana göre birinci türevinin fonksiyonu olan, toplam kinetik enerjiyi; E_p , genelleştirilmiş koordinat $Z(t)$ 'nin fonksiyonu olan toplam potansiyel enerjiyi; E_g , genelleştirilmiş koordinat $Z(t)$ 'nin fonksiyonu olan toplam dış yükleme enerjisini göstermektedir.

Sistemin enerji ifadeleri (1.7) Lagrange denkleminde yerlerine konursa, hareket denklemi aşağıdaki biçimde elde edilir.

$$m^* \cdot \ddot{Z}(t) + k^* \cdot Z(t) = p^*(t) \quad (1.8)$$

Burada m^* , genelleştirilmiş kütle, k^* , genelleştirilmiş rijitliği ve p^* , genelleştirilmiş kuvveti, $\ddot{Z}(t)$, genelleştirilmiş koordinatın zaman göre ikinci türevi olan ivmeyi göstermektedir.

Hareket denklemi daha önce (1.4) denklemindeki gibi kısmi diferansiyel denklem olarak verilen genelleştirilmiş tek serbestlik dereceli sistemin hareketi (1.8) de

verilen adi diferansiyel denklem ile ifade edilir. Bu denklem ayrık parametrelili tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denkleminde benzerdir. Bu sebeple, (1.8) denklemi Newmark- β , doğrusal-ivme, sabit-ivme gibi sayısal yöntemlerden birisi kullanılarak çözülebilir.

1.5.4 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

Birçok inşaat mühendisliği yapısı servis yükleri altında doğrusal elastik davranır. Kemerler, yüksek binalar ve bazı süspansiyon sistemleri gibi narin yapılar ve bölgesel akmaya veya kırılmaya erken maruz yapılar bu durum haricinde kalan yapılardır. Direnç sınırlarına ulaşmadan önce hemen hemen bütün yapılar doğrusal olmayan tepki gösterirler.

Yapısal analiz, verilen yükler altında taşıyıcı sistemin kuvvetlerinin ve deformasyonların tanımlanması, dış etkiler altındaki taşıyıcı elemanın boyutlandırılması ve taşıyıcı sistemin seçilmesi kavramlarını kapsar.

Taşıyıcı sistemlerinin analizi dört farklı şekilde olabilir:

I. merteye elastik analizde, malzemenin akmadığı ve özelliklerinin değişmediği kabul edilir. Denge denklemleri, şekil değiştirmemiş eleman üzerinden yazılır.

II. merteye elastik analizde, denge denklemleri formüle edilirken yapı malzemesi hala elastik olarak alınır. Ancak denge denklemlerine deformasyonların ve sonlu deplasmanların etkisi katılır. II. merteye elastik analiz, ($P-\Delta$ etkisi gibi) stabiliteyi bozan etkileri ifade eder, ama malzeme yönünden doğrusal olmayan davranışı inceleyen bir görüş ortaya koymaz.

I. merteye doğrusal olmayan analizde, malzeme doğrusal-elastik davranmamaktadır. Yük altında eleman malzeme özelliklerindeki değişimlerin etkileri dikkate alınır. Denge denklemleri şekil değiştirmemiş elemanın geometrisi üzerinden yazılır. I. merteye doğrusal olmayan analiz basit elastik-plastik davranışı

ve mekanizma oluşmasına yol açan kırılmayı ifade eder. Ancak geometri yönünden doğrusal olmayan davranışın etkilerini inceleyen bir görüş ortaya koymaz.

II. mertebe doğrusal olmayan analizde, hem geometri hem de malzeme yönünden doğrusal olmayan davranış dikkate alınır. Denge denklemleri şekil değiştirmiş sistemin geometrisi üzerinden yazılır. Bir yapının tepkisini etkileyen geometrik, elastik ve malzeme faktörlerinin tümünü içermeye potansiyeline sahiptir. Böylece, gerçek davranışı modelleyebilen ve doğrusal olmayan stabilite limitini hesaplayabilen analitik modellerin hazırlanmasını mümkün kılar.

Bu çalışmada, tek serbestlik dereceli veya çok serbestlik dereceli çerçevelerin güçlü yer ivmesi altında serbest veya zorlanmış titreşim analizi, malzeme ve geometri yönünden doğrusal olmayan durum için gerçekleştirilmiş; yani II. mertebe doğrusal olmayan analiz dikkate alınmıştır.

1.5.5 Doğrusal Olmayan Yapısal Tepkinin Sayısal Çözümü

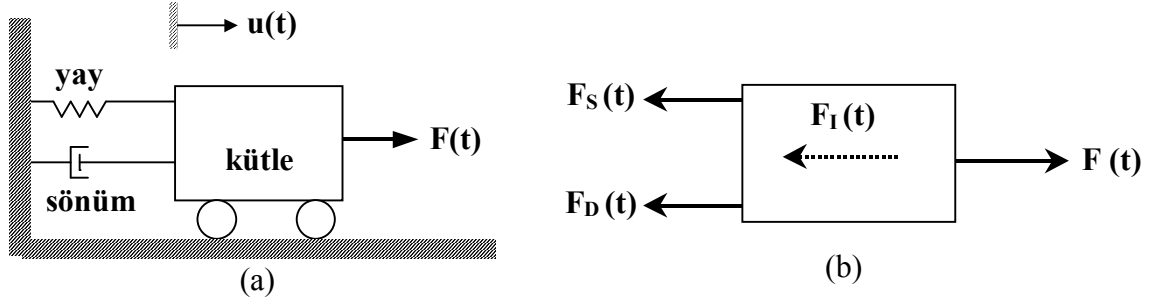
TSD sistemlerin dinamik davranışı tartışılırken, yapıyı ifade eden modelde direnç kuvvetinin deplasmanla, sönüm kuvvetinin ise hızla orantılı olduğu kabul edilmiştir. Ek olarak, modeldeki kütlelerin zamanla değişmediği düşünülmüştür. Böylece TSD bir sistemin hareket denklemi sabit katsayılı doğrusal ikinci derece diferansiyel denklem olarak aşağıdaki gibi yazılır:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F(t) \quad (1.9)$$

Burada m , c ve k , TSD sistemin sırasıyla, kütlelerini, viskoz sönüm katsayısını ve rijitliğini; u , \dot{u} ve \ddot{u} , sistemin sırasıyla, tepki deplasmanını, tepki hızını ve tepki ivmesini; $F(t)$, dinamik zorlama fonksiyonunu göstermektedir.

Özel zorlama fonksiyonları için (1.9) denklemini çözmek kolaydır ve Duhamel integrali ile ifade edilebilen genel bir çözüm her zaman mevcuttur.

Ancak, bu doğrusal modelin, yapının dinamik karakteristiklerini tam olarak ifade etmediği fiziksel durumlar da vardır. Bu gibi durumlarda analiz, yay kuvvetinin veya sönüm kuvvetinin sırasıyla deplasmanla veya hızla orantılı kalamadığı bir modelin varlığını gerektirir. Bu durumda sistemin hareket denklemi artık doğrusal değildir.



Şekil 1.1 a. TSD sistemin fiziksel kütle-yay modeli b. TSD sistemin serbest cisim diyagramı

Şekil 1.1'deki sistemde dinamik denge $F_I(t)$ atalet kuvvetinin, $F_D(t)$ sönüm kuvvetinin, $F_S(t)$ yay kuvvetinin ve $F(t)$ dinamik dış kuvvetin toplamını sıfıra eşitlenerek aşağıdaki gibi kurulur.

$$F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) = F(t) \quad (1.10)$$

- Kütlenin sabit olduğu : $F_I(t) = m \cdot \ddot{u}$,
- Sönüm kuvvetinin hız ve sabit sönüm katsayısı ile orantılı olduğu:
 $F_D(t) = c \cdot \dot{u}$
- Direnç veya yay kuvvetinin deplasmanın bir fonksiyonu olduğu:
 $F_S(t) = F_S(u)$

durum ele alınırsa, (1.10) denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + F_S(u) = F(t) \quad (1.11)$$

Doğrusal olmayan (1.11) hareket denkleminin çözümü için etkili metotlardan birisi adım-adım integrasyon metodudur. Bu metot da tepki parametreleri, ardışık

(Δt) zaman artımlarında bulunur. Her aralık başlangıcında dinamik denge şartı kurulur. Sonra, deplasmana bağlı rijitlik $k(u)$ ve hıza bağlı sönüm $c(\dot{u})$ katsayılarının (Δt) aralığı boyunca sabit kaldığı temeline bağlı olarak (Δt) zaman artımı için tepki hesaplanır. Bu katsayıların doğrusal olmayan karakteristikleri, her bir zaman artımının başlangıcında yeniden hesaplanmalarıyla analize dahil edilir. Zaman aralığının sonunda hesaplanan deplasman ve hız, bir sonraki adım için başlangıç şartları olarak kullanılarak tepki elde edilir.

Sabit ivme ve doğrusal ivme yöntemleri, en sık kullanılan adım-adım integrasyon yöntemleridir. Sabit ivme yönteminde ivmenin (Δt) zaman aralığı boyunca sabit kaldığı kabul edilirken, doğrusal ivme yönteminde ise, ivmenin aralık boyunca doğrusal olarak değiştiği kabul edilir. Doğrusal ivme yöntemi, sabit ivme yöntemiyle kıyaslandığında, daha zordur ancak daha doğru sonuçlar verir (Paz, 1997).

1.5.6 Tepki Spektrumu

Spektrum kavramı en genel şekilde, karmaşık bir birleşimi basit bileşenlerine ayırıştırıp, bu bileşenleri belirli bir niteliğe göre küçükten büyüğe doğru sıralamak, olarak tanımlanabilir. İstatistik ve olasılık hesabında geçen yineleme sayısı dağılışı veya olasılık yoğunluğu dağılışı bu anlamda bir çeşit spektrumdur (Ohsaki, 1991).

Tepki spektrumu kavramı literatürde, osilatörlerin geçici zorlamalara verdikleri tepkinin incelenmesiyle birlikte ortaya çıkmıştır. Yapı mühendisliğinde konuya artan ilgi, özellikle patlamaya ve şoka bağlı yer hareketinden ve deprem yer hareketleri nedeni ile ortaya çıkan tesirlerin incelenmesi çalışmalarlarıyla birlikte İkinci Dünya Savaşı sırasında ve hemen sonrasında ortaya çıkmıştır (Newmark & Hall, 1987).

Tepki spektrumu yaklaşımı son yirmi yıldır mühendislik uygulamalarında kullanım alanı bulmuştur. Bu gelişmede aşağıda sunulan üç ana etken ön plana çıkmaktadır.

- tepkinin teorisi ve temeli tam olarak daha fazla anlaşılmıştır,
- teori, anlama ve kullanım yönünden basittir,
- nükleer güç istasyonları gibi önemli sistemlerin tasarımı için gerekli ileri analiz teknikleri ve bina yönetmelikleri tarafından böyle basit bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmuştur.

Tepki spektrumu terimi genel olarak, tek serbestlik dereceli sönümlü bir sistemin zemininin belirli bir deprem ile ilişkili zorlamasının ivme-zaman geçmişi için maksimum tepki parametrelerinin (deplasman, hız, ivme gibi) frekans veya periyodun bir fonksiyonu olarak çizimini ifade etmek için kullanılır. Tasarım spektrumu ise tasarımda kullanılan bir çok deprem hareketlerinin ortalamasının düzeltilmiş halini ifade eden benzer bir değişkendir. Bir yapıyı potansiyel bir deprem için tasarlarken tepki spektrumunu kullanmak çok uygundur (Gupta,1992).

Tüm tepki spektrumu eğrileri belli bir bölgedeki depremin özelliklerini ifade ederler ve yapı sisteminin özelliklerinin bir fonksiyonu değillerdir.

Deprem mühendisliğinde tepki spektrumları ile depreme güvenli yapı projelendirilmesi en yaygın kullanılan analiz metodudur. Tepki spektrumları kullanılarak elde edilen analizlerde son yıllarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

Sönümlü, tek serbestlik dereceli, güçlü yer hareketi ile zorlanmış sistemin hareket denklemini aşağıdaki gibi yazılır (Chopra, 1995):

$$m \cdot \ddot{u}(t) + c(t) \cdot \dot{u}(t) + k(t) \cdot u(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (1.12)$$

Burada $\ddot{u}_g(t)$, güçlü yer ivmesini tanımlamaktadır. Denklem (1.12)'de verilen $k(t)$ rijitlik değeri malzemenin doğrusal olmaması halinde, uygulanan kuvvetin şiddetine bağlı olarak, kuvvet ile deplasman arasında zamana bağlı doğrusal olmayan bir oranı ifade etmektedir.

Tek serbestlik dereceli, zemine rijit bağlı olan taşıyıcı sisteme ait (1.12)'de verilen ikinci mertebeden diferansiyel denklemin yaygın olarak merkezi farklar, Newmark- β gibi sayısal çözümler bulunmektedir.

BÖLÜM İKİ

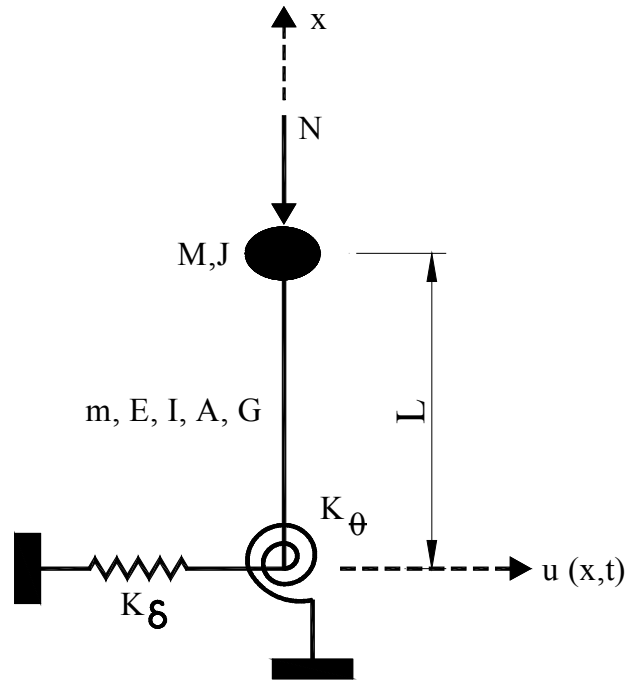
TIMOSHENKO KOLONUNA AİT DİFERANSİYEL DENKLEMİN ELDE EDİLMESİ VE ÇÖZÜMÜ

Birçok yapı türü, topaklanmış kütleli ayrık parametrelili sistem olarak etkili şekilde modellenenlerinden ve bu tür sistemlerin hareketi ile ilgili diferansiyel denklemlerin çözümü için bilgisayar programlamasına elverişli, etkili metotlar mevcut olduğundan yapıların dinamik analizinde çok sık kullanılmaktadır. Ancak, topaklanmış kütleli modelleme, yayılı parametrelere sahip dinamik sistemlerin davranışı hakkında yaklaşık sonuçlar vermektedir.

Sürekli sistem olarak modelleme incelenen sistemin serbestlik derecesini sonsuz kabul edeceğinden, sistemin davranışı hakkında gerçeğe daha yakın bilgi sağlayacaktır. Ancak, sistemlerin bu modelleme ile elde edilen hareket denklemleri, kısmi diferansiyel denklemler olmaktadır. Bu denklemlerin çözümü, ayrık parametrelili sistemlerin hareketini gösteren diferansiyel denklemlerin çözümünden daha zor ve karmaşık olduğundan yapıların sürekli sistem olarak dinamik analizi pratikte sınırlı kalmıştır.

Şekil 2.1'deki gibi modellenen bir çerçevenin sürekli sistem olarak dinamik analizi için gerekli kısmi diferansiyel denklem biçiminde olan hareket denklemi, etkisi dikkate alınacak iç tesirlere göre değişiklik gösterecektir. Kolon için Bernoulli-Euler modeli seçilip sadece eğilme tesirleri dikkate alındığında sistemin serbest titreşim hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

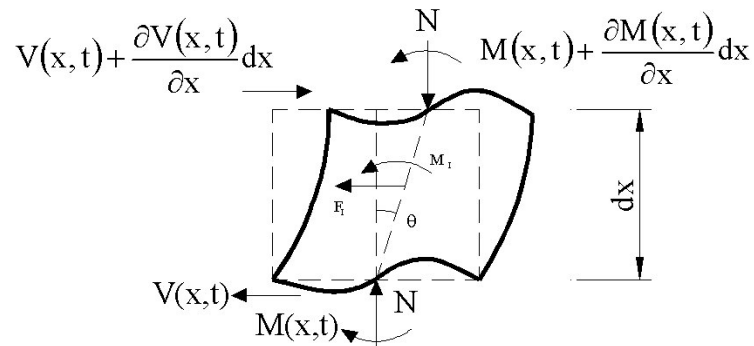
$$\frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} + \frac{m}{EI} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.1)$$



Şekil 2.1 Tek serbestlik dereceli çerçevenin matematiksel hesap modeli

2.1 Eksenel Basıncı Kuvveti Etkisindeki Timoshenko Kolonunun Diferansiyel Hareket Denkleminin Elde Edilmesi

Şekil 2.1’de verilen matematiksel hesap modelinde yayılı kütlesi, eğilme ve kayma deformasyonları, dönme eylemsizliği etkisi dikkate alınan, statik eksenel basınç kuvveti etkisinde ve dinamik bir zorlamaya maruz olmayan kolon üzerinden çıkartılan (dx) uzunluğundaki diferansiyel parçanın iç kuvvetleri ve deformasyonları Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil 2.2 Kolondan çıkartılan diferansiyel parçanın iç kuvvet ve deformasyonları

Burada x ve t sırasıyla, konum ve zaman değişkenlerini; $\theta(x,t)$, kesit dönmesi fonksiyonunu; $M(x,t)$, moment fonksiyonunu; $V(x,t)$, kesme kuvveti fonksiyonunu; F_I , eylemsizlik kuvvetini ve M_I , dönme eylemsizlik momentini göstermektedir. Şekil 2.2'deki diferansiyel parçanın yatay kuvvetler dengesi yazılırsa;

$$V(x, t) - \left(\frac{\partial V(x, t)}{\partial x} dx + V(x, t) \right) + F_I = 0 \quad (2.2)$$

bağıntısı elde edilir

Toplam deplasman fonksiyonu, eğilme ve kayma tesirlerinden ötürü oluşan yer değiştirme fonksiyonlarının toplamı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u(x, t) = u_b(x, t) + u_s(x, t) \quad (2.3)$$

Burada $u_b(x,t)$ ve $u_s(x,t)$ sırasıyla, eğilme ve kayma tesirlerinden ötürü oluşan yer değiştirme fonksiyonlarını göstermektedir. Şekil 2.2'deki diferansiyel parçanın alt kenarına göre momentler dengesi yazılır ve dx^2 ve $\frac{dx}{2}$ terimleri ihmal edilir ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$-M_I - \frac{\partial M(x, t)}{\partial x} dx + V(x, t)dx + N \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} dx = 0 \quad (2.4)$$

Kayma deformasyonu ile dönme eylemsizliğinin birlikte dikkate alındığı sistemde dönme eylemsizliğinin açısız frekanslara ve modlara katkısının çok küçük olduğu bilinmektedir. Bu sebeple dönme eylemsizlik momenti için $u_b(x,t)=u(x,t)$ kabulü yapılabilir (Rogers,1959).

(2.3) ve (2.4) bağıntıları kullanılarak ve gerekli düzenlemeler yapılarak Şekil 2.1'de verilen hesap modelinin titreşim hareketi için aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilir.

$$\underbrace{\frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} + \frac{m}{EI} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2}}_{(1)} + \underbrace{\frac{N}{EI} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2}}_{(2)} - \underbrace{\frac{mk}{AG} \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^2 \partial t^2}}_{(3)} - \underbrace{\frac{mI}{EI \cdot A} \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^2 \partial t^2}}_{(4)} = 0 \quad (2.5)$$

(2.5) numaralı diferansiyel hareket denkleminde (1) terimi, bir boyutlu sürekli sistemlerin eğilme titreşimine ait temel hareket denklemini; (2), (3) ve (4) terimleri hareket denkleminde sırasıyla, aksel kuvvetin, kayma deformasyonunun ve dönme eylemsizliğinin katkısını göstermektedir. Böylece (2.5) numaralı denklem düzenlenirse sürekli kütleli, Timoshenko kolonunun serbest titreşimine ait diferansiyel hareket denkleminin aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} + \frac{N}{EI} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} - \left(\frac{mk}{AG} + \frac{mI}{EI \cdot A} \right) \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{m}{EI} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (2.6)$$

2.2 Aksel Basınç Kuvveti Etkisindeki Timoshenko Kolonunun Diferansiyel Hareket Denkleminin Çözümü

(2.6) numaralı homojen kısmi diferansiyel denklemin çözümü için (2.7) numaralı bağıntıda verilen değişkenlere ayırma yöntemi kullanılmıştır (Karadeniz, 2000).

$$u(x,t) = X(x)T(t) \quad (2.7)$$

Burada $X(x)$ ve $T(t)$ sırasıyla, şekil ve zaman fonksiyonlarını göstermektedir. (2.7) numaralı bağıntının konuma ve zamana göre ardışık türevleri alınır ve (2.6) numaralı diferansiyel denklemde yerlerine konur ise aşağıdaki denklem elde edilir.

$$X^{IV} T + \frac{N}{EI} X^{II} T - \left(\frac{mk}{AG} + \frac{mI}{EI \cdot A} \right) X^{II} \ddot{T} + \frac{m}{EI} X \ddot{T} = 0 \quad (2.8)$$

Burada romen rakamları konuma göre, noktalar ise zamana göre türev mertebelerini göstermektedir. Zaman fonksiyonu için $T(t) = \sin(\omega t)$ formunda bir harmonik

fonksiyon kabul edilir ve bu fonksiyonun zamana göre ardışık türevleri (2.8) numaralı denklemde yerlerine konur ise (2.9) numaralı denklem elde edilir.

$$\left[X^{IV} + \left(\frac{N}{EI} + \frac{mk\omega^2}{AG} + \frac{mI\omega^2}{EI \cdot A} \right) X^{II} - \frac{m\omega^2}{EI} X \right] \sin(\omega t) = 0 \quad (2.9)$$

Burada ω , sistemin açısal frekansıdır. (2.9) numaralı denklemde $\sin(\omega t)=0$ durumu titreşimin olmadığını göstermekte olup belli çözüme karşılık gelmektedir. Bu sebeple, denklemin cebirsel çözümü için $\sin(\omega t) \neq 0$ alınmalıdır. Böylece her iki taraf $\sin(\omega t)$ ile bölünür ve gerekli düzenlemeler yapılır ise aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$X^{IV} + \alpha_5 X^{II} - \alpha_4 X = 0 \quad (2.10)$$

Burada

$$\alpha_5 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3; \quad \alpha_4 = \frac{m\omega^2}{EI}; \quad \alpha_3 = \frac{mI\omega^2}{EI \cdot A}; \quad \alpha_2 = \frac{mk\omega^2}{AG}; \quad \alpha_1 = \frac{N}{EI}$$

göstermektedir.

(2.10) numaralı diferansiyel denklemin çözümü n_1 parametresinin işaretine bağlı olarak iki şekilde elde edilir.

$$X(x) = C_1 \sinh(m_1 x) + C_2 \cosh(m_1 x) + C_3 \sin(m_2 x) + C_4 \cos(m_2 x) \quad n_1 > 0 \quad (2.11)$$

$$X(x) = C_1 \sin(m_1 x) + C_2 \cos(m_1 x) + C_3 \sin(m_2 x) + C_4 \cos(m_2 x) \quad n_1 < 0 \quad (2.12)$$

Burada

$$n_1 > 0 \text{ için } m_1 = \sqrt{n_1}; \quad n_1 < 0 \text{ için } m_1 = \sqrt{|n_1|}; \quad m_2 = \sqrt{|n_2|}$$

$$n_1 = \frac{-\alpha_5 + \sqrt{\Delta}}{2}; \quad n_2 = \frac{-\alpha_5 - \sqrt{\Delta}}{2}; \quad \Delta = \alpha_5^2 + 4\alpha_4$$

ve $C_1...C_4$ integrasyon sabitleridir.

Böylece (2.7), (2.11) ve (2.12) numaralı denklemler kullanılarak sistemin yer değiştirme fonksiyonu $n_1 > 0$ ve $n_1 < 0$ için sırası ile aşağıdaki gibi yazılır.

$$u(x, t) = [C_1 \sinh(m_1 x) + C_2 \cosh(m_1 x) + C_3 \sin(m_2 x) + C_4 \cos(m_2 x)] \sin(\omega t) \quad (2.13)$$

$$u(x, t) = [C_1 \sin(m_1 x) + C_2 \cos(m_1 x) + C_3 \sin(m_2 x) + C_4 \cos(m_2 x)] \sin(\omega t) \quad (2.14)$$

2.3 Kolonun Kesit Dönmesi, Moment ve Kesme Kuvveti Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Kayma deformasyonunun, aksel kuvvetin ve dönme atalet momentinin etkileri dikkate alındığında, basınç kuvveti için Timoshenko kolonunun moment fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M(x, t) = -EI \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} + EI \frac{mk}{AG} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} - Nu(x, t) + \frac{mI}{A} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

$T = \sin(\omega t)$ kabulü ile (2.7) bağıntısının zamana göre ikinci mertebeden türevi

$$\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = X(-\omega^2) \sin(\omega t) = -\omega^2 XT = -\omega^2 u(x, t) \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir. (2.16) bağıntısı (2.15) bağıntısında yerine konursa moment fonksiyonu aşağıdaki hale gelir.

$$M(x, t) = -EI \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} - EI \frac{mk\omega^2}{AG} u(x, t) - Nu(x, t) - \frac{mI\omega^2}{A} u(x, t) \quad (2.17)$$

(2.17) numaralı moment fonksiyonu düzenlenirse

$$M(x, t) = -EI \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} - EI \left[\frac{mk\omega^2}{AG} + \frac{N}{EI} + \frac{mI\omega^2}{EI \cdot A} \right] u(x, t) \quad (2.18)$$

veya

$$M(x, t) = -EI \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} - EI\alpha_5 u(x, t) \quad (2.19)$$

elde edilir. (2.19) bağıntısı kullanılarak kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V(x, t) = -EI \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} - EI\alpha_5 \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (2.20)$$

Kesit dönmesi fonksiyonu, (2.3) numaralı bağıntı kullanılarak toplam deplasman fonksiyonunun konuma göre birinci mertebeden türevinden kayma deformasyonu sonucu oluşan deplasman fonksiyonunun konuma göre birinci mertebeden türevi olan kayma açısı çıkarılarak elde edilir.

$$\theta(x, t) = \frac{\partial u_b(x, t)}{\partial x} = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} - \frac{\partial u_s(x, t)}{\partial x} \quad (2.21)$$

(2.21) bağıntısındaki $u_s(x, t)$ yer değiştirme fonksiyonu yerine kesme kuvvetine bağlı değeri yazılır ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\theta(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} - \frac{k}{AG} V(x, t) \quad (2.22)$$

Kesme kuvvetinin (2.20) numaralı bağıntıdaki değeri (2.22) bağıntısında yerine konur ve gerekli düzenlemeler yapılır ise eksenel basınç kuvveti etkisindeki Timoshenko kolonunun kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\theta(x, t) = \alpha_6 \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} + \alpha_7 \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (2.23)$$

Burada

$$\alpha_6 = \frac{EI \cdot k}{AG}; \quad \alpha_7 = \alpha_6 \alpha_5 + 1$$

göstermektedir.

BÖLÜM ÜÇ
ZEMİNE YARI-RIJİT BAĞLI TEK KATLI ÇERÇEVEYE AİT
HESAP MODELİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

3.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Sınır Şartları

Zemine yarı-rijit bağlantılı tek katlı çerçevenin matematiksel hesap modeli, Şekil 2.1’de verilen, zemine dönmeye ve ötelenmeye karşı elastik yaylar ile bağlı kolon olarak tanımlanabilir. Kolonun üst ucundaki topaklanmış kütle, rijit çalıştığı kabul edilen döşeme ve kirişleri temsil etmektedir. Topaklanmış kütlelerin dönme ataleti de analize dahil edilmiştir. Hesap modelindeki Timoshenko kolonu, eğilme, kayma ve dönme deformasyonları dikkate alınan çerçeve kolonlarının fiziksel özelliklerinin toplamına sahip olarak modellenmiştir.

Zemine yarı-rijit bağlantılı tek katlı çerçevenin (2.6) numaralı dinamik hareket denkleminin çözümü için Şekil 2.1’deki hesap modeli dikkate alındığında gerekli sınır koşulları aşağıdaki gibi yazılır.

1) $x=0$ ’da moment, dönme yayı momentine eşittir.

$$M(0, t) = -K_{\theta}\theta(0, t) \quad (3.1)$$

2) $x=0$ ’da kesme kuvveti, ötelenme yay kuvvetine eşittir.

$$V(0, t) = K_{\delta}u(0, t) \quad (3.2)$$

3) $x=L$ ’de moment, topaklanmış kütlelerin dönme ataleti momentine eşittir.

$$M(L, t) = J \frac{\partial^2 \theta(L, t)}{\partial t^2} \quad (3.3)$$

4) $x=L$ ’de kesme kuvveti, topaklanmış kütlelerin ötelenme atalet kuvvetine eşittir.

$$V(L, t) = -M \frac{\partial^2 u(L, t)}{\partial t^2} \quad (3.4)$$

Burada M ve J, çubuğun üst ucundaki, sırasıyla, topaklanmış kütle ve topaklanmış kütlelerin dönme eylemsizliğini; K_δ ve K_θ , çubuğun alt ucundaki, sırasıyla, ötelenmeye ve dönmeye karşı modellenen elastik yayları göstermektedir.

3.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Frekans Denkleminin Elde Edilmesi

(2.13) numaralı yer değiştirme fonksiyonu ve ardışık türevlerinin (2.19), (2.20) ve (2.23) numaralı bağıntılarda yerlerine konulmasıyla, sırasıyla elde edilen moment, kesme kuvveti ve kesit dönmesi fonksiyonlarının $x=0$ noktasındaki değerleri (3.1) ve (3.2) numaralı, $x=L$ deki değerleri ise (3.3) ve (3.4) numaralı sınır koşulu bağıntılarında yerine yazılır ise dört adet doğrusal denklemin matris gösterimi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{12} & -\alpha_{10} & -\alpha_{13} & \alpha_{11} \\ \alpha_{14} & K_\delta & -\alpha_{15} & K_\delta \\ \alpha_{17} & \alpha_{18} & \alpha_{19} & \alpha_{20} \\ \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \alpha_{25} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.5)$$

Burada;

$$\begin{aligned} \alpha_8 &= m_1(m_1^2\alpha_6 + \alpha_7); & \alpha_9 &= m_2(m_2^2\alpha_6 - \alpha_7); & \alpha_{10} &= EI(m_1^2 + \alpha_5); \\ \alpha_{11} &= EI(m_2^2 - \alpha_5); & \alpha_{12} &= K_\theta\alpha_8; & \alpha_{13} &= K_\theta\alpha_9; & \alpha_{14} &= m_1\alpha_{10}; & \alpha_{15} &= m_2\alpha_{11}; \\ \alpha_{16} &= J\omega^2; & \alpha_{17} &= -\alpha_{10}\text{sh} + \alpha_{16}\alpha_8\text{ch}; & \alpha_{18} &= -\alpha_{10}\text{ch} + \alpha_{16}\alpha_8\text{sh}; & \text{sh} &= \sinh(m_1L); \\ \text{ch} &= \cosh(m_1L); & \alpha_{19} &= \alpha_{11}\text{s} - \alpha_{16}\alpha_9\text{c}; & \alpha_{20} &= \alpha_{11}\text{c} + \alpha_{16}\alpha_9\text{s}; & \text{s} &= \sin(m_2L); \\ \text{c} &= \cos(m_2L); & \alpha_{21} &= M\omega^2; & \alpha_{22} &= -\alpha_{14}\text{ch} - \alpha_{21}\text{sh}; & \alpha_{23} &= -\alpha_{14}\text{sh} - \alpha_{21}\text{ch}; \\ \alpha_{24} &= \alpha_{15}\text{c} - \alpha_{21}\text{s}; & \alpha_{25} &= -\alpha_{15}\text{s} - \alpha_{21}\text{c}; \end{aligned}$$

göstermektedir.

(3.5) numaralı bağıntıda çözüm koşulunu sağlayan durum, katsayılar matrisinin determinantının sıfıra eşit kılınması halidir. Katsayılar determinantının sıfıra eşit kılınmasıyla ω açısal frekansına bağlı olarak elde edilen fonksiyon, Şekil 2.1’de verilen sistemin frekans denklemidir. (3.5) bağıntısındaki katsayılar matrisinin determinant değeri, matematik işlem paket programı kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir (Mathcad7, 1997).

$$\begin{aligned}
f(\omega) = & (\alpha_{19}\alpha_{25} - \alpha_{20}\alpha_{24}) * (\alpha_{12}K_{\delta} + \alpha_{14}\alpha_{10}) \\
& + (\alpha_{15}\alpha_{25} + K_{\delta}\alpha_{24}) * (\alpha_{12}\alpha_{18} + \alpha_{17}\alpha_{10}) \\
& - (\alpha_{15}\alpha_{20} + K_{\delta}\alpha_{19}) * (\alpha_{12}\alpha_{23} + \alpha_{22}\alpha_{10}) \\
& + (\alpha_{13}\alpha_{25} + \alpha_{11}\alpha_{24}) * (\alpha_{17}K_{\delta} - \alpha_{14}\alpha_{18}) \\
& + (\alpha_{13}\alpha_{20} + \alpha_{11}\alpha_{19}) * (\alpha_{14}\alpha_{23} - \alpha_{22}K_{\delta}) \\
& + (\alpha_{11}\alpha_{15} - K_{\delta}\alpha_{13}) * (\alpha_{17}\alpha_{23} - \alpha_{22}\alpha_{18})
\end{aligned} \tag{3.6}$$

(3.6) bağıntısındaki frekans denkleminin sıfıra eşitlenmesi suretiyle elde edilen kökler sistemin açısal frekanslarına karşılık gelir. Frekans denkleminin köklerini hesaplamak için kullanılan basit ve yaygın metotlardan birisi sekant metodudur (Low, 1991). Bu metotta, belli ω değerleri aralığı için determinantın aldığı değerler elde edilir. Ardışık determinant değerleri arasında işaret değişimi sağlayan ω 'nın sayısal değeri frekans denkleminin bir köküdür ve sistemin açısal frekansına karşılık gelmektedir. Bu amaçla yazar tarafından, algoritması sekant metoduna dayanan ve TSD çerçevelerin sönümsüz frekans değerlerini hesaplayan iteratif bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve TSD çerçevelerin serbest titreşimine ait açısal frekanslar elde edilmiştir.

BÖLÜM DÖRT

ZEMİNE YARI-RIJİT BAĞLI TEK KATLI ÇERÇEVEYE AİT HESAP MODELİNİN ZORLANMIŞ MODAL TİTREŞİM ANALİZİ

Bu bölümde, güçlü yer ivmesi ile zorlanmış, zemine yarı-rijit bağlı tek serbestlik dereceli sistemin; açılma frekansların ve $u(x,t)$ yer değiştirmelerin bir fonksiyonu olan (4.1) numaralı diferansiyel hareket denkleminin çözümü incelenecektir.

$$\frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} + \frac{N}{EI} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} - \left(\frac{mk}{AG} + \frac{mI}{EI \cdot A} \right) \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{m}{EI} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = -m\ddot{u}_g(t) \quad (4.1)$$

Bu amaçla, önce matematiksel modeli Şekil 2.1’de verilen tek serbestlik dereceli çerçevenin serbest titreşimine ait şekil fonksiyonu elde edilmiş; sistemin kinetik, potansiyel ve dinamik yükleme enerjilerinin bağıntıları elde edilerek yazılan Lagrange denklemi kullanılarak, zorlanmış titreşimin modal analizi için gerekli olan hareket denklemi kurulmuş; sistemin güçlü yer ivmesine maruz olduğu kabulü ile hareket denklemi her mod için çözülmüş ve sistemin deplasman, hız ve ivme fonksiyonları elde edilmiştir.

4.1 Şekil Fonksiyonunun Elde Edilmesi

Tek katlı çerçeveye ait Şekil 2.1’deki hesap modeli sürekli sistem olarak kurulduğundan sonsuz serbestlik derecesi sayısına sahip olacaktır. Ancak bu sistemin hareketini tek serbestlik derecesi ile ifade etmek için, (1.6) bağıntısıyla verilen yer değiştirmeyi yapacağını kabul etmek gereklidir (Clough & Penzien, 1993).

Şekil fonksiyonu, sistemin sınır şartlarını sağlayan bir fonksiyon olmalıdır. Bu nedenle, matematiksel hesap modeli Şekil 2.1’de verilen tek katlı çerçevenin (2.11) numaralı bağıntıda verilen $X(x)$ şekil fonksiyonunun elde edilebilmesi için öncelikle (3.5) numaralı denklemlerde verilen sınır koşulu bağıntıları kullanılarak C_1, C_2, C_3, C_4 integral sabitlerin bulunması gerekmektedir. Dört adet doğrusal denklem kullanılarak C_1, C_2, C_3, C_4 sabitleri çözülür ise, üç sabit her durumda dördüncü sabite

bağlı olarak elde edilecektir. Dördüncü sabit ise, şekil fonksiyonunun keyfi bir genliğini ifade ettiğinden, serbest titreşim analizinde doğrudan elde edilemez. Ancak, literatürde olduğu gibi, $C_4=1$ değeri alınırsa birim genlikli şekil fonksiyonu elde edilir (Chopra, 1995; Clough & Penzien, 1993).

İlk üç sabitin C_4 'e bağlı olarak elde edilmesi ile (2.11) şekil fonksiyonu bağıntısı aşağıdaki gibi yazılır.

$$X(x) = C_4 [\alpha_{33} \sinh(m_1 x) + \alpha_{34} \cosh(m_1 x) + \alpha_{35} \sin(m_2 x) + \cos(m_2 x)] \quad (4.2)$$

Burada;

$$\begin{aligned} \alpha_{26} &= \alpha_{20}\alpha_{23} - \alpha_{25}\alpha_{18}, & \alpha_{27} &= \alpha_{11}\alpha_{23} + \alpha_{25}\alpha_{10}, & \alpha_{28} &= \alpha_{20}\alpha_{10} + \alpha_{11}\alpha_{18}, \\ \alpha_{29} &= \alpha_{17}\alpha_{13} + \alpha_{12}\alpha_{19}, & \alpha_{30} &= \alpha_{17}\alpha_{24} - \alpha_{22}\alpha_{19}, & \alpha_{31} &= \alpha_{24}\alpha_{12} + \alpha_{22}\alpha_{13}, \\ \alpha_{32} &= \alpha_{10}\alpha_{30} + \alpha_{18}\alpha_{31} - \alpha_{23}\alpha_{29}, & \alpha_{33} &= (\alpha_{13}\alpha_{26} + \alpha_{19}\alpha_{27} - \alpha_{24}\alpha_{28})/\alpha_{32}, \\ \alpha_{34} &= (\alpha_{25}\alpha_{29} + \alpha_{11}\alpha_{30} - \alpha_{20}\alpha_{31})/\alpha_{32}, & \alpha_{35} &= (\alpha_{12}\alpha_{26} - \alpha_{17}\alpha_{27} - \alpha_{22}\alpha_{28})/\alpha_{32} \end{aligned}$$

göstermektedir. $C_4=1$ için sistemin şekil fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılır:

$$X(x) = \alpha_{33} \sinh(m_1 x) + \alpha_{34} \cosh(m_1 x) + \alpha_{35} \sin(m_2 x) + \cos(m_2 x) \quad (4.3)$$

4.2 Enerji İfadelerinin Elde Edilmesi

4.2.1 Kinetik Enerji

Timoshenko kolonu olarak modellenen bir çubuğun kinetik enerji ifadesi, elemanın ötelenme ve dönme hızlarına bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılır (Posiadala, 1997; Hurty & Rubinstein, 1964).

$$E_k = \frac{1}{2} m \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{2} m \frac{I}{A} \int_0^L \left(\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx \quad (4.4)$$

Burada E_k , sistemin kinetik enerjisini göstermektedir. Üst serbest ucunda J dönme eylemsizliğine sahip topaklanmış M kütlesi bulunan ve Şekil 2.1’de verilen sistemin toplam kinetik enerjisi ise aşağıdaki gibi yazılır (Karami et al, 2003).

$$E_k = \underbrace{\frac{1}{2} m \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} m \frac{I}{A} \int_0^L \left(\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx}_{(2)} + \underbrace{\frac{1}{2} M \left(\frac{\partial u(L,t)}{\partial t} \right)^2}_{(3)} + \underbrace{\frac{1}{2} J \left(\frac{\partial \theta(L,t)}{\partial t} \right)^2}_{(4)} \quad (4.5)$$

(4.5) bağıntısındaki (1) ve (2) terimleri sırasıyla, kolon deplasmanının ve kolon dönmesinin kinetik enerjiye katkısını gösterirken, (3) ve (4) terimleri ise sırasıyla, kolon üst ucundaki topaklanmış kütlelerin deplasmanının ve dönmesinin kinetik enerjiye katkısını göstermektedir.

Dönme eylemsizlik momenti için $u_b(x,t)=u(x,t)$ kabulü yapıldığı için (Rogers, 1959) (4.5) bağıntısındaki (2) teriminde $\theta(x,t)$ kesit fonksiyonu yerine $\partial u(x,t)/\partial x$ yazılır ve (4) teriminde $\theta(L,t)$ yerine (2.23) numaralı bağıntıdaki değeri yazılır ise

$$E_k = \frac{1}{2} m \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{2} m \frac{I}{A} \int_0^L \left(\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x \partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{2} M \left(\frac{\partial u(L,t)}{\partial t} \right)^2 + \frac{1}{2} J \left(\alpha_6 \frac{\partial u^4(L,t)}{\partial x^3 \partial t} + \alpha_7 \frac{\partial u^2(L,t)}{\partial x \partial t} \right)^2 \quad (4.6)$$

elde edilir. (4.6) bağıntısı için (1.6) numaralı dönüşüm uygulanmış ve (4.7) numaralı bağıntı elde edilmiştir.

$$E_k = \frac{1}{2} m \int_0^L (X\dot{Z})^2 dx + \frac{1}{2} m \frac{I}{A} \int_0^L (X^1\dot{Z})^2 dx + \frac{1}{2} M [X(L)\dot{Z}]^2 + \frac{1}{2} J [\alpha_6 X^{III}(L)\dot{Z} + \alpha_7 X^1(L)\dot{Z}]^2 \quad (4.7)$$

Gerekli düzenlemeler yapılır ise Şekil 2.1'deki sistemin kinetik enerjisi için aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$E_k = \frac{\dot{Z}^2}{2} \left\{ m \int_0^L X^2 dx + m \frac{I}{A} \int_0^L X'^2 dx + M[X(L)]^2 + J[\alpha_6 X'''(L) + \alpha_7 X'(L)]^2 \right\} \quad (4.8)$$

4.2.2 Potansiyel Enerji

Timoshenko kolonu olarak modellenen çubuğun potansiyel enerji ifadesi, elemanın eğilme ve kayma deformasyonlarına bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılır (Posiadala, 1997; Hurty & Rubinstein, 1964).

$$E_p = \frac{1}{2} EI \int_0^L \left(\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \frac{AG}{k} \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} - \theta(x,t) \right)^2 dx \quad (4.9)$$

Burada E_p , sistemin potansiyel enerjisini göstermektedir. Zemine bağlantı noktası ötelenmeye ve dönmeye karşı elastik yaylar ile modellenen Şekil 2.1'de verilen aksenal basınç kuvveti altındaki sistemin potansiyel enerjisi ise aşağıdaki gibi yazılır (Karami et al., 2003).

$$E_p = \underbrace{\frac{1}{2} EI \int_0^L \left(\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} \frac{AG}{k} \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} - \theta(x,t) \right)^2 dx}_{(2)} - \underbrace{\frac{1}{2} N \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx}_{(3)} + \underbrace{\frac{1}{2} K_\delta [u(0,t)]^2}_{(4)} + \underbrace{\frac{1}{2} K_\theta [\theta(0,t)]^2}_{(5)} \quad (4.10)$$

(4.10) bağıntısındaki (1) ve (2) terimleri sırasıyla, kolonun eğilme ve kayma deformasyonlarının potansiyel enerjiye katkısını, (3) terimi aksenal kuvvetin potansiyel enerjiye katkısını, (4) ve (5) terimleri ise sırasıyla, kolon alt ucundaki ötelenme ve dönme yaylarının potansiyel enerjiye katkısını göstermektedir.

(4.10) bağıntısındaki $\theta(x,t)$ kesit dönmesi fonksiyonları yerine (2.23) numaralı bağıntıdaki değeri yazılır ise

$$\begin{aligned}
E_p = & \frac{1}{2} EI \int_0^L \left(\alpha_6 \frac{\partial u^4(x,t)}{\partial x^4} + \alpha_7 \frac{\partial u^2(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 dx \\
& + \frac{1}{2} \frac{AG}{k} \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} - \alpha_6 \frac{\partial u^3(x,t)}{\partial x^3} - \alpha_7 \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx \\
& - \frac{1}{2} N \int_0^L \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx + \frac{1}{2} K_\delta [u(0,t)]^2 + \frac{1}{2} K_\theta \left(\alpha_6 \frac{\partial u^3(0,t)}{\partial x^3} + \alpha_7 \frac{\partial u(0,t)}{\partial x} \right)^2
\end{aligned} \tag{4.11}$$

elde edilir. (4.11) bağıntısı için (1.6) numaralı dönüşüm uygulanmış ve (4.12) numaralı bağıntı elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}
E_p = & \frac{1}{2} EI \int_0^L \left(\alpha_6 X^{IV} Z + \alpha_7 X^{II} Z \right)^2 dx \\
& + \frac{1}{2} \frac{AG}{k} \int_0^L \left(X^I Z - \alpha_6 X^{III} Z - \alpha_7 X^I Z \right)^2 dx \\
& - \frac{1}{2} N \int_0^L \left(X^I Z \right)^2 dx + \frac{1}{2} K_\delta [X(0)Z]^2 + \frac{1}{2} K_\theta \left(\alpha_6 X^{III}(0)Z + \alpha_7 X^I(0)Z \right)^2
\end{aligned} \tag{4.12}$$

Gerekli düzenlemeler yapılır ise Şekil 2.1'deki sistemin potansiyel enerjisi için aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$\begin{aligned}
E_p = & \frac{Z}{2} \left\{ EI \int_0^L \left(\alpha_6 X^{IV} + \alpha_7 X^{II} \right)^2 dx + \frac{AG}{k} \int_0^L \left[(1 - \alpha_7) X^I - \alpha_6 X^{III} \right]^2 dx \right. \\
& \left. - N \int_0^L \left(X^I \right)^2 dx + K_\delta [X(0)]^2 + K_\theta \left(\alpha_6 X^{III}(0) + \alpha_7 X^I(0) \right)^2 \right\}
\end{aligned} \tag{4.13}$$

4.2.3 Dış Yükleme Enerjisi

$p(x,t)$ dinamik dış yüklemesine maruz kütlesi ve rijitliği sürekli çubuğun dış yükleme enerjisi (Michaltsos & Ermopoulos, 2001; Tuma & Cheng, 1983).

$$E_g = \int_0^L p(x,t)u(x,t)dx \quad (4.14)$$

şeklinde yazılır. Burada E_g , sistemin dış yükleme enerjisini göstermektedir. Güçlü yer ivmesine maruz Şekil 2.1'deki sistemin dış yükleme enerjisi ise aşağıdaki gibi yazılır.

$$E_g = -m\ddot{u}_g(t) \int_0^L u(x,t)dx \quad (4.15)$$

(4.15) bağıntısı için (1.6) numaralı dönüşüm uygulanmış ve (4.16) numaralı bağıntı elde edilmiştir.

$$E_g = -m\ddot{u}_g(t) \int_0^L (X \cdot Z)dx \quad (4.16)$$

Gerekli düzenlemeler yapılır ise güçlü yer ivmesine maruz Şekil 2.1'deki sistemin dış yükleme enerjisi için aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$E_g = -m\ddot{u}_g(t)Z \int_0^L Xdx \quad (4.17)$$

4.3 Genelleştirilmiş Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Modal Hareket Denkleminin Lagrange Denklemi İle Elde Edilmesi

Fransız matematikçi Lagrange (1736-1813), dinamik bir sistemin hareket denkleminin formülasyonu için etkin ve çok yönlü bir metot sağlayan bir ilişki elde etmiştir. Bu ilişki sistemin enerjilerini içermektedir: kinetik enerji, potansiyel enerji, ve kuvvetlerin sistem deplasmanları üzerinde gerçekleştirdiği iş (Hurty & Rubinstein, 1964). Lagrange denklemi kullanılarak hareket denklemi, Newton'un 2. yasaının doğrudan uygulanmasının zor olduğu genelleştirilmiş koordinatlar cinsinden kolayca formüle edilebilir; bu da metodun çok yönlülüğünün bir sonucudur.

Hamilton ilkesi, toplam enerjinin zaman içinde bir aralık üzerinde entegre edildiği bir integral denklemdir; Lagrange denklemleri ise, Hamilton prensibinin aksine, sistemin enerjilerinin zaman içerisinde anlık ele alındığı diferansiyel denklemlerdir.

Korunumlu sönümsüz bir sistemin n.inci moda ait Lagrange denklemi aşağıdaki şekilde yazılır (Biggs, 1964).

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{Z}_n} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial Z_n} + \frac{\partial E_p}{\partial Z_n} = \frac{\partial E_g}{\partial Z_n} \quad (4.18)$$

Burada, Z_n , n.inci moda ait genelleştirilmiş koordinatı göstermektedir. (4.18) bağıntısında kinetik enerjiye ait ikinci terimin sıfır edeceği aşikardır, çünkü (4.8) numaralı kinetik enerji ifadesinde çarpan olarak $Z(t)$ genelleştirilmiş koordinatının zamana göre birinci türevi bulunmaktadır ve dolayısıyla kinetik enerjinin $Z(t)$ 'ye göre türevi olmayacaktır. O halde sönümsüz bir sistemin n.inci moda ait Lagrange denklemi (Michaltsos & Ermopoulos, 2001) aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{Z}_n} \right) + \frac{\partial E_p}{\partial Z_n} = \frac{\partial E_g}{\partial Z_n} \quad (4.19)$$

Kinetik, potansiyel ve dış yükleme enerjilerine ait, sırasıyla (4.8), (4.13) ve (4.17) numaralı ifadeler (4.19) numaralı Lagrange denkleminde yerlerine yazılır ise

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \left[\dot{Z} \left\{ m \int_0^L X^2 dx + m \frac{I}{A} \int_0^L X'^2 dx + M[X(L)]^2 + J[\alpha_6 X'''(L) + \alpha_7 X'(L)]^2 \right\} \right] \\ & + Z \left\{ EI \int_0^L (\alpha_6 X^{IV} + \alpha_7 X''')^2 dx + \frac{AG}{k} \int_0^L [(1 - \alpha_7)X' - \alpha_6 X''']^2 dx - N \int_0^L (X')^2 dx \right. \\ & \left. + K_\delta [X(0)]^2 + K_\theta [\alpha_6 X'''(0) + \alpha_7 X'(0)]^2 \right\} = -\ddot{u}_g(t) \int_0^L X dx \end{aligned} \quad (4.20)$$

elde edilir. (4.20) bağıntısı düzenlenir ise TSD sistemin hareket denklemi $Z(t)$ genelleştirilmiş koordinata bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} & \left\{ m \int_0^L X^2 dx + m \frac{I}{A} \int_0^L X'^2 dx + M[X(L)]^2 + J[\alpha_6 X'''(L) + \alpha_7 X'(L)]^2 \right\} \ddot{Z} \\ & + \left\{ EI \int_0^L (\alpha_6 X^{IV} + \alpha_7 X''')^2 dx + \frac{AG}{k} \int_0^L [(1 - \alpha_7)X' - \alpha_6 X''']^2 dx - N \int_0^L (X')^2 dx \right. \\ & \left. + K_\delta [X(0)]^2 + K_\theta [\alpha_6 X'''(0) + \alpha_7 X'(0)]^2 \right\} Z = -\ddot{u}_g(t) \int_0^L X dx \end{aligned} \quad (4.21)$$

Böylece güçlü yer ivmesine maruz genelleştirilmiş TSD sistemin modal hareket denklemi, genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvete bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M_n^* \ddot{Z}(t) + K_n^* Z(t) = -F_n^* \ddot{u}_g(t) \quad (4.22)$$

Burada M_n^* , n.inci moda ait genelleştirilmiş kütle; K_n^* , n.inci moda ait genelleştirilmiş rijitliği; F_n^* , n.inci moda ait genelleştirilmiş kuvveti göstermektedir. (4.22) numaralı hareket denklemi n.inci modal koordinat $Z_n(t)$ 'ye bağlıdır, ve

genelleştirilmiş M_n^* , K_n^* ve F_n^* parametreleri sadece n.inci mod şekil fonksiyonu $X_n(x)$ 'ye bağlıdır. Böylece, $u(x,t)$ yer değiştirme fonksiyonu olan (4.1) numaralı kısmi diferansiyel hareket denklemi, $Z_n(t)$ genelleştirilmiş koordinatının fonksiyonu olan ve her biri sistemin bir moduna karşılık gelen sonsuz sayıda (4.22) numaralı adi diferansiyel denklemler kümesine dönüştürülmüş olur.

Zorlanmış sistemin $u(x,t)$ yer değiştirme fonksiyonu, (4.22) modal denklemlerinin $Z_n(t)$ için çözülmesi ile elde edilecektir. Her moda ait denklem diğer tüm modlara ait denklemlerden bağımsızdır, bu sebeple ayrı olarak çözülebilir (Chopra, 1995). Bir moda ait hareket denklemi çözülür ve $Z_n(t)$ elde edilir ise o modun $u(x,t)$ yer değiştirmesine katkısı (1.6) numaralı bağıntı ile hesaplanır. Toplam yer değiştirme ise tüm modların katkılarının toplamı olarak elde edildiği için aşağıdaki gibi yazılır.

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(x) \cdot Z_n(t) \quad (4.23)$$

(4.22) numaralı bağıntıda kullanılan genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvet sırasıyla, (4.24), (4.25) ve (4.26) numaralı bağıntılarda verilmiştir.

$$M_n^* = m \int_0^L X^2 dx + m \frac{I}{A} \int_0^L X'^2 dx + M[X(L)]^2 + J[\alpha_6 X'''(L) + \alpha_7 X'(L)]^2 \quad (4.24)$$

$$K_n^* = EI \int_0^L (\alpha_6 X^{IV} + \alpha_7 X''')^2 dx + \frac{AG}{k} \int_0^L [(1 - \alpha_7) X' - \alpha_6 X''']^2 dx - N \int_0^L (X')^2 dx + K_\delta [X(0)]^2 + K_\theta [\alpha_6 X'''(0) + \alpha_7 X'(0)]^2 \quad (4.25)$$

$$F_n^* = m \int_0^L X dx \quad (4.26)$$

(4.22) numaralı n.inci moda ait hareket denkleminin her terimi M_n 'ye bölünür ise güçlü yer ivmesine maruz genelleştirilmiş TSD sistemin hareketi için aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\ddot{Z}(t) + \omega_n^2 Z(t) = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t) \quad (4.27)$$

Burada;

$$\omega_n^2 = \frac{K_n^*}{M_n^*} ; \Gamma_n = \frac{F_n^*}{M_n^*}$$

göstermektedir.

Genelleştirilmiş TSD sisteme ait (4.27) numaralı modal hareket denklemi, Γ_n faktörü dışında, ayrık parametrelili TSD bir sistemin hareket denklemi ile aynı formdadır ve böylece ayrık parametrelili TSD bir sistemin tepkisini elde etmek için kullanılan yöntemler ile çözülebilir. Bu yöntemler arasında Newmark- β , doğrusal-ivme ve sabit-ivme metotları sayılabilir.

BÖLÜM BEŞ

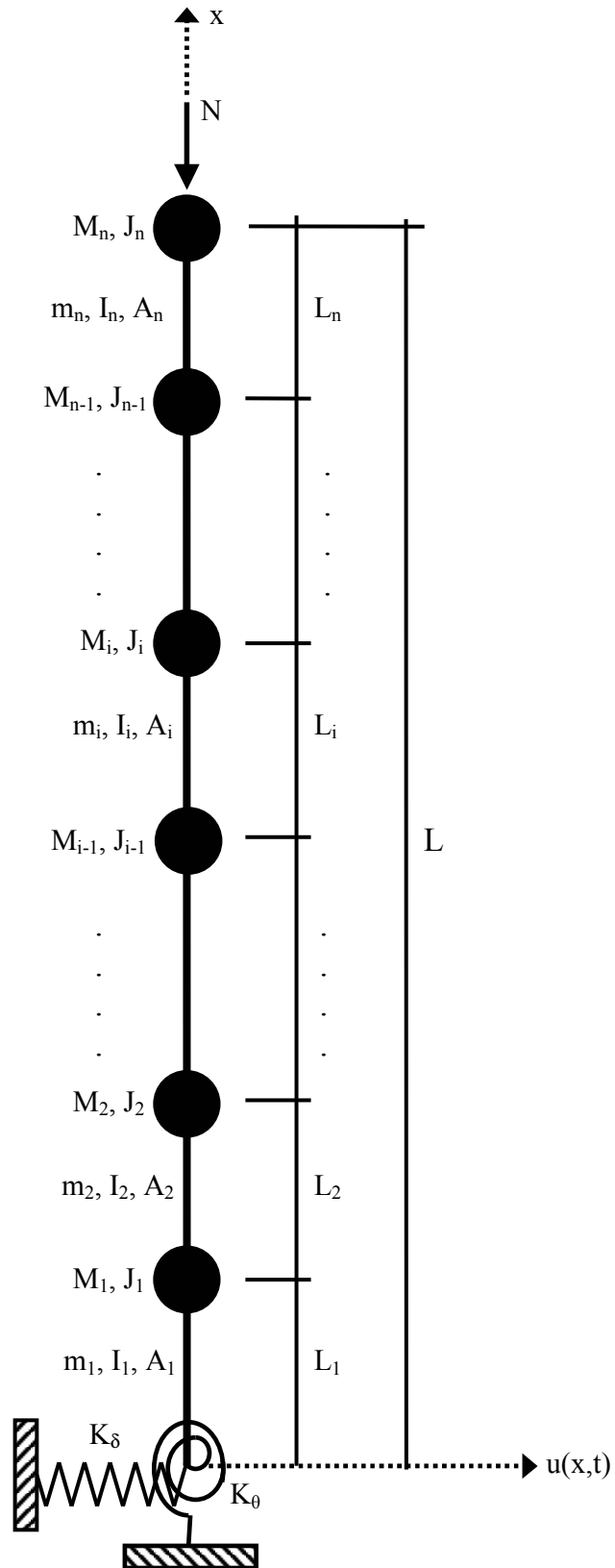
ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇOK KATLI ÇERÇEVEYE AİT HESAP MODELİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Bu bölümde, zemine yarı-rijit bağlı çok katlı çerçeveler için, Şekil 5.1’de verilen, (n) adet topaklanmış kütle ve (n) adet Timoshenko kolonuna sahip sürekli sistem olarak davranan matematiksel hesap modeli kullanılmıştır. Serbest titreşim analizi, kat kolonlarının yayılı kütlesi, eğilme ve kayma deformasyonları ve dönme eylemsizliği dikkate alınarak incelenmiştir. Kat seviyelerinde topaklandığı kabul edilen kat kütlelerinin dönme eylemsizlikleri de dinamik analizde dikkate alınmıştır. (n) katlı sistem, Timoshenko çubuğu olarak modellenen, n adet üniform parçadan oluşmuş sürekli bir kolon olarak düşünülebilir (Bapat & Bapat, 1987). Bu amaçla, topaklanmış kütlelerin bulunduğu noktadaki deplasman ve kesit dönmesi süreklilikleri, moment ve kesme kuvveti ilişkilerini dikkate alan ve esas taşıma matrisi metoduna dayanan bir yaklaşım kullanılmıştır.

Bu durumda, m_i yayılı kütleli, I_i alan atalet momentli ve A_i en kesit alanlı, i.inci kat çubuğunun diferansiyel hareket denklemi (2.6)’da sunulan hareket denklemi gibi yazılır.

$$\frac{\partial^4 u_i(x_i, t)}{\partial x_i^4} + \frac{N}{EI_i} \frac{\partial^2 u_i(x_i, t)}{\partial x_i^2} - \left(\frac{m_i k_i}{AG_i} + \frac{m_i I_i}{EI_i A_i} \right) \frac{\partial^4 u_i(x_i, t)}{\partial x_i^2 \partial t^2} + \frac{m_i}{EI_i} \frac{\partial^2 u_i(x_i, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (5.1)$$

Burada $u_i(x_i, t)$, i.inci kat çubuğunun x_i ($0 \leq x_i \leq L_i$) konumundaki yanal deplasmanını; EI_i ve AG_i , sırasıyla, elastisite ve kayma modüllerini göstermektedir.



Şekil 5.1 (n) katlı çerçevenin matematiksel hesap modeli

(5.1) numaralı diferansiyel denklemin çözümü, harmonik hareket için, değişkenlere ayırma yöntemi ile aşağıdaki gibi elde edilir (Kreyszig, 1999).

$$u_i(x_i, t) = X_i(x_i) \sin(\omega t) \quad (5.2)$$

Burada $X_i(x_i)$, i.inci kat çubuğunun şekil fonksiyonunu göstermektedir. (5.2) bağıntısı ve konuma ve zamana göre ardışık türevleri (5.1) diferansiyel denkleminde yerlerine yazılır ise, $\sin(\omega t) \neq 0$ için, i.inci kat çubuğunun serbest titreşimine ait şekil fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$X_i(x_i) = C_{1i} \sinh(m_{1i}x_i) + C_{2i} \cosh(m_{1i}x_i) + C_{3i} \sin(m_{2i}x_i) + C_{4i} \cos(m_{2i}x_i) \quad (5.3)$$

$$\text{Burada} \quad \alpha_{1i} = \frac{N}{EI_i}; \quad \alpha_{2i} = \frac{m_i k_i \omega^2}{AG_i}; \quad \alpha_{3i} = \frac{m_i I_i \omega^2}{EI_i A_i}; \quad \alpha_{4i} = \frac{m_i \omega^2}{EI_i};$$

$$\alpha_{5i} = \alpha_{1i} + \alpha_{2i} + \alpha_{3i}; \quad n_{1i} = \frac{-\alpha_{5i} + \sqrt{\Delta_i}}{2}; \quad n_{2i} = \frac{-\alpha_{5i} - \sqrt{\Delta_i}}{2}; \quad m_{1i} = \sqrt{n_{1i}};$$

$m_{2i} = \sqrt{|n_{2i}|}$; $\Delta_i = \alpha_{5i}^2 + 4\alpha_{4i}$; $C_{1i} \dots C_{4i}$ integrasyon sabitlerini; i alt indisi, parametrelerin i.inci kat çubuğuna ait olduğunu göstermektedir.

O halde (5.2) ve (5.3) ifadeleri kullanılarak i.inci kat çubuğunun deplasman fonksiyonu için

$$u_i(x_i, t) = [C_{1i} \sinh(m_{1i}x_i) + C_{2i} \cosh(m_{1i}x_i) + C_{3i} \sin(m_{2i}x_i) + C_{4i} \cos(m_{2i}x_i)] \sin(\omega t) \quad (5.4)$$

denklemini elde edilir.

5.1 i.inci Kat Çubuğunun Moment, Kesme Kuvveti ve Kesit Dönmesi Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Şekil 5.1'deki Timoshenko kolonu olarak modellenen (n) katlı sistemin i.inci kat parçasının moment fonksiyonu için, 2.inci bölümde elde edilen ve (2.19) bağıntısı ile verilen aşağıdaki denklem kullanılır.

$$M_i(x_i, t) = -EI_i \frac{\partial^2 u_i(x_i, t)}{\partial x_i^2} - EI_i \alpha_{5i} u_i(x_i, t) \quad (5.5)$$

i.inci kat parçasının kesme kuvveti fonksiyonu için, (5.5) bağıntısındaki moment fonksiyonunun konuma göre birinci mertebeden türevi olan (5.6) numaralı denklem yazılır.

$$V_i(x_i, t) = -EI_i \frac{\partial^3 u_i(x_i, t)}{\partial x_i^3} - EI_i \alpha_{5i} \frac{\partial u_i(x_i, t)}{\partial x_i} \quad (5.6)$$

i.inci kat parçasının kesit dönmesi fonksiyonu, toplam yer değiştirme fonksiyonunun konuma göre birinci mertebeden türevinden kayma deformasyonu sonucu oluşan yer değiştirme fonksiyonunun konuma göre birinci mertebeden türevi olan kayma açısı çıkarılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\theta_i(x_i, t) = \frac{\partial u(x_i, t)}{\partial x_i} - \frac{k_i}{AG_i} V_i(x_i, t) \quad (5.7)$$

Kesme kuvvetinin (5.6) numaralı bağıntıdaki değeri (5.7) bağıntısında yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılır ise i.inci kat kolonunun kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\theta_i(x_i, t) = \alpha_{6i} \frac{\partial^3 u_i(x_i, t)}{\partial x_i^3} + \alpha_{7i} \frac{\partial u_i(x_i, t)}{\partial x_i} \quad (5.8)$$

Burada

$$\alpha_{6i} = \frac{EI_i k_i}{AG_i}; \alpha_{7i} = \alpha_{6i} \alpha_{5i} + 1$$

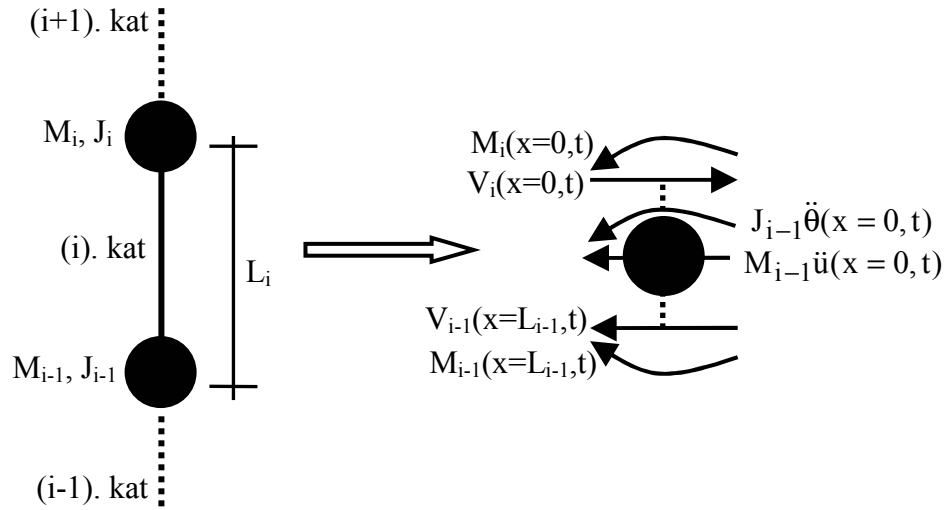
göstermektedir.

5.2 (n) Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Sınır Koşulları

Her kat kolonu için elde edilen diferansiyel hareket denklemi, konuma göre dördüncü mertebeden olduğundan, matematiksel hesap modeli Şekil 5.1’de verilen (n) katlı (n) kütleli sistemin serbest titreşim analizinde kullanılacak frekans denkleminin elde edilmesi için toplam (4n) adet sınır koşuluna gereksinim vardır. 1.inci, 2.inci, 3.üncü,, (n-1).inci kütlelerinin bulunduğu her bir nokta için deplasman ve kesit dönmesi sürekliliklerine ait 2 adet; moment ve kesme kuvveti ilişkilerine ait 2 adet olmak üzere, sistemin tümü için toplam 4(n-1) adet sınır koşulu bağıntısı yazılabilir. Bu durumda 4 adet sınır koşuluna daha gereksinim vardır. Sistemin, yaylar ile modellenmiş alt ucundaki ve n.inci kütlelerin olduğu üst ucundaki moment ve kesme kuvveti ilişkilerine ait 2’şer adet olmak üzere, 4 adet daha sınır koşulu yazılarak gerekli olan (4n) adet sınır koşulu elde edilmiş olur.

5.2.1 1.inci ve (n-1).inci Kütleler Arasındaki i.inci Kata Ait Sınır Koşulları

i.inci kata ait sınır koşulları, o katın alt noktasında deplasman ve kesit dönmesi için süreklilik, moment ve kesme kuvveti için denge bağıntıları kullanılarak yazılır. Ancak bu koşullar n.inci kat kütlesi için geçerli değildir. Şekil 5.2’de serbest cisim diyagramı verilen i.inci katın alt noktasındaki kütle için yazılan dört adet sınır koşulu aşağıda sunulmuştur (i=2,3,...,n).



Şekil 5.2 n.inci kütle hariç, tüm kat kütlelerine ait serbest cisim diyagramı

$$u_{i-1}(x = L_{i-1}, t) = u_i(x = 0, t) \quad (5.9.1)$$

$$\theta_{i-1}(x = L_{i-1}, t) = \theta_i(x = 0, t) \quad (5.9.2)$$

$$M_{i-1}(x = L_{i-1}, t) = M_i(x = 0, t) + J_{i-1}\ddot{\theta}_i(x = 0, t) \quad (5.9.3)$$

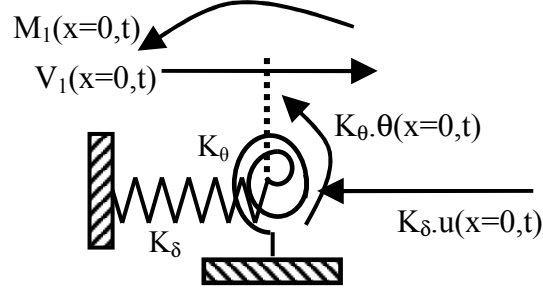
$$V_{i-1}(x = L_{i-1}, t) = V_i(x = 0, t) - M_{i-1}\ddot{u}_i(x = 0, t) \quad (5.9.4)$$

Burada M_i , i.inci kat seviyesinde topaklanmış kütle; J_i , bu topaklanmış kütle için dönme eylemsizliğini göstermektedir.

5.2.2 Kolon-Zemin Birleşimine Ait Sınır Koşulları

Şekil 5.1'de verilen sistemin, yaylar ile modellenen ve serbest cisim diyagramı Şekil 5.3'de verilen zemin noktası için kuvvetlerin ve momentlerin dengesi kurularak 2 adet sınır koşulu (5.10) denklemindeki gibi yazılabilir.

$$\left. \begin{aligned} V_1(x = 0, t) &= K_\delta u_1(x = 0, t) \\ M_1(x = 0, t) &= -K_\theta \theta_1(x = 0, t) \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

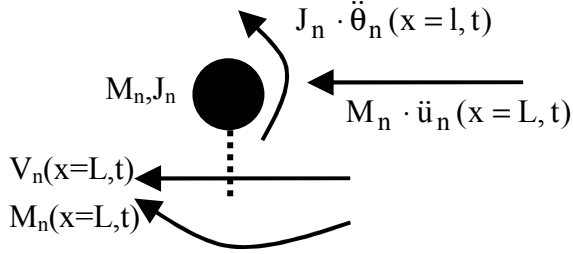


Şekil 5.3 Zemin noktasının serbest cisim diyagramı

5.2.3 n.inci Kütle Ait Sınır Koşulları

n.inci katın üst ucunda bulunan n.inci kütle, sistemin son noktası olduğun için Şekil 5.4'de serbest cisim diyagramı verilen bu noktanın kuvvetler ve momentler dengesi yazılarak gerekli olan 2 adet sınır koşulu daha (5.11) denklemindeki gibi elde edilmiş olur.

$$\left. \begin{aligned} V_n(x=L,t) &= -M_n \ddot{u}_n(x=L,t) \\ M_n(x=L,t) &= J_n \ddot{\theta}_n(x=L,t) \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$



Şekil 5.4 n.inci kütle ait serbest cisim diyagramı

5.3 Çok Katlı Sistemin Açısal Frekanslarının Hesabı

(5.9), (5.10) ve (5.11) bağıntılarında verilen toplam (4n) adet homojen denklem takımı matris formda yazılabilir; ve sistemin frekans denklemi, katsayılar matrisinin determinantını sıfıra eşitlemek sureti ile elde edilebilir. Küçük (n) değerleri için (örneğin 1,2 veya 3 katlı sistem) sistemin açık formdaki frekans denklemini bu şekilde elde etmek kolay olabilir. Ancak, büyük (n) değerleri için, denklem takımının

katsayılar matrisinin determinantını sıfıra eşitleyerek frekans denklemini bulmak uzun zaman ve yoğun işlem gerektirecektir. Bu sebeple, herhangi bir (n) kat sayısı için, çok kütleli sistemin frekans denklemini elde etmek ve açısal frekanslarını hesaplamak için taşıma matrisi kullanılarak etkili bir hesap kolaylığı sağlanacaktır (Bapat & Bapat, 1987). Taşıma matrisi literatürde, Holzer metodu ile birlikte topaklanmış kütleli sistemlerin burulma titreşimleri için; Myklestad-Thomson metodu ile beraber topaklanmış kütleli ayırık sistemlerin eğilme titreşimleri için kullanılmaktadır (Hurty & Rubinstein, 1964; Thomson, 1981).

(5.9) numaralı denklemlerden, C_{1i} , C_{2i} , C_{3i} ve C_{4i} katsayılarının C_{1i-1} , C_{2i-1} , C_{3i-1} ve C_{4i-1} katsayıları ile ilişkili olduğu görülmektedir; ve bu ilişki kapalı formda aşağıdaki matris bağıntı ile verilebilir.

$$\begin{Bmatrix} C_{1i} \\ C_{2i} \\ C_{3i} \\ C_{4i} \end{Bmatrix} = [T_i] \cdot \begin{Bmatrix} C_{1i-1} \\ C_{2i-1} \\ C_{3i-1} \\ C_{4i-1} \end{Bmatrix} \quad (i=2,3,\dots,n) \quad (5.12)$$

Burada

$$[T_i] = \begin{bmatrix} \alpha_{38i} & \alpha_{39i} & \alpha_{51i} & \alpha_{52i} \\ \alpha_{40i} & \alpha_{41i} & \alpha_{53i} & \alpha_{54i} \\ \alpha_{42i} & \alpha_{43i} & \alpha_{55i} & \alpha_{56i} \\ \alpha_{44i} & \alpha_{45i} & \alpha_{57i} & \alpha_{58i} \end{bmatrix}$$

göstermekte olup (i-1).inci katın katsayılarını i.inci katın katsayılarına taşıyan i.inci taşıma matrisidir ve elemanları aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned} \alpha_{58i} &= \alpha_{50i}c_{i-1} - \alpha_{48i}s_{i-1}; & \alpha_{57i} &= \alpha_{50i}s_{i-1} + \alpha_{48i}c_{i-1}; \\ \alpha_{56i} &= -\alpha_{49i}s_{i-1} - \alpha_{24i}c_{i-1}; & \alpha_{55i} &= \alpha_{49i}c_{i-1} - \alpha_{24i}s_{i-1}; \\ \alpha_{54i} &= \alpha_{47i}c_{i-1} + \alpha_{48i}s_{i-1}; & \alpha_{53i} &= \alpha_{47i}s_{i-1} - \alpha_{48i}c_{i-1}; \\ \alpha_{52i} &= \alpha_{21i}c_{i-1} + \alpha_{46i}s_{i-1}; & \alpha_{51i} &= \alpha_{21i}s_{i-1} - \alpha_{46i}c_{i-1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{50i} &= \alpha_{32i} + \alpha_{17i}\alpha_{11i-1}; & \alpha_{49i} &= \alpha_{22i}\alpha_{13i-1} - \alpha_{23i}\alpha_{9i-1}; \\
\alpha_{48i} &= \alpha_{28i}\alpha_{9i-1} - \alpha_{26i}\alpha_{13i-1}; & \alpha_{47i} &= \alpha_{30i} - \alpha_{17i}\alpha_{11i-1}; \\
\alpha_{46i} &= \alpha_{20i}\alpha_{9i-1} + \alpha_{19i}\alpha_{13i-1}; & \alpha_{45i} &= \alpha_{37i}\text{ch}_{i-1} - \alpha_{35i}\text{sh}_{i-1}; \\
\alpha_{44i} &= \alpha_{37i}\text{sh}_{i-1} - \alpha_{35i}\text{ch}_{i-1}; & \alpha_{43i} &= \alpha_{36i}\text{sh}_{i-1} - \alpha_{24i}\text{ch}_{i-1}; \\
\alpha_{42i} &= \alpha_{36i}\text{ch}_{i-1} - \alpha_{24i}\text{sh}_{i-1}; & \alpha_{41i} &= \alpha_{34i}\text{ch}_{i-1} + \alpha_{35i}\text{sh}_{i-1}; \\
\alpha_{40i} &= \alpha_{34i}\text{sh}_{i-1} + \alpha_{35i}\text{ch}_{i-1}; & \alpha_{39i} &= \alpha_{21i}\text{ch}_{i-1} + \alpha_{33i}\text{sh}_{i-1}; \\
\alpha_{38i} &= \alpha_{21i}\text{sh}_{i-1} + \alpha_{33i}\text{ch}_{i-1}; & \alpha_{37i} &= \alpha_{32i} - \alpha_{17i}\alpha_{10i-1}; \\
\alpha_{36i} &= \alpha_{23i}\alpha_{8i-1} - \alpha_{22i}\alpha_{12i-1}; & \alpha_{35i} &= \alpha_{28i}\alpha_{8i-1} - \alpha_{26i}\alpha_{12i-1}; \\
\alpha_{34i} &= \alpha_{30i} + \alpha_{17i}\alpha_{10i-1}; & \alpha_{33i} &= \alpha_{20i}\alpha_{8i-1} + \alpha_{19i}\alpha_{12i-1}; \\
\alpha_{32i} &= \alpha_{31i}\alpha_{17i}\alpha_{18i}; & \alpha_{31i} &= \alpha_{16i}\alpha_{25i} + \alpha_{10i}/\alpha_{18i}; \\
\alpha_{30i} &= \alpha_{29i}\alpha_{17i}\alpha_{18i}; & \alpha_{29i} &= \alpha_{11i}/\alpha_{18i} - \alpha_{16i}\alpha_{25i}; \\
\alpha_{28i} &= \alpha_{27i}\alpha_{17i}\alpha_{18i}; & \alpha_{27i} &= \alpha_{12i}\alpha_{25i} - \alpha_{13i}\alpha_{14i}; \\
\alpha_{26i} &= \alpha_{25i}\alpha_{17i}\alpha_{18i}; & \alpha_{25i} &= m_{1i}\alpha_{15i} + m_{2i}\alpha_{14i}; \\
\alpha_{24i} &= \alpha_{22i}\alpha_{16i}; & \alpha_{23i} &= \alpha_{12i}\alpha_{18i}; & \alpha_{22i} &= m_{1i}\alpha_{18i}; & \alpha_{21i} &= \alpha_{19i}\alpha_{16i}; \\
\alpha_{20i} &= \alpha_{13i}\alpha_{18i}; & \alpha_{19i} &= m_{2i}\alpha_{18i}; & \alpha_{18i} &= 1/(m_{1i}\alpha_{13i} + m_{2i}\alpha_{12i}); \\
\alpha_{17i} &= 1/(\alpha_{10i} + \alpha_{11i}); & \alpha_{16i} &= M_{i-1}\omega^2; & \alpha_{15i} &= J_{i-1}\omega^2\alpha_{9i}; \\
\alpha_{14i} &= J_{i-1}\omega^2\alpha_{8i}; & \alpha_{13i} &= m_{2i}\alpha_{11i}; & \alpha_{12i} &= m_{1i}\alpha_{10i}; \\
\alpha_{11i} &= EI_i(m_{2i}^2 - \alpha_{5i}); & \alpha_{10i} &= EI_i(m_{1i}^2 + \alpha_{5i}); & \alpha_{9i} &= m_{2i}(\alpha_{6i}m_{2i}^2 - \alpha_{7i}); \\
\alpha_{8i} &= m_{1i}(\alpha_{6i}m_{1i}^2 + \alpha_{7i}); & \alpha_{13i-1} &= m_{2i-1}\alpha_{11i-1}; & \alpha_{12i-1} &= m_{1i-1}\alpha_{10i-1}; \\
\alpha_{11i-1} &= EI_{i-1}(m_{2i-1}^2 - \alpha_{5i-1}); & \alpha_{10i-1} &= EI_{i-1}(m_{1i-1}^2 + \alpha_{5i-1}); \\
\alpha_{9i-1} &= m_{2i-1}(\alpha_{6i-1}m_{2i-1}^2 - \alpha_{7i-1}); & \alpha_{8i-1} &= m_{1i-1}(\alpha_{6i-1}m_{1i-1}^2 + \alpha_{7i-1}); \\
\text{sh}_{i-1} &= \sinh(m_{1i-1}L_{i-1}); & \text{ch}_{i-1} &= \cosh(m_{1i-1}L_{i-1}); \\
s_{i-1} &= \sin(m_{2i-1}L_{i-1}); & c_{i-1} &= \cos(m_{2i-1}L_{i-1})
\end{aligned}$$

(5.12) numaralı denklem, (n) kat için ardışık olarak uygulanır ise, nihayet n.inci kata ait katsayılar ile 1.inci katın katsayıları arasındaki ilişkiyi veren ve (5.13) denklemindeki gibi yazılan bağıntı elde edilir.

$$\begin{Bmatrix} C_{1n} \\ C_{2n} \\ C_{3n} \\ C_{4n} \end{Bmatrix} = [T_t] \begin{Bmatrix} C_{11} \\ C_{21} \\ C_{31} \\ C_{41} \end{Bmatrix} \quad (5.13)$$

Burada $[T_t]$, 1.inci katın katsayılarını n.inci katın katsayılarına taşıyan toplam taşıma matrisi olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$[T_t] = [T_n][T_{n-1}] \dots [T_3][T_2] \quad (5.14)$$

(5.13) denklemi kullanılarak C_{11} , C_{21} , C_{31} ve C_{41} 'e bağlı olarak elde edilen C_{1n} , C_{2n} , C_{3n} ve C_{4n} katsayıları (5.11) sınır şartı bağıntılarında yerlerine yazılır ise, (5.10) sınır koşulu bağıntıları ile beraber toplam 4 adet, C_{11} , C_{21} , C_{31} ve C_{41} katsayılarına bağlı olan homojen denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımı matris formda aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F] \begin{Bmatrix} C_{11} \\ C_{21} \\ C_{31} \\ C_{41} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.15)$$

Burada $[F]$, katsayılar matrisidir. Şekil 5.1'de verilen sistemin frekans denklemi $f(\omega)$, $[F]$ katsayılar matrisinin determinantını sıfıra eşitlemek sureti ile aşağıdaki gibi elde edilir.

$$|F| = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{vmatrix} = f(\omega) = 0 \quad (5.16)$$

(5.16)'da verilen frekans denklemini sıfır kılan her ω değeri sistemin açılal frekanslarına karşılık gelir. Frekans denkleminin köklerini hesaplamak için

kullanılan basit ve yaygın metotlardan birisi sekant metodudur (Low, 1991). Bu metotta, belli bir ω değerleri aralığı için determinant değerleri elde edilir. Ardışık determinant değerleri arasında işaret değişimi sağlayan ω değeri frekans denkleminin bir köküdür ve sistemin açısai frekansına karşılık gelmektedir.

BÖLÜM ALTI

ZEMİNE YARI-RİJİT BAĞLI ÇOK KATLI ÇERÇEVEYE AİT HESAP MODELİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Bu bölümde zemine yarı-rijit bağlı çok katlı çerçevelere ait hesap modelinin güçlü yer ivmesi ile zorlanmış titreşimi incelenmiştir. Bu amaçla, Şekil 5.1’de verilen (n) katlı sistemin kinetik, potansiyel ve dinamik yükleme enerjileri elde edilerek Lagrange denklemi kurulmuş; böylece sistemin hareket denklemi, genelleştirilmiş tek serbestlik dereceli bir sistemin diferansiyel hareket denklemine indirgenmiş; ve malzemenin elastik ve elasto-plastik davranışları için sistemin güçlü yer ivmesi altındaki davranışı araştırılmıştır.

6.1 Şekil Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Şekil 5.1’de verilen sistemin serbest titreşimine ait doğal frekansları çok katlı çerçevelerin serbest titreşimlerinin incelendiği beşinci bölümde açıklanan yöntem ile hesaplandıktan sonra her bir kat çubuğunun modlara ait şekil fonksiyonu elde edilebilir.

Birinci katın p.inci moduna ait şekil fonksiyonunu elde etmek için, p.inci modun doğal frekans değeri (5.15)’de verilen dört adet sınır koşulu bağıntısında yerine yazılarak C_{11} , C_{21} , C_{31} integrasyon sabitleri (C_{41})’e bağlı olarak bulunur; $C_{41}=1$ için bu sabitlerin değerleri (5.3)’de verilen şekil fonksiyonu bağıntısında yerine yazılır. Dördüncü sabit, şekil fonksiyonunun keyfi bir genliğini ifade ettiğinden, bir serbest titreşim analizinde doğrudan elde edilemez. Ancak, literatürde olduğu gibi, $C_4=1$ değeri alınırsa birim genlikli şekil fonksiyonu elde edilir (Chopra, 1995; Clough & Penzien, 1993).

Diğer katlara ait şekil fonksiyonları ise, (5.12)’de verilen ilişki kullanılarak elde edilen, katlara ait sabitlerin sırasıyla (5.3)’de yerlerine konulması ile hesaplanır.

6.2 Enerji İfadelerinin Elde Edilmesi

Şekil 5.1’de verilen sistemin hareketi tek bir deplasman formu ile sınırlandırılırsa sistem matematiksel açıdan sadece bir tek serbestlik derecesine sahiptir. Bu nedenle, bu serbestlik derecesine ait genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvet parametreleri elde edilmiş yapı gerçek bir TSD sistem gibi analiz edilebilir (Clough & Penzien, 1993). Genelleştirilmiş parametreler, Şekil 5.1’deki sistemin kinetik, potansiyel ve dış yükleme enerjisi ifadelerinin Lagrange denkleminde yerlerine konulması ile elde edilir.

6.2.1 Kinetik Enerji

Kat kolonları Timoshenko kolonu olarak modellenen Şekil 5.1’deki n kütleli sistemin toplam kinetik enerji ifadesi aşağıdaki gibi yazılır (Karami et al., 2003).

$$\begin{aligned}
 E_k = & \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial u_i(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \frac{I_i}{A_i} \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial \theta_i(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx}_{(2)} \\
 & + \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \left(\frac{\partial u_i(L_i,t)}{\partial t} \right)^2}_{(3)} + \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n J_i \left(\frac{\partial \theta_i(L_i,t)}{\partial t} \right)^2}_{(4)}
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

(6.1) bağıntısındaki (1) ve (2) terimleri sırasıyla, kat kolonlarının deplasmanı ve dönmesi dikkate alınarak yazılan kinetik enerji ifadelerini, (3) ve (4) terimleri ise sırasıyla, topaklanmış kat kütlelerinin deplasmanı ve dönmesi dikkate alınarak yazılan kinetik enerji ifadelerini göstermektedir.

Dönme eylemsizlik momenti için $u_{b_i}(x,t)=u_i(x,t)$ kabulü yapıldığı için (Rogers, 1959) (6.1) bağıntısındaki (2) teriminde $\theta_i(x,t)$ kesit fonksiyonu yerine $\partial u_i(x,t)/\partial x$ yazılır, (4) teriminde ise $\theta_i(L_i,t)$ yerine (5.8) numaralı bağıntıdaki değeri yazılır ise

$$\begin{aligned}
E_k = & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial u_i(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \frac{I_i}{A_i} \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial^2 u_i(x,t)}{\partial x \partial t} \right)^2 dx \\
& + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n M_i \left(\frac{\partial u_i(L_i,t)}{\partial t} \right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n J_i \left(\alpha_{6i} \frac{\partial^4 u_i(L_i,t)}{\partial x_i^3 \partial t} + \alpha_{7i} \frac{\partial^2 u_i(L_i,t)}{\partial x_i \partial t} \right)^2
\end{aligned} \quad (6.2)$$

elde edilir. (6.2) bağıntısı için (1.6) numaralı dönüşüm uygulanmış ve gerekli düzenlemeler yapılarak Şekil 5.1'deki sistemin kinetik enerjisi için (6.3) bağıntısı elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}
E_k = & \frac{\dot{Z}^2}{2} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[m_i \int_0^{L_i} X_i^2 dx + m_i \frac{I_i}{A_i} \int_0^{L_i} X_i'^2 dx \right] \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^n \left(M_i [X_i(L_i)]^2 + J_i \left[\alpha_{6i} X_i'''(L_i) + \alpha_{7i} X_i'(L_i) \right]^2 \right) \right\}
\end{aligned} \quad (6.3)$$

6.2.2 Potansiyel Enerji

Kat kolonları Timoshenko kolonu olarak modellenen Şekil 5.1'deki zemine yarı-rijit bağlı sistemin toplam potansiyel enerjisi ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned}
E_p = & \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n EI_i \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial \theta_i(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{AG_i}{k_i} \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial u_i(x,t)}{\partial x} - \theta_i(x,t) \right)^2 dx}_{(2)} \\
& - \underbrace{\frac{1}{2} N \sum_{i=1}^n \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial u_i(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx}_{(3)} + \underbrace{\frac{1}{2} K_\delta [u_1(0,t)]^2}_{(4)} + \underbrace{\frac{1}{2} K_\theta [\theta_1(0,t)]^2}_{(5)}
\end{aligned} \quad (6.4)$$

(6.4) bağıntısındaki (1) ve (2) terimleri sırasıyla, kat kolonlarının eğilme ve kayma deformasyonları dikkate alınarak yazılan potansiyel enerji ifadelerini, (3) terimi aksenal kuvvetin potansiyel enerjiye katkısını, (4) ve (5) terimleri ise sırasıyla,

sistemin zemin noktasındaki ötelenme ve dönme yayları dikkate alınarak yazılan potansiyel enerji ifadelerini göstermektedir.

(6.4) bağıntısındaki $\theta(x,t)$ kesit dönmesi fonksiyonları yerine (5.8) numaralı bağıntıdaki değeri yazılır ise

$$\begin{aligned}
E_p = & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n EI_i \int_0^{L_i} \left(\alpha_{6i} \frac{\partial u_i^4(x,t)}{\partial x^4} + \alpha_{7i} \frac{\partial u_i^2(x,t)}{\partial x^2} \right)^2 dx \\
& + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{AG_i}{k_i} \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial u_i(x,t)}{\partial x} - \alpha_{6i} \frac{\partial u_i^3(x,t)}{\partial x^3} - \alpha_{7i} \frac{\partial u_i(x,t)}{\partial x} \right)^2 dx \\
& - \frac{1}{2} N \int_0^{L_i} \left(\frac{\partial u_i(x,t)}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} K_\delta [u_1(0,t)]^2 + \frac{1}{2} K_\theta \left(\alpha_{61} \frac{\partial u_1^3(0,t)}{\partial x^3} + \alpha_{71} \frac{\partial u_1(0,t)}{\partial x} \right)^2
\end{aligned} \tag{6.5}$$

elde edilir. (6.5) bağıntısı için (1.6) numaralı dönüşüm uygulanmış ve gerekli düzenlemeler yapılarak Şekil 5.1'deki sistemin potansiyel enerjisi için (6.6) numaralı bağıntı elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}
E_p = & \frac{Z}{2} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[EI_i \int_0^{L_i} (\alpha_{6i} X_i^{IV} + \alpha_{7i} X_i^{II})^2 dx + \frac{AG_i}{k_i} \int_0^{L_i} [(1 - \alpha_{7i}) X_i^I - \alpha_{6i} X_i^{III}]^2 dx \right] \right. \\
& \left. - N \int_0^{L_i} (X_i^I)^2 dx + K_\delta [X_1(0)]^2 + K_\theta (\alpha_{61} X_1^{III}(0) + \alpha_{71} X_1^I(0))^2 \right\}
\end{aligned} \tag{6.6}$$

6.2.3 Dış Yükleme Enerjisi

Güçlü yer ivmesi etkisindeki (n) kütleli sistemin, Şekil 5.1, toplam dış yükleme enerjisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$E_g = -\ddot{u}_g(t) \sum_{i=1}^n m_i \int_0^{L_i} u_i(x,t) \cdot dx \tag{6.7}$$

(6.7) bağıntısı için (1.6) numaralı dönüşüm uygulanmış ve Şekil 5.1'deki sistemin dış yükleme enerjisi için (6.8) numaralı bağıntı elde edilmiştir.

$$E_g = -\ddot{u}_g(t)Z \sum_{i=1}^n m_i \int_0^{L_i} X_i dx \quad (6.8)$$

6.3 Çok Katlı Sistemin Modal Hareket Denkleminin Lagrange Denklemi İle Elde Edilmesi

Kinetik, potansiyel ve dış yükleme enerjilerine ait, sırasıyla (6.3), (6.6) ve (6.8) numaralı ifadeler (4.20) numaralı Lagrange denkleminde yerlerine konur ise Şekil 5.1'de verilen çok katlı sistemin hareket denklemi genelleştirilmiş koordinata bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\left\{ \sum_{i=1}^n \left[m_i \int_0^{L_i} X_i^2 dx + m_i \frac{I_i}{A_i} \int_0^{L_i} X_i'^2 dx \right] + \sum_{i=1}^n \left(M_i [X_i(L_i)]^2 + J_i [\alpha_{6i} X_i'''(L_i) + \alpha_{7i} X_i'(L_i)]^2 \right) \right\} \ddot{Z} \\ + \left\{ \sum_{i=1}^n \left[EI_i \int_0^{L_i} (\alpha_{6i} X_i^{IV} + \alpha_{7i} X_i'')^2 dx + \frac{AG_i}{k_i} \int_0^{L_i} [(1 - \alpha_{7i}) X_i' - \alpha_{6i} X_i''']^2 dx \right] \right. \\ \left. - N \int_0^{L_i} (X_i')^2 dx + K_\delta [X_1(0)]^2 + K_\theta (\alpha_{61} X_1'''(0) + \alpha_{71} X_1'(0))^2 \right\} Z = -\ddot{u}_g(t) \sum_{i=1}^n m_i \int_0^{L_i} X_i dx \quad (6.9)$$

Böylece güçlü yer ivmesine maruz genelleştirilmiş sistemin modal hareket denklemi, genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvet parametrelerine bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M_p \ddot{Z}(t) + K_p Z(t) = -F_p \ddot{u}_g(t) \quad (6.10)$$

Burada M_p , p.inci moda ait genelleştirilmiş kütle; K_p , p.inci moda ait genelleştirilmiş rijitliği; F_p , p.inci moda ait genelleştirilmiş kuvveti göstermektedir, ve sırasıyla, (6.11), (6.12) ve (6.13) numaralı bağıntılarda verilmiştir.

$$M_p = \sum_{i=1}^n \left[m_i \int_0^{L_i} X_i^2 dx + m_i \frac{I_i}{A_i} \int_0^{L_i} X_i^{12} dx \right] + \sum_{i=1}^n \left\{ M_i [X_i(L_i)]^2 + J_i [\alpha_{6i} X_i^{III}(L_i) + \alpha_{7i} X_i^I(L_i)]^2 \right\} \quad (6.11)$$

$$K_p = \sum_{i=1}^n \left[EI_i \int_0^{L_i} (\alpha_{6i} X_i^{IV} + \alpha_{7i} X_i^{II})^2 dx + \frac{AG_i}{k_i} \int_0^{L_i} [(1 - \alpha_{7i}) X_i^I - \alpha_{6i} X_i^{III}]^2 dx \right] - N \int_0^{L_i} (X_i^I)^2 dx + K_\delta [X_1(0)]^2 + K_\theta (\alpha_{61} X_1^{III}(0) + \alpha_{71} X_1^I(0))^2 \quad (6.12)$$

$$F_p = \sum_{i=1}^n m_i \int_0^{L_i} X_i dx \quad (6.13)$$

Zorlanmış sistemin $u(x,t)$ yer değiştirmesi, (6.10) modal denklemlerinin $Z_p(t)$ için çözümleri ile elde edilecektir. Toplam yer değiştirme ise tüm modların katkılarının toplamı olarak elde edilir.

$$u(x,t) = \sum_{p=1}^{\infty} u_p(x,t) = \sum_{p=1}^{\infty} X_p(x) Z_p(t) \quad (6.14)$$

(6.10) numaralı p.inci moda ait hareket denkleminin her terimi M_p 'ye bölünür ise güçlü yer ivmesine maruz genelleştirilmiş TSD sistemin hareketi için aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$\ddot{Z}(t) + \omega_p Z(t) = -\Gamma_p \ddot{u}_g(t) \quad (6.15)$$

Burada

$$\omega_p^2 = \frac{K_p}{M_p} \quad \Gamma_p = \frac{F_p}{M_p}$$

göstermektedir.

Genelleştirilmiş TSD sisteme ait (6.15) numaralı modal hareket denklemi, Γ_n faktörü dışında, ayrık parametrelili TSD bir sistemin hareket denklemi ile aynı formdadır ve böylece ayrık parametrelili TSD bir sistemin tepkisini elde etmek için kullanılan yöntemler ile çözülebilir. Bu yöntemler arasında Newmark- β , lineer-ivme ve sabit-ivme metotları sayılabilir.

BÖLÜM YEDİ

TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ

7.1 Doğrusal Tepki Spektrumu

Tepki spektrumu, tüm tek serbestlik dereceli sistemlerin belirli bir dinamik etki altında göstermiş oldukları deplasman, hız ve ivme tepkilerinin maksimum değerlerinin grafiksel bir çizimidir. Spektrumun yatay eksenini sistemin doğal frekansı veya doğal periyodu, dikey eksenini sistemin maksimum tepkisidir. Böylece, belirli bir zorlama için mevcut olan bir spektral eğriden tepkiyi tanımlamak için sadece sistemin doğal frekansının bilinmesine ihtiyaç vardır (Paz, 1997).

$\ddot{u}_g(t)$ güçlü yer ivmesi etkisinde doğrusal tek serbestlik dereceli sistemin hareketi

$$\ddot{u}(t) + 2\xi\omega\dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (7.1)$$

denklemini ifade edilebilir. Verilen bir $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesi için bir sistemin $u(t)$ deformasyon tepkisinin sistemin ω doğal frekansına (veya T doğal periyoduna) ve sönümüne bağlı olduğu açıktır (Chopra, 1995). Böylece aynı T doğal periyot değerlerine sahip iki ayrı sistem, kütleleri ve rijitlikleri farklı olsa bile, aynı $u(t)$ deformasyon tepkisine sahip olacaktır.

Belirli bir $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesi değeri için (7.1) denklemini çözmek ve maksimum tepkinin $[u(\omega)_{\max}]$ grafiğini çizmek mümkündür. Elde edilen eğri bu yer ivmesi dataları için deplasman tepki spektrumudur. Her bir farklı depremin güçlü yer ivmeleri için farklı bir eğri çıkacağı açıktır.

$\omega \cdot u(\omega)_{\max}$ 'ın çizimi yalancı-hız spektrumu ve $\omega^2 \cdot u(\omega)_{\max}$ 'ın çizimi yalancı-ivme spektrumu olarak tanımlanır. Maksimum hız ve ivmelerin gerçek değerleri (7.1) denkleminin çözümünden hesaplanmalıdır (Wilson, 2000).

Deprem sırasındaki yer ivmeleri zamana bağılı olarak çok düzensizce değişmektedir. Bu yüzden yapının tepkisini tanımlamak için sayısal metotlara gereksinim vardır.

Yapının dinamik analizi ile $u(t)$ deplasman tepkisi geçmişi elde edildikten sonra, iç kuvvetler her bir zaman anında yapının statik analizi ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$F_s(t) = k \cdot u(t) \quad (7.2)$$

Burada k , çerçevenin yanal rijitliğidir. k , m kütlesi cinsinden yazılır ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$F_s(t) = m\omega^2 u(t) \quad (7.3)$$

Burada

$$\omega^2 \cdot u(t) = S_a(t)$$

olup, sistemin yalancı ivme tepkisidir.

7.2 Doğrusal Tepki Spektrumunun Sayısal Çözümü

Doğrusal tepki spektrumunun sayısal çözümü için adım-adım integrasyon yöntemi kullanılacaktır. Adım-adım integrasyon metodunun doğruluğu, seçilen zaman artımının değerine (Δt) bağlıdır. (Δt)'nin seçiminde yapının doğal periyodu, yükleme fonksiyonunun değişim hızı, rijitlik ve sönüm fonksiyonlarının karmaşıklığı gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Genelde zaman aralığı, yapının doğal periyodunun 1/10'undan daha uzun olmayacak şekilde alınırsa yeterince doğru sonuçlar elde edilir (Paz, 1997).

Newmark, ne kadar karmaşık olursa olsun tüm yapıların, doğrusal elastik davranışlarından çökmeyi de kapsayan doğrusal olmayan davranışlarına kadar olan tüm kuvvet-deplasman seviyeleri için uygulanması mümkün olan zaman-adımlı bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde şok, darbe, titreşim, deprem hareketi veya nükleer bir silahın patlaması gibi herhangi bir dinamik yükleme dikkate alınabilir (Newmark, 1959).

Newmark- β adıyla bilinen yöntemin, t_i ve t_{i+1} zamanları arasındaki (Δt) zaman adımı için sırasıyla hıza ve deplasmana ait temel denklemleri aşağıda verilmiştir (Paz, 1997).

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (7.4)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_i + \left[(0.5 - \beta)(\Delta t)^2 \right] \ddot{u}_i + \left[\beta(\Delta t)^2 \right] \ddot{u}_{i+1} \quad (7.5)$$

Burada β ve γ parametreleri, ivmenin bir zaman adımı sürecince değişimini ifade etmekte ve yöntemin kararlılık ve doğruluk karakteristiklerini göstermektedir. γ için $(1/2)$ den başka değerler seçilirse, yöntem sistemde süper-akışkan sönüm oluşturmaktadır (Paz, 1997). Bu sebeple, bu parametre genellikle $\gamma=1/2$ olarak alınır. $\beta=1/6$ seçimi, ivmenin zaman adımı boyunca doğrusal değişimine karşılık gelirken, $\beta=1/4$ seçimi, zaman adımının başlangıç ve bitişindeki ivme değerlerinin ortalaması olan ivme değerinin zaman adımı boyunca sabit kalmasını geçerli kılar. $\beta=1/8$ değeri, zaman adımının ilk yarısı için ivmenin başlangıç değerini son yarısı için de ivmenin bitiş değerini ele alan bir adım fonksiyonuna karşılık gelir. Bu sebeple β için $\frac{1}{6} \leq \beta \leq \frac{1}{4}$ aralığında bir değer seçmek her açıdan yeterli doğruluğu sağlayacaktır (Newmark, 1959).

Doğrusal sistemlerde (7.4) ve (7.5) denklemlerini iterasyona bağlı olmadan çözmek için, Newmark formülasyonu artımsal formda yeniden düzenlenebilir. Adım adım çözüm, doğrusal sistemlerin analizinde gerekli olmamasına rağmen doğrusal olmayan sistemlerin analizine uygun bir geçiş sağlar.

Sabit ivme ve doğrusal ivme yöntemleri, en yaygın iki zaman-adımlı sayısal yöntemdir. Sabit ivme yönteminde ivmenin (Δt) zaman aralığı boyunca sabit kaldığı varsayılırken, doğrusal ivme yönteminde ise, ivmenin aralık boyunca doğrusal olarak değiştiği varsayılır. Doğrusal ivme yöntemi, sabit ivme yöntemiyle kıyaslandığında, daha zordur ancak daha doğru sonuçlar verir (Paz, 1997). Newmark- β yöntemi, $\beta=1/4$ için sabit ivme yöntemine, $\beta=1/6$ için doğrusal ivme yöntemine uymaktadır.

Bu doktora çalışmasında, zemine yarı-rijit bağlı güçlü yer ivmesi etkisindeki çerçevelerin tepki deplasman, tepki hız ve tepki ivme zaman geçmişleri doğrusal ivme metodu kullanılarak elde edilmiştir.

7.3 Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumu

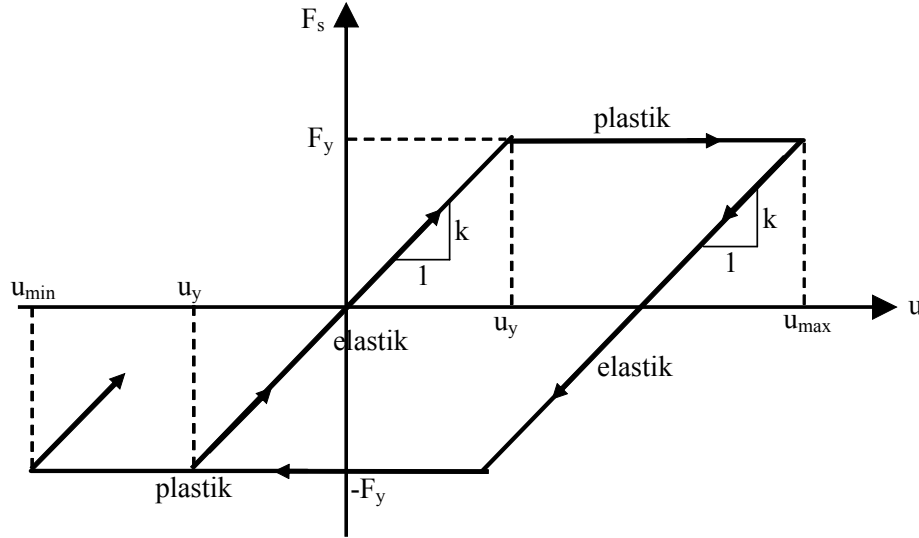
Orta şiddetteki bir deprem için yapılan sismik tasarımda, iyi tasarlanmış ve inşa edilmiş bir yapı için doğrusal tepki davranışı kabul etmek olasıdır. Ancak, çok güçlü yer hareketleri için iyi tasarlanmış bir yapı için bile bu varsayım gerçekçi bir yaklaşım değildir.

Yapıları doğrusal sınırların ötesindeki şekil değiştirme seviyeleri için tasarlamak amacıyla, tepki spektrumu doğrusal olmayan sınırı da kapsayarak genişletilmiştir. Genellikle yapı dinamiğinde, kuvvet ve deplasman arasında elasto-plastik bağıntı kullanılır.

1960'lerden beri yapılan deney sonuçları, bir yapının tersinir kuvvet-deformasyon davranışının yapı malzemesine ve yapı sistemine bağlı olduğunu göstermiştir (Chopra, 1995).

Yapının başlangıç yüklemesi sırasındaki gerçek kuvvet-deformasyon eğrisini elasto-plastik kuvvet-deformasyon ilişkisi ile idealleştirmek uygundur, çünkü bu yaklaşım tepki spektrumunu doğrusal elastik sistemlerdeki gibi geliştirmeyi mümkün kılar (Şekil 7.1). Gerçek kuvvet-deformasyon eğrisine yapılan elasto-plastik kabul,

maksimum deplasman (u_m) değerinde iki eğri altında kalan alan aynı olacak şekilde çizilir.

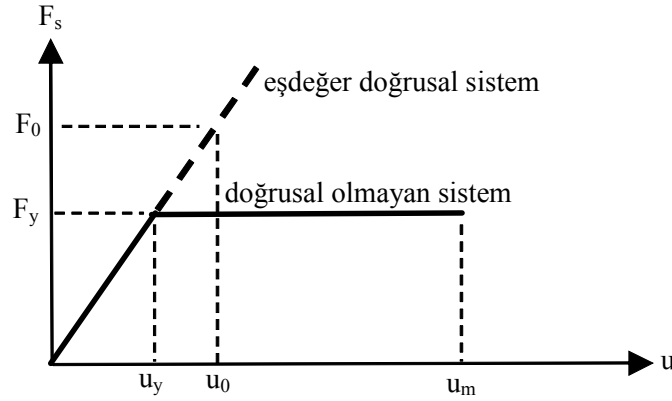


Şekil 7.1 Elasto-plastik kuvvet-deformasyon ilişkisi

Elasto-plastik davranış yaklaşımından dolayı eğer kuvvet, akma olmadan önce ($u < u_y$) kaldırılırsa malzeme başlangıç yüklemeye doğrusu boyunca başlangıca geri dönecektir. Yani, kuvvet akma dayanımını (F_y) aşmadıkça idealleştirilmiş bu sistem k rijitliğine sahip doğrusal-elastik bir sistem gibi davranır. Akmanın başladığı deplasman (u_y) akma deplasmanıdır. Akma dayanımı deplasmanının iki yönünde de aynıdır. Akma, sabit F_y kuvveti altında oluşur; bu kuvvet altında rijitlik değeri sabit kalır. Deplasman geri döndürülmezse, maksimum deplasman değerine (u_m) ulaşılabilir. Ancak deplasman geri döndürülürse (yük boşaltması) elastik geri dönüş, başlangıç doğrusuna paralel bir yol izler ve ters yönde bir negatif akma değerine ulaşılıncaya kadar elastik geri dönüş devam eder. Aynı şekilde bir minimum deplasman noktasından yapılan geri yüklemenin izlediği yol da başlangıç elastik doğruya paraleldir (Chopra, 1995).

Sistemde yük boşaltılıyor veya geri yükleniyorsa kuvvet-deformasyon ilişkisi artık tek değerlikli değildir. t anındaki $u(t)$ deplasmanı için F_s direnç kuvveti, öncelikle sistemin hareketinin geçmişine ve deplasmanın artıp ($\dot{u} > 0$) veya azaldığına ($\dot{u} < 0$) bağlıdır (Chopra, 1995).

Şekil 7.2’de doğrusal olmayan sisteme ve onun eşdeğer doğrusal sistemine ait yay (direnç) kuvvet-deplasman ilişkisi gösterilmiştir. Her iki sistem de aynı fiziksel özelliklere (kütle, sönüm gibi) sahiptir. Eşdeğer doğrusal sistem, doğrusal olmayan sistemin başlangıç yüklemesi sırasında sahip olduğu rijitliğe sahiptir.



Şekil 7.2 Doğrusal olmayan sisteme ve onun eşdeğer doğrusal sistemine ait yay kuvvet-deplasman ilişkisi

Burada u_0 ve F_0 , eşdeğer doğrusal sistemde deprem etkisi sonucu oluşan sırasıyla maksimum deplasmanı ve maksimum yay kuvvetini göstermektedir ve aralarındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$F_0 = k \cdot u_0 \quad (7.6)$$

Doğrusal olmayan sistem için normalleştirilmiş akma dayanımı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır (Chopra, 1995).

$$\bar{F}_y = \frac{F_y}{F_0} = \frac{u_y}{u_0} \quad (7.7)$$

Burada \bar{F}_y , normalleştirilmiş akma dayanımını göstermektedir. (7.7) denkleminde görüldüğü gibi doğrusal davranan sistemin normalleştirilmiş akma dayanımı 1 değerine eşit olacaktır. Doğrusal olmayan sistem ise doğrusal limitin

ötesinde deplasman yapacağından 1 değerinden küçük normalleştirilmiş akma dayanımı değerine sahip olacaktır.

Doğrusal olmayan sistemin deprem etkisi sonucunda oluşan mutlak değerce maksimum deplasmanı (u_m), sistemin akma deplasmanına oranlandığında boyutsuz olan süneklik oranı aşağıdaki gibi elde edilir (Chopra, 1995).

$$\mu = \frac{u_m}{u_y} \quad (7.8)$$

Burada μ , süneklik oranını göstermektedir. Şekil 7.2'deki gibi doğrusal olmayan davranış gösteren sistemlerde $u_m > u_y$ olacağından süneklik oranı 1 den büyüktür. Eşdeğer doğrusal sistem için ise süneklik oranı 1 değerindedir.

(7.7) ve (7.8) denklemleri kullanılarak, doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal sistemlerin deprem etkisi sonucunda oluşan maksimum deplasmanları arasında aşağıdaki ilişki yazılabilir.

$$\frac{u_m}{u_0} = \mu \bar{F}_y \quad (7.9)$$

(7.9) denkleminde süneklik oranı, doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusal sistemlerin maksimum deplasmanlarına ve normalleştirilmiş akma dayanımına bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} \quad (7.10)$$

(7.10) denklemi ile hesaplanan süneklik oranı, doğrusal olmayan sistemde depremin süneklik talebini göstermektedir (Chopra, 1995).

Deprem etkisindeki bir sistemin doğrusal olmayan dinamik analizi için gerekli olan akma dayanımı, belirlenen normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri için (7.7) denkleminde elde edilebilir. Analizde kullanılacak akma deplasmanı ise (7.7) denkleminde bulunacağı gibi, akma dayanımının rijitliğe bölünmesi ile de hesaplanabilir.

(T) periyoduna sahip bir yapı kaç farklı akma dayanımı için analiz edilmiş ise o sayıda süneklik oranı elde edilecektir. Bu sayede, istenen normalleştirilmiş akma dayanımlarına karşılık gelen süneklik oranları bulunacaktır. Ancak amaç, istenen süneklik oranlarına göre tepki spektrumlarını çizmek olduğundan, verilen normalleştirilmiş akma dayanımının ve onlara göre hesaplanan süneklik oranlarının logaritmik değerleri arasında doğrusal interpolasyon yapılarak istenen süneklik oranlarına karşılık gelen normalleştirilmiş akma dayanımları bulunabilir (Chopra, 1995). Böylece, farklı periyotlara sahip deprem etkisindeki yapının doğrusal olmayan analizi belirlenen her bir süneklik oranı için Newmark-Beta yöntemiyle yapılabilir ve deplasmana, hıza ve ivmeye ait doğrusal olmayan tepki spektrumları elde edilebilir.

7.4 Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumunun Analizi

$\ddot{u}_g(t)$ güçlü yer ivmesine maruz ve kuvvet-deplasman ilişkisi doğrusal olmayan tek serbestlik dereceli sistemin hareketi

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + F_S(u) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (7.11)$$

denklemleri ile verilir. Burada $F_S(u)$, deplasmanın bir fonksiyonu olan yay kuvvetini göstermektedir. Böylece, $u_i = u(t_i)$, $\dot{u}_i = \dot{u}(t_i)$ ve $\ddot{u}_i = \ddot{u}(t_i)$ gösterimi kullanılarak t_i anı için

$$m\ddot{u}_i + c\dot{u}_i + F_S(u_i) = F(t_i) \quad (7.12)$$

ve kısa zaman sonra, $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ anı için

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + F_S(u_{i+1}) = F(t_{i+1}) \quad (7.13)$$

yazılır. (7.12) denklemini (7.13) denkleminde çıkarmak (Δt) zaman artımı için diferansiyel hareket denklemini verecektir.

$$m\Delta\ddot{u}_i + c\Delta\dot{u}_i + \Delta F_S(u_i) = \Delta F_i \quad (7.14)$$

Artım yay kuvvetinin artım deplasmanı ile orantılı olduğu kabul edilir ise (7.15) denklemini yazılabilir.

$$\Delta F_S(u_i) = k_i \Delta u_i \quad (7.15)$$

(7.15) denklemini (7.14) numaralı hareket denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$m\Delta\ddot{u}_i + c\Delta\dot{u}_i + k_i \Delta u_i = \Delta F_i \quad (7.16)$$

(k_i) katsayısı, kuvvet-deplasman fonksiyonunun (Δt) zaman aralığının başlangıcındaki teğetin eğimi olarak alınabilir ve direnç kuvvetinin birim deplasmana oranının o andaki hesabı olarak tanımlanır (Paz, 1997). k_i katsayısının değeri (t_i) zamanına karşılık gelen deplasmanda hesaplanır ve Δt zaman artımı boyunca sabit kaldığı kabul edilir.

Artım deplasmanı, hızı ve ivmesi aşağıdaki bağıntılarla verilir.

$$\Delta u_i = u(t_i + \Delta t) - u(t_i) \quad (7.17)$$

$$\Delta \dot{u}_i = \dot{u}(t_i + \Delta t) - \dot{u}(t_i) \quad (7.18)$$

$$\Delta \ddot{u}_i = \ddot{u}(t_i + \Delta t) - \ddot{u}(t_i) \quad (7.19)$$

Doğrusal olmayan hareket denkleminin çözümü için etkili yöntemlerin birisi adım-adım integrasyon yöntemidir. Bu metot da tepki parametreleri, ardışık (Δt)

zaman artımlarında bulunur. Her aralık başlangıcında dinamik denge şartı kurulur. Sonra, $k(u)$ ve $c(\dot{u})$ katsayılarının (Δt) aralığı boyunca sabit kaldığı temeline bağlı olarak (Δt) zaman artımı için tepki hesaplanır. Bu katsayıların doğrusal olmayan karakteristikleri, her bir zaman artımının başlangıcında yeniden hesaplanmalarıyla analize dahil edilir. Zaman aralığının sonunda hesaplanan deplasman ve hız, bir sonraki adım için başlangıç şartları olarak kullanılarak tepki elde edilir.

Zemine yarı-rijit bağlı çerçevelerin serbest titreşimine ait açısal frekansları hesaplamak için Frekans.Bas isimli bilgisayar programının akış diyagramı ve programda kullanılan değişkenler Ek-1’de sunulmuştur.

8.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Serbest Titreşimine Ait Sayısal Uygulamalar

Sayısal uygulama için seçilen tek katlı, zemine yarı-rijit bağlı çerçeveye (Şekil 8.1) ait dinamik hesap modelinin fiziksel özellikleri aşağıda sunulmuştur:

Çubuğun yayılı kütlesi: $m=1,7982 \text{ ts}^2/\text{m}^2$, Çubuğun kayma rijitliği: $AG=3116400 \text{ t}$,
Çubuğun eğilme rijitliği: $EI=198750 \text{ tm}^2$, Çubuğun yüksekliği: $L=3 \text{ m}$

Dikdörtgen en kesitli çubuk için nümerik çarpan: $k=1,2$

Topaklanmış kütle: $M=53,946 \text{ ts}^2/\text{m}$ Dönme eylemsizliği: $J=485,514 \text{ tms}^2$

Eksenel basınç kuvveti: $N=100 \text{ t}$

Frekans.bas isimli bilgisayar programı kullanılarak, çerçevenin fiziksel özelliklerine bağlı olarak ötelenme yay katsayısının sırasıyla 10000, 100000, 1000000 ve 10000000 t/m; dönme yay katsayısının sırasıyla 10000, 100000, 1000000 ve 10000000 tm/radyan değerleri için elde edilen frekans değerleri Tablo 8.1’de sunulmuştur.

Tablo 8.1 incelendiğinde, ötelenme yay katsayısının herhangi bir değeri için, dönme yay katsayısı değerleri arttırıldıkça sistemin açısal frekans değerlerinde artma izlenmektedir. Bu artma dönme yay sabitinin 10000000 tm/radyan değerine kadar devam etmekte, bu değerden sonra frekans değerleri sabit kalmaktadır.

Benzer şekilde, (K_θ) ’nın sabit olduğu ve (K_δ) ’nın arttırıldığı durumlarda da açısal frekans değerlerinde artma izlenmiş ve (K_δ) ’nın 10000000 t/m değerinden sonra açısal frekans değerlerinde değişim gözlenmemiştir. Her iki yay katsayısının 100000000 (t/m ve tm/radyan) değeri için, Şekil 8.1’de verilen sistem ile aynı

fiziksel özelliklere sahip ancak zemine rijit bağlı çerçevenin doğal frekans değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 8.1 Ötelenme (K_δ) ve dönme (K_θ) yay katsayılarındaki değişime göre elde edilen açısal frekans değerleri

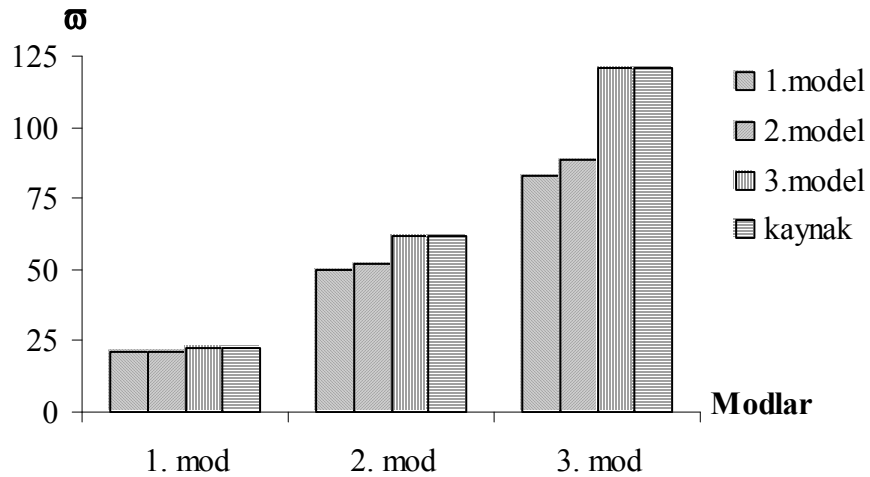
K_δ (t/m)	K_θ (tm/radyan)	Frekans Değerleri (radyan/s)		
		ω_1	ω_2	ω_3
10000	10000	3	15	160
	100000	6	15	181
	1000000	8	15	206
	10000000	9	15	213
100000	10000	3	25	278
	100000	7	27	281
	1000000	9	30	285
	10000000	10	31	286
1000000	10000	3	28	470
	100000	7	31	485
	1000000	9	38	522
	10000000	10	40	536
10000000	10000	3	28	513
	100000	7	32	542
	1000000	9	40	627
	10000000	10	42	667

Çubuğun alt ucundaki ötelenme ve dönme yayı katsayıları ile çubuğun üst ucundaki topaklanmış kütle ve dönme eylemsizliği değerleri sıfır alınır ise Şekil 8.1'de verilen hesap modeli teorik olarak iki ucu serbest Timoshenko kolonu gibi çalışacaktır. Frekans.Bas isimli bilgisayar programında, topaklanmış kütle ve dönme eylemsizliği, ötelenme ve dönme yay katsayıları, aksenal basınç kuvveti ile yayılı kütleli kolonun kesit faktörü ve dönme eylemsizliği için sıfır değeri kullanılarak Bernoulli-Euler çubuğunun serbest titreşimine ait frekans değerlerinin elde edilmesi

amaçlanmıştır. Bu çalışmadaki değerler ve Frekans.bas isimli bilgisayar programı kullanılarak, iki ucu serbest Bernoulli-Euler kirişinin serbest titreşimine ait açılal frekanslar için kaynakta (Paz, 1997) verilen bağıntılar ile aynı değerler bulunmuş; program ile bulunan ve kaynaktan (Paz, 1997) alınan açılal frekansların boyutsuz değerleri Tablo 8.2’de sunulmuş ve Şekil 8.2’deki grafikte karşılaştırılmıştır. 1.inci, 2.inci ve 3.üncü modeller Frekans.Bas isimli bilgisayar programına ait sırasıyla Timoshenko kolonu, dönme ataletinin ihmal edildiği Timoshenko kolonu ve Bernoulli-Euler kolonu davranışına; 4.üncü model ise kaynakta (Paz, 1997) verilen Bernoulli-Euler kirişi davranışına aittir.

Tablo 8.2 Her iki ucu serbest kolunun, bu çalışmada ve kaynakta (Paz, 1997) verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanan boyutsuz açılal frekans değerlerinin kıyaslanması

Frekans.bas									4. Model		
1. Model Timoshenko			2. Model Dönme ataleti ihmal			3. Model Bernoulli-Euler			Kaynak (Paz 1997) Bernoulli-Euler		
ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3
20,9	49,8	82,8	21,2	52,1	88,8	22,3	61,5	120,6	22,3	61,5	120,6



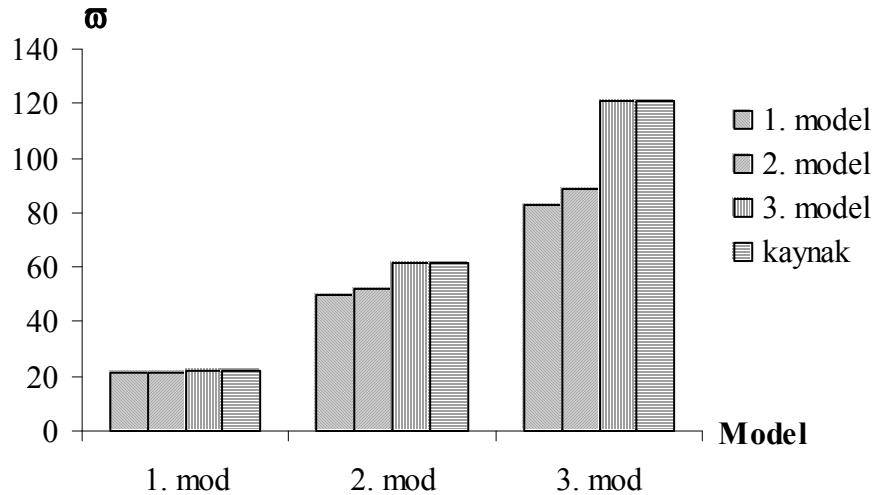
Şekil 8.2 Her iki ucu serbest kolunun, bu çalışmada ve kaynakta (Paz, 1997) verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanan boyutsuz açılal frekans değerlerinin kıyaslanması

Burada $\omega^2 = \frac{m\omega L^4}{EI}$ olup boyutsuz açılal frekansı simgelemektedir.

Benzer şekilde, çubuğun üst ucunda topaklanmış kütle ve dönme eylemsizlik değerleri için sıfır değeri, ötelenme ve dönme yay katsayıları için teorik olarak sonsuz değeri kullanılarak Şekil 8.1'deki sistemin zemine rijit bağlı bir konsol çubuk olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, Frekans.Bas isimli bilgisayar programında yayılı kütleli kolonun kayma deformasyonu ve dönme eylemsizliği ihmal edildiğinde, Bernoulli-Euler tipi konsol kirişin serbest titreşimine ait frekansları için kaynakta (Paz, 1997) verilen bağıntılar kullanılarak elde edilen açısız frekans değerleri ile aynı sonuçlar bulunmuş olup açısız frekansların boyutsuz değerleri Tablo 8.3'de sunulmuş, Şekil 8.3'deki grafiklerle kıyaslanmıştır.

Tablo 8.3 Zemine rijit bağlı çubuğun, bu çalışmada ve kaynakta (Paz, 1997) verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanan boyutsuz açısız frekans değerlerinin kıyaslanması

Frekans.Bas									4. Model		
1. Model Timoshenko			2. Model Dönme ataleti ihmal			3. Model Bernoulli-Euler			Kaynak (Paz 1997) Bernoulli-Euler		
ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3
3,4	19,1	46,1	3,4	19,4	47,9	3,5	21,9	61,5	3,5	21,9	61,5



Şekil 8.3 Zemine rijit bağlı çubuğun, bu çalışmada ve kaynakta (Paz, 1997) verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanan boyutsuz açısız frekans değerlerinin kıyaslanması

Bu çalışmadaki yöntemler ve kabuller kullanılarak, zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçeve için hesaplanan serbest titreşime ait boyutsuz açısız frekans değerleri ayrıca,

Michaltsos ve Ermopoulos'un çalışmasında elde edilen açısal frekans değerleri ile kıyaslanmıştır (Michaltsos ve Ermopoulos, 2001). Kaynakta, bu çalışmanın aksine, kolonun kayma deformasyonu ve dönme eylemsizliği dikkate alınmayarak Bernoulli-Euler modeli kullanılmıştır. Eksenel kuvvetin, ötelenme ve dönme yay katsayılarının, toplanmış kütlelerin ve dönme eylemsizliğinin boyutsuz parametreleri için sırasıyla,

$$\bar{N} = \frac{NL^2}{EI}, \quad \bar{K}_\delta = \frac{K_\delta L^3}{EI}, \quad \bar{K}_\theta = \frac{K_\theta L}{EI}, \quad \bar{M} = \frac{M}{mL} \quad \text{ve} \quad \bar{J} = \frac{J}{mL^3} \quad \text{değerleri}$$

kullanılmıştır. $\bar{N} = 0.1$, $\bar{J} = 0.1 - 10$, $\bar{K}_\delta = 1 - 10 - 100 - 1000$ ve $\bar{K}_\theta = 1 - 10 - 100$ değerleri için Frekans.Bas isimli bilgisayar programı yardımıyla elde edilen boyutsuz frekans değerleri ile kaynak çalışmada verilen değerler $\bar{M} = 0.1$ için Tablo 8.4 ve $\bar{M} = 10$ için Tablo 8.5'de sunulmuştur.

Tablo 8.4 $\bar{M} = 0.1$ için, bu çalışmada Frekans.Bas isimli bilgisayar programı ile hesaplanan ve kaynak çalışmada (Michaltsos ve Ermopoulos, 2001) elde edilen boyutsuz frekans değerlerinin kıyaslanması

$\bar{M} = 0.1$			Frekans.BAS			Kaynak (Michaltsos&Ermopoulos,2001)		
\bar{J}	\bar{K}_δ	\bar{K}_θ	ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3
0.1	1	1	0,78	1,99	8,3	0,78	1,96	9,12
		10	0,90	2,6	9,8	0,91	2,59	10,08
		100	0,90	2,75	10,34	0,92	2,73	10,38
	10	1	1,1	3,7	9,8	1,07	3,81	10,03
		10	1,83	3,7	10,7	1,81	3,81	10,63
		100	1,99	3,7	11,0	1,98	3,81	10,84
	100	1	1,16	5,1	17,1	1,11	5,74	15,76
		10	2,0	5,7	17,4	1,98	6,60	16,22
		100	2,2	6,1	17,5	2,19	7,01	16,45
	1000	1	1,16	5,2	21,3	1,11	6,07	20,93
		10	2,0	6,1	24,2	1,99	7,22	25,67
		100	2,26	6,6	26,4	2,21	7,75	28,86
10	1	1	0,20	0,87	6,7	0,18	0,93	7,34
		10	0,29	0,90	8,5	0,29	0,94	8,68
		100	0,32	0,90	9,05	0,31	0,95	9,06
	10	1	0,21	2,1	8,8	0,18	2,14	8,86
		10	0,29	2,51	9,69	0,29	2,56	9,52
		100	0,32	2,62	10,04	0,31	2,67	9,74
	100	1	0,21	2,78	16,6	0,18	2,89	15,14
		10	0,29	4,00	16,9	0,29	4,36	15,69
		100	0,32	4,5	17,09	0,31	4,94	15,97
	1000	1	0,21	2,87	20,7	0,18	3,01	19,93
		10	0,29	4,24	23,7	0,29	4,76	24,78
		100	0,32	4,83	26,0	0,31	5,50	28,09

Tablo 8.5 $\bar{M} = 10$ için, bu çalışmada Frekans.Bas isimli bilgisayar programı ile hesaplanan ve kaynak çalışmada (Michaltsos ve Ermopoulos, 2001) elde edilen boyutsuz frekans değerlerinin kıyaslanması

$\bar{M} = 10$			Frekans.BAS			Kaynak (Michaltsos&Ermopoulos,2001)		
\bar{J}	\bar{K}_δ	\bar{K}_θ	ω_1	ω_2	ω_3	ω_1	ω_2	ω_3
0.1	1	1	0,19	1,78	7,6	0,20	1,78	8,30
		10	0,24	2,16	8,42	0,26	2,17	8,63
		100	0,27	2,24	8,72	0,27	2,26	8,72
	10	1	0,24	3,67	8,86	0,25	3,81	8,90
		10	0,43	3,67	9,3	0,42	3,81	9,04
		100	0,46	3,67	9,47	0,46	3,81	9,08
	100	1	0,27	5,0	14,7	0,25	5,71	12,05
		10	0,46	5,43	15,28	0,46	6,30	13,05
		100	0,54	5,62	15,5	0,51	6,53	13,59
	1000	1	0,27	5,2	17,3	0,25	6,01	13,99
		10	0,48	5,7	20,0	0,46	6,74	18,52
		100	0,54	6,0	22,01	0,52	7,02	22,02
10	1	1	0,16	0,35	4,73	0,13	0,43	5,0
		10	0,24	0,38	5,64	0,19	0,44	5,73
		100	0,24	0,38	5,91	0,21	0,44	5,91
	10	1	0,16	0,7	7,15	0,13	0,76	6,92
		10	0,27	0,78	7,42	0,22	0,82	7,04
		100	0,29	0,81	7,5	0,24	0,84	7,08
	100	1	0,16	0,84	13,6	0,13	0,87	11,08
		10	0,27	1,05	14,39	0,22	1,03	12,27
		100	0,29	1,13	14,76	0,24	1,09	12,89
	1000	1	0,16	0,86	16,14	0,13	0,88	12,78
		10	0,27	1,08	19,06	0,22	1,06	17,10
		100	0,29	1,18	21,11	0,24	1,14	20,54

8.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Doğrusal Sismik Analizi İçin Geliştirilen Bilgisayar Programı

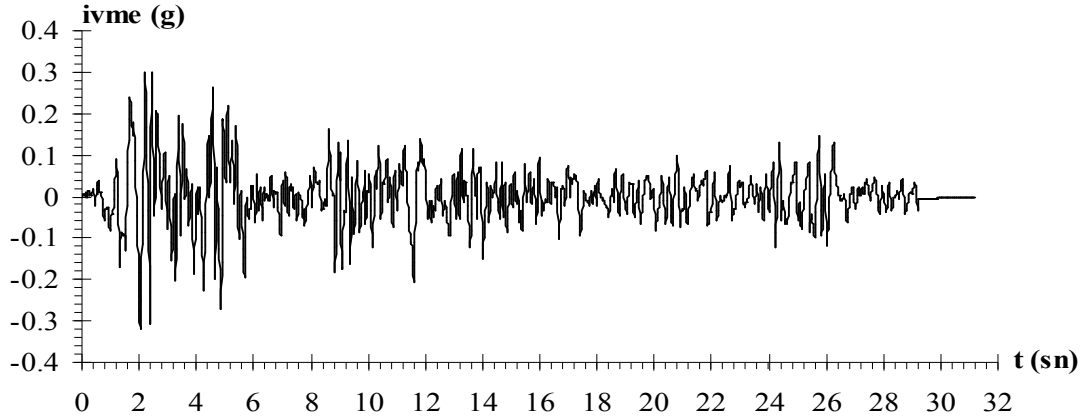
Güçlü yer ivmesi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin sismik analizini yaparak yapının deplasman-zaman, tepki hız-zaman ve tepki ivme-zaman geçmişlerini elde etmek ve tepki deplasmanı, tepki hızı, tepki ivmesinin maksimum değerini hesaplamak için, Newmark-Beta yönteminin hesap algoritmasına dayanan Beta.Bas isimli bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Beta.Bas isimli bilgisayar programının akış diyagramı ve programda kullanılan değişkenler Ek-2'de sunulmuştur.

8.4 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modeli İçin Doğrusal Sismik Analiz Uygulamaları

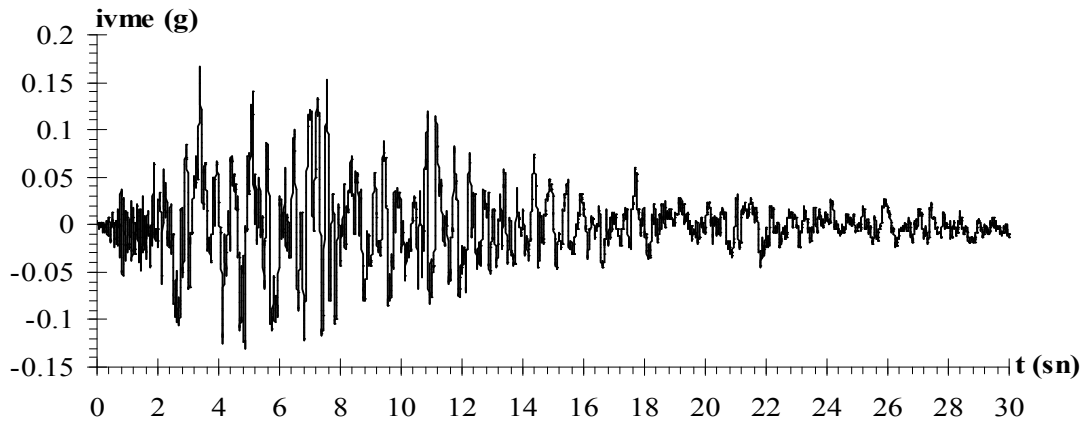
Bölüm 8.2'de fiziksel özellikleri verilen ve serbest titreşimine ait açılal frekansları hesaplanan zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modelinin, farklı yay sabiti değerleri için, 18 Mayıs 1940 El-Centro (Chopra, 1995) ve 17 Ağustos 1999 İzmit (Çatal, 2002) depremlerinin Kuzey-Güney bileşenlerine ait güçlü yer ivmesi değerleri kullanılarak sismik analizi yapılmış ve deplasman-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman geçmişleri elde edilmiştir. 1940 El-Centro depreminin 0-31,18 sn. arasında kullanılan güçlü yer ivmesinin zaman geçmişi Şekil 8.4'de, 1999 İzmit depreminin 0-30 sn. arasında kullanılan güçlü yer ivmesinin zaman geçmişi Şekil 8.5'de sunulmuştur. Grafiklerdeki deprem ivmesi değerleri yer ivmesi (g) cinsinden verilmiştir.

Bu amaçla, serbest titreşim uygulamasında elde edilen veriler kullanılarak, farklı yay katsayılarına sahip sistemlerin şekil fonksiyonları elde edilmiş; daha sonra sisteme ait genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvet değerleri Mathcad 7 (Mathcad7, 1997) matematiksel işlem programı ile hesaplanarak TSD bir sistemin hareket denklemine benzeyen diferansiyel hareket denklemi elde edilmiştir. Sistemin El-Centro ve İzmit depremlerine maruz kaldığı ve malzemenin doğrusal davrandığı kabul edilerek, Newmark-Beta sayısal metodunu kullanan

Beta.Bas isimli bilgisayar programı kullanılarak sistemin deplasman-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman geçmişleri elde edilerek grafiklerle sunulmuştur.



Şekil 8.4 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin 0-31,18 sn. arasında kullanılan Kuzey-Güney bileşenine ait güçlü yer ivmesinin zaman geçmişi



Şekil 8.5 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin 0-30 sn. arasında kullanılan Kuzey-Güney bileşenine ait güçlü yer ivmesinin zaman geçmişi

Uygulamada, ötelenme ve dönme yay katsayıları için 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri ile bu yay katsayıları kullanılarak elde edilen birinci moda ait açılal frekansların sırasıyla, 3, 7 ve 9 radyan/sn değerleri alınarak tek katlı çerçevenin tepki zaman-geçmişleri ve spektral değerleri hesaplanmıştır.

8.4.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Hareket Denkleminin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

Bölüm 8.2 de fiziksel özellikleri verilen, zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modelinin şekil fonksiyonu, ötelenme ve dönme yay katsayılarına göre hesaplanan birinci moda ait açılmalık frekans değerleri kullanılarak, (4.4) denklemi ile hesaplanmış; ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$X(x) = 1,692 * 10^{-2} \sinh(m_1 x) - 1,096 * \cosh(m_1 x) - 4,475 * \sin(m_2 x) + \cos(m_2 x)$$

$$X(x) = 0,9396 \sinh(m_1 x) - 1,1073 * \cosh(m_1 x) - 1,6575 * \sin(m_2 x) + \cos(m_2 x)$$

$$X(x) = 1,2045 \sinh(m_1 x) - 1,2142 * \cosh(m_1 x) - 1,2873 * \sin(m_2 x) + \cos(m_2 x)$$

Yukarıdaki şekil fonksiyonlarının ve türevlerinin (4.25), (4.26) ve (4.27) denklemlerinde yerlerine yazılmasıyla elde edilen sırasıyla, genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvet değerleri Mathcad7 (Mathcad7, 1997) programı ile ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$M^* = 224,033 \text{ ts}^2/\text{m} \quad K^* = 2220,32 \text{ t/m} \quad F^* = -4,123 \text{ t}$$

$$M^* = 39,414 \text{ ts}^2/\text{m} \quad K^* = 3395,34 \text{ t/m} \quad F^* = -1,751 \text{ t}$$

$$M^* = 23,281 \text{ ts}^2/\text{m} \quad K^* = 47422,85 \text{ t/m} \quad F^* = -1,7 \text{ t}$$

Bu değerlerin (4.23) numaralı hareket denkleminde yerlerine konması ile elde edilen hareket denklemi, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$224,033\ddot{Z} + 2220,32Z = 4,123\ddot{u}_g$$

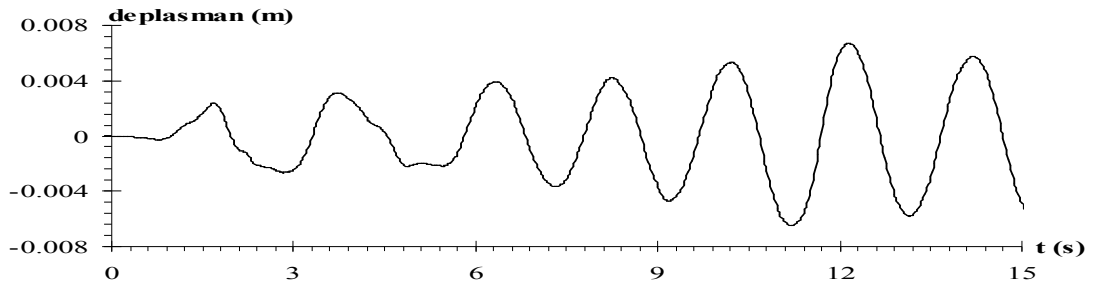
$$39,414\ddot{Z} + 3395,34Z = 1,751\ddot{u}_g$$

$$23,281\ddot{Z} + 47422,85Z = 1,71\ddot{u}_g$$

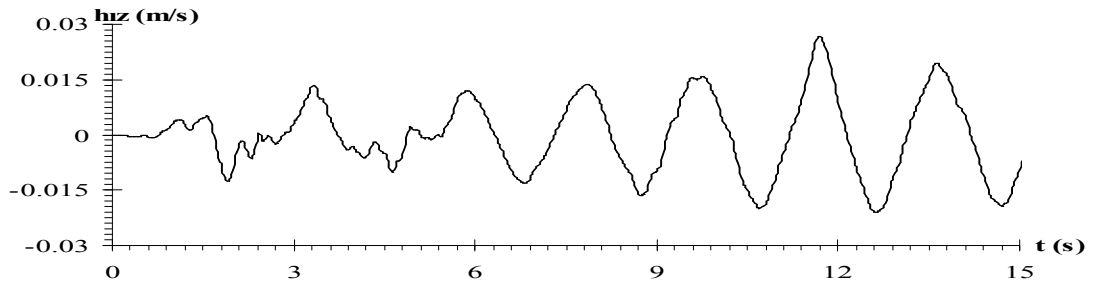
8.4.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Tepki Zaman Geçmişlerinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

Bölüm 8.4.1’de elde edilen diferansiyel hareket denklemlerinin çözümü, El-Centro ve İzmit depremlerinin kuzey-güney bileşenine ait güçlü ivme kayıtları kullanılarak, Newmark-Beta metoduna dayanan Beta.Bas isimli bilgisayar programı ile yapılmıştır.

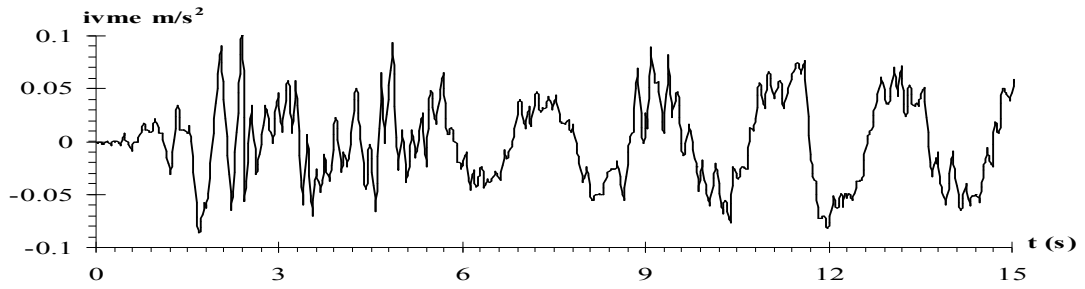
El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin, spektral değerlerinin okunduğu ve 0-15 sn zaman aralığı için elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi zaman geçmişleri, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.8’de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 8.9, Şekil 8.10 ve Şekil 8.11’de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 8.12, Şekil 8.13 ve Şekil 8.14’de sunulmuştur.



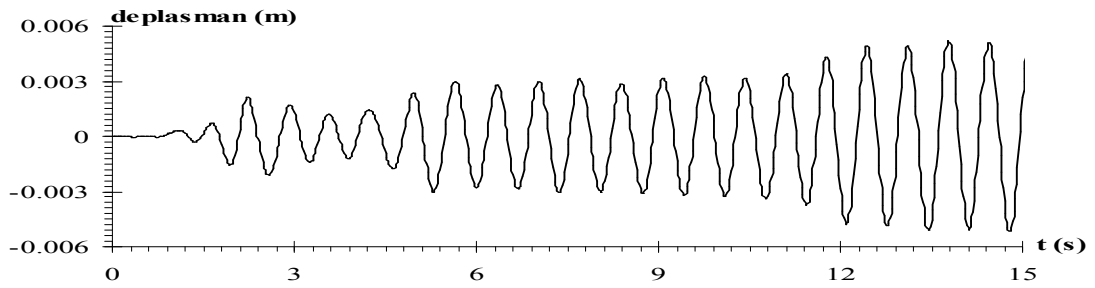
Şekil 8.6 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



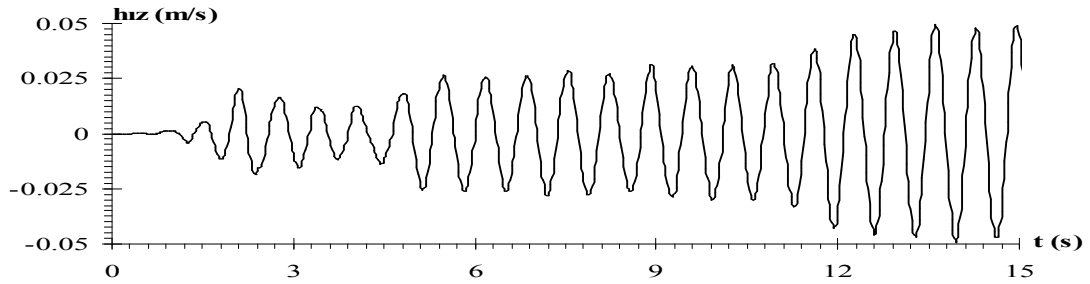
Şekil 8.7 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



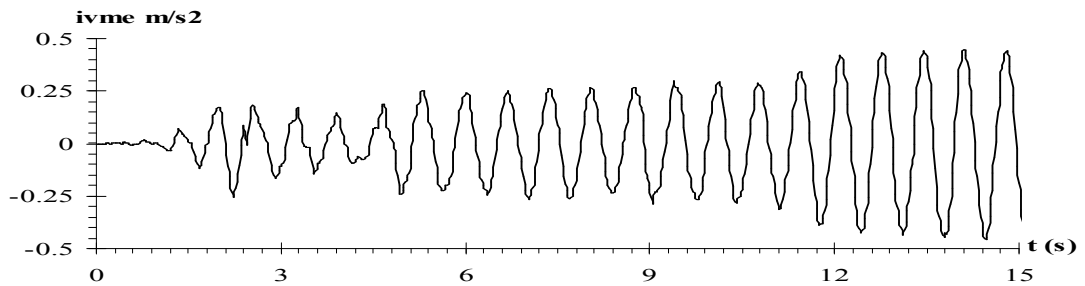
Şekil 8.8 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



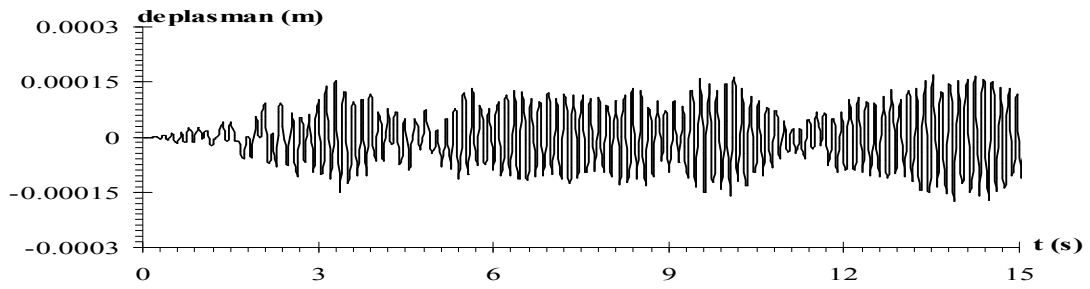
Şekil 8.9 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



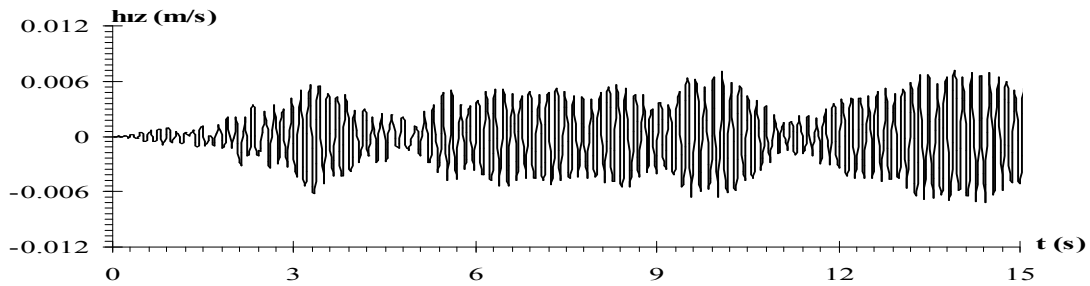
Şekil 8.10 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



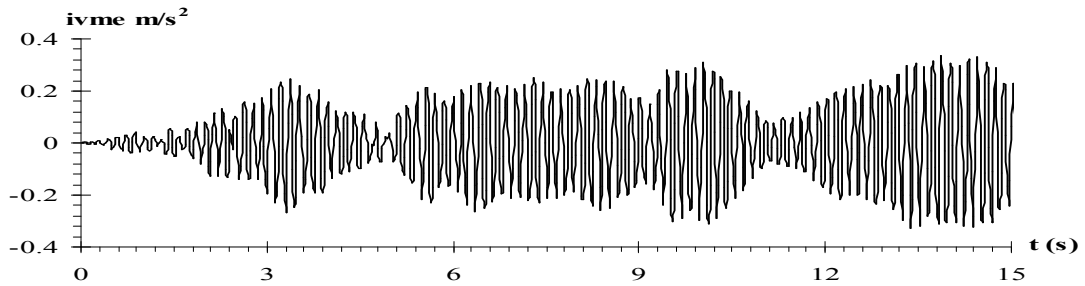
Şekil 8.11 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 8.12 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



Şekil 8.13 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi

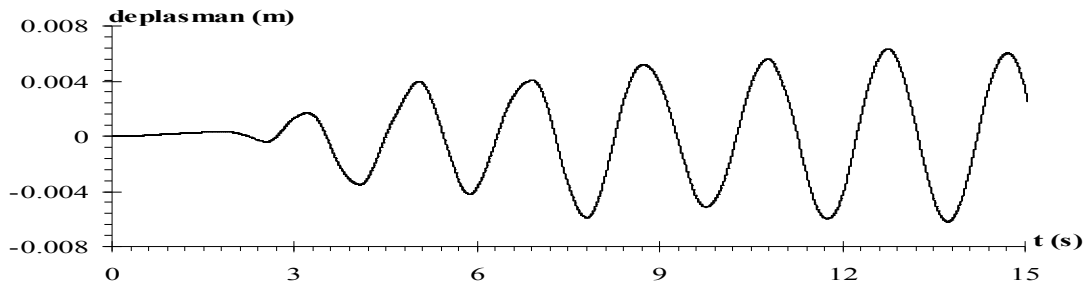


Şekil 8.14 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi

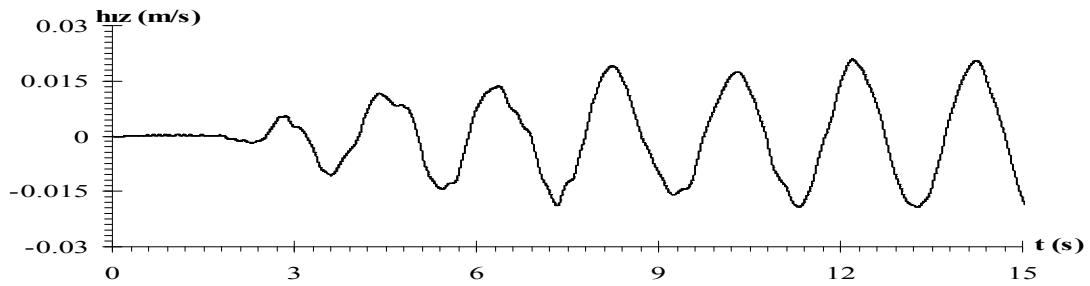
El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin maksimum tepki deplasmanı (S_D), maksimum tepki hızı (S_V) ve maksimum tepki ivmesi (S_A), deplasman, hız ve ivme zaman geçmişlerinden ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{array}{lll}
 S_D=6,70663 \cdot 10^{-3} \text{ m} & S_V=2,6741 \cdot 10^{-2} \text{ m/sn} & S_A=9,986 \cdot 10^{-2} \text{ m/sn}^2 \\
 S_D=5,2458 \cdot 10^{-3} \text{ m} & S_V=4,9386 \cdot 10^{-2} \text{ m/sn} & S_A=0,46666 \text{ m/sn}^2 \\
 S_D=2,34253 \cdot 10^{-4} \text{ m} & S_V=1,0196 \cdot 10^{-2} \text{ m/sn} & S_A=0,47657 \text{ m/sn}^2
 \end{array}$$

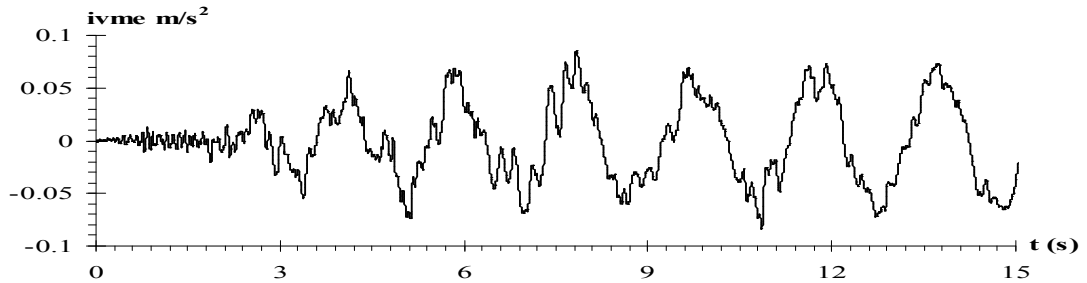
İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin, spektral değerlerinin okunduğu ve 0-15 sn zaman aralığı için elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi zaman geçmişleri, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 8.15, Şekil 8.16 ve Şekil 8.17’de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 8.18, Şekil 8.19 ve Şekil 8.20’de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 8.21, Şekil 8.22 ve Şekil 8.23’de sunulmuştur.



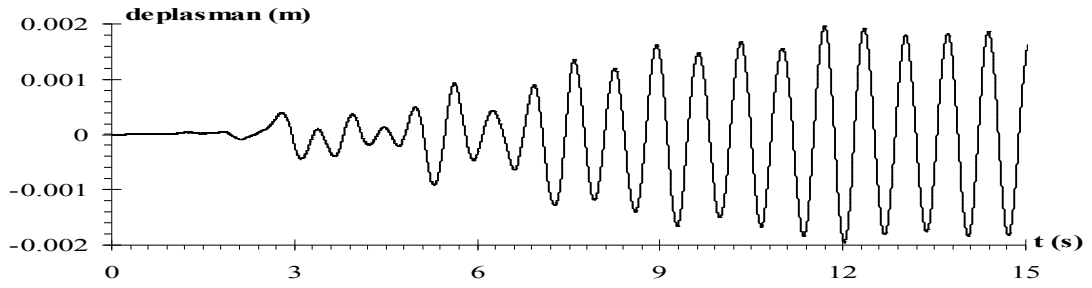
Şekil 8.15 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



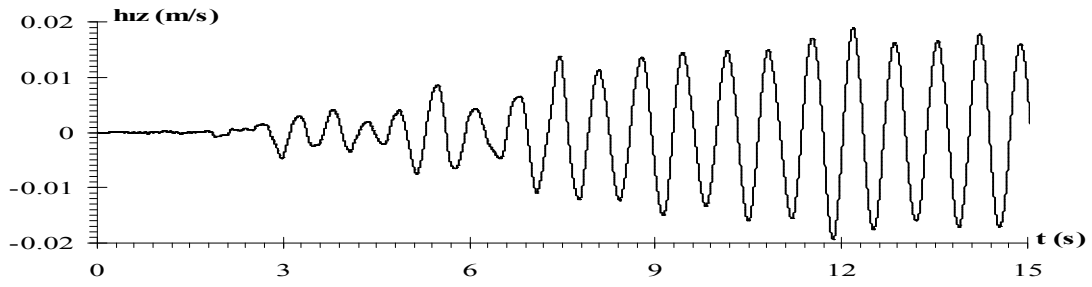
Şekil 8.16 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



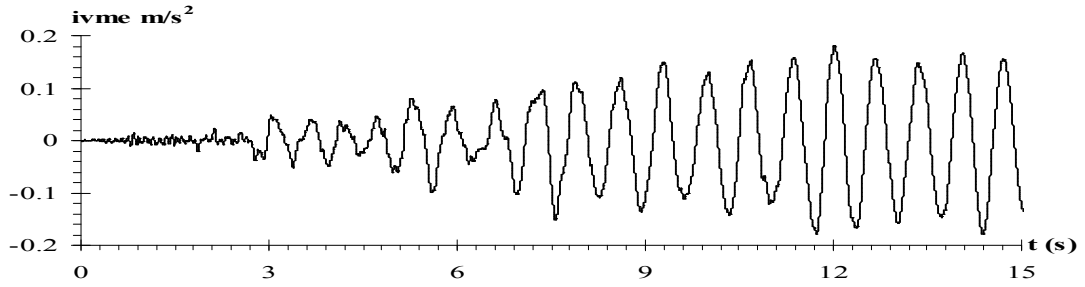
Şekil 8.17 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



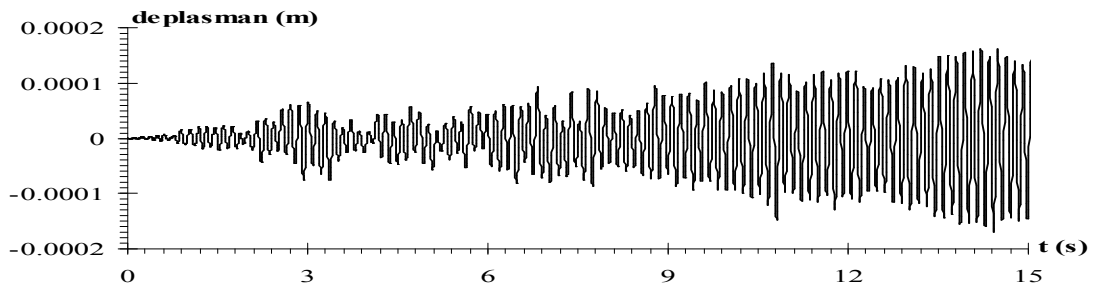
Şekil 8.18 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



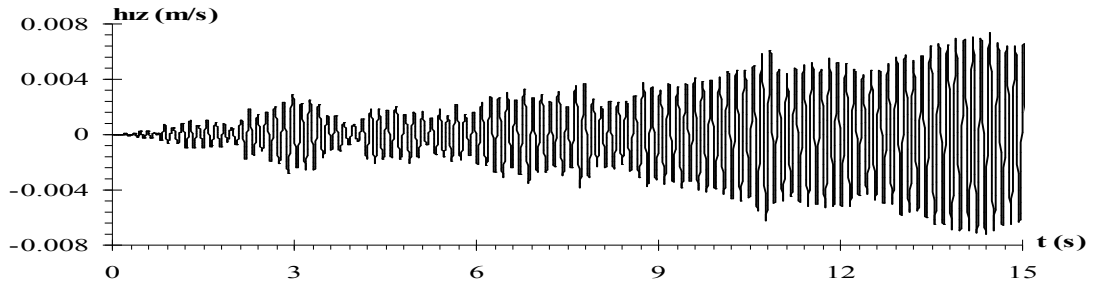
Şekil 8.19 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



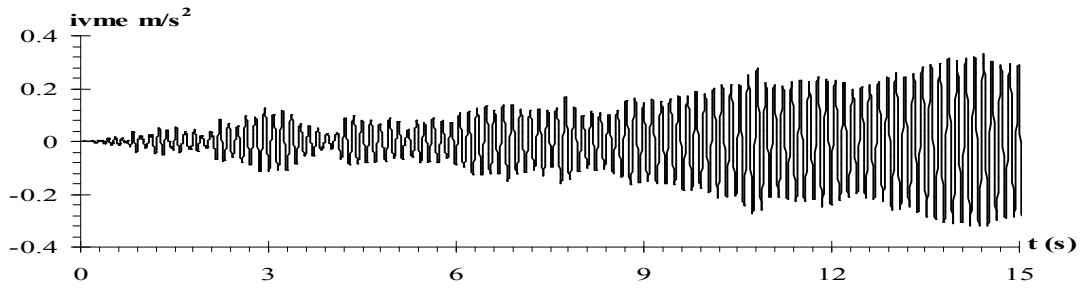
Şekil 8.20 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 8.21 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



Şekil 8.22 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



Şekil 8.23 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi

İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin maksimum tepki deplasmanı (S_D), maksimum tepki hızı (S_V) ve maksimum tepki ivmesi (S_A), deplasman, hız ve ivme zaman geçmişlerinden ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{array}{lll}
 S_D=7,27883 \cdot 10^{-3} \text{ m} & S_V=2,2605 \cdot 10^{-2} \text{ m/sn} & S_A=8,556 \cdot 10^{-2} \text{ m/sn}^2 \\
 S_D=1,96433 \cdot 10^{-3} \text{ m} & S_V=1,9405 \cdot 10^{-2} \text{ m/sn} & S_A=0,18143 \text{ m/sn}^2 \\
 S_D=1,69473 \cdot 10^{-4} \text{ m} & S_V=7,52066 \cdot 10^{-3} \text{ m/sn} & S_A=0,338 \text{ m/sn}^2
 \end{array}$$

Zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelere ait hesap modellerinin şekil fonksiyonlarının ve hareket denklemlerinin elde edilmesine yönelik yapılan Bölüm 8.4.1'deki sayısal uygulamada, ötelenme ve dönme yay katsayısı değerleri artırıldıkça sistemin genelleştirilmiş kütle ve genelleştirilmiş kuvvet değerlerinin azaldığı buna karşın genelleştirilmiş rijitlik değerinin arttığı görülmüştür.

Genelleştirilmiş parametrelerdeki yay katsayılarına bağlı bu değişim, doğru mesnet modelinin kullanımının önemini göstermektedir.

Bölüm 8.4.2’de, 1940 El-Centro ve 1999 İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisinde tepki deplasmanı, tepki hızı ve teki ivmesine ait zaman geçmişleri elde edilen zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelere ait hesap modellerinin maksimum tepki deplasmanı, ötelenme ve dönme yay katsayısı değeri arttıkça azalmış; maksimum tepki ivmesi ise aynı durumda artmıştır. Bu durum her iki deprem için de gözlenmiştir. El-Centro depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelleri, her yay katsayısı değeri için, İzmit depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modellerine göre daha büyük spektral deplasman, spektral hız ve spektral ivme değeri göstermiştir.

Yay katsayısı değerlerindeki artış frekansta artmaya sebep olmuştur. Frekanstaki bu artma, yay katsayılarındaki değişime göre elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi zaman geçmişi grafiklerinde de gözlenmektedir.

8.5 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modeli İçin Spektral Analiz Uygulaması

Zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçeveye ait matematiksel hesap modelinin, genelleştirilmiş parametreler kullanılarak (4.23) bağıntısındaki gibi kurulan hareket denklemi genelleştirilmiş kütleyle bölünürse (4.28)’de verilen, açısal frekansa ve Γ katkı oranına bağlı denklem elde edilir.

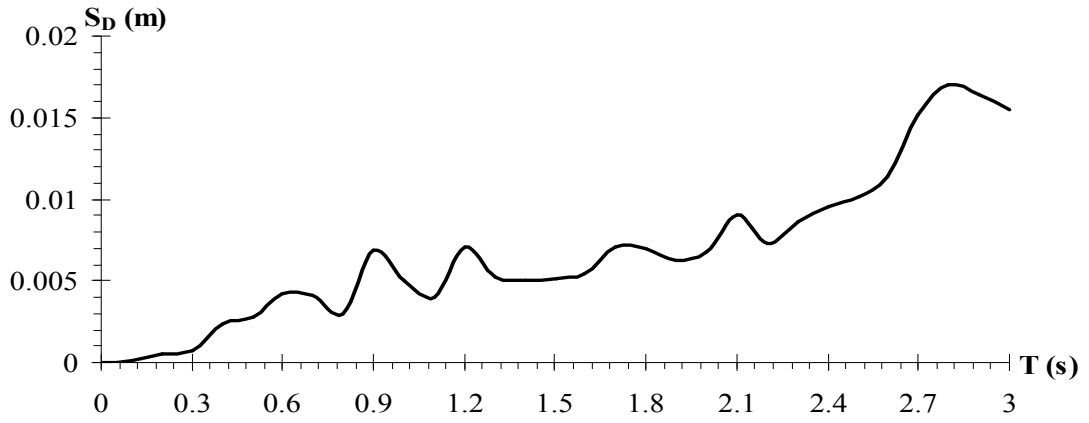
Böylece, belirli yay sabitine sahip tek katlı çerçevelerin genelleştirilmiş kütle ve genelleştirilmiş kuvvet değerleri kullanılarak periyodu belli olan yapıların herhangi bir depreme gösterdikleri tepki spektrumları elde edilebilir.

Bu uygulamada, periyodu 3 sn. kadar olan, El-Centro ve İzmit depremleri etkisi altındaki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı sönümsüz hesap modelinin ötelenme ve dönme yay katsayılarınının 10000-100000-1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için

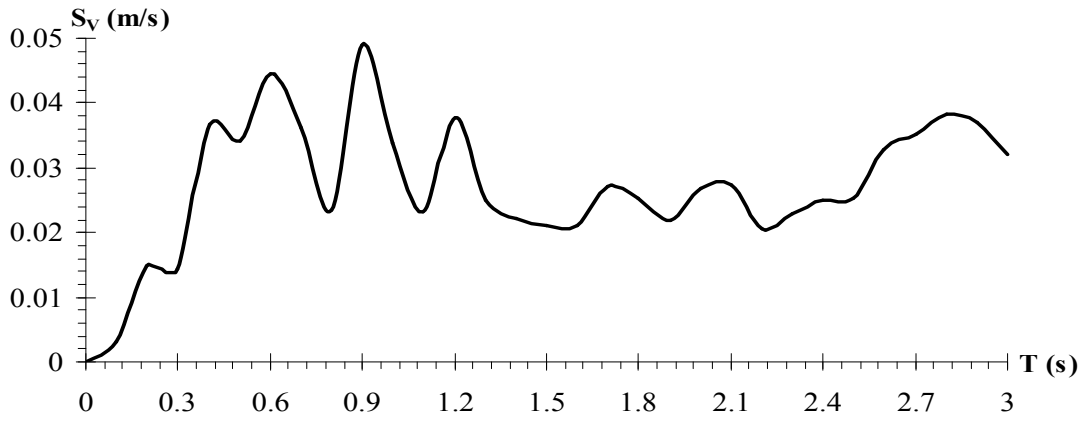
akış diyagramı Ek-3'de verilen Spektrum.Bas isimli bilgisayar programı ile spektral analiz yapılmış ve bu periyotlara karşılık gelen deplasman, hız ve ivme tepki spektrumları malzemenin doğrusal davranışı için çizilmiştir.

El-Centro depremin etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modelinin, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları sırasıyla Şekil 8.24, Şekil 8.25 ve Şekil 8.26'da; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları sırasıyla Şekil 8.27, Şekil 8.28 ve Şekil 8.29'da; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları sırasıyla Şekil 8.30, Şekil 8.31 ve Şekil 8.32'de sunulmuştur.

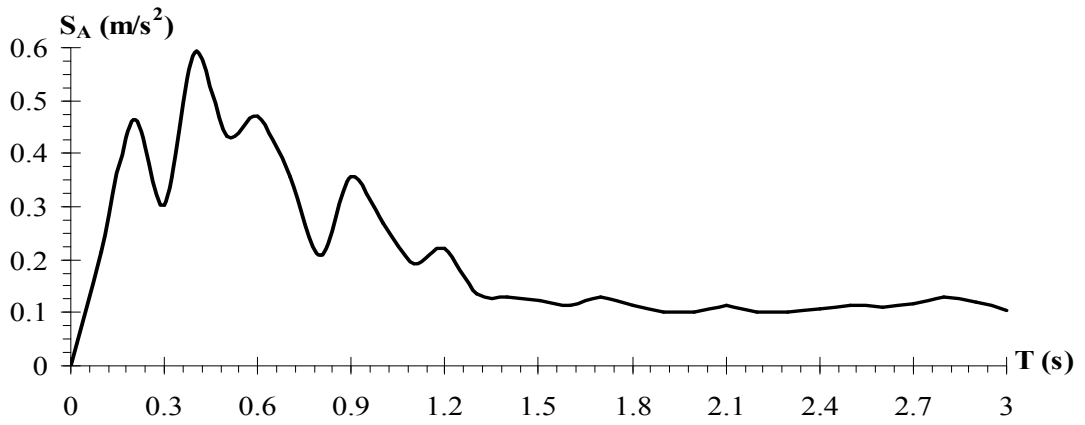
1999 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modelinin, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları sırasıyla Şekil 8.33, Şekil 8.34 ve Şekil 8.35'de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları sırasıyla Şekil 8.36, Şekil 8.37 ve Şekil 8.38'de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları sırasıyla Şekil 8.39, Şekil 8.40 ve Şekil 8.41'de sunulmuştur.



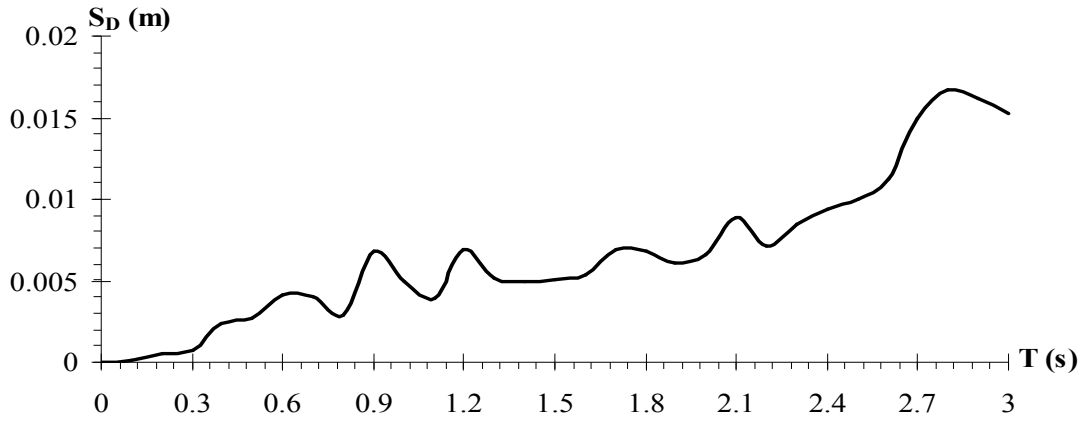
Şekil 8.24 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



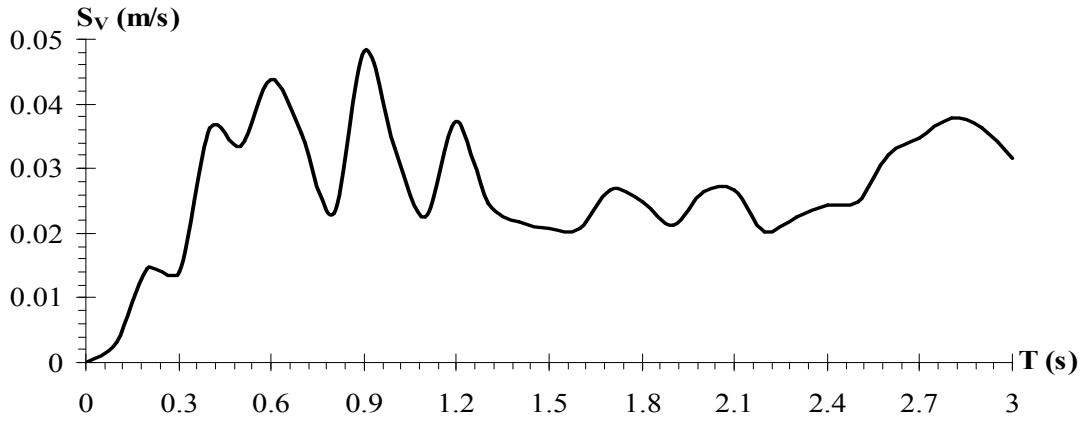
Şekil 8.25 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



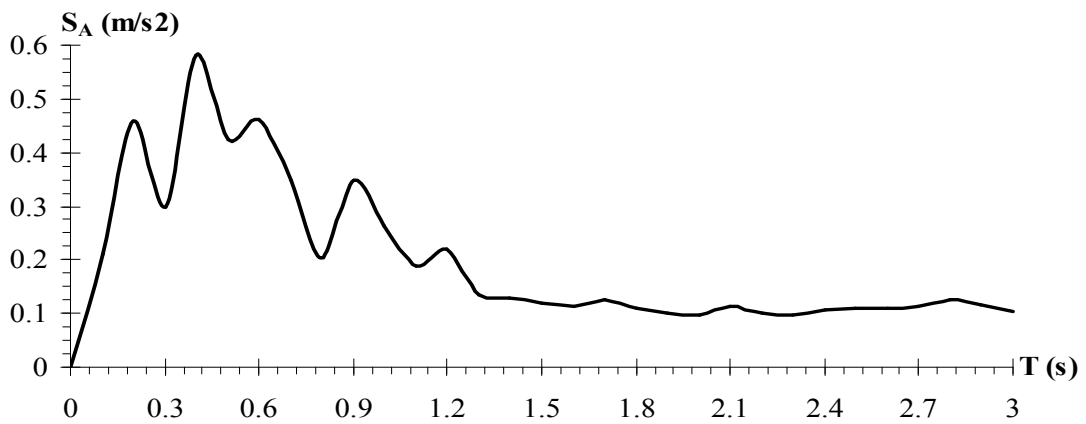
Şekil 8.26 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



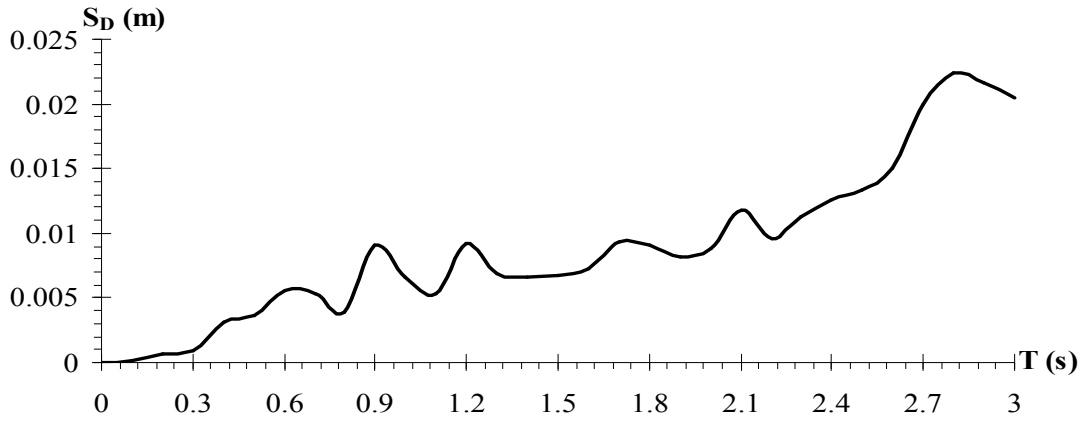
Şekil 8.27 El Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



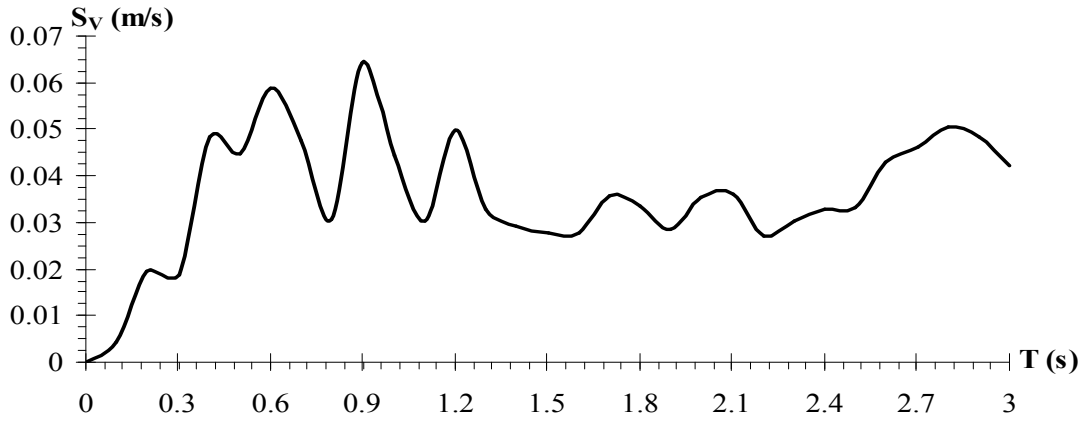
Şekil 8.28 El Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



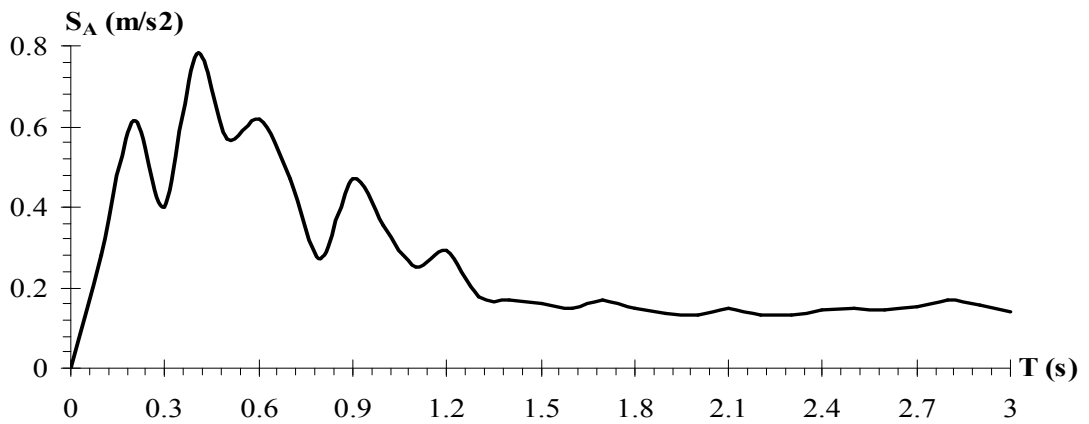
Şekil 8.29 El Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



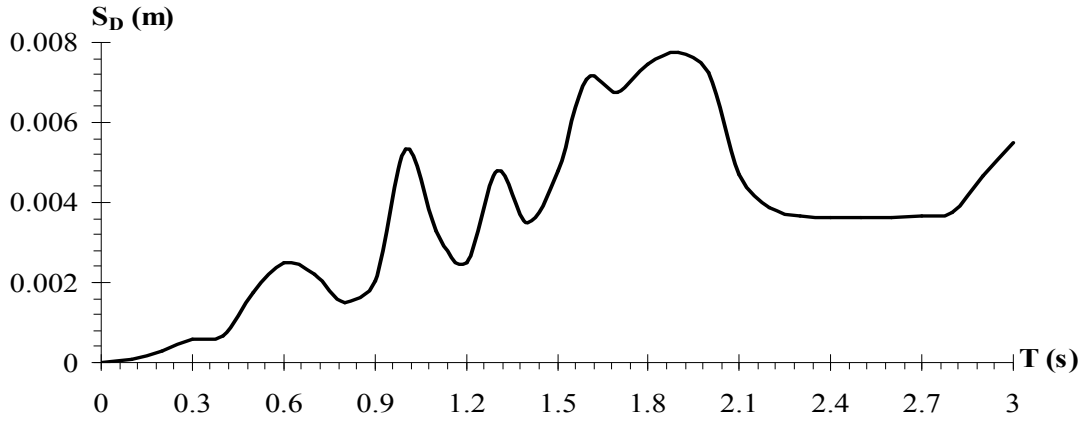
Şekil 8.30 El Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



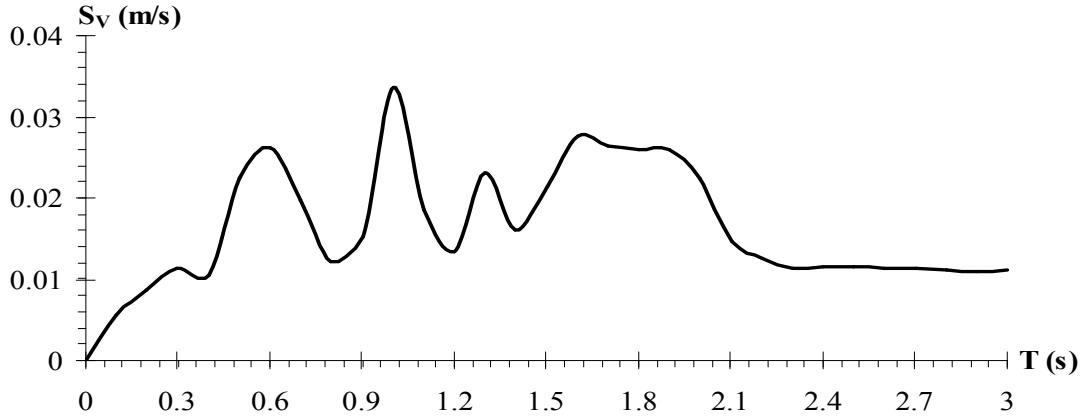
Şekil 8.31 El Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



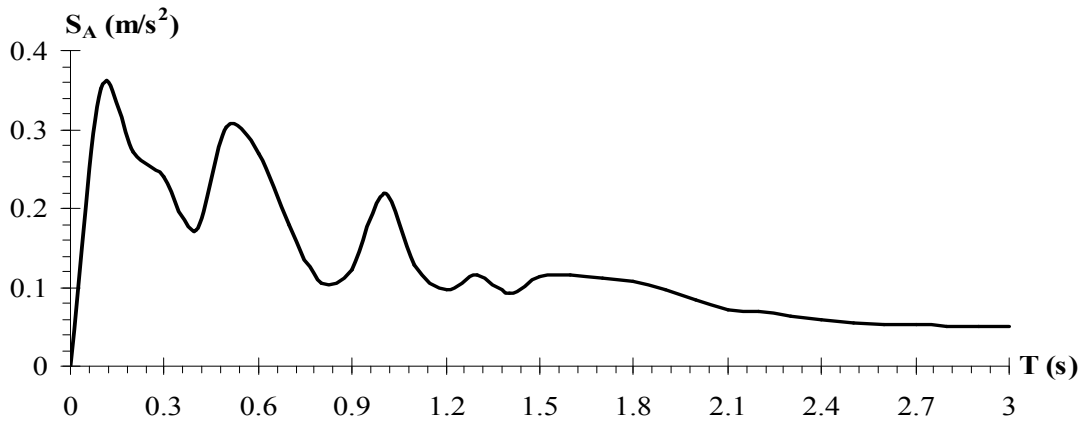
Şekil 8.32 El Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



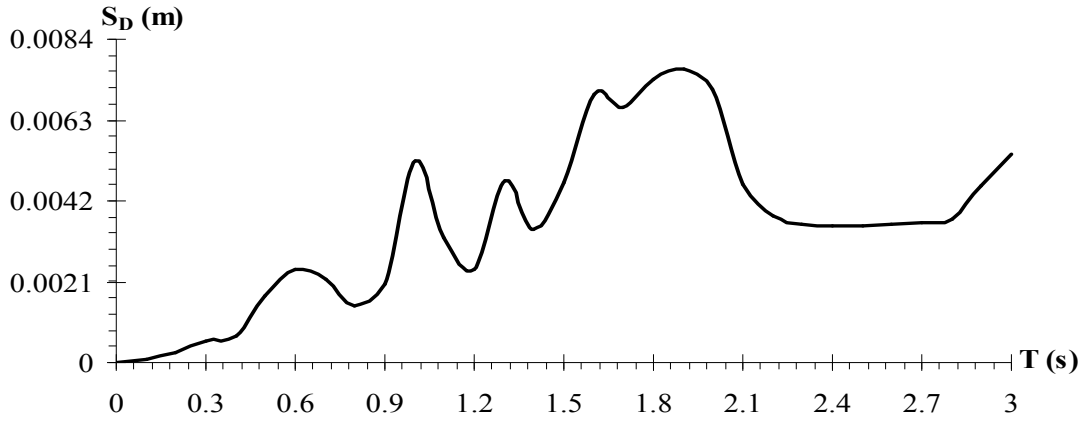
Şekil 8.33 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



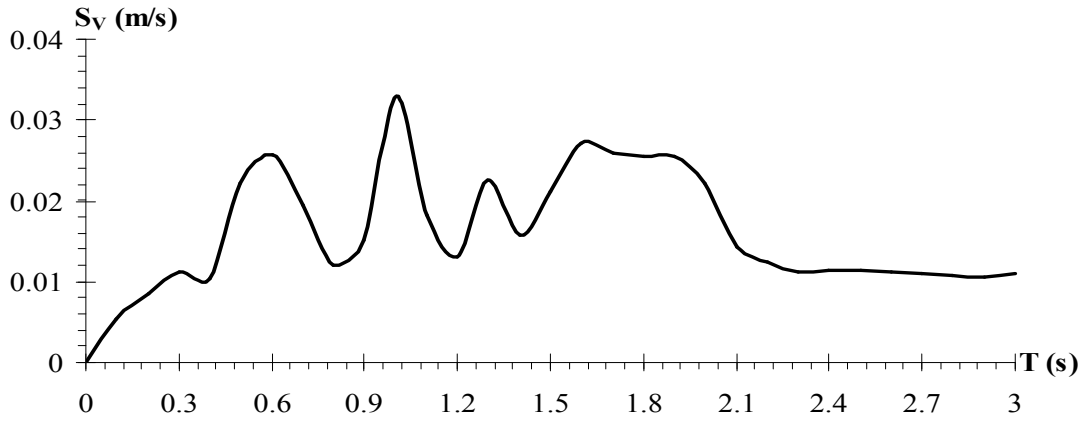
Şekil 8.34 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



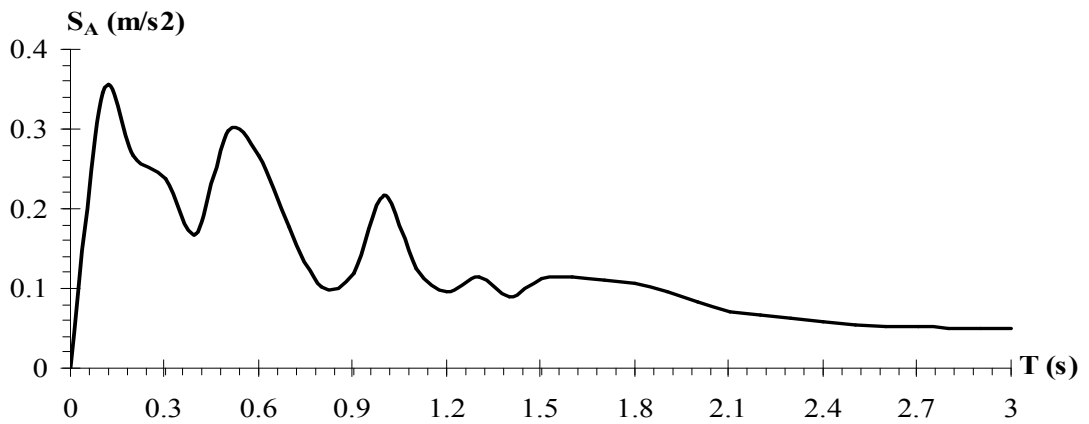
Şekil 8.35 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



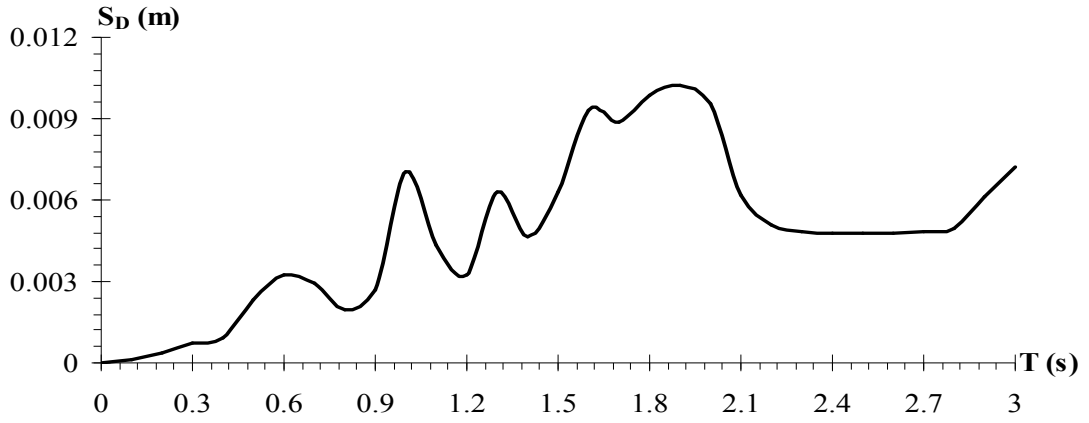
Şekil 8.36 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



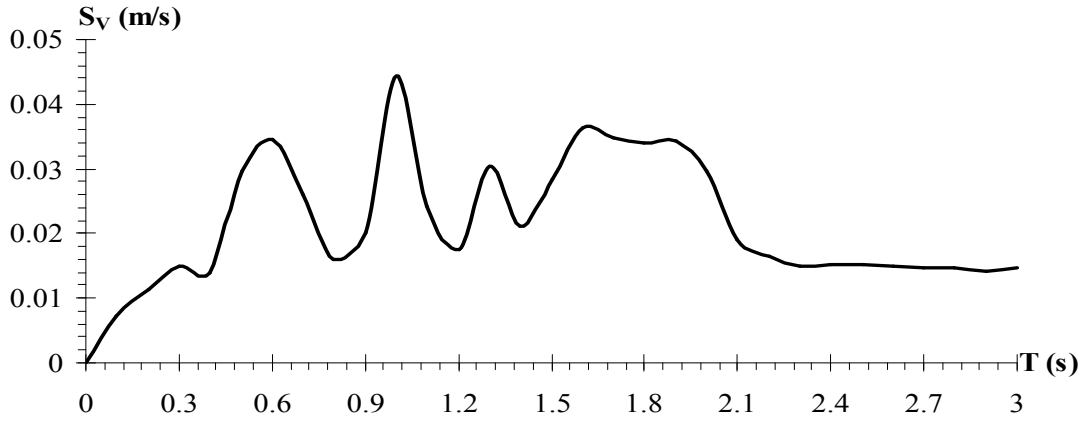
Şekil 8.37 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



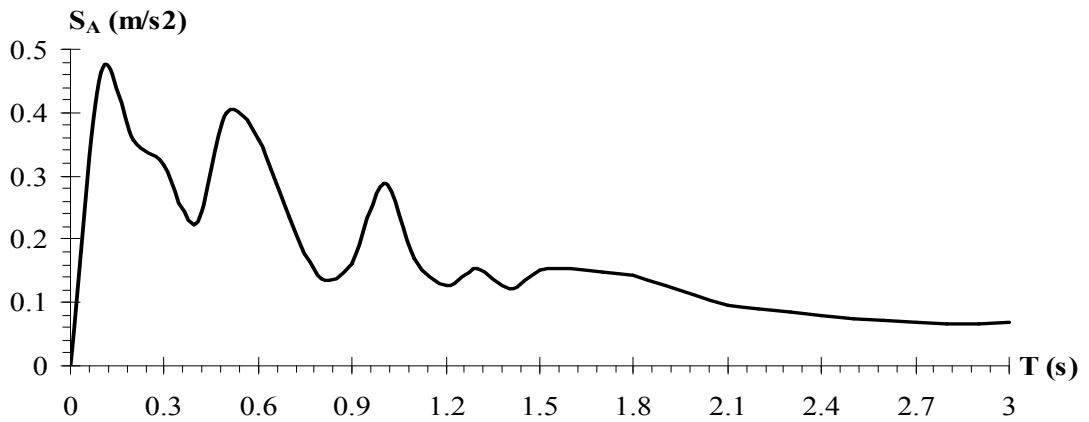
Şekil 8.38 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



Şekil 8.39 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



Şekil 8.40 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



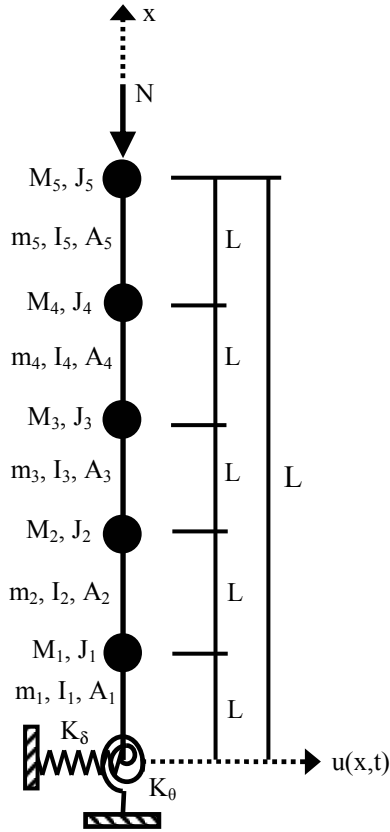
Şekil 8.41 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelerin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu

Periyodu 3 sn kadar olan ve El-Centro ve İzmit depremleri güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelere ait hesap modelinin tepki parametrelerine ait spektrum eğrilerinin elde edildiği bu sayısal uygulamada, ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000 ve 100000 (t/m; tm/radyan) değerleri için periyotlara göre elde edilen spektral deplasman, spektral hız ve spektral ivme değerlerinde azalma görülmüştür. Bu azalma, kullanılan her iki depreme ait güçlü yer ivmeleri etkisindeki tek katlı hesap modelleri için de geçerlidir.

BÖLÜM DOKUZ

ÇOK KATLI ÇERÇEVELERİN HESAP MODELİNE AİT DOĞRUSAL TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİNE AİT UYGULAMALAR

Zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçeveye ait hesap modelinin (Şekil 9.1) serbest titreşim analizinin yapıldığı, Bölüm 9.1'deki sayısal uygulamada, farklı yay katsayısı değerleri için açısal frekansları hesaplanmış; ötelenme ve dönme yay katsayısı değerlerindeki artışın açısal frekans değerlerindeki değişime etkisi araştırılmıştır. Zorlanmış titreşim uygulamasında ise, hesap modelinin 1940 El-Centro ve 1999 İzmit depremleri etkisinde olduğu kabulü ile, malzemenin sırasıyla doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak farklı ötelenme ve dönme yay katsayısı değerleri için dinamik analizi yapılmış; hesap modelinin tepki deplasmanı, tepki hızı, tepki ivmesi zaman geçmişleri ile deplasman, hız ve ivmeye ait spektral değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin doğrusal ve doğrusal olmayan tepki spektrumları deplasman, hız ve ivme için elde edilmiştir.



Şekil 9.1 Beş katlı çerçeveye ait hesap modeli

Serbest ve zorlanmış titreşim uygulamalarında kullanılacak zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin her kat için aynı olan fiziksel özellikleri aşağıda sunulmuştur.

Kat kolonlarının yayılı kütlesi: $m_i=1,7982 \text{ ts}^2/\text{m}^2$

Kat kolonlarının alan atalet momenti: $I_i=0,0625 \text{ m}^4$

Kat kolonlarının en kesit alanı: $A_i=2,45 \text{ m}^2$

Kat kolonlarının yüksekliği: $L_i=3 \text{ m}$

Kat kolonlarının eğilme rijitliği: $EI_i=198750 \text{ tm}^2$ (i=1,2,3,4,5)

Kat kolonlarının kayma rijitliği: $AG_i=3116400 \text{ t}$

Dikdörtgen en kesitli kolon için nümerik çarpan: $k=1,2$

Kat topaklanmış kütlesi: $M_i=53,946 \text{ ts}^2/\text{m}$

Kat dönme eylemsizliği: $J_i=485,514 \text{ tms}^2$

$N=100 \text{ t}$

9.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Serbest Titreşimine Ait Sayısal Uygulama

Zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçeveye ait hesap modelinin fiziksel özellikleri için yukarıda verilen değerler kullanılarak serbest titreşim analizi yapılmıştır. Serbest titreşimin ilk üç moduna ait açısal frekans değerleri Bölüm Beş de anlatılan taşıma matrisi yöntemi kullanılarak, ötelenme ve dönme yay katsayılarının, sırasıyla 10000, 100000, 1000000 t/m ve 10000, 100000, 1000000 tm/radyan değerleri için hesaplanmıştır.

Hesap modelinin 1,2,3 ve 4.üncü kat kütleleri için Bölüm 5.2.1 de (5.9.1), (5.9.2), (5.9.3) ve (5.9.4) denklemleri ile verilen sınır koşulları kullanılarak, her katın şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayılarını bir sonraki katın şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayılarına taşıyan ve (5.12) matris bağıntısı ile verilen katlara ait taşıma matrisi $[T_i]$, ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için aşağıdaki gibi hesaplamıştır.

$$[T_i] = \begin{bmatrix} 1,0746 & 0,7022 & 0,0675 & 0,5777 \\ 0,1087 & 1,0059 & -0,0078 & 0,0009 \\ -0,0678 & -0,5857 & 0,9257 & -0,6939 \\ 0,0079 & 0,0009 & 0,1239 & 0,9923 \end{bmatrix} \quad (i=2,3,4,5)$$

$$[T_i] = \begin{bmatrix} 1,1495 & 0,9989 & 0,1347 & 0,8114 \\ 0,1427 & 1,0099 & -0,022 & 0,0036 \\ -0,136 & -0,834 & 0,8517 & -0,9755 \\ 0,0226 & 0,0037 & 0,1858 & 0,9828 \end{bmatrix} \quad (i=2,3,4,5)$$

$$[T_i] = \begin{bmatrix} 1,1795 & 1,0969 & 0,1615 & 0,8864 \\ 0,1514 & 1,0110 & -0,0288 & 0,0052 \\ -0,1633 & -0,9160 & 0,8222 & -1,0660 \\ 0,0298 & 0,0053 & 0,2081 & 0,9786 \end{bmatrix} \quad (i=2,3,4,5)$$

Şekil 9.1’de verilen beş katlı hesap modelinin her katının fiziksel özellikleri aynı olduğundan, (5.14) denklemi ile verilen ve hesap modelinin ilk katının şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayılarını son katın şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayılarına bağlayan toplam taşıma matrisi $[T_t]$, katlara ait $[T_i]$ transfer matrisinin dördüncü kuvveti ile hesaplanmış olup; ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için aşağıda verilmiştir.

$$[T_t] = [T_i]^4 = \begin{bmatrix} 1,8058 & 2,9920 & 0,6653 & 2,2740 \\ 0,5287 & 1,5206 & 0,0480 & 0,4104 \\ -0,6885 & -2,4002 & 0,2357 & -2,6126 \\ -0,0463 & -0,3995 & 0,4009 & 0,4942 \end{bmatrix}$$

$$[T_t] = [T_i]^4 = \begin{bmatrix} 2,6531 & 4,5411 & 1,3080 & 3,1704 \\ 0,8350 & 2,0488 & 0,1374 & 0,8252 \\ -1,4007 & -3,5265 & -0,4871 & -3,4703 \\ -0,1279 & -0,7818 & 0,4751 & 0,0102 \end{bmatrix}$$

$$[T_t] = [T_i]^4 = \begin{bmatrix} 3,0035 & 5,1183 & 1,5590 & 3,4621 \\ 0,9520 & 2,2607 & 0,1814 & 0,9909 \\ -1,6922 & -3,9295 & -0,7647 & -3,7125 \\ -0,1663 & -0,9284 & 0,4802 & -0,1757 \end{bmatrix}$$

Toplam taşıma matrisi $[T_t]$ nin (5.13) denkleminde yerine yazılması ile son katın şekil fonksiyonuna ait integrasyon sabitleri için elde edilen dört adet bağıntı, (5.11) denklemindeki son kat kütesine ait sınır koşullarında yerlerine yazılmış ve birinci katın şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayılarına bağlı iki adet bağıntı elde edilmiştir. Böylece, (5.10) denkleminde verilen zemin seviyesindeki noktaya ait iki adet sınır koşulu ile birlikte birinci kat integrasyon katsayılarına bağlı olarak elde edilen dört adet homojen denklem takımı (5.15) denklemindeki gibi yazılarak katsayılar matrisi elde edilmiştir. Katsayılar matrisinin determinantı alınarak frekans denklemi bulunmuş ve bu denklemin kökleri sistemin açısal frekans değerleri olarak, akış diyagramı Ek-1 de verilen Frekans.bas isimli bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Frekans.bas isimli bilgisayar programı yardımı ile, çerçevenin fiziksel özelliklerine bağlı olarak ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000, 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için elde edilen ilk üç moda ait açısal frekans değerleri Tablo 9.1’de sunulmuştur.

Tablo 9.1 incelendiğinde, ötelenme yay katsayısının herhangi bir değeri için, dönme yay katsayısı değerleri arttırıldıkça sistemin açısal frekans değerlerinde artma izlenmektedir. Benzer şekilde, K_θ ’nın sabit olduğu ve K_δ ’nin arttırıldığı durumlarda da açısal frekans değerlerinde artma izlenmiştir.

Tablo 9.1 Ötelenme (K_δ) ve dönme (K_θ) yay katsayılarındaki değişime göre elde edilen ilk üç moda ait açısal frekans değerleri

K_δ (t/m)	K_θ (tm/radyan)	Açısal Frekans (radyan/s)		
		ω_1	ω_2	ω_3
10000	10000	0,5	4,8	11,8
100000	100000	1	5,8	13,7
1000000	1000000	1,2	6,5	14,6

9.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Sismik Analiz Uygulamaları

Zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçeveyi temsil eden Şekil 9.1’de sunulan matematik hesap modelinin farklı yay sabiti değerleri için, 18 Mayıs 1940 El-Centro (Chopra, 1995) ve 17 Ağustos 1999 İzmit (Çatal, 2002) depremlerinin Kuzey-Güney bileşenlerine ait güçlü yer ivmesi değerleri kullanılarak sismik analizi yapılmış ve tepki deplasmanı, hızı ve ivmesine ait zaman geçmişleri ve spektral değerler elde edilmiştir.

Bu amaçla, serbest titreşim uygulamasında elde edilen veriler kullanılarak, farklı yay katsayılarına sahip hesap modelinin her katına ait şekil fonksiyonları elde edilmiş; daha sonra hesap modeline ait genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvet değerleri, Mathcad7 paket programı ile hesaplanarak TSD bir sistemin hareket denkleminde benzeyen diferansiyel hareket denklemi elde edilmiştir. Hesap modelinin El-Centro ve İzmit depremlerine maruz kaldığı ve malzemenin doğrusal davrandığı kabul edilerek, Newmark-Beta sayısal metodunu kullanan Beta.Bas isimli bilgisayar programı kullanılarak çerçevenin deplasman, hız ve ivme zaman geçmişleri elde edilmiş olup grafiklerle sunulmuştur. Zaman geçmişlerinden maksimum değerler hesaplanarak deplasmana, hıza ve ivmeye ait spektral değerler elde edilmiştir.

9.2.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Hareket Denkleminin Elde Edilmesi

Serbest titreşimine ait açısal frekansları Bölüm 9.1’de hesaplanan zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin 1.inci kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları (5.15) denklemi kullanılarak birinci mod için hesaplanmış ve (5.3) denkleminde yerlerine yazılarak 1.inci kat şekil fonksiyonu elde edilmiştir. 1.inci kat integrasyon katsayıları ve şekil fonksiyonu, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$C_{1,1}= 1,524 \quad C_{2,1}= -1,077 \quad C_{3,1}= -3,125 \quad C_{4,1}= 1$$

$$X_1(x) = 1,524\text{sh}(0,03878x) - 1,077\text{ch}(0,03878x) - 3,125\sin(0,0388x) + \cos(0,0388x)$$

$$C_{1,1}= 1,431 \quad C_{2,1}= -1,035 \quad C_{3,1}= -1,653 \quad C_{4,1}= 1$$

$$X_1(x) = 1,431\text{sh}(0,03878x) - 1,035\text{ch}(0,03878x) - 1,653\sin(0,0388x) + \cos(0,0388x)$$

$$C_{1,1}= 1,34 \quad C_{2,1}= -1,021 \quad C_{3,1}= -1,365 \quad C_{4,1}= 1$$

$$X_1(x) = 1,34\text{sh}(0,03878x) - 1,021\text{ch}(0,03878x) - 1,365\sin(0,0388x) + \cos(0,0388x)$$

Hesap modelinin 2.inci kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları, 1.inci kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları ve 2.inci kata ait transfer matrisi kullanılarak (5.12) denkleminde birinci mod için hesaplanmış ve (5.3) denkleminde yerlerine yazılarak 2.inci kat şekil fonksiyonu elde edilmiştir. 2.inci kat integrasyon katsayıları ve şekil fonksiyonu, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$C_{1,2}= 1,248 \quad C_{2,2}= -0,892 \quad C_{3,2}= -3,059 \quad C_{4,2}= 0,616$$

$$X_2(x) = 1,248\text{sh}(0,03878x) - 0,892\text{ch}(0,03878x) - 3,059\sin(0,0388x) + 0,616\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,2}= 1,2 \quad C_{2,2}= -0,801 \quad C_{3,2}= -1,715 \quad C_{4,2}= 0,704$$

$$X_2(x) = 1,2\text{sh}(0,03878x) - 0,801\text{ch}(0,03878x) - 1,715\sin(0,0388x) + 0,704\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,2}= 1,127 \quad C_{2,2}= -0,785 \quad C_{3,2}= -1,472 \quad C_{4,2}= 0,729$$

$$X_2(x) = 1,127\text{sh}(0,03878x) - 0,785\text{ch}(0,03878x) - 1,472\sin(0,0388x) + 0,729\cos(0,0388x)$$

Hesap modelinin 3.üncü kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları, 2.inci kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları ve 3.üncü kata ait transfer matrisi kullanılarak (5.12) denkleminde birinci mod için hesaplanmış ve (5.3) denkleminde yerlerine yazılarak 3.üncü kat şekil fonksiyonu elde edilmiştir. 3.üncü kat integrasyon katsayıları ve şekil fonksiyonu, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$C_{1,3}= 0,864 \quad C_{2,3}= -0,737 \quad C_{3,3}= -2,821 \quad C_{4,3}= 0,241$$

$$X_3(x) = 0,864\text{sh}(0,03878x) - 0,737\text{ch}(0,03878x) - 2,821\sin(0,0388x) + 0,241\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,3}= 0,919 \quad C_{2,3}= -0,597 \quad C_{3,3}= -1,643 \quad C_{4,3}= 0,397$$

$$X_3(x) = 0,919\text{sh}(0,03878x) - 0,597\text{ch}(0,03878x) - 1,643\sin(0,0388x) + 0,397\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,3}= 0,877 \quad C_{2,3}= -0,577 \quad C_{3,3}= -1,452 \quad C_{4,3}= 0,436$$

$$X_3(x) = 0,877\text{sh}(0,03878x) - 0,577\text{ch}(0,03878x) - 1,452\sin(0,0388x) + 0,436\cos(0,0388x)$$

Hesap modelinin 4.üncü kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları, 3.üncü kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları ve 4.üncü kata ait transfer matrisi kullanılarak (5.12) denkleminde birinci mod için hesaplanmış ve (5.3) denkleminde yerlerine yazılarak 4.üncü kat şekil fonksiyonu elde edilmiştir. 4.üncü kat integrasyon katsayıları ve şekil fonksiyonu, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$C_{1,4}= 0,36 \quad C_{2,4}= -0,625 \quad C_{3,4}= -2,406 \quad C_{4,4}= -0,104$$

$$X_4(x) = 0,36\text{sh}(0,03878x) - 0,625\text{ch}(0,03878x) - 2,406\sin(0,0388x) - 0,104\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,4}= 0,561 \quad C_{2,4}= -0,434 \quad C_{3,4}= -1,414 \quad C_{4,4}= 0,104$$

$$X_4(x) = 0,561\text{sh}(0,03878x) - 0,434\text{ch}(0,03878x) - 1,414\sin(0,0388x) + 0,104\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,4} = 0,553 \quad C_{2,4} = -0,406 \quad C_{3,4} = -1,273 \quad C_{4,4} = 0,148$$

$$X_4(x) = 0,553\text{sh}(0,03878x) - 0,406\text{ch}(0,03878x) - 1,273\sin(0,0388x) + 0,148\cos(0,0388x)$$

Hesap modelinin 5.inci kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları, 4.üncü kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları ve 5.inci kata ait transfer matrisi kullanılarak (5.12) denkleminde veya 1.inci kat şekil fonksiyonuna ait integrasyon katsayıları ve toplam transfer matrisi kullanılarak (5.13) denkleminde birinci mod için hesaplanmış ve (5.3) denkleminde yerlerine yazılarak 5.inci kat şekil fonksiyonu elde edilmiştir. 5.inci kat integrasyon katsayıları ve şekil fonksiyonu, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$C_{1,5} = -0,275 \quad C_{2,5} = -0,571 \quad C_{3,5} = -1,813 \quad C_{4,5} = -0,399$$

$$X_5(x) = -0,275\text{sh}(0,03878x) - 0,571\text{ch}(0,03878x) - 1,813\sin(0,0388x) - 0,399\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,5} = 0,105 \quad C_{2,5} = -0,327 \quad C_{3,5} = -1,02 \quad C_{4,5} = -0,149$$

$$X_5(x) = 0,105\text{sh}(0,03878x) - 0,327\text{ch}(0,03878x) - 1,02\sin(0,0388x) - 0,149\cos(0,0388x)$$

$$C_{1,5} = 0,133 \quad C_{2,5} = -0,289 \quad C_{3,5} = -0,923 \quad C_{4,5} = -0,106$$

$$X_5(x) = 0,133\text{sh}(0,03878x) - 0,289\text{ch}(0,03878x) - 0,923\sin(0,0388x) - 0,106\cos(0,0388x)$$

Tüm katlara ait şekil fonksiyonları ve türevleri (6.11), (6.12) ve (6.13) denklemlerinde yerlerine yazılarak zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin sırasıyla, genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş kuvvet değerleri, Mathcad7 paket programı ile ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$M^* = 204,346 \text{ ts}^2/\text{m} \quad K^* = 104,954 \text{ t/m} \quad F^* = -16,786 \text{ t}$$

$$M^* = 39,72 \text{ ts}^2/\text{m} \quad K^* = 138,024 \text{ t/m} \quad F^* = -7,2126 \text{ t}$$

$$M^* = 25,614 \text{ ts}^2/\text{m} \quad K^* = 450,536 \text{ t/m} \quad F^* = -5,53 \text{ t}$$

Bu değerlerin (6.10) numaralı hareket denkleminde yerlerine yazılması suretiyle ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için elde edilen hareket denklemleri sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

$$204,346\ddot{Z} + 104,954Z = 16,786\ddot{u}_g$$

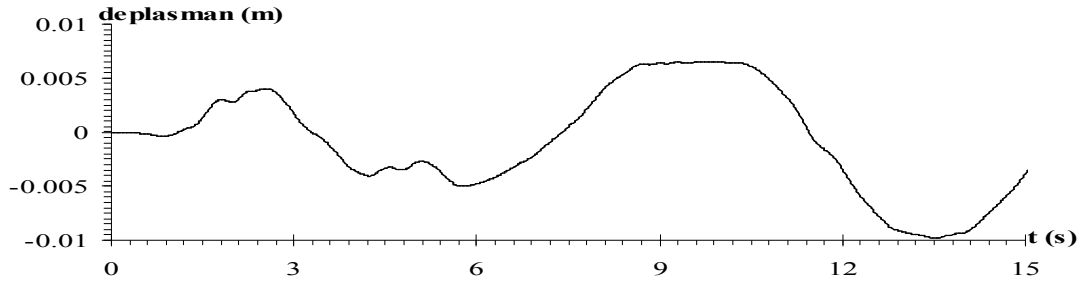
$$39,72\ddot{Z} + 138,024Z = 7,2126\ddot{u}_g$$

$$25,614\ddot{Z} + 450,536Z = 5,53\ddot{u}_g$$

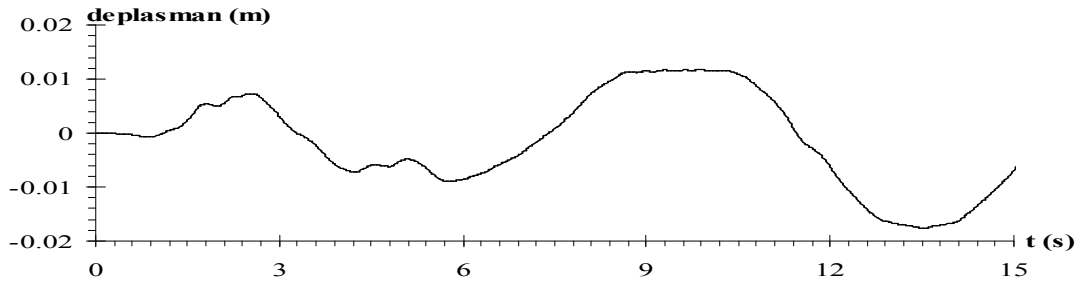
9.2.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Her Katı İçin Tepki Zaman Geçmişlerinin Elde edilmesi

9.2.1 Bölümünde farklı yay katsayısı değerleri için elde edilen diferansiyel hareket denkleminin çözümü, El-Centro ve İzmit depremlerinin kuzey-güney bileşenine ait güçlü ivme kayıtları kullanılarak yapılmış ve hesap modelinin deplasmanı, hızı ve ivmesi $Z(t)$ genelleştirilmiş koordinata bağlı olarak elde edilmiştir. Hesap modelinin katlarına ait toplam tepki deplasmanı, hızı ve ivmesi ise, ilgili katın şekil fonksiyonunun sırasıyla (6.14) denkleminde ve zamana göre türevlerinde yerine yazılması ile hesaplanmıştır.

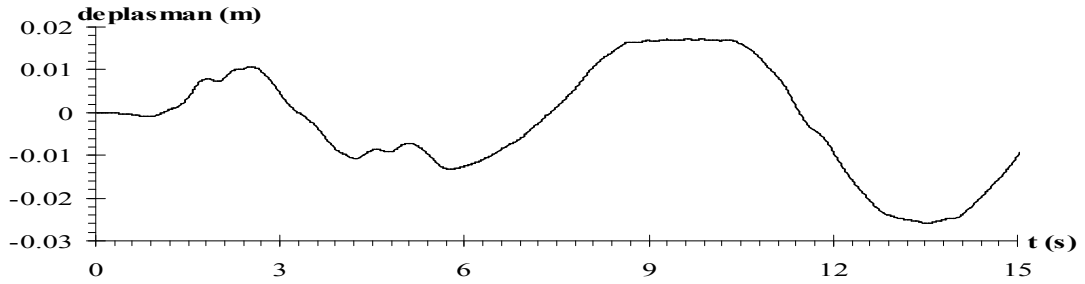
Ötelenme ve dönme yay katsayısı değeri 10000 (t/m; tm/radyan) olan hesap modelinin 1.inci, 2.inci, 3.üncü, 4.üncü ve 5.inci katları için 0-15 sn zaman aralığında, El-Centro depreminin güçlü yer ivmelerine göre elde edilen tepki deplasmanı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.2, Şekil 9.3, Şekil 9.4, Şekil 9.5 ve Şekil 9.6'da, tepki hızı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.7, Şekil 9.8, Şekil 9.9, Şekil 9.10 ve Şekil 9.11'de, tepki ivmesi zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.12, Şekil 9.13, Şekil 9.14, Şekil 9.15 ve Şekil 9.16'da; İzmit depreminin güçlü yer ivmelerine göre elde edilen tepki deplasmanı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.17, Şekil 9.18, Şekil 9.19, Şekil 9.20 ve Şekil 9.21'de, tepki hızı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.22, Şekil 9.23, Şekil 9.24, Şekil 9.25 ve Şekil 9.26'da, tepki ivmesi zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.27, Şekil 9.28, Şekil 9.29, Şekil 9.30 ve Şekil 9.31'de sunulmuştur.



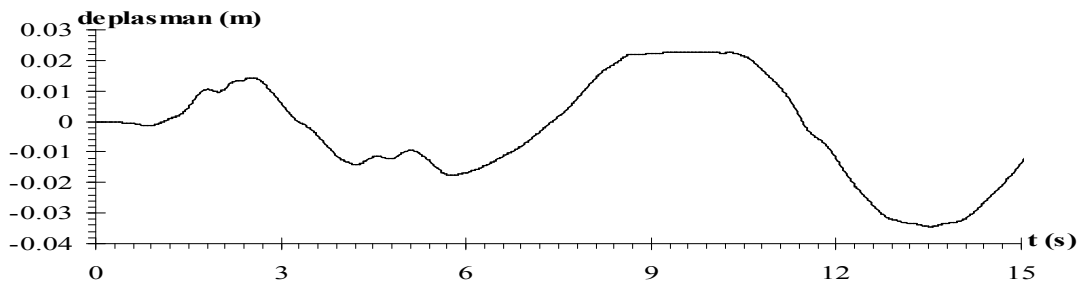
Şekil 9.2 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



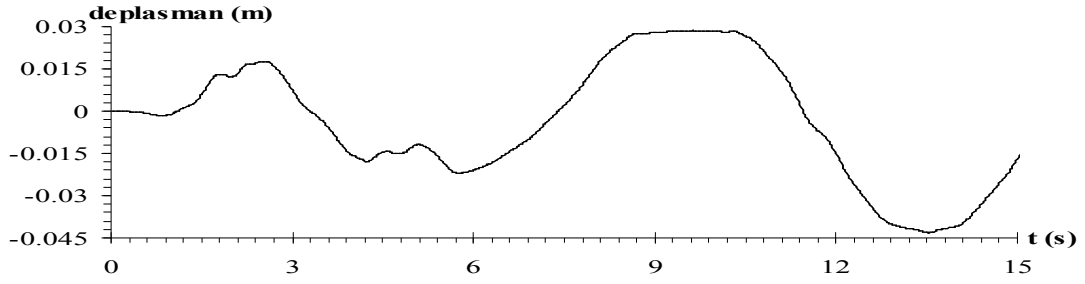
Şekil 9.3 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



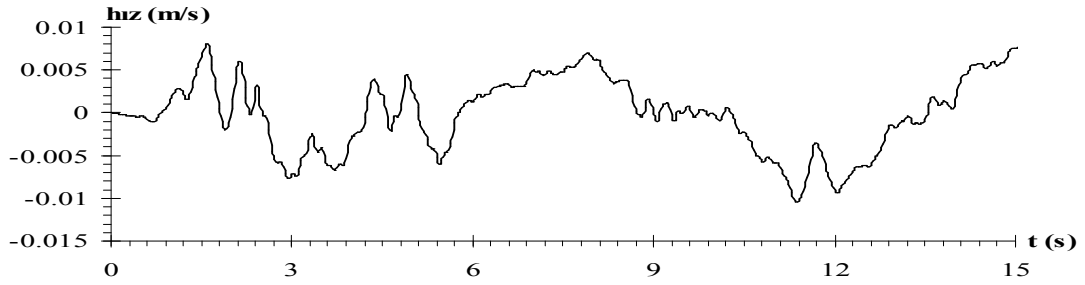
Şekil 9.4 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



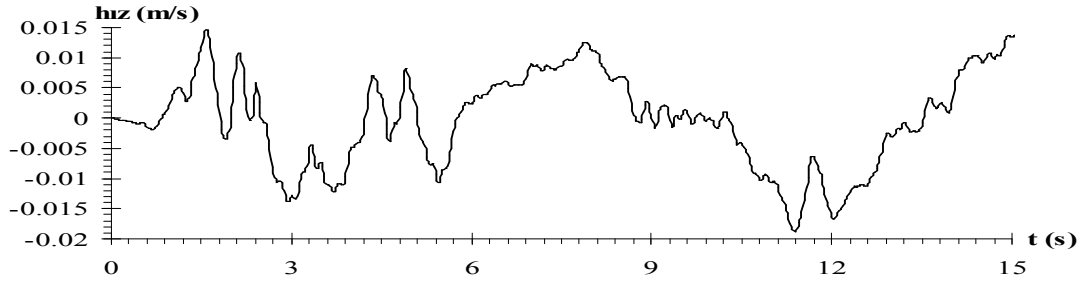
Şekil 9.5 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



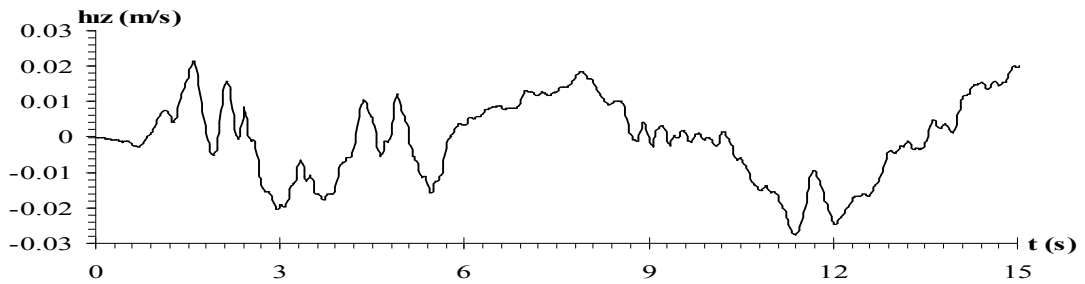
Şekil 9.6 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



Şekil 9.7 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



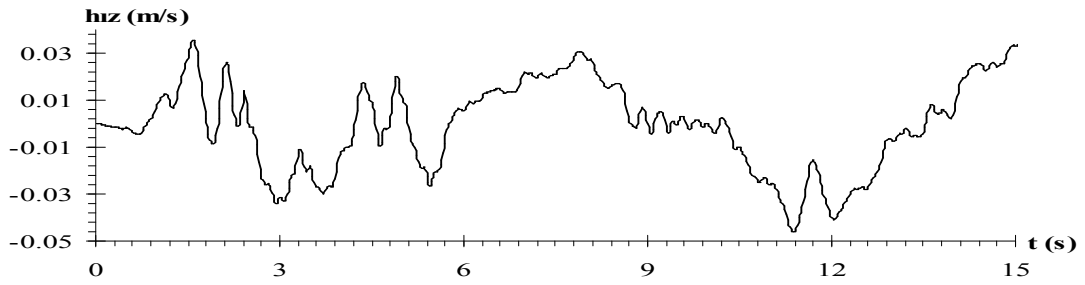
Şekil 9.8 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



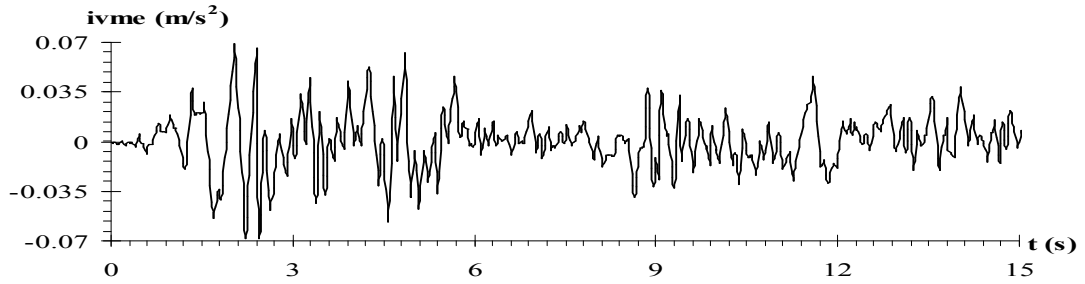
Şekil 9.9 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



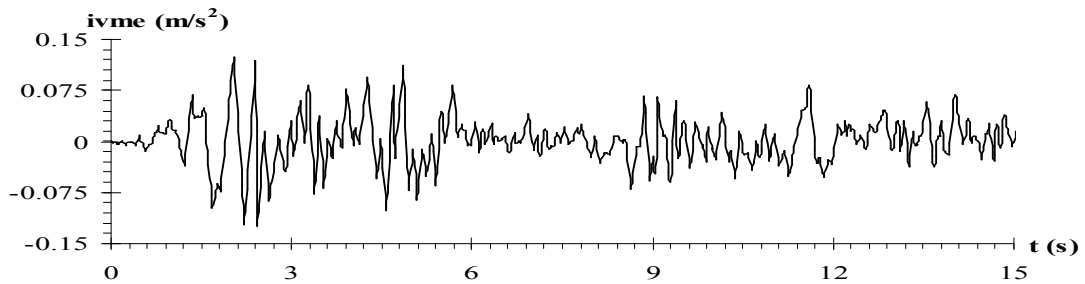
Şekil 9.10 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



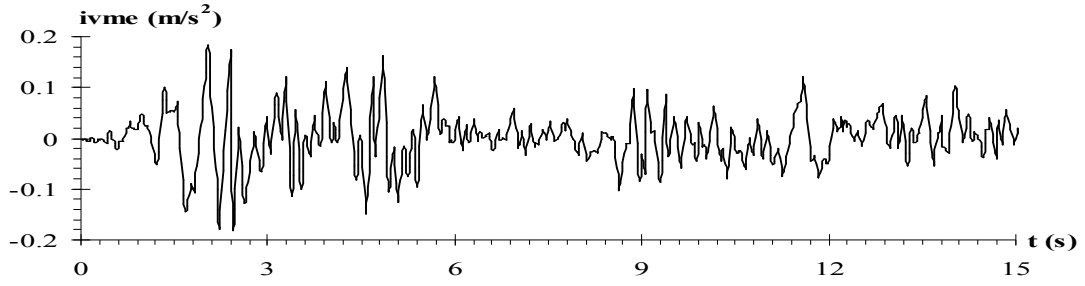
Şekil 9.11 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



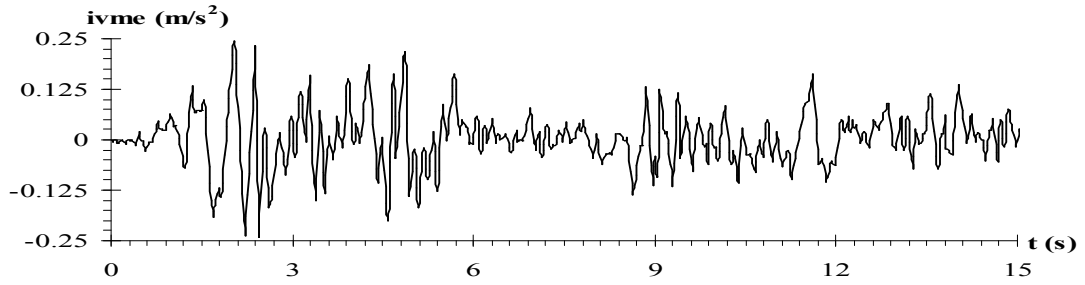
Şekil 9.12 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



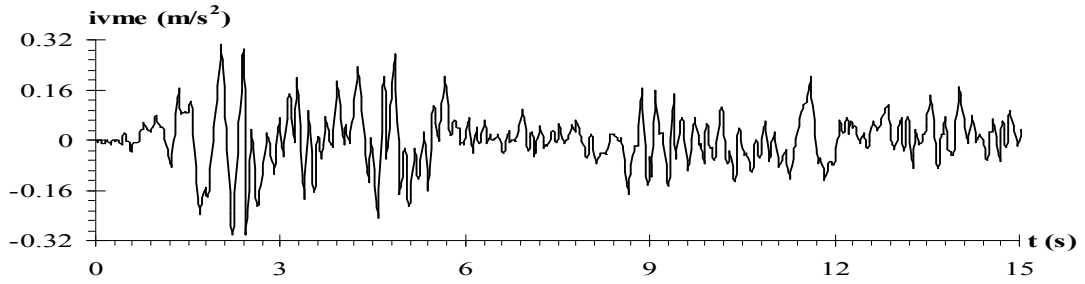
Şekil 9.13 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



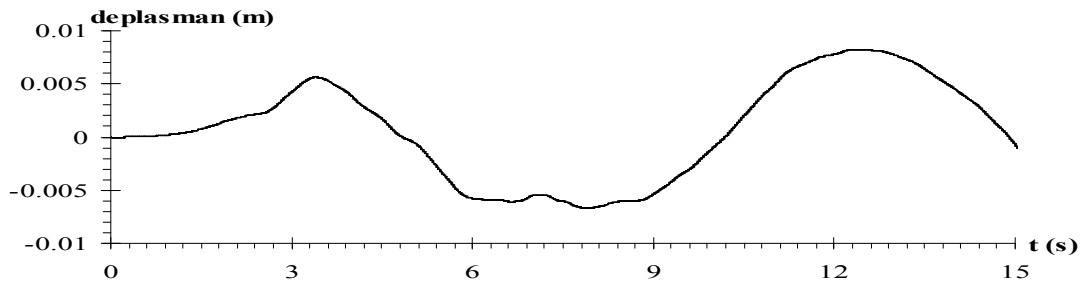
Şekil 9.14 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



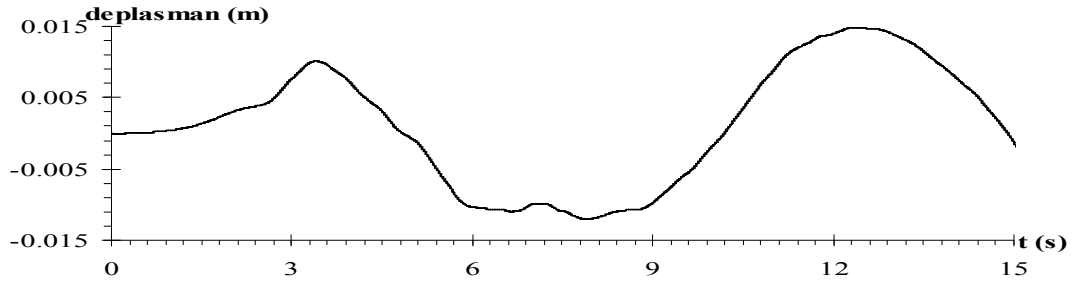
Şekil 9.15 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



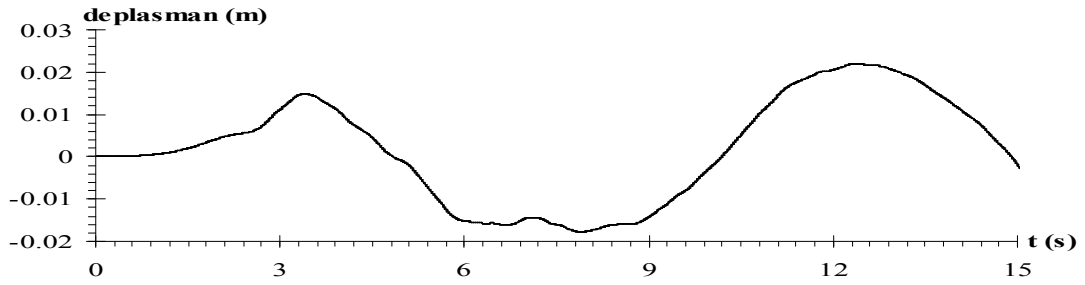
Şekil 9.16 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



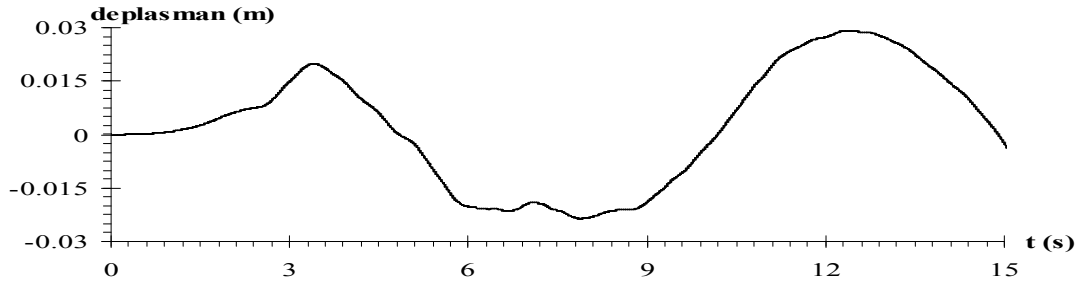
Şekil 9.17 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



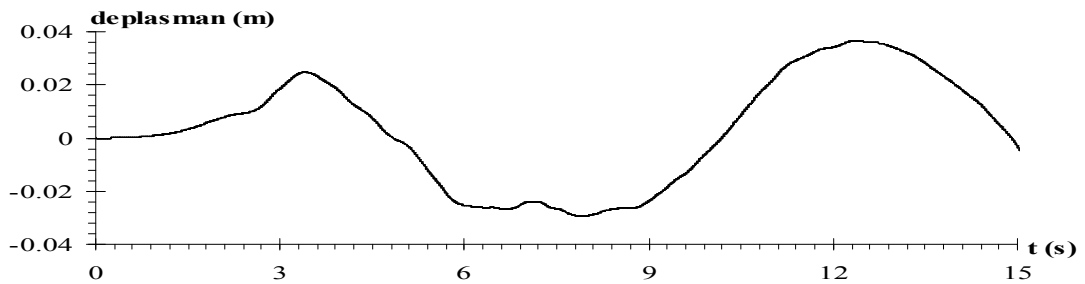
Şekil 9.18 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



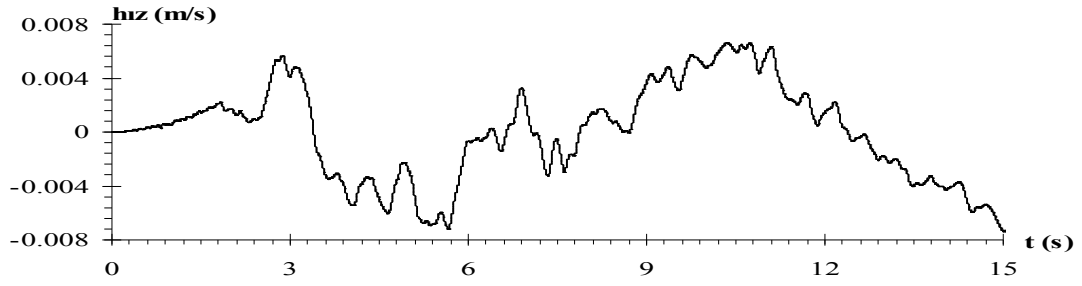
Şekil 9.19 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



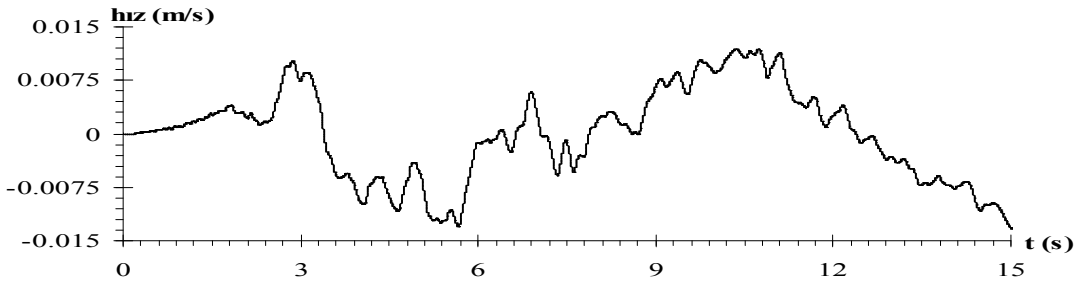
Şekil 9.20 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



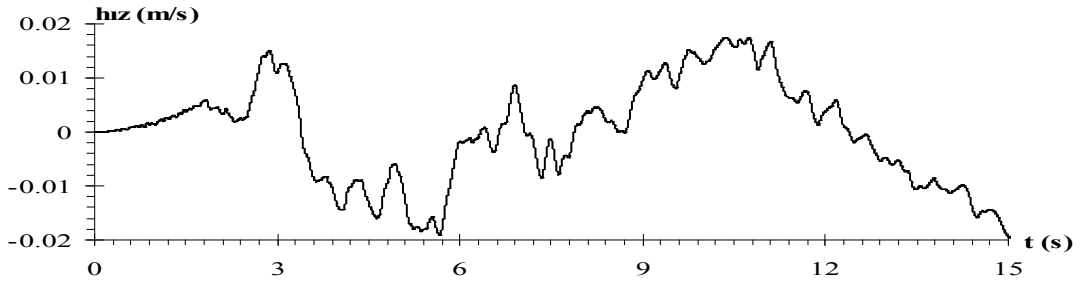
Şekil 9.21 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



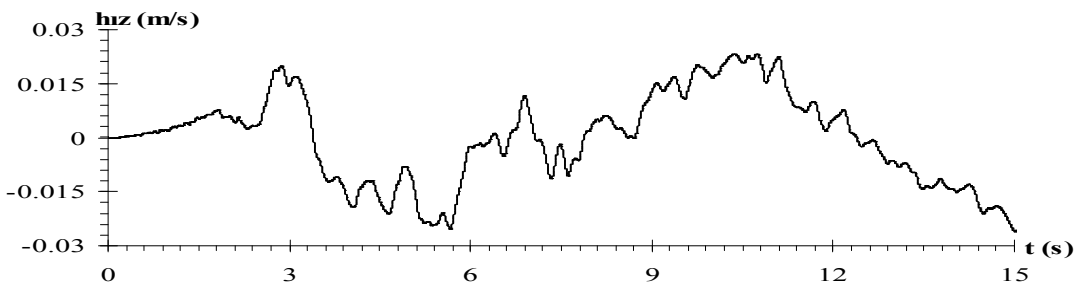
Şekil 9.22 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



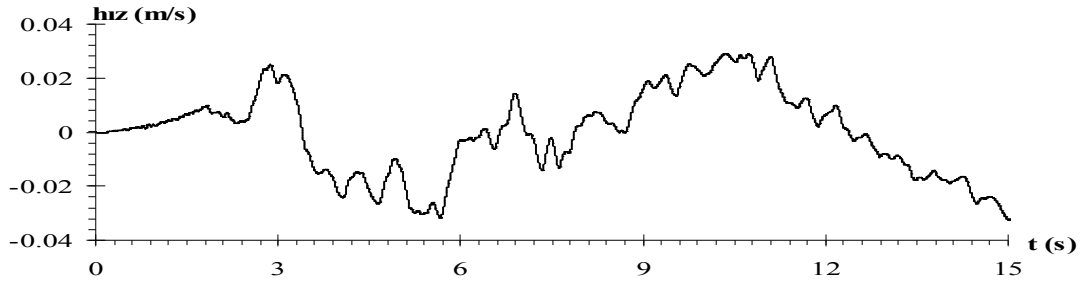
Şekil 9.23 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



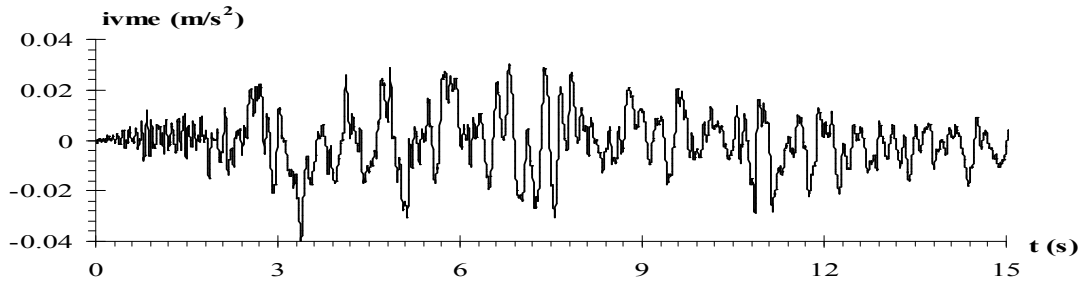
Şekil 9.24 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



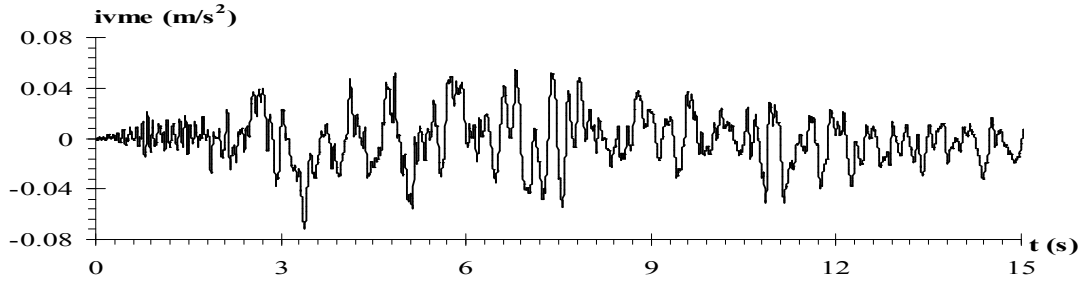
Şekil 9.25 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



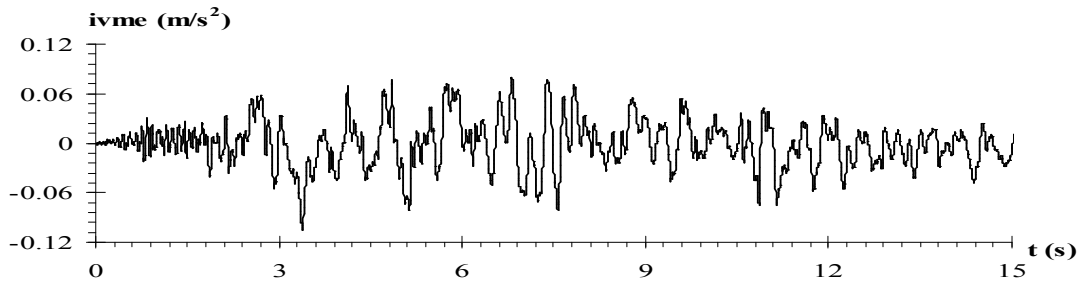
Şekil 9.26 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



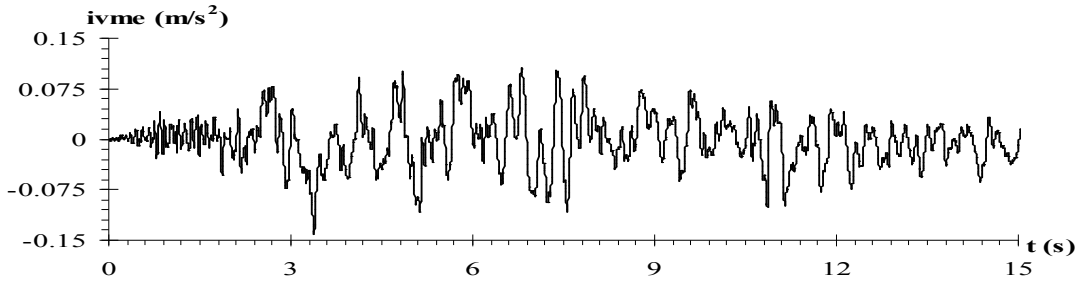
Şekil 9.27 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



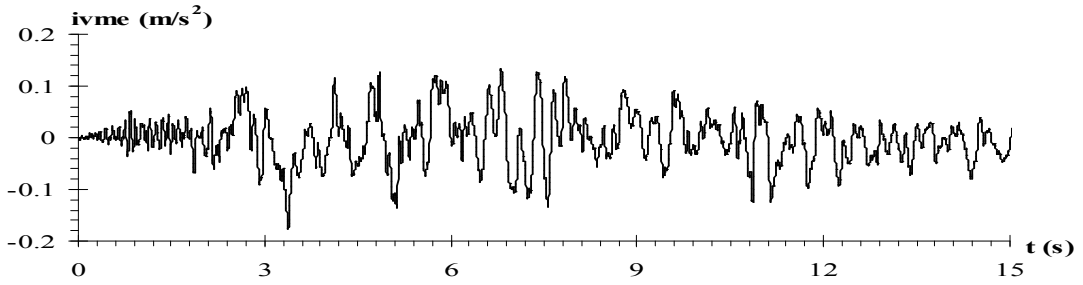
Şekil 9.28 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 9.29 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

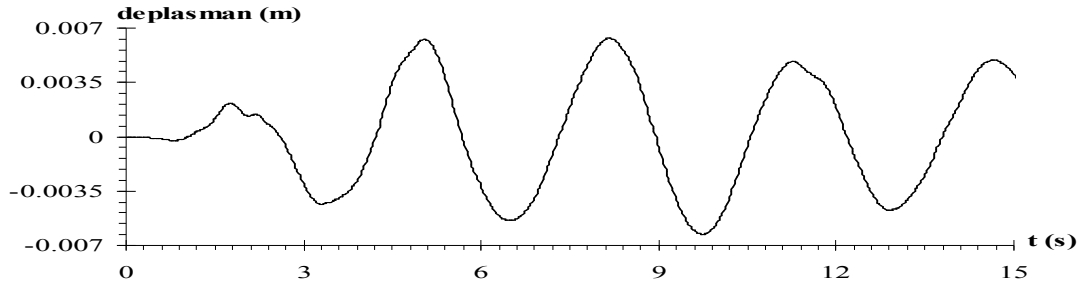


Şekil 9.30 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

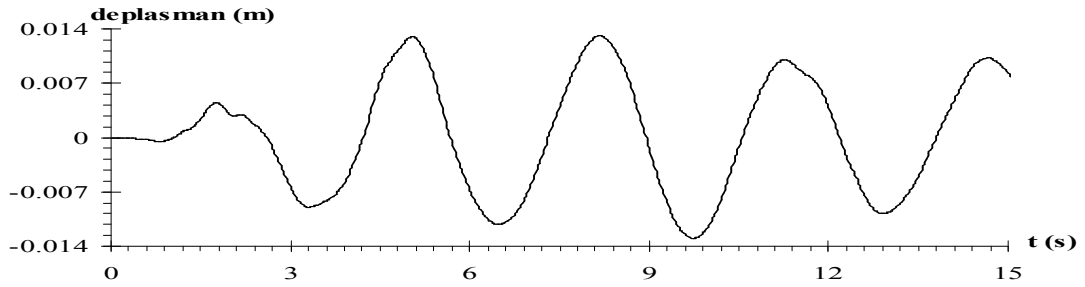


Şekil 9.31 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

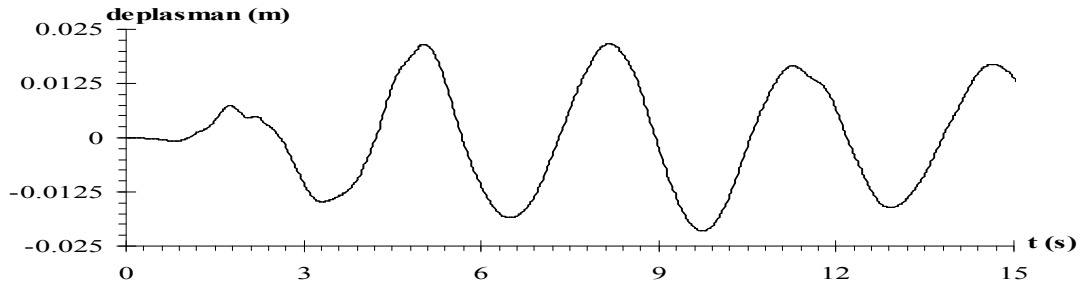
Ötelenme ve dönme yay katsayısı değeri 100000 (t/m; tm/radyan) olan hesap modelinin 1.inci, 2.inci, 3.üncü, 4.üncü ve 5.inci katları için 0-15 sn zaman aralığında, El-Centro depreminin güçlü yer ivmelerine göre elde edilen tepki deplasmanı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.32, Şekil 9.33, Şekil 9.34, Şekil 9.35 ve Şekil 9.36'da, tepki hızı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.37, Şekil 9.38, Şekil 9.39, Şekil 9.40 ve Şekil 9.41'de, tepki ivmesi zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.42, Şekil 9.43, Şekil 9.44, Şekil 9.45 ve Şekil 9.46'da; İzmit depreminin güçlü yer ivmelerine göre elde edilen tepki deplasmanı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.47, Şekil 9.48, Şekil 9.49, Şekil 9.50 ve Şekil 9.51'de, tepki hızı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.52, Şekil 9.53, Şekil 9.54, Şekil 9.55 ve Şekil 9.56'da, tepki ivmesi zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.57, Şekil 9.58, Şekil 9.59, Şekil 9.60 ve Şekil 9.61'de sunulmuştur.



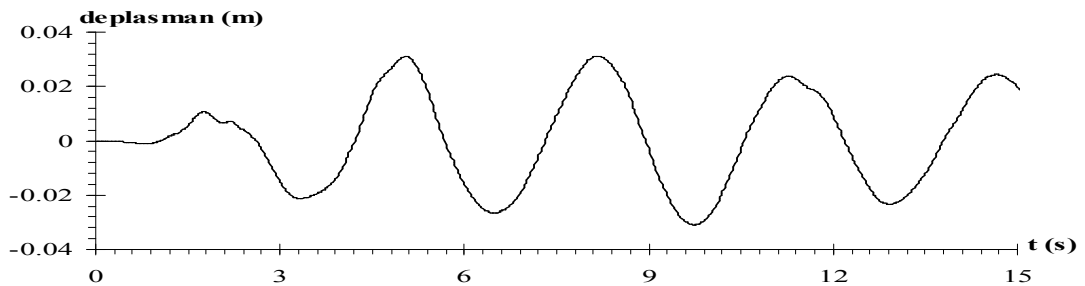
Şekil 9.32 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



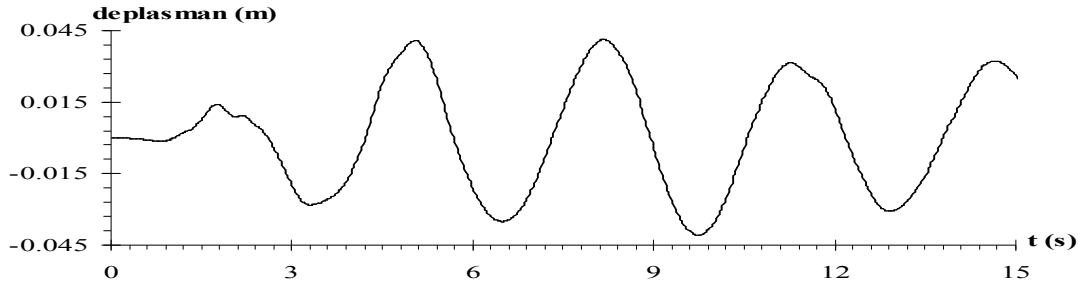
Şekil 9.33 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



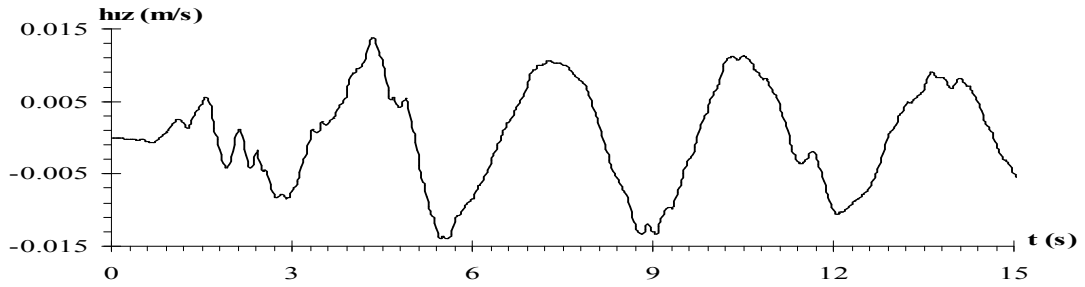
Şekil 9.34 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



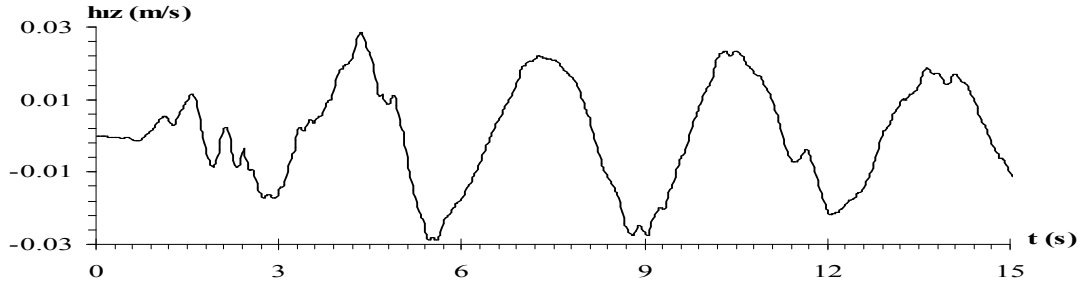
Şekil 9.35 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



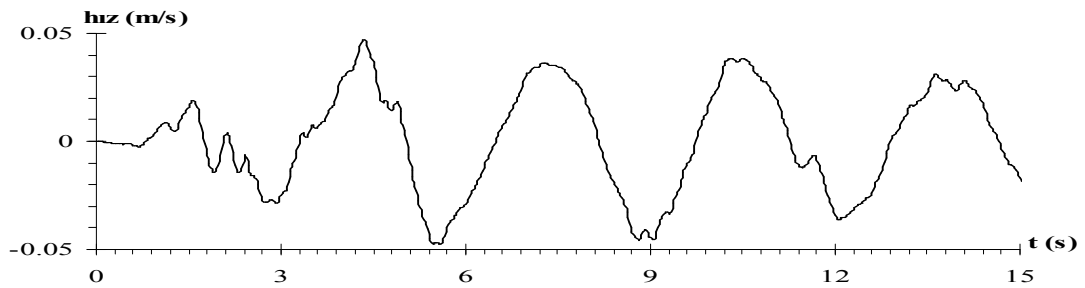
Şekil 9.36 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki deplasmanı zaman geçişi



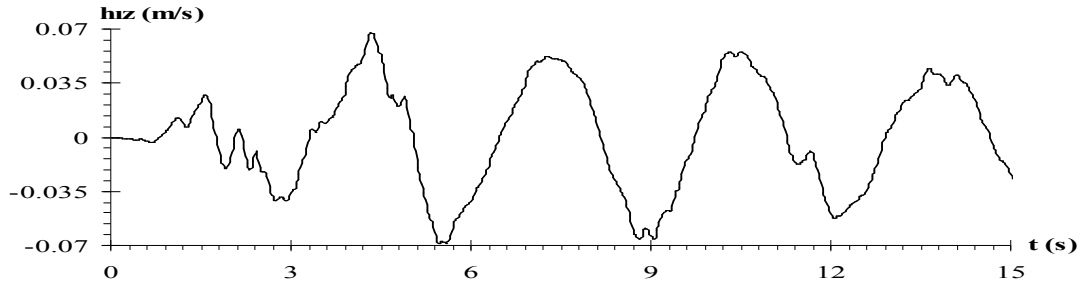
Şekil 9.37 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki hızı zaman geçişi



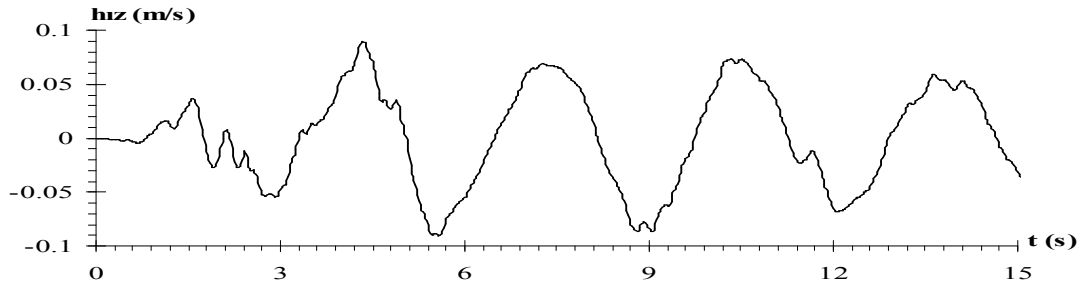
Şekil 9.38 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki hızı zaman geçişi



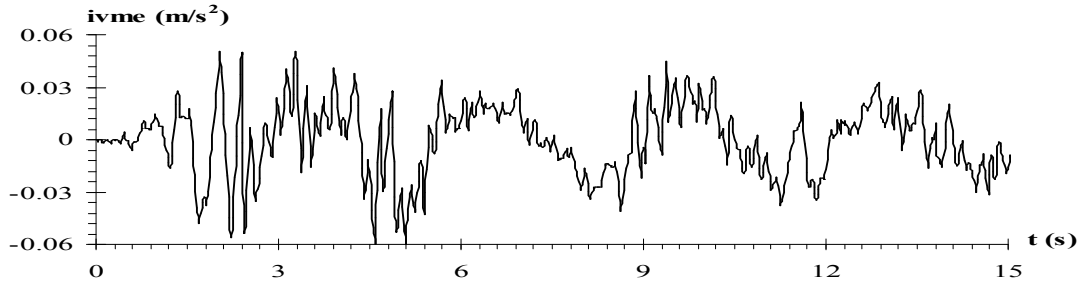
Şekil 9.39 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki hızı zaman geçişi



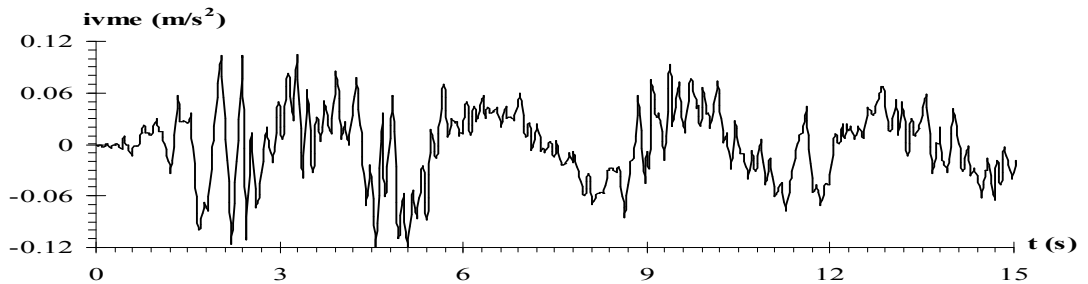
Şekil 9.40 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



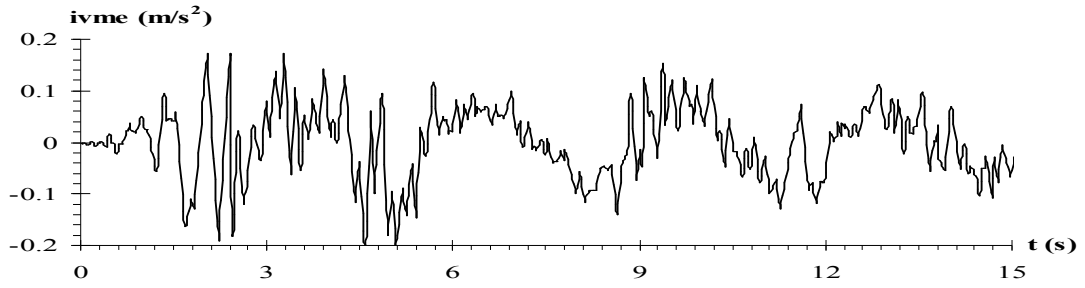
Şekil 9.41 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



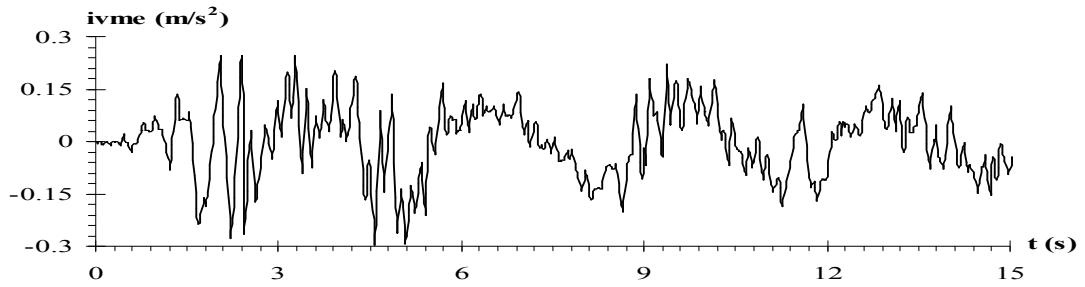
Şekil 9.42 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



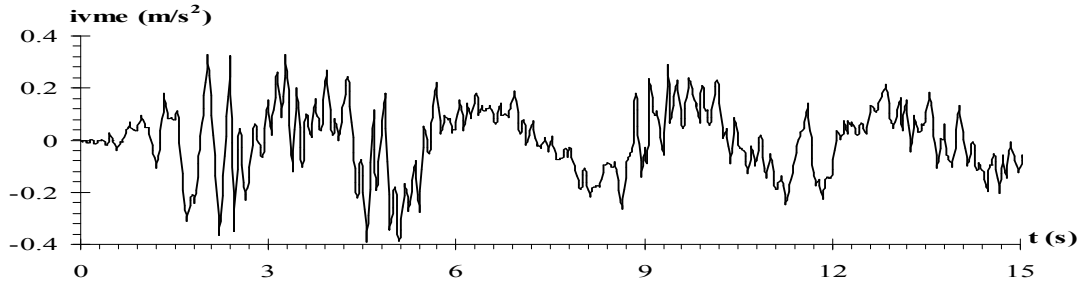
Şekil 9.43 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



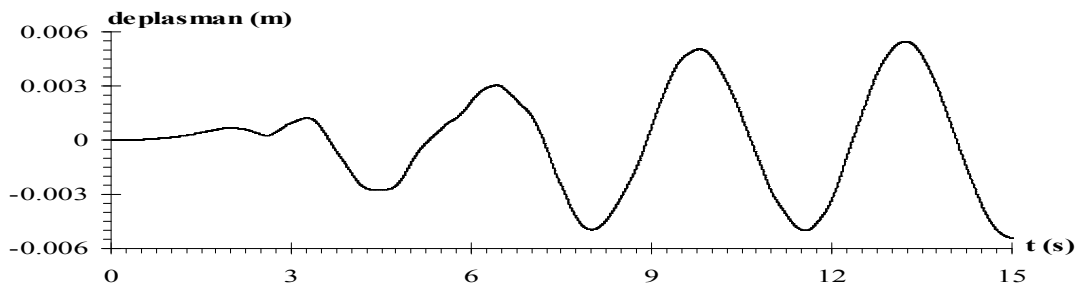
Şekil 9.44 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



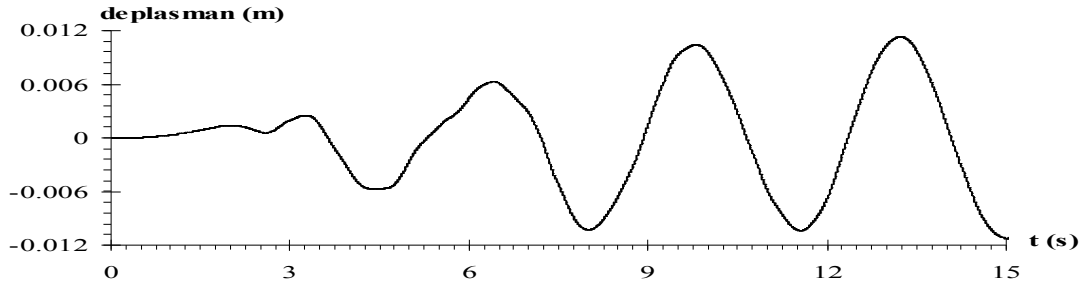
Şekil 9.45 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



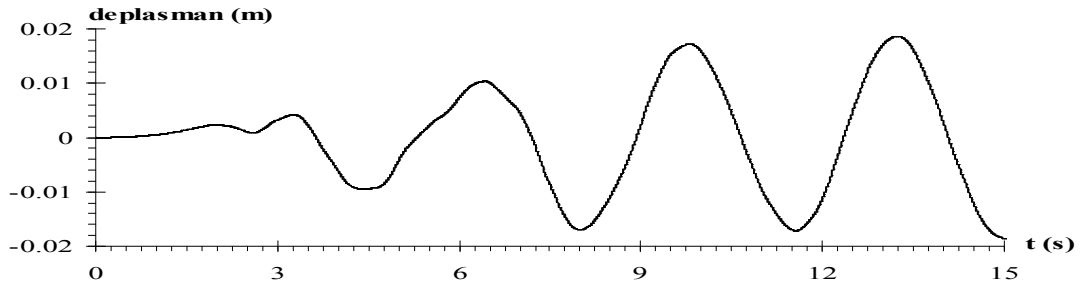
Şekil 9.46 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



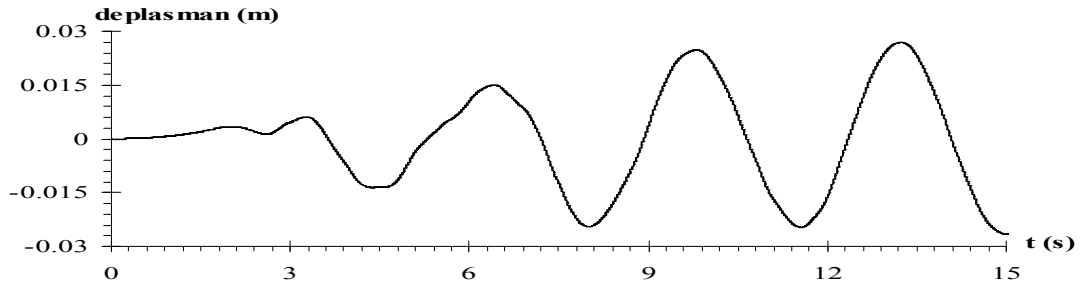
Şekil 9.47 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



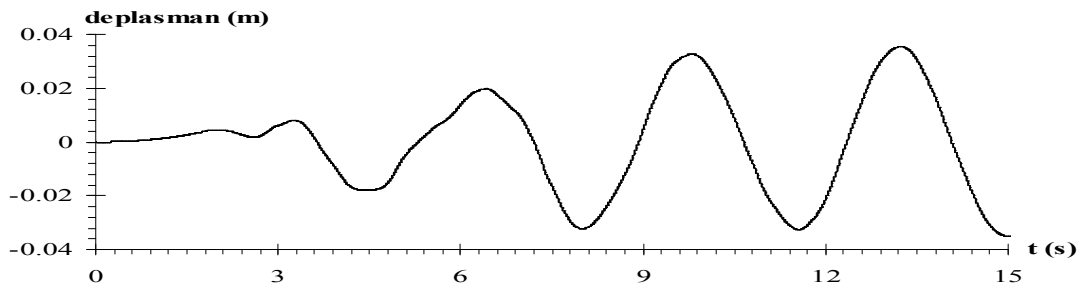
Şekil 9.48 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



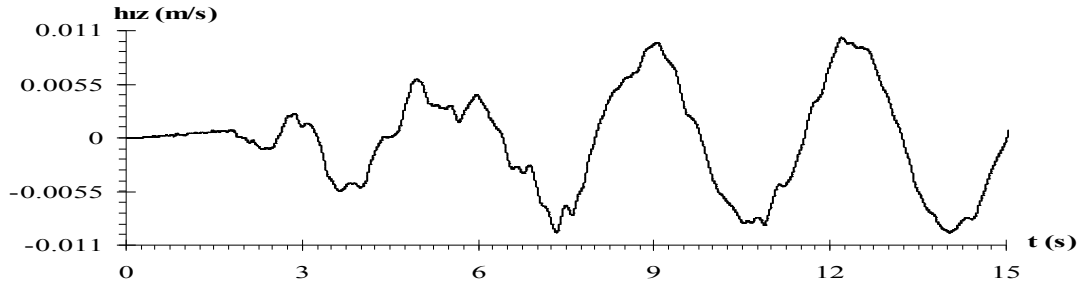
Şekil 9.49 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



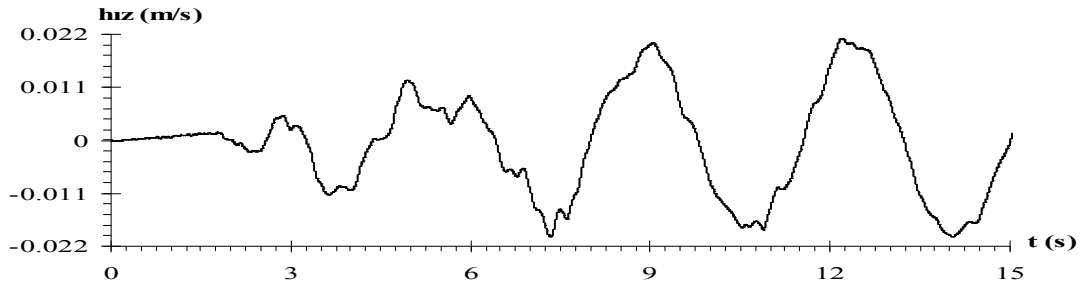
Şekil 9.50 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



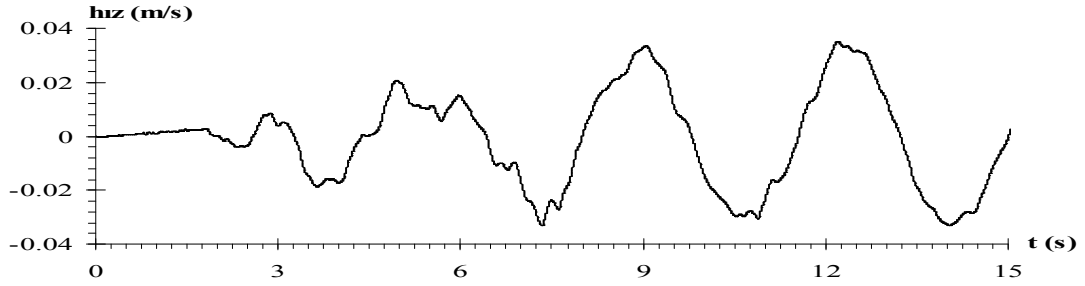
Şekil 9.51 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



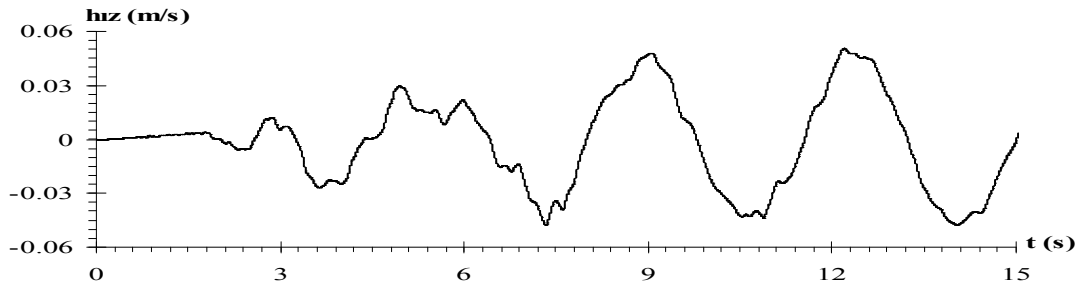
Şekil 9.52 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



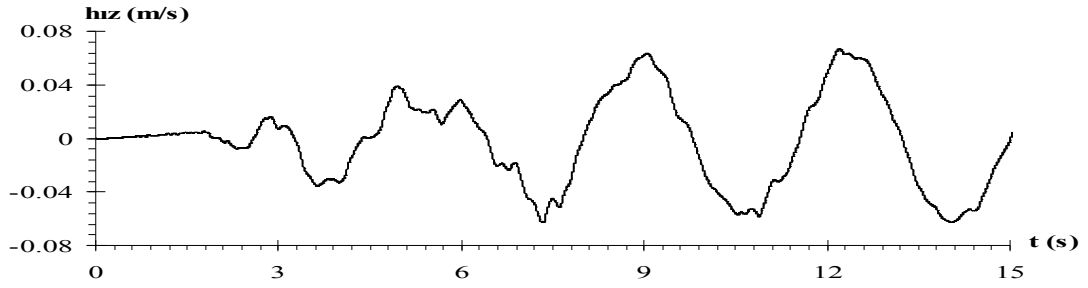
Şekil 9.53 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



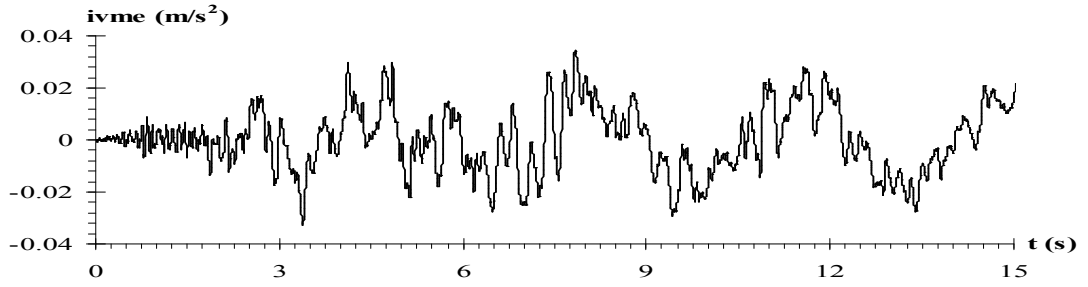
Şekil 9.54 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



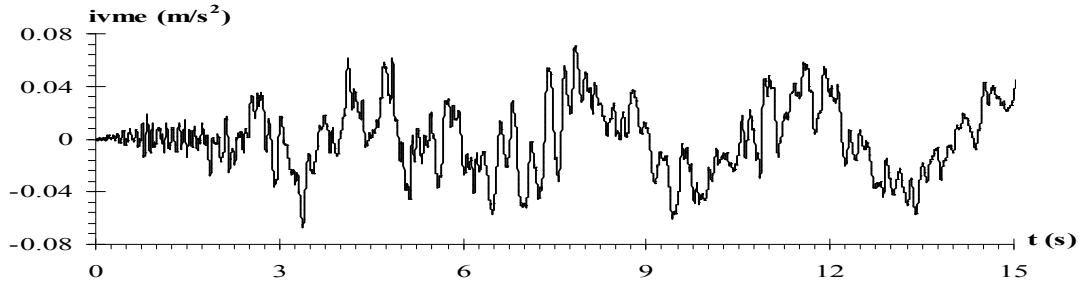
Şekil 9.55 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



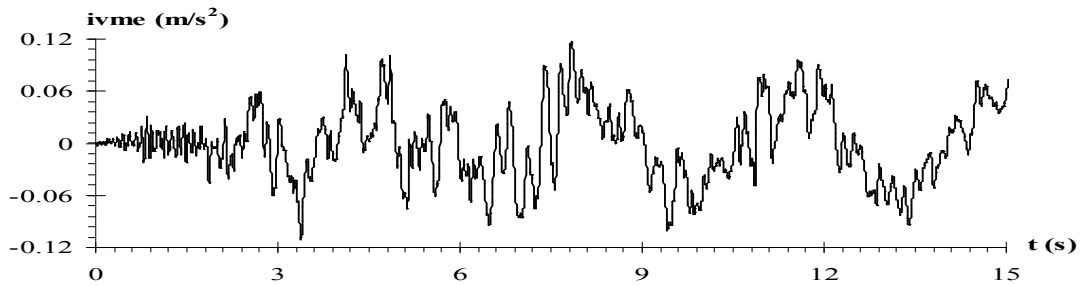
Şekil 9.56 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



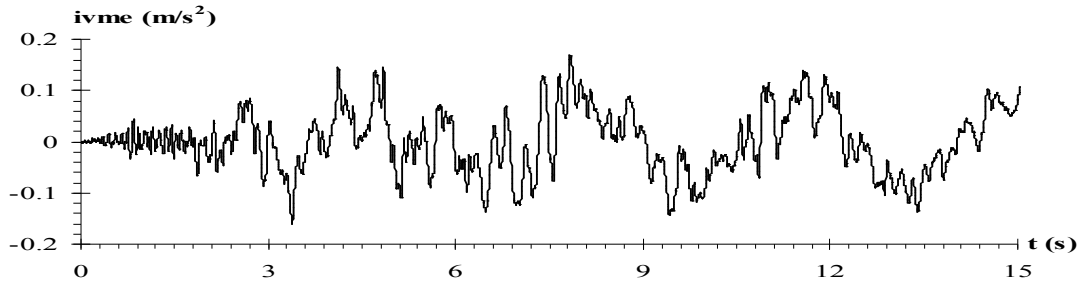
Şekil 9.57 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



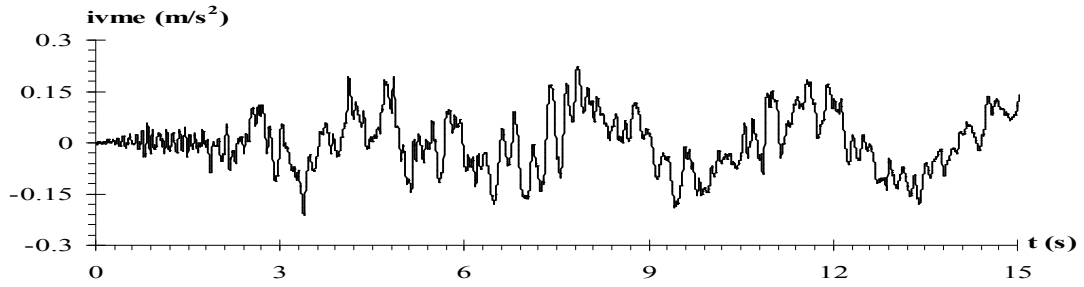
Şekil 9.58 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 9.59 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

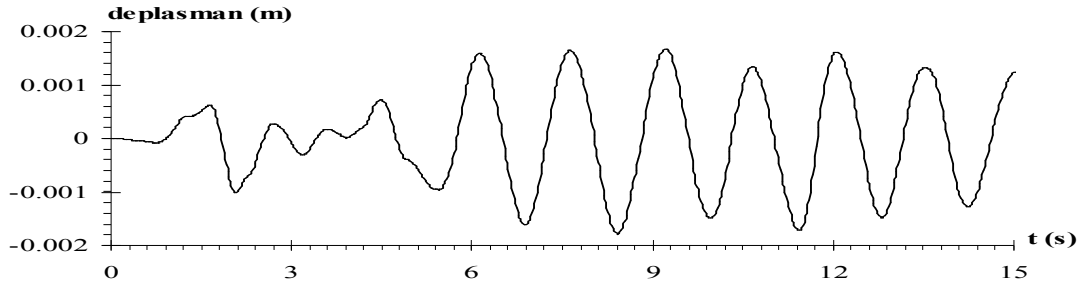


Şekil 9.60 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

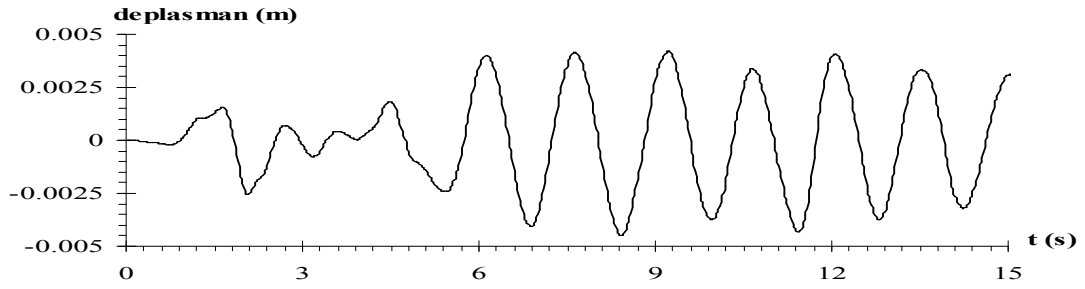


Şekil 9.61 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

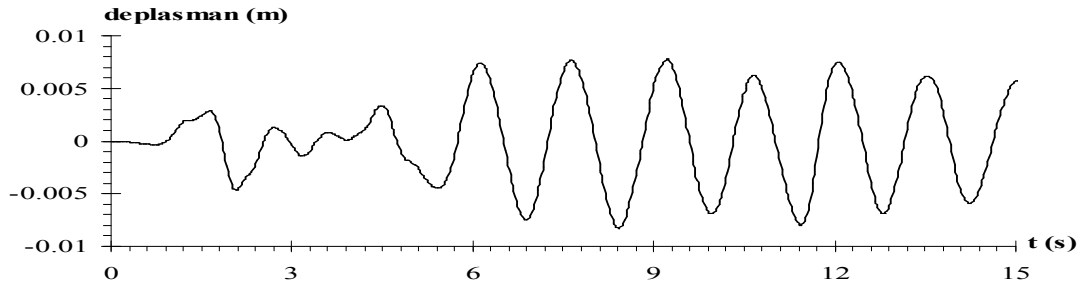
Ötelenme ve dönme yay katsayısı değeri 1000000 (t/m; tm/radyan) olan hesap modelinin 1.inci, 2.inci, 3.üncü, 4.üncü ve 5.inci katları için 0-15 sn zaman aralığında, El-Centro depreminin güçlü yer ivmelerine göre elde edilen tepki deplasmanı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.62, Şekil 9.63, Şekil 9.64, Şekil 9.65 ve Şekil 9.66'da, tepki hızı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.67, Şekil 9.68, Şekil 9.69, Şekil 9.70 ve Şekil 9.71'de, tepki ivmesi zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.72, Şekil 9.73, Şekil 9.74, Şekil 9.75 ve Şekil 9.76'da; İzmit depreminin güçlü yer ivmelerine göre elde edilen tepki deplasmanı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.77, Şekil 9.78, Şekil 9.79, Şekil 9.80 ve Şekil 9.81'de, tepki hızı zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.82, Şekil 9.83, Şekil 9.84, Şekil 9.85 ve Şekil 9.86'da, tepki ivmesi zaman geçmişi sırasıyla Şekil 9.87, Şekil 9.88, Şekil 9.89, Şekil 9.90 ve Şekil 9.91'de sunulmuştur.



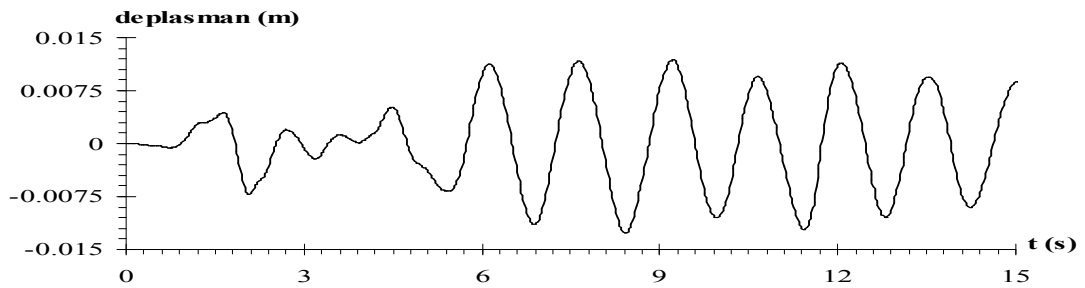
Şekil 9.62 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



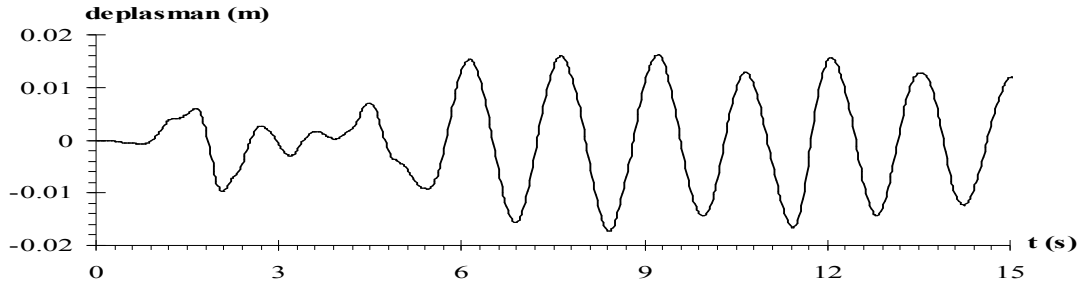
Şekil 9.63 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



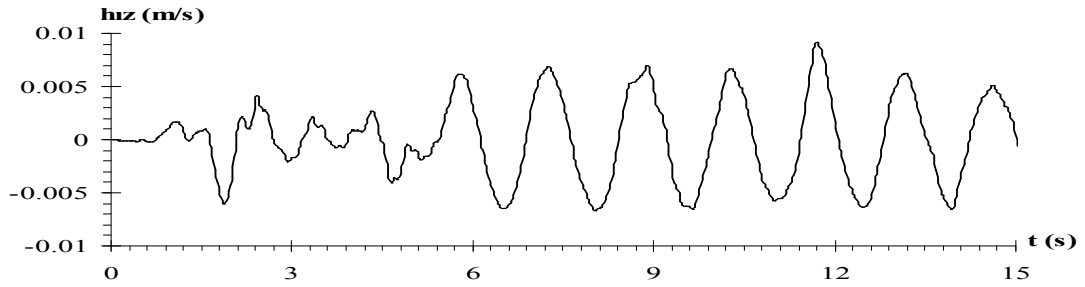
Şekil 9.64 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



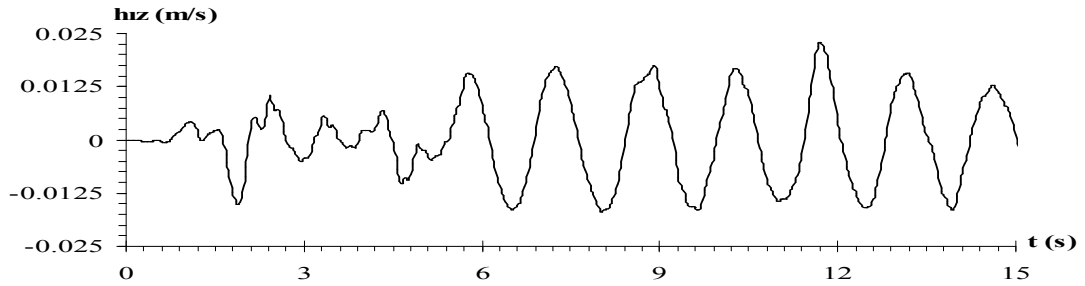
Şekil 9.65 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



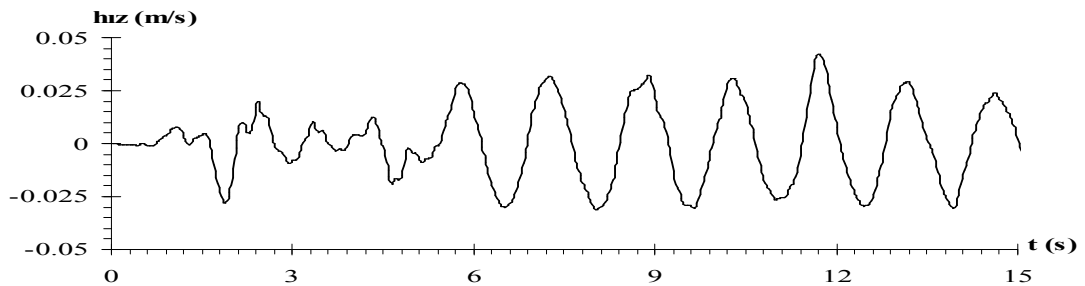
Şekil 9.66 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



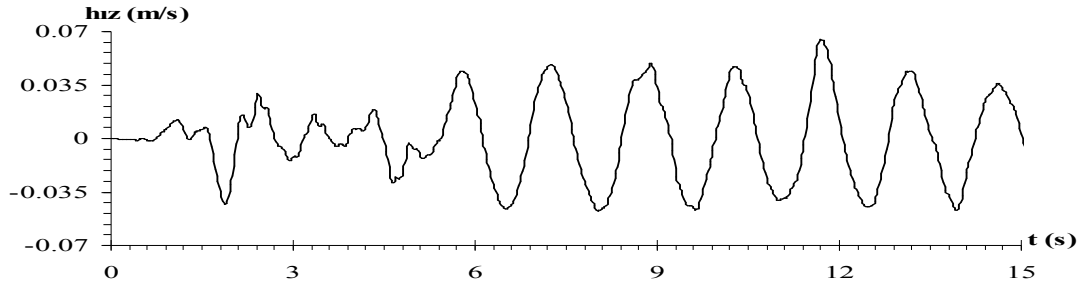
Şekil 9.67 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



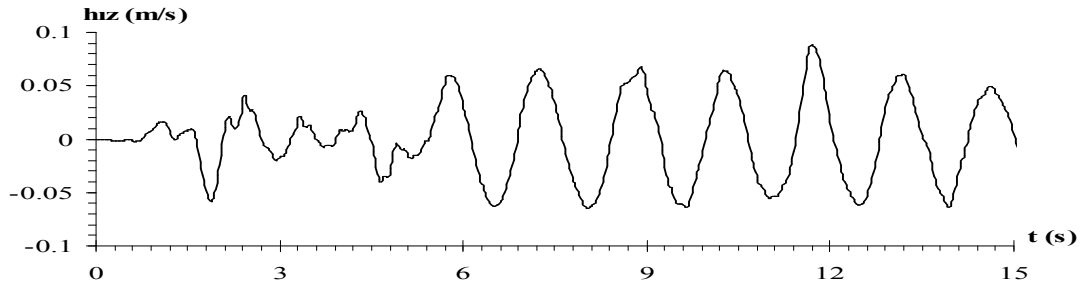
Şekil 9.68 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



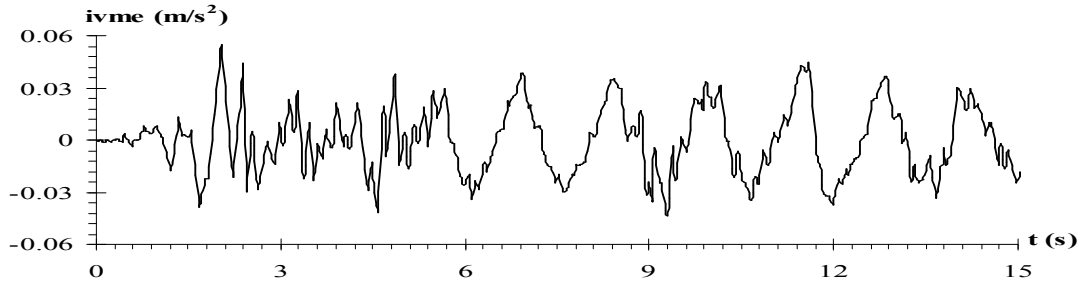
Şekil 9.69 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



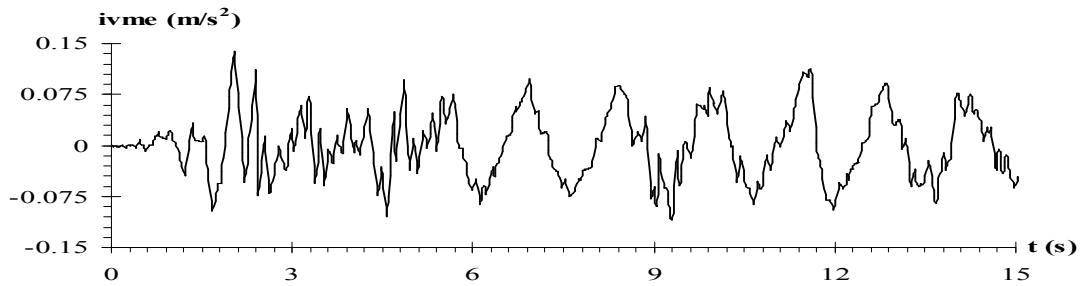
Şekil 9.70 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



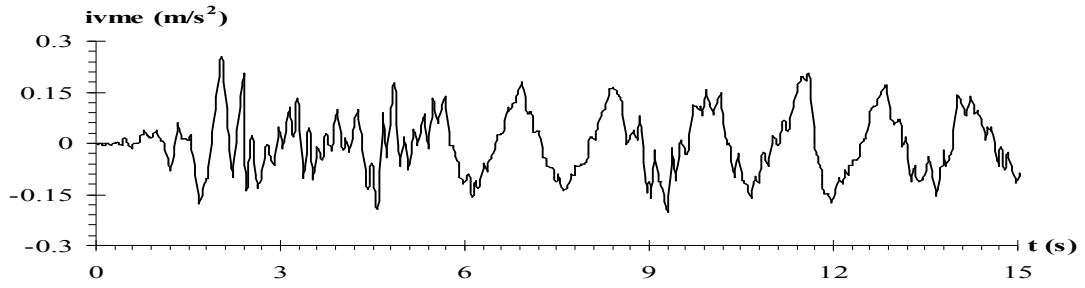
Şekil 9.71 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



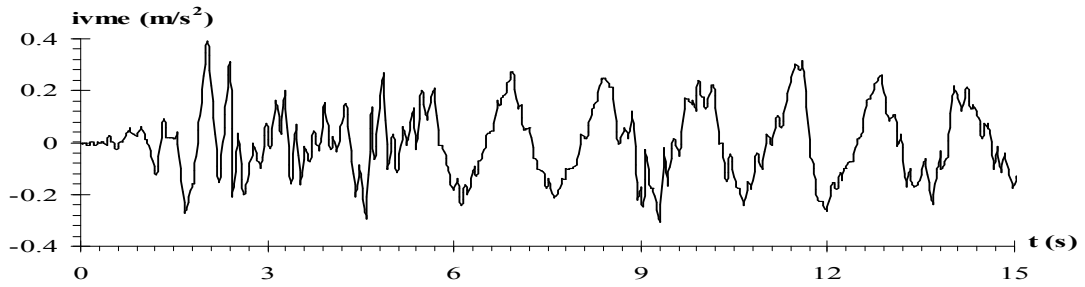
Şekil 9.72 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



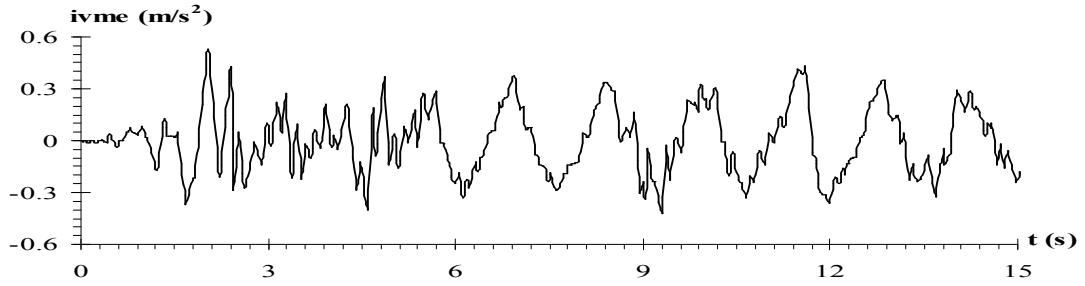
Şekil 9.73 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



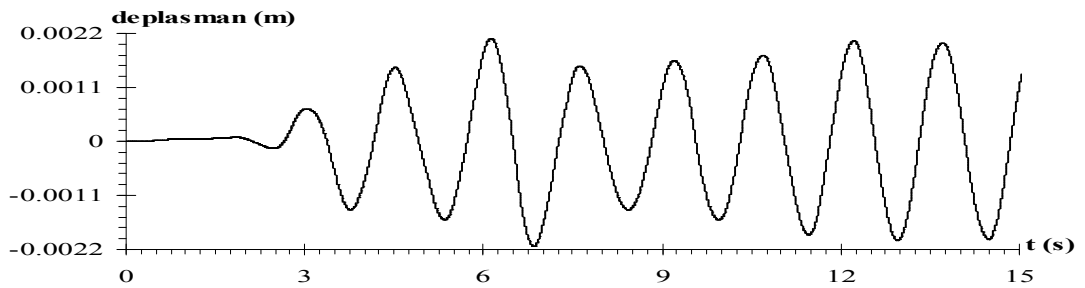
Şekil 9.74 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



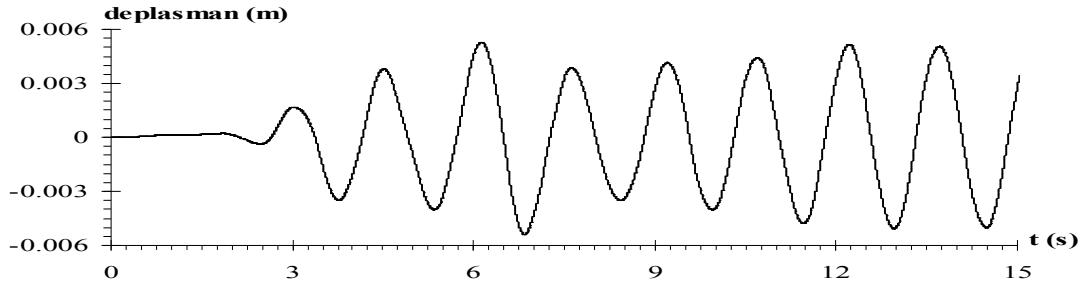
Şekil 9.75 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



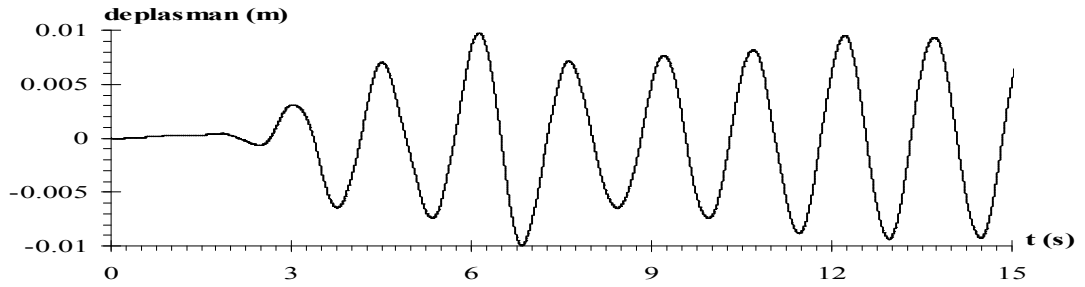
Şekil 9.76 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



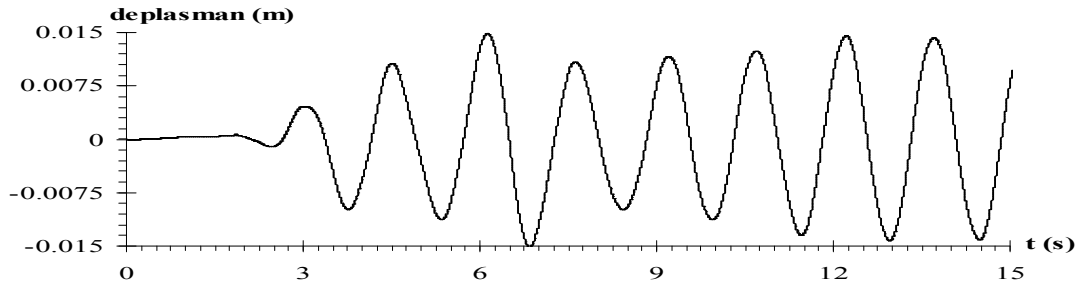
Şekil 9.77 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



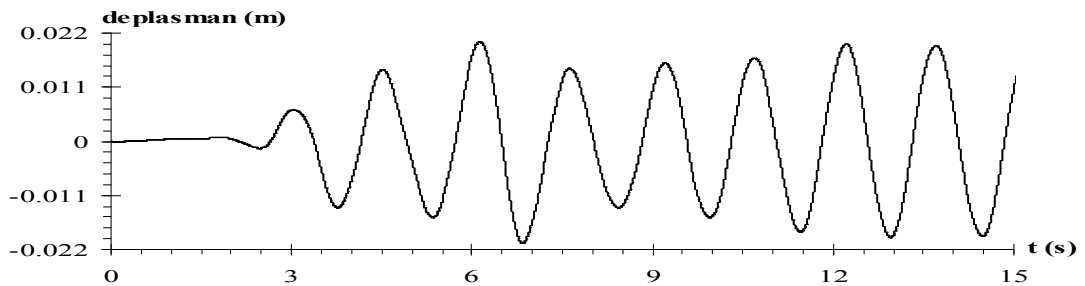
Şekil 9.78 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



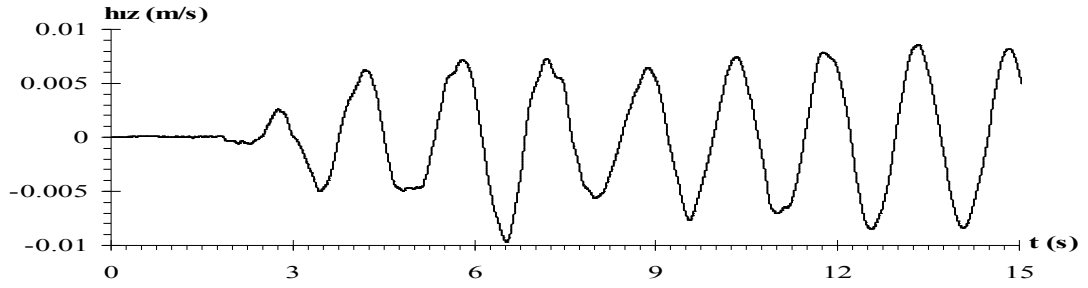
Şekil 9.79 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



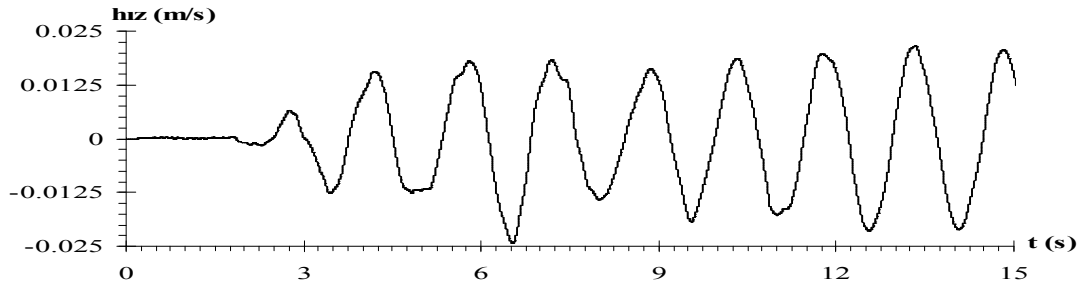
Şekil 9.80 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



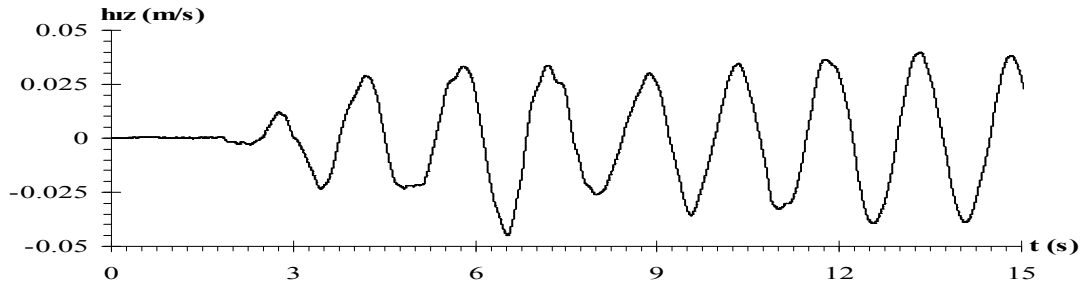
Şekil 9.81 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



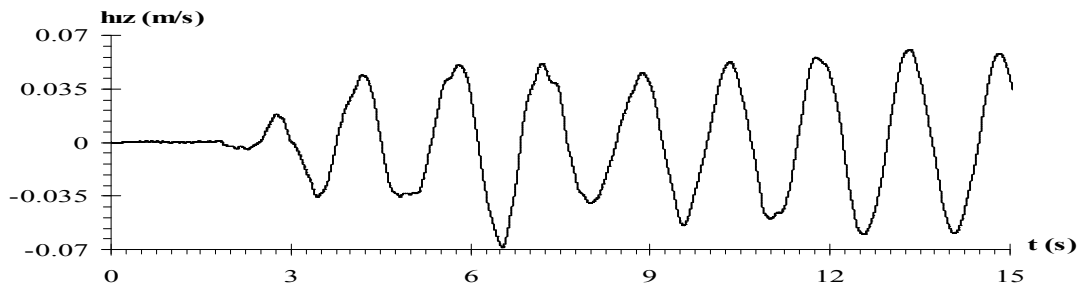
Şekil 9.82 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



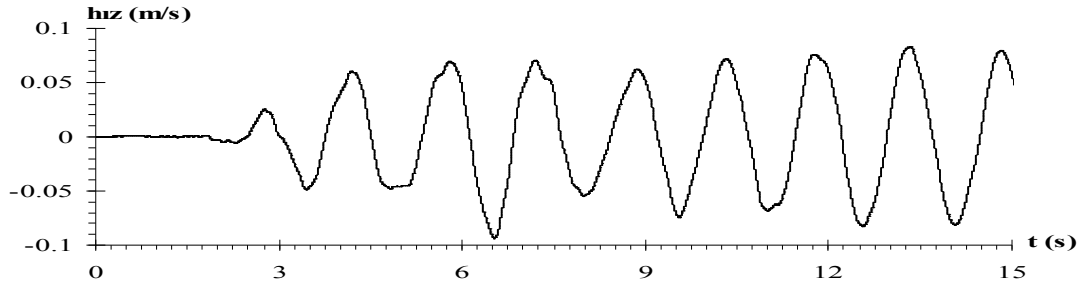
Şekil 9.83 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



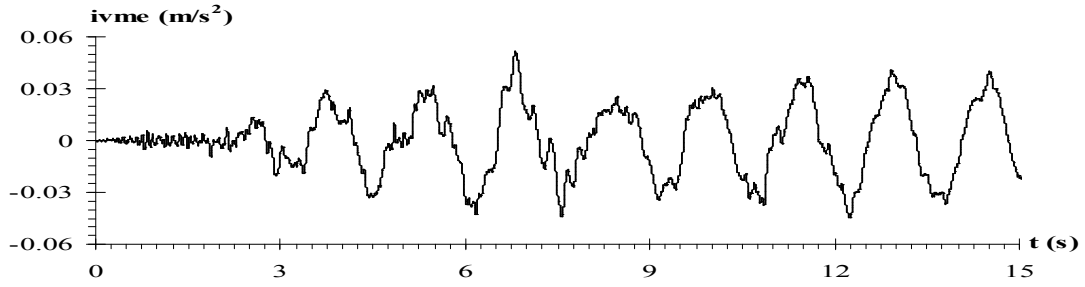
Şekil 9.84 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



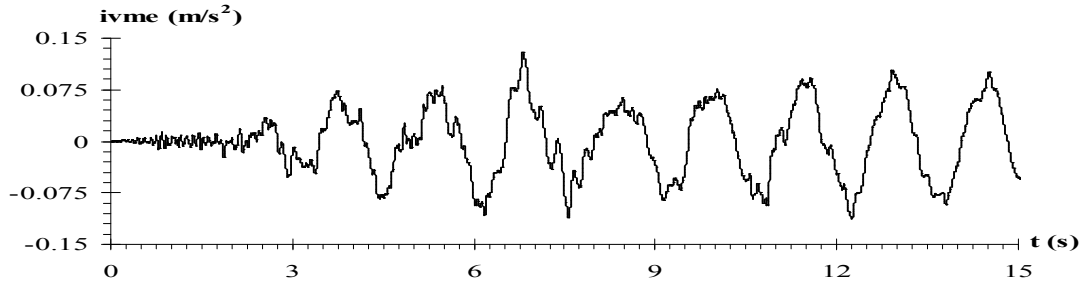
Şekil 9.85 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



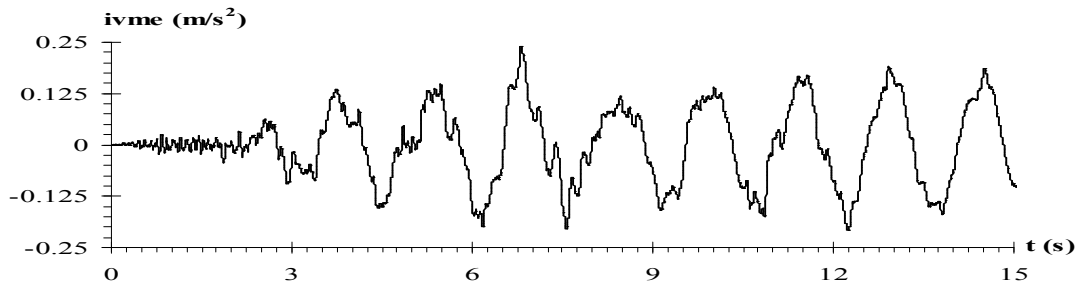
Şekil 9.86 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki hızı zaman geçmişi



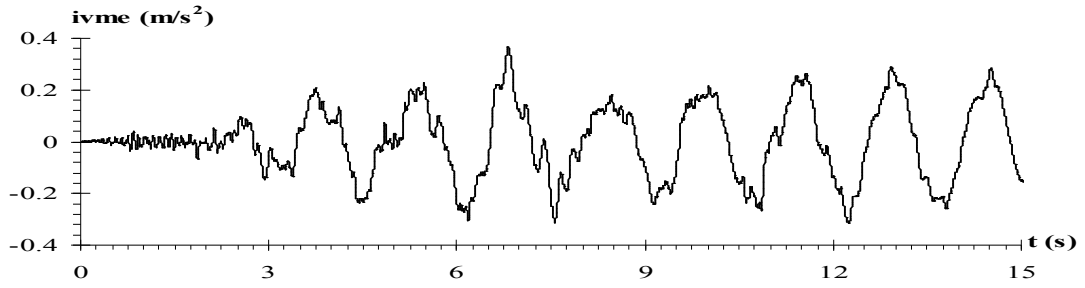
Şekil 9.87 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 1. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



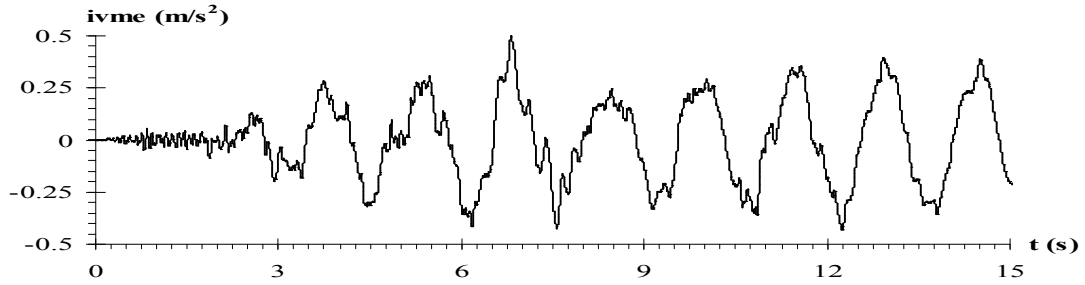
Şekil 9.88 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 2. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 9.89 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 3. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 9.90 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 4. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 9.91 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan için birinci modda 5. kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

9.2.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçeveye Ait Hesap Modelinin Spektral Değerlerinin Elde Edilmesi

Birinci mod için hesap modelinin her katına ait maksimum tepki deplasmanı (S_D), maksimum tepki hızı (S_V) ve maksimum tepki ivmesi (S_A), Newmark-Beta metoduna dayanan Beta.Bas programı ile sırasıyla deplasman, hız ve ivme zaman geçmişlerinden hesaplanarak ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için sırasıyla Tablo 9.2, Tablo 9.3 ve Tablo 9.4'de sunulmuştur.

Tablo 9.2 El-Centro ve İzmit depremleri etkisindeki beş katlı hesap modelinin birinci titreşim modunun $K_8=10000$ t/m ve $K_0=10000$ tm/radyan için her kata ait tepki spektral değerleri

Kat	Kattaki Konum	1940 El-Centro Depremi			1999 İzmit Depremi		
		S_D (m)	S_V (m/s)	S_A (m/s ²)	S_D (m)	S_V (m/s)	S_A (m/s ²)
1	$X_1(x = 0m)$	0,0031	0,0029	0,0193	0,0025	0,0021	0,0111
	$X_1(x = 3m)$	0,0110	0,0104	0,0694	0,0088	0,0074	0,0401
2	$X_2(x = 0m)$	0,0110	0,0104	0,0694	0,0088	0,0074	0,0401
	$X_2(x = 3m)$	0,0198	0,0187	0,1246	0,0158	0,0133	0,072
3	$X_3(x = 0m)$	0,0198	0,0187	0,1247	0,0158	0,0133	0,072
	$X_3(x = 3m)$	0,0292	0,0276	0,1834	0,0233	0,0195	0,1059
4	$X_4(x = 0m)$	0,0292	0,0276	0,1833	0,0232	0,0195	0,1058
	$X_4(x = 3m)$	0,0388	0,0367	0,2438	0,0309	0,026	0,1408
5	$X_5(x = 0m)$	0,0388	0,0367	0,2439	0,0309	0,026	0,1408
	$X_5(x = 3m)$	0,0486	0,0459	0,3051	0,0387	0,0325	0,1762

Tablo 9.3 El-Centro ve İzmit depremleri etkisindeki beş katlı hesap modelinin birinci titreşim modunun $K_8=100000$ t/m ve $K_0=100000$ tm/radyan için her kata ait tepki spektral değerleri

Kat	Kattaki Konum	1940 El-Centro Depremi			1999 İzmit Depremi		
		S_D (m)	S_V (m/s)	S_A (m/s ²)	S_D (m)	S_V (m/s)	S_A (m/s ²)
1	$X_1(x = 0m)$	0,0023	0,005	0,0217	0,0022	0,0042	0,0124
	$X_1(x = 3m)$	0,0063	0,014	0,0601	0,006	0,0115	0,0343
2	$X_2(x = 0m)$	0,0064	0,014	0,0601	0,006	0,0115	0,0344
	$X_2(x = 3m)$	0,0131	0,0288	0,1241	0,0123	0,0238	0,0710
3	$X_3(x = 0m)$	0,0131	0,0288	0,1241	0,0123	0,0238	0,0710
	$X_3(x = 3m)$	0,0217	0,0477	0,2052	0,0204	0,0393	0,1172
4	$X_4(x = 0m)$	0,0217	0,0476	0,2050	0,0204	0,0392	0,1170
	$X_4(x = 3m)$	0,0312	0,0686	0,2951	0,0294	0,0566	0,1688
5	$X_5(x = 0m)$	0,0312	0,0686	0,2952	0,0294	0,0566	0,1687
	$X_5(x = 3m)$	0,0412	0,0905	0,3897	0,0387	0,0747	0,2227

Tablo 9.4 El-Centro ve İzmit depremleri etkisindeki beş katlı hesap modelinin birinci titreşim modunun $K_8=1000000$ t/m ve $K_0=1000000$ tm/radyan için her kata ait tepki spektral değerleri

Kat	Kattaki Konum	1940 El-Centro Depremi			1999 İzmit Depremi		
		S_D (m)	S_V (m/s)	S_A (m/s ²)	S_D (m)	S_V (m/s)	S_A (m/s ²)
1	$X_1(x = 0m)$	0,0008	0,0035	0,0207	0,0008	0,0036	0,0194
	$X_1(x = 3m)$	0,0023	0,0094	0,0550	0,0021	0,0097	0,0517
2	$X_2(x = 0m)$	0,0023	0,0094	0,0552	0,0022	0,0097	0,0519
	$X_2(x = 3m)$	0,0057	0,0236	0,1390	0,0054	0,0243	0,1300
3	$X_3(x = 0m)$	0,0057	0,0237	0,1392	0,0054	0,0244	0,1306
	$X_3(x = 3m)$	0,0105	0,0436	0,256	0,0100	0,0448	0,240
4	$X_4(x = 0m)$	0,0104	0,0435	0,255	0,0099	0,0447	0,239
	$X_4(x = 3m)$	0,0160	0,0665	0,390	0,0152	0,0684	0,3659
5	$X_5(x = 0m)$	0,0160	0,0665	0,390	0,0152	0,0684	0,3659
	$X_5(x = 3m)$	0,0218	0,0909	0,5323	0,0207	0,0934	0,4996

Zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelere ait hesap modellerinin şekil fonksiyonlarının ve hareket denklemlerinin elde edilmesine yönelik yapılan Bölüm 9.2.1'deki sayısal uygulamada, ötelenme ve dönme yay katsayısı değerleri arttırıldıkça, Bölüm 8.4.1'deki tek katlı hesap modeline ait sayısal uygulamada olduğu gibi, sistemin genelleştirilmiş kütle ve genelleştirilmiş kuvvet değerlerinin azaldığı buna karşın genelleştirilmiş rijitlik değerinin arttığı görülmüştür.

Bölüm 9.2.3'de, 1940 El-Centro ve 1999 İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisinde her katına ait tepki deplasmanı, tepki hızı ve teki ivmesine ait zaman geçmişleri elde edilen zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modellerinin son katına ait maksimum tepki deplasmanı, ötelenme ve dönme yay katsayısı değeri arttıkça azalmış; maksimum tepki hızı ve maksimum tepki ivmesi ise aynı durumda artmıştır. Bu durum her iki deprem için de gözlenmiştir. El-Centro depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelleri, her bir yay katsayısı değeri için, İzmit depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modellerine göre daha büyük spektral deplasman, spektral hız ve spektral ivme değeri göstermiştir.

9.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçvelere Ait Hesap Modeli İçin Spektral Analiz Uygulaması

Bu uygulamada, periyodu 3 sn. kadar olan, El-Centro ve İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisi altındaki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı sönümsüz çerçvelere ait matematiksel hesap modelinin ötelenme ve dönme yay katsayılarının farklı değerleri için Newmark- β yönteminin algoritmasını kullanan ve akış diyagramı Ek-2’de verilen Spektrum.Bas isimli bilgisayar programı ile spektral analiz yapılmış ve bu periyotlara karşılık gelen deplasman, hız ve ivme tepki spektrumları malzemenin doğrusal davranışı için çizilmiştir. Beş katlı hesap modelinin maksimum deplasmanı sonuncu kat hizasında meydana geldiğinden tepki spektrumları beşinci kata ait spektral değerler için çizilmiştir.

Bölüm 9.1’de serbest titreşimi, Bölüm 9.2’de doğrusal zaman geçmişi incelenen zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin geliştirilmiş parametrelere göre kurulan (6.10) numaralı hareket denklemi geliştirilmiş kütleyle bölünerek, ötelenme ve dönme yay katsayılarının, sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan Γ katkı oranına ve açısal frekansa bağlı hareket denklemi (6.15) bağıntısı kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

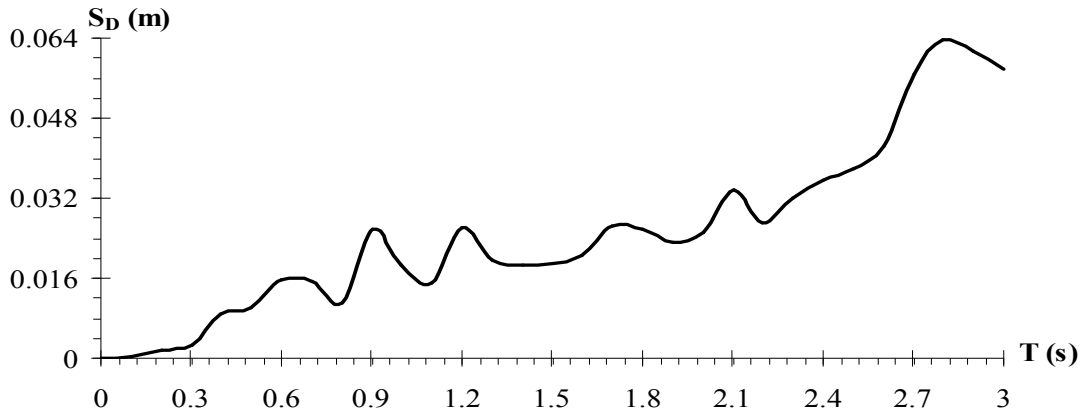
$$\ddot{Z}(t) + \omega_n^2 Z(t) = 0,082\ddot{u}_g(t)$$

$$\ddot{Z}(t) + \omega_n^2 Z(t) = 0,1816\ddot{u}_g(t)$$

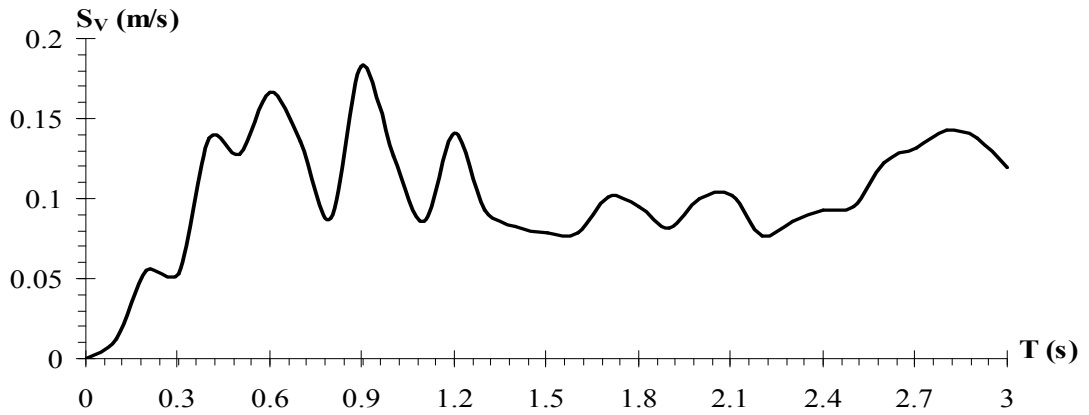
$$\ddot{Z}(t) + \omega_n^2 Z(t) = 0,216\ddot{u}_g(t)$$

Yukarıdaki sağ yanlı denklemler, El-Centro ve İzmit depremlerinin kuzey-güney bileşenine ait güçlü yer ivmeleri (Şekil 8.4, Şekil 8.5) kullanılarak, 3 saniyeye kadar farklı periyotlar için çözülmüştür. El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin deplasman, hız ve ivme spektrumları, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 9.92, Şekil 9.93 ve Şekil 9.94’de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için

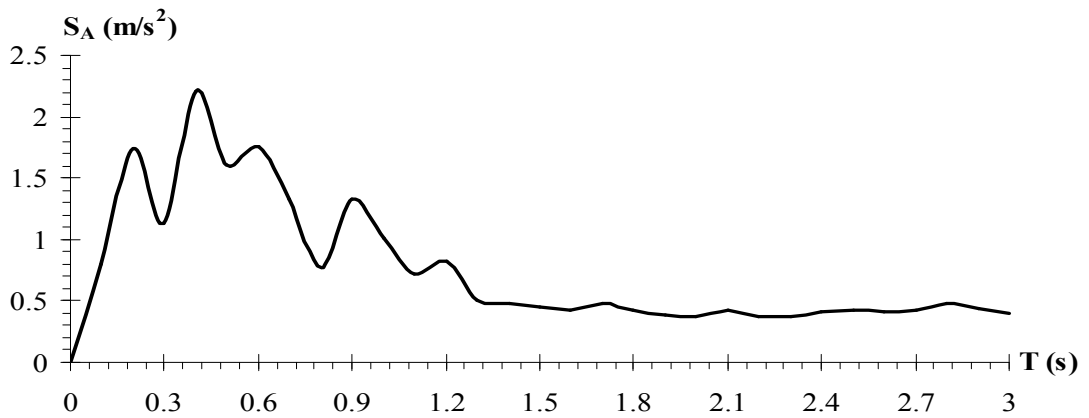
sırasıyla Şekil 9.95, Şekil 9.96 ve Şekil 9.97’de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 9.98, Şekil 9.99 ve Şekil 9.100’de sunulmuştur.



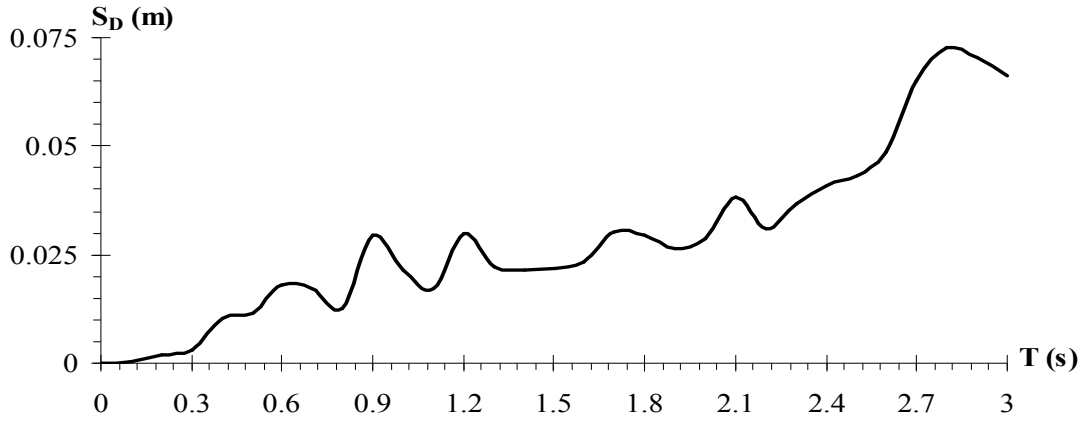
Şekil 9.92 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



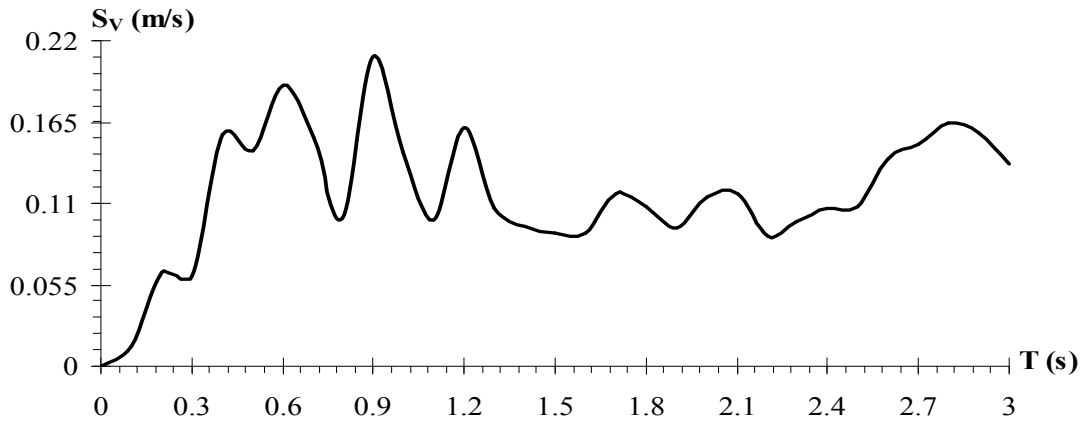
Şekil 9.93 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



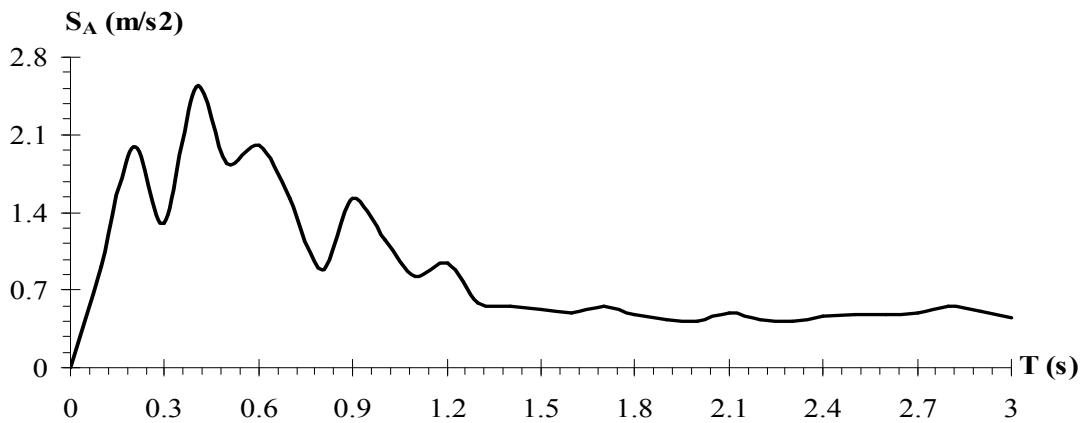
Şekil 9.94 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



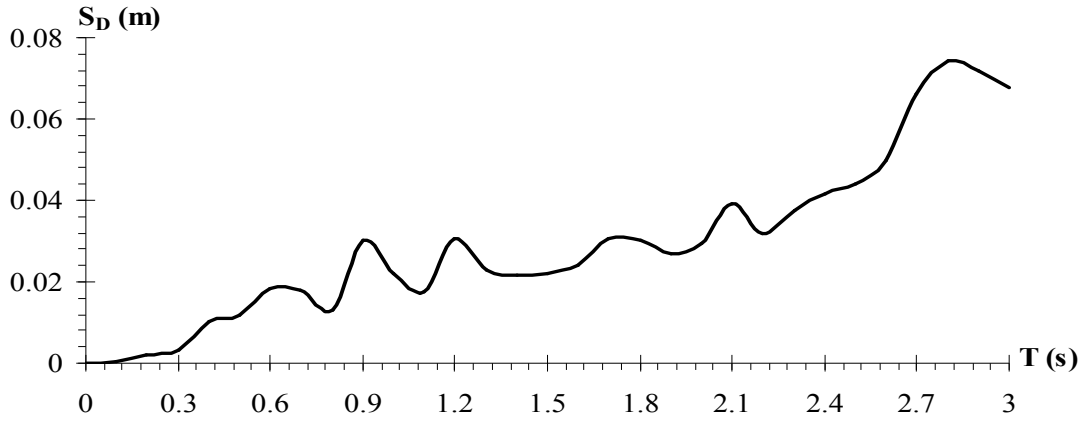
Şekil 9.95 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



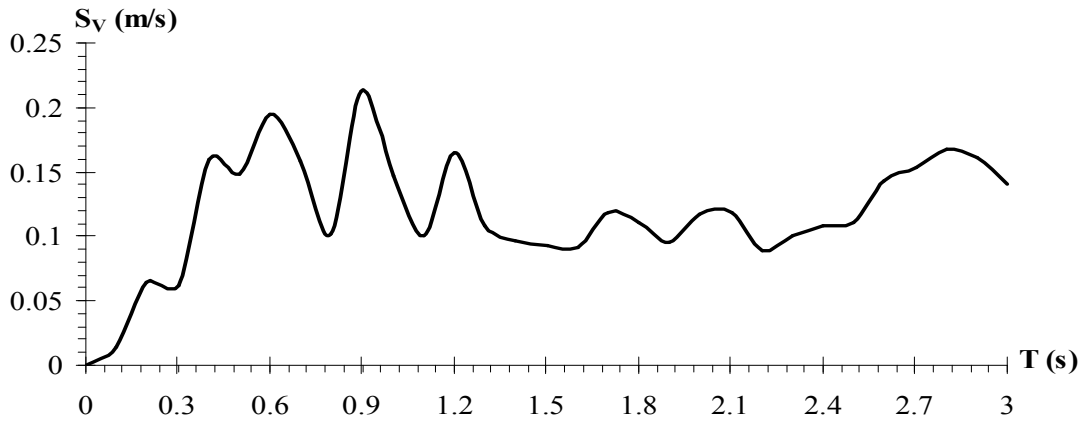
Şekil 9.96 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



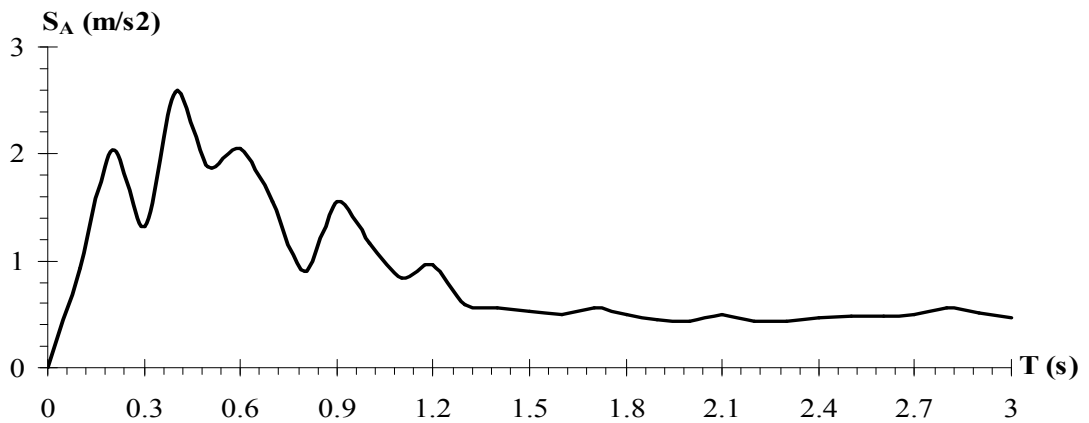
Şekil 9.97 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



Şekil 9.98 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_s=1000000$ (t/m) $K_\theta=1000000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



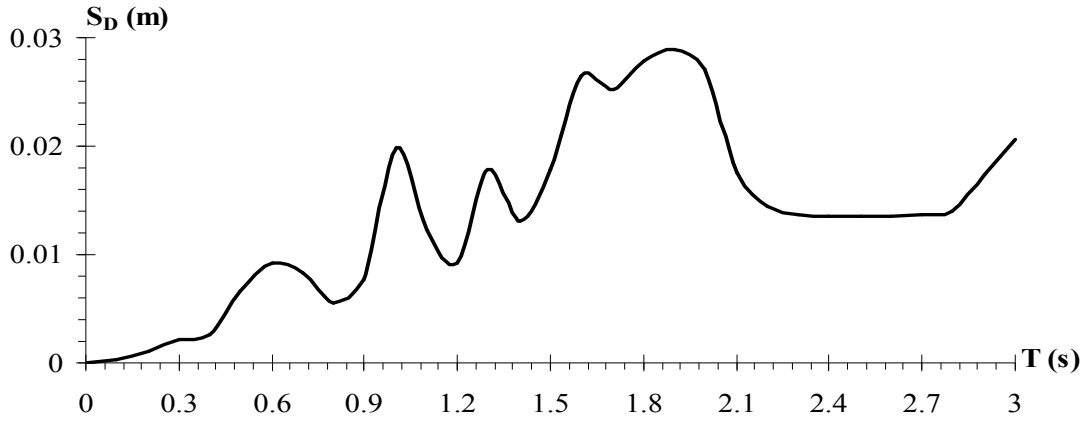
Şekil 9.99 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_s=1000000$ (t/m) $K_\theta=1000000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



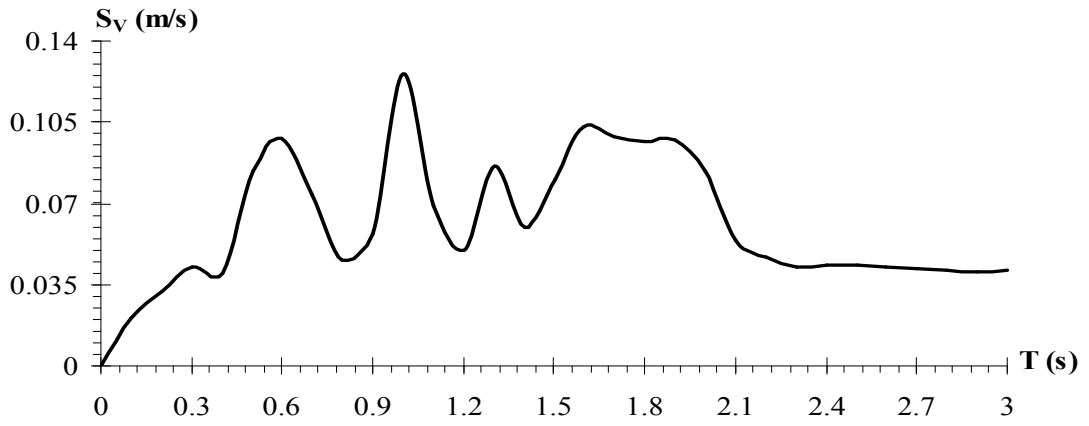
Şekil 9.100 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_s=1000000$ (t/m) $K_\theta=1000000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu

İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin deplasman, hız ve ivme spektrumları, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 9.101, Şekil 9.102 ve Şekil 9.103'de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 9.104, Şekil 9.105 ve Şekil 9.106'da; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 9.107, Şekil 9.108 ve Şekil 9.109'da sunulmuştur.

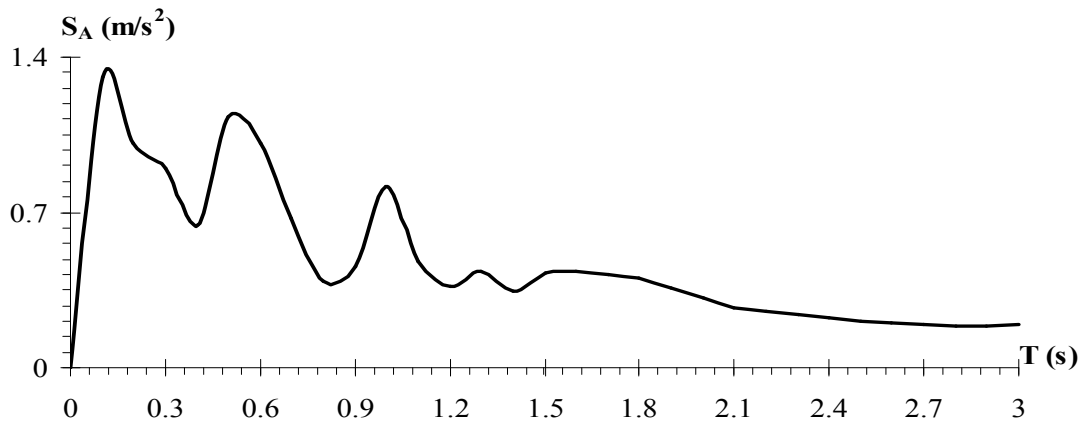
Periyodu 3 sn kadar olan ve El-Centro ve İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelere ait hesap modelinin tepki deplasmanına, tepki hızına ve tepki ivmesine ait spektrum eğrilerinin elde edildiği bu sayısal uygulamada, ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için periyotlara göre elde edilen spektral deplasman, spektral hız ve spektral ivme değerlerinde artma görülmüştür. Bu artma, uygulamada kullanılan her iki deprem için de geçerlidir.



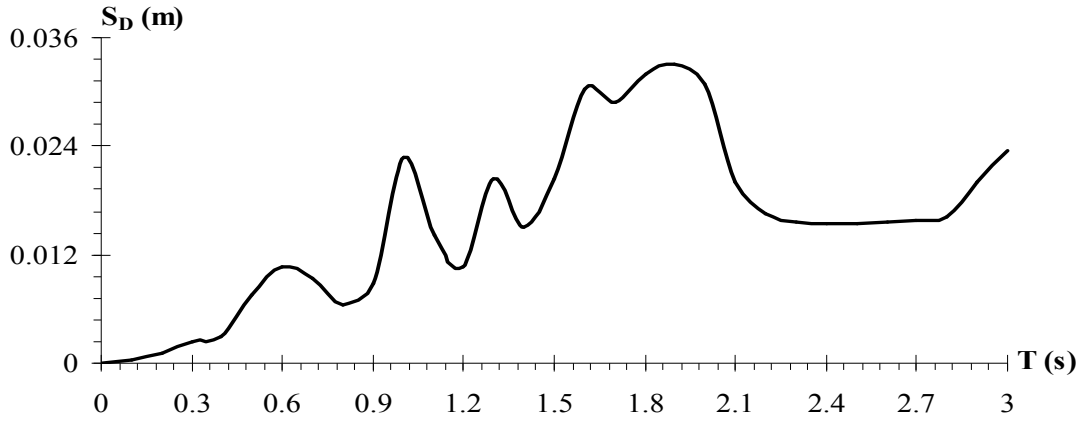
Şekil 9.101 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



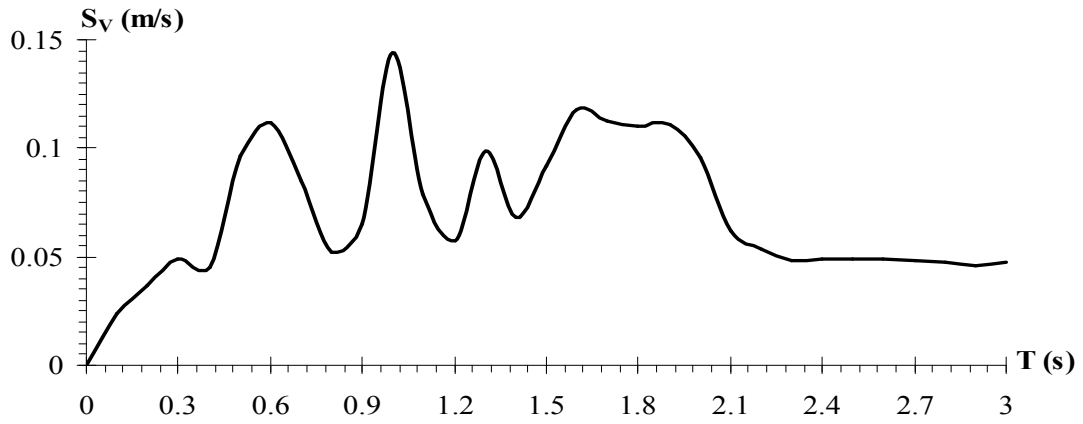
Şekil 9.102 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



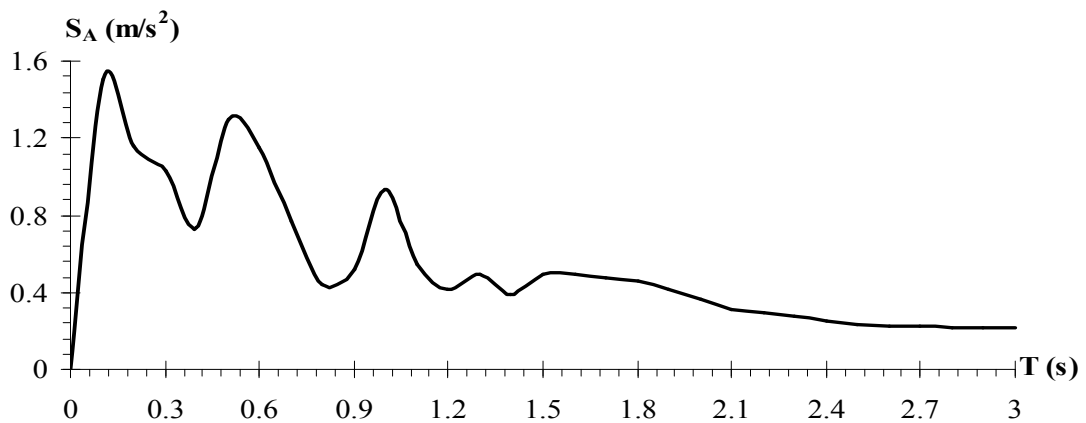
Şekil 9.103 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



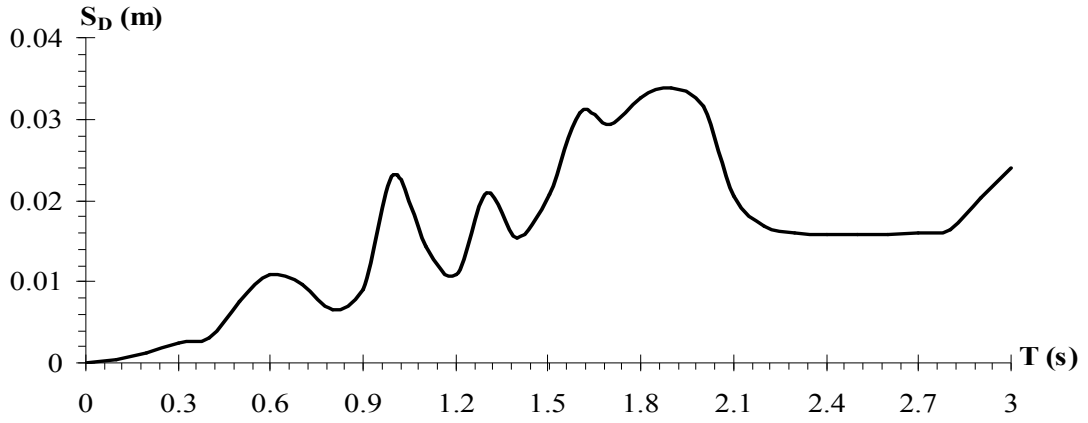
Şekil 9.104 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



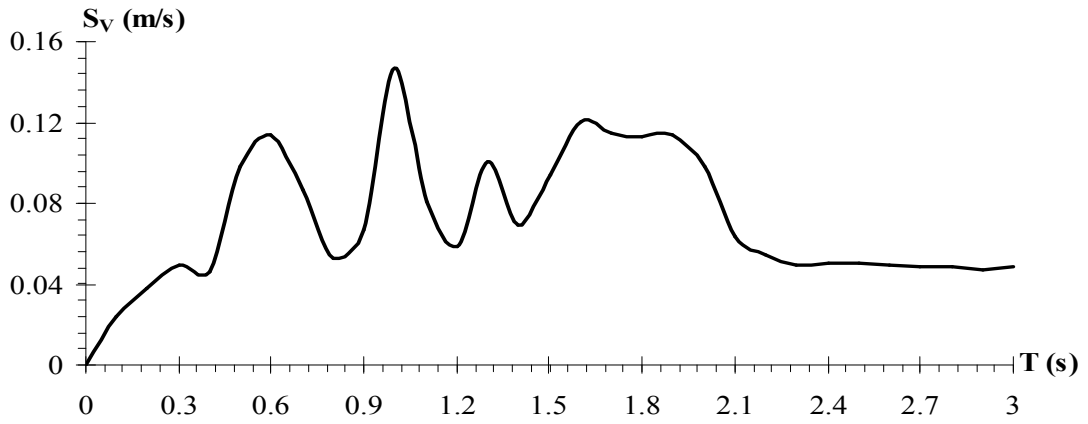
Şekil 9.105 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



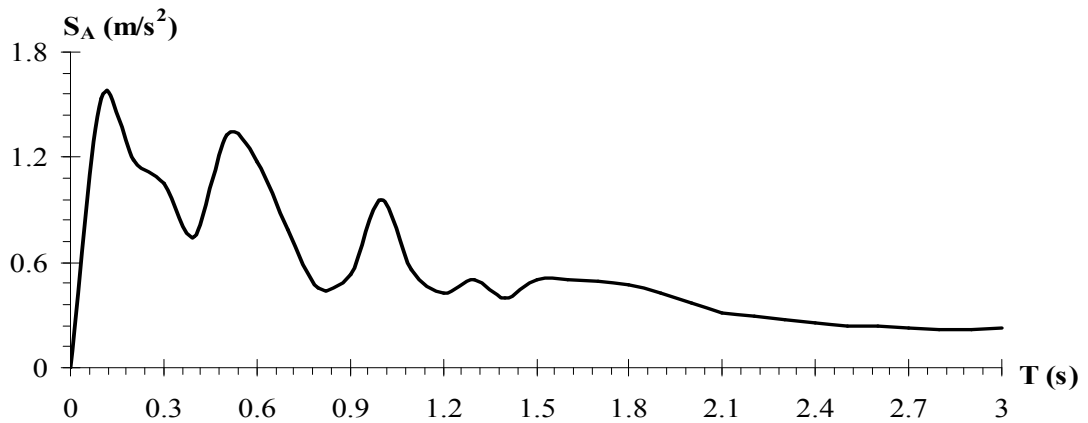
Şekil 9.106 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu



Şekil 9.107 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_s=1000000$ (t/m) $K_\theta=1000000$ (tm/radyan) için tepki deplasman spektrumu



Şekil 9.108 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_s=1000000$ (t/m) $K_\theta=1000000$ (tm/radyan) için tepki hız spektrumu



Şekil 9.109 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelerin $K_s=1000000$ (t/m) $K_\theta=1000000$ (tm/radyan) için tepki ivme spektrumu

BÖLÜM ON
TEK KATLI ÇERÇEVELERE AİT HESAP MODELİNİN DOĞRUSAL
OLMAYAN TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİNE AİT
SAYISAL UYGULAMALAR

10.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Sismik Analiz Uygulaması

Bu sayısal uygulamada zemine yarı-rijit bağlı çerçevelerin dinamik analizi malzemenin doğrusal olmayan davranışı da dikkate alınarak yapılmıştır. Bu amaçla, Newmark-Beta sayısal çözüm yönteminin algoritmasına dayanan algoritması yazar tarafından kurulan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Nlzg.Bas isimli bilgisayar programının akış diyagramı Ek-4'de sunulmuştur.

Nlzg.Bas programı ile, genelleştirilmiş koordinata bağlı olarak TSD bir sistemin hareket denkleminde benzer şekilde elde edilmiş diferansiyel hareket denklemi, herhangi bir depremin güçlü yer ivme kayıtları kullanılarak verilen akma dayanımı için çözülmekte; çerçevenin tepki deplasman, tepki hız, tepki ivme zaman geçmişleri ile bu tepki parametrelerinin spektral değerleri ve doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi elde edilmektedir.

Uygulamada, Bölüm 8.2'de fiziksel özellikleri verilmiş ve Bölüm 8.4'de malzemenin doğrusal davrandığı kabulü ile dinamik analizi yapılmış hesap modelleri kullanılmıştır. Zemindeki ötelenme ve dönme yay katsayıları için 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri seçilmiştir. Hesaplamalarda 18 Mayıs 1940 El-Centro ve 17 Ağustos 1999 İzmit depremlerinin, sırasıyla Şekil 8.4'de ve Şekil 8.5'de zaman geçmişleri verilen Kuzey-Güney bileşenlerine ait güçlü yer ivmesi değerleri kullanılmıştır.

10.1.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman İlişkisinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

Zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modelinin Bölüm 8.4’de El-Centro ve İzmit depremleri için yapılan doğrusal sismik analizi sonucu elde edilen genelleştirilmiş rijitlik (K^*) ve maksimum deplasmanı (u_0) kullanılarak, maksimum doğrusal yay kuvveti (F_0), (7.22) denkleminden hesaplanmış; ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 10.1’de sunulmuştur.

Tablo 10.1 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan maksimum doğrusal yay kuvveti (F_0) değerleri

El-Centro Depremi	İzmit depremi
$F_0 = K^* \cdot u_0 = 2220,32 \cdot 0,0067 \cong 15\text{ton}$	$F_0 = K^* \cdot u_0 = 2220,32 \cdot 0,0073 \cong 16\text{ ton}$
$F_0 = K^* \cdot u_0 = 3395,34 \cdot 0,005246 \cong 18\text{ton}$	$F_0 = K^* \cdot u_0 = 3395,34 \cdot 0,002 \cong 7\text{ ton}$
$F_0 = K^* \cdot u_0 = 47422,85 \cdot 0,000234 \cong 12\text{ton}$	$F_0 = K^* \cdot u_0 = 47422,85 \cdot 0,00017 \cong 8\text{ ton}$

Normalleştirilmiş akma dayanımı için seçilen (\bar{F}_y) 0,75-0,50-0,25 değerleri ile El-Centro ve İzmit depremleri için yukarıda hesaplanan (F_0) değerleri kullanılarak doğrusal olmayan yay kuvveti-deplasman ilişkisine ait akma dayanımı (F_y), (7.23) denkleminden hesaplanmış; ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 10.2’de sunulmuştur.

Tablo 10.2 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan akma dayanımı (F_y) değerleri

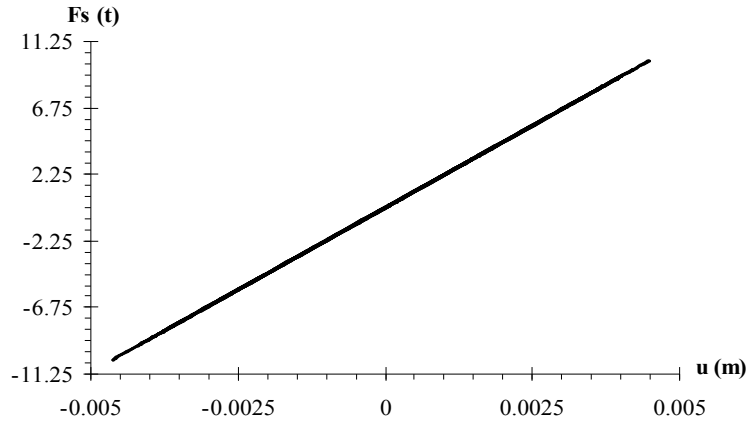
K_δ, K_θ	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 15 = 11,25\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 15 = 7,50\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 15 = 3,75\text{ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 16 = 12\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 16 = 8\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 16 = 4\text{ton}$
100000	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 18 = 13,5\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 18 = 9\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 18 = 4,5\text{ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 7 = 5,25\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 7 = 3,50\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 7 = 1,75\text{ton}$
1000000	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 12 = 9\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 12 = 6\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 12 = 3\text{ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 8 = 6\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 8 = 4\text{ton}$ $F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 8 = 2\text{ton}$

Doğrusal olmayan yay kuvveti-deplasman ilişkisini elde etmek için gerekli akma deplasmanı ise akma dayanımının rijitliğe oranlanmasıyla El-Centro ve İzmit depremleri için ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 10.3'deki gibi elde edilmiştir.

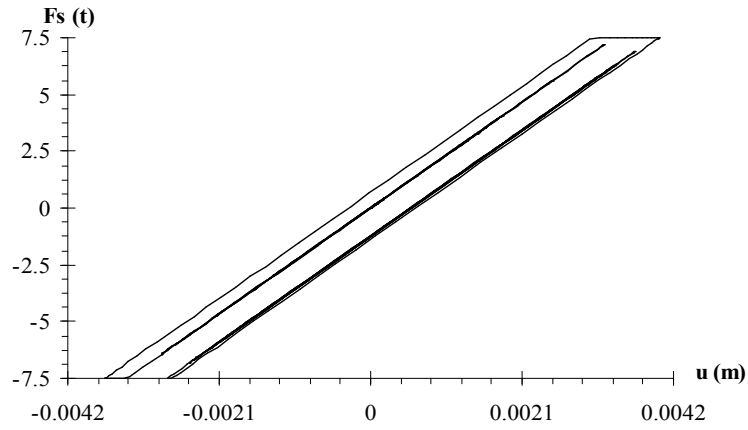
Tablo 10.3 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan akma deplasmanı (u_y) değerleri

K_δ, K_θ	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{11,25}{2220,32} = 0,005m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{7,50}{2220,32} = 0,0034m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{3,75}{2220,32} = 0,0017m$	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{12}{2220,32} = 0,0054m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{8}{2220,32} = 0,0036m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{4}{2220,32} = 0,0018m$
100000	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{13,5}{3395,34} = 0,004m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{9}{3395,34} = 0,0027m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{4,5}{3395,34} = 0,00135m$	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{5,25}{3395,34} = 0,0015m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{3,5}{3395,34} = 0,001m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{1,75}{3395,34} = 0,0005m$
1000000	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{9}{47422,85} = 0,0002m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{6}{47422,85} = 0,00013m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{3}{47422,85} = 0,00006m$	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{6}{47422,85} = 0,00012m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{4}{47422,85} = 0,00008m$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{2}{47422,85} = 0,00004m$

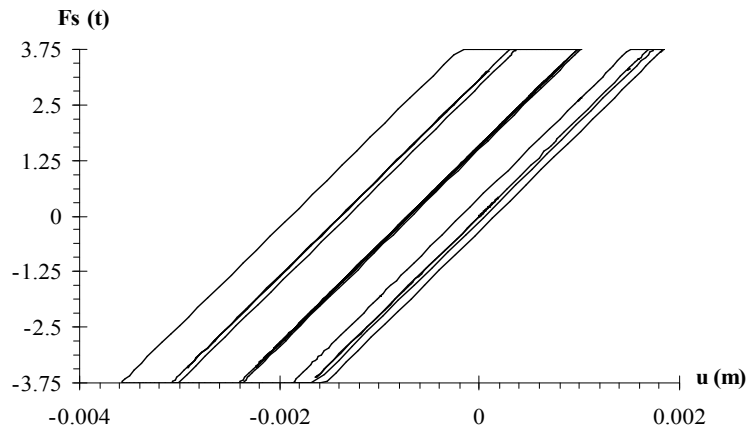
Normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri kullanılarak El-Centro depremi için dinamik analizi yapılan zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modeline ait doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.1, Şekil 10.2, Şekil 10.3'de; ötelenme ve dönme yay katsayılarının 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.4, Şekil 10.5, Şekil 10.6'da; ötelenme ve dönme yay katsayılarının 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.7, Şekil 10.8, Şekil 10.9'da sunulmuştur.



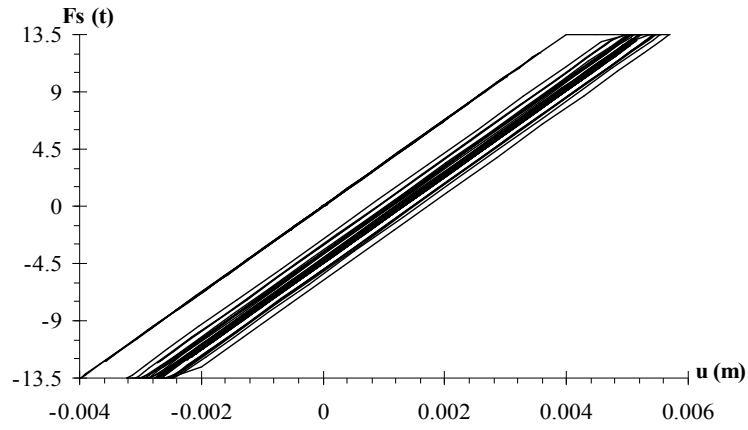
Şekil 10.1 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) ve $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal kuvvet-deplasman ilişkisi



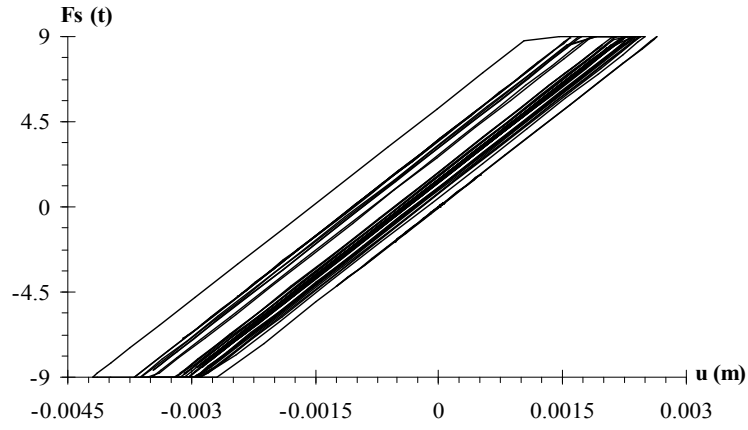
Şekil 10.2 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



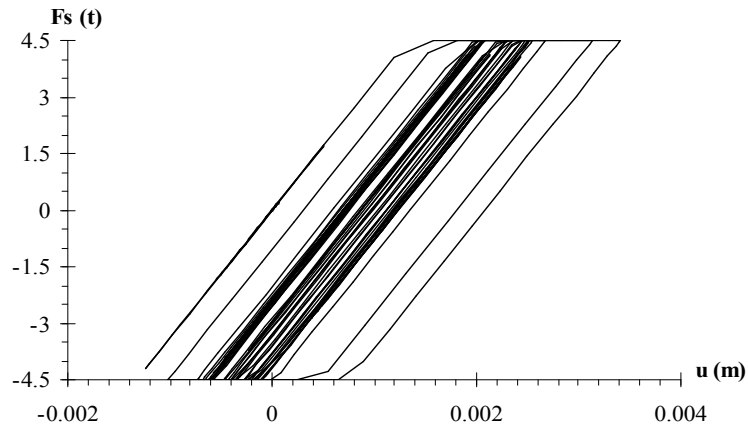
Şekil 10.3 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



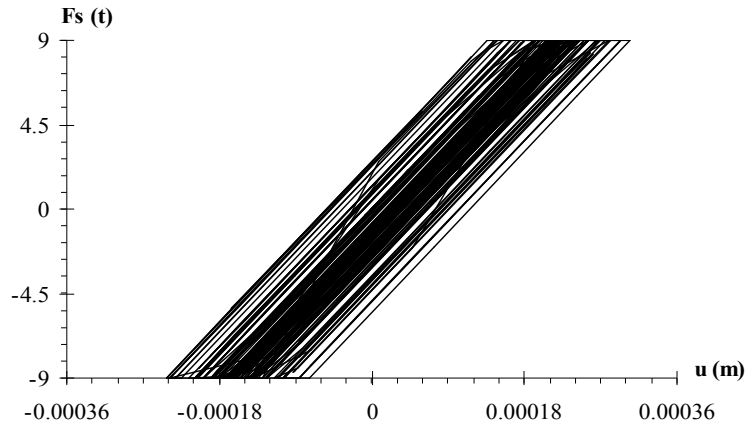
Şekil 10.4 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_s=100000$ (t/m), $K_\theta=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



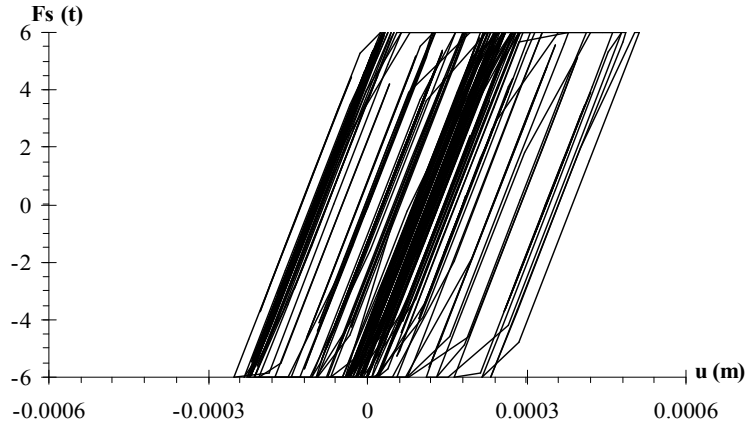
Şekil 10.5 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_s=100000$ (t/m), $K_\theta=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



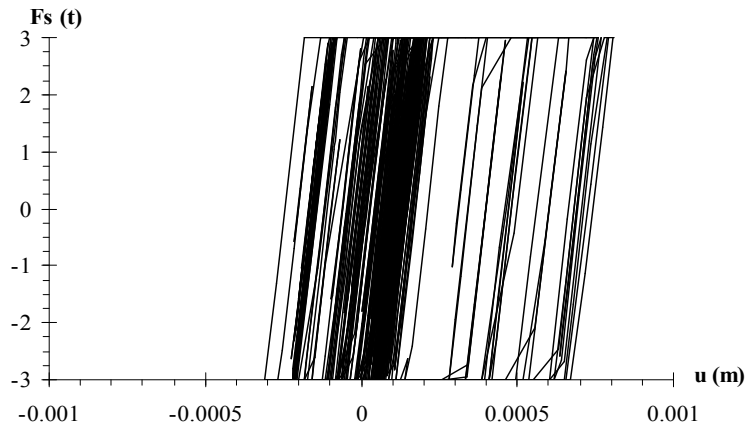
Şekil 10.6 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_s=100000$ (t/m), $K_\theta=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



Şekil 10.7 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

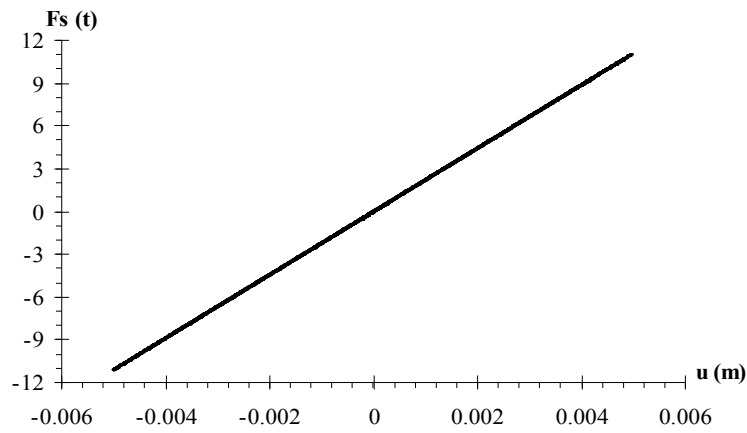


Şekil 10.8 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

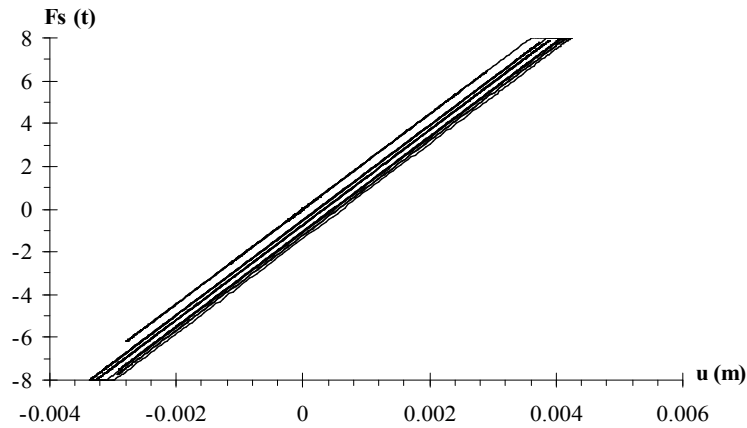


Şekil 10.9 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

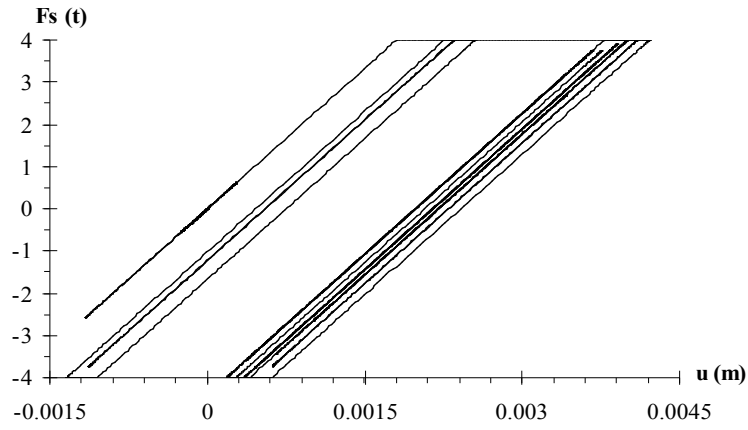
Normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri kullanılarak İzmit depremi için dinamik analizi yapılan zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modeline ait doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.10, Şekil 10.11, Şekil 10.12'de; ötelenme ve dönme yay katsayılarının 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.13, Şekil 10.14, Şekil 10.15'de, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.16, Şekil 10.17, Şekil 10.18'de sunulmuştur.



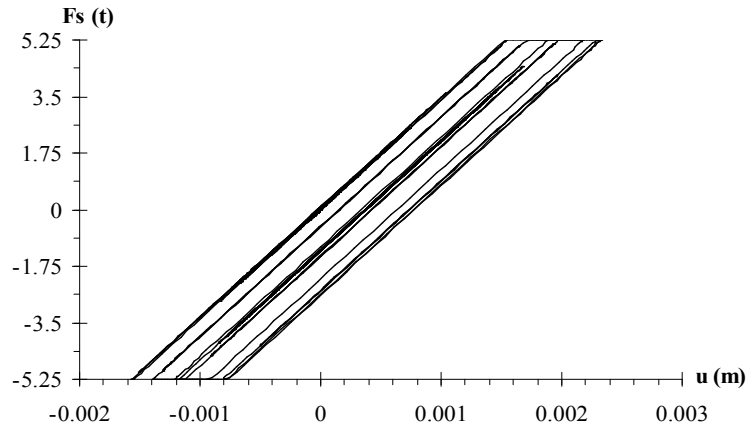
Şekil 10.10 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=10000$ (t/m), $K_\theta=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal kuvvet-deplasman ilişkisi



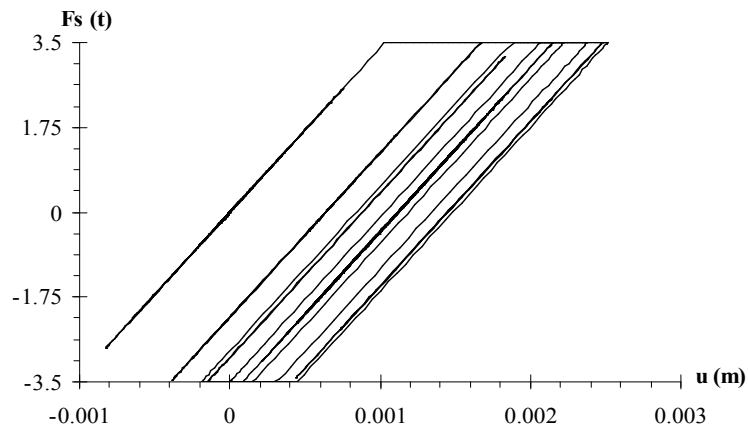
Şekil 10.11 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=10000$ (t/m), $K_\theta=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



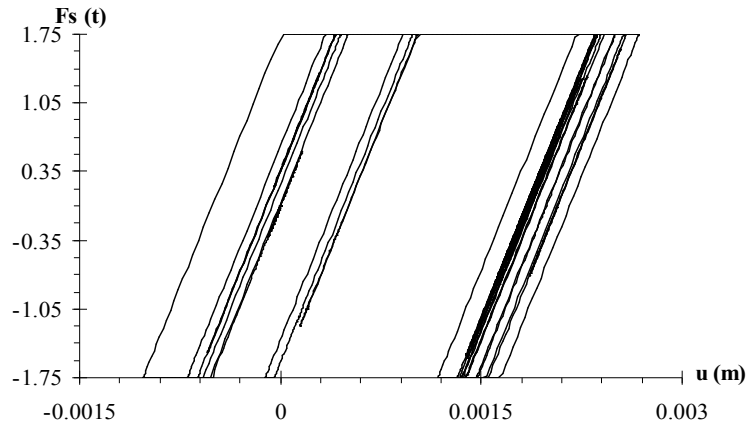
Şekil 10.12 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



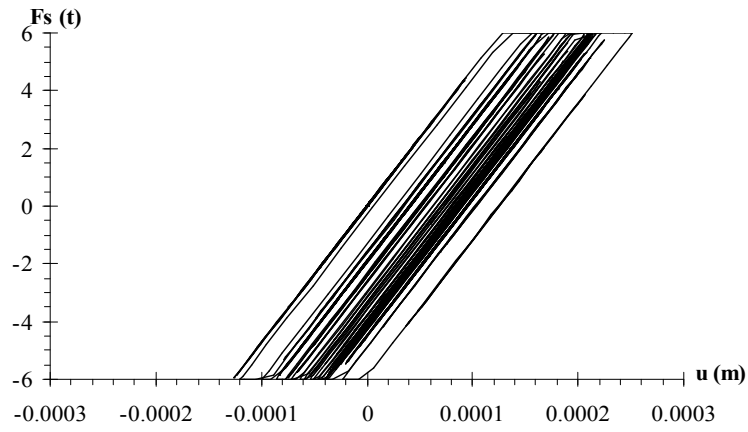
Şekil 10.13 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ (t/m), $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



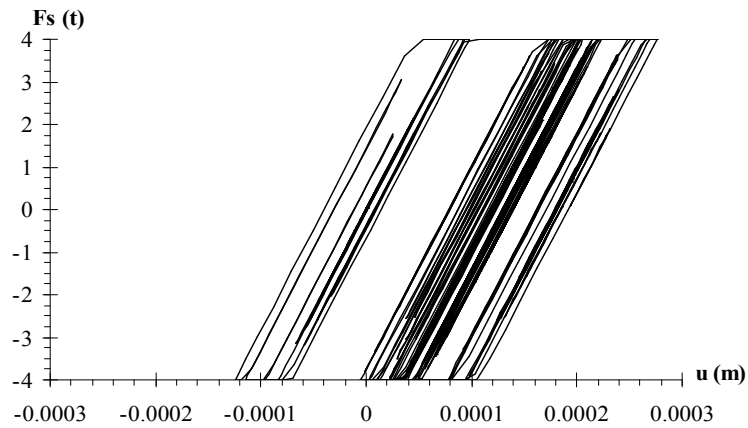
Şekil 10.14 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ (t/m), $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



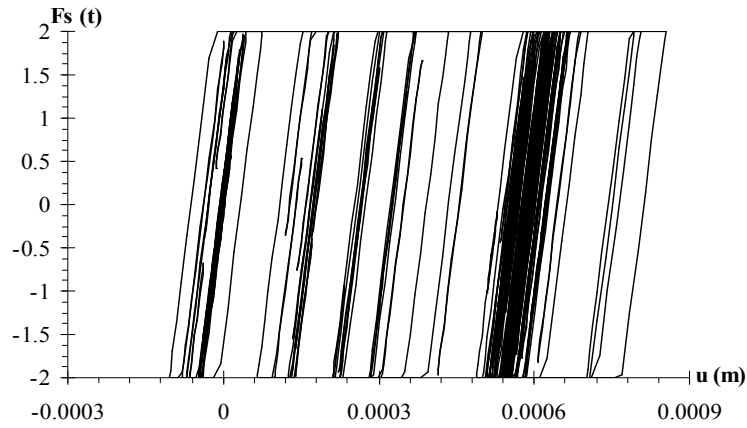
Şekil 10.15 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ (t/m), $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



Şekil 10.16 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



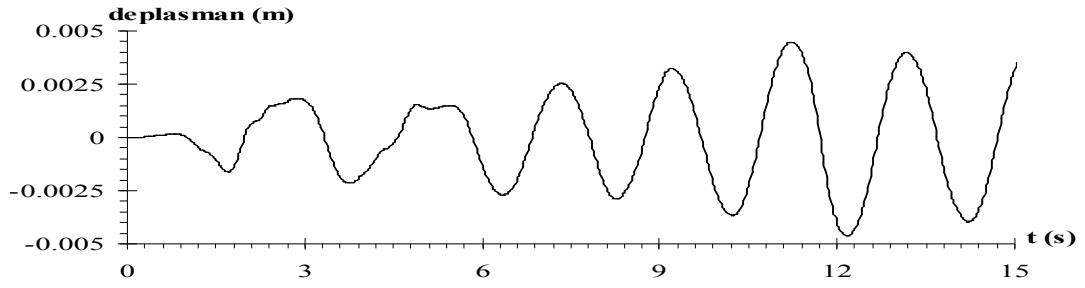
Şekil 10.17 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



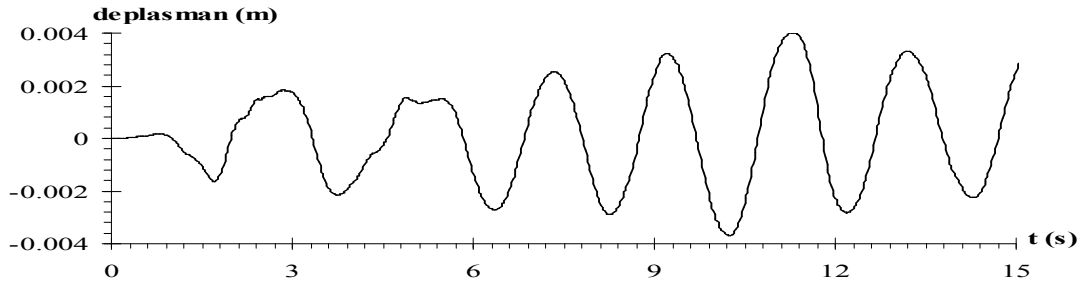
Şekil 10.18 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_s=1000000$ (t/m), $K_\theta=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

10.1.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Tepki Zaman Geçmişlerinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

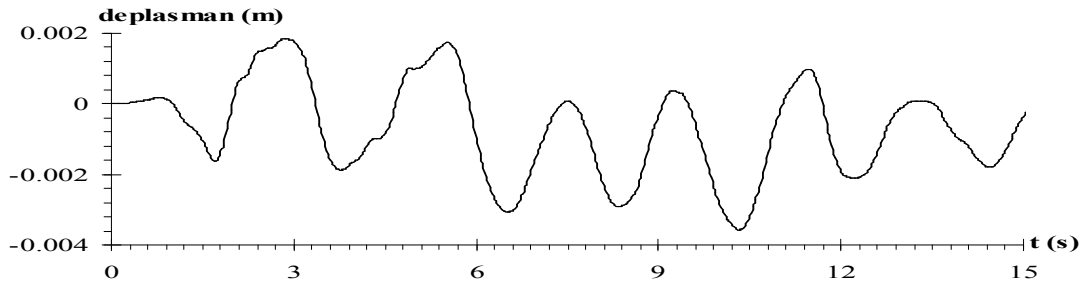
El-Centro depremi etkisindeki hesap modelinin birinci moduna ait spektral değerlerin okunduğu ve 0-15 sn zaman aralığında normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri için elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi zaman geçmişleri, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.19, Şekil 10.20, Şekil 10.21, Şekil 10.22, Şekil 10.23, Şekil 10.24, Şekil 10.25, Şekil 10.26, Şekil 10.27’de, 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.28, Şekil 10.29, Şekil 10.30, Şekil 10.31, Şekil 10.32, Şekil 10.33, Şekil 10.34, Şekil 10.35, Şekil 10.36’da, 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.37, Şekil 10.38, Şekil 10.39, Şekil 10.40, Şekil 10.41, Şekil 10.42, Şekil 10.43, Şekil 10.44, Şekil 10.45’de sunulmuştur.



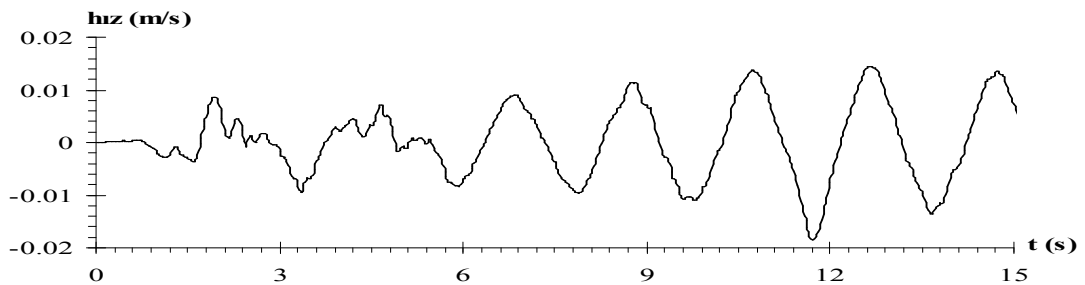
Şekil 10.19 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=10000$ t/m, $K_\theta=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



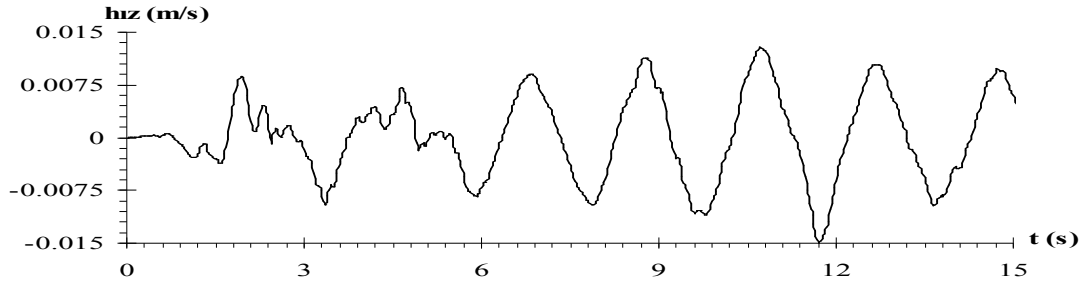
Şekil 10.20 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=10000$ t/m, $K_\theta=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



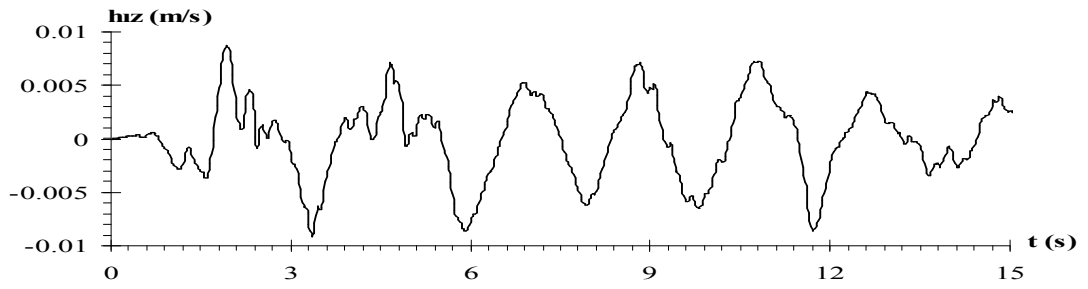
Şekil 10.21 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=10000$ t/m, $K_\theta=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



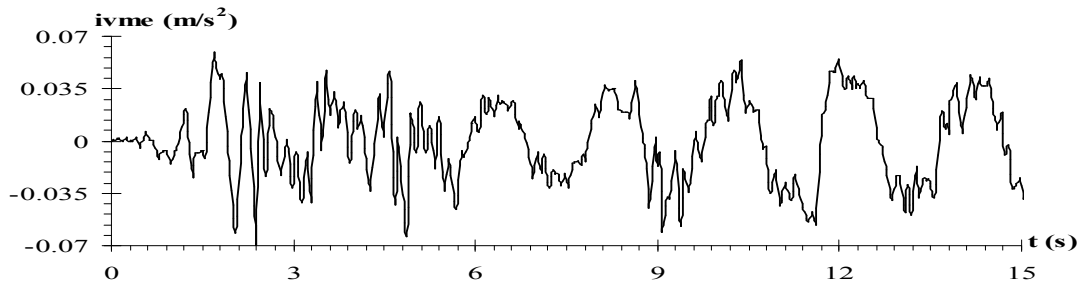
Şekil 10.22 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=10000$ t/m, $K_\theta=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



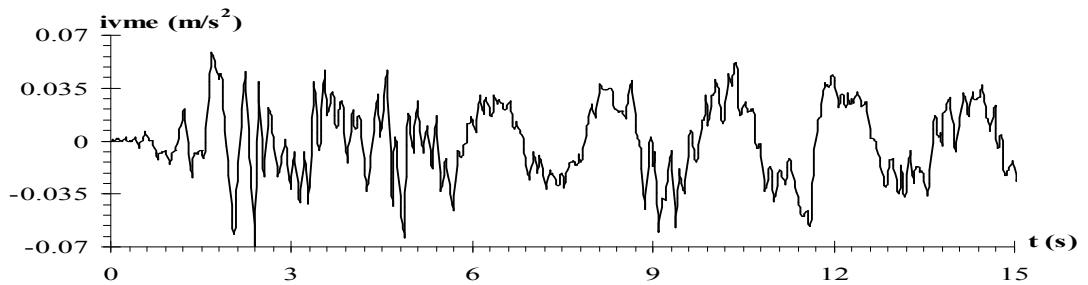
Şekil 10.23 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



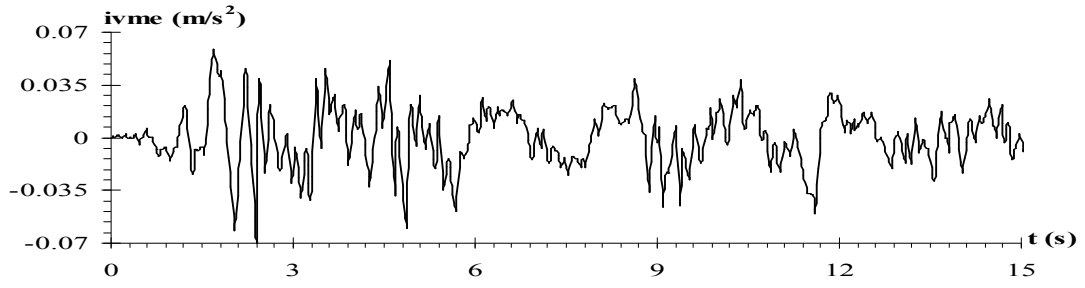
Şekil 10.24 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



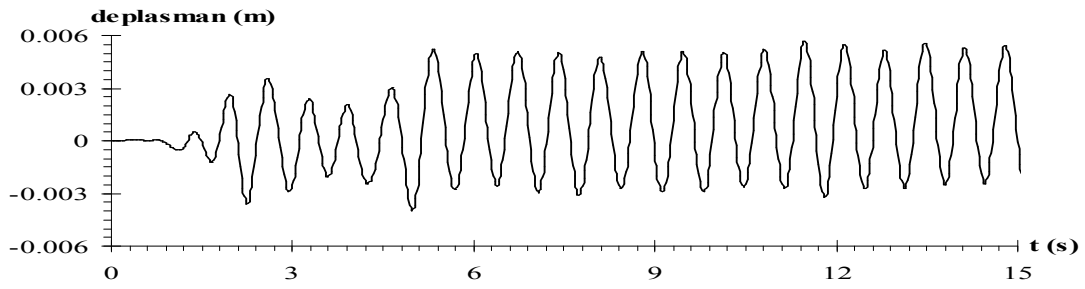
Şekil 10.25 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



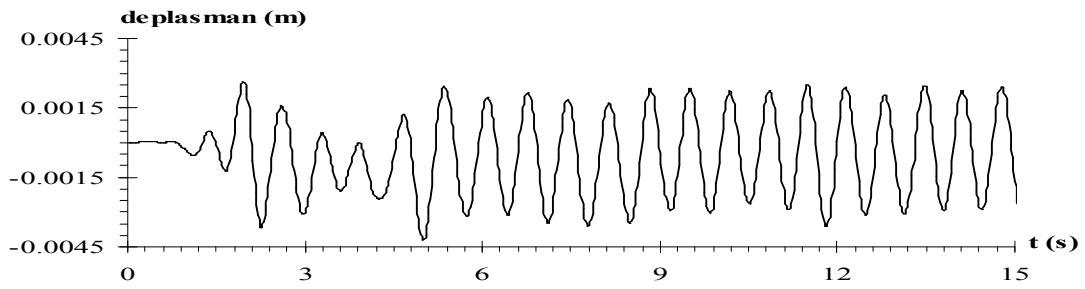
Şekil 10.26 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



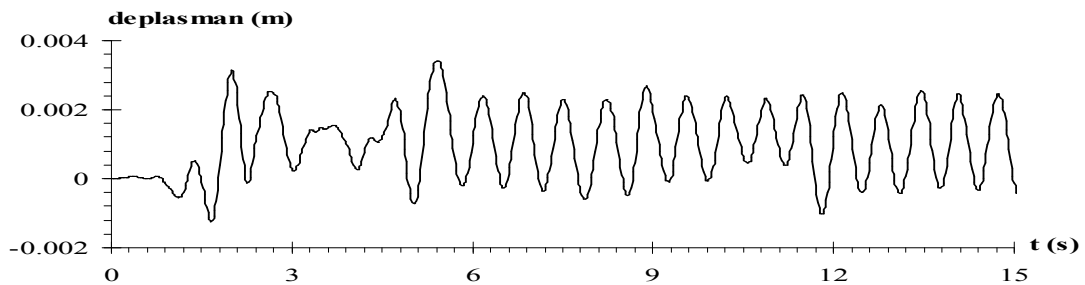
Şekil 10.27 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



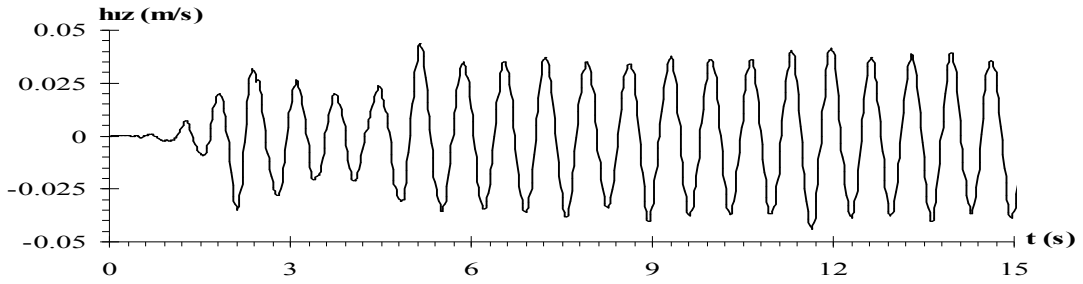
Şekil 10.28 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



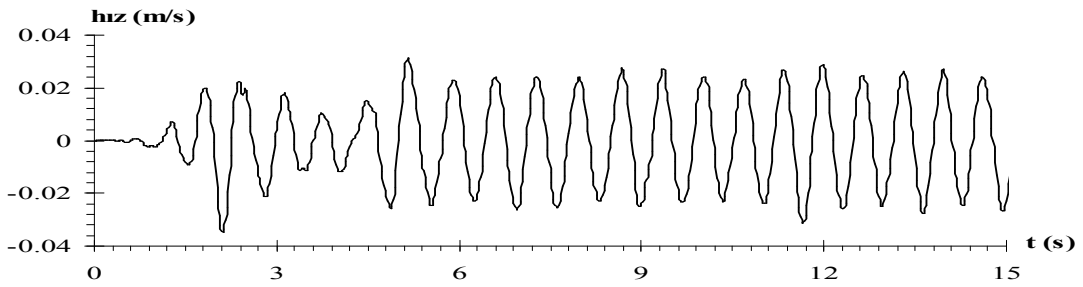
Şekil 10.29 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



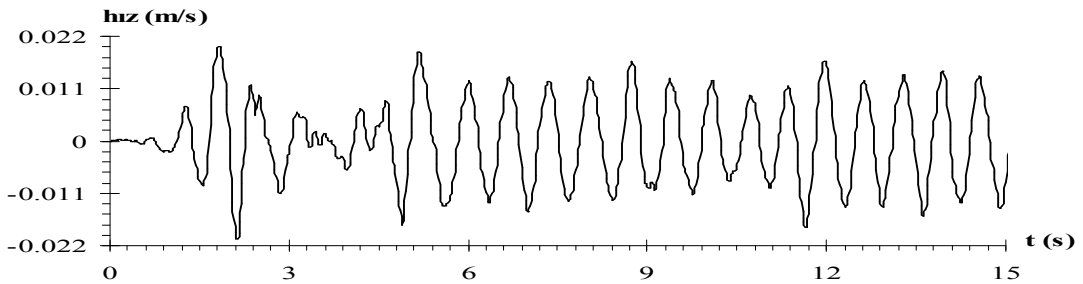
Şekil 10.30 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



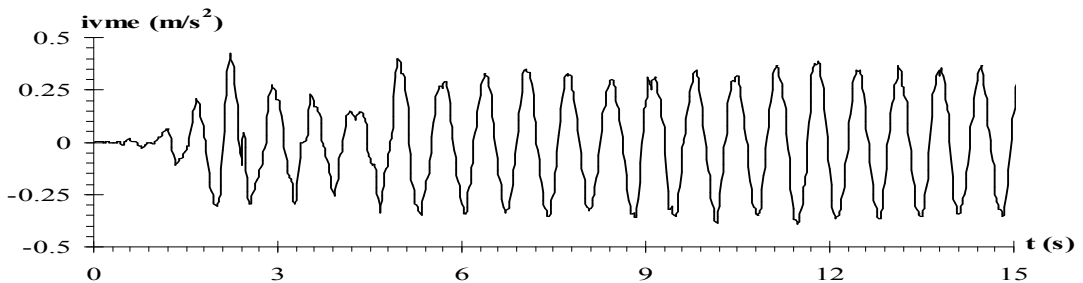
Şekil 10.31 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



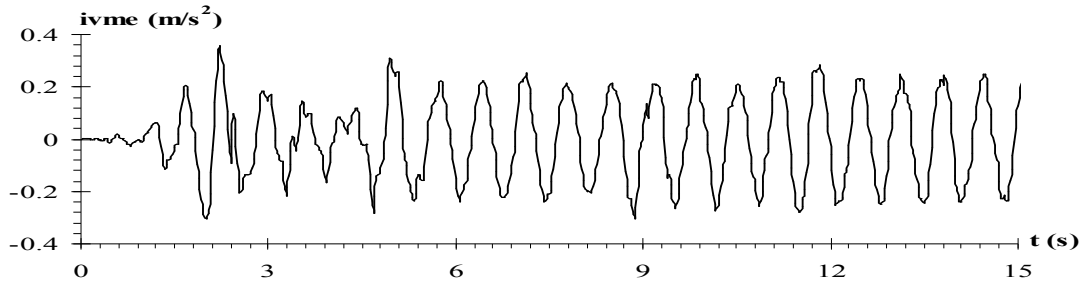
Şekil 10.32 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



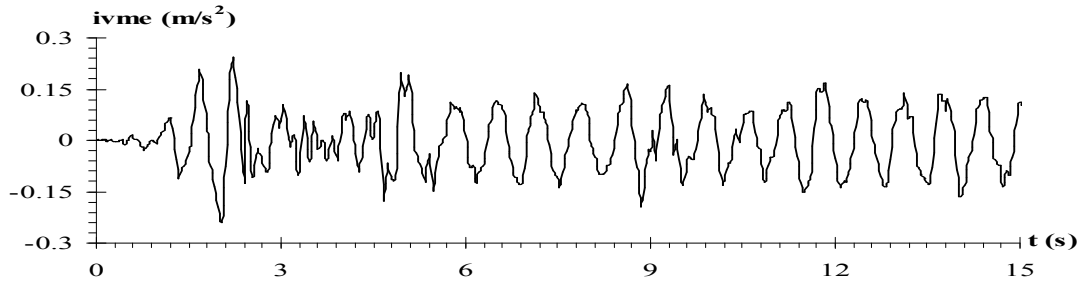
Şekil 10.33 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



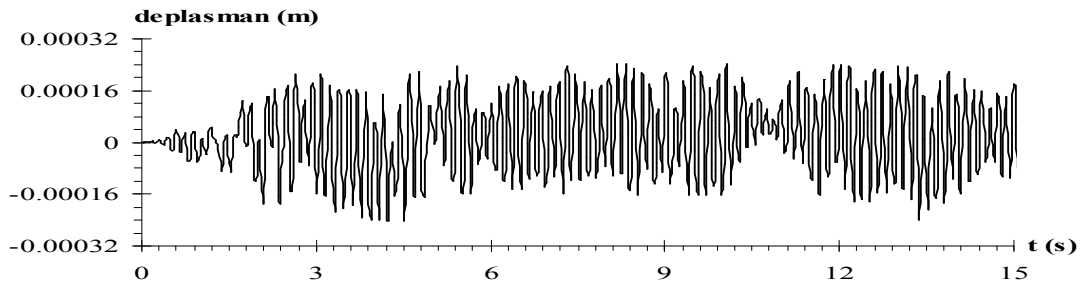
Şekil 10.34 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



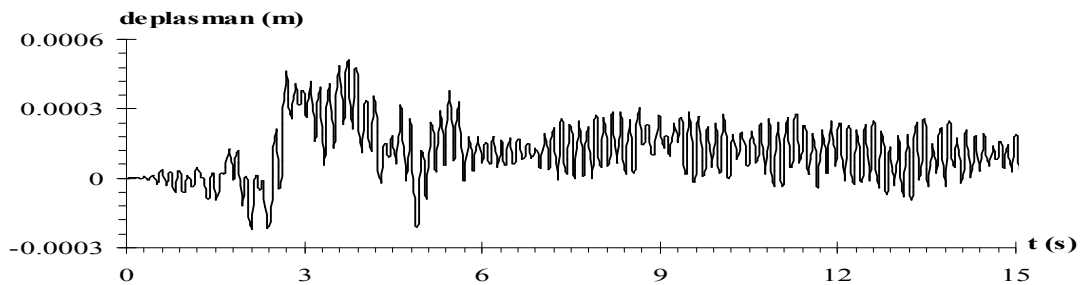
Şekil 10.35 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



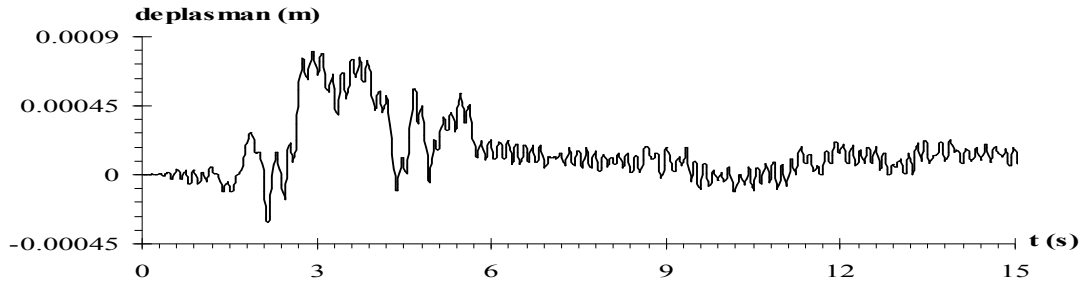
Şekil 10.36 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



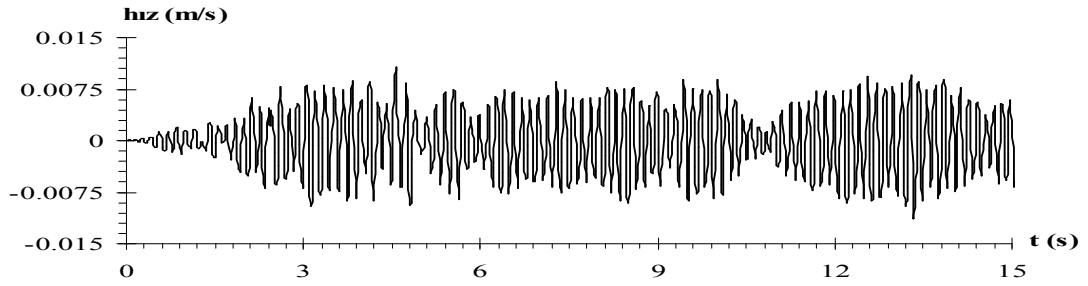
Şekil 10.37 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



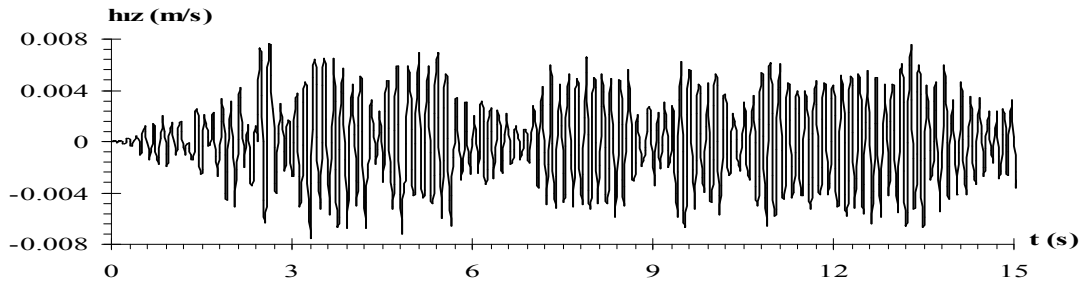
Şekil 10.38 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



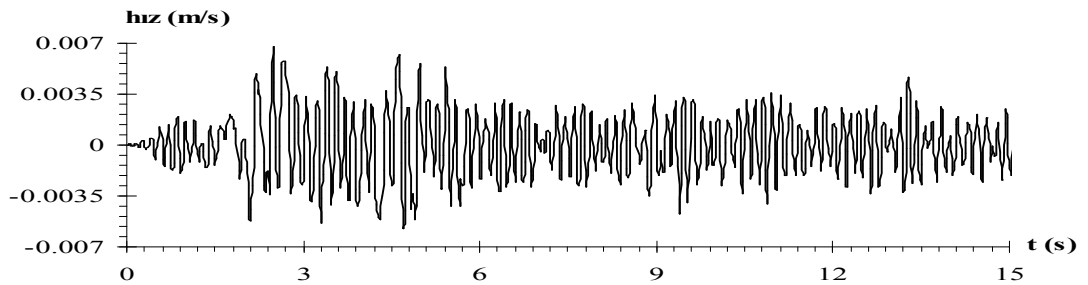
Şekil 10.39 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



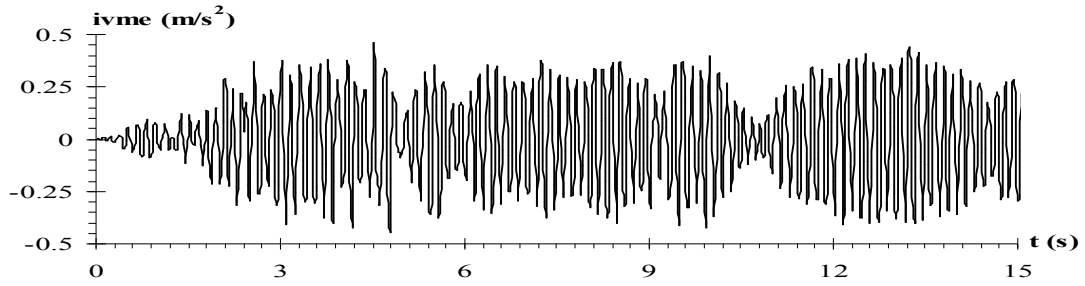
Şekil 10.40 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



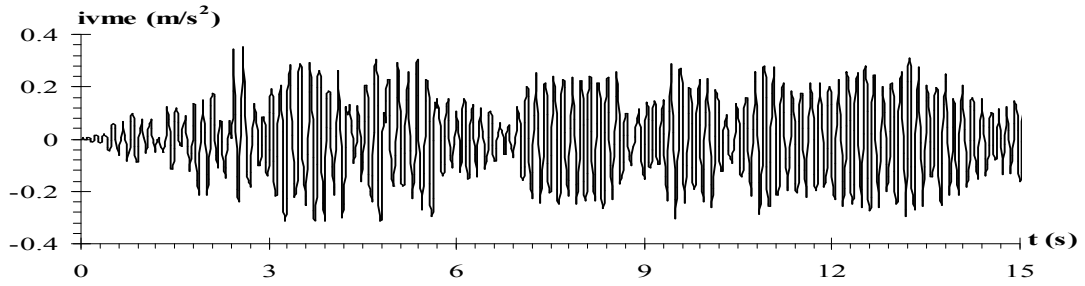
Şekil 10.41 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



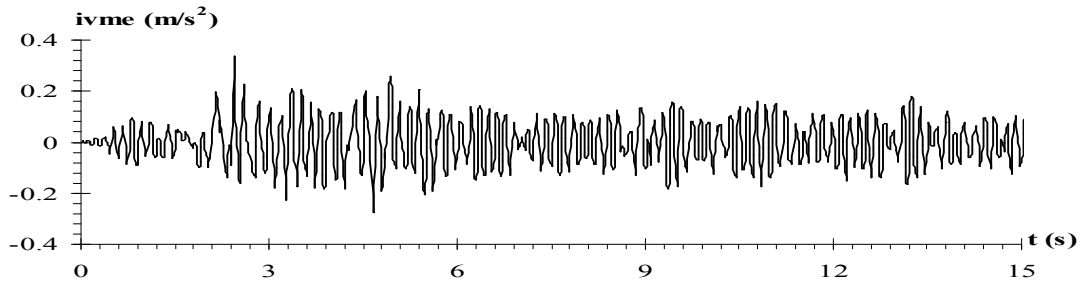
Şekil 10.42 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



Şekil 10.43 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



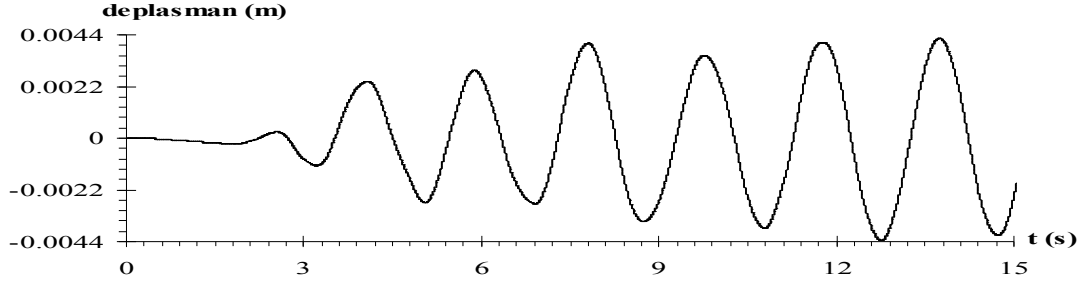
Şekil 10.44 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



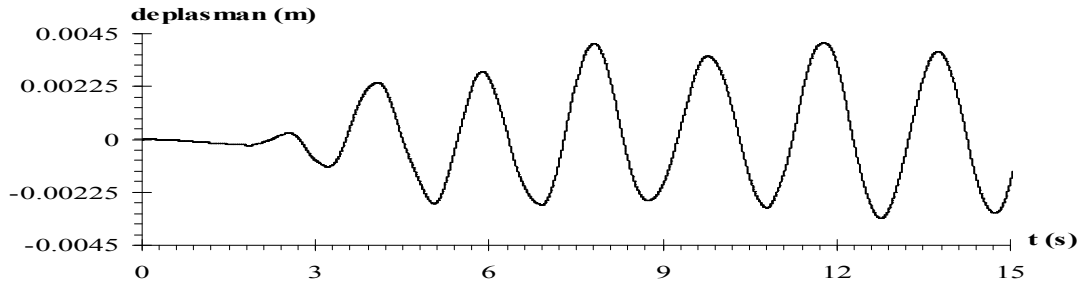
Şekil 10.45 El-Centro depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi

İzmit depremi etkisindeki hesap modelinin birinci moduna ait spektral değerlerin okunduğu ve 0-15 sn zaman aralığında normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri için elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi zaman geçimleri, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.46, Şekil 10.47, Şekil 10.48, Şekil 10.49, Şekil 10.50, Şekil 10.51, Şekil 10.52, Şekil 10.53, Şekil 10.54'de, 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.55, Şekil 10.56, Şekil 10.57, Şekil 10.58, Şekil 10.59, Şekil 10.60, Şekil 10.61, Şekil 10.62, Şekil 10.63'de, 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için

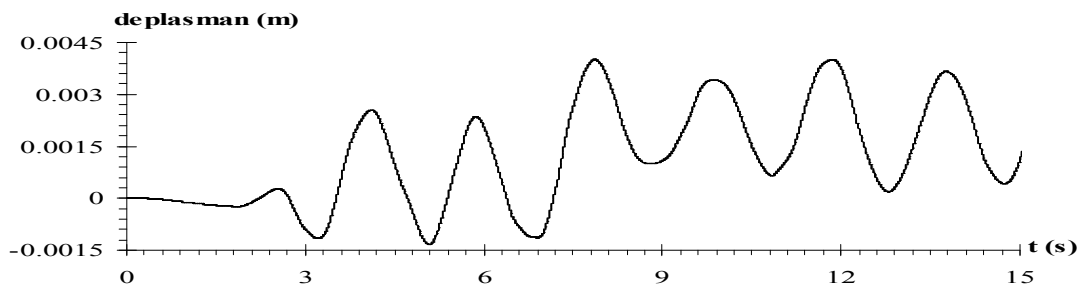
sırasıyla Şekil 10.64, Şekil 10.65, Şekil 10.66, Şekil 10.67, Şekil 10.68, Şekil 10.69, Şekil 10.70, Şekil 10.71, Şekil 10.72’de sunulmuştur.



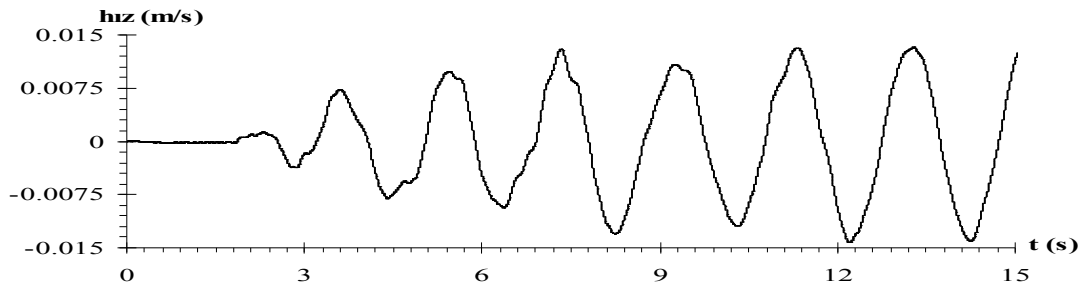
Şekil 10.46 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



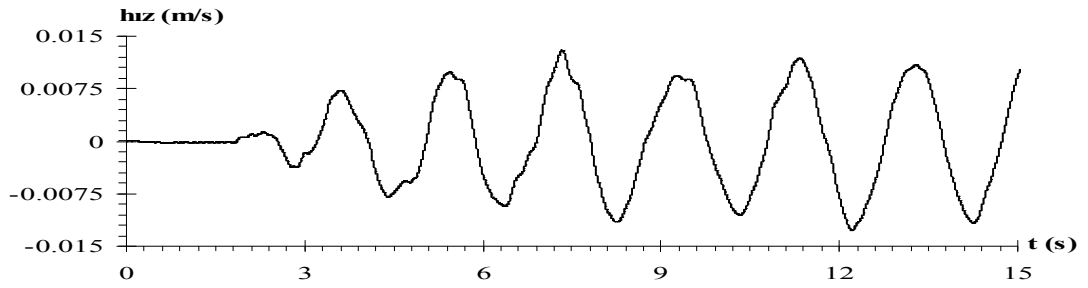
Şekil 10.47 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



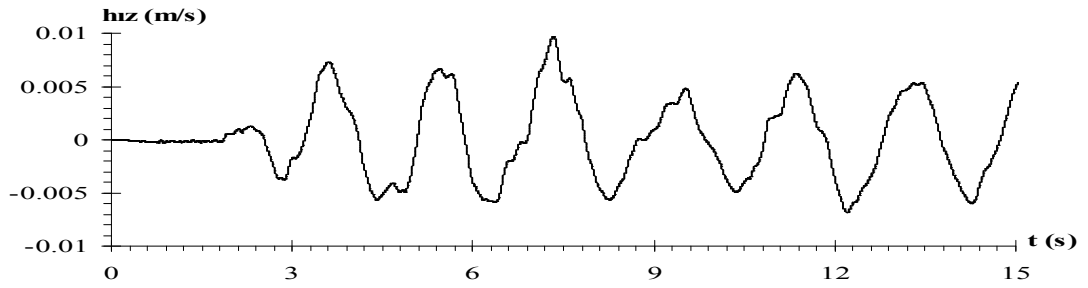
Şekil 10.48 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



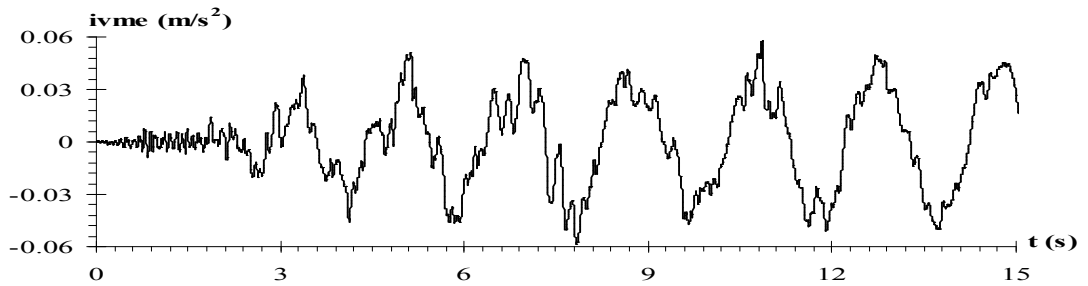
Şekil 10.49 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



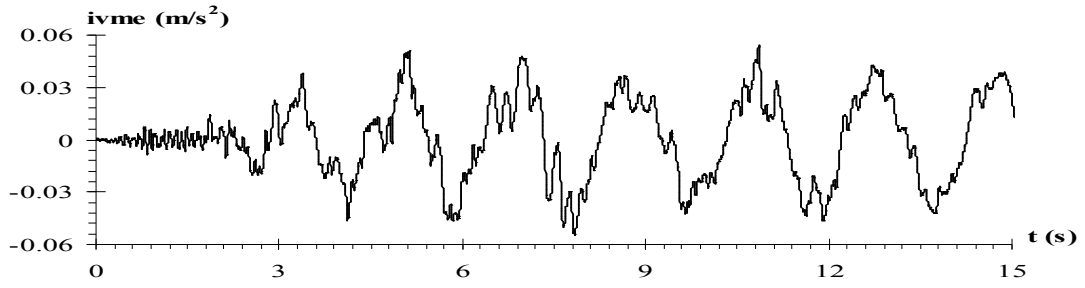
Şekil 10.50 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



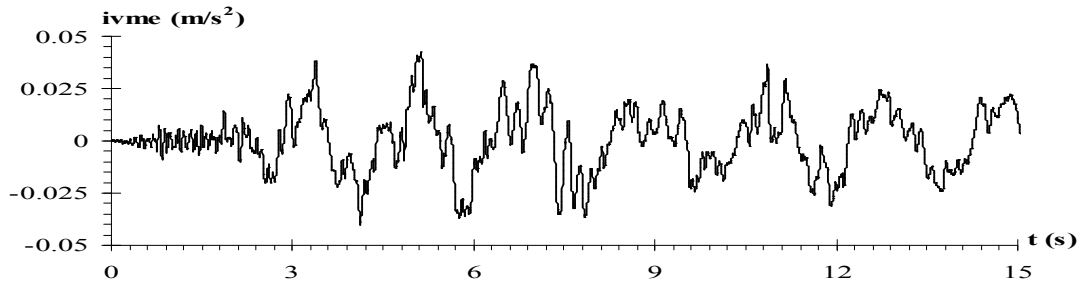
Şekil 10.51 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



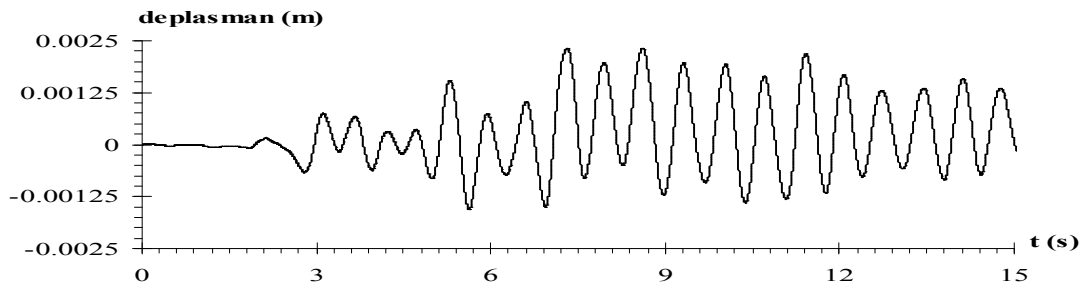
Şekil 10.52 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



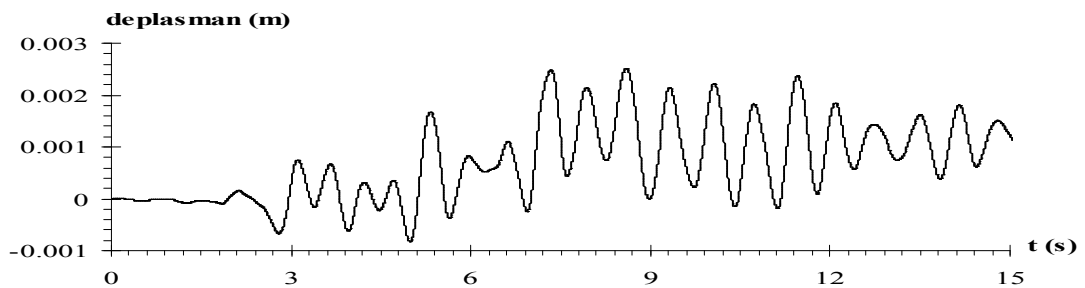
Şekil 10.53 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



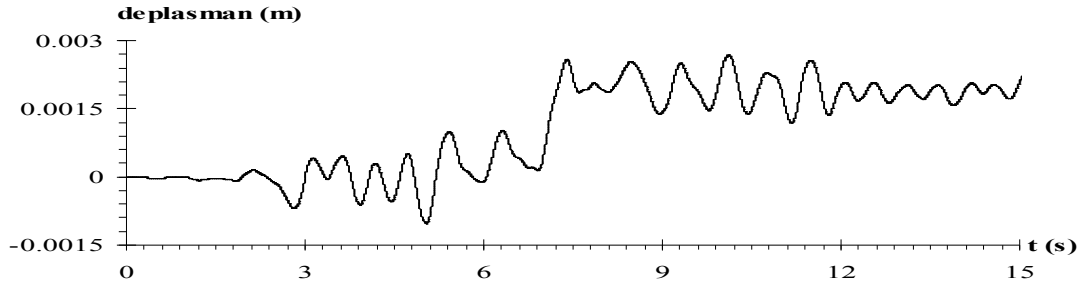
Şekil 10.54 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



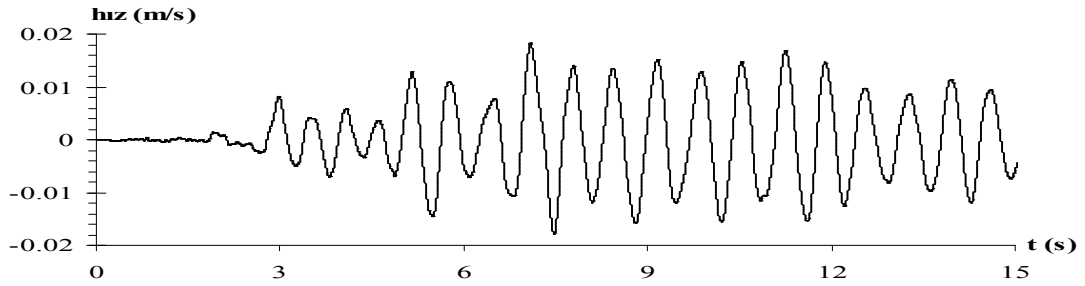
Şekil 10.55 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



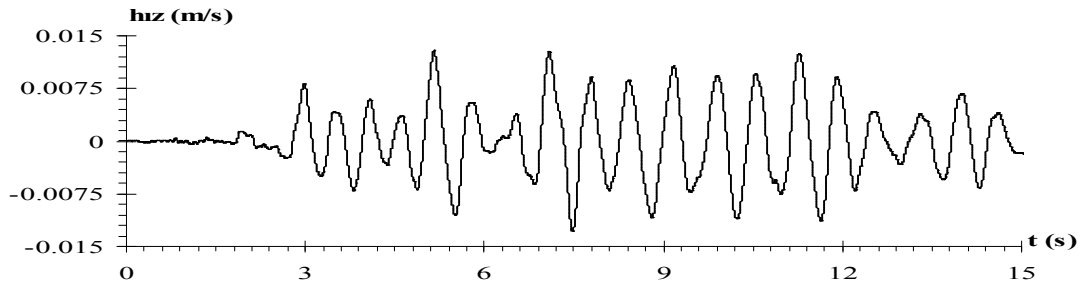
Şekil 10.56 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



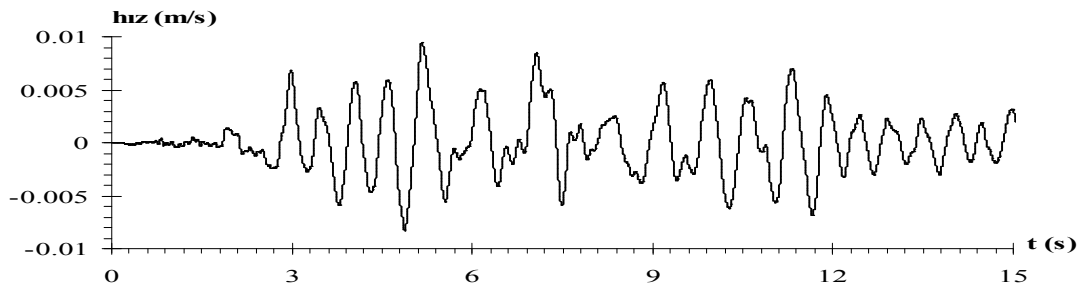
Şekil 10.57 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



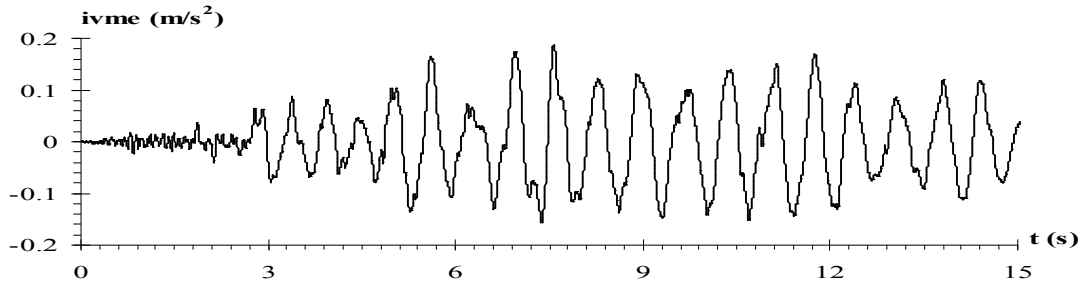
Şekil 10.58 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



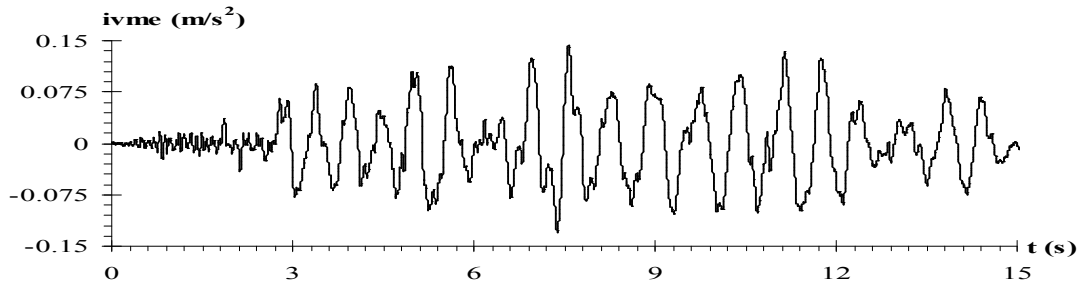
Şekil 10.59 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



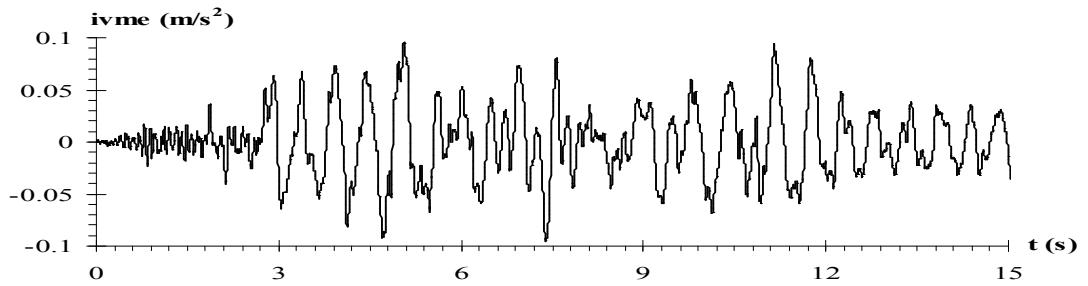
Şekil 10.60 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



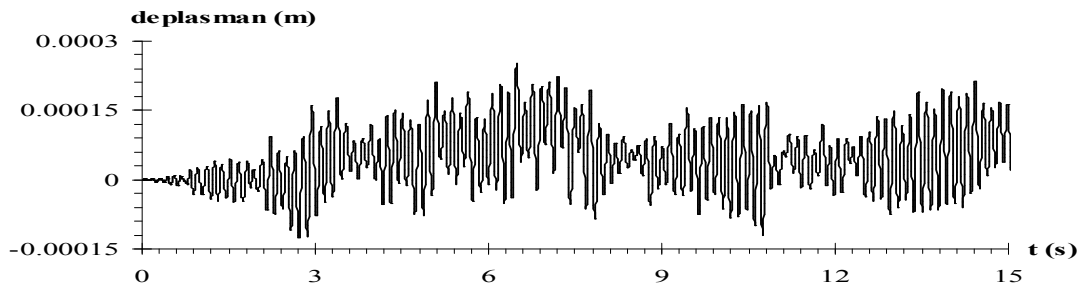
Şekil 10.61 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



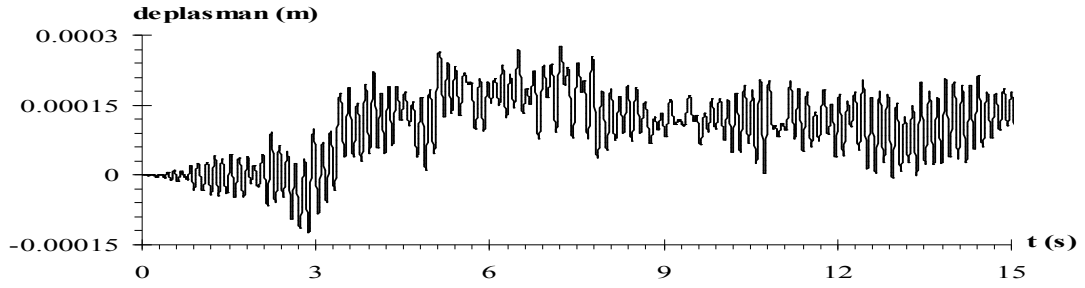
Şekil 10.62 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



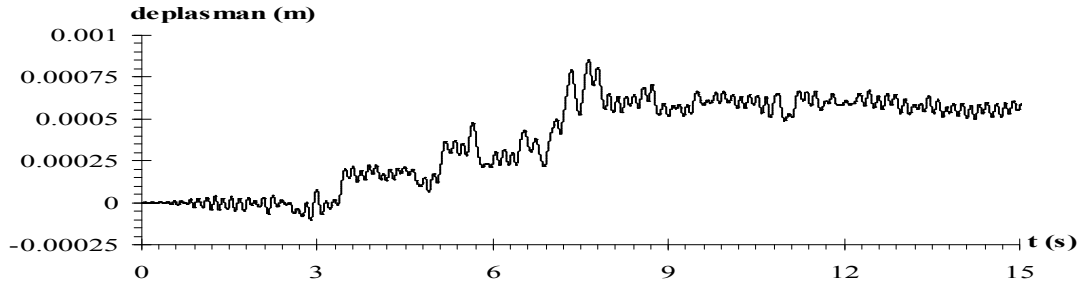
Şekil 10.63 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



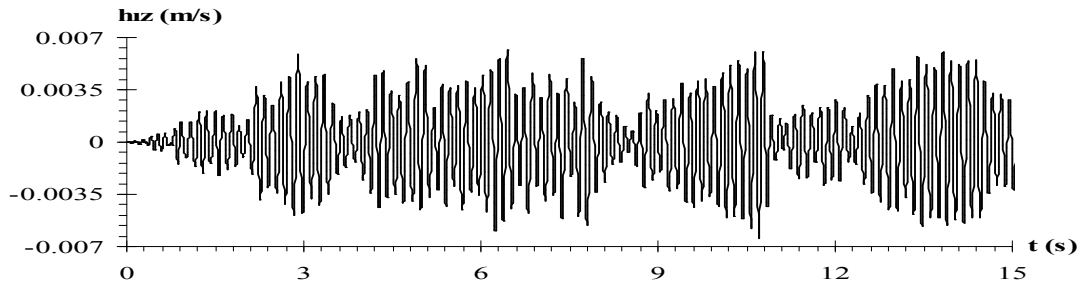
Şekil 10.64 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



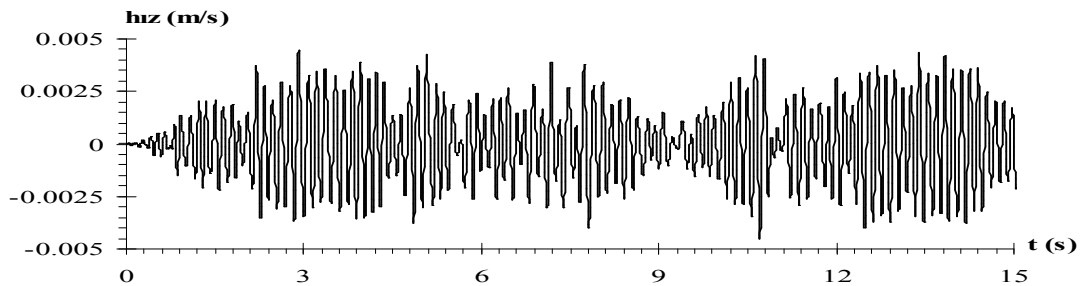
Şekil 10.65 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



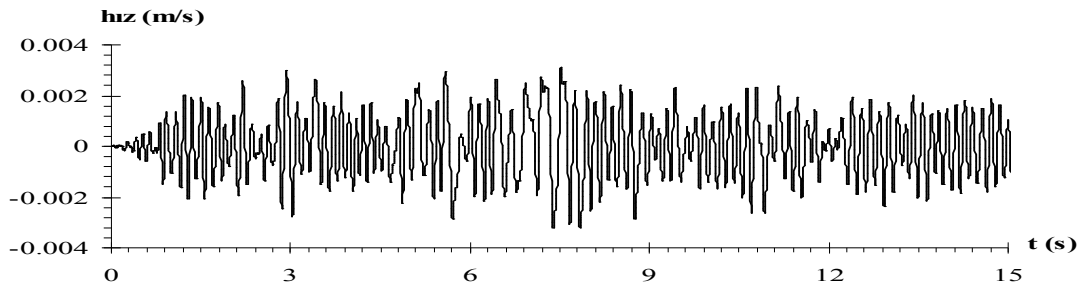
Şekil 10.66 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



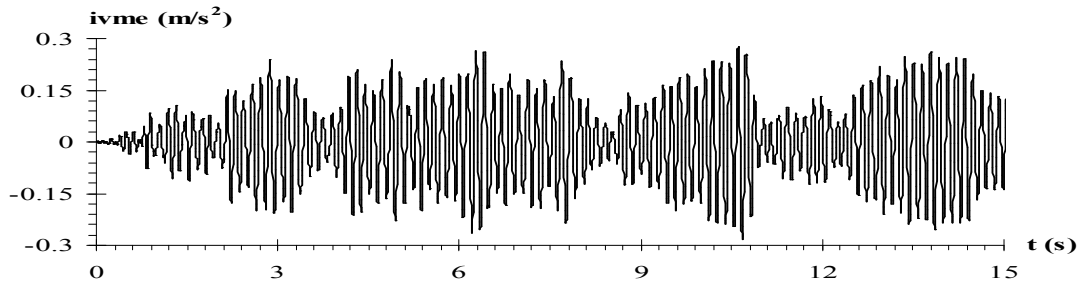
Şekil 10.67 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



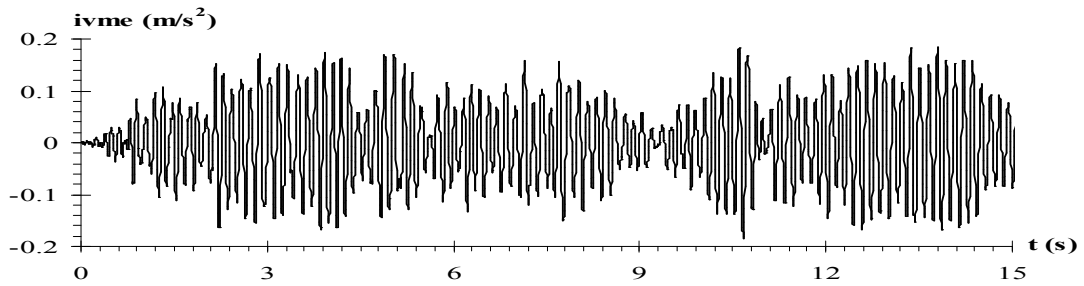
Şekil 10.68 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



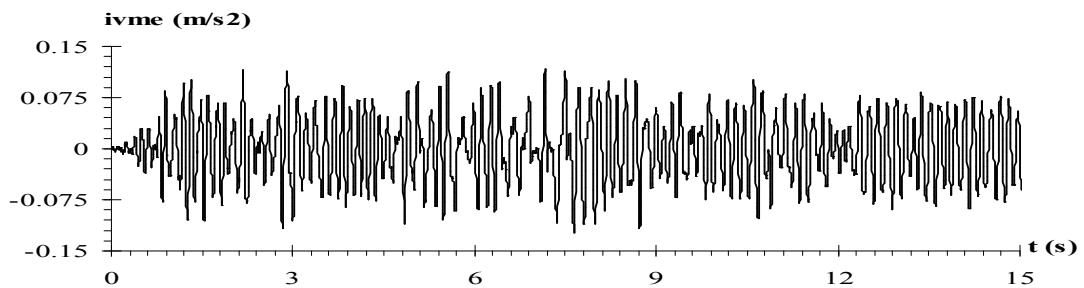
Şekil 10.69 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki hızı zaman geçmişi



Şekil 10.70 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 10.71 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 10.72 İzmit depremi etkisindeki tek katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci moda ait tepki ivmesi zaman geçmişi

10.1.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Hesap Modelinin Süneklik Oranlarının Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

El-Centro ve İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin maksimum deplasmanı (u_m), normalleştirilmiş akma dayanımı değerine göre hesaplanan akma dayanımı ve akma deplasmanı için yapılan doğrusal olmayan dinamik analiz sonucu elde edilen deplasman zaman-geçmişlerinden hesaplanmış; ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 10.4'de sunulmuştur.

Tablo 10.4 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan maksimum deplasman (u_m) değerleri

K_δ, K_θ	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,0046m < u_y$	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,005m < u_y$
	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,004m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0042m > u_y$
	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,00358m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,0042m > u_y$
100000	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,0057m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,0023m > u_y$
	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0042m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0025m > u_y$
	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,0034m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,0027m > u_y$
1000000	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,00031m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,00025m > u_y$
	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,00051m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,000276m > u_y$
	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,000805m > u_y$	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,000854m > u_y$

Doğrusal dinamik analiz sonucu Bölüm 8.4'de hesaplanan maksimum deplasman değerleri, doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi için yukarıda hesaplanan maksimum deplasman değerleri ve normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri kullanılarak El-Centro ve İzmit depremleri için (7.26) denkleminde elde edilen süneklik oranları ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 10.5'de sunulmuştur.

Tablo 10.5 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan süneklik oranları (μ) değerleri

K_s, K_θ	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$\mu = 1$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,004}{0,0067} \frac{1}{0,50} = 1,194$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,00358}{0,0067} \frac{1}{0,25} = 2,137$	$\mu = 1$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0042}{0,0073} \frac{1}{0,50} = 1,151$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0042}{0,0073} \frac{1}{0,25} = 2,301$
100000	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0057}{0,005246} \frac{1}{0,75} = 1,449$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0042}{0,005246} \frac{1}{0,50} = 1,601$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0034}{0,005246} \frac{1}{0,25} = 2,592$	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0023}{0,002} \frac{1}{0,75} = 1,533$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0025}{0,002} \frac{1}{0,50} = 2,5$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0027}{0,002} \frac{1}{0,25} = 5,4$
1000000	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,00031}{0,000234} \frac{1}{0,75} = 1,766$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,00051}{0,000234} \frac{1}{0,50} = 4,359$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,000805}{0,000234} \frac{1}{0,25} = 13,761$	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,00025}{0,00017} \frac{1}{0,75} = 1,961$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,000276}{0,00017} \frac{1}{0,50} = 3,247$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,000854}{0,00017} \frac{1}{0,25} = 20,094$

Bölüm 10.1’de tek katlı çerçevelere ait hesap modeli için yapılan doğrusal olmayan sismik analiz uygulamasında, normalleştirilmiş akma dayanımına göre akma dayanımı ve akma deplasmanları elde edilmiş sistemlerin doğrusal olmayan tepki analizi yapılmış; tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesine ait zaman geçmiş grafikleri elde edilmiş; bu grafiklerden okunan maksimum deplasmanlar kullanılarak tek katlı hesap modellerinin süneklik oranları hesaplanmıştır.

Normalleştirilmiş akma dayanımının azaltılmasıyla, El-Centro depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinde, yay katsayılarının 10000 ve 100000 (t/m;

tm/radyan) değerleri için maksimum tepki deplasmanı azalırken 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için artmıştır. Aynı durumda, İzmit depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinde, yay katsayılarının 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için maksimum tepki deplasmanı artarken 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için azalmıştır. Maksimum deplasman değerindeki bu değişimin aksine süneklik oranları, normalleştirilmiş akma dayanımı azaldıkça her iki depremde tüm yay katsayısı değerleri için beklenildiği gibi artmıştır. Hem El-Centro hem de İzmit depremi etkisindeki hesap modeli, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri ve normalleştirilmiş akma dayanımının 0,75 değeri için doğrusal davranmış; akma gerçekleşmediği için süneklik oranı 1 olarak alınmıştır.

10.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Tek Katlı Çerçvelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumlarının Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulaması

Bu uygulamada, periyodu 3 sn. kadar olan, El-Centro ve İzmit depremleri etkisi altındaki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı sönümsüz hesap modelinin ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000-100000-1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Newmark- β metodu ile doğrusal olmayan spektral analiz yapılmış ve bu periyotlara karşılık gelen deplasman, hız ve ivme tepki spektrumları süneklik oranının 1, 2, 4 ve 8 değerleri için çizilmiştir.

Bu amaçla, her bir periyod için, normalleştirilmiş akma dayanımının farklı değerlerine göre doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmış ve (7.26) denklemi kullanılarak her bir normalleştirilmiş akma dayanımı değerine karşılık gelen süneklik oranı hesaplanmıştır. Daha sonra, normalleştirilmiş akma dayanımının ve süneklik oranının logaritmik değerleri arasında doğrusal interpolasyon yapılarak, süneklik oranının 2, 4 ve 8 değerlerine karşılık gelen normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri elde edilmiş; periyotlara göre hesaplanan normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri El-Centro ve İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisindeki tek katlı hesap modeli için sırasıyla Tablo 10.6 ve Tablo 10.7'de sunulmuştur.

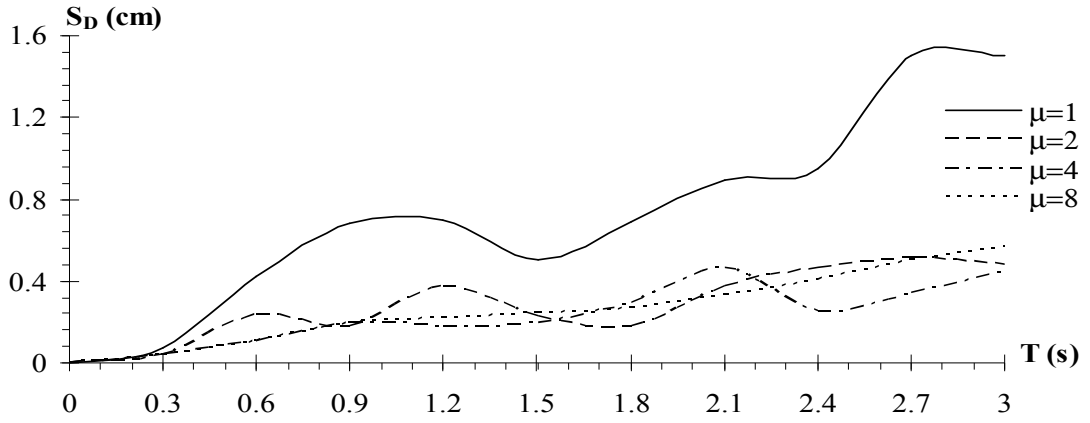
Tablo 10.6 El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki tek katlı hesap modelinin, süneklik oranının (μ) 2, 4 ve 8 değerlerine göre ötelenme ve dönme yay katsayısının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan normalleştirilmiş akma dayanımı (\bar{F}_y) değerleri

T (s)	μ	\bar{F}_y			T (s)	μ	\bar{F}_y		
		Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)					Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)		
		10000	100000	1000000			10000	100000	1000000
0,3	2	0,26145	0,5953	0,73	1,8	2	0,12885	0,311	0,382
	4	0,1305	0,321	0,39		4	0,105	0,254	0,312
	8	0,066	0,1787	0,214		8	0,04834	0,1169	0,1438
0,6	2	0,28	0,666	0,446	2,1	2	0,2085	0,4959	0,615
	4	0,0629	0,1525	0,192		4	0,1308	0,318	0,39
	8	0,03095	0,0705	0,0866		8	0,046395	0,1102	0,1365
0,9	2	0,1334	0,323	0,395	2,4	2	0,244	0,6	0,735
	4	0,0729	0,1764	0,216		4	0,0658	0,31	0,386
	8	0,03566	0,0868	0,1065		8	0,05382	0,1287	0,1557
1,2	2	0,2695	0,658	0,805	2,7	2	0,1716	0,414	0,508
	4	0,0645	0,162	0,2		4	0,0569	0,1373	0,1655
	8	0,03982	0,0972	0,118		8	0,04215	0,1018	0,123
1,5	2	0,2247	0,536	0,653	3	2	0,1605	0,377	0,466
	4	0,0975	0,232	0,282		4	0,0738	0,1722	0,2136
	8	0,060515	0,1648	0,2025		8	0,0475	0,1144	0,14

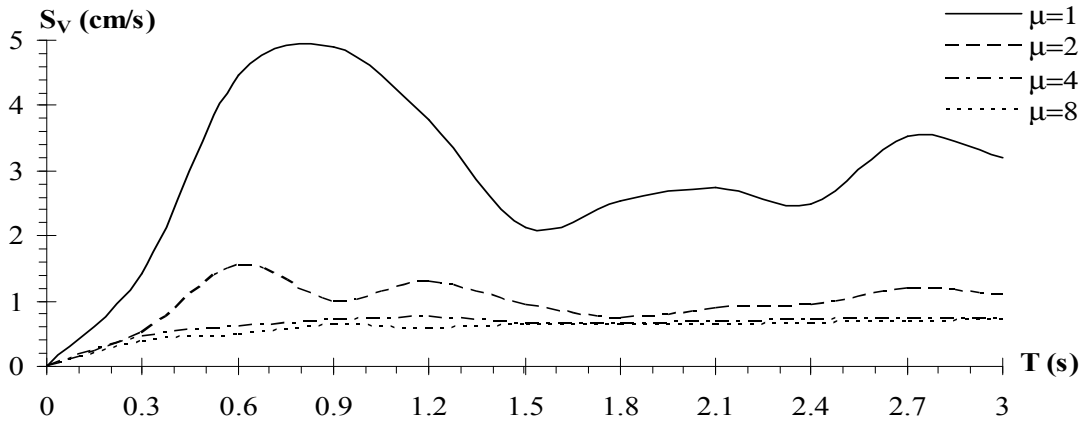
Tablo 10.7 İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki tek katlı hesap modelinin, süneklik oranının (μ) 2, 4 ve 8 değerlerine göre ötelenme ve dönme yay katsayısının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan normleştirilmiş akma dayanımı (\bar{F}_y) değerleri

T (s)	μ	\bar{F}_y			T (s)	μ	\bar{F}_y		
		Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)					Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)		
		10000	100000	1000000			10000	100000	1000000
0,3	2	0,176	0,43	0,528	1,8	2	0,273	0,668	0,82
	4	0,1235	0,3	0,368		4	0,157	0,382	0,47
	8	0,075	0,17134	0,2102		8	0,0465	0,115	0,14
0,6	2	0,17	0,42	0,524	2,1	2	0,358	0,87	0,88
	4	0,0918	0,2246	0,275		4	0,232	0,571	0,7
	8	0,065	0,159	0,1945		8	0,1145	0,277	0,344
0,9	2	0,34	0,451	0,552	2,4	2	0,4	0,959	0,98
	4	0,1355	0,33	0,403		4	0,305	0,731	0,89
	8	0,0937	0,2284	0,278		8	0,1273	0,303	0,37
1,2	2	0,4	0,96	0,99	2,7	2	0,47	0,999	0,9992
	4	0,185	0,446	0,554		4	0,355	0,856	0,99
	8	0,089	0,218	0,269		8	0,1542	0,3718	0,4745
1,5	2	0,285	0,69	0,85	3	2	0,41	0,98	0,99
	4	0,194	0,477	0,582		4	0,251	0,6	0,755
	8	0,076	0,186	0,228		8	0,1238	0,2924	0,3735

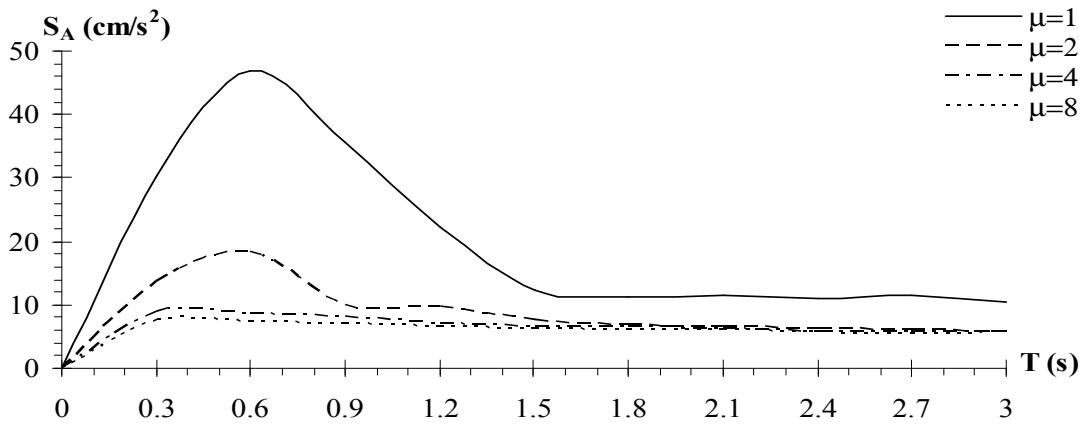
El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modelinin, süneklik oranının (μ) 1, 2, 4 ve 8 değerlerine göre elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.73, Şekil 10.74 ve Şekil 10.75'de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.76, Şekil 10.77 ve Şekil 10.78'de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.79, Şekil 10.80 ve Şekil 10.81'de sunulmuştur.



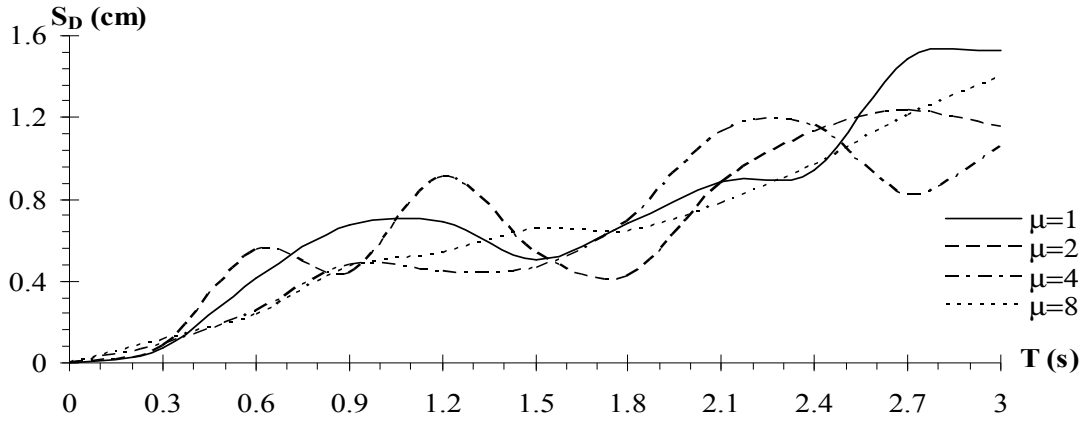
Şekil 10.73 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki deplasman spektrumu



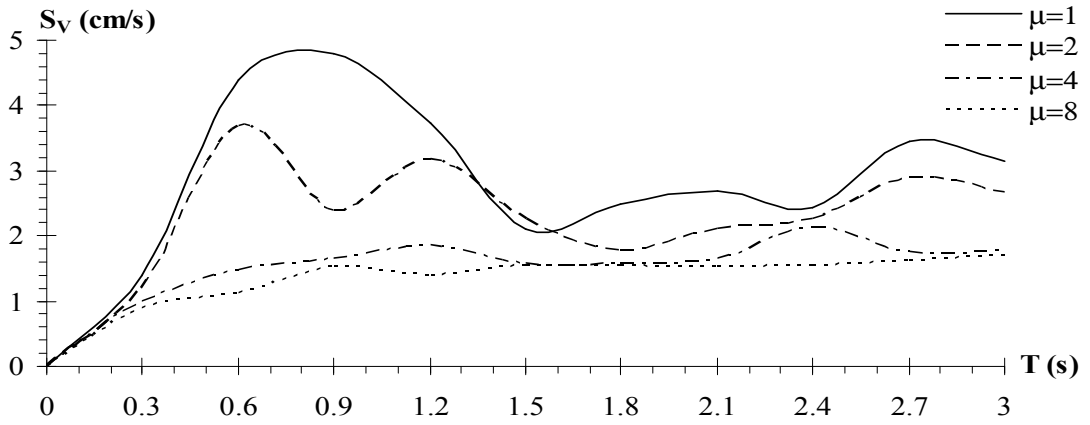
Şekil 10.74 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki hız spektrumu



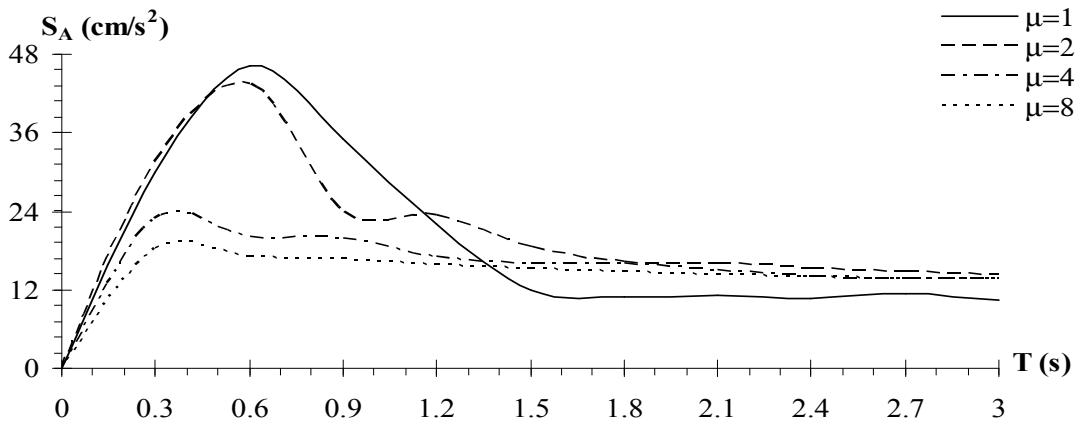
Şekil 10.75 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki ivme spektrumu



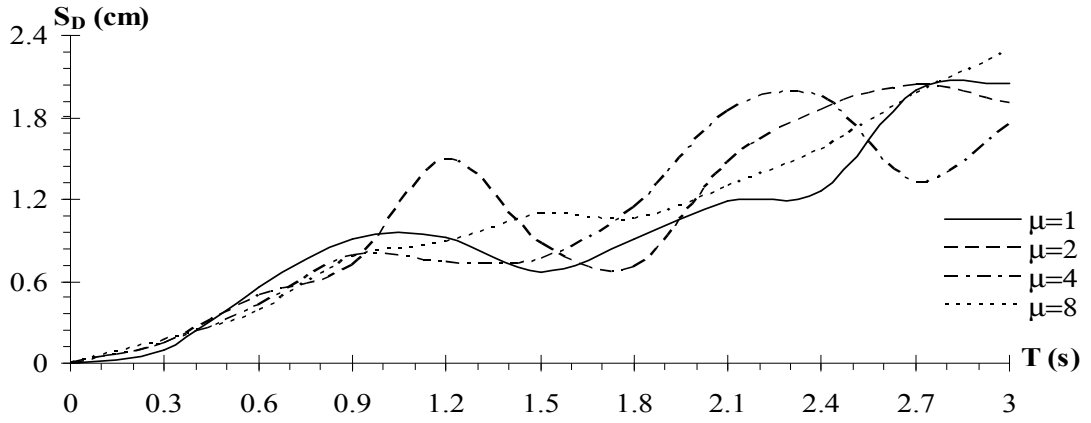
Şekil 10.76 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_\delta=100000$ (t/m) $K_\theta=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki deplasman spektrumu



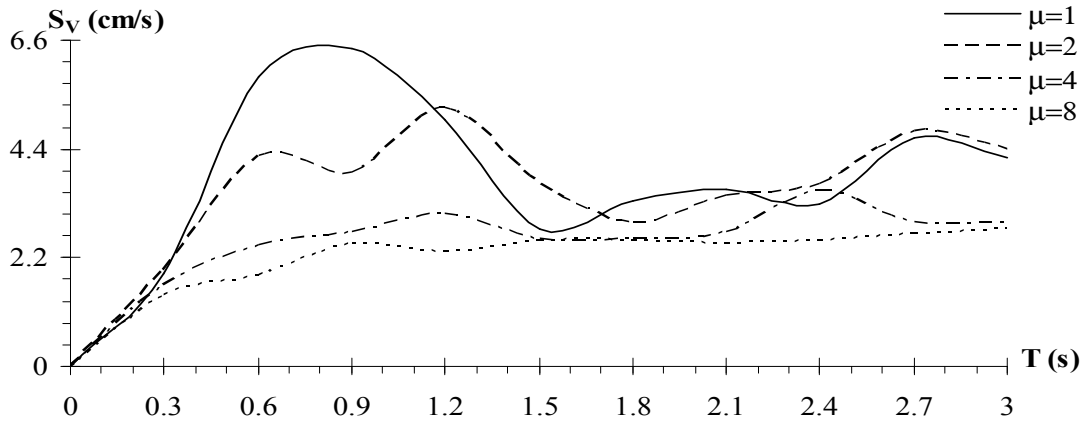
Şekil 10.77 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_\delta=100000$ (t/m) $K_\theta=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki hız spektrumu



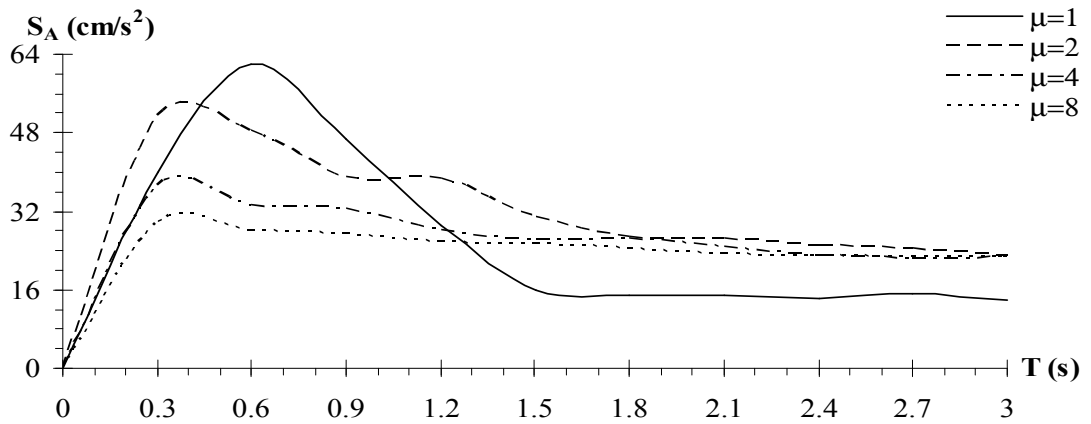
Şekil 10.78 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_\delta=100000$ (t/m) $K_\theta=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki ivme spektrumu



Şekil 10.79 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki deplasman spektrumu



Şekil 10.80 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki hız spektrumu

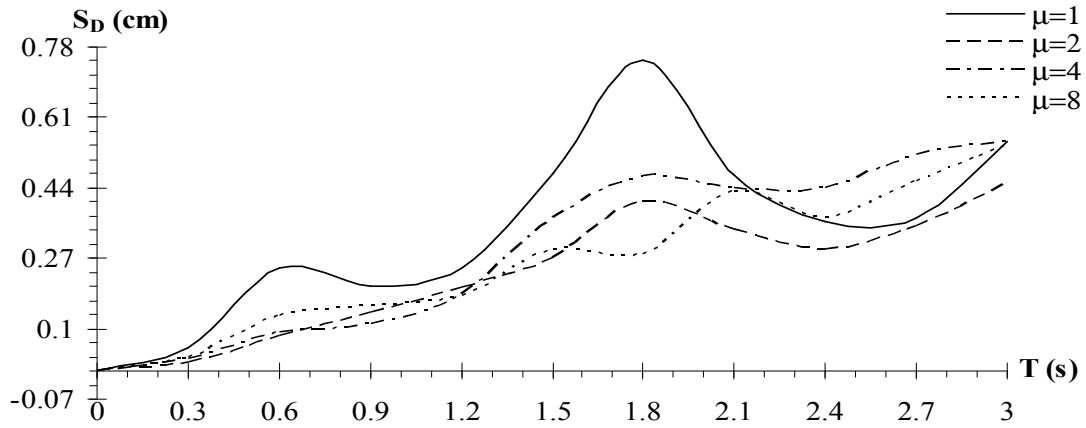


Şekil 10.81 El-Centro depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki ivme spektrumu

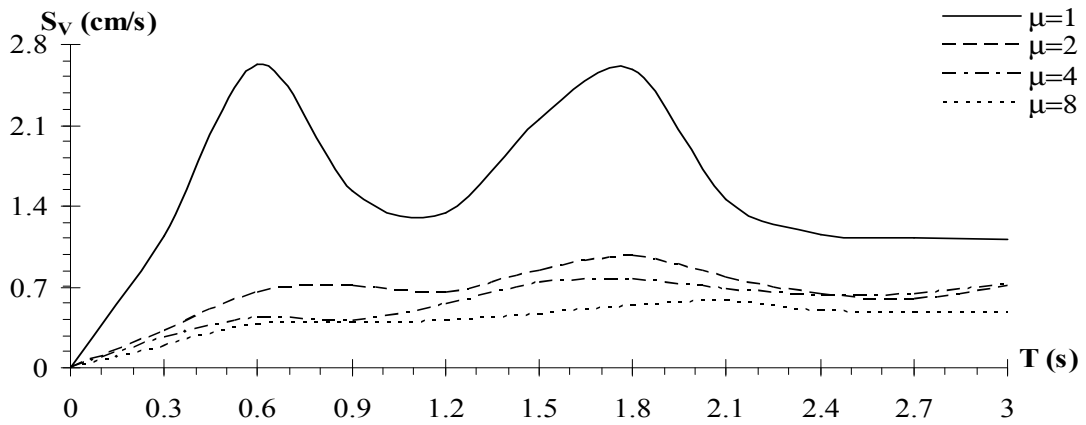
İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı tek katlı hesap modelinin, süneklik oranının (μ) 1, 2, 4 ve 8 değerlerine göre elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.82, Şekil 10.83 ve Şekil 10.84'de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.85, Şekil 10.86 ve Şekil 10.87'de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.88, Şekil 10.89 ve Şekil 10.90'de sunulmuştur.

Zemine yarı-rijit bağlı tek katlı çerçevelere ait hesap modelinin doğrusal olmayan tepki spektrumlarının elde edildiği Bölüm 10.2'de, süneklik oranlarının 2, 4 ve 8 değerine göre hesaplanan ve Tablo 10.1 ve Tablo 10.2 de sunulan normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri, hem El-Centro hem de İzmit depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin ötelenme ve dönme yay katsayısı değerlerinin arttırılmasıyla artma göstermiştir.

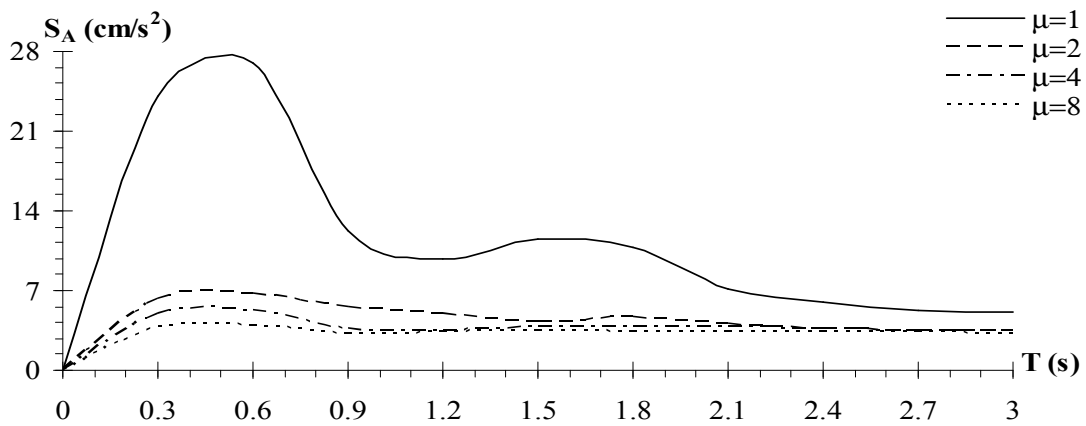
Şekil 10.73-10.81 ve Şekil 10.82-10.90 grafiklerinde üç farklı yay katsayısı değeri için elde edilen spektral eğriler kullanılarak periyodu 0 ile 3 sn arasında olan bir çerçevenin sırasıyla El-Centro ve İzmit depremleri kuzey-güney bileşeninin güçlü yer ivmeleri etkisinde farklı süneklik oranları için göstereceği doğrusal olmayan spektral deplasman, spektral hız ve spektral ivme değerleri ilgili yay katsayısına bağlı çizilen grafikten okunabilir. Grafiklerdeki $\mu=1$ durumu, hesap modelinin doğrusal davrandığı durum için elde edilen spektrum eğrilerine karşılık gelmektedir.



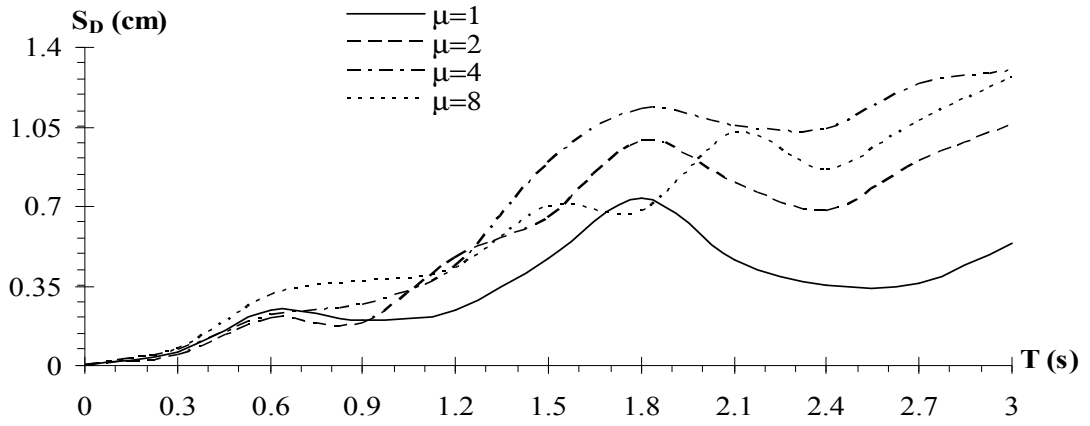
Şekil 10.82 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki deplasman spektrumu



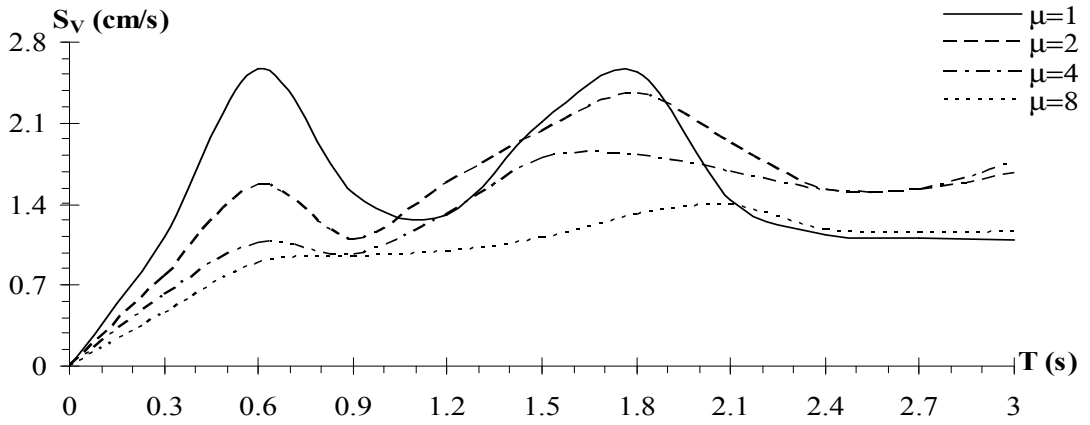
Şekil 10.83 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki hız spektrumu



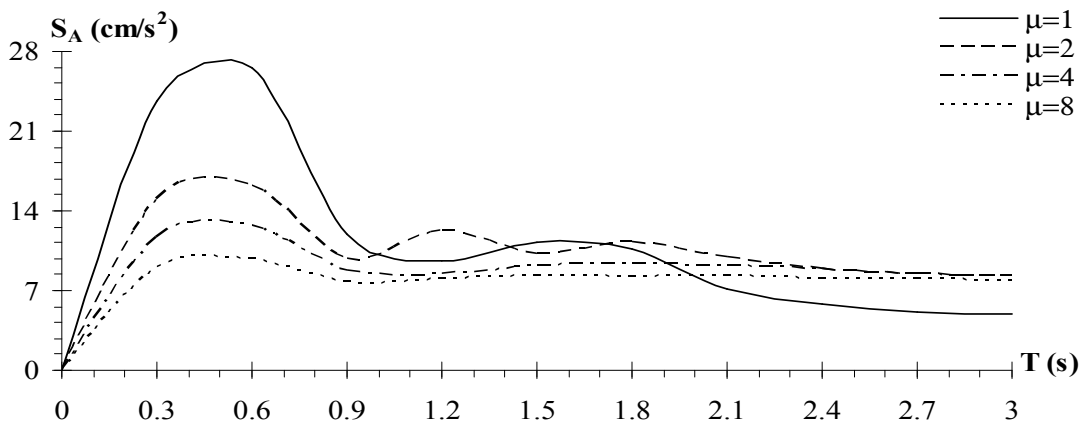
Şekil 10.84 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki ivme spektrumu



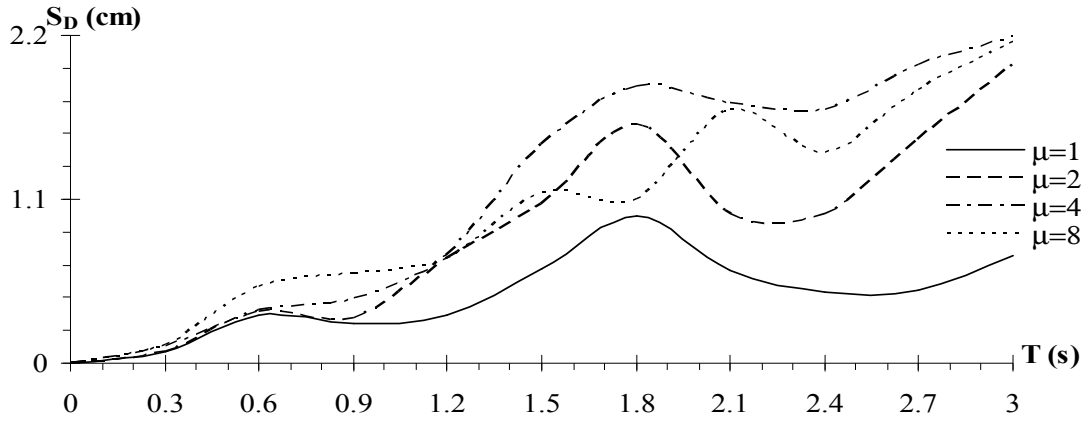
Şekil 10.85 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki deplasman spektrumu



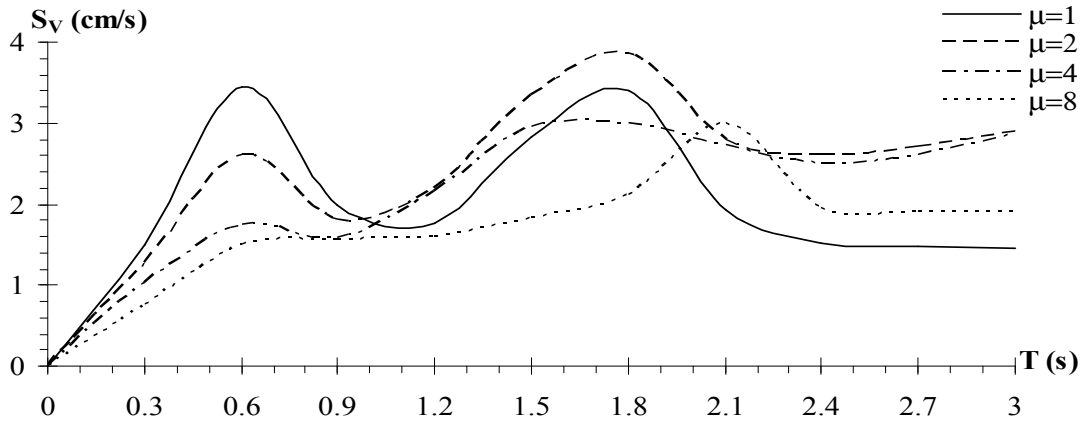
Şekil 10.86 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki hız spektrumu



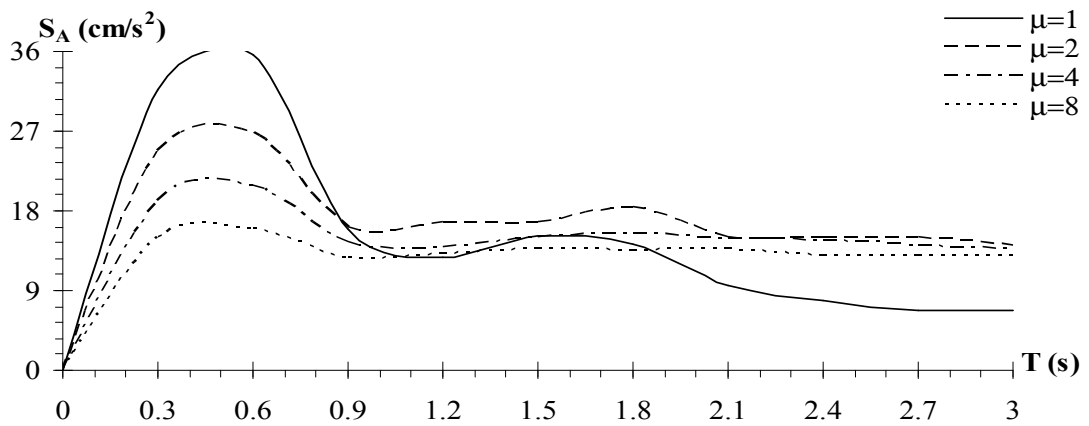
Şekil 10.87 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki ivme spektrumu



Şekil 10.88 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki deplasman spektrumu



Şekil 10.89 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki hız spektrumu



Şekil 10.90 İzmit depremi etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranına bağlı doğrusal olmayan tepki ivme spektrumu

BÖLÜM ONBİR
ÇOK KATLI ÇERÇEVELERE AİT HESAP MODELİNİN DOĞRUSAL
OLMAYAN TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİNE AİT
SAYISAL UYGULAMALAR

11.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Sismik Analiz Sayısal Uygulamaları

Bu sayısal uygulamada zemine yarı-rijit bağlı çerçevelere ait matematiksel hesap modelinin dinamik analizi malzemenin doğrusal olmayan davranışı da dikkate alınarak yapılmıştır. Bu amaçla, Newmark-Beta sayısal çözüm yönteminin algoritmasına dayanan algoritması yazar tarafından kurulan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Nlzg.Bas isimli bilgisayar programının akış diyagramı Ek-4'de sunulmuştur.

Nlzg.Bas isimli bilgisayar programı ile, geliştirilmiş koordinata bağlı olarak TSD bir sistemin hareket denkleminin benzer şekilde elde edilmiş diferansiyel hareket denklemi, herhangi bir depremin güçlü yer ivme kayıtları kullanılarak verilen akma dayanımı için çözülmekte; çerçevenin tepki deplasman, tepki hız, tepki ivme zaman geçmişleri ile bu tepki parametrelerinin spektral değerleri ve doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi elde edilmektedir.

Uygulamada, Bölüm 9'da fiziksel özellikleri verilmiş ve Bölüm 9.2'de malzemenin doğrusal davrandığı kabulü ile dinamik analizi yapılmış çerçeveler kullanılmıştır. Zemindeki ötelenme ve dönme yay katsayıları için 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri seçilmiştir. 18 Mayıs 1940 El-Centro ve 17 Ağustos 1999 İzmit depremlerinin, sırasıyla Şekil 8.4'de ve Şekil 8.5' de zaman geçmişleri verilen Kuzey-Güney bileşenlerine ait güçlü yer ivmesi değerleri kullanılmıştır.

11.1.1 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman İlişkisinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

Zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modelinin Bölüm 9.2’de El-Centro ve İzmit depremleri için yapılan doğrusal sismik analizi sonucu elde edilen genelleştirilmiş rijitlik (K^*) ve son kata ait maksimum deplasmanı (u_0) kullanılarak, maksimum doğrusal yay kuvveti (F_0), (7.22) denkleminde hesaplanmış; ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 11.1’de sunulmuştur.

Tablo 11.1 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan maksimum doğrusal yay kuvveti (F_0) değerleri

El-Centro Depremi	İzmit depremi
$F_0 = K^* \cdot u_0 = 104,954 \cdot 0,0486 \cong 5 \text{ ton}$	$F_0 = K^* \cdot u_0 = 104,954 \cdot 0,0387 \cong 4 \text{ ton}$
$F_0 = K^* \cdot u_0 = 138,024 \cdot 0,04116 \cong 6 \text{ ton}$	$F_0 = K^* \cdot u_0 = 138,024 \cdot 0,0387 \cong 5 \text{ ton}$
$F_0 = K^* \cdot u_0 = 450,536 \cdot 0,02183 \cong 10 \text{ ton}$	$F_0 = K^* \cdot u_0 = 450,536 \cdot 0,0207 \cong 10 \text{ ton}$

Normalleştirilmiş akma dayanımı için seçilen (\bar{F}_y) 0,75-0,50-0,25 değerleri ile El-Centro ve İzmit depremleri için yukarıda hesaplanan (F_0) değerleri kullanılarak doğrusal olmayan yay kuvveti-deplasman ilişkisine ait akma dayanımı (F_y), (7.23) denkleminde hesaplanmış; ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 11.2’de sunulmuştur.

Tablo 11.2 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan akma dayanımı (F_y) değerleri

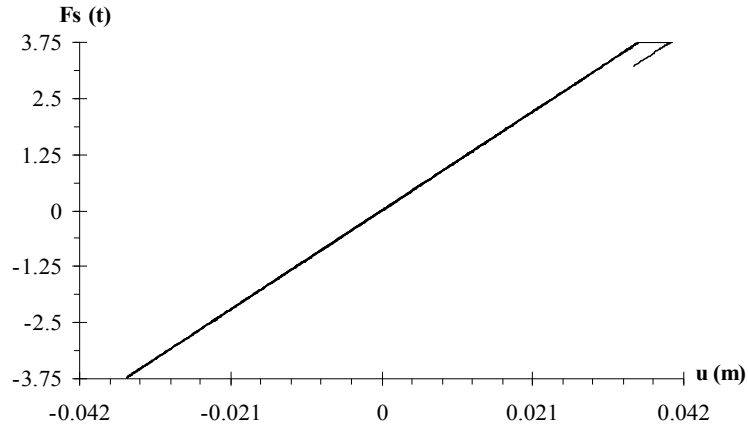
K_δ, K_θ	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 5 = 3,75 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 4 = 3 \text{ ton}$
	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 5 = 2,50 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 4 = 2 \text{ ton}$
	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ ton}$
100000	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 6 = 4,5 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 5 = 3,75 \text{ ton}$
	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 6 = 3 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 5 = 2,50 \text{ ton}$
	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 6 = 1,5 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ ton}$
1000000	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 10 = 7,5 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,75 \cdot 10 = 7,5 \text{ ton}$
	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 10 = 5 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,50 \cdot 10 = 5 \text{ ton}$
	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 10 = 2,5 \text{ ton}$	$F_y = \bar{F}_y \cdot F_0 = 0,25 \cdot 10 = 2,5 \text{ ton}$

Doğrusal olmayan yay kuvveti-deplasman ilişkisini elde etmek için gerekli akma deplasmanı ise akma dayanımı değerlerinin rijitliğe oranlanmasıyla El-Centro ve İzmit depremleri için ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 11.3'deki gibi elde edilmiştir.

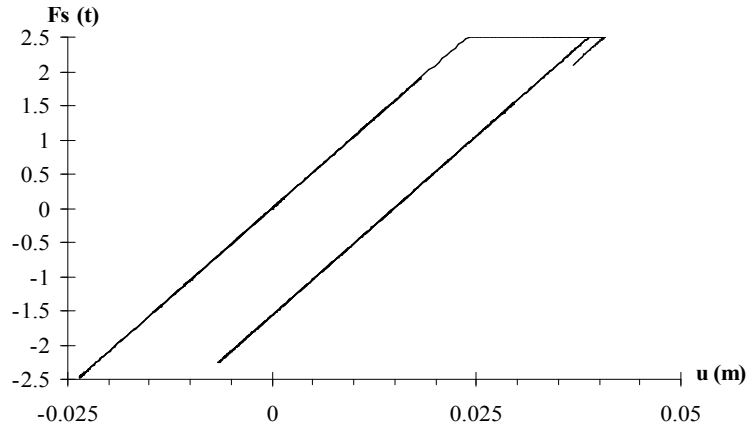
Tablo 11.3 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan akma deplasmanı (u_y) değerleri

K_δ, K_θ	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{3,75}{104,954} = 0,036\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{2,50}{104,954} = 0,024\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{1,25}{104,954} = 0,012\text{m}$	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{3}{104,954} = 0,0286\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{2}{104,954} = 0,01907\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{1}{104,954} = 0,00953\text{m}$
100000	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{4,5}{138,024} = 0,0326\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{3}{138,024} = 0,0217\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{1,5}{138,024} = 0,01085\text{m}$	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{3,75}{138,024} = 0,027\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{2,50}{138,024} = 0,018\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{1,25}{138,024} = 0,009\text{m}$
1000000	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{7,5}{450,536} = 0,01665\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{5}{450,536} = 0,0111\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{2,5}{450,536} = 0,00555\text{m}$	$u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{7,5}{450,536} = 0,01665\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{5}{450,536} = 0,0111\text{m}$ $u_y = \frac{F_y}{K^*} = \frac{2,5}{450,536} = 0,00555\text{m}$

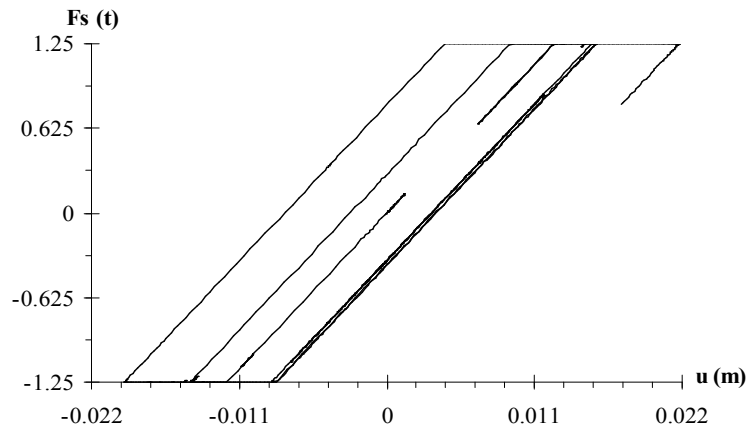
Normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri kullanılarak El-Centro depremi için dinamik analizi yapılan zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modeline ait doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.1, Şekil 11.2, Şekil 11.3'de; ötelenme ve dönme yay katsayılarının 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.4, Şekil 11.5, Şekil 11.6'da; ötelenme ve dönme yay katsayılarının 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.7, Şekil 11.8, Şekil 11.9'da sunulmuştur.



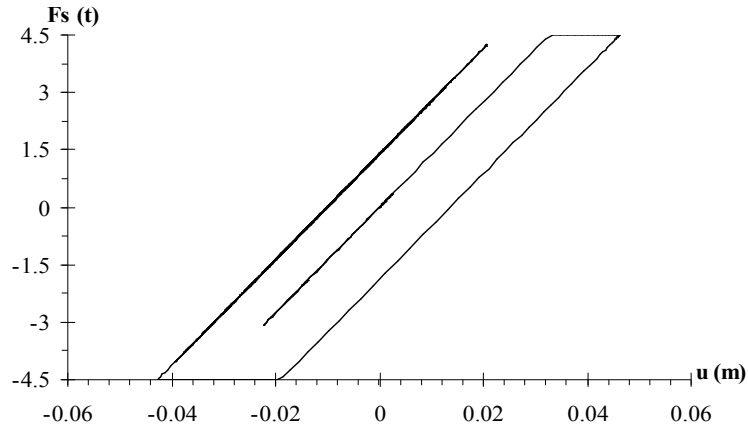
Şekil 11.1 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



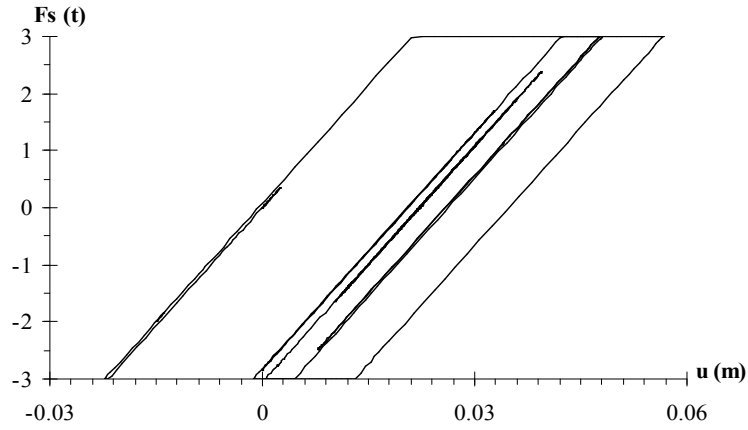
Şekil 11.2 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



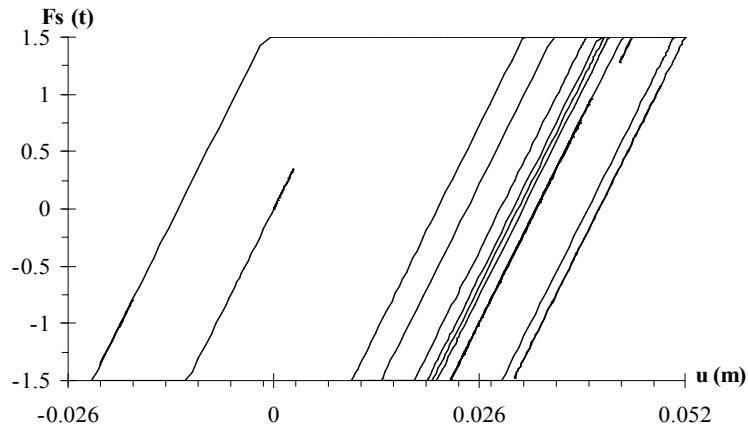
Şekil 11.3 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



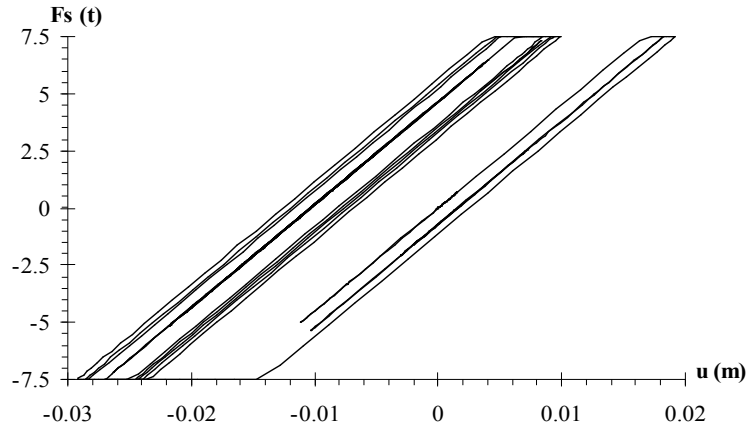
Şekil 11.4 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_s=100000$ (t/m), $K_\theta=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



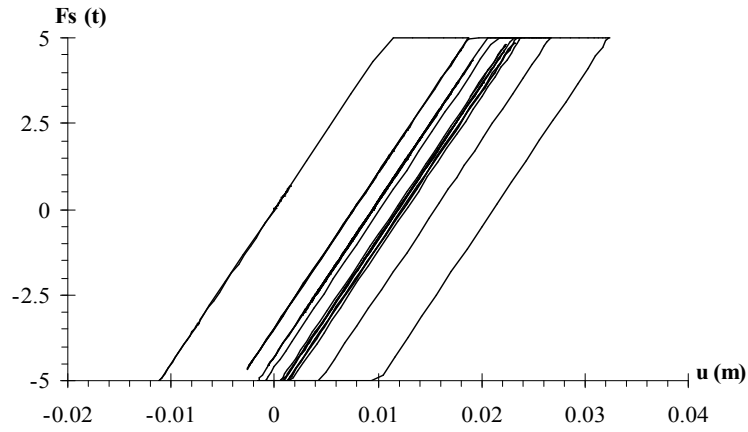
Şekil 11.5 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_s=100000$ (t/m), $K_\theta=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



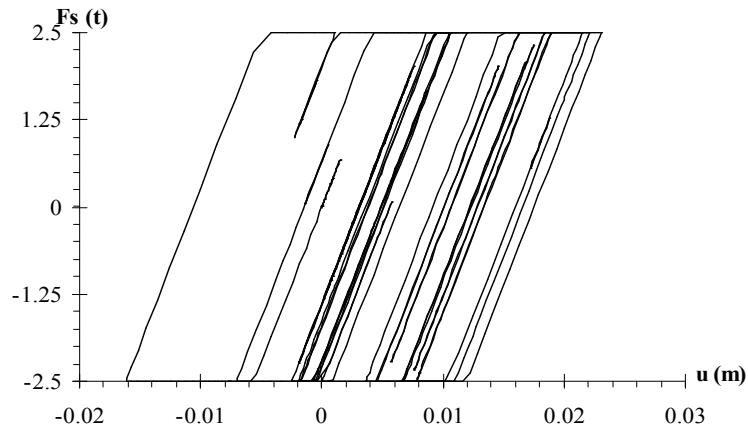
Şekil 11.6 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_s=100000$ (t/m), $K_\theta=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



Şekil 11.7 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ (t/m), $K_\theta=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

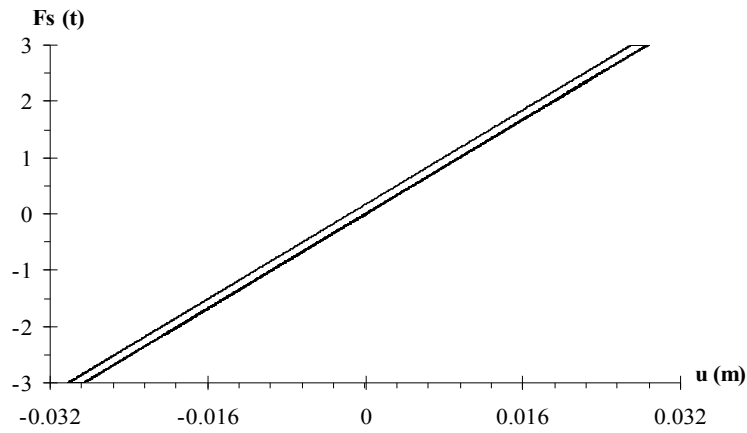


Şekil 11.8 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ (t/m), $K_\theta=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

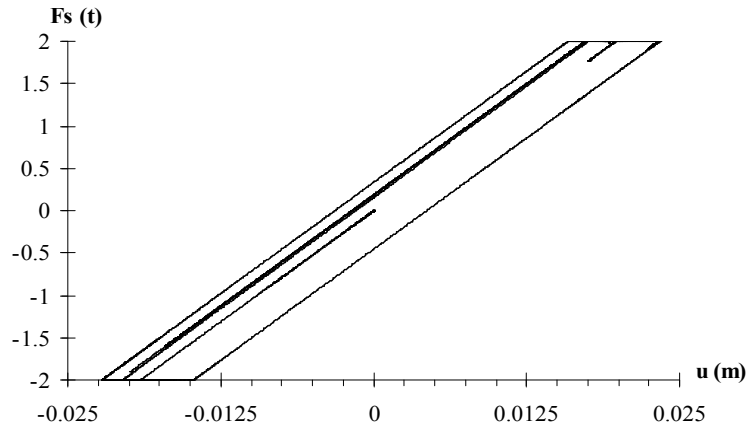


Şekil 11.9 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ (t/m), $K_\theta=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

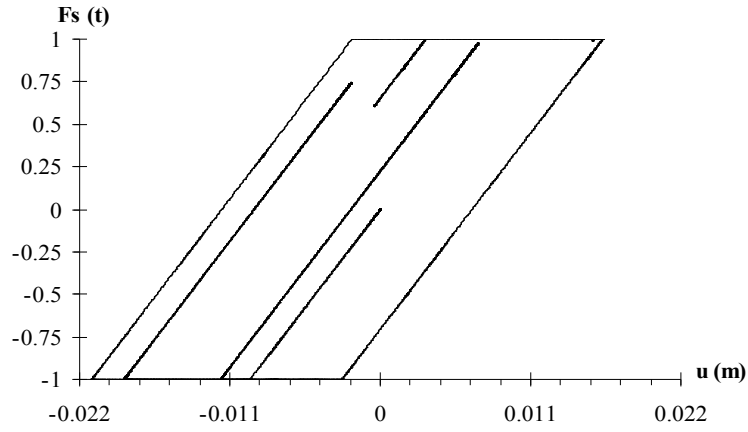
Normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri kullanılarak İzmit depremi için dinamik analizi yapılan zemine yarı-rijit bağlı beş katlı hesap modeline ait doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.10, Şekil 11.11, Şekil 11.12’de; ötelenme ve dönme yay katsayılarının 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.13, Şekil 11.14, Şekil 11.15’de, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.16, Şekil 11.17, Şekil 11.18’de sunulmuştur.



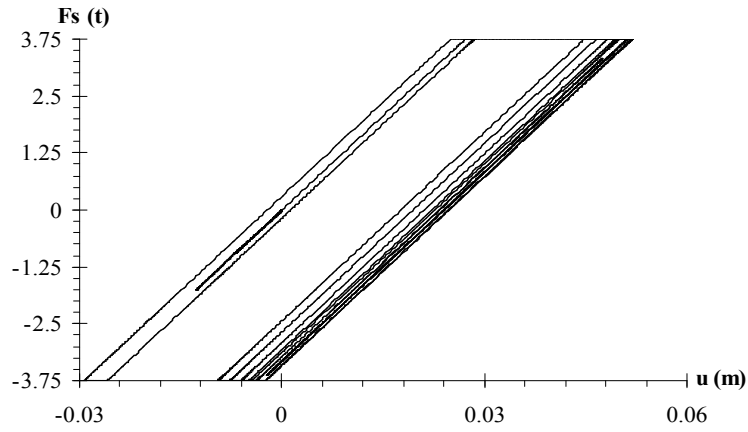
Şekil 11.10 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_Y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



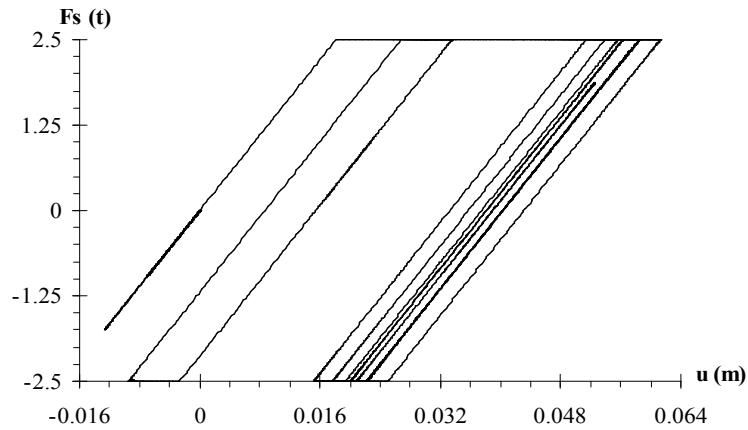
Şekil 11.11 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_Y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



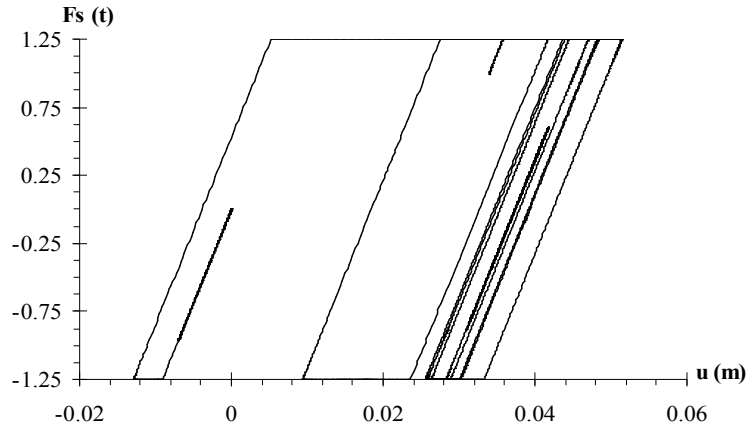
Şekil 11.12 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ (t/m), $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



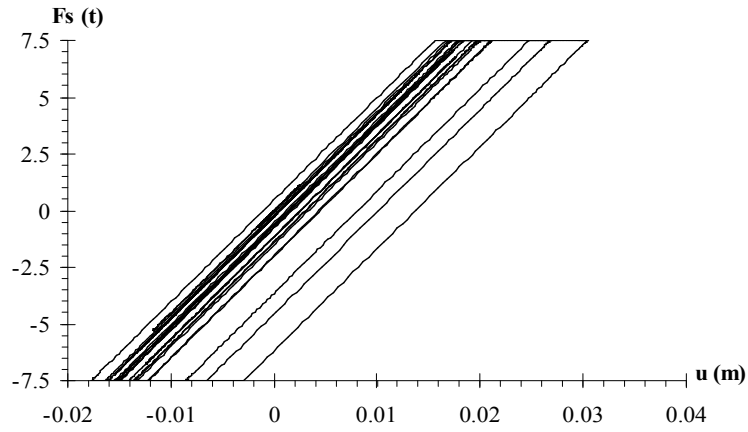
Şekil 11.13 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ (t/m), $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



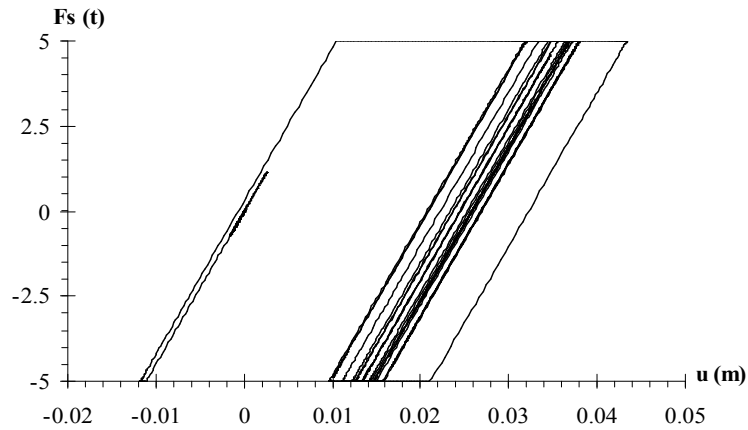
Şekil 11.14 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ (t/m), $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



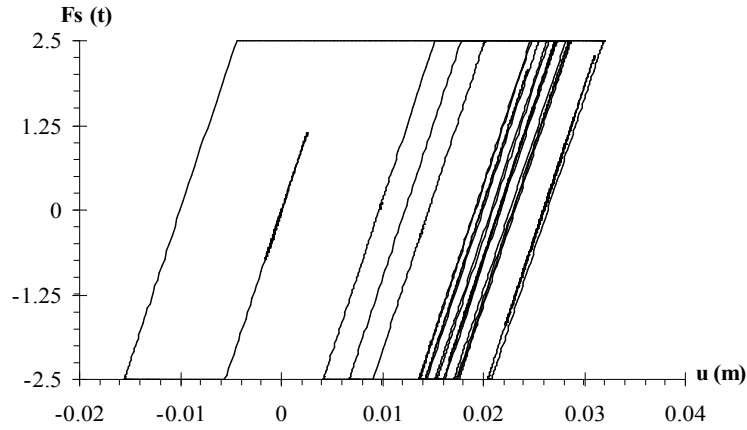
Şekil 11.15 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ (t/m), $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



Şekil 11.16 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,75$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



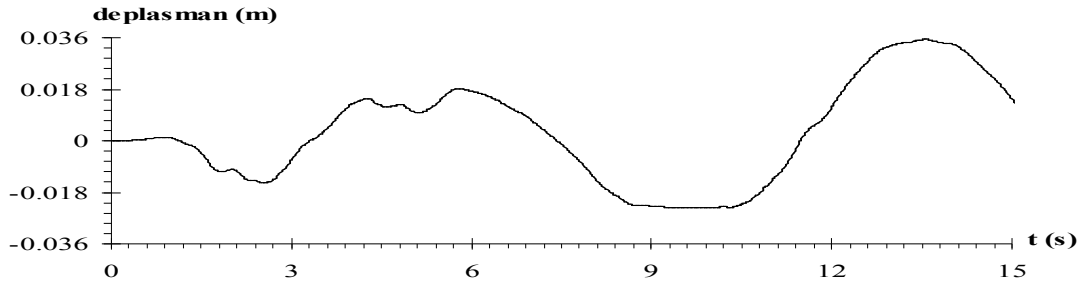
Şekil 11.17 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,50$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi



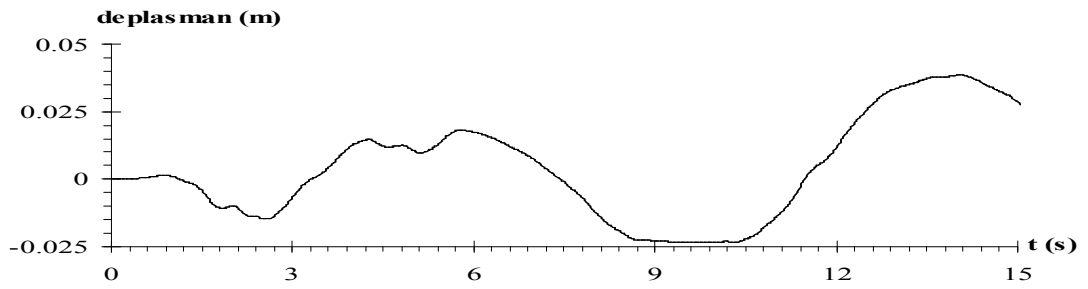
Şekil 11.18 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ (t/m), $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan), $\bar{F}_y = 0,25$ için doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi

11.1.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Son Katına Ait Doğrusal Olmayan Tepki Zaman Geçmişlerinin Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

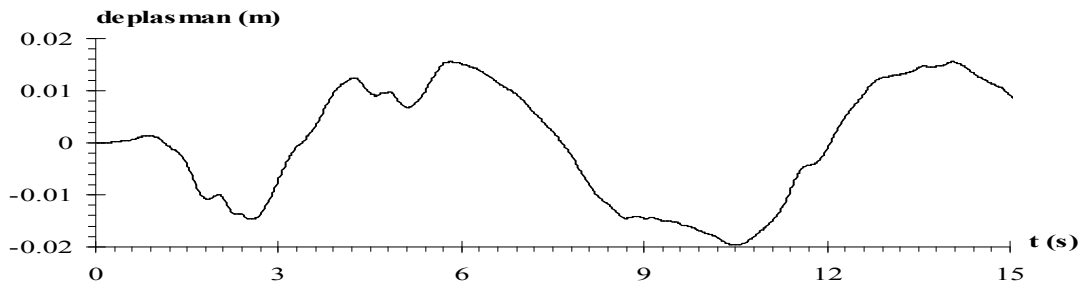
El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin birinci modda son katına ait spektral değerlerin okunduğu ve 0-15 sn zaman aralığında normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri için elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi zaman geçmişleri, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.19, Şekil 11.20, Şekil 11.21, Şekil 11.22, Şekil 11.23, Şekil 11.24, Şekil 11.25, Şekil 11.26, Şekil 11.27'de, 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.28, Şekil 11.29, Şekil 11.30, Şekil 11.31, Şekil 11.32, Şekil 11.33, Şekil 11.34, Şekil 11.35, Şekil 11.36'da, 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.37, Şekil 11.38, Şekil 11.39, Şekil 11.40, Şekil 11.41, Şekil 11.42, Şekil 11.43, Şekil 11.44, Şekil 11.45'de sunulmuştur.



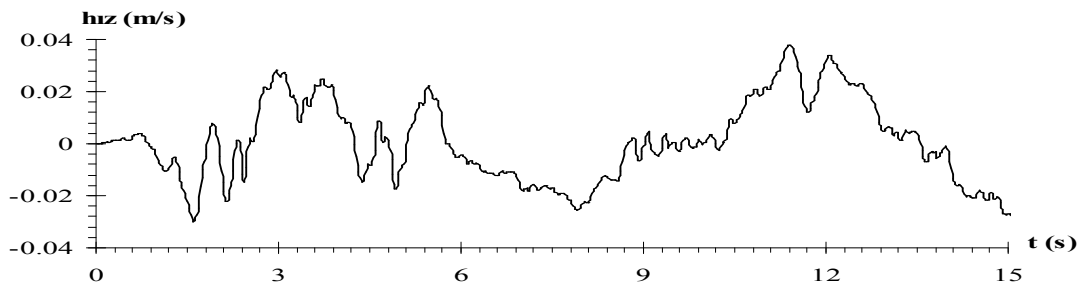
Şekil 11.19 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



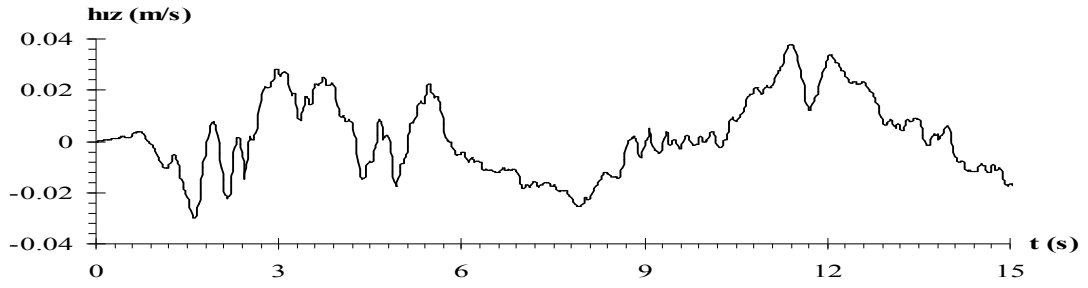
Şekil 11.20 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



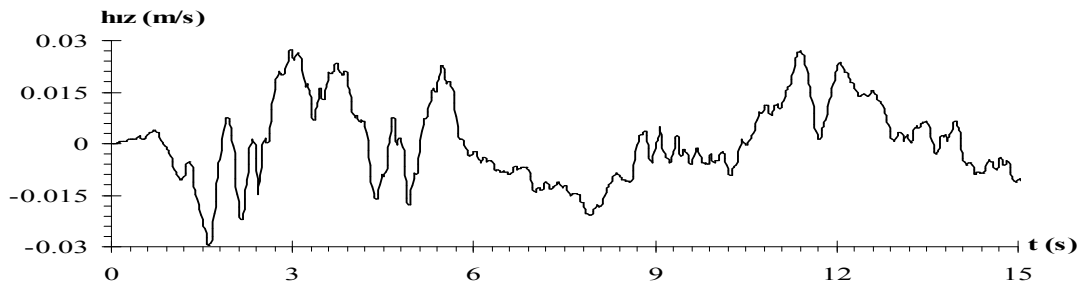
Şekil 11.21 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



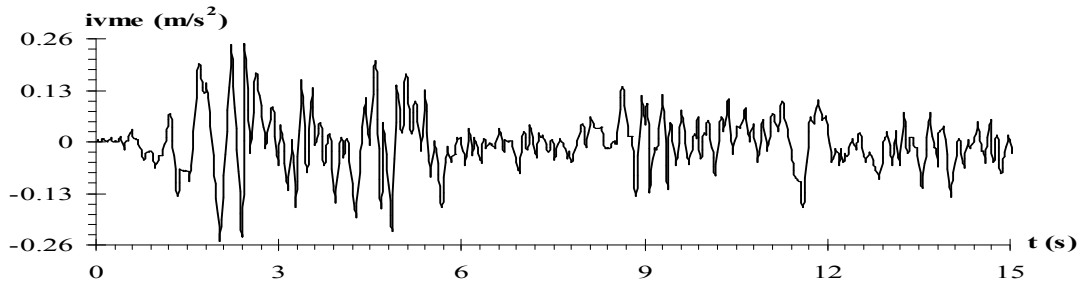
Şekil 11.22 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



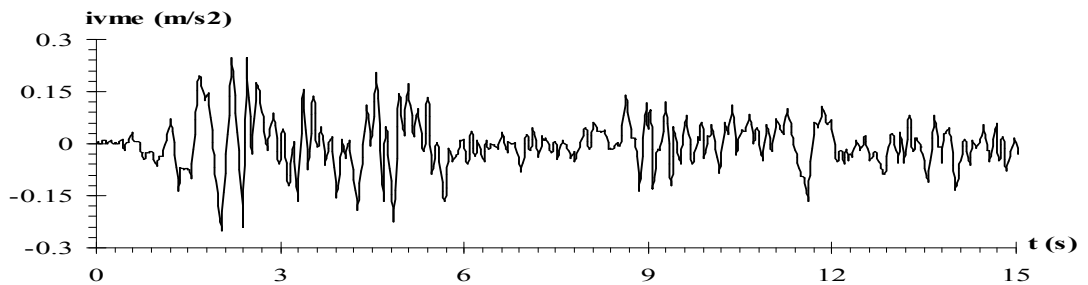
Şekil 11.23 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



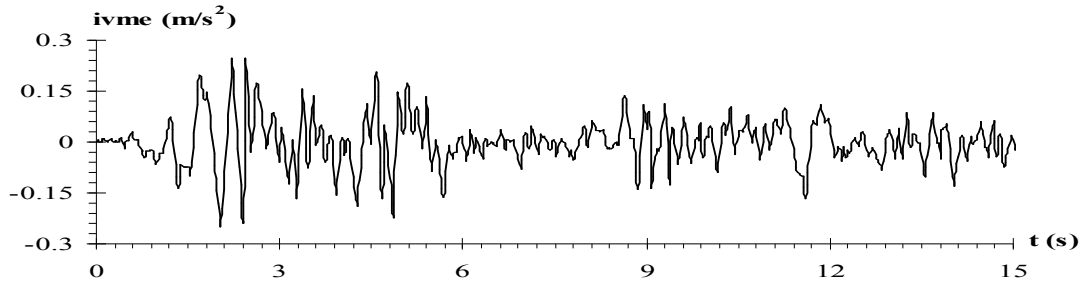
Şekil 11.24 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



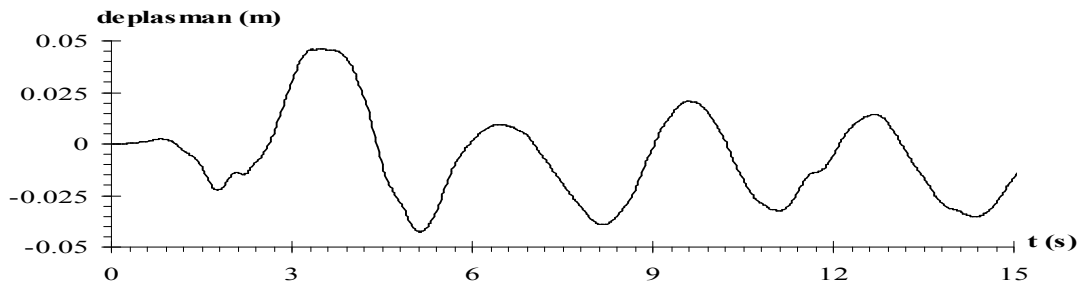
Şekil 11.25 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



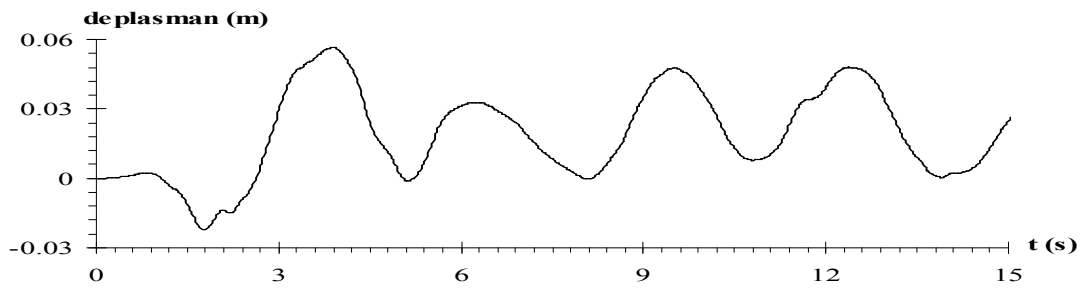
Şekil 11.26 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



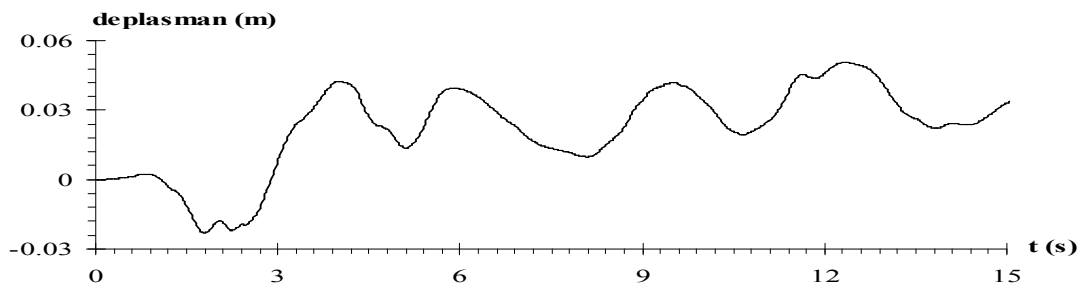
Şekil 11.27 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



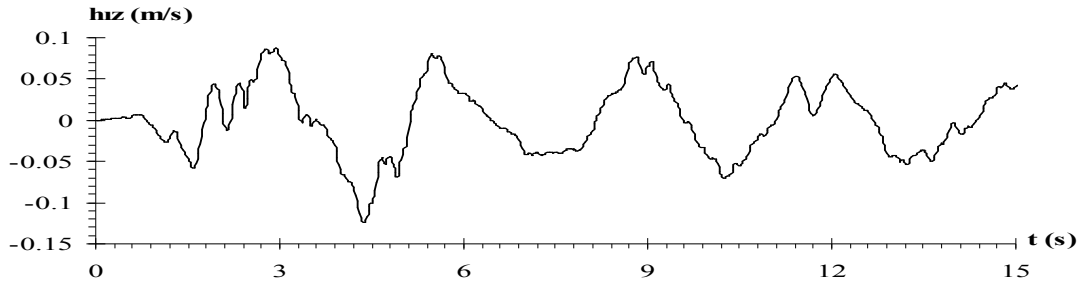
Şekil 11.28 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



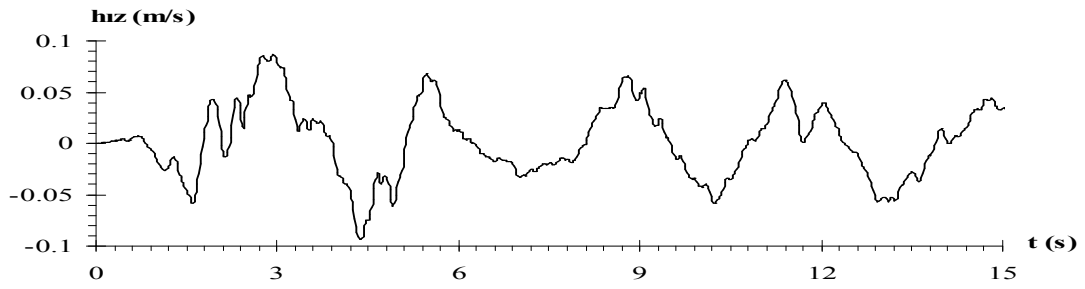
Şekil 11.29 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



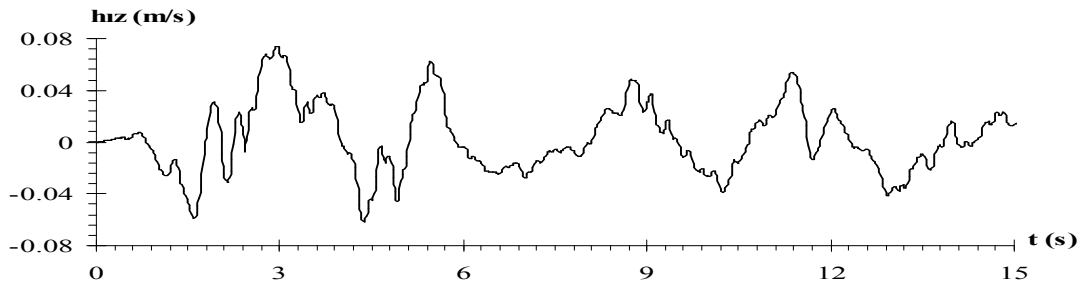
Şekil 11.30 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



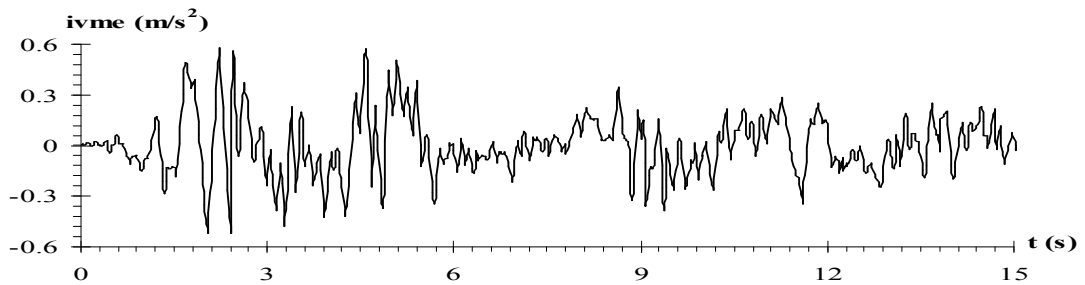
Şekil 11.31 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



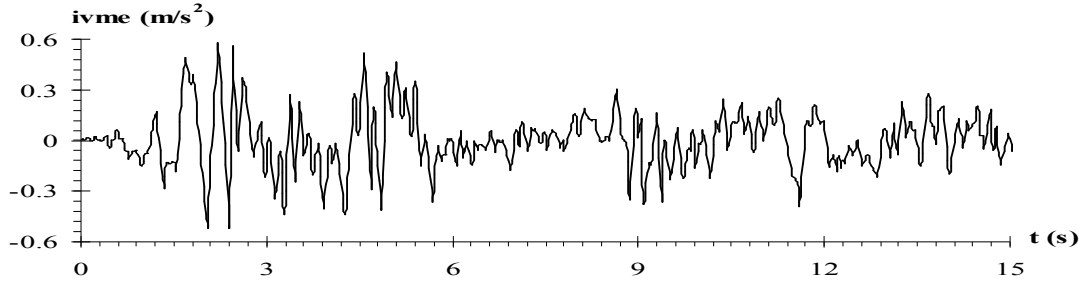
Şekil 11.32 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



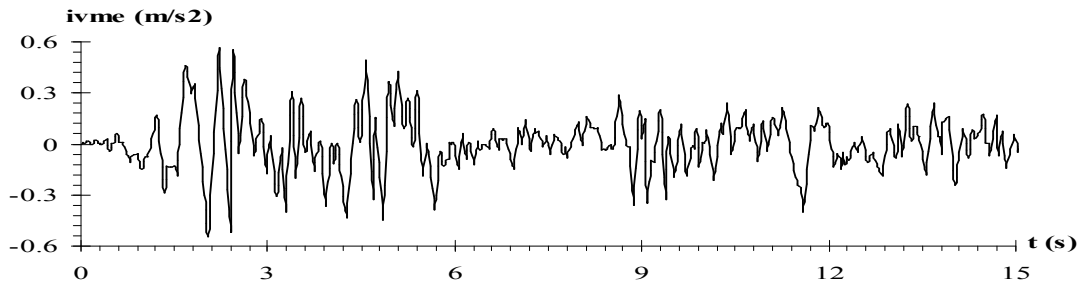
Şekil 11.33 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



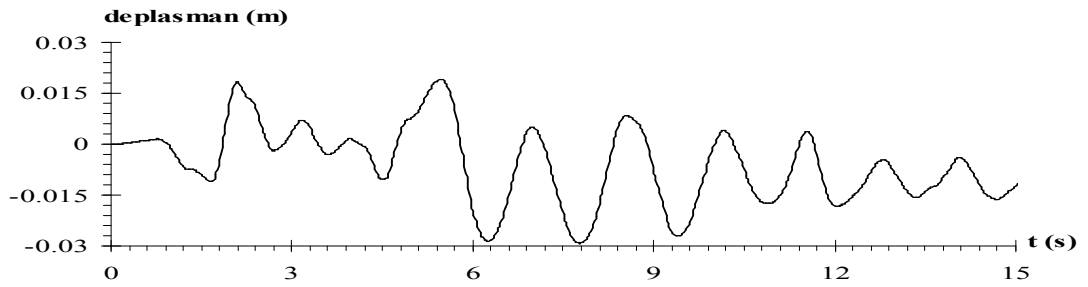
Şekil 11.34 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



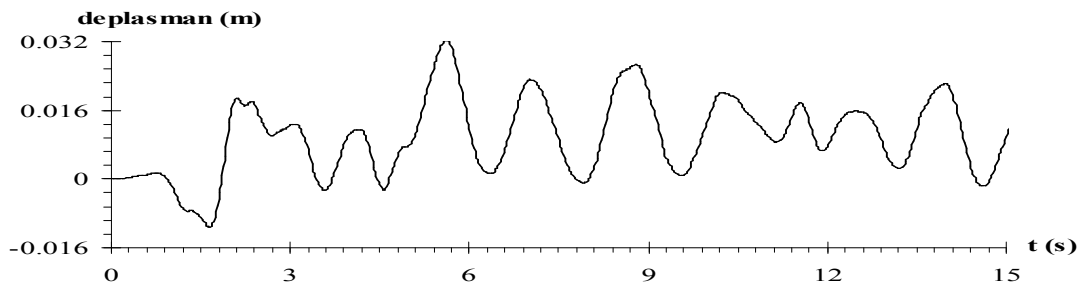
Şekil 11.35 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



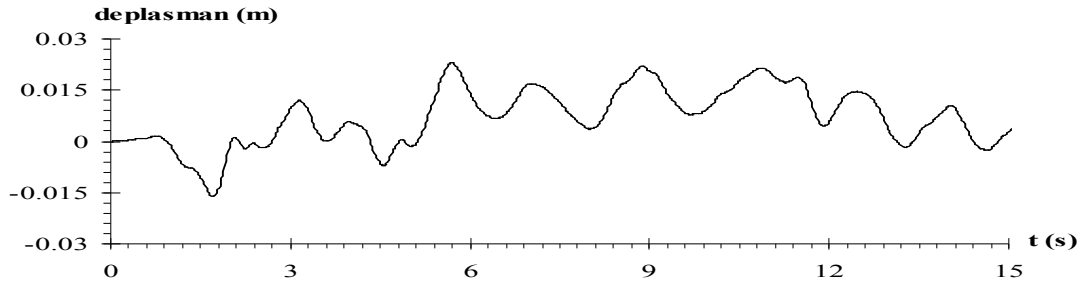
Şekil 11.36 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



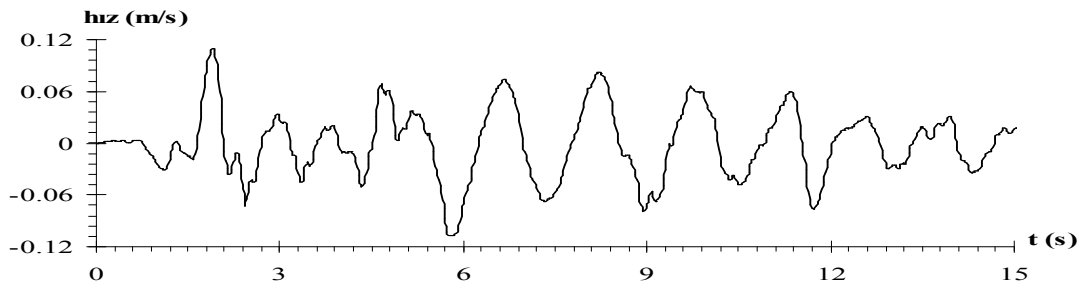
Şekil 11.37 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



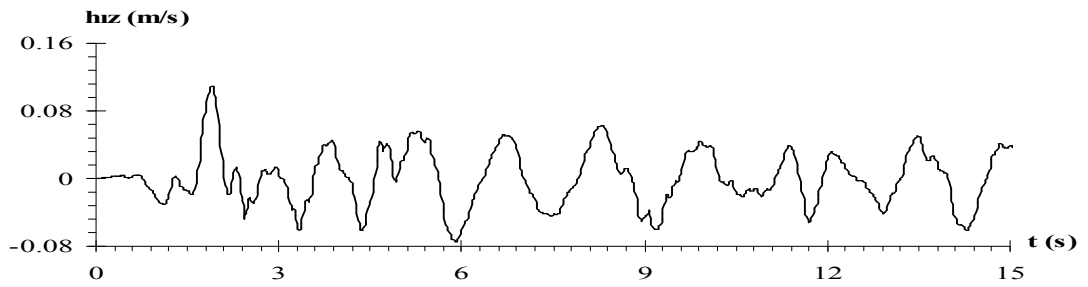
Şekil 11.38 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



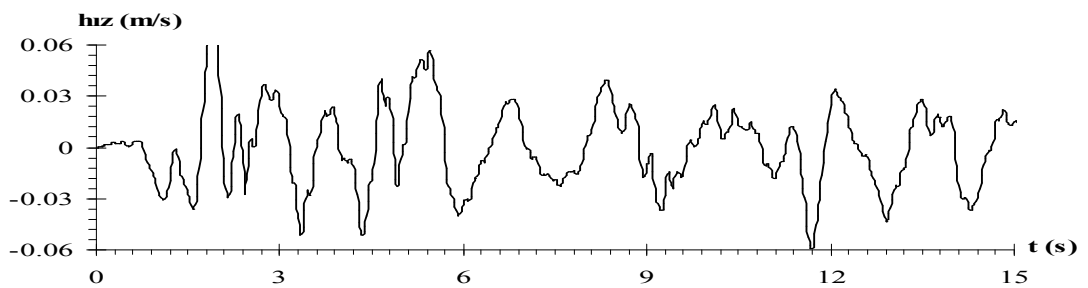
Şekil 11.39 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



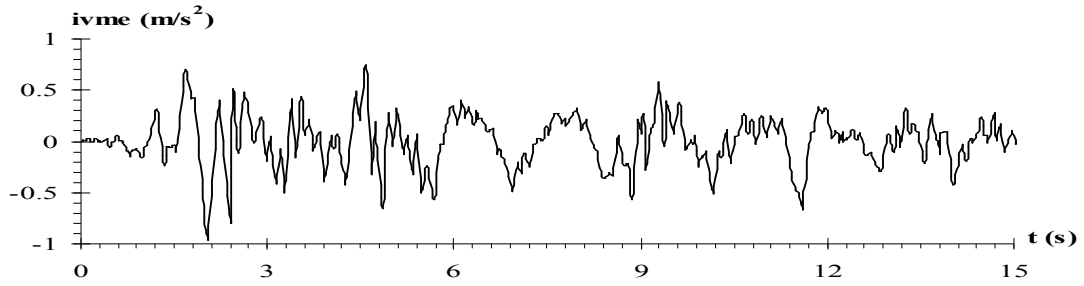
Şekil 11.40 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



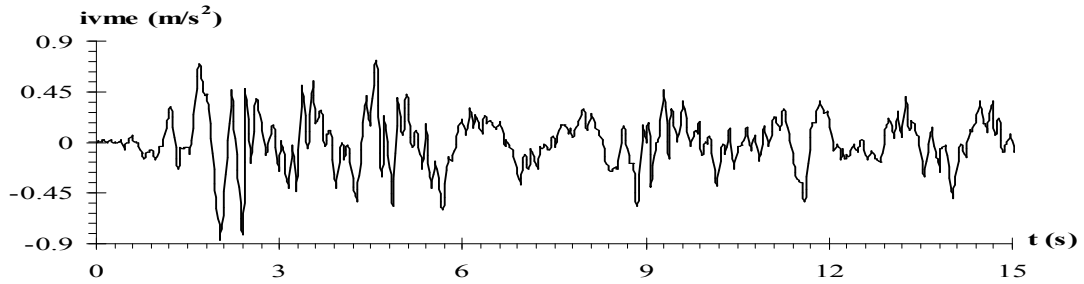
Şekil 11.41 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



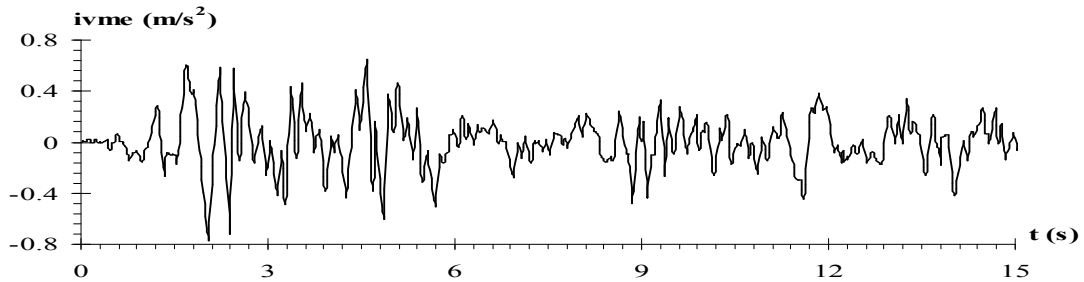
Şekil 11.42 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



Şekil 11.43 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_s=1000000$ t/m, $K_0=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



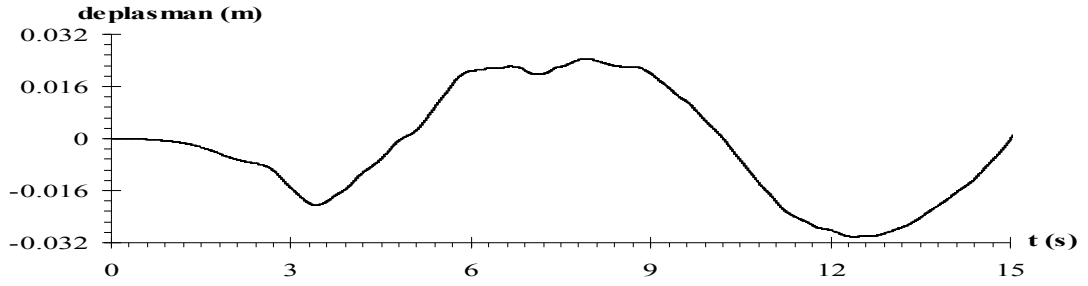
Şekil 11.44 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_s=1000000$ t/m, $K_0=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



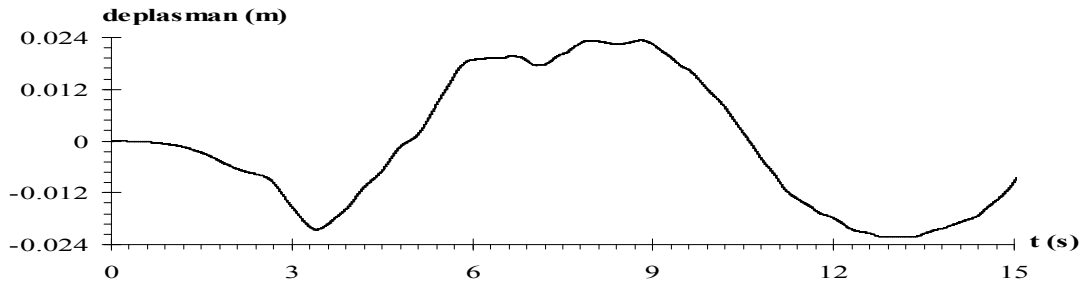
Şekil 11.45 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_s=1000000$ t/m, $K_0=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin birinci modda son katına ait spektral değerlerin okunduğu ve 0-15 sn zaman aralığında normalleştirilmiş akma dayanımının sırasıyla 0,75-0,50-0,25 değerleri için elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi zaman geçmişleri, ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.46, Şekil 10.47, Şekil 10.48, Şekil 10.49, Şekil 10.50, Şekil 10.51, Şekil 10.52, Şekil 10.53, Şekil 10.54'de, 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.55, Şekil 10.56, Şekil 10.57, Şekil 10.58, Şekil 10.59, Şekil 10.60, Şekil 10.61, Şekil

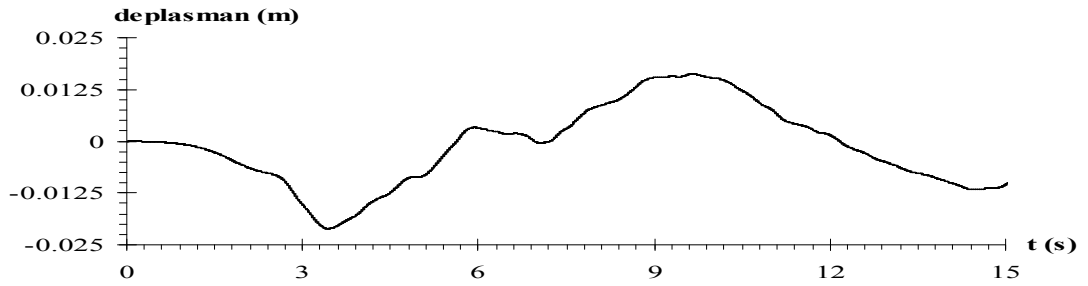
10.62, Şekil 10.63'de, 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 10.64, Şekil 10.65, Şekil 10.66, Şekil 10.67, Şekil 10.68, Şekil 10.69, Şekil 10.70, Şekil 10.71, Şekil 10.72'de sunulmuştur.



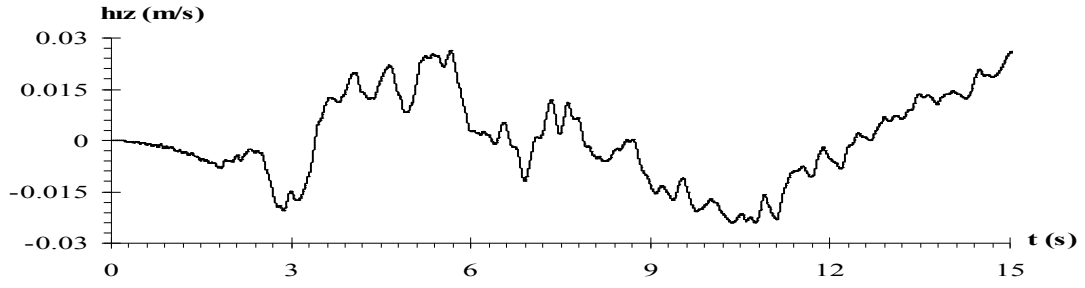
Şekil 11.46 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



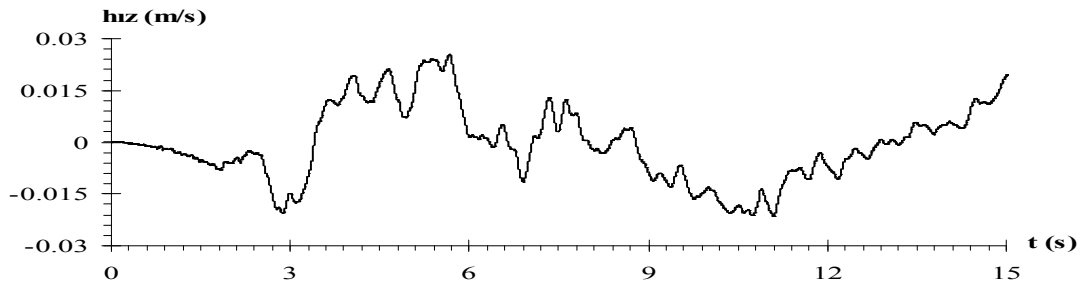
Şekil 11.47 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



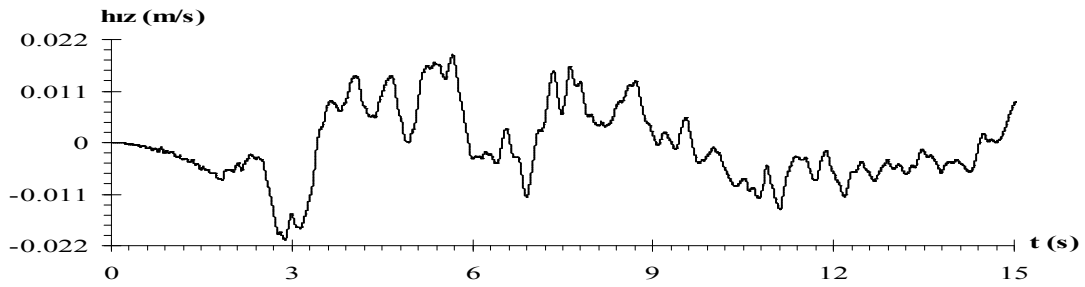
Şekil 11.48 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



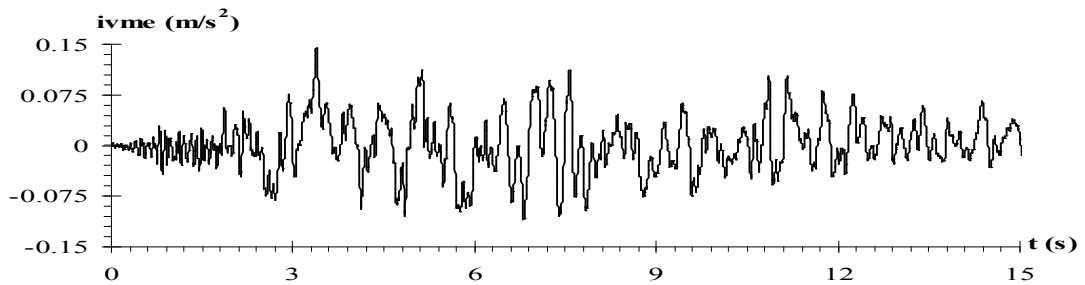
Şekil 11.49 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



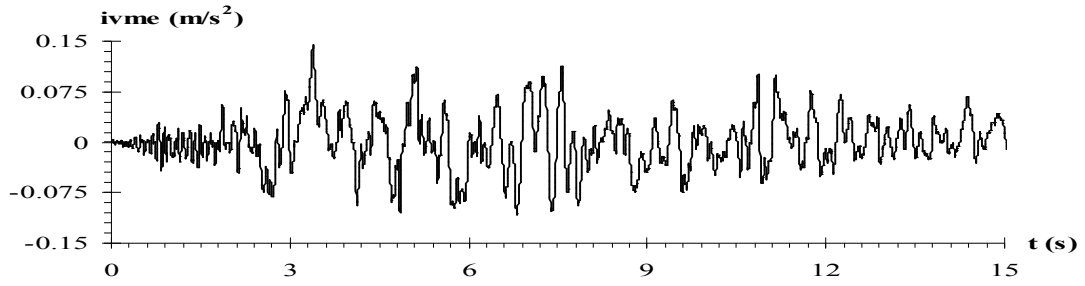
Şekil 11.50 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



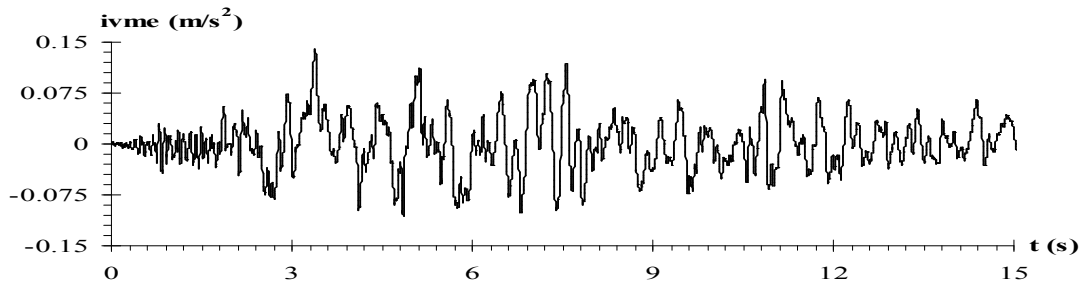
Şekil 11.51 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



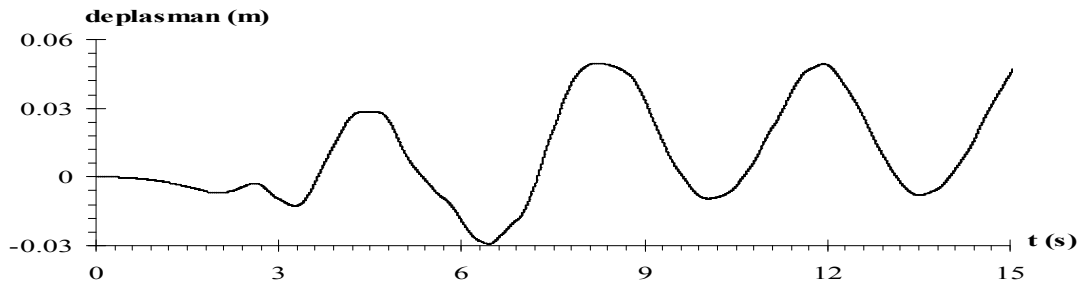
Şekil 11.52 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



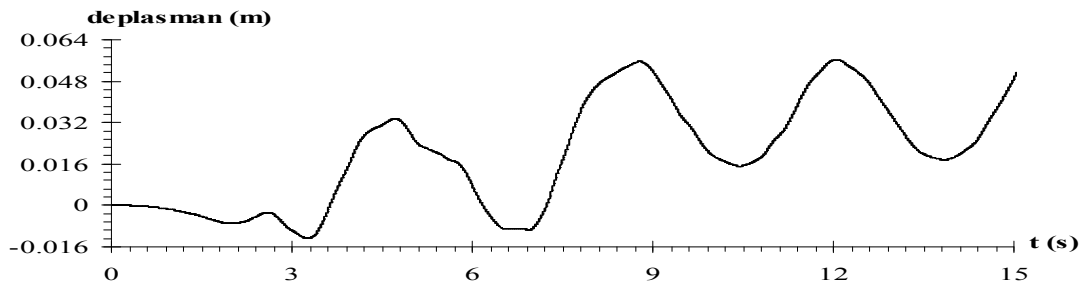
Şekil 11.53 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



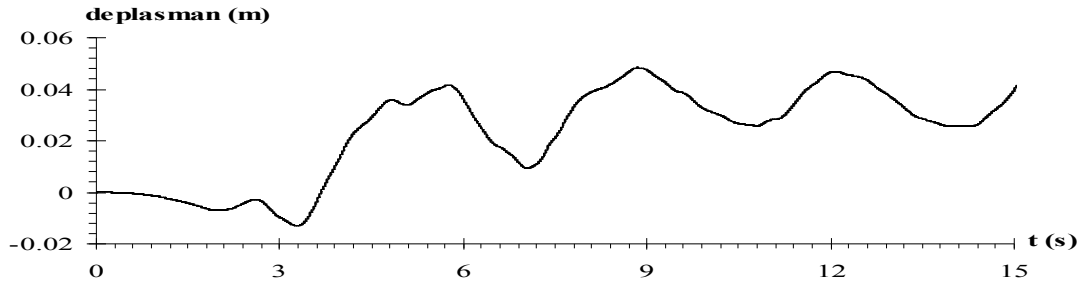
Şekil 11.54 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=10000$ t/m, $K_{\theta}=10000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



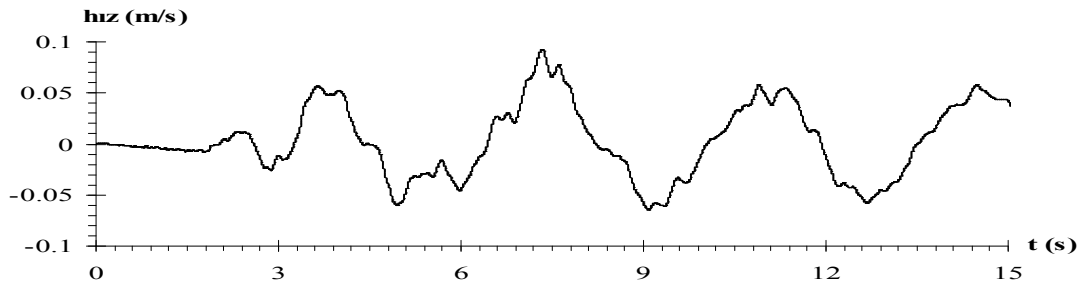
Şekil 11.55 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



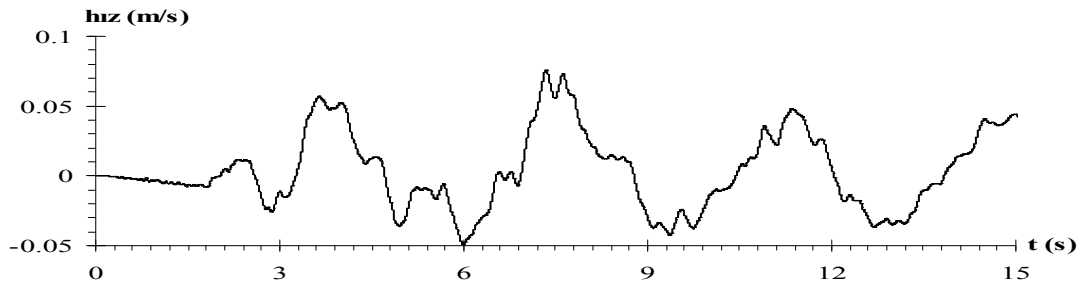
Şekil 11.56 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



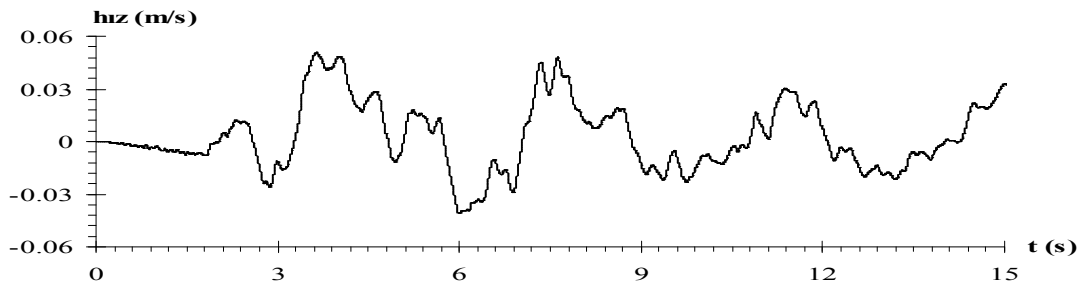
Şekil 11.57 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



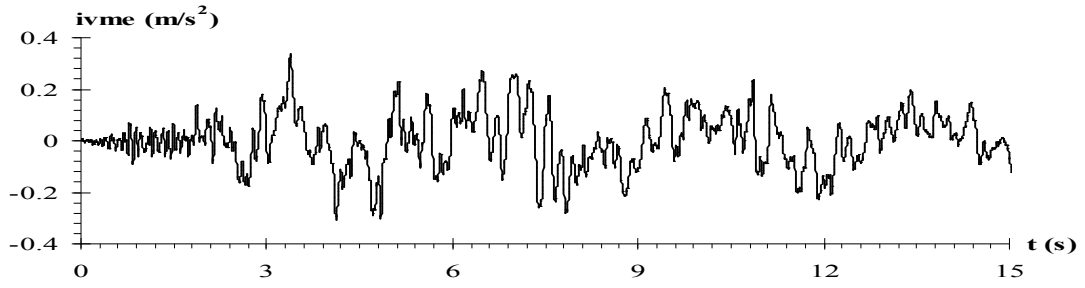
Şekil 11.58 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



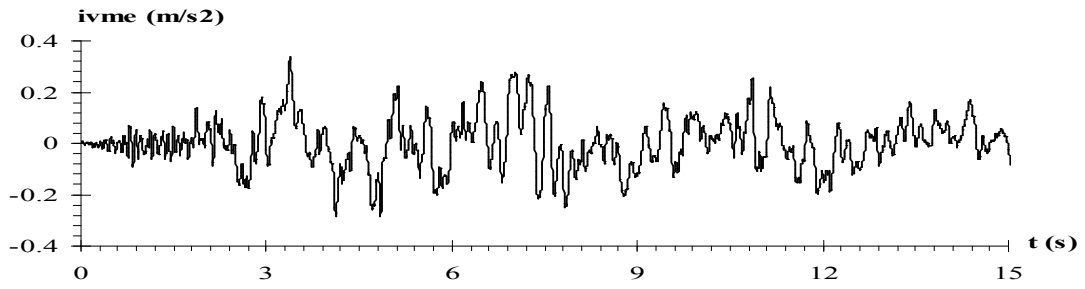
Şekil 11.59 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



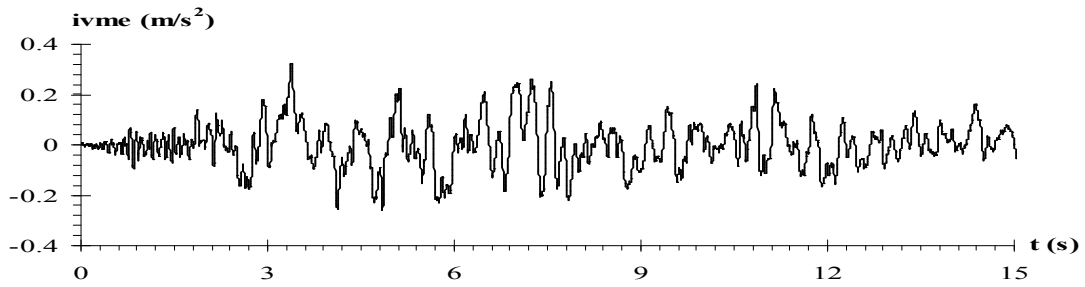
Şekil 11.60 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



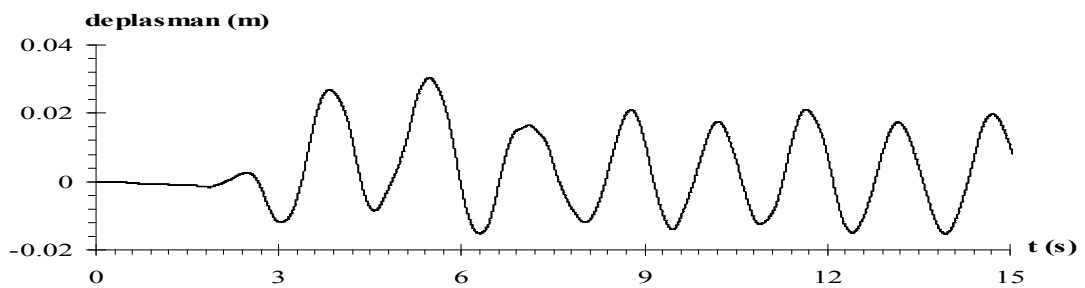
Şekil 11.61 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



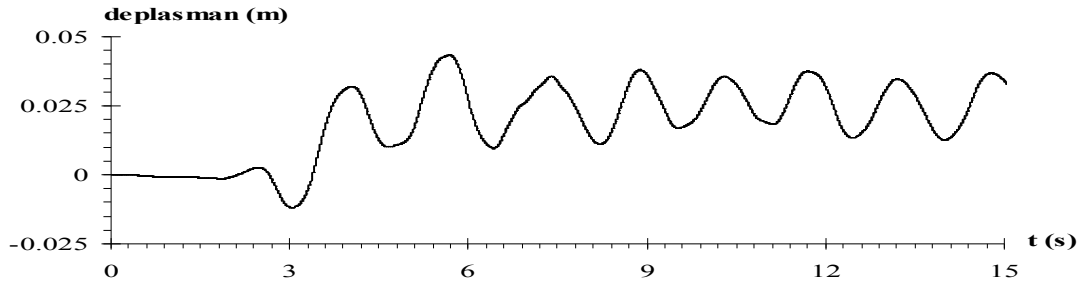
Şekil 11.62 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



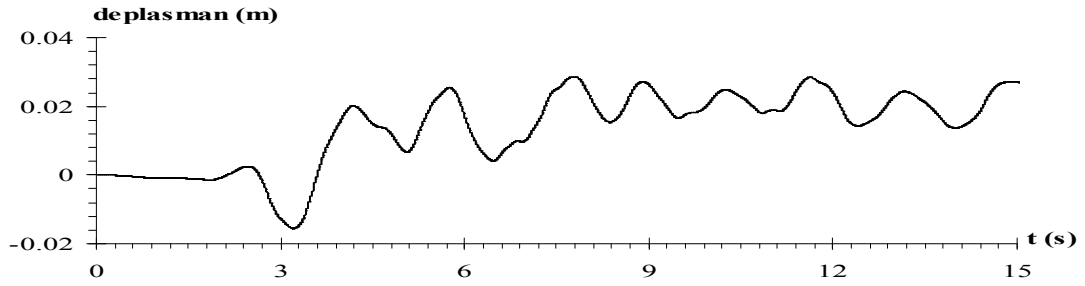
Şekil 11.63 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=100000$ t/m, $K_{\theta}=100000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



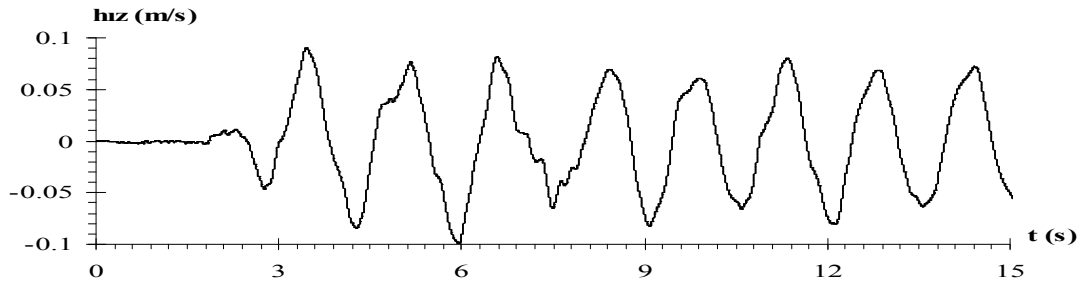
Şekil 11.64 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



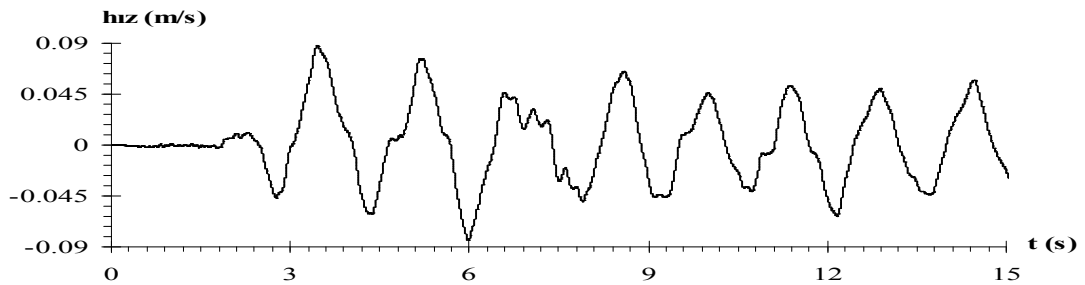
Şekil 11.65 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



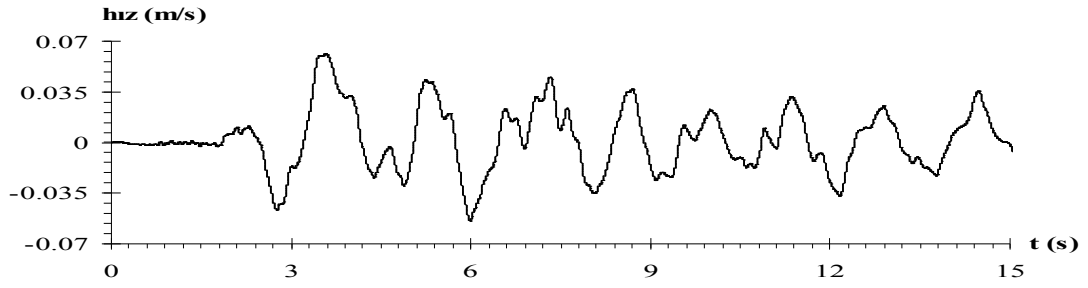
Şekil 11.66 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki deplasmanı zaman geçmişi



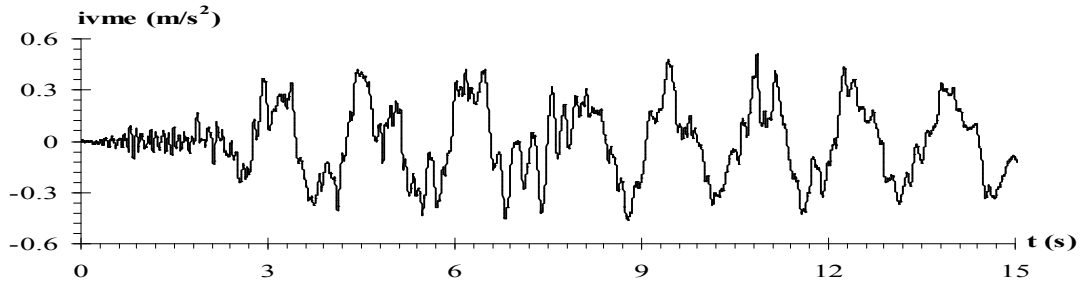
Şekil 11.67 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



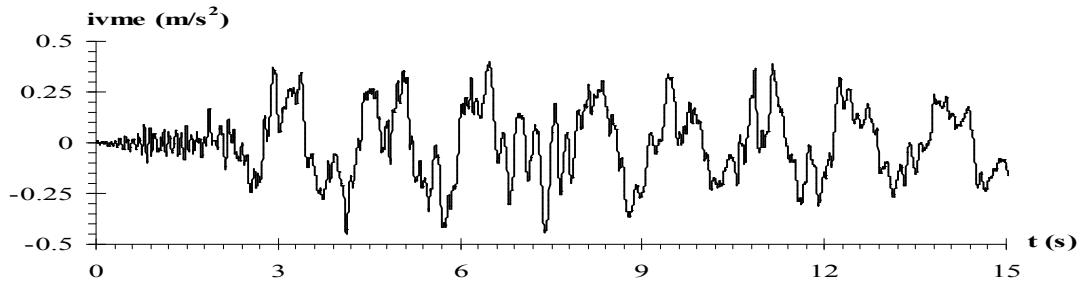
Şekil 11.68 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_{\delta}=1000000$ t/m, $K_{\theta}=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



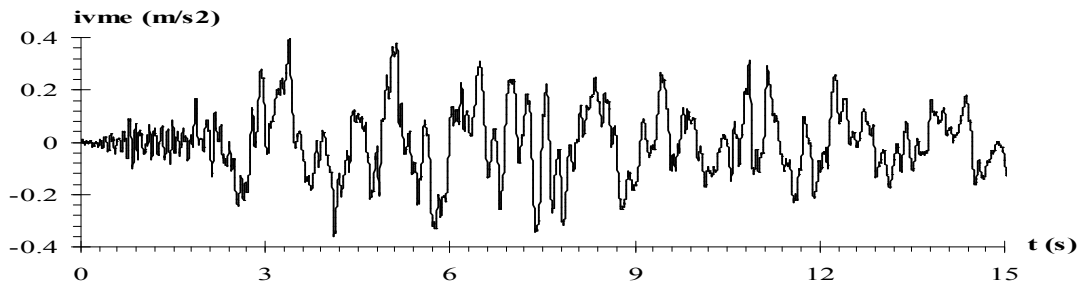
Şekil 11.69 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki hızı zaman geçmişi



Şekil 11.70 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,75$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 11.71 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,50$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi



Şekil 11.72 İzmit depremi etkisindeki beş katlı çerçevenin $K_\delta=1000000$ t/m, $K_\theta=1000000$ tm/radyan ve $\bar{F}_y = 0,25$ için birinci modda son kata ait tepki ivmesi zaman geçmişi

11.1.3 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Hesap Modelinin Süneklik Oranlarının Elde Edilmesine Ait Sayısal Uygulama

El-Centro ve İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisindeki beş katlı hesap modelinin son katına ait topaklanmış kütle seviyesindeki maksimum deplasmanı (u_m), normalleştirilmiş akma dayanımı değerine göre hesaplanan akma dayanımı ve akma deplasmanı için yapılan doğrusal olmayan dinamik analiz sonucu elde edilen deplasman zaman-geçmişlerinden ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 11.4'deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 11.4 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan son kata ait maksimum deplasman (u_m) değerleri

K_δ, K_θ	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,03m$	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,0304m$
	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,032m$	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0434m$
	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,023m$	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,0319m$
100000	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,0401m$	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,0302m$
	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0406m$	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0234m$
	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,02176m$	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,0211m$
1000000	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,04623m$	$\bar{F}_y = 0,75 \Rightarrow u_m = 0,052m$
	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0566m$	$\bar{F}_y = 0,50 \Rightarrow u_m = 0,0612m$
	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,052m$	$\bar{F}_y = 0,25 \Rightarrow u_m = 0,0514m$

Doğrusal dinamik analiz sonucu Bölüm 9.2 de hesaplanan son kata ait maksimum deplasman değerleri, doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkisi için yukarıda hesaplanan maksimum deplasman değerleri ve normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri kullanılarak El-Centro ve İzmit depremleri için (7.26) denkleminde elde

edilen süneklik oranları ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Tablo 11.5’de sunulmuştur.

Tablo 11.5 Ötelenme ve dönme yay katsayılarının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan süneklik oranları (μ) değerleri

K₈, K₀	El-Centro Depremi	İzmit depremi
10000	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0401}{0,0486} \frac{1}{0,75} = 1,832$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0406}{0,0486} \frac{1}{0,50} = 2,932$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,02176}{0,0486} \frac{1}{0,25} = 4,214$	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0302}{0,0387} \frac{1}{0,75} = 1,958$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0234}{0,0387} \frac{1}{0,50} = 4,193$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0211}{0,0387} \frac{1}{0,25} = 6,164$
100000	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0401}{0,0486} \frac{1}{0,75} = 1,1$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0406}{0,0486} \frac{1}{0,50} = 1,672$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,02176}{0,0486} \frac{1}{0,25} = 1,791$	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0302}{0,0387} \frac{1}{0,75} = 1,04$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0234}{0,0387} \frac{1}{0,50} = 1,209$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0211}{0,0387} \frac{1}{0,25} = 2,181$
1000000	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0401}{0,0486} \frac{1}{0,75} = 1,498$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0406}{0,0486} \frac{1}{0,50} = 2,75$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,02176}{0,0486} \frac{1}{0,25} = 5,053$	$\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0302}{0,0387} \frac{1}{0,75} = 1,792$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0234}{0,0387} \frac{1}{0,50} = 3,163$ $\mu = \frac{u_m}{u_0} \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{0,0211}{0,0387} \frac{1}{0,25} = 5,313$

Bölüm 11.1’de beş katlı çerçevelere ait hesap modeli için yapılan doğrusal olmayan sismik analiz uygulamasında, normalleştirilmiş akma dayanımına göre akma dayanımı ve akma deplasmanları elde edilmiş sistemlerin doğrusal olmayan tepki analizi yapılmış; tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesine ait zaman geçmiş grafikleri elde edilmiş; bu grafiklerden okunan maksimum deplasmanlar kullanılarak tek katlı hesap modellerinin süneklik oranları hesaplanmıştır.

El-Centro ve İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisinde olan zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelere ait hesap modelinin doğrusal olmayan dinamik analizi sonucu elde edilen süneklik oranları, tüm yay katsayısı değerleri için azalan normalleştirilmiş akma dayanımı değerlerine karşılık artma göstermiştir..

11.2 Zemine Yarı-Rijit Bağlı Beş Katlı Çerçevelere Ait Hesap Modeli İçin Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumlarının Elde edilmesine Ait Sayısal Uygulamaları

Bu uygulamada, periyodu 3 sn. kadar olan, El-Centro ve İzmit depremleri etkisi altındaki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı sönümsüz hesap modelinin ötelenme ve dönme yay katsayılarının 10000-100000-1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için Newmark- β metodu ile doğrusal olmayan spektral analiz yapılmış ve bu periyotlara karşılık gelen son kata ait deplasman, hız ve ivme tepki spektrumları süneklik oranının 1, 2, 4 ve 8 değerleri için çizilmiştir.

Bu amaçla, her bir periyod için, normalleştirilmiş akma dayanımının farklı değerlerine göre doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmış ve (7.26) denklemi kullanılarak her bir normalleştirilmiş akma dayanımı değerine karşılık gelen süneklik oranı hesaplanmıştır. Daha sonra, normalleştirilmiş akma dayanımının ve süneklik oranının logaritmik değerleri arasında doğrusal interpolasyon yapılarak, süneklik oranının 2, 4 ve 8 değerlerine karşılık gelen normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri elde edilmiş; periyotlara göre hesaplanan normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri El-Centro ve İzmit depremlerinin güçlü yer ivmeleri etkisindeki beş katlı hesap modeli için sırasıyla Tablo 11.6 ve Tablo 11.7'de sunulmuştur.

Tablo 11.6 El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin, süneklik oranının (μ) 2, 4 ve 8 değerlerine göre ötelenme ve dönme yay katsayısının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan normalleştirilmiş akma dayanımı (\bar{F}_y) değerleri

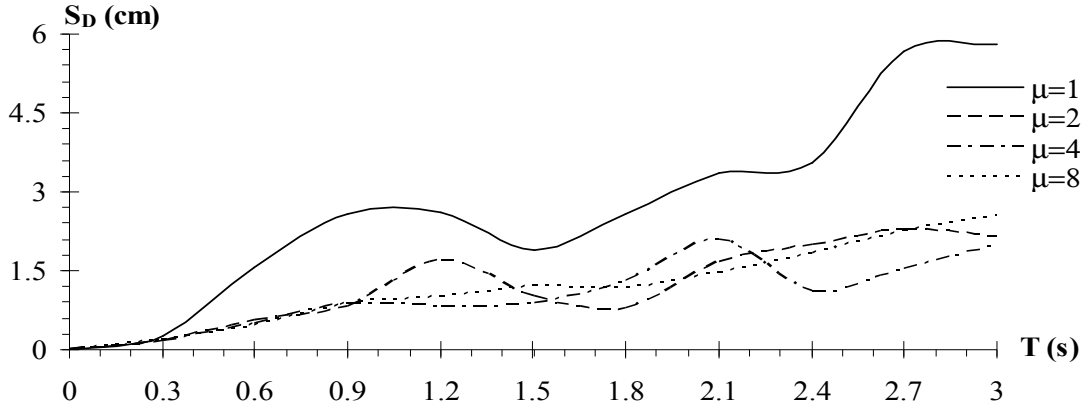
T (s)	μ	\bar{F}_y			T (s)	μ	\bar{F}_y		
		Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)					Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)		
		10000	100000	1000000			10000	100000	1000000
0,3	2	0,305	0,567	0,66	1,8	2	0,1528	0,2935	0,341
	4	0,156	0,3	0,35		4	0,1244	0,24	0,279
	8	0,0874	0,16917	0,2		8	0,0573	0,1102	0,1282
0,6	2	0,179	0,626	0,73	2,1	2	0,245	0,472	0,553
	4	0,075	0,144	0,168		4	0,154	0,299	0,349
	8	0,037	0,06682	0,0775		8	0,0546	0,1055	0,123
0,9	2	0,158	0,305	0,356	2,4	2	0,28	0,56	0,66
	4	0,086	0,165	0,192		4	0,078	0,151	0,335
	8	0,0421	0,0816	0,095		8	0,0635	0,123	0,142
1,2	2	0,32	0,62	0,72	2,7	2	0,202	0,388	0,455
	4	0,0775	0,15	0,18		4	0,0668	0,129	0,149
	8	0,0473	0,0918	0,1062		8	0,0495	0,0955	0,111
1,5	2	0,261	0,505	0,59	3	2	0,185	0,356	0,415
	4	0,114	0,219	0,255		4	0,085	0,164	0,192
	8	0,079	0,152	0,158		8	0,055	0,107	0,124

Tablo 11.7 İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin, süneklik oranının (μ) 2, 4 ve 8 değerlerine göre ötelenme ve dönme yay katsayısının sırasıyla 10000, 100000 ve 1000000 (t/m; tm/radyan) değerleri için hesaplanan normalleştirilmiş akma dayanımı (\bar{F}_y) değerleri

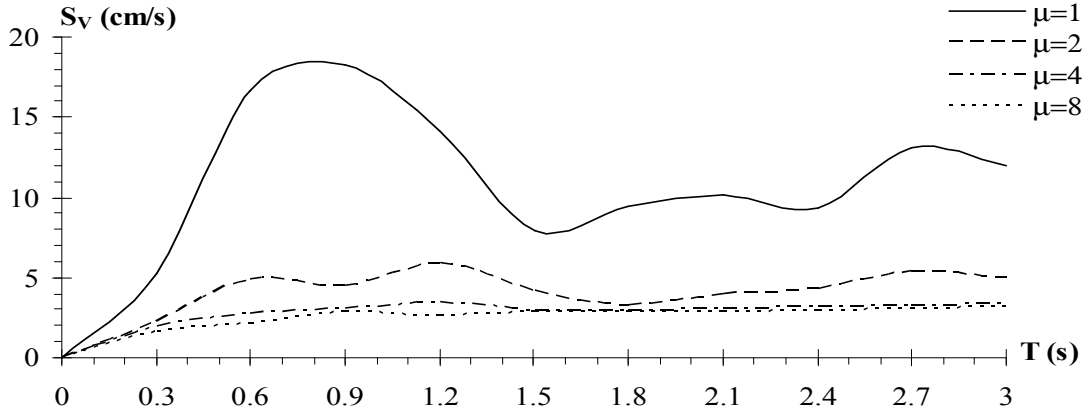
T (s)	μ	\bar{F}_y			T (s)	μ	\bar{F}_y		
		Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)					Ötelenme ve Dönme Yay Katsayısı (K_δ, K_θ) (t/m; tm/radyan)		
		10000	100000	1000000			10000	100000	1000000
0,3	2	0,21	0,405	0,471	1,8	2	0,326	0,63	0,735
	4	0,147	0,283	0,33		4	0,187	0,361	0,42
	8	0,08385	0,1617	0,1882		8	0,0558	0,108	0,1259
0,6	2	0,203	0,39	0,456	2,1	2	0,4286	0,835	0,96
	4	0,1095	0,212	0,247		4	0,28	0,54	0,627
	8	0,0775	0,0847	0,175		8	0,1372	0,265	0,309
0,9	2	0,403	0,795	0,92	2,4	2	0,476	0,924	0,96
	4	0,1615	0,3117	0,363		4	0,361	0,7	0,808
	8	0,1118	0,2153	0,2508		8	0,1507	0,2925	0,339
1,2	2	0,476	0,92	0,93	2,7	2	0,565	0,98	0,99
	4	0,2205	0,426	0,497		4	0,426	0,82	0,94
	8	0,1067	0,2065	0,241		8	0,1856	0,3571	0,4072
1,5	2	0,339	0,652	0,76	3	2	0,491	0,947	0,999
	4	0,232	0,446	0,519		4	0,3	0,579	0,675
	8	0,0908	0,175	0,204		8	0,148	0,2852	0,332

El-Centro depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı yapının hesap modelinin son katı için, Tablo 11.1' de sunulan normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri kullanılarak süneklik oranının (μ) 1, 2, 4 ve 8 değerlerine göre elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.73, Şekil 11.74 ve Şekil 11.75'de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.76, Şekil 11.77

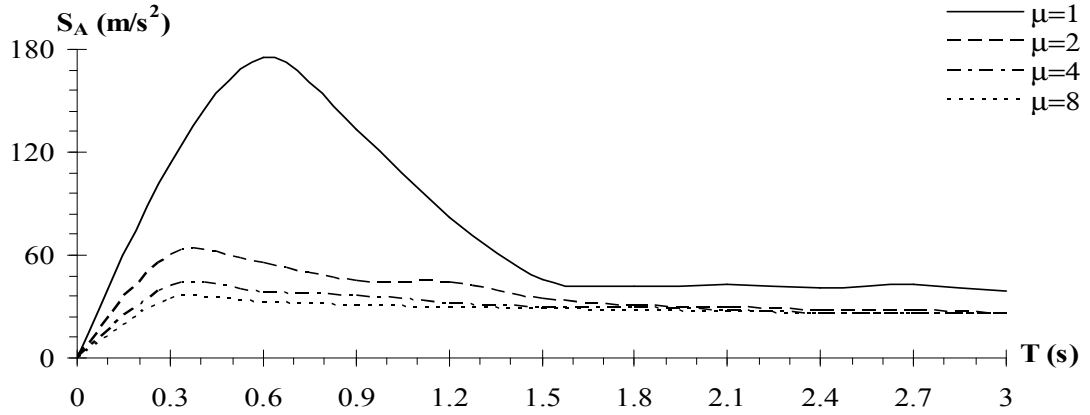
ve Şekil 11.78’de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.79, Şekil 11.80 ve Şekil 11.81’de sunulmuştur.



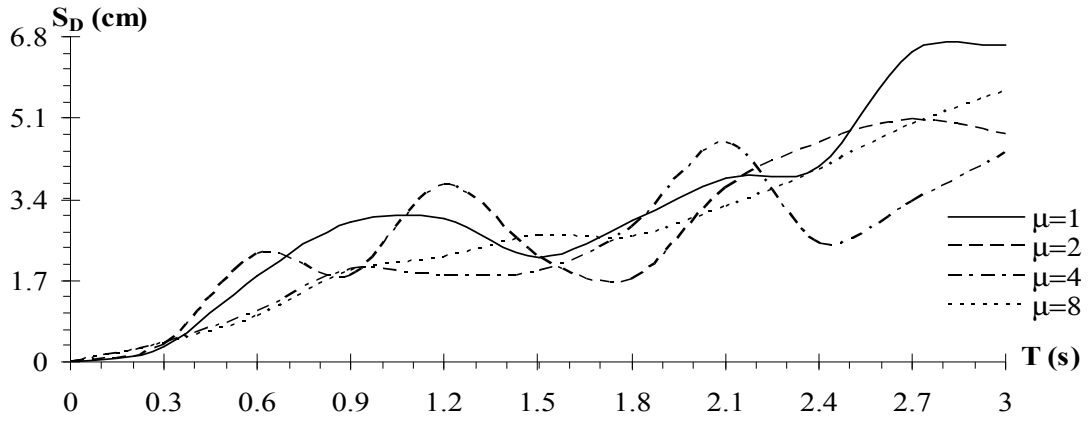
Şekil 11.73 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan deplasman spektrumu



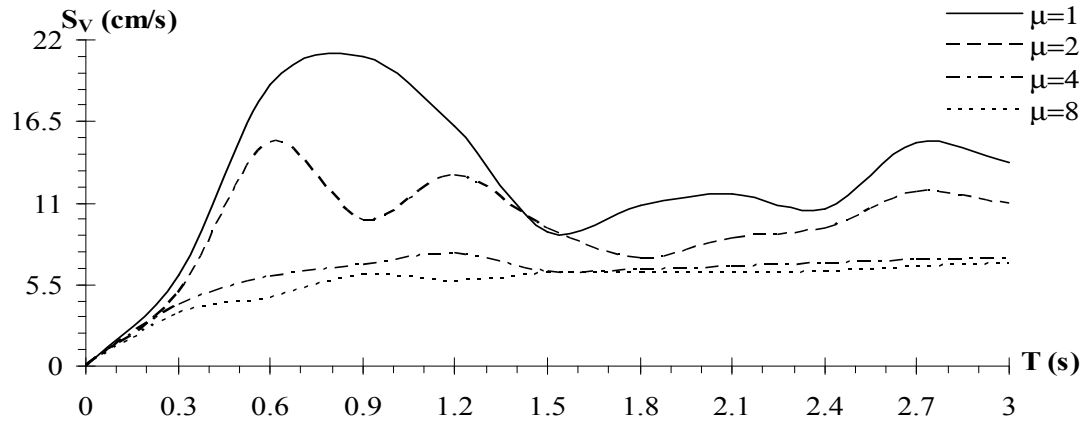
Şekil 11.74 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan hız spektrumu



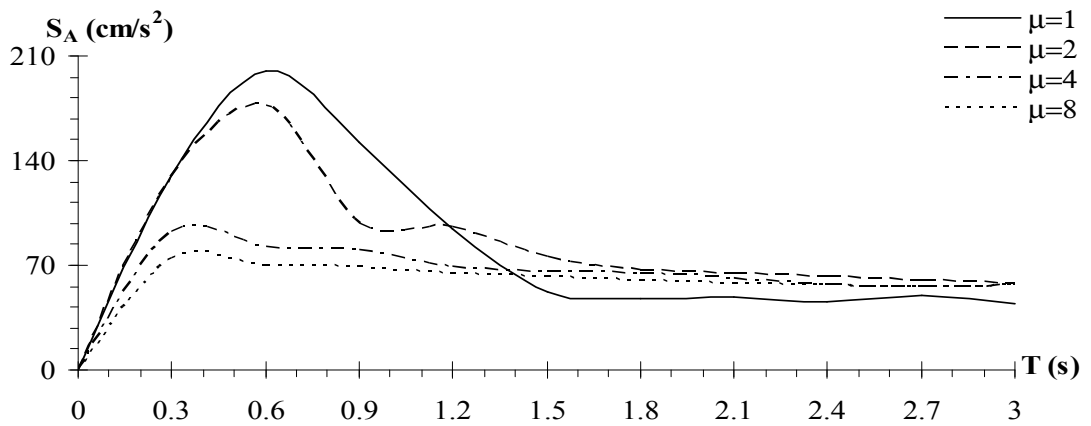
Şekil 11.75 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=10000$ (t/m) $K_{\theta}=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan ivme spektrumu



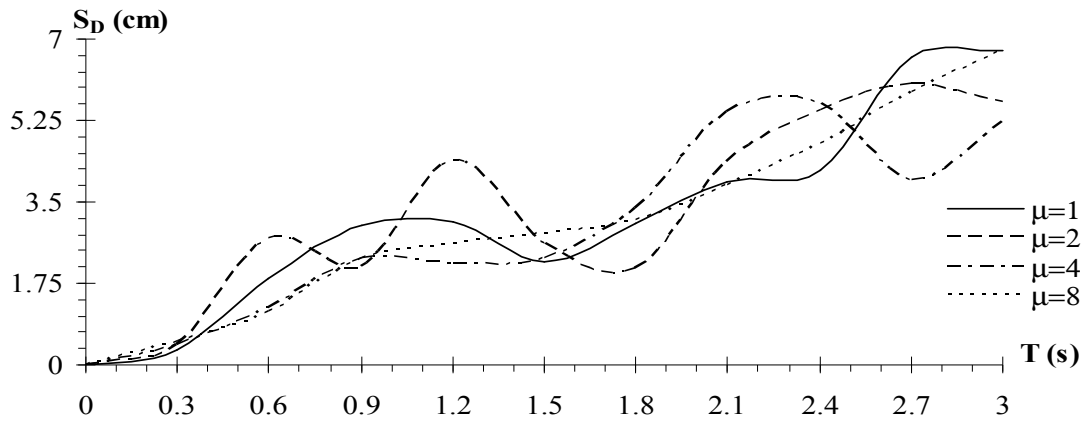
Şekil 11.76 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan deplasman spektrumu



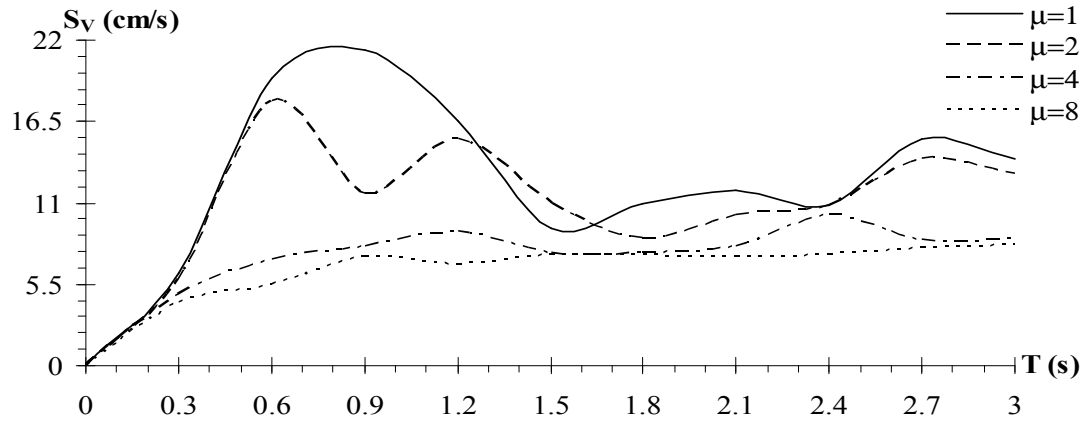
Şekil 11.77 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan hız spektrumu



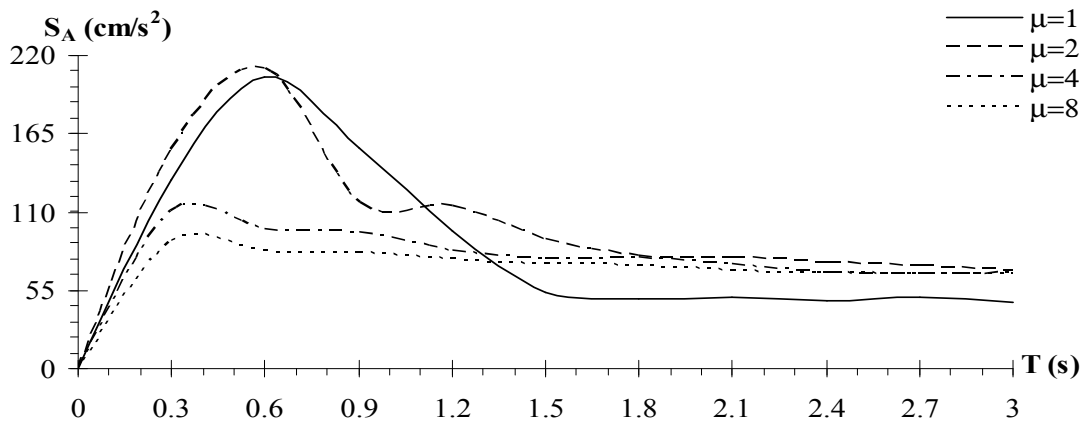
Şekil 11.78 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan ivme spektrumu



Şekil 11.79 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan deplasman spektrumu



Şekil 11.80 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan hız spektrumu

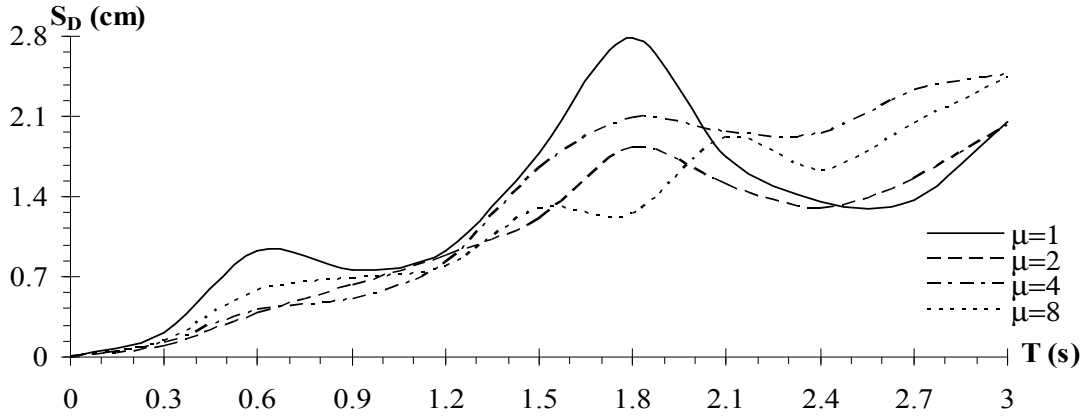


Şekil 11.81 El-Centro depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan ivme spektrumu

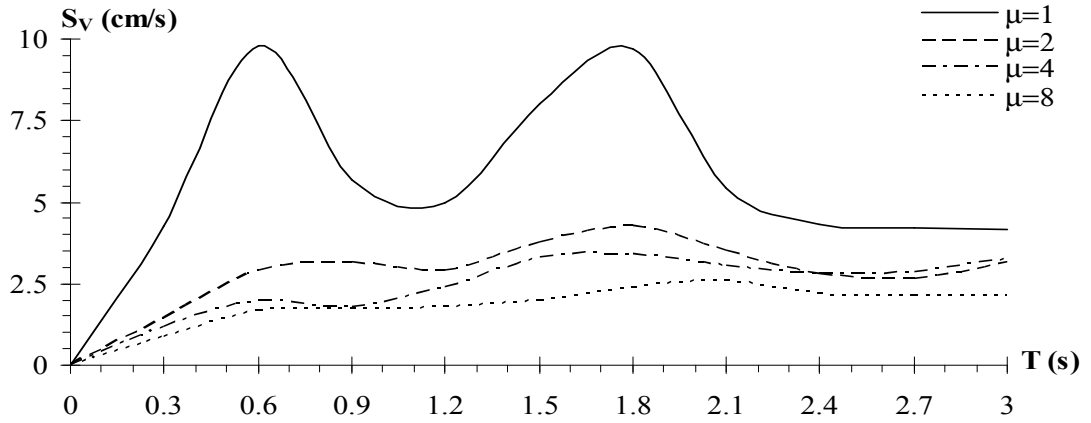
İzmit depreminin güçlü yer ivmeleri etkisindeki zemine yarı-rijit bağlı beş katlı yapının hesap modelinin son katı için, Tablo 11.2’de sunulan normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri kullanılarak süneklik oranının (μ) 1, 2, 4 ve 8 değerlerine göre elde edilen deplasman, hız ve ivme spektrumları, ötelenme ve dönme yay katsayısının 10000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.82, Şekil 11.83 ve Şekil 11.84’de; 100000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.85, Şekil 11.86 ve Şekil 11.87’de; 1000000 (t/m; tm/radyan) değeri için sırasıyla Şekil 11.88, Şekil 11.89 ve Şekil 11.90’da sunulmuştur.

Zemine yarı-rijit bağlı beş katlı çerçevelere ait hesap modelinin doğrusal olmayan tepki spektrumlarının elde edildiği Bölüm 11.2’ de, süneklik oranlarının 2, 4 ve 8 değerine göre hesaplanan ve Tablo 11.1 ve Tablo 11.2’ de sunulan normalleştirilmiş akma dayanımı değerleri, hem El-Centro hem de İzmit depremi güçlü yer ivmeleri etkisindeki hesap modelinin ötelenme ve dönme yay katsayısı değerlerinin artırılmasıyla artma göstermiştir.

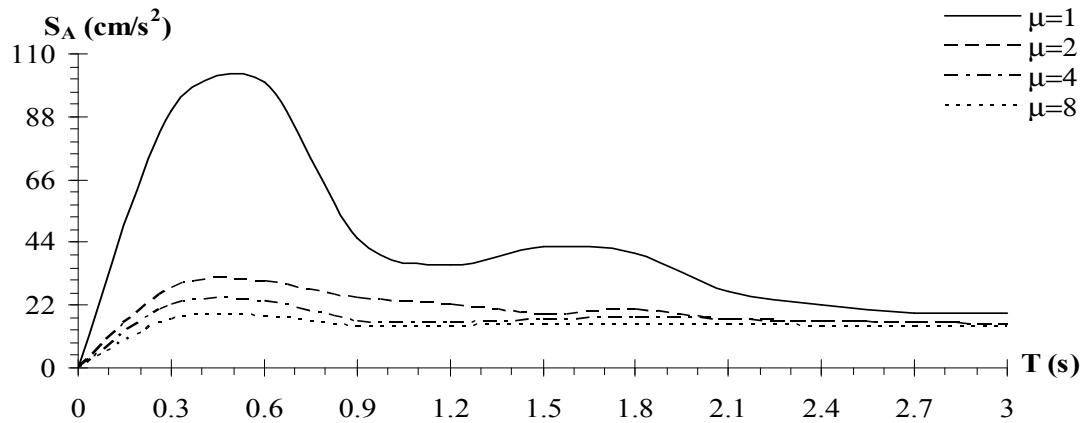
Şekil 11.73-11.81 ve Şekil 11.82-11.90’de sunulan grafiklerde üç farklı yay katsayısı değeri için elde edilen spektral eğriler kullanılarak periyodu 0 ile 3 sn arasında olan bir çerçevenin sırasıyla El-Centro ve İzmit depremleri kuzey-güney bileşeninin güçlü yer ivmeleri etkisinde farklı süneklik oranları için göstereceği doğrusal olmayan spektral deplasman, spektral hız ve spektral ivme değerleri ilgili yay katsayısına bağlı çizilen grafikten okunabilir. Grafiklerdeki $\mu=1$ durumu, beş katlı hesap modelinin doğrusal davrandığı durumda elde edilen spektrum eğrilerine karşılık gelmektedir.



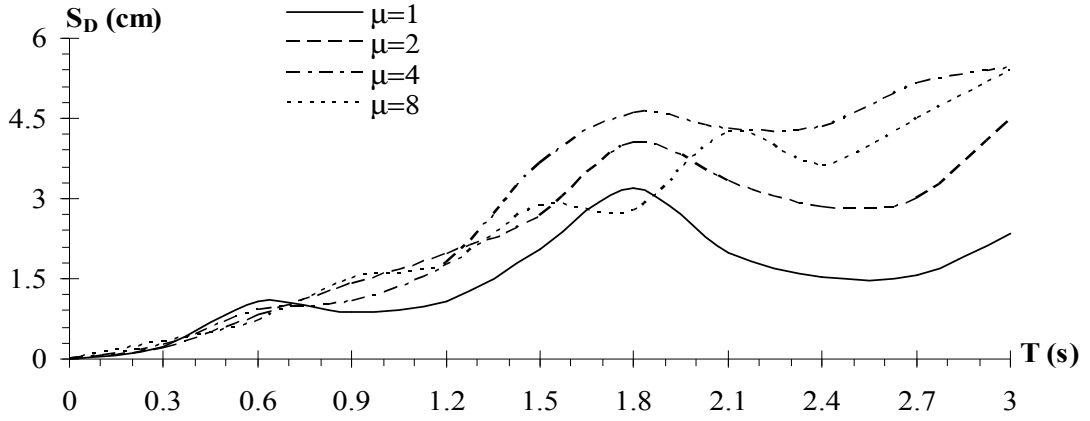
Şekil 11.82 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_\delta=10000$ (t/m) $K_\theta=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan deplasman spektrumu



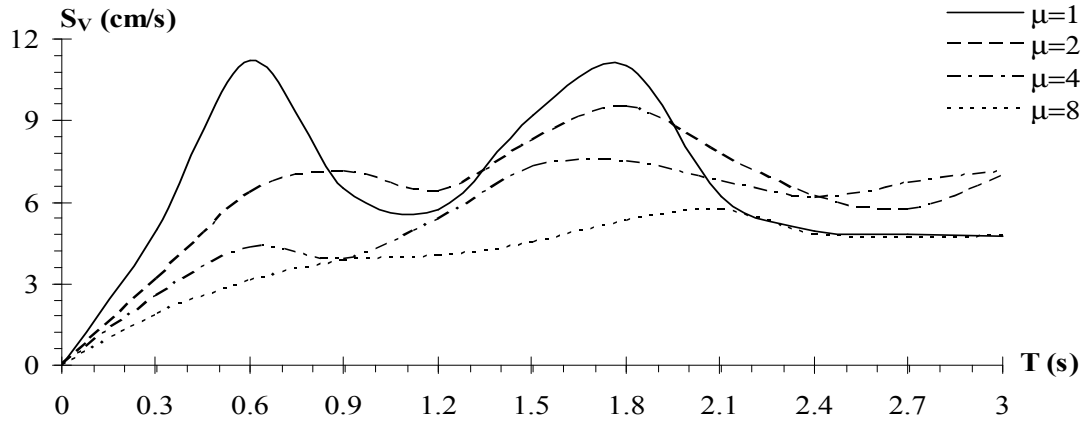
Şekil 11.83 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_\delta=10000$ (t/m) $K_\theta=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan hız spektrumu



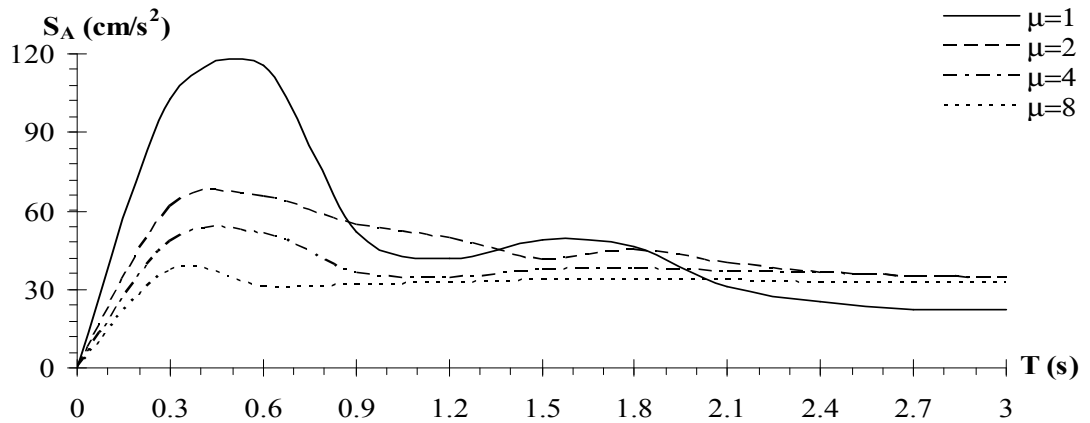
Şekil 11.84 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_\delta=10000$ (t/m) $K_\theta=10000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan ivme spektrumu



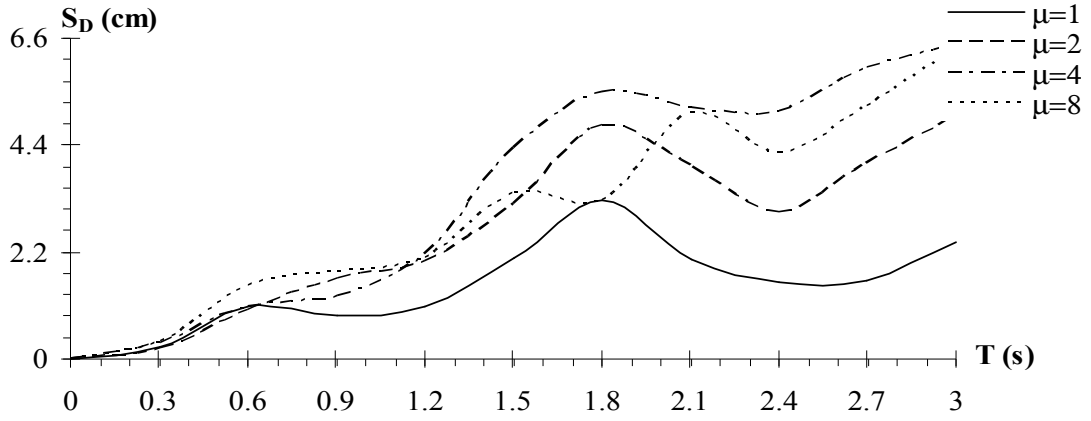
Şekil 11.85 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan deplasman spektrumu



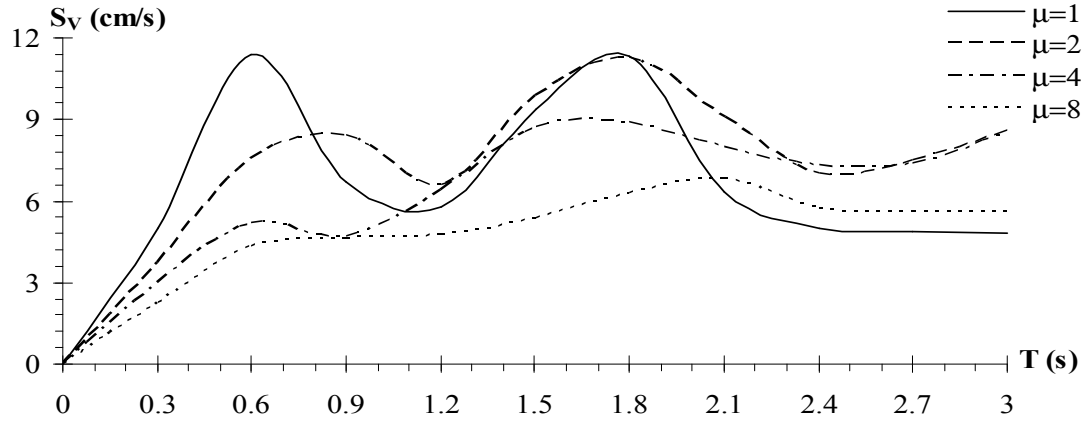
Şekil 11.86 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan hız spektrumu



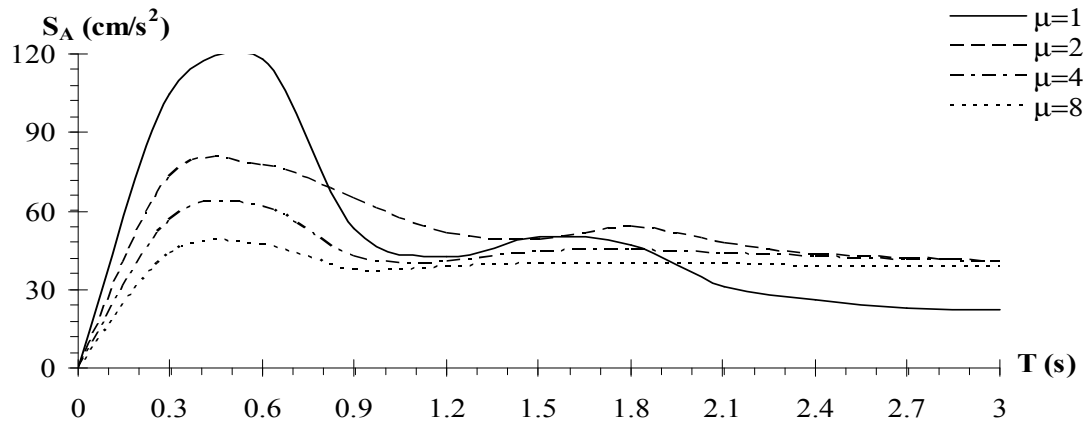
Şekil 11.87 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=100000$ (t/m) $K_{\theta}=100000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan ivme spektrumu



Şekil 11.88 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan deplasman spektrumu



Şekil 11.89 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan hız spektrumu



Şekil 11.90 İzmit depremi etkisindeki beş katlı yapının hesap modelinin $K_{\delta}=1000000$ (t/m) $K_{\theta}=1000000$ (tm/radyan) için süneklik oranlarına bağlı doğrusal olmayan ivme spektrumu

BÖLÜM ONİKİ

SONUÇLAR

Yapı sistemlerinin sismik zorlamalar altında dinamik tepkisi incelenirken yapıların dinamik karakteristiklerini etkili şekilde ifade etmek için doğru ve gerçeğe uygun bir yapı modeli kurulmalıdır. Taşıyıcı elemanlarının bağlantı noktalarının, özellikle kolonların zemin ile birleşim yerlerinin, yapının güçlü yer ivmelerine karşın gösterdiği tepki davranışı üzerindeki etkisi olduğu yadsınamaz. Çerçevelerin zemin ile bağlantı noktalarının, gerçek yapısal davranışını temsil edecek şekilde modellenmesi önem kazanmaktadır.

Yapı tasarımında, yaygın olarak yapıların inşa edildikleri zemine genellikle tam bağlı oldukları kabul edilmekte ve yapı elemanları bu varsayıma göre yapılan çözümlerden elde edilen kesit tesirlerine göre boyutlandırılmaktadır. Bu yöntemle tasarlanan yapılarda deprem ve benzeri dinamik etkiler yapıya doğrudan etkilemekte ve yapının bu etkilere karşı koyması beklenmektedir. Ancak yapıların gerçekte, söz konusu etkileri tam sünek veya tamamen rijit bir davranış göstererek karşılaması mümkün değildir. Günümüzde yapıların, ideal sünek davranışa sahip malzeme olmaması nedeni ile tam sünek davranış gösterecek şekilde inşa edilmesi ya da ekonomi ve yapım hataları nedeniyle tam rijit davranış gösterecek şekilde inşa edilmesi olası gözükmemektedir. Bu nedenle yapılar ancak belirli bir sünekliği sağlayacak şekilde inşa edilmektedir. Yönetmeliklerde verilen sünekliği sağlamak, gerek yapım aşamasındaki zorluklar gerekse yapım hataları nedeniyle bazen mümkün olmamaktadır. Bu nedenle yapılar büyük depremlerde beklenenin üzerinde hasar görmektedir. Söz konusu hasarlar nedeniyle yapı kullanılamaz hale gelmektedir. Ayrıca yapının uzun süre kullanılmaması nedeniyle işletim maliyeti yönünden ya da yapının yıkılıp yeniden yapılmasından dolayı ekonomik açıdan büyük zararların oluşması kaçınılmaz olmaktadır.

Doktora çalışmasında, dinamik analizi incelenen çerçevelerin matematiksel hesap modelleri, zemine yarı-rijit bağlı oldukları varsayımı ile kurulmuş ve bu düğüm noktaları ötelenmeye ve dönmeye karşı doğrusal-elastik yaylar ile modellenmiştir.

Çalışmadaki serbest titreşime ait sayısal uygulamalarda kolon-zemin birleşimine ait ötelenme ve dönme elastik yay katsayılarına ait değerler arttırıldıkça, başka bir deyişle düğüm noktasının davranışı rijit birleşim davranışına yaklaştıkça, beklendiği gibi yapının doğal açısal frekansının arttığı, dolayısıyla doğal periyodunun azaldığı görülmüştür. Açısal frekans değerlerindeki bu artma yay katsayısı değerlerinin rijit davranışını temsil eden belirli bir değerinden sonra durmaktadır. Böylece, farklı kolon-zemin birleşim modelleri için yapının farklı periyotlara sahip olduğu gözlenmiştir. Bu da, yapının mesnetlenme modelinin serbest titreşim üzerindeki etkisinin önemini göstermiştir.

Sabit ötelenme yay katsayısı değeri için dönme yay katsayısı değerinin artırılması durumunda frekans değerlerindeki artma daha fazla olurken, sabit dönme yay katsayısı değeri için ötelenme yay katsayısı değerinin artırılması durumunda, frekans değerlerinde ihmal edilebilir bir artma gözlenmiştir. Bu durum, yapının serbest titreşimi incelendiğinde kolon-zemin birleşimini dönmeye karşı yarı-rijit mesnet olarak modellemenin ihmal edilemeyeceğini öte yandan ötelenmeye karşı elastik yayın ihmal edilebileceğini göstermektedir.

Doğal periyot, bina çerçevelerinin sismik tepkisini belirleyen temel parametre olup tasarım spektrumuna dayanan taban kesme kuvvetini ve yanal yükleri hesaplamak için kullanılır. Zemine rijit bağlı hesap modeline sahip yapı, zemine yarı-rijit bağlı olarak modellenen yapıya göre daha küçük periyoda sahiptir. Bu çalışmada yapılan uygulamalar sonucunda, çerçeveler için kullanılan hesap modellerinde zemin rijitliği dikkate alındığında yapı doğal periyodunun değiştiği; çerçevenin farklı zemin rijitliği durumları için ilgili depremlere farklı tepkiler verdiği görülmüştür. Bu sebeple, periyodun, zemin rijitliğinin etkisi dikkate alınmadan elde edilmesi binaların deprem etkisi altındaki tasarımında önemli hatalara neden olabilir.

Yapı dinamiği alanında, doğrusal olmayan davranış gösteren ve ayrık parametrelili modellenen binaların tepkisi üzerinde temel rijitliğinin etkisini inceleyen çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda ayrık parametrelili modelleme, dinamik etkiler altındaki yapının kat hizalarındaki davranışını incelemeyi ve bu noktalardaki tepki

parametrelerini elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Ancak, burada, çerçevelerin yanal rijitliğini temsil eden düşey taşıyıcı elemanların yayılı kütleleri ve deformasyonları analize dahil edilerek hesap modelleri topaklanmış kütleli sürekli sistem olarak kurulmuştur. Böylece, ayırık parametrelili sistemlerden farklı olarak, yapının sadece kat hizalarındaki davranışı değil tüm yüksekliği boyunca dinamik etkiler altında gösterdiği davranışı incelenebilmiş; deprem etkisindeki yapının istenilen konumuna ait tepki parametreleri elde edilmiştir.

Çalışmadaki modele ait sürekli sistem Timoshenko kolonu olarak modellenmiş, böylece eğilme titreşimi incelenen düşey taşıyıcı elemanların kayma deformasyonları ve dönme eylemsizlikleri de dikkate alınmıştır. Kayma deformasyonun eğilme deformasyonu ile beraber dikkate alınması, sadece eğilme deformasyonu dikkate alınan ve Euler kolonu olarak çalışan matematiksel modelin serbest titreşimine ait açılma frekans değerlerinde bir azalma meydana getirmiştir. Buna ek olarak, kolonun dönme eylemsizliğinin de analize dahil edilmesi açılma frekans değerlerindeki azalmayı devam ettirmiştir. Ancak, sayısal uygulamalar sonucunda, bu azalmanın, özellikle birinci mod için, pratikte ihmal edilebilir mertebede olduğu görülmüştür.

Çerçevelerin hesap modelleri için Lagrange denklemi kullanılarak geliştirilmiş koordinatlarda elde edilen hareket denkleminde ait geliştirilmiş kütle, geliştirilmiş rijitlik ve geliştirilmiş dinamik yük parametreleri, kolon-zemin birleşimindeki ötelenmeye ve dönmeye karşı elastik yayların katsayılarının artırılmasıyla değişiklik göstermiştir. Yay katsayılarındaki artış, sistemin geliştirilmiş kütle ve geliştirilmiş dinamik yük değerini azaltırken geliştirilmiş rijitlik değerinde büyük artışa neden olmuştur. Böylece, yay katsayılarının artırılması dinamik sistemdeki kütlelerin davranışa etkisini azaltmakta, fiziksel parametrelerden rijitliğin etkisini ise ön plana çıkarmaktadır.

Tek katlı çerçevelere ait hesap modellerinin doğrusal zaman geçmişlerinin incelendiği sayısal uygulamalarda, kolon-zemin birleşimindeki ötelenme ve dönme yay katsayısı değerleri arttıkça maksimum tepki deplasmanının azaldığı maksimum tepki ivmesinin ise arttığı görülmüştür. Çok katlı çerçevelerin hesap modellerine ait

doğrusal zaman geçmişi uygulamalarında da yay katsayılarındaki artış, kat hizalarında meydana gelen tepki deplasmanı değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Genelleştirilmiş tek serbestlik dereceli (TSD) sistem olarak modellenen çok katlı çerçeveler için elde edilen tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi parametreleri, beklendiği gibi kat hizalarında süreklilik göstermiştir. Başka bir deyişle, herhangi bir katın üst noktası ve bir üst katın alt noktası için aynı tepki deplasmanı, tepki hızı ve tepki ivmesi değerleri elde edilmiştir. El-Centro depremi etkisinde doğrusal zaman geçmişleri incelenen tek ve çok katlı çerçevelere ait modellerin İzmit depremi etkisinde incelenen modellere göre farklı yay katsayıları için daha büyük tepki deplasmanına, tepki hızına ve tepki ivmesine sahip olduğu görülmüştür.

Deprem mühendisliğinde, taşıyıcı sistemlerinin eleman kuvvetleri ve deplasmanlarının hesabı için tepki spektrumu metodunu kullanmak büyük hesap kolaylıkları sağlamakta olup yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu kullanımın diğer bir nedeni de deprem yüklemesini belirtmek için tasarımcıya gerçek ve basit bir yaklaşım sağlamasıdır. Tasarımcı, ilgili deprem için elde edilen spektrum eğrilerinden, periyodu belli olan bir yapının spektral ivmesini belirleyebilmekte ve depreme dayanıklı olarak tasarlayacağı yapıya etkiyen deprem kuvvetini hesaplayabilmektedir.

Deprem sırasında ortaya çıkan kuvvetler, yönetmeliklerde belirtilen tasarım kuvvetlerinden daha büyük olabilir. Bu nedenle, yapı mühendisi, yapının çok büyük yükler ve deformasyonlar altındaki performansını dikkate alacak şekilde minimum dayanımı sağlamalıdır. Bu da, doğrusal olmayan dinamik analiz ve süneklik kavramını ortaya çıkarmaktadır. Doğrusal davranış göstermeyen yapıların güçlü yer ivmeleri altında davranışını temsil eden tepki spektrumları, depreme güvenli yapıların projelendirilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu amaçla, çalışmada, doğrusal olmayan tepki spektrumları elde edilirken farklı süneklik oranları kullanılmıştır.

Çalışmada, zemine yarı-rijit bağlı çerçevelerin doğrusal olmayan malzeme davranışı da dikkate alınarak iki depreme ait güçlü yer ivmeleri etkisindeki tepkileri

incelenmiştir. 18 Mayıs 1940 El-Centro ve 17 Ağustos 1999 İzmit depremlerinin kuzey-güney bileşenlerine ait güçlü yer ivmeleri kullanılarak çerçevelerin farklı süneklik seviyeleri için doğrusal ve doğrusal olmayan tepki spektrumları elde edilmiştir. Yarı-rijit olarak modellenen kolon-zemin birleşiminin farklı yay katsayısı değerleri için elde edilen tepki deplasman, hız ve ivme spektrumları grafiklerle sunulmuştur.

Doğrusal olmayan tepki spektrumlarının elde edilmesine ait sayısal uygulamalar sonucunda, çerçevenin kolon-zemin birleşim noktasındaki ötelenme ve dönme yay katsayısı değerlerinin arttırılmasıyla süneklik oranında, başka bir deyişle çerçevenin kolon-zemin birleşimindeki sınır şartlarının yarı-rijit durumdan tam rijit duruma doğru yönelmesi halinde çerçevenin süneklik talebinde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, kolon-zemin birleşimi için seçilen matematiksel modelin, yapının dinamik davranışı sırasındaki süneklik oranını etkilediğini açıkça göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Aviles, J., & Perez-Rocha, LE. (2003). Soil-Structure Interaction in Yielding Systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, 1749-1771.
- Awkar, J.C., & Lui, E.M. (1999). Seismic Analysis and Response of Multistory Semi Rigid Frames. *Engineering Structures*, 21, 425-441.
- Alfawakhiri, F., & Bruneau, M. (2000). Flexibility of Superstructures and Supports in the Seismic Analysis of Simple Bridges. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 711-729.
- Bapat, CN. (1987). Natural Frequencies of a Beam With Non-Classical Boundary Conditions and Concentrated Masses. *Journal of Sound and Vibration*, 112, 177-182.
- Baron, F., & Venkatesan, A.M. (1969). Inelastic Response For Arbitrary Histories of Loads. *Journal of Engineering Mechanics Division, Proceedings of the ASCE*, 95, 763-786.
- Bhattachaya, K., & Dutta, SC. (2004). Assessing Lateral Period of Building Frames Incorporating Soil-Flexibility. *Journal of Sound and Vibration*, 269, 795-821.
- Bielak, J. (1978). Dynamic Response of Non-Linear Building Foundation Systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 17-30.
- Biggs, J.M. (1964). *Introduction to Structural Dynamics*_ USA: McGraw-Hill, Inc.
- Celep, Z., ve Kumbasar, N. (1996). *Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş* (2. Baskı). İstanbul: Sema Matbaacılık.

- Chai, G.B., & Low, K.H. (1993). On the Natural Frequencies of Beams Carrying a Concentrated Mass. *Journal of Sound and Vibration*, 160, 161-166.
- Chan, S.L., & Ho, G.W. (1994). Nonlinear Vibration Analysis of Steel Frames With Semirigid Connections. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 120, 1075-1087.
- Chopra, A.K. (1995). *Dynamics of Structures-Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Chui, P.P.T., & Chan, S.L. (1996). Transient Response of Moment-Resistant Steel Frames with Flexible and Hysteretic Joints. *Journal of Constructional Steel Research*, 39, 221-243.
- Chui, P.P.T., & Chan, S.L. (1997). Vibration and Deflection Characteristics of Semi-Rigid Jointed Frames. *Engineering Structures*, 19, 1001-1010.
- Clough, R.W., & Penzien, J. (1993). *Dynamics of Structures* (2nd ed.), Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Cruz, E.F., & Chopra, A.K. (1985). Elastic Earthquake Response of Building Frames. *Journal of Structural Engineering*, 112, 443-459.
- Çatal, H.H. (2002). *Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 294.
- DeRosa, M.A., Franciosi, C., & Maurizi, M.J. (1996). On the Dynamic Behavior of Slender Beams With Elastic Ends Carrying a Concentrated Mass. *Computers & Structures*, 58, 1145-1159.
- Fu, G. (1998). Elastically Supported Cantilever Beam Subjected to Nonstationary Seismic Excitation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27, 977-995.

- Geradin, M., & Rixen, D. (1998). *Mechanical Vibrations: Theory and Application to Structural Dynamics*. (2nd ed.), England: John Wiley & Sons Ltd.
- Glabisz, W. (1999). Vibration and Stability of a Beam With Elastic Supports and Concentrated Masses Under Conservative and Nonconservative Forces. *Computers & Structures*, 70, 305-313.
- Goel, R.P. (1976). Free Vibration of a Beam-Mass System With Elastically Restrained Ends. *Journal of Sound and Vibration*, 47, 9-14.
- Gross, J.L. (1998). A Connection Model For the Seismic Analysis of Welded Steel Moment Frames. *Engineering Structures*, 20, 390-397.
- Gupta, A.K. (1992). *Response Spectrum Method in Seismic Analysis and Design of Structures*. Florida: CRC Press, Inc.
- Güler, K. (1996). Effects of Soil Flexibility on Free Vibrations of Tower-Like Structures. *Proceedings of the I. Symposium on Mathematical & Computational Applications*, Turkey, 67-72.
- Gürgöze, M., Özgür, K., & Erol, H. (1995). On the Eigenfrequencies of a Cantilevered Beam With a Tip Mass and in-Span Support. *Computers & Structures*, 56, 85-92.
- Halabian, A.M., El Naggar, M.H., & Vickery, B.J. (2002). Nonlinear Seismic Response of Reinforced-Concrete Free Standing Towers With Application to TV Towers on Flexible Foundations. *The Structural Design of Tall Buildings*, 11, 51-72.
- Hjelmstad, K.D., & Williamson, E.B. (1998). Dynamic Stability of Structural Systems Subjected to Base Excitation. *Engineering Structures*, 20, 425-432.

- Housner, G.W. (1959). Behavior of Structures During Earthquakes. *Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE*, 85,109-129.
- Hurty, W.C., & Rubinstein, M.F. (1964). *Dynamics of Structures*. India: Prentice Hall.
- Iwan, W.D. (1980). Estimating Inelastic Response Spectra From Elastic Spectra. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 8, 375-388.
- Karadeniz, A.A. (1999). *Yüksek Matematik*. Cilt III (7. Baskı). İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- Karami, G., Malekzadeh, P., & Shahpari, S.A. (2003). A DQEM For Vibration of Shear Deformable Nonuniforms Beams With General Boundary Conditions. *Engineering Structures*, 25, 1169-1178.
- Kreyszig, E. (1999). *Advanced Engineering Mathematics* (8th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Laura, P.A.A., Maurizi, M.J., & Pambo, J.L. (1975). A Note on the Dynamic Analysis of an Elastically Restrained-Free Beam With a Mass at the Free End. *Journal of Sound and Vibration*, 41, 397-405.
- Low, K.H., Lim, T.M., & Chai, G.B. (1993). Experimental and Analytical Investigations of Vibration Frequencies for Centre-Loaded Beams. *Computers & Structures*, 48, 1157-1162.
- Low, K.H. (1991). A Comprehensive Approach for the Eigenproblem of Beams With Arbitrary Boundary Conditions. *Computers & Structures*, 39, 671-678.
- Low, K.H. (1994). An Equivalent-Center Method for Quick Frequency Analysis of Beams Carrying a Concentrated Mass. *Computers & Structures*, 50, 409-419.

Lui, E.M., & Lopes, A. (1997). Dynamic Analysis and Response of Semi-Rigid Frames. *Engineering Structures*, 19, 644-654.

Mathcad 7 Professional (1997). Cambridge. Math Soft Inc.

Maurizi, M.J., & Belles, P.M. (1992). An Additional Evaluation of Free Vibration of Beam-Mass Systems. *Journal of Sound and Vibration*, 154, 182-186.

Maurizi, M.J., & Belles, P.M. (1991). Natural Frequencies of the Beam-Mass System: Comparison of the Two Fundamental Theories of Beam Vibrations. *Journal of Sound and Vibration*, 150, 330-334.

Mcniven, H.D., & Matzen, V.C. (1978). A mathematical Model to Predict the Inelastic Response of a Steel Frame: Formulation of the Model. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 189-202.

Michaltsos, G.Th., & Ermopoulos, J.Ch. (2001). Dynamic Response of Column Bases. *Engineering Structures*, 23, 58-71.

Newmark, N.M. (1959). A Method of Computation for Structural Dynamics. *Journal of the Engineering Mechanics Division-ASCE*, 85 (EM3), 67-94.

Newmark, N.M., & Hall, W.J. (1987). *Earthquake Spectra and Design*. California: Earthquake Engineering Research Institute.

Ohsaki, Y. (1991). *Deprem Dalgasının Spektral Analizine Giriş* (Çeviren Muzaffer İpek). İstanbul: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi.

Paz, M. (1997). *Structural Dynamics* (4th ed.). USA: Chapman & Hall.

Posiadala, B. (1997). Free Vibrations of Uniform Timoshenko Beams With Attachments. *Journal of Sound and Vibration*, 204, 359-369.

- Rodriguez, M.E., & Montes, R. (2000). Seismic Response and Damage Analysis of Buildings Supported on Flexible Soils. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 647-665.
- Rogers, G.L. (1959). *An Introduction to the Dynamics of Frame Structures*. New York: John Willey & Sons.
- Sekulovic, M., Salatic, R., & Nefovska, M. (2002). Dynamics Analysis of Steel Frames With Flexible Connections. *Computers and Structures*, 80, 935-955.
- Sivakumaran, K.S., & Balendra, T. (1994). Seismic Analysis of Asymmetric Multistory Buildings Including Foundation Interaction and P- Δ Effects. *Engineering Structures*, 16, 609-617.
- Stewart, J.P., & Fenves, G.L. (1998). System Identification for Evaluating Soil-Structure Interaction Effects in Buildings from Strong Motion Recordings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27, 869-885.
- Suarez, L.E., Singh, M.P., & Matheu, E.E. (1995). Seismic Response of Structural Frameworks With Flexible Connections. *Computers and Structures*, 58, 27-41.
- Takewaki, I. (1998). Equivalent Linear Ductility Design of Soil-Structure Interaction Systems. *Engineering Structures*, 20, 655-662.
- Tin-Loi, F., & Vimonsatit, V. (1996). Nonlinear Analysis of Semirigid Frames: A Parametric Complementarity Approach. *Engineering Structures*, 18, 115-124.
- Thomson, W.T. (1981). *Theory of Vibration With Application*. (2nd ed.). USA: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Tuma, J.J., & Cheng, F.Y. (1983). *Theory and Problems of Dynamic Structural Analysis: Schaum's Outline Series*, USA: McGraw-Hill, Inc.

Warburton, G.B. (1976). *The Dynamical Behavior of Structures* (2nd ed.). England: Pergamon Press Ltd.

Wilson, E.L. (2002). *Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*. California: Computers and Structures, Inc., Berkeley.

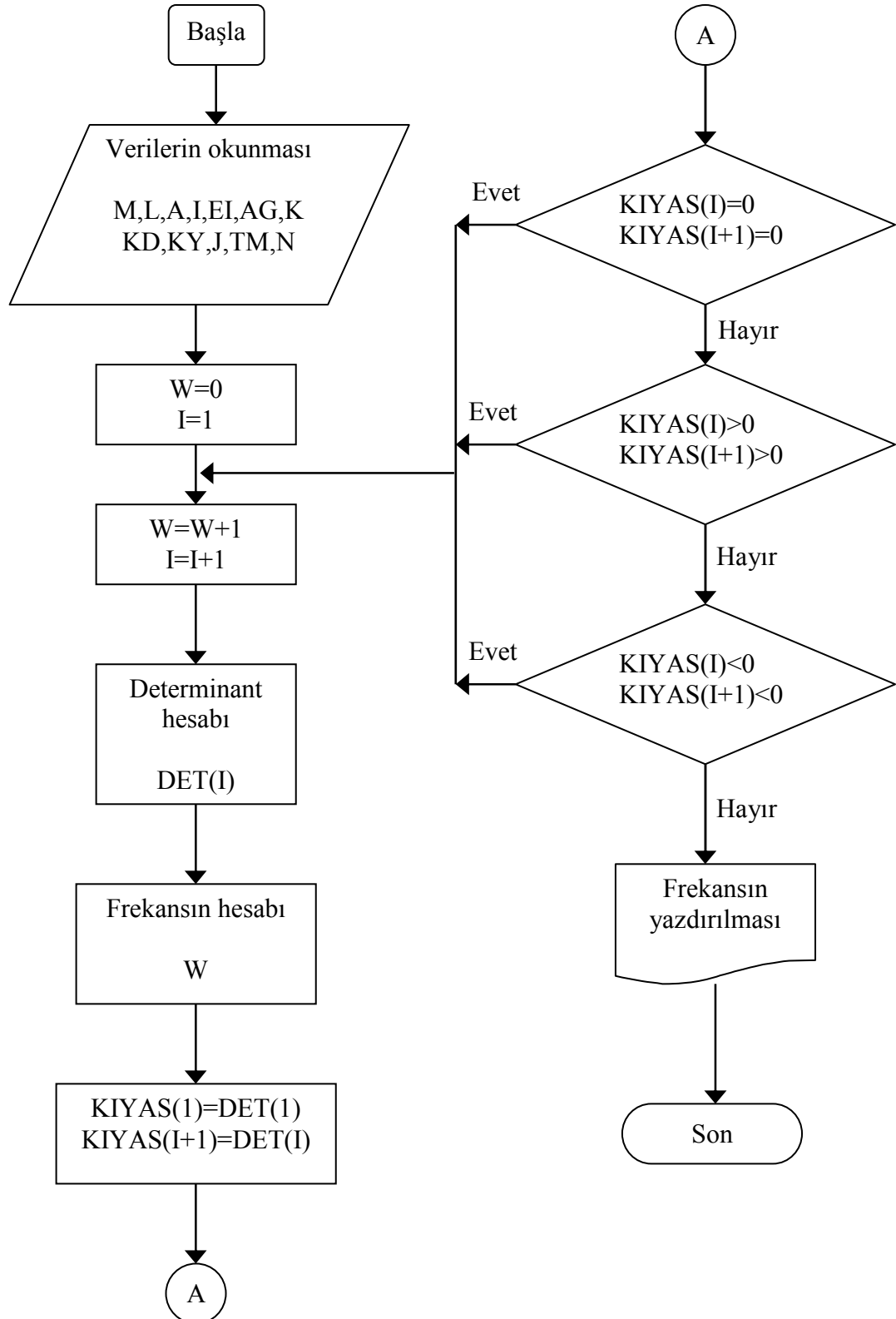
Wu, W., Wang, J., & Lin, C. (2001). Systematic Assessment of Irregular Buildings-Soil Interaction Using Efficient Modal Analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 573-594.

Xu, Y.L., & Zhang, W.S. (2001). Modal Analysis and Seismic Response of Steel frames With Connection Dampers. *Engineering Structures*, 23, 385-396.

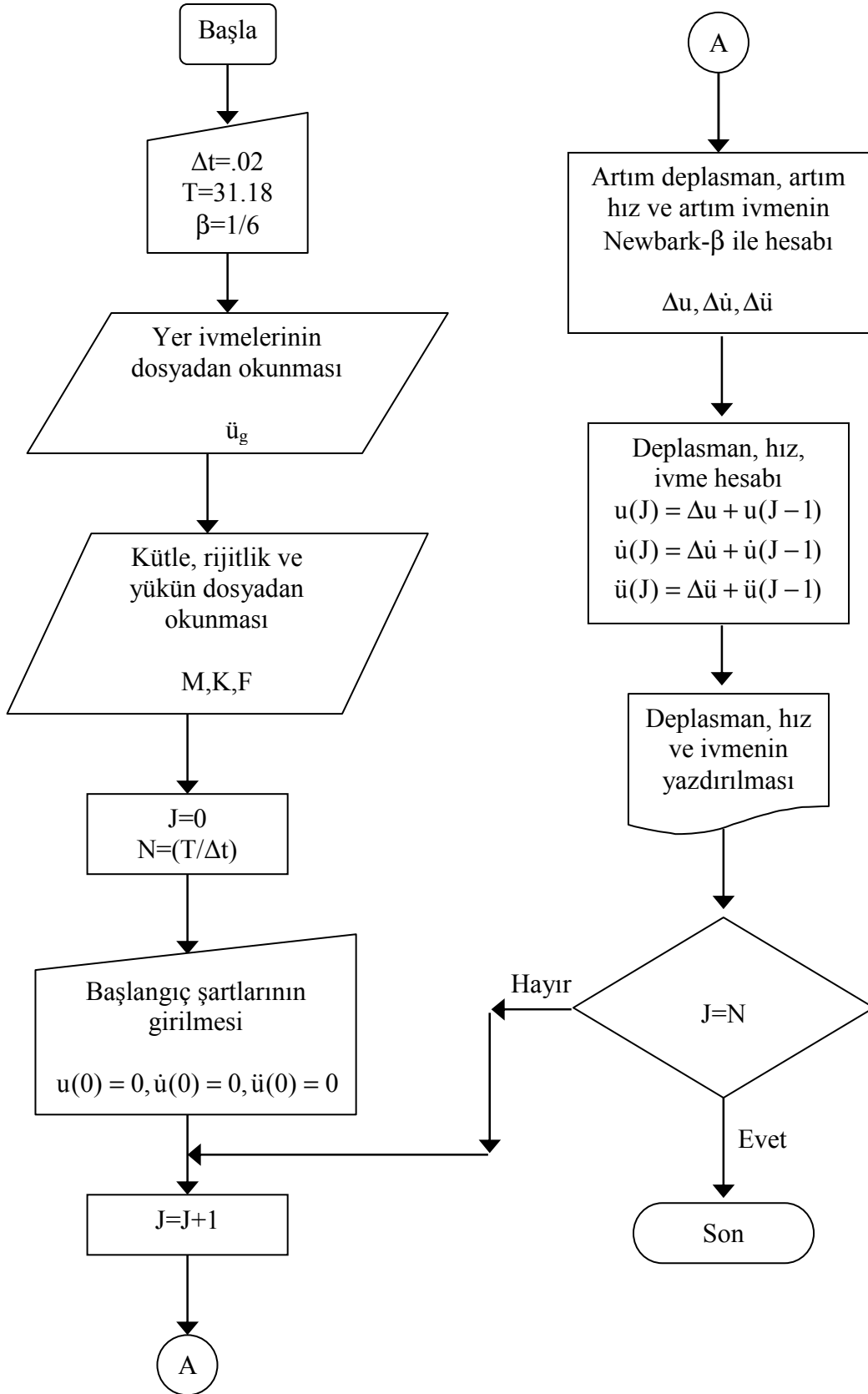
Yardımoğlu, B., & Çatal, H.H. (1995). Yarı Rijit Düğüm Noktalı Çok Katlı Çerçevelerin Dinamik Analizi. *Ürgüp, IX. Ulusal Mekanik Kongresi, Teorik ve Uygulamalı Mekanik Türk Milli Komitesi*, 4-8 Eylül.

EKLER

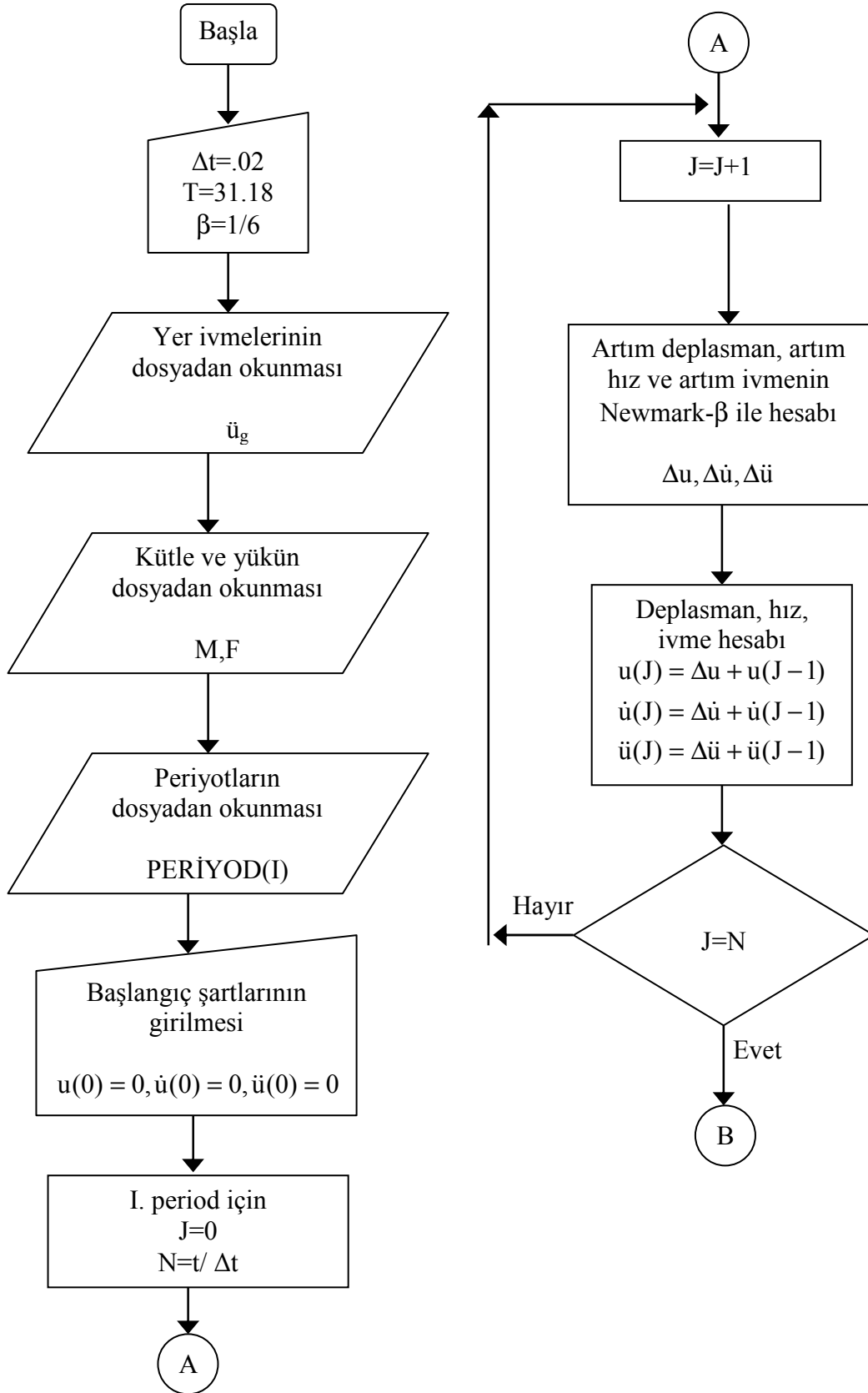
EK 1: Frekans.bas İsimli Bilgisayar Programına Ait Akış Diyagramı

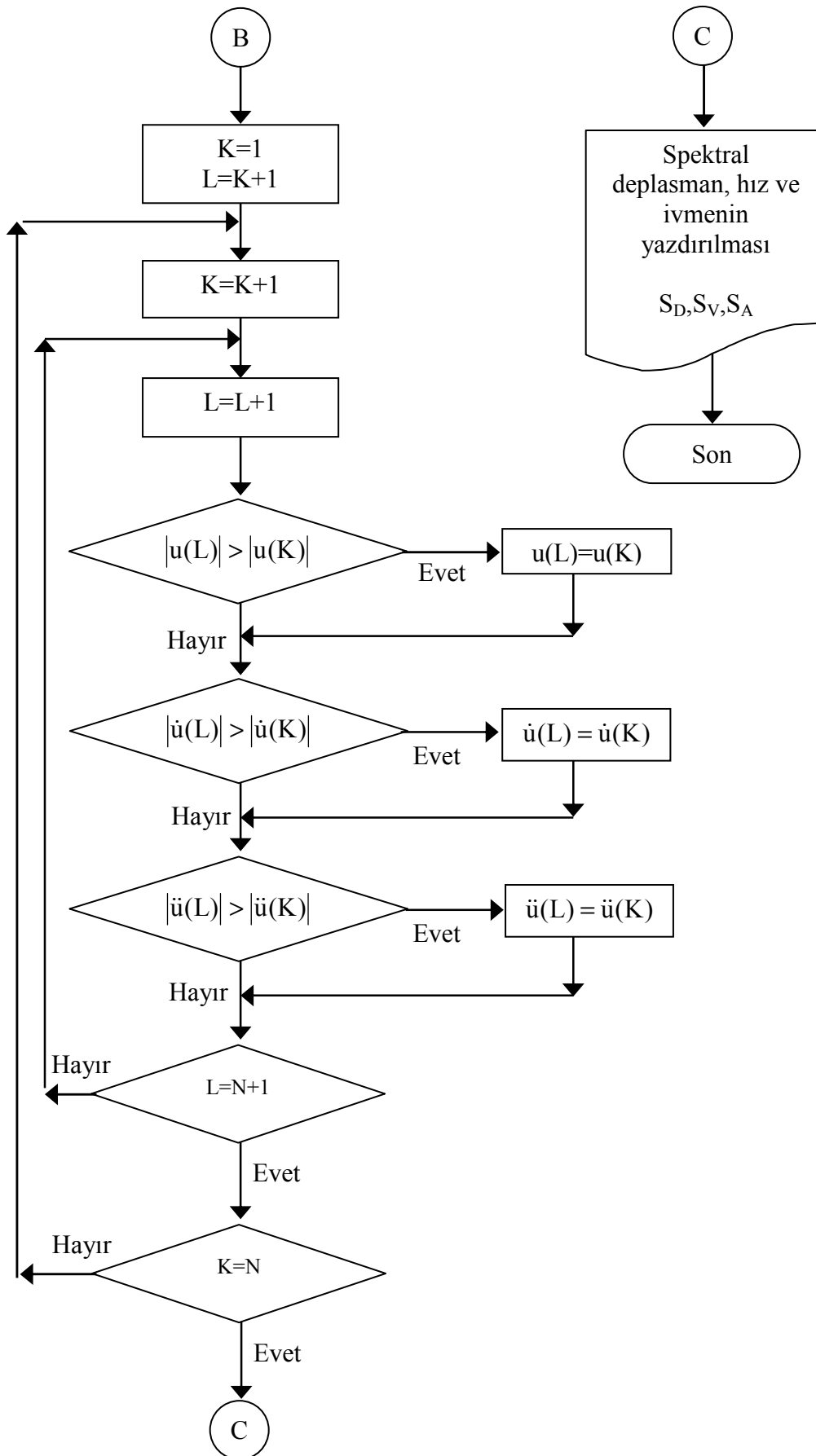


EK 2: Beta.bas İsimli Bilgisayar Programına Ait Akış Diyagramı



EK 3: Spektrum.bas İsimli Bilgisayar Programına Ait Akış Diyagramı





EK 4: Nlzg.bas İsimli Bilgisayar Programına Ait Akış Diyagramı

