

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN**  
**DİNAMİK ANALİZİ**

**Emrah DÜNDAR**

**Haziran, 2009**

**İZMİR**

# **ÇELİK YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı**

**Emrah DÜNDAR**

**Haziran, 2009**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**EMRAH DÜNDAR**, tarafından **PROF. DR. HİKMET HÜSEYİN ÇATAL** yönetiminde hazırlanan “**ÇELİK YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

---

Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL

---

Danışman

---

Prof. Dr. Ömer Zafer ALKU

---

Jüri Üyesi

---

Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU

---

Jüri Üyesi

---

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
2007 – 2009 yılı yüksek lisans çalışması olarak sunulan bu çalışmayı yöneten,  
Prof. Dr. Hikmet H. ÇATAL' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışması boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen anne ve  
babama teşekkür ederim.

Emrah DÜNDAR

# ÇELİK YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ

## ÖZ

Yapılar deprem gibi güçlü yer ivmelerinin etkisi altında doğrusal davranış göstermezler. Deprem anında yer ivmeleri, Newton' un ikinci yasasının bir sonucu olarak, yapı taşıyıcı sistemindeki kolon giriş birleşim noktalarını zorlayarak taşıyıcı sistem kesitlerinde plastik mafsallar meydana getirecektir. Bu durumda elastik çözüm yöntemleri geçerliliğini kaybedecek ve elasto – plastik çözümün yapılması gerekecektir.

Bu çalışmada, tek serbestlik dereceli, çelik taşıyıcı sistemler için belirli dış kuvvetler etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilerek, yapı sistemindeki doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elasto-plastik tepkilerin hesaplanması için bilgisayar algoritmaları geliştirilmiştir. Birinci bölümde daha önceden yapılmış çalışmalar, çelik malzemenin olumlu ve olumsuz yönleri ve elasto – plastik davranışın yük etkisi altında nasıl gerçekleştiği yapısal olarak incelenmiştir. İkinci bölümde belirli kuvvet etkisi altında bulunan yapı elemanlarında oluşan doğrusal olmayan tepkiler incelenmiştir ve tek serbestlik dereceli sistemler için dinamik hareket denklemleri elde edilmiştir. Üçüncü bölümde, ikinci bölümde açıklanan dinamik hareket denklemlerinin çözümü için adım adım çözüm yöntemlerinden ivmenin doğrusal olarak değiştiği varsayımına dayanan Newmark yöntemi incelenmiştir. Dördüncü bölümde, tek serbestlik dereceli sistemin taşıyıcı kesitleri için farklı kesitlerdeki çelik I profiller kullanılarak, yer ivmeleri etkisi altında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Çelik yapılar, Doğrusal olmayan dinamik analiz, Newmark yöntemi, Elasto-plastik davranış.

# NONLINEAR DYNAMIC ANALYSIS OF STEEL STRUCTURES

## ABSTRACT

Structures do not show linear behavior such as an earthquake under effect of strong ground accelerations. As a result of Newton's second law, ground accelerations will force combination joints of beam and column of structural system and these will bring plastic hinges in the cross-section of structural system during the earthquake. In this case, the elastic solution will lose its validity and elasto - plastic solution will need to be done.

In this study, the single degree freedom system for steel structural systems under the effect of certain forces, the linear and nonlinear dynamic analysis were performed, the computer algorithms were developed for calculating linear elastic and nonlinear elasto-plastic response of the structure system. In the first chapter, previous studies, positive and negative aspects of steel material, elasto - plastic behavior under the effect of load were examined. In the second section, the nonlinear responses of structural elements were studied under the influence of certain forces and the dynamic motion equations for the single degree freedom system was achieved. In the third section, discussing second section for solution of dynamic motion equations, acceleration changing linear based on assumption the Newmark method of step-by-step solution methods was examined. The fourth section, the single degree freedom system for structural system cross-section by using different cross-section profiles of steel I, the linear and nonlinear analysis were performed under effect of ground accelerations.

**Keywords:** Steel structures, Non-linear dynamic analysis, Newmark method, Elasto-plastic behaviour.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TESEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş.....	1
1.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	4
1.3 Amaç ve Kapsam.....	6
1.4 Kabuller.....	7
1.5 Çelik Malzemenin Yapısı.....	8
1.6 Çelik Malzemenin Doğrusal Olmayan Davranışı.....	9
1.7 Yapılarda Çelik Malzeme Kullanmanın Olumlu ve Olumsuz Yönleri.....	10
<b>BÖLÜM İKİ – TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ.....</b>	<b>12</b>
2.1 Kesme Tipi Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Dinamik Analizi.....	12
2.2 Sönümlü Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Açısız Frekansının Hesaplanması.....	14
2.3 Artımsal Hareket Denkleminin Elde Edilmesi.....	18
2.4 Doğrusal Olmayan Rijitliğin Elde Edilmesi.....	19
2.5 Doğrusal Olmayan Elasto-plastik Davranış.....	21
2.6 Elastik ve Elasto-Plastik Malzeme Davranışı Gösteren Sistemlerde Sönümlenen Enerji .....	26
2.7 Yapı Sistemlerinin Güçlü Yer İvmelerine Karşı Sönüm Özelliklerinin Yükseltilmesi Yöntemleri .....	27

**BÖLÜM ÜÇ – DOĞRUSAL OLMAYAN HAREKET DENKLEMİNİN  
ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....29**

- 3.1 Doğrusal İyeme Metodu Kullanılarak Doğrusal Olmayan Analiz.....30  
3.2 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözümünde oluşan Hatalar.....34

**BÖLÜM DÖRT – TEK KATLI KAYMA TİPİ ÇELİK ÇERÇEVELERİN  
HESAP MODELİNE AİT UYGULAMALAR.....36**

- 4.1 Tek Katlı Çok Açıklıklı Kayma Tipi Çelik Çerçevelerin Ağırlığının  $W = 40$  t ve Sönüm Oranının  $\xi = 0,20$  Olması Durumunda Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz.....36  
4.2 Tek Katlı Çok Açıklıklı Kayma Tipi Çelik Çerçevelerin Ağırlığının  $W = 40$  t ve Sönüm Oranının  $\xi = 0,35$  Olması Durumunda Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz.....66  
4.3 Tek Katlı Çok Açıklıklı Kayma Tipi Çelik Çerçevelerin Ağırlığının  $W = 50$  t ve Sönüm Oranının  $\xi = 0,35$  Olması Durumunda Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz.....95

**BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR..... 127**

**KAYNAKLAR.....130**

**EKLER.....134**

- EK 1 Doğrusal Elastik Hesap için Bilgisayar Algoritması.....134  
EK 2 Doğrusal Olmayan Elasto-plastik Analiz için Hesap Algoritması.....135  
EK 3 Sembol Listesi.....138



## **BÖLÜM BİR**

### **GİRİŞ**

#### **1.1 Giriş**

Yapı sistemlerindeki esas taşıyıcı sistem olan kolon ve kiriş elemanlarının boyutlandırılmasında, düşey yüklerden başka yer hareketi nedeniyle meydana gelen ve kolon kiriş düğüm noktalarının zorlanmasına sebep olan yatay kuvvetlerin belirlenmesi gerekir. Oluşan yatay yüklerde zamana bağlı olarak değiştiğinden yapı taşıyıcı sistemindeki elemanlarda oluşan değişikliklerinde göz önünde bulundurulması gerekir. Yönetmeliğin önerdiği yöntemlerden biri olan eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapıda oluşan tepkiler yeterli hassasiyetle hesaplanamamaktadır. Modların süperpozisyonu metodu ile yapıda oluşan kuvvetlerin hesaplanması için hareket denklemleri ayrıştırıldığından, yer hareketi ile sistemde oluşan tepkiler hassas bir şekilde hesaplanamaz. Bu durumda sistemi zaman tanım alanında analiz etmek gerekir. Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım analiz metodu ile yapı sistemleri belirli bir yer ivmesi etkisi altında bırakılır, oluşan kuvvetlerin etkisi ile yapıda oluşan doğrusal ve doğrusal olmayan tepkiler adım adım çözüm yöntemleri ile analiz edilir. Böylece, yapıda yer hareketi etkisindeki doğrusal ve doğrusal olmayan tepkiler gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanabilir.

Yapı sistemlerine etkileyen yükler, sürekli, ani çarpma ve sıcaklık etkisi gibi zamana bağlı değişen yüklerin etkisinde olduklarından, yapı işletme ömrü boyunca etkisi altında kaldığı yükleri karşılayacak ekonomiklik ve sağlamlıkta olması istenir. Son yıllarda malzeme teknolojisinin ve bilişim teknolojisinin gelişmesiyle yapı mühendisliğinde ekonomik ve sağlam kesitler elde edilmesi olanağı doğmuştur.

Mühendislik biliminin gelişmesi ve deprem ivme kayıt cihazları ile yer ivmelerinin kayıtlarının alınması, yapıların tasarım aşamasında statik analizinin yanında dinamik analizini de mümkün kılmıştır.

Bir yapının taşıyıcı sisteminin güçlü yer ivmeleri altındaki davranışını hesaplamak için, daha önceden belirlenmiş yer ivmeleri, yapı sistemine etki ettirilir. Hesaplamalar belirlenen zaman adımları için tekrarlanır ve her zaman adımına karşılık gelen tepkiler hesaplanır. Burada, önemli olan bir durum yer ivmelerinin daha önceden belirlenememesidir. Bu durumda bir bölgedeki geçmişte olmuş olan depremlerin yer ivmeleri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilir. Bu çözüme deprem yönetmeliklerinde zaman tanım alanında analiz denilir.

Yapı sistemleri deprem gibi tekrarlı yüklemeler altında doğrusal elastik davranış göstermezler. Bu durumda, yapıda doğrusal olmayan deformasyonlar meydana gelmektedir. Yapı sistemlerinin deprem etkisi altındaki tepkilerini hesaplamak için doğrusal olmayan dinamik analiz uygulanması çok karmaşık ve zaman almaktadır. Doğrusal olmayan dinamik analiz uygulamada çok zaman alması ve hesapların karmaşık olması nedeniyle mühendisler tarafından tercih edilmez. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle, özellikle dinamik analiz gibi iterasyon gerektiren işlemlerin yapılması daha kolay hale gelmiştir.

Yapı sistemleri tasarlanırken iki farklı çözüm yöntemi kullanılır. Bunlar doğrusal elastik çözüm ve doğrusal olmayan elasto – plastik çözümdür. Yapılar deprem etkisi altında doğrusal davranış göstermeyecekleri için, elastik çözüm yapmak doğru olmaz. Elastik çözümün en önemli eksikliği, elastik ötesi davranışı deprem anında gerçekleştirilememesidir. Bu durumda sistemin elasto – plastik özellikleri kullanılarak analiz yapmak uygun olur. Bu çözümde en çok kullanılan yöntem plastik mafsal kabulünün kullanılmasıdır. Kiriş elemanlarda kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır. Kolon elemanlarının kesitlerinde ise farklı normal kuvvetlere karşılık gelen eğilme momenti kapasiteleri hesaplanarak karşılıklı etki diyagramları oluşturulur. Bu çözüm yöntemi doğrusal olan çözüm yöntemine göre oldukça karmaşık ve belirsizdir (Celep 2007).

Çelik yapılar yükleme şiddetine göre elastik veya plastik davranış gösterirler. Malzeme plastik davranış gösterdiğinde sistemde oluşan iç kuvvetler yeniden dağılacaktır. Bu durumda malzemenin elastik sınırlar ötesindeki zorlanması, taşıyıcı

sistemde plastik kesitlerin oluşmasına neden olacak ve sistemde kalıcı şekil değiştirmeler meydana getirecektir. Bu durum elastik olarak hesaplanan denge koşullarını sağlamayacak ve sistemde kalıcı şekil değiştirmelerin de olduğu yeni durum için denge koşulları belirlenmesi gerektirecektir. Yapılarda oluşan doğrusal olmayan davranış, malzemenin elasto - plastik özelliğine ve yerdeğiştirmelerin ihmal edilemeyecek kadar olması durumunda oluşan geometri şartlara bağlıdır. Yapı malzemelerinin doğrusal elastik sınır ötesindeki davranışını göz önüne alarak taşıyıcı sistemde meydana gelen, ihmal edilemeyecek mertebede oluşan şekil değişikliklerinin hesaplara katılması daha gerçekçi ve ekonomik çözümler verecektir (Özer, 2005).

Doğrusal olmayan malzeme davranışı gösteren yapı sistemlerinde yapı malzemesinin doğrusal olmasını engelleyen nedenler belirlenerek denge denklemleri yazılmalıdır. Bir yapı sisteminin dış yük etkisi altındaki analizinde çözümlerinin olması için; malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme – şekil değiştirme bağıntılarının, sistemi oluşturan elemanların denge denklemlerinin ve elemanların, düğüm noktalarının geometrik uygunluk koşullarının yazılması gerekir (Özer,2005).

Doğrusal olmayan dinamik analiz için kullanılan hesap yöntemleri, uygulanan dış yüke göre adım adım çözüm yöntemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerde, hesapların yapının gerçek modeline yakın sonuçlar vermesi, sistemin doğrusal olmayan özelliklerine bağlı olarak değişir (Paz,1997).

## 1. 2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Çelik yapıların doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yöntemleri ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Tezcan, çubuk sistemlerin statik ve dinamik analizini ve elasto – plastik malzeme davranışını incelemiştir (Tezcan, 1970). Nishino, Vijakkhana ve Lee, çaprazsız yüksek binalar için, normal kuvvetin eğilme etkisi üzerine olan etkisini yaklaşık stabilite fonksiyonlarını da hesaba katarak, limit yükü bulmaya yönelik incelemeler yapmışlardır (Nishino, Vijakkhana ve Lee, 1974). Çakıroğlu ve Çetmeli, malzeme bakımından doğrusal davranış göstermeyen sistemlerin analizini kuvvet metodu ile incelemişler ve ikinci mertbe teorisine göre yapı sistemlerinin burkulma yüklerini hesaplamışlardır (Çakıroğlu ve Çetmeli, 1979). Horne ve Majid, çok katlı kayma çerçevelerinin projelendirilmesi için çözüm yöntemleri geliştirmiş ve çok katlı çok açıklıklı çerçevelerin, elasto – plastik göçme yüküne göre hesabı için iterasyon işlemine dayanan bilgisayar algoritmalarına yer vermiştir (Horne ve Majid, 1981). Clough ve Penzien, çok serbestlik dereceli sistemlerde doğrusal olmayan davranışın incelenmesinde adım adım çözüm yöntemlerini incelemişlerdir (Clough ve Penzien, 1993). Chen ve Sohal, çalışmalarında çelik malzemelerin elastik ve plastik davranışlarını ve plastik mafsallık hipotezi ile birinci derece elastik analiz ve ikinci mertbe plastik mafsallık analizini incelemişlerdir (Chen ve Sohal, 1995). Paz, çalışmasında tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin doğrusal olmayan davranışını, zaman tanım alanında, adım adım çözüm yöntemleri ile analiz etmiştir. Elasto – plastik analiz için adım adım bilgisayar algoritmaları geliştirmiştir (Paz, 1997). Chaisomphob ve Hansapinyo, çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemiyle, yüksek narinlik oranına sahip kirişlerde ikinci mertbe etkilerini dahil ederek ve timoshenko kirişi varsayımıyla kesme etkilerini de dikkate alarak betonarme çerçevelerin üç boyutlu doğrusal olmayan dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir (Chaisomphob ve Hansapinyo, 1999). Çelik çerçevelerin elastik olmayan analizini gerçekleştirmek için iki türlü yöntem vardır. Bunlar yayılı plastisite modeli ve plastik mafsallık modelidir. Foley, çalışmasında yapı sistemlerindeki çelik elemanların kesitlerinde oluşan yayılı plastisiteyi, ileri hesaplama yöntemlerini kullanarak incelemiştir (Foley, 2001). Kim

Y. ve Kim S., çalışmalarında kompozit çelik kirişleri, ikinci merteye etkileri ve malzemede oluşan plastikleşmeyi dikkate alarak yapı sisteminin taşıma kapasitesini ve yapının güvenliğini incelemişlerdir (Kim Y. ve Kim S., 2002). Kim S., Lee J. ve Park J., çalışmalarında burulmalı burkulma etkisini dikkate alarak ikinci merteye plastik mafsalları analizini incelemişlerdir (Kim S., Lee J. ve Park J., 2002). Jin, El-Tawil ve Asce, çalışmalarında bir ucu sabit diğer ucu mafsallı, iki ucu sabit ve mafsallı olan çelik çaprazlara sahip yapı sistemlerinde lokal burkulmalar nedeniyle oluşan hasarları incelemişlerdir (Jin, El-Tawil ve Asce, 2003). Omurtag, 2005 çalışmasında doğrusal olmayan davranışı, plastik şekil değiştirmeleri incelemiştir (Omurtag, 2005). Akbaş ve Çetiner, çalışmalarında tek serbestlik derecesine sahip sistemlerin belirli yer ivmesi etkisindeki enerji parametrelerini incelemişlerdir (Akbaş ve Çetiner, 2005). Özer, yapıların geometrik denge koşulları ve bünyesinde meydana gelen doğrusal olmayan davranışı incelemiştir. Özer, yapıların deprem anındaki doğrusal olmayan davranışını performansla ilgili olarak değerlendirmiştir (Özer, 2005). Kui Z., Quizhen Z. ve Qigen S., uzay çerçeve yapıların ikinci merteye doğrusal olmayan analizini, wagner etkisini, yani eksenel burulmalı burkulmayı, malzeme davranışı için Orbison' un önermiş olduğu formülasyonu ve geometri değişimleri nedeniyle oluşan ikinci merteye etkileri enerji yöntemlerini dikkate alarak incelemişlerdir (Kui Z., Quizhen Z. ve Qigen S., 2005). Xu ve Liu, çelik çerçevelerin elasto – plastik analizini, ikinci merteye etkileri, kesme etkisini ve doğrusal olmayan malzeme davranışını da dikkate alarak incelemişlerdir (Xu ve Liu, 2005). Akbaş, Temiz, Tuğsal ve Gökçe, çalışmalarında alçak, orta ve yüksek katlı çelik yapılarda, farklı zemin grubundaki yer hareketlerinin etkimesi durumunda oluşacak histeretik enerji taleplerini incelemişlerdir (Akbaş, Temiz, Tuğsal ve Gökçe 2005). King, Duan ve Chen, simetrik olmayan kesitlere sahip, kirişlere ve çerçevelere farklı limit yükler uygulayarak bu taşıyıcı sistemlerin plastik analizini gerçekleştirmişlerdir (King, Duan ve Chen, 2006). Özakgöl ve Uzgider, çalışmalarında üç boyutlu çelik çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan davranışını, üç bileşenli deprem yükleri etkisi altında, malzemedeki doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak incelemişlerdir (Özakgöl K. ve Uzgider U., 2006). Kim, Lee ve Park, çalışmalarında yapı elemanlarında oluşan lokal burkulmaları hesaba katarak uzaysal sistemlerin ikinci merteye plastik mafsalları analizini incelemişlerdir (Kim S., Lee J. ve

Park J. 2003). Ülker ve Esen, deprem yükleri etkisindeki çelik uzay çerçevelerin, dinamik analizi için Newmark ve Newton Raphson yöntemini kullanarak, malzeme ve geometrik bakımdan doğrusal olmayan davranışlarını birlikte değerlendirerek optimizasyon yapmışlardır (Ülker ve Esen, 2007). Akbaş, Kara ve Tuğsal, çelik çerçevelerde sabit duktilite değeri için, doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemi ve öteleme analizi yöntemleri ile çok katlı yapı sistemlerinin deprem hareketi sırasında oluşan hasarlarını tespit etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır (Akbaş, Kara ve Tuğsal, 2007). Hyun-Su, Jinkoo, ve Da-Woon, tekrarlı yükler altındaki yapı sistemlerinde yapıdaki tüm taşıyıcı elemanlardaki hasar seviyelerini değerlendirerek doğrusal olmayan dinamik analizi incelemiştir (Hyun-Su, Jinkoo, ve Da-Woon, 2009).

### 1.3 Amaç ve Kapsam

Yapı sistemleri deprem gibi güçlü yer ivmeleri etkisi altında doğrusal elastik davranış göstermezler. Bu durumda malzemede akma durumunda gözlenen plastik davranışın dikkate alınması gerekir. Güçlü yer ivmeleri etkisi altında bulunan yapıların, can güvenliğini tehlikeye atmadan yeteri kadar enerjiyi sönmemesi istenir. Bu durum depreme dayanıklı tasarım ilkesinin önemini ortaya koyar.

Yönetmelikler, yapısal elemanlarda oluşan hasarın can güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalmasını öngörür. Yapı sistemleri düzenli ve kesit özellikleri yeteri kadar biliniyorsa elasto - plastik analiz yapılarak güçlü yer ivmeleri etkisi altında bulunan tepkiler gerçeğe yakın olarak hesaplanabilir.

Çalışma kapsamında, malzemenin tekrarlı yükler altındaki davranışı, rijitliğin doğrusal olmayan değişimi, tek serbestlik dereceli sistemlerin dinamik hareket denklemleri, elastik ve elasto-plastik davranış gösteren sistemlerin deprem etkisinde sönmüş oldukları enerji, yer ivmesi etkisi altındaki dinamik analiz için hareket denklemleri ve hareket denklemlerinin çözümü için, yer ivmesinin doğrusal olarak değiştiği kabulüne dayanan çözüm yöntemi, doğrusal ivme metodu incelenmiştir.

Çalışmada, tek katlı çok açıklıklı tek serbestlik dereceli çelik taşıyıcı sistem kesitlerine sahip yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi için bilgisayar algoritmalarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Tek serbestlik dereceli çok açıklıklı sistem elastik olarak analiz edilmiş daha sonra malzemede akma nedeniyle oluşan plastik davranış da dikkate alınarak elasto-plastik tepkilerin zamana bağlı olarak değişimleri, yapı tarafından tüketilen enerji ve tepki kuvvetlerinin yapı rijitliğiyle olan değişimleri incelenmiştir. Ayrıca, sönüm oranı ve ağırlığın değişmesi durumunda sistemde oluşan tepkilerin değişimi incelenmiştir.

#### **1.4 Kabuller**

Yüksek lisans tezi çalışması kapsamında aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1. Çerçeve sistemlerin kayma çerçevesi olduğu varsayılmıştır.
2. Ağırlıklar kat hizasında topaklanmıştır.
3. Malzeme elasto-plastik davranış göstermektedir.
4. Dinamik analizde sönüm sabit olarak alınmıştır.
5. İkinci mertebe etkiler ihmal edilmiştir.
6. Eksenel uzama veya kısalmalar ihmal edilmiştir.
7. Topaklanmış kütlelerin burulma eylemsizliği dikkate alınmamıştır.

## 1.5 Çelik Malzemenin Yapısı

Mekanik olarak işlenebilen, herhangi bir işlemde geçmeden dövülebilen ve içerisinde % 1,7'den daha fazla karbon içermeyen demir karbon alaşımlarına çelik denir. Çelik malzemesinin yapısında büyük miktarda demir, % 0,16 ~ 0,20 karbon, fosfor, kükürt, azot, silisyum, manganez, bakır gibi elementler bulunmaktadır. Çelik malzemenin içinde bulunan karbon miktarı ve bağ dizilişi, çeliğin sertlik ve yüksek mukavemet gibi değerlerini önemli derecede etkilemektedir. Çelik içeriğinde bulunan kükürt ve fosfor gibi elementler ise mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır. Silis ve magnezyum miktarının % 0,8'den fazla olması istenmez. Çelik malzemenin içerisine krom, nikel, vandiyum, molibden gibi maddeler katılarak yüksek kaliteli çeliklerde üretilebilmektedir (Odabaşı, 2004).

Çelik malzemeler kristal bir yapıya sahiptirler. Kristal yapı, atomların yörüngelerinde bulunan serbest elektronların aynı metale ait atomlarla birleşmesinin sonucunda oluşmaktadır. Metalik bağların oluşmasında elektronların paylaşılıyor olması kovalent bağ sistemini oluşturmada, fakat bağı oluşturan elektronların sadece belirli yerlerde değil de kristal yapı içerisinde bulunmasından dolayı molekül yapısı tam anlamıyla metalik, iyonik veya kovalent olmamaktadır. Çelik kristaller ise atomların belirli şekillerde dizilmesiyle sonucunda oluşan yapının aralarında her doğrultuda birleşerek yayılması sonucunda oluşurlar. Çelik malzeme içerisinde bulunan monokristal parçacıklarının birleşimlerinde yönlere göre aynı davranış göstermesi izotropik davranışın sonucu olarak malzemenin fiziksel ve kimyasal davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Kristal yapının homojen olmasıyla birlikte çelik malzemede yüksek mukavemet değerlerine ulaşılmaktadır. Kristal yapıyı oluşturan atomların yörüngelerinde bulunan elektronların diğer atomlarla olan molekül bağ yapılarının çeşitli olması sebebiyle ses iletkenlikleri, ısı ve sıcaklık gibi fiziksel etkileri yüksektir (Baradan, 2003).



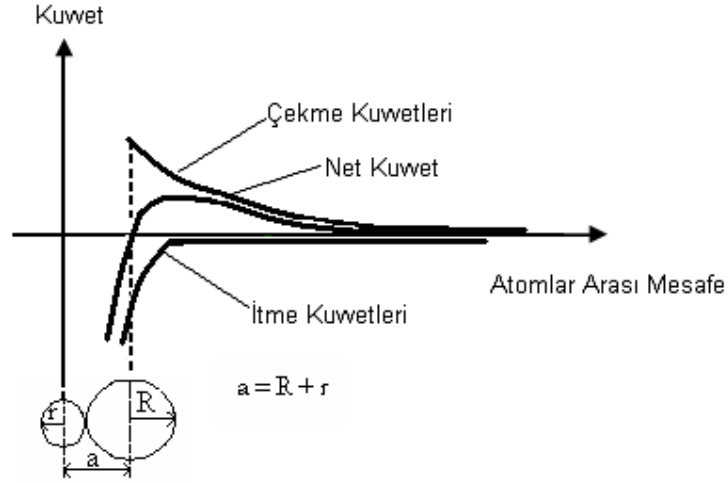
## 1.6 Çelik Malzemenin Doğrusal Olmayan Davranışı

Tek eksenli gerilme şartları altında metalik malzemeler ilk olarak gerilme – şekil değiştirmenin sabit olduğu elastik ve son olarak da kalıcı şekil değiştirmelerin görüldüğü plastik davranış gösterirler. Çelik malzemenin yük altındaki davranışı atomlar arasındaki bağ kuvvetlerinin yapısına, dizilişine ve yönelimine bağlı olarak değişmektedir (Baradan, 2003).

Çelik eleman üzerinde herhangi bir yük olmadığında, çelik malzeme içerisinde bulunan atomların arasında bulunan bağ kuvvetleri en azdır. Metalik yapıyı oluşturan kristal yapı arasındaki parçacıklar arasında bulunan bağ kuvvetleri denge halindedir. Çelik malzemeye dış kuvvet uygulandığında, yapısında bulunan kristal parçacıklarında bulunan iyonlar ve atomların yörüngelerinde bulunan negatif yüklü elektronlar arasındaki mesafeler azalır. Negatif yüklü elektronlar ve pozitif yüklü parçacıklar arasında itme ve çekme kuvvetleri oluşur. Kuvvet uygulandığında metal kristalleri arasında oluşan net kuvvet parçacıklar arasında oluşan itme ve çekme kuvvetlerinin bileşkesidir. Burada oluşan bileşke kuvvetler malzeme üzerine etkiyen yüke karşı olarak malzemenin verdiği tepki kuvvetleridir. Malzeme üzerine etkiyen yük kaldırıldığında iyonlar ve elektronlar arasında bulunan çekim kuvvetleri denge konumuna tekrar ulaşırlar. Çelik malzemede bulunan şekil değişimi tekrar eski haline gelir (Baradan, 2003).

Malzeme üzerinde bulunan yük arttığında, malzeme içerisinde bulunan atom tabakalarının arasında kayma ve dislokasyon olayı meydana gelir. Kayma olayı genellikle çok atomlu düzlemlerde ve yönlere bağlı olarak oluşur. Kayma olayının gerçekleşmesi için kayma düzlemlerinde bulunan bağların aynı zamanda kopması, dislokasyon olayının gerçekleşmesi gerekir. Bunun sonucunda kopan bağlar arasında kuvvetler minimuma düşer. Kristal yapının eski haline geri dönmesi daha zor bir hale gelir. Malzemede plastik davranışın olmasına sebep olan kalıcı şekil değişiklikleri meydana gelir. Malzeme başlangıç durumunda olan koşullarını sağlamaz ve malzemenin yapısında fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana gelir (Baradan, 2003).

Metal atomları arasında oluşan itme ve çekme kuvvetleri ile atomlar arasındaki mesafenin değişimi Şekil 1.1’ de sunulmuştur.



Şekil 1.1 Metal atomları arasında oluşan itme ve çekme kuvvetleri ile atomlar arasındaki mesafenin değişimi

Elasto – plastik davranış gösteren metalik malzemenin bağ yapısından dolayı malzeme sünek davranış gösterir. Bunun sonucu olarak malzemenin kopma süreleri arasında bulunan zaman daha uzundur.

### 1.7 Yapılarda Çelik Malzeme Kullanmanın Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Çelik malzemenin elastisite modülünün yüksek olması özellikle geniş açıklık gerektiren eğilme momentinin fazla olduğu köprü, sanayi ve gökdelen gibi yapılarda yüksek derecede mukavemet göstermektedir. Çelik malzeme elastisite modülü, beton malzemeye göre 10 kat, ahşap malzemeye göre ise yaklaşık olarak 20 kat daha fazladır. Böylece elemanları betonarmeden oluşan taşıyıcı sistemlere oranla, çelik taşıyıcı sistemlerde eleman kesitleri daha narin olabilmekte, yapının zati ağırlığını azaltmakta ve taşıyıcı sisteme daha az deprem kuvvetleri etkimesi söz konusu olmaktadır.

Çelik malzemeler, tasarıma bağlı olarak sökülüp, takılma olanağına sahiptirler. Uygulamada herhangi bir hata olduğunda, en az malzeme kaybı ile eldeki malzeme yeniden kullanılarak hatanın düzeltilme olanağı bulunmaktadır.

Çelik malzemelerin yük altında enerji yutma kapasiteleri yüksektir ve sismik yük altında sünek davranış gösterirler. Özellikle geniş açıklığın fazla olduğu yerlerde çelik kesitler petek kesimler ile daha ekonomik olarak tasarlanabilir. Böylece, boşluklu yapı ile daha hafif sistemler ve eğilme rijitliği daha yüksek elemanlar elde edilmiş olur. Çelik elemanların yerinde montajı daha kolay olabilmekte, betonarme taşıyıcılı sistemlerdeki kalıp ve iskele gereksinimini de ortadan kaldırmaktadır. Bu durum inşaat süresini kısaltmakta ve montaj süresini hızlandırmaktadır (Odabaşı, 2004).

Taşıyıcı sistemlerde çelik eleman kullanmanın yukarıda belirtilen olumlu yanları bulunmasına karşı aşağıda sunulan olumsuz yönleri de bulunmaktadır.

Çelik malzemenin kimyasal yapısı gereği ses ve iletim katsayıları yüksektir. Bu nedenle ses ve ısı yalıtımı için maliyetler hesaba katıldığında imalat ekonomik olmaktan çıkabilmektedir. Çelik malzeme ısı ve sıcaklık değişimlerin önemli derecede etkilenirler. Isının yükselmesiyle birlikte elastisite modülünde önemli derecede azalma meydana gelmekte ve mukavemet önemli ölçüde düşmektedir. Öte yandan sıcaklık farklarına bağlı olarak sistemde ek yükler meydana gelmesi, çelik yapı elemanlarının birleşimlerinde ek gerilmelerin oluşmasına neden olacaktır. Çelik elemanın su ile teması ve kimyasal maddelerle etkileşimi korozyona neden olmaktadır. Korozyon çelik malzemenin kesitlerinde önemli derecede azalmalara neden olmaktadır.

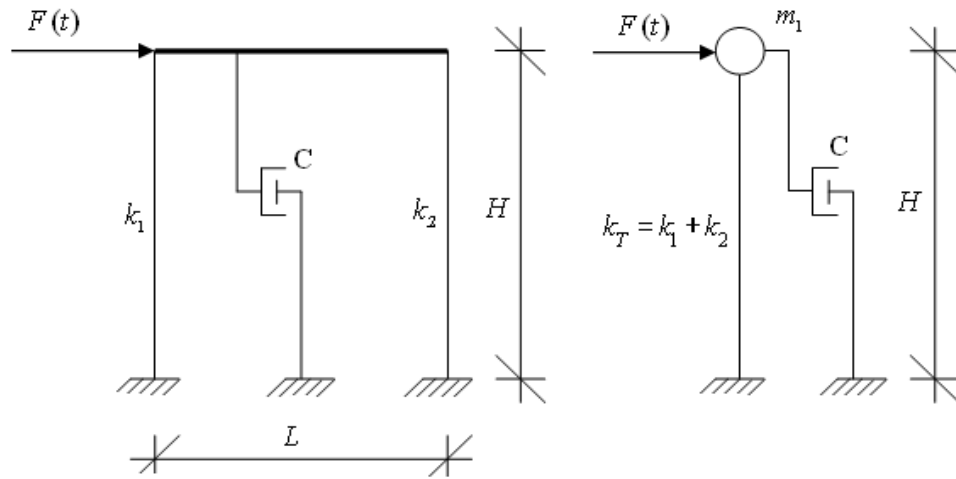
## BÖLÜM İKİ

### TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ

#### 2.1 Kesme Tipi Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Dinamik Analizi

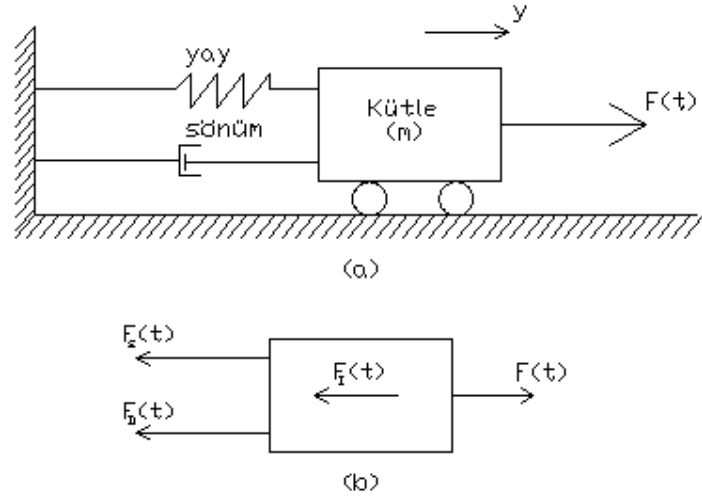
Yapı sistemlerinin dinamik analizinde, serbestlik derecesi yapının herhangi bir doğrultuda hareket edebilme yeteneği olarak tanımlanır. Yapılara dış çevreden uygulanan yükler zamana bağlı olarak değişiyor ve D' Alembert ilkesinin sonucu olarak yapıda atalet kuvvetleri yapının hareketine bağlı olarak ters yönde tepki veriyorsa dinamik analiz söz konusudur.

Taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşmuş yapı sistemlerinde, yapı kütesinin taşıyıcı sistemi üzerinde yayılı olmasına karşılık, çerçevesel yapının kütlelerinin kat seviyelerinde toplanmış olduğu kabul edilerek analiz gerçekleştirilir. Kütleleri kat hizasında toplanmış olan çerçeve sistemlerin sadece yatay yönde yerdeğiştirme yaptığı kabul edilir. Kolon ve kiriş elemanlarında aksel deformasyonlar ihmal edilir. Yatay yöndeki kiriş elemanların rijitliğinin sonsuz olduğu varsayılır. Tek serbestlik dereceli kayma çerçevesi varsayılan sistemin çerçeve modeli şekil 2.1.a' da, hesap modeli şekil 2.2 b' de sunulmuştur (Çatal, 2005).



Şekil 2.1 a. Tek serbestlik dereceli çerçeve modeli b. Tek serbestlik dereceli çerçeve için hesap modeli

Şekil 2.1b' deki hesap modeline göre tek serbestlik dereceli sistem şekil 2.2a' daki gibi kütle yay modeli ile gösterilebilir. Şekil 2.2a' da tek serbest dereceli bir sistemin hesap modeli, şekil 2.2b' de serbest cisim diyagramı sunulmuştur.



Şekil 2.2 a. Tek serbest dereceli sistem kütle yay modeli b. Serbest cisim diyagramı

Tek serbestlik derecesine sahip kayma tipi çerçevenin dinamik hareket denklemi herhangi  $t$  zamanında yapıda oluşan kuvvetlerin birbirine eşitlenmesi ile yazılabilir. Tek serbestlik dereceli sistemin şekil 2.2b' de sunulan serbest cisim diyagramına göre yatay yönde denge denklemi yazılırsa (2.1) numaralı hareket denklemi elde edilir.

$$F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) = F(t) \quad (2.1)$$

Burada,  $F_I(t)$ , eylemsizlik kuvvetini;  $F_D(t)$ , sönüm kuvvetini;  $F_S(t)$  yay kuvvetini;  $F(t)$ ,  $t$  anındaki dinamik dış kuvveti göstermektedir (Paz, 1997; Çatal, 2005).

Tek serbestlik dereceli bir sistemde zamana bağlı bir dış yük uygulandığında yapıda kütleyle doğru orantılı olarak değişen eylemsizlik kuvvetleri, yapı üzerindeki yük kalktıktan sonra yapıyı tekrar eski haline getiren, viskoz sönüm oranıyla doğru orantılı olarak değişen sönüm kuvvetleri ve sistemde kolonların rijitliğini temsil eden yay katsayısı ile doğru orantılı olarak değişen yay kuvvetleri meydana gelir.

Bu kuvvetlerin dış kuvvetle olan denge koşulunun yazılmasıyla dinamik analiz için (2.2) numaralı hareket denklemi elde edilmiş olur (Paz,1997).

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + ky = F(t) \quad (2.2)$$

Burada, m, kütle; c, viskoz sönümü; k, rijitliği; F, t zamanındaki uygulanan dış kuvveti; y, yerdeğiştirmeyi;  $\dot{y}$ , hızı;  $\ddot{y}$ , ivmeyi göstermektedir.

## 2.2 Sönümlü Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Açısal Frekansının Hesaplanması

Serbest titreşim halinde yapı sistemi üzerinde herhangi bir dış kuvvet yoktur. Bu durumda (2.2) numaralı bağıntının sağ tarafı sifira eşit olur. Sönümlü tek serbestlik dereceli sistemin serbest titreşimine ait hareket denklemi (2.3) numaralı bağıntıdaki gibidir (Çatal, 2007).

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + ky = 0 \quad (2.3)$$

(2.3) numaralı bağıntıda denklemin her iki tarafı kütle (m) bölünürse (2.4) numaralı bağıntı elde edilir.

$$\ddot{y} + \frac{c}{m} \dot{y} + \frac{k}{m} y = 0 \quad (2.4)$$

(2.4) numaralı bağıntıdaki diferansiyel denklemin çözülmesiyle denklemin kökleri (2.5) numaralı bağıntıdaki gibi elde edilir.

$$D_{1,2} = \frac{-c}{2m} \mp \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \quad (2.5)$$

Burada,  $m$ , kütleyi;  $c$ , sönümü;  $k$ , rijitliği;  $y$  yerdeğiştirmeyi;  $\dot{y}$ , hızı;  $\ddot{y}$ , ivmeyi göstermektedir.

(2.5) numaralı bağıntıdaki ifadede denklemin karakök içerisindeki kısmı tek serbestlik dereceli sönümlü bir sistemde titreşim olup olmayacağını belirler.

(2.5) numaralı bağıntıda karakök içerisindeki kısım sifıra eşit olması kritik sönüm durumunu gösterir. Kritik sönüm hali, titreşimin başlaması ya da bitmesi için gereken sönümü gösterir. Kritik sönüm koşulu, (2.6) numaralı bağıntı ile ifade edilir.

$$\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m} = 0 \quad (2.6)$$

(2.6) numaralı bağıntının çözülmesiyle kritik sönüm değeri, (2.7) numaralı bağıntıdaki gibi elde edilir.

$$c_{cr} = 2\sqrt{km} = 2m\omega \quad (2.7)$$

Yapı sisteminin viskoz sönüm katsayısının kritik sönüm katsayısına bölünmesiyle (2.8) numaralı bağıntıdaki sönüm oranı değeri elde edilir.

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} \quad (2.8)$$

Burada,  $c_{cr}$ , kritik sönüm katsayısını;  $m$  kütleyi;  $k$  rijitliği;  $\xi$ , sönüm oranını göstermektedir.

Kritik sönüm halinde hareket denklemleri çözüldüğünde (2.9) numaralı bağıntıda hareket denkleminin kökleri elde edilir.

$$D_{1,2} = -\frac{c}{2m} \quad (2.9)$$

(2.9) numaralı bağıntıdaki köklere göre (2.3) numaralı bağıntıdaki hareket denkleminin genel çözümü, (2.10) numaralı bağıntıdaki gibidir.

$$y(t) = (A_1 + A_2 t) e^{-wt} \quad (2.10)$$

Tek serbestlik dereceli sistemin sönümü kritik sönüm katsayısından küçük olduğunda sistemde titreşim mevcuttur. (2.5) numaralı bağıntıda karakök içerisindeki ifade sıfırdan küçük olduğunda titreşim meydana gelir. Kritik sönüm altı sistem koşulu, (2.11) numaralı bağıntısı ile ifade edilir.

$$\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m} < 0 \quad (2.11)$$

Burada sönüm katsayısı yerine (2.8) numaralı bağıntıdaki sönüm katsayısı değeri yazıldığında (2.12) numaralı bağıntı elde edilir (Çatal, 2007).

$$D_{1,2} = -\frac{2mw\xi}{2m} \mp \sqrt{\left(\frac{2mw\xi}{2m}\right)^2 - w^2} = -\xi w \mp iw\sqrt{1-\xi^2} \quad (2.12)$$

Burada,  $\xi$ , sönüm oranını;  $w$  açısal frekansı göstermektedir (Çatal, 2007).

(2.12) numaralı bağıntıdan sönümlü açısal frekans, (2.13) numaralı bağıntıda gösterildiği gibidir.

$$w_d = w\sqrt{1-\xi^2} \quad (2.13)$$



(2.12) numaralı bağıntıdaki köklere göre, (2.3) numaralı bağıntıdaki hareket denkleminin genel çözümü, (2.14) numaralı bağıntıdır.

$$y(t) = e^{-\xi wt} (A_1 e^{i w_d t} + A_2 e^{-i w_d t}) \quad (2.14)$$

Yapı sisteminin sönümü kritik sönüm katsayısından büyük olduğunda sistemde titreşim yoktur. Bu durumda (2.5) numaralı bağıntıda karakök içerisindeki kısım sıfırdan büyük olur. Kritik sönüm üstü koşulu, (2.15) numaralı bağıntı ile ifade edilir.

$$\left( \frac{c}{2m} \right)^2 - \frac{k}{m} > 0 \quad (2.15)$$

Burada sönüm katsayısı yerine (2.8) numaralı bağıntıdaki sönüm değeri yazıldığında (2.16) numaralı bağıntı elde edilir.

$$D_{1,2} = -\frac{2mw\xi}{2m} \mp \sqrt{\left( \frac{2mw\xi}{2m} \right)^2 - w^2} = -\xi w \mp w \sqrt{\xi^2 - 1} \quad (2.16)$$

(2.16) numaralı bağıntıdan sönümlü açısal frekans, (2.17) numaralı bağıntıda gösterildiği gibidir.

$$\bar{w} = w \sqrt{\xi^2 - 1} \quad (2.17)$$

(2.16) numaralı bağıntıdaki köklere göre, (2.3) numaralı bağıntıdaki hareket denkleminin genel çözümü (2.18) numaralı bağıntıdaki gibidir.

$$y = e^{-\xi wt} \left[ A_1 sh(\bar{w}t) + A_2 ch(\bar{w}t) \right] \quad (2.18)$$

Burada,  $A_1$  ve  $A_2$  integral sabitlerini;  $w$ , doğal açısal frekansı;  $w_d$ , sönümlü açısal frekansı;  $t$  zamanı;  $D_{1,2}$ , hareket denkleminin köklerini göstermektedir (Çatal, 2007).

### 2.3 Artımsal Hareket Denkleminin Elde Edilmesi

Tek serbest dereceli sisteme dış yük uygulandığında, (2.2) numaralı bağıntıdaki hareket denkleminde,  $t_i$  zamanında sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri yerine,  $y_i = y(t_i)$ ,  $\dot{y}_i = \dot{y}(t_i)$  ve  $\ddot{y}_i = \ddot{y}(t_i)$  fonksiyonlarının yazılmasıyla (2.19) numaralı bağıntı elde edilir.

$$m \ddot{y}_i + c \dot{y}_i + ky_i = F(t_i) \quad (2.19)$$

Burada  $F(t_i)$ ,  $t_i$  anındaki dinamik dış kuvveti;  $y_i$ , yerdeğiştirmeyi;  $\ddot{y}_i$ , ivmeyi;  $\dot{y}_i$ , hızı;  $m$ , kütle;  $c$  sönüm oranını;  $k$ , rijitlik katsayısını göstermektedir.

Kısa bir süre sonraki zaman adımı  $t_{i+1} = t_i + \Delta t$  için, (2.2) numaralı bağıntıdaki hareket denklemini yeniden yazıldığında (2.20) numaralı bağıntı elde edilir.

$$m \ddot{y}_{i+1} + c \dot{y}_{i+1} + ky_{i+1} = F(t_{i+1}) \quad (2.20)$$

Burada,  $y_{i+1}$ ,  $t_{i+1}$  zamanındaki yerdeğiştirmeyi;  $\ddot{y}_{i+1}$ ,  $t_{i+1}$  zamanındaki ivmeyi;  $\dot{y}_{i+1}$ ,  $t_{i+1}$  zamanındaki hızı;  $m$ , kütle;  $c$  viskoz sönümü;  $k$ , rijitlik katsayısını;  $F(t_{i+1})$ ,  $t_{i+1}$  zamanındaki dinamik dış kuvveti göstermektedir (Paz, 1997).

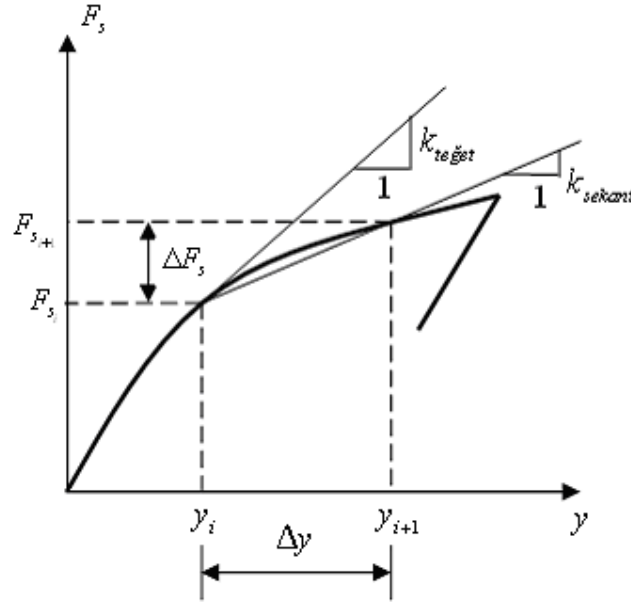
(2.19) numaralı bağıntıda  $t_i$  zamanında elde edilen dinamik hareket denklemini, (2.20) numaralı bağıntıda  $t_{i+1}$  zamanında elde edilen hareket denkleminden çıkarıldığında, (2.21) numaralı bağıntı elde edilir (Paz, 1997).

$$m \Delta \ddot{y}_i + c \Delta \dot{y}_i + k \Delta y_i = \Delta F_i \quad (2.21)$$

Burada,  $\Delta \ddot{y}_i$ , ivmedeki değişimi;  $\Delta \dot{y}_i$ , hızdaki değişimi;  $\Delta y_i$ , yerdeğiştirmedeki değişimi;  $\Delta F_i$  dış kuvvetin değişimini göstermektedir (Paz, 1997).

## 2.4 Doğrusal Olmayan Rijitliğin Elde Edilmesi

Deprem gibi güçlü yer ivmeleri altında yapı sistemlerindeki dinamik karakteristikler yay ve sönüm katsayıları malzemenin davranışına bağlı doğrusal olarak temsil edilememektedir. Bu durumda yapının davranışını esas alan doğrusal olmayan analiz yöntemleri uygulamak daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Bu çalışmada sönümün malzemenin davranışına bağlı olarak değişmediği kabul edilmiş rijitliğin doğrusal olmayan değişimi incelenmiştir. Doğrusal olmayan sistemlerde yay kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki değişim Şekil 2.3’de sunulmuştur (Chopra, 1995).



Şekil 2.3 Yay kuvveti yerdeğiştirme ilişkisi

Burada,  $y_i$ ,  $t_i$  inci zamanındaki yerdeğiştirmeyi;  $y_{i+1}$ ,  $t_{i+1}$  inci zamandaki yerdeğiştirmeyi;  $F_{s_i}$ ,  $t_i$  inci zamanındaki yay kuvvetini;  $F_{s_{i+1}}$ ,  $t_{i+1}$  inci zamandaki yay kuvvetini;  $\Delta y$  yerdeğiştirme farkını;  $\Delta F_s$ , yay kuvveti arasındaki farkı;  $k_{sekant}$ , şekil 2.3’ de sunulan iki nokta arasındaki eğrinin eğimini;  $k_{teğet}$  ise şekil 2.3’ de sunulan eğrinin teğetinden çizilen doğrunun eğimini göstermektedir.

Şekil 2.3’de görülen yerdeğiştirme ile yay kuvveti arasındaki değişimi gösteren doğrusal olmayan rijitlik ifadesi eğriyi iki yönden kesen doğrunun eğimi (2.22) numaralı bağıntıdaki gibi yazılır (Paz, 1997).

$$k_i = \frac{\Delta F_s(y_i)}{\Delta y_i} \quad (2.22)$$

Burada,  $\Delta F_s(y_i)$ , yay kuvvetindeki değişimi;  $\Delta y_i$  yerdeğiştirmedeki değişimi;  $k_i$ , rijitliği göstermektedir.

Doğrusal olmayan sistemlerde  $F_s$  yay kuvveti ile  $y$  yerdeğiştirmesi arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Burada teğet rijitlik matrisi  $k_{Teğet}$ ,  $y$  yerdeğiştirmesine bağlı olarak değişir ve sabit değildir.

Şekil 2.3’ de görüldüğü üzere eğriyi iki yönden kesen eğrinin eğimi alındığında  $k_{sekant}$  rijitliği hesaplanabilir. Ancak  $t_{i+1}$  zamanındaki,  $y_{i+1}$  yerdeğiştirme değeri bilinmediğinden dolayı  $k_{sekant}$  değeri hesaplanamaz. Bu yüzden, çok küçük bir zaman artımı  $\Delta t$  değeri için  $k_{sekant}$  değeri,  $k_{Teğet}$  değerine yaklaşık olarak (2.23) numaralı bağıntıdaki gibi eşit alınabilir (Chopra, 1995).

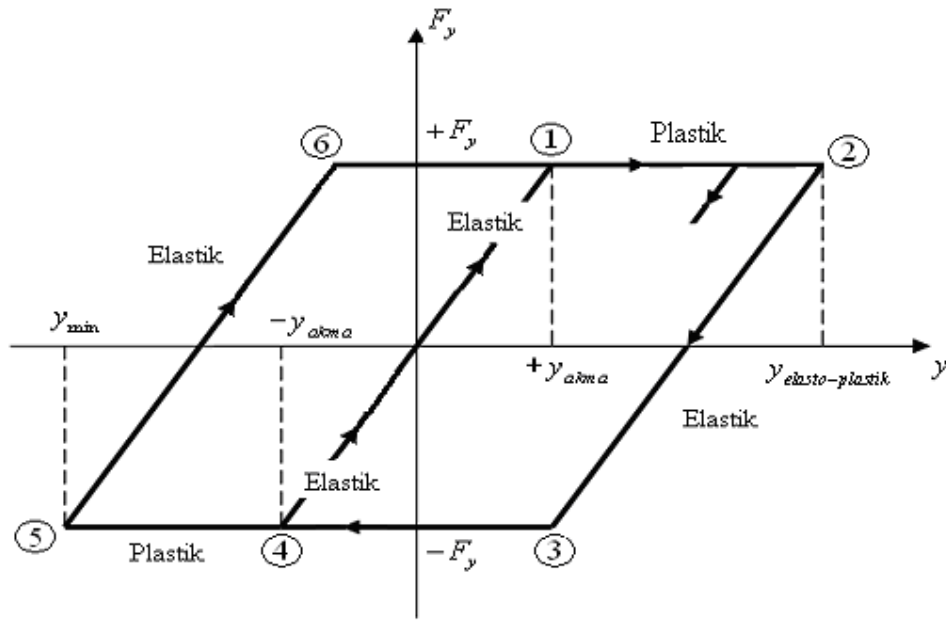
$$k_{sekant} \approx k_{Teğet} \quad (2.23)$$

$\Delta y_i$ , yerdeğiştirme farkı için yay kuvveti (2.24) numaralı bağıntı ile hesaplanabilir.

$$(\Delta F_s)_i \approx (k_i)_{Teğet} \times \Delta y_i \quad (2.24)$$

## 2.5 Doğrusal Olmayan Elasto-plastik Davranış

Deprem ve rüzgar gibi tekrarlı yükler altındaki yapılarda tepkiler doğrusal değildir. Dış kuvvet yapıda rijitliğin azalmasına yol açacaktır. Bu durumda doğrusal davranış göstermeyen sistemlerde malzemenin akması sonucunda oluşan davranışın, rijitlik değişimlerinin hesaba katılması gerekir. Doğrusal olmayan sistemler için elasto-plastik yerdeğiştirme ve dengeleyici kuvvetin değişimi Şekil 2.4' de sunulduğu gibidir (Paz, 1997).



Şekil 2.4 Doğrusal olmayan sistemler için elasto - plastik yerdeğiştirme ile dengeleyici kuvvetin değişimi

Elasto - plastik davranış gösteren bir yapı sisteminde, malzeme tarafından verilen tepki, birinci döngüde, kuvvetin çekme olarak etkimesi durumunda, malzemenin akma eşiğine ulaşmasıyla şekil 2.4' de sunulan grafikte 1 noktasına gelinir. Çekme kuvvetleri etkisi altında  $F = + F_y$  akma anında oluşan akma yerdeğiştirme değeri (2.25) numaralı bağıntıdan aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$y_{+akma} = +F_y / k \quad (2.25)$$

Birinci döngüde, kuvvetin basınç olarak etkimesi durumunda, malzemenin akma eşiğine ulaşmasıyla şekil 2.4' de sunulan grafikte 4 noktasına gelinir.  $F = -F_y$  akma anında oluşan akma yerdeğiştirme değeri (2.26) numaralı bağıntıdan aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$y_{-akma} = -F_y / k \quad (2.26)$$

Burada,  $F_y$  ve  $-F_y$ , sırasıyla sistemde çekme ve basınç durumundaki akma başlangıcını oluşturan dengeleyici kuvvetleri;  $k$ , yapı elemanının elastik rijitliğini;  $y_{+akma}$ , kuvvetin çekme olması durumundaki akma yerdeğiştirmesini;  $y_{-akma}$ , kuvvetin basınç olması durumundaki akma yerdeğiştirmesini göstermektedir.

Yapı sisteminde oluşan yerdeğiştirmeler pozitif ve negatif akma yerdeğiştirmesi arasında olduğunda ( $-y_{akma} < y < y_{akma}$ ) sistem davranışı şekil 2.4' de sunulan 4 – 1 noktaları arasındaki eğri üzerinde olacaktır ve malzeme elastik davranış gösterecektir. Sistemin yerdeğiştirmesi akma anında oluşan yerdeğiştirme değerini aşarsa ( $y_{akma} < y$ ) ve sistemin hızı sıfırdan ( $\dot{y} > 0$ ) büyük olduğu sürece sistem davranışı şekil 2.4'de 1-2 noktaları arasındaki eğri üzerinde olacaktır ve malzeme tam plastik davranış gösterecektir. Sistem akma noktasına ulaştığında bu durumda sistemde kalıcı deformasyonların hakim olduğu plastik davranış meydana gelir. Bu durumda yapının rijitliği sabit kalır. Oluşan yerdeğiştirmeler geri dönmezse ve sistemin hızı sıfıra eşit olursa ( $\dot{y} = 0$ ), yapıda en büyük yerdeğiştirme meydana gelir. Yapı sisteminin hızı sıfırdan küçük ( $\dot{y} < 0$ ) olduğunda sistem elastik davranışa geri dönecektir. Bu noktadan sonra sistemde elastik kazanımların gerçekleştiği, başlangıç eğrisine paralel olan bir dönüş gerçekleşir. Bu durumda oluşan yeni akma noktası (2.27) ve (2.28) numaralı bağıntılarla belirlenir (Paz, 1997).

$$y_{+akma} = y_{elasto-plastik} \quad (2.27)$$

$$y_{-akma} = y_{elasto-plastik} - (F_{+y} - F_{-y}) / k \quad (2.28)$$

Burada,  $y_{elasto-plastik}$ , elasto-plastik davranış gösteren sistemde oluşan en büyük yerdeğiştirmeyi göstermektedir ve hız sıfıra eşit olduğunda ( $\dot{y} = 0$ ) meydana gelmektedir.

Malzemede oluşan yerdeğiştirmeler akma yerdeğiştirmesi değerine doğru küçülürse ( $-y_{akma} > y$ ) ve hız sıfırdan küçük ( $\dot{y} < 0$ ) olursa, malzeme basınç halinde plastik davranış gösterecektir. Malzemede basınç altında plastik yerdeğiştirmeler meydana gelecektir. Bu durumda yapı sisteminin davranışı şekil 2.4' de sunulan 3 – 5 noktaları arasındaki eğri üzerinde olacaktır. Hız sıfırdan büyük olduğunda ( $\dot{y} > 0$ ), sistemde elastik geri kazanımlar meydana gelecektir. Yapı sisteminin davranışı şekil 2.4' de sunulan 5 - 6 noktaları arasındaki eğri üzerinde olacaktır. Burada oluşan yay kuvvetlerinin büyüklüğü yerdeğiştirme hızının büyümesine veya küçülmesine bağlıdır. Sistemde hız değeri sıfıra eşit olduğunda ( $\dot{y} = 0$ ) olduğunda sistemde en düşük yerdeğiştirme meydana gelecektir. Bu durumda yeni akma sınırı (2.29) ve (2.30) numaralı bağıntılar yardımıyla hesaplanır (Paz,1997).

$$y_{-akma} = y_{min} \quad (2.29)$$

$$y_{+akma} = y_{min} + (F_{+y} - F_{-y}) / k \quad (2.30)$$

Malzeme davranışı doğrusal olmayan sistem için dengeleyici kuvvetler (2.31), (2.32) ve (2.33) numaralı bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

$$F = F_{+y} - (y_{akma} - y) \times k \quad -y_{akma} < y < y_{akma} \quad (2.31)$$

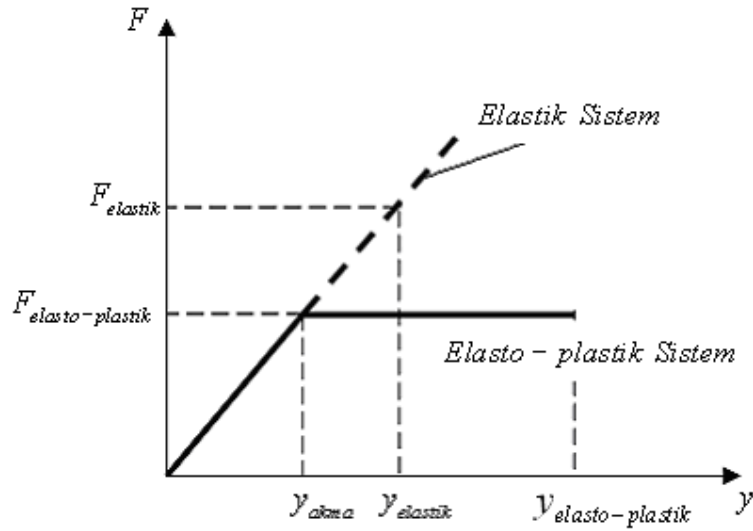
$$F = F_{+y} \quad y_{akma} < y \quad (2.32)$$

$$F = F_{-y} \quad -y_{akma} > y \quad (2.33)$$

Burada,  $y_{min}$ ; şekil 2.4' de sunulan grafikte 5 noktasında oluşan en düşük yerdeğiştirmeyi;  $F_{+y}$  ve  $F_{-y}$ , sırasıyla sistemde çekme ve basınç durumundaki akma başlangıcını oluşturan dengeleyici kuvvetleri;  $k$ , yapı elemanının elastik rijitliğini;

$y_{+akma}$ , kuvvetin çekme olması durumundaki akma yerdeğiştirmesini;  $y_{-akma}$ , kuvvetin basınç olması durumundaki akma yerdeğiştirmesini;  $y$  yerdeğiştirmeyi;  $F$ , malzeme tarafından verilen tepkiyi göstermektedir (Paz,1997).

Başlangıçtaki yükleme koşullarında elastik sistem, doğrusal olmayan elasto-plastik sistemin rijitliğine sahiptir. Deprem etkisi altında aynı kütle ve sönüme sahip, yapının ideal elasto – plastik olarak vereceği tepki ile elastik olarak vereceği tepkinin değişimi şekil 2.5’ de sunulduğu gibidir (Chopra, 1995).



Şekil 2.5 Elasto - plastik ve elastik sistemler için yay kuvveti ve yerdeğiştirmenin değişimi

Burada,  $y_{elastik}$ ; elastik sistemde deprem anında oluşan en büyük yerdeğiştirmeyi;  $y_{elasto-plastik}$ , elasto-plastik davranış gösteren sistemdeki en büyük yerdeğiştirmeyi;  $F_{elastik}$ , elastik sistemde oluşan yay kuvvetini;  $y_{akma}$ , elasto - plastik sistemin akma yerdeğiştirmesini;  $F_{elasto-plastik}$ , elasto – plastik sisteme ait yay kuvvetini göstermektedir.

Yer hareketi etkisinde kalan elasto - plastik bir sistemin yapacağı en büyük yerdeğiştirme ile sistemin akma anında yapacağı yerdeğiştirme arasındaki oran yapının süneklik oranı olarak adlandırılır. Süneklik oranı (2.34) numaralı bağıntı ile hesaplanabilir.



$$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{akma}} \quad (2.34)$$

Doğrusal davranış göstermeyen sistemler için normalleştirilmiş akma dayanımı, sistemin plastik haldeki dayanımının en büyük elastik dayanımına bölünmesiyle, (2.35) numaralı bağıntıdaki gibi elde edilir (Chopra, 1995).

$$R_y = \frac{1}{\bar{F}_y} = \frac{F_{elastik}}{F_{elasto-plastik}} = \frac{y_{elastik}}{y_{akma}} \quad (2.35)$$

Burada,  $\bar{F}_y$ , normalleştirilmiş akma dayanımını;  $F_{elasto-plastik}$ , elasto - plastik sistemde oluşan en büyük yay kuvvetini;  $F_{elastik}$ , elastik sistemdeki en büyük yay kuvvetini;  $\mu$ , süneklik talebini;  $R_y$ , dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

Doğrusal davranış gösteren sistemlerde normalleştirilmiş akma dayanımı değeri  $\bar{F}_y = 1$  ve dayanım azaltma katsayısı  $R_y = 1$  olmaktadır. Elasto - plastik davranışa ait akma dayanımı, elastik haldeki en büyük akma dayanımı değerine  $F_y = F_{elastik}$  eşit olmaktadır. Doğrusal malzeme davranışı göstermeyen sistemlerde normalleştirilmiş akma dayanımı değeri birden küçük ( $\bar{F}_y < 1$ ) ve dayanım azaltma katsayısı birden büyük ( $R_y > 1$ ) olmaktadır. Elastik ve elasto - plastik davranış gösteren sistemlerde en büyük yerdeğiştirmeler ile süneklik talebi ve normalleştirilmiş akma dayanımı arasındaki ilişki (2.36) numaralı bağıntıdaki gibidir (Chopra, 1995).

$$\frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} = \mu \bar{F}_y = \frac{\mu}{R_y} \quad (2.36)$$

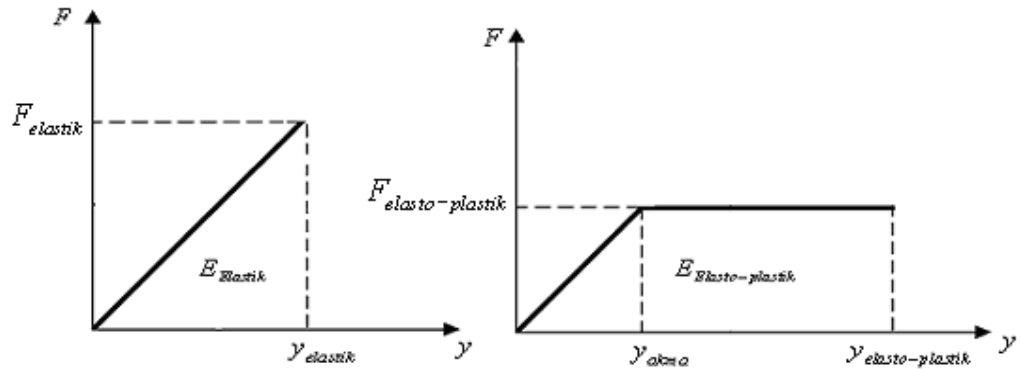
(2.36) numaralı bağıntı süneklik talebi cinsinden yazılırsa (2.37) numaralı bağıntı elde edilir.

$$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} \quad (2.37)$$

Doğrusal olmayan analiz için, ilk olarak sistem elastik halde analiz edilir. En büyük yerdeğiştirme ve kuvvet bulunur. Sonra seçilen normalleştirilmiş akma dayanımı için, (2.35) numaralı bağıntı kullanılarak elasto - plastik davranış için en büyük akma dayanımı elde edilir. Elasto - plastik haldeki akma dayanımının sistemin rijitliğine bölünmesiyle sistemin akma anında oluşan yerdeğiştirmesi elde edilir. Sistemde seçilen normalleştirilmiş akma dayanımlarına göre, sistemin süneklik talebi hesaplanır.

## 2.6 Elastik ve Elasto-Plastik Malzeme Davranışı Gösteren Sistemlerde Sönümlenen Enerji

Elastik olarak tasarlanmış bir yapı sisteminde, dış kuvvetin etkisiyle oluşan en büyük elastik tepki kuvveti, en büyük  $y_{elastik}$  yerdeğiştirmesini yapması durumunda meydana gelecektir. Şekil 2.6a' da yay kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki elastik davranış ve şekil 2.6b' de yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin doğrusal olmayan elasto-plastik davranışı sunulmuştur.



Şekil 2.6 a. Yay kuvvetinin yer değiştirme ile doğrusal olarak değişimi b. Yay kuvvetinin yerdeğiştirme ile doğrusal olmayan değişimi

Burada,  $y_{elastik}$  ; elastik sistemde deprem anında oluşan en büyük yerdeğiştirmeyi;  $y_{elasto-plastik}$  , elasto-plastik davranış gösteren sistemdeki en büyük yerdeğiştirmeyi;  $F_{elastik}$  , elastik sistemdeki yay kuvvetini;  $y_{akma}$  , elasto - plastik sistemin akma yerdeğiştirmesini;  $F_{elasto-plastik}$  , elasto – plastik sistemdeki yay kuvvetini;  $E_{Elastik}$  , elastik davranış gösteren sistemde tüketilen enerjiyi;  $E_{Elasto-plastik}$  , elasto-plastik davranış gösteren sistemde tüketilen enerjiyi göstermektedir.

Yapı sisteminin elastik davranış göstermesi durumunda sistem tarafından tüketilen enerji şekil 2.6a’ da sunulan grafikte eğrinin altında kalan alandır ve (2.38) numaralı bağıntı ile hesaplanır. Yapı sisteminin elasto-plastik davranış göstermesi durumunda malzeme ilk olarak elastik davranış sonra plastik davranış gösterecektir. Bu durumda yapı sistemi tarafından tüketilen enerji şekil 2.6b’ de verilen eğrinin altında kalan alandır ve (2.39) numaralı bağıntı ile hesaplanabilir.

$$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} \quad (2.38)$$

$$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma}) \quad (2.39)$$

## 2.7 Yapı Sistemlerinin Güçlü Yer İvmelerine Karşı Sönüm Özelliklerinin Yükseltilmesi Yöntemleri

Yapı sistemleri deprem ve rüzgar gibi yapıyı elastik sınırlar ötesinde zorlayan kuvvetler altında doğrusal davranış göstermemektedirler. Burada yapı ağırlığı ve sönüm yapının depreme karşı vereceği tepkiyi değiştirecektir. Günümüzde yapıların güçlü yer ivmeleri etkisi altındaki tepkilerini azaltmak için sönüm artırıcı izalotörler kullanılmaktadır. Dinamik yükler altındaki titreşimlerin kontrolü için aktif ve pasif kontrol yöntemleri kullanılmaktadır (Kasımzade A., 2004).

Aktif kontrol sistemleri yüksek ve esnek yapılarda yapının üst katına aktif kütle söndürücüleri yerleştirilerek, hidrolik sistem harekete geçirilerek dinamik yüke karşı

kontrol kuvveti oluşturulur. Aktif kontrol sisteminde kontrol kuvveti tabana yerleştirilen araçlardan alınır. Aktif kontrol sistemlerinin değişen dış yüke göre uyumu oldukça iyidir. Ancak sürekli bakım gerektirmektedir (Kasımzade A., 2004).

Pasif kontrol sistemleri alçak ve rijit yapılarda uygulanmaktadır. Pasif kontrol sisteminde temel sismik izalasyon sistemi kullanılır. Temel izolasyon sistemleri düşük yatay rijitliğe ve yüksek sönüme sahiptirler. Yüksek sönüm yapının periyodunu artırarak deprem esnasında oluşan sismik kuvvetleri azaltır. Çalışmada yapı elemanlarındaki sönümün artırılmasının yapının tepkisine olan etkisi sayısal uygulamalarda incelenecektir (Kasımzade A., 2004).

## BÖLÜM ÜÇ

### DOĞRUSAL OLMAYAN HAREKET DENKLEMİNİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Dinamik yükler altında yapı sistemine etkiyen kuvvetlerin dengesi ile oluşturulan genel hareket denkleminin çözümünde, dış kuvvetin matematiksel fonksiyona uygun olarak etkimesi durumunda diferansiyel hareket denkleminin çözümü kolaydır. Zamana bağlı olan dış yüklerin belirli bir matematiksel fonksiyon ile ifade edilmemesi durumunda diferansiyel denklemin çözümü daha zor bir hale gelmektedir. Bu durumda sayısal çözüm yöntemlerine başvurulmaktadır.

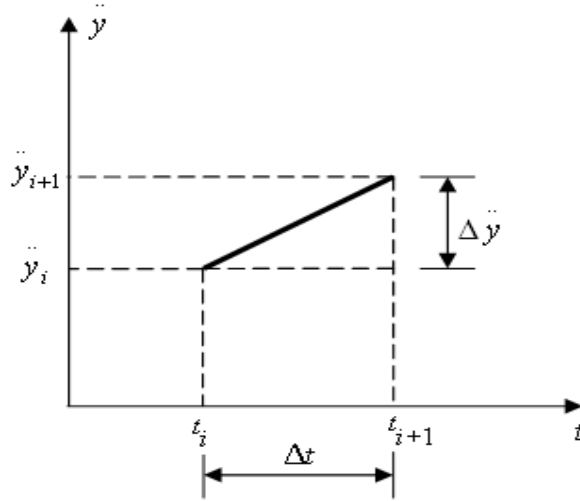
Doğrusal olmayan çözüm yöntemlerinin analizinde, pek çok çözüm yöntemi olmasına rağmen, bunlardan en etkili olan yöntemler, adım adım integrasyon metodlarıdır. Bu metodlarda, doğrusal olmayan tepki, genellikle eşit zaman uzunlukları alınarak, ardışık zaman aralıkları  $\Delta t$  için değerlendirilir. Her zaman aralığının başında denge denklemleri kurulur. Seçilen  $\Delta t$  zaman artımı için tepki, rijitlik katsayısı  $k(y)$  ve sönüm oranı  $c(y)$  karakteristiklerinin  $\Delta t$  zaman aralığı boyunca sabit olarak alınmasıyla yaklaşık bir şekilde elde edilir. Böylece, doğrusal olmayan davranış, ardışık bir şekilde değişen doğrusal sistem gibi analiz edilir. Bu katsayıların doğrusal olmayan özellikleri, her zaman aralığının başında yeniden değerlendirilir. Her zaman aralığı sonucunda elde edilen tepki, hız ve yerdeğiştirme bir sonraki adım için başlangıç şartları olarak kullanılarak ardışık hesaba devam edilir (Uzsoy, 2001; Paz,1997).

Doğrusal olmayan çözüm yöntemlerinde belirli hesap yöntemleri vardır. Bunlardan en yaygın olanları Wilson -  $\theta$  metodu, Newmark metodu, sabit ivme ve doğrusal ivme metodudur. Wilson -  $\theta$  metodunda taşıyıcı sistem analizi, zaman aralığı değişimi geniş bir  $\theta\Delta t$  alınarak gerçekleştirilir. Newmark metodunda, ivmenin değişimine bağlı olarak  $\gamma$  ve  $\beta$  gibi değişkenler kullanılır. Sabit ivme metodunda, ivmenin  $\Delta t$  zaman aralığı boyunca sabit olduğu varsayılır. Ortalama ivme metodunda, ivmenin,  $\Delta t$  zaman aralığı boyunca doğrusal bir şekilde değiştiği varsayılır. Newmark metodu, ivme metodlarının genel bir ifadesidir (Paz,1997).

Bu çalışmada ivmenin doğrusal olarak değiştiği varsayımına dayanan doğrusal ivme metodu incelenmiştir.

### 3.1 Doğrusal İvme Metodu Kullanılarak Doğrusal Olmayan Analiz

Bu yöntemde ivmenin,  $\Delta t$  zaman aralığı boyunca, zamanın doğrusal fonksiyonu olduğu varsayılır. Doğrusal davranış göstermeyen sistemlerde, sönüm oranı  $c$  ve  $k$  yay rijitliğinin doğrusal olmayan değişkenlerinin hesaplara dahil edilmesi gerekir. Bu çözüm yönteminin uygulanmasında iki varsayım vardır. Bunlar; ivmenin  $\Delta t$  zaman artımı boyunca doğrusal olarak değiştiği ve doğrusal olmayan sisteme ait sönüm  $c$ , rijitlik  $k$  gibi değişkenlerin her  $t_i$  zamanının başlangıcında değerlendirildiği,  $\Delta t$  zaman aralığı boyunca bu değişkenlerin sabit kaldığı varsayımlarıdır. Şekil 3.1’de  $\Delta t$  zaman aralığı boyunca ivmenin doğrusal olarak değişimi sunulmuştur.



Şekil 3.1 Zaman aralığı boyunca ivmenin doğrusal olarak değişimi

İvme fonksiyonu şekil 3.1’ de sunulan grafikten (3.1) numaralı bağıntıdaki gibi yazılır.

$$\ddot{y}(t) = \ddot{y}_i + \frac{\Delta \ddot{y}_i}{\Delta t} (t - t_i) \quad (3.1)$$

Burada,  $\ddot{y}_i$ ,  $t_i$  inci zamandaki ivme değerini;  $\ddot{y}_{i+1}$ ,  $t_{i+1}$  inci zamandaki ivme değerini;  $\Delta t$ ,  $t_i$  ve  $t_{i+1}$  inci zaman aralığı arasındaki zaman farkını göstermektedir.

(3.1) numaralı bağıntının ardışık iki kez integralinin alınmasıyla (3.2) ve (3.3) numaralı bağıntılarda sunulan hız ve yerdeğiştirme bağıntıları elde edilir.

$$\dot{y}(t) = \dot{y}_i + \ddot{y}_i(t-t_i) + \frac{1}{2} \frac{\Delta \ddot{y}_i}{\Delta t} (t-t_i)^2 \quad (3.2)$$

$$y(t) = y_i + \dot{y}_i(t-t_i) + \frac{1}{2} \ddot{y}_i(t-t_i)^2 + \frac{1}{6} \frac{\Delta \ddot{y}_i}{\Delta t} (t-t_i)^3 \quad (3.3)$$

$\Delta t = t - t_i$ ,  $\ddot{y}(\Delta t) = \ddot{y}_{i+1}$ ,  $\dot{y}(\Delta t) = \dot{y}_{i+1}$  koşulları altında artımsal hız  $\Delta \dot{y}_i$  ve artımsal yerdeğiştirme  $\Delta y_i$ , (3.4) ve (3.5) numaralı bağıntılardan elde edilir.

$$\Delta \dot{y}_i = \ddot{y}_i \Delta t_i + \Delta \ddot{y}_i \frac{\Delta t_i^2}{2} \quad (3.4)$$

$$\Delta y_i = \dot{y}_i \Delta t_i + \ddot{y}_i \frac{\Delta t_i^2}{2} + \Delta \ddot{y}_i \frac{\Delta t_i^3}{6} \quad (3.5)$$

$\ddot{y}_i$ , ivme değeri (3.5) numaralı bağıntı kullanılarak elde edildikten sonra (3.1) numaralı bağıntıda yerine yazıldığında, artımsal hız  $\Delta \dot{y}_i$  ve ivme  $\Delta \ddot{y}_i$  değerleri, (3.6) ve (3.7) numaralı bağıntılardan hesaplanır.

$$\Delta \ddot{y}_i = \frac{6}{\Delta t_i^2} (\Delta y_i - \dot{y}_i \Delta t_i - \ddot{y}_i \frac{\Delta t_i^2}{2}) \quad (3.6)$$

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{3}{\Delta t_i} \Delta y_i - 3 \dot{y}_i - \ddot{y}_i \frac{\Delta t_i}{2} \quad (3.7)$$

(3.5), (3.6) ve (3.7) numaralı bağıntılardan elde edilen artımsal yerdeğiştirme  $\Delta y_i$ , artımsal hız  $\Delta \dot{y}_i$  ve ivme  $\Delta \ddot{y}_i$  bağıntıları, tek serbest dereceli sistem için elde edilen (2.21) numaralı artımsal hareket bağıntısında yerine yazılmasıyla (3.8) numaralı bağıntı elde edilir (Paz, 1997).

$$m \left\{ \frac{6}{\Delta t^2} \Delta y_i - \frac{6}{\Delta t} \dot{y}_i - 3 \ddot{y}_i \right\} + c_i \left\{ \frac{3}{\Delta t} \Delta y_i - 3 \dot{y}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i \right\} + k_i \Delta y_i = \Delta F_i \quad (3.8)$$

(3.8) numaralı genel hareket bağıntısının çözülmesiyle artımsal yerdeğiştirme değeri  $\Delta y_i$ , (3.9) numaralı bağıntıdan elde edilir.

$$\Delta y_i = \Delta \bar{F}_i \times \bar{k}_i^{-1} \quad (3.9)$$

$\bar{k}_i$  efektif yay rijitliği, (3.10) numaralı bağıntıdan hesaplanır.

$$\bar{k}_i = k_i + \frac{6m}{\Delta t^2} + \frac{3c_i}{\Delta t} \quad (3.10)$$

Artımsal efektif kuvvet  $\Delta \bar{F}_i$  değeri (3.12), (3.13) ve (3.14) numaralı bağıntılar kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta \bar{F}_i = \Delta F_i + a_i \dot{y}_i + b \Delta \ddot{y}_i \quad (3.12)$$

$$a_i = \frac{6m}{\Delta t_i} + 3c \quad (3.13)$$

$$b_i = 3m + c \frac{\Delta t_i}{2} \quad (3.14)$$

Burada, m, kütleyi; c, viskoz sönümü;  $\Delta t_i$ , zamandaki değişimi;  $\Delta F_i$ , dış kuvvetdeki değişimi;  $\Delta \bar{F}_i$ , efektif dış kuvvetin değişimini göstermektedir.



Birinci iterasyon değeri  $i = 0$  için,  $\Delta y_0$ , artımsal yerdeğiştirme değeri,  $\Delta \dot{y}_0$ , artımsal hız değeri,  $\Delta \ddot{y}_0$ , artımsal ivme değeri elde edilir.

$\Delta y_0$ , artımsal yerdeğiştirme değeri (3.15) numaralı bağıntıdan hesaplanır.

$$\Delta y_0 = \Delta \bar{F}_0 \times k_0^{-1} \quad (3.15)$$

$\Delta \dot{y}_0$ , artımsal hız değeri (3.16) numaralı bağıntıdan elde edilir.

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{3}{\Delta t_0} \Delta y_0 - 3 \dot{y}_0 - \ddot{y}_0 \frac{\Delta t_0}{2} \quad (3.16)$$

$\Delta \ddot{y}_0$ , artımsal ivme değeri (3.17) numaralı bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{m} (\Delta F_0 - c_0 \Delta \dot{y}_0 - k_0 \Delta y_0) \quad (3.17)$$

1. inci adımdaki yerdeğiştirme  $y_1$ , hız  $\dot{y}_1$  ve ivme  $\ddot{y}_1$  değerleri aşağıdaki (3.18), (3.19) ve (3.20) numaralı bağıntılar kullanılarak elde edilir.

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0 \quad (3.18)$$

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta \dot{y}_0 \quad (3.19)$$

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta \ddot{y}_0 \quad (3.20)$$

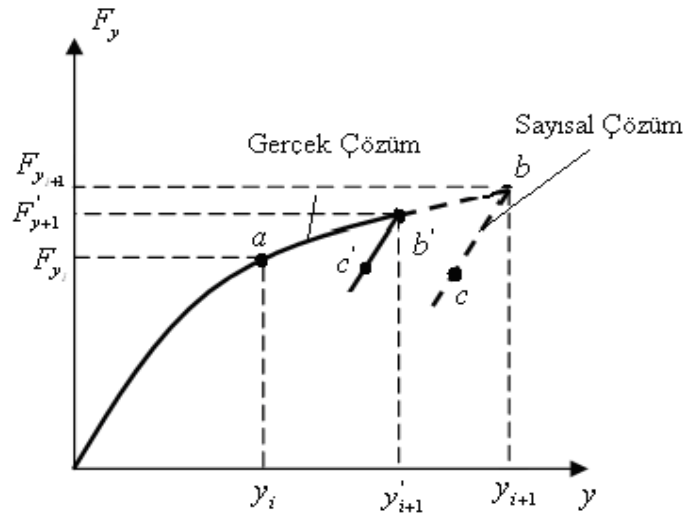
İterasyon değeri artırılarak, bir sonraki çözüm aralığına geçilir ve istenilen  $t$ , zaman değerine ulaşıncaya kadar iterasyonlara devam edilir. Adım adım çözüm yöntemlerinde, integrasyon methodlarının doğruluğu, seçilen zaman aralığının  $\Delta t$

büyüklüğüne bağlıdır.  $\Delta t$  seçimi sırasında; yapının doğal periyodu, sönüm ve yay fonksiyonlarının doğrusal olmayan değişimleri dikkate alınmalıdır (Paz, 1997).

### 3.3 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözümünde oluşan Hatalar

Bir yapının kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri ve yapıya etkiyen yükler bilinirse, yapıda oluşacak olan tepki sayısal çözüm yöntemleri ile hesaplanabilir. Adım adım çözüm yöntemleri çok küçük zaman adımları ile istenen zaman aralığında aranan davranışı bulmaya yöneliktir. Sayısal çözümlerin gerçeğe yakın davranışına yakın olması için, başlangıçta zaman aralığının yeterince küçük seçilmesi ve yapı periyodunun onda birinden küçük olması önerilmiştir. Yay ve sönüm fonksiyonunun değişim oranının herhangi bir andaki ani değişimleri dikkate alınmalıdır. Elasto - plastik malzemede rijitlik doğrusal elastik fazdan, plastik faza ani olarak değişir. Bu durumda en yaklaşık çözümü elde etmek için zaman adımları oldukça küçük seçilmelidir (Paz, 1997).

Adım adım çözüm yönteminde belirlenen zaman artımı için sabit zaman artımı kullanıldığında, elasto - plastik davranış gösteren sistemlerde hatalar meydana gelmektedir. Şekil 2.8' de sabit zaman aralığı seçildiğinde sayısal çözüm ile gerçek çözüm arasındaki fark sunulmuştur.



Şekil 2.8 Sabit zaman aralığı seçilmesi sonucu sayısal çözüm ile gerçek çözüm arasındaki eğrilerin değişimi

Şekil 2.8' de a noktasında herhangi  $t_i$  zamanında sistemin yerdeğiştirme değeri  $y_i$  ve pozitif hız değeri  $\dot{y}_i$  dir. Belirli  $t_{i+1}$  zaman artımı sonra yerdeğiştirme değeri  $y_{i+1}$  ve hız değeri  $\dot{y}_{i+1}$  olmakta ve şekil 2.8' de sunulan grafikteki eğri üzerinde a noktasından b noktasına gelinmektedir. Burada  $t_{i+1}$  zamanında oluşan hız değeri  $\dot{y}_{i+1}$  negatif olursa seçilen zaman adımından daha küçük bir zaman adımı  $t'_{i+1}$  için yerdeğiştirme  $y'_{i+1}$ , şekil 2.8' de sunulan grafikteki eğri üzerinde  $b'$  noktasında, hız değeri sıfıra eşit ( $\dot{y}=0$ ) olduğunda meydana gelecektir. Zaman adımı küçük alınmayıp hesaplara devam edildiğinde  $t_{i+2}$  zamanında oluşan yerdeğiştirme  $y_{i+2}$  ve hız  $\dot{y}_{i+2}$ , şekil 2.8' de sunulan grafikteki eğri üzerinde c noktasında oluşacaktır ve sayısal çözüm elde edilecektir. Zaman adımı küçük alınarak hesaplara devam edildiğinde  $t'_{i+1}$  zaman adımından belirli bir zaman sonra  $t'_{i+2}$  oluşan yerdeğiştirme  $y'_{i+2}$  ve  $\dot{y}'_{i+2}$  hız, şekil 2.8' de  $c'$  noktasında meydana gelecektir. Bu durumda gerçek çözüm elde edilir. Özellikle adım adım çözüm yöntemleri ile yapılan doğrusal olmayan analizlerde hızın sıfır olduğu noktalar dikkate alınarak hesaplara devam edilmelidir. Gerçek çözüme oldukça yakınsanmalıdır (Chopra,1995).

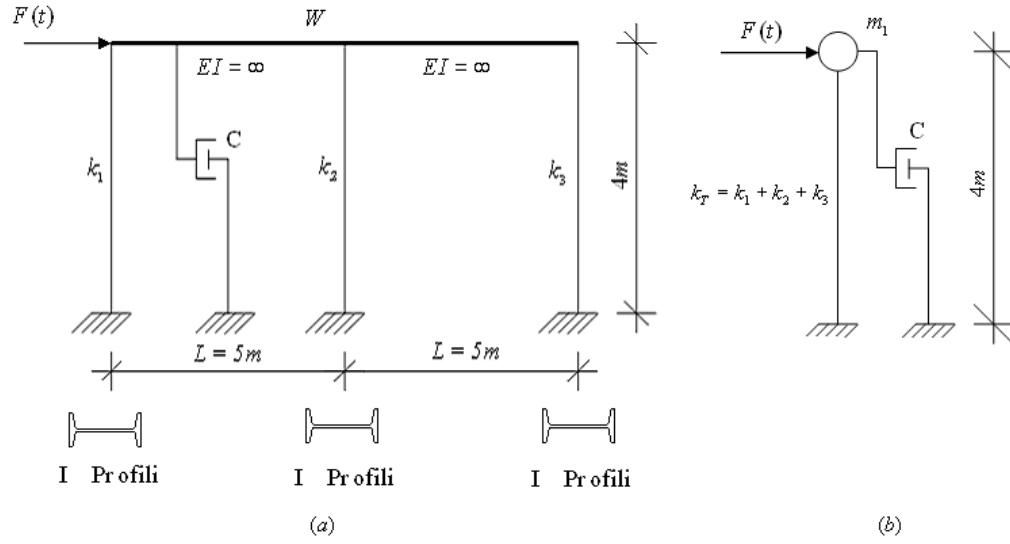
## **BÖLÜM DÖRT**

### **TEK KATLI KAYMA TİPİ ÇELİK ÇERÇEVELERİN HESAP MODELİNE AİT UYGULAMALAR**

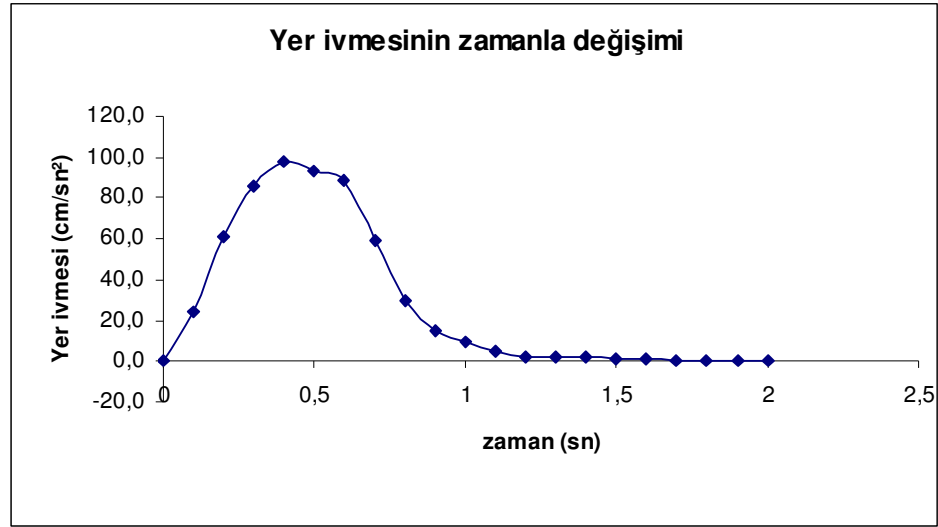
Bu bölümde elastik ve elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizleri Excel’de makrolar oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Tek katlı çelik çerçeve sistemin önce belirli yer ivmesi etkisi altında doğrusal elastik analizi yapılmış daha sonra seçilen normalleştirilmiş akma dayanımı değeri için elasto-plastik akma kuvvetleri ve akma yerdeğiştirmeleri hesaplanarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, önce farklı kesitlerdeki taşıyıcı sistem kesitleri seçilerek rijitlik değişimlerinin yapı tepkisinde, açısal frekans ve periyotlarındaki değişimi incelenmiştir. Sonra taşıyıcı sistemin ağırlığının ve sönümünün artırılması durumundaki yapı tepkilerinin, açısal frekans ve periyotların değişimi incelenmiştir. Doğrusal elastik ve doğrusal olmayan tepkiler, yerdeğiştirme, hız, ivme ve yay kuvveti değerleri hesaplanmıştır. Tepkilerin zamana bağlı olarak değişimleri sunulmuştur.

#### **4.1 Tek Katlı Çok Açıklıklı Kayma Tipi Çelik Çerçevelerin Ağırlığının $W = 40$ t ve Sönüm Oranının $\xi = 0,20$ Olması Durumunda Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz**

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’ de verilen tek katlı, iki açıklıklı çelik çerçeveden oluşan sistemin ağırlığı  $w = 40$  t ve viskoz sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan tek serbestlik dereceli kayma çerçevesi bir sistemde şekil 4.2’ de verilen zamana bağlı yer ivmesi etkisinde kalmaktadır. Çerçevenin dinamik analizi, kolon ve kiriş kesitleri her analiz için 4 farklı çelik profil I120, I140, I160, I180 seçilerek gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz için normalleştirilmiş akma dayanımı da  $\bar{F}_y = 0,75$  seçilerek, tek serbestlik dereceli sistemde oluşan doğrusal olmayan tepkiler hesaplanmıştır. Çelik çerçevenin elastisite modülü  $E = 2,1 \times 10^6$  kg / cm<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Çerçevelerde kullanılan çelik türü St 37’ dir.



Şekil 4.1a. Tek serbestlik dereceli kayma tipi çelik çerçeve taşıyıcı sistem modeli b. Tek serbest dereceli sistemin hesap modeli



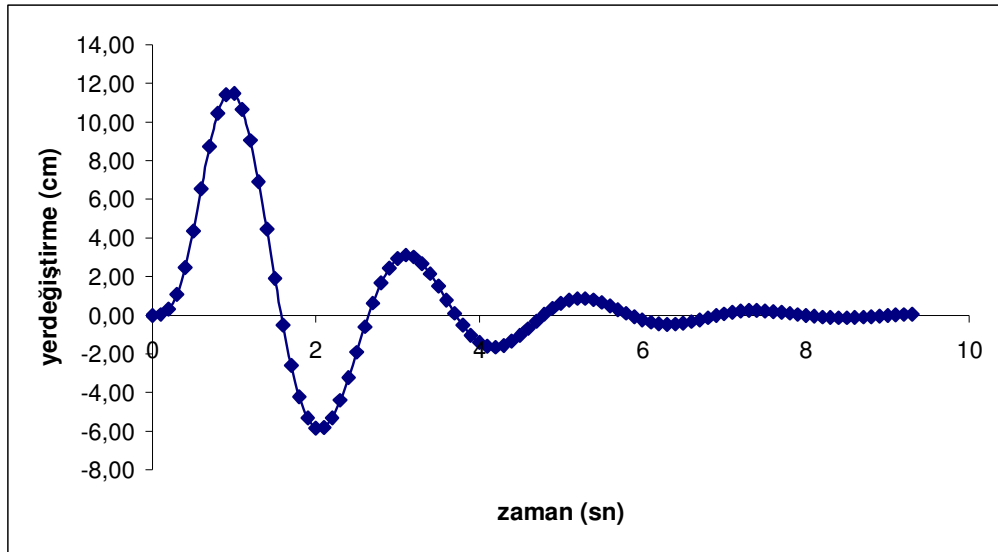
Şekil 4.2 Tek serbestlik dereceli sisteme uygulanan yer ivmesinin zamanla değişimi

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I120 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,20$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.1’ de sunulmuştur.

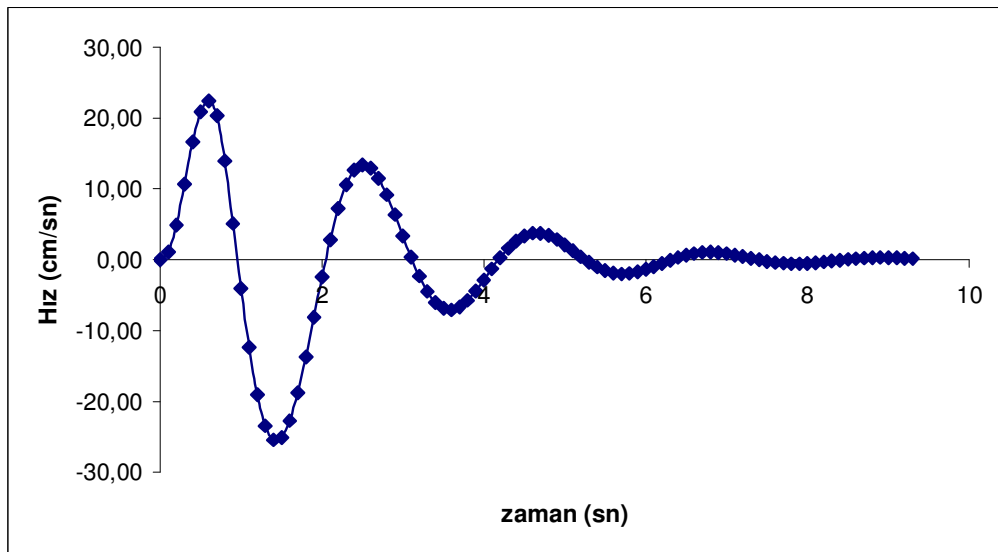
Tablo 4.1 Taşıyıcı sistem elemanları I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,20
Kütle	$m = \frac{W}{g}$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{1120} =$	328 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h \text{ (cm)} =$	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{1120} = \frac{12EI_{1120}}{h^3}$	369 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km}$	49 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2}$	2,95 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d}$	2,13 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

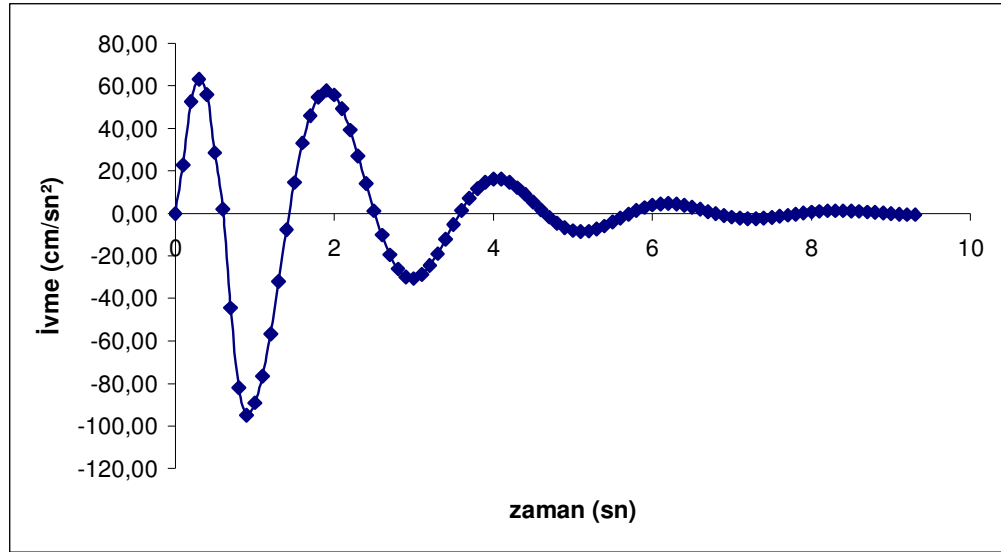
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.3’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.4’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.5’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.6’ de sunulmuştur.



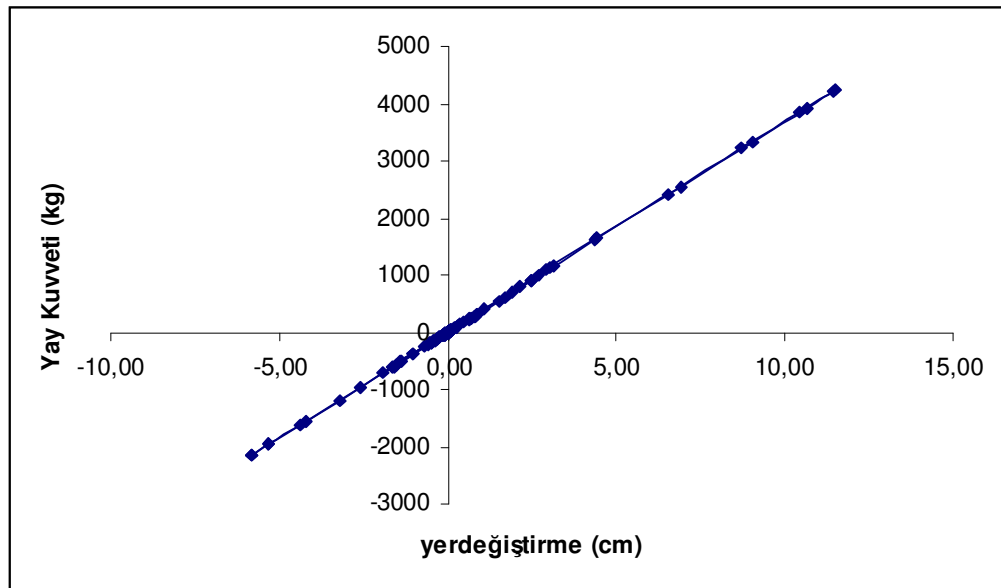
Şekil 4.3 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.4 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.5 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.6 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştiriminin değişimi

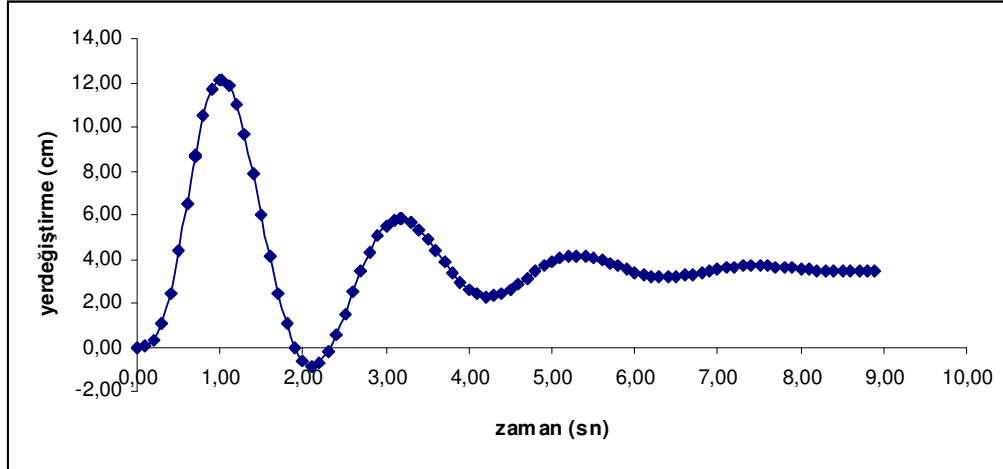


Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.2' de sunulmuştur.

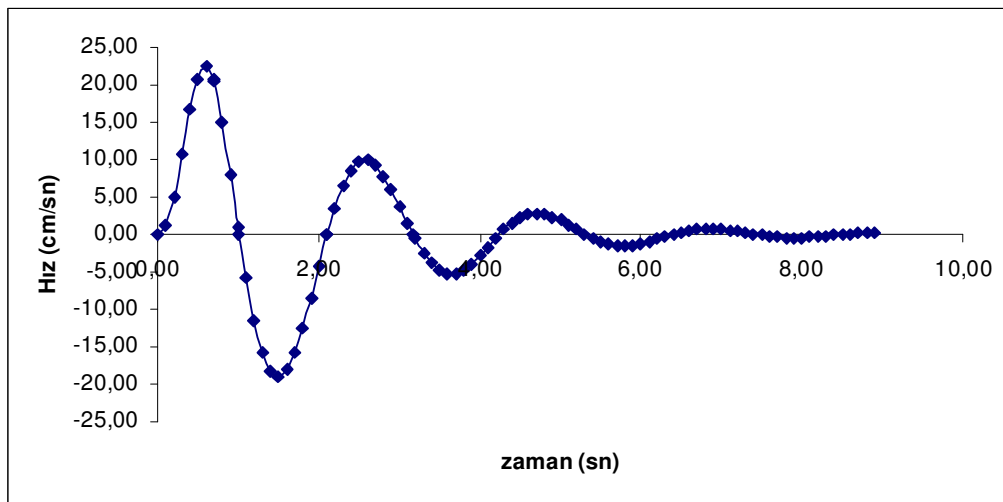
Tablo 4.2 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	11,47 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-25,44 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-94,84 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	4233 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3174 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 8,60$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik}$	24276 kgcm

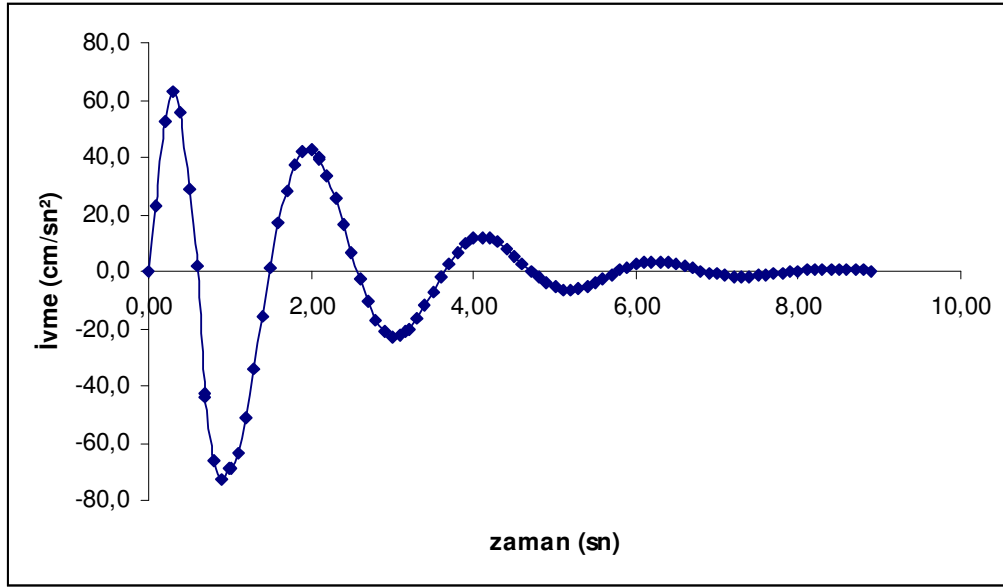
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.7’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.8’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.9’da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.10’ da sunulmuştur.



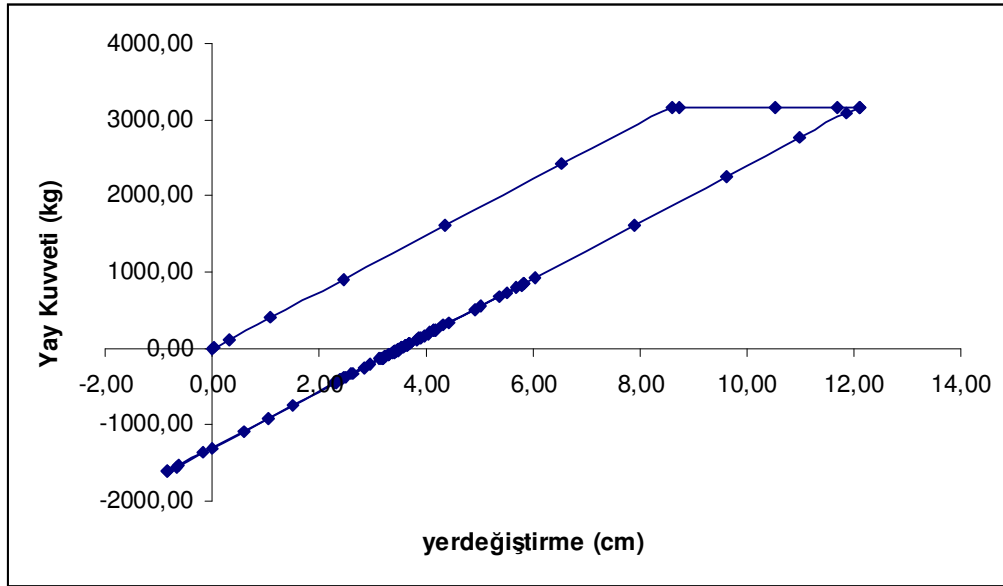
Şekil 4.7 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.8 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.9 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.10 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti -yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.3’de sunulmuştur.

Tablo 4.3 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve süneklik talebi değerleri

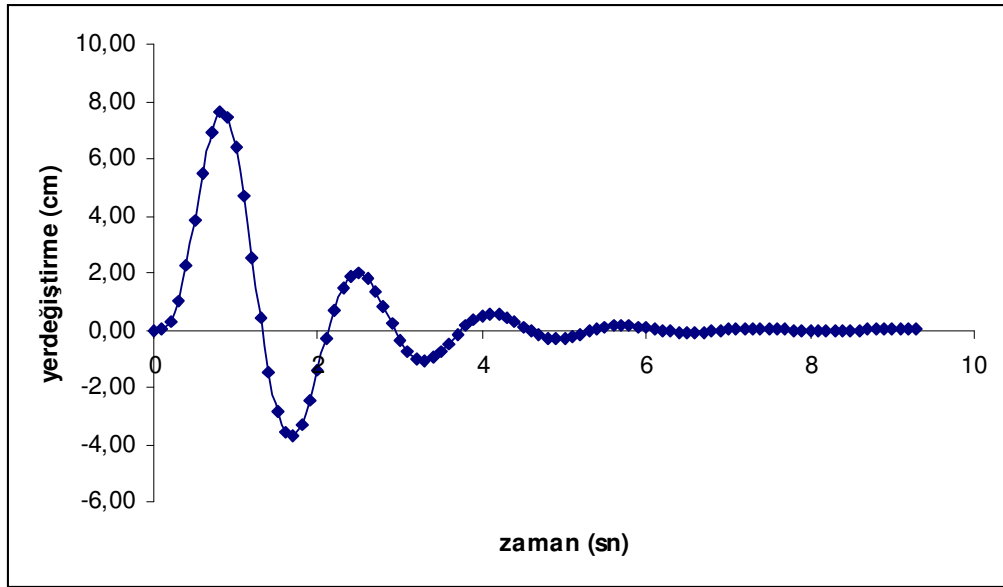
En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	12,12 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	22,4027 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-72,779 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F} \times F_{elastik} =$	3174 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	24815 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y}$	1,409

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I140 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,20$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.4’ de sunulmuştur.

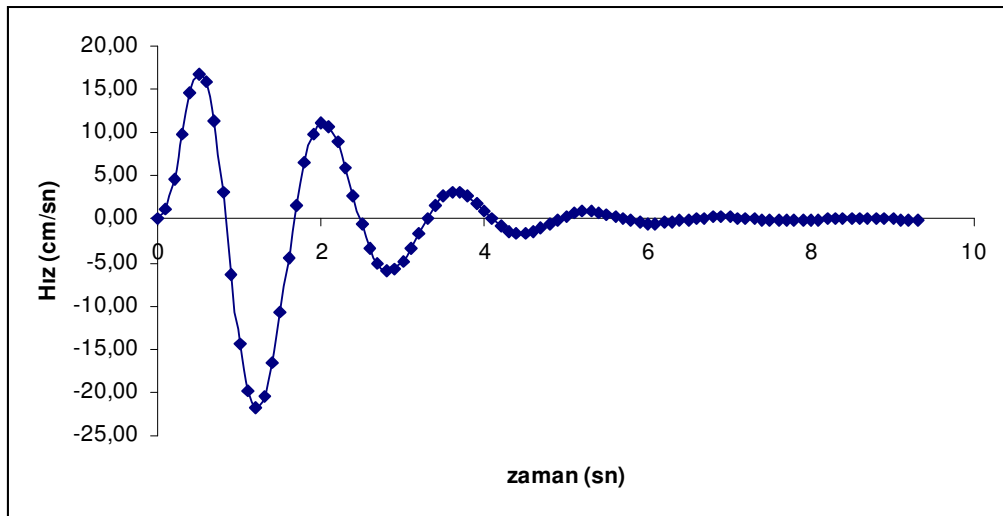
Tablo 4.4 Taşıyıcı sistem elemanları I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,20
Kütle	$m = \frac{W}{g}$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I140} =$	573 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h \text{ (cm)} =$	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I140} = \frac{12EI_{I140}}{h^3} =$	645 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km}$	65 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2}$	3,90 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d}$	1,61 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

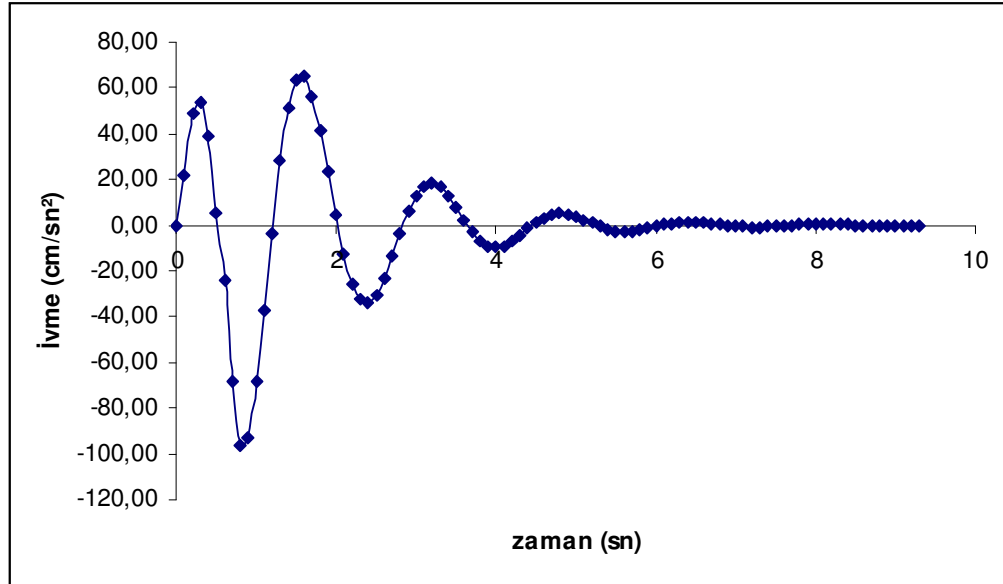
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.11’ de, hız – zaman grafiği şekil 4.12’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.13’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.14’ de sunulmuştur.



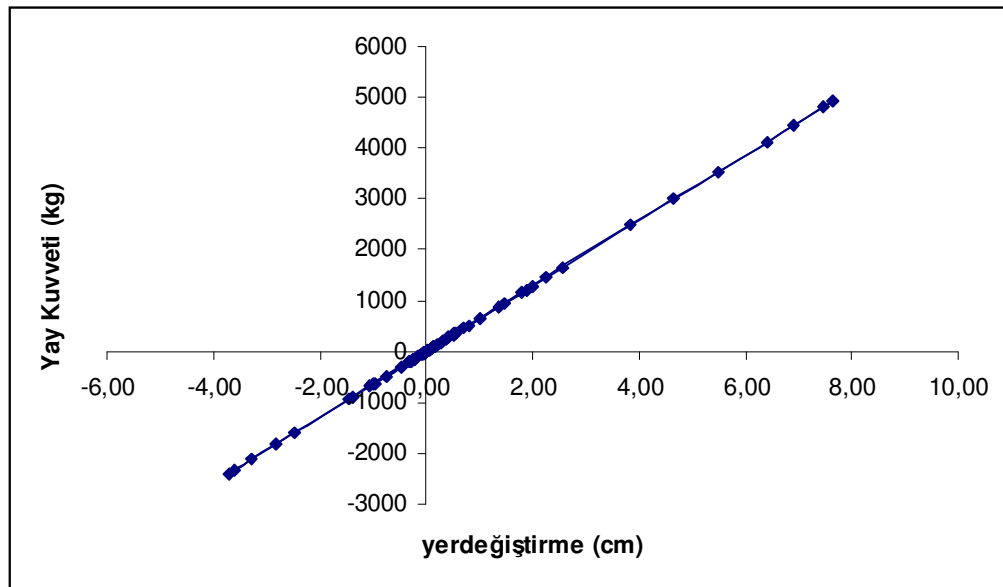
Şekil 4.11 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.12 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.13 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.14 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

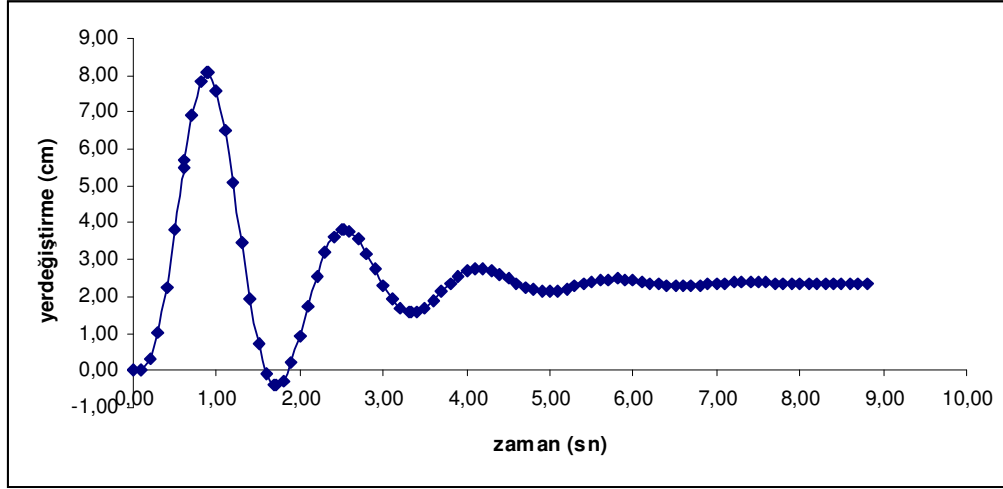
Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.5' de sunulmuştur.

Tablo 4.5 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

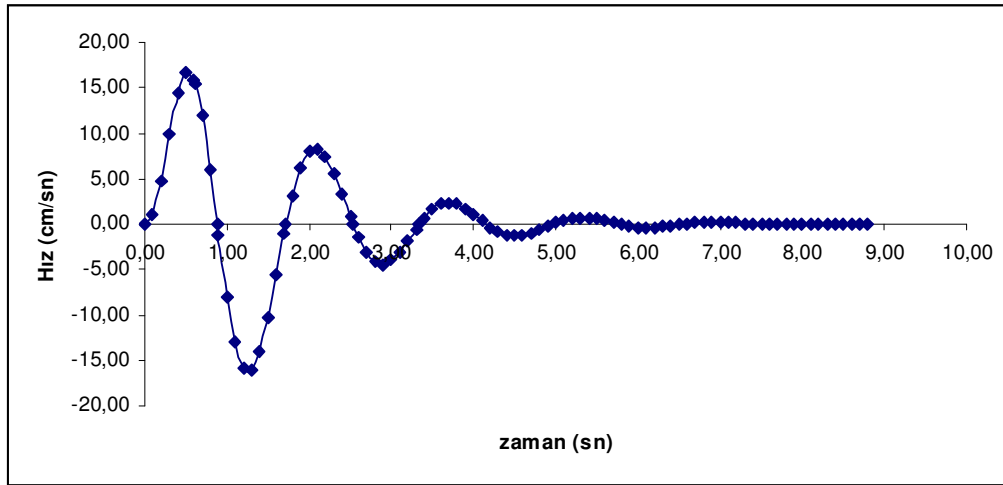
En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	7,63 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-21,78 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-96,07 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	4919 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3689 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 5,72$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	18766 kgcm



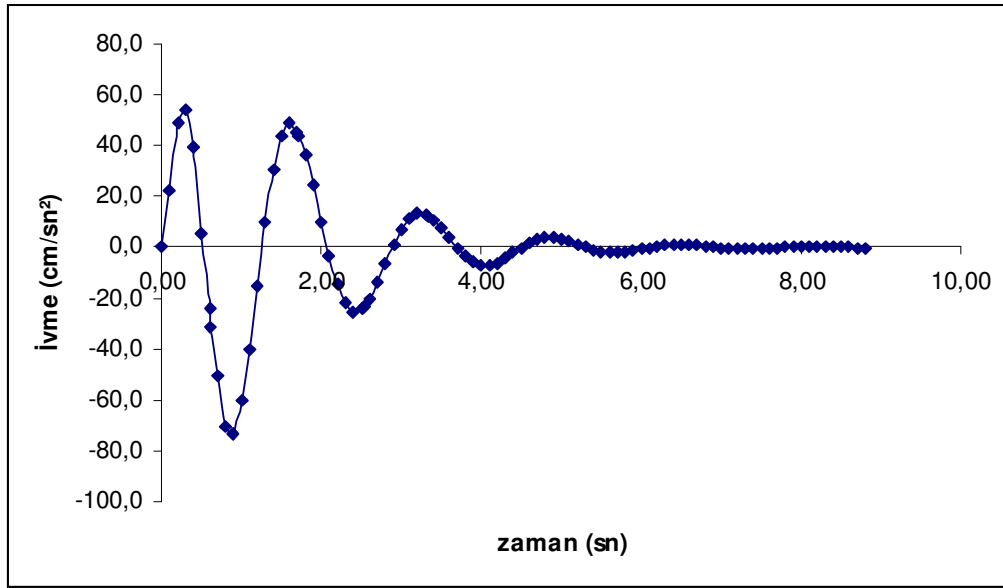
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.15’ de, hız – zaman grafiği şekil 4.16’da, ivme – zaman grafiği şekil 4.17’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.18’ de sunulmuştur.



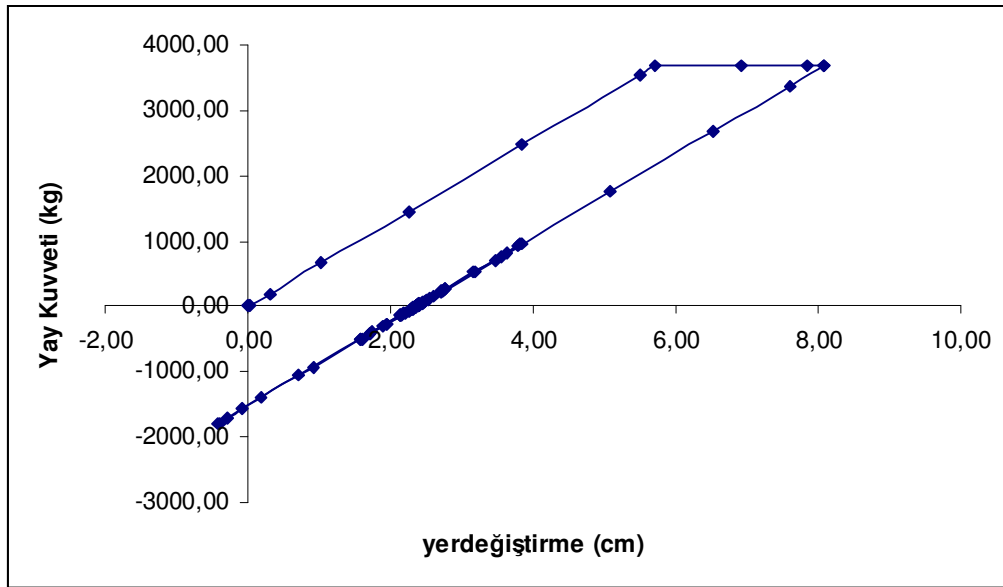
Şekil 4.15 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.16 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.17 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri II40 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.18 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri II40 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti – yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.6' da sunulmuştur.

Tablo 4.6 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

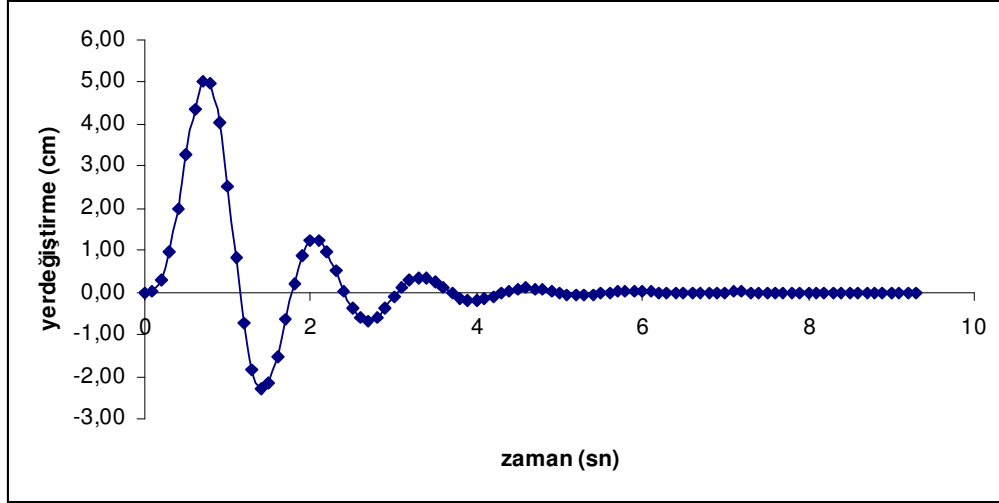
En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	8,08 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	16,76 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-74,77 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	3689 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	19462 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,422

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I160 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,20$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.7’ de sunulmuştur.

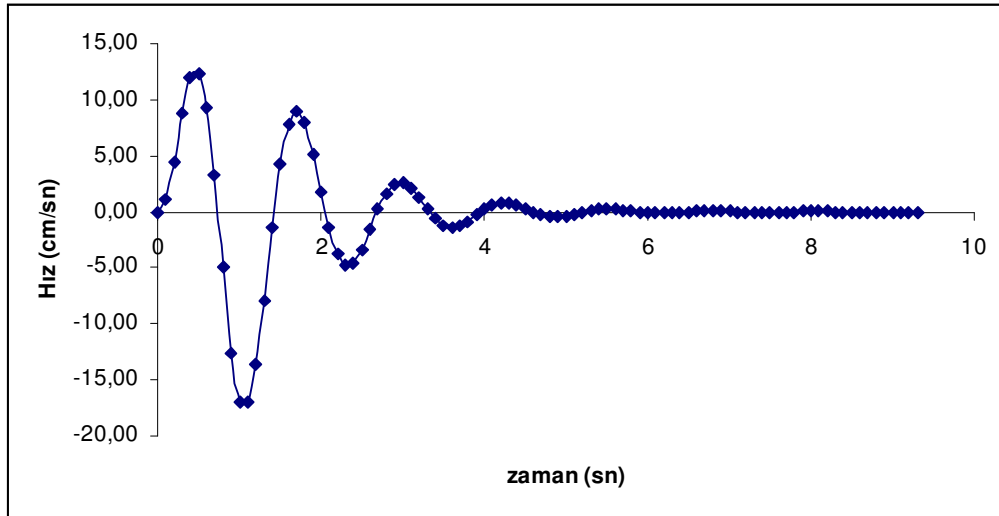
Tablo 4.7 Taşıyıcı sistem elemanları I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,20
Kütle	$m = \frac{W}{g}$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I160} =$	935 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h \text{ (cm)} =$	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I160} = \frac{12EI_{I160}}{h^3}$	1052 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km}$	83 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2}$	4,98 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d}$	1,26 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{\text{seçilen}} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

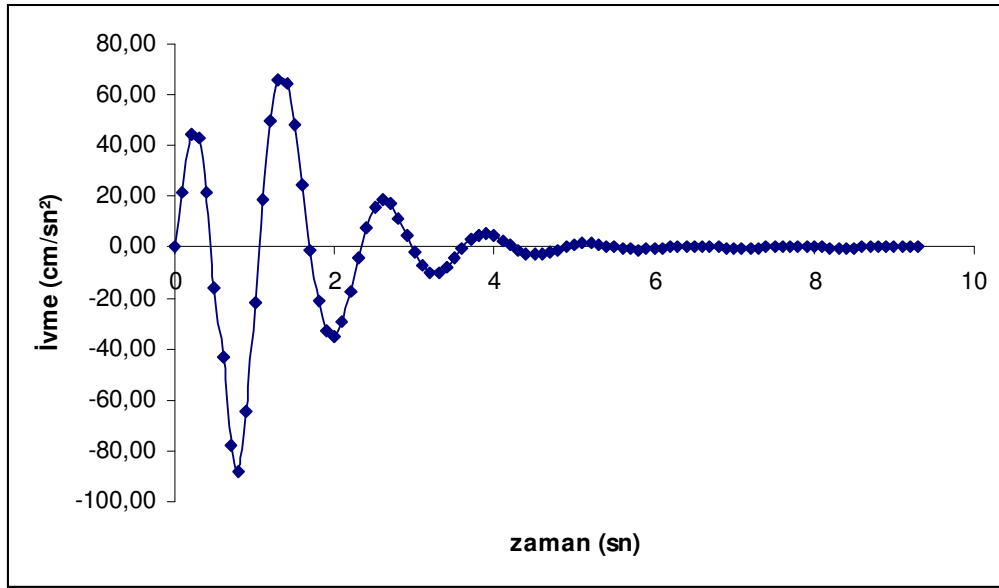
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I160 olarak ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.19’ da, hız - zaman grafiği şekil 4.20’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.21’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.22’ de sunulmuştur.



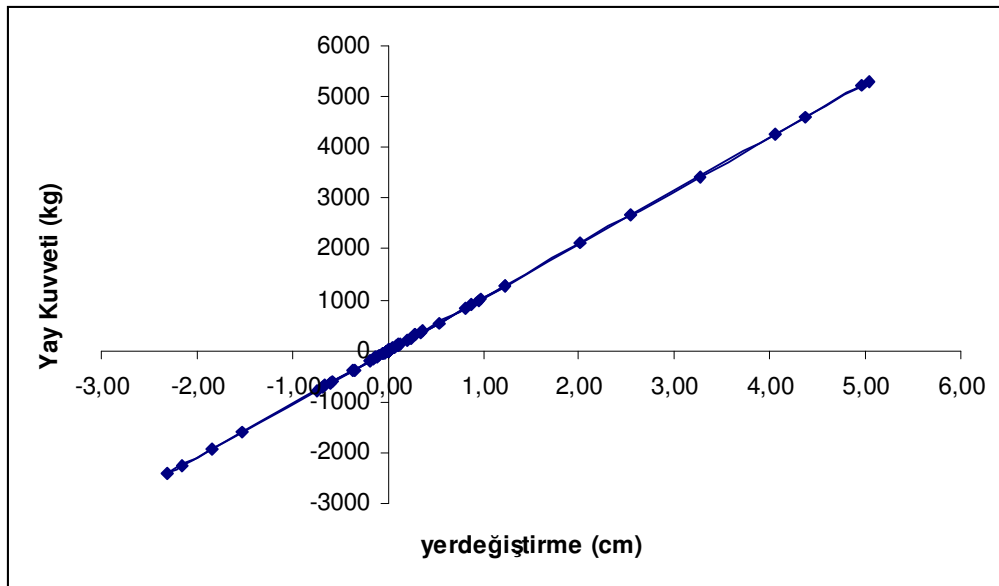
Şekil 4.19 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.20 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.21 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



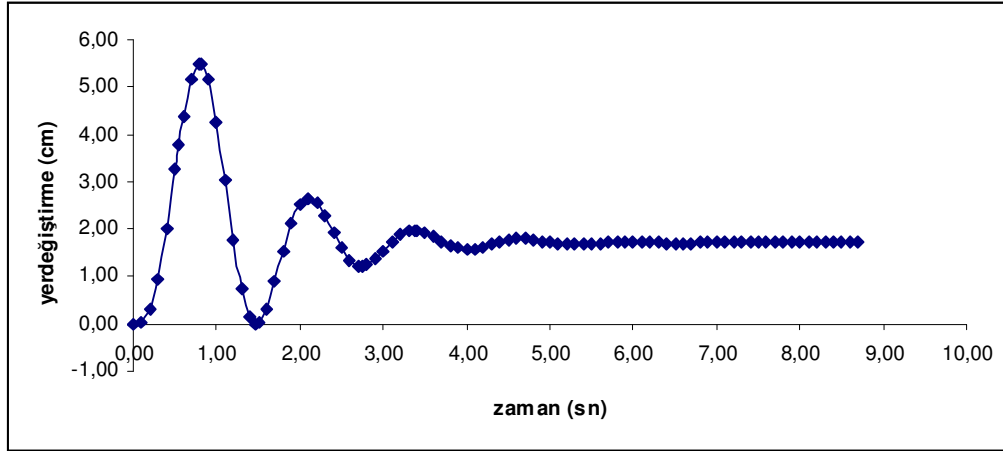
Şekil 4.22 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.8' de sunulmuştur.

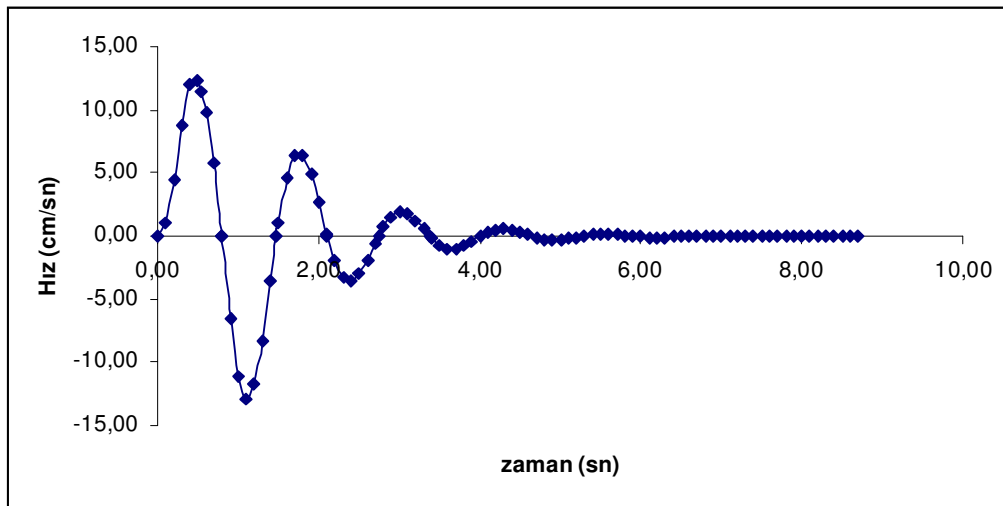
Tablo 4.8 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	5,03 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-17,06 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-88,31 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	5295 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3968 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 3,78$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	13316 kgcm

Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.23’ de, hız – zaman grafiği şekil 4.24’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.25’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.26’ da sunulmuştur.

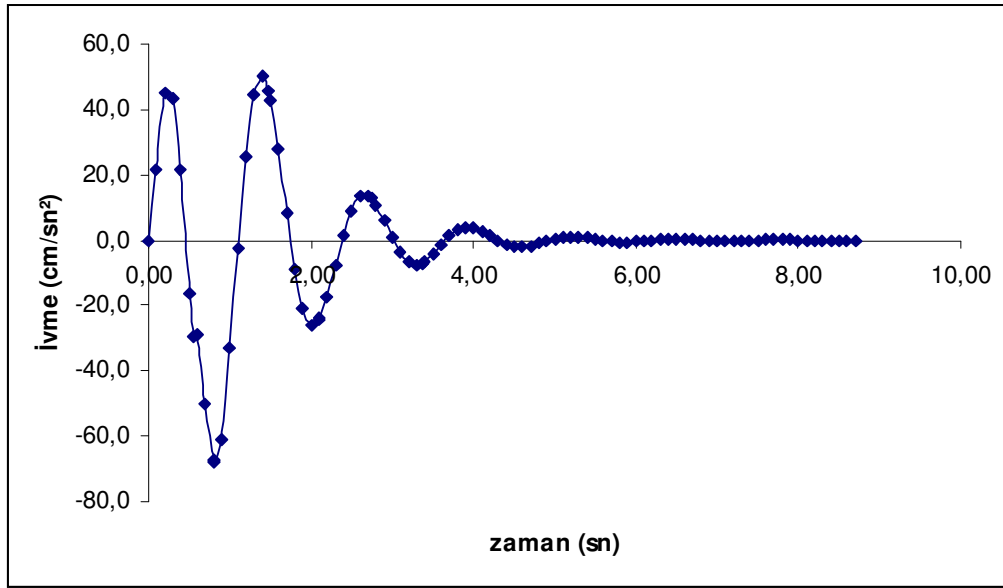


Şekil 4.23 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi

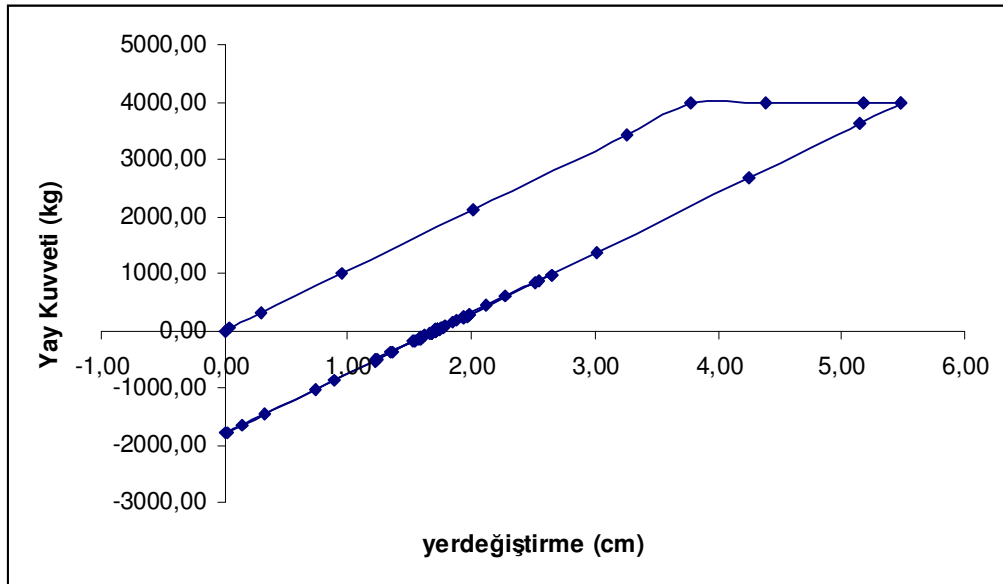


Şekil 4.24 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi





Şekil 4.25 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.26 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.9' da sunulmuştur.

Tablo 4.9 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

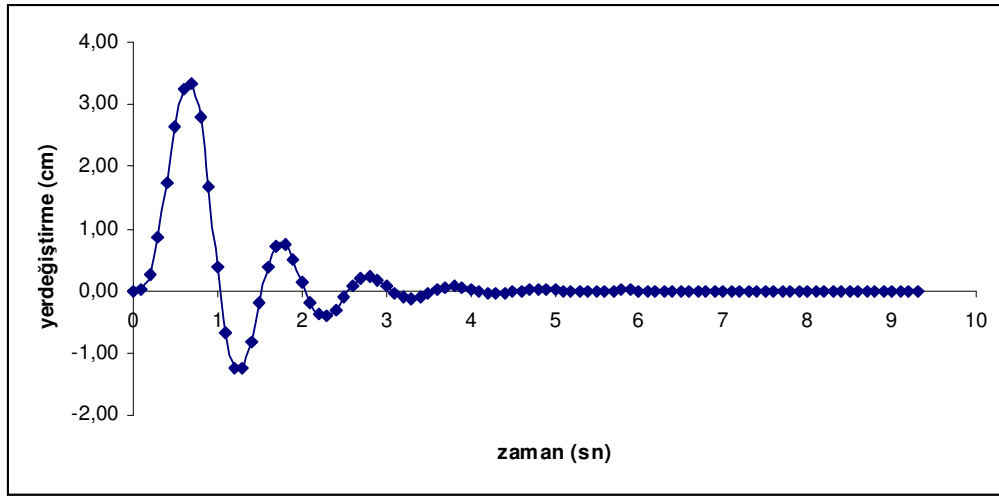
En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	5,50 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	-12,94 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-67,86 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	3968 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	14347 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y}$	1,459

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I180 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,20$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.10’ da sunulmuştur.

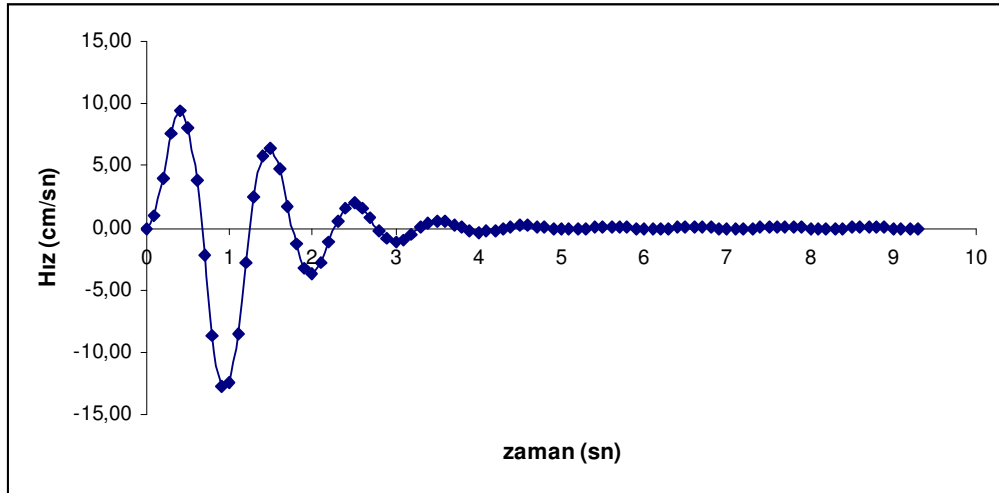
Tablo 4.10 Taşıyıcı sistem elemanları I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,20
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I180} =$	1450 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h \text{ (cm)} =$	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I180} = \frac{12EI_{I180}}{h^3} =$	1631 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	103 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2} =$	6,20 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	1,01 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

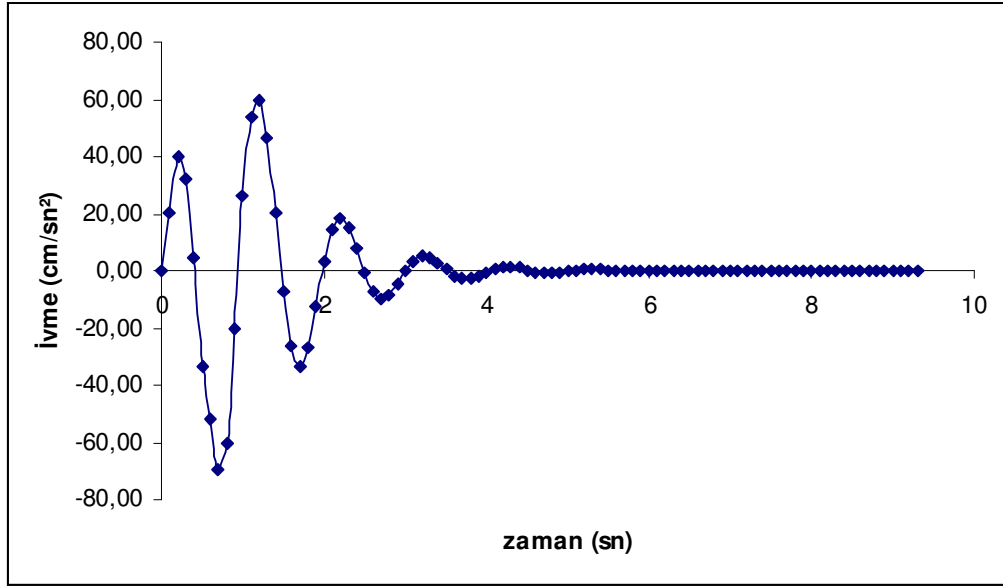
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.26’ da, hız - zaman grafiği şekil 4.27’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.28’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.29’ da sunulmuştur.



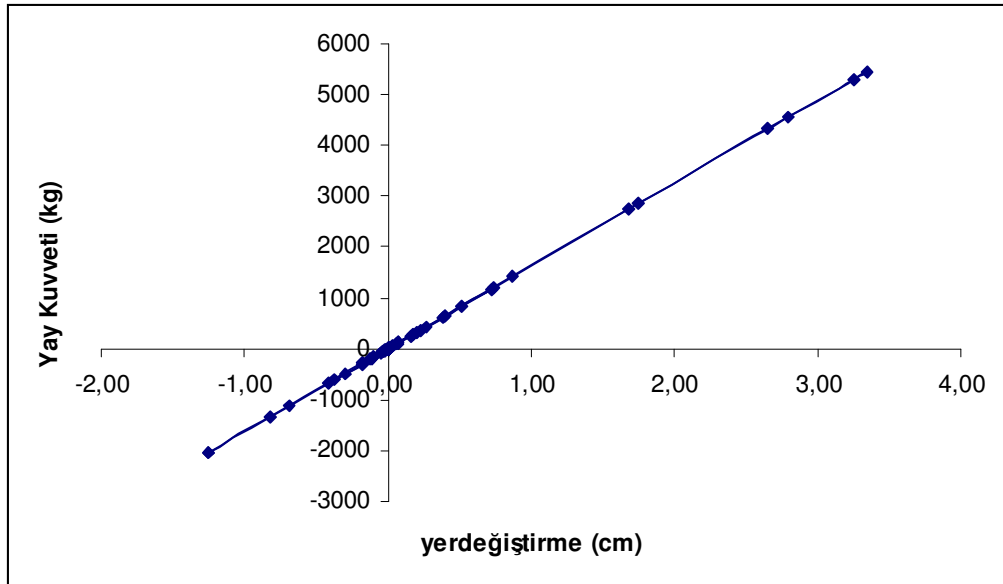
Şekil 4.26 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.27 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.28 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



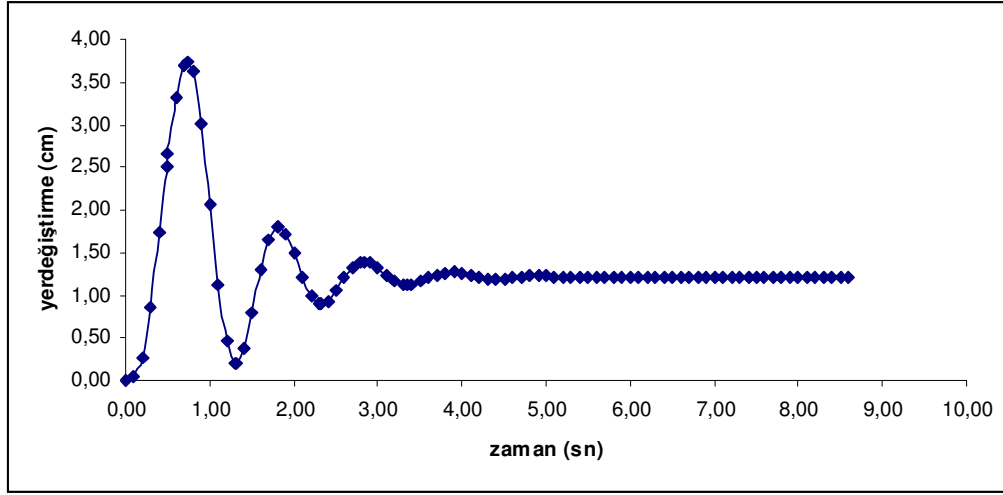
Şekil 4.29 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.11’de sunulmuştur.

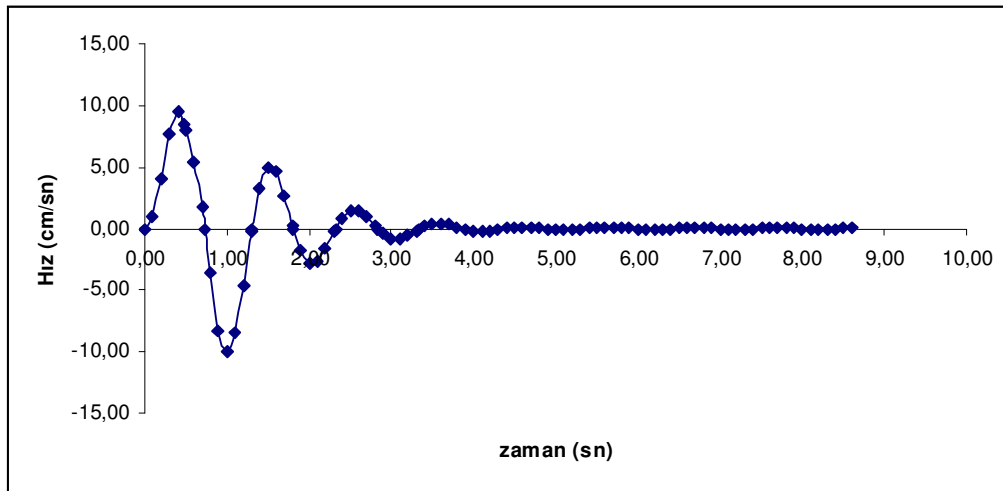
Tablo 4.11 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	3,35 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-12,76 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-69,38 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	5462 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	4098 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 2,51$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik}$	9149 kgcm

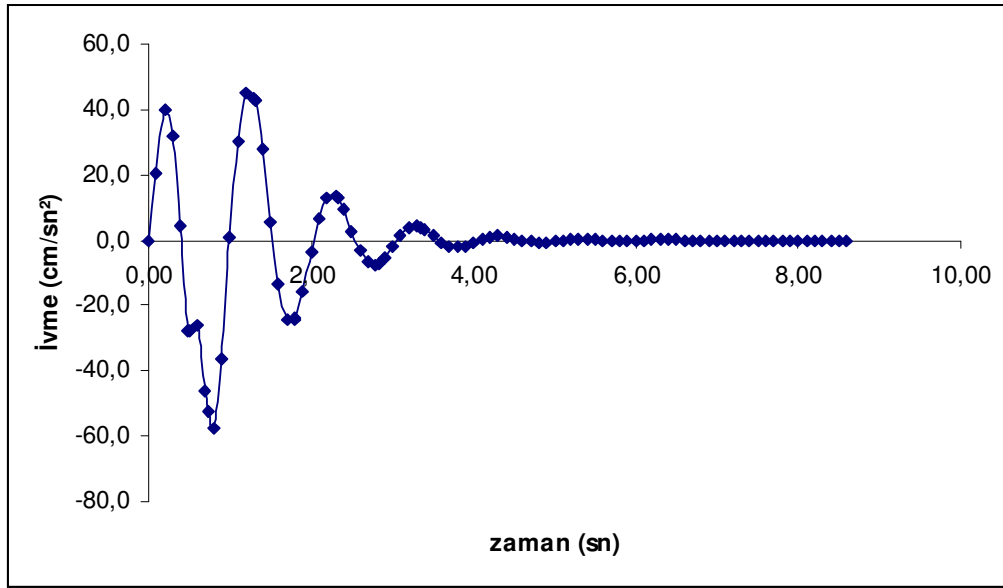
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.30’ da, hız – zaman grafiği şekil 4.31’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.32’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.33’ de sunulmuştur.



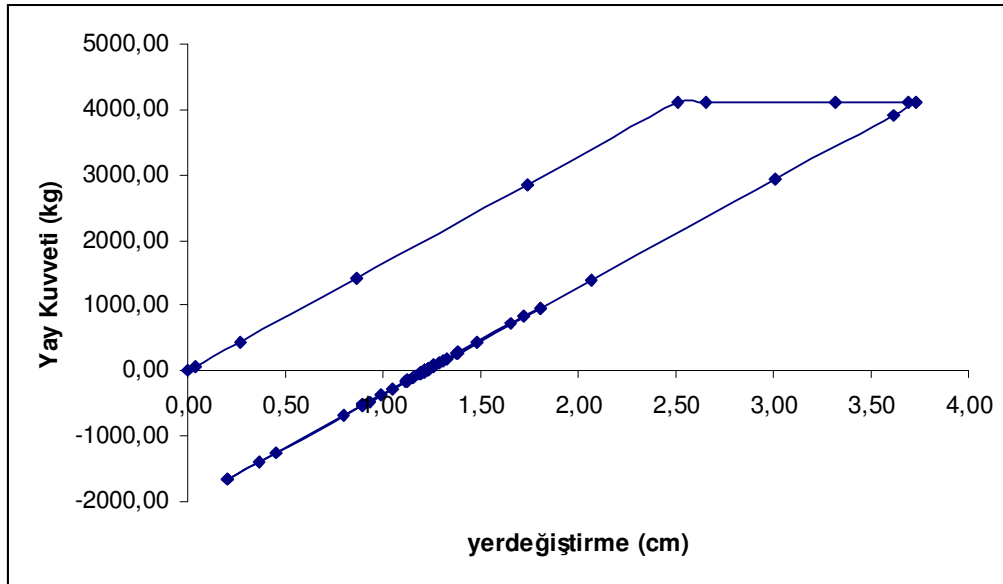
Şekil 4.30 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.31 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.32 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.33 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti -yerdeğiştirme ilişkisi



Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.12’de sunulmuştur.

Tablo 4.12 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,20$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	3,74 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	-10,06 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-60,11 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	4099 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	10181 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,488

#### **4.2 Tek Katlı Çok Açıklıklı Kayma Tipi Çelik Çerçevelerin Ağırlığının $W = 40$ t ve Sönüm Oranının $\xi = 0,35$ Olması Durumunda Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz**

Bu bölümde şekil 4.1' de verilen tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı tek serbest dereceli sistemin sönümünün artırılması durumunda, yapıda oluşan tepkilerde, açılal frekanslar ve periyottaki değişimler her analizde farklı taşıyıcı sistem kesitleri kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir.

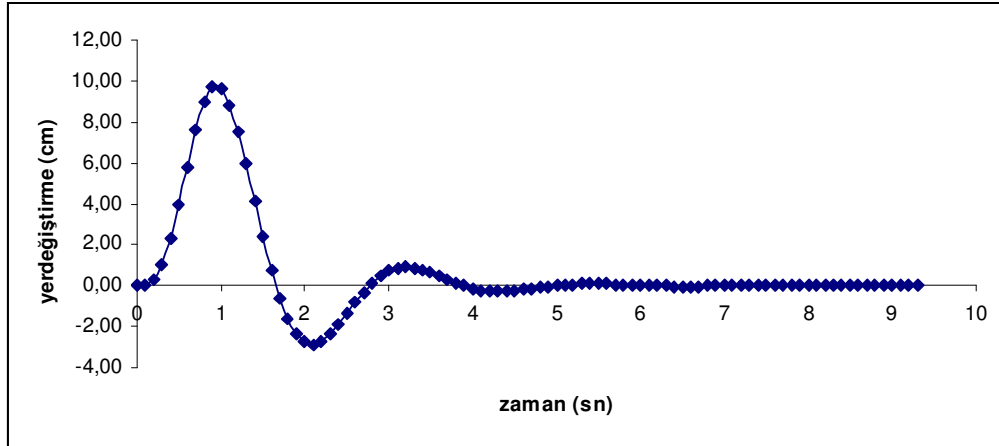
Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1' de verilen tek katlı, iki açıklıklı çelik çerçeveden oluşan sistemin ağırlığı  $w = 40$  t ve viskoz sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek serbestlik dereceli kayma çerçevesi bir sistemde şekil 4.2' de verilen zamana bağlı yer ivmesi etkisinde kalmaktadır. Çerçevenin dinamik analizi, kolon ve kiriş kesitleri her analiz için 4 farklı çelik profil I120, I140, I160, I180 seçilerek gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz için normalleştirilmiş akma dayanımı da  $\bar{F}_y = 0,75$  seçilerek, tek serbestlik dereceli sistemde oluşan doğrusal olmayan tepkiler hesaplanmıştır. Çelik çerçevenin elastisite modülü  $E = 2,1 \times 10^6$  kg / cm<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Çerçevelerde kullanılan çelik türü St 37' dir.

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I120 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.13’ de sunulmuştur.

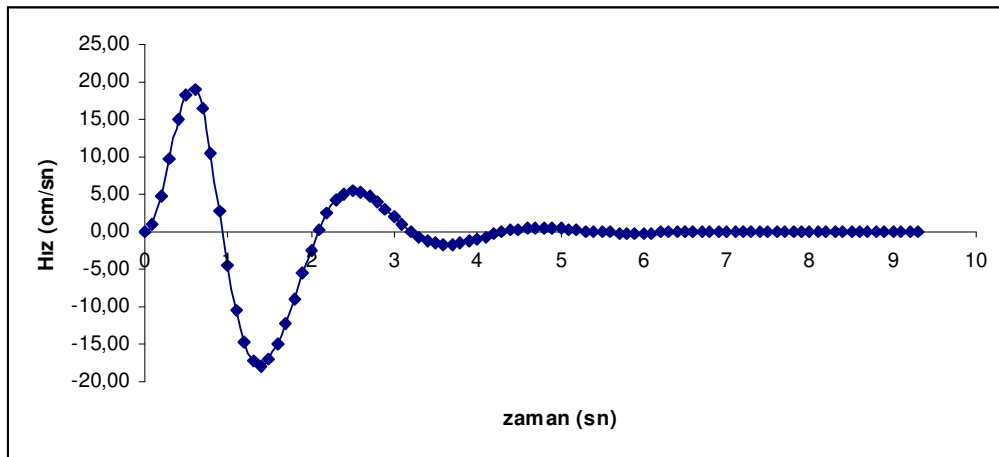
Tablo 4.13 Taşıyıcı sistem elemanları I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I120} =$	328 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h$ (cm) =	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I120} = \frac{12EI_{I120}}{h^3} =$	369 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	86 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2} =$	2,82 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	2,23 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

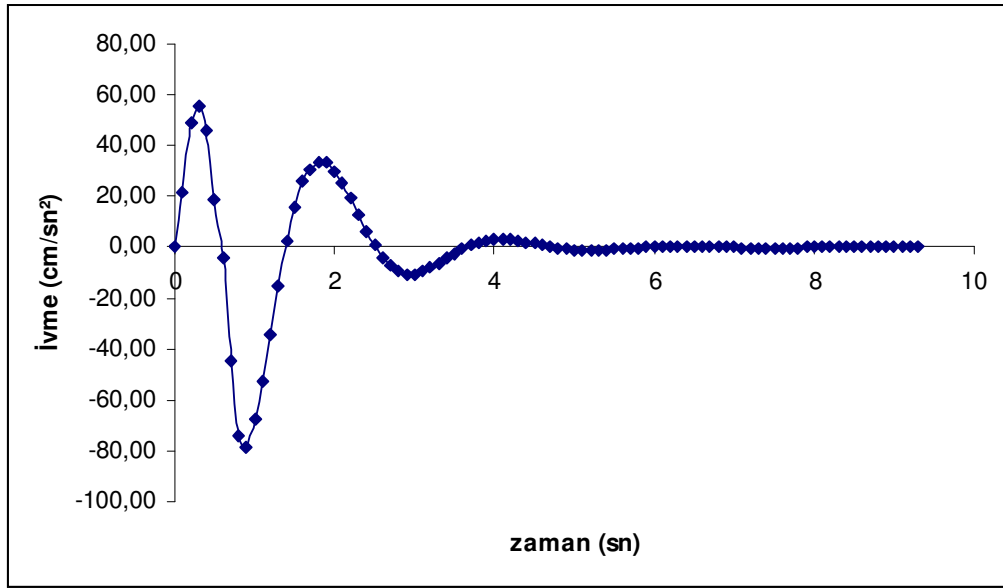
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.34’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.35’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.36’da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.37’ de sunulmuştur.



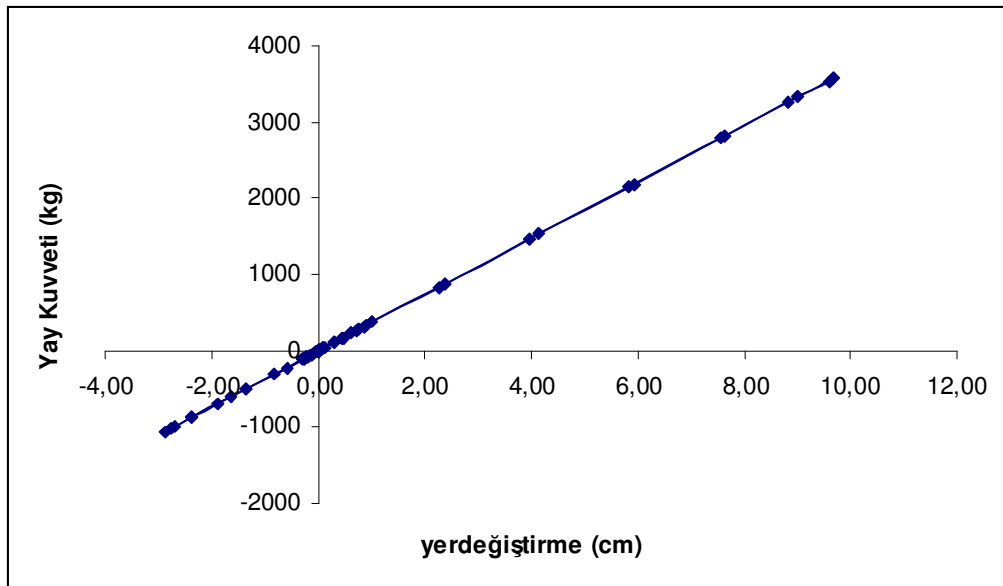
Şekil 4.34 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.35 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.36 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



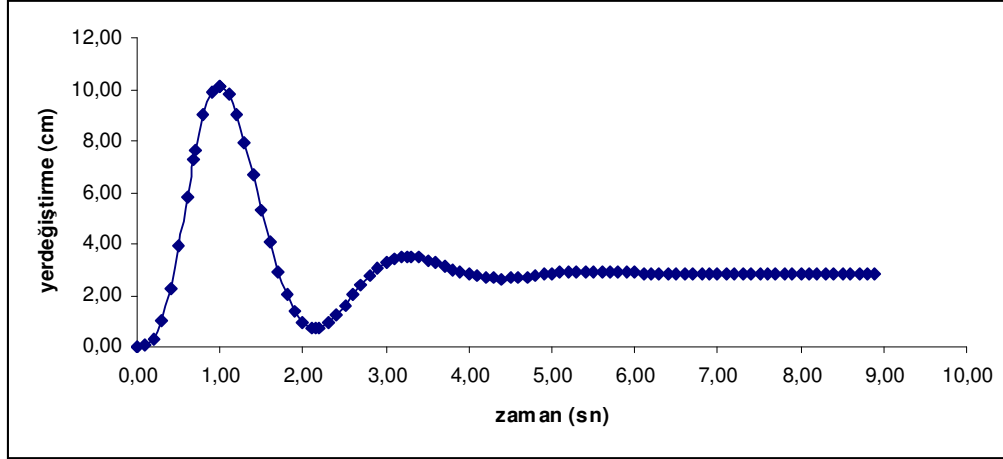
Şekil 4.37 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.14’de sunulmuştur.

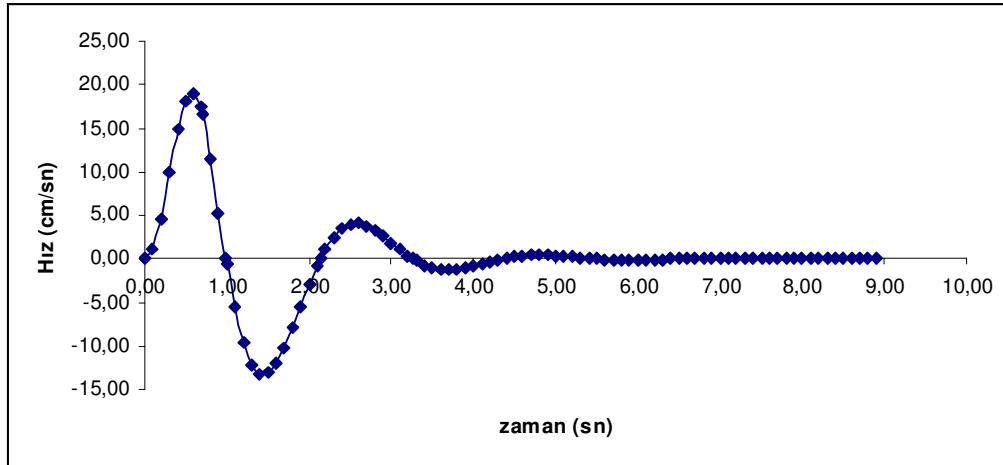
Tablo 4.14 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	9,68 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	18,95 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-78,95 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	3573 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	2679 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 7,26$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	17293 kgcm

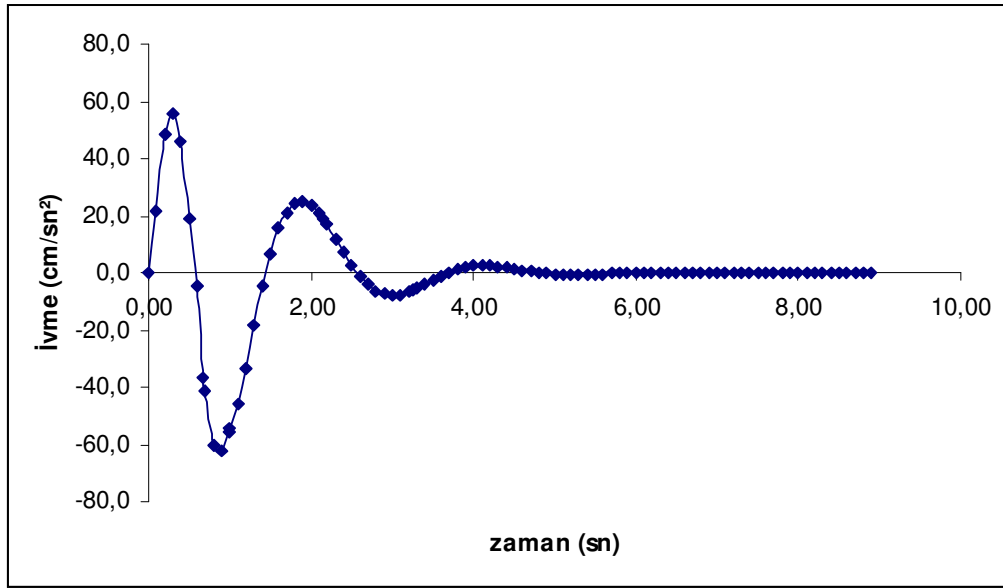
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.38’ de, hız – zaman grafiği şekil 4.39’da, ivme – zaman grafiği şekil 4.40’da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.41’ de sunulmuştur.



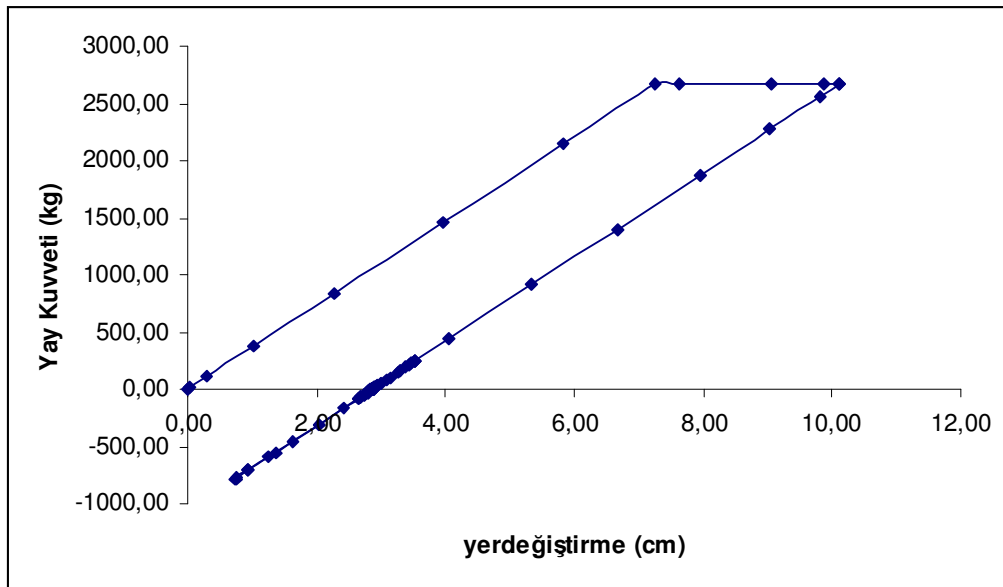
Şekil 4.38 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.39 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.40 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.41 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi



Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.15’de sunulmuştur.

Tablo 4.15 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

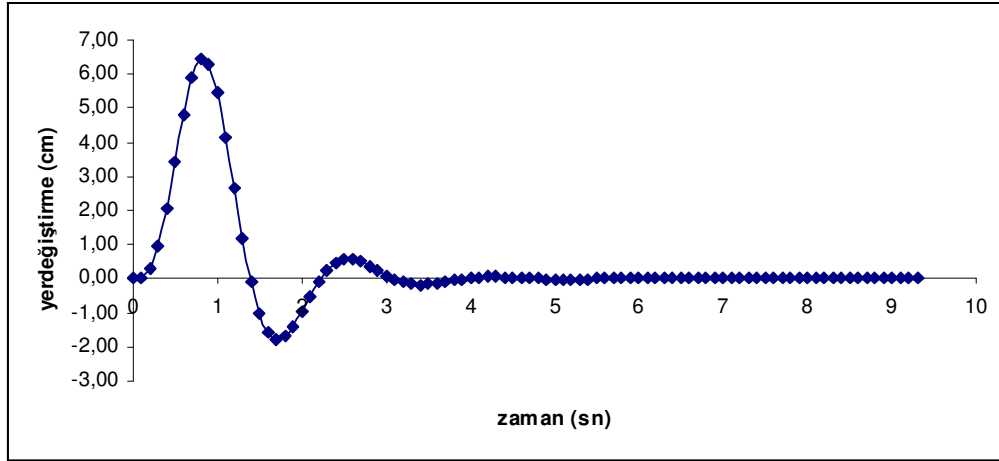
En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	10,12 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	18,95 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-62,1 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	2679 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	17384 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,394

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I140 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.16’ da sunulmuştur.

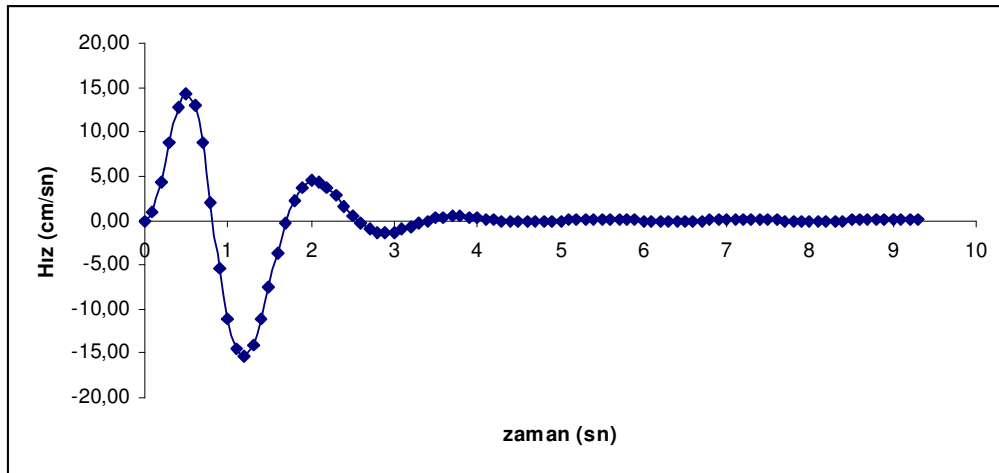
Tablo 4.16 Taşıyıcı sistem elemanları I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\zeta =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I140} =$	573 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h$ (cm) =	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I140} = \frac{12EI_{I140}}{h^3} =$	645 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	113 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2} =$	3,72 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	1,69 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

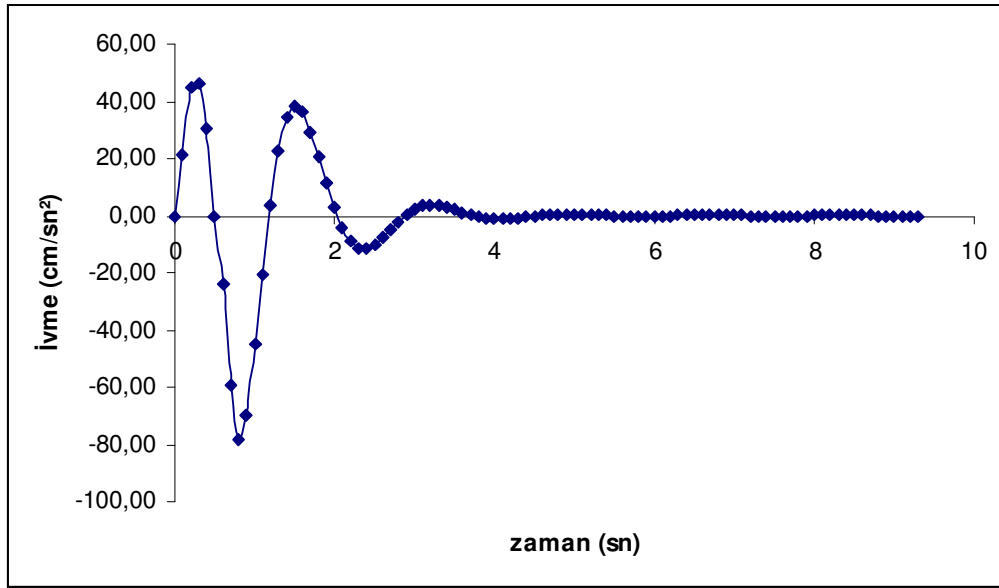
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.42’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.43’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.44’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.45’ de sunulmuştur.



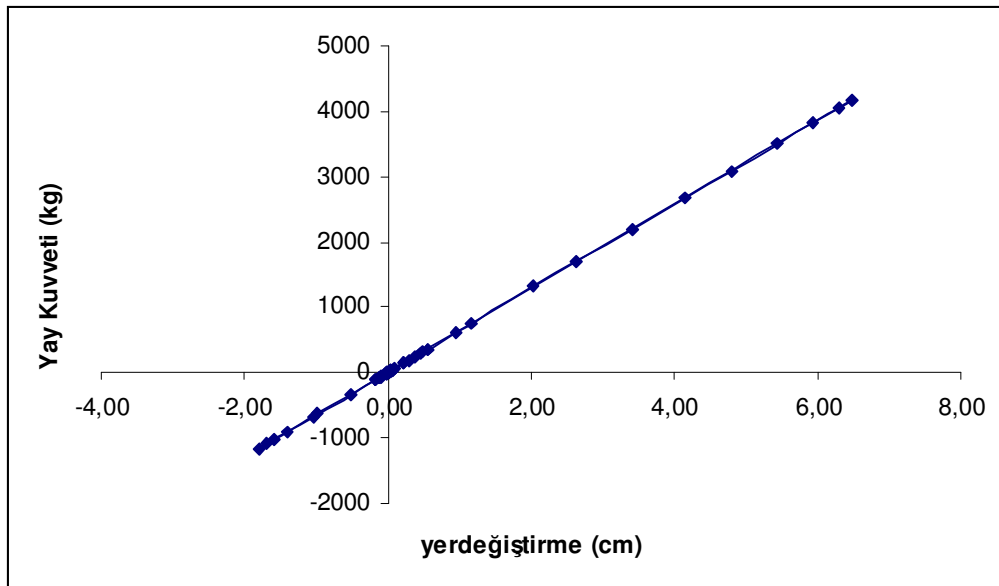
Şekil 4.42 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.43 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.44 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



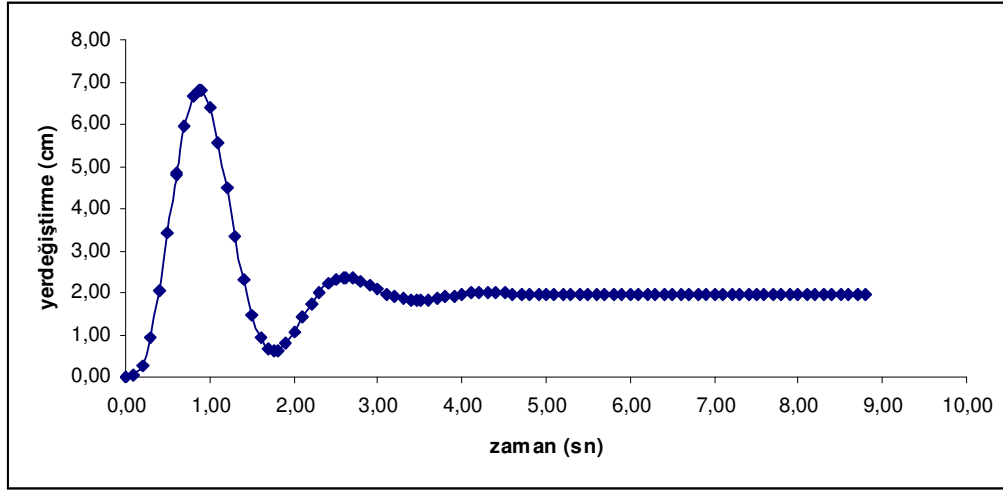
Şekil 4.45 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirme değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.17’de sunulmuştur.

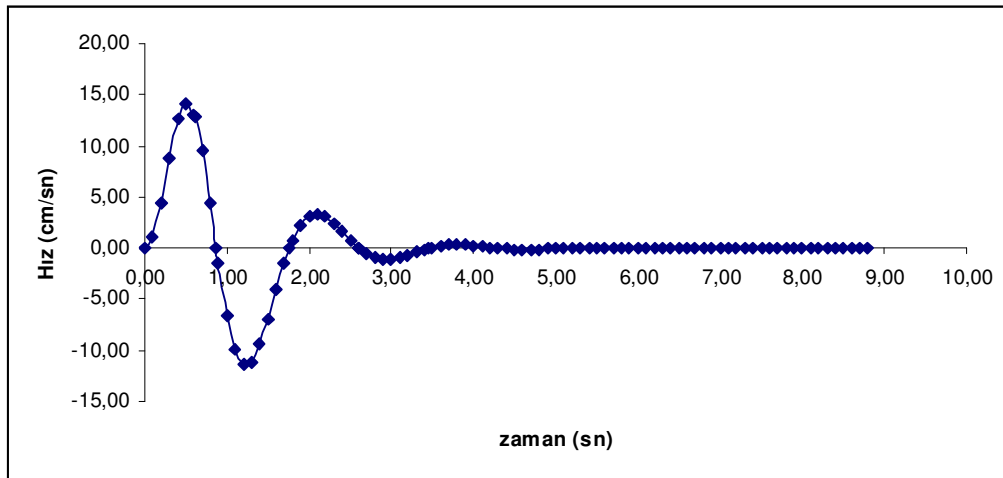
Tablo 4.17 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	6,48 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-15,30 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-78,44 kg/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	4174 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3133 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 4,86$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	13524 kgcm

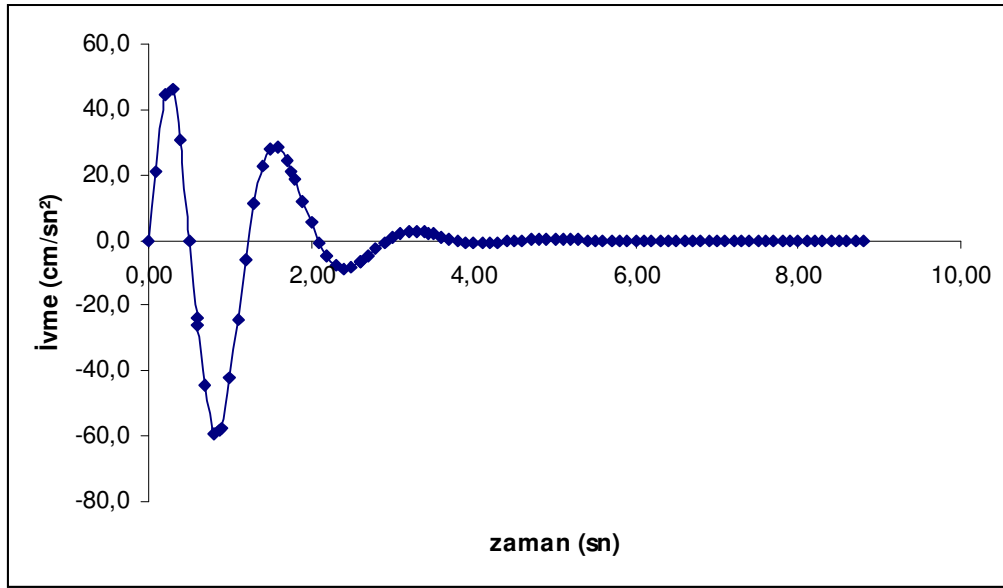
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.46’ da, hız – zaman grafiği şekil 4.47’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.48’da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.49’ da sunulmuştur.



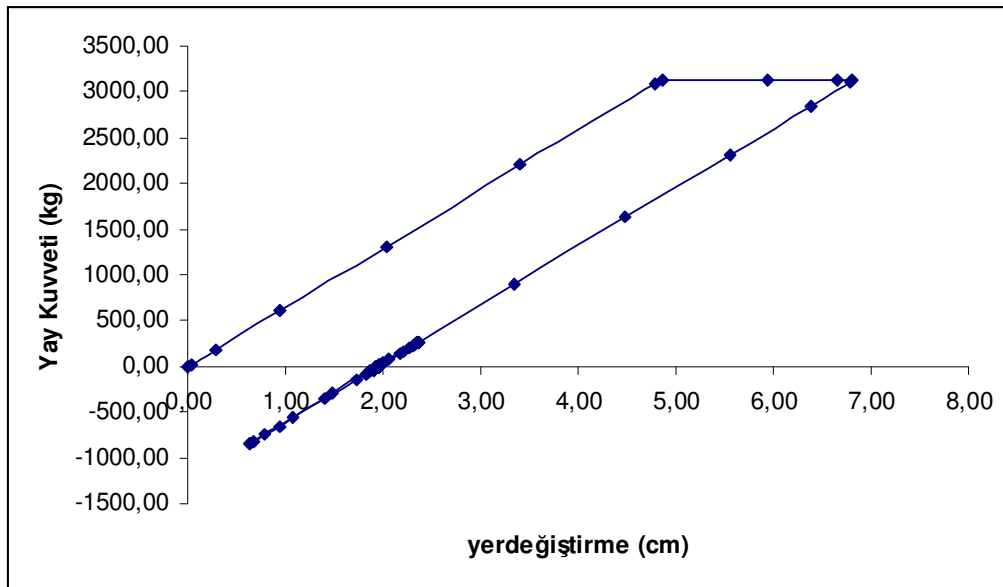
Şekil 4.46 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.47 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.48 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.49 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.18’de sunulmuştur.

Tablo 4.18 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	6,81 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	14,23 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-59,55 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	3133 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{els.-pls.} - y_{akma})$	13731 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,401

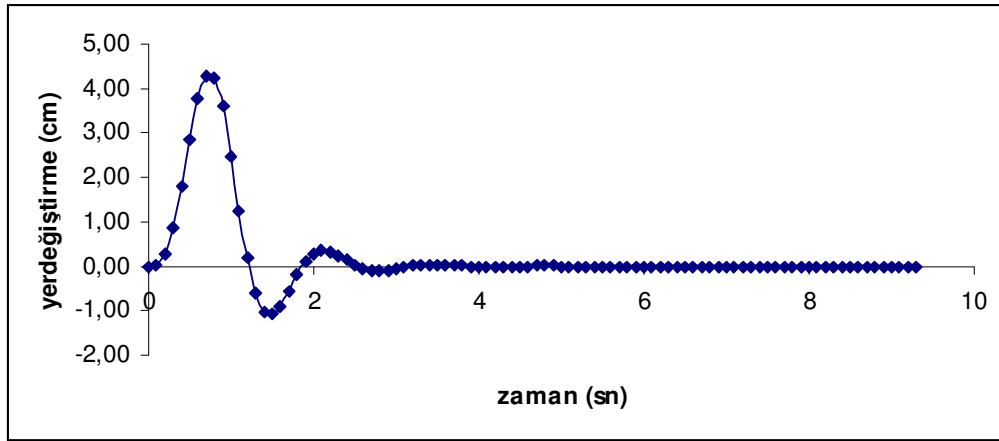


Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I160 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.19’ da sunulmuştur.

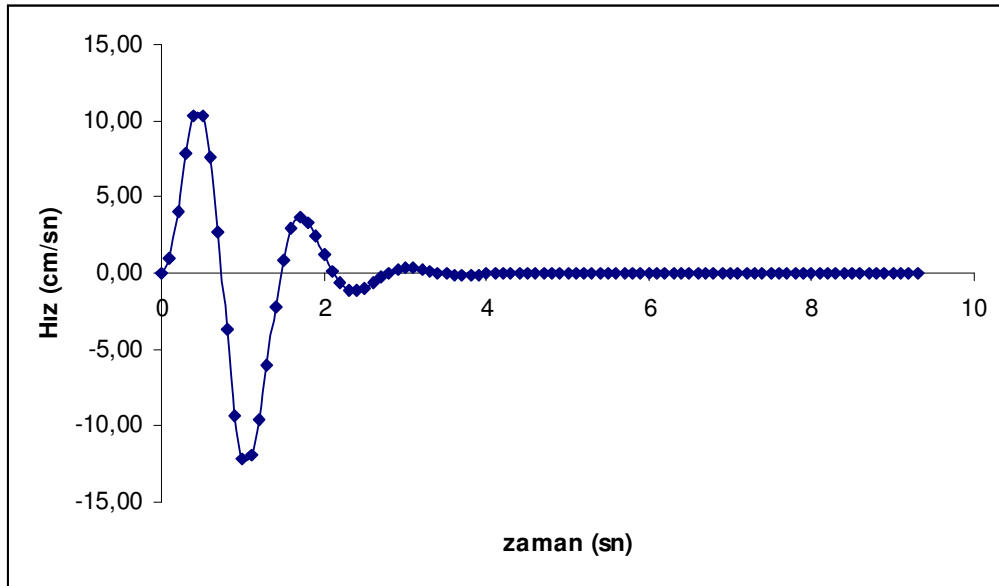
Tablo 4.19 Taşıyıcı sistem elemanları I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{160} =$	935 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h$ (cm) =	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{160} = \frac{12EI_{160}}{h^3} =$	1052 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km}$	145 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2} =$	4,76 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	1,32 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

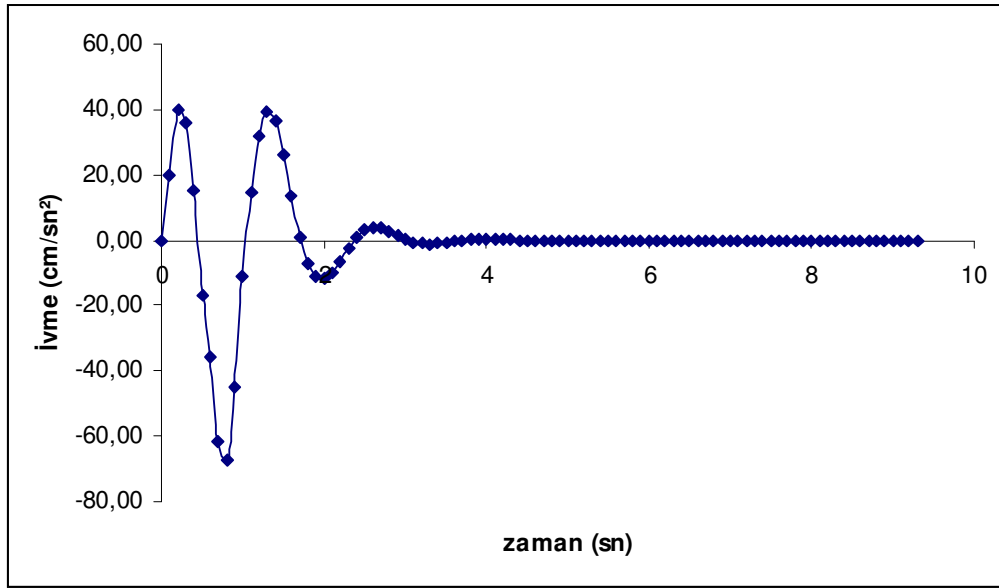
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.50’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.51’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.52’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.53’ de sunulmuştur.



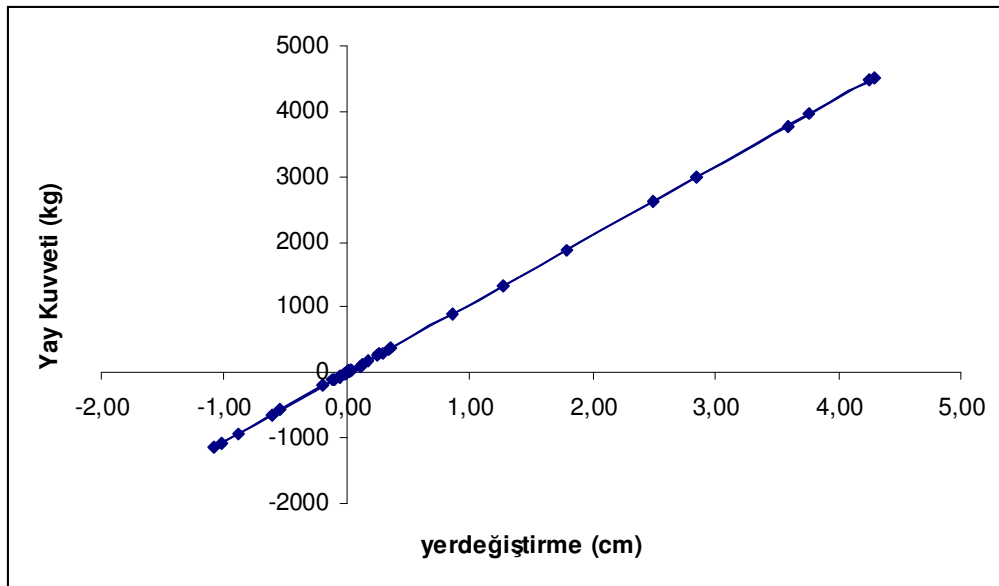
Şekil 4.50 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.51 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.52 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



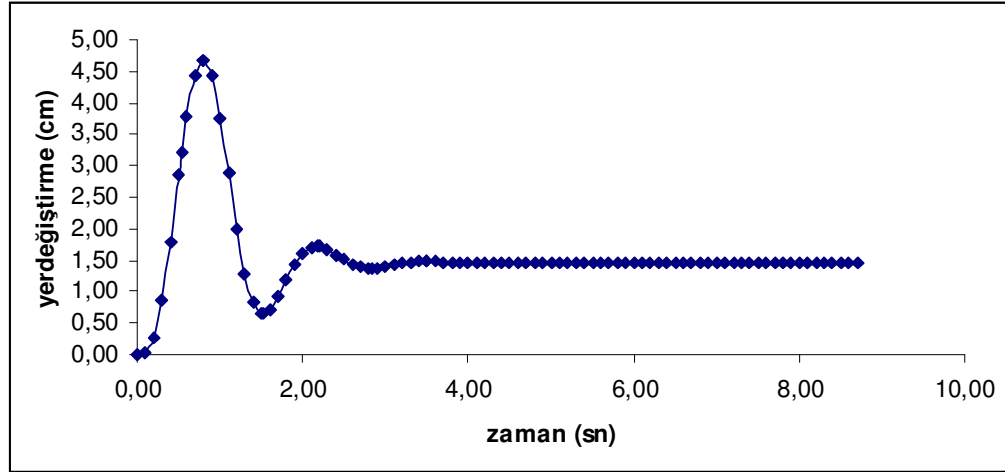
Şekil 4.53 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.20’de sunulmuştur.

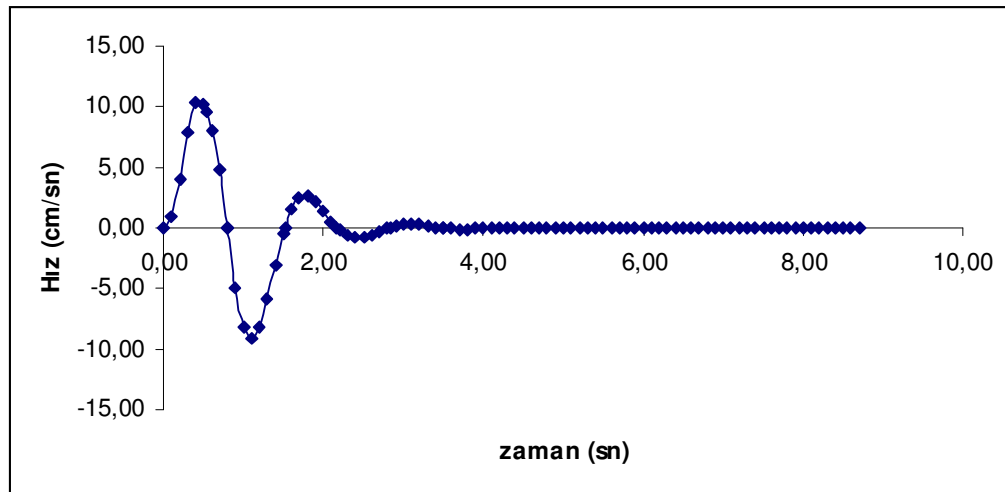
Tablo 4.20 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	4,30 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-12,11 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-67,26 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	4524 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3392 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	3,23 cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	9727 kgcm

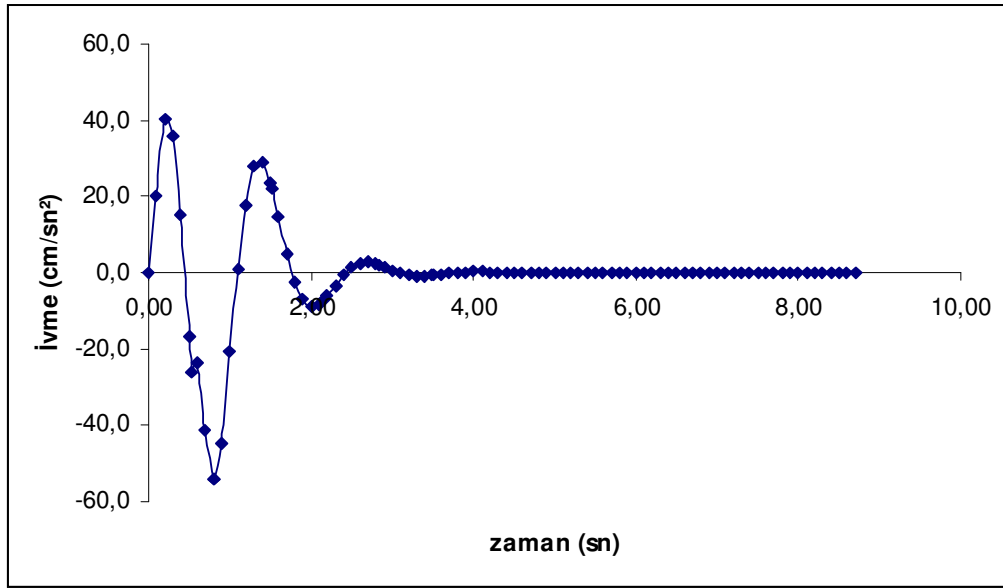
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.54’ de, hız – zaman grafiği şekil 4.55’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.56’da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.57’ da sunulmuştur.



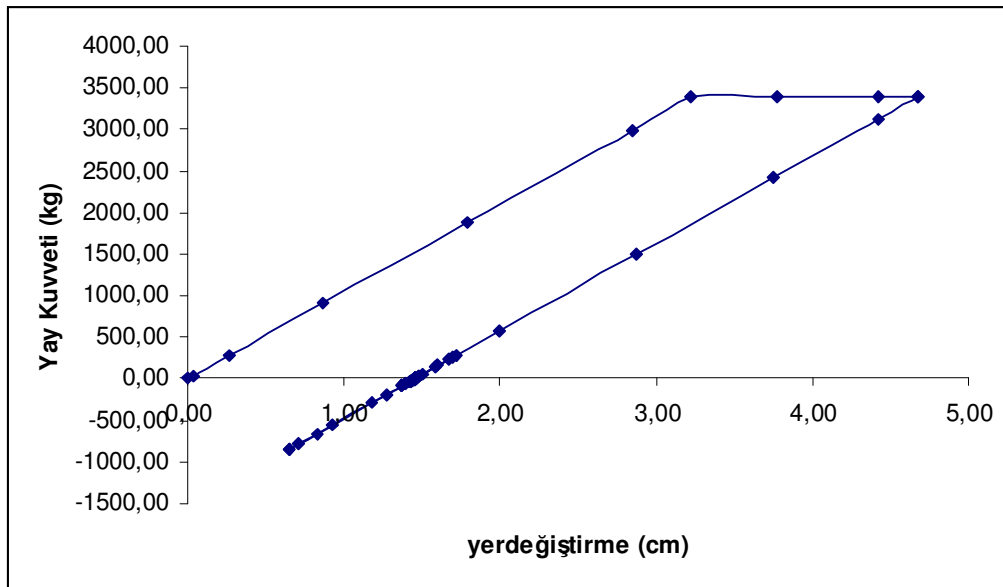
Şekil 4.54 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.55 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.56 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.57 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.21’de sunulmuştur.

Tablo 4.21 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	4,68 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	10,36 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-53,89 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	3392 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	10401 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,451

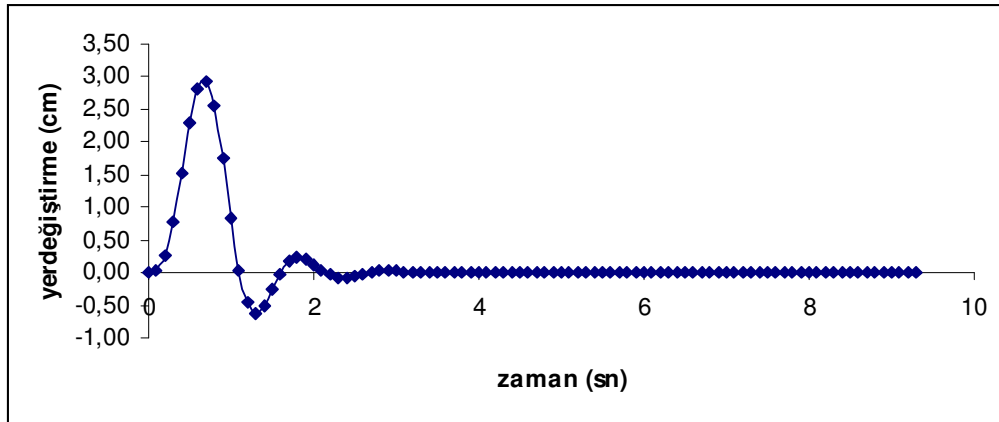
Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I180 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.22’de sunulmuştur.

Tablo 4.22 Taşıyıcı sistem elemanları I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

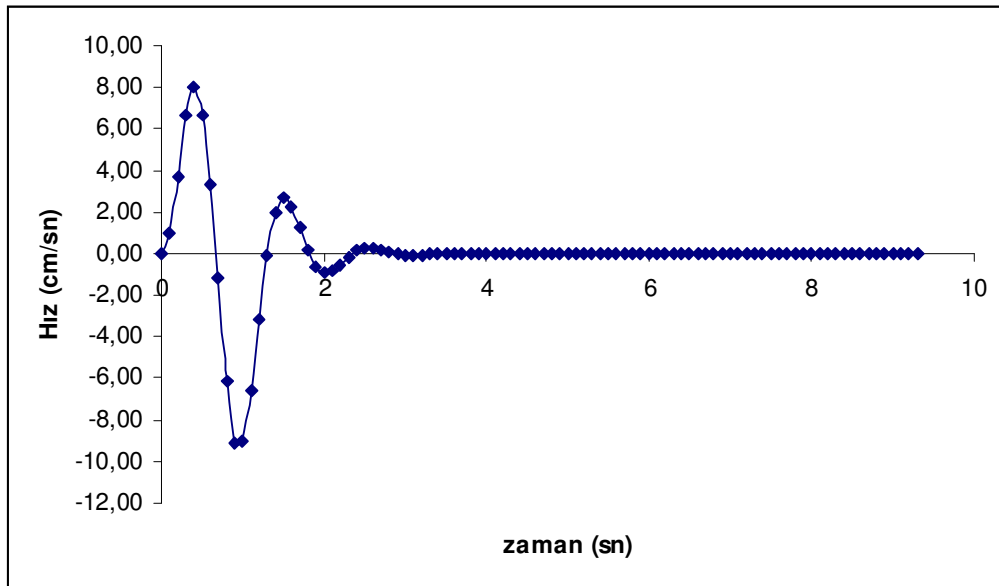
Yapı Ağırlığı	$W =$	40000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	41 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I180} =$	1450 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h$ (cm) =	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_x = \frac{12EI_x}{L^3} =$	1631 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	181 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2} =$	5,92 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	1,06 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn



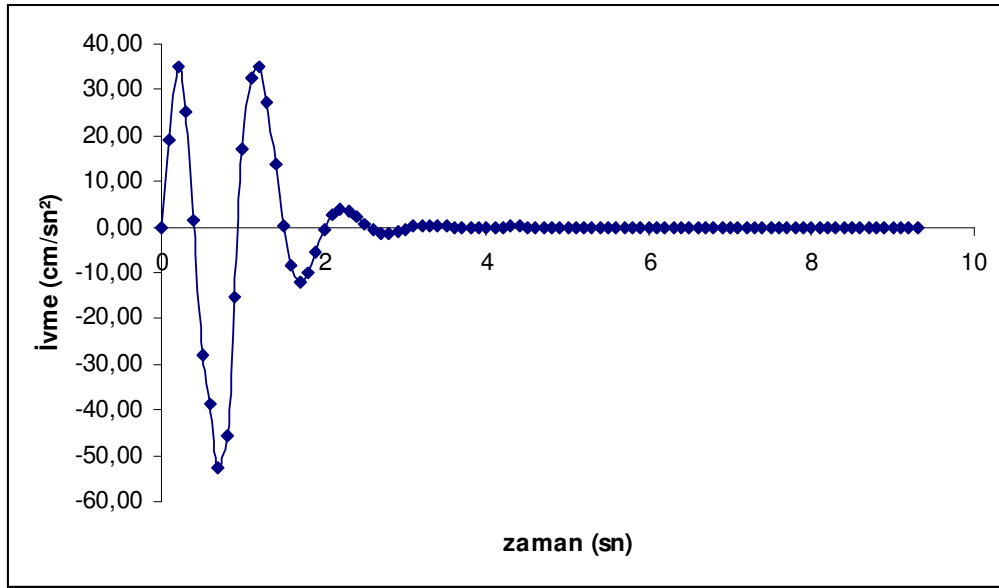
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.58’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.59’da, ivme – zaman grafiği şekil 4.60’da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.61’ de sunulmuştur.



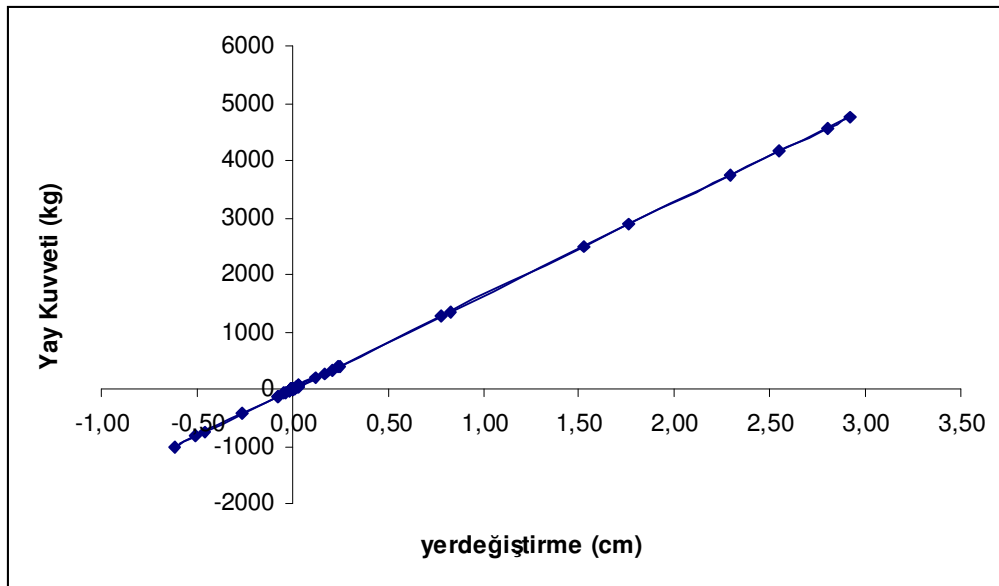
Şekil 4.58 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranış gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.59 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranış gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.60 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



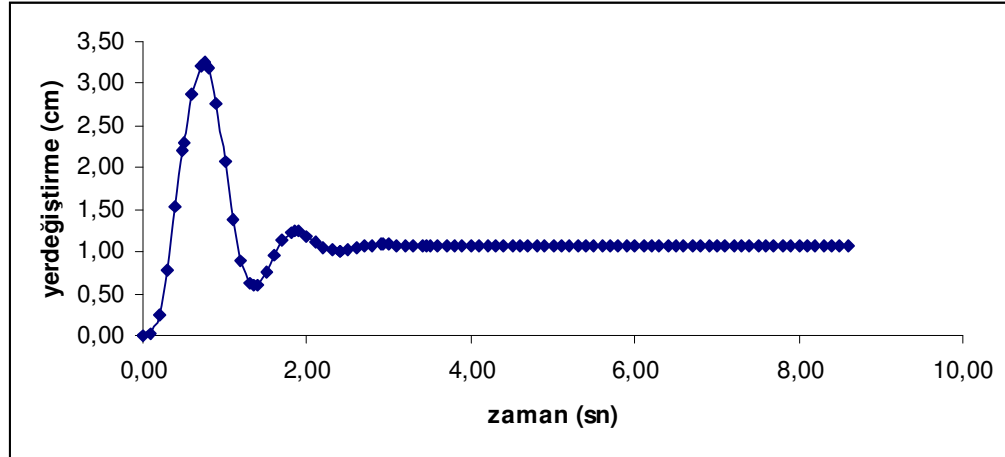
Şekil 4.61 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirme değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.23’de sunulmuştur.

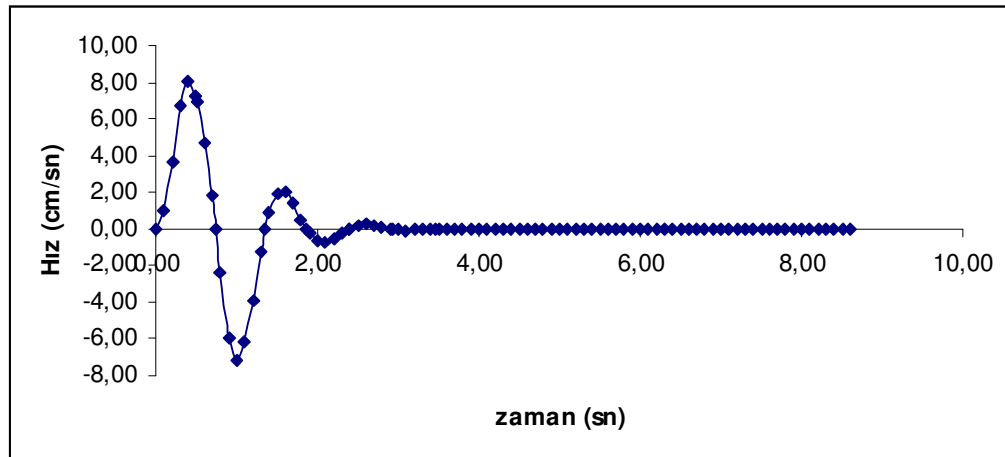
Tablo 4.23 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	2,92 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-9,14 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-52,62 kg/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	4763 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3572 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 2,19$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	6954 kgcm

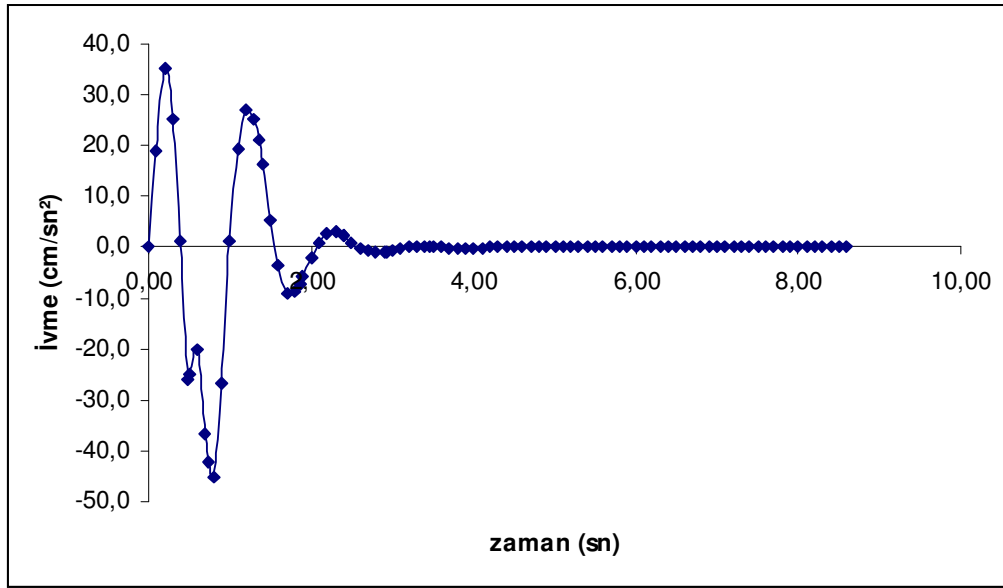
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.62’ de, hız – zaman grafiği şekil 4.63’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.64’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.65’ de sunulmuştur.



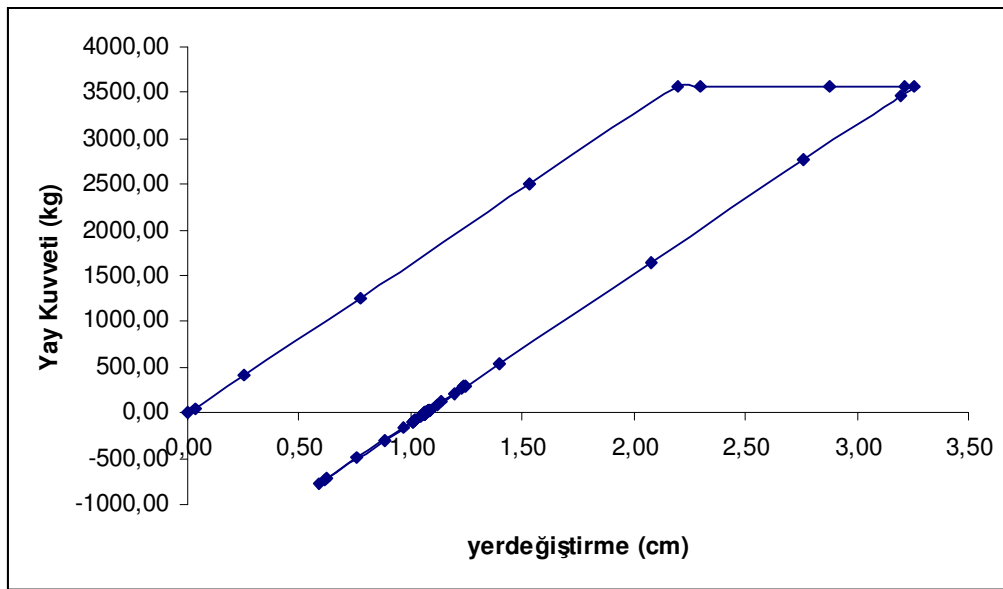
Şekil 4.62 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.63 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.64 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.65 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.24’de sunulmuştur.

Tablo 4.24 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	3,26 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	8,02 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-45 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	3572 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	7721 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,487

### **4.3 Tek Katlı Çok Açıklıklı Kayma Tipi Çelik Çerçevelerin Ağırlığının $W = 50$ t ve Sönüm Oranının $\xi = 0,35$ Olması Durumunda Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz**

Bu bölümde şekil 4.1' de verilen tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı tek serbest dereceli sistemin düşey yöndeki ağırlığının artırılması durumunda, yapıda oluşan tepkilerde, açısal frekanslar ve periyottaki değişimler farklı taşıyıcı sistem kesitleri kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir.

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1' de verilen tek katlı, iki açıklıklı çelik çerçeveden oluşan sistemin ağırlığı  $W = 50$  t ve viskoz sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek serbestlik dereceli kayma çerçevesi bir sistemde şekil 4.2' de verilen zamana bağlı yer ivmesi etkisinde kalmaktadır. Çerçevenin dinamik analizi, kolon ve kiriş kesitleri her analiz için 4 farklı çelik profil I120, I140, I160, I180 seçilerek gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz için normalleştirilmiş akma dayanımı da  $\bar{F}_y = 0,75$  seçilerek, tek serbestlik dereceli sistemde oluşan doğrusal olmayan tepkiler hesaplanmıştır. Çelik çerçevenin elastisite modülü  $E = 2,1 \times 10^6$  kg / cm<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Çerçevede kullanılan çelik türü St 37' dir.

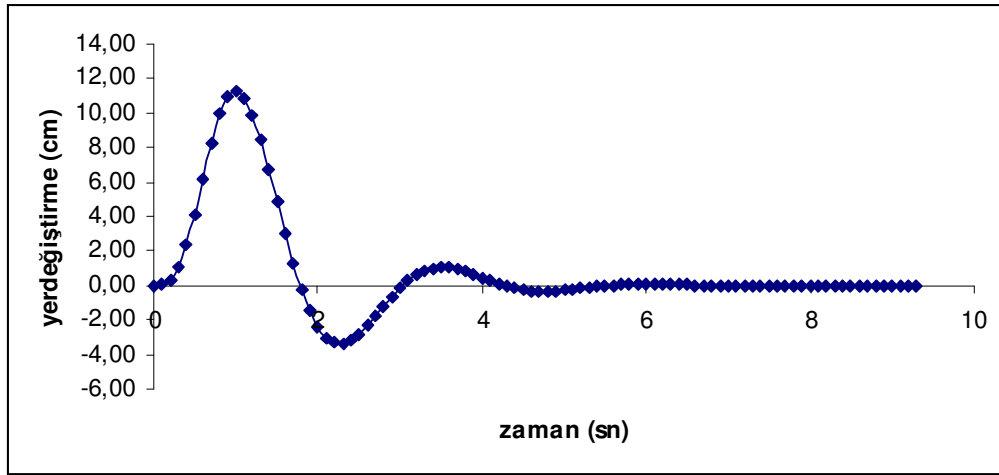
Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I120 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.25’ de sunulmuştur.

Tablo 4.25 Taşıyıcı sistem elemanları I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

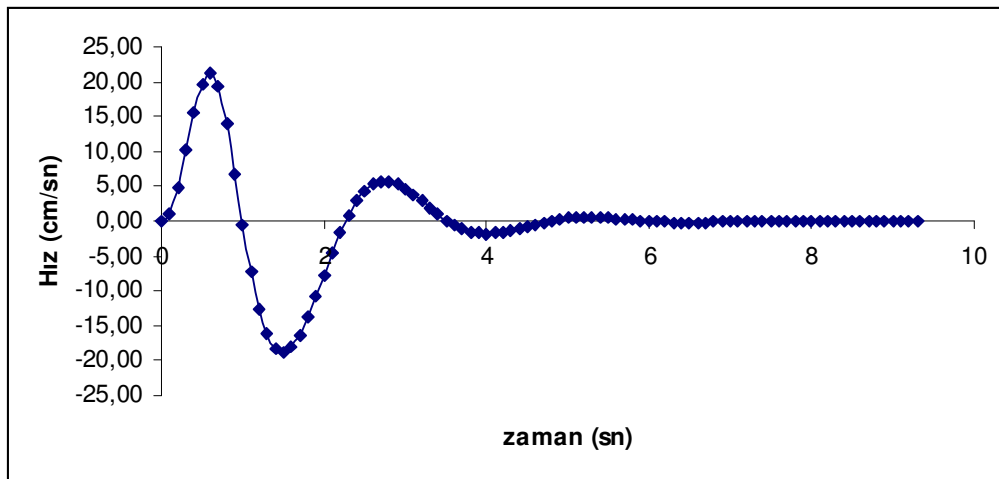
Yapı Ağırlığı	$W =$	50000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	51 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I120} =$	328 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h$ (cm) =	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I120} = \frac{12EI_{I120}}{L^3} =$	369 kg/cm
Sönüm oranı	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	96 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w \times \sqrt{1 - \xi^2} =$	2,52 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	2,49 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn



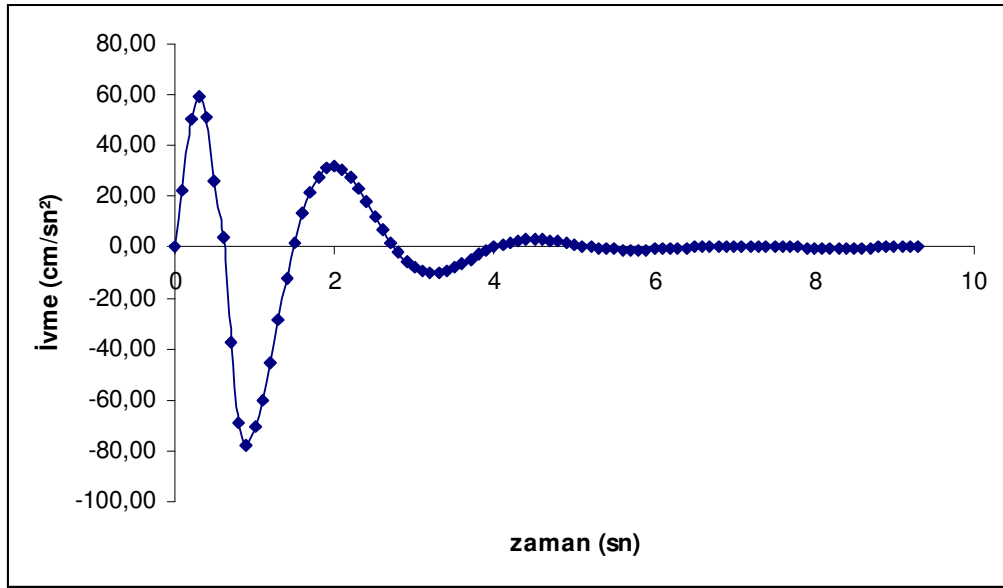
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.66’ da, hız - zaman grafiği şekil 4.67’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.68’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.69’ da sunulmuştur.



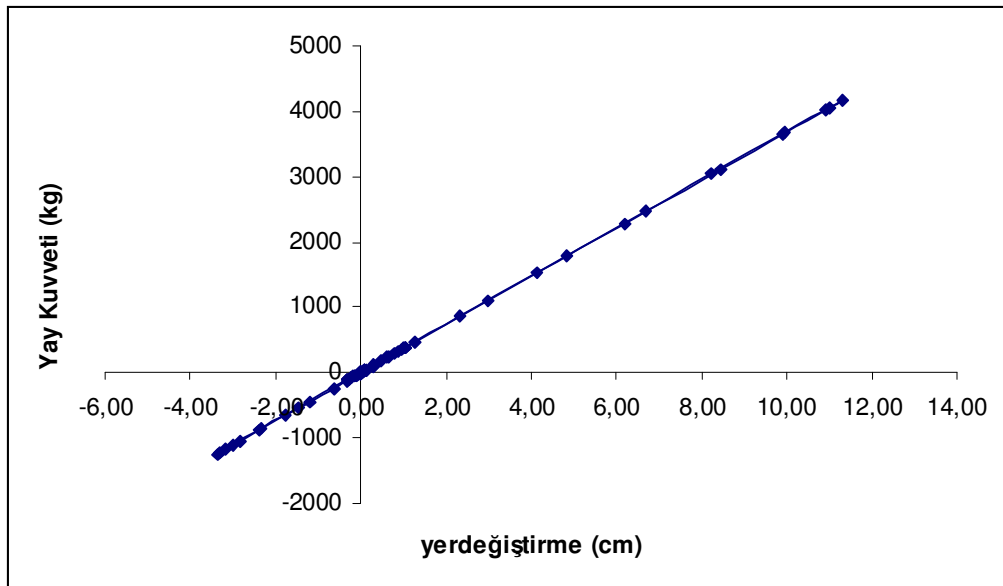
Şekil 4.66 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.67 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.68 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



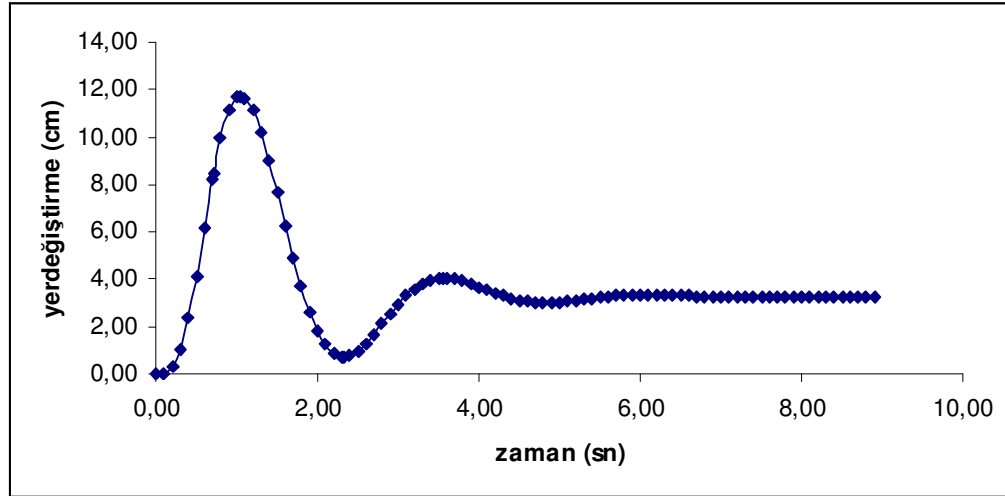
Şekil 4.69 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.26'de sunulmuştur.

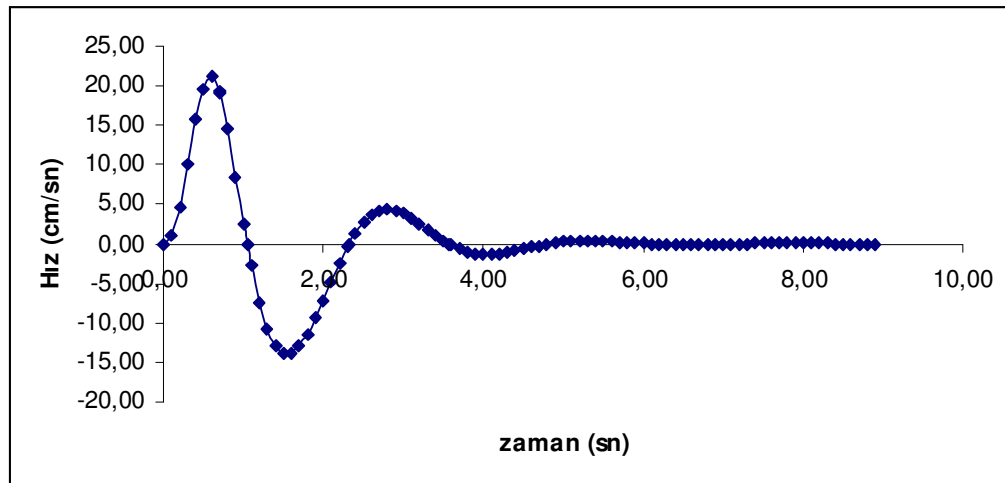
Tablo 4.26 Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	11,30 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-21,11 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-77,66 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	4170 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3127 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	8,48 cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	23561 kgcm

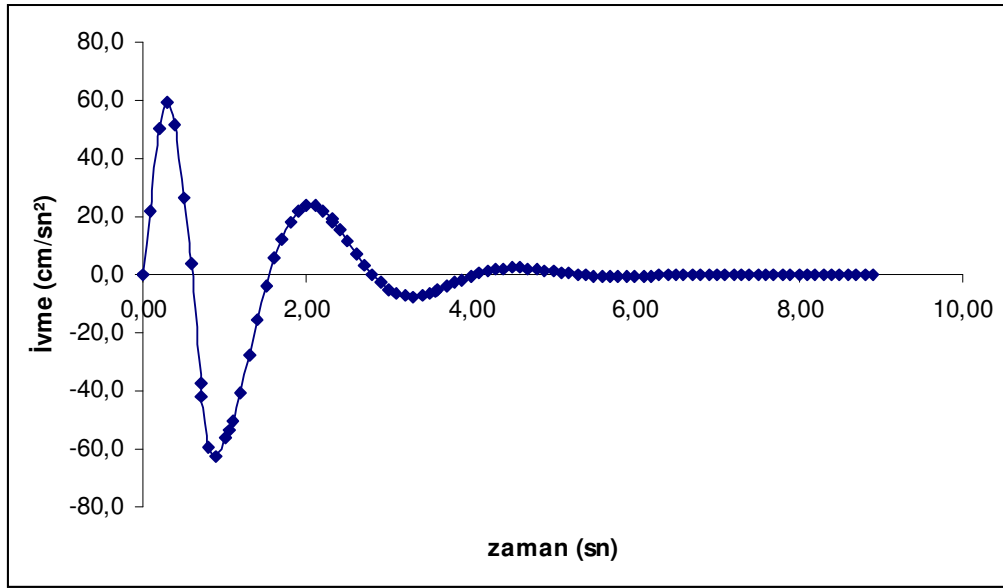
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.70’ de, hız – zaman grafiği şekil 4.71’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.72’da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.73’ de sunulmuştur.



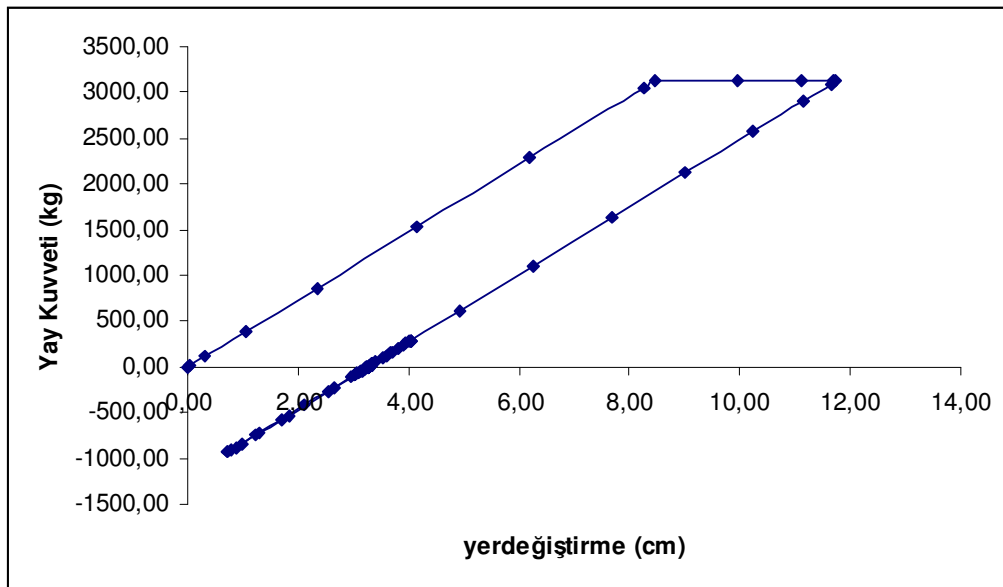
Şekil 4.70 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.71 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.72 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.73 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.27’de sunulmuştur.

Tablo 4.27 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I120 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

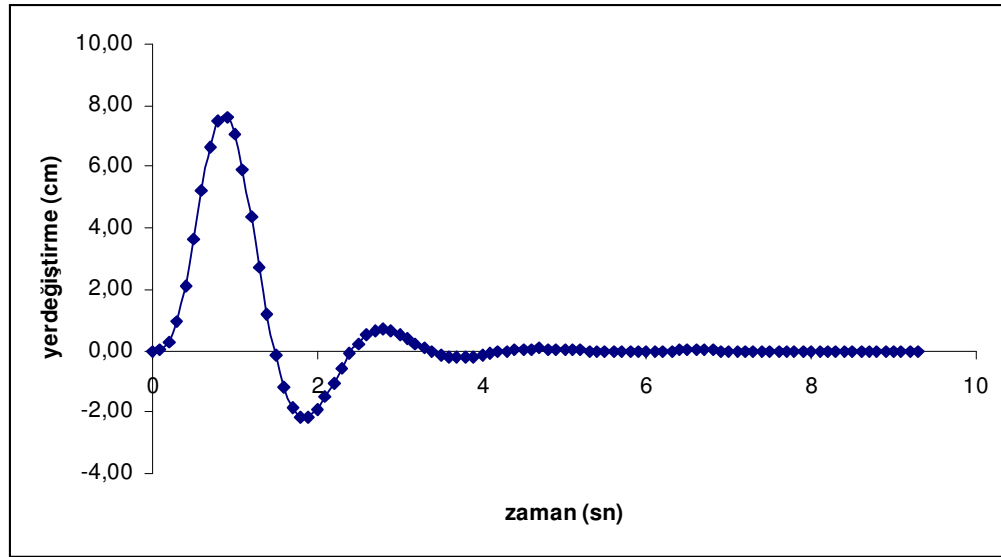
En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	11,73 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	21,11 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-62,62 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elasto-plastik} =$	3127 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	23434 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y}$	1,384

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I140 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.28’ de sunulmuştur.

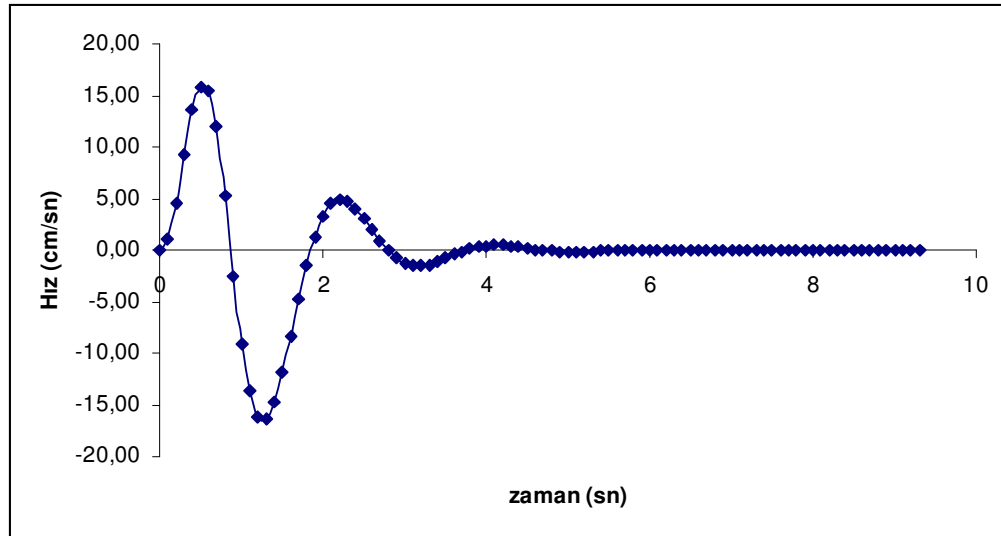
Tablo 4.28 Taşıyıcı sistem elemanları I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	50000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	51 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I140} =$	573 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h \text{ (cm)} =$	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I140} = \frac{12EI_{I140}}{L^3} =$	645 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	127 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w \times \sqrt{1 - \xi^2} =$	3,33 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	1,89 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.74’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.75’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.76’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.77’ de sunulmuştur.

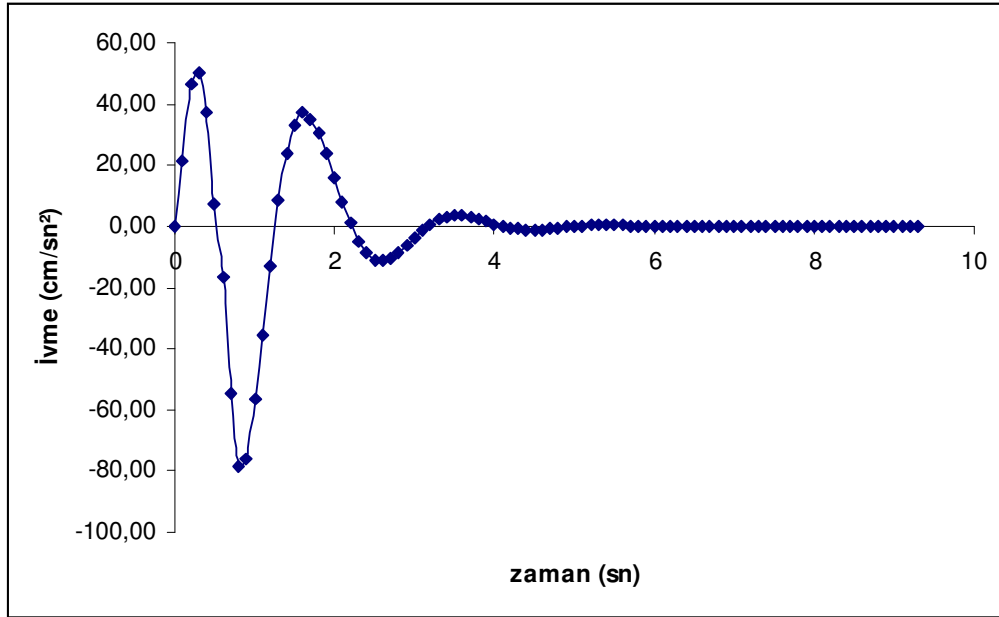


Şekil 4.74 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi

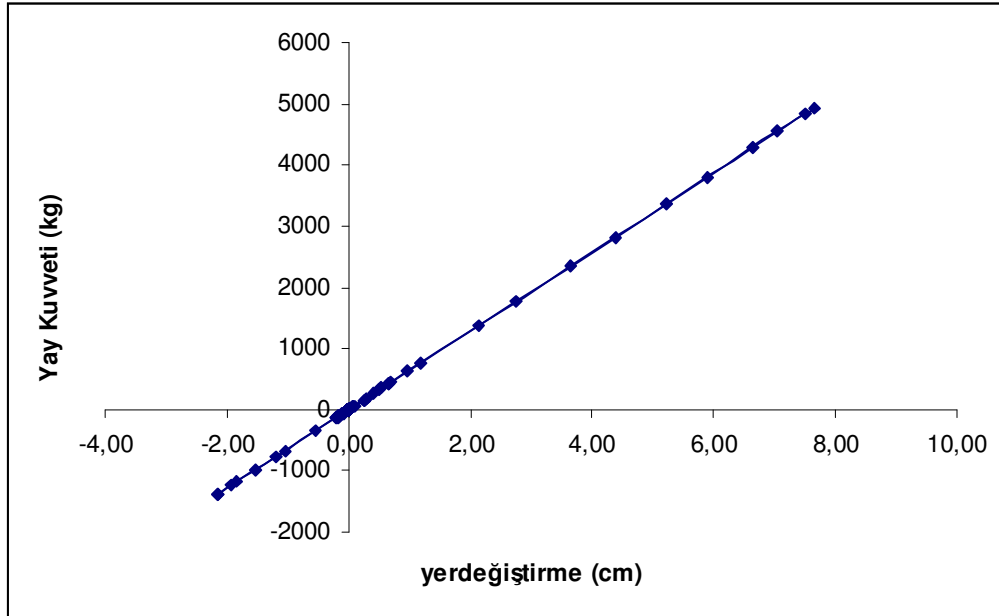


Şekil 4.75 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi





Şekil 4.76 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



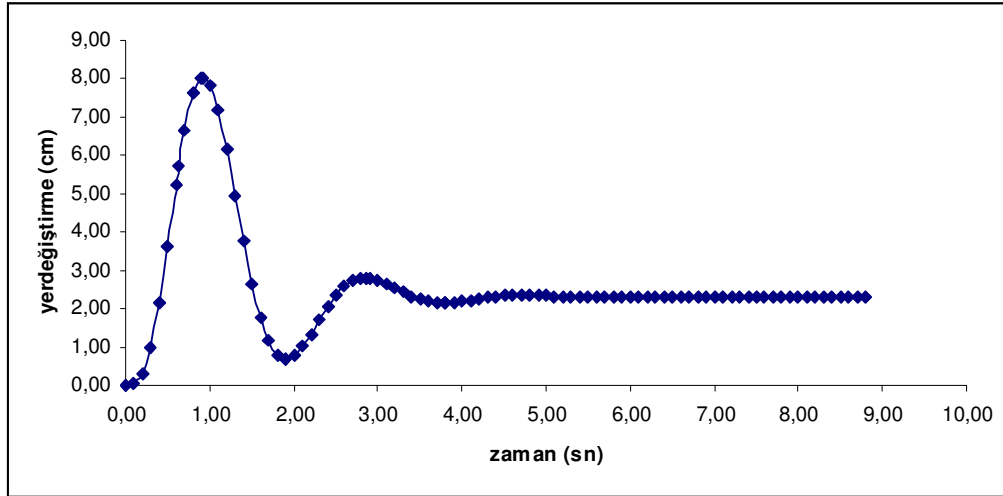
Şekil 4.77 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.29'da sunulmuştur.

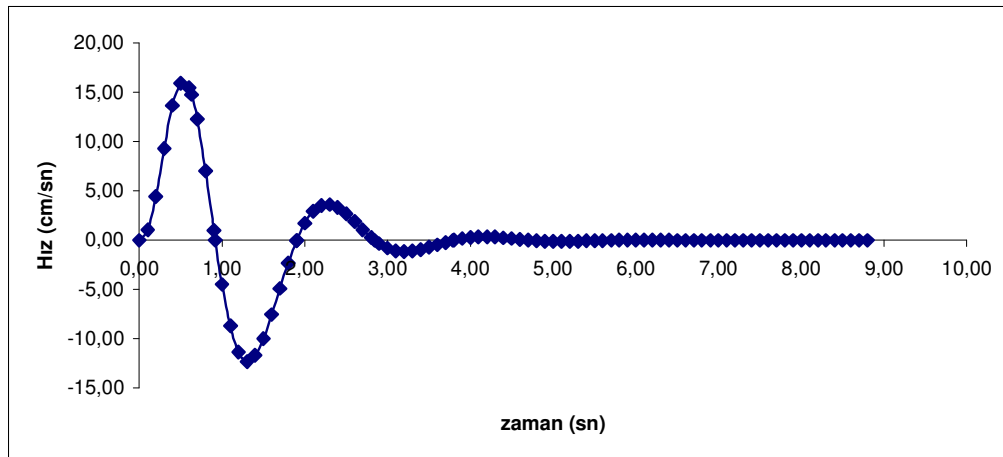
Tablo 4.29 Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	7,64 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik}$	-16,35 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-78,60 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	4928 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	3694 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	$\mp 5,73$ cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	18825 kgcm

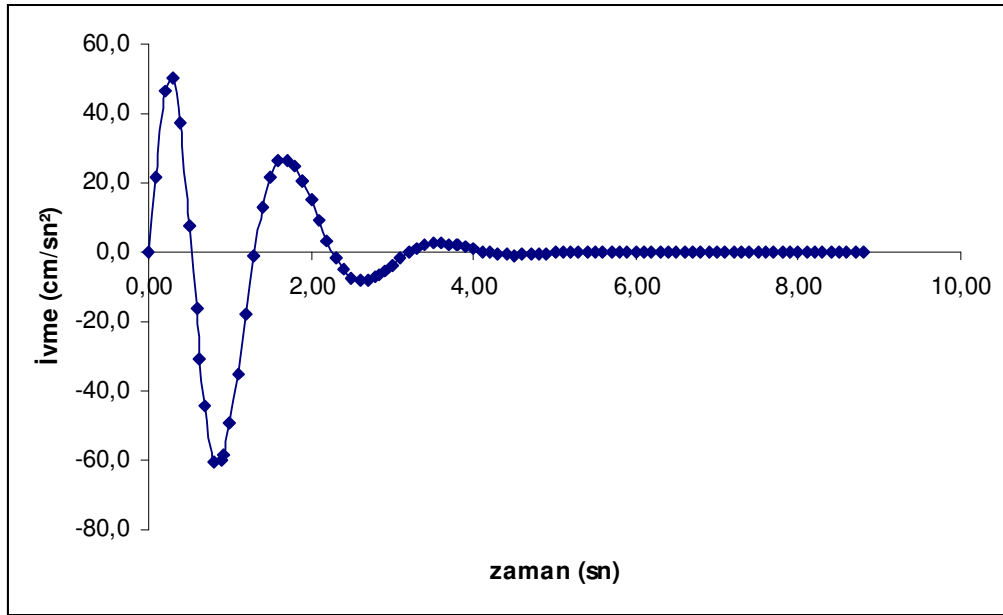
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.78’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.79’ da, ivme – zaman grafiği şekil 4.80’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.81’ de sunulmuştur.



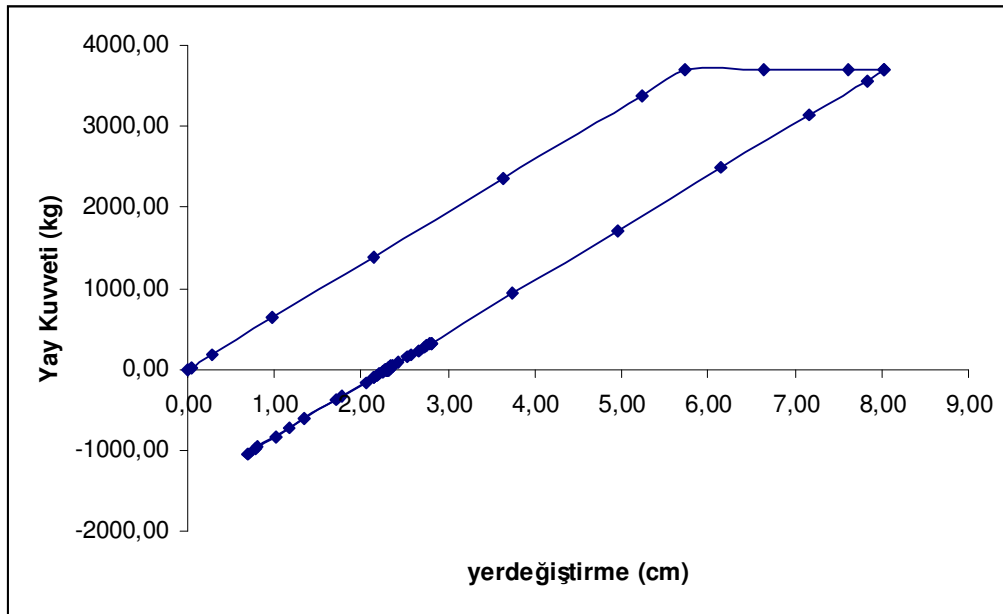
Şekil 4.78 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.79 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.80 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.81 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.27’de sunulmuştur.

Tablo 4.27 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I140 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

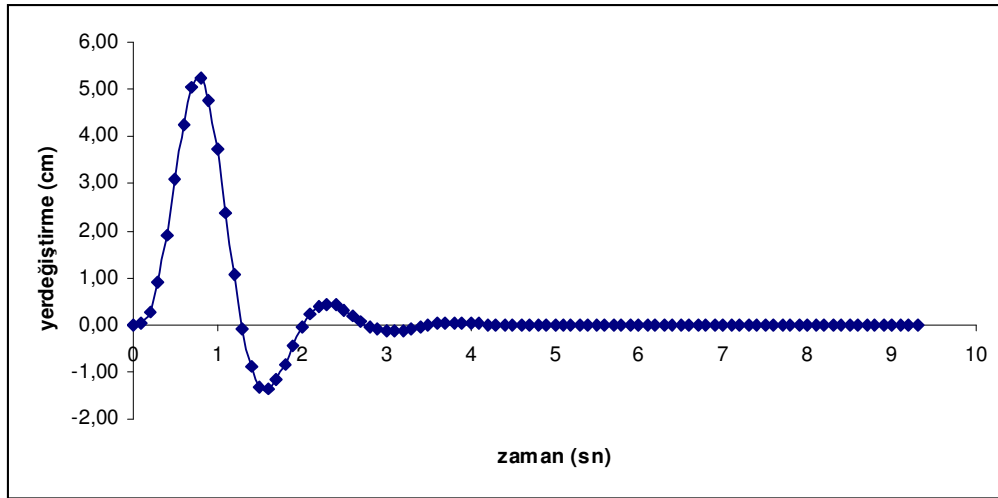
En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	8,03 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	15,90 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-60,57 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	3694 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	19074 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,402

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I160 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.31’ de sunulmuştur.

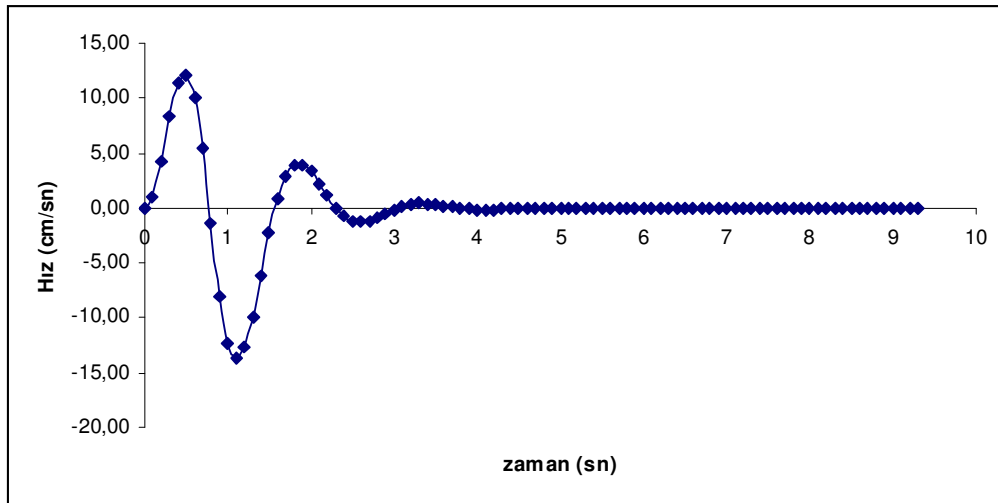
Tablo 4.31 Taşıyıcı sistem elemanları I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	50000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	51 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I160} =$	935 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h \text{ (cm)} =$	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I160} = \frac{12EI_{I160}}{h^3} =$	1052 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	162 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w\sqrt{1-\xi^2} =$	4,26 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	1,48 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

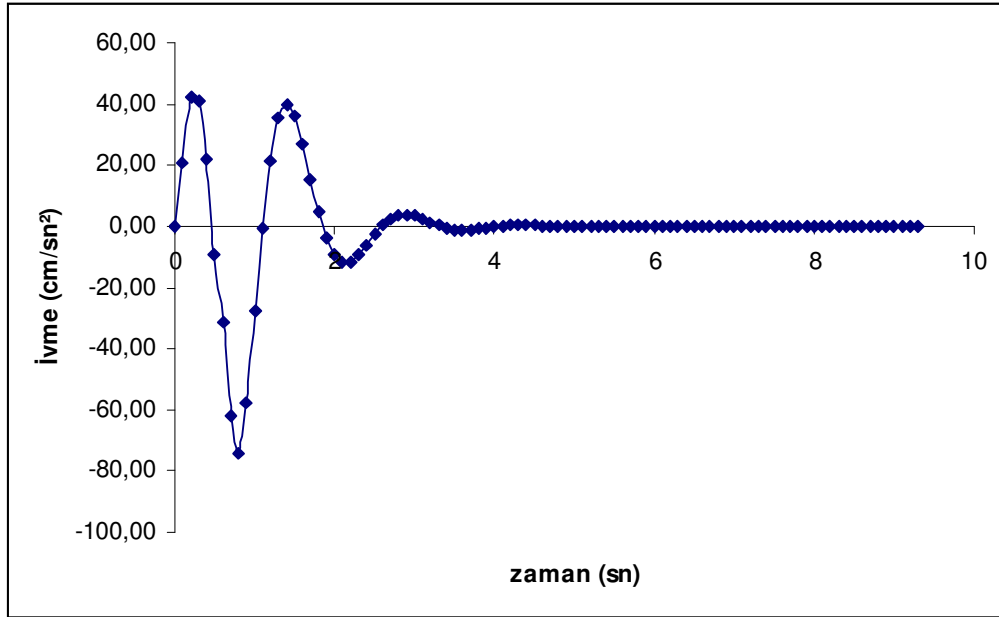
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I160 olarak ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.82’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.83’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.84’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.85’ de sunulmuştur.



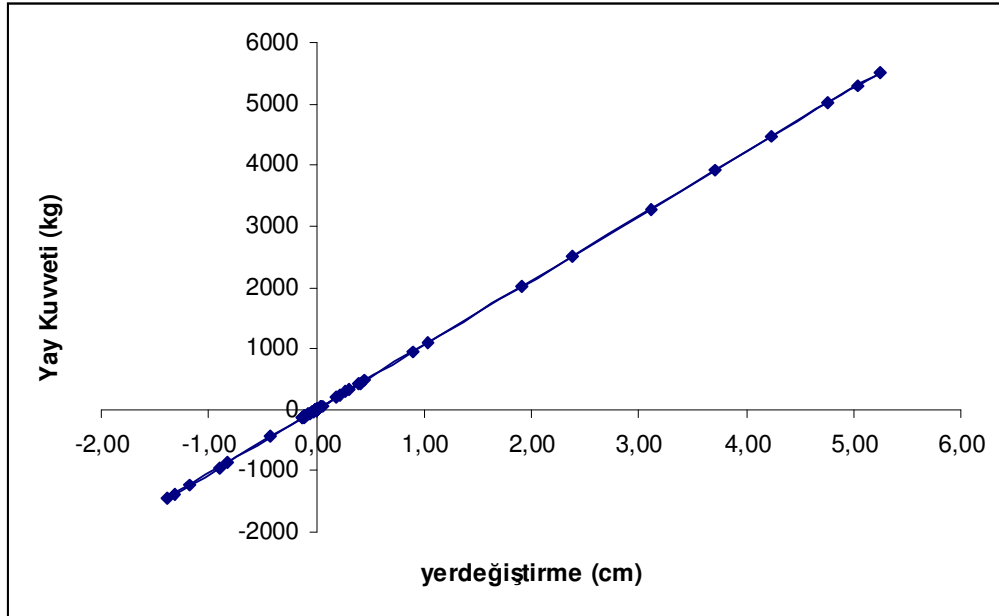
Şekil 4.82 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.83 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.84 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.85 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirmenin değişimi

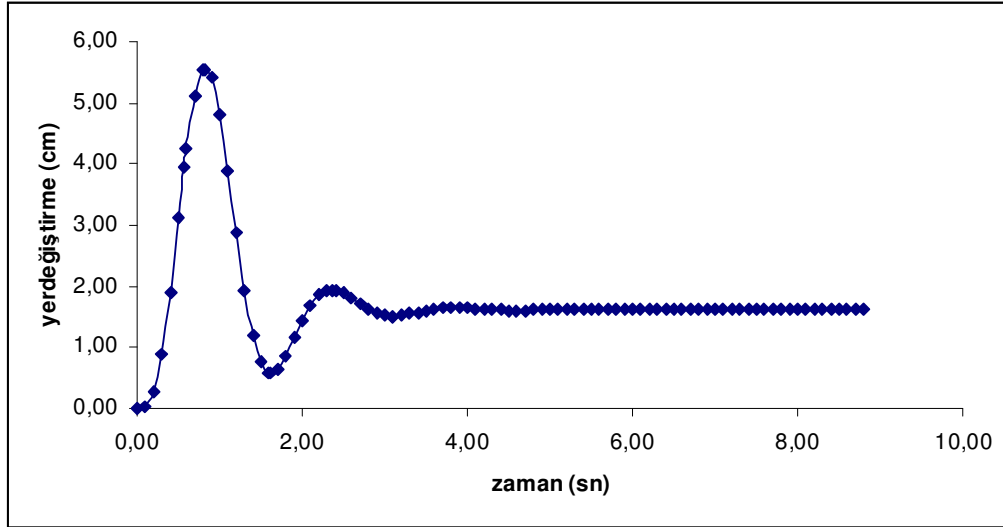


Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.32’de sunulmuştur.

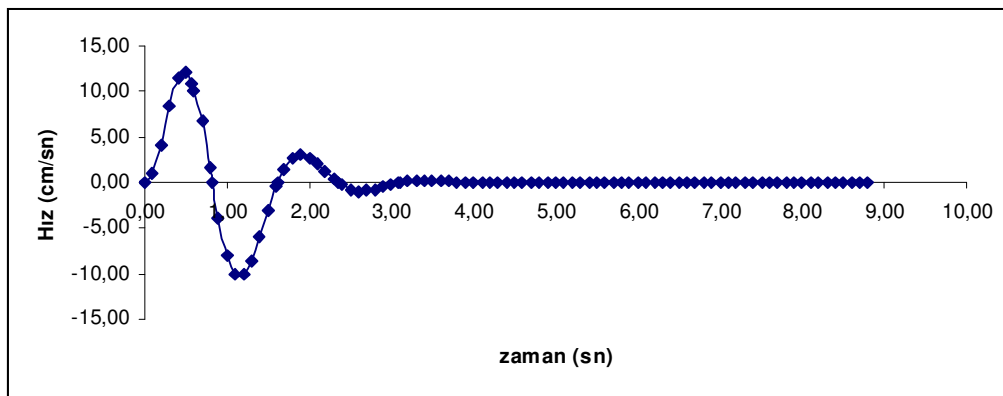
Tablo 4.32 Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	5,25 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-13,74 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-74,29 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	5519 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	4142 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \frac{F_y}{K} =$	3,94 cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	14487 kgcm

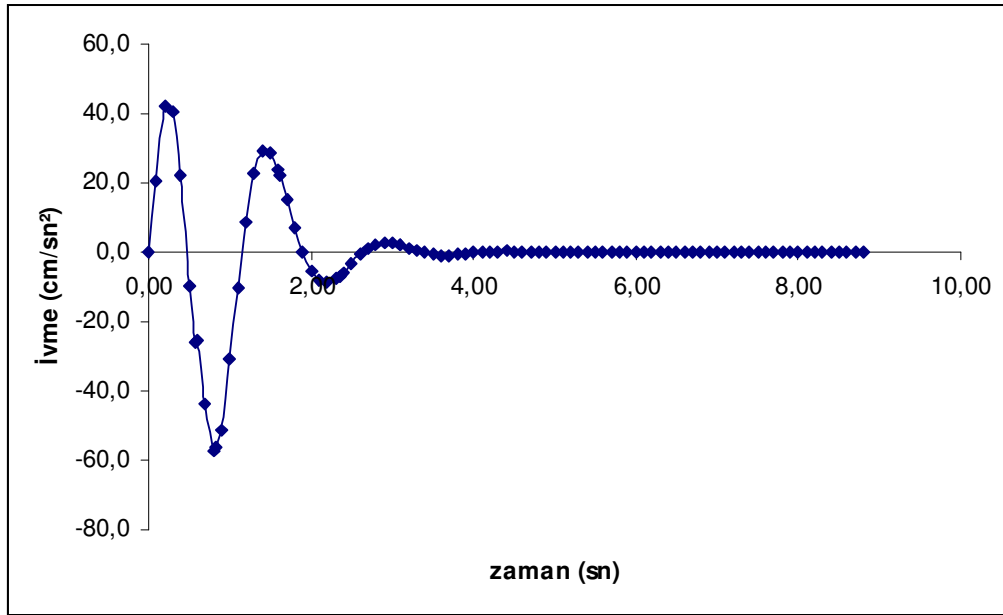
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.86’ da, hız - zaman grafiği şekil 4.87’ de, ivme – zaman grafiği şekil 4.88’ de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.89’ da sunulmuştur.



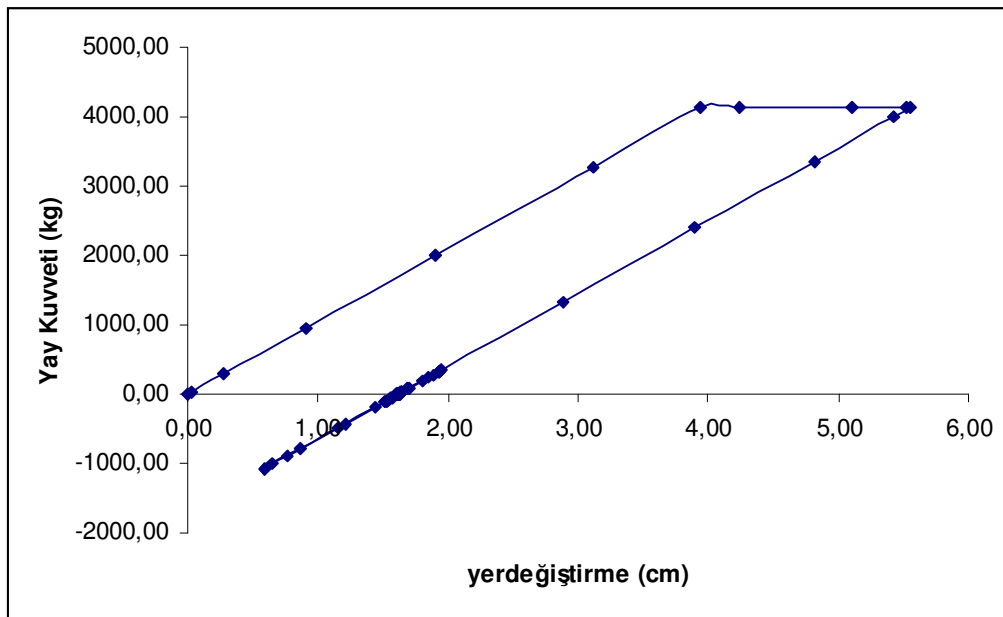
Şekil 4.86 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.87 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.88 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.89 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti –yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.33’de sunulmuştur.

Tablo 4.33 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I160 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

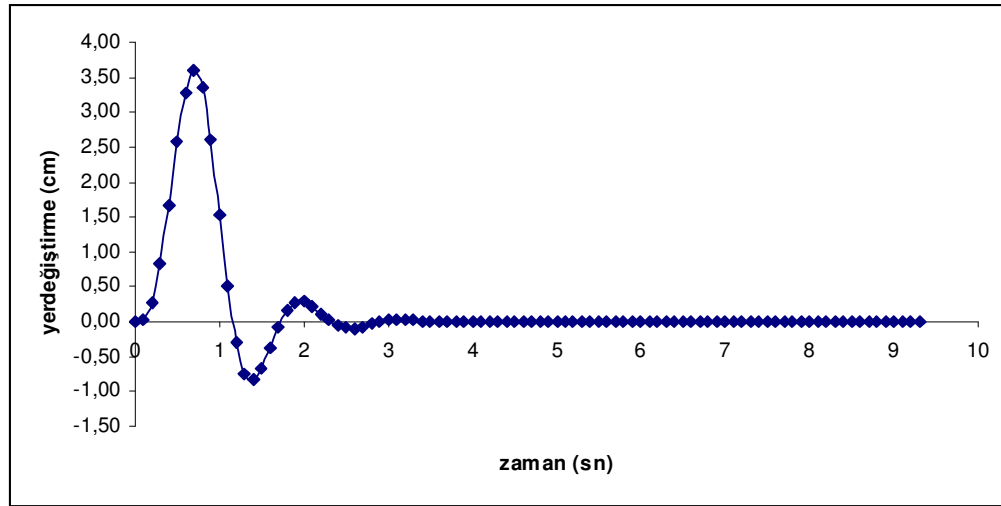
En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	5,55 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	12,11 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-57,11 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elasto-plastik} =$	4142 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	14851 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,410

Açıklık ve yükleme durumları şekil 4.1’de verilen tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik yapının taşıyıcı sistem elemanlarının I180 profili olarak ve sönüm oranının  $\xi = 0,35$  seçilmesi durumunda açısal frekans, periyot ve adım adım çözüm yöntemlerinde kullanılacak olan zaman adımı değeri Tablo 4.34’ de sunulmuştur.

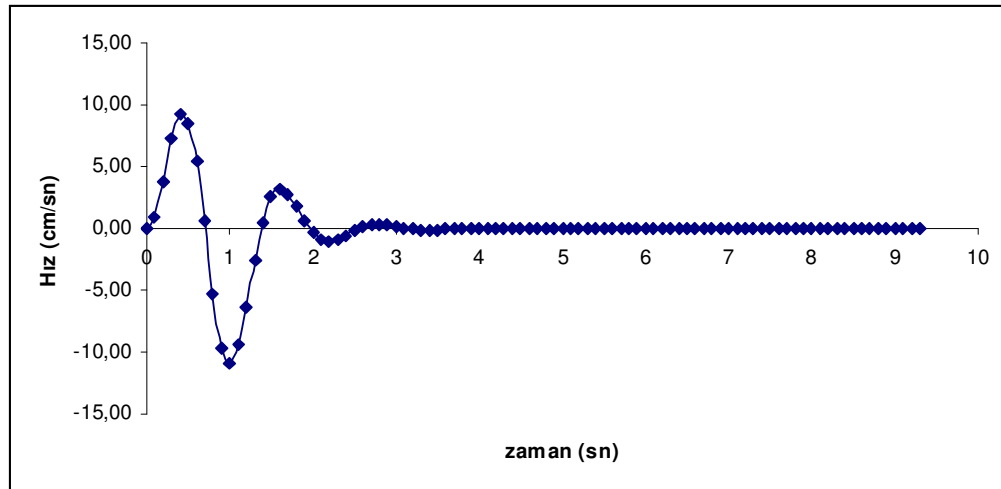
Tablo 4.34 Taşıyıcı sistem elemanları I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan tek katlı çok açıklıklı kayma tipi çelik çerçevenin periyot, açısal frekans hesabı ve zaman adımının seçilmesi

Yapı Ağırlığı	$W =$	50000 kg
Sönüm oranı	$\xi =$	0,35
Kütle	$m = \frac{W}{g} =$	51 kgsn <sup>2</sup> /cm
Eylemsizlik Momenti	$I_{I180} =$	1450 cm <sup>4</sup>
Yapı Yüksekliği	$h$ (cm) =	400 cm
Yapı Rijitliği	$k_{I180} = \frac{12EI_{I180}}{h^3} =$	1631 kg/cm
Sönüm	$c = \xi \times 2\sqrt{km} =$	202 kgsn/cm
Açısal Frekans	$w_d = w \times \sqrt{1 - \xi^2} =$	5,30 rad/sn
Yapı Periyodu	$T = \frac{2\pi}{w_d} =$	1,19 sn
Zaman Adımı	$\Delta t_{seçilen} \leq \frac{T}{10}$	0,10 sn

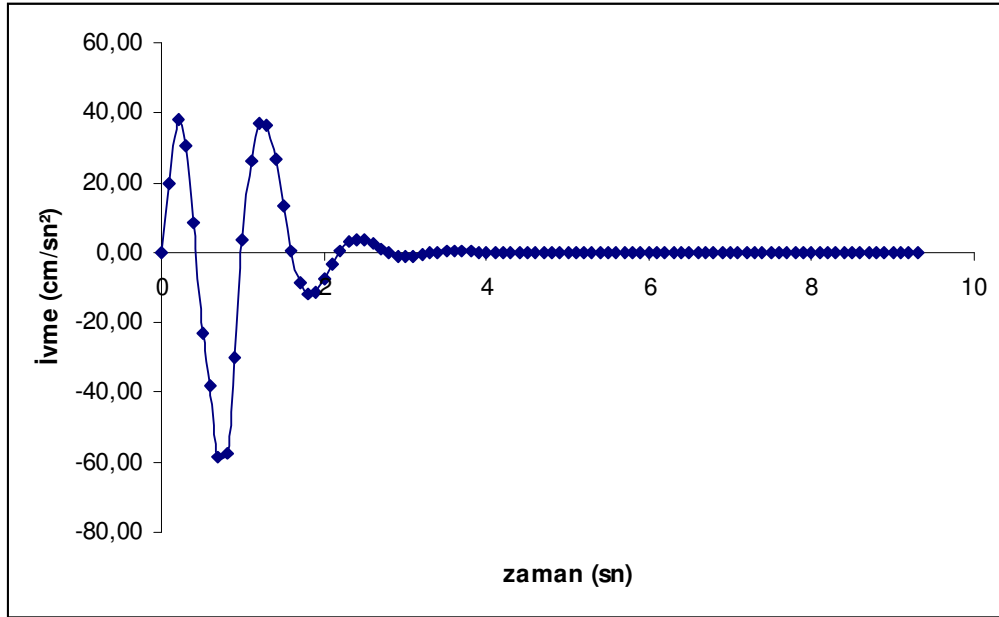
Tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı doğrusal elastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I180 olarak ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.90’ da, hız - zaman grafiği şekil 4.91’de, ivme – zaman grafiği şekil 4.92’de ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.93’ de sunulmuştur.



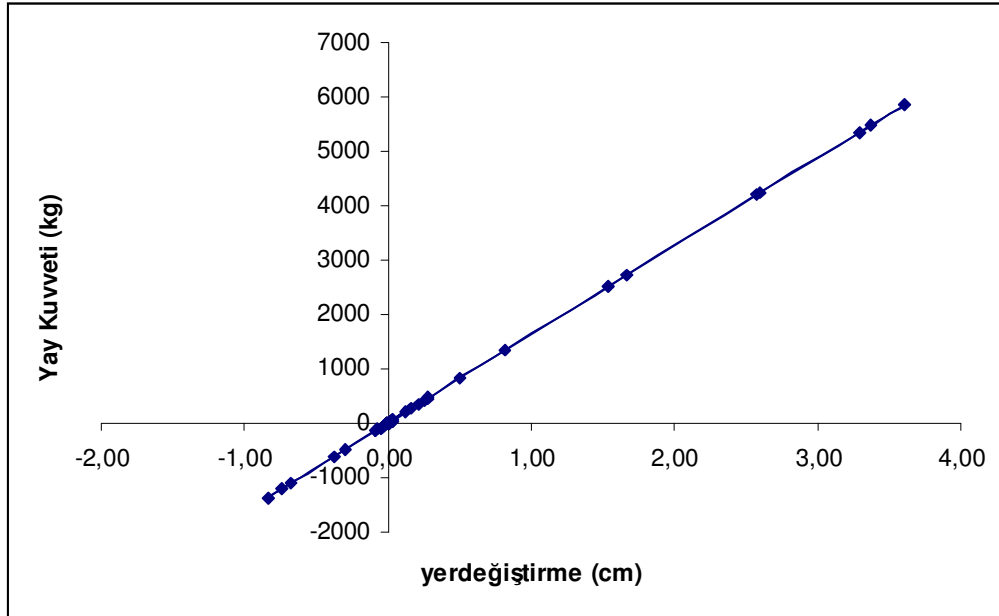
Şekil 4.90 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.91 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.92 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.93 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde yay kuvveti ile yerdeğiştirme değişimi

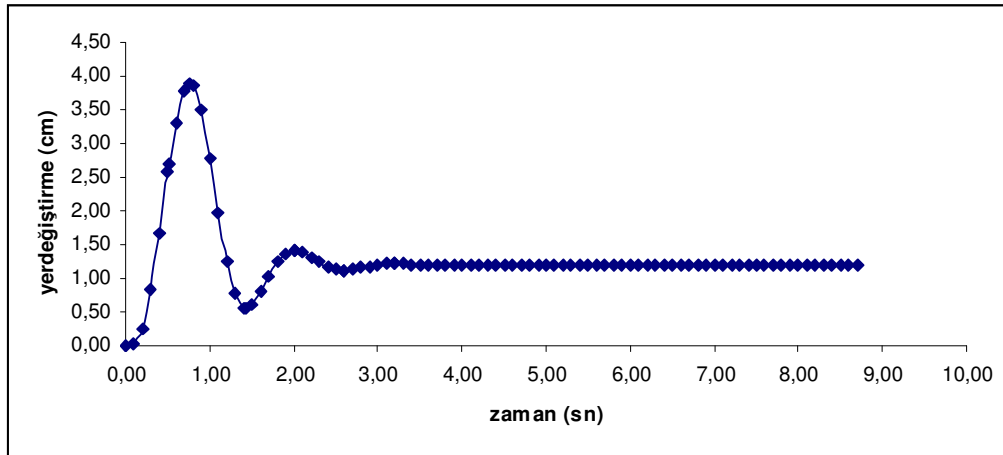
Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.32’de sunulmuştur.

Tablo 4.35 Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve  $\bar{F}_y = 0,75$  için en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri

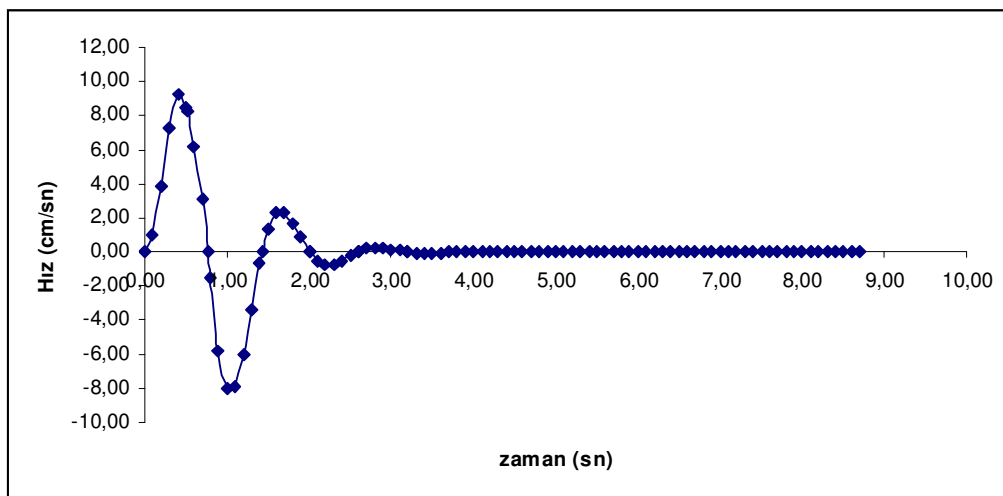
En Büyük Elastik Yerdeğiştirme	$y_{elastik} =$	3,60 cm
En Büyük Elastik Hız	$\dot{y}_{elastik} =$	-10,97 cm/sn
En Büyük Elastik İvme	$\ddot{y}_{elastik} =$	-58,73 cm/sn <sup>2</sup>
En Büyük Elastik Tepki Kuvveti	$F_{elastik} = K \times y_{elastik} =$	5878 kg
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
Elasto-plastik Sistemin Akma Dayanımı	$F_y = F_{elastik} \times \bar{F}_y =$	4404 kg
Elasto-plastik sistemin Akma Yerdeğiştirmesi	$y_{akma} = \mp \frac{F_y}{K} =$	2,70 cm
Elastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elastik} = \frac{1}{2} \times F_{elastik} \times y_{elastik} =$	10580 kgcm



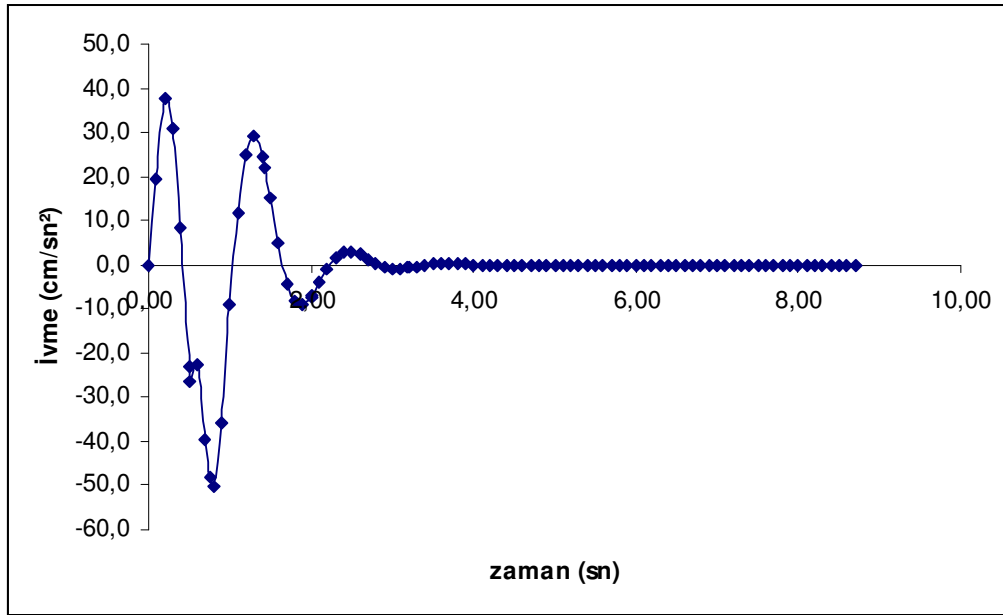
Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak belirlenen tek serbestlik dereceli, tek katlı çok açıklıklı elasto-plastik davranış gösteren taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olarak seçilen kayma tipi çelik çerçeve sistemin yerdeğiştirme – zaman grafiği şekil 4.94’ de, hız - zaman grafiği şekil 4.95’ de, ivme – zaman grafiği şekil 4.96’ da ve yay kuvveti – yerdeğiştirme grafiği şekil 4.97’ de sunulmuştur.



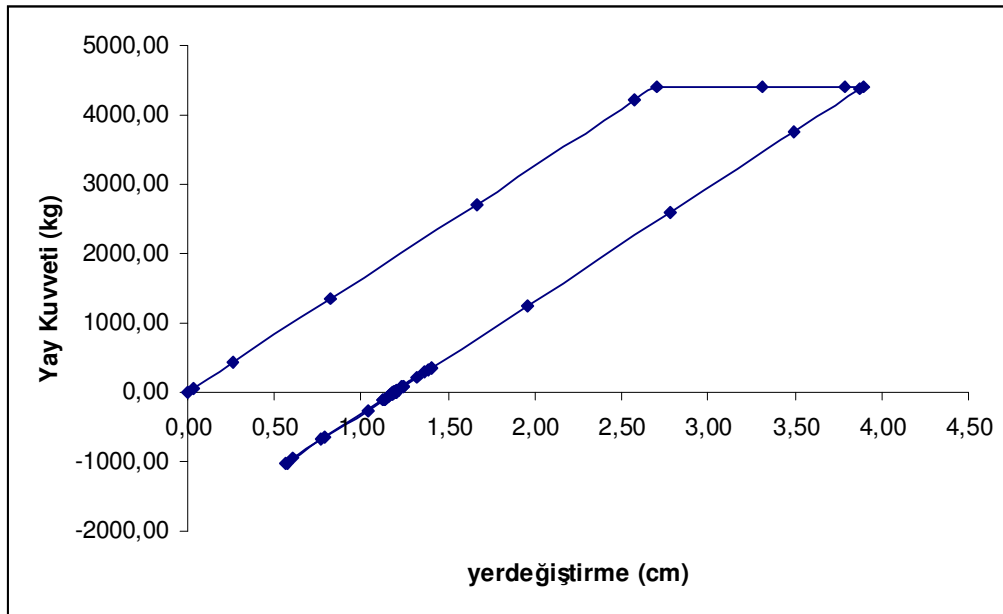
Şekil 4.94 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yerdeğiştirme zaman geçmişi



Şekil 4.95 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin hız zaman geçmişi



Şekil 4.96 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin ivme zaman geçmişi



Şekil 4.97 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilen taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin yay kuvveti -yerdeğiştirme ilişkisi

Taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler ve elasto-plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olması durumundaki en büyük elasto-plastik kuvvet ve akma yerdeğiştirmesi değerleri Tablo 4.36'da sunulmuştur.

Tablo 4.36 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, taşıyıcı sistem kesitleri I180 ve sönüm oranı  $\xi = 0,35$  olan elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemde oluşan en büyük tepkiler, enerji ve süneklik talebi değeri

En Büyük Elasto-plastik Yerdeğiştirme	$y_{elasto-plastik} =$	3,89 cm
En Büyük Elasto-plastik Hız	$\dot{y}_{elasto-plastik} =$	9,23 cm/sn
En Büyük Elasto-plastik İvme	$\ddot{y}_{elasto-plastik} =$	-50,29 cm/sn <sup>2</sup>
Normalleştirilmiş Akma Dayanımı	$\bar{F}_y =$	0,75
En Büyük Elasto-plastik Tepki Kuvveti	$F_y = \bar{F}_y \times F_{elastik} =$	4404 kg
Elasto-plastik Sistemin Tükettiği Enerji	$E_{Elasto-plastik} = \frac{1}{2} \times F_y \times y_{akma} + F_y \times (y_{elasto-plastik} - y_{akma})$	11189 kgcm
Süneklik Talebi	$\mu = \frac{y_{elasto-plastik}}{y_{elastik}} \frac{1}{\bar{F}_y} =$	1,441

Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, sönüm oranı  $\xi = 0,20$  ve yapı ağırlığı  $W = 40$  t olan elastik ve elasto-plastik malzeme davranış gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı sistemlerin taşıyıcı sistem kesitlerinin I120, I140, I160 ve I180 seçilmesi durumunda oluşan tepkiler Tablo 4.37' de sunulmuştur.

Tablo 4.37 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, sönüm oranı  $\xi = 0,20$  ve yapı ağırlığı  $W = 40$  t olan elastik ve elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı sistemlerde oluşan tepkiler

Normalleştirilmiş Akma Dayanımı $\bar{F}_y = 0,75$ için	Çelik I Profiller			
	I120	I140	I160	I180
$W$ (kg)	40000	40000	40000	40000
$\xi$	0,20	0,20	0,20	0,20
$w_d$ (rad/sn)	2,95	3,90	4,98	6,20
$T$ (sn)	2,13	1,61	1,26	1,01
$y_{elastik}$ (cm)	11,47	7,63	5,03	3,35
$\dot{y}_{elastik}$ (cm / sn)	-25,44	-21,78	-17,06	-12,76
$\ddot{y}_{elastik}$ (cm / sn <sup>2</sup> )	-94,84	-96,07	-88,31	-69,38
$F_{elastik}$ (Kg)	4233,00	4919,00	5295,00	5462,00
$y_{akma}$ (cm)	8,60	5,72	3,78	2,51
$y_{elasto-plastik}$ (cm)	12,12	8,14	5,50	3,74
$\dot{y}_{elasto-plastik}$ (cm / sn)	22,40	16,76	-12,94	-10,06
$\ddot{y}_{elasto-plastik}$ (cm / sn <sup>2</sup> )	-72,78	-74,77	-67,86	-60,11
$F_{elasto-plastik}$ (kg)	3174,32	3688,87	3968,20	4098,52
$E_{elastik}$ (kgcm)	24276,26	18765,99	13316,93	9148,85
$E_{elasto-plastik}$ (kgcm)	24815,52	19461,72	14347,65	10181,12
$\mu$	1,409	1,422	1,459	1,488

Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, sönüm oranı  $\xi = 0,35$  ve yapı ağırlığı  $W = 40$  t olan elastik ve elasto-plastik malzeme davranış gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı sistemlerin taşıyıcı sistem kesitlerinin I120, I140, I160 ve I180 seçilmesi durumunda oluşan tepkiler Tablo 4.38’ de sunulmuştur.

Tablo 4.38 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, sönüm oranı  $\xi = 0,35$  ve yapı ağırlığı  $W = 40$  t olan elastik ve elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı sistemlerde oluşan tepkileri

Normalleştirilmiş Akma Dayanımı $\bar{F}_y = 0,75$ için	Çelik I Profiller			
	I120	I140	I160	I180
$W$ (kg)	40000	40000	40000	40000
$\zeta =$	0,35	0,35	0,35	0,35
$w_d$ (rad/sn)	2,82	3,72	4,76	5,92
$T$ (sn)	2,23	1,69	1,32	1,06
$y_{elastik}$ (cm)	9,68	6,48	4,30	2,92
$\dot{y}_{elastik}$ (cm / sn)	18,95	-15,30	-12,11	-9,14
$\ddot{y}_{elastik}$ (cm / sn <sup>2</sup> )	-78,95	-78,44	-67,26	-52,62
$F_{elastik}$ (Kg)	3573	4174	4524	4763
$y_{akma}$ (cm)	7,26	4,86	3,23	2,19
$y_{elasto-plastik}$ (cm)	10,12	6,81	4,68	3,26
$\dot{y}_{elasto-plastik}$ (cm / sn)	18,95	14,23	10,36	8,02
$\ddot{y}_{elasto-plastik}$ (cm / sn <sup>2</sup> )	-62,15	-59,55	-53,89	-45,23
$F_{elasto-plastik}$ (kg)	2678,94	3132,88	3392,30	3572,44
$E_{elastik}$ (kgcm)	17293,32	13523,76	9726,60	6953,98
$E_{elasto-plastik}$ (kgcm)	17383,70	13731,34	10400,60	7721,44
$\mu$	1,394	1,401	1,451	1,487

Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, sönüm oranı  $\xi = 0,35$  ve ağırlığı  $W = 50$  t olan elastik ve elasto-plastik malzeme davranış gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı sistemlerin taşıyıcı sistem kesitlerinin I120, I140, I160 ve I180 seçilmesi durumunda oluşan tepkiler Tablo 4.39' da sunulmuştur.

Tablo 4.39 Normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  için, sönüm oranı  $\xi = 0,35$  ve yapı ağırlığı  $W = 50$  t olan elastik ve elasto-plastik malzeme davranışı gösteren tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı çelik taşıyıcı sistemlerde oluşan en büyük tepkiler

Normalleştirilmiş Akma Dayanımı $\bar{F}_y = 0,75$ için	Çelik I Profiller			
	I120	I140	I160	I180
$W$ (kg)	50000	50000	50000	50000
$\zeta =$	0,35	0,35	0,35	0,35
$w_d$ (rad/sn)	2,52	3,33	4,26	5,30
$T$ (sn)	2,49	1,89	1,48	1,19
$y_{elastik}$ (cm)	11,30	7,64	5,25	3,60
$\dot{y}_{elastik}$ (cm / sn)	21,11	-16,35	-13,74	-10,97
$\ddot{y}_{elastik}$ (cm / sn <sup>2</sup> )	-77,66	-78,60	-74,29	-58,73
$F_{elastik}$ (Kg)	4170,00	4928,00	5519,00	5878,00
$y_{akma}$ (cm)	8,48	5,73	3,94	2,70
$y_{elasto-plastik}$ (cm)	11,73	8,03	5,55	3,89
$\dot{y}_{elasto-plastik}$ (cm / sn)	21,11	15,90	12,11	9,23
$\ddot{y}_{elasto-plastik}$ (cm / sn <sup>2</sup> )	-62,62	-60,57	-57,11	-50,29
$F_{elasto-plastik}$ (kg)	3127,28	3693,70	4141,76	4404,38
$E_{elastik}$ (kgcm)	23560,50	18824,96	14487,38	10580,40
$E_{elasto-plastik}$ (kgcm)	23434,36	19073,71	14851,19	11189,42
$\mu$	1,384	1,402	1,410	1,441

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇLAR

Yapı sistemleri deprem gibi ani impulsif kuvvetlerin etkisinde kaldığında doğrusal davranış göstermezler. Güçlü yer ivmeleri etkisi altında yapı sistemleri tasarlanırken doğrusal olmayan değişimlerin dikkate alınması önem taşımaktadır. Ancak yapının doğrusal olmayan davranışı için çözüm yöntemleri çok fazla işlem adımı gerektirdiğinden uygulamada kullanımı yaygın değildir.

Doğrusal davranış göstermeyen yapı sistemleri için tepkilerin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için uygun analiz yönteminin belirlenmesi gerekir. Modal analizde doğrusal bölgede yerdeğiştirme vektörü modal koordinat vektörüne çevrilerek sistemin hareket denklemleri ayrık hale getirilir ve sistem analiz edilir. Sistem elasto - plastik davranış gösterdiğinde, malzemede akma oluştuğunda, ayrık hareket denklemleri birbirine bağımlı hale gelmektedir. Bu durumda çözüm yapılamamaktadır. Özellikle kuvvetli yer ivmesi etkisinde olan bir yapı sisteminin dinamik analizinde adım adım çözüm yöntemleri ile zaman tanım alanında hesaplamak uygun olur.

Güçlü yer ivmeleri etkisi altında, çerçevelerden oluşan bir yapı sisteminin elastik sınırlar içerisinde olduğu kabul edilerek boyutlamanın yapılması durumunda seçilecek olan kesitler ekonomik olmaktan uzaktır. Güçlü yer ivmelerinin etkisindeki yapı sisteminde, taşıyıcı elemanların akma konumuna ulaşmaları durumunda, akmanın meydana geldiği kesitlerde plastik mafsalları oluşumlarının meydana geleceği kabul edilmektedir. Güçlü yer ivmeleri etkisi altında bulunan yapının, can güvenliğini temel alarak göçmeden ayakta kalması sağlanmalıdır. Yapıda depremden oluşacak hasarların en az seviyede olması, yapı taşıyıcı sisteminde oluşan plastik mafsallarda enerjinin sönmelenmesine bağlıdır. Taşıyıcı sistemde sönmelenen enerji, yük-yer değiştirme eğrileri altında kalan alanla orantılı olarak değişir. Büyük yerdeğiştirmeler yapabilen kesitlerde yük – yerdeğiştirme eğrisi altında kalan alan büyük olacağı için daha çok enerji sönmelenecektir.

Çalışmada, malzeme bakımından doğrusal olmayan davranış, zaman tanım alanında incelenmiştir. Tek katlı iki açıklı çelik taşıyıcı sistemde her analiz için 4 farklı taşıyıcı sistem kesiti kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak doğrusal elastik analiz gerçekleştirilmiş ve elasto – plastik davranış için normalleştirilmiş akma dayanımı  $\bar{F}_y = 0,75$  olarak seçilerek akma dayanımları belirlenmiştir. Belirli yer ivmesi etkisi altında sistemin elastik ve elasto – plastik haldeki tepkileri hesaplanmıştır.

Çalışmada gerçekleştirilen sayısal uygulamalar neticesinde, tek katlı iki açıklı çelik taşıyıcı sisteminin rijitliği arttıkça yapının açısız frekansının arttığı buna bağlı olarak, yapının periyodu, sistemin elastik ve elasto – plastik davranış göstermesi halindeki yerdeğiştirmesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Yapının yatay rijitliği arttıkça, yapı elemanları üzerinde oluşan elastik ve elasto-plastik haldeki tepki kuvvetleri ve süneklik taleplerinin arttığı belirlenmiştir. Tek serbestlik dereceli tek katlı çok açıklıklı sistemin üzerindeki düşey yük artırıldığında sistemin açısız frekansı azalmış, periyodu artmış, elastik ve elasto-plastik tepki kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler artmıştır. Tek serbestlik dereceli sistemdeki elastik ve elasto-plastik olarak harcanan enerji artmıştır. Sayısal uygulamalarda görüldüğü üzere, çelik taşıyıcı sistemi oluşturan kolonların profil numaralarına bağlı olarak yatay rijitlik değeri arttıkça aynı sönüm oranına sahip sistemde elastik kuvvet değeri artmakta, akma yerdeğiştirme değeri azalmaktadır. Benzer biçimde, sistemin yatay rijitlik değeri arttıkça elasto-plastik yerdeğiştirme değerlerinde azalma gözlenmektedir. Yapı sistemi plastik deformasyonlar yaptığında elastik deformasyona göre daha çok enerji sönümlenmiştir. Ayrıca, sönümün yapı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aynı kütleyle sahip farklı sönüm oranlarına sahip tek serbest dereceli sistemde doğrusal ve doğrusal olmayan tepkiler elde edilmiştir. Bunun sonucu olarak, sönümün artmasıyla yapı sisteminin açısız frekansı azalmış ve periyodu artmıştır. Yapı sisteminin elastik ve elasto-plastik olarak vereceği tepki kuvvetleri azalmıştır. Yapıda sönüm arttıkça yapının tepki ivmesi, hızı ve yerdeğiştirme değerleri azalmıştır. Deprem kuvvetlerinden kaynaklanan etkilerin azaldığı görülmüştür. Bu durum sönümün önemli bir değişken olduğunu göstermiştir. Yer ivmeleri etkisi altında elasto-plastik davranış gösteren sistemlerde malzemedeki akma nedeniyle kalıcı yerdeğiştirmeler



oluşmuştur. Oluşan şekil değiştirmelerin estetik ve can güvenliğini tehlikeye atmaması önemlidir.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelikte performans analizine yönelik hükümler bulunmaktadır. Bu çalışmada performans analiz gerçekleştirilmemekle birlikte çalışmada bu tür çalışmalarda kullanılacak yöntem altlık oluşturulmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Akbaş B., Temiz H., Tuğsal Ü. M. ve Gökçe F. İ. (2005). *Alçak, Orta ve Yüksek Katlı Çelik Çerçeveselerde Histerik Enerji Talepleri*. Deprem Sempozyumu. Kocaeli.
- Akbaş B. ve Çetiner A.N. (2005). *Tek Serbest Dereceli Sistemlerde Enerji Parametreleri*. Deprem Sempozyumu. Kocaeli.
- Akbaş B., Tuğsal Ü. M. ve F. İ. Kara (2007). *Çelik Çerçeveselerde Sabit Düktilite İçin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı ve Öteleme Analizlerinin Karşılaştırılması*. *İMO Teknik Dergi*, 4177 -4196, Yazı 276.
- Baradan B. (2003). *İnşaat Mühendisleri için Malzeme Bilgisi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Celep Z., (2007). *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*. İstanbul: Beta Dağıtım.
- Çakıroğlu A. ve Çetmeli E. (1979). *Yapı statikliği (Altıncı Baskı) (Cilt 2)*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Clough R.W. ve Penzien, J. (1993). *Dynamics of Structures (Second Edition)*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Chen ve Sohal (1995). *Plastic Design And Second Order Analysis Of Steel Frame*. Newyork Inc: Springer Verlag.USA.
- Chopra A.K. (1995). *Dynamics of Structures-Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.

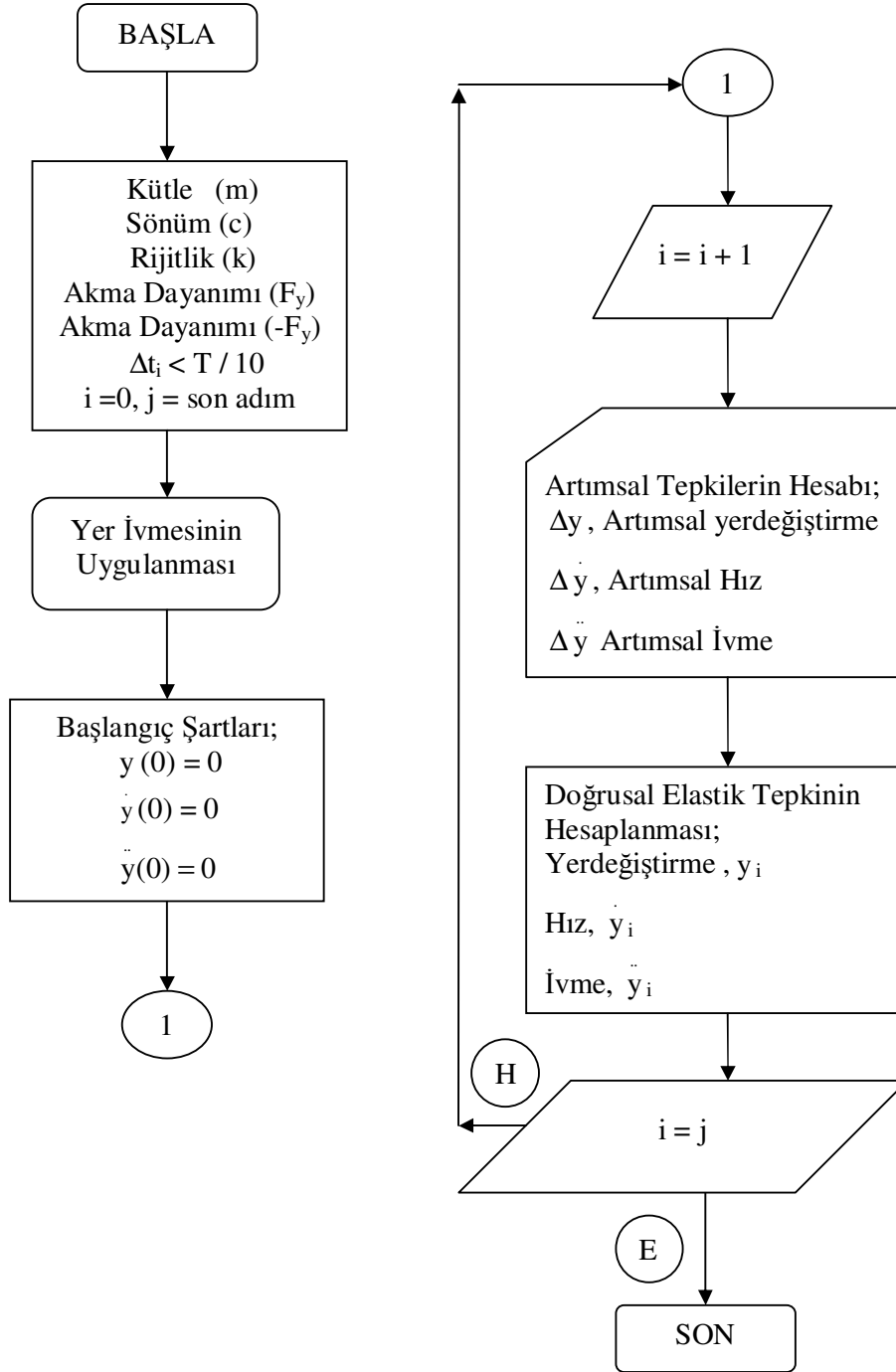
- Chaisomphob T. ve Hansapinyo C., (1999). Nonlinear Analysis Of Three – Dimensional Framed Structures Using Smeared Crack Models. *Thammasa Int. T. J. Sc.Tech.,Vol.4, No.1.*
- Çatal, H.H. (2005). *Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler.* İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 294.
- Çatal, H.H. (2007). *Yapı Dinamiği Ders Notları.* İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Foley C.M. (2001). *Advanced Analysis of Steel Frames Using Parallel Processing and Vectorization.* USA.
- Horne M. R.ve Majid K.J. (1981). *Çelik Yapıların Elastik Plastik Yöntemle Projelendirilmesi.* Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat ve Mimarlık Fakültesi: No.32 Genel Yayın No.126.
- Hyun-Su, Jinkoo, ve Da-Woon, (2009). Development of İntegrated System For Progressive Collapse Analysis of Building Structures Considering Dynamic Effects. *Advances in Engineering Software.*
- Kim Y. ve Seung-Eung K (2002). Advanced Analysis Accounting For Composite Beam Effect. *Steel Structures 2, 100 – 1009.* Korea.
- Kim S., Lee J. ve Park J. (2002). 3-D Second-Order Plastic-Hinge Analysis Accounting For Lateral Torsional Buckling.*International Journal of Solids and Structures 39 2109–2128.*
- Kim S., Lee J. ve Park J. (2003). 3-D Second-Order Plastic-Hinge Analysis Accounting For Local Buckling. *Engineering Structures 25.* South Korea.

- Kasımzade A. (2004). *Yapı Dinamiği Temelleri ve Deprem Mühendisliğinde Uygulamaları (2. Baskı)*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Kui Z., Quizhen Z. ve Qigen S. (2005). Second-Order Analysis For Space Framed Structures With A Gradually Elasto-Plastic Numerical Model. *Advanced in Steel Structures, Vol.1*.
- King W. S., Duan L. ve Chen W. F. (2006). Plastic Analysis of Steel Frames with Unsymmetrical Sections. *Steel Structures 93-105*. USA.
- Nishino F., Vijakkhana C. ve Lee S.L. (1974). Stability Considerations in Design Of Unbraced Tall Buildings. *IABSE ASCE AIA IFHP UIA Regional Conference On Tall Buildings: Bangkok* .
- Odabaşı Y., (2004). *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları* . İstanbul: Beta Basım Yayın.
- Omurtag M.H. (2005). *Mukavemet (Cilt 2)*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Özer, (2005). *Yapı Statiği Ders Notları*: İstanbul.
- Özakgöl K. ve Uzgider E. (2006). Üç Boyutlu Çelik Çerçevelerin Üç Bileşenli Deprem Yükleri Etkisinde Göçme Mekanizmaları ve Sünekliğinin Belirlenmesi. İTÜ İnşaat Fakültesi: *itüdergisi/d Cilt:5, Sayı:4, 131-143*. İstanbul.
- Paz M. (1997). *Structural Dynamics Theory and Computation (Fourth Edition)*. Lousville, KY: USA.
- Serçe A. V. (1998). *İleri Excel Uygulamaları (2. Baskı)*. Beyoğlu: İstanbul.
- Tezcan S. (1970). *Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makinaları ile Çözümü*. Arı Kitabevi Matbaası: İstanbul.

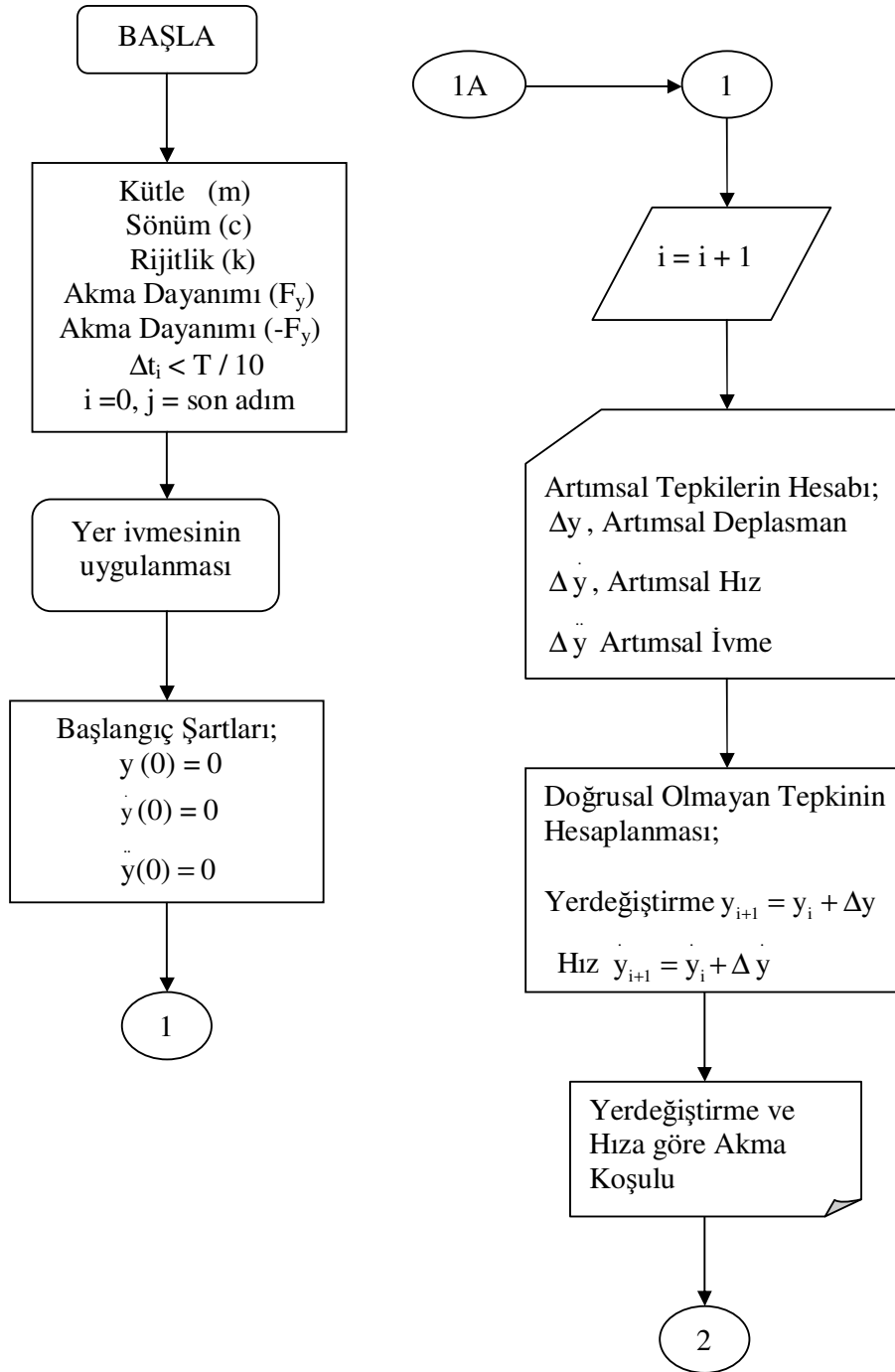
- Wilson E. I. (2001). *Yapıların Üç Boyutlu Statik ve Dinamik Analizi* (Üçüncü Baskı). Kaliforniya Üniversitesi: Berkeley: USA.
- Xu L. ve Liu Y., (2005). Nonlinear Analysis of İnelastic Steel Frames Canadian Cold Framed Steel Research Group Department of Civil Engineering: University Of Waterloo. *Advanced in Steel Structures Vol.1.*
- Uzsoy Ş., (2001). *Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliği*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:288. İzmir.
- Ülker ve Esen, (2008). Malzeme ve Geometrik Özellikler Bakımdan Lineer Olmayan Çok Katlı Çelik Uzay Çerçevelerin Optimizasyonu. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 2, 485-494, 2008.*

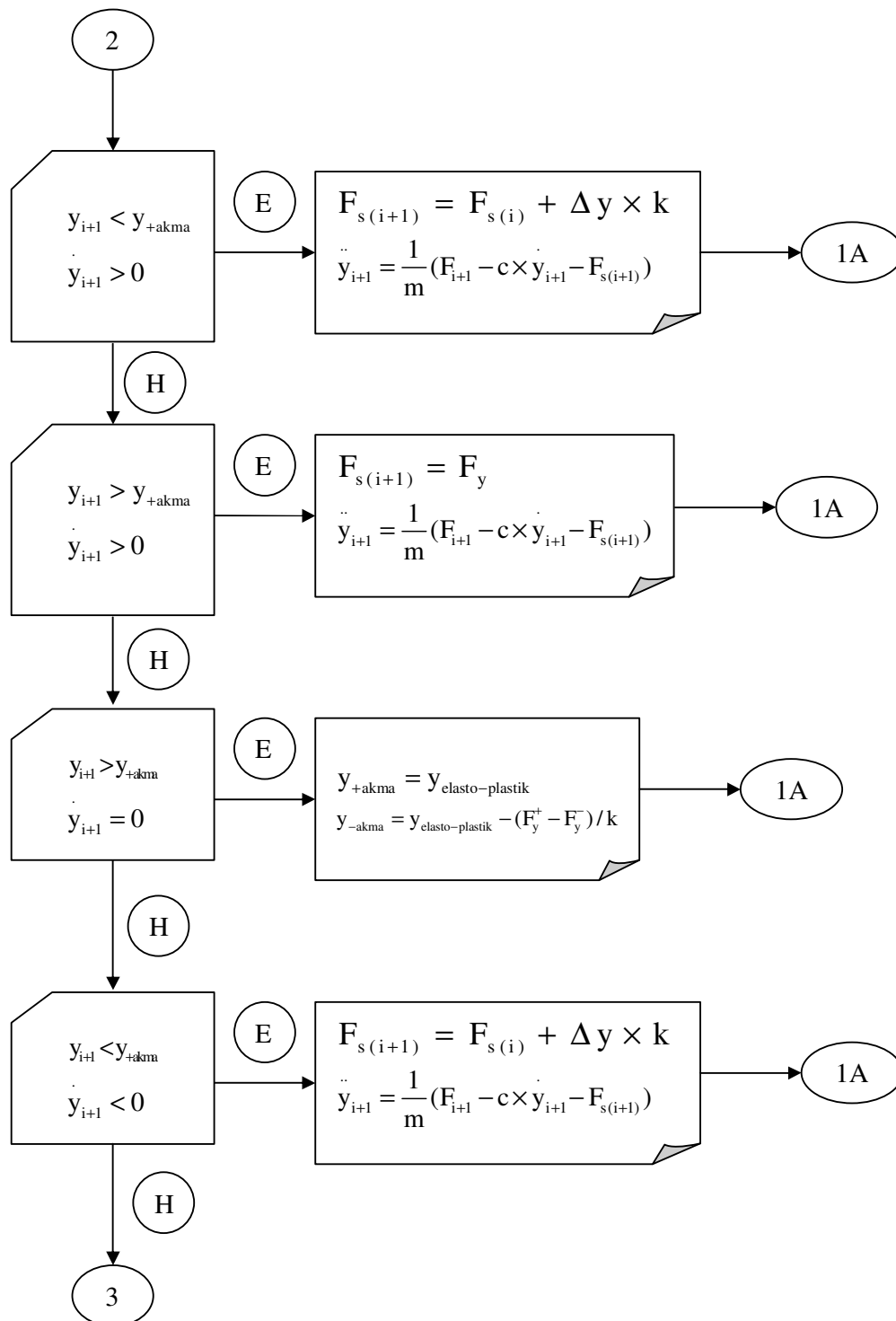
## EKLER

## EK 1 Doğrusal Elastik Hesap için Bilgisayar Algoritması

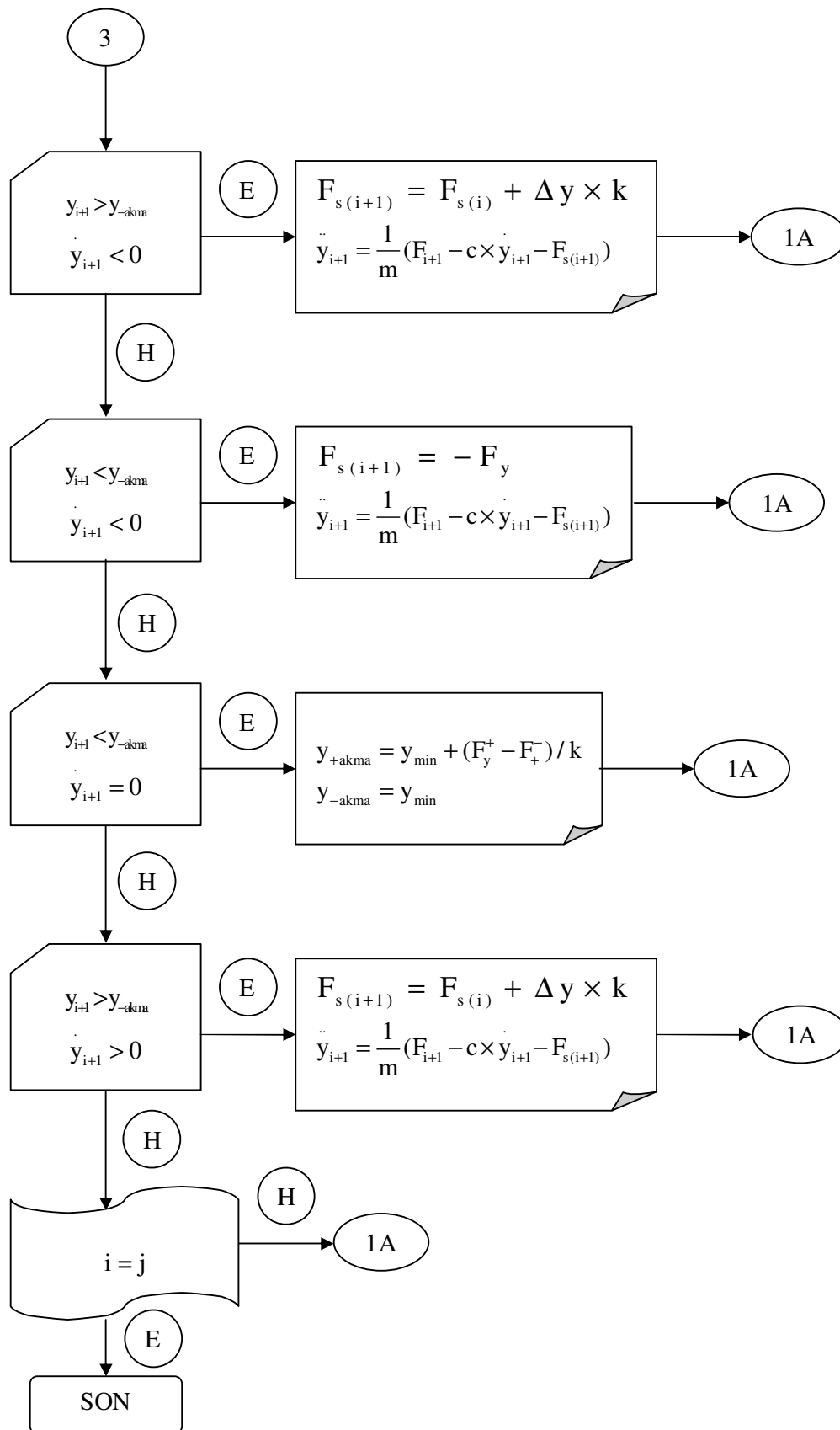


## EK 2 Doğrusal Olmayan Elasto-plastik Analiz için Hesap Algoritması









**EK 3 Sembol Listesi**

$W,$	Düşey yöndeki yapı ağırlığı
$\xi,$	Sönüm oranı
$T,$	Periyot
$w_d$	Sönümlü açısal frekans
$w$	Doğal açısal frekans
$I_X,$	Eylemsizlik momenti
$h,$	Yapı yüksekliği
$F(t),$	$t$ zamanındaki uygulanan dış kuvvet
$m,$	Kütle
$c,$	Viskoz sönüm katsayısı
$k,$	Rijitlik
$y,$	Yerdeğiştirme
$\dot{y},$	Hız
$\ddot{y},$	İvme
$y_i,$	$t_i$ anındaki yerdeğiştirme
$\dot{y}_i,$	$t_i$ anındaki hızı;
$\ddot{y}_i,$	$t_i$ anındaki ivme
$y_{i+1},$	$t_{i+1}$ zamanındaki yerdeğiştirme
$\dot{y}_{i+1},$	$t_{i+1}$ zamanındaki hız
$\ddot{y}_{i+1},$	$t_{i+1}$ zamanındaki ivme
$\Delta y_i,$	Yerdeğiştirmedeki değişim
$\Delta \dot{y}_i,$	Hızdaki değişim
$\Delta \ddot{y}_i,$	İvmedeki değişim
$\Delta F_i$	Dış kuvvetin değişimi

$F_{si}$ ,	$t_i$ inci zamanındaki yay kuvveti
$F_{s(i+1)}$ ,	$t_{i+1}$ inci zamandaki yay kuvveti
$\Delta y$ ,	Yerdeğiştirme farkı
$\Delta F_y$ ,	Yay kuvveti arasındaki değişim
$k_{sekant}$ ,	İki nokta arasındaki eğrinin eğimi
$k_{Teget}$ ,	Eğrinin teğetinden çizilen doğrunun eğimi
$\Delta F_s(y_i)$ ,	Yay kuvvetindeki değişim
$\Delta y_i$ ,	Yerdeğiştirmedeki değişim
$+F_y$ ,	Çekme kuvvetlerinin oluşması durumunda akma başlangıcını oluşturan dengeleyici kuvvet
$-F_y$ ,	Basınç kuvvetlerinin oluşması durumunda akma başlangıcını oluşturan dengeleyici kuvvet
$y_{+akma}$ ,	Kuvvetin çekme olması durumundaki akma yerdeğiştirmesi
$y_{-akma}$ ,	Kuvvetin basınç olması durumundaki akma yerdeğiştirmesi
$y_{elasto-plastik}$ ,	Elasto-plastik davranış gösteren sistemde oluşan en büyük yerdeğiştirme
$y_{min}$ ,	En düşük yerdeğiştirme
$y_{elastik}$ ,	Elastik sistemdeki en büyük yerdeğiştirme
$y_{elasto-plastik}$ ,	Elasto-plastik davranış gösteren sistemdeki en büyük yerdeğiştirme
$F_{elatik}$ ,	Elastik sistemde oluşan yay kuvveti
$y_{akma}$ ,	Elasto - plastik sistemin akma yerdeğiştirmesi
$F_y$ ,	Elasto – plastik sisteme ait yay kuvveti
$\mu$ ,	Süneklik oranı
$\bar{F}_y$ ,	Normalleştirilmiş akma dayanımı
$E_{Elastik}$ ,	Elastik davranış gösteren sistemde tüketilen enerji
$E_{Elasto-plastik}$ ,	Elasto-plastik davranış gösteren sistemde tüketilen enerji

$\bar{\Delta F}_i$ ,	Efektif dış kuvvetin değışimi
$i,j$ ,	İterasyon adımları
$\Delta t_{seçilen}$ ,	Dinamik analiz için seçilen zaman adımı
$R_y$ ,	Dayanım azaltma katsayısı