

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİSKOELASTİK MALZEMELİ DÖRTGEN
PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Fatih UNCU

Mayıs, 2013
İZMİR

VİSKOELASTİK MALZEMELİ DÖRTGEN PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

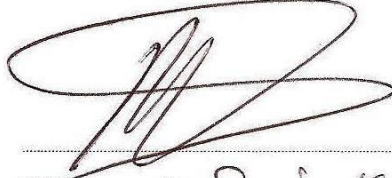
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı**

Fatih UNCU

**Mayıs, 2013
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FATİH UNCU, tarafından DOÇ. DR. MEHMET EMİN KURAL yönetiminde hazırlanan “VİSKOELASTİK MALZEMELİ DÖRTGEN PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

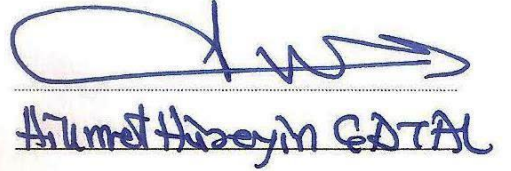


Doç. Dr. Mehmet Emin Kural

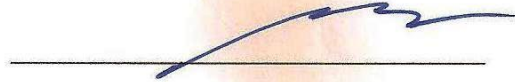
Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca tez danışmanlığımı yapan hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin KURAL'a, çalışmalarımda beni desteklediği için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında bana destek olan, kıymetli bilgilerini ve vaktini benimle paylaşan arkadaşım Araş. Gör. Barış TANRIVERDİ'ye, Matematik Öğretmeni Sayın Hakkı TANRIVERDİ'ye, Matematik Öğretmeni Sayın Ayşe TANRIVERDİ'ye, fikirlerini benimle paylaşan ve beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL'a, Sayın Prof. Dr. Ömer Zafer ALKU'ya, Sayın Prof. Dr. Serap KAHRAMAN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU'na ve Sayın Dr. Mutlu SEÇER'e, manevi desteklerini esirgemeyen İnşaat Mühendisleri arkadaşlarım Akın UMUT ve Erkut Adasu DİNÇER'e ayrıca Uşak İl Özel İdaresinde Plan Proje Yatırım ve İnşaat Müdürü görevinde bulunan Sayın Yusuf İNCEKAYA'ya ve diğer amirlerime teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden hiçbir şeyi esirgemeyen, benim için var gücüyle çalışan, her zaman bana destek olan babam Avukat Halil İbrahim UNCU'ya, annem Eczacı Nurten UNCU'ya, ağabeyim Biyokimya Uzmanı Dr. Ali UNCU'ya ve eşi Nöroloji Uzmanı Dr. Gülgün UNCU'ya sevgi ve saygıyla teşekkür ederim.

İnş. Müh. Fatih UNCU

VİSKOELASTİK MALZEMELİ DÖRTGEN PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

ÖZ

Yapı malzemeleri genel olarak elastik, plastik ve viskoelastik olmak üzere üç tip davranış gösterirler. Orantılılık sınırı altında kalan gerilme durumlarında ise, malzemelerin elastik davrandığı basit ve etkili bir yaklaşımdır. Ancak yapının kullanım ve servis durumlarına göre önemi arttıkça malzemenin plastik ve viskoelastik davranışının da hesaplara yansıtılması önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, malzemeye en yakın davranış modelinin belirlenmesi, yapı elemanı veya yapının davranışını doğru yansıtmak amacıyla gerekli olabilir. Beton, ahşap ve yüksek sıcaklıktaki çelik gibi yapı malzemeleri viskoelastik davranış göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında viskoelastik malzemeli ince bir kare plağın zamana bağlı sünme davranışı başlıca bölümler altında karşılaştırılmalı olarak sonlu elemanlar yöntemi ile klasik yöntem kullanılarak aşağıda verildiği sıra ile incelenmiştir.

Birinci bölümde malzemenin sabit yük altında gösterdiği davranış biçimlerine genel anlamda değinilmiş, viskoelastisite kavramının kısaca tanımlaması yapılmış, malzemenin gerçek davranışının göz önüne alınmasının önemi vurgulanmıştır.

Viskoelastisite hakkında temel bilgilerin verildiği ikinci bölümde, viskoelastik davranışın aşamaları açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde reolojik modeller ile ilgili bazı açıklayıcı bilgilere değinilmiş; çalışma kapsamında kullanılan reolojik model belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde incelenen sonlu elemanlar yönteminin genel formülasyonu elde edilmiş, dört düğüm noktalı bir sonlu eleman kullanılarak ince kare plak probleminin çözüm aşamaları sunulmuştur.

Dördüncü bölümde viskoelastik malzemeli ince kare plak problemi için geliştirilen yöntem, Kelvin zincir modeli esas alınarak oluşturulan yumuşama fonksiyonları ile ulaşılmıştır.

Beşinci bölümde, geliştirilen yöntem kullanılarak çeşitli sınır ve yükleme şartları altındaki kare plak örnekleri çalışma kapsamında MATLAB programlama diliyle yazılan programlar vasıtasıyla çözülmüş, elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Yazılan bu programlar eklerde sunulmuştur.

Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilip, yorumlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Viskoelastisite, sonlu elemanlar yöntemi, ince kare plak, reolojik modeller, yumuşama fonksiyonları.

INVESTIGATION OF VISCOELASTIC QUADRILATERAL PLATE STRUCTURES USING FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT

Structural materials generally exhibits three types of behaviour which is called elastic, plastic and viscoelastic. The stress under the limit of proportionality of materials behaves elastic thus this approach is simple and effective. However, taking into consideration of the behaviour of plastic and viscoelastic materials get importance with increase of structural uses and service status. In this context, determining beavioral model which is nearest to the material's actual behaviour is necessary to determine structural element or the whole structure's behaviour. Structural materials such as concrete, wood, and steel in high temperatures exhibit viscoelastic behavior is a fact known.

In this study, creep behaviour of a viscoelastic thin square plate examined by using finite element and classical methods and their comparision is outlined below.

In chapter one, material behaviour under stationary load effects is adverted shortly, the definition of viscoelasticity is outlined briefly and the importance of consideration of actual behaviour of the material is emphasized.

The phases of viscoelastic behavior is explained at basic information about viscoelasticity given in second chapter. Furthermore, some illustrative information is pointed out about rheological models used in this study determined in this section.

In section three, the general formulation of finite element method is obtained and the phases of solution is presented for thin square plate problem with a four noded finite element.

In fourth section, the method, which is improved for viscoelastic thin square plate problem is obtained by using relaxation functions on the basis of Kelvin chain model.

The square plate examples, which are improved under the different boundary and load conditions are solved by the programs made using MATLAB commercial language. These programs are presented in appendix.

In the last section, the results obtained are discussed and interpreted.

Keywords: Viscoelasticity, finite elements method, thin square plate, rheological models, relaxation functions.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiv

BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
--------------------------------	----------

BÖLÜM İKİ – VİSKOELASTİSİTE	3
--	----------

2.1 Tarihçe.....	3
2.2 Viskoelastik Davranış	3
2.3 Sünme (Creep)	4
2.4 Geri Dönüş (Recovery)	5
2.5 Yumuşama (Relaxation)	6
2.6 Reolojik Modeller	7
2.6.1 Lineer Elastik Yay	7
2.6.2 Lineer Viskoz Sönüm Kutusu.....	8
2.6.3 Maxwell Modeli	9
2.6.4 Kelvin Modeli	11
2.6.5 Kelvin Zincir Modeli	13

BÖLÜM ÜÇ – SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	14
---	-----------

3.1 Giriş.....	14
3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemindeki Kabuller	15
3.3 Sonlu Eleman Türleri	16
3.4 Genel Formülasyon	16
3.5 Dörtgen Elemanlı Bir Plak İçin Sonlu Eleman Yöntemi	21

3.5.1 Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi	27
BÖLÜM DÖRT – TEORİ	30
4.1 Giriş	30
4.2 Nonlineer Viskoelastik Malzemeden Oluşan Plaklarda Gerilme Deformasyon ve Zaman İlişkilerinin Yumuşama Fonksiyonları Kullanılarak İncelenmesi.....	30
4.3 Nonlineer Viskoelastik Malzemeden Oluşan Plaklarda Yumuşama Fonksiyonları Kullanılarak Moment – Eğrilik – Zaman İlişkileri İncelemesi ...	35
4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemini Kullanarak Moment – Eğrilik – Zaman İlişkileri Arasındaki Bağıntılarının Elde Edilmesi.....	44
BÖLÜM BEŞ- UYGULAMALAR	51
5.1 Kenarlarından Sabit Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak	51
5.2 Kenarlarından Sabit Mesnetli Tekil Yüklü Kare Plak.....	59
5.3 Kenarlarından Ankastre Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak	68
5.4 Karşılıklı İki Kenarından Sabit Mesnetli Diğer Kenarları Boşta Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak	77
5.5 Karşılıklı İki Kenarından Sabit, Diğer Kenarları Ankastre Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak	84
5.6 Karşılıklı İki Kenarından Sabit, Bir Kenarı Ankastre Mesnetli, Diğer Kenarı Boşta Olan Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak	93
BÖLÜM ALTI – SONUÇ VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR	108
EKLER	110

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yük etkisindeki cisimlerin şekil değiştirme – zaman grafikleri.....	4
Şekil 2.2 Şekil 2.2 Deformasyon – zaman ilişkisinde sünme davranışı aşamaları	5
Şekil 2.3 Sabit deformasyon altında yumuşama davranışı.....	6
Şekil 2.4 Lineer elastik yay	7
Şekil 2.5 Lineer sönüm kutusu	8
Şekil 2.6 Lineer viskoz sönüm kutusu davranışı	8
Şekil 2.7 Maxwell modeli	9
Şekil 2.8 Maxwell modeli davranışı.....	10
Şekil 2.9 Kelvin modeli.....	11
Şekil 2.10 Kelvin modeli davranışı	12
Şekil 2.11 Kelvin zincir modeli.....	13
Şekil 3.1 Dörtgen eleman	22
Şekil 5.1 Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak	51
Şekil 5.2 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi	52
Şekil 5.3 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi	52
Şekil 5.4 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	53
Şekil 5.5 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi	53
Şekil 5.6 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	54
Şekil 5.7 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi	54
Şekil 5.8 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi	55
Şekil 5.9 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	55
Şekil 5.10 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	56
Şekil 5.11 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi	56
Şekil 5.12 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi	57

Şekil 5.13 Kenarlarından sabit mesnetli tekil yüklü kare plak	60
Şekil 5.14 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlineer eğrilik – zaman ilişkisi	61
Şekil 5.15 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlineer eğrilik – zaman ilişkisi	61
Şekil 5.16 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	62
Şekil 5.17 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi	62
Şekil 5.18 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	63
Şekil 5.19 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi	63
Şekil 5.20 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi	64
Şekil 5.21 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	64
Şekil 5.22 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	65
Şekil 5.23 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer gerilme – zaman ilişkisi	65
Şekil 5.24 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlineer gerilme – zaman ilişkisi	66
Şekil 5.25 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak	69
Şekil 5.26 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlineer eğrilik – zaman ilişkisi	70
Şekil 5.27 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlineer eğrilik – zaman ilişkisi	70
Şekil 5.28 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	71
Şekil 5.29 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi	71
Şekil 5.30 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	72
Şekil 5.31 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi	72
Şekil 5.32 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi	73

Şekil 5.33 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	73
Şekil 5.34 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	74
Şekil 5.35 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi .	74
Şekil 5.36 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi .	75
Şekil 5.37 Karşılıklı iki kenarından sabit mesnetli diğer kenarları boşta üniform yayılı yüklü kare plak	78
Şekil 5.38 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi	79
Şekil 5.39 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	79
Şekil 5.40 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi	80
Şekil 5.41 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi.....	80
Şekil 5.42 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	81
Şekil 5.43 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	81
Şekil 5.44 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi .	82
Şekil 5.45 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi .	82
Şekil 5.46 Karşılıklı iki kenarından sabit, diğer kenarı ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak	85
Şekil 5.47 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi	86
Şekil 5.48 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi	86
Şekil 5.49 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	87
Şekil 5.50 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi	87
Şekil 5.51 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi	88
Şekil 5.52 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi	88
Şekil 5.53 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi.....	89

Şekil 5.54 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	89
Şekil 5.55 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	90
Şekil 5.56 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi .	90
Şekil 5.57 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi .	91
Şekil 5.58 Karşılıklı iki kenarından sabit, bir kenarı ankastre mesnetli, diğer kenarı boşta olan üniform yayılı yüklü kare plak.....	94
Şekil 5.59 Plak A noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi	95
Şekil 5.60 Plak A noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi..	95
Şekil 5.61 Plak A noktası y-y doğrultusu nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi	96
Şekil 5.62 Plak A noktası deplasman – zaman ilişkisi	96
Şekil 5.63 Plak A noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	97
Şekil 5.64 Plak A noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi	97
Şekil 5.65 Plak A noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi	98
Şekil 5.66 Plak A noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi	98

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 6.1 Klasik yöntem ile sonlu elemanlar yöntemi karşılaştırması	102
Tablo 6.2 Lineer viskoelastik malzemeli plak eğrilik değerleri	103
Tablo 6.3 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak eğrilik değerleri	104
Tablo 6.4 Lineer viskoelastik malzemeli plak deformasyon değerleri	104
Tablo 6.5 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deformasyon değerleri	105
Tablo 6.6 Lineer viskoelastik malzemeli plak gerilme değerleri	105
Tablo 6.7 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak gerilme değerleri	106
Tablo 6.8 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasman değerleri	106
Tablo 6.9 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasman değerleri	107

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Mühendisler olarak hesaplarını yaptığımız yapılarda, hesap kolaylığı açısından yapı malzemelerinin elastik davranış gösterdiğini kabul ederiz. Aslında yapının taşıyıcı sisteminde kullanılan malzemeler, yükleme koşullarından dolayı viskoelastik davranış gösterirler. Yapıda viskoelastisite kavramı, yapıların önem durumlarına göre göz önünde tutulmalıdır. Nükleer santral, baraj gibi statik hesaplamaların hassas değerlendirilmesi gereken yapılarda, viskoelastik davranış dikkate alınmalıdır. Yüksek yapıların artmasıyla birlikte yapı elemanlarındaki kesit tesirlerinde; özellikle bileşik eğilme etkisindeki elemanlarda uzama – kısalma oranlarındaki artış, elemandaki ikinci merteye etkilerini dikkate almayı gerektirmektedir. Lineer teori esas alınarak yapılan kabuller deformasyon miktarlarındaki değişimi yansıtmamaktadır. Bilgisayar teknolojisinin de gelişmesiyle, yapılardaki viskoelastik davranış dikkate alınabilir hale gelmiştir. Bu gibi yapı ve yapı elemanlarının çözümü, davranışı yansıtan modellerle bilgisayar teknolojisinin de yardımıyla yapılmalıdır.

İnce plak elemanları eğilme etkisindeki elemanlar olarak dikkate alınmaktadır. Yalnızca eğilme etkisi altındaki bu gibi elemanlardaki etken kesit tesiri olan moment sabit kalmakta, ancak sünme deformasyonu zamana bağlı olarak artış göstermektedir. Deformasyonlarda meydana gelen artışın gerilmeye yansımalarıyla beraber, lineer teorideki eşitlikler geçerliliğini yitirmektedir. Bu yüzden ki, viskoelastik malzeme olan beton ve kompozit türevlerinde, lineer teoriden vazgeçilmiş, yerine taşıma gücü kavramı ile hesap yapılması durumu ortaya çıkmıştır.

Viskoelastik teoriye giriş yapmadan önce temel malzeme davranışlarının incelenmesinde yarar vardır. Her hangi bir yük tesirine maruz kalmış cisim üç tip davranış gösterebilir. Bunlar:

- a) Elastik davranış.
- b) Plastik davranış.
- c) Viskoelastik davranış.

Cisme uygulanan kuvvet kaldırıldığında cisim kalıcı şekil değişikliğine uğramadan ilk şekline geri dönüyorsa bu tip davranışa elastik davranış adı verilir. Cisme uygulanan kuvvet kaldırıldığında cisim kalıcı bir şekil değişikliğine uğruyor ise bu davranış plastik davranış olarak adlandırılır. Viskoelastik davranışta ise durum biraz daha karışıktır. Burada yüke maruz kalan cisim önce ani bir uzama yapar; daha sonra bu ani uzamayı zamanla azalan devamlı bir uzama takip eder; yük kaldırıldığında ani bir geri dönüş olur. Bunu zamanla azalan geri dönüş tamamlar ve kalıcı bir şekil değişikliği meydana gelir.

Yüklemeye altındaki cisimlerin zamana bağlı davranışı, sünme (creep), geri dönüş (recovery) ve yumuşama (relaxation) olarak incelenir. (Findley v.d., 1989).

Bu çalışmada viskoelastik malzemeli ince plakların sonlu elemanlar metodu ile çözümü yapılmış ayrıca viskoelastik malzemeli plakların gerilme – şekil değiştirme – zaman ilişkileri incelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

VİSKOELASTİSİTE

2.1 Tarihçe

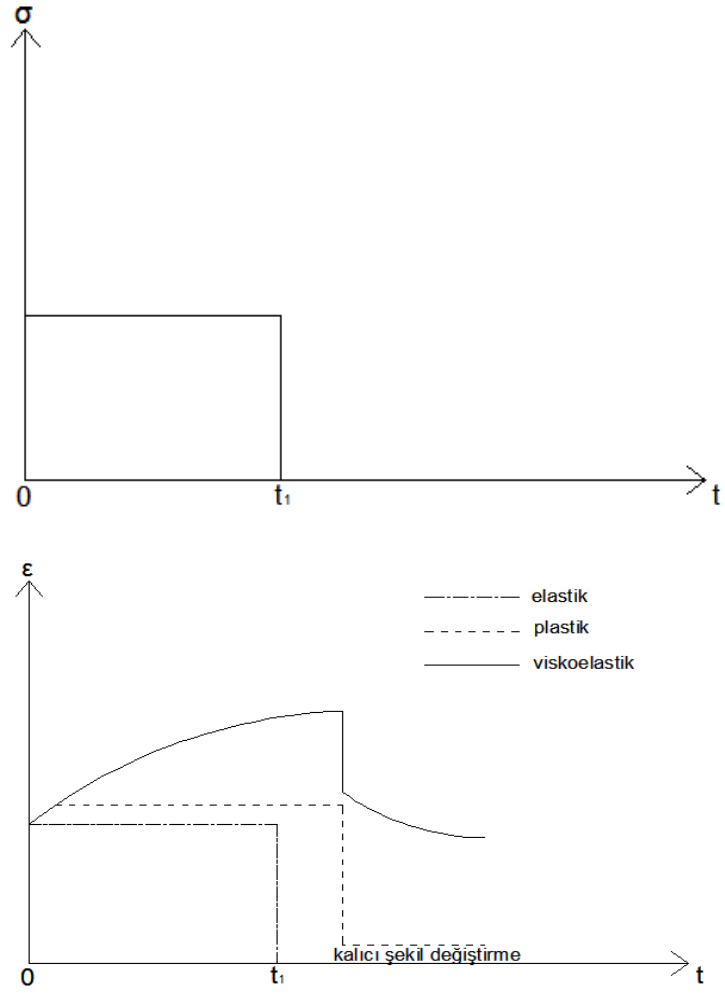
Viskoelastisite kavramı 1874'te Boltzman ve 1900 yılında Volterra tarafından yapılan çalışmalarla matematiksel olarak ifade edilmiş ve visloelastisite teorisi ortaya çıkmıştır. Leaderman 1943 yılında, Alfey ise 1944 yılında elastisite teorisinden yararlanarak, mikroelastisite teorisini ilerletmişlerdir. (Onaran, 1968). Sonraki yıllarda viskoelastisite ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmış, malzemelerin davranışları deneysel ve teorik olarak incelenmiş, malzeme için uygun formülasyonlar geliştirilerek farklı çözüm yolları elde edilmiştir.

2.2 Viskoelastik Davranış

Viskoelastik davranışta sabit bir yüke maruz kalan cisim önce ani bir uzama yapar. Daha sonra bu ani uzamayı zamanla azalan devamlı bir uzama takip eder. Yük kaldırıldığında ani bir geri dönüş olur. Bunu zamanla azalan geri dönüş tamamlar ve kalıcı bir şekil değişikliği meydana gelir (Şekil 2.1).

Yüksek sıcaklıkta metaller, beton, plastik ve ahşap bu tip davranış gösterir. Viskoelastik davranışta yükleme hızı şekil değiştirmelerini önemli ölçüde etkiler. Elastik ve plastik davranışta ise şekil değiştirme – yükleme hızı arasında herhangi bir bağlantı yoktur. Bu sebeplerden dolayı viskoelastik cisimlerin davranışları matematiksel olarak tanımlanırken, şekil değiştirmenin yanına zaman faktörünü de koymak gerekir. Matematiksel olarak tanımlanmaya çalışılan bu davranışa tam bir matematik ifade vermek mümkün değildir. Ampirik ifadeler kullanılır. (Onaran, 1984).

Cisimlerin zamana bağlı davranışı, sünme (creep), geri dönüş (recovery) ve yumuşama (relaxation) davranışları ile karakterize edilebilir. (Findley v.d., 1989).



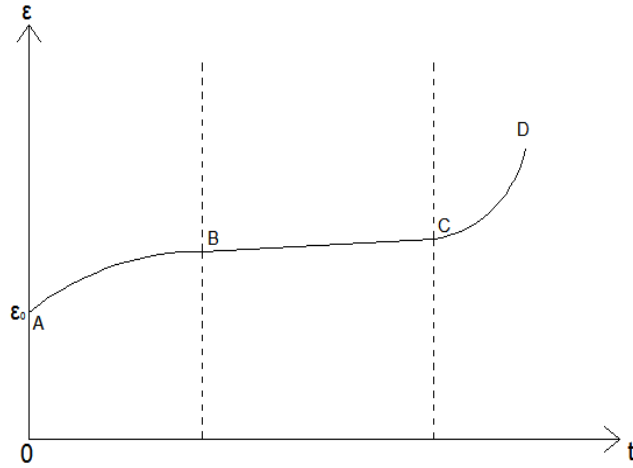
Şekil 2.1 Yük etkisindeki cisimlerin şekil değiştirme – zaman grafikleri

2.3 Sünme (Creep)

Cisim sabit bir gerilme ve sıcaklık altında iken yavaş ve sürekli olarak şekil değiştiriyorsa sünme davranışı sergiliyor demektir. (Heaps v.d., 1986). Şekil 2.1 de viskoelastik malzemenin davranışının 1. safhası sünme olayını temsil eder. Bu safhayı da kendi içinde üç bölüme ayırabiliriz (Şekil 2.2).

Şekil 2.2 de gösterilen sünme olayında AB kısmı 1. safha, BC kısmı 2. safha ve CD kısmı da 3.safha olarak adlandırılır. Yük uygulandıktan hemen sonra cisimde ϵ_0 ilk uzaması görülür. Daha sonra deformasyonlar zaman ile artış gösterir. Deformasyon hızı 1. safhada giderek artarken, 2. safhada ise sabit bir değer alır.

Genellikle yapılarda 2. safha çok uzun sürer. 3. safhada deformasyon hızı hızla artar ve daha fazla uzamalara dayanamayan malzeme kopar.



Şekil 2.2 Deformasyon – zaman ilişkisinde sünme davranışı aşamaları

Sünme yapılarda ve makinelerde deformasyona sebep olabilir. Bir yapıda elemanlar yüksek ısıya maruz kalıyor ise yapı güvenliği açısından hesaplamalarda mutlaka sünme faktörü de dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde yapıda geri dönüşü olmayan hasarlar meydana gelebilir. Sünme olayı kurşun gibi bazı malzemelerde düşük sıcaklıkta da ortaya çıkar.

Sünmenin etkili olduğu sistemlerde Hooke kanunu geçerli değildir. Bunun sebebi, bu sistemlerde gerilmenin zaman içerisinde değişime uğramasıdır.

Bir yapıda deformasyon değerleri oldukça fazla ise bu değerlerin dereceleri iyi hesaplanmalı ve bu hesaplanan değerlerin emniyet sınırları içerisinde kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir. (Patel v.d., 1962; Kaya, 1973).

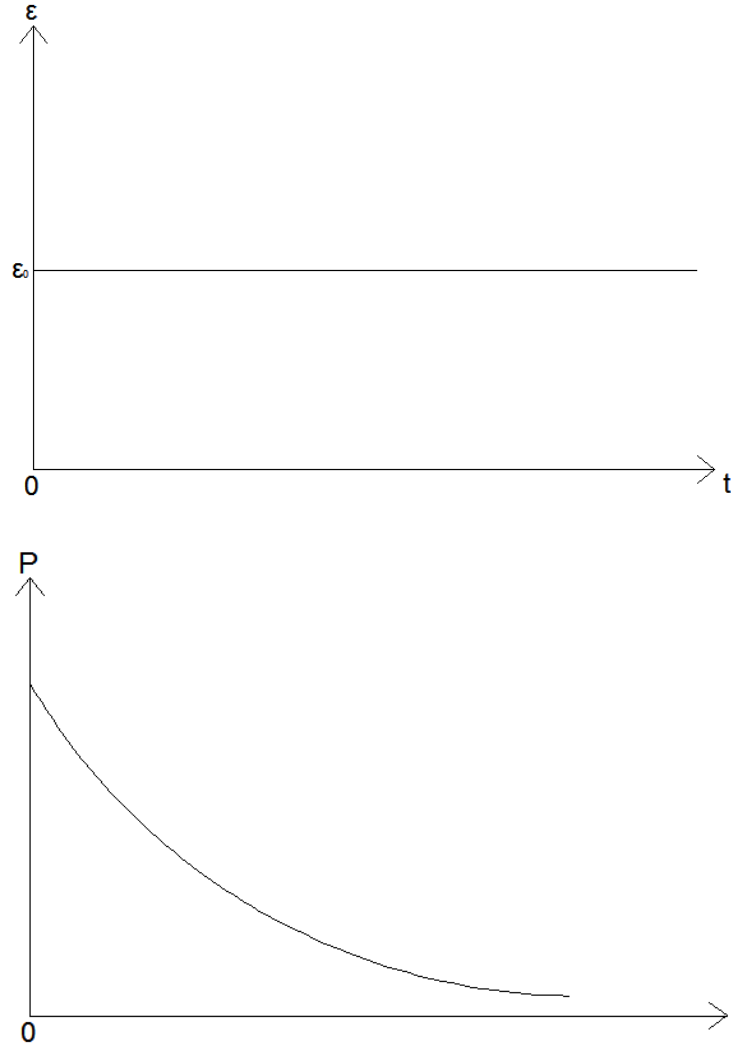
2.4 Geri Dönüş (Recovery)

Cisim yük etkisi altından kurtulduktan sonra, şekil değiştirme zamanla yavaşça azalır. Bu olaya geri dönüş denir. Viskoelastik malzemelerde Şekil 2.1 den de anlaşılacağı gibi kalıcı bir deformasyon görülür.

Kalıcı deformasyon, metaller için zamana bağılı sünme deformasyonunun oldukça büyük bir kısmını; plastikler için ise çok küçük bir kısmını içerir. Öyle ki, bazı plastiklerde yeterli zaman verilirse, tam geri dönüş görülebilir. (Kural, 1977; Kahraman, 1993).

2.5 Yumuşama (Relaxation)

Sabit deformasyon hali için yükün zamanla azalması olayına yumuşama denir (Şekil 2.3). Yumuşama olayı bulonlu birleşimler için söz konusudur.



Şekil 2.3 Sabit deformasyon altında yumuşama davranışı

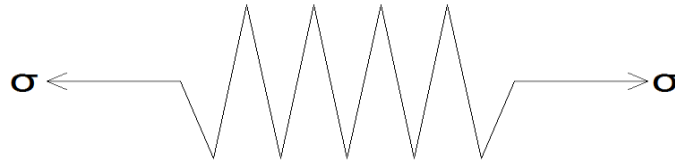
Cisimler, yük etkisi altında sünme, geri dönüş ve yumuşama olarak adlandırılan bu üç olaya maruz kalırlar.

2.6 Reolojik Modeller

Bu bölümde tek boyutlu lineer viskoelastik model incelenecektir.

Viskoelastik kelimesi adından da anlaşıldığı gibi viskoz ve elastik kelimelerinden türetilmiştir. Viskoelastik malzeme kısmen katı ve sıvı gibi davranış gösterir. Lineer viskoelastik malzemenin davranışı mekanik modeller ile benzerlik kurmak suretiyle açıklanmaya çalışılmıştır. (Achenbach, 1962). Bu davranışın modeli lineer elastik yay ve sönüm kutusunun birleşimi şeklinde oluşturabilir.

2.6.1 Lineer Elastik Yay



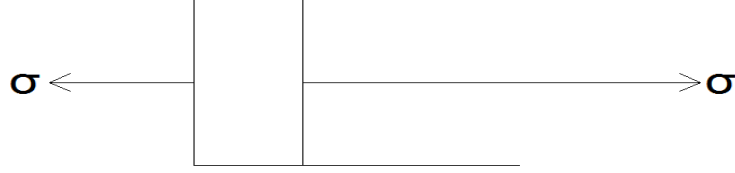
Şekil 2.4 Lineer elastik yay

Şekil 2.4de gösterilen lineer elastik yayın temel denklemi aşağıdaki gibidir. Bu denklemde E elastisite modülünü, σ gerilmeyi, ε ise birim şekil değişimini temsil eder.

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma \quad (2.1)$$

Sünme geri çekilme testine maruz kalan lineer elastik yay yükleme uygulandığı anda bir ani uzama davranışı gösterir. Sabit yük cisme etki ettiği sürece lineer uzamasına devam eder. Yük kaldırıldığında cisim eski şekline geri döner.

2.6.2 Lineer Visköz Sönüm Kutusu



Şekil 2.5 Lineer sönüm kutusu

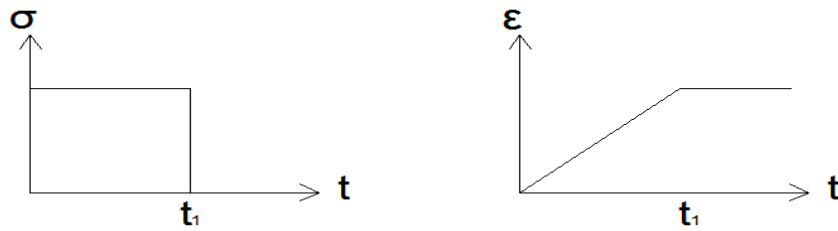
Şekil 2.5de gösterilen içinde piston silindir ve viskoz sıvı bulunan sönüm kutusunun denklemi denklem (2.2) ile ifade edilir. Bu denklemde ν viskozite katsayısını, $\dot{\epsilon}$ deformasyon hızını ifade eder.

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{\nu} \sigma \quad (2.2)$$

Bu denklemden anlaşılacağı gibi gerilmeyi ne kadar artırırsek o kadar hızlı şekil değişikliği meydana gelir. Bu birçok akışkanın tipik özelliğidir. Şekil değişikliği, (2.2) denkleminin integralinin alınmasıyla aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{\nu} t \quad (2.3)$$

(2.3) denkleminde σ_0 ifadesi, $t = 0$ anındaki sabit gerilme değeridir. Lineer viskoz sönüm kutusunun davranışı aşağıdaki şekildeki gibi gösterilebilir.

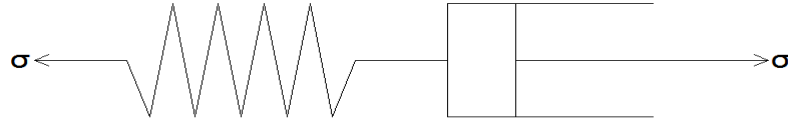


Şekil 2.6 Lineer viskoz sönüm kutusu davranışı

Şekil 2.6dan anlaşıldığı üzere, lineer viskoz sönüm kutusuna sabit bir gerilme uygulanmış bu gerilme t_1 anında ani olarak kaldırılmıştır. Bu yükleme koşuluna göre sönüm kutusu t_1 anına kadar doğrusal olarak artan bir şekil değiştirme davranışı sergilemiş olup t_1 anında gerilmenin kaldırılması ile cisimde kalıcı şekil değiştirme ortaya çıkar.

2.6.3 Maxwell Modeli

Elastik bir yay ve viskoz sönüm kutusunun seri biçimde bağlanmasıyla meydana gelen modeldir.



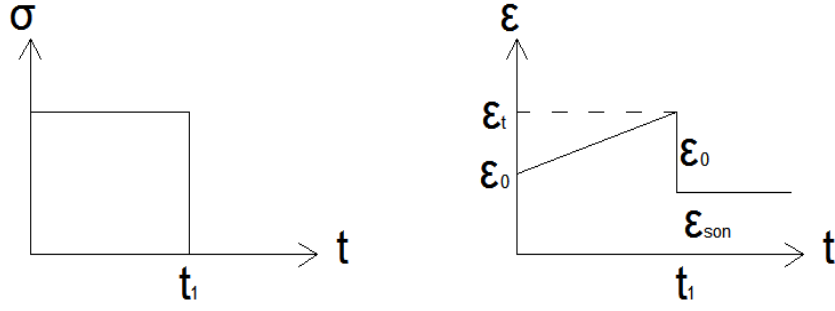
Şekil 2.7 Maxwell modeli

Sabit bir gerilme altında elastik yayın yaptığı şekil değiştirmesi ε_1 , sönüm kutusunun yaptığı şekil değiştirmesi ise ε_2 olarak adlandırılırsa toplam yer değiştirme $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$ olur. Aşağıdaki denklemler kullanılarak Maxwell modelinin denklemini elde etmek mümkündür.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} \sigma, \quad \dot{\varepsilon}_2 = \frac{1}{\nu} \sigma, \quad \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (2.4)$$

Bu denklem takımında birinci ve üçüncü denklemlerin türevi alınıp, yine aynı denklemlerde yerine yazılırsa Maxwell reolojik modelinin diferansiyel denklemine ulaşılır.

$$\sigma + \frac{\nu}{E} \dot{\sigma} = \nu \dot{\varepsilon} \quad (2.5)$$



Şekil 2.8 Maxwell modeli davranışı

Şekil 2.8 de gösterildiği gibi sabit gerilme etkisine altındaki bir Maxwell cisminde, cisim elastik yaydan dolayı ani bir $\varepsilon_0 = \frac{\sigma}{E}$ şekil değiştirmesi yapar sonra için içine sönüm kutusu girer ve ε_t toplam şekil değiştirme değerine kadar lineer bir şekil değişimi izlenir. Gerilme bir anda kaldırıldıktan sonra ise cisim yine elastik yay sayesinde ε_0 ani kısalması yapacak ve ε_{son} olarak adlandırılan nihai şekil değişimi değerine ulaşacaktır.

Sünme etkisi altındaki Maxwell cisminde, $t = 0$ başlangıç anı Maxwell denkleminde dikkate alındığı takdirde modelin zamana bağlı davranışını gösteren aşağıdaki denkleme ulaşılır.

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left(\frac{1}{v} t + \frac{1}{E} \right) \quad (2.6)$$

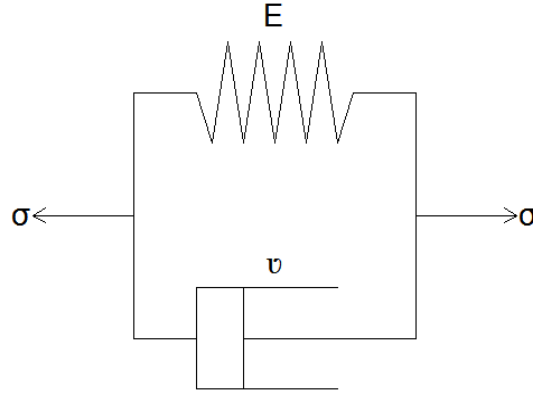
Rölaksasyon etkisi altındaki Maxwell cisminde, $t = 0$ başlangıç anında sabit ε_0 şekil değişimi gösterir. Rölaksasyon modülü durumu $E(t) = E e^{-t/\lambda}$ alınırsa zamana bağlı gerilme denklemi (2.7) de belirtildiği gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} \sigma(t) &= \varepsilon_0 E(t); & E(t) &= E e^{-\frac{t}{\lambda}} \\ \sigma(t) &= \varepsilon_0 E e^{-\frac{t}{\lambda}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

λ : Lineer sönüm kutusunun gecikme zamanı olup $\lambda = v/E$ olarak ifade edilir.

2.6.4 Kelvin Modeli

Elastik bir yay ile viskoz sönüm kutusunun paralel olarak bağlanması ile oluşur. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9 Kelvin modeli

Elastik yaya etki eden gerilmeye σ_1 , sönüm kutusuna etki edene de σ_2 denilecek olursa; σ_1 ve σ_2 gerilmelerinden dolayı elastik yayda ε_1 şekil değiştirmesi, sönüm kutusunda ise ε_2 şekil değiştirmesi meydana gelir. ε_1 ve ε_2 şekil değiştirmelerinin birbirine eşit olduğu kabul edilir. Bu kabuller çerçevesinde Kelvin modelinin denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon \quad (2.8)$$

$$\sigma_2 = v \cdot \dot{\varepsilon} \quad (2.9)$$

Toplam gerilme,

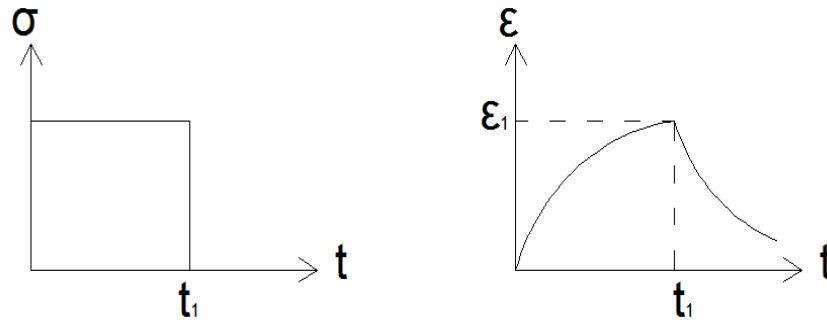
$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (2.10)$$

olarak ifade edilir. Bu denklem takımında σ_1 ve σ_2 gerilmelerini yok ederek gerilme ve şekil değiştirme arasında,

$$\dot{\varepsilon} + \frac{E}{\nu} \varepsilon = \frac{\sigma}{\nu} \quad (2.11)$$

bağıntısı elde edilir.

$t = 0$ anında sabit bir σ gerilmesi altında olan Kelvin cisminde t_1 anında gerilme ani olarak kaldırılırsa cismin gerilme – zaman ve şekil değiştirme – zaman grafiği aşağıdaki gibi elde edilir.



Şekil 2.10 Kelvin modeli davranışı

Şekil 2.10 da sabit σ gerilmesi altında elastik yay ile sönüm kutusu birlikte şekil değiştirmeye başlayacak. Bu yüzden gerilme tatbik ettirildiğinde, elastik yay bir anda uzamak isteğine karşın sönüm kutusu bu hareketi engelleyecek. Bunun sonucunda yükün ani olarak kaldırıldığı t_1 anına kadar cisim, zamanla azalan 2. Dereceden bir eğri biçiminde şekil değiştirme davranışı sergileyecektir. Yükün t_1 anında ani olarak kaldırılması ile cisim tam tersi bir davranış gösterecek, ancak viskoz sönüm kutusundan dolayı kalıcı şekil değişimine uğrayacaktır.

$t = 0$ anında sabit bir σ gerilmesi altında sünme davranışı için (2.11) denklemi.

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} (1 - e^{-Et/\nu}) \quad (2.12)$$

olarak elde edilir.

$t = t_1$ anında sabit bir σ gerilmesi kaldırılırsa geri dönüş davranışında (2.12) denklemi,

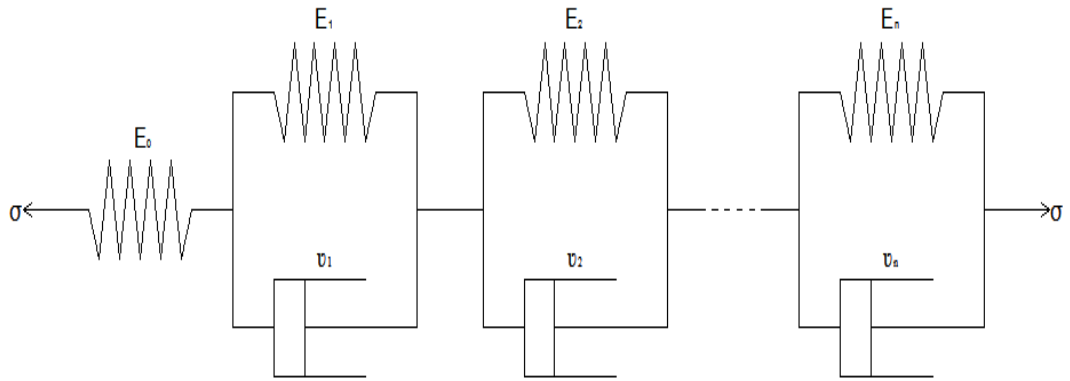
$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} e^{-Et/v} \{e^{Et_1/v} - 1\} \quad (2.13)$$

halini alır.

Denklem (2.13)'den de anlaşılabileceği gibi zaman değeri arttıkça deformasyon sıfır olma eğilimindedir. Bazı malzemeler kısmi geri dönüş gösterirken, bazılarında tam geri dönüş görülmektedir. (Findley v.d., 1989).

2.6.5 Kelvin Zincir Modeli

Kelvin zincir modeli şekilden de anlaşılabileceği gibi, 3 parametrelili model olarak adlandırılan bir adet elastik yay ve buna seri olarak bağlanan Kelvin cisminin, n adet Kelvin cisminin birbiri ile seri bağlanması sonucu oluşur.



Şekil 2.11 Kelvin zincir modeli

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara 3 parametrelili model kullanılarak varılmış olup; 3 parametrelili model ile ilgili denklemlere yöntem bölümünde değinilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

3.1 Giriş

Sonlu elemanlar yöntemi, teorik yollardan çözüme ulaşılması oldukça zor veya imkansız olan problemlerin çözümünün elde edilmesinde bir çığır açmıştır. Bu yöntemde karmaşık yapıda olan bir sistemi daha basit alt problemlere ayırarak, bu alt problemleri kendi içinde çözdükten sonra çözülmüş olan bu parçaları tekrar birleştirip, ilk sisteme dönüş yapmak sureti ile çözüme ulaşılır.

Mühendisler önceleri sonlu elemanlar yönteminin adını koyamamışlar, ancak karşılaştıkları problemleri kolaylaştırmak için mühendislik hisleri ile parçalara ayırarak çözmüşlerdir. Sonlu elemanlar yöntemini ilk olarak 1960 yılında Clough adlandırmıştır. Sonraki yıllarda yapı problemlerini çözen mühendisler, bu yöntemi geliştirmiş ve her bir elemanın kuvvet deplasman ilişkisinden yola çıkıp, sistemdeki bilinmeyen deplasman değerlerine ulaşmışlardır. (Zienkiewicz, 1977).

Yirminci yüzyılda yapısal analizler için kullanılmaya başlanan bu yöntem daha sonraları uçak gövdelerinin gerilme analizlerini yapmak için kullanılmıştır. Yöntemin bu şekilde kullanılmasının sebebini, soğuk savaşın yanı sıra uçak üreten firmaların sermayesinin çok büyük olması ve bu konu hakkında ar-ge çalışmaları için yeterli donanımına sahip olmaları olarak gösterilebilir.

Sistem birleşenlere ayrılıp ayrılamama durumuna göre ayrık ya da sürekli olarak adlandırılır. Sistem sonlu sayıda elemana ayrılabilirse ayrık sistem ayrılamıyorsa sürekli sistem adını alır. Sürekli sistemlerin çözümü çeşitli matematiksel tekniklerin geliştirilmesi ile mümkündür. (Kural, 1977).

Sonlu elemanlar yönteminde modelleme işlemi basitçe düğüm noktaları ve elemanlardan oluşan bir ağ yapısı hazırlamak değildir. Sistemi gerekli şekilde modelleyebilmek, gerekli sayı ve tipteki elemanlara karar vermek ancak sistemin iyi

şekilde anlaşılmasıyla mümkün olmaktadır. Sonuçların doğruluk derecesi sistemimizin hem geometrisini hem de deformasyon özelliklerini aynı şekilde yansıtacak bir sonlu eleman seçmeye dayanır. Seçilen bu sonlu elemanlar ne kadar sık olursa kesin sonuçlara o kadar yaklaşılmış olunur.(Petyt, 1990).

3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemindeki Kabuller

Bu yöntem sonlu sayıdaki elemanların sonlu sayıdaki düğüm noktalarının birbiri ile birleşimini inceler. Sistemin bölünmesi ile ortaya çıkan elemanların hepsi tek tek analiz edildikten sonra bu analiz sonucunda elde edilen veriler birleştirilerek tekrar sisteme geri dönüş yapılır. Böylece sistemin davranışı belirlenmiş olur.

Sonlu elemanlar yönteminde esas olan sistemi böldüğümüz elemanların kuvvet ve deplasman bağıntılarını bilmektir. Sistemde her bir eleman sayısı kadar denge denklemi bulunur. Denge denklemleri vasıtasıyla genel çözüme ulaşılır. Sonlu elemanlar yöntemindeki kabulleri şöyle sıralanabilir.

- Sistemin, matematiksel modelleme yapılarak, hat ve yüzeylerle elemanlara bölündüğü varsayılır. Bölünen eleman sayısı ne kadar artarsa gerçek çözüme o kadar yaklaşılr.
- Elemanların sınır noktalarındaki düğüm noktaları birbirlerine bağlı olduğu kabul edilir.
- Yapıdaki toplam yük süperpozisyon ilkesi uyarınca düğüm noktalarına dağıtılır ve sadece düğüm noktalarına etkiyen yüklerle çalışılıp sistemin çözümüne gidilir.
- Sonlu elemanın deplasman eğri veya yüzey fonksiyonunu eleman uçlarındaki bağımsız uç deplasmanları cinsinden ifade etmek gerekir.
- Eleman içindeki şekil değiştirme durumunu eleman uç deplasmanları cinsinden deplasman fonksiyonları belirler. Elemanın içindeki ve sınırlarındaki gerilme değerleri ise gerilme deformasyon ilişkileri ile belirlenir.

3.3 Sonlu Eleman Türleri

Sonlu elemanlar yönteminde hesaplama yapılırken çeşitli geometrik şekillerde elemanlar kullanılabilir. Farklı geometrik şekle sahip elemanlar ile yaklaşık sonuçlar elde etmek mümkündür fakat en kolay uygulanabilir modelleme üçgen elemanlardan oluşan modeldir. (Hrudey, 1973).

Üçgen elemanlardan sonra uygulanabilirlik açısından en uygunu dörtgen elemanlardır. Dörtgen elemanlar, üçgen elemanların birleşmesiyle iç serbestlik derecelerine sahip ya da sahip olmayan adı altında elde edilir. İç serbestlik derecelerine sahip elemanlar, üçgen elemanlara göre daha sağlıklı sonuçlar verir. (Clough v.d., 1968). Sistemimizi sonlu elemanlara ayırırken elemanlarımızın hangi türde olması gerektiğine şu koşullara bakarak dikkat edilmelidir.

- Sistemi parçalara ayıran elemanların şekli olabildiğince düzgün ve kenar uzunlukları birbirlerine yakın olmalıdır.
- Gerilmelerin fazla olduğu bölgeler daha küçük elemanlara bölünmelidir.
- Kesin sonucu bilinmeyen problemlerde değişik sayıda sonlu eleman ile çözümler yapılmalı çıkan sonuçların tutarlılığı karşılaştırılmalıdır.

3.4 Genel Formülasyon

Sonlu elemanlar yöntemini stifness işlemi ve fleksibilite yaklaşımı olmak üzere iki bölüme ayırabiliriz. Sistemin sınır şartlarına ve kesin çözüme istenilen yakınsaklığa göre elemanlara bölünmesine stifness işlemi denir. Bölünen elemanların içinde elde edilen gerilme modeli vasıtası ile içsel kuvvetlerin düğüm noktalarında bağlantı yüklerine dönüştürülmesi ise fleksibilite yaklaşımıdır.

Sonlu elemanlar yönteminde uygulanan işlem sırası şöyledir;

- 1- Sistemimiz uygun sayıda sonlu elemanlara bölünür.

- 2- Elemanların birbirlerine sadece düğüm noktalarından bağlı olduğu kabul edilir.
- 3- Her bir eleman için deplasman fonksiyonu çıkarılır.
- 4- Çıkarılan deplasman fonksiyonundan meydana gelen içsel etki sistemi elde edilir.
- 5- Elde edilen içsel etkilere (virtüel iş) karşılık gelen statikçe eşdeğer düğümsel kuvvetler sistemi belirlenir.
- 6- Eleman rijitlik matrisi ile düğümsel kuvvet ve deplasmanlar arasında bağlantı kurulur.
- 7- Eleman rijitlik matrislerini birleştirerek sistem rijitlik matrisi elde edilir.
- 8- Yayılı yük, süperpozisyon ilkesi uyarınca düğüm noktalarında eşdeğer noktasal yükler şeklinde paylaştırılır.
- 9- Elde edilen doğrusal denklemlerin çözümleri düğüm noktalarındaki deplasmanları verir.
- 10- Düğüm noktaları deplasman değerlerinden her bir elemanın birim deformasyon, iç kuvvet ve gerilme değerleri hesaplanır.

Sonlu elemanlar yöntemini uygularken eleman rijitlik matrisini farklı yollardan elde edilebilir. Bu çalışmada eleman rijitlik matrisini elde ederken deplasman fonksiyonlarından yararlanılmıştır.(Kural, 1977). Buna göre;

$$u = \langle p \rangle \{a\} \quad (3.1)$$

Bağıntısı olmak üzere bu bağıntıda,
 u : Elemanın deplasman fonksiyonunu,
 $\langle p \rangle$: x ve y değişkenlerine bağlı satır vektörünü,
 $\{a\}$: Katsayılar vektörünü,
gösterir.

Elemanın düğüm noktasındaki deplasmanı aşağıda belirtildiği gibi ifade edilir.

$$\{\Delta\} = [A]\{a\} \quad (3.2)$$

Bu ifadede,

$\{\Delta\}$: Elemanın düğüm noktasında meydana gelen deplasman vektörüdür.

$[A]$: Deplasman vektörü ile katsayılar vektörünü bağlayan kare matristir.

(3.2) ifadesinde katsayılar vektörü yalnız bırakılırsa,

$$\{a\} = [A]^{-1}\{\Delta\} \quad (3.3)$$

ifadesi elde edilir. Elde edilen ifade,(3.1) denkleminde yerine koyulursa,

$$u = \langle p \rangle [A]^{-1}\{\Delta\} \quad (3.4)$$

yeni deplasman fonksiyonu elde edilmiş olur.

Şekil fonksiyonları kullanmak suretiyle düğüm noktalarının deplasmanları cinsinden eleman davranışını gösterilebilir. Bu durumda önce bir şekil fonksiyonu seçilmelidir. Şekil fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$N = \langle p \rangle [A]^{-1} \quad (3.5)$$

(3.4) denkleminde N değeri yerine koyulursa,

$$u = \langle N \rangle \{\Delta\} \quad (3.6)$$

denklemini elde edilir. N ifadesi burada satır vektörüdür.

Şekil değiştirme ve deplasman arasındaki uygunluk şartından şekil değiştirmeler,

$$\{\epsilon\} = [B]\{\Delta\} \quad (3.7)$$

olarak gösterilebilir. Yukarıdaki denklemde,

$\{\epsilon\}$: Şekil değıştirme vektörüdür ve $\{\epsilon\} = \{-w_{xx} - w_{yy} \ 2w_{xy}\}^T$ olarak tanımlanabilir.

$[B]$: Düğüm noktalarında deplasmanları şekil değıştirmelere bağlayan matristir.

(3.7) denklemi Hooke Kanunu şeklinde ifade edilirse,

$$\{\sigma\} = [E]\{\epsilon\} \quad (3.8)$$

denklemleri elde edilmiş olur. Burada,

$\{\sigma\}$: Gerilme vektörünü,

$[E]$: Elastisite matrisini,

temsil eder.

Elastik şekil değıştirme enerjisi,

$$U = \frac{1}{2} \int_V \{\epsilon\}^T \{\sigma\} dV \quad (3.9)$$

olarak belirlenir. Bu denklemde,

U : Şekil değıştirme enerjisi,

V : Hacim,

ifadelerini gösterir.

Gerilme ve şekil değıştirme ifadelerinin açık halini (3.9) denkleminde yerine koyarak denklemi yeniden yazılırsa,

$$U = \frac{1}{2} \int_V \{\Delta\}^T \{B\}^T [E] [B] \{\Delta\} dV \quad (3.10)$$

ifadesi elde edilir.

Elemanın düğüm noktasında meydana gelen deplasman vektörü hacme bağlı olmadığı için integralin dışına alınırsa (3.10) denklemi,

$$U = \frac{1}{2} \{\Delta\}^T \int_V \{B\}^T [E] [B] dV \{\Delta\} \quad (3.11)$$

halini alır.

Bir elemanın toplam potansiyel enerjisi şekil değiştirme enerjisi ile dış yüklerin oluşturduğu potansiyel enerjinin farkıdır. O halde elemanın dış yüklerinin potansiyel enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W = \{\Delta\}^T \{f\} \quad (3.12)$$

$\{f\}$: Elemanın düğüm noktasındaki yük vektörü olarak adlandırılır.

Böylece elemandaki toplam potansiyel enerji,

$$I = U - W \quad (3.13)$$

olarak yazılır. Denklemi açık formda yazacak olursak,

$$I = \frac{1}{2} \{\Delta\}^T \int_V \{B\}^T [E] [B] dV \{\Delta\} - \{\Delta\}^T \{f\} \quad (3.14)$$

ifadesi elde edilir.

Sistemin gerçek konumu, toplam potansiyel enerjiyi en az yapan konumdur. Gerçek konumu sağlanması için,

$$\frac{\partial I}{\partial \{\Delta\}^T} = \int_V \{B\}^T [E] [B] dV \{\Delta\} - \{f\} = 0 \quad (3.15)$$

şartı sağlanmalıdır. Kuvvet vektörünü yalnız bırakacak olursak,

$$\{f\} = \int_V \{B\}^T [E][B] dV \{\Delta\} \quad (3.16)$$

İfadesi elde edilir. Bu ifadede,

$$[k] = \int_V \{B\}^T [E][B] dV \quad (3.17)$$

denklemleri ile eleman rijitlik matrisi olan $[k]$, tanımlanır. Elemanlar için tanımlanan rijitlik matrislerinden sistem rijitlik matrisine geçilir. Geçiş işlemi kodlama yöntemi ile yapılır. Sistem için kuvvet vektörü,

$$\{F\}_s = [K]_s \{\Delta\}_s \quad (3.18)$$

ifadesi ile tanımlanır. Sistemin deplasmanları,

$$\{\Delta\}_s = [K]_s^{-1} \{F\}_s \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir.

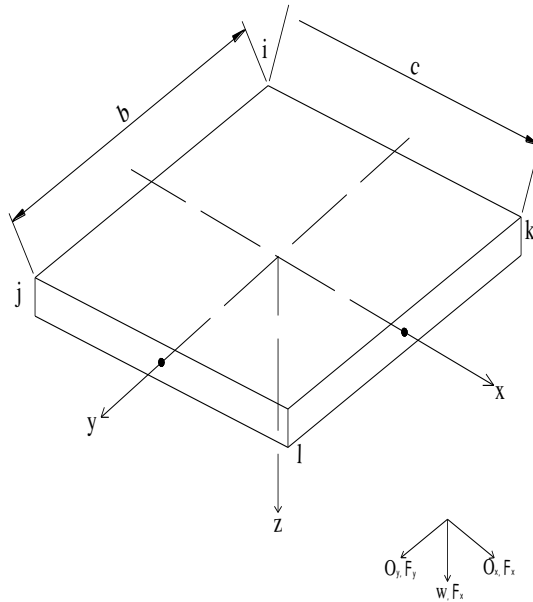
3.5 Dörtgen Elemanlı Bir Plak İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bir boyutu diğer boyutlarına göre çok küçük olan düzlemsel elemanlar plak olarak adlandırılır. Plak kabuğun düzlem formuna karşılık gelen özel halidir. (Brilla v.d., 1974). Plaklar yapı döşemeleri başta olmak üzere inşaat mühendisliğinin birçok alanında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Plaklar ile ilgili çalışmalarda şu kabuller uygulanır:

- 1- Plagın malzemesinin homojen, izotrop ve sürekli ortam özelliği taşıdığı kabul edilir.
- 2- Malzeme lineer elastiktir yani Hooke yasası geçerlidir.
- 3- Süperpozisyon yasası geçerlidir.

- 4- Betty karşılık teoremi geçerlidir.
- 5- Plak kalınlığı ince olmakla birlikte elastik deformasyonlar, şekil ve yer değiştirme bileşenleri, plak kalınlığına göre çok küçüktür.
- 6- Plak geometrisi başlangıçta düzdür. Tarafsız düzleme dik olan yüzeyler deformasyondan sonra da bu düzleme diktir.
- 7- Plak orta düzlemine dik olan gerilmeler ihmal edilebilir derecede küçüktür.

Aşağıdaki şekilde, dört düğüm noktalı ve her bir düğüm noktasında 3 serbestlik dereceli (bir öteleme ve iki dönme) bir dörtgen eleman gösterilmiştir. Yer değiştirme fonksiyonu 12 bilinmeyen sabitler içeren bir polinomik fonksiyon seçilir.



Şekil 3.1Dörtgen eleman

Sonlu eleman türü dörtgen olan bir plak elemanı için deplasman fonksiyonu;

$$\begin{aligned}
 u = u(x, y, A) = & A_1 + A_2x + A_3y + A_4x^2 + A_5xy + A_6y^2 \\
 & + A_7x^3 + A_8x^2y + A_9xy^2 + A_{10}y^3 \\
 & + A_{11}x^3y + A_{12}xy^3
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

olacak şekilde seçilir.

Elemanın her düğüm noktası için kesit dönmesi ve deplasman değerleri hesaplanabilir. Bu değerlerin hesaplanmasına yarayan bağıntılar aşağıdaki gibidir.

I birim elemanın, a düğüm noktası için x yönündeki dönme denklemi;

$$\theta_{xa} = -\frac{\partial u}{\partial y} = -(A_3 + A_5x_a + 2A_6y_a + A_8x_a^2 + 2A_9x_ay_a + 3A_{10}y_a^2 + A_{11}x_a^3 + 3A_{12}x_ay_a^2) \quad (3.21)$$

I birim elemanın, a düğüm noktası için y yönündeki dönme denklemi;

$$\theta_{ya} = \frac{\partial u}{\partial x} = A_2 + 2A_4x_a + A_5y_a + 3A_7x_a^2 + A_8x_ay_a + A_9y_a^2 + 3A_{11}x_a^2y_a + A_{12}y_a^3 \quad (3.22)$$

I birim elemanın, a düğüm noktası için deplasman değeri;

$$u_a = A_1 + A_2x_a + A_3y_a + A_4x_a^2 + A_5x_ay_a + A_6y_a^2 + A_7x_a^3 + A_8x_a^2y_a + A_9x_ay_a^2 + A_{10}y_a^3 + A_{11}x_a^3y_a + A_{12}x_ay_a^3 \quad (3.23)$$

x_a ve y_a ifadeleri a düğüm noktası elemanın x ve y koordinatlarını gösterir. Bu işlemler bütün elemanların düğüm noktaları için tek tek gerçekleştirilir.

$d^I = k^I A$ ifadesi aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{bmatrix} \theta_{xa} \\ \theta_{ya} \\ u_a \\ \theta_{xb} \\ \theta_{yb} \\ u_b \\ \theta_{xc} \\ \theta_{yc} \\ u_c \\ \theta_{xd} \\ \theta_{yd} \\ u_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & -x_a & -2y_a & 0 & -x_a^2 & -2x_a y_a & -3y_a & -x_a^3 & -3x_a y_a^2 \\ 0 & 1 & 0 & 2x_a & y_a & 0 & 3x_a^2 & 2x_a y_a & y_a^2 & 0 & 3x_a^2 y_a & y_a^3 \\ 1 & x_a & y_a & x_a^2 & x_a y_a & y_a^2 & x_a^3 & x_a^2 y_a & x_a y_a^2 & y_a^3 & x_a^3 y_a & x_a y_a^3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -x_b & -2y_b & 0 & -x_b^2 & -2x_b y_b & -3y_b & -x_b^3 & -3x_b y_b^2 \\ 0 & 1 & 0 & 2x_b & y_b & 0 & 3x_b^2 & 2x_b y_b & y_b^2 & 0 & 3x_b^2 y_b & y_b^3 \\ 1 & x_b & y_b & x_b^2 & x_b y_b & y_b^2 & x_b^3 & x_b^2 y_b & x_b y_b^2 & y_b^3 & x_b^3 y_b & x_b y_b^3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -x_c & -2y_c & 0 & -x_c^2 & -2x_c y_c & -3y_c & -x_c^3 & -3x_c y_c^2 \\ 0 & 1 & 0 & 2x_c & y_c & 0 & 3x_c^2 & 2x_c y_c & y_c^2 & 0 & 3x_c^2 y_c & y_c^3 \\ 1 & x_c & y_c & x_c^2 & x_c y_c & y_c^2 & x_c^3 & x_c^2 y_c & x_c y_c^2 & y_c^3 & x_c^3 y_c & x_c y_c^3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -x_d & -2y_d & 0 & -x_d^2 & -2x_d y_d & -3y_d & -x_d^3 & -3x_d y_d^2 \\ 0 & 1 & 0 & 2x_d & y_d & 0 & 3x_d^2 & 2x_d y_d & y_d^2 & 0 & 3x_d^2 y_d & y_d^3 \\ 1 & x_d & y_d & x_d^2 & x_d y_d & y_d^2 & x_d^3 & x_d^2 y_d & x_d y_d^2 & y_d^3 & x_d^3 y_d & x_d y_d^3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \\ A_6 \\ A_7 \\ A_8 \\ A_9 \\ A_{10} \\ A_{11} \\ A_{12} \end{bmatrix}$$

(3.24)

A katsayılar matrisi aşağıdaki ifadeden elde edilir.

$$A = (k^I)^{-1} d^I \quad (3.25)$$

Plak eğrilik ifadeleri ise;

$$-\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -2A_4 - 6A_7x - 2A_8y - 6A_{11}xy \quad (3.26)$$

$$-\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -2A_6 - 2A_9x - 6A_{10}y - 6A_{12}xy \quad (3.27)$$

$$2\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} = 2A_5 + 4A_8x + 4A_9y + 6A_{11}x^2 + 6A_{12}y^2 \quad (3.28)$$

şeklinde yazılır. Eğrilik matrisi de aşağıdaki gibi olur.

$$E = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ 2\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} = B \times A = B \times (k^I)^{-1} d^I \quad (3.29)$$

Bu ifadede adı geçen B matrisi şekil matrisi olup; hesap kolaylığı sağlaması bakımından önemli bir yere sahiptir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & -6x & -2y & 0 & 0 & -6xy & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & -2x & -6y & 0 & -6xy \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 4x & 4y & 0 & 6x^2 & 6y^2 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Eğrilik ifadeleri ile moment arasındaki ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\begin{aligned}
M_x &= -D \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \\
M_y &= -D \left[\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + v \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \\
M_{xy} &= 2D \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right]
\end{aligned} \tag{3.31}$$

Bu ifadede D sembolü eğilme rijitliğini göstermekte olup; $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ dir. ν ise poisson oranını simgelemektedir. Denklemler matris formunda yazılırsa;

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} D & \nu D & 0 \\ \nu D & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)D}{2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ 2\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \\
&= D \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)}{2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ 2\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{3.32}$$

Düğüm noktalarında üç tane deplasmanın olacağı belirlenmişti. Her düğüm noktasında bu üç deplasman değerini oluşturan üç tane kuvvet bulunması gerekir. Bu üç kuvvet bileşenlerinin ikisi moment birisi ise dikey kuvvettir.

Elemanın a noktasına etki eden kuvvetler;

$$F_a = \begin{bmatrix} F_{xa} \\ F_{ya} \\ F_{za} \end{bmatrix} \tag{3.33}$$

Elemanın tümüne etki eden kuvvetler;

$$F^I = \begin{bmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \\ F_d \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

şeklinde gösterilir.

Elemanın genel denklemi ise;

$$F^I = R^I d^I \quad (3.35)$$

olarak ifade edilir. R^I elemanımızın 12×12 boyutunda rijitlik matrisidir.

3.5.1 Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi

Elemanımızın a, b, c, d düğüm noktalarına etki eden ve her biri üç bileşenden oluşan kuvvetlerin varlığına 3.5 bölümünde değinilmişti. Bu elemanın her bir düğüm noktasındaki üç deplasman bileşeni yönünde virtüel birim deplasmanlar uygularsak dış kuvvetlerden kaynaklanan virtüel iş aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W_{dış} = I \times F^I = F^I \quad (3.36)$$

Burada $W_{dış}$ ifadesi dış virtüel işi, I ifadesi birim matrisi gösterir.

Elemanın dış virtüel işine karşılık bir iç virtüel iş meydana gelecektir. Bu iç virtüel iş ise moment ve eğriliklerin çarpılması ile oluşup; aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$W_{iç} = \iint E^T M dx dy \quad (3.37)$$

Burada $W_{i\zeta}$ ifadesi iç virtüel işi, E^T ifadesi eğrilik matrisinin transpozunu singeler. Eğrilik matrisini açık formda denklemden kullanacak olursak;

$$W_{i\zeta} = \iint (B(k^I)^{-1}d^I)^T M dx dy \quad (3.38)$$

ifadesi elde edilir. d^I matrisi birim matris olduğu için denklem aşağıdaki forma döner.

$$W_{i\zeta} = \iint (B(k^I)^{-1})^T M dx dy \quad (3.39)$$

Moment ifadesi $M = D \times E$ şeklinde gösterilir ve bu ifadedeki eğrilik değerinde d^I birim matrisi dikkate alındığı takdirde virtüel iç iş şu hali alır.

$$W_{i\zeta} = \iint (B(k^I)^{-1})^T D \times (B(k^I)^{-1})d^I dx dy \quad (3.40)$$

Sabit terimleri integral dışına alıp iç ve dış virtüel işi birbirine eşitlendiğinde;

$$F^I = \left[((k^I)^{-1})^T \iint B^T D B dx dy (k^I)^{-1} \right] d^I \quad (3.41)$$

$F^I = R^I d^I$ denkleminde I elemanının rijitliği;

$$R^I = \left[((k^I)^{-1})^T \iint B^T D B dx dy (k^I)^{-1} \right] \quad (3.42)$$

olarak elde edilir.

Plaktaki bütün elemanların rijitlikleri elde edildikten sonra bu rijitlik matrislerini bir araya getirip sistemin rijitlik matrisine ulaşılır. Rijitlik matrisine ulaşılan plağın düğüm noktalarına $N_1, N_2 \dots$ vb. kuvvetler etki edebilir. Bu kuvvetlerden meydana gelecek olan deplasmanlar “d” ile gösterildiği takdirde;

$$N = R \cdot d \quad (3.43)$$

olur. Bu denklemden plağın istenilen düğüm noktasındaki deplasman değerine ulaşılır.

BÖLÜM DÖRT

TEORİ

4.1 Giriş

Bu bölümde nonlinear malzemeden yapılmış tek boyutlu çubuk sistemlerin gerilme, deformasyon ve zaman bağıntılarından yola çıkılarak; plaklardaki gerilme, deformasyon arasındaki ilişkiler sonlu elemanlar yöntemi kullanılmak suretiyle incelenecektir.

Çalışma kapsamında yumuşama fonksiyonları kullanılmış olup Poisson oranının zamanla değişmediği kabul edilmiştir.

4.2 Non-linear Viskoelastik Malzemeden Oluşan Plaklarda Gerilme Deformasyon ve Zaman İlişkilerinin Yumuşama Fonksiyonları Kullanılarak İncelenmesi

Yumuşama fonksiyonları ile plaklarda gerilme – deformasyon ve zaman ilişkilerini irdelerken $\epsilon_{x0}, \epsilon_{y0}, \gamma_{xy0}$ deformasyonlarından kaynaklanan $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ gerilmeleri zamana bağlı olarak incelenir. Bu inceleme neticesinde gerilmeler deformasyonların derecesine bağlı olarak malzemenin mekanik özellikleri (B_i) ve yumuşama fonksiyonları $\{g_i(t)\}$ cinsinden, aşağıdaki şekilde tanımlanır. (Kahraman 1993).

$$\sigma_x(t) = \frac{1}{(1 - \nu^2)} [\epsilon_{x0} + \nu \epsilon_{y0}] \left\{ B_{0x}(\epsilon_0) + \sum_{i=1}^n B_{ix}(\epsilon_0) g_i(t) \right\} \quad (4.1)$$

$$\sigma_y(t) = \frac{1}{(1 - \nu^2)} [\epsilon_{y0} + \nu \epsilon_{x0}] \left\{ B_{0y}(\epsilon_0) + \sum_{i=1}^n B_{iy}(\epsilon_0) g_i(t) \right\} \quad (4.2)$$

$$\tau_{xy}(t) = \frac{1}{2(1 + \nu)} [-\gamma_{xy0}] \left\{ B_{0xy}(\gamma_{xy0}) + \sum_{i=1}^n B_{ixy}(\gamma_{xy0}) g_i(t) \right\} \quad (4.3)$$

$g_i(t)$ fonksiyonları yumuşama davranışını en düzgün şekilde yansıtacak şekilde seçilmelidir. Bu seçim sonrasında fonksiyonlar,

$$g_i(t) = e^{-t/\lambda_i}, \quad g_0(t) = 1, \quad g_i(0) = 1 \quad (4.4)$$

şeklinde olur. Yumuşama fonksiyonlarının bu şekilde seçilmesinden sonra σ_x gerilmesi $t = 0$ ve $t = \infty$ değerleri için,

$$\begin{aligned} \sigma_x(0) &= \frac{1}{(1 - \nu^2)} [\epsilon_{x0} + \nu \epsilon_{y0}] \left\{ B_{0x}(\epsilon_0) + \sum_{i=1}^n B_{ix}(\epsilon_0) \right\} \\ \sigma_x(\infty) &= \frac{1}{(1 - \nu^2)} [\epsilon_{x0} + \nu \epsilon_{y0}] B_{0x}(\epsilon_0) \end{aligned} \quad (4.5)$$

olarak bulunur. Nonlineer viskoelastik malzemeli tek boyutlu elemanların gerilme, deformasyon ve zaman arasındaki ilişki yumuşama fonksiyonlarını kullanmak suretiyle,

$$\begin{aligned}
\sigma(t) = & \epsilon(t) \left[B_0(\epsilon(t)) + \sum_{i=1}^n B_i(\epsilon(t)) \right] \\
& - \sum_{i=1}^n \int_0^t \epsilon(\tau) B_i(\epsilon(\tau)) \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t-\tau) d\tau
\end{aligned} \tag{4.6}$$

olarak tanımlanır. Bu denklemden faydalanarak değişken deformasyon halinde $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ gerilmelerinin deformasyon ve zaman ile ilişkileri,

$$\begin{aligned}
\sigma_x(t) = & \frac{1}{(1-\nu^2)} [\epsilon_x(t) + \nu \epsilon_y(t)] \{ B_{0x}(\epsilon(t)) \\
& + \sum_{i=1}^n B_{ix}(\epsilon(t)) \} \\
& - \sum_{i=1}^n \int_0^t [\epsilon_x(\tau) \\
& + \nu \epsilon_y(\tau)] \{ B_{ix}(\epsilon(\tau)) \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t-\tau) d\tau
\end{aligned} \tag{4.7}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_y(t) = & \frac{1}{(1-\nu^2)} [\epsilon_y(t) + \nu \epsilon_x(t)] \{ B_{0y}(\epsilon(t)) \\
& + \sum_{i=1}^n B_{iy}(\epsilon(t)) \} \\
& - \sum_{i=1}^n \int_0^t [\epsilon_y(\tau) \\
& + \nu \epsilon_x(\tau)] \{ B_{iy}(\epsilon(\tau)) \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t-\tau) d\tau
\end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{xy}(t) = & \frac{1}{2(1+v)} [-\gamma_{xy}(t)] \left\{ B_{0xy}(\gamma_{xy}(t)) \right. \\
& + \sum_{i=1}^n B_{ixy}(\gamma_{xy}(t)) \left. \right\} \\
& - \sum_{i=1}^n \int_0^t [-\gamma_{xy}(t)] B_{ixy}(\gamma_{xy}(t)) \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t \\
& - \tau) d\tau
\end{aligned} \tag{4.9}$$

şeklinde elde edilir. (4.7), (4.8) ve (4.9) denklemlerinde $g_i(t) = 1$, $B_{ix}(\epsilon) = B_{iy}(\epsilon) = B_{ixy}(\epsilon) = B_i = \text{sabit}$ ve $(B_0 + \sum B_i) = E$ olarak kabul edilirse,

$$\begin{aligned}
\sigma_x(t) &= \frac{E}{1-v^2} [\epsilon_x(t) + v \epsilon_y(t)] \\
\sigma_y(t) &= \frac{E}{1-v^2} [\epsilon_y(t) + v \epsilon_x(t)] \\
\tau_{xy}(t) &= \frac{E}{2(1+v)} [-\gamma_{xy}(t)]
\end{aligned} \tag{4.10}$$

Hooke Kanunu elde edilmiş olur. İfadelerdeki parametre değerleri,

$$\begin{aligned}
B_{ix}(\epsilon) &= B_{ix}, \quad B_{iy}(\epsilon) = B_{iy}, \quad B_{ixy}(\gamma_{xy}) = B_{ixy} \\
\psi_x(0) &= \beta_{0x} + \sum_{i=1}^n \beta_{ix}, \quad \psi_y(0) = \beta_{0y} + \sum_{i=1}^n \beta_{iy}, \quad \psi_{xy}(0) = \beta_{0xy} + \sum_{i=1}^n \beta_{ixy} \\
\psi_x(t) &= \beta_{0x} + \sum_{i=1}^n \beta_{ix} g(t), \quad \psi_y(t) = \beta_{0y} + \sum_{i=1}^n \beta_{iy} g(t), \\
\psi_{xy}(t) &= \beta_{0xy} + \sum_{i=1}^n \beta_{ixy} g(t)
\end{aligned}$$

şeklinde alınırsa, gerilme değerlerinin yeni hali aşağıdaki gibi olur.

$$\sigma_x(t) = \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ [\epsilon_x(t) + v \epsilon_y(t)] \psi_x(0) - \int_0^t [\epsilon_x(\tau) + v \epsilon_y(\tau)] \sum_{i=1}^n \beta_{ix} \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t - \tau) d\tau \right\} \quad (4.11)$$

$$\sigma_x(t) = \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ [\epsilon_x(t) + v \epsilon_y(t)] \psi_x(0) - \int_0^t [\epsilon_x(\tau) + v \epsilon_y(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi(t - \tau) d\tau \right\}$$

$$\sigma_y(t) = \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ [\epsilon_y(t) + v \epsilon_x(t)] \psi_y(0) - \int_0^t [\epsilon_y(\tau) + v \epsilon_x(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi(t - \tau) d\tau \right\} \quad (4.12)$$

$$\tau_{xy}(t) = \frac{1}{2(1+v)} \left\{ [-\gamma_{xy}(t)] \psi_{xy}(0) - \int_0^t [-\gamma_{xy}(t)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi(t - \tau) d\tau \right\} \quad (4.13)$$

Nonlinear viskoelastik malzemeden yapılmış bir plağın çözümü aşamasındaki uygunluk denklemleri (4.11), (4.12) ve (4.13) denklemleri ile desteklendiğinde problemin çözümü için gerekli denklem sayısı sınır koşulları ile birlikte tamamlanmış olur.

4.3 Nonlinear Viskoelastik Malzemeden Oluşan Plaklarda Yumuşama Fonksiyonları Kullanılarak Moment – Eğrilik – Zaman İlişkileri İncelemesi

Plak yüzeyine dik olarak etki eden yükler neticesinde, plağın herhangi bir kesitinde meydana gelen moment değerleri sabittir. Nonlinear viskoelastik malzemeden imal edilmiş bir plağın gerilme değerleri ise zamana bağlı olarak değişim gösterir. (4.11) denklemi ile gösterilen σ_x gerilmesindeki gerilme, deformasyon, zaman ilişkisi Bernoulli – Navier hipotezi geçerli olmak koşulu ile,

$$\epsilon_x = -z w_{xx}(t), \quad \epsilon_y = -z w_{yy}(t) \quad (4.14)$$

yukarıdaki gibi deformasyon ve eğrilikler arasındaki ilişki kullanılmak sureti ile yeniden yazılırsa σ_x gerilmesinin,

$$\sigma_x(t) = \frac{z}{(1 - \nu^2)} \left\{ [w_{xx}(t) + \nu w_{yy}(t)] \psi_x(0) - \int_0^t [w_{xx}(\tau) + \nu w_{yy}(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_x(t - \tau) d\tau \right\} \quad (4.15)$$

olduğu görülür. Bu ifadede,

z : Plağın her hangi bir kesitindeki noktanın tarafsız yüzeyden uzaklığı,

w_{xx} : xz düzlemine paralel bir düzlemdeki eğriligi,

w_{yy} : yz düzlemine paralel bir düzlemdeki eğriligi,

$\psi_x(t)$: yumuşama fonksiyonlarını,

temsil eder. Denge şartlarını göz önüne aldığımızda kesitte meydana gelmiş olan M_x momenti,

$$M_x = \int_z \sigma_x(t) z dz \quad (4.16)$$

denkleminin yardımıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_x = \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ \int_z \left[-z w_{xx}(t) + v \left(-z w_{yy}(t) \right) \right] \psi_x(0) \right. \\ \left. - \int_0^t \left[-z w_{xx}(\tau) + v \left(-z w_{yy}(\tau) \right) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_x(t - \tau) d\tau \right\} z dz \quad (4.17)$$

Yumuşama fonksiyonları,

$$\psi_x(t) = B_{0x} + \sum_{i=1}^n B_{ix} g_i(t) \quad (4.18)$$

olarak alınır, malzeme özellikleri aşağıdaki gibi kabul edilirse (4.19) ve (4.20) denklemleri elde edilir. Bu kabuller şöyledir:

t değeri arttıkça $\bar{E}(\epsilon_x, t)$ değeri azalır.

$\bar{E}(\epsilon_x, t)$ değerinin alabileceği en büyük değer E 'dir.

ϵ_x 'in küçük değerleri için $\bar{E}(\epsilon_x, t)$ yaklaşık olarak E 'ye eşittir.

ϵ_x değeri arttıkça $\bar{E}(\epsilon_x, t)$ değeri azalır.

$$B_{0x} = E - k_0 |\epsilon_x|^{p_0-1}, \quad g_0(t) = 1, \quad (4.19) \\ E > k_0 |\epsilon_x|^{p_0-1}, \quad p_0 \geq 1$$

$$B_{ix} = k_i |\epsilon_x|^{p_i-1}, \quad k_0 \geq \sum_{i=1}^n k_i, \quad p_i \geq 1, \quad (4.20) \\ p_0 \leq p_i$$

$$g_i(t) = e^{-t/\lambda_i} \quad (4.21)$$

$B_{ix}(\epsilon_x)$ terimleri belirlenirken deformasyonlar mutlak değer olarak alınmıştır çünkü malzeme çekmede ve basınçta aynı davranışı gösterir.

ϵ_{x0} ve ϵ_{y0} sabit deformasyonlarında gerilme değeri,

$$\begin{aligned}\sigma_x(t) &= -\frac{1}{(1-\nu^2)}[\epsilon_{x0} + \nu \epsilon_{y0}]\psi_x(0) \\ &= \frac{1}{(1-\nu^2)}[\epsilon_{x0} + \nu \epsilon_{y0}]\bar{E}(\epsilon_x, t)\end{aligned}\quad (4.22)$$

olarak elde edilir.

Yukarıda kabul etmiş olduğumuz malzeme özelliklerini sağlayan $B_{ix}(\epsilon)$ ve $g_i(t)$ fonksiyonlarını farklı biçimlerde de alabiliriz. Bu özellikler gerçek malzemenin davranışını yansıtan özelliklerdir. Bu özelliklerin sağlanmaması halinde gerçek durumla örtüşmeyen sonuçlar ile karşılaşılır. $P_0 = 1$ değeri ile çalışılırsa lineer elastik malzemeden imal edilmiş plak katsayılarına, $P_1 = 1$ değeri ile çalışılırsa nonlinear malzemeli plak katsayılarına ulaşılır.

$$\frac{\partial \psi_x(t - \tau)}{\partial \tau}$$

ifadesi (4.18) denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \psi_x(t - \tau) = \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} |-z w_{xx}(\tau)|^{p_i-1} e^{-(t-\tau)/\lambda_i} \quad (4.23)$$

(4.17) denklemi ile gösterilen ifade, (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.23) denklemleri yardımıyla aşağıdaki halini alır.

$$\begin{aligned}
M_x &= B \left[E \int_z [-z w_{xx}(t)] z dz \right. \\
&\quad - k_0 \int_z [-z w_{xx}(t)] |-z w_{xx}(t)|^{p_0-1} z dz \\
&\quad + \sum_{i=1}^n k_i \int_z [-z w_{xx}(t)] |-z w_{xx}(t)|^{p_i-1} z dz \\
&\quad - \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} \int_0^t \left[\int_z [-z w_{xx}(\tau)] |-z w_{xx}(\tau)|^{p_i-1} z dz \right] e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
&\quad + E v \int_z [-z w_{yy}(t)] z dz \\
&\quad + k_0 \int_z [-z w_{yy}(t)] |-z w_{xx}(t)|^{p_0-1} z dz \\
&\quad + \sum_{i=1}^n k_i v \int_z [-z w_{yy}(t)] |-z w_{xx}(t)|^{p_i-1} z dz \\
&\quad \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i v}{\lambda_i} \int_0^t \left[\int_z [-z w_{yy}(\tau)] |-z w_{xx}(\tau)|^{p_i-1} z dz \right] e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \tag{4.24}
\end{aligned}$$

Burada $B = 1/(1 - v^2)$ olmak üzere, z değişkenli integralleri çözerken,

$$\begin{aligned}
I_0 &= \frac{h^3}{12} , \quad I_{p_0} = \frac{2}{p_0 + 2} \left\{ \frac{h}{2} \right\}^{p_0+2} \quad ve \quad I_{p_i} \\
&= \frac{2}{p_i + 2} \left\{ \frac{h}{2} \right\}^{p_i+2} \tag{4.25}
\end{aligned}$$

biçiminde tanımlanırsa M_x ifadesi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned}
& M_x \\
& = B \left\{ -EI_0 w_{xx}(t) + k_0 I_{p0} w_{xx}(t) |w_{xx}(t)|^{p_0-1} \right. \\
& \quad - \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} w_{xx}(t) |w_{xx}(t)|^{p_i-1} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \int_0^t w_{xx}(\tau) |w_{xx}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau - EI_0 v w_{yy}(t) \\
& \quad + k_0 I_{p0} v w_{yy}(t) |w_{xx}(t)|^{p_0-1} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v w_{yy}(t) |w_{xx}(t)|^{p_i-1} \\
& \quad \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \int_0^t w_{yy}(\tau) |w_{xx}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right\} \tag{4.26}
\end{aligned}$$

Zamana bağılı eğrilik olan $w_{xx}(t)$ ifadesi ise,

$$\begin{aligned}
& w_{xx} \\
& = -M_x \left\{ B \left[EI_0 - k_0 I_{p0} |w_{xx}(t)|^{p_0-1} \right. \right. \\
& \quad + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} |w_{xx}(t)|^{p_i-1} \\
& \quad - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \frac{1}{w_{xx}(t)} \int_0^t w_{xx}(\tau) |w_{xx}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
& \quad + EI_0 v \frac{w_{yy}(t)}{w_{xx}(t)} - k_0 I_{p0} v \frac{w_{xx}(t)}{w_{yy}(t)} |w_{xx}(t)|^{p_0-1} \\
& \quad + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v \frac{w_{yy}(t)}{w_{xx}(t)} |w_{xx}(t)|^{p_i-1} \\
& \quad \left. \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \frac{1}{w_{xx}(t)} \int_0^t w_{yy}(\tau) |w_{xx}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \right\}^{-1} \tag{4.27}
\end{aligned}$$

olarak elde edilir. Bu denklemdeki τ değişkenine bağlı integrallerde trapez kuralı ile çözüm yapıldığı takdirde;

$$\begin{aligned}
& \int_0^{s\Delta t} w_{xx}(t) |w_{xx}(t)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
&= \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{xx}(0) |w_{xx}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
&+ 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{xx}(k) |w_{xx}(k)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
&\left. + w_{xx}(s) |w_{xx}(s)|^{p_i-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.28}$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^{s\Delta t} w_{yy}(t) |w_{xx}(t)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
&= \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{yy}(0) |w_{xx}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
&+ 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{yy}(k) |w_{xx}(k)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
&\left. + w_{yy}(s) |w_{xx}(s)|^{p_i-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.29}$$

denklemleri bulunur. Burada s adım sayısı $t = s\Delta t$, ($s = 1, 2, \dots, n$) şeklindedir.

$$M_y = \int_z \sigma_y(t) z dz \quad ve \quad M_{xy} = - \int_z \tau_{xy}(t) z dz \tag{4.30}$$

İfadelerde,

$$\sigma_y(t) = \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ [\epsilon_y(t) + v \epsilon_x(t)] \psi_y(0) - \int_0^t [\epsilon_y(\tau) + v \epsilon_x(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_x(t-\tau) d\tau \right\} \quad (4.31)$$

$$\tau_{xy}(t) = \frac{1}{2(1+v)} \left\{ [-\gamma_{xy}(t)] \psi_{xy}(0) - \int_0^t [-\gamma_{xy}(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi(t-\tau) d\tau \right\} \quad (4.32)$$

$$\gamma_{xy} = 2 z w_{xy}(t) \quad (4.33)$$

eşitliklerinin kullanılması durumunda,

$$\begin{aligned} & w_{yy}(t) \\ &= -M_y \left\{ B \left[EI_0 - k_0 I_{p0} |w_{yy}(t)|^{p_0-1} \right. \right. \\ &+ \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} |w_{yy}(t)|^{p_i-1} \\ &- \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \frac{1}{w_{yy}(t)} \int_0^t w_{yy}(\tau) |w_{yy}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\ &+ EI_0 v \frac{w_{xx}(t)}{w_{yy}(t)} - k_0 I_{p0} v \frac{w_{xx}(t)}{w_{yy}(t)} |w_{yy}(t)|^{p_0-1} \\ &+ \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v \frac{w_{xx}(t)}{w_{yy}(t)} |w_{yy}(t)|^{p_i-1} \\ &\left. \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \frac{1}{w_{yy}(t)} \int_0^t w_{xx}(\tau) |w_{yy}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (4.34)$$

$$\begin{aligned}
& w_{xy}(t) \\
& = M_{xy} \left\{ B_{xy} \left[EI_0 - k_0 I_{p0} |w_{xy}(t)|^{p_0-1} \right. \right. \\
& + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} |w_{xy}(t)|^{p_i-1} \\
& \left. \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \frac{1}{w_{xy}(t)} \int_0^t |w_{xy}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.35}$$

denklemleri elde edilmiş olur. (4.35)denkleminde $B_{xy} = (1 - \nu)$ olarak alınmıştır.

w_{xx} , w_{yy} ve w_{xy} eğrilikleri zamana bağlı olarak elde edildi. Bu aşamadan sonra plak kesitinde oluşan σ_x , σ_y ve τ_{xy} gerilmeleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
\sigma_x(t) = -\frac{z}{(1 - \nu^2)} & \left\{ [w_{xx}(t) + \nu w_{yy}(t)] \psi_x(0) \right. \\
& \left. - \int_0^t [w_{xx}(\tau) + \nu w_{yy}(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_x(t - \tau) d\tau \right\}
\end{aligned} \tag{4.36}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_y(t) = -\frac{z}{(1 - \nu^2)} & \left\{ [w_{yy}(t) + \nu w_{xx}(t)] \psi_y(0) \right. \\
& \left. - \int_0^t [w_{yy}(\tau) + \nu w_{xx}(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_y(t - \tau) d\tau \right\}
\end{aligned} \tag{4.37}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{xy}(t) = -\frac{z}{2(1 + \nu)} & \left\{ 2w_{xy}(t) \psi_{xy}(0) \right. \\
& \left. - \int_0^t w_{xy}(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_{xy}(t - \tau) d\tau \right\}
\end{aligned} \tag{4.38}$$

Lineer viskoelastik plak için,

$$E_v = E - k_0 + \sum_{i=1}^n k_i, \quad k_{iv} = \frac{k_i}{\lambda_i}, \quad I_0 = \frac{h^3}{12} \quad (4.39)$$

değerleri alınır (4.26) ifadesi,

$$\begin{aligned} M_x = B \bigg\{ & -E_v I_0 [w_{xx}(t) + v w_{yy}(t)] \\ & + \sum_{i=1}^n k_{iv} I_0 \left\{ \int_0^t w_{xx}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right. \\ & \left. + v \int_0^t w_{yy}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right\} \bigg\} \end{aligned} \quad (4.40)$$

olarak bulunur. Bu ifadeden zamana bağlı olarak değişim gösteren eğrilik ifadesi,

$$\begin{aligned} w_{xx}(t) = -M_x \bigg\{ & B I_0 \left[E_v - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{xx}(t)} \int_0^t w_{xx}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right. \\ & + v E_v \frac{w_{yy}(t)}{w_{xx}(t)} \\ & \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{xx}(t)} \int_0^t w_{yy}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \bigg\}^{-1} \end{aligned} \quad (4.41)$$

elde edilmiş olur.

4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemini Kullanarak Moment – Eğrilik – Zaman İlişkileri Arasındaki Bağlılıkların Elde Edilmesi

Elemanları kesit momentlerinden oluşan gerilme vektörü,

$$\{\sigma\} = \{M_x \ M_y \ M_{xy}\}^T \quad (4.42)$$

şeklinde tanımlanıp, M_x , M_y , M_{xy} değerleri (4.27), (4.34), (4.35) denklemlerinden elde edilerek yazılır ve aşağıdaki bağıntılar da dikkate alınır,

$$\begin{aligned} \{\epsilon(s)\} &= \{-w_{xx}(s) \quad -w_{yy}(s) \quad 2w_{xy}(s)\}^T \\ \{[\epsilon(s)]^{p_i}\} &= \{-w_{xx}(s)|w_{xx}(s)|^{p_i-1} \quad -w_{yy}(s)|w_{yy}(s)|^{p_i-1} \quad 2w_{xy}(s)|w_{xy}(s)|^{p_i-1}\}^T \\ \{[\epsilon(s)]^{p_i-1}\} &= \{-|w_{xx}(s)|^{p_i-1} \quad -|w_{yy}(s)|^{p_i-1} \quad 2|w_{xy}(s)|^{p_i-1}\}^T \\ (s &= 1, 2, 3, \dots, s) \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n) \\ [D] &= \begin{bmatrix} 1 & v & 0 \\ v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-v}{2} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(4.42) ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\{\sigma\} = B \left\{ \begin{aligned} &I_0 [D] \{\epsilon(s)\} - k_0 I_{p0} \left\{ [\epsilon(s)]^{p_0} \right\} - k_0 I_{p0} v [Y] \left\{ [\epsilon(s)]^{p_0-1} \right\} + \\ &\sum_{i=1}^n k_i I_{pi} \left\{ [\epsilon(s)]^{p_i} \right\} + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v [Y] \left\{ [\epsilon(s)]^{p_i-1} \right\} - \frac{\Delta t}{2} \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} [D] \left\{ \right. \\ &\left. \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \left\{ [\epsilon(0)]^{p_i} \right\} + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \left\{ [\epsilon(k)]^{p_i} \right\} + \left\{ [\epsilon(s)]^{p_i} \right\} \right\} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (4.43)$$

Burada;

$\{\epsilon(s)\}$ Eğrilik vektörü, $[D]$ ise elastisite matrisidir.

(4.43) ifadesi yukarıda verilen tanımlara göre düzenlenirse (4.44) halini alır.

$$\begin{aligned}
\{\sigma(s)\} = \frac{1}{1-v^2} & \left\{ [D]\{\epsilon(s)\} - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [D]\{\epsilon(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_0-1}\} \right. \\
& + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [D]\{\epsilon(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_i-1}\} \\
& - \frac{\Delta t}{2} \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} [D] \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \{\epsilon(0)\} \cdot \{[\epsilon(0)]^{p_i-1}\} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \{\epsilon(k)\} \cdot \{[\epsilon(k)]^{p_i-1}\} \\
& \left. \left. + \{\epsilon(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_i-1}\} \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.44}$$

$$\{\epsilon(s)\} = [B]\{\Delta(s)\} \tag{4.45}$$

bağıntısından faydalanırsak yeni gerilme denklemimiz,

$$\begin{aligned}
\{\sigma(s)\} = \frac{1}{1-v^2} & \left\{ [D][B]\{\Delta(s)\} \right. \\
& - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [D][B]\{\Delta(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_0-1}\} \\
& + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [D][B]\{\Delta(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_i-1}\} \\
& - \frac{\Delta t}{2} \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} [D] \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} [B]\{\Delta(0)\} \cdot \{[\epsilon(0)]^{p_i-1}\} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} [B]\{\Delta(k)\} \cdot \{[\epsilon(k)]^{p_i-1}\} \\
& \left. \left. + [B]\{\Delta(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_i-1}\} \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.46}$$

halini alır.

$$U = \frac{1}{2} \int_V \{\epsilon(s)\}^T \{\sigma\} dV \quad (4.47)$$

$$W = \{\Delta(s)\}^T \{f\} \quad (4.48)$$

Şeklinde alınırsa,

$$I = U - W \quad (4.49)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemlerde;

U: Elastik şekil değiştirme enerjisini,

W: Dış yüklerin potansiyel enerjisini,

I: Elemandaki toplam potansiyel enerjiyi,

temsil eder.

$$\{\epsilon(s)\}^T = \{\Delta(s)\}^T [B]^T \quad (4.50)$$

(4.49) denklemini, (4.45) denkleminin transpozu olan (4.50) denklemini alınıp (4.46), (4.47), (4.48) denklemleri kullanılarak yeniden formüle edilirse;

$$\begin{aligned}
I &= \frac{1}{2(1-v^2)} \{\Delta(s)\}^T \left\{ \iiint [B]^T [D] [B] dV \{\Delta(s)\} \right. \\
&\quad - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} \iiint [B]^T [D] [B] dV \{\Delta(s)\} \cdot \{\epsilon(s)\}^{p_0-1} \\
&\quad + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} \iiint [B]^T [D] [B] dV \{\Delta(s)\} \cdot \{\epsilon(s)\}^{p_i-1} \\
&\quad - \frac{\Delta t}{2} \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \iiint [B]^T [D] [B] dV \left\{ e^{-\frac{s \Delta t}{\lambda_i}} \{\Delta(0)\} \cdot \{\epsilon(0)\}^{p_i-1} \right. \\
&\quad \left. + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s \Delta t - k \Delta t)}{\lambda_i}} \{\Delta(k)\} \cdot \{\epsilon(k)\}^{p_i-1} + \{\Delta(s)\} \cdot \{\epsilon(s)\}^{p_i-1} \right\} \\
&\quad \left. - \{\Delta(s)\}^T \{F\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.51}$$

halini alır.

$$\frac{\partial I}{\partial \{\Delta(s)\}^T} = 0 \tag{4.52}$$

(4.52) denklemi toplam potansiyel enerjiyi minimum yapan konumu bulmak için kullanılır. Bu denklemde,

$$\int_V [B]^T [D_0] [B] dV = [k]; [D_0] = EI_0 [D] \tag{4.53}$$

tanımları kullanıldığında, düğüm noktasının kuvvet vektörü şu şekilde ifade edilir.

$$\begin{aligned}
\{F\} = \frac{1}{(1-v^2)} [K] & \left\{ \{\Delta(s)\} - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} \{\Delta(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_0-1}\} \right. \\
& + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} \{\Delta(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_i-1}\} \\
& - \frac{\Delta t}{2} \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \{\Delta(0)\} \cdot \{[\epsilon(0)]^{p_i-1}\} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \{\Delta(k)\} \cdot \{[\epsilon(k)]^{p_i-1}\} \\
& \left. \left. + \{\Delta(s)\} \cdot \{[\epsilon(s)]^{p_i-1}\} \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.54}$$

şeklinde bulunur. Bu bağıntıdan deplasman vektörü,

$$\begin{aligned}
\{\Delta(s)\} = (1-v^2) & \left\{ \{\Delta(0)\} + \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} \{\Delta(s)\} \cdot (w_{xx}(s))^{p_0-1} \right. \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} \{\Delta(s)\} \cdot (w_{xx}(s))^{p_i-1} \\
& + \frac{\Delta t}{2} \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \{\Delta(0)\} \cdot (w_{xx}(0))^{p_i-1} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \{\Delta(k)\} \cdot (w_{xx}(k))^{p_i-1} \\
& \left. \left. + \{\Delta(s)\} \cdot (w_{xx}(s))^{p_i-1} \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.55}$$

olarak elde edilir.

Lineer viskoelastik plaklarda, $p_0 = p_i = 1$ ve $I_0 = I_{p0} = I_{pi}$ olarak kabul edildiği takdirde deplasman vektörünün son hali aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{aligned}
\{\Delta(s)\} = & \frac{E(1-v^2)}{(1-k_0 + \sum_{i=1}^n k_i)} \{\Delta(0)\} \\
& + \frac{\Delta t}{2} \frac{k_i}{E\lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \{\Delta(0)\} \right. \\
& \left. + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \{\Delta(k)\} + \{\Delta(s)\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.57}$$

$\{\Delta(s)\}$ deplasman değerini bulmak için hesaplama yapılırken, $t = 0$ anı başlangıç kabul edilerek; $\{\Delta(0)\}$ anı için elastik çözümden elde ettiğimiz değer ilk adım olarak alınır. Daha sonra $t = \Delta t$ anı için başlangıç değerleri kabul edilmek sureti ile iterasyon işlemi uygulanarak $t = \Delta t, \dots, s\Delta t$ anları için deplasman değeri bulunur.

BÖLÜM BEŞ

UYGULAMALAR

5.1 Kenarlarından Sabit Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

Şekil 5.1 de gösterilen ince kare plak kenarlarından sabit mesnetli, üniform yayılı yüklüdür. Kenar uzunluğu 200 cm olan kare plağın kesiti sabit olup kalınlığı 10 cm'dir. Yayılı yükün değeri $q = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ dir. Plak malzemesine bağlı özellikler aşağıdaki gibidir.

$$E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_1 = 20 \text{ dakika}$$

$$\Delta t = 5 \text{ dakika}$$

$$p_0 = 1,1$$

$$p_1 = 1,105$$

$$\nu = 0,3$$

E: Elastisite Modülü

k_i : Yay Katsayısı

λ : Gecikme Zamanı

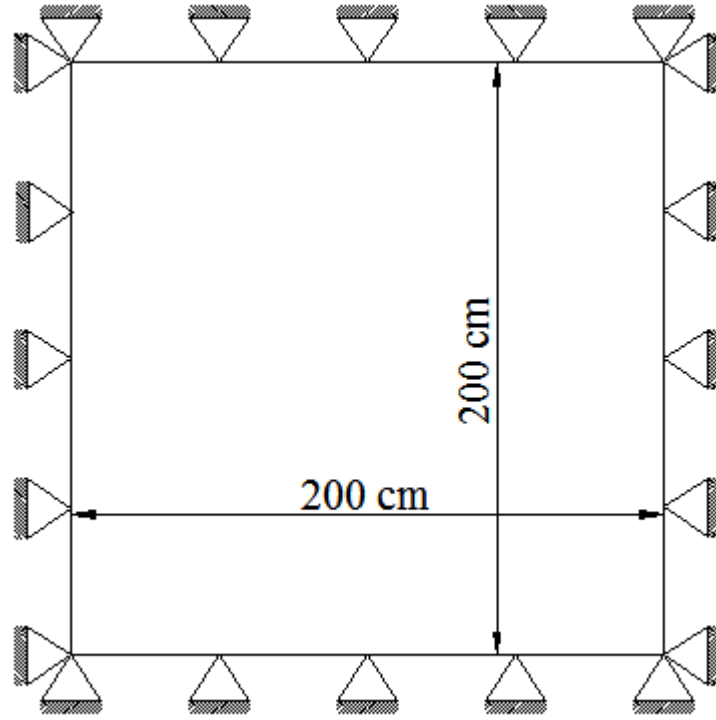
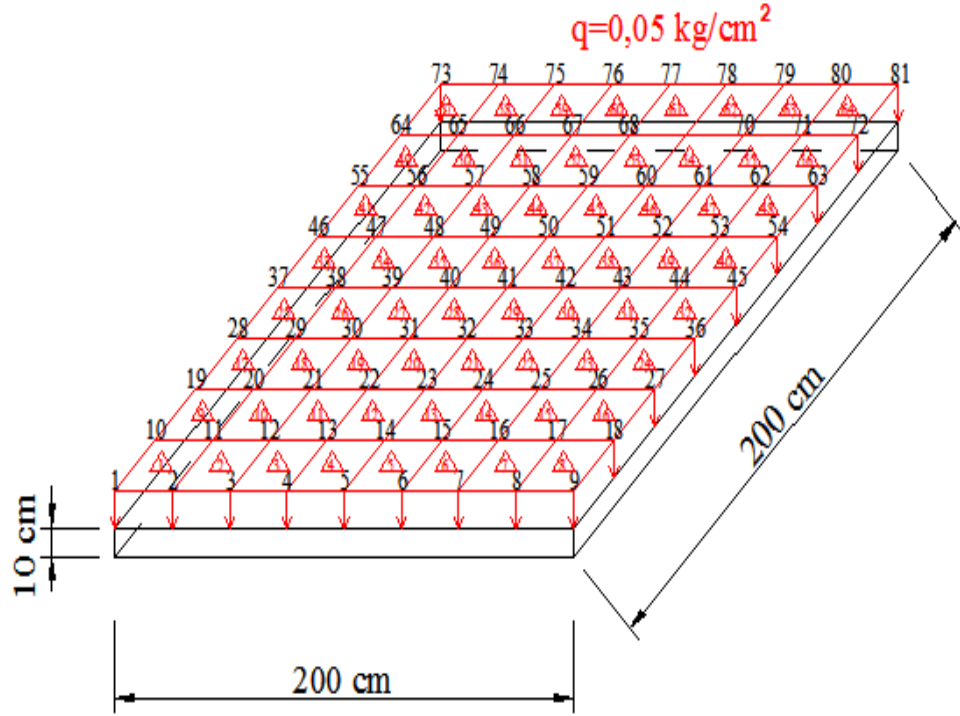
Δt : Zaman Aralığı

p_i : Nonlineer Malzeme Katsayıları

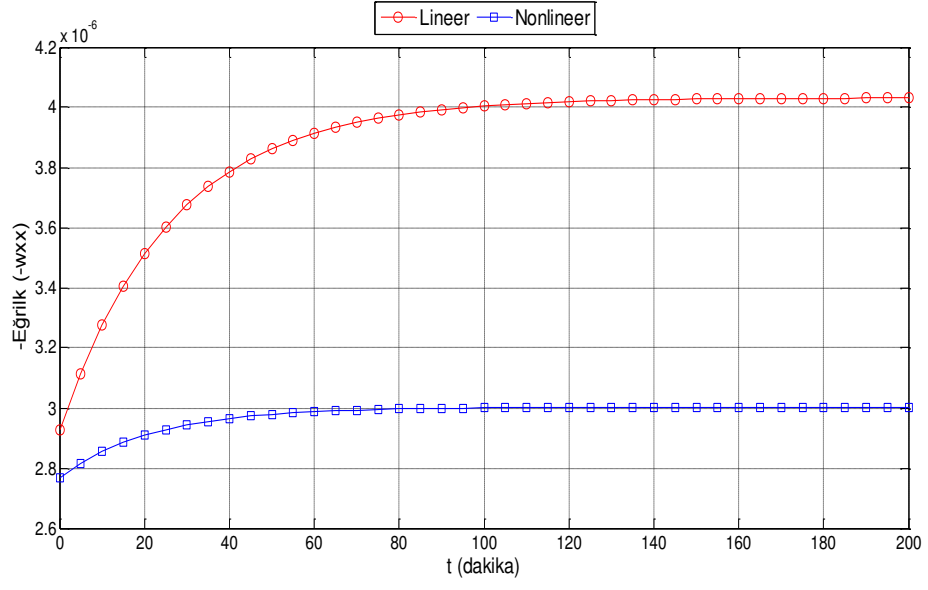
ν : Poisson Oranı

Bu veriler ışığında viskoelastik malzemeli, kenarlarından sabit mesnetli, yayılı yüklü kare plağın çözümü 64 adet sonlu eleman kullanılarak yapılmış olup; orta noktasındaki x ve y yönü için eğrilik zaman ilişkisi, x ve y yönleri $h/2$, $3h/8$, $h/4$, $h/8$ seviyelerinde lineer ve nonlineer deformasyon zaman ilişkisi, deplasman zaman ilişkisi, x ve y yönleri lineer ve nonlineer gerilme grafikleri elde edilmiştir. Çözüm

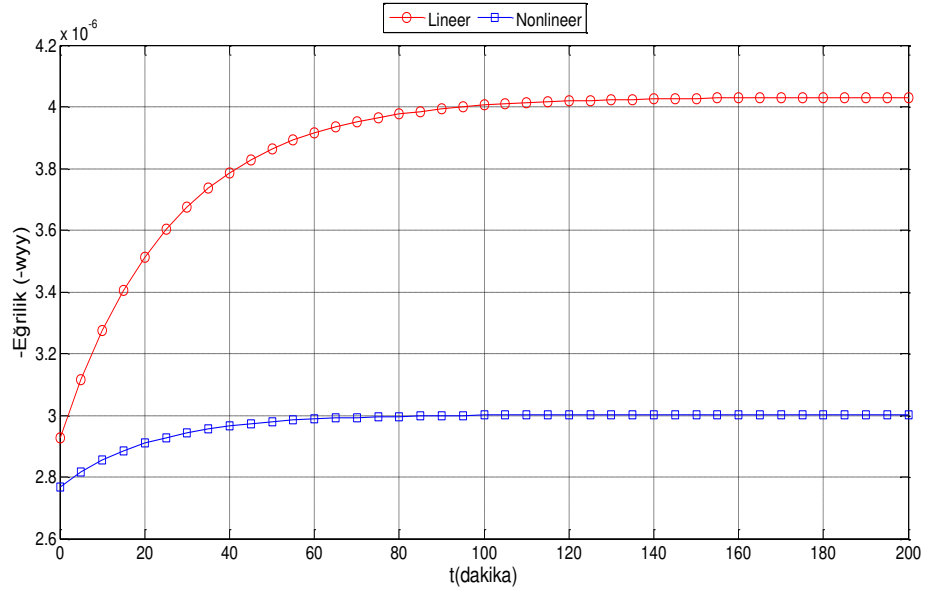
aşamasında Matlab programı kullanılmış, program girdileri ekler bölümünde sunulmuştur.



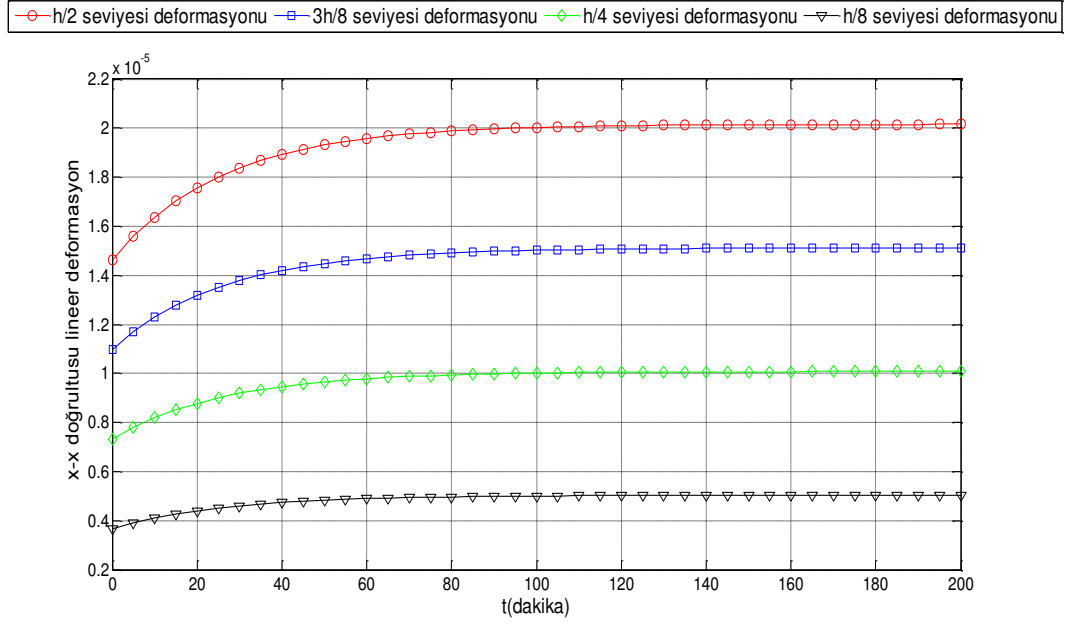
Şekil 5.1 Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak



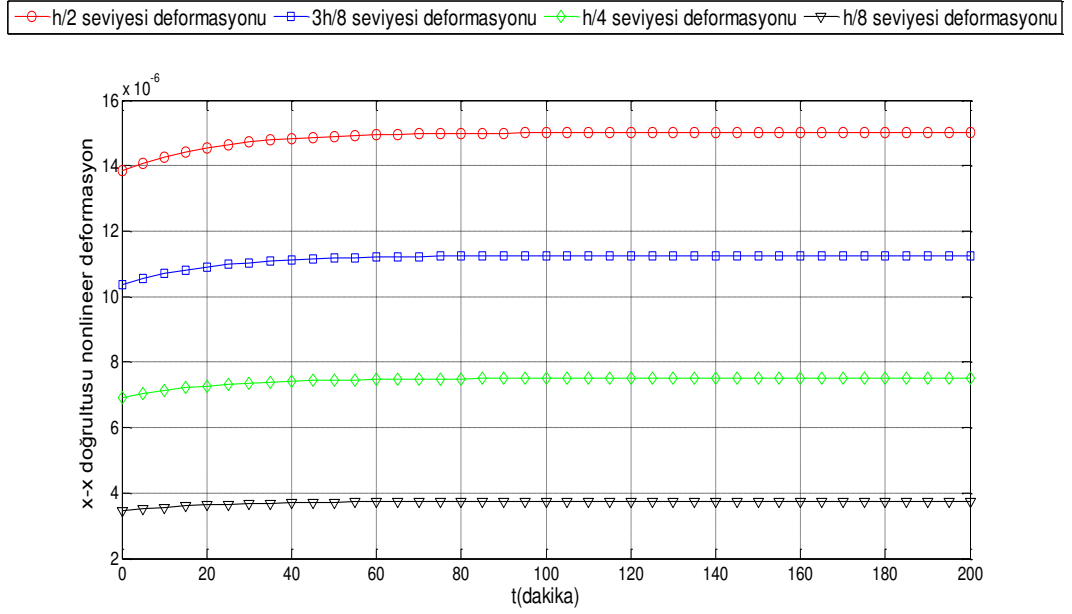
Şekil 5.2 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi



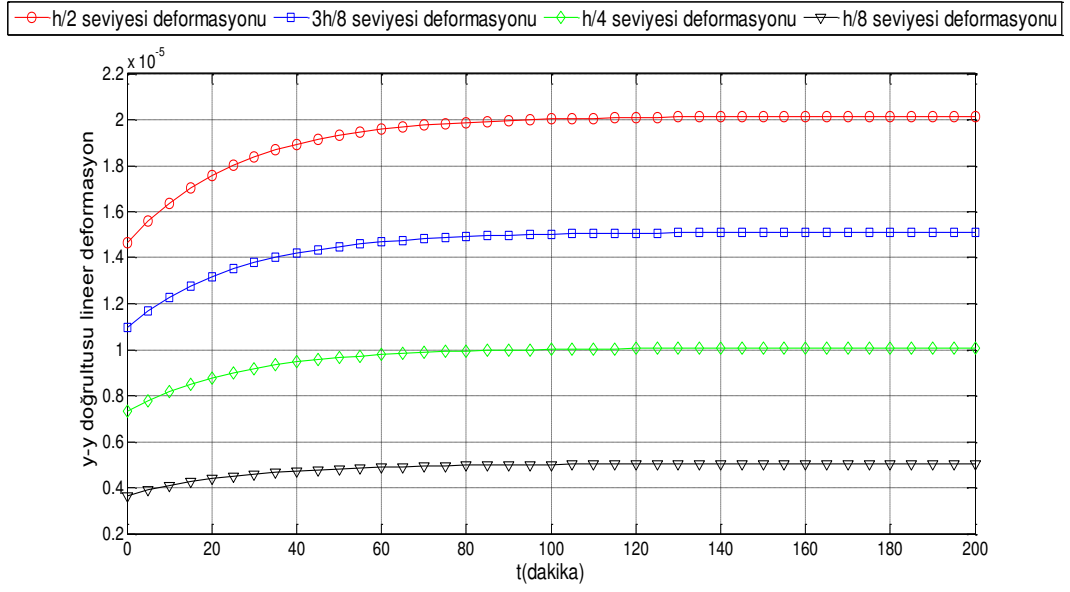
Şekil 5.3 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi



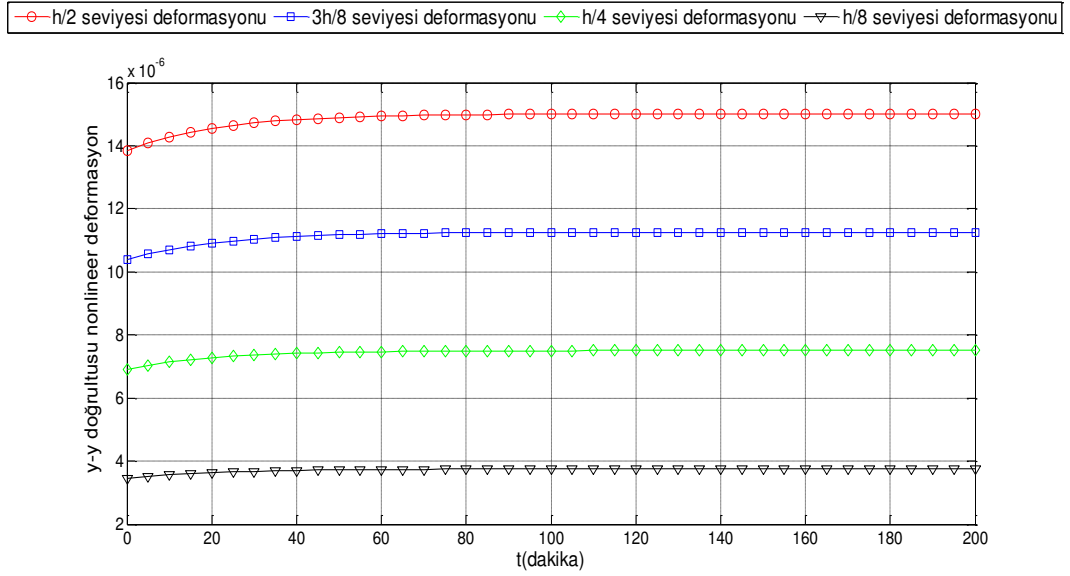
Şekil 5.4 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi



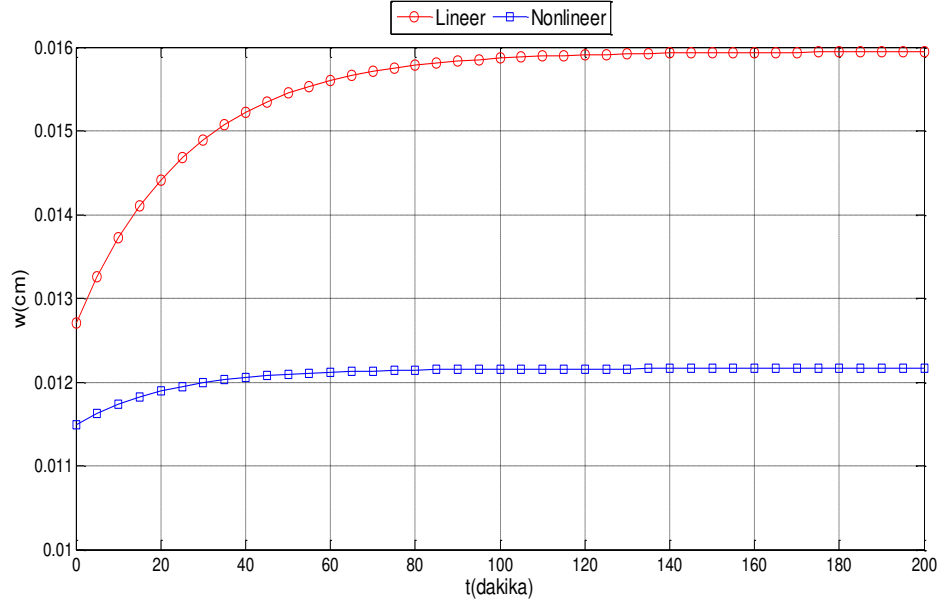
Şekil 5.5 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi



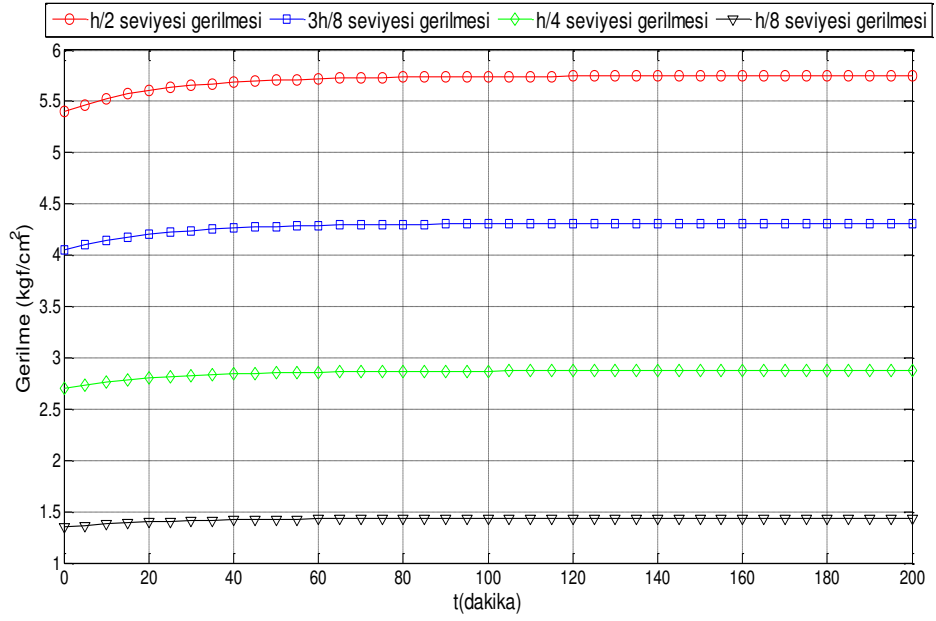
Şekil 5.6 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi



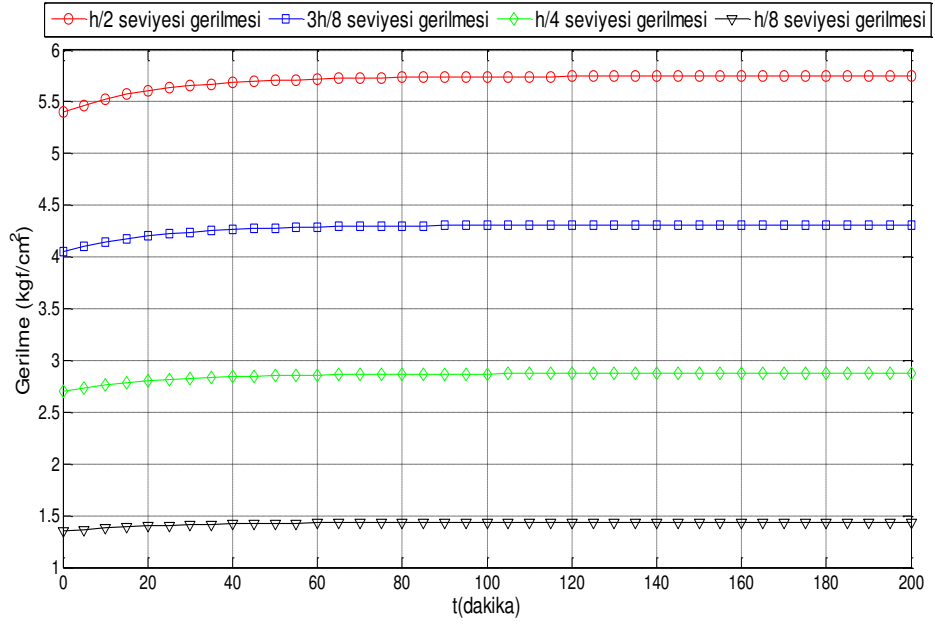
Şekil 5.7 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi



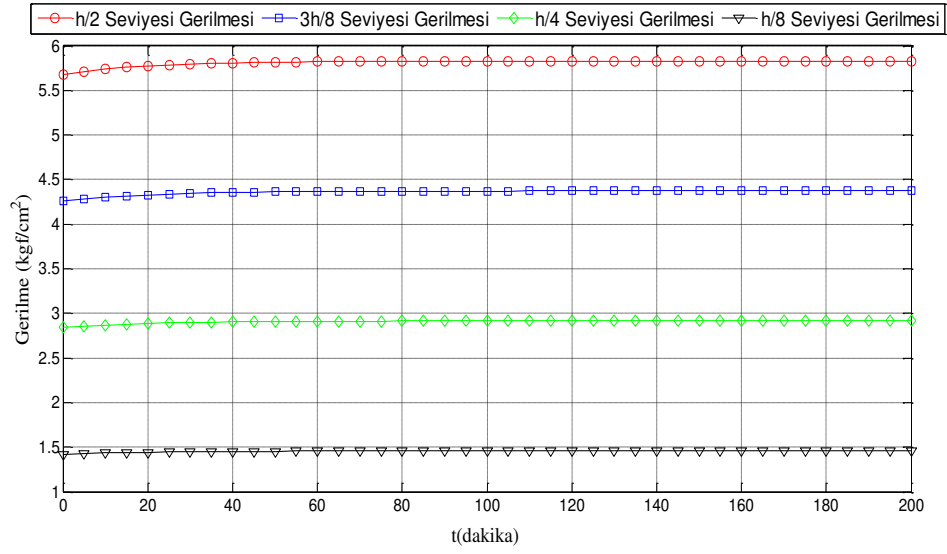
Şekil 5.8 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi



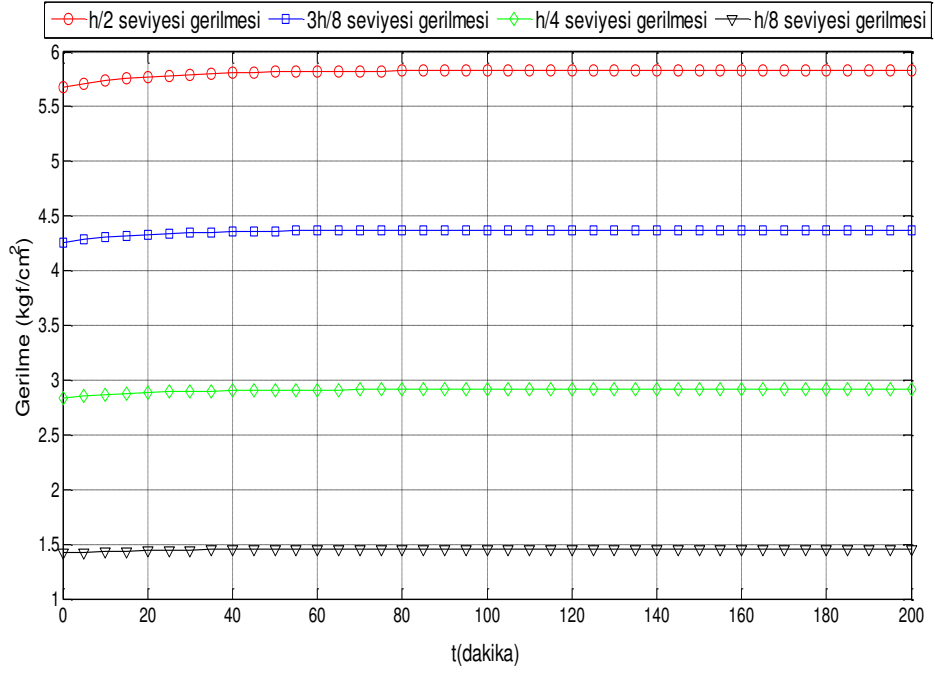
Şekil 5.9 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.10 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.11 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.12 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi

Şekil 5.2 ve 5.3 ile gösterilen grafiklerde x-x ve y-y doğrultusundaki eğrilikler mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için aynıdır. Belirlenen zaman aralığı içerisinde lineer eğrilikler, nonlinear eğriliklere nazaran daha fazla değişim göstermiştir.

Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6, 5.7 ile gösterilen grafiklerde x-x, y-y doğrultusundaki lineer ve nonlinear deformasyon mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için yine aynıdır. Lineer viskoelastik malzemeli durum için elde edilen deformasyon grafikleri nonlinear duruma kıyasla daha fazla artış göstermiştir. Deformasyonlarda lineer ve nonlinear durumların ikisinde de plak tarafsız ekseninden uzaklaştıkça, belirlenen zaman içerisinde daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, deformasyonların kesit içerisindeki dağılımının lineer olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda tarafsız eksen kotunda kesitin uğradığı deformasyon mertebesi zamandan bağımsız ve sıfırdır.

Şekil 5.8'e bakıldığında, lineer viskoelastik malzemeli plaktaki deplasmanların mertebesi ve değişimleri nonlinear viskoelastik malzemeli duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11, 5.12 ile gösterilen grafiklerde x-x, y-y doğrultusundaki lineer ve nonlinear gerilme mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için aynıdır. Lineer viskoelastik malzemeli durumda gerilme değişimi nonlinear viskoelastik duruma göre daha fazladır.

5.2 Kenarlarından Sabit Mesnetli Tekil Yüklü Kare Plak

Şekil 5.13'te gösterilen ince kare plak kenarlarından sabit mesnetli, tekil yüklüdür. Kenar uzunluğu 200 cm olan kare plağın kesiti sabit olup kalınlığı 10 cm'dir. Tekil yükün değeri $P = 100 \text{ kg}'$ dir. Plak malzemesine bağlı özellikler aşağıdaki gibidir.

$$E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_1 = 20 \text{ dakika}$$

$$\Delta t = 5 \text{ dakika}$$

$$p_0 = 1,1$$

$$p_1 = 1,105$$

$$v = 0,3$$

E: Elastisite Modülü

k_i : Yay Katsayısı

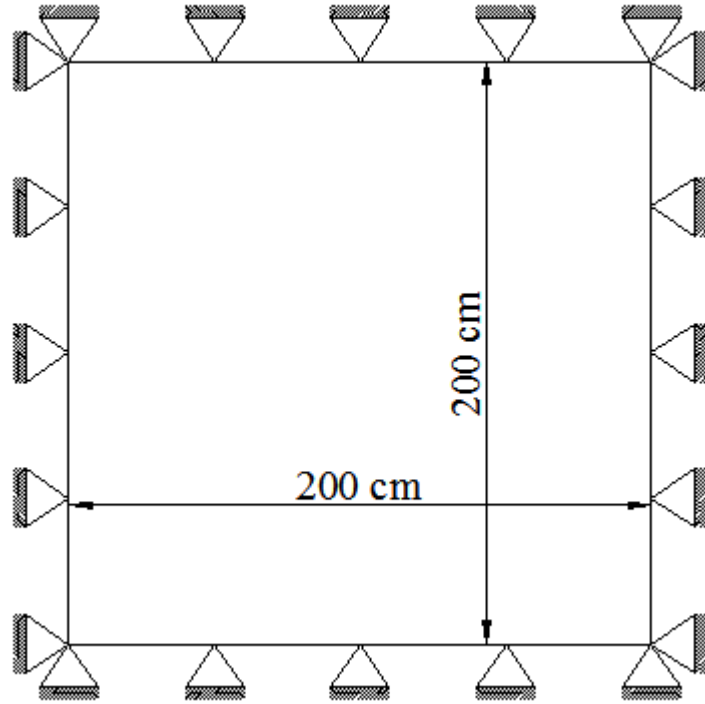
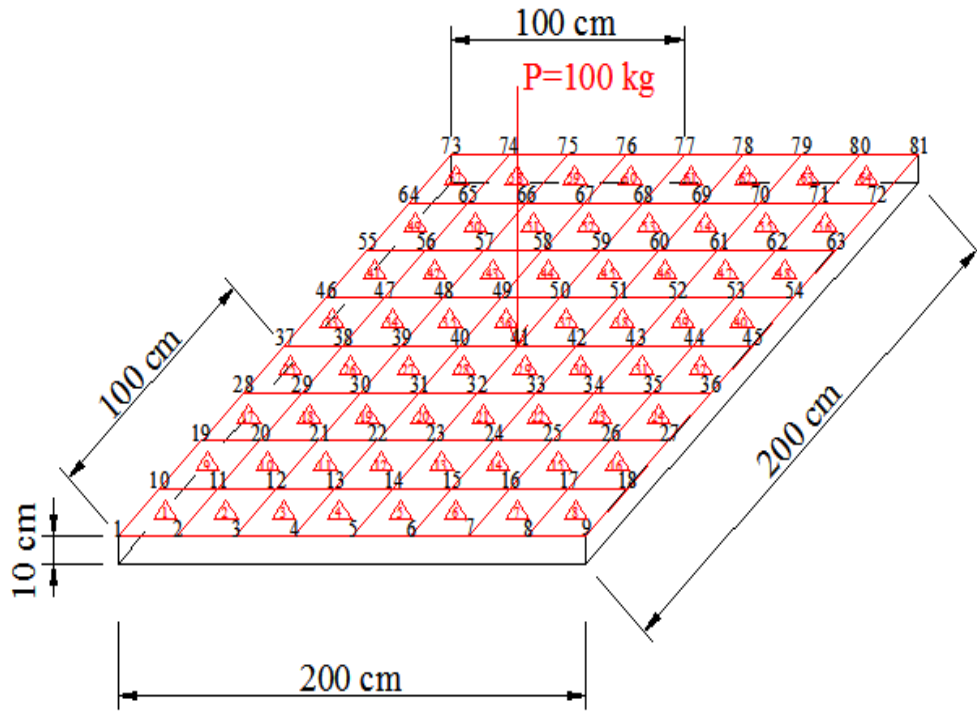
λ : Gecikme Zamanı

Δt : Zaman Aralığı

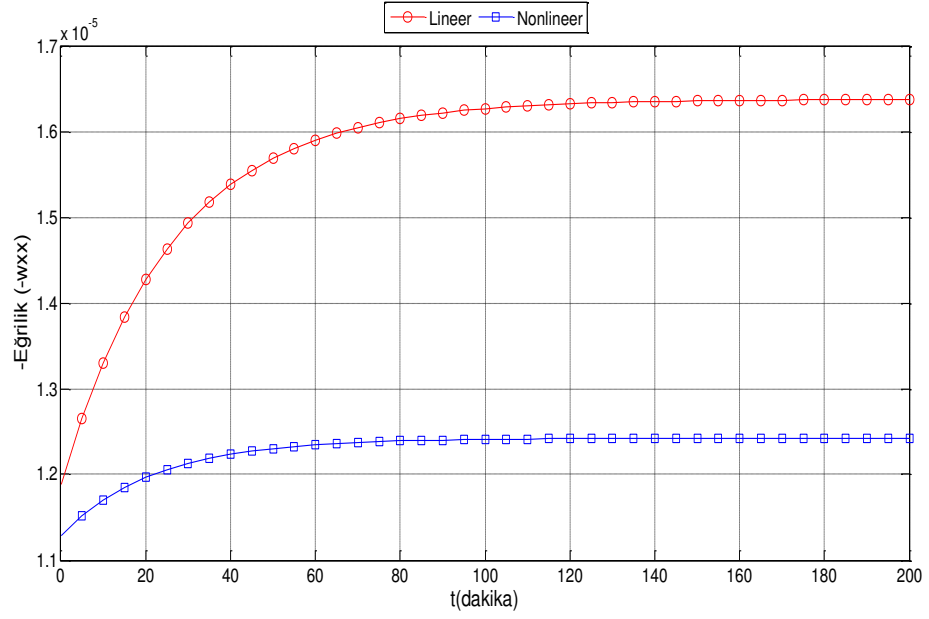
p_i : Nonlinear Malzeme Katsayıları

v : Poisson Oranı

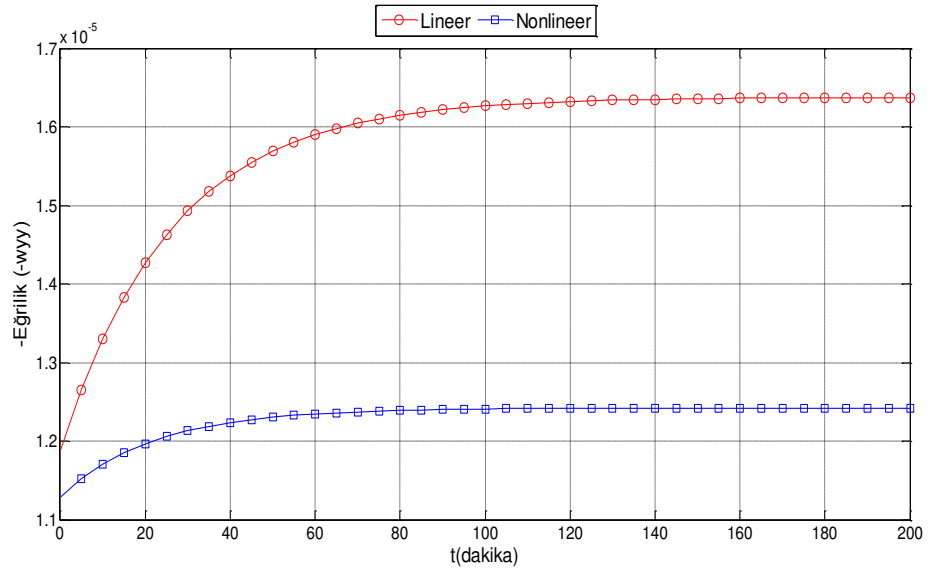
Yukarıdaki değerlere göre viskoelastik malzemeli, kenarlarından sabit mesnetli, tekil yüklü kare plağın çözümü 64 adet sonlu eleman kullanılarak yapılmış olup; orta noktasındaki x ve y yönü için eğrilik zaman ilişkisi, x ve y yönleri $h/2$, $3h/8$, $h/4$, $h/8$ seviyelerinde lineer ve nonlinear deformasyon zaman ilişkisi, deplasman zaman ilişkisi, x ve y yönleri lineer ve nonlinear gerilme grafikleri elde edilmiştir. Çözüm aşamasında Matlab programı kullanılmış, program girdileri ekler bölümünde sunulmuştur.



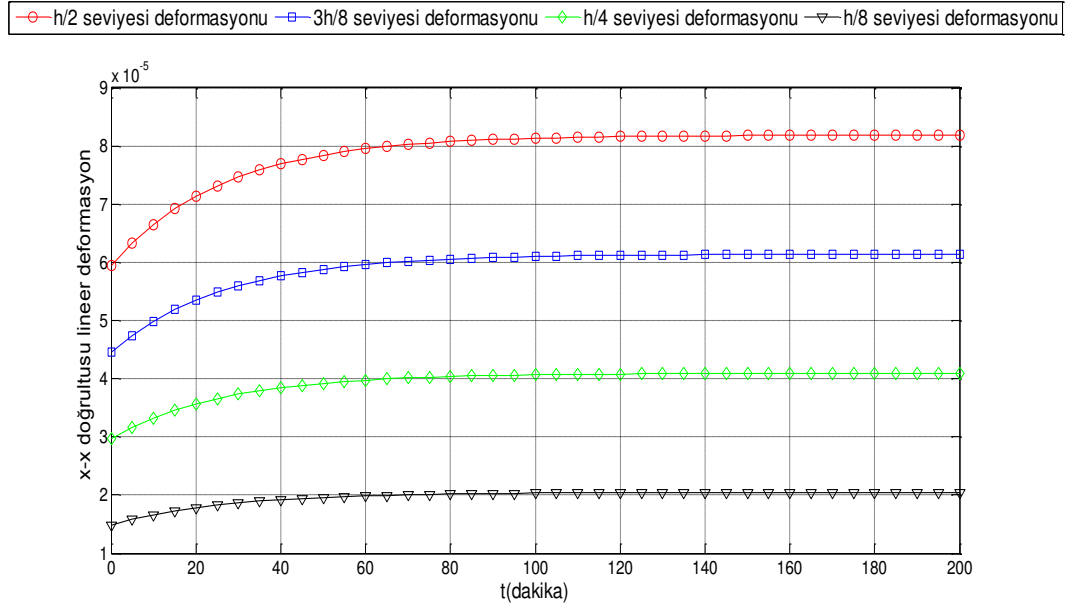
Şekil 5.13 Kenarlarından sabit mesnetli tekil yüklü kare plak



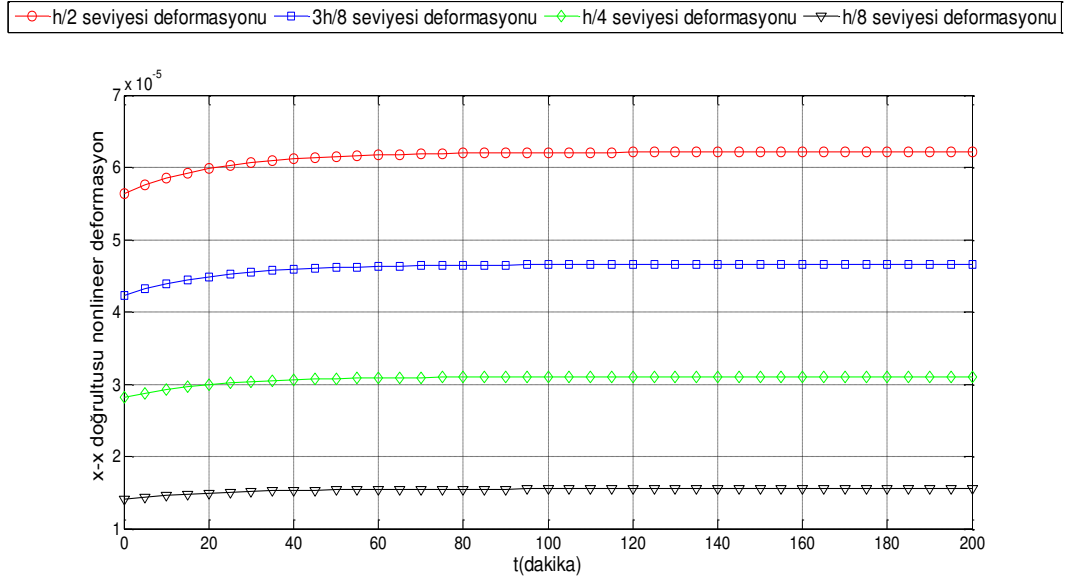
Şekil5.14 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi



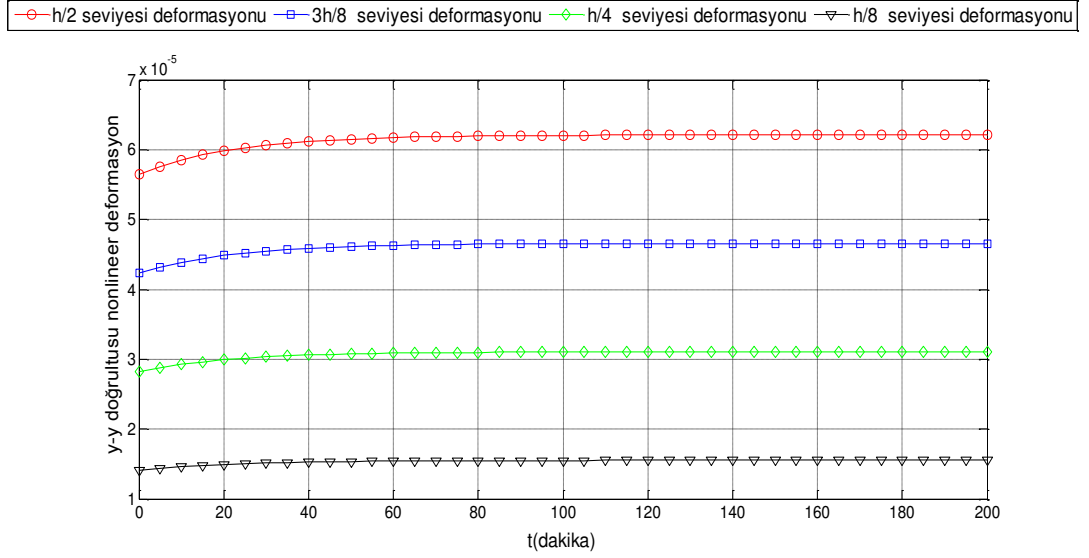
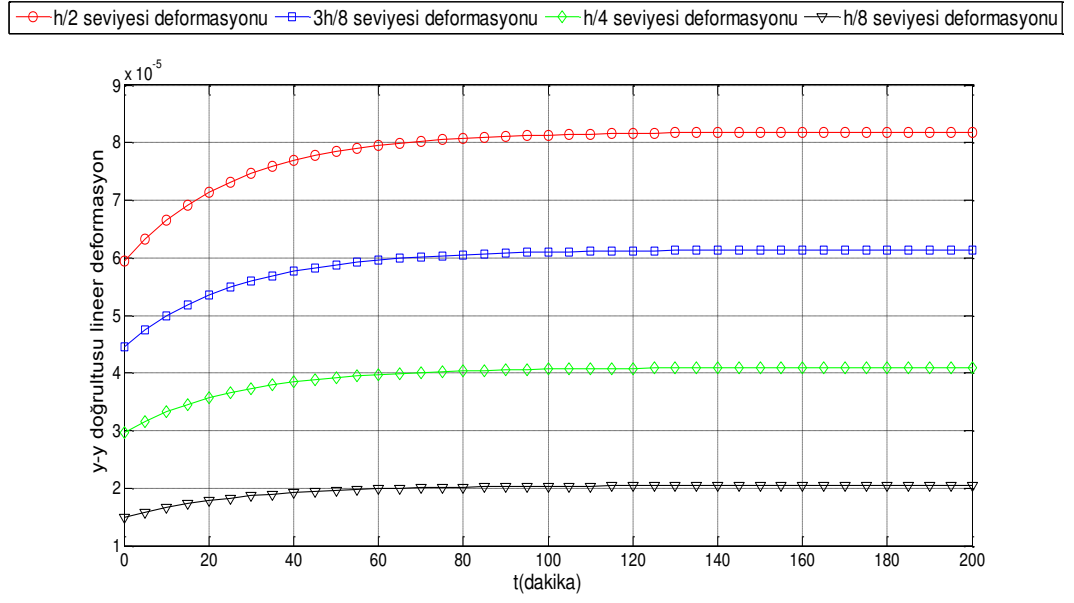
Şekil 5.15 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi

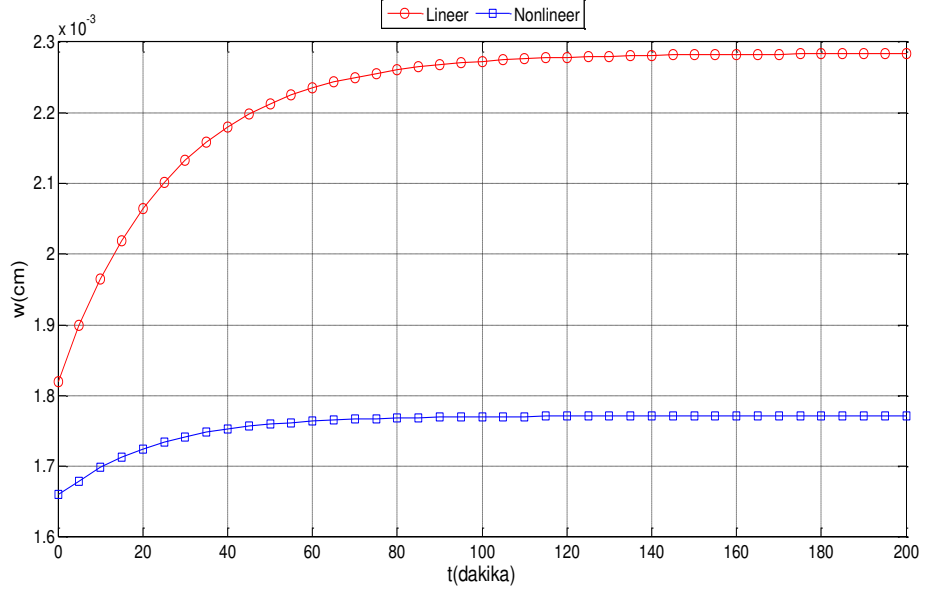


Şekil 5.16 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi

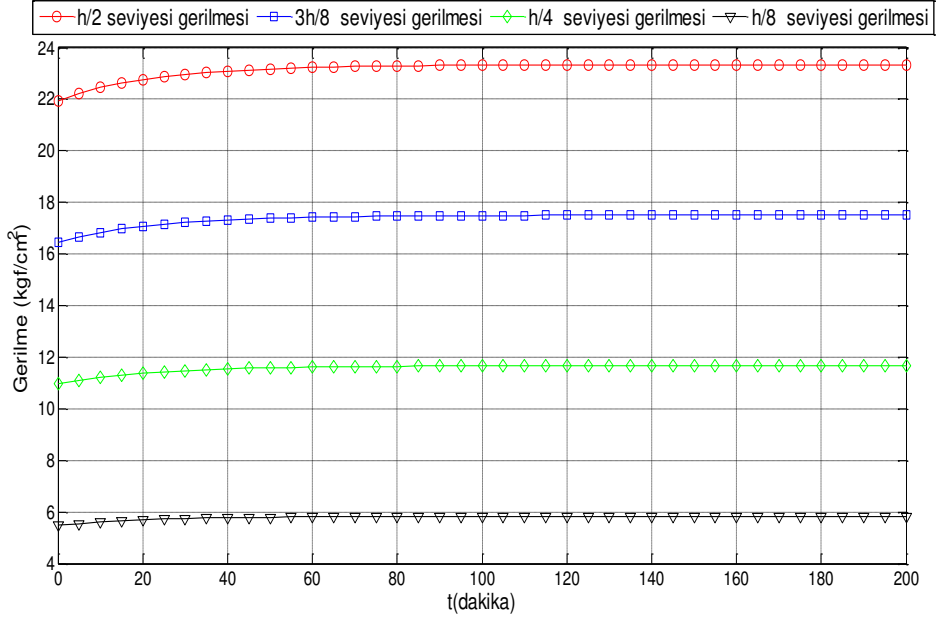


Şekil 5.17 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi

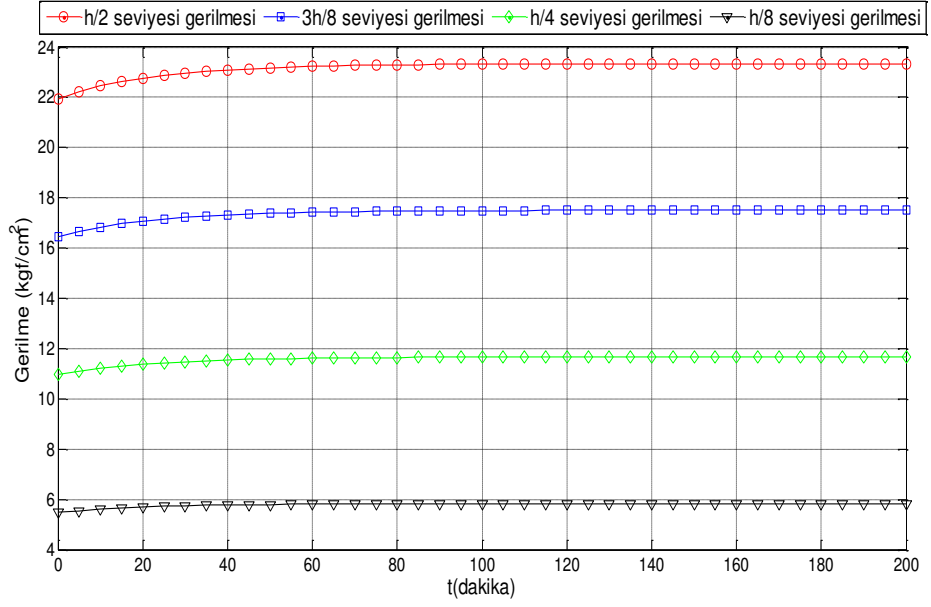




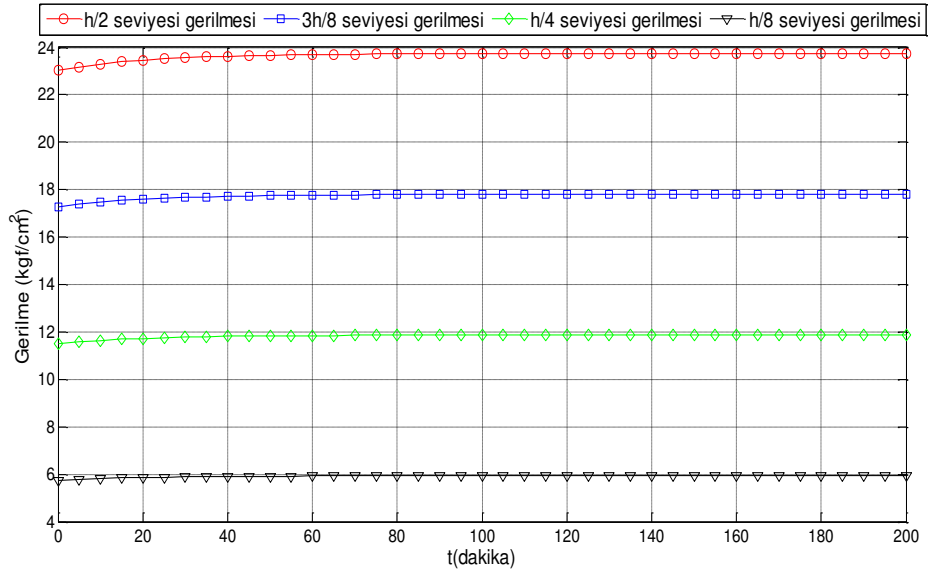
Şekil 5.20 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi



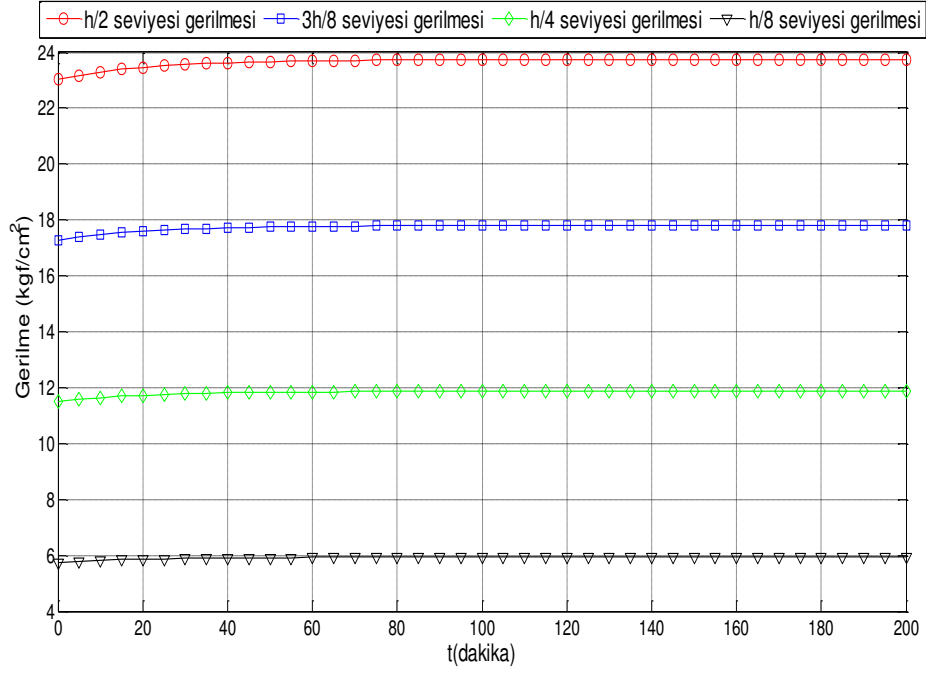
Şekil 5.21 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.22 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.23 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.24 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi

Şekil 5.14 ve 5.15 ile gösterilen grafiklerde x-x ve y-y doğrultusundaki eğrilikler mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için aynıdır. Belirlenen zaman aralığı içerisinde lineer eğrilikler, nonlinear eğriliklere nazaran daha fazla değişim göstermiştir.

Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18, 5.19 ile gösterilen grafiklerde x-x, y-y doğrultusundaki lineer ve nonlinear deformasyon mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için yine aynıdır. Lineer viskoelastik malzemeli durum için elde edilen deformasyon grafikleri nonlinear duruma kıyasla daha fazla artış göstermiştir. Deformasyonlarda lineer ve nonlinear durumların ikisinde de, plak tarafsız ekseninden uzaklaştıkça belirlenen zaman içerisinde daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, deformasyonların kesit içerisindeki dağılımının lineer olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda tarafsız eksen kotunda kesitin uğradığı deformasyon mertebesi zamandan bağımsız ve sıfırdır.

Şekil 5.20'ye bakıldığında, lineer viskoelastik malzemeli plaktaki deplasmanların mertebesi ve değişimleri nonlinear viskoelastik malzemeli duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.21, 5.22 ve 5.23, 5.24 ile gösterilen grafiklerde x-x, y-y doğrultusundaki lineer ve nonlinear gerilme mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için aynıdır. Lineer viskoelastik malzemeli durumda gerilme değişimi nonlinear viskoelastik duruma göre daha fazladır.

5.3 Kenarlarından Ankastre Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

Şekil 5.25'te gösterilen ince kare plak kenarlarından ankastre mesnetli, üniform yayılı yüklüdür. Kenar uzunluğu 200 cm olan kare plağın kesiti sabit olup kalınlığı 10 cm'dir. Yayılı yükün değeri $q = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ dir. Plak malzemesine bağlı özellikler aşağıdaki gibidir.

$$E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_1 = 20 \text{ dakika}$$

$$\Delta t = 5 \text{ dakika}$$

$$p_0 = 1,1$$

$$p_1 = 1,105$$

$$v = 0,3$$

E: Elastisite Modülü

k_i : Yay Katsayısı

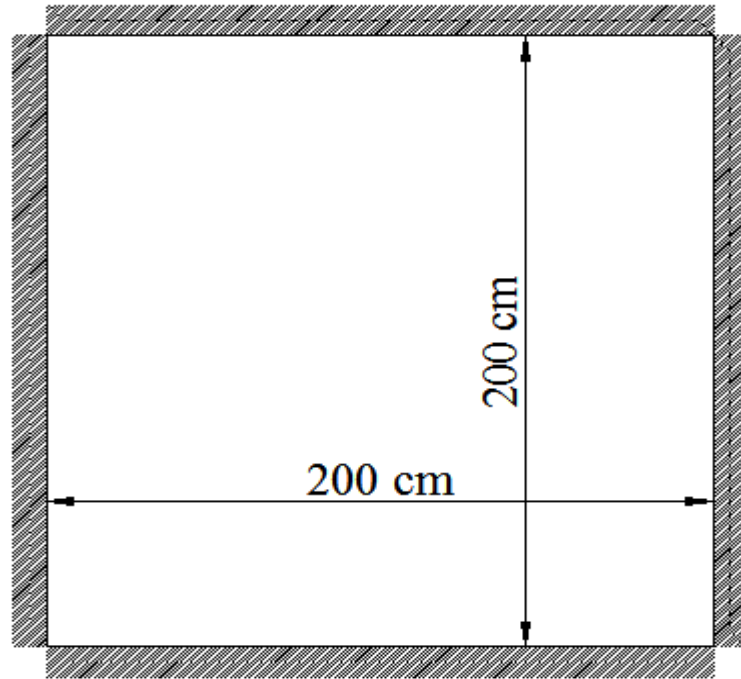
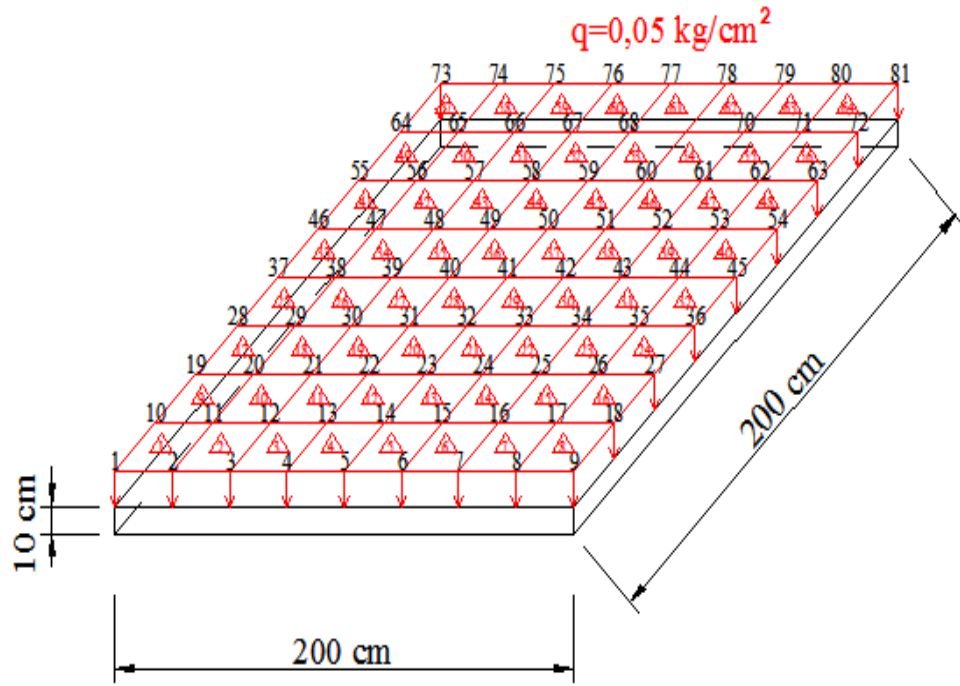
λ : Gecikme Zamanı

Δt : Zaman Aralığı

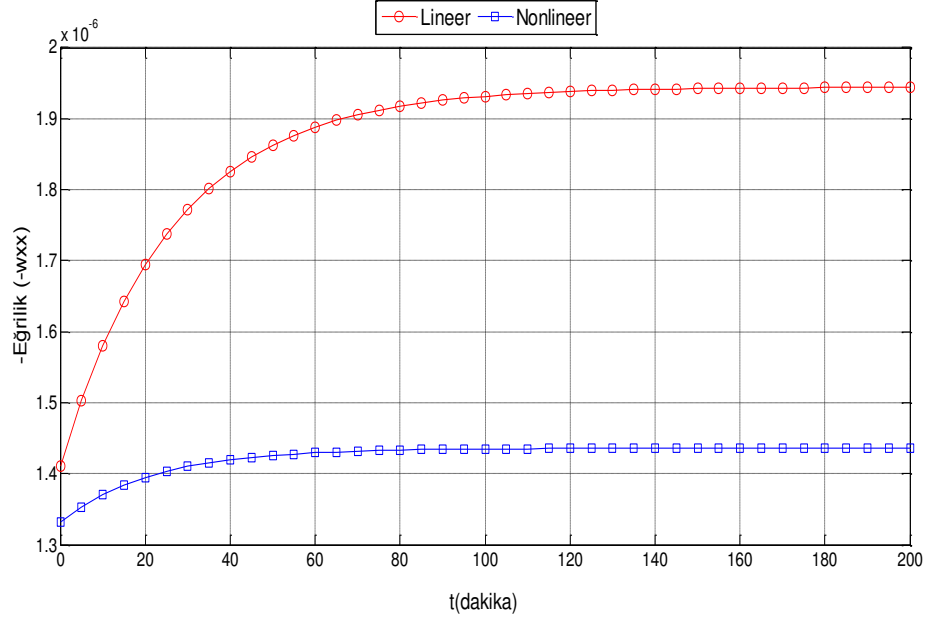
p_i : Nonlinear Malzeme Katsayıları

v : Poisson Oranı

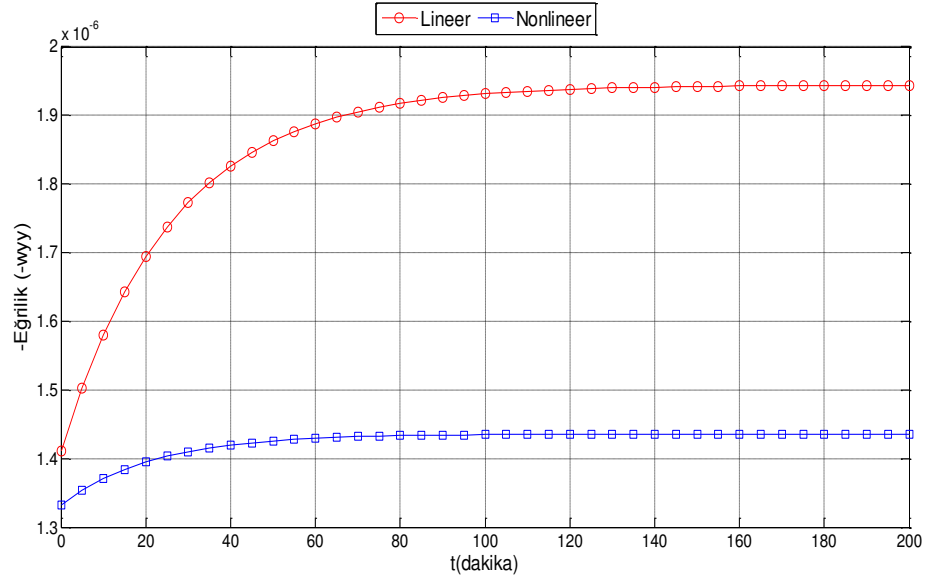
Bu değerlere göre viskoelastik malzemeli, kenarlarından ankastre mesnetli, üniform yayılı yüklü kare plağın çözümü 64 adet sonlu eleman kullanılarak yapılmış olup; orta noktasındaki x ve y yönü için eğrilik zaman ilişkisi, x ve y yönleri $h/2$, $3h/8$, $h/4$, $h/8$ seviyelerinde lineer ve nonlinear deformasyon zaman ilişkisi, deplasman zaman ilişkisi, x ve y yönleri lineer ve nonlinear gerilme grafikleri elde edilmiştir. Çözüm aşamasında Matlab programı kullanılmış, program girdileri ekler bölümünde sunulmuştur.



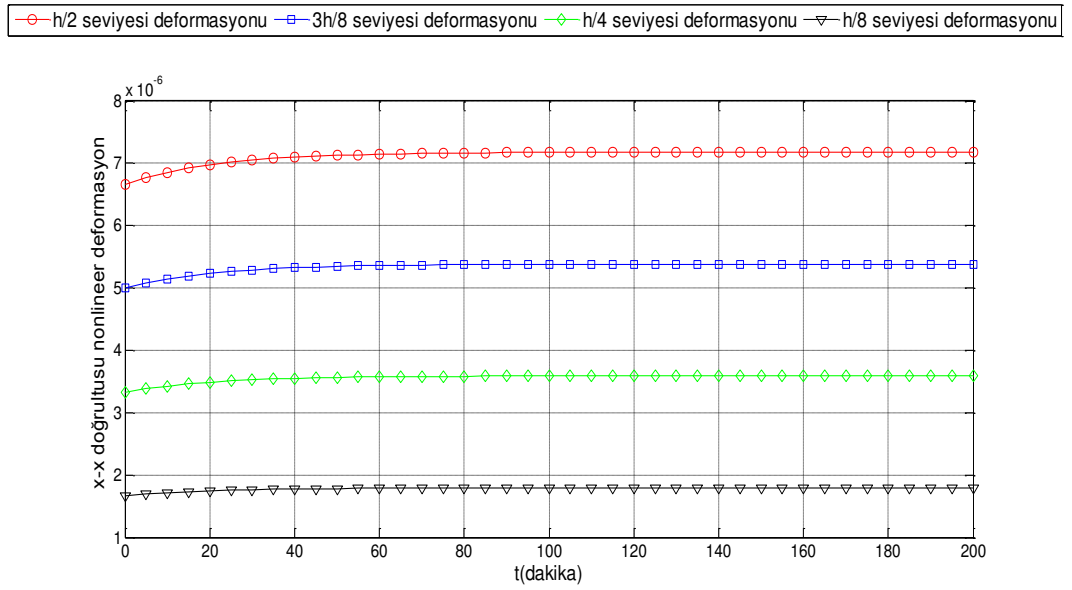
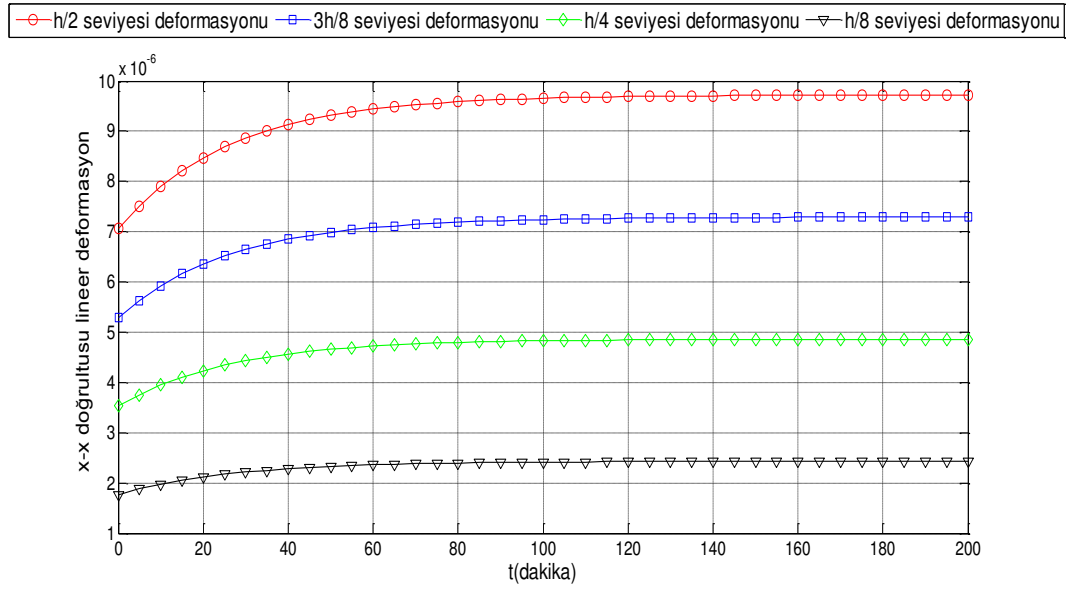
Şekil 5.25 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak

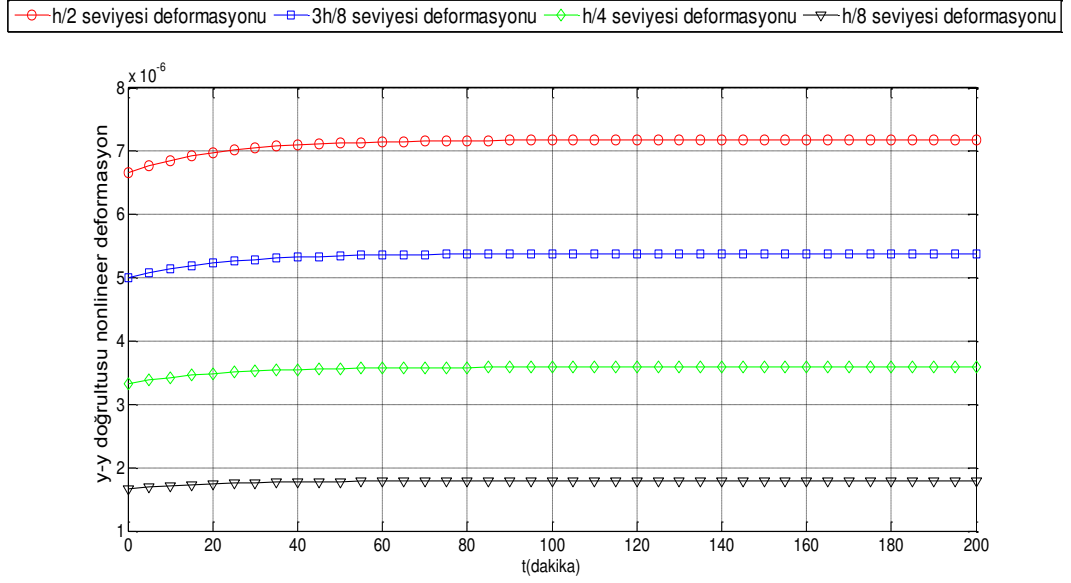
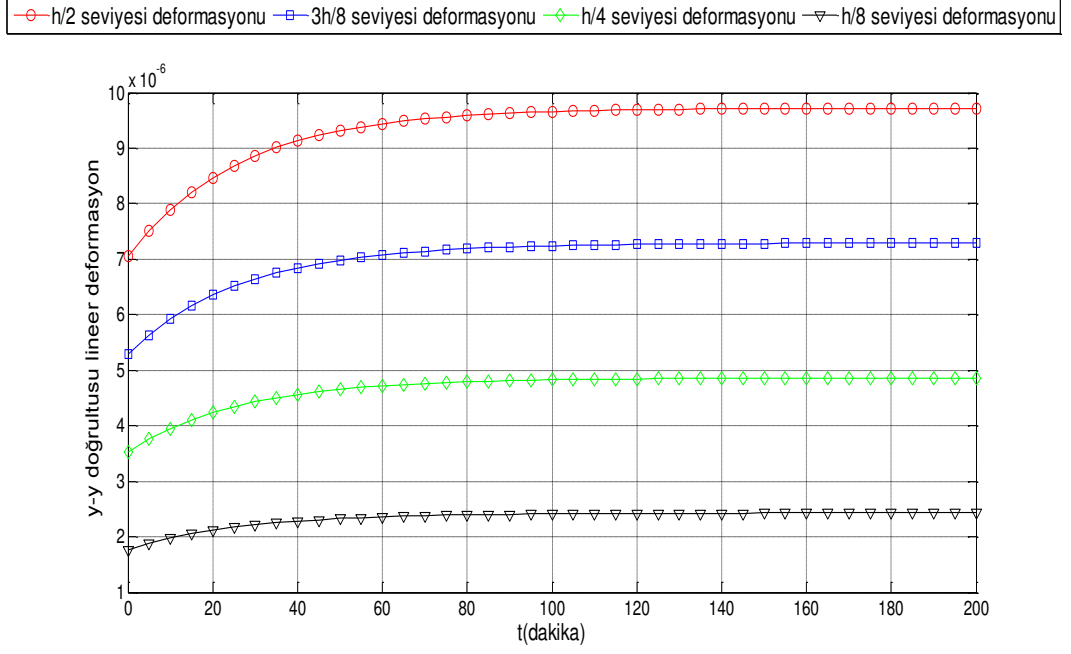


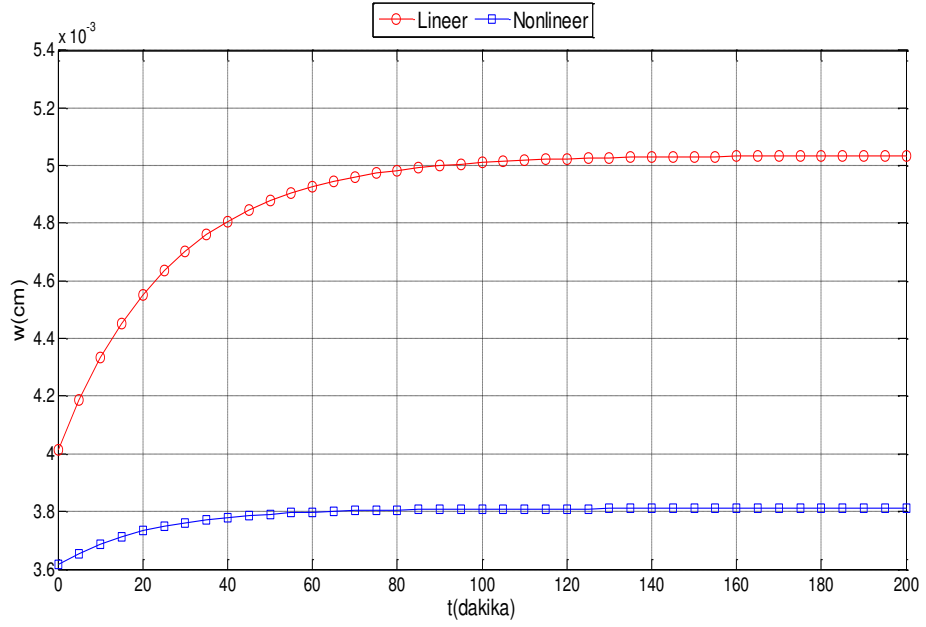
Şekil5.26 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi



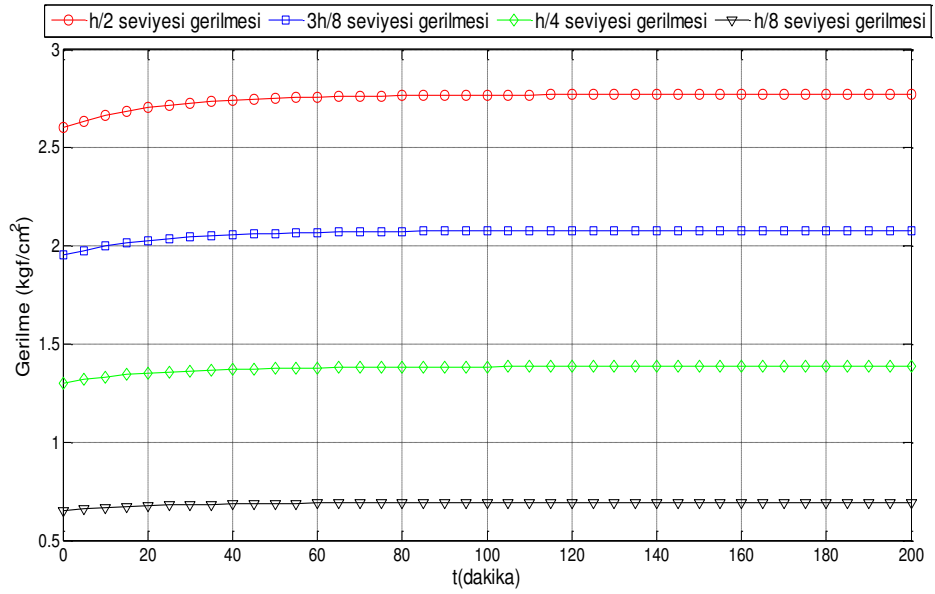
Şekil 5.27 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi



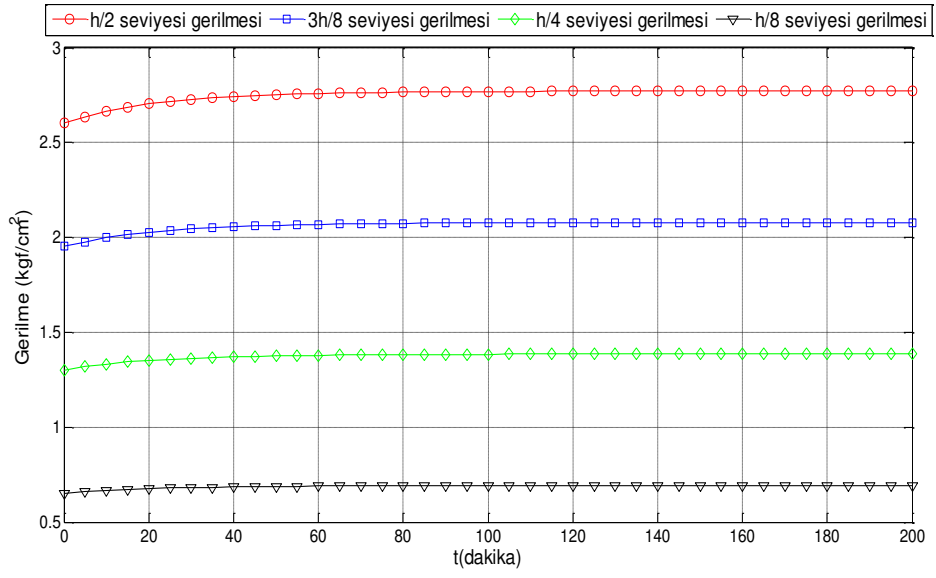




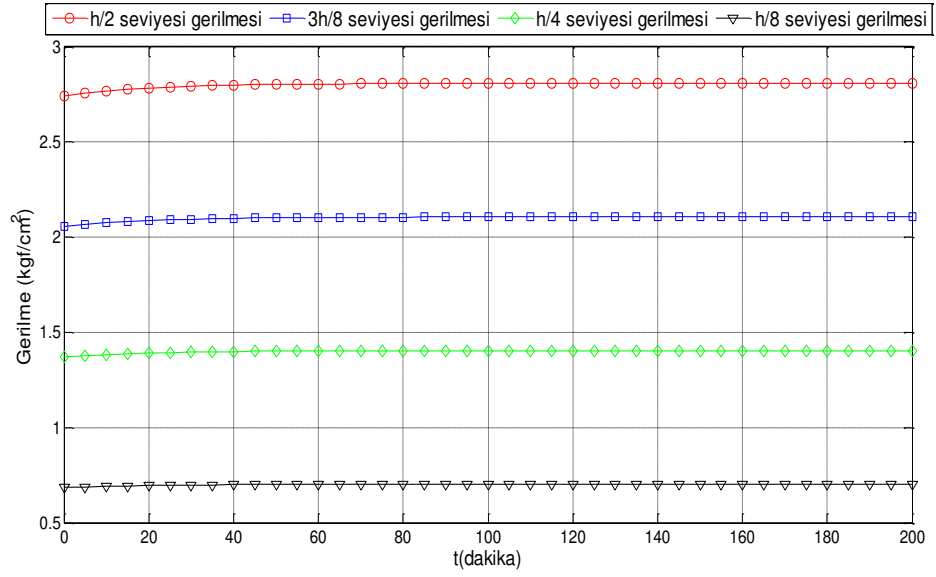
Şekil 5.32 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi



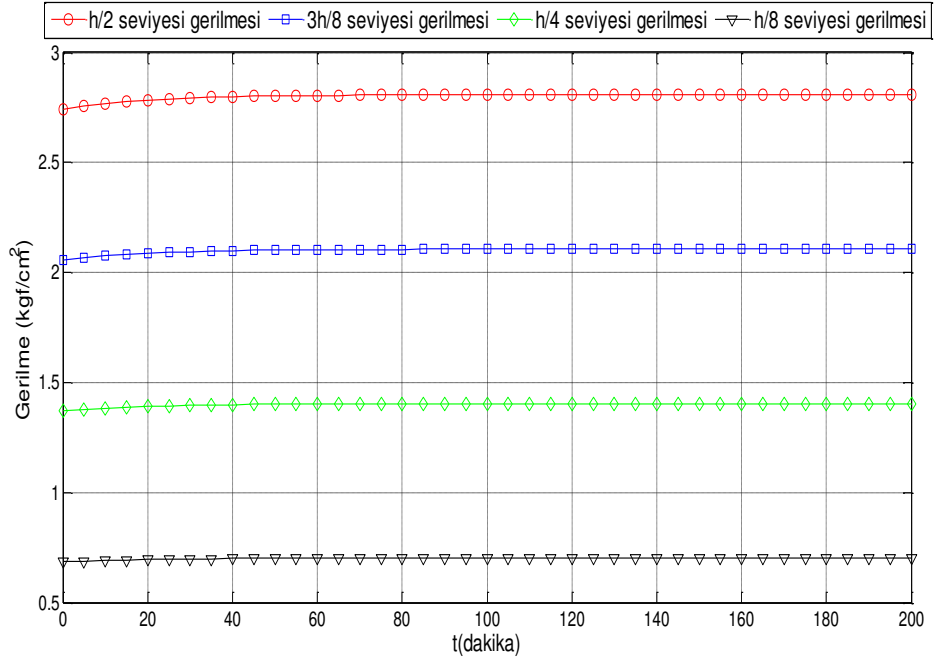
Şekil 5.33 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.34 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.35 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.36 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi

Şekil 5.26 ve 5.27 ile gösterilen grafiklerde x-x ve y-y doğrultusundaki eğrilikler mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için aynıdır. Belirlenen zaman aralığı içerisinde lineer eğrilikler, nonlinear eğriliklere nazaran daha fazla değişim göstermiştir.

Şekil 5.28, 5.29 ve 5.30, 5.31 ile gösterilen grafiklerde x-x, y-y doğrultusundaki lineer ve nonlinear deformasyon mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için yine aynıdır. Lineer viskoelastik malzemeli durum için elde edilen deformasyon grafikleri nonlinear duruma kıyasla daha fazla artış göstermiştir. Deformasyonlarda lineer ve nonlinear durumların ikisinde de, plak tarafsız ekseninden uzaklaştıkça belirlenen zaman içerisinde daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, deformasyonların kesit içerisindeki dağılımının lineer olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda tarafsız eksen kotunda kesitin uğradığı deformasyon mertebesi zamandan bağımsız ve sıfırdır.

Şekil 5.32'ye bakıldığında, lineer viskoelastik malzemeli plaktaki deplasmanların mertebesi ve değişimleri nonlinear viskoelastik malzemeli duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.33, 5.34 ve 5.35, 5.36 ile gösterilen grafiklerde x-x, y-y doğrultusundaki lineer ve nonlinear gerilme mesnet ve yükleme koşulları simetrik olduğu için aynıdır. Lineer viskoelastik malzemeli durumda gerilme değişimi nonlinear viskoelastik duruma göre daha fazladır.

5.4 Karşılıklı İki Kenarından Sabit Mesnetli Diğer Kenarları Boşta Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

Şekil 5.37’de gösterilen ince kare plak karşılıklı iki kenarından sabit mesnetli, diğer iki kenarı boşta olmak üzere üniform yayılı yük ile yüklenmiştir. Kenar uzunluğu 200 cm olan kare plağın kesiti sabit olup kalınlığı 10 cm’dir. Yayılı yükün değeri $q = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ dir. Plak malzemesine bağlı özellikler aşağıdaki gibidir.

$$E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_1 = 20 \text{ dakika}$$

$$\Delta t = 5 \text{ dakika}$$

$$p_0 = 1,1$$

$$p_1 = 1,105$$

$$\nu = 0,3$$

E: Elastisite Modülü

k_i : Yay Katsayısı

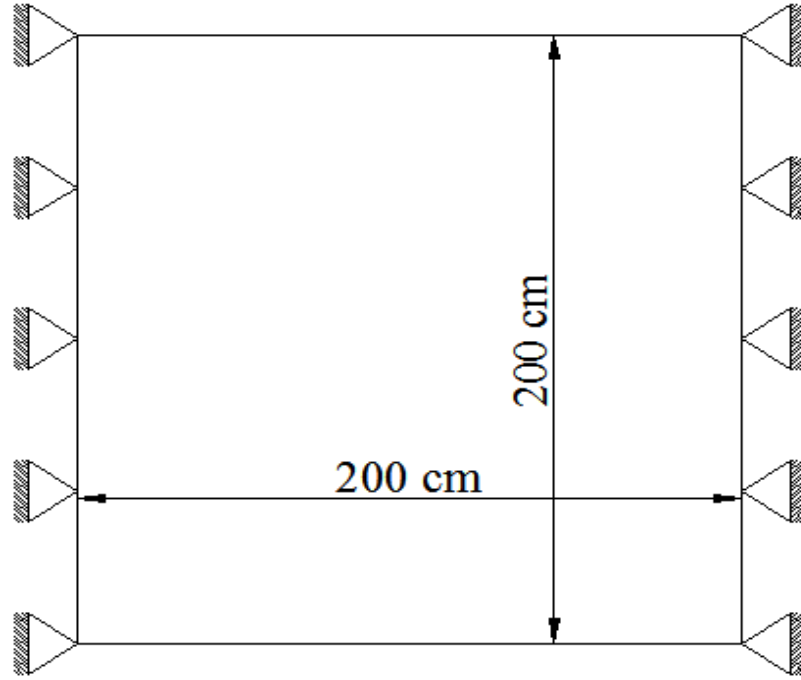
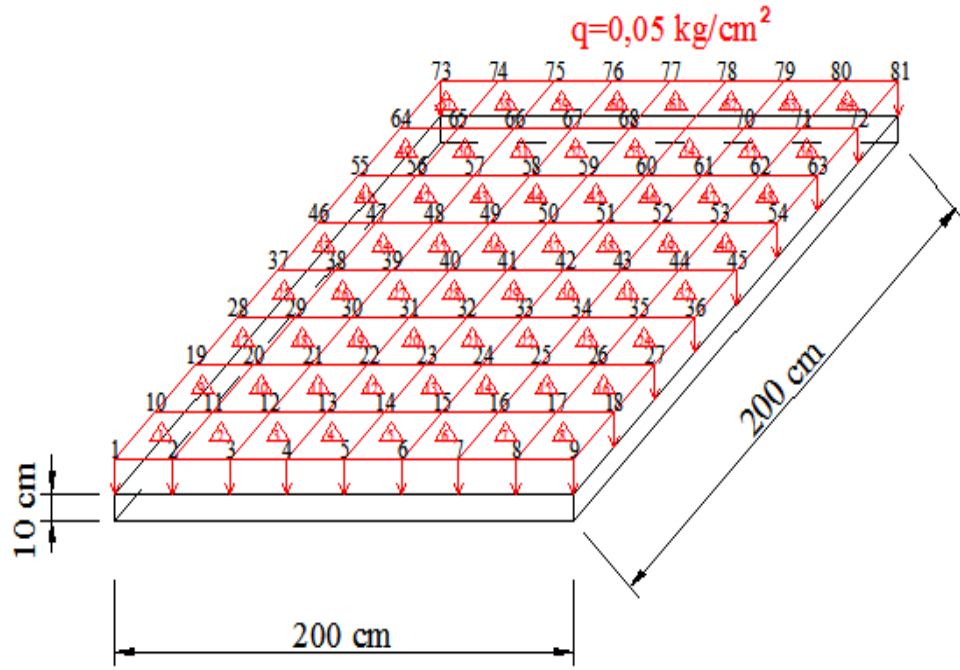
λ : Gecikme Zamanı

Δt : Zaman Aralığı

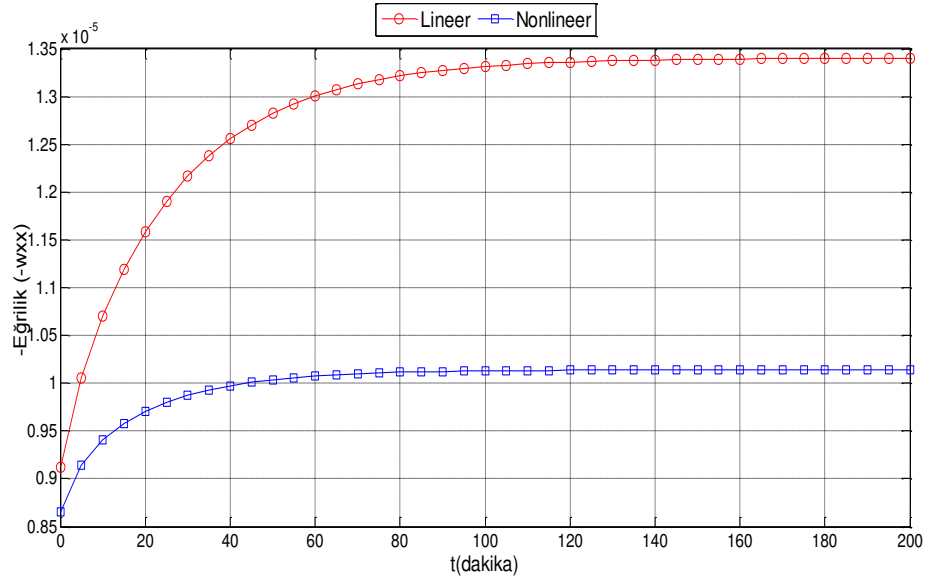
p_i : Nonlineer Malzeme Katsayıları

ν : Poisson Oranı

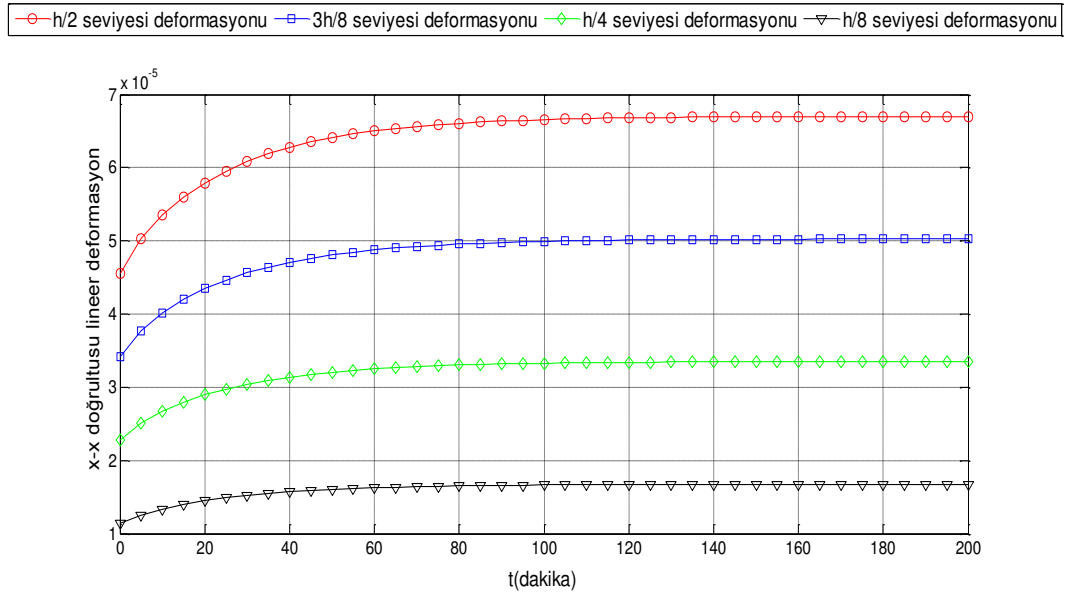
Verilen bu değerler ile viskoelastik malzemeli, karşılıklı iki kenarından sabit mesnetli, diğer iki kenarı boşta olan üniform yayılı yüklü kare plağın çözümü 64 adet sonlu eleman kullanılarak yapılmış olup; orta noktasındaki x ve y yönü için eğrilik zaman ilişkisi, x ve y yönleri $h/2$, $3h/8$, $h/4$, $h/8$ seviyelerinde lineer ve nonlineer deformasyon zaman ilişkisi, deplasman zaman ilişkisi, x ve y yönleri lineer ve nonlineer gerilme grafikleri elde edilmiştir. Çözüm aşamasında Matlab programı kullanılmış, program girdileri ekler bölümünde sunulmuştur.



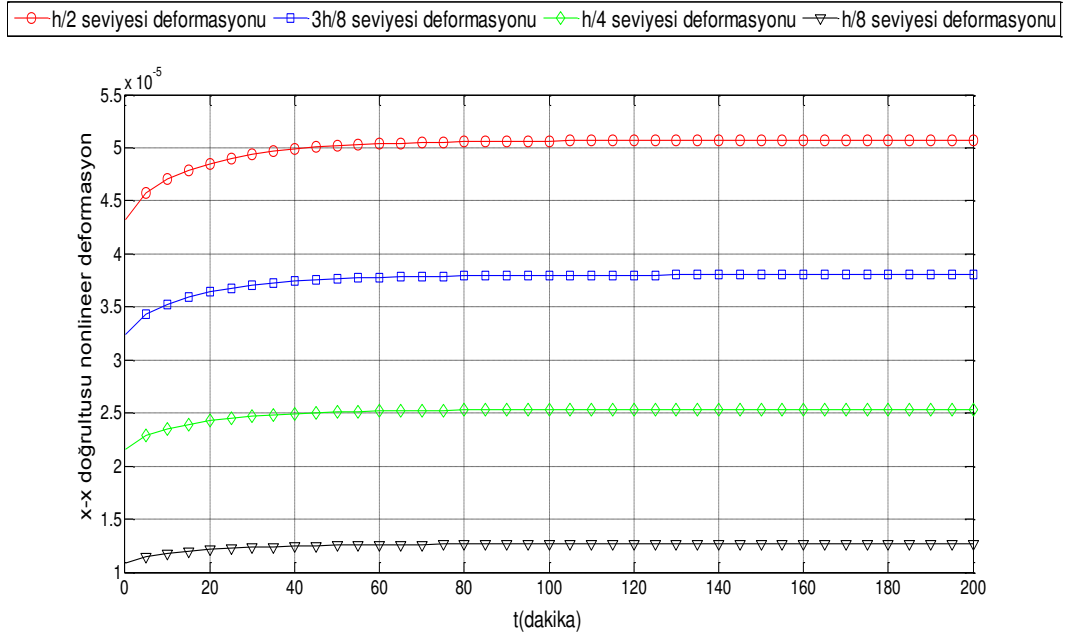
Şekil 5.37 Karşılıklı iki kenarından sabit mesnetli diğer kenarları boşa üniform yayılı yüklü kare plak



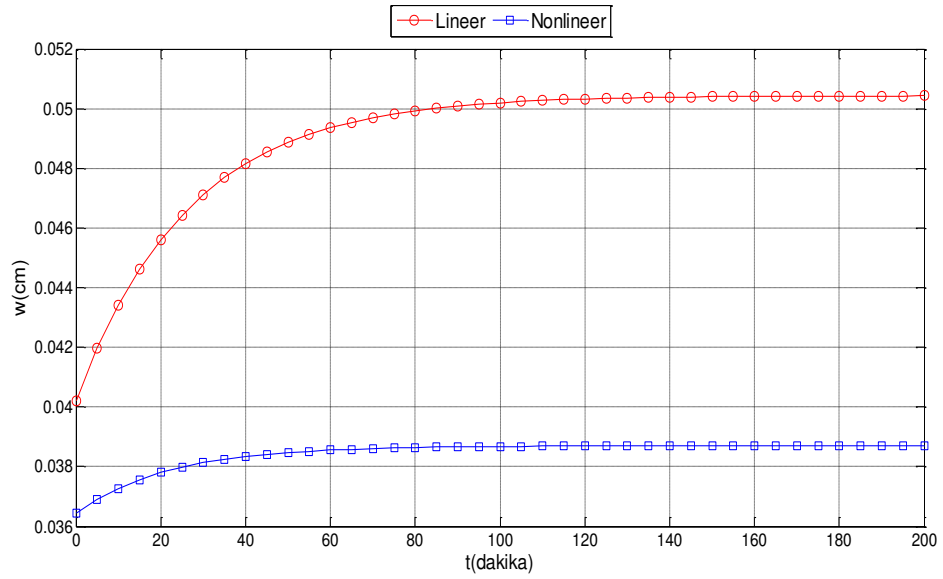
Şekil5.38 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi



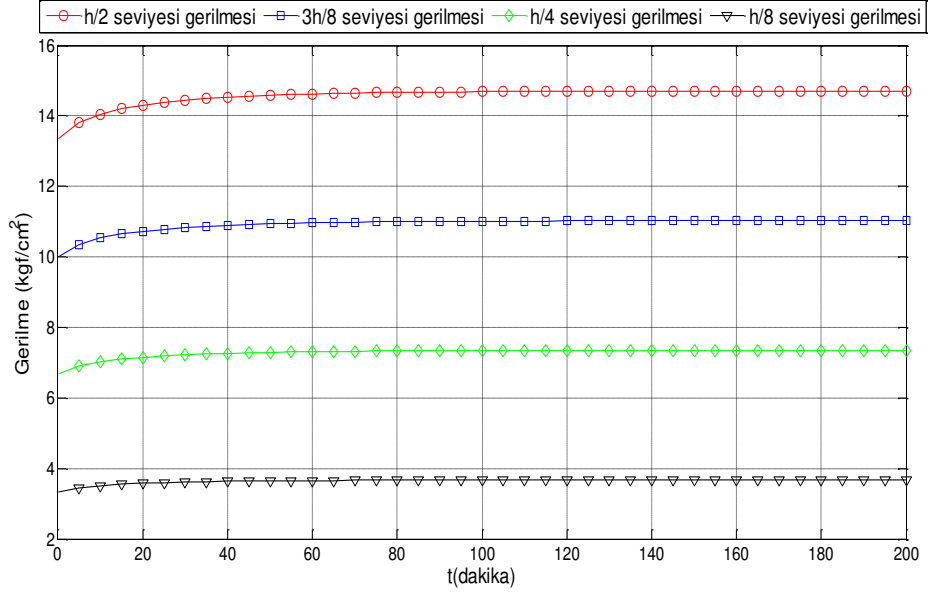
Şekil 5.39 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi



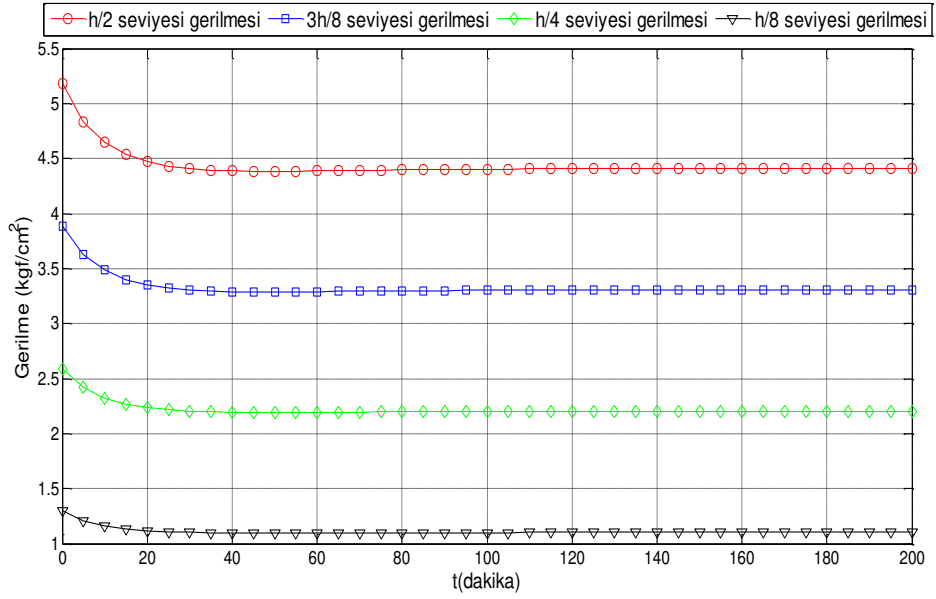
Şekil 5.40 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear deformasyonu – zaman ilişkisi



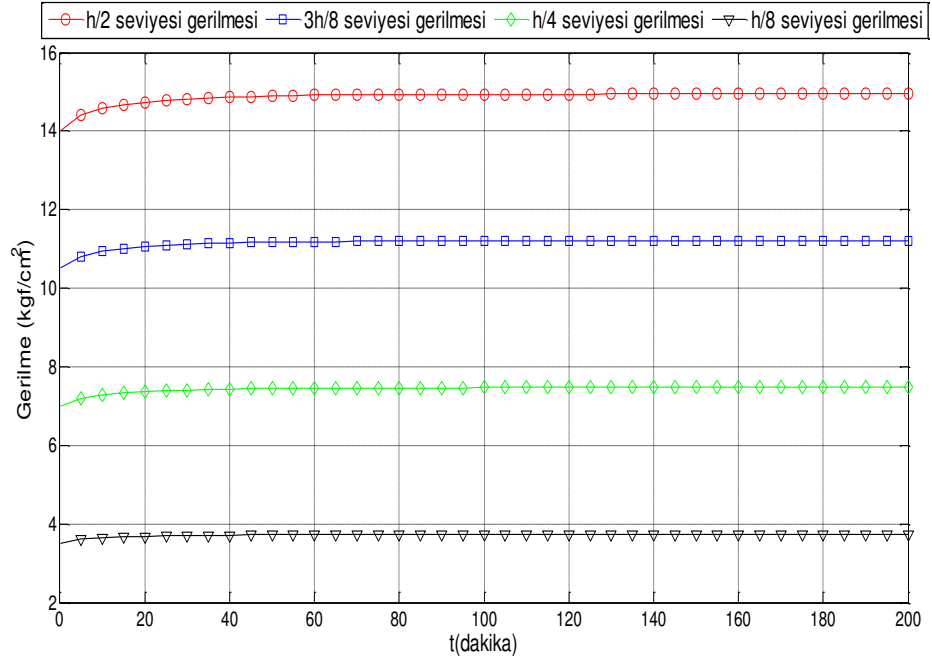
Şekil 5.41 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi



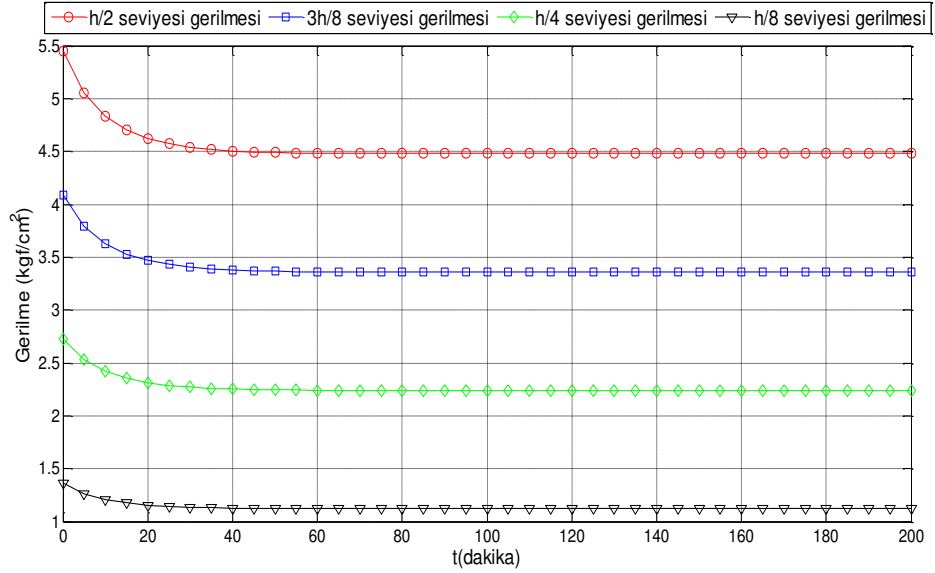
Şekil 5.42 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.43 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.44 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.45 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi

Şekil 5.38 ile gösterilen grafikte sadece x-x doğrultusundaki lineer ve nonlinear eğrilik zaman ilişkisi verilmiştir. Bunun sebebi y-y doğrultusunda plâğın

mesnetlenmemesidir. Belirlenen zaman aralığı içerisinde x-x doğrultusundaki lineer eğrilikler, nonlinear eğriliklere nazaran daha fazla değişim göstermiştir.

Yukarıda belirtilen aynı sebepten dolayı Şekil 5.39 ve 5.40'ta x-x doğrultusundaki lineer ve nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi verilmiştir. . Lineer viskoelastik malzemeli durum için elde edilen deformasyon grafikleri nonlinear duruma kıyasla daha fazla artış göstermiştir. Deformasyonlarda lineer ve nonlinear durumların ikisinde de, plak tarafsız ekseninden uzaklaştıkça belirlenen zaman içerisinde daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, deformasyonların kesit içerisindeki dağılımının lineer olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda tarafsız eksen kotunda kesitin uğradığı deformasyon mertebesi zamandan bağımsız ve sıfırdır.

Şekil 5.41'de, lineer viskoelastik malzemeli plaktaki deplasmanların mertebesi ve değişimleri nonlinear viskoelastik malzemeli duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.42, 5.44'te görüldüğü üzere x-x doğrultusunda lineer viskoelastik malzemeli durumda gerilme değişimi nonlinear viskoelastik duruma göre daha fazladır.

Şekil 5.43 ve 5.45'te ise y-y doğrultusundaki gerilmelerin zamanla azaldığı gözlemlenmiştir.

5.5 Karşılıklı İki Kenarından Sabit, Diğer Kenarları Ankastre Mesnetli Üiform Yayılı Yüklü Kare Plak

Şekil 5.46'da gösterilen ince kare plak karşılıklı iki kenarından sabit, diğer iki kenarı ankastre mesnetli olmak üzere üniform yayılı yük ile yüklenmiştir. Kenar uzunluğu 200 cm olan kare plağın kesiti sabit olup kalınlığı 10 cm'dir. Yayılı yükün değeri $q = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ dir. Plak malzemesine bağlı özellikler aşağıdaki gibidir.

$$E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_1 = 20 \text{ dakika}$$

$$\Delta t = 5 \text{ dakika}$$

$$p_0 = 1,1$$

$$p_1 = 1,105$$

$$\nu = 0,3$$

E: Elastisite Modülü

k_i : Yay Katsayısı

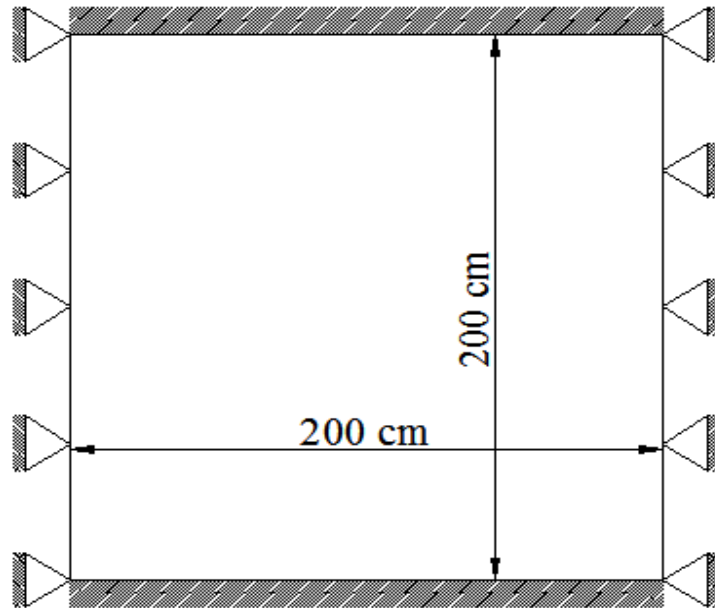
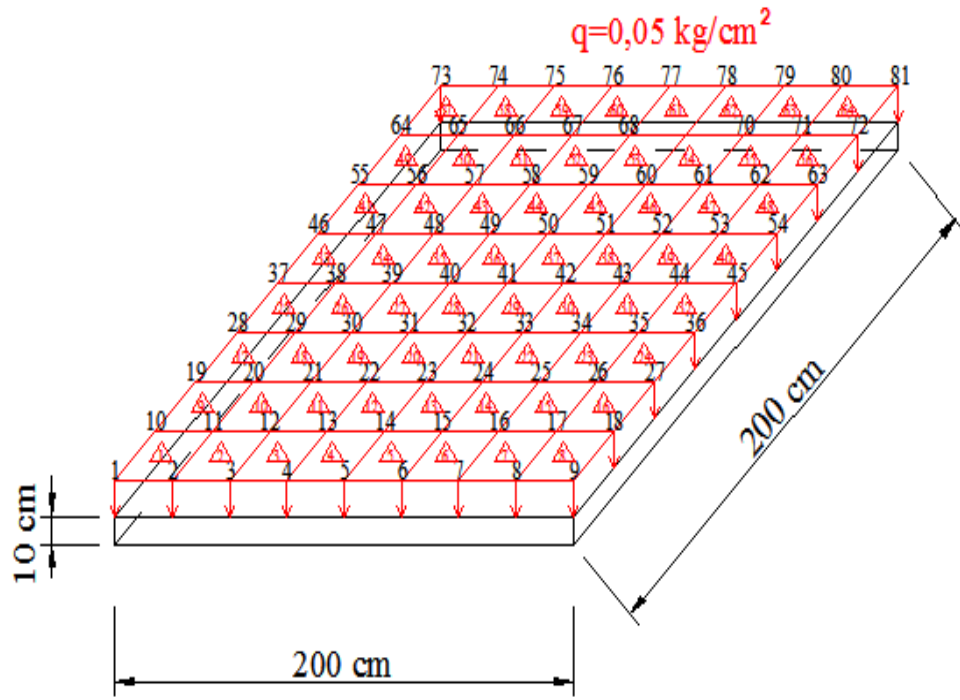
λ : Gecikme Zamanı

Δt : Zaman Aralığı

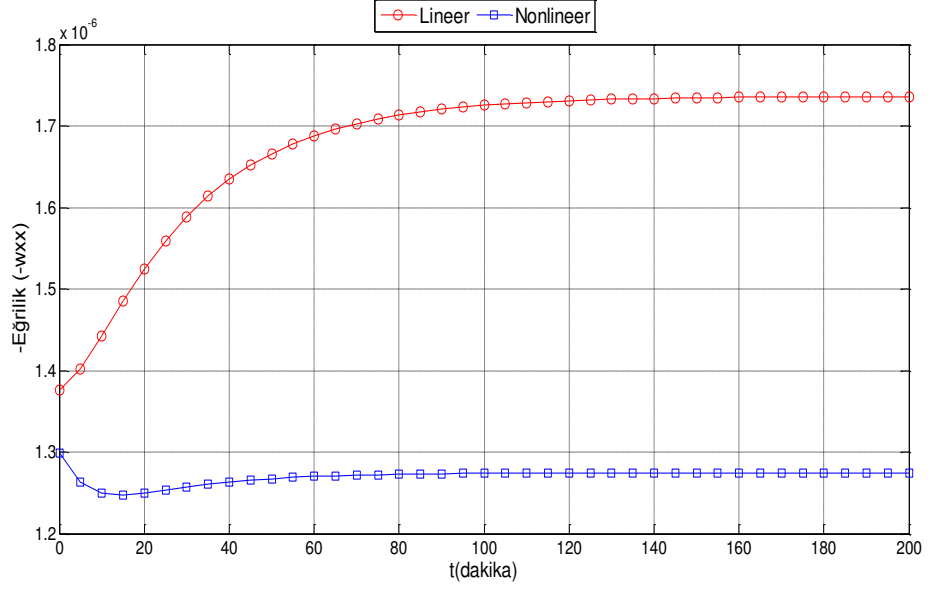
p_i : Nonlineer Malzeme Katsayıları

ν : Poisson Oranı

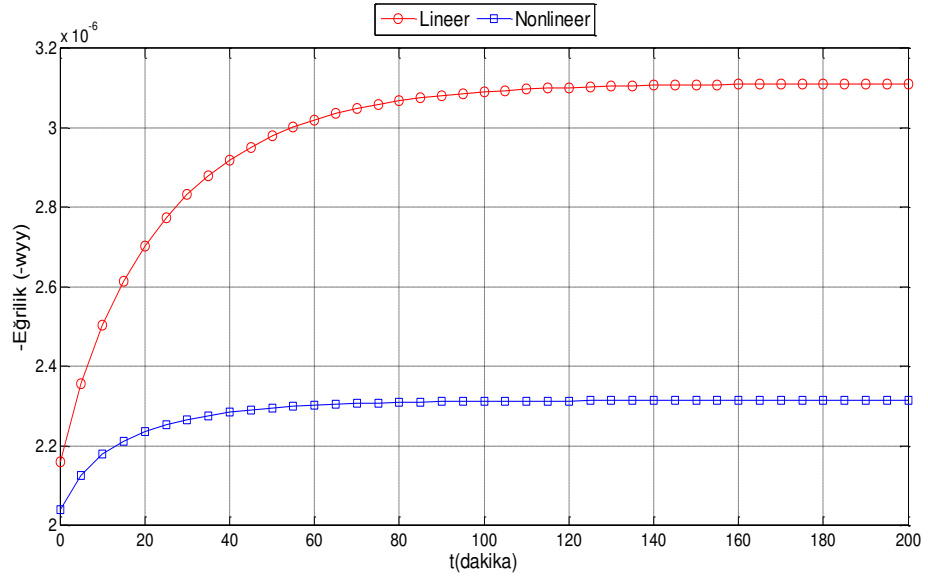
Bu bilgiler doğrultusunda viskoelastik malzemeli, karşılıklı iki kenarından sabit, diğer iki kenarı ankastre mesnetli olan üniform yayılı yüklü kare plağın çözümü 64 adet sonlu eleman kullanılarak yapılmış olup; orta noktasındaki x ve y yönü için eğrilik zaman ilişkisi, x ve y yönleri $h/2$, $3h/8$, $h/4$, $h/8$ seviyelerinde lineer ve nonlineer deformasyon zaman ilişkisi, deplasman zaman ilişkisi, x ve y yönleri lineer ve nonlineer gerilme grafikleri elde edilmiştir. Çözüm aşamasında Matlab programı kullanılmış, program girdileri ekler bölümünde sunulmuştur.



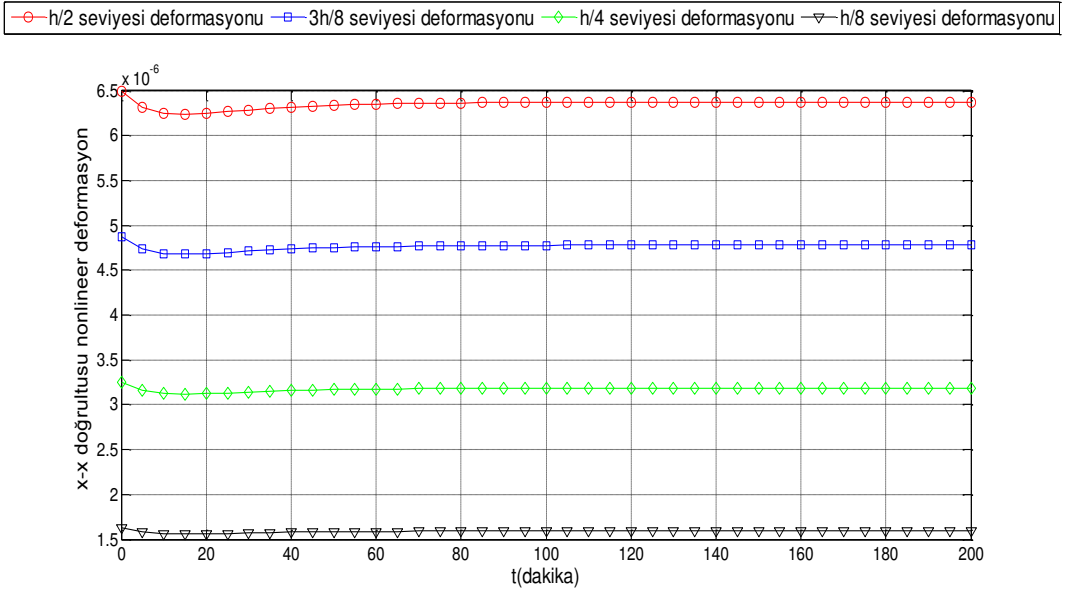
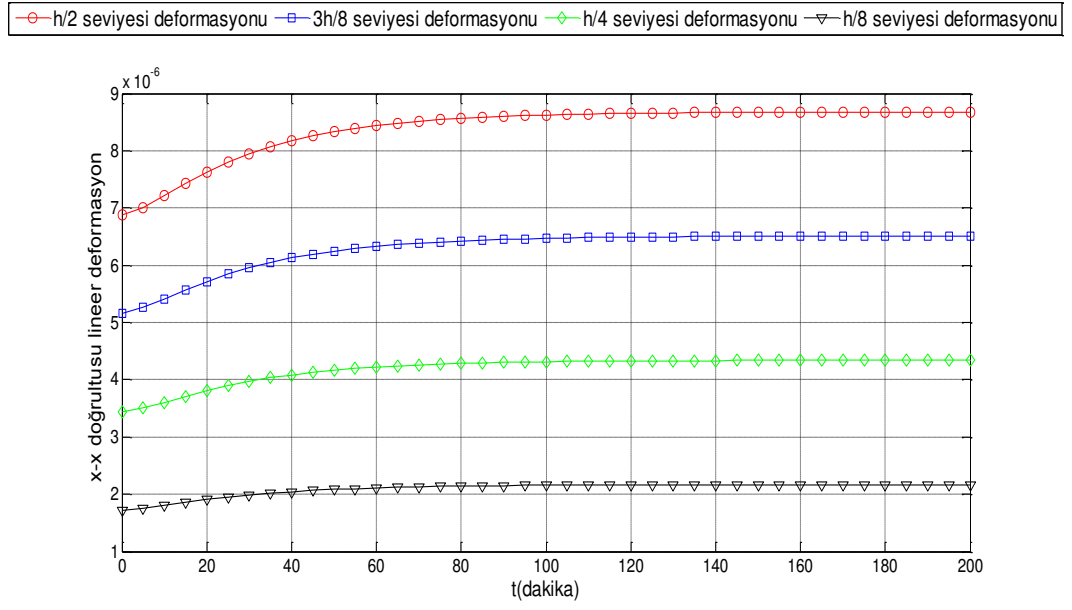
Şekil 5.46 Karşılıklı iki kenarından sabit, diğer kenarı ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak

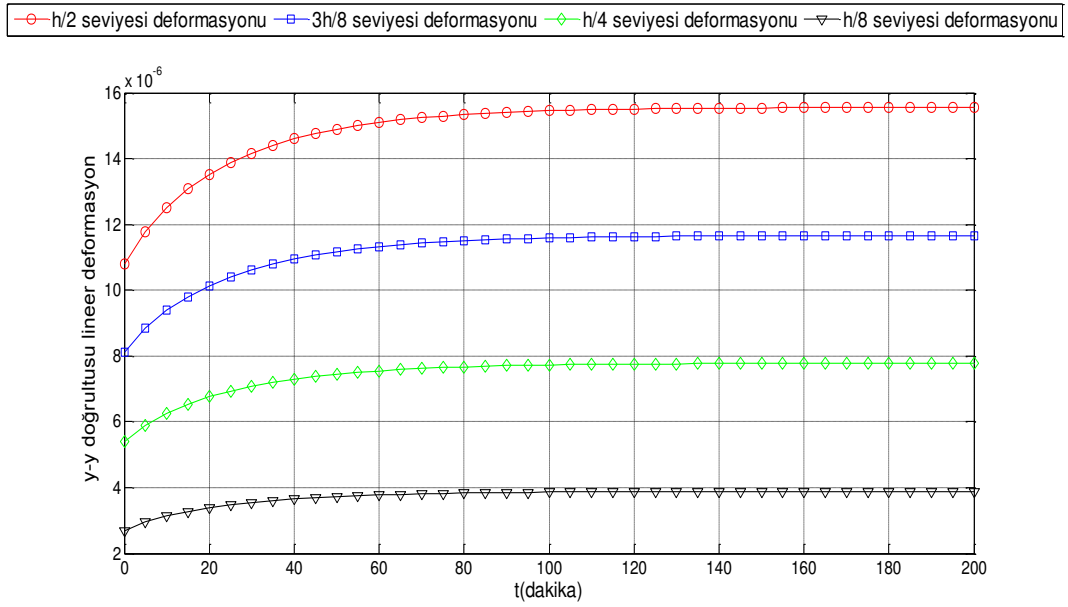


Şekil 5.47 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer ve nonlineer eğrilik – zaman ilişkisi

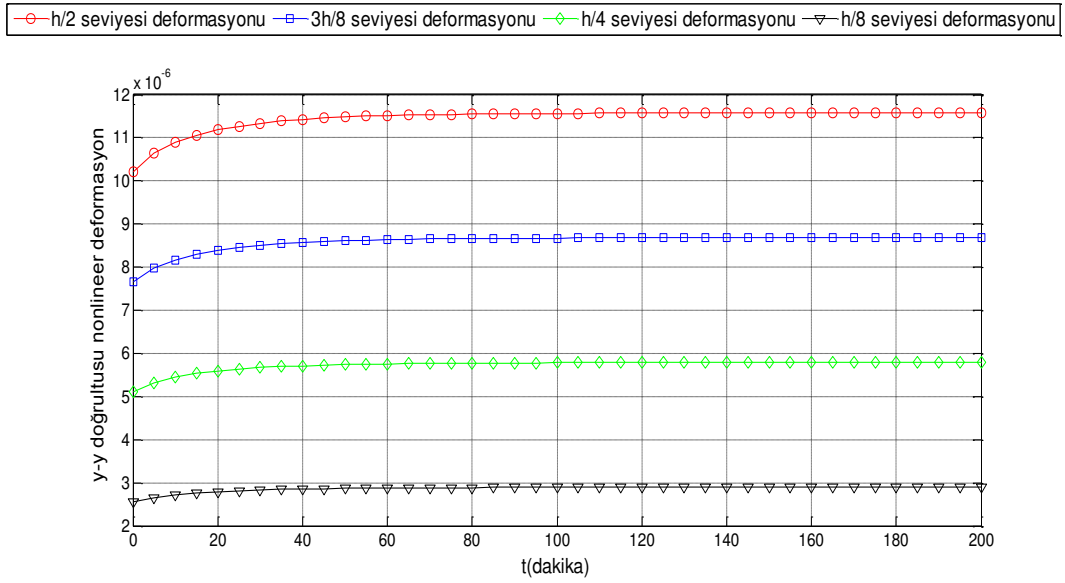


Şekil 5.48 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlineer eğrilik – zaman ilişkisi

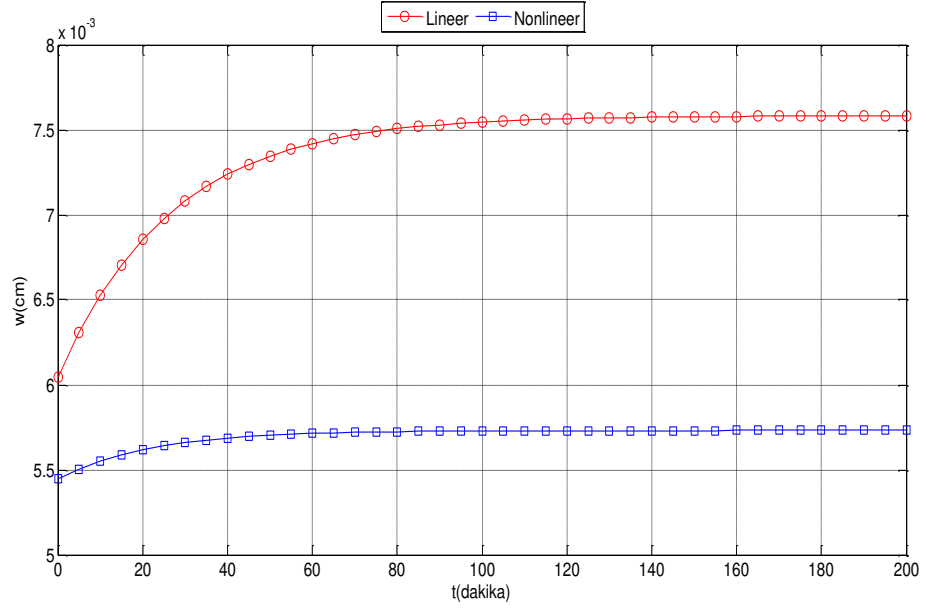




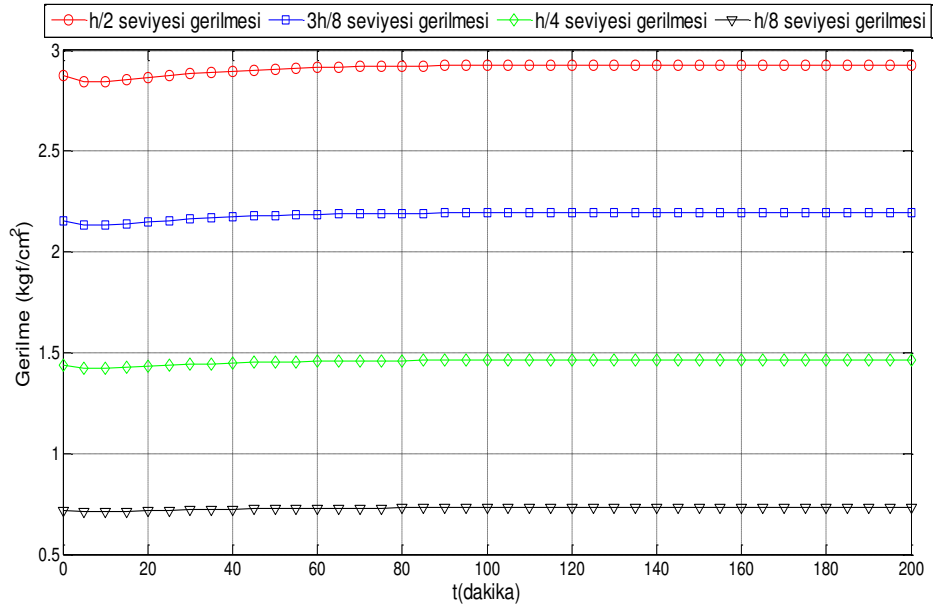
Şekil 5.51 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi



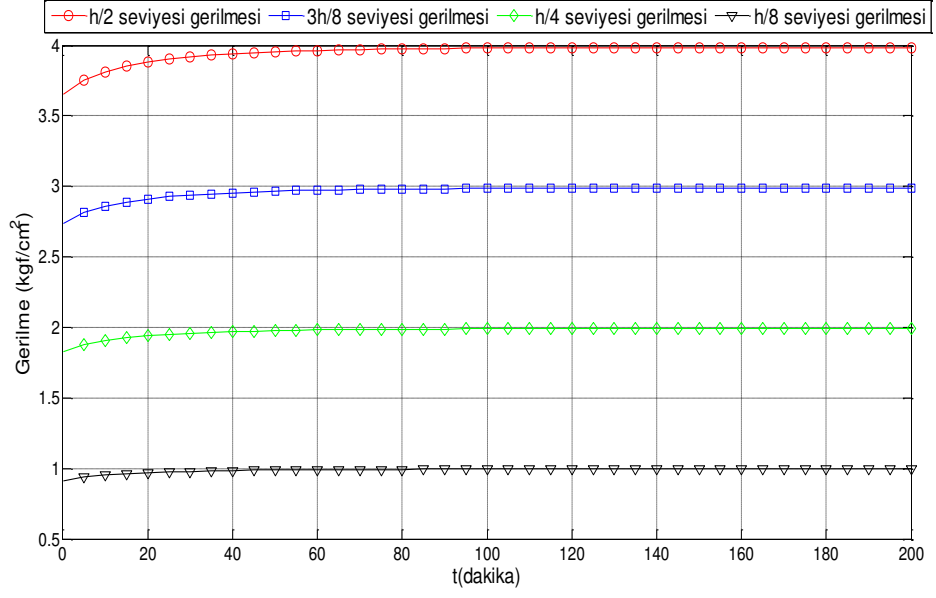
Şekil 5.52 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlineer deformasyon – zaman ilişkisi



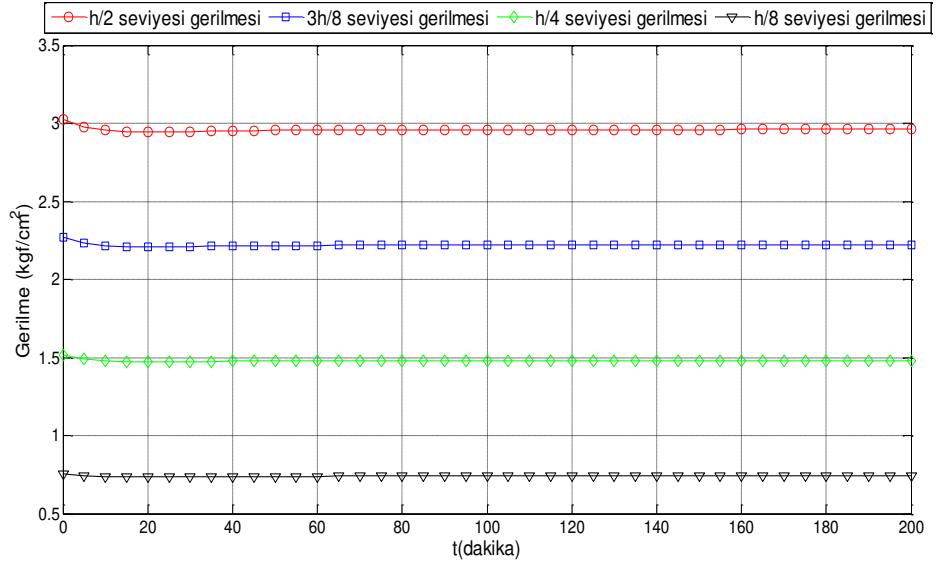
Şekil 5.53 Plak orta noktası deplasman – zaman ilişkisi



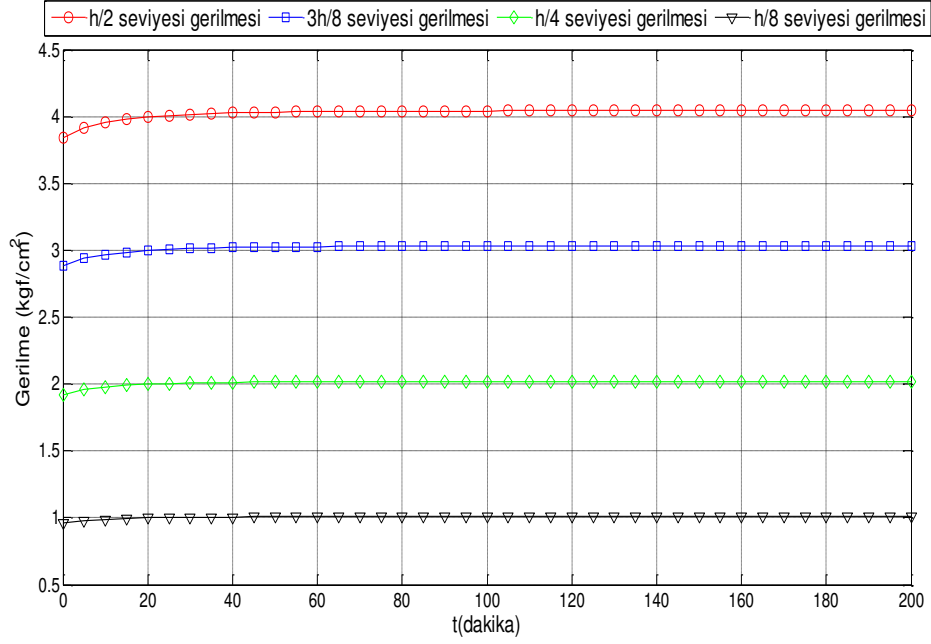
Şekil 5.54 Plak orta noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.55 Plak orta noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.56 Plak orta noktası x-x doğrultusu nonlineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.57 Plak orta noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi

Şekil 5.47’de x-x doğrultusundaki nonlinear eğrilik önce azalan daha sonra artan bir davranış göstermiştir. Linear eğrilik ise zamanla azalan, bir artış davranışı içerisindedir.

Şekil 5.48’de ise belirlenen zaman aralığı içerisinde linear eğrilikler, nonlinear eğriliklere nazaran daha fazla değişim göstermiştir.

Şekil 5.49’da x-x doğrultusundaki linear deformasyon zamanla artarken Şekil 5.50’de x-x doğrultusunda nonlinear deformasyon zamanla azama eğilimindedir.

Şekil 5.51, 5.52’de linear viskoelastik malzemeli durum için elde edilen deformasyon grafikleri nonlinear duruma kıyasla daha fazla artış göstermiştir. Deformasyonlarda linear ve nonlinear durumların ikisinde de, plak tarafsız ekseninden uzaklaştıkça belirlenen zaman içerisinde daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, deformasyonların kesit içerisindeki dağılımının linear olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda tarafsız eksen kotunda kesitin uğradığı deformasyon mertebesi zamandan bağımsız ve sıfırdır.

Şekil 5.53'e bakıldığında, lineer viskoelastik malzemeli plaktaki deplasmanların mertebesi ve değişimleri nonlinear viskoelastik malzemeli duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.54 ve 5.56'dan x-x doğrultusundaki lineer gerilme azalışı aynı doğrultudaki nonlinear gerilme azalışından daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 5.55 ve 5.57 de y-y doğrultusunda lineer viskoelastik malzemeli durumda gerilme değişimi nonlinear viskoelastik duruma göre daha fazladır.

5.6 Karşılıklı İki Kenarından Sabit, Bir Kenarı Ankastre Mesnetli, Diğer Kenarı Boşta Olan Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

Şekil 5.58’de gösterilen ince kare plak karşılıklı iki kenarından sabit, bir kenarı ankastre mesnetli, diğer kenarı boşta olmak üzere üniform yayılı yük ile yüklenmiştir. Kenar uzunluğu 200 cm olan kare plağın kesiti sabit olup kalınlığı 10 cm’dir. Yayılı yükün değeri $q = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ dir. Plak malzemesine bağlı özellikler aşağıdaki gibidir.

$$E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_1 = 20 \text{ dakika}$$

$$\Delta t = 5 \text{ dakika}$$

$$p_0 = 1,1$$

$$p_1 = 1,105$$

$$\nu = 0,3$$

E: Elastisite Modülü

k_i : Yay Katsayısı

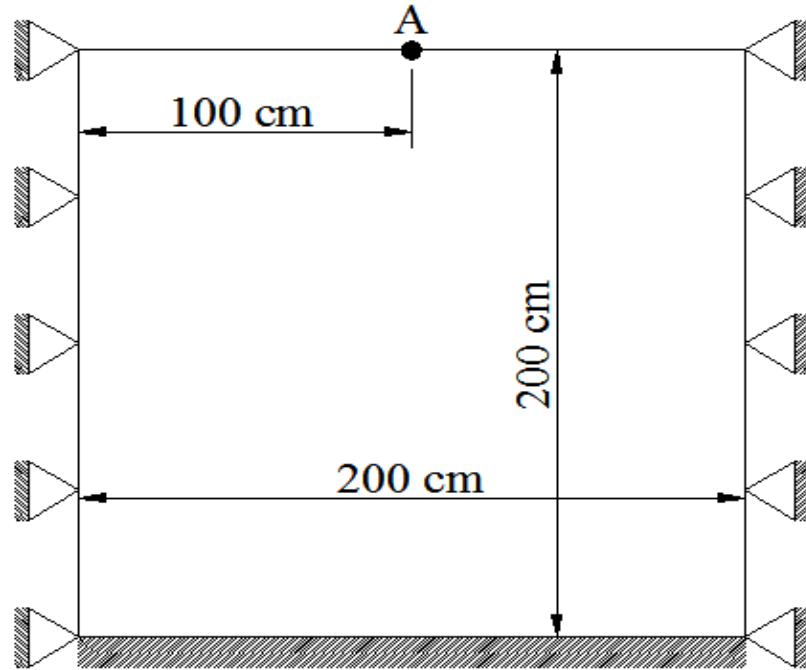
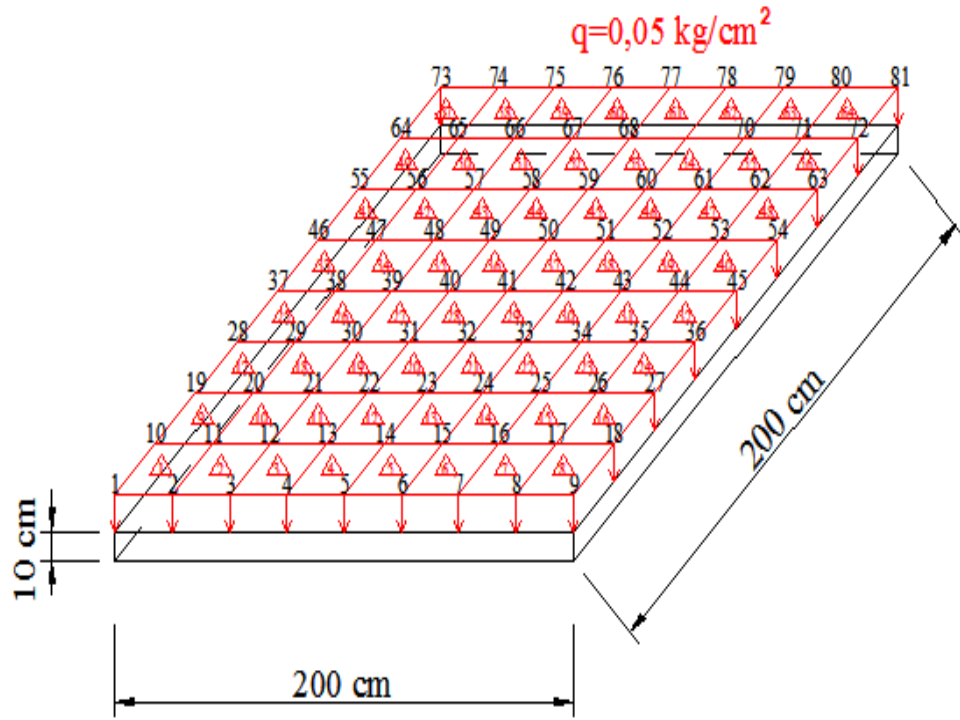
λ : Gecikme Zamanı

Δt : Zaman Aralığı

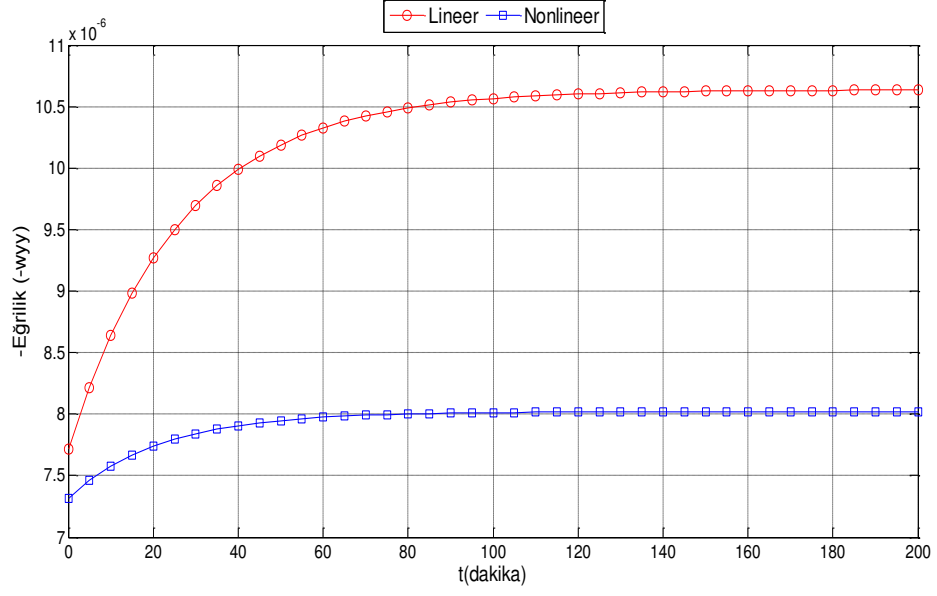
p_i : Nonlinear Malzeme Katsayıları

ν : Poisson Oranı

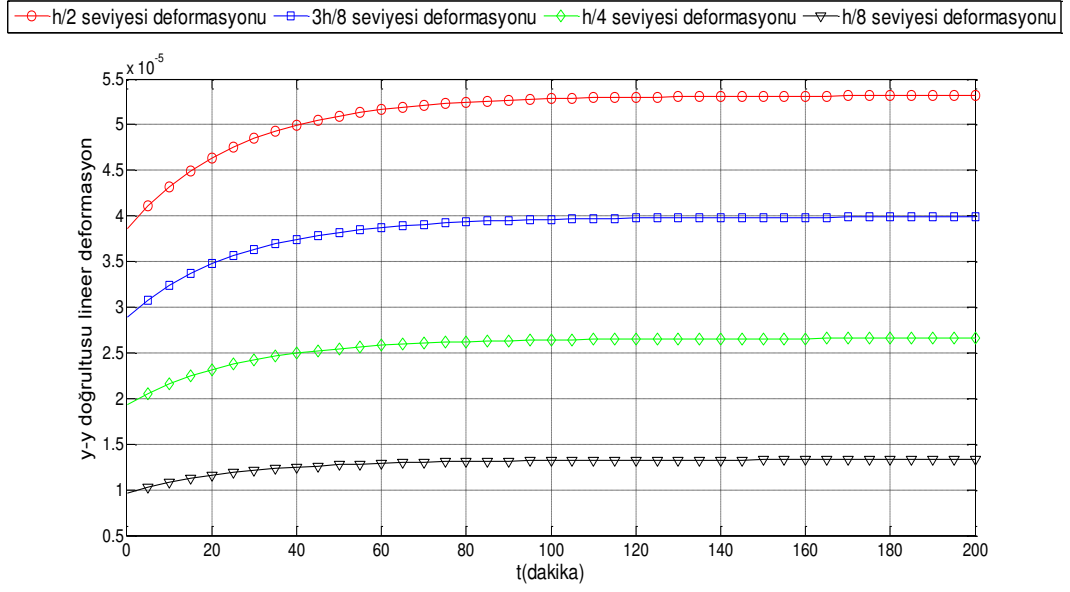
Bahsi geçen veriler ile viskoelastik malzemeli, karşılıklı iki kenarından sabit, bir kenarı ankastre mesnetli, diğer kenarı boşta olan üniform yayılı yüklü kare plağın çözümü 64 adet sonlu eleman kullanılarak yapılmış olup; orta noktasındaki x ve y yönü için eğrilik zaman ilişkisi, x ve y yönleri $h/2$, $3h/8$, $h/4$, $h/8$ seviyelerinde lineer ve nonlinear deformasyon zaman ilişkisi, deplasman zaman ilişkisi, x ve y yönleri lineer ve nonlinear gerilme grafikleri elde edilmiştir. Çözüm aşamasında Matlab programı kullanılmış, program girdileri ekler bölümünde sunulmuştur.



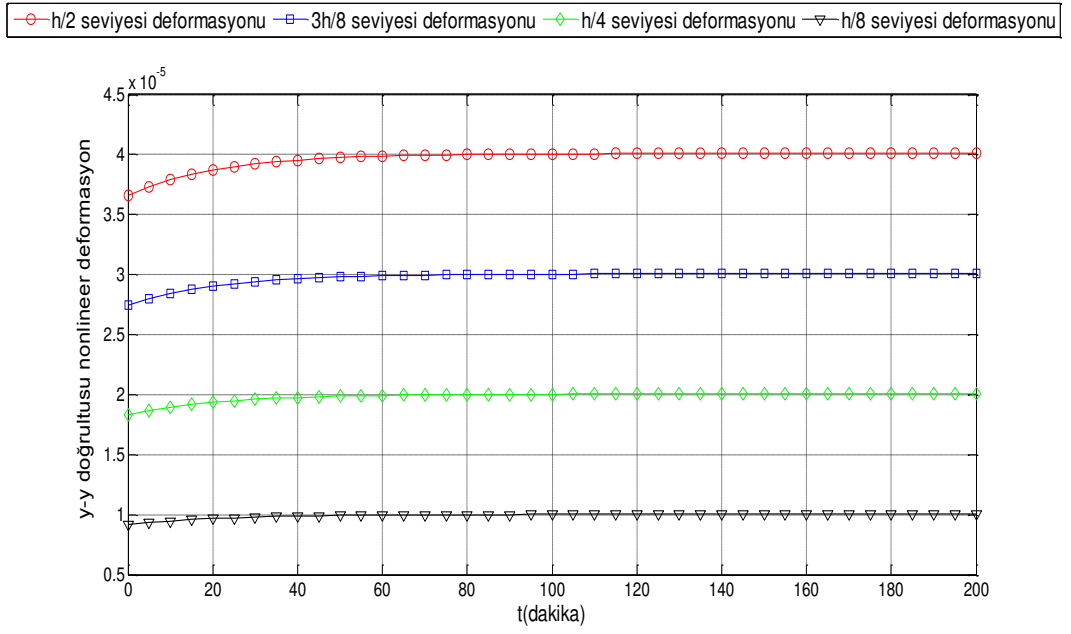
Şekil 5.58 Karşılıklı iki kenarından sabit, bir kenarı ankastre mesnetli, diğer kenarı boşta olan üniform yayılı yüklü kare plak



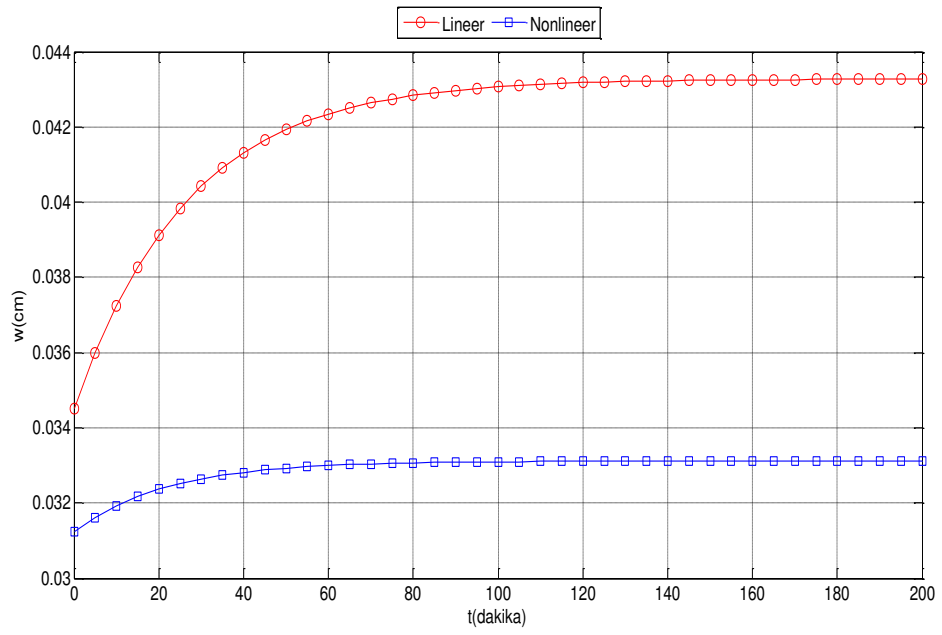
Şekil 5.59 Plak A noktası y-y doğrultusu lineer ve nonlinear eğrilik – zaman ilişkisi



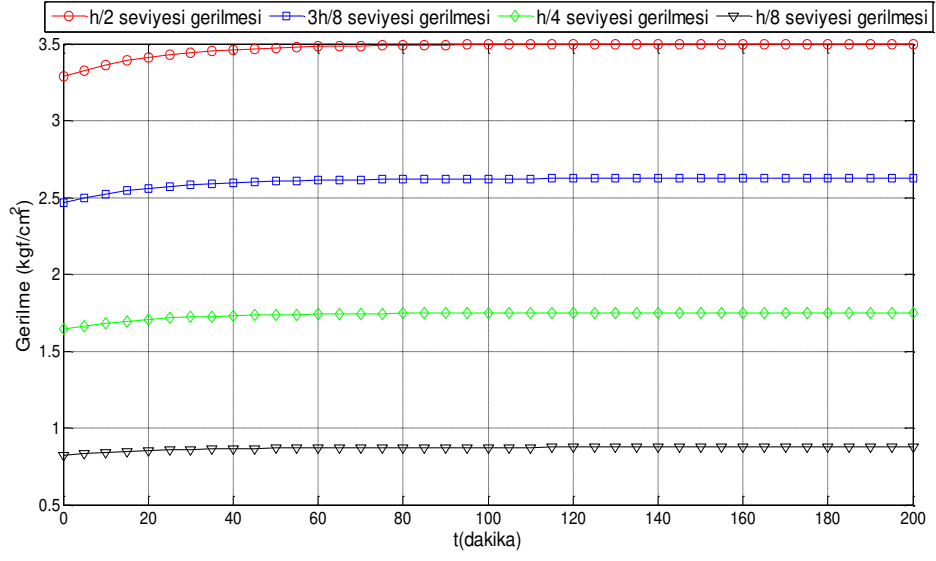
Şekil 5.60 Plak A noktası y-y doğrultusu lineer deformasyon – zaman ilişkisi



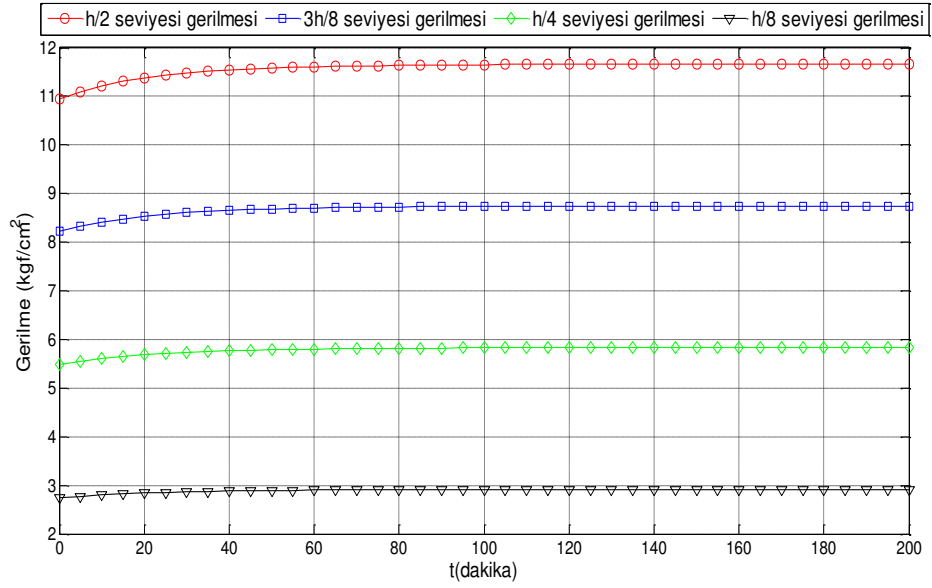
Şekil 5.61 Plak A noktası y-y doğrultusu nonlinear deformasyon – zaman ilişkisi



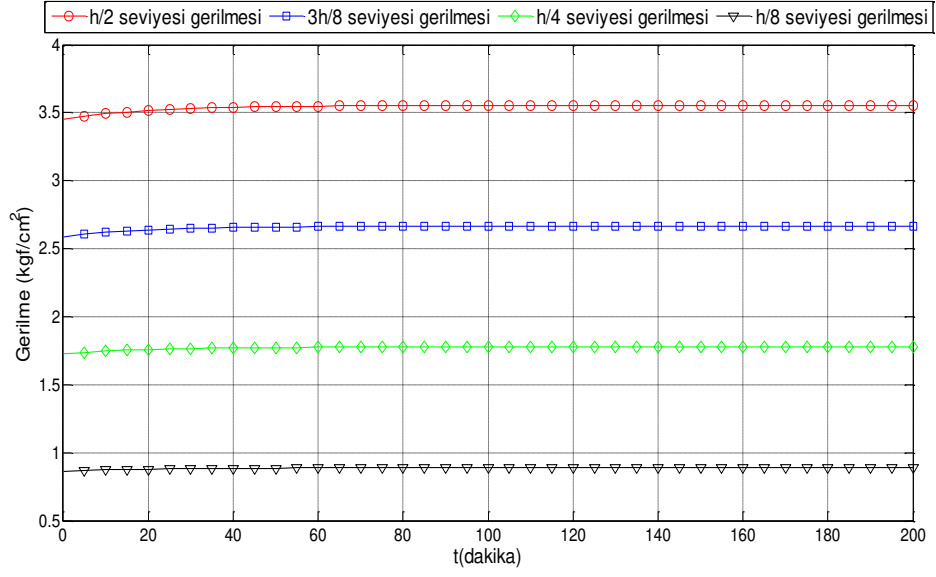
Şekil 5.62 Plak A noktası deplasman – zaman ilişkisi



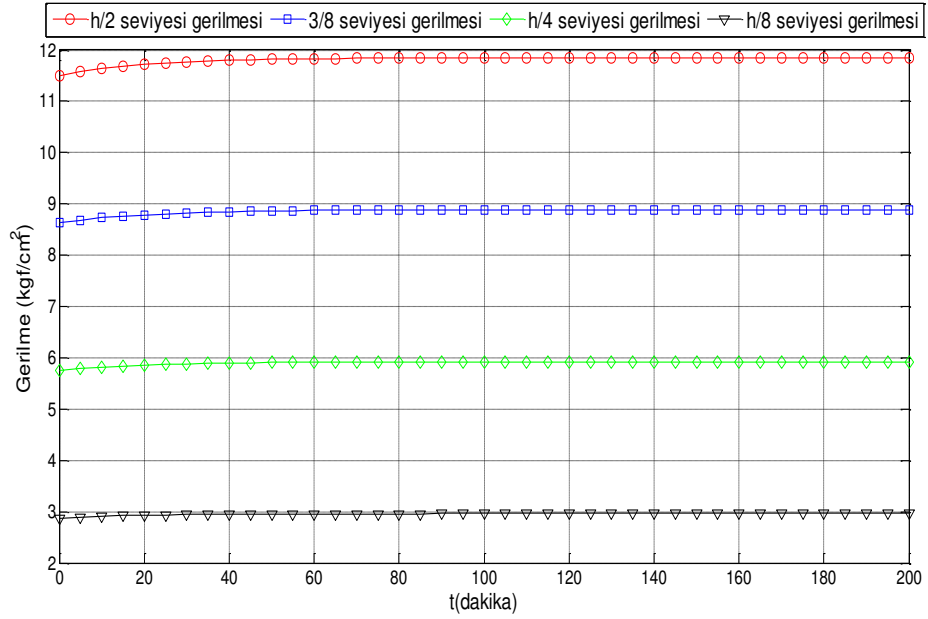
Şekil 5.63 Plak A noktası x-x doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.64 Plak A noktası y-y doğrultusu lineer gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.65 Plak A noktası x-x doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi



Şekil 5.66 Plak A noktası y-y doğrultusu nonlinear gerilme – zaman ilişkisi

Bu problemde maksimum deplasman plağın A noktasında ve y-y doğrultusunda olduğu için eğrilik – zaman ilişkisi ve deformasyon – zaman ilişkisi sadece y-y doğrultusunda incelenmiştir.

Şekil 5.59’da belirlenen zaman aralığı içerisinde lineer eğrilikler, nonlinear eğriliklere nazaran daha fazla değişim göstermiştir.

Şekil 5.60, 5.61’de lineer viskoelastik malzemeli durum için elde edilen deformasyon grafikleri nonlinear duruma kıyasla daha fazla artış göstermiştir. Deformasyonlarda lineer ve nonlinear durumların ikisinde de, plak tarafsız ekseninden uzaklaştıkça belirlenen zaman içerisinde daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Bu durum, deformasyonların kesit içerisindeki dağılımının lineer olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda tarafsız eksen kotunda kesitin uğradığı deformasyon mertebesi zamandan bağımsız ve sıfırdır.

Şekil 5.62’de bakıldığında, lineer viskoelastik malzemeli plaktaki deplasmanların mertebesi ve değişimleri nonlinear viskoelastik malzemeli duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 5.63, 5.64 ve 5.65, 5.66 lineer viskoelastik malzemeli durumda gerilme değişimi nonlinear viskoelastik duruma göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇ VE ÖNERİLER

Beton, ahşap gibi kullanım alanı geniş olan yapı malzemelerinin yüksek mertebeden nonlinear; polimerlerin ise lineer viskoelastik davrandığı mevcut çalışmalardan bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında, tek eksenli viskoelastik malzemeler için geliştirilen gerilme-deformasyon-zaman ilişkisinden hareketle iki boyutlu nonlinear viskoelastik malzemeler için yeni bir yöntem elde edilmiştir. Geliştirilen yöntemin p_0 , p_1 gibi ampirik nonlinear katsayılarının “1” alınmasıyla, lineer viskoelastik malzemeli plaklara da uygulanabileceği belirtilmiştir (Kaya, 1973).

Yumuşama fonksiyonlarının kullanıldığı gerilme – deformasyon ilişkisi Boltzmann integrali ile ifade edilmiştir. Elastik teoriye göre moment ifadeleri eğrilik ile ilişkilendirilmektedir. Aynı zamanda deformasyonun eğrilik değişkeniyle ifadesi de mümkün olabilmektedir. Boltzmann integralindeki deformasyon ifadelerinin eğrilik değişkenine bağlı gösterimi ile kesit içinde meydana gelen gerilmelerin, moment türünden ifadesi ile moment – eğrilik arasındaki ilişki kurulmuştur. Moment – eğrilik denklemlerinde eğrilik ifadesinin denklemin sol tarafına alınmasıyla beraber eğrilik – moment ilişkisi ardışık yaklaşım yöntemiyle çözülebilmektedir. Zamana bağlı elde edilen veriler altında deformasyonun eğrilik cinsinden ifadesi kolaylaşmaktadır. Elde edilen deformasyon ifadeleri gerilme – deformasyon ilişkisini sağlayan Boltzman integralinin içine yerleştirilmesiyle zamana bağlı gerilmeler elde edilir.

Elemanları kesit momentleri olan gerilme vektöründe yer alan deformasyonların sonlu elemanlar yönteminde ifade edildiği gibi şekil değiştirme ve deplasmanlar vektörü ile ifade edilmesiyle elastik şekil değiştirme enerjisi türetilenmektedir. Buradan minimum potansiyel enerjinin minimum olma koşulu aranarak deplasmanların rijitlik matrisi ve dış kuvvet vektörü cinsinden denklemleri elde edilebilmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen yöntemin bilgisayar programı ile çözümü uzun ardişik yaklaşımların ve denklemlerin çözümü için gerekmektedir. Bu bağlamda MATLAB R2009a programlama diliyle yazılmış olan bilgisayar programları çeşitli kare plak problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Bu programlar istenilen sonlu eleman sayısı ile yükleme ve sınır şartları altında çözüm yapmaktadır. Bu çalışmada incelenen plak problemleri 64 sonlu elemandan oluşmaktadır. Bölüm beşte verilen uygulamalar için elde edilen grafiklere bakıldığında, grafiklerin viskoelastik bir malzemenin standart eğrisini sağladığı görülmektedir. Beklendiği gibi lineer viskoelastik çözümün belirtilen zaman aralığında daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çözüme esas parametre ve veriler ışığında lineer olmayan durumda gerilmelerin ihmal edilebilecek bir artış gösterdiği ancak deformasyonların lineer elastik duruma göre ihmal edilemeyecek boyutlarda arttığı gözlemlenmiştir. Buradan elde edilen sonuç beton ve ahşap gibi yüksek mertebeden nonlinear viskoelastik malzemelerin davranışının hem gerilme hem de deformasyon boyutunda ayrı ayrı incelenmesi gerektiği zorunluluğudur. Malzeme ön görülen elastik pik dayanımına ulaşmamış olsa bile deformasyonların ön görülemeyecek mertebelerde artış yapmasından dolayı elemanda kırılma veya kopmalar; kullanılabilir durumdan sapmalar görülebilir.

Bahse konu olan çalışmanın 5. Bölümündeki problemler için lineer elastik durumda gerilme – şekil değiştirme – zaman ilişkileri incelenmiş ve en yüksek deplasman değerleri bulunmuş, bulunan değerler Tablo 6.1’de analitik çözüm sonuçları ile karşılaştırılmış, sonuçların neredeyse birebir olduğu tespit edilmiştir (Timoshenko, Woinowsky-Krieger, 1959).

Yapılan çalışma kapsamında beşinci bölümde incelenen problemler için Tablo 6.1’de konumu belirtilen; en yüksek deplasmanı veren düğüm noktaları için elde edilen grafiklerin sayısal değerleri Tablo 6.1’den Tablo 6.9’a kadar sunulmuştur.

Tablo 6.1Klasik yöntem ile sonlu elemanlar yöntemi karşılaştırması

	En Yüksek Deplasman Değeri Klasik Yöntem (cm)	En Yüksek Deplasman Değeri Sonlu Elemanlar Yöntemi (cm)	Maksimum Deplasman Yeri
Tüm Kenarları Sabit Mesnetli Üiform Yayılı Yüklü Kare Plak	0,011823	0,012025	Orta Nokta
Tüm Kenarları Sabit Mesnetli Tekil Yüklü Kare Plak	0,001689	0,001722	Orta Nokta
Tüm Kenarları Ankastre Mesnetli Üiform Yayılı Yüklü Kare Plak	0,003669	0,003797	Orta Nokta
Karşılıklı İki Kenarından Sabit Mesnetli Diğer İki Kenarı Boşta Olan Üiform Yayılı Yüklü Kare Plak	0,038118	0,038038	Orta Nokta
Karşılıklı İki Kenarı Ankastre Diğer Kenarları Sabit Mesnetli Üiform Yayılı Yüklü Kare Plak	0,005591	0,005719	Orta Nokta
Karşılıklı İki Kenarı Sabit Bir Kenarı Ankastre Mesnetli Diğer Kenarı Boşta Olan Üiform Yayılı Yüklü Kare Plak	0,032906	0,032637	x=100 y=200 noktası

Tablolarda yer alan plak türü için verilen numaraların açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

- 1: Tüm kenarları sabit mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak,
- 2: Tüm kenarları sabit mesnetli tekil yüklü kare plak,
- 3: Tüm kenarları ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak,
- 4: Karşılıklı iki kenarından sabit mesnetli diğer iki kenarı boşta olan üniform yayılı yüklü kare plak,
- 5: Karşılıklı iki kenarı ankastre diğer kenarları sabit mesnetli üniform yayılı yüklü kare plak,
- 6: Karşılıklı iki kenarı sabit bir kenarı ankastre mesnetli diğer kenarı boşta olan üniform yayılı yüklü kare plak.

Tablo 6.2 Lineer viskoelastik malzemeli plak eğrilik değerleri

LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK								
Eğrilik (rad/cm)*10 ⁻⁵								
Plak Türü	Doğrultu	Zaman (Dakika)						
		0	5	10	50	100	150	200
1	x	-0,293	-0,312	-0,328	-0,389	-0,400	-0,403	-0,403
	y	-0,293	-0,312	-0,328	-0,389	-0,400	-0,403	-0,403
2	x	-1,188	-1,265	-1,330	-1,580	-1,627	-1,636	-1,637
	y	-1,188	-1,265	-1,330	-1,580	-1,627	-1,636	-1,637
3	x	-0,141	-0,150	-0,158	-0,188	-0,193	-0,194	-0,194
	y	-0,141	-0,150	-0,158	-0,188	-0,193	-0,194	-0,194
4	x	-0,138	-0,140	-0,144	-0,168	-0,173	-0,173	-0,174
	y	-0,216	-0,236	-0,250	-0,300	-0,309	-0,311	-0,311
5	x	-0,138	-0,140	-0,144	-0,168	-0,173	-0,173	-0,174
	y	-0,216	-0,236	-0,250	-0,300	-0,309	-0,311	-0,311
6	x	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	y	-0,772	-0,821	-0,864	-1,026	-1,057	-1,063	-1,063

Tablo 6.3 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak eğrilik değerleri

NONLİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK								
Eğrilik (rad/cm)*10 ⁻⁵								
Plak Türü	Doğrultu	Zaman (Dakika)						
		0	5	10	50	100	150	200
1	x	-0,277	-0,282	-0,285	-0,298	-0,300	-0,300	-0,300
	y	-0,277	-0,282	-0,285	-0,298	-0,300	-0,300	-0,300
2	x	-1,129	-1,152	-1,170	-1,233	-1,241	-1,242	-1,242
	y	-1,129	-1,152	-1,170	-1,233	-1,241	-1,242	-1,242
3	x	-0,133	-0,135	-0,137	-0,143	-0,143	-0,144	-0,144
	y	-0,133	-0,135	-0,137	-0,143	-0,143	-0,144	-0,144
4	x	-0,130	-0,126	-0,124	-0,127	-0,127	-0,127	-0,127
	y	-0,204	-0,213	-0,218	-0,230	-0,231	-0,231	-0,231
5	x	-0,130	-0,126	-0,125	-0,127	-0,127	-0,127	-0,127
	y	-0,204	-0,213	-0,218	-0,230	-0,231	-0,231	-0,231
6	x	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	y	-0,731	-0,746	-0,758	-0,796	-0,801	-0,802	-0,802

Tablo 6.4 Lineer viskoelastik malzemeli plak deformasyon değerleri

LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK								
Deformasyon*10 ⁻⁴								
Plak Türü	Doğrultu	Zaman (Dakika)						
		0	5	10	50	100	150	200
1	x	0,146	0,156	0,164	0,195	0,200	0,201	0,202
	y	0,146	0,156	0,164	0,195	0,200	0,201	0,202
2	x	0,594	0,633	0,665	0,790	0,813	0,818	0,819
	y	0,594	0,633	0,665	0,790	0,813	0,818	0,819
3	x	0,071	0,075	0,079	0,094	0,097	0,097	0,097
	y	0,071	0,075	0,079	0,094	0,097	0,097	0,097
4	x	0,069	0,070	0,072	0,084	0,086	0,087	0,087
	y	0,108	0,118	0,125	0,150	0,155	0,155	0,156
5	x	0,069	0,070	0,072	0,084	0,086	0,087	0,087
	y	0,108	0,118	0,125	0,150	0,155	0,155	0,156
6	x	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	y	0,386	0,411	0,432	0,513	0,528	0,531	0,532

Tablo 6.5 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deformasyon değerleri

NONLİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK								
Deformasyon*10 ⁻⁴								
Plak Türü	Doğrultu	Zaman (Dakika)						
		0	5	10	50	100	150	200
1	x	0,138	0,141	0,143	0,149	0,150	0,150	0,150
	y	0,138	0,141	0,143	0,149	0,150	0,150	0,150
2	x	0,564	0,576	0,585	0,616	0,620	0,621	0,621
	y	0,564	0,576	0,585	0,616	0,620	0,621	0,621
3	x	0,067	0,068	0,069	0,071	0,072	0,072	0,072
	y	0,067	0,068	0,069	0,071	0,072	0,072	0,072
4	x	0,065	0,063	0,062	0,063	0,064	0,064	0,064
	y	0,102	0,106	0,109	0,115	0,116	0,116	0,116
5	x	0,065	0,063	0,062	0,063	0,064	0,064	0,064
	y	0,102	0,106	0,109	0,115	0,116	0,116	0,116
6	x	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	y	0,366	0,373	0,379	0,398	0,401	0,401	0,401

Tablo 6.6 Lineer viskoelastik malzemeli plak gerilme değerleri

LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK								
Gerilme (kg/cm ²)								
Plak Türü	Doğrultu	Zaman (Dakika)						
		0	5	10	50	100	150	200
1	x	5,399	5,467	5,527	5,713	5,742	5,747	5,748
	y	5,399	5,467	5,527	5,713	5,742	5,747	5,748
2	x	21,930	22,203	22,449	23,204	23,319	23,342	23,345
	y	21,930	22,203	22,449	23,204	23,319	23,342	23,345
3	x	2,604	2,636	2,666	2,755	2,769	2,772	2,772
	y	2,604	2,636	2,666	2,755	2,769	2,772	2,772
4	x	2,873	2,846	2,845	2,911	2,925	2,928	2,928
	y	3,652	3,750	3,814	3,959	3,979	3,983	3,983
5	x	2,873	2,846	2,845	2,911	2,925	2,928	2,928
	y	3,652	3,750	3,814	3,959	3,979	3,983	3,984
6	x	3,287	3,328	3,365	3,478	3,495	3,499	3,499
	y	10,957	11,093	11,216	11,593	11,651	11,662	11,664

Tablo 6.7 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak gerilme değerleri

NONLİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK								
Gerilme (kg/cm ²)								
Plak Türü	Doğrultu	Zaman (Dakika)						
		0	5	10	50	100	150	200
1	x	5,681	5,712	5,738	5,819	5,829	5,830	5,831
	y	5,681	5,712	5,738	5,819	5,829	5,830	5,831
2	x	23,026	23,174	23,293	23,683	23,732	23,738	23,739
	y	23,026	23,174	23,293	23,683	23,732	23,738	23,739
3	x	2,742	2,756	2,767	2,804	2,808	2,809	2,809
	y	2,742	2,756	2,767	2,804	2,808	2,809	2,809
4	x	3,026	2,976	2,954	2,956	2,960	2,960	2,960
	y	3,844	3,919	3,959	4,035	4,042	4,043	4,043
5	x	3,026	2,976	2,954	2,956	2,960	2,960	2,960
	y	3,844	3,919	3,959	4,035	4,042	4,043	4,043
6	x	3,451	3,475	3,492	3,547	3,554	3,555	3,555
	y	11,503	11,583	11,640	11,825	11,848	11,851	11,851

Tablo 6.8 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasman değerleri

LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK							
Deplasman (cm)							
Plak Türü	Zaman (Dakika)						
	0	5	10	50	100	150	200
1	0,0127	0,0133	0,0137	0,0155	0,0159	0,0159	0,0159
2	0,0018	0,0019	0,0020	0,0022	0,0023	0,0023	0,0023
3	0,0040	0,0042	0,0043	0,0049	0,0050	0,0050	0,0050
4	0,0079	0,0083	0,0085	0,0097	0,0099	0,0099	0,0099
5	0,0060	0,0063	0,0065	0,0074	0,0075	0,0076	0,0076
6	0,0344	0,0360	0,0372	0,0422	0,0431	0,0432	0,0433

Tablo 6.9 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasman değerleri

NONLİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK							
Deplasman (cm)							
Plak Türü	Zaman (Dakika)						
	0	5	10	50	100	150	200
1	0,0115	0,0116	0,0117	0,0121	0,0122	0,0122	0,0122
2	0,0017	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018
3	0,0036	0,0037	0,0037	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
4	0,0071	0,0072	0,0073	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
5	0,0054	0,0055	0,0056	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057
6	0,0312	0,0316	0,0319	0,0330	0,0331	0,0331	0,0331

Çalışma kapsamında incelenen kare plaklar ince olup yalnızca eğilme etkisindeki yapı elemanlarıdır. Tablo 6.1’de klasik yöntem ile tez kapsamında geliştirilen sonlu elemanlar yönteminden elde edilen elastik malzemeli deplasman değerleri karşılaştırılmış, elde edilen değerlerin birbirine yeterince yakın çıktığı görülmüştür. Düşey yükler altındaki plak probleminden elde edilen iç kuvvetler zamandan bağımsız ve sabittir. Ancak düşük mertebelerde kalsa da gerilmelerdeki artış lineer elastik malzemeli durumu aşmamaktadır. (Tablo 6.6, 6.7). Bununla birlikte eğrilikler, sünme deformasyonu ve deplasmanlardaki artış kritik olabilmekte ve elemanda istenmeyen şekil değiştirmeler gözlenebilmektedir (Tablo 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.8, 6.9). Bu sebeplerden dolayı viskoelastik malzeme olan betondan imal edilen betonarme ve kompozit elemanlarda, elastik yöntem yerine taşıma gücü kavramı ile hesap yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Bu çalışmada ele alınmayan, ancak viskoelastik malzemeli plakların çözümlenmesi aşamasında yapılacak çalışmalar:

-Viskoelastik ifadelerde Poisson oranının sabit olmadığı durum göz önüne alınarak ifadelerin geliştirilmesi,

-Sıcaklık değişiminin göz önüne alınmasıyla yeni bir çözüm yönteminin geliştirilmesi, olarak önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Achenbach, J. D., ve Chao, C.C. (1962). A Three-parameter Viscoelastic Model Particularly Suited for Dynamic Problems. *J. Mech.Phys. Solids*, 10, 245.
- Brilla, J., Lichardus, S., ve Nemethy, A. (1974). *The Generalitization of the Finite Element Method for the Solution of Viscoelastic Two Dimensional Problems*. Sweden, Proceedings in IUTAM Symposium Mechanics of Viscoelastic Media and Bodies (Ed: J. Hult), Springer – Verlag.
- Clough, R. W., ve Felippa, C.A. (1968). *A Refined Quadrilateral Element for Analysis of Plate Bending*. Ohio Air Force Inst. Of Tech., Proc. 2nd Conf. MatrixMethod in Structural Mechanics, Wright Patterson A.F. Base.
- Findley, W. N., Lai, J. S., ve Onaran, K. (1989). *Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials*. New York: Dover Publications, 369.
- Heaps, C. W., ve Mansfield, L. (1986). An Improved Solution Procedure for Creep Problems. *Int. J. for Num.Meth. in Eng.*, 23, 525 – 532.
- Hrudey, T. M. (1973). A Creep Bending Analysis of Plates by the Finite Element Method. *Int. Journal of Solids Structures*, 9, 291 – 303.
- Kahraman, S. (1993). *Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Viskoelastik Malzemeli Plakların Gerilme–Deformasyon–Zaman İlişkilerinin Belirlenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Çözümü*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı Doktora Tezi.
- Kaya, I. (1973). *Viskoelastik Malzemeler için Geçerli bir Gerilme–Deformasyon–Zaman İlişkisinin Tespiti ve Uygulanması*. Ege Üniv., M. B. F.

Kural, M. E. (1977). *Viskoelastik Malzemeler İçin Geçerli Bir Gerilme-Şekil Değişirme-Zaman İlişkisinin İki Boyutlu Elemanlar İçin Genelleştirilmesi Ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Plaklara Uygulanması*. Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Ana Bilim Dalı Doktora Tezi., İzmir.

Onaran, K. (1968). *Viskoelastisite*. İstanbul: Sürekli Ortamlar Mekaniği I. Yaz Okulu, s. III-1 - III-26.

Patel, A. S., ve Vankatemann, B. (1962). On the Creep Test Analysis of Some Structures. New York, IUTAM, *Creep in Structures* (Ed. by Hoff, N. J.) Academic Press Inc. Publishers.

Petty, M. (1990). *Introduction to Finite Element Vibration Analysis*. Cambridge University Press.

Timoshenko, S., ve Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of Plates and Shells (2nd ed.)*. New York: McGraw-Hill.

Zienkiewicz, O. C. (1977). *The Finite Element Method*, London, McGraw-Hill Book Company, 787.

EKLER

Ek-1: Sembol Listesi

Uygulamalar için, Matlab 2010 programlama dilinde yazılmış bilgisayar programlarında kullanılan değişkenler aşağıda sunulmuştur.

a	: Plak kenar uzunluğu
b	: Bir doğrultudaki düğüm noktaları arasındaki mesafe
B	: Şekil değiştirme matrisi
D	: Plak rijitlik matrisi
d	: Sonlu elemanlar yönteminden elde edilen yer değiştirme vektörü
D1	: Plak rijitliği
dt	: Zaman artışı
dtimo	: Klasik yöntemden elde edilen deplasman değeri
dvisld	: Lineer viskoelastik malzemeli i-1. adımdaki deplasman değerleri
dvislk	: Lineer viskoelastik malzemeli deplasman değerleri
dvisnf	: Nonlineer viskoelastik malzemeli deplasman değerleri
dvisnn	: Nonlineer viskoelastik malzemeli i-1. adımdaki deplasman değerleri
E	: Young modülü
Egrx	: x-x doğrultusundaki eğrilik
Egry	: y-y doğrultusundaki eğrilik
elm	: Plakta kullanılan eleman sayısı
F	: Sistem kuvvet matrisi
f	: Eleman kuvvet matrisi
h	: Plak kalınlığı
K	: Sistem rijitlik matrisi
k	: Eleman rijitlik matrisi
k0, k1	: Viskoelastik malzeme katsayıları
l1	: Gecikme zamanı
m	: Bir doğrultudaki düğüm noktaları sayısı
Motimo	: Klasik yöntemden elde edilen moment değeri

M_x	: x-x doğrultusundaki moment değeri
M_y	: y-y doğrultusundaki moment değeri
n	: Düğüm noktalarının sayısı
N	: Şekil fonksiyonları matrisi
p	: Tekil yükün şiddeti
p_0, p_1	: Nonlineer katsayıları
q	: Üniform yayılı yükün şiddeti
sa	: Bir doğrultudaki düğüm noktaları arasındaki mesafe sayısı
S_{gml}	: Lineer viskoelastik malzemeli gerilme değerleri
S_{gmn}	: Nonlineer viskoelastik malzemeli gerilme değerleri
$sson$	: Adım sayısı
t_i	: Zaman vektörü
t_{son}	: Toplam analiz süresi
ν	: Poisson oranı
w_{xx}	: x-x doğrultusundaki viskoelastik eğrilik değeri
w_{xx0}	: Başlangıç anı için x-x doğrultusundaki viskoelastik eğrilik değeri
w_{xxd}	: x-x doğrultusundaki i-1. adımdaki viskoelastik eğrilik değerleri
w_{xxm}	: x-x doğrultusundaki lineer viskoelastik eğrilik değerleri
w_{xxn}	: x-x doğrultusundaki nonlinear viskoelastik eğrilik değerleri
w_{yy}	: y-y doğrultusundaki viskoelastik eğrilik değeri
w_{yy0}	: Başlangıç anı için y-y doğrultusundaki viskoelastik eğrilik değeri
w_{yyd}	: y-y doğrultusundaki i-1. adımdaki viskoelastik eğrilik değerleri
w_{yym}	: y-y doğrultusundaki lineer viskoelastik eğrilik değerleri
w_{yyn}	: y-y doğrultusundaki nonlinear viskoelastik eğrilik değerleri

Ek-2: Kenarlarından Sabit Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

%TÜM KENARLARI SABİT MESNET YAYILI YÜKLÜ KARE PLAK

clear all; close all; clc; format long;

set(0,'DefaultLineLineWidth',.8, 'DefaultFontSize',16,...

'defaultFontName', '<Times New Roman>',...

'defaultAxesFontName', '<Times New Roman>', 'defaultAxesFontSize',14,...

'DefaultFontSize','normal', 'DefaultAxesFontSize','normal',...

'DefaultLineMarkerSize',8)

q=.05; % Plak yayılı yük değeri (kg/cm²)

a=200; %Plak Kenar Uzunluğu (cm)

elm=64; %Sonlu eleman sayısı(4 ve katları olmalıdır!)

v=.3; %Poisson oranı

h=10; %Plak kalınlığı (cm)

E=3e5; %Elastisite modülü (kg/cm²)

syms x y

D1=E*h^3/(12*(1-v^2)); %Plak eğilme rijitliği

D=D1*[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];%Plak eğilme rijitlik matrisi

n=((elm^.5)+1)^2; %Eleman sayısına göre toplam düğüm noktası sayısı

m=elm^.5+1; %Bir doğrultudaki nokta sayısı

sa=m-1; %Aralık sayısı

b=a/sa; %Aralık artışı

K=zeros(3*n,3*n);

F=zeros(3*n,1);

%Sistem düğüm noktaları

En=zeros(elm,4);

for j=0:sa-1

for i=1:sa

En(sa*j+i,1)=En(sa*j+i,1)+(j)*(m)+(i);

En(sa*j+i,2)=En(sa*j+i,2)+(j)*(m)+(i+1);

En(sa*j+i,4)=En(sa*j+i,4)+(j)*(m)+(i+1+sa);

En(sa*j+i,3)=En(sa*j+i,3)+(j)*(m)+(i+2+sa);

```

end
end
P1=[1, x, y, x^2, x*y, y^2, x^3, x^2*y, x*y^2, y^3, x^3*y, x*y^3];
Px=diff(P1,y);
Py=-diff(P1,x);
Cy=[-b/2 -b/2; b/2 -b/2; b/2 b/2; -b/2 b/2];
P=[P1; Px; Py];
for i=0:3
C(3*i+1,:)=subs(P1,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+2,:)=subs(Px,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+3,:)=subs(Py,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
end
N=P*C^-1; %Şekil Fonksiyonu
Q=[diff(Py,x); -diff(Px,y); 2*diff(Py,y)];
B=Q*C^-1;
ke=B'*D*B;
fe=N'*q*[1; 0; 0];
k=int(int(ke,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
f=int(int(fe,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
for hi=1:elm
    for j=1:4
        for i=1:4
            K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)+k(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
        end
        F(3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=F(3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)+f(3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
    end
end
end
%Sınır şartları
a1=1; b1=1+sa; c1=a1+sa*m; d1=b1+sa*m;

```

```

Kind=K; Find=F;
for i=1:3:3*b1-2
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
for i=3*m+1:3*m:3*m*(m-2)+1
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
for i=3*2*m-2:3*m:3*m*(m-1)-2
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
for i=3*m^2-3*m+1:3:3*m^2-2
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
for i=(3*m^2+1)/2:(3*m^2+1)/2+1
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
Ksil=Kind; Fsil=Find;
rt=size(Fsil);
rt1=rt(1,1);
for i=rt1:-1:1
    if Ksil(i,:)==0
        Ksil(i,:)=[ ];
    end
end

```

```

        Ksil(:,i)=[ ];
        Fsil(i)=[ ];
    end
end
Dssil=Ksil\Fsil;
rt2=size(Dssil);
rt3=(rt2(1,1)+1)/2;

%Sistem deplasman matrisinin yeniden kurulması
dno=ones(3*n,1);
for i=1:3*n
    Kind(i,:)
    if Kind(i,:)==0
        Kind(i,:);
        dno(i,1)=0;
    end
end
d=zeros(3*n,1);
kl=size(Fsil);
klm=kl(1,1);
for i=1:klm
    for j=1:3*n
        if dno(j,1)==1
            d(j,1)=d(j,1)+Dssil(i,1);
            dno(j,1)=0;
            break
        end
    end
end
dtimo=0.00406*q*a^4/D1;
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',
num2str(dtimo),' santimetre']);

```

```

disp(['Sonlu elemanlar çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',
num2str(d((3*m^2+1)/2-1,1)), ' santimetre']);

%Moment ve Eğrilik ifadelerinin hesabı
Motimo=.0479*q*a^2;
Mx=Motimo;
My=Mx;
Egrx=-Mx/(D1*(1+v));
Egry=Egrx;
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x ve y yönleri moment
değeri: ', num2str(Motimo), ' kg.cm']);
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x ve y yönleri eğrilik değeri:
', num2str(Egrx)]);

```

%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI

%VERİLER

```

tson=200; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e5; k1=.75e5; l1=20;
A=1/(1-v^2); Ev=E-k0+k1; k1v=k1/l1;
ti=zeros(sson,1);
ti(:,1)=0:dt:tson;
Dxx=[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];
I0=h^3/12; Ip0=2/(p0+2)*(h/2)^(p0+2); Ip1=2/(p1+2)*(h/2)^(p1+2);

```

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri

```

wxxm=zeros(sson,1);
wyym=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));

```

```

wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
end
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxm(1,1)=wxx0; wyy(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wxxm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wyy(m(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wyy(m(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wxxm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...

```

```

    +v*Ev*wxxd/wyyd-k1*v/v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1*v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
    +v*Ev*wyyd/wxxd-k1*v/v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1*v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
    +v*Ev*wxxd/wyyd-k1*v/v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
end
wxxm(t/dt+1,1)=wxx; wyy(m(t/dt+1,1)=wyy;
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
end

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri

```

wxxn=zeros(sson,1); wyy=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
    +E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
    +k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
    +E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
    +k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
    wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
    wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
        +E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
    wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
        +E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;

```

```

C1=0; C3=0;
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxn(1,1)=wxx0; wyy(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wxx0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wxxn(i+1,1)*(abs(wxxn(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C1=wyy0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2i=2*((wyy(1,1))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2i+C2;
    end
    B3=wyy0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B4=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B4i=2*(wyy(1,1)*(abs(wyy(1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B4=B4i+B4;
    end
    C3=wxx0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C4=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C4j=2*((wxxn(j+1,1))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C4=C4j+C4;
    end
    wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...

```

```

-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1)));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1)));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1)));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1)));
end
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxxn(t/dt+1,1)=wxx; wyyn(t/dt+1,1)=wyy;
end

```

%Eğrilik Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-wxxn(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wxx')

```

figure

```

plot(ti(:,1),-wyym(:,1),'-r',ti(:,1),-wyyn(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')

```

```
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wyy')
```

%Deformasyon Grafikleri

figure

```
plot(ti(:,1),-h/2*wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxm,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wxxm,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxm,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
```

```
xlabel('t(dakika)')
ylabel('x yönü Lineer Deformasyon')
```

figure

```
plot(ti(:,1),-h/2*wxxn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxn,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wxxn,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
```

```
xlabel('t(dakika)')
ylabel('x yönü Nonlinear Deformasyon')
```

figure

```
plot(ti(:,1),-h/2*wyyym(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyym,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wyyym,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyym,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
```

```
xlabel('t(dakika)')
ylabel('y yönü Lineer Deformasyon')
```

figure

```
plot(ti(:,1),-h/2*wyyyn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyyn,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wyyyn,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyyn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
```

```
xlabel('t(dakika)')
```

```

ylabel('y yönü Nonlinear Deformasyon')
%Linear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı
dels=d((3*m^2+1)/2-1,1);
dvislk=zeros(1,sson); dvisld=dels;
k1v=k1/l1; kle1=k1v/E; aev=1/(A*Ev/E);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*(dvislk(1,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
    while abs(dvisl(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
        dvisld=dvisl;
        dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
    end
    dvisld=dvisl;
    dvislk(1,t/dt+1)=dvisl;
end

```

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı
dvisnf=zeros(1,sson); dvisnd=dels;
aev=1/A; kp0=k0*Ip0/(E*I0); kp1=k1*Ip1/(E*I0);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*dvisnf(1,i+1)*wxxn(i+1,1)^(p1-1).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
        wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
        +V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
end

```

```

while abs(dvisnn(1,1)-dvisnd(1,1))>10^-5
dvisnd=dvisnn;
dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
    wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
    +V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
end
dvisnd=dvisnn;
dvisnf(1,t/dt+1)=dvisnn;
end
figure
plot(ti(:,1),dvislk(1,:), 'b-*', ti(:,1), dvisnf(1,:), 'r-+')
title('Deplasman-Zaman ("b--":Lineer Visk.)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('w(cm)')
hold on

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
m2=3*n;
Sgml=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
Sgmlhv=zeros(1,m2);
wssld=[wxxm(i,1); wyym(i,1); 0];
wssl0=[wxxm(1,1); wyym(1,1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
    H2j=2*([wxxm(j+1,1); wyym(j+1,1); 0]*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H2=H2j+H2;
end
Sgmlh=-A*Dxx*(Ev*wssld-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssl0+H2+wssld));
Sgmlhv(1,1:3)=Sgmlhv(1,1:3)+Sgmlh';
Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
end

```

```

%Nonineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
Sgmn=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
Sgmnhv=zeros(1,m2);
wssnd=[wxxn(i,1); wyyn(i,1); 0];
wssn0=[wxxn(1,1); wyyn(1,1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
    H2j=2*([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0].*...
        abs([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H2=H2j+H2;
end
Sgmnh=-A*Dxx*(E*wssnd-k0*wssnd.*abs(wssnd).^(p0-1)+k1*wssnd.*...
    abs(wssnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssn0.*abs(wssn0).^(p1-1)+...
    H2+wssnd.*abs(wssnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,1:3)=Sgmnhv(1,1:3)+Sgmnh';
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,1),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,1),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,2),...

```

```
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,2),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on
```

```
figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,1),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,1),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgmn(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on
```

```
figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,2),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,2),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgmn(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on
```

Ek-3: Kenarlarından Sabit Mesnetli Tekil Yüklü Kare Plak

%TÜM KENARLARI SABİT MESNET TEKİL YÜKLÜ KARE PLAK (verileri
sakın

%değiştirme)

clear all; close all; clc; format long;

set(0,'DefaultLineLineWidth',.8, 'DefaultFontSize',16,...

'defaultFontName', '<Times New Roman>',...

'defaultAxesFontName', '<Times New Roman>', 'defaultAxesFontSize',14,...

'DefaultTextFontWeight','normal', 'DefaultAxesFontWeight','normal',...

'DefaultLineMarkerSize',8)

p=100; % Plak yayılı yük değeri (kg)

a=200; %Plak Kenar Uzunluğu (cm)

elm=64; %Sonlu eleman sayısı(4 ve katları olmalıdır!)

v=.3; %Poisson oranı

h=10; %Plak kalınlığı (cm)

E=3e5; %Elastisite modülü (kg/cm²)

syms x y

D1=E*h³/(12*(1-v²)); %Plak eğilme rijitliği

D=D1*[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];%Plak eğilme rijitlik matrisi

n=((elm^{.5})+1)²; %Eleman sayısına göre toplam düğüm noktası sayısı

m=elm^{.5}+1; %Bir doğrultudaki nokta sayısı

sa=m-1; %Aralık sayısı

b=a/sa; %Aralık artışı

K=zeros(3*n,3*n);

F=zeros(3*n,1);

%Sistem düğüm noktaları

En=zeros(elm,4);

for j=0:sa-1

for i=1:sa

En(sa*j+i,1)=En(sa*j+i,1)+(j)*(m)+(i);

En(sa*j+i,2)=En(sa*j+i,2)+(j)*(m)+(i+1);

En(sa*j+i,4)=En(sa*j+i,4)+(j)*(m)+(i+1+sa);

```

    En(sa*j+i,3)=En(sa*j+i,3)+(j)*(m)+(i+2+sa);
end
end
P1=[1, x, y, x^2, x*y, y^2, x^3, x^2*y, x*y^2, y^3, x^3*y, x*y^3];
Px=diff(P1,y);
Py=-diff(P1,x);
Cy=[-b/2 -b/2; b/2 -b/2; b/2 b/2; -b/2 b/2];
P=[P1; Px; Py];
for i=0:3
    C(3*i+1,:)=subs(P1,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+2,:)=subs(Px,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+3,:)=subs(Py,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
end
N=P*C^-1; %Şekil Fonksiyonu
Q=[diff(Py,x); -diff(Px,y); 2*diff(Py,y)];
B=Q*C^-1;
ke=B'*D*B;
k=int(int(ke,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
for hi=1:elm
    for j=1:4
        for i=1:4
            K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)+k(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
        end
    end
end
F((3*n-1)/2,1)=p;
%Sınır şartları
a1=1; b1=1+sa; c1=a1+sa*m; d1=b1+sa*m;
Kind=K; Find=F;
for i=1:3:3*b1-2

```

```

Kind(i,:)=0;
Kind(:,i)=0;
Find(i,1)=0;
end
for i=3*m+1:3*m:3*m*(m-2)+1
Kind(i,:)=0;
Kind(:,i)=0;
Find(i,1)=0;
end
for i=3*2*m-2:3*m:3*m*(m-1)-2
Kind(i,:)=0;
Kind(:,i)=0;
Find(i,1)=0;
end
for i=3*m^2-3*m+1:3*m^2-2
Kind(i,:)=0;
Kind(:,i)=0;
Find(i,1)=0;
end
for i=(3*m^2+1)/2:(3*m^2+1)/2+1
Kind(i,:)=0;
Kind(:,i)=0;
Find(i,1)=0;
end
Ksil=Kind; Fsil=Find;
rt=size(Fsil);
rt1=rt(1,1);
for i=rt1:-1:1
    if Ksil(i,:)==0
        Ksil(i,:)=[ ];
        Ksil(:,i)=[ ];
        Fsil(i)=[ ];
    end
end

```

```

        end
    end
    Dssil=Ksil\Fsil;
    rt2=size(Dssil);
    rt3=(rt2(1,1)+1)/2;
    %Sistem deplasman matrisinin yeniden kurulması
    dno=ones(3*n,1);
    for i=1:3*n
        Kind(i,:)
        if Kind(i,:)==0
            Kind(i,:);
            dno(i,1)=0;
        end
    end
    end
    d=zeros(3*n,1);
    kl=size(Fsil);
    klm=kl(1,1);
    for i=1:klm
        for j=1:3*n
            if dno(j,1)==1
                d(j,1)=d(j,1)+Dssil(i,1);
                dno(j,1)=0;
                break
            end
        end
    end
    end
    dtimo=0.01160*p*a^2/D1;
    disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',
    num2str(dtimo),' cm']);
    disp(['Sonlu elemanlar çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',
    num2str(d((3*m^2+1)/2-1,1)),' cm']);

```

```

%Moment ve Eğrilik ifadelerinin hesabı
Motimo=389.09; %sadece bu plak uzunlukları ve yükleme için geçerlidir.
Mx=Motimo; My=Mx;
Egrx=-Mx/(D1*(1+v)); Egry=-My/(D1*(1+v));
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x ve y yönleri moment
değeri: ', num2str(Motimo),' kg.cm']);
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x ve y yönleri eğrilik değeri:
', num2str(Egrx)]);
%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%VERİLER
tson=200; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e5; k1=.75e5; l1=20;
A=1/(1-v^2); Ev=E-k0+k1; k1v=k1/l1;
ti=zeros(sson,1);
ti(:,1)=0:dt:tson;
Dxx=[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];
I0=h^3/12; Ip0=2/(p0+2)*(h/2)^(p0+2); Ip1=2/(p1+2)*(h/2)^(p1+2);

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wxxm=zeros(sson,1);
wyym=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
end

```

```

wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxm(1,1)=wxx0; wyy(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wxxm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wyy(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wyy(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wxxm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
+v*Ev*wxxd/wyyd-k1v*v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...

```

```

    +v*Ev*wxxd/wyyd-k1*v/v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd));
end
wxxm(t/dt+1,1)=wxx; wyy(m(t/dt+1,1)=wyy;
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
end

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wxxn=zeros(sson,1); wyy(n=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
    +E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
    +k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
    +E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
    +k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
    wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
    wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
        +E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
    wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
        +E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxn(1,1)=wxx0; wyy(n(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wxx0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;

```

```

for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wxxn(i+1,1)*(abs(wxxn(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C1=wyy0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2i=2*((wyy0*(abs(wxxn(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2i+C2;
end
B3=wyy0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B4=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B4i=2*(wyy0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B4=B4i+B4;
end
C3=wxx0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C4=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C4j=2*((wxxn(j+1,1))*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C4=C4j+C4;
end
wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));

```

```

while abs(wxx-wxxd)>10^-5
    wxxd=wxx; wyyd=wyy;
    wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
    wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
        -1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
        -1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));
end
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxxn(t/dt+1,1)=wxx; wyyd(t/dt+1,1)=wyy;
end

```

%Eğrilik Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-wxxn(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wxx')

```

figure

```

plot(ti(:,1),-wyyd(:,1),'-r',ti(:,1),-wyyd(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wyy')

```

%Deformasyon Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-h/2*wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxm,...

```

```

        '-b',ti(:,1),-h/4*wxxm,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxm,'-black')
    title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
    xlabel('t(dakika)')
    ylabel('x yönü Lineer Deformasyon')
figure
    plot(ti(:,1),-h/2*wxxn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxn,...
        '-b',ti(:,1),-h/4*wxxn,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxn,'-black')
    title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
    xlabel('t(dakika)')
    ylabel('x yönü Nonlinear Deformasyon')

figure
    plot(ti(:,1),-h/2*wyyw(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyw,...
        '-b',ti(:,1),-h/4*wyyw,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyw,'-black')
    title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
    xlabel('t(dakika)')
    ylabel('y yönü Lineer Deformasyon')
figure
    plot(ti(:,1),-h/2*wyyw(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyw,...
        '-b',ti(:,1),-h/4*wyyw,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyw,'-black')
    title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
    xlabel('t(dakika)')
    ylabel('y yönü Nonlinear Deformasyon')
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı
dels=d((3*m^2+1)/2-1,1);
dvislk=zeros(1,ssn); dvisld=dels;
k1v=k1/l1; kle1=k1v/E; aev=1/(A*Ev/E);
for t=0:dt:tson

```

```

V1=0;
for i=0:(t/dt-1)
Vi=2.*(dvislk(1,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/l1);
V1=Vi+V1;
end
dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
while abs(dvisl(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
dvisld=dvisl;
dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
end
dvisld=dvisl;
dvislk(1,t/dt+1)=dvisl;
end

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı

```

dvisnf=zeros(1,sson); dvisnd=dels;
aev=1/A; kp0=k0*Ip0/(E*I0); kp1=k1*Ip1/(E*I0);
for t=0:dt:tson
V1=0;
for i=0:(t/dt-1)
Vi=2.*dvisnf(1,i+1)*wxxn(i+1,1)^(p1-1).*exp(-(t-i*dt)/l1);
V1=Vi+V1;
end
dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
+V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
while abs(dvisnn(1,1)-dvisnd(1,1))>10^-4
dvisnd=dvisnn;
dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
+V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
end

```

```

    dvisnd=dvisnn;
    dvisnf(1,t/dt+1)=dvisnn;
end
figure
    plot(ti(:,1),dvislk(1,:), 'b-*', ti(:,1), dvisnf(1,:), 'r-+')
    title('Deplasman-Zaman (Lineer Viskoelastik Malzemeli)')
    xlabel('t(dakika)')
    ylabel('w(cm)')

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
m2=3*n;
Sgml=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
    Sgmlhv=zeros(1,m2);
    wssld=[wxxm(i,1); wyy(m,i,1); 0];
    wssl0=[wxxm(1,1); wyy(m,1,1); 0];
    H2=0;
    for j=1:(i-1)
        H2j=2*([wxxm(j+1,1); wyy(m,j+1,1); 0]*exp(-(i-j)*dt/l1));
        H2=H2j+H2;
    end
    Sgmlh=-A*Dxx*(Ev*wssld-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssl0+H2+wssld));
    Sgmlhv(1,1:3)=Sgmlhv(1,1:3)+Sgmlh';
    Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
end

%Nonineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
Sgmn=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
    Sgmnhv=zeros(1,m2);
    wssnd=[wxxn(i,1); wyy(n,i,1); 0];
    wssn0=[wxxn(1,1); wyy(n,1,1); 0];

```

```

H2=0;
for j=1:(i-1)
    H2j=2*([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0].*...
        abs([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H2=H2j+H2;
end
Sgmnh=-A*Dxx*(E*wssnd-k0*wssnd.*abs(wssnd).^(p0-1)+k1*wssnd.*...
    abs(wssnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssn0.*abs(wssn0).^(p1-1)+...
    H2+wssnd.*abs(wssnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,1:3)=Sgmnhv(1,1:3)+Sgmnh;
Sgmni(i,:)=Sgmni(i,:)+Sgmnhv;
end

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,1),...
    'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,1),'gx',ti(:,1),...
        h/8*Sgml(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,2),...
    'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,2),'gx',ti(:,1),...
        h/8*Sgml(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

```

```

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,1),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,1),'gx',ti(:,1),...
h/8*Sgmn(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

```

```

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,2),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,2),'gx',ti(:,1),...
h/8*Sgmn(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

```

Ek-4: Kenarlarından Ankastre Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

%TÜM KENARLARI ANKASTRE SABİT YAYILI YÜKLÜ KARE PLAK

```
clear all; close all; clc; format long;
```

```
set(0,'DefaultLineLineWidth',.8, 'DefaultTextFontSize',16,...
```

```
'defaultTextFontName', '<Times New Roman>',...
```

```
'defaultAxesFontName', '<Times New Roman>','defaultAxesFontSize',14,...
```

```
'DefaultTextFontWeight','normal', 'DefaultAxesFontWeight','normal',...
```

```
'DefaultLineMarkerSize',8)
```

```
q=.05; % Plak yayılı yük değeri (kg/cm^2)
```

```
a=200; %Plak Kenar Uzunluğu (cm)
```

```
elm=64; %Sonlu eleman sayısı(4 ve katları olmalıdır!)
```

```
v=.3; %Poisson oranı
```

```
h=10; %Plak kalınlığı (cm)
```

```
E=3e5; %Elastisite modülü (kg/cm^2)
```

```
syms x y
```

```
D1=E*h^3/(12*(1-v^2)); %Plak eğilme rijitliği
```

```
D=D1*[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];%Plak eğilme rijitlik matrisi
```

```
n=((elm^.5)+1)^2; %Eleman sayısına göre toplam düğüm noktası sayısı
```

```
m=elm^.5+1; %Bir doğrultudaki nokta sayısı
```

```
sa=m-1; %Aralık sayısı
```

```
b=a/sa; %Aralık artışı
```

```
K=zeros(3*n,3*n);
```

```
F=zeros(3*n,1);
```

```
%Sistem düğüm noktaları
```

```
En=zeros(elm,4);
```

```
for j=0:sa-1
```

```
for i=1:sa
```

```
En(sa*j+i,1)=En(sa*j+i,1)+(j)*(m)+(i);
```

```
En(sa*j+i,2)=En(sa*j+i,2)+(j)*(m)+(i+1);
```

```
En(sa*j+i,4)=En(sa*j+i,4)+(j)*(m)+(i+1+sa);
```

```
En(sa*j+i,3)=En(sa*j+i,3)+(j)*(m)+(i+2+sa);
```

```
end
```

```

end
P1=[1, x, y, x^2, x*y, y^2, x^3, x^2*y, x*y^2, y^3, x^3*y, x*y^3];
Px=diff(P1,y);
Py=-diff(P1,x);
Cy=[-b/2 -b/2; b/2 -b/2; b/2 b/2; -b/2 b/2];
P=[P1; Px; Py];
for i=0:3
C(3*i+1,:)=subs(P1,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+2,:)=subs(Px,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+3,:)=subs(Py,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
end
N=P*C^-1; %Şekil Fonksiyonu
Q=[diff(Py,x); -diff(Px,y); 2*diff(Py,y)];
B=Q*C^-1;
ke=B'*D*B;
fe=N'*q*[1; 0; 0];
k=int(int(ke,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
f=int(int(fe,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
for hi=1:elm
    for j=1:4
        for i=1:4
            K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=...
                K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*...
                    (En(hi,j)-1)+3)+k(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
        end
        F(3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=F(3*(En(hi,j)-1)+...
            1:3*(En(hi,j)-1)+3)+f(3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
    end
end
end
%Sınır şartları
Kind=K; Find=F;
Kind(1:3,:)=0; Kind(:,1:3)=0; Find(1:3,1)=0;

```

```

Kind(3*m-2:3*m,:)=0; Kind(:,3*m-2:3*m)=0; Find(3*m-2:3*m,1)=0;
Kind(3*(n-(m-1))-2:3*(n-(m-1)),:)=0; Kind(:,3*(n-(m-1))-2:3*(n-(m-1)))=0;...
    Find(3*(n-(m-1))-2:3*(n-(m-1)),1)=0;
Kind(3*n-2:3*n,:)=0; Kind(:,3*n-2:3*n)=0; Find(3*n-2:3*n,1)=0;
for i=4:3:3*m-5
    Kind(i:i+1,:)=0; Kind(:,i:i+1)=0; Find(i:i+1,:)=0;
end
for i=3*(n-(m-1))+1:3:3*n-5
    Kind(i:i+1,:)=0; Kind(:,i:i+1)=0; Find(i:i+1,:)=0;
end
for i=3*m+1:3*m:3*m*(m-2)+1
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=3*m+3:3*m:3*m*(m-2)+3
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=6*m-2:3*m:3*m*(m-1)-2
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=6*m:3*m:3*m*(m-1)
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=(3*m^2+1)/2:(3*m^2+1)/2+1
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
Ksil=Kind; Fsil=Find;
rt=size(Fsil);
rt1=rt(1,1);
for i=rt1:-1:1
    if Ksil(i,:)==0

```

```

        Ksil(i,:)=[];
        Ksil(:,i)=[];
        Fsil(i)=[];
    end
end
Dssil=Ksil\Fsil;
rt2=size(Dssil);
rt3=(rt2(1,1)+1)/2;
%Sistem deplasman matrisinin yeniden kurulması
dno=ones(3*n,1);
for i=1:3*n
    Kind(i,:)
    if Kind(i,:)==0
        Kind(i,:);
        dno(i,1)=0;
    end
end
end
d=zeros(3*n,1);
kl=size(Fsil);
klm=kl(1,1);
for i=1:klm
    for j=1:3*n
        if dno(j,1)==1
            d(j,1)=d(j,1)+Dssil(i,1);
            dno(j,1)=0;
            break
        end
    end
end
end
dtimo=0.00126*q*a^4/D1;
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',
num2str(dtimo),' cm']);

```

```

disp(['Sonlu elemanlar çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',
num2str(d((3*m^2+1)/2-1,1)), ' cm']);
%Moment ve Eğrilik ifadelerinin hesabı
Motimo=.0231*q*a^2;
Mx=Motimo; My=Mx;
Egrx=-Mx/(D1*(1+v)); Egry=Egrx;
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x ve y yönleri moment
değeri: ', num2str(Motimo), ' kg.cm']);
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x ve y yönleri eğrilik değeri:
', num2str(Egrx)]);

```

%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI

%VERİLER

```

tson=200; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e5; k1=.75e5; l1=20;
A=1/(1-v^2); Ev=E-k0+k1; k1v=k1/l1;
ti=zeros(sson,1);
ti(:,1)=0:dt:tson;
Dxx=[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];
I0=h^3/12; Ip0=2/(p0+2)*(h/2)^(p0+2); Ip1=2/(p1+2)*(h/2)^(p1+2);

```

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri

```

wxxm=zeros(sson,1);
wyy=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wyye=wyy0;

```

```

wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
end
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxm(1,1)=wxx0; wyy(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
    B1=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B1i=2*(wxxm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B1=B1i+B1;
    end
    C1=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C1j=2*(wyy(m(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C1=C1j+C1;
    end
    wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
        +v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wyy(m(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2j=2*(wxxm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2j+C2;
    end
    wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
        +v*Ev*wxxd/wyyd-k1v*v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
    while abs(wxx-wxxd)>10^-5
        wxxd=wxx; wyyd=wyy;

```

```

wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
+v*Ev*wxxd/wyyd-k1v*v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
end
wxxm(t/dt+1,1)=wxx; wyy(m(t/dt+1,1)=wyy;
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
end

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri

```

wxxn=zeros(sson,1); wryn=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wryi=Egry;
wxxe=wxxi; wrye=wryi;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrye/wxxe-k0*Ip0*v*wrye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wry0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wrye-k0*Ip0*v*wxxe/wrye*(abs(wrye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wrye*(abs(wrye))^(p1-1)));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wrye=wry0;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrye/wxxe-k0*Ip0*v*wrye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wry0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wrye-k0*Ip0*v*wxxe/wrye*(abs(wrye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wrye*(abs(wrye))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wxxd=wxx0; wyyd=wry0;
wxxn(1,1)=wxx0; wryn(1,1)=wry0;

```

```

for t=dt:dt:tson
    B1=wxx0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wxxn(i+1,1)*(abs(wxxn(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C1=wyy0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2i=2*((wyyyn(j+1,1))*(abs(wxxn(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2i+C2;
    end
    B3=wyy0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B4=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B4i=2*(wyyyn(i+1,1)*(abs(wyyyn(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B4=B4i+B4;
    end
    C3=wxx0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C4=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C4j=2*((wxxn(j+1,1))*(abs(wyyyn(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C4=C4j+C4;
    end
    wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
    wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
        -1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...

```

```

+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1)));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
    wxxd=wxx; wyyd=wyy;
    wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
    wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
        -1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
        -1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));
end
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxxn(t/dt+1,1)=wxx; wyyn(t/dt+1,1)=wyy;
end

```

%Eğrilik Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-wxxn(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wxx')

```

figure

```

plot(ti(:,1),-wyym(:,1),'-r',ti(:,1),-wyyn(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wyy')

```

```

%Deformasyon Grafikleri

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxm,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wxxm,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxm,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('x yönü Lineer Deformasyon')

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wxxn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxn,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wxxn,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('x yönü Nonlinear Deformasyon')

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wyyym(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyym,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wyyym,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyym,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('y yönü Lineer Deformasyon')

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wyyyn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyyn,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wyyyn,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyyn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('y yönü Nonlinear Deformasyon')

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı
dels=d((3*m^2+1)/2-1,1);

```

```

dvislk=zeros(1,sson); dvisld=dels;
k1v=k1/l1; kle1=k1v/E; aev=1/(A*Ev/E);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*(dvislk(1,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
    while abs(dvisl(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
        dvisld=dvisl;
        dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
    end
    dvisld=dvisl;
    dvislk(1,t/dt+1)=dvisl;
end

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı

```

dvisnf=zeros(1,sson); dvisnd=dels;
aev=1/A; kp0=k0*Ip0/(E*I0); kp1=k1*Ip1/(E*I0);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*dvisnf(1,i+1)*wxxn(i+1,1)^(p1-1).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
        wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1).*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
        +V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
    while abs(dvisnn(1,1)-dvisnd(1,1))>10^-4
        dvisnd=dvisnn;
        dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...

```

```

        wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
        +V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
    end
    dvisnd=dvisnn;
    dvisnf(1,t/dt+1)=dvisnn;
end
figure
plot(ti(:,1),dvislk(1,:), 'b-*,ti(:,1),dvisnf(1,:), 'r-+')
title('Deplasman-Zaman ("b--":Lineer Visk.)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('w(cm)')
hold on

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
m2=3*n;
Sgml=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
    Sgmlhv=zeros(1,m2);
    wssld=[wxxm(i,1); wyym(i,1); 0];
    wssl0=[wxxm(1,1); wyym(1,1); 0];
    H2=0;
    for j=1:(i-1)
        H2j=2*([wxxm(j+1,1); wyym(j+1,1); 0]*exp(-(i-j)*dt/l1));
        H2=H2j+H2;
    end
    Sgmlh=-A*Dxx*(Ev*wssld-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssl0+H2+wssld));
    Sgmlhv(1,1:3)=Sgmlhv(1,1:3)+Sgmlh';
    Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
end

%Nonineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
Sgmn=zeros(sson,m2);

```

```

for i=1:sson
Sgmnhv=zeros(1,m2);
wssnd=[wxxn(i,1); wyyn(i,1); 0];
wssn0=[wxxn(1,1); wyyn(1,1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
    H2j=2*([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0].*...
        abs([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H2=H2j+H2;
end
Sgmnh=-A*Dxx*(E*wssnd-k0*wssnd.*abs(wssnd).^(p0-1)+k1*wssnd.*...
    abs(wssnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssn0.*abs(wssn0).^(p1-1)+...
    H2+wssnd.*abs(wssnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,1:3)=Sgmnhv(1,1:3)+Sgmnh';
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,1),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,1),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,2),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,2),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,2),'k*')

```

```
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y  
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
```

```
xlabel('t(dakika)')
```

```
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
```

```
hold on
```

```
figure
```

```
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,1),...
```

```
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,1),'gx',ti(:,1),...
```

```
h/8*Sgmn(:,1),'k*')
```

```
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X  
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
```

```
xlabel('t(dakika)')
```

```
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
```

```
hold on
```

```
figure
```

```
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,2),...
```

```
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,2),'gx',ti(:,1),...
```

```
h/8*Sgmn(:,2),'k*')
```

```
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y  
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
```

```
xlabel('t(dakika)')
```

```
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
```

```
hold on
```

Ek-5: Karşılıklı İki Kenarından Sabit Mesnetli Diğer Kenarları Boşta Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

%KARŞILIKLI İKİ TARAFINDAN SABİT MESNETLİ DİĞER İKİ KENARI
BOŞTA

%SABİT YAYILI YÜKLÜ KARE PLAK

clear all; close all; clc; format long;

set(0,'DefaultLineLineWidth',.8, 'DefaultTextFontSize',16,...

'defaultTextFontName', '<Times New Roman>',...

'defaultAxesFontName', '<Times New Roman>','defaultAxesFontSize',14,...

'DefaultTextFontWeight','normal', 'DefaultAxesFontWeight','normal',...

'DefaultLineMarkerSize',8)

q=.05; % Plak yayılı yük değeri (kg/cm²)

a=200; %Plak Kenar Uzunluğu (cm)

elm=64; %Sonlu eleman sayısı(4 ve katları olmalıdır!)

v=.3; %Poisson oranı

t=10; %Plak kalınlığı (cm)

E=3e5; %Elastisite modülü (kg/cm²)

syms x y

D1=E*t³/(12*(1-v²)); %Plak eğilme rijitliği

D=D1*[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];%Plak eğilme rijitlik matrisi

n=((elm^{.5})+1)²; %Eleman sayısına göre toplam düğüm noktası sayısı

m=elm^{.5}+1; %Bir doğrultudaki nokta sayısı

sa=m-1; %Aralık sayısı

b=a/sa; %Aralık artışı

K=zeros(3*n,3*n);

F=zeros(3*n,1);

%Sistem düğüm noktaları

En=zeros(elm,4);

for j=0:sa-1

for i=1:sa

En(sa*j+i,1)=En(sa*j+i,1)+(j)*(m)+(i);

En(sa*j+i,2)=En(sa*j+i,2)+(j)*(m)+(i+1);

```

    En(sa*j+i,4)=En(sa*j+i,4)+(j)*(m)+(i+1+sa);
    En(sa*j+i,3)=En(sa*j+i,3)+(j)*(m)+(i+2+sa);
end
end
P1=[1, x, y, x^2, x*y, y^2, x^3, x^2*y, x*y^2, y^3, x^3*y, x*y^3];
Px=diff(P1,y);
Py=-diff(P1,x);
Cy=[-b/2 -b/2; b/2 -b/2; b/2 b/2; -b/2 b/2];
P=[P1; Px; Py];
for i=0:3
    C(3*i+1,:)=subs(P1,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+2,:)=subs(Px,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+3,:)=subs(Py,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
end
N=P*C^-1; %Şekil Fonksiyonu
Q=[diff(Py,x); -diff(Px,y); 2*diff(Py,y)];
B=Q*C^-1;
ke=B'*D*B;
fe=N'*q*[1; 0; 0];
k=int(int(ke,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
f=int(int(fe,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
for h=1:elm
    for j=1:4
        for i=1:4
            K(3*(En(h,i)-1)+1:3*(En(h,i)-1)+3, 3*(En(h,j)-1)+1:3*(En(h,j)-1)+3)=...
                K(3*(En(h,i)-1)+1:3*(En(h,i)-1)+3, 3*(En(h,j)-1)+1:3*...
                    (En(h,j)-1)+3)+k(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
        end
        F(3*(En(h,j)-1)+1:3*(En(h,j)-1)+3)=F(3*(En(h,j)-1)+...
            1:3*(En(h,j)-1)+3)+f(3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
    end
end
end

```

```

%Sınır şartları
Kind=K; Find=F;
Kind(1,:)=0; Kind(:,1)=0; Find(1,1)=0;
Kind(3*m-2,:)=0; Kind(:,3*m-2)=0; Find(3*m-2,1)=0;
Kind(3*(n-(m-1))-2,:)=0; Kind(:,3*(n-(m-1))-2)=0;
    Find(3*(n-(m-1))-2,1)=0;
Kind(3*n-2,:)=0; Kind(:,3*n-2)=0; Find(3*n-2,1)=0;
for i=3*m+1:3*m:3*m*(m-2)+1
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=6*m-2:3*m:3*m*(m-1)-2
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=(3*m^2+1)/2:(3*m^2+1)/2+1
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
Ksil=Kind; Fsil=Find;
rt=size(Fsil);
rt1=rt(1,1);
for i=rt1:-1:1
    if Ksil(i,:)==0
        Ksil(i,:)=[ ];
        Ksil(:,i)=[ ];
        Fsil(i)=[ ];
    end
end
Dssil=Ksil\Fsil;
rt2=size(Dssil);
rt3=(rt2(1,1)+1)/2;
%Sistem deplasman matrisinin yeniden kurulması

```

```

dno=ones(3*n,1);
for i=1:3*n
    Kind(i,:)
    if Kind(i,)==0
        Kind(i,:);
        dno(i,1)=0;
    end
end
d=zeros(3*n,1);
kl=size(Fsil);
klm=kl(1,1);
for i=1:klm
    for j=1:3*n
        if dno(j,1)==1
            d(j,1)=d(j,1)+Dssil(i,1);
            dno(j,1)=0;
            break
        end
    end
end
dtimo=0.01309*q*a^4/D1;
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',...
    num2str(dtimo),' cm']);
disp(['Sonlu elemanlar çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',...
    num2str(d((3*m^2+1)/2-1,1)),' cm']);
%Moment ve Eğrilik ifadelerinin hesabı
Moximo=.1225*q*a^2;
Moytimo=.0271*q*a^2;
Mx=Moximo; My=Moytimo;
Egrx=-Mx/(D1*(1+v)); Egry=-My/(D1*(1+v));
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x yönü moment değeri: ',...

```

```

num2str(Moxtimo),' kg.cm',' ', 'Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası
y yönü moment değeri: ',...
num2str(Moytimo),' kg.cm']);
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x yönü eğrilik değeri: ',...
num2str(Egrx),' ', 'Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası y yönü
eğrilik değeri: ', num2str(Egry)]);

```

%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI

%VERİLER

```

tson=200; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
h=t; k0=1e5; k1=.75e5; l1=20;
A=1/(1-v^2); Ev=E-k0+k1; k1v=k1/l1;
ti=zeros(sson,1);
ti(:,1)=0:dt:tson;
Dxx=[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];
I0=h^3/12; Ip0=2/(p0+2)*(h/2)^(p0+2); Ip1=2/(p1+2)*(h/2)^(p1+2);

```

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri

```

wxxm=zeros(sson,1);
wyym=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyw0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wywe));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wywe=wyw0;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wywe/wxxe));
wyw0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wywe));
end
wxxd=wxx0; wywd=wyw0;

```

```

wxxm(1,1)=wxx0; wyym(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wxxm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wyym(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wyym(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wxxm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
+v*Ev*wxxd/wyyd-k1v*v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
+v*Ev*wxxd/wyyd-k1v*v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));

```

```

end
wxxm(t/dt+1,1)=wxx; wyym(t/dt+1,1)=wyy;
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
end

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wxxn=zeros(sson,1); wyyn=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
    wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
    wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
    wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxn(1,1)=wxx0; wyyn(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wxx0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)

```

```

    B2i=2*(wxxn(i+1,1)*(abs(wxxn(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C1=wyy0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2i=2*((wyy0*(j+1,1))*(abs(wxxn(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2i+C2;
end
B3=wyy0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B4=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B4i=2*(wyy0*(i+1,1)*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B4=B4i+B4;
end
C3=wxx0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C4=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C4j=2*((wxxn(j+1,1))*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C4=C4j+C4;
end
wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5

```

```

wxxd=wxx; wyzd=wyy;
wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));
end
wxxd=wxx; wyzd=wyy;
wxxn(t/dt+1,1)=wxx; wyy(n(t/dt+1,1)=wyy;
end

```

%Eğrilik Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-wxxn(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wxx')

```

figure

```

plot(ti(:,1),-wyym(:,1),'-r',ti(:,1),-wyy(n(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wyy')

```

%Deformasyon Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-h/2*wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxm,...
'-b',ti(:,1),-h/4*wxxm,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxm,'-black')

```

title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8 noktaları için')

xlabel('t(dakika)')

ylabel('x yönü Lineer Deformasyon')

figure

plot(ti(:,1),-h/2*wxxn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxn,...

','-b',ti(:,1),-h/4*wxxn,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxn,'-black')

title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8 noktaları için')

xlabel('t(dakika)')

ylabel('x yönü Nonlinear Deformasyon')

figure

plot(ti(:,1),-h/2*wyym(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyym,...

','-b',ti(:,1),-h/4*wyym,'-g',ti(:,1),-h/8*wyym,'-black')

title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8 noktaları için')

xlabel('t(dakika)')

ylabel('y yönü Lineer Deformasyon')

figure

plot(ti(:,1),-h/2*wyyn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyn,...

','-b',ti(:,1),-h/4*wyyn,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyn,'-black')

title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8 noktaları için')

xlabel('t(dakika)')

ylabel('y yönü Nonlinear Deformasyon')

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı

dels=d((3*m^2+1)/2-1,1);

dvislk=zeros(1,sson); dvisld=dels;

k1v=k1/11; kle1=k1v/E; aev=1/(A*Ev/E);

for t=0:dt:tson

V1=0;

```

for i=0:(t/dt-1)
Vi=2.*(dvislk(1,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/l1);
V1=Vi+V1;
end
dvisl=aev.*dels+dt/2*k1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
while abs(dvisl(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
dvisld=dvisl;
dvisl=aev.*dels+dt/2*k1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
end
dvisld=dvisl;
dvislk(1,t/dt+1)=dvisl;
end

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı
dvisnf=zeros(1,sson); dvisnd=dels;
aev=1/A; kp0=k0*Ip0/(E*I0); kp1=k1*Ip1/(E*I0);
won=(wxxn+wyyyn)/2;
for t=0:dt:tson
V1=0;
for i=0:(t/dt-1)
Vi=2.*dvisnf(1,i+1)*won(i+1,1)^(p1-1).*exp(-(t-i*dt)/l1);
V1=Vi+V1;
end
dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
won(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*won(1,1)^(p1-1)...
+V1+dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p1-1));
while abs(dvisnn(1,1)-dvisnd(1,1))>10^-4
dvisnd=dvisnn;
dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
won(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*won(1,1)^(p1-1)...
+V1+dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p1-1));
end

```

```

dvisnd=dvisnn;
dvisnf(1,t/dt+1)=dvisnn;
end

```

```

figure
plot(ti(:,1),dvislk(1,:),'b-*',ti(:,1),dvisnf(1,:),'r-+')
title('Deplasman-Zaman (Lineer ve Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('d(cm)')
hold on

```

```

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
m2=3*n;
Sgml=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
Sgmlhv=zeros(1,m2);
wssld=[wxxm(i,1); wyy(m,i,1); 0];
wssl0=[wxxm(1,1); wyy(1,1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
H2j=2*([wxxm(j+1,1); wyy(j+1,1); 0]*exp(-(i-j)*dt/l1));
H2=H2j+H2;
end
Sgmlh=-A*Dxx*(Ev*wssld-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssl0+H2+wssld));
Sgmlhv(1,1:3)=Sgmlhv(1,1:3)+Sgmlh';
Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
end

%Nonineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
Sgmn=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
Sgmnhv=zeros(1,m2);
wssnd=[wxxn(i,1); wyy(n,i,1); 0];

```

```

wssn0=[wxxn(1,1); wyyn(1,1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
    H2j=2*([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0].*...
        abs([wxxn(j+1,1); wyyn(j+1,1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H2=H2j+H2;
end
Sgmnh=-A*Dxx*(E*wssnd-k0*wssnd.*abs(wssnd).^(p0-1)+k1*wssnd.*...
    abs(wssnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssn0.*abs(wssn0).^(p1-1)+...
    H2+wssnd.*abs(wssnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,1:3)=Sgmnhv(1,1:3)+Sgmnh';
Sgmni(i,:)=Sgmni(i,:)+Sgmnhv;
end

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,1),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,1),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,2),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,2),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')

```

hold on

figure

plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,1),...

'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,1),'gx',ti(:,1),...

h/8*Sgmn(:,1),'k*')

title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')

xlabel('t(dakika)')

ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')

hold on

figure

plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,2),...

'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,2),'gx',ti(:,1),...

h/8*Sgmn(:,2),'k*')

title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')

xlabel('t(dakika)')

ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')

hold on

**Ek-6: Karşılıklı İki Kenarından Sabit Diğer Kenarları Ankastre Mesnetli
Uniform Yayılı Yüklü Kare Plak**

%KARŞILIKLI İKİ KENARI ANKASTRE DİĞER KENARLARI SABİT
MESNETLİ

%SABİT YAYILI YÜKLÜ KARE PLAK

clear all; close all; clc; format long;

set(0,'DefaultLineLineWidth',.8, 'DefaultTextFontSize',16,...

'defaultTextFontName', '<Times New Roman>',...

'defaultAxesFontName', '<Times New Roman>', 'defaultAxesFontSize',14,...

'DefaultTextFontWeight','normal', 'DefaultAxesFontWeight','normal',...

'DefaultLineMarkerSize',8)

q=.05; % Plak yayılı yük değeri (kg/cm²)

a=200; %Plak Kenar Uzunluğu (cm)

elm=64; %Sonlu eleman sayısı(4 ve katları olmalıdır!)

v=.3; %Poisson oranı

h=10; %Plak kalınlığı (cm)

E=3e5; %Elastisite modülü (kg/cm²)

syms x y

D1=E*h^3/(12*(1-v^2)); %Plak eğilme rijitliği

D=D1*[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];%Plak eğilme rijitlik matrisi

n=((elm^.5)+1)^2; %Eleman sayısına göre toplam düğüm noktası sayısı

m=elm^.5+1; %Bir doğrultudaki nokta sayısı

sa=m-1; %Aralık sayısı

b=a/sa; %Aralık artışı

K=zeros(3*n,3*n);

F=zeros(3*n,1);

%Sistem düğüm noktaları

En=zeros(elm,4);

for j=0:sa-1

for i=1:sa

En(sa*j+i,1)=En(sa*j+i,1)+(j)*(m)+(i);

En(sa*j+i,2)=En(sa*j+i,2)+(j)*(m)+(i+1);

```

    En(sa*j+i,4)=En(sa*j+i,4)+(j)*(m)+(i+1+sa);
    En(sa*j+i,3)=En(sa*j+i,3)+(j)*(m)+(i+2+sa);
end
end
P1=[1, x, y, x^2, x*y, y^2, x^3, x^2*y, x*y^2, y^3, x^3*y, x*y^3];
Px=diff(P1,y);
Py=-diff(P1,x);
Cy=[-b/2 -b/2; b/2 -b/2; b/2 b/2; -b/2 b/2];
P=[P1; Px; Py];
for i=0:3
    C(3*i+1,:)=subs(P1,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+2,:)=subs(Px,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+3,:)=subs(Py,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
end
N=P*C^-1; %Şekil Fonksiyonu
Q=[diff(Py,x); -diff(Px,y); 2*diff(Py,y)];
B=Q*C^-1;
ke=B'*D*B;
fe=N'*q*[1; 0; 0];
k=int(int(ke,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
f=int(int(fe,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
for hi=1:elm
    for j=1:4
        for i=1:4
            K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=...
                K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*...
                    (En(hi,j)-1)+3)+k(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
        end
        F(3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=F(3*(En(hi,j)-1)+...
            1:3*(En(hi,j)-1)+3)+f(3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
    end
end
end

```

```

%Sınır şartları
Kind=K; Find=F;
Kind(1:2,:)=0; Kind(:,1:2)=0; Find(1:2,1)=0;
Kind(3*m-2:3*m-1,:)=0; Kind(:,3*m-2:3*m-1)=0; Find(3*m-2:3*m-1,1)=0;
Kind(3*(n-(m-1))-2:3*(n-(m-1))-1,:)=0; Kind(:,3*(n-(m-1))-2:3*...
(n-(m-1))-1)=0;
    Find(3*(n-(m-1))-2:3*(n-(m-1))-1,1)=0;
Kind(3*n-2:3*n-1,:)=0; Kind(:,3*n-2:3*n-1)=0; Find(3*n-2:3*n-1,1)=0;
for i=4:3:3*m-5
    Kind(i:i+1,:)=0; Kind(:,i:i+1)=0; Find(i:i+1,:)=0;
end
for i=3*(n-(m-1))+1:3:3*n-5
    Kind(i:i+1,:)=0; Kind(:,i:i+1)=0; Find(i:i+1,:)=0;
end
for i=3*m+1:3*m:3*m*(m-2)+1
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=6*m-2:3*m:3*m*(m-1)-2
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=(3*m^2+1)/2:(3*m^2+1)/2+1
    Kind(i,:)=0;
    Kind(:,i)=0;
    Find(i,1)=0;
end
Ksil=Kind; Fsil=Find;
rt=size(Fsil);
rt1=rt(1,1);
for i=rt1:-1:1
    if Ksil(i,:)==0
        Ksil(i,:)=[];
        Ksil(:,i)=[];
    end
end

```

```

        Fsil(i)=[ ];
    end
end
Dssil=Ksil\Fsil;
rt2=size(Dssil);
rt3=(rt2(1,1)+1)/2;
%Sistem deplasman matrisinin yeniden kurulması
dno=ones(3*n,1);
for i=1:3*n
    Kind(i,:)
    if Kind(i,)==0
        Kind(i,:);
        dno(i,1)=0;
    end
end
d=zeros(3*n,1);
kl=size(Fsil);
klm=kl(1,1);
for i=1:klm
    for j=1:3*n
        if dno(j,1)==1
            d(j,1)=d(j,1)+Dssil(i,1);
            dno(j,1)=0;
            break
        end
    end
end
dtimo=0.00192*q*a^4/D1;
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',...
    num2str(dtimo),' cm']);
disp(['Sonlu elemanlar çözümüne göre plak orta noktası deplasman değeri: ',...
    num2str(d((3*m^2+1)/2-1,1)),' cm']);

```

```

%Moment ve Eğrilik ifadelerinin hesabı
Moximo=.0244*q*a^2;
Moyimo=.0332*q*a^2;
Mx=Moximo; My=Moyimo;
Egrx=-Mx/(D1*(1+v)); Egry=-My/(D1*(1+v));
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x yönü moment değeri: ',...
    num2str(Moximo),' kg.cm', ' ', 'Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası
y yönü moment değeri: ',...
    num2str(Moyimo),' kg.cm']);
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x yönü eğrilik değeri: ',...
    num2str(Egrx),' ', 'Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası y yönü
eğrilik değeri: ', num2str(Egry)]);

```

%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI

%VERİLER

```

tson=200; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e5; k1=.75e5; l1=20;
A=1/(1-v^2); Ev=E-k0+k1; k1v=k1/l1;
ti=zeros(sson,1);
ti(:,1)=0:dt:tson;
Dxx=[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];
I0=h^3/12; Ip0=2/(p0+2)*(h/2)^(p0+2); Ip1=2/(p1+2)*(h/2)^(p1+2);

```

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri

```

wxxm=zeros(sson,1);
wyyo=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));

```

```

while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
end
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxm(1,1)=wxx0; wyy(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wxxm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wyy(m(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wyy(m(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wxxm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
+v*Ev*wxxd/wyyd-k1v*v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));

```

```

while abs(wxx-wxxd)>10^-5
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
+v*Ev*wyyd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+C1+wyyd)));
wyy=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyyd*dt/2*(wyy0*exp(-t/l1)+B2+wyyd)...
+v*Ev*wxxd/wyyd-k1v*v/wyyd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
end
wxxm(t/dt+1,1)=wxx; wyy(m(t/dt+1,1)=wyy;
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
end

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri

```

wxxn=zeros(sson,1); wwyn=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;

```

```

wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxn(1,1)=wxx0; wyy(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wxx0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wxxn(i+1,1)*(abs(wxxn(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C1=wyy0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2i=2*((wyy(1,j+1))*(abs(wxxn(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2i+C2;
    end
    B3=wyy0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B4=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B4i=2*(wyy(1,i+1)*(abs(wyy(1,i+1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B4=B4i+B4;
    end
    C3=wxx0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C4=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C4j=2*((wxxn(j+1,1))*(abs(wyy(1,j+1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C4=C4j+C4;
    end
    wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
        -1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));

```

```

wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));
end
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxxn(t/dt+1,1)=wxx; wyy(n(t/dt+1,1))=wyy;
end
%Eğrilik Grafikleri
figure
plot(ti(:,1),-wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-wxxn(:,1),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wxx')
figure
plot(ti(:,1),-wyym(:,1),'-r',ti(:,1),-wyy(n(t/dt+1,1)),'-b')
title('Zaman -Egrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wyy')

```

```

%Deformasyon Grafikleri

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxm,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wxxm,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxm,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('x yönü Lineer Deformasyon')

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wxxn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxn,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wxxn,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('x yönü Nonlinear Deformasyon')

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wyyym(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyym,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wyyym,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyym,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('y yönü Lineer Deformasyon')

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wyyyn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyyn,...
     '-b',ti(:,1),-h/4*wyyyn,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyyn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('y yönü Nonlinear Deformasyon')

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı
dels=d((3*m^2+1)/2-1,1);

```

```

dvislk=zeros(1,sson); dvisld=dels;
k1v=k1/l1; kle1=k1v/E; aev=1/(A*Ev/E);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*(dvislk(1,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
    while abs(dvisl(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
        dvisld=dvisl;
        dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
    end
    dvisld=dvisl;
    dvislk(1,t/dt+1)=dvisl;
end

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı

```

dvisnf=zeros(1,sson); dvisnd=dels;
aev=1/A; kp0=k0*Ip0/(E*I0); kp1=k1*Ip1/(E*I0);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*dvisnf(1,i+1)*wxxn(i+1,1)^(p1-1).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
        wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1).*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
        +V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
    while abs(dvisnn(1,1)-dvisnd(1,1))>10^-4
        dvisnd=dvisnn;
        dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...

```

```

wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*wxxn(1,1)^(p1-1)...
+V1+dvisnd*wxxn(t/dt+1,1)^(p1-1));
end
dvisnd=dvisnn;
dvisnf(1,t/dt+1)=dvisnn;
end
figure
plot(ti(:,1),dvislk(1,:), 'b-*', ti(:,1), dvisnf(1,:), 'r-+')
title('Deplasman-Zaman (Lineer ve Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('d(cm)')
hold on

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
m2=3*n;
Sgml=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
Sgmlhv=zeros(1,m2);
wssld=[wxxm(i,1); wyym(i,1); 0];
wssl0=[wxxm(1,1); wyym(1,1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
H2j=2*([wxxm(j+1,1); wyym(j+1,1); 0]*exp(-(i-j)*dt/l1));
H2=H2j+H2;
end
Sgmlh=-A*Dxx*(Ev*wssld-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssl0+H2+wssld));
Sgmlhv(1,1:3)=Sgmlhv(1,1:3)+Sgmlh';
Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
end

%Nonineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
Sgmn=zeros(sson,m2);
for i=1:sson

```

```

Sgmnhv=zeros(1,m2);
wssnd=[wxxn(i,1); wyy(n(i,1); 0];
wssn0=[wxxn(1,1); wyy(n(1,1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
    H2j=2*([wxxn(j+1,1); wyy(n(j+1,1); 0].*...
        abs([wxxn(j+1,1); wyy(n(j+1,1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H2=H2j+H2;
end
Sgmnh=-A*Dxx*(E*wssnd-k0*wssnd.*abs(wssnd).^(p0-1)+k1*wssnd.*...
    abs(wssnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssn0.*abs(wssn0).^(p1-1)+...
    H2+wssnd.*abs(wssnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,1:3)=Sgmnhv(1,1:3)+Sgmnh';
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,1),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,1),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,2),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,2),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')

```

```
xlabel('t(dakika)')
```

```
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
```

```
hold on
```

```
figure
```

```
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,1),...
```

```
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,1),'gx',ti(:,1),...
```

```
h/8*Sgmn(:,1),'k*')
```

```
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X  
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
```

```
xlabel('t(dakika)')
```

```
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
```

```
hold on
```

```
figure
```

```
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,2),...
```

```
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,2),'gx',ti(:,1),...
```

```
h/8*Sgmn(:,2),'k*')
```

```
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y  
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
```

```
xlabel('t(dakika)')
```

```
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
```

```
hold on
```

Ek-7: Karşılıklı İki Kenarından Sabit, Bir Kenarı Ankastre Mesnetli, Diğer Kenarı Boşta Olan Üniform Yayılı Yüklü Kare Plak

%KARŞILIKLI İKİ KENARI SABİT BİR KENARI ANKASTRE MESNETLİ
%DİĞER KENARI BOŞTA SABİT YAYILI YÜKLÜ KARE PLAK

clear all; close all; clc; format long;

set(0,'DefaultLineLineWidth',.8, 'DefaultFontSize',16,...

'defaultFontName', '<Times New Roman>',...

'defaultAxesFontName', '<Times New Roman>','defaultAxesFontSize',14,...

'DefaultTextFontWeight','normal', 'DefaultAxesFontWeight','normal',...

'DefaultLineMarkerSize',8)

q=.05; % Plak yayılı yük değeri (kg/cm²)

a=200; %Plak Kenar Uzunluğu (cm)

elm=64; %Sonlu eleman sayısı(4 ve katları olmalıdır!)

v=.3; %Poisson oranı

h=10; %Plak kalınlığı (cm)

E=3e5; %Elastisite modülü (kg/cm²)

syms x y

D1=E*h³/(12*(1-v²)); %Plak eğilme rijitliği

D=D1*[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];%Plak eğilme rijitlik matrisi

n=((elm^{.5})+1)²; %Eleman sayısına göre toplam düğüm noktası sayısı

m=elm^{.5}+1; %Bir doğrultudaki nokta sayısı

sa=m-1; %Aralık sayısı

b=a/sa; %Aralık artışı

K=zeros(3*n,3*n);

F=zeros(3*n,1);

%Sistem düğüm noktaları

En=zeros(elm,4);

for j=0:sa-1

for i=1:sa

En(sa*j+i,1)=En(sa*j+i,1)+(j)*(m)+(i);

En(sa*j+i,2)=En(sa*j+i,2)+(j)*(m)+(i+1);

En(sa*j+i,4)=En(sa*j+i,4)+(j)*(m)+(i+1+sa);

```

    En(sa*j+i,3)=En(sa*j+i,3)+(j)*(m)+(i+2+sa);
end
end
P1=[1, x, y, x^2, x*y, y^2, x^3, x^2*y, x*y^2, y^3, x^3*y, x*y^3];
Px=diff(P1,y);
Py=-diff(P1,x);
Cy=[-b/2 -b/2; b/2 -b/2; b/2 b/2; -b/2 b/2];
P=[P1; Px; Py];
for i=0:3
    C(3*i+1,:)=subs(P1,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+2,:)=subs(Px,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
    C(3*i+3,:)=subs(Py,{x,y},{Cy(i+1,1),Cy(i+1,2)});
end
N=P*C^-1; %Şekil Fonksiyonu
Q=[diff(Py,x); -diff(Px,y); 2*diff(Py,y)];
B=Q*C^-1;
ke=B'*D*B;
fe=N'*q*[1; 0; 0];
k=int(int(ke,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
f=int(int(fe,x,-b/2,b/2),y,-b/2,b/2);
for hi=1:elm
    for j=1:4
        for i=1:4
            K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=...
                K(3*(En(hi,i)-1)+1:3*(En(hi,i)-1)+3, 3*(En(hi,j)-1)+1:3*...
                    (En(hi,j)-1)+3)+k(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
        end
        F(3*(En(hi,j)-1)+1:3*(En(hi,j)-1)+3)=F(3*(En(hi,j)-1)+...
            1:3*(En(hi,j)-1)+3)+f(3*(j-1)+1:3*(j-1)+3);
        end
    end
end
end
%Sınır şartları

```

```

Kind=K; Find=F;
Kind(1:2,:)=0; Kind(:,1:2)=0; Find(1:2,1)=0;
Kind(3*m-2:3*m-1,:)=0; Kind(:,3*m-2:3*m-1)=0; Find(3*m-2:3*m-1,1)=0;
Kind(3*(n-(m-1))-2,:)=0; Kind(:,3*(n-(m-1))-2)=0;
    Find(3*(n-(m-1))-2,1)=0;
Kind(3*n-2,:)=0; Kind(:,3*n-2)=0; Find(3*n-2,1)=0;
for i=4:3:3*m-5
    Kind(i:i+1,:)=0; Kind(:,i:i+1)=0; Find(i:i+1,:)=0;
end
for i=3*m+1:3*m:3*m*(m-2)+1
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
for i=6*m-2:3*m:3*m*(m-1)-2
    Kind(i,:)=0; Kind(:,i)=0; Find(i,:)=0;
end
Ksil=Kind; Fsil=Find;
rt=size(Fsil);
rt1=rt(1,1);
for i=rt1:-1:1
    if Ksil(i,:)==0
        Ksil(i,:)=[ ];
        Ksil(:,i)=[ ];
        Fsil(i)=[ ];
    end
end
Dssil=Ksil\Fsil;
rt2=size(Dssil);
rt3=(rt2(1,1)+1)/2;
%Sistem deplasman matrisinin yeniden kurulması
dno=ones(3*n,1);
for i=1:3*n
    Kind(i,:)

```

```

    if Kind(i,:)==0
        Kind(i,:);
        dno(i,1)=0;
    end
end
d=zeros(3*n,1);
kl=size(Fsil);
klm=kl(1,1);
for i=1:klm
    for j=1:3*n
        if dno(j,1)==1
            d(j,1)=d(j,1)+Dssil(i,1);
            dno(j,1)=0;
            break
        end
    end
end
dtimo=0.0113*q*a^4/D1;
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak maksimum deplasman değeri: ',...
    num2str(dtimo),' cm']);
disp(['Sonlu elemanlar çözümüne göre plak maksimum deplasman değeri: ',...
    num2str(d(3*(2*n-m-1)/2+1,1)),' cm']);
%Moment ve Eğrilik ifadelerinin hesabı
Moytimo=.0972*q*a^2;
Moxtimo=1e-5;
Mx=Moxtimo; My=Moytimo;
Egrx=-Mx/(D1*(1+v)); Egry=-My/(D1*(1+v));
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x yönü moment değeri: ',...
    num2str(Moxtimo),' kg.cm', ' ',...
    'Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası y yönü moment değeri: ',...
    num2str(Moytimo),' kg.cm']);
disp(['Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası x yönü eğrilik değeri: ',...

```

```

num2str(Egrx),' ','...',
'Timoshenkonun çözümüne göre plak orta noktası y yönü eğrilik değeri: ',...
num2str(Egry)]);

%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%VERİLER
tson=200; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e5; k1=.75e5; l1=20;
A=1/(1-v^2); Ev=E-k0+k1; k1v=k1/l1;
ti=zeros(sson,1);
ti(:,1)=0:dt:tson;
Dxx=[1 v 0; v 1 0; 0 0 (1-v)/2];
I0=h^3/12; Ip0=2/(p0+2)*(h/2)^(p0+2); Ip1=2/(p1+2)*(h/2)^(p1+2);

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wxxm=zeros(sson,1);
wyy=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
wxx0=-Mx/(A*I0*(Ev+v*Ev*wyye/wxxe));
wyy0=-My/(A*I0*(Ev+v*Ev*wxxe/wyye));
end
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxm(1,1)=wxx0; wyy(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;

```

```

for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wxxm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wyym(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
    +v*Ev*wyymd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyym0*exp(-t/l1)+C1+wyymd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wyym(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wxxm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wyym=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyymd*dt/2*(wyym0*exp(-t/l1)+B2+wyymd)...
    +v*Ev*wxxd/wyymd-k1v*v/wyymd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
    wxxd=wxx; wyymd=wyym;
    wxx=-Mx/(A*I0*(Ev-k1v/wxxd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+B1+wxxd)...
        +v*Ev*wyymd/wxxd-k1v*v/wxxd*dt/2*(wyym0*exp(-t/l1)+C1+wyymd)));
    wyym=-My/(A*I0*(Ev-k1v/wyymd*dt/2*(wyym0*exp(-t/l1)+B2+wyymd)...
        +v*Ev*wxxd/wyymd-k1v*v/wyymd*dt/2*(wxx0*exp(-t/l1)+C2+wxxd)));
end
wxxm(t/dt+1,1)=wxx; wyym(t/dt+1,1)=wyym;
wxxd=wxx; wyymd=wyym;

```

```

end

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wxxn=zeros(sson,1); wyyn=zeros(sson,1);
wxxi=Egrx; wyyi=Egry;
wxxe=wxxi; wyye=wyyi;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
while abs(wxx0-wxxe)>10^-5
wxxe=wxx0; wyye=wyy0;
wxx0=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxe))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxe))^(p1-1)...
+E*I0*v*wyye/wxxe-k0*Ip0*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyye/wxxe*(abs(wxxe))^(p1-1)));
wyy0=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyye))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyye))^(p1-1)...
+E*I0*v*wxxe/wyye-k0*Ip0*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxe/wyye*(abs(wyye))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wxxd=wxx0; wyyd=wyy0;
wxxn(1,1)=wxx0; wyyn(1,1)=wyy0;
for t=dt:dt:tson
B1=wxx0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
B2i=2*(wxxn(i+1,1)*(abs(wxxn(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
B2=B2i+B2;
end

```

```

C1=wyy0*(abs(wxx0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2i=2*((wyy(j+1,1))*(abs(wxx(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2i+C2;
end
B3=wyy0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B4=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B4i=2*(wyy(i+1,1)*(abs(wyy(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B4=B4i+B4;
end
C3=wxx0*(abs(wyy0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C4=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C4j=2*((wxx(j+1,1))*(abs(wyy(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C4=C4j+C4;
end
wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1))));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1))));
while abs(wxx-wxxd)>10^-5
    wxxd=wxx; wyyd=wyy;
    wxx=-Mx/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wxxd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1))...

```

```

+E*I0*v*wyyd/wxxd-k0*Ip0*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wyyd/wxxd*(abs(wxxd))^(p1-1)...
-1/wxxd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wyyd*(abs(wxxd))^(p1-1)));
wyy=-My/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wyyd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wxxd/wyyd-k0*Ip0*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wxxd/wyyd*(abs(wyyd))^(p1-1)...
-1/wyyd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wxxd*(abs(wyyd))^(p1-1)));
end
wxxd=wxx; wyyd=wyy;
wxxn(t/dt+1,1)=wxx; wyy(n(t/dt+1,1)=wyy;
end

```

%Eğrilik Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-wxxn(:,1),'-b')
title('Zaman -Eğrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wxx')

```

figure

```

plot(ti(:,1),-wyy(m(:,1),'-r',ti(:,1),-wyy(n(:,1),'-b')
title('Zaman -Eğrilik(r) (Kırmızı:Lineer - Mavi:Nonlinear)')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('-wyy')

```

%Deformasyon Grafikleri

figure

```

plot(ti(:,1),-h/2*wxxm(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxm,...
'-b',ti(:,1),-h/4*wxxm,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxm,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')

```

```

ylabel('x yönü Lineer Deformasyon')
figure
plot(ti(:,1),-h/2*wxxn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wxxn,...
    '-b',ti(:,1),-h/4*wxxn,'-g',ti(:,1),-h/8*wxxn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('x yönü Nonlinear Deformasyon')

```

```

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wyyym(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyym,...
    '-b',ti(:,1),-h/4*wyyym,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyym,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('y yönü Lineer Deformasyon')

```

```

figure
plot(ti(:,1),-h/2*wyyyn(:,1),'-r',ti(:,1),-3*h/8*wyyyn,...
    '-b',ti(:,1),-h/4*wyyyn,'-g',ti(:,1),-h/8*wyyyn,'-black')
title('Zaman -Lineer Deformasyon(Yukarıdan aşağıya z= h/2, 3h/8, h/4, h/8
noktaları için')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('y yönü Nonlinear Deformasyon')

```

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı

```

dels=d(3*(2*n-m-1)/2+1,1);
dvislk=zeros(1,sson); dvisld=dels;
k1v=k1/l1; kle1=k1v/E; aev=1/(A*Ev/E);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*(dvislk(1,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
end

```

```

end
dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
while abs(dvisl(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
dvisld=dvisl;
dvisl=aev.*dels+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*dels+V1+dvisld);
end
dvisld=dvisl;
dvislk(1,t/dt+1)=dvisl;
end

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanı
dvisnf=zeros(1,sson); dvisnd=dels;
aev=1/A; kp0=k0*Ip0/(E*I0); kp1=k1*Ip1/(E*I0);
won=(wxxn+wyyyn)/2;
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*dvisnf(1,i+1)*won(i+1,1)^(p1-1).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
        won(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*won(1,1)^(p1-1)...
        +V1+dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p1-1));
    while abs(dvisnn(1,1)-dvisnd(1,1))>10^-4
        dvisnd=dvisnn;
        dvisnn=aev.*dels+kp0*dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
            won(t/dt+1,1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(dels)*won(1,1)^(p1-1)...
            +V1+dvisnd*won(t/dt+1,1)^(p1-1));
    end
    dvisnd=dvisnn;
    dvisnf(1,t/dt+1)=dvisnn;
end
end

```

figure

```
plot(ti(:,1),dvislk(1,:), 'b-*', ti(:,1), dvisnf(1,:), 'r-+')  
title('Deplasman-Zaman (Lineer ve Nonlinear)')  
xlabel('t(dakika)')  
ylabel('d(cm)')  
hold on
```

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri

```
m2=3*n;  
Sgml=zeros(sson,m2);  
for i=1:sson  
    Sgmlhv=zeros(1,m2);  
    wssld=[wxxm(i,1); wyym(i,1); 0];  
    wssl0=[wxxm(1,1); wyym(1,1); 0];  
    H2=0;  
    for j=1:(i-1)  
        H2j=2*([wxxm(j+1,1); wyym(j+1,1); 0]*exp(-(i-j)*dt/l1));  
        H2=H2j+H2;  
    end  
    Sgmlh=-A*Dxx*(Ev*wssld-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssl0+H2+wssld));  
    Sgmlhv(1,1:3)=Sgmlhv(1,1:3)+Sgmlh';  
    Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;  
end
```

%Nonineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri

```
Sgmn=zeros(sson,m2);  
for i=1:sson  
    Sgmnhv=zeros(1,m2);  
    wssnd=[wxxn(i,1); wyyn(i,1); 0];  
    wssn0=[wxxn(1,1); wyyn(1,1); 0];  
    H2=0;
```

```

for j=1:(i-1)
    H2j=2*([wxxn(j+1,1); wyyj(j+1,1); 0].*...
        abs([wxxn(j+1,1); wyyj(j+1,1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H2=H2j+H2;
end
Sgmnh=-A*Dxx*(E*wssnd-k0*wssnd.*abs(wssnd).^(p0-1)+k1*wssnd.*...
    abs(wssnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*wssn0.*abs(wssn0).^(p1-1)+...
    H2+wssnd.*abs(wssnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,1:3)=Sgmnhv(1,1:3)+Sgmnh';
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,1),...
    'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,1),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgml(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgml(:,2),...
    'b+',ti(:,1),h/4*Sgml(:,2),'gx',ti(:,1),...
    h/8*Sgml(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü LİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

```

```

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,1),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,1),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,1),'gx',ti(:,1),...
h/8*Sgmn(:,1),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI X
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

```

```

figure
plot(ti(:,1),h/2*Sgmn(:,2),'ro',ti(:,1),3*h/8*Sgmn(:,2),...
'b+',ti(:,1),h/4*Sgmn(:,2),'gx',ti(:,1),...
h/8*Sgmn(:,2),'k*')
title('PLAK ORTA NOKTASINDA MEYDANA GELEN ZAMANA BAĞLI Y
yönü NONLİNEER GERİLME GRAFİĞİ')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Sigma(kgf/cm^2)')
hold on

```

Ek-8: Akış Şeması

