

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİSKOELASTİK MALZEMELİ İKİ BOYUTLU
SİSTEMLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ
İLE İNCELENMESİ

Barış TANRIVERDİ

Mayıs, 2013

İZMİR

VİSKOELASTİK MALZEMELİ İKİ BOYUTLU SİSTEMLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

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

Barış TANRIVERDİ

**Mayıs, 2013
İZMİR**

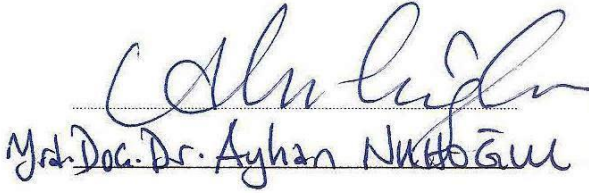
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BARIŞ TANRIVERDİ, tarafından **DOÇ. DR. MEHMET EMİN KURAL** yönetiminde hazırlanan **“VİSKOELASTİK MALZEMELİ İKİ BOYUTLU SİSTEMLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

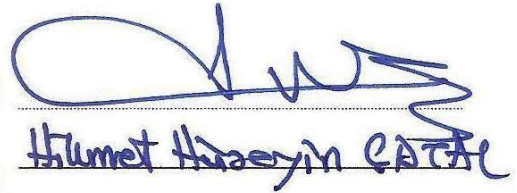


Doç. Dr. Mehmet Emin Kural

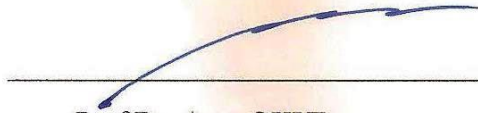
Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana yol gösteren ve çalışmalarımı yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin KURAL' a çalışmalarım süresince göstermiş olduğu ilgi, anlayış ve yönlendirmelerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında, özellikle bu tezin yazımında büyük emeği geçen hocam; Sayın Dr. Mutlu SEÇER'e sonsuz şükranlarımı sunarım. Bu tezin yazım aşamasında fikir ve yönlendirmelerini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL, Sayın Prof. Dr. Serap KAHRAMAN, Sayın Prof. Dr. Ömer Zafer ALKU, Sayın Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU ile Sayın Yrd. Doç. Dr. Yusuf YEŞİLCE'ye, Matlab programının işleyişi ve kontrolünü öğrendiğim Sayın İnş. Yük. Müh. Fatih IŞIK'a, tezin düzenlenmesinde ve araştırmalarımnda büyük emekleri olan Sayın Doç. Dr. K. Armağan KORKMAZ, Doç. Dr. Murat TANARSLAN, Sayın Yrd. Doç. Dr. Yıldırım DALKILIÇ ve değerli çalışma arkadaşım Sayın İnş. Yük. Müh. Onur MERTER'e, yönlendirme ve yardımlarından dolayı Sayın Öğr. Gör. Dr. Özgür BOZDAĞ ile değerli çalışma arkadaşım İnş. Müh. Fatih UNCU ile destek olan diğer bütün bölüm hocalarım ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayat boyu benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman bir arkadaşçasına yanımda olan, bu günlere gelmemin esas mühendisleri; annem Matematik Öğretmeni Ayşe TANRIVERDİ ve babam Matematik Öğretmeni Hakkı TANRIVERDİ' ye ne kadar teşekkür etsem azdır.

Barış TANRIVERDİ

VİSKOELASTİK MALZEMELİ İKİ BOYUTLU SİSTEMLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

ÖZ

Lineer ve nonlinear viskoelastik davranış gösteren, yalnızca eğilmeye çalışan eksenel simetrik ince dairesel plakların sünme problemi bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

Lineer elastik malzemeli, yalnızca eğilmeye çalışan eksenel simetrik ince dairesel plağın stasyonier yükleme altında deplasman, kesit dönmesi ve kesit tesirleri sonlu elemanlar metodu kullanılarak, çeşitli plak problemleri için hesap edilmiştir. Sonlu eleman modeli olarak kuadratik izoparametrik eksenel simetrik ince dairesel plak elemanı kullanılmıştır.

Birinci bölümde viskoelastisite ve sünme problemi ile ilgili literatür özeti, çalışmanın amaç ve kapsamı verildikten sonra, ikinci bölümde ele alınan sonlu elemanlar yöntemi için kullanılan elemanın performansını göstermek amacıyla, klasik yöntem ve SAP2000 programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalı bir örnek yapılmıştır.

Üçüncü bölümde viskoelastisite ve reolojik modellere değinilmiş, çalışma kapsamında kullanılan reolojik model incelenmiştir. Kelvin zinciri reolojik modelleri dikkate alınarak; yumuşama fonksiyonları kullanılması durumunda viskoelastik ince dairesel plağın sünme problemi için geliştirilen yöntemler dördüncü bölümde sunulmuştur. Bölüm sonunda ise, ele alınan yöntem, benzer bir çalışma ile bir örnek üzerinde karşılaştırılıp; yöntemin geçerliliği ispatlanmıştır.

Dördüncü bölümde geliştirilen yöntem, çeşitli dairesel plak problemleri için beşinci bölümde uygulanmış; çalışma kapsamında MATLAB’ da yazılan programlar ile analizler gerçekleştirilmiştir. MATLAB programı kullanılarak yazılan programlar

eklerde sunulmuş, elde edilen karşılaştırılmalı sonuçlar altıncı bölümde değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Viskoelastisite, viskoelastik malzeme, yumuşama fonksiyonları, ince dairesel plak, sonlu elemanlar yöntemi.

VISCOELASTIC TWO-DIMENSIONAL STRUCTURES USING FINITE ELEMENTS METHOD

ABSTRACT

Axisymmetric circular thin plates' creep problem subjected only to bending made of linear or nonlinear viscoelastic materials are investigated in the scope of this study.

Deflections, rotations and moments are calculated using finite element method for an axisymmetric thin circular plate made of linear elastic material subjected only to bending under the influence of stationary load. Quadratic isoparametric axisymmetric thin circular plate element is used as a finite element model.

In the first chapter, after literature summary of viscoelasticity and the creep problem are given in order to illustrate the performance of the model in use. The results obtained from the classical theory and the SAP2000 commercial program are compared with obtained from finite element method in the second chapter.

Viscoelasticity and its rheological models are pointed out in the third chapter and the rheological models used in this study are investigated. The method developed taking kelvin chain models into consideration in the state of relaxation functions are used for creep of viscoelastic thin circular plates is presented in chapter four. At the end of the section, a comparison made with a similar study in order to prove the validity of the developed method.

The methodology given in the fourth chapter is applied to the various circular plate problems by the programs developed in MATLAB for this study in chapter five. Programs are presented in appendix. The conclusion is evaluated in the sixth chapter.

Keywords: Viscoelasticity, viscoelastic material, relaxation functions, thin circular plates, finite elements method.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLOLAR LİSTESİ.....	xv

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Viskoelastik Malzeme Davranışı.....	1
1.2 Sünme (Krip).....	5
1.3 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	7

BÖLÜM İKİ – DAİRESEL İNCE PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ..... 10

2.1 Sonlu Elemanlar Yönteminde İzoparametrik Elemanların Kullanımı	10
2.2 Kuadratik İzoparametrik Eksenel Simetrik İnce Dairesel Plak Elemanı (KİESDP)	12
2.2.1 Şekil Değiştirme Matrisi.....	13
2.2.2 Eleman İç Kuvvetler Vektörü.....	15
2.2.3 Eleman Rijitlik Matrisi ve Kuvvet Vektörü.....	16
2.2.4 İnce Dairesel Plakların Lineer Elastik Çözümünde İzlenecek Adımlar ..	18
2.2.4.1 Sistem Deplasman Vektörü.....	18
2.2.4.2 Sistem İç Kuvvetler Vektörü	18
2.3 Örnek Karşılaştırma	19

BÖLÜM ÜÇ – VISKOELASTİSİTE 21

3.1 Tarihçe.....	21
3.2 Lineer Viskoelastisite	23
3.2.1 Temel Reolojik Modeller	23
3.2.1.1 Lineer Elastik Yay	23
3.2.1.2 Lineer Viskoz Sönüm Kutusu	24
3.2.2 Viskoelastik Malzeme Modelleri	25
3.2.2.1 Maxwell Modeli	25
3.2.2.2 Kelvin (Voigt) Modeli	28
3.2.2.3 Kelvin Zincir Modeli	30
3.3 Nonlineer Viskoelastisite	31

BÖLÜM DÖRT – VISKOELASTİK HESAP YÖNTEMİ 32

4.1 Giriş	32
4.2 Viskoelastik Malzemeli İnce Dairesel Plaklarda Yumuşama Fonksiyonları Kullanılarak Elde Edilen Gerilme-Deformasyon-Zaman İlişkisi.....	32
4.2.1 Nonlineer Viskoelastik Malzeme için Eğriliklerin Elde Edilmesi	35
4.2.2 Lineer Viskoelastik Malzeme için Eğriliklerin Elde Edilmesi	45
4.2.3 Deformasyonların Elde Edilmesi	48
4.2.4 Nonlineer Viskoelastik Malzeme için Gerilmelerin Elde Edilmesi	48
4.2.5 Lineer Viskoelastik Malzeme için Gerilmelerin Elde Edilmesi	49
4.3 Viskoelastik Malzemeli Eksenel Simetrik İnce Dairesel Plaklarda Deplasman Vektörünün Elde Edilmesi	50
4.3.1 Viskoelastik Malzemeli Plagın Herhangi Bir Kesitindeki Deplasman Vektörünün Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elde Edilmesi.....	50
4.3.2 Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanlarının Minimum Potansiyel Enerji Teoremi ile Elde Edilmesi	51
4.3.2.1 Nonlineer Viskoelastik Malzemeli Plakta Deplasman-Zaman İlişkisi	51

4.3.2.2 Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak için Deplasman-Zaman İlişkisi	57
4.3.3 Örnek Karşılaştırma	58
BÖLÜM BEŞ- ÖRNEK UYGULAMALAR	61
5.1 Kenarlarından Sabit Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü İnce Dairesel Plak	61
5.2 Kenarlarından Sabit Mesnetli Merkezinden Tekil Yüklü İnce Dairesel Plak ..	71
5.3 Kenarlarından Ankastre Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü İnce Dairesel Plak	81
5.4 Kenarlarından Ankastre Mesnetli Merkezinden Tekil Yüklü İnce Dairesel Plak	90
5.5 Dış Kenarlarından Sabit Mesnetli Ortası Boşluklu Üniform Yayılı Yüklü İnce Dairesel Plak	99
5.6 Dış Kenarlarından Sabit Mesnetli Ortası Boşluklu Boşluk Çevresinde Üniform Çevresel Yüklü İnce Dairesel Plak	107
BÖLÜM ALTI – SONUÇ	115
KAYNAKLAR	118
EKLER	122

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Sabit gerilme-zaman grafiği.....	1
Şekil 1.2 Sabit gerilme altındaki elastik cismin şekil değiştirme-zaman ilişkisi	2
Şekil 1.3 Lineer elastik yay modeli.....	2
Şekil 1.4 Sabit gerilme altındaki plastik cismin şekil değiştirme-zaman ilişkisi.....	3
Şekil 1.5 Viskoelastik malzemeli cismin zamana bağlı şekil değiştirme davranışı.....	3
Şekil 1.6 Rölaksasyon: Sabit şekil değiştirme altında gerilmede meydana gelen değişim	5
Şekil 1.7 Tipik sünme (ϵ) ve sünme deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$) eğrileri	7
Şekil 2.1 Kuadratik izoparametrik eksenel simetrik çubuk elemanı.....	10
Şekil 2.2 Kuadratik izoparametrik eksenel simetrik ince dairesel plak elemanı.....	13
Şekil 2.3 Sabit mesnetli ince dairesel plağın SAP2000 v15.1'den görüntülenen sonlu elemanlar ağı	19
Şekil 3.1 Lineer sönüm kutusu modeli.....	24
Şekil 3.2 Sabit gerilme altında sönüm kutusunun şekil değiştirme-zaman grafiği	25
Şekil 3.3 Maxwell reolojik modeli.....	26
Şekil 3.4 Maxwell reolojik modelinin sünme-geri dönüş grafiği	27
Şekil 3.5 Kelvin (Voigt) reolojik modeli	28
Şekil 3.6 Kelvin (Voigt) reolojik modelinin sünme-geri dönüş grafiği	30
Şekil 3.7 Kelvin zinciri reolojik modeli.....	30
Şekil 4.1 Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak	59
Şekil 4.2 Lineer viskoelastik malzemeli plağın orta noktasında meydana gelen zamana bağlı deplasman değişiminin karşılaştırılması	60
Şekil 5.1 Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak	62
Şekil 5.2 Lineer elastik malzemeli plağın merkezinden olan uzaklığa göre deplasmanları	63

Şekil 5.3 Lineer elastik malzemeli plağın merkezine göre olan uzaklığa bağlı radyal ve teğetsel momentler	63
Şekil 5.4 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasmanları	64
Şekil 5.5 Nonlinear viskoelastik malzemeli plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasmanları	64
Şekil 5.6 Plak merkezinde meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi	65
Şekil 5.7 Plak merkezinde meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim	65
Şekil 5.8 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen deformasyonlar	66
Şekil 5.9 Nonlinear viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen deformasyonlar	66
Şekil 5.10 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen gerilmeler	67
Şekil 5.11 Nonlinear viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen gerilmeler	67
Şekil 5.12 Kenarlarından sabit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plak....	71
Şekil 5.13 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları	72
Şekil 5.14 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler	73
Şekil 5.15 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	73
Şekil 5.16 Nonlinear viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	74
Şekil 5.17 Plak merkezinde meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi	74
Şekil 5.18 Plak merkezinde meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim	75
Şekil 5.19 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar	75
Şekil 5.20 Nonlinear viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar	76

Şekil 5.21 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler	76
Şekil 5.22 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler.....	77
Şekil 5.23 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak....	81
Şekil 5.24 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları.....	82
Şekil 5.25 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler	83
Şekil 5.26 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	83
Şekil 5.27 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	84
Şekil 5.28 Plak merkezinde meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi	84
Şekil 5.29 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar.....	85
Şekil 5.30 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar	85
Şekil 5.31 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler	86
Şekil 5.32 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler.....	86
Şekil 5.33 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plak.....	90
Şekil 5.34 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları.....	91
Şekil 5.35 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler	92
Şekil 5.36 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	92
Şekil 5.37 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	93
Şekil 5.38 Plak orta noktasında meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi	93
Şekil 5.39 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar.....	94

Şekil 5.40 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar	94
Şekil 5.41 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler	95
Şekil 5.42 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler.....	95
Şekil 5.43 Ortasından boşluklu dış kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak.....	99
Şekil 5.44 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları.....	100
Şekil 5.45 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler	101
Şekil 5.46 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	101
Şekil 5.47 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	102
Şekil 5.48 Plak boşluk kenarında meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim	102
Şekil 5.49 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın boşluk kenarındaki kesitte meydana gelen gerilmeler	103
Şekil 5.50 Ortasından boşluklu dış kenarlarından sabit mesnetli boşluk çevresinde üniform çevresel yüklü ince dairesel plak.....	107
Şekil 5.51 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları.....	108
Şekil 5.52 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler	109
Şekil 5.53 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	109
Şekil 5.54 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları	110
Şekil 5.55 Plak boşluk kenarında meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim	110
Şekil 5.56 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın boşluk kenarındaki kesitte meydana gelen gerilmeler	111

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Lineer Elastik Çözüm için Plak Orta Noktasında Elde Edilen Deplasman ve Moment Değerleri	20
Tablo 4.1 Lineer viskoelastik malzemeli ince dairesel plağın merkezi deplasmanının zamana bağlı değişimi.....	60
Tablo 5.1 Kenarlarından basit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen dış lifin deformasyon değerleri.....	68
Tablo 5.2 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen dış lifin gerilme değerleri	69
Tablo 5.3 Kenarlarından basit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri.....	70
Tablo 5.4 Kenarlarından basit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri	78
Tablo 5.5 Kenarlarından basit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri.....	79
Tablo 5.6 Kenarlarından basit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri.....	80
Tablo 5.7 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri	87
Tablo 5.8 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri.....	88
Tablo 5.9 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri.....	89
Tablo 5.10 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri	96

Tablo 5.11 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri.....	97
Tablo 5.12 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri	98
Tablo 5.13 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri.....	104
Tablo 5.14 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri.....	105
Tablo 5.15 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri.....	106
Tablo 5.16 Kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu boşluk çevresince üniform çevresel yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri	112
Tablo 5.17 Kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu boşluk çevresince üniform yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri	113
Tablo 5.18 Kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu boşluk çevresince yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri.....	114

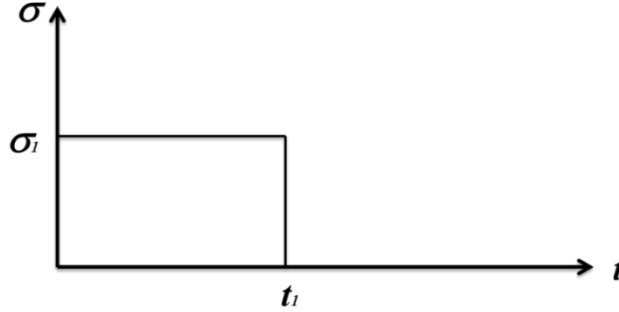
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Viskoelastik Malzeme Davranışı

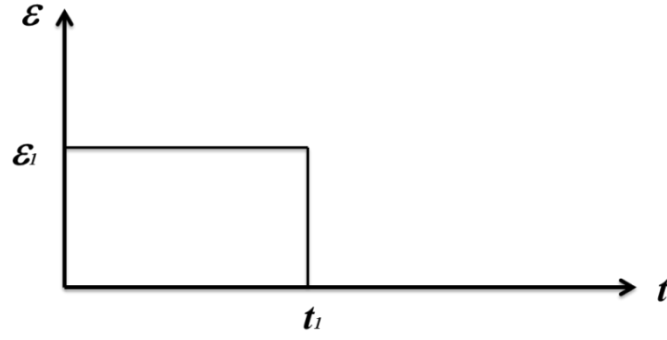
Viskoelastik malzeme; adından da anlaşılacağı gibi elastik cisim ile viskoz sıvı özelliklerini bir arada bulunduran malzeme türüdür. Bu sebeple, viskoelastik deformasyon, geri dönüşümlü (elastik özelliğinden dolayı) ve zamana bağımlıdır (viskoz özelliğinden dolayı). Viskoelastik davranışın daha iyi anlaşılabilmesi için; zamana bağlı olmayan elastik ve plastik malzeme davranışları incelenmelidir.

Zorlanmaya maruz cisimlerin davranışı genel olarak üç tipe ayrılabilir (Onaran, 1968). Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, sabit σ_1 gerilmesi t_1 anına kadar cisme etki etmekte, t_1 anında ise ani (Genel kanı itibariyle $40 \mu s$ ’ in altındaki zaman dilimine eşdeğerdir.) olarak kaldırılmaktadır.



Şekil 1.1 Sabit gerilme-zaman grafiği

Elastik cismin sabit gerilme altındaki davranışını simgeleyen Şekil 1.2’den görüldüğü gibi cismin yükleme öncesi şekil değişimi sıfır iken, elastik cisim gerilme ile birlikte sabit bir ϵ_1 şekil değişimine uğramakta, gerilme sonlandırıldığında ise tam bir geri dönüş yaşanmakta; yani cisim ilk haline geri dönmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi şekil değişiminin sabit kalması, davranışın zamandan bağımsız olduğunu göstermektedir.

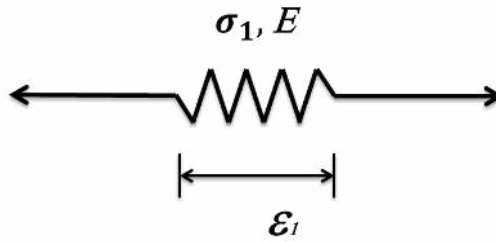


Şekil 1.2 Sabit gerilme altındaki elastik cismin şekil değiştirme-zaman ilişkisi

Denklem (1.1)'de verilen ilişki, sabit σ_1 gerilmesi altında, sabit ε_1 şekil değişimi gösteren elastik cismin matematiksel oranını veren bu ifade malzeme için sabittir. Bu ifade Hooke Kanunu'nu vermekte, malzeme ise lineer elastik malzeme olarak adlandırılmaktadır.

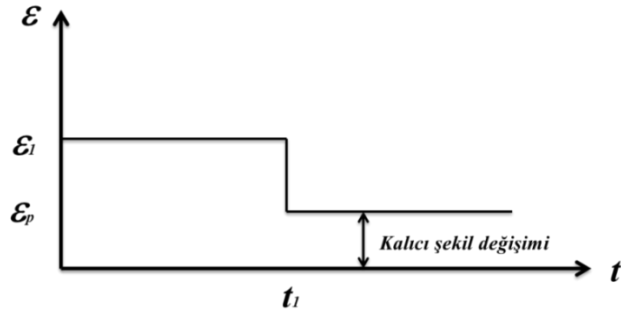
$$E = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2} = \dots = \frac{\sigma_n}{\varepsilon_n} \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'de verilen E katsayısı sabit bir katsayı olmakla birlikte, lineer elastik cismin Elastisite Modülü'nü (Young Modülü) belirtmektedir. Lineer elastik cismin (Hooke Cismi) reolojik modeli Şekil 1.3'te gösterildiği gibi elastik bir yay ile temsil edilmektedir.



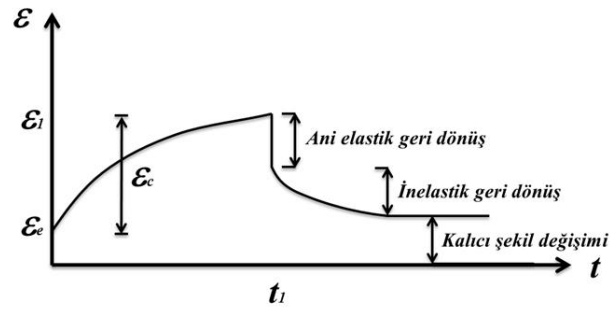
Şekil 1.3 Lineer elastik yay modeli

Şekil 1.4 ile plastik şekil değişimini ifade eden şekil değiştirme- zaman ($\varepsilon - t$) grafiğinden anlaşılabacağı gibi, plastik cisim sabit gerilme altında zamana bağlı olmayan bir davranış sergilemekle beraber gerilme sonlandırıldığı anda kısmi bir geri dönüş yaşanmakta ancak cisim ilk haline geri dönmemektedir (.



Şekil 1.4 Sabit gerilme altındaki plastik cismin şekil değiştirme-zaman ilişkisi

Çeşitli yükler (kuvvet, sıcaklık, basınç, v.b.) altında malzemenin davranışı, oluşan gerilmenin şiddetine bağlı olarak lineer (doğrusal) veya nonlineer (doğrusal olmayan) olarak incelenebilir (Kahraman, 1993). Bir malzemeye tatbik edilen yük, belirli bir ölçekte artırıldığında, şekil değiştirmeler de aynı oranda artıyorsa, bu durum malzemenin lineer davranış gösterdiğinin belirtisidir. Böyle malzemelere lineer elastik malzeme denmektedir (Gross, 1953; Bland, 1960; Flügge, 1967; Penny ve diğer., 1971; Odqvist, 1974). Beton, ahşap, plastik türü malzemelerde meydana gelen gerilmenin şiddeti, malzeme kopma dayanımının üçte birini geçmediği sürece, deformasyon-gerilme ilişkisinin lineer elastik olduğu kabul edilir (Aroutiounian, 1957). Ancak daha yüksek gerilmeler altında bu gibi malzemeler lineer veya nonlineer viskoelastik davranış göstermektedir. Şekil 1.5'te verilen grafik Şekil 1.1 ile temsil edilen yükleme programı altındaki viskoelastik malzeme davranışını simgelemektedir (Kahraman, 1993).



Şekil 1.5 Viskoelastik malzemeli cismin zamana bağlı şekil değiştirme davranışı

Şekil 1.5 incelendiğinde, önce ani bir uzamayı takiben hızı zamanla azalan devamlı bir uzama görülür; yük kaldırıldığında ise ani bir geri dönüşü, zamanla

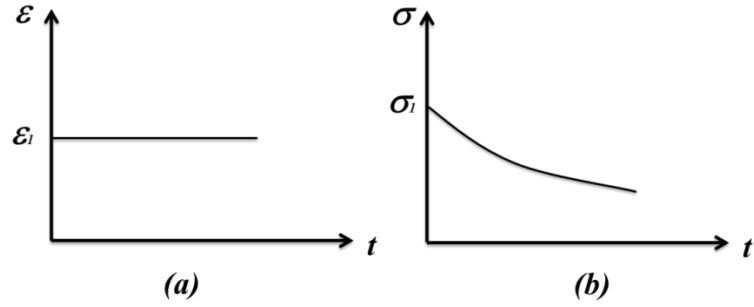
yavaş yavaş azalan bir geri dönüş takip eder (Onaran, 1968). Burada ε_e ani şekil değişimini; ε_1 , t_1 anına kadar meydana gelen toplam şekil değişimini; ε_c ise sünme şekil değişimini göstermektedir. Sünme (krip) malzemenin sabit gerilme altında yavaş ve devamlı şekil değiştirmesidir. Tez kapsamında detaylı bir şekilde değerlendirilen ε_c şekil değişimini, şekilden de anlaşılacağı gibi Denklem (1.2)'de gösterildiği gibi yazmak mümkündür.

$$\varepsilon_c = \varepsilon_1 - \varepsilon_e \quad (1.2)$$

Viskoelastik malzeme davranışı, yüksek sıcaklıktaki metaller, beton, ahşap ve plastikler gibi neredeyse bütün taşıyıcı sistem malzemelerini temsil etmekte; bu durum, viskoelastisite kavramının sürekli ortamlar mekaniğindeki önemini göstermektedir. Ayrıca insan vücudunun neredeyse tamamı viskoelastik özellik gösterdiğinden davranışın biyomühendislik alanındaki boyutunun da önem arz ettiği görülmektedir.

Elastik, plastik, viskoelastik ve bunlardan türetilen malzemeler için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerin ilgili parametrelerinin deneylerle belirlenmesi gerekmektedir. Zamana bağlı olmayan davranış gösteren malzemeler için gerçekleştirilen deneyler, viskoelastik malzemeler için yapılan deneylerin aksine zaman terimini içermezler. Bu gibi malzemelerde (elastik, plastik, lineer elastik, elasto-plastik vb.) herhangi bir andaki şekil değiştirme, yükleme hızına bağlı olmamakla birlikte, viskoelastik malzemeler için durum aynı değildir. Viskoelastik davranışta gerilmenin son değerine ne kadar yavaş varılırsa şekil değiştirme o kadar fazla olur; yükleme hızı neticeye önemli derecede tesir eder (Onaran, 1968). Bu sebeple, viskoelastik malzemedeki kurulan modelin parametreleri yalnızca zamana değil, yükleme hızına da bağlı olduğundan, parametrelerin belirlenmesinde rol oynayacak deneylerin, çözümü istenen eleman veya sistemde meydana gelen gerilme artış hızını da kapsayacak şekilde yapılması gerekmektedir.

Viskoelastik malzemenin diğ er bir davranış ı ise r olaksasyon diye tabir edilen; sabit şekil değıştirme altında gerilmenin zamanla azalışıdır. şekil 1.6'da verilen grafiklerde r olaksasyon davranış ı simgelenmiştir (Kural, 1977).



şekil 1.6 R olaksasyon: Sabit şekil değıştirme altında gerilmede meydana gelen değışim

R olaksasyon (gevşeme), sabit şekil değıştirme altında gerilmenin zamanla azalması olayıdır. Gerçekte, birçok yapı malzemesinin maruz kaldığ ı etkiler altındaki davranış ları yukarıda anlatılan safhalardan meydana gelmektedir. Bu nedenle zamana bağılı davranış  gösteren malzemeler için viskoelastisite teorisine dayanan reolojik modeller gerçeğ e en yakın malzeme modelleri olarak kabul görmektedir (Findley ve diğ er., 1989).

1.2 Sünme (Krip)

Sünme, sabit yük altında malzeme deformasyonunun zaman bağılı olarak değışmesidir. Hassas makine elemanları, yüksek sıcaklık etkisi altındaki makine veya yapı elemanları ile, büyük deformasyonların söz konusu olduğ u yapı elemanlarında sünme mertebesinin hassasiyetle hesaplanması, makine veya yapı elemanlarının servis ömrü süresince emniyet sınırları içinde kalabilmesi açısından son derece önemlidir (Patel ve diğ er., 1962; Kaya, 1973).

S nmenin yapı elemanlarında yapacağ ı deformasyonlar ile gerilme dağ ılımındaki değışiklikler olarak temel iki etkisi olduğ undan söz edilebilir (Ting, 1970).

Tek boyutlu elemanlar için, sabit gerilme durumunda geçerli gerilme-deformasyon- zaman ilişkisi denklem (1.3)'te ifade edildiği gibidir (Kaya, 1973).

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \{A_0(\sigma_0) + \sum_{i=1}^N A_i(\sigma_0) f_i(t)\} \quad (1.3)$$

Denklem (1.3)'te yer alan σ_0 sabit gerilmenin değerini, ε elemanın zaman bağılı olarak değişen deformasyonu, A_i malzeme gerilme değerine bağlı olan malzeme mekanik özelliklerini, $f_i(t)$ ise sünme fonksiyonlarını belirtmektedir (Kaya, 1973). Denklem (1.3)'ten hareketle iki boyutlu elemanlar için kartezyen koordinatlarda geliştirilen gerilme-deformasyon-zaman ilişkisi denklem (1.4), (1.5) ile (1.6)' da verilmiştir (Kural, 1977).

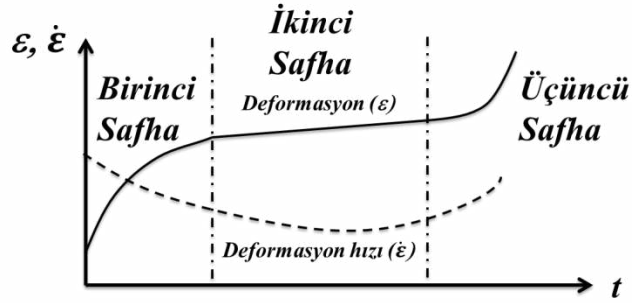
$$\varepsilon_x(t) = [\sigma_{x0} - \nu \sigma_{y0}] \left\{ A_{0x}(\sigma_{x0}, \sigma_{y0}) + \sum_{i=1}^n A_{ix}(\sigma_{x0}, \sigma_{y0}) f_i(t) \right\} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y(t) = [\sigma_{y0} - \nu \sigma_{x0}] & \left\{ A_{0y}(\sigma_{x0}, \sigma_{y0}) \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^n A_{iy}(\sigma_{x0}, \sigma_{y0}) f_i(t) \right\} \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{xy}(t) = -[2(1 + \nu)\tau_{xy}] & \left\{ A_{0xy}(\tau_{xy0}) \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^n A_{ixy}(\tau_{xy0}) f_i(t) \right\} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Denklem (1.4)'te verilen $\varepsilon_x(t)$, x doğrultusunda meydana gelen normal şekil değiştirmeyi, denklem (1.5)'te verilen $\varepsilon_y(t)$, y doğrultusunda meydana gelen normal şekil değiştirmeyi ve denklem (1.6)'da verilen $\gamma_{xy}(t)$, xy düzlemine dik kayma gerilmelerinden meydana gelen kayma şekil değiştirmesini ifade etmektedir.

Sünme davranışı üç temel safhadan meydana gelmektedir. Şekil 1.7’de tipik sünme safhaları ve sünme deformasyon hızının (şekil değiştirme hızı) bu safhalarlardaki değişimi görülmektedir (Kural, 1977).



Şekil 1.7 Tipik sünme (ϵ) ve sünme deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$) eğrileri

Şekil 1.7 incelendiğinde, sünme deformasyon hızının süratle azaldığı ancak deformasyonun hızla arttığı safhaya (birinci safha) geçici sünme denmektedir. Sünme deformasyon hızının sabitleştiği, deformasyonun lineer olarak değişmediği veya sabit olarak arttığı ikinci safha ise sabit sünme safhasıdır. Genellikle viskoelastik reolojik modeller bu iki safhayı yansıtmaktadır. Deformasyon hızının tekrar arttığı safha ise üçüncü safhadır. Malzeme üçüncü safhada iken belirli bir zamandan sonra kırılma (kopma) gerçekleşir.

1.3 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada lineer veya nonlinear viskoelastik malzemeden yapılmış, sabit sıcaklık altında yalnızca eğilmeye çalışan ince dairesel plakların sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, değişken gerilme hali için geliştirilen moment-eğrilik-zaman ilişkisi ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, ince dairesel plakların zamana bağlı deplasman ve kesit dönmelerinin hesabını esas almaktadır (Kahraman, 1993).

Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki, klasik ince plak teorisine dayanan, sabit sıcaklık altında eğilmeye maruz ince dairesel plak probleminin, sonlu elemanlar yöntemi ile lineer elastik teoriye dayanan çözümüdür.

İkinci aşama ise viskoelastik teoriden hareketle ince dairesel plağın sünme problemini sonlu elemanlar tekniği ile çözmek için matematiksel bir yöntemin geliştirilmesidir. Geliştirilen viskoelastik ifadelerin, sonlu elemanlar denklemleri ile ilişkilendirilmesi sonucu elde edilen deplasman ve kesit dönmeleri ise üçüncü aşamayı oluşturmaktadır.

Poisson oranının sünme etkisi altındaki değişiminin incelendiği deneysel bir çalışmada, elde edilen bulgulara göre malzeme kopma –veya kırılma- dayanımının %50’ sine ulaşmadığı durumlarda bu oranın sabit kaldığı sonucuna ulaşılmıştır (Loo ve Base, 1990). Poisson oranının sabit alındığı bu çalışmada geliştirilen yöntem, malzemenin kopma dayanımının %50’ sini aşmadığı durumlar ve aşağıda yapılan kabuller için geçerlidir:

- i- Malzeme homojen ve izotropiktir.
- ii- Deplasmanlar küçüktür. Şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi lineerdir.
- iii- Plağa enine yönde etki eden normal gerilmeler sıfırdır.
- iv- Şekil değişiminin radyal ve teğetsel bileşenleri kesit kalınlığı boyunca doğrusal değişim göstermektedir.
- v- Plak orta düzleminde şekil değişimi sıfırdır.
- vi- Plak yükleme ve sınır şartları eksenel simetriktir.
- vii- Malzeme özellikleri çekme ve basınç durumları için aynı kabul edilmiştir.
- viii- Sünme etkileri altında Poisson Oranı zamanla değişmemektedir.

Bu çalışma kapsamında klasik ince plak teorisi özel bir başlık altında incelenmemiş, sonlu elemanlar yönteminin ince dairesel plaklar için özel çözümü içinde ele alınmıştır. Çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli farklılık ise, ince dairesel plağın viskoelastik sünme ifadelerinin sonlu elemanlar tekniği ve yumuşama (rölaksasyon) fonksiyonları kullanılarak değişken gerilme hali için elde edilmesidir. Sonlu elemanlar yöntemi, kullanılan eleman tipi ve eleman sayısına bağlı olarak çok hassas sonuçlar verebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan eleman tipi kuadratik izoparametrik eksenel simetrik dairesel plak elemanıdır. Bu elemanın en belirgin özelliği iki boyutlu dairesel bir plak elemanını konuma bağlı olarak

yalnızca tek bir parametre ile ifade etmeye olanak sağlamasıdır. Sonlu elemanlar tekniği ile programlama esnasında sınır şartlarının tanımlanması açısından kolaylık sağlayan bu durum, matematiksel işlemlerin iki parametrelili duruma nazaran daha kısa sürelerde yapılmasına da olanak sağladığı açıkça görölmektedir.

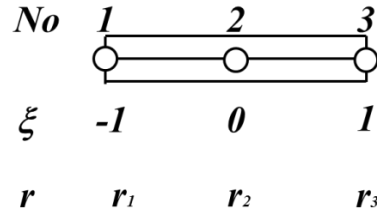
BÖLÜM İKİ

DAİRESEL İNCE PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

2.1 Sonlu Elemanlar Yönteminde İzoparametrik Elemanların Kullanımı

Sonlu elemanlar literatüründe ilk defa Irons tarafından önerilen izoparametrik elemanlar, simetrik geometriye sahip elemanlardan gelişigüzel geometriye sahip elemanlara kadar geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. İzoparametrik elemanların plak ve kabuklara uygulanması ise ilk defa Ahmad tarafından gerçekleştirilmiştir (Ahmad ve diğer., 1970). Deplasman ve kesit dönmelerinin eleman içerisindeki değişimini tanımlayan şekil fonksiyonları aynı zamanda eleman geometrisini tanımlamakta da kullanılmaktadır. Bu bağlamda, izoparametrik koordinatlarda tanımlanan şekil fonksiyonları kiriş, çerçeve, plak, kabuk gibi değişik boyutlardaki sistemler için kolaylıkla türetilabilmektedir.

İzoparametrik elemanlar ilk önce kendi yerel koordinatlarında tanımlanmakta; yerel koordinatların genel koordinatlar cinsinden ifade edilmesi ile değişik geometrideki sistemlere uygulanması mümkün olmaktadır. Kendi yerel koordinatlarında tanımlanan izoparametrik elemanlar, çözümü istenen sistemin global koordinatları ile şekil fonksiyonları aracılığıyla ilişkilendirilerek sisteme adapte edilmektedir. Şekil 2.1’de hem yerel hem de global koordinatlarda tanımlanmış üç düğüm noktalı kuadratik izoparametrik eksenel simetrik bir çubuk elemanı gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Kuadratik izoparametrik eksenel simetrik çubuk elemanı

Burada ξ , yerel eksen, r ise global eksen tanımlamaktadır. Şekil 2.1 incelendiğinde, ξ yerel ekseninin merkezi çubuk elemanının tam ortasına (2 numaralı düğüm noktasında, $\xi=0$) yerleştirilmiş, 1 ve 3 düğüm noktaları ise elemanın uçlarında $\xi=-1$ ve $\xi=1$ yerel koordinatlarında yer almaktadır.

Herhangi bir izoparametrik çubuk elemanının şekil fonksiyonları (N_i) ilgili eleman düğüm noktalarında 1, diğer düğüm noktalarında ise 0 değerini vermek üzere Lagrange interpolasyon fonksiyonları kullanılarak denklem (2.1) ile elde edilebilir.

$$N_i = \frac{\prod_{j \neq i}^n (\xi - \xi_j)}{\prod_{j \neq i}^n (\xi_i - \xi_j)} \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'den elde edilen şekil fonksiyonları (2.2)'de verilen ifadelerde açık halde yazılmıştır.

$$N_1 = -\frac{1}{2}\xi(1-\xi) \quad (2.2.a)$$

$$N_2 = (1-\xi)^2 \quad (2.2.b)$$

$$N_3 = \frac{1}{2}\xi(1+\xi) \quad (2.2.c)$$

(2.2) ifadelerinde yer alan şekil fonksiyonlarından yararlanılarak denklem (2.3) ile global koordinat r 'yi yerel koordinat ξ 'ye bağlı olarak yazmak mümkündür. Aynı zamanda kuadratik izoparametrik kiriş elemanı için denklem (2.3)'ün sağ tarafından ξ 'yi çekip yalnız bıraktığımızda, yerel koordinat ξ 'yi global koordinat r cinsinden denklem (2.4)'te belirtildiği şekilde yazmak mümkün olmaktadır.

$$r = \sum_{i=1}^n N_i r_i \quad (2.3)$$

$$\xi = \frac{2(r-r_2)}{(r_3-r_1)} \quad (2.4)$$

Burada, r_i elemanın i 'nci düğüm noktasının global koordinatlardaki yerini belirtmektedir. Plak kalınlığının sabit olmadığı durumlarda ise plak kalınlığı h 'yi denklem (2.3)'e benzer şekilde denklem (2.5)'te belirtildiği gibi ifade etmek mümkündür.

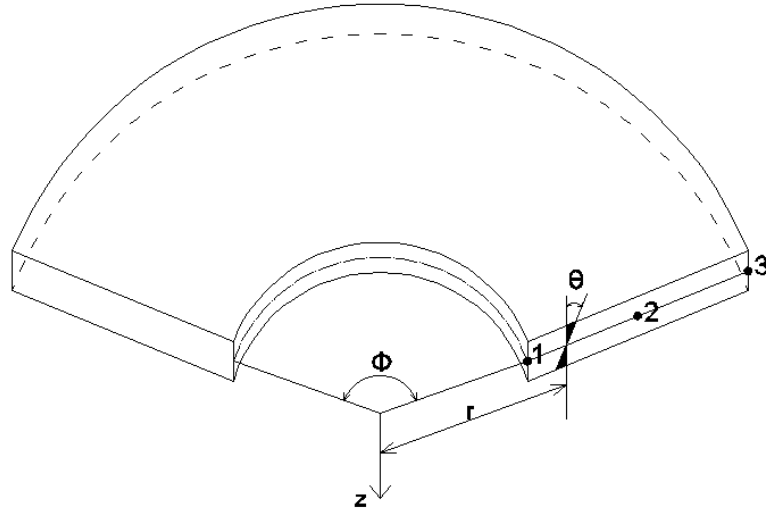
$$h = \sum_{i=1}^n N_i h_i \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'te verilen h_i i . düğüm noktasındaki plak kalınlığı değeridir. Denklem (2.3) ile (2.5) eleman rijitlik matrisinin hesaplanmasında kullanılırken, gerilme değerlerinin hesabında denklem (2.4)'ün kullanıldığına ilerleyen bölümlerde daha ayrıntılı bir şekilde değinilecektir.

2.2 Kuadratik İzoparametrik Eksenel Simetrik İnce Dairesel Plak Elemanı

Bölüm 2.1'de anlatılan kuadratik izoparametrik eksenel simetrik kiriş sonlu elemanın z eksenine etrafında $\phi = 2\pi$ alınarak döndürülmesiyle oluşan 3 düğüm noktalı plak elemanı Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Kuadratik izoparametrik eksenel simetrik ince dairesele plak elemanı olarak adlandırılan bu eleman; sınır, geometri ve yükleme şartları açısından simetrik olan ince dairesele plakların çözümünde başarı ile uygulanmaktadır (Mawenya, 1973).

Kuadratik izoparametrik eksenel simetrik dairesele plak elemanı türetildiği kiriş elemanı ile aynı şekil fonksiyonları ve ilişkilere sahiptir. Bu bağlamda, iki boyutlu bir yüzey elemanın tek eksenle ifade edilen bir kiriş elemanı gibi ele alınması, sonlu elemanlar yöntemi için büyük bir işlem kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 2.2 Kuadratik izoparametrik eksenel simetrik ince dairesel plak elemanı

2.2.1 Şekil Değiştirme Matrisi

Sonlu elemanlar yönteminde rijitlik matrisi ile gerilme vektörlerinin kurulmasında rol alan şekil değiştirme matrisi $[B]$ denklem (2.6)'da verilmiştir. Ancak burada önemli bir husus ise r 'ye göre türevi alınan şekil fonksiyonlarının global eksen r 'ye değil, yerel eksen ξ 'ye bağımlı olmasıdır. Bu durumda, şekil değiştirme matrisinde yer alan şekil fonksiyonlarının türevlerine denklem (2.7)'de gösterilen zincir kuralı uygulanarak r global eksenine bağımlı ifadeler, ξ yerel eksenine bağımlı halde ifade edilmektedir.

$$[B] = \begin{bmatrix} -\frac{dN_i}{dr} \\ -\frac{1}{r}N_i \\ \frac{dN_i}{dr} - N_i \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\frac{dN_i}{dr} = \frac{dN_i}{d\xi} \frac{d\xi}{dr} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'de yer alan $\frac{d\xi}{dr}$ terimi denklem (2.3)'teki ifadelerin ξ 'ye göre türevinin alınmasıyla elde edilebilir.

$$J = \frac{dr}{d\xi} = \sum_{i=1}^n r_i \frac{dN_i}{d\xi} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'deki $\frac{dr}{d\xi}$ elemanına Jacobian “ J ” denilmektedir. Denklem (2.9)'da verilen $[B]$ şekil değiştirme matrisinde bulunan türev ifadelerinin yerel koordinat ξ 'ye bağımlı halde gösterimi, (2.8) ifadesinin düzenlenerek denklem (2.7) içine yazılmasıyla elde edilmiştir.

$$\frac{dN_i}{dr} = \frac{1}{J} \frac{dN_i}{d\xi} \quad (2.9)$$

Yapılan düzenlemelerin ardından elde edilen $[B]$ şekil değiştirme matrisinin açık hali denklem (2.10)'da ifade edildiği gibidir.

$$[B] = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} - \xi & 0 & 2\xi & 0 & -\frac{1}{2} - \xi \\ 0 & \frac{J\xi}{2r}(1 - \xi) & 0 & -\frac{J}{r}(1 - \xi^2) & 0 & -\frac{J\xi}{2r}(1 + \xi) \\ -\frac{1}{2} + \xi & \frac{1}{2}J\xi(1 - \xi) & -2\xi & -J(1 - \xi^2) & \frac{1}{2} + \xi & -\frac{1}{2}J\xi(1 + \xi) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Bu çalışma kapsamında $[B]$ şekil değiştirme matrisi için, denklem (2.10) yerine denklem (2.11)'de verilen Mawenya'nın kayma etkileri en küçük kareler yöntemiyle düzeltilmiş $[B^*]$ matrisi kullanılacaktır (Mawenya, 1973). Ancak çalışmada kullanılan bu kayma etkileri düzeltilmiş şekil değiştirme matrisi, karışıklığa sebebiyet vermemek için yine $[B]$ olarak anılacaktır.

$$[B^*] = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} - \xi & 0 & 2\xi & 0 & -\frac{1}{2} - \xi \\ 0 & \frac{J}{2r}(\xi - \frac{1}{3}) & 0 & -\frac{2J}{3r} & 0 & -\frac{J}{2r}(\xi + \frac{1}{3}) \\ -\frac{1}{2} + \xi & \frac{1}{2}J(\xi - \frac{1}{3}) & -2\xi & -\frac{2J}{3} & \frac{1}{2} + \xi & -\frac{1}{2}J(\xi + \frac{1}{3}) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.2.2 Eleman İç Kuvvetler Vektörü

(2.12) ifadesi ile tanımlanan düğüm noktası yer değiştirme vektörü $\{\delta_i\}$ için iç kuvvetler vektörü $\{M_i\}$ denklem (2.13)'te verildiği gibi ifade edilir (Mawenya, 1973).

$$\{\delta_i\} = \{w_i, \theta_i\}^T \quad (2.12)$$

$$\{M_i\} = \begin{Bmatrix} M_r \\ M_t \\ Q \end{Bmatrix} = [D][B_i]\{\delta_i\} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13)'te yer alan ve denklem (2.14)'te açık hali verilen $[D]$, plak rijitlik matrisi olup, E Young Modülü'nü, h plak kalınlığını, ν ise poisson oranını ifade etmektedir. M_r , M_t ve Q ise sırasıyla, radyal moment, teğetsel moment ve kesme kuvvetleridir. Denklem (2.13)'te verilen $\{M_i\}$ vektörü i nci düğüm noktasının iç kuvvetler vektörünü belirtmektedir. Denklem (2.13) ile tanımlanan iç kuvvetler vektörünün (2.14) ifadesi kullanılarak açılmış hali denklem (2.15)'te verildiği gibidir.

$$[D] = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6(1-\nu)}{h^2} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\{M_e\} = \begin{bmatrix} \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6(1-\nu)}{h^2} \end{bmatrix} [B_{r=r_1}] \\ \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6(1-\nu)}{h^2} \end{bmatrix} [B_{r=r_2}] \\ \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6(1-\nu)}{h^2} \end{bmatrix} [B_{r=r_3}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \theta_1 \\ \delta_2 \\ \theta_2 \\ \delta_3 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)'in uygulanmasından önce denklem (2.4)'ün kullanılarak yerel koordinat ifadelerinin global koordinatlar cinsinden yazılması gerekmektedir.

2.2.3 Eleman Rijitlik Matrisi ve Kuvvet Vektörü

Sonlu elemanlar yönteminde iki boyutlu elemanlar için eleman rijitlik matrisi $[k_e]$ 'nin genel formu denklem (2.16) ile verilmiştir.

$$[k_e] = \iiint_V [B]^T [D] [B] dV \quad (2.16)$$

Kuadratik izoparametrik aksenal simetrik dairesel plak elemanı için bu form denklem (2.17)'deki hale dönüşecektir (Mawenya, 1973).

$$[k_e] = 2\pi \int_{r_1}^{r_2} [B]^T [D] [B] r dr \quad (2.17)$$

Üniform yayılı q yüküne maruz bu eleman için yük vektörü $\{f_e\}$ denklem (2.17)'ye benzer şekilde denklem (2.18) ile tanımlanmıştır.

$$\{f_e\} = 2\pi \int_{r1}^{r2} [N]^T q r dr \quad (2.18)$$

Denklem (2.17) ve (2.18)'de verilen rijitlik matrisi ile kuvvet vektörünün global r eksenine göre integrasyonunun alınması gerektiği görülmektedir. Ancak her iki ifadenin de parametreleri yerel eksenlerde tanımlı şekil fonksiyonlarına bağlı olduğundan, ifadelerde yer alan r ve dr terimleri denklem (2.3) ve (2.9) kullanılarak yerel koordinat ξ cinsinden yazılmaları icap eder. Denklem (2.17) ve (2.18)'in ξ 'ye bağlı formları sırasıyla denklem (2.19) ve (2.20)'de gösterilmiştir.

$$[k_e] = 2\pi \int_{-1}^{+1} [B]^T [D] [B] r |J| d\xi \quad (2.19)$$

$$\{f_e\} = 2\pi \int_{-1}^{+1} [N]^T q r |J| d\xi \quad (2.20)$$

Denklem (2.19) ve (2.20)'nin ξ 'ye bağlı integrasyonları, Gauss Nümerik İntegrasyon Yöntemi ile alınır. Kuadratik bir elemanın rijitlik matrisinin integrasyonunun iki, kuvvet matrisinin iki ise bir noktalı Gauss Nümerik İntegrasyonu ile alınması yeterli olmaktadır (Mawenya, 1973). Buna göre, denklem (2.19) ve (2.20)'nin Gauss Nümerik İntegrasyon yöntemi ile integrasyonlarının alınmış halleri sırasıyla denklem (2.21) ve (2.22)'de verildiği gibi formülize edilmektedir.

$$[k_e] = 2\pi r |J| [B]^T [D] [B] \Big|_{\xi=-1/\sqrt{3}} + 2\pi r |J| [B]^T [D] [B] \Big|_{\xi=1/\sqrt{3}} \quad (2.21)$$

$$\{f_e\} = 4\pi |J| r(\xi) [N]^T q \Big|_{\xi=0} \quad (2.22)$$

2.2.4 Dairesel Plakların Lineer Elastik Çözümünde İzlenecek Adımlar

2.2.4.1 Sistem Deplasman Vektörü

Sistem deplasman vektörünün bulunması için öncelikle (2.21) ile (2.22) denklemleri eleman bazında hesaplanmalıdır. Sistem rijitlik matrisi $\{K\}_s$ ile sistem kuvvet matrisinin $\{F\}_s$ düğüm noktalarının birleştirilmesi ile elde edilmesinin ardından, sınır şartlarının sıfır olduğu çökme (w) ve kesit dönmesi (θ) değerlerinin, ilgili oldukları satır ve sütunların silinerek matrisin indirgenmesi veya ilgili köşegen elemanına sonsuz (∞) değerinin girilmesi gerekmektedir. Sınır şartlarının uygulanmasının ardından sistem deplasman vektörü $\{\delta\}_s$ denklem (2.23) ile hesaplanır.

$$\{\delta\}_s = [K]_s^{-1} \{F\}_s \quad (2.23)$$

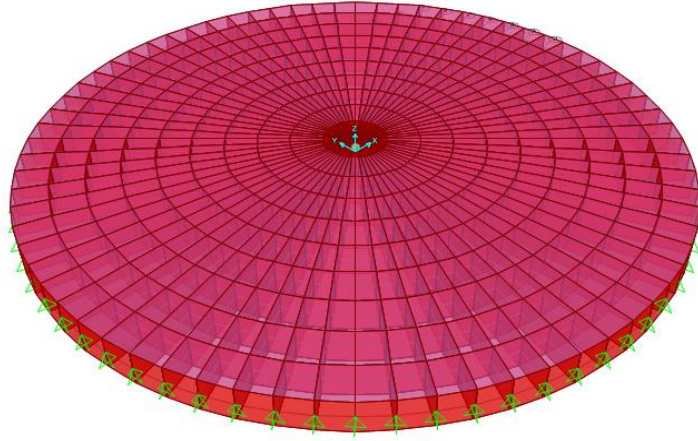
2.2.4.2 Sistem İç Kuvvetler Vektörü

Plak iç kuvvetlerinin bulunması için öncelikle her bir düğüm noktasının iç kuvvetler vektörünün elde edilmesi gerekir. Sistem deplasman vektörünün $\{\delta\}_s$ ilgili eleman için değerlerinin denklem (2.15)'te yerine yazılmasıyla sistemin iç kuvvetler vektörü bulunur. Denklem (2.15)'in hesabında lokal koordinatlar yerine global koordinatların kullanılması gerekmektedir. Bunu yapmak için, Şekil Değiştirme Matrisi $[B]$ 'deki ξ 'ye bağlı değişkenler denklem (2.4) kullanılarak r 'ye dönüştürülmelidir. $[B]$ matrisi ise ilgili olduğu düğüm noktasının global koordinatına $r = r_i$ değeri verilerek elde edilir. Çalışmanın ekler kısmında yer alan programlar takip edildiğinde, yukarıda bahsedilen hususların programlama bazında anlaşılması kolaylaşacaktır.

2.3 Örnek Karşılaştırma

İnce dairesel plakların lineer elastik çözümünde kullanılan klasik yöntem (Timoshenko, 1959) ile SAP2000 V15.1 programından elde edilen 720 elemanlı çözüm, bu çalışmada kullanılan kuadratik izoparametrik dairesel plak elemanının 10, 100 ve 720 elemana ayrılarak elde edilen çözümler ile karşılaştırılmıştır.

Sabit mesnetli ince dairesel plak için gerçekleştirilen hesaplar, poisson oranı $\nu = 0.25$ ve plak kalınlığı h 'nin plak yarıçapı a 'ya 0,1, 0,05 ile 0,01 oranları için elde edilmiştir. Plak merkezi çökme w , radyal moment M_r ve teğetsel moment M_t değerleri için elde edilen sonuçlar Tablo (2.1)'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. SAP2000 V15.1 programında kullanılan plağın 720 elemanlı sonlu elemanlar ağı Şekil (2.3)'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Sabit mesnetli ince dairesel plağın SAP2000 v15.1'den görüntülenen sonlu elemanlar ağı

Şekil 2.3'e bakıldığında radyal ekseninde 10, açısal ekseninde ise 72 elemanın kullanıldığı açıkça görülmektedir.

Tablo 2.1 Lineer Elastik Çözüm için Plak Orta Noktasında Elde Edilen Deplasman ve Moment Değerleri

Çözüm Yöntemi	Merkezi Deplasman			Radyal Moment		Teğetsel Moment	
	$\frac{wEt^3}{qr^4}$			$\frac{M_r}{qr^2}$		$\frac{M_\theta}{qr^2}$	
	$\frac{t}{a} = 0.1$	$\frac{t}{a} = 0.05$	$\frac{t}{a} = 0.01$	$r = \frac{a}{2}$	$r = a$	$r = \frac{a}{2}$	$r = a$
KİESDP (10 Eleman)	0.7480	0.7433	0.7418	0.1533	0.2046	0.1769	0.2046
KİESDP (100 Eleman)	0.7446	0.7399	0.7384	0.1524	0.2031	0.1758	0.2031
KİESDP (720 Eleman)	0.7445	0.7398	0.7383	0.1523	0.2031	0.1758	0.2031
SAP2000 (720 Eleman)	0.7371	0.7374	0.7375	0.1524	0.2045	0.1754	0.2045
İnce Plak Teorisi (Timoshenko, 1959.)		0.7383		0.1523	0.2031	0.1758	0.2031

BÖLÜM ÜÇ

VİSKOELASTİSİTE

3.1 Tarihçe

Viskoelastisite ve viskoelastik teorisinin temelleri, Boltzman (1874) ve Volterra'nın (1900) süperpozisyon ve heredite prensiplerini ortaya koyan ve şekil değiştirmenin geçmişteki büyüklüklere bağlılığını matematik olarak ifade eden çalışmaları ile atılmıştır (Kahraman, 1993). 1900'lerde Weber ve Boltzman sıcaklık ve basınç etkileri altında viskoelastik malzeme davranışlarının, malzemenin geçmişine bağlı olduğunu keşfetmişlerdir (Kural, 1977; Kahraman, 1993). Daha sonra Leaderman (1943) ve Alfrey (1944), elastisite teorisindeki prensipleri baz alarak viskoelastisite teorisini daha da geliştirmişlerdir (Kahraman, 1993).

Taylor tarafından 1970 yılında yapılan bir çalışmada, viskoelastik gerilme analizlerinde gerilme analizi yönteminin, bir yumuşama fonksiyonu tanımını gerektirdiği belirtilmiştir (Taylor ve diğer., 1970). Taylor başka bir çalışmasında, Prony serilerinin tersini alarak yeni bir yöntem geliştirmiştir (Taylor, 1973).

Sünme (krip) ise viskoelastisite teorisinin temellerinin atılmasından çok önce Vicat tarafından deneysel olarak gözlemlenip rapor edilmiştir. Vicat, asma köprülerdeki kabloların sabit yük altında zamana bağlı olarak uzadığını gözlemlemiştir (Onaran, 1968).

1910 yıllarında Andrade tarafından sünme ile ilgili ilk sistematik araştırmalar yapılmıştır. Andrade, çok sayıda metal ve alaşım üzerinde yaptığı deneyler sonucu, çekme etkisi altındaki bir çubuğun sünme özelliklerinin Denklem (3.1) ile ifade edilebileceğini göstermiştir (Kahraman, 1993).

$$l(t) = l_0(1 + \beta t^{\frac{1}{3}})e^{kt} \quad (3.1)$$

Denklemin (3.1)'de $l(t)$ çubuğun t anındaki uzunluğunu, l_0 çubuğun çubuğun $t=0$ başlangıç anındaki uzunluğunu, β ve k sabitleri ise gerilmenin mertebesine ve sıcaklığına bağlı malzeme sabitlerini belirtmektedir.

Metallerin yüksek sıcaklıklar altındaki sünme problemi, Hoff (1958), Finnie-Heller (1959), Kachnov (1960), Lubahn-Felgar (1961), Dorn (1961), Odqvist-Hult (1962), Kennedy (1963), Odqvist (1966), Hult (1966), Rabotnov (1969) ve Smith-Nicholson (1971) tarafından çözüme ulaştırılmaya çalışılmıştır.

Beton üzerinde ilk deneysel sünme çalışmaları ise McMillan (1915) ve Smith (1917) tarafından yapılmıştır. İlk araştırmalar hakkında daha ayrıntılı bir rapor ise Davis tarafından 1931' de yayınlanmıştır (Baradan, 1978).

Sabit nem oranı ve sıcaklığa sahip betonun sünme davranışı için, lineer süperpozisyon prensibinden hareketle elde edilen tek eksenli gerilme-deformasyon ilişkisinin sunulduğu bir çalışmada, literatürdeki deney sonuçlarıyla karşılaştırmalar yapılarak söz konusu formülasyonun doğruluğu saptanmıştır (Bazant ve diğer., 1983). Yine aynı koşullardaki beton için yapılan bir başka çalışmada sünme oranı; yükleme süresi, yükleme geçmişi ve betonun bulunulan andaki yaşının kuvvet fonksiyonlarının çarpımı ile ifade edilmiştir. Aynı çalışmada betondaki sünmenin belirlenmesi için kullanılan diğer ifadelerle kıyaslamalar yapılmış, sunulan formülasyonun sünme tahminlerindeki hataları değil de, sünme eğrilerindeki iraksama oluşumlarını önemli bir şekilde azalttığı vurgulanmıştır (Bazant ve diğer., 1985).

Betonun sünme problemi, yalnızca yük etkileri için değerlendirilmemiş aynı zamanda sıcaklık etkileri de göz önüne alınarak hem deneysel, hem de teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunlardan biri, Poisson oranının sabit alındığı beton plaktaki sıcaklık etkilerine bağlı sünme probleminin incelenmesidir. (Zienkiewicz, 1961).

3.2 Lineer Viskoelastisite

Bu bölümde, viskoelastisite kavramının daha iyi anlaşılabilmesi açısından belirli reolojik modellerle tanımlanan lineer viskoelastisite kavramından başlama ihtiyacı duyulmuştur. 19. yüzyılın başlarından itibaren geliştirilen matematiksel modeller, lineer viskoelastisite teorisini yansıtmak üzere ortaya atılmış, malzemeler incelendikçe de polimerler dışındaki birçok viskoelastik malzemenin; özellikle önemli yapı malzemelerinden olan beton ve ahşabın malzeme davranışının nonlineer olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıdan, öncelikle, lineer viskoelastik davranışı yansıtan matematiksel (reolojik) modellerin ele alınması konunun açıklığa kavuşturulması açısından önem arz etmektedir.

3.2.1 Temel Reolojik Modeller

Viskoz ile elastik kelimelerinin birleşiminden meydana gelen viskoelastik kelimesi, adından da anlaşılacağı gibi; hem viskoz özellik gösteren Newtonyen bir sıvı, hem de elastik bir katının özelliklerini içinde barındıran malzemeler için türetilmiştir. Buna göre, lineer viskoelastik bir cismin reolojik modelinin, temel iki reolojik model olan elastik yay ile elastik sönüm kutusunun çeşitli şekillerde bir araya gelerek oluşturulabileceği söylenebilir. Bu yüzden, bu iki temel reolojik model alt başlıklarda incelenmiştir.

3.2.1.1 Lineer Elastik Yay

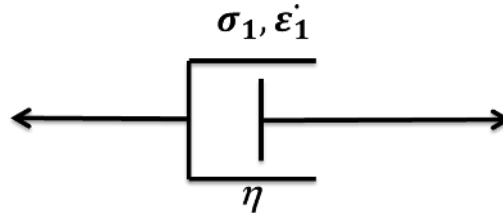
Lineer elastik yay modeli Şekil (1.3)'te gösterilen model olup, tek başına kullanıldığında lineer elastik Hooke cismini yansıtan temel bir reolojik modeldir. Tek boyutlu bir cisim sabit bir σ_1 gerilmesi altında ε_1 kadar uzamakta ve şekil değiştirmenin gerilme cinsinden değeri sabit ve $1/E$ kadardır.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} \sigma_1 \quad (3.2)$$

Bu ilişki Denklem (3.2)'de verilmiştir.

3.2.1.2 Lineer Viskoz Sönüm Kutusu

İçinde viskoz bir sıvı bulunan bir piston viskoz sönüm kutusu davranışını en iyi yansıtan mekanizmadır. Şekil değişimi pistonun içindeki sıvı boyunca sıkıştırılması veya geri çekilmesi yoluyla oluşmaktadır. Şekil (3.1) ile gösterilen lineer sönüm kutusu (dash-pot) sabit σ_1 gerilmesi, $\dot{\epsilon}_1$ şekil değiştirme hızı arasındaki oran viskozite katsayısı η 'yı vermektedir. Denklem (3.3), Denklem (3.2)'ye benzer bir şekilde viskoz sönüm kutusu davranışı gösteren bir malzemenin şekil değiştirme hızının gerilme cinsinden değerini vermektedir.



Şekil 3.1 Lineer sönüm kutusu modeli

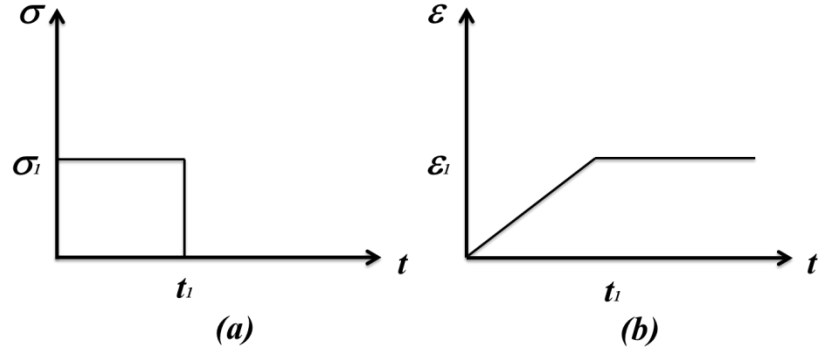
$$\dot{\epsilon}_1 = \frac{1}{\eta} \sigma_1 \quad (3.3)$$

Bu davranış tipik bir sıvının basınç veya çekme gerilmelerine karşı tepkisidir. Gerilme arttıkça şekil değiştirme hızının artması; elin su içinde hareketinin hızı arttıkça elde meydana gelen basınç hissinin artmasının nedenidir.

Denklem (3.3), başlangıçtaki şekil değişimi sıfır alınarak zamana göre integre edilirse, şekil değişimi-gerilme ilişkisi Denklem (3.4)'te verildiği gibi olur.

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{\eta} t_1 \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) yorumlanacak olursa, sabit gerilme durumunda şekil değişimi zamanla lineer bir biçimde artış göstermekte, gerilme kaldırıldığında ise cisim son şeklini korumaktadır. Bu durum Şekil (3.2) ile verilen grafiklerde gösterilmiştir.



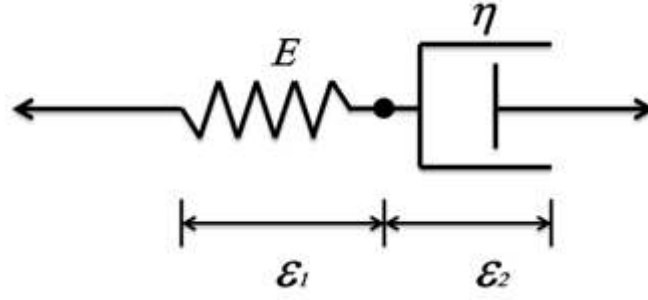
Şekil 3.2 Sabit gerilme altında sönüm kutusunun şekil değiştirme-zaman grafiği

3.2.2 Viskoelastik Malzeme Modelleri

Viskoelastik malzeme davranışını matematiksel olarak yansıtmak amacıyla yaygın olarak kullanılan temel iki viskoelastik model; Maxwell ve Kelvin (Voigt) modelleridir. Bu iki modelden Maxwell modeli sıvıyı, Kelvin modeli katıyı daha iyi temsil etmektedir (Kahraman, 1993). Ancak günümüz viskoelastik malzeme davranışları sadece bu iki modelle sınırlı kalmaz, bu iki modelin n sayıda birleşimi veya bir arada kullanımı ile idealize edilmeye çalışılır.

3.2.2.1 Maxwell Modeli

Maxwell modeli, Şekil (3.3)'te gösterildiği gibi elastik bir yay ile elastik bir sönüm kutusunun seri biçimde bağlanmasıyla elde edilir.



Şekil 3.3 Maxwell reolojik modeli

Sabit σ gerilmesi altında meydana gelen toplam şekil değiştirme; yayda meydana gelen ε_1 şekil değişimi ile sönüm kutusunda meydana gelen ε_2 şekil değişiminin toplamına eşittir. Buna göre Maxwell modeli için Denklem (3.2) ile (3.3)'ten yararlanarak Denklem (3.5)'i çıkarmak mümkün olmaktadır.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} \sigma, \quad \dot{\varepsilon}_2 = \frac{1}{\eta} \sigma, \quad \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'te yer alan birinci ifade ile üçüncü ifadenin zamana göre türevi alınır ve birinci ile ikinci ifadeler üçüncü ifadede yerine yazılırsa Maxwell modelinin standart diferansiyel denklemi Denklem (3.6)'da verildiği gibi elde edilmiş olur.

$$\sigma + \frac{\eta}{E} \dot{\sigma} = \eta \dot{\varepsilon} \quad (3.6)$$

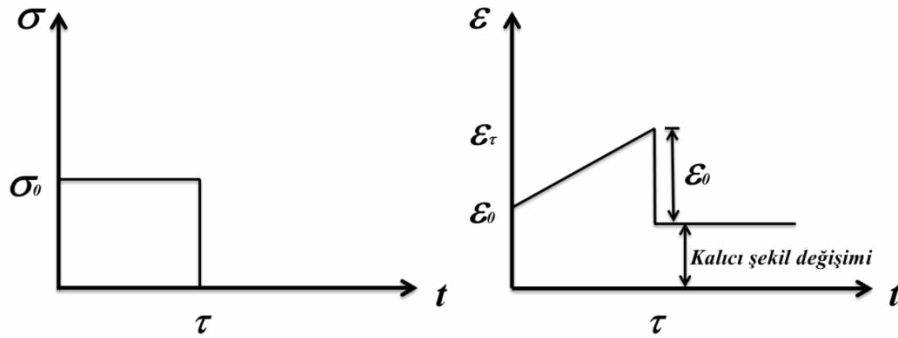
Bir Maxwell cisminde uygulanan sünme testi göz önüne alındığında, sabit σ gerilmesine maruz modeldeki elastik yay ani bir şekil değişimi gösterecek, buna karşın sönüm kutusunun tepkisi ise zamanla gerçekleşecek; bu nedenle $t = 0$ anında sönüm kutusunda meydana gelen şekil değişimi sıfır olacaktır. Buna göre başlangıç anında, modelde sadece elastik yayın tepkisinin olduğu göz önüne alınırsa,

$$\varepsilon(0) = \frac{\sigma}{E} \quad (3.7)$$

Denklem (3.7)'deki davranışın gözlenebileceği açıkça görülür. $t = 0$ anındaki başlangıç hali olan Denklem (3.7), Maxwell' in diferansiyel denklemine (Denklem (3.6)) uygulanır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa Denklem (3.8) ile Maxwell modelinin zamana bağlı davranışını temsil eden ifade elde edilmiş olur.

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \left(\frac{1}{\eta} t + \frac{1}{E} \right) \quad (3.8)$$

Şekil (3.4)'te tipik bir Maxwell modelinin sabit gerilme altında şekil değiştirme-zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 3.4 Maxwell reolojik modelinin sünme-geri dönüş grafiği

Şekil (3.4) incelendiğinde, sabit σ_0 gerilmesi altında ani şekil değişimini, hızlı zamanla azalan bir sünme yerine, lineer artan bir sünme izlemekte, yük kaldırıldığında ise elastik bir geri dönüş meydana gelmekte ve sonrasında sabit deformasyon oluşmaktadır. Bu durum çalışma konumuzun dışında olan sıvı malzemeler için ideal bir şekil değişimi-zaman grafiğini yansıtmaktadır.

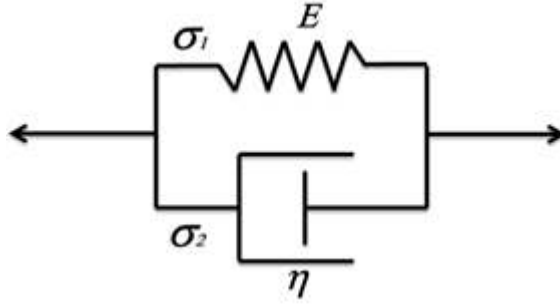
Maxwell modeli rölaksasyon testine tabi tutulduğunda, $t = 0$ anında sabit ε_0 şekil değişimi gösterecek ve rölaksasyon modülü, davranışı iyi yansıtan $E(t) = E e^{-t/\lambda}$ fonksiyonu olarak seçildiğinde zamana bağlı gerilme denklemi Denklem (3.9)'da belirtildiği gibi olacaktır.

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 E(t); \quad E(t) = E e^{-\frac{t}{\lambda}}; \quad \sigma(t) = \varepsilon_0 E e^{-\frac{t}{\lambda}} \quad (3.9)$$

Burada λ , modelde yer alan lineer sönüm kutusunun gecikme zamanını belirtmekte ve $\lambda = \eta/E$ dir.

3.2.2.2 Kelvin (Voigt) Modeli

Diğer bir iki parametrelili model olan Kelvin (Voigt) modeli, Şekil (3.5)'te gösterildiği gibi, birbirine paralel bağlı bir yay ve sönüm kutusundan oluşmaktadır. Modelde paralel bağlı elemanlarda denge problemi nedeniyle bir eğilme oluşmadığı kabul edilmekte; yay ile sönüm kutusunun sabit σ gerilmesinden meydana gelen şekil değişimlerinin eşit olduğu düşünülmektedir ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2$).



Şekil 3.5 Kelvin (Voigt) reolojik modeli

Bu varsayımlar ile sabit σ gerilmesinin, σ_1 kadarını elastik yay, σ_2 kadarını ise elastik sönüm kutusu karşılayacaktır. $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$ alınarak, Denklem (3.10)'daki ifadelerden birincisi yayı, ikincisi sönüm kutusunu ve üçüncüsü ise yukarıda bahsedilen gerilme ilişkisini temsil etmektedir.

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma_1, \quad \dot{\varepsilon} = \frac{1}{\eta} \sigma_2, \quad \sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (3.10)$$

Buna göre, (3.10) denklemlerinde yer alan birinci ve ikinci eşitlikte σ_1 ve σ_2 terimleri yalnız bırakılıp, değerleri üçüncü eşitlikte yerine yazılırsa, Kelvin (Voigt) modelinin matematiksel formu Denklem (3.11)'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\sigma = E\varepsilon + \eta\dot{\varepsilon} \quad (3.11)$$

Kelvin (Voight) modeline σ_0 sabit gerilmesi uygulandığı zaman yay esnemeye çalışırken, sönüm kutusu bu hareketi engelleyecek; böylece ani bir uzama oluşmayacaktır. Yayın ani uzaması engellendiğinden $t = 0$ anında şekil değiştirme $\varepsilon_0 = 0$ olacak ve (3.11) denkleminde bu değer yerine konulduğunda şekil değiştirme-zaman grafiğinin başlangıç eğimi $\dot{\varepsilon} = \sigma_0/\eta$ elde edilecektir. Bu durum, Denklem (3.11)'de başlangıç şartı olarak ele alındığında diferansiyel denklemin çözümü Denklem (3.12)'de verildiği gibi elde edilir.

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\left(\frac{E}{\eta}\right)t}\right) \quad (3.12)$$

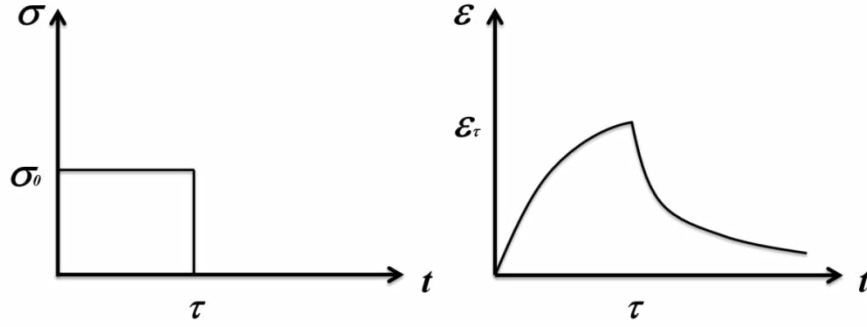
$t = \tau$ anında malzemede yükün kaldırıldığını düşünelim, bu durumda Denklem (3.11)'de gerilme yerine sıfır yazılırsa $0 = E\varepsilon + \eta\dot{\varepsilon}$ denkleminde ulaşılır. Sıfır gerilme durumunda diferansiyel denklem tekrar çözülsünse bu kez Denklem (3.13)'te verilen diferansiyel denklem geçerli olacaktır.

$$\varepsilon(t) = Ce^{-\left(\frac{E}{\eta}\right)t} \quad (3.13)$$

Denklem (3.13) ile verilen diferansiyel denklemde C integrasyon sabitini, t ise yükün kaldırıldığı andan itibaren geçen zamanı belirtmektedir. Yükün uygulandığı zamandan itibaren ölçüme başlandığında, denklemde yer alan zaman ifadesi t yerine $t - \tau$ yazılmalıdır. $t = \tau$ anındaki şekil değiştirme ise Denklem (3.12)'de t yerine τ yazılarak elde edilecektir. Elde edilen ifade başlangıç değeri olarak ele alınır ve Denklem (3.13)'te yer alan integrasyon sabiti yerine konursa, Kelvin modelinin zamana bağlı sünme davranışı rölaksasyonu da içine alacak şekilde Denklem (3.14)'te elde edildiği gibi olacaktır.

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} \left(e^{\left(\frac{E}{\eta}\right)\tau} - 1 \right) e^{-\left(\frac{E}{\eta}\right)t}, \quad t > \tau \quad (3.14)$$

Kelvin modelinin (3.14)'e göre deformasyon zaman ilişkisi Şekil (3.6)' da verildiği gibidir.

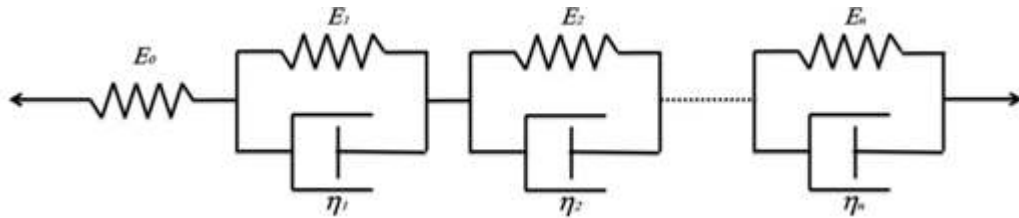


Şekil 3.6 Kelvin (Voigt) reolojik modelinin sünme-geri dönüş grafiği

Şekil (3.6) incelendiğinde, Maxwell modelinde görülen sünme davranışını yansıtan; önce ani, sonradan doğrusal artan bir şekil değiştirmenin yerini, hızı azalarak artan asimptotik bir şekil değişimi almış, yine ani azalıp sonra hızı artarak azalan bir geri dönüşü, hızı artarak azalan asimptotik bir geri dönüş izlemiştir.

3.2.2.3 Kelvin Zincir Modeli

Standart üç parametrelili model olarak adlandırılan; elastik bir yaya Kelvin modelinin seri bağlanmasıyla elde edilen Boltzman modelinde, bir adet Kelvin modeli yerine n adet kullanıldığında bir Kelvin zinciri elde edilir. Bu çalışmada üç parametrelili model (Boltzman modeli) ve Kelvin zinciri dikkate alınarak çözüme gidilmiştir. Model ile ilgili Denklemler ve grafikler dördüncü bölümde ele alınmıştır. Tipik bir Kelvin zinciri modeli Şekil (3.7)' de görülmektedir.



Şekil 3.7 Kelvin zinciri reolojik modeli

3.3 Nonlinear Viskoelastisite

Lineer viskoelastisite, malzemenin zamana bağılı davranışını iyi yansıtan oturmuş bir teori olmasına karşın, birçok mühendislik malzemesi nonlinear viskoelastik davranış göstermektedir (Schapery, 2000). Yüksek sıcaklıktaki metaller ile beton kuvvetli nonlinear davranış gösterdiğinden, nonlinear viskoelastik davranış yapı mekaniği için önem arz etmektedir. Lineer viskoelastik malzeme modelleri bazı değişikliklerle nonlinear viskoelastik davranış için de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, nonlinear viskoelastik malzemeli ince dairesel plaklar için geliştirilen formüller, yumuşama fonksiyonları aracılığıyla elde edilmiştir. Yumuşama fonksiyonlarında kullanılan ve deneylerle belirlenen p_i ; $i = 0,1,2, \dots, n$ ampirik katsayıları ile nonlinear davranış, lineer davranışta bu katsayıların 1 alınmasıyla aynı yaklaşımla yansıtılmıştır.

BÖLÜM DÖRT

VISKOELASTİK HESAP YÖNTEMİ

4.1 Giriş

Viskoelastik bir malzemenin matematiksel formu, diferansiyel veya integral gösterimler ile elde edilir. Matematiksel açıdan bakıldığında diferansiyel formun çözümü, integral forma göre daha basittir. Buna rağmen integral form, zamana bağımlılığı daha iyi yansıttığından tercih edilmektedir (Findley ve diğer., 1989). Sonlu elemanlar tabanlı çözümlerde, integral formundaki denklemlerin nümerik yöntemlerle programlamaya olanak sağlaması da ayrıca tercih edilmesinin başlıca nedenlerindendir. Bu sebeplerle, yumuşama fonksiyonlarının kullanıldığı Boltzmann-Volterra integrali kullanılarak nümerik bir yöntem geliştirilmiş, söz konusu yöntemin uygulamaları MATLAB R2010a programlama dilinde yazılmıştır.

4.2 Viskoelastik Malzemeli İnce Dairesel Plaklarda Yumuşama Fonksiyonları Kullanılarak Elde Edilen Gerilme-Deformasyon-Zaman İlişkisi

Yumuşama fonksiyonları, lineer davranışı başarılı bir şekilde yansıttığı gibi, nonlinear davranışı da üstel ampirik katsayılar yardımı ile yansıtabilmekte, ayrıca, tek boyutlu sistemlere uygulanabilmesinin yanı sıra çok boyutlu sistemlere de uygulanması kolaylık arz etmektedir. Sünme probleminin çözümü için kullanılan yumuşama fonksiyonlarının iki boyutlu sistemlerden biri olan dairesele plaklara uygulanabilirliği bu çalışma kapsamında işlenmiştir.

Dairesel bir plağın sünme problemi için polar koordinatlarda çalışıldığında, zamana bağlı gerilme denklemleri, Denklem (1.4) ile (1.5)' e benzer şekilde; Denklem (4.1) ve (4.2)' deki gibi tanımlanabilmektedir. Eksenel simetrik ince dairesele bir plak ele alındığında Denklem (4.3)' te belirtilen kayma gerilmesi $\sigma_{rt}(t)$ ifadesi ile burulma momenti $M_{rt}(t)$ ifadeleri sıfır değerini alacaktır (Timoshenko, 1959).

$$\sigma_r(t) = \frac{1}{(1-v^2)} [\epsilon_{r0} + v \epsilon_{t0}] \left\{ B_{0r}(\epsilon_0) + \sum_{i=1}^n B_{ir}(\epsilon_0) g_i(t) \right\} \quad (4.1)$$

$$\sigma_t(t) = \frac{1}{(1-v^2)} [\epsilon_{t0} + v \epsilon_{r0}] \left\{ B_{0t}(\epsilon_0) + \sum_{i=1}^n B_{it}(\epsilon_0) g_i(t) \right\} \quad (4.2)$$

$$\sigma_{rt}(t) = 0 \quad (4.3)$$

Yumuşama davranışını en iyi yansıtan $g_i(t)$ fonksiyonları (4.4) denklemlerinde verildiği gibi seçilebilir (Kaya, 1973).

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

Denklem (4.1)'de verilen σ_r ifadesi $t = 0$ ve $t = \infty$ için düzenlenirse, sırasıyla (4.5) ile (4.6) denklemlerinde verilen ifadelerle dönüşecektir.

$$\sigma_r(0) = \frac{1}{(1-v^2)} [\epsilon_{r0} + v \epsilon_{t0}] \left\{ B_{0r}(\epsilon_0) + \sum_{i=1}^n B_{ir}(\epsilon_0) \right\} \quad (4.5)$$

$$\sigma_r(\infty) = \frac{1}{(1-v^2)} [\epsilon_{r0} + v \epsilon_{t0}] B_{0r}(\epsilon_0) \quad (4.6)$$

Düşey sabit kuvvetler etkisinde eğilmeye çalışan viskoelastik malzemeli iki boyutlu sistemlerde sünme etkileri sebebiyle değişken deformasyon ve gerilme durumu söz konusu olmasına rağmen, moment ifadeleri zamana bağımlı değildir. Bu yüzden, (4.1) ile (4.2) denklemleri, zamana bağlı değişken deformasyon durumları için Denklem (4.7) ve (4.8)' de verildiği gibi malzeme geçmişine bağımlı şekilde dönüşecektir (Kural, 1977; Kahraman, 1993).

$$\begin{aligned} \sigma_r(t) = & \frac{1}{(1-v^2)} [\epsilon_r(t) + v \epsilon_t(t)] \{ B_{0r}(\epsilon(t)) + \sum_{i=1}^n B_{ir}(\epsilon(t)) \} \\ & - \sum_{i=1}^n \int_0^t [\epsilon_r(\tau) + v \epsilon_t(\tau)] \{ B_{ir}(\epsilon(\tau)) \} \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t-\tau) d\tau \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} \sigma_t(t) = & \frac{1}{(1-\nu^2)} [\epsilon_t(t) + \nu \epsilon_r(t)] \{B_{0t}(\epsilon(t)) + \sum_{i=1}^n B_{it}(\epsilon(t))\} \\ & - \sum_{i=1}^n \int_0^t [\epsilon_t(\tau) + \nu \epsilon_r(\tau)] \{B_{it}(\epsilon(\tau)) \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t \\ & - \tau) d\tau \end{aligned} \quad (4.8)$$

Denklem (4.7) ile (4.8)'de tanımlanan gerilme- deformasyon- zaman ilişkileri, $g_i(t) = 1$, $B_{ir}(\epsilon(\tau)) = B_{it}(\epsilon(\tau)) = B_i = \text{sabit}$ ve $B_0 + \sum B_i = E$ olarak ele alınır; (4.9) ve (4.10) denklemleri ile polar koordinatlarda eksenel simetrik bir sistem için Hooke kanunu elde edilir.

$$\sigma_r(t) = \frac{E}{1-\nu^2} [\epsilon_r(t) + \nu \epsilon_t(t)] \quad (4.9)$$

$$\sigma_t(t) = \frac{E}{1-\nu^2} [\epsilon_t(t) + \nu \epsilon_r(t)] \quad (4.10)$$

Denklem (4.7) ve (4.8)'deki ifadelerde yer alan parametre değerleri viskoelastik bir malzeme için Denklem (4.11)'de belirtildiği gibi ele alınır, gerilme değerleri Denklem (4.12) ile (4.13)'te verildiği gibi yazılır.

$$\begin{aligned} B_{ir}(\epsilon) &= \beta_{ir} \\ B_{it}(\epsilon) &= \beta_{it} \\ \psi_{0r}(t) &= \beta_{0r} + \sum_{i=1}^n \beta_{ir} \\ \psi_{0t}(t) &= \beta_{0t} + \sum_{i=1}^n \beta_{it} \\ \psi_r(t) &= \beta_{0r} + \sum_{i=1}^n \beta_{ir} g_i(t) \\ \psi_t(t) &= \beta_{0t} + \sum_{i=1}^n \beta_{it} g_i(t) \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned}
\sigma_r(t) &= \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ [\epsilon_r(t) + v \epsilon_t(t)] \psi_{0r}(t) \right. \\
&\quad \left. - \int_0^t [\epsilon_r(\tau) + v \epsilon_t(\tau)] \sum_{i=1}^n \beta_{ir} \frac{\partial}{\partial \tau} g_i(t-\tau) d\tau \right\} \\
&= \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ [\epsilon_r(t) + v \epsilon_t(t)] \psi_{0r}(t) \right. \\
&\quad \left. - \int_0^t [\epsilon_r(\tau) + v \epsilon_t(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_r(t-\tau) d\tau \right\}
\end{aligned} \tag{4.12}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_t(t) &= \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ [\epsilon_t(t) + v \epsilon_r(t)] \psi_{0t}(t) \right. \\
&\quad \left. - \int_0^t [\epsilon_t(\tau) + v \epsilon_r(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_t(t-\tau) d\tau \right\}
\end{aligned} \tag{4.13}$$

Burada $\psi_r(t)$ ile $\psi_t(t)$ ifadeleri sırasıyla radyal ve teğetsel yumuşama fonksiyonlarını belirtmektedir.

4.2.1 Nonlinear Viskoelastik Malzeme için Eğriliklerin Elde Edilmesi

Eğilme etkisi altında olan nonlinear viskoelastik malzemeli aksenal simetrik yük ve sınır şartları altındaki ince dairesel bir plağın herhangi bir kesitindeki moment değeri zamana göre değişmezken, kesitte oluşan gerilme zamana bağlı olarak değişir (Kahraman, 1993). Ancak Kirchhoff-Love plak teorisine göre kesit boyundaki gerilme dağılımı lineerdir. Denklem (4.12) ve (4.13) ile elde edilen gerilme değerlerinde, Bernoulli-Navier hipotezi geçerli kabul edilerek (4.14) denklemleri yerine yazılırsa (4.15) ve (4.16) denklemleri elde edilir.

$$\epsilon_r(t) = -z w_{rr}(t), \quad \epsilon_t(t) = -z \frac{w_t(t)}{r}, \quad w_{tt}(t) = \frac{w_t(t)}{r} \tag{4.14}$$

$$\sigma_r(t) = -\frac{z}{(1-v^2)} \left\{ [w_{rr}(t) + v w_{tt}(t)] \psi_{0r}(t) - \int_0^t [w_{rr}(\tau) + v w_{tt}(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_r(t-\tau) d\tau \right\} \quad (4.15)$$

$$\sigma_t(t) = -\frac{z}{(1-v^2)} \left\{ [w_{tt}(t) + v w_{rr}(t)] \psi_{0t}(t) - \int_0^t [w_{tt}(\tau) + v w_{rr}(\tau)] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_t(t-\tau) d\tau \right\} \quad (4.16)$$

Gerilme denklemlerinden, moment denklemlerine geçmek için, (4.15) ile (4.16) denklemleri, denge şartınca yazılan (4.17) ve (4.18) eşitliklerinde yerine konursa, moment denklemleri için (4.19) ve (4.20) ifadeleri türetilmiş olur.

$$M_r = \int_z \sigma_r(t) z dz \quad (4.17)$$

$$M_t = \int_z \sigma_t(t) z dz \quad (4.18)$$

$$M_r = \frac{1}{(1-v^2)} \left\{ \int_z \{ [-z w_{rr}(t) + v (-z w_{tt}(t))] \psi_{0r}(t) - \int_0^t [-z w_{rr}(\tau) + v (-z w_{tt}(\tau))] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_r(t-\tau) d\tau \} z dz \right\} \quad (4.19)$$

$$M_t = \frac{1}{(1-\nu^2)} \left\{ \int_z \{ [-z w_{tt}(t) + \nu (-z w_{rr}(t))] \psi_{0t}(0) \right. \\ \left. - \int_0^t [-z w_{tt}(\tau) + \nu (-z w_{rr}(\tau))] \frac{\partial}{\partial \tau} \psi_t(t - \tau) d\tau \} z dz \right\} \quad (4.20)$$

Burada, w_{rr} radyal doğrultudaki (rz düzlemine paralel), w_{tt} teğetsel doğrultuda (θz düzlemine paralel) plak eğriliğini, z ise düşey eksen doğrultusundaki mesafeyi belirten değişkenlerdir. Denklemlerde yer alan $\psi_r(t)$ ile $\psi_t(t)$ yumuşama fonksiyonlarıdır. $\psi_r(t)$ ve $\psi_t(t)$ yumuşama fonksiyonları viskoelastik malzemeler için (4.21) denklemlerinde verildiği gibi alınabilir.

$$\begin{aligned} \psi_{0r}(t) &= B_{0r} + \sum_{i=1}^n B_{ir} g_{0r}(t) \\ \psi_r(t) &= B_{0r} + \sum_{i=1}^n B_{ir} g_i(t) \\ \psi_{0t}(t) &= B_{0t} + \sum_{i=1}^n B_{it} g_{0t}(t) \\ \psi_t(t) &= B_{0t} + \sum_{i=1}^n B_{it} g_i(t) \end{aligned} \quad (4.21)$$

(4.21) denklemlerinde yer alan terimlerin açık hali Denklem (4.22), (4.23) ile (4.24)'te gösterilmiştir.

$$B_{0r} = E - k_0 |\epsilon_r|^{p_0-1}, \quad B_{0t} = E - k_0 |\epsilon_t|^{p_0-1} \quad (4.22)$$

$$g_0(t) = 1, \quad E > k_0 |\epsilon_r|^{p_0-1}, \quad p_0 \geq 1$$

$$B_{ir} = k_i |\epsilon_r|^{p_i-1}$$

$$B_{it} = k_i |\epsilon_t|^{p_i-1} \quad (4.23)$$

$$k_0 \geq \sum_{i=1}^n k_i, \quad p_i \geq 1, \quad p_0 \leq p_i$$

$$g_i(t) = e^{-t/\lambda_i} \quad (4.24)$$

Viskoelastik malzeme çekme ve basınçta aynı davranışı gösterdiğinden B_{ir} ile B_{it} denklemlerinde yer alan deformasyon değerleri ϵ_r ve ϵ_t mutlak değer içinde yazılmıştır.

Gerilme değerlerini belirlemek için kullanılan (4.12) ve (4.13) denklemleri ϵ_{r0} ve ϵ_{x0} deformasyonları için Denklem (4.25) ile (4.26) şeklini alacaktır.

$$\begin{aligned} \sigma_r(t) &= -\frac{1}{(1-\nu^2)} [\epsilon_{r0} + \nu \epsilon_{t0}] \psi_{0r}(t) \\ &= \frac{1}{(1-\nu^2)} [\epsilon_{r0} + \nu \epsilon_{t0}] \bar{E}(\epsilon_r, t) \end{aligned} \quad (4.25)$$

$$\begin{aligned} \sigma_t(t) &= -\frac{1}{(1-\nu^2)} [\epsilon_{t0} + \nu \epsilon_{r0}] \psi_{0t}(t) \\ &= \frac{1}{(1-\nu^2)} [\epsilon_{t0} + \nu \epsilon_{r0}] \bar{E}(\epsilon_t, t) \end{aligned} \quad (4.26)$$

Denklem (4.19) ve (4.20) ile tanımlanan moment değerleri içinde yer alan çekirdek fonksiyonlarının türevleri $\frac{\partial}{\partial \tau} \psi_r(t - \tau)$, $\frac{\partial}{\partial \tau} \psi_t(t - \tau)$, (4.27) ve (4.28)' de verildiği gibi (4.21) Denklemleri kullanılarak elde edilebilir.

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \psi_r(t - \tau) = \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} |{-z} w_{rr}(\tau)|^{p_i-1} e^{-(t-\tau)/\lambda_i} \quad (4.27)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \psi_t(t - \tau) = \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} |-z w_{tt}(\tau)|^{p_i-1} e^{-(t-\tau)/\lambda_i} \quad (4.28)$$

Denklem (4.19) ve (4.20)'de, (4.21), (4.22), (4.23), (4.24), (4.27) ve (4.28) denklemlerinde verilen ifadeler yerine yazıldığında (4.29) ile (4.30) denklemleri elde edilir. (4.29) ve (4.30) denklemleri elastik çözümden elde edilen moment değerlerinin nonlinear viskoelastik eğriliklere bağlı değerleridir.

$$\begin{aligned} M_r = \frac{1}{(1-v^2)} & \left[E \int_z [-z w_{rr}(t)] z dz - k_0 \int_z [-z w_{rr}(t)] |-z w_{rr}(t)|^{p_0-1} z dz \right. \\ & + \sum_{i=1}^n k_i \int_z [-z w_{rr}(t)] |-z w_{rr}(t)|^{p_i-1} z dz \\ & - \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} \int_0^t \left[\int_z [-z w_{rr}(\tau)] |-z w_{rr}(\tau)|^{p_i-1} z dz \right] e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau + E v \int_z [-z w_{tt}(t)] z dz \\ & + k_0 \int_z [-z w_{tt}(t)] |-z w_{rr}(t)|^{p_0-1} z dz \\ & + \sum_{i=1}^n k_i v \int_z [-z w_{tt}(t)] |-z w_{rr}(t)|^{p_i-1} z dz \\ & \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i v}{\lambda_i} \int_0^t \left[\int_z [-z w_{tt}(\tau)] |-z w_{rr}(\tau)|^{p_i-1} z dz \right] e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \quad (4.29) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_t = \frac{1}{(1-v^2)} & \left[E \int_z [-z w_{tt}(t)] z dz - k_0 \int_z [-z w_{tt}(t)] |-z w_{tt}(t)|^{p_0-1} z dz \right. \\ & + \sum_{i=1}^n k_i \int_z [-z w_{tt}(t)] |-z w_{tt}(t)|^{p_i-1} z dz \\ & - \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} \int_0^t \left[\int_z [-z w_{tt}(\tau)] |-z w_{tt}(\tau)|^{p_i-1} z dz \right] e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau + E v \int_z [-z w_{rr}(t)] z dz \\ & + k_0 \int_z [-z w_{rr}(t)] |-z w_{tt}(t)|^{p_0-1} z dz \\ & + \sum_{i=1}^n k_i v \int_z [-z w_{rr}(t)] |-z w_{tt}(t)|^{p_i-1} z dz \\ & \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i v}{\lambda_i} \int_0^t \left[\int_z [-z w_{rr}(\tau)] |-z w_{tt}(\tau)|^{p_i-1} z dz \right] e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \quad (4.30) \end{aligned}$$

Denklem (4.29) ile (4.30)'da yer alan z değişkenine bağlı integral ifadelerinden elde edilen değerler (4.31)'deki gibi tanımlanırsa, moment denklemleri için (4.32) ve (4.33) denklemleri elde edilir.

$$\begin{aligned}
I_0 &= \frac{h^3}{12} \\
I_{p0} &= \frac{2}{p_0 + 2} \left\{ \frac{h}{2} \right\}^{p_0+2} \\
I_{pi} &= \frac{2}{p_i + 2} \left\{ \frac{h}{2} \right\}^{p_i+2}
\end{aligned} \tag{4.31}$$

Denklem (4.32) ile (4.33)'te yer alan $w_{rr}(t)$ ve $w_{tt}(t)$ terimleri yalnız bırakılıp denklemler yeniden düzenlenirse, elastik moment değerine bağlı iteratif eğrilik denklemleri (4.34) ve (4.35) ile elde edilmiş olur.

$$\begin{aligned}
M_r = \frac{1}{(1 - v^2)} & \left\{ -EI_0 w_{rr}(t) + k_0 I_{p0} w_{rr}(t) |w_{rr}(t)|^{p_0-1} \right. \\
& - \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} w_{rr}(t) |w_{rr}(t)|^{p_i-1} \\
& + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \int_0^t w_{rr}(\tau) |w_{rr}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
& - EI_0 v w_{tt}(t) + k_0 I_{p0} v w_{tt}(t) |w_{rr}(t)|^{p_0-1} \\
& + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v w_{tt}(t) |w_{rr}(t)|^{p_i-1} \\
& \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \int_0^t w_{tt}(\tau) |w_{rr}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right\}
\end{aligned} \tag{4.32}$$

$$\begin{aligned}
M_t = \frac{1}{(1-v^2)} & \left\{ -EI_0 w_{tt}(t) + k_0 I_{p0} w_{tt}(t) |w_{tt}(t)|^{p_0-1} \right. \\
& - \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} w_{tt}(t) |w_{tt}(t)|^{p_i-1} \\
& + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \int_0^t w_{tt}(\tau) |w_{tt}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
& - EI_0 v w_{rr}(t) + k_0 I_{p0} v w_{rr}(t) |w_{tt}(t)|^{p_0-1} \\
& + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v w_{rr}(t) |w_{tt}(t)|^{p_i-1} \\
& \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \int_0^t w_{rr}(\tau) |w_{tt}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right\}
\end{aligned} \tag{4.33}$$

w_{rr}

$$\begin{aligned}
& = -M_r \left\{ \frac{1}{(1-v^2)} \left[EI_0 - k_0 I_{p0} |w_{rr}(t)|^{p_0-1} \right. \right. \\
& + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} |w_{rr}(t)|^{p_i-1} \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \frac{1}{w_{rr}(t)} \int_0^t w_{rr}(\tau) |w_{rr}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau + EI_0 v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} \\
& - k_0 I_{p0} v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} |w_{rr}(t)|^{p_0-1} + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} |w_{rr}(t)|^{p_i-1} \\
& \left. \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \frac{1}{w_{rr}(t)} \int_0^t w_{tt}(\tau) |w_{rr}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.34}$$

$$\begin{aligned}
& w_{tt}(t) \\
& = -M_t \left\{ \frac{1}{(1-v^2)} \left[EI_0 - k_0 I_{p0} |w_{tt}(t)|^{p_0-1} \right. \right. \\
& + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} |w_{tt}(t)|^{p_i-1} \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \frac{1}{w_{tt}(t)} \int_0^t w_{tt}(\tau) |w_{tt}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau + EI_0 v \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} \\
& - k_0 I_{p0} v \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} |w_{tt}(t)|^{p_0-1} + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} |w_{tt}(t)|^{p_i-1} \\
& \left. \left. - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \frac{1}{w_{tt}(t)} \int_0^t w_{rr}(\tau) |w_{tt}(\tau)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.35}$$

Denklem (4.34) ve (4.35)'te yer alan integrallerin $t = s\Delta t$ ($s=1,2,\dots,n$) alınması durumunda yamuk kuralı uygulanarak açılmış halleri (4.36), (4.37), (4.38) ile (4.39) denklemlerinde verilmiştir.

$$\begin{aligned}
& \int_0^{s\Delta t} w_{rr}(t) |w_{rr}(t)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
& = \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{rr}(0) |w_{rr}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{rr}(k\Delta t) |w_{rr}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
& \left. + w_{rr}(s\Delta t) |w_{rr}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.36}$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^{s\Delta t} w_{tt}(t) |w_{rr}(t)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
&= \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{tt}(0) |w_{rr}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
&+ 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{tt}(k\Delta t) |w_{rr}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
&\left. + w_{tt}(s\Delta t) |w_{rr}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.37}$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^{s\Delta t} w_{tt}(t) |w_{tt}(t)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
&= \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{tt}(0) |w_{tt}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
&+ 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{tt}(k\Delta t) |w_{tt}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
&\left. + w_{tt}(s\Delta t) |w_{tt}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.38}$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^{s\Delta t} w_{rr}(t) |w_{tt}(t)|^{p_i-1} e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\
&= \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{rr}(0) |w_{tt}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
&+ 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{rr}(k\Delta t) |w_{tt}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
&\left. + w_{rr}(s\Delta t) |w_{tt}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.39}$$

(4.34) ile (4.35) denklemlerinde (4.36), (4.37), (4.38) ve (4.39) ifadeleri yerine konursa, nonlinear viskoelastik malzemeli ince dairesel plakların nihai eğrilik denklemleri elde edilmiş olur.

$$\begin{aligned}
w_{rr}(t) = & -M_r \left\{ \frac{1}{(1-v^2)} \left[EI_0 - k_0 I_{p0} |w_{rr}(t)|^{p_0-1} + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} |w_{rr}(t)|^{p_i-1} \right. \right. \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \frac{1}{w_{rr}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ (0) |w_{rr}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{rr}(k\Delta t) |w_{rr}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
& \left. \left. + w_{rr}(s\Delta t) |w_{rr}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\} + EI_0 v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} \right. \\
& - k_0 I_{p0} v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} |w_{rr}(t)|^{p_0-1} \\
& + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} |w_{rr}(t)|^{p_i-1} \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} v}{\lambda_i} \frac{1}{w_{tt}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{tt}(0) |w_{rr}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{tt}(k\Delta t) |w_{rr}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
& \left. \left. + w_{tt}(s\Delta t) |w_{rr}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\} \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.40}$$

(4.40) ve (4.41)'de verilen bu denklemler iteratif denklemler olup, her bir adım için tekrarlanarak istenilen kesitin eğriliklerini çok küçük bir hata payıyla vermektedir.

İlk adımı hesaplamak için denklemlerin sağ tarafında yer alan zamana bağlı $w_{rr}(t)$ ve $w_{tt}(t)$ eğrilikleri yerine sonlu elemanlar yönteminden elde edilen elastik $w_{rr}(0)$ ve $w_{tt}(0)$ değerleri verilerek iterasyona başlamak mümkündür.

Nonlinear viskoelastik malzemeli ince dairesel plakların çözümünde ilk çıkış noktası olan Denklem (4.40) ile (4.41)' de yer alan:

λ_i : Kelvin zinciri' nde yer alan i . yayın gecikme zamanını,

p_0, p_i : nonlinear viskoelastik malzeme sabitlerini,

k_0, k_i : Prony serisi sabitlerini,

belirtmektedir.

$$\begin{aligned}
w_{tt}(t) = & -M_t \left\{ \frac{1}{(1-\nu^2)} \left[EI_0 - k_0 I_{p0} |w_{tt}(t)|^{p_0-1} + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} |w_{tt}(t)|^{p_i-1} \right. \right. \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{\lambda_i} \frac{1}{w_{tt}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{tt}(0) |w_{tt}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{tt}(k\Delta t) |w_{tt}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
& \left. \left. + w_{tt}(s\Delta t) |w_{tt}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\} + EI_0 \nu \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} \right. \\
& - k_0 I_{p0} \nu \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} |w_{tt}(t)|^{p_0-1} \\
& + \sum_{i=1}^n k_i I_{pi} \nu \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} |w_{tt}(t)|^{p_i-1} \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi} \nu}{\lambda_i} \frac{1}{w_{tt}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{rr}(0) |w_{tt}(0)|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{rr}(k\Delta t) |w_{tt}(k\Delta t)|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
& \left. \left. + w_{rr}(s\Delta t) |w_{tt}(s\Delta t)|^{p_i-1} \right\} \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.41}$$

4.2.2 Lineer Viskoelastik Malzeme için Eğriliklerin Elde Edilmesi

Lineer viskoelastik malzemeli aksenal simetrik ince dairesel plak moment denklemleri, (4.32) ve (4.33) denklemlerinde yer alan p_0 ve p_i yerine 1 konup, Denklem (4.42)'deki ifadeler yerine konulduğunda, (4.43) ve (4.44) denklemlerinde gösterildiği gibi elde edilir.

$$E_v = E - k_0 + \sum_{i=1}^n k_i, \quad k_{iv} = \frac{k_i}{\lambda_i}, \quad I_0 = \frac{h^3}{12} \tag{4.42}$$

$$\begin{aligned}
M_r = \frac{1}{(1-v^2)} & \left\{ -E_v I_0 [w_{rr}(t) + v w_{tt}(t)] \right. \\
& + \sum_{i=1}^n k_{iv} I_0 \left\{ \int_0^t w_{rr}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right. \\
& \left. \left. + v \int_0^t w_{tt}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.43}$$

$$\begin{aligned}
M_t = \frac{1}{(1-v^2)} & \left\{ -E_v I_0 [w_{tt}(t) + v w_{rr}(t)] \right. \\
& + \sum_{i=1}^n k_{iv} I_0 \left\{ \int_0^t w_{tt}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right. \\
& \left. \left. + v \int_0^t w_{rr}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.44}$$

(4.43) ile (4.44) denklemlerinde, eğrilik değerleri yalnız bırakıldığında (4.45) ve (4.46) denklemlerinde ifade edildiği gibi lineer eğrilikler türetilmiş olur.

$$\begin{aligned}
w_{rr}(t) = -M_r & \left\{ \frac{1}{(1-v^2)} I_0 \left[E_v - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{rr}(t)} \int_0^t w_{rr}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right. \right. \\
& \left. \left. + v E_v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv} v}{w_{rr}(t)} \int_0^t w_{tt}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.45}$$

$$\begin{aligned}
w_{tt}(t) = -M_t & \left\{ \frac{1}{(1-v^2)} I_0 \left[E_v - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{tt}(t)} \int_0^t w_{tt}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right. \right. \\
& \left. \left. + v E_v \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv} v}{w_{tt}(t)} \int_0^t w_{rr}(\tau) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \right] \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.46}$$

(4.45) ile (4.46) denklemlerinde yer alan integraller (4.47) ve (4.48)' de gösterildiği gibi yamuk kuralı ile açılıp yerine konursa Denklem (4.49) ile (4.50)'ta verildiği gibi nihai eğrilik ifadeleri elde edilir.

$$\begin{aligned} & \int_0^{s\Delta t} w_{rr}(t) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\ &= \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{rr}(0) e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{rr}(k\Delta t) e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \right. \\ & \quad \left. + w_{rr}(s\Delta t) \right\} \end{aligned} \quad (4.47)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^{s\Delta t} w_{tt}(t) e^{-\frac{t-\tau}{\lambda_i}} d\tau \\ &= \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{tt}(0) e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{tt}(k\Delta t) e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \right. \\ & \quad \left. + w_{tt}(s\Delta t) \right\} \end{aligned} \quad (4.48)$$

$$\begin{aligned} w_{rr}(t) = & -M_r \left\{ \frac{1}{(1-v^2)} I_0 \left[E_v \right. \right. \\ & - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{rr}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{rr}(0) e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\ & + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{rr}(k\Delta t) e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} + w_{rr}(s\Delta t) \left. \right\} + v E_v \frac{w_{tt}(t)}{w_{rr}(t)} \\ & - \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{rr}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{tt}(0) e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\ & + 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{tt}(k\Delta t) e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} + w_{tt}(s\Delta t) \left. \right\} \left. \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (4.49)$$

$$\begin{aligned}
w_{tt}(t) = -M_t \left\{ \frac{1}{(1-v^2)} I_0 \left[E_v \right. \right. \\
- \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{tt}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{tt}(0) e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
+ 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{tt}(k\Delta t) e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} + w_{tt}(s\Delta t) \left. \right\} + v E_v \frac{w_{rr}(t)}{w_{tt}(t)} \\
- \sum_{i=1}^n \frac{k_{iv}}{w_{tt}(t)} \frac{\Delta t}{2} \left\{ w_{rr}(0) e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
+ 2 \sum_{k=1}^{s-1} w_{rr}(k\Delta t) e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} + w_{rr}(s\Delta t) \left. \right\} \left. \right\}^{-1}
\end{aligned} \tag{4.50}$$

4.2.3 Deformasyonların Elde Edilmesi

Bernoulli-Navier hipotezinden hareketle, zamana bağlı deformasyon değerleri (4.51) vektörel ifadesinde verildiği gibidir. h kalınlığındaki bir plak kesitinde, plağın ortasından geçen tarafsız düzlem $z = 0$ kotunda yer almaktadır. Kesitin en dış üst lifi $z = h/2$, en dış alt lifi ise $z = -h/2$ kotunda bulunmaktadır. Buna göre Bölüm (4.2.1) ve (4.2.2)'de verilen viskoelastik eğriliklerden hareketle z değişkenine istenilen kottaki değer verilerek plağın herhangi bir noktasında ve/veya zamanda deformasyon değeri Denklem (4.51)'den hesap edilir.

$$\{\varepsilon(t)\} = \{-zw_{rr}(t) \quad -zw_{tt}(t)\}^T \tag{4.51}$$

4.2.4 Nonlineer Viskoelastik Malzeme için Gerilmelerin Elde Edilmesi

Denklem (4.51)'den hareketle elde edilen deformasyon değerleri ile Denklem (4.27) ve (4.28)'de elde edilen rölaksasyon fonksiyonlarının kısmi türevleri, Denklem (4.15) ile (4.16)'da yerine konur, yamuk kuralı ile ifadelerdeki integraller açılırsa, nonlinear gerilme değerleri Denklem (4.52)'de verildiği gibi vektörel formda ifade edilir.

$$\begin{aligned}
\{\sigma(t)\} = \frac{[D]}{1-v^2} & \left\{ E\{\varepsilon(t)\} - k_0\{\varepsilon(t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} |\{\varepsilon(t)\}|^{p_0-1} \right. \\
& + k_1\{\varepsilon(t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} |\{\varepsilon(t)\}|^{p_1-1} \\
& - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} \left[\{\varepsilon(0)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} |\{\varepsilon(0)\}|^{p_i-1} e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} \{\varepsilon(k\Delta t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} |\{\varepsilon(k\Delta t)\}|^{p_i-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \\
& \left. \left. + \{\varepsilon(s\Delta t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} |\{\varepsilon(s\Delta t)\}|^{p_i-1} \right] \right\} \quad (4.52)
\end{aligned}$$

4.2.5 Lineer Viskoelastik Malzeme için Gerilmelerin Elde Edilmesi

Bölüm (4.2.4)'te anlatıldığı şekilde gerekli işlemler lineer gerilme durumu için yapıldığında Denklem (4.53) ile lineer viskoelastik malzemeli plağın gerilme vektörü elde edilmiş olur.

$$\begin{aligned}
\{\sigma(t)\} = \frac{[D]}{1-v^2} & \left\{ \left(E - k_0 + \sum_{i=1}^n k_i \right) \{\varepsilon(t)\} \right. \\
& - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \{\varepsilon(0)\} \right. \\
& \left. \left. + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t-k\Delta t)}{\lambda_i}} \{\varepsilon(k\Delta t)\} + \{\varepsilon(s\Delta t)\} \right\} \right\} \quad (4.53)
\end{aligned}$$

Denklem (4.53)'te verilen ifade her i . düğüm noktası için hesaplandığında, plak radyal doğrultusu boyunca istenen kesit seviyesinin gerilme dağılımı incelenebilir.

4.3 Viskoelastik Malzemeli Eksenel Simetrik İnce Dairesel Plaklarda Deplasman Vektörünün Elde Edilmesi

4.3.1 Viskoelastik Malzemeli Plağın Herhangi Bir Kesitindeki Deplasman Vektörünün Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elde Edilmesi

Sonlu elemanlarda şekil değiştirme vektörü, şekil değiştirme matrisi ile deplasman vektörünün çarpımına eşittir. Şekil değiştirme matrisi, düzlemsel koordinatlara bağımlı $(r - \theta)$, zamandan bağımsız bir matris ve yöntem için yapılan kabullerde küçük yer değiştirmeler söz konusu olduğundan, bu ilişki (4.54) denkleminde tanımlandığı gibi viskoelastik malzemeli elemanlar için de eğrilik-deplasman ilişkisi olarak yazılabilir.

$$\{\epsilon(t)\} = [B]\{\delta(t)\} \quad (4.54)$$

Çalışmada kullanılan plak için şekil değiştirme vektörünün üçüncü terimi kayma şekil değiştirmesidir. Eğilme etkileri altında bulunan ince bir plağın viskoelastik deformasyon vektörü Denklem (4.55)'te tanımlandığı gibi göz önüne alınıp (Kahraman, 1993), burulma şekil değiştirmesi sıfır olduğundan burulma eğriliği de sıfır olacaktır.

$$\{\epsilon(t)\} = \{-w_{rr}(t) \quad -w_{tt}(t) \quad 0\}^T \quad (4.55)$$

Eşitliğin sağ tarafında bulunan zamana bağlı viskoelastik deplasman vektörünü yalnız bırakmak için, Denklemin her iki tarafı $2\pi \iint [B]^T [D] dr d\theta$ ile çarpılırsa Denklem (4.56) elde edilir.

$$\iint [B]^T [D] dr d\theta \{\epsilon(t)\} = \iint [B]^T [D] [B] dr d\theta \{\delta(t)\}_s \quad (4.56)$$

Denklem (4.56)'nın sağ tarafındaki $\iint [B]^T [D] [B] dr d\theta$ ifadesi sistem rijitlik matrisidir. Rijitlik matrisi, denklemin diğer tarafına atılır ve ifade yeniden

düzenlenirse zamana bağlı deplasman vektörü nümerik olarak Denklem (4.57)'de verildiği şekilde elde edilecektir.

$$\{\delta(t)\}_s = [K]_s^{-1}[(2\pi r|J|[B]^T[D])_{\xi=-1/\sqrt{3}} + (2\pi r|J|[B]^T[D])_{\xi=1/\sqrt{3}}]_s \{-w_{rr}(t) \quad -w_{tt}(t) \quad 0\}_s^T \quad (4.57)$$

Denklem (4.57) hem lineer hem de nonlinear malzemeli eksenel simetrik ince dairesel plaklar için geçerlidir.

4.3.2 Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanlarının Minimum Potansiyel Enerji Teoremi ile Elde Edilmesi

Viskoelastik malzemeli eksenel simetrik bir plakta minimum potansiyel enerji teoreminden hareketle, gerilme-zaman ilişkisinden deplasman-zaman ilişkisine geçmek mümkün olmaktadır (Kahraman, 1993). Bölüm (4.3.2.1)'de nonlinear viskoelastik malzemeli, (4.3.2.2)'de ise lineer viskoelastik malzemeli bir plak için radyal ve teğetsel eğrilik ve momentlerin birbirine eşit; burulma momenti değerinin sıfır olduğu eksenel simetrik sınır ve yükleme şartları altında çözüme gidilmiştir.

4.3.2.1 Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak için Deplasman-Zaman İlişkisi

Elemanları kesit momentleri olan gerilme vektörü Denklem (4.58)'de verildiği gibi tanımlanabilir (Kahraman, 1993).

$$\{\sigma = M\} = \{M_{rr} \quad M_{tt} \quad M_{rt}\}^T \quad (4.58)$$

Eksenel simetrik durumlarda M_{rt} sıfır olmakta ve plak orta noktasında ise $M_{rr} = M_{tt}$ olmaktadır. Bununla birlikte, Denklem (4.58) ile verilen gerilme tansörünün şekil değiştirme vektörü ve buna bağlı ifadeleri, belirli zaman aralıklarındaki adımlara göre (4.59) denklemleri ile ifade edilebilir.

$$\{\epsilon(s)\} = \{-w_{rr}(s\Delta t) \quad -w_{tt}(s\Delta t) \quad 0\}^T$$

$$\begin{aligned} & \{[\epsilon(s\Delta t)]^{p_i}\} \\ &= \{-w_{rr}(s\Delta t)|w_{rr}(s\Delta t)|^{p_i} \quad -w_{tt}(s\Delta t)|w_{tt}(s\Delta t)|^{p_i} \quad 0\}^T \end{aligned} \quad (4.59)$$

$$\{[\epsilon(s\Delta t)]^{p_i}\} = \{\epsilon(s\Delta t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(s\Delta t)]^{p_{i-1}}\}$$

(4.59) ifadelerinde aksel simetri ve plak orta noktası dikkate alındığında $\epsilon_{rr}=\epsilon_{tt}$ ve ϵ_{rt} değerinin ise sifıra eşit olduğu anlaşılmaktadır. Burada $s = 1,2,3, \dots, s$ ve $i = 0,1,2, \dots, n$ olmaktadır. (4.59) ifadeleri (4.32) ve (4.33) denklemlerinde yerine yazılıp düzenlenirse gerilme vektörü için Denklem (4.60) elde edilmiş olur.

$$\begin{aligned} \{\sigma\} = \frac{1}{1-v^2} & \left\{ [D]\{\epsilon(t)\} - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [D]\{\epsilon(t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(t)]^{p_0-1}\} \right. \\ & + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [D]\{\epsilon(t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(t)]^{p_i-1}\} \\ & - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} [D] \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \{\epsilon(0)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(0)]^{p_i-1}\} \right. \\ & + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \{\epsilon(k\Delta t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(k\Delta t)]^{p_i-1}\} \\ & \left. \left. + \{\epsilon(s\Delta t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(s\Delta t)]^{p_i-1}\} \right\} \right\} \end{aligned} \quad (4.60)$$

(4.60) denkleminde yer alan deformasyon ifadeleri (4.54) denkleminde verildiği gibi ele alınırsa, (4.61) denklemi ile nihai gerilme tansörü elde edilmiş olur.

$$\begin{aligned}
& \{\sigma\} \\
&= \frac{1}{1-v^2} \left\{ [D][B]\{\delta(t)\} \right. \\
&\quad - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [D][B]\{\delta(t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(t)]^{p_0-1}\} \\
&\quad + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [D][B]\{\delta(t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(t)]^{p_i-1}\} \\
&\quad - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} [D] \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} [B]\{\delta(0)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(0)]^{p_i-1}\} \right. \\
&\quad + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} [B]\{\delta(k\Delta t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(k\Delta t)]^{p_i-1}\} \\
&\quad \left. \left. + [B]\{\delta(t)\} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\epsilon(s\Delta t)]^{p_i-1}\} \right\} \right\} \\
&\quad \left. \right\} \tag{4.61}
\end{aligned}$$

Elastik şekil değiştirme enerjisi (U_e) ile dış kuvvetlerin yaptığı iş W , elastik teoriden bilindiği üzere (4.62) denklemlerinde verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
U_e &= \frac{1}{2} \iiint \{\epsilon(t)\}^T \sigma(t) dV \\
W &= \{\delta(t)\}^T F \tag{4.62}
\end{aligned}$$

(4.62) denklemlerinde F , dış kuvvet vektörünü belirtmekte, $\{\epsilon(t)\}^T$ ise (4.54)'te verilen ifadenin evriği olmak üzere Denklem (4.63)'te gösterildiği gibidir.

$$\{\epsilon(t)\}^T = \{\delta(t)\}^T [B]^T \tag{4.63}$$

Buna göre, toplam potansiyel enerji I için (4.64) eşitliğine ulaşılır.

$$\begin{aligned}
I &= \Delta U_e - W \\
&= \frac{1}{2(1-\nu^2)} \{\delta(t)\}^T \left\{ \left(\iiint [B]^T [D] [B] dV \right) \{\delta(t)\} \right. \\
&\quad - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} \left(\iiint [B]^T \left[[D] [B] \{\delta(t)\} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \{[\epsilon(t)]^{p_0-1}\} \right] dV \right) \\
&\quad + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} \left(\iiint [B]^T \left[[D] [B] \{\delta(t)\} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \{[\epsilon(t)]^{p_i-1}\} \right] dV \right) \\
&\quad - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \left(e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \left(\iiint [B]^T \left[[D] [B] \{\delta(0)\} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \{[\epsilon(0)]^{p_i-1}\} \right] dV \right) \right. \\
&\quad + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \left(\iiint [B]^T \left[[D] [B] \{\delta(k\Delta t)\} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \{[\epsilon(k\Delta t)]^{p_i-1}\} \right] dV \right) \\
&\quad \left. + \left(\iiint [B]^T \left[[D] [B] \{\delta(t)\} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \{[\epsilon(s\Delta t)]^{p_i-1}\} \right] dV \right) \right) \left. \right\} - \{\delta(t)\}^T \{F\}
\end{aligned} \tag{4.64}$$

Denklem (4.64)'te verilen $[D][B]\{\delta(t)\}$ yerine $\{M(t)\}$ yazılabilir. Eğriliklerin bulunması için elde edilen Denklem (4.32) ve (4.33)'te verilen moment ifadeleri daha sade bir şekilde (4.65) denklemi ile verilen vektör formunda $\{M(t)\}$ ile ifade edilebilir.

$$\{M(t)\} = \{M_r(t) \quad M_t(t) \quad 0\} \tag{4.65}$$

Denklem (4.65)'in hesaplanması, her t anı için elde edilen eğriliklerin (4.32) ile (4.33) denklemleri içine yazılmasıyla zamana bağlı olarak elde edilir. Bu durum, gerçekte zamanla değişmeyen moment ifadelerinin zamana bağlı olarak değişmesi anlamına gelse de, yalnızca yapılan bir ara işlem olarak kabul edilmelidir. Denklem (4.64)'teki bu moment ifadelerinin yanında yer alan eğrilik değerleri ise önceden hesaplanmış değerler olduğundan, gerekli işlemler yapılarak (4.66) ifadelerindeki kısaltmalar yapılabilir.

$$\begin{aligned}
[L_0(t)] &= \iiint [B]^T [D][B]\{\delta(t)\} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\varepsilon(t)]^{p_0-1}\} \right) dV \\
&= \{M(t)\} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\varepsilon(t)]^{p_0-1}\} \right) dV
\end{aligned} \tag{4.66}$$

$$\begin{aligned}
[L_i(t)] &= \iiint [B]^T [D][B]\{\delta(t)\} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\varepsilon(t)]^{p_i-1}\} \right) dV \\
&= \{M(t)\} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{[\varepsilon(t)]^{p_i-1}\} \right) dV
\end{aligned}$$

Toplam potansiyel enerji denkleminde yer alan $\iiint [B]^T [D][B]dV$ ifadesi ise elastik malzemeli plağın rijitlik matrisi $[K]$ ' dir. Bu düzenlemeler altında Denklem (4.64) ile verilen toplam potansiyel enerji ifadesi, (4.67) şeklinde yeniden yazılabilir.

$$\begin{aligned}
I &= \frac{1}{2(1-v^2)} \{\delta(t)\}^T \left\{ [K]\{\delta(t)\} - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [L_0(t)] \right. \\
&\quad + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [L_i(t)] \\
&\quad - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} [L_0(0)] \right. \\
&\quad \left. \left. + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} [L_i(k\Delta t)] + [L_i(s\Delta t)] \right\} \right\} \\
&\quad - \{\delta(t)\}^T \{F\}
\end{aligned} \tag{4.66}$$

Denklem (4.67) ile toplam enerjiyi minimum yapan konum aranır, Denklem (4.68)'de gösterildiği gibi kuvvet vektörü ifade edilmiş olur.

$$\frac{\partial I}{\partial \{\delta(t)\}^T} = 0 \tag{4.67}$$

$$\begin{aligned}
\{F\} = \frac{1}{(1-v^2)}[K] & \left\{ \{\delta(t)\} - \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [L_0(t)][K]^{-1} \right. \\
& + \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [L_i(t)][K]^{-1} \\
& - \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} [L_i(0)][K]^{-1} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} [L_i(k\Delta t)][K]^{-1} \\
& \left. \left. + [L_i(s\Delta t)][K]^{-1} \right\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.68}$$

Gerekli düzenlemeler yapıлып, $\{\delta(t)\}$ terimi sol tarafa atılırsa, nonlinear viskoelastik malzemeli plağın Denklem (4.69) ile deplasman değerleri zamana bağlı olarak hesaplanır.

$$\begin{aligned}
\{\delta(t)\} = (1-v^2)[K]^{-1}\{F\} & + \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [L_0(t)][K]^{-1} \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [L_i(t)][K]^{-1} \\
& + \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} [L_i(0)][K]^{-1} \right. \\
& + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} [L_i(k\Delta t)][K]^{-1} \\
& \left. + [L_i(s\Delta t)][K]^{-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.69}$$

Denklem (4.69)'da yer alan $[K]^{-1}\{F\}$ ifadesi elastik çözümden elde edilen deplasman vektörü $\{\delta(0)\}$ 'ı belirtmektedir. $\{\delta(0)\}$, (4.69) denkleminde yerine konursa, nonlinear viskoelastik malzemeli ince dairesel plağın sünme etkileri altındaki nihai deplasman vektörü Denklem (4.70) ile iteratif olarak hesap edilir.

$$\begin{aligned}
\{\delta(t)\} = & (1 - \nu^2)\{\delta(0)\} + \frac{k_0 I_{p0}}{EI_0} [L_0(t)][K]^{-1} \\
& - \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0} [L_i(t)][K]^{-1} \\
& + \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i I_{pi}}{EI_0 \lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} [L_i(0)][K]^{-1} \right. \\
& \left. + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} [L_i(k\Delta t)][K]^{-1} + [L_i(s\Delta t)][K]^{-1} \right\}
\end{aligned} \tag{4.70}$$

4.3.2.2 Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak için Deplasman-Zaman İlişkisi

Nonlineer denklemlerde kullanılan p_0 ve p_i nonlineerite katsayıları 1 alındığında lineer viskoelastik malzemeli ince dairesel plak denklemlerine ulaşıldığı önceki bölümlerde anlatılmıştı. Denklem (4.60)'tan itibaren p_0 ve p_i katsayıları yerine 1 konursa, (4.71) denklemi ile lineer viskoelastik malzemeli ince dairesel plağın deplasman vektörü elde edilir.

$$\begin{aligned}
\{\delta(t)\} = & \frac{E(1 - \nu^2)}{(1 - k_0 + \sum_{i=1}^n k_i)} \{\delta(0)\} \\
& + \frac{\Delta t}{2} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{E \lambda_i} \left\{ e^{-\frac{s\Delta t}{\lambda_i}} \{\delta(0)\} \right. \\
& \left. + 2 \sum_{k=1}^{s-1} e^{-\frac{(s\Delta t - k\Delta t)}{\lambda_i}} \{\delta(k\Delta t)\} + \{\delta(s\Delta t)\} \right\}
\end{aligned} \tag{4.69}$$

Aynı zamanda verilen bu denklem Kahraman'ın lineer viskoelastik malzemeli plaklar için önerdiği denklemdir (Kahraman, 1993). Nonlineer viskoelastik malzemeli ince dairesel plak için Bölüm (4.3.2.1)'de verilen denklem ise bu çalışma için geliştirilmiştir.

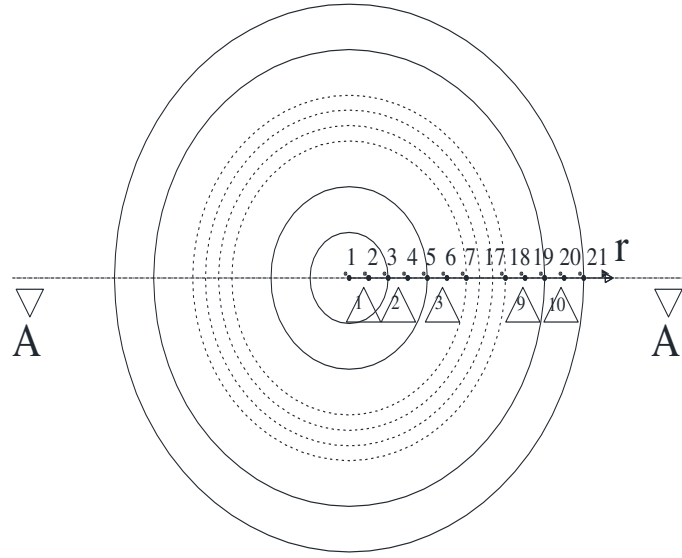
4.3.3 Örnek Karşılaştırma

Bu bölümde, Şekil (4.1) ile gösterilen lineer viskoelastik malzemeli, kenarlarından sabit mesnetli, düzgün yayılı yük etkisinde eğilmeye çalışan ince dairesel bir plak, literatürde yer alan benzer bir çalışma ile karşılaştırılmıştır. Kahraman (1993) tarafından bir kare plağın merkezinde yer alan maksimum deplasmanın zamana bağlı sünme davranışını incelemek için geliştirilen yöntem, bu karşılaştırma için düzenlenerek ince dairesel plaklara uygulanmıştır.

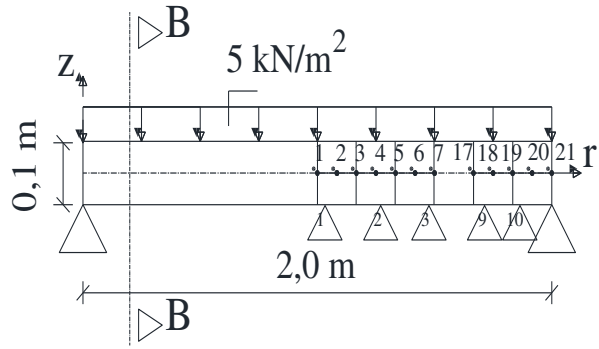
Malzeme verileri Kahraman'ın (1993) çalışmasında kullanılan verilerle aynı olmak üzere, a plak yarıçapını, h plak kalınlığını, q sabit yayılı yükün değerini, ν poisson oranını, E elastisite modülünü, I_0 birim genişlikte ve h kalınlığındaki bir kesitin atalet momentini, k_0 elastik yayın rijitliğini, k_1 Kelvin (Voigt) modelinde yer alan yayın rijitliğini, $\lambda_1 = \frac{\eta_1}{E_1}$ Kelvin (Voigt) modelinin gecikme zamanını belirten Prony katsayılarını, t_{son} toplam iterasyon süresini, Δt dikkate alınan zaman artışını belirtmek üzere; sonlu eleman sayısı 10 alınarak, plağın lineer elastik ve lineer viskoelastik parametre değerleri aşağıda verildiği gibi ele alındığında eklerde akış şeması ve programı sunulan plağın plak merkezinde meydana gelen zamana bağlı sünme etkilerinin karşılaştırması Şekil (4.2)'de verilmiştir.

Malzeme verileri:

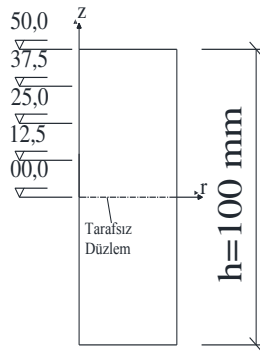
$E = 3 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$k_0 = 1 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_0 = 1.100$
$\nu = 0.3$	$k_1 = 0,75 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_1 = 1.105$
$a = 1\text{m}$		$\Delta t = 1\text{dak}$
$\lambda = 20\text{dak}$		$h = 0,1\text{m}$
		$q = 5\text{kN} / \text{m}^2$



PLAN

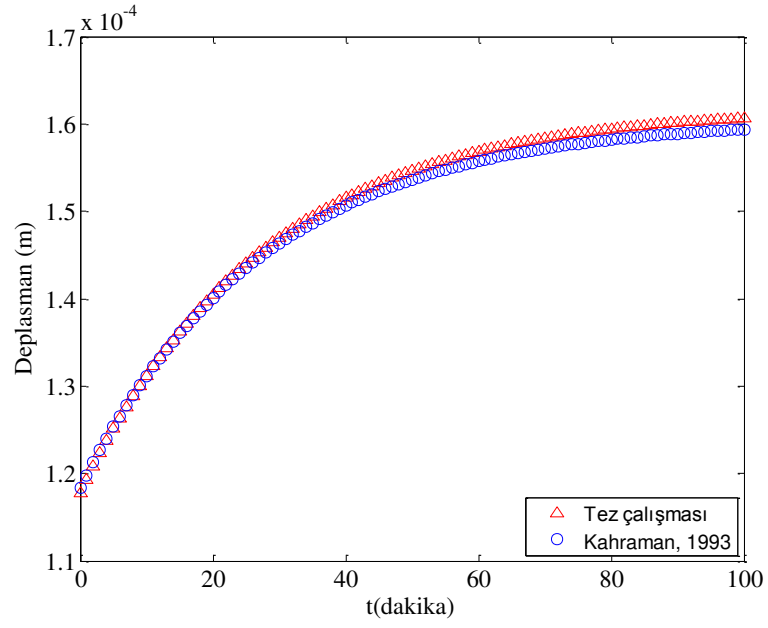


A-A KESİTİ



B-B KESİTİ

Şekil 4.1 Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak



Şekil 4.2 Lineer viskoelastik malzemeli plağın orta noktasında meydana gelen zamana bağlı deplasman değişiminin karşılaştırılması

Tablo 4.1 Lineer viskoelastik malzemeli ince dairesel plağın merkezi deplasmanının zamana bağlı değişimi

	Deplasman ($\times 10^{-4}m$)							
Zaman(dk)	0	5	10	25	50	75	95	100
Kahraman (1993)	1,183	1,240	1,301	1,429	1,534	1,576	1,591	1,594
Tez Çalışması	1,177	1,237	1,300	1,434	1,544	1,588	1,603	1,606

Şekil 4.2 ile Tablo 4.1’de verilen lineer viskoelastik malzemeli plakların deplasmanlarının karşılaştırmasına bakıldığında birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir.

BÖLÜM BEŞ

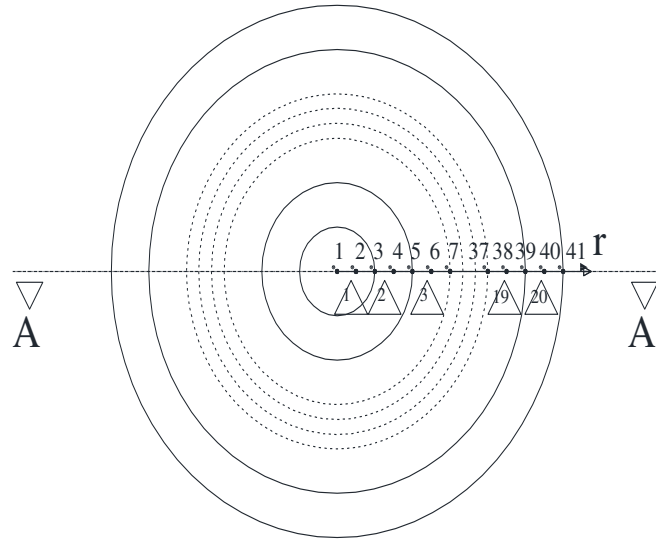
ÖRNEK UYGULAMALAR

5.1 Kenarlarından Sabit Mesnetli Üniform Yayılı Yüklü İnce Dairesel Plak

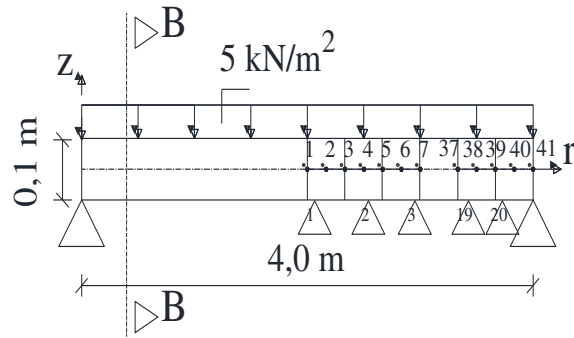
Şekil (5.1)'de verilen, lineer ve nonlinear viskoelastik malzemeli eksenel simetrik sınır ve yükleme şartlarına sahip kenarlarından sabit mesnetli, düzgün yayılı yüklü ince dairesel bir plak, üç parametrelili Kelvin zincir modeli dikkate alındığında; a plak yarıçapını, h plak kalınlığını, q noktasal yükün değerini, ν poisson oranını, E elastisite modülünü, I_0 birim genişlikte, h kalınlığındaki bir kesitin atalet momentini, k_0 elastik yayın rijitliğini, k_1 Kelvin (Voigt) modelinde yer alan yayın rijitliğini, $\lambda_1 = \frac{\eta_1}{E_1}$ Kelvin (Voigt) modelinin gecikme zamanını, p_0 , p_1 , I_{p0} ile I_{p1} nonlinear viskoelastik malzemenin ampirik değerlerini, t_{son} toplam krip süresini, Δt dikkate alınan zaman artışını belirtmekte ve sonlu eleman sayısı 20 olmak üzere, plak lineer elastik, lineer viskoelastik ve nonlinear viskoelastik parametre değerleri aşağıda verildiği gibi ele alındığında; eklerde sunulan bilgisayar programı aracılığıyla yapılan çözümler grafik ve tablolar halinde verilmiştir.

Malzeme verileri:

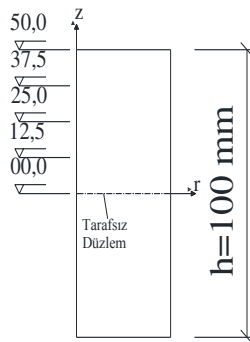
$E = 3 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$k_0 = 1 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_0 = 1.100$
$\nu = 0.3$	$k_1 = 0,75 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_1 = 1.105$
$a = 2\text{m}$		$\Delta t = 5\text{dak}$
$\lambda = 20\text{dak}$		$h = 0,1\text{m}$
		$q = 5\text{kN} / \text{m}^2$



PLAN

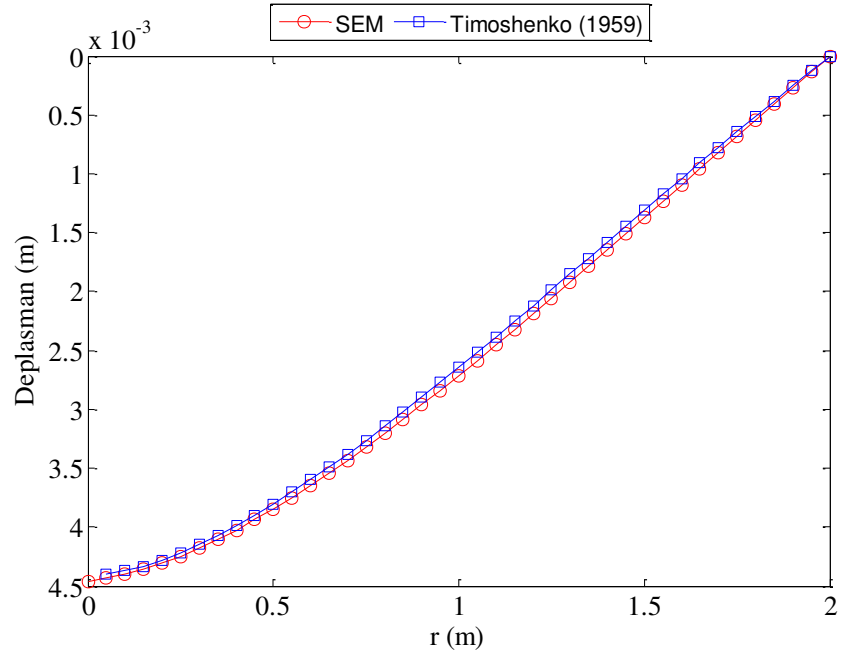


A-A KESİTİ

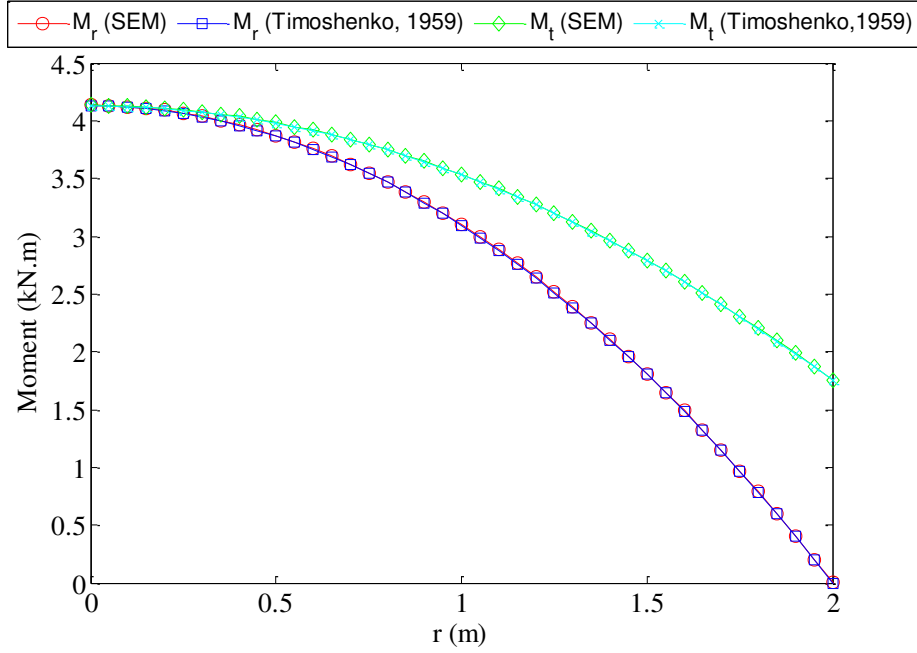


B-B KESİTİ

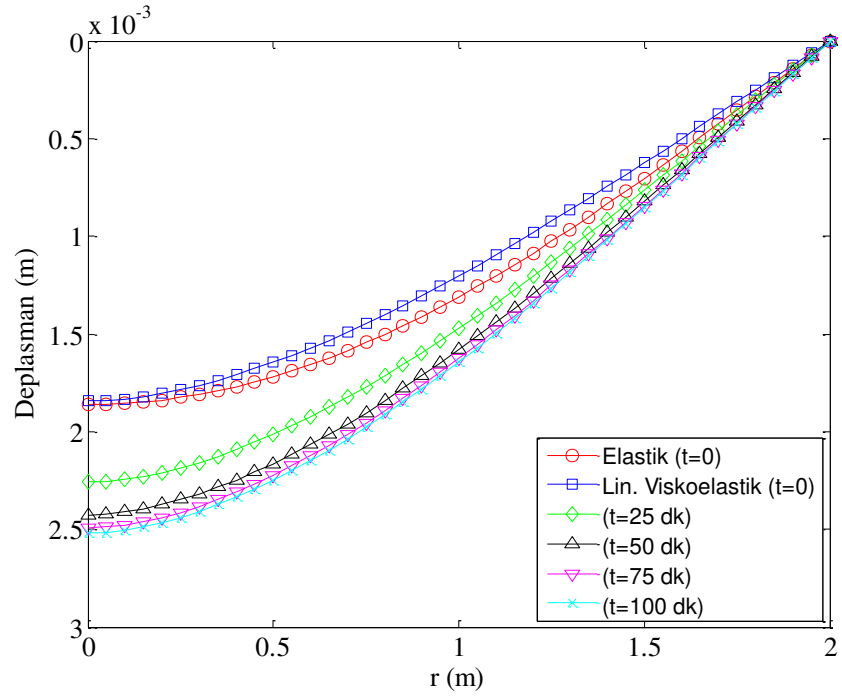
Şekil 5.1 Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak



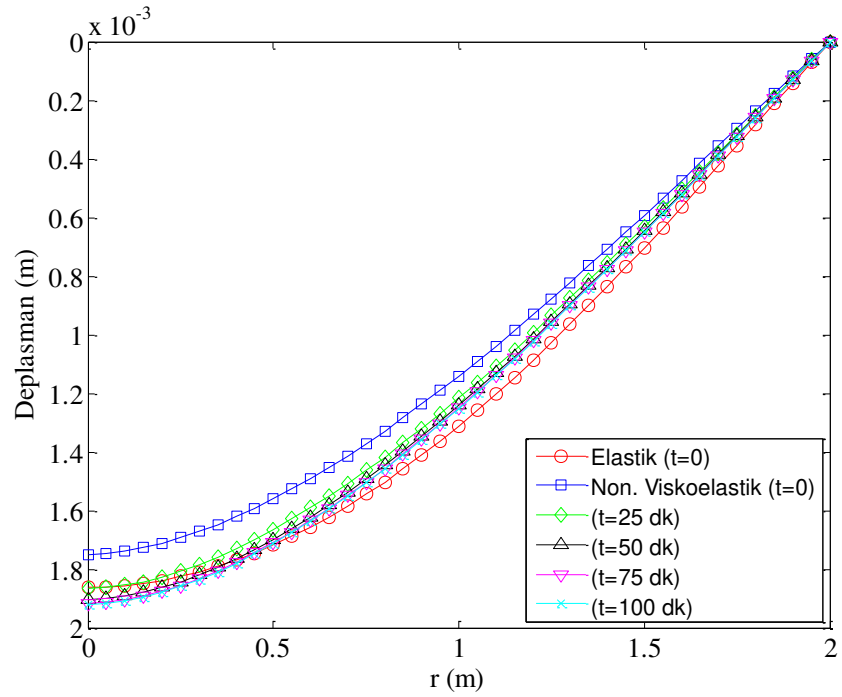
Şekil 5.2 Lineer elastik malzemeli plağın merkezinden olan uzaklığa göre deplasmanları



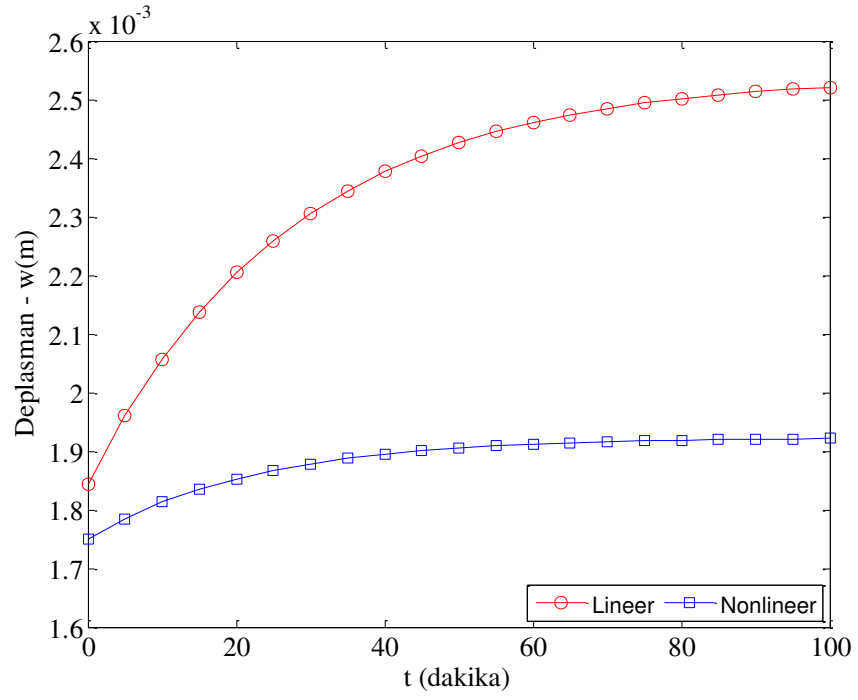
Şekil 5.3 Lineer elastik malzemeli plağın merkezine göre olan uzaklığa bağlı radyal ve teğetsel momentler (SEM: Sonlu Elemanlar Metodu)



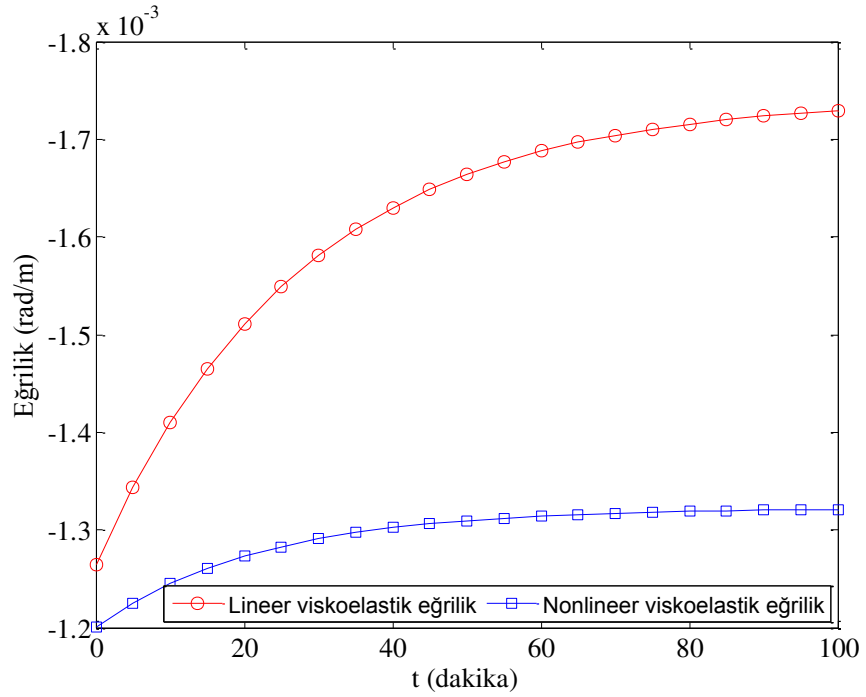
Şekil 5.4 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasmanları



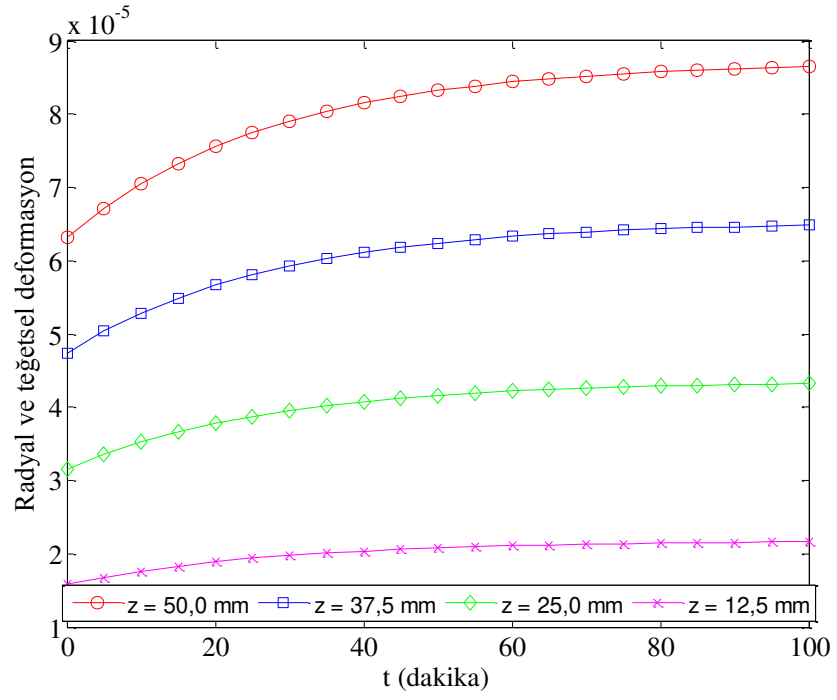
Şekil 5.5 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasmanları



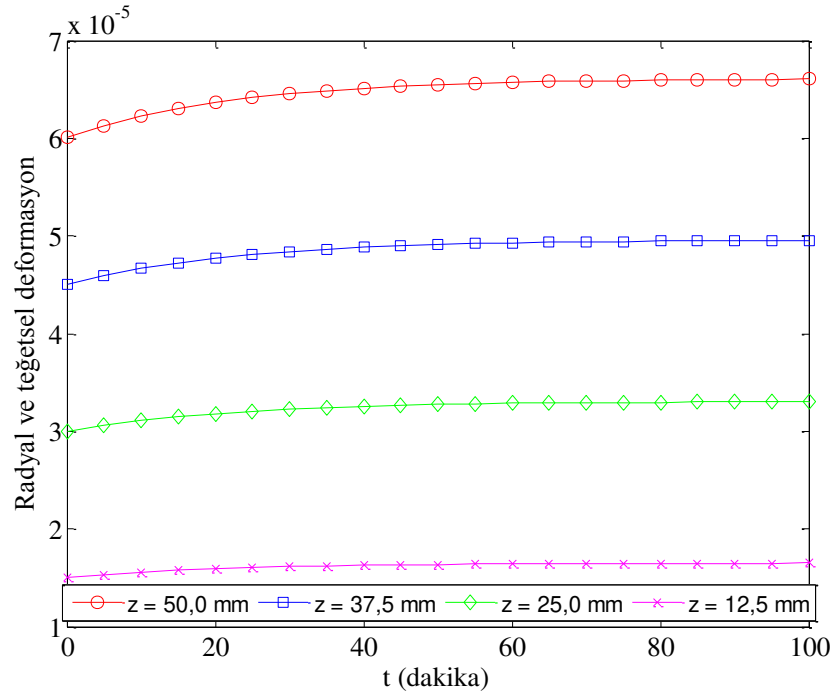
Şekil 5.6 Plak merkezinde meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi



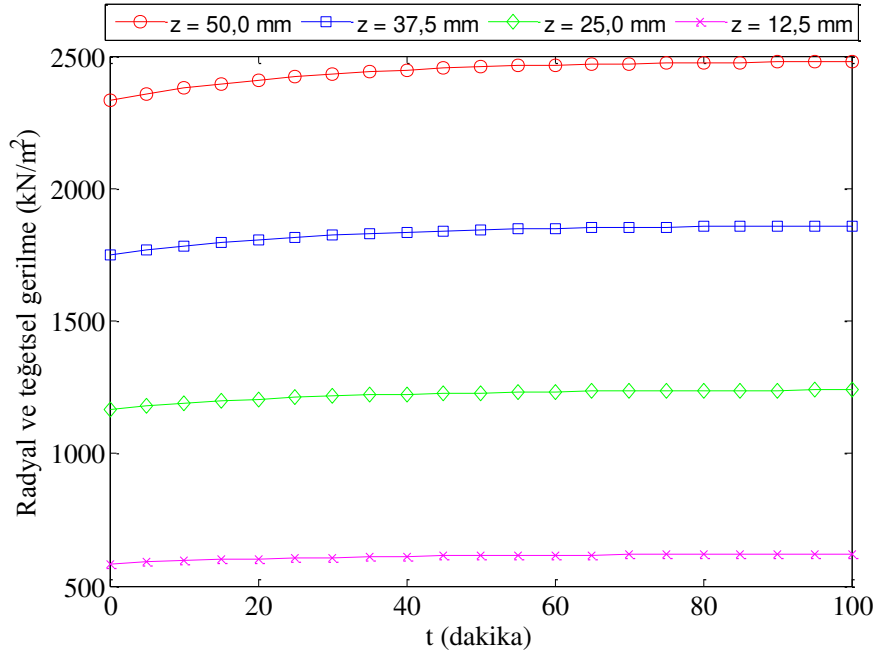
Şekil 5.7 Plak merkezinde meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim



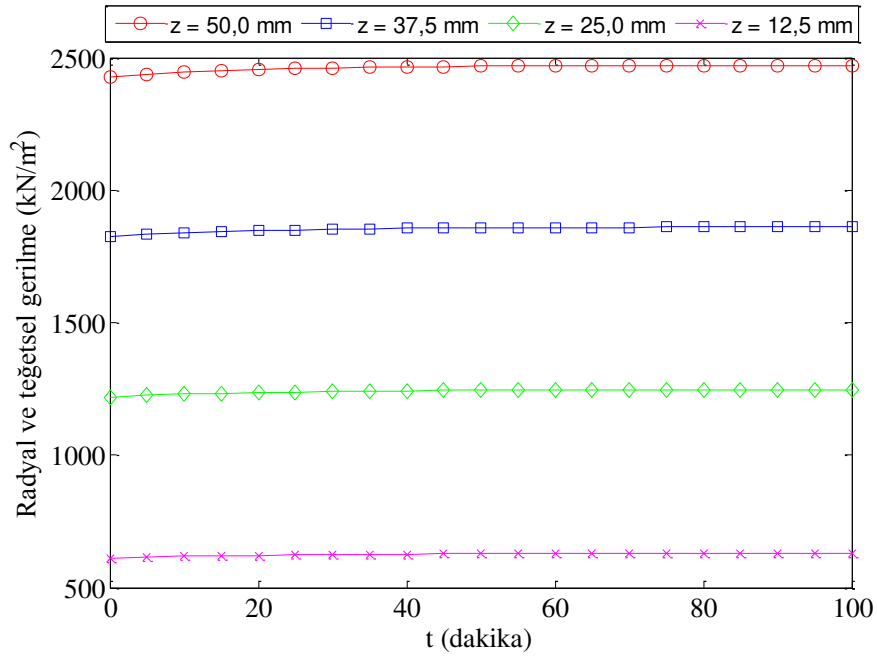
Şekil 5.8 Linear viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen deformasyonlar



Şekil 5.9 Nonlinear viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen deformasyonlar



Şekil 5.10 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen gerilmeler



Şekil 5.11 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte tarafsız düzlemden olan uzaklığa göre zamanla değişen gerilmeler

Tablo 5.1 Kenarlarından basit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen dış lifin deformasyon değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				$\times 10^{-5}$					$\times 10^{-5}$				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Deformasyon	0	5,775	5,794	6,321	7,746	8,321	8,552	8,645	6,004	6,415	6,548	6,591	6,605
	0,5	5,414	5,356	5,843	7,161	7,692	7,906	7,992	5,549	5,923	6,045	6,084	6,097
	1,0	4,331	4,075	4,446	5,448	5,852	6,015	6,080	4,218	4,489	4,577	4,606	4,615
	1,5	2,527	1,942	2,118	2,596	2,789	2,866	2,897	2,001	2,111	2,146	2,157	2,160
	2,0	0	-1,045	1,139	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teğetsel Deformasyon	0	5,775	5,794	6,321	7,746	8,321	8,552	8,645	6,004	6,415	6,548	6,591	6,605
	0,5	5,567	5,642	6,156	7,544	8,103	8,329	8,419	5,847	6,246	6,376	6,418	6,432
	1,0	4,944	5,215	5,689	6,972	7,489	7,697	7,780	5,402	5,772	5,892	5,930	5,943
	1,5	3,905	4,503	4,192	6,020	6,467	6,646	6,719	4,665	4,982	5,085	5,118	5,129
	2,0	2,450	3,507	3,826	4,289	4,599	4,720	4,768	3,303	3,515	3,583	3,604	3,611

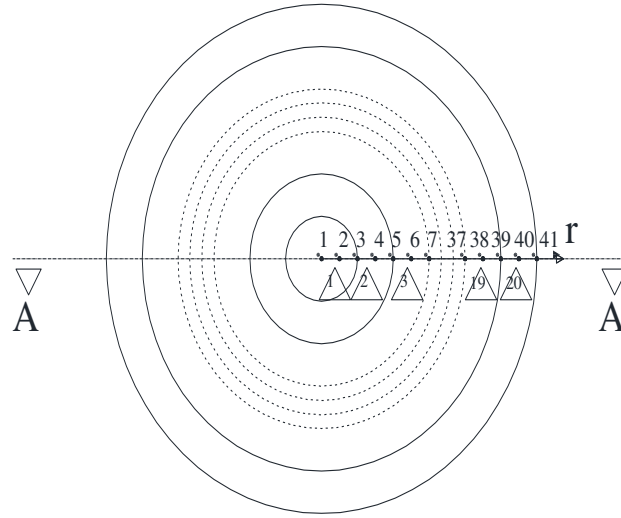
Tablo 5.2 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen dış lifin gerilme değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Gerilme (kN/m ²)	0	2475	2483	2333	2423	2459	2473	2479	2429	2458	2467	2470	2471
	0,5	2320	2324	2183	2267	2301	2315	2320	2274	2300	2309	2311	2312
	1,0	1856	1859	1747	1814	1841	1852	1856	1820	1840	1846	1848	1849
	1,5	1082	1086	1020	1059	1075	1081	1084	1062	1072	1074	1075	1076
	2,0	0	2,4	2,26	312	314	315	316	309	313	314	314	314
Teğetsel Gerilme (kN/m ²)	0	2475	2483	2333	2423	2459	2473	2479	2429	2458	2467	2470	2471
	0,5	2386	2390	2245	2332	2366	2380	2386	2338	2366	2375	2378	2379
	1,0	2119	2122	1993	2070	2101	2114	2119	2077	2102	2110	2113	2113
	1,5	1673	1677	1575	1636	1660	1670	1674	1642	1662	1668	1670	1671
	2,0	1050	1053	989	1031	1045	1050	1052	1031	1043	1046	1048	1048

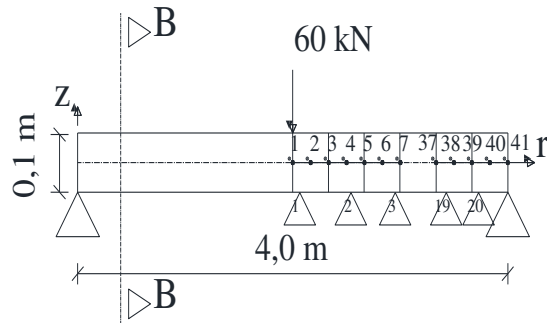
Tablo 5.3 Kenarlarından basit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman(dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem ¹	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Deplasman $\times 10^{-3}$ (m)	0	1,856	1,861	1,844	2,259	2,426	2,494	2,521	1,750	1,867	1,905	1,917	1,921
	0,5	1,712	1,718	1,645	2,014	2,164	2,224	2,248	1,560	1,665	1,699	1,710	1,713
	1,0	1,306	1,311	1,202	1,472	1,581	1,626	1,643	1,140	1,217	1,241	1,249	1,252
	1,5	0,700	0,702	0,624	0,765	0,821	0,844	0,854	0,592	0,632	0,644	0,648	0,650
	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

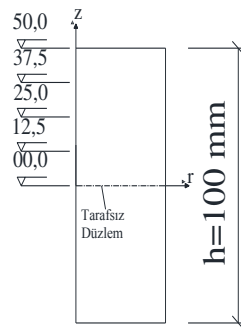
5.2 Kenarlarından Sabit Mesnetli Merkezinden Tekil Yüklü Dairesel Plak



PLAN



A-A KESİTİ



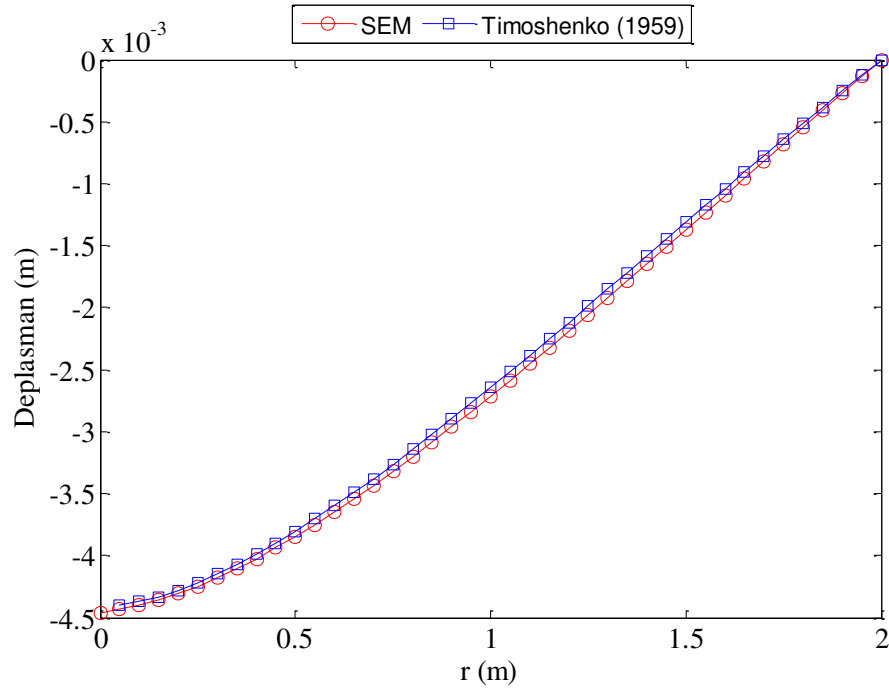
B-B KESİTİ

Şekil 5.12 Kenarlarından sabit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plak

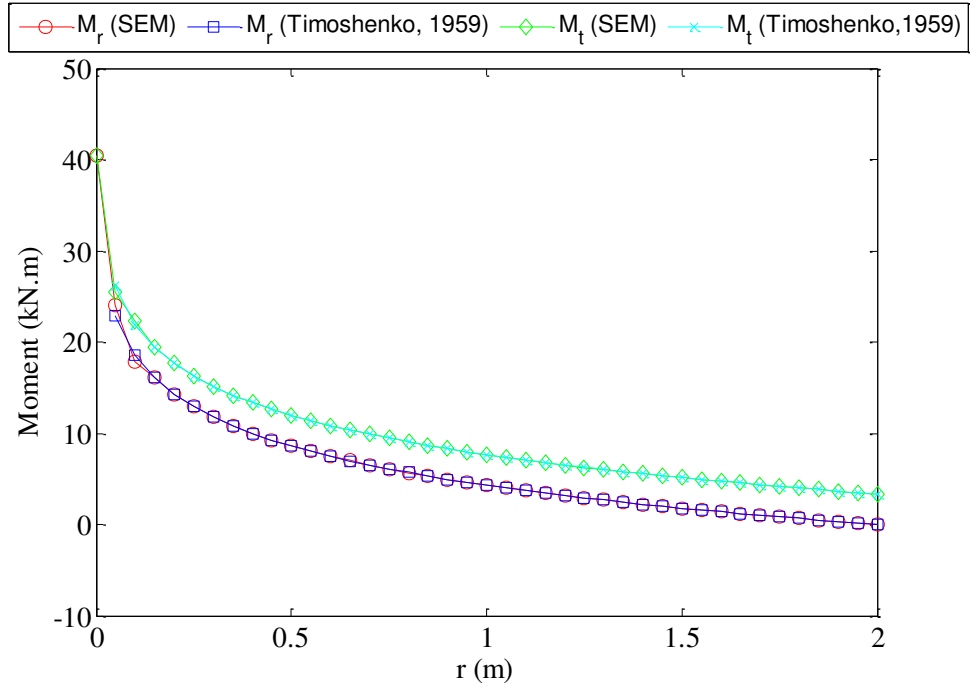
Malzeme özellikleri ve sınır şartları Bölüm (5.1)'de verilen plağın q yayılı yükü kaldırılarak merkezinden $P = 60kN$ tekil yüke maruz kalması durumu için yazılan bilgisayar programı eklerde sunulmuştur. Şekil (5.12)'de gösterilen plak için elde edilen grafik ve tablolar aşağıda verilmiştir.

Malzeme verileri:

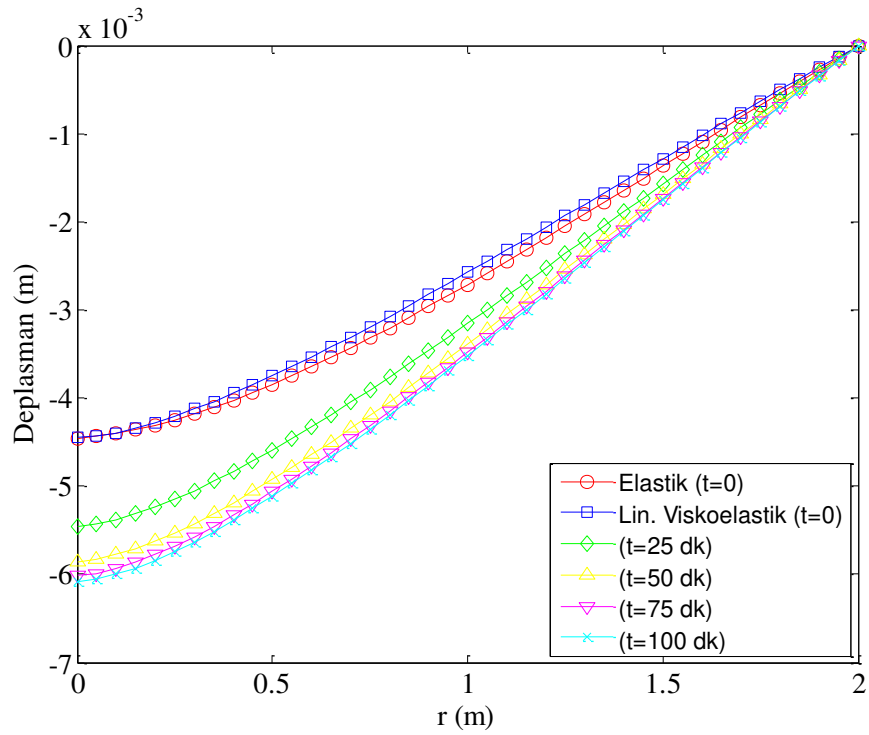
$E = 3 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$k_0 = 1 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_0 = 1.100$
$\nu = 0.3$	$k_1 = 0,75 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_1 = 1.105$
$a = 2m$		$\Delta t = 5dak$
$\lambda = 20dak$		$h = 0,1m$
		$P = 60kN$



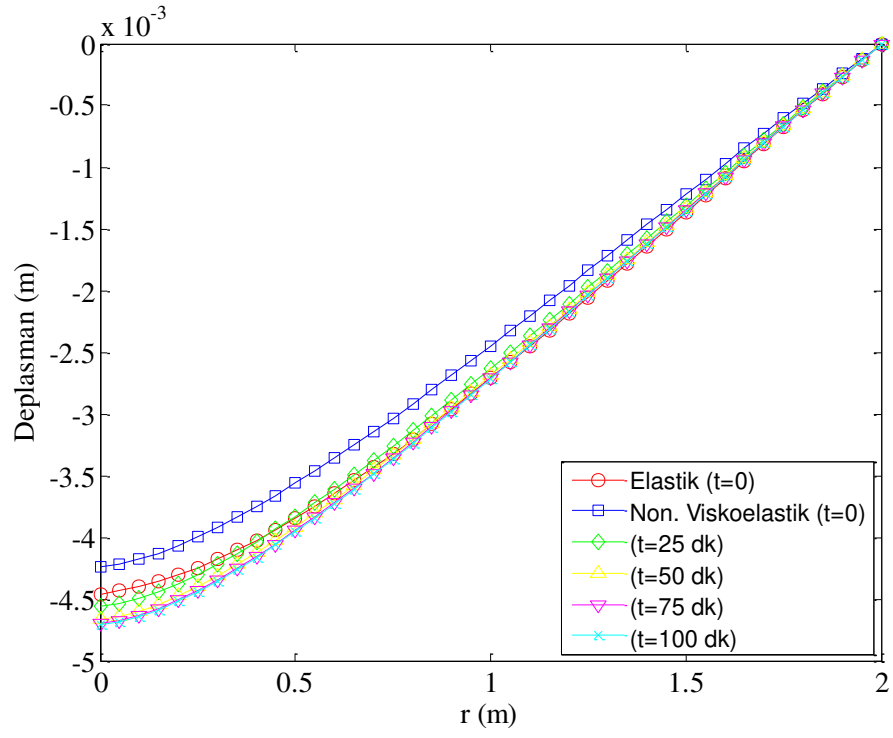
Şekil 5.13 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları



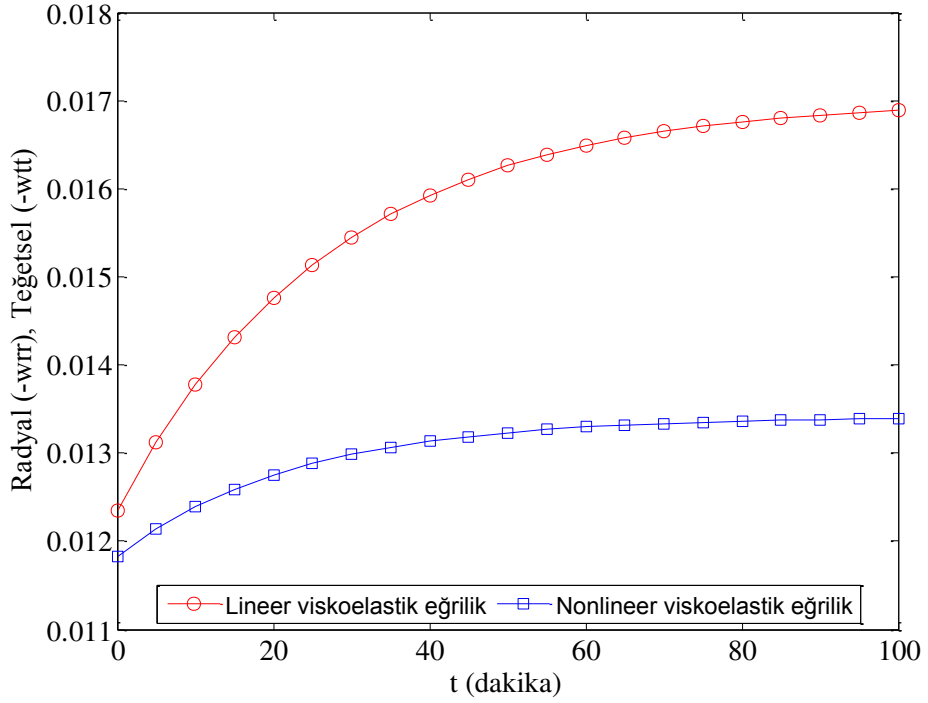
Şekil 5.14 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler (SEM: Sonlu Elemanlar Metodu)



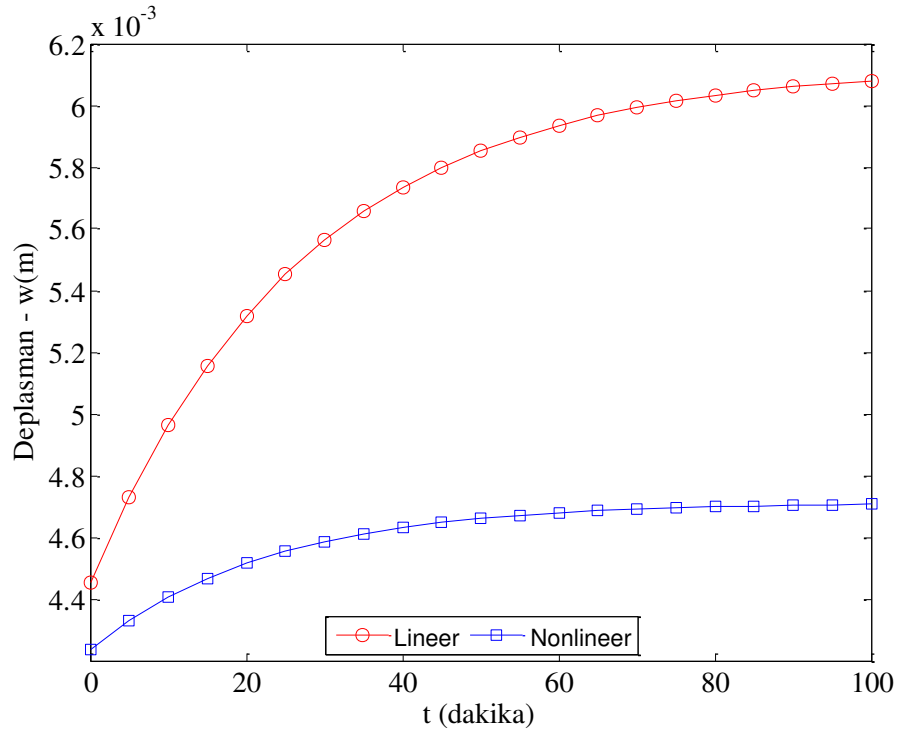
Şekil 5.15 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



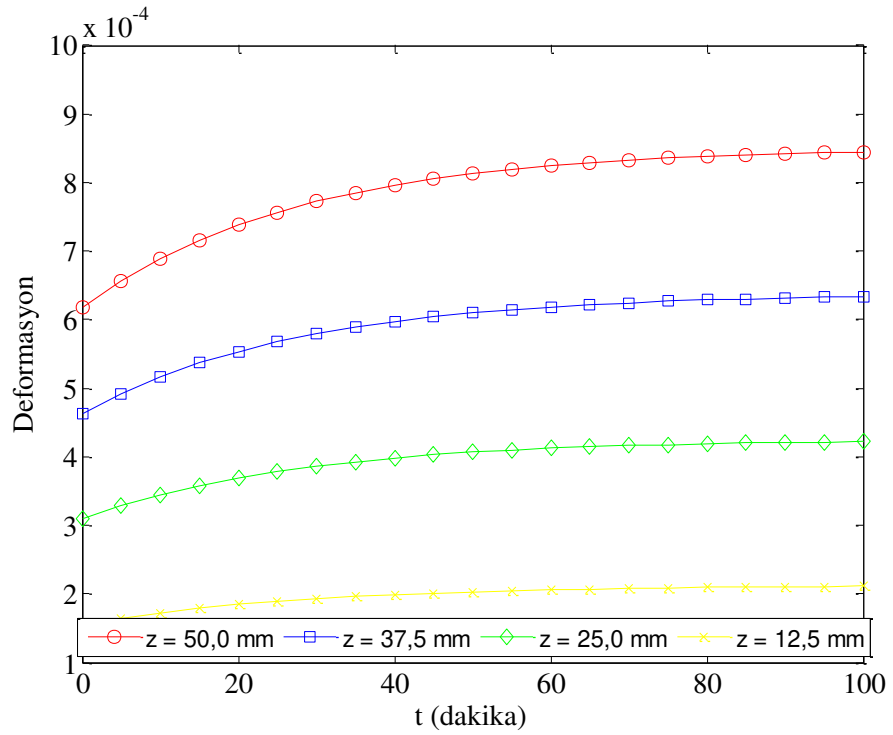
Şekil 5.16 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



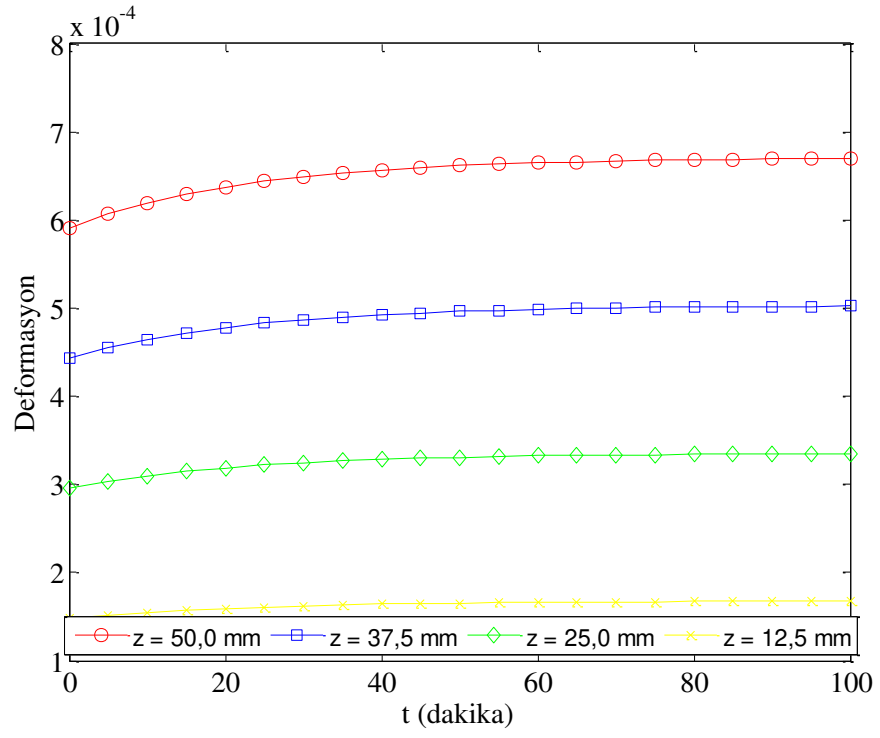
Şekil 5.17 Plak merkezinde meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi



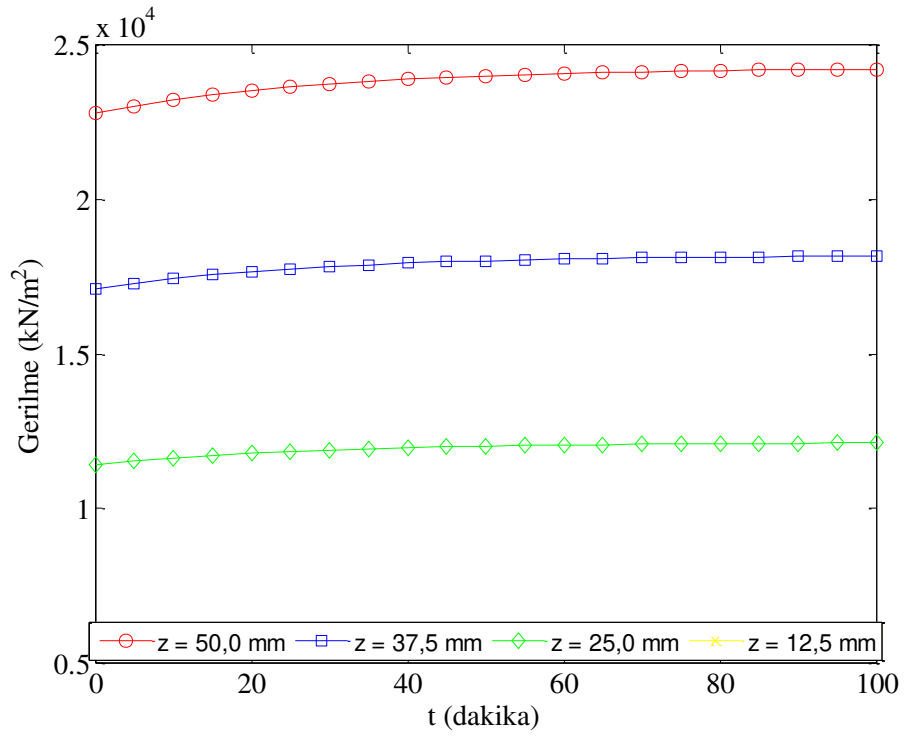
Şekil 5.18 Plak merkezinde meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim



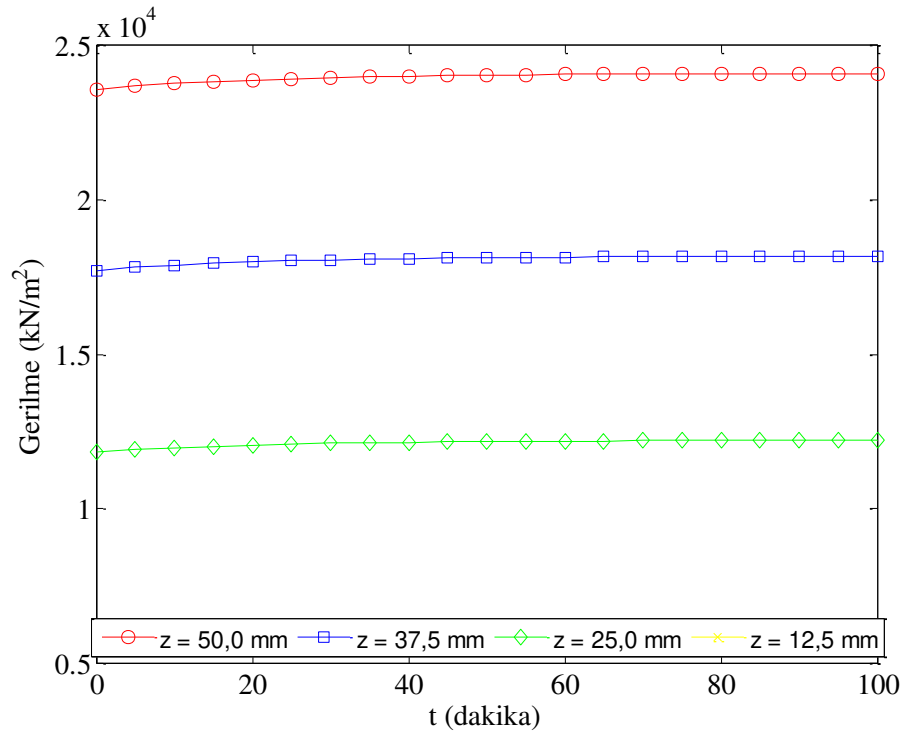
Şekil 5.19 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar



Şekil 5.20 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar



Şekil 5.21 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler



Şekil 5.22 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler

Tablo 5.4 Kenarlarından basit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Deformasyon ($\times 10^{-4}$)	0	Sonsuz	4,432	4,834	5,925	6,364	6,541	6,612	4,625	5,025	5,159	5,204	5,219
	0,5	1,205	1,001	1,092	1,339	1,438	1,478	1,494	1,038	1,109	1,132	1,140	1,142
	1,0	0,602	0,401	0,438	0,536	0,576	0,592	0,598	0,413	0,436	0,443	0,445	0,446
	1,5	0,250	0,049	0,054	0,066	0,071	0,073	0,073	0,048	0,044	0,042	0,041	0,041
	2,0	0	-0,201	-0,219	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teğetsel Deformasyon ($\times 10^{-4}$)	0	Sonsuz	4,432	4,834	5,924	6,364	6,541	6,612	4,625	5,025	5,159	5,204	5,219
	0,5	1,673	1,876	2,047	2,508	2,694	2,769	2,799	1,953	2,109	2,160	2,177	2,183
	1,0	1,070	1,272	1,387	1,700	1,826	1,877	1,897	1,322	1,423	1,457	1,467	1,472
	1,5	0,718	0,919	1,002	1,228	1,319	1,356	1,371	0,954	1,026	1,049	1,057	1,059
	2,0	0,468	0,669	0,729	0,817	0,876	0,899	0,908	0,631	0,674	0,688	0,693	0,694

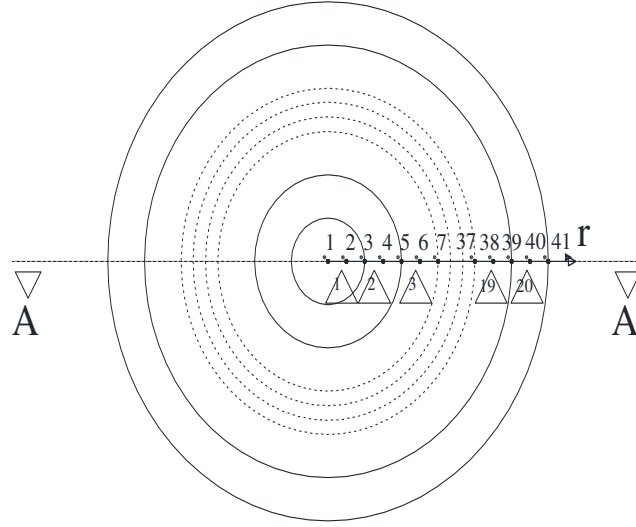
Tablo 5.5 Kenarlarından basit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Gerilme (kN/m ²)	0	Sonsuz	18992	17841	18528	18805	18917	18962	18476	18744	18834	18864	18875
	0,5	5163	5156	4843	5030	5105	5136	5148	5030	5085	5102	5108	5110
	1,0	2581	2580	2423	2517	2554	2570	2576	2518	2537	2543	2545	2545
	1,5	1071	1071	1006	1044	1060	1067	1069	1040	1033	1032	1031	1029
	2,0	0	-0,428	-0,404	594	599	600	601	589	596	598	599	599
Teğetsel Gerilme (kN/m ²)	0	Sonsuz	18992	17841	18528	18805	18917	18962	18476	18744	18834	18864	18874
	0,5	7168	7175	6740	7000	7104	7147	7164	7001	7098	7130	7141	7145
	1,0	4587	4588	4310	4476	4543	4570	4581	4482	4542	4562	4568	4571
	1,5	3077	3077	2891	3002	3047	3066	3072	3008	3045	3058	3062	3063
	2,0	2005	2006	1884	1966	1991	2000	2004	1962	1986	1993	1995	1996

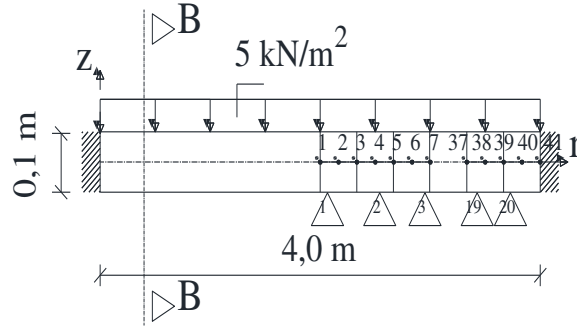
Tablo 5.6 Kenarlarından basit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Deplasman $\times 10^{-3}$ (m)	0	Tanımsız	4,461	4,452	5,452	5,853	6,015	6,080	4,235	4,555	4,661	4,695	4,707
	0,5	3,804	3,846	3,747	4,589	4,927	5,063	5,118	3,563	3,830	3,917	3,946	3,956
	1,0	2,645	2,712	2,576	3,154	3,387	3,481	3,519	2,449	2,630	2,689	2,709	2,715
	1,5	1,310	1,370	1,281	1,569	1,686	1,734	1,753	1,220	1,310	1,339	1,349	1,352
	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

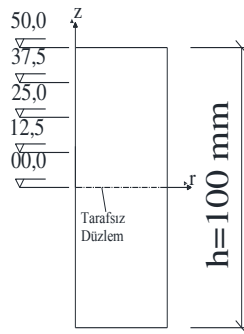
5.3 Kenarlarından Ankastre Mesnetli Üiform Yayılı Yüklü Dairesel Plak



PLAN



A-A KESİTİ



B-B KESİTİ

Şekil 5.23 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak

Malzeme özellikleri Bölüm 5.1’de verilen plağın 20 elemana ayrılarak, ankastre mesnetli ve $q = 5kN/m^2$ üniform yayılı yüke maruz kalması durumu için yazılan bilgisayar programı eklerde sunulmuştur. Şekil 5.23’te gösterilen plak için elde edilen grafik ve tablolar aşağıda verilmiştir.

Malzeme verileri:

$$E = 3 \times 10^7 kN / m^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^7 kN / m^2$$

$$p_0 = 1.100$$

$$\nu = 0.3$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^7 kN / m^2$$

$$p_1 = 1.105$$

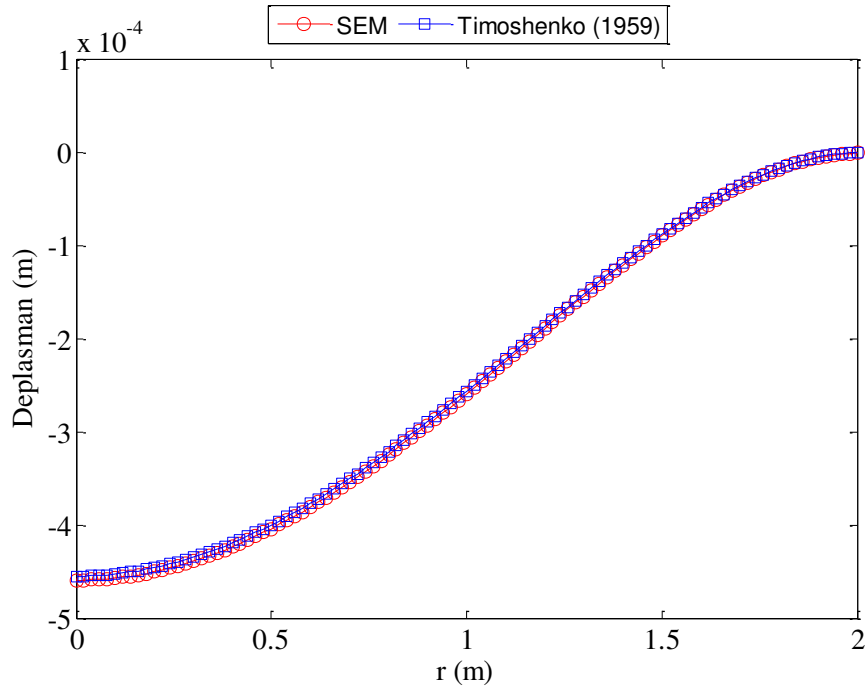
$$a = 2m$$

$$\Delta t = 5dak$$

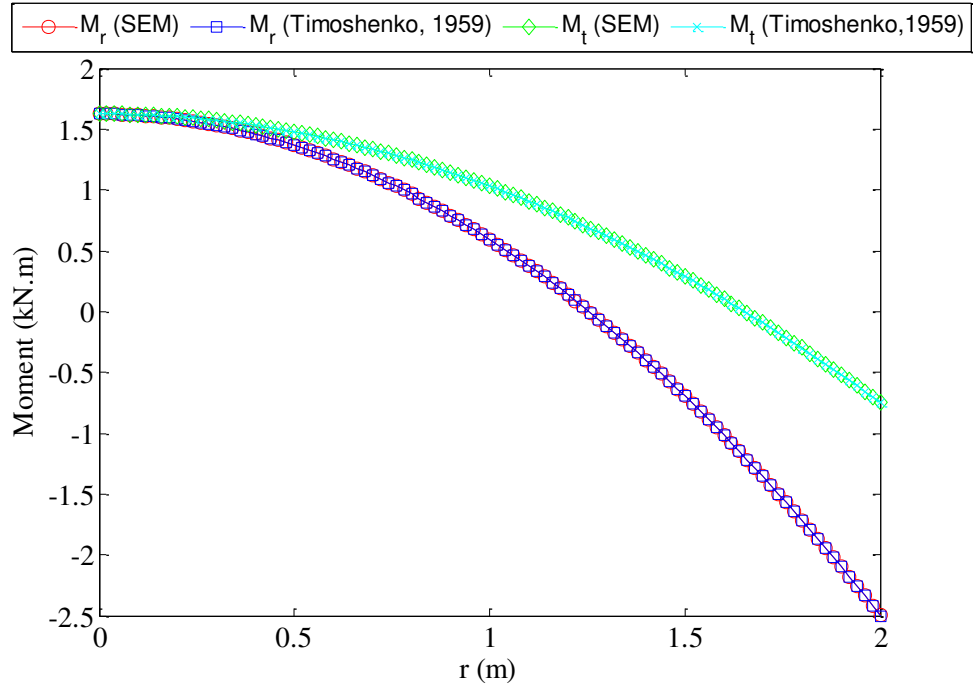
$$\lambda = 20dak$$

$$h = 0,1m$$

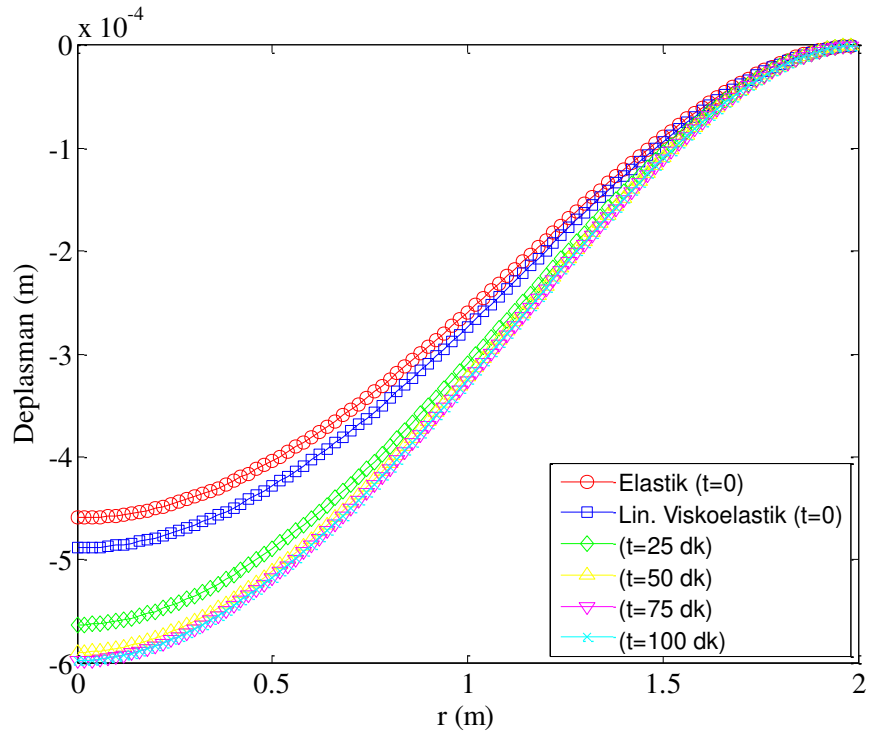
$$q = 5kN / m^2$$



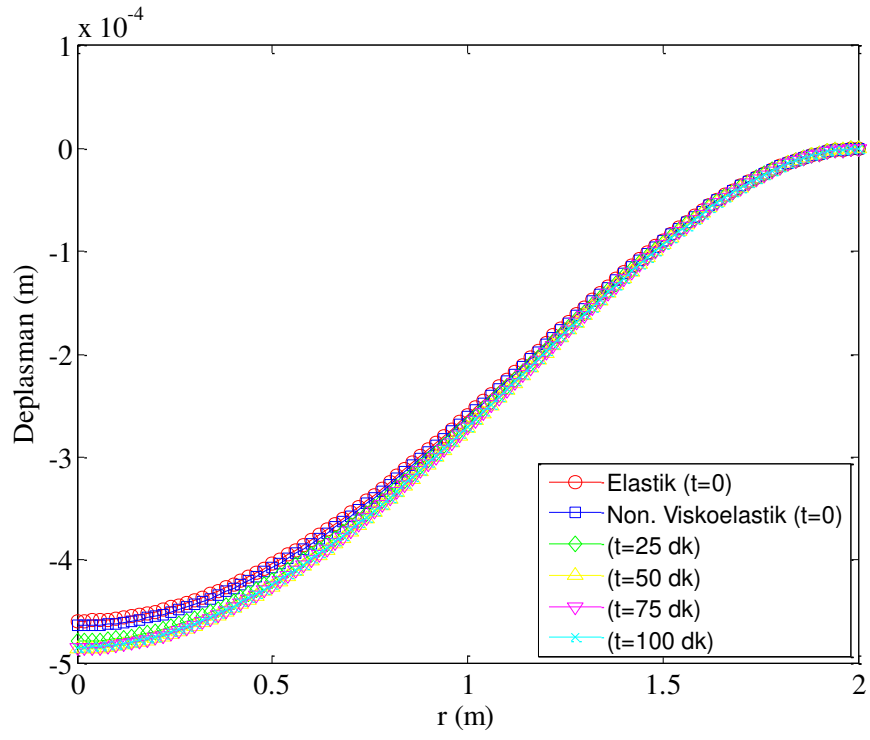
Şekil 5.24 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları



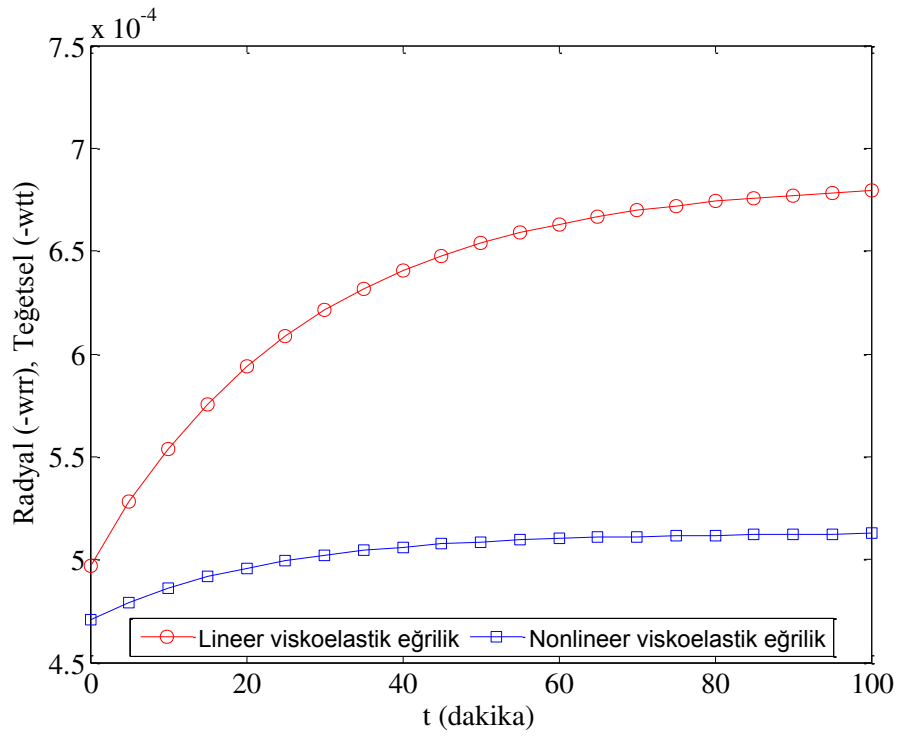
Şekil 5.25 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler (SEM: Sonlu Elemanlar Metodu)



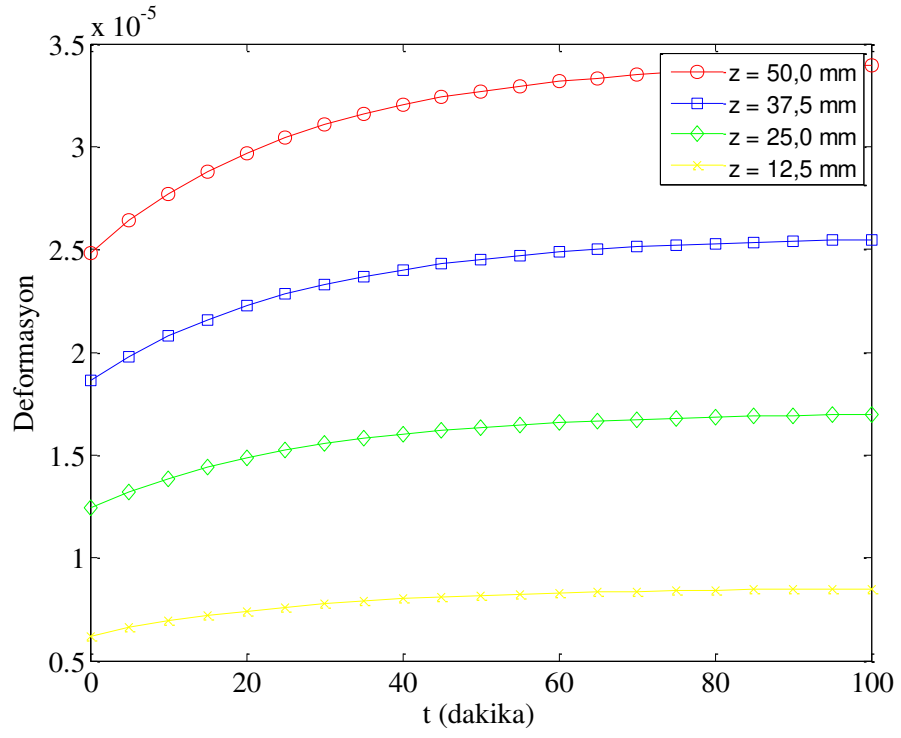
Şekil 5.26 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



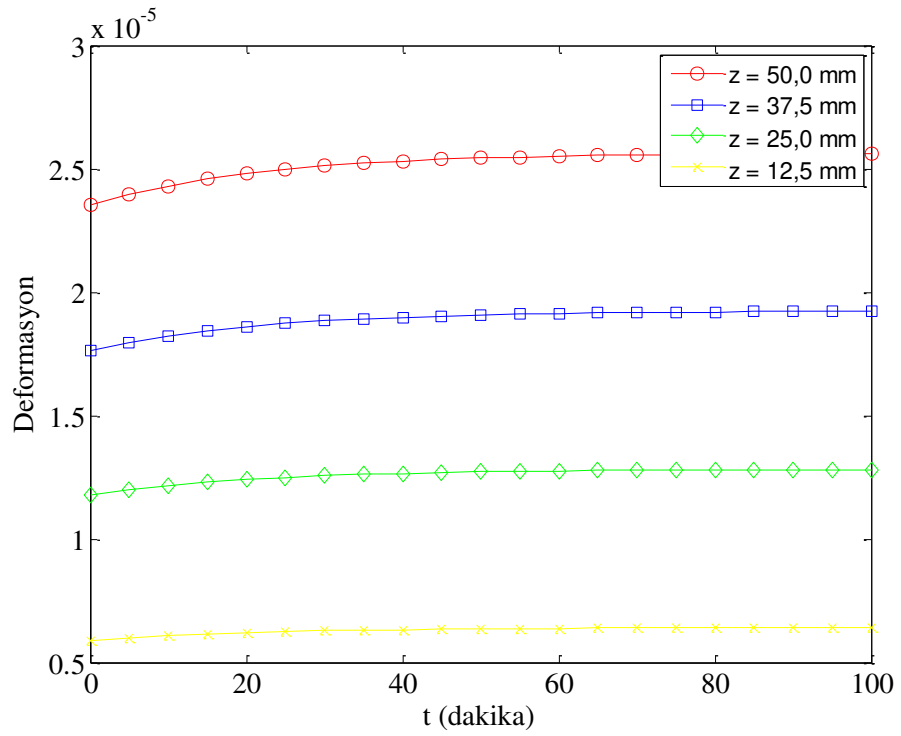
Şekil 5.27 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



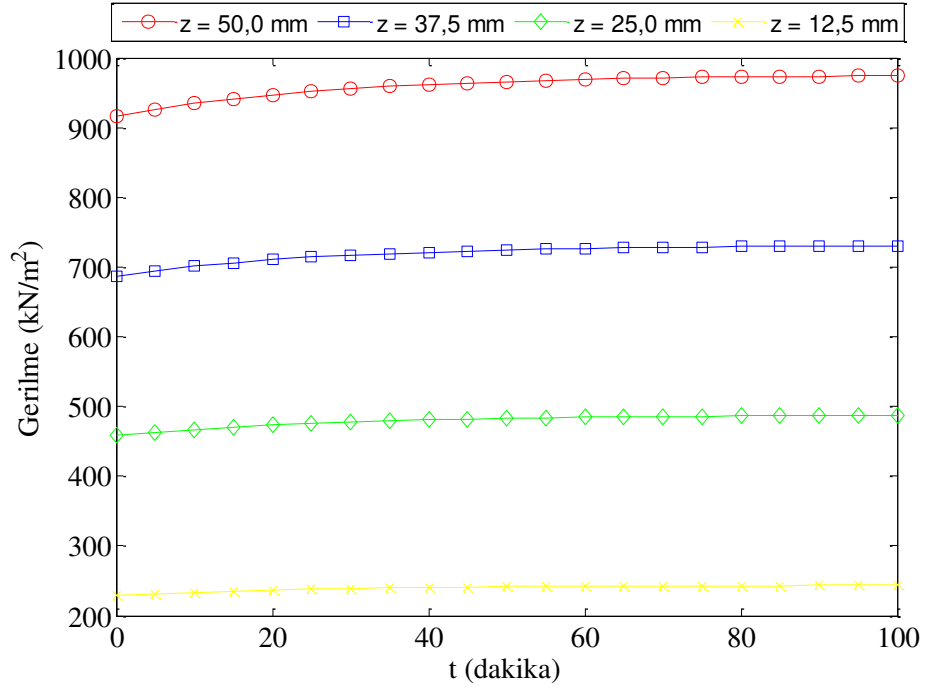
Şekil 5.28 Plak merkezinde meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi



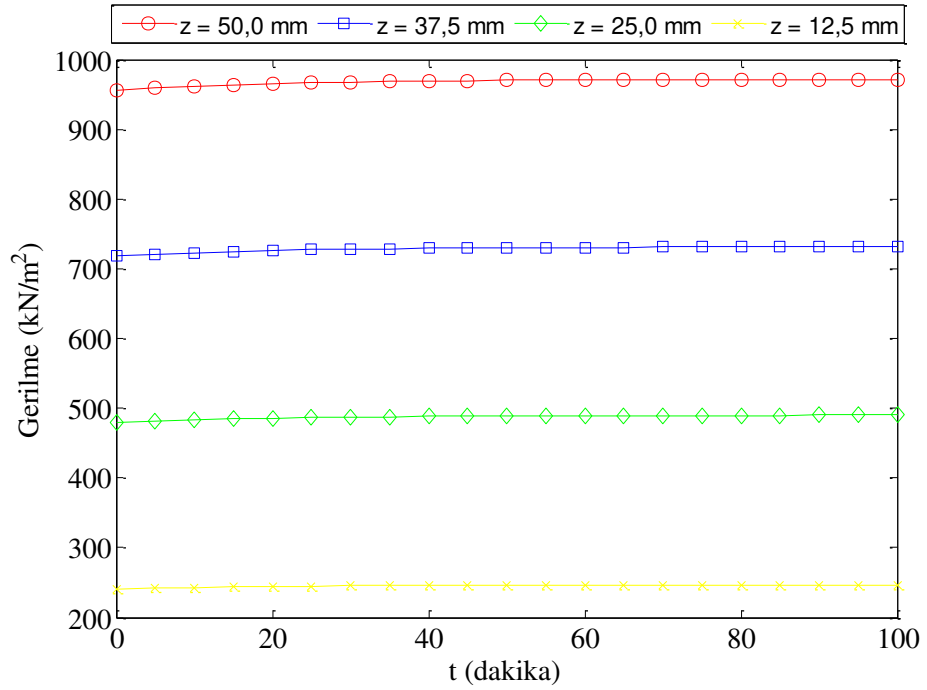
Şekil 5.29 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar



Şekil 5.30 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar



Şekil 5.31 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler



Şekil 5.32 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler

Tablo 5.7 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Deformasyon $\times 10^{-5}$	0	2,275	2,290	2,498	3,061	3,288	3,380	3,417	2,366	2,512	2,558	2,573	2,578
	0,5	1,914	1,852	2,020	2,476	2,660	2,733	2,763	1,912	2,026	2,062	2,074	2,078
	1,0	0,831	0,571	0,623	0,763	0,820	0,843	0,852	5,865	6,125	6,204	6,229	6,235
	1,5	-0,973	-1,562	-1,704	-2,089	-2,244	-1,864	-2,257	-1,612	-1,381	-1,400	-1,412	-1,414
	2,0	-3,500	-4,549	-4,963	-6,082	-6,533	-6,715	-6,788	-4,711	-5,023	-5,124	-5,157	-5,168
Teğetsel Deformasyon $\times 10^{-5}$	0	2,275	2,290	2,498	3,061	3,288	3,380	3,417	2,366	2,512	2,558	2,573	2,578
	0,5	2,067	2,138	2,333	2,859	3,071	3,156	3,190	2,209	2,345	2,389	2,403	2,407
	1,0	1,444	1,710	1,866	2,287	2,456	2,524	2,552	1,767	1,874	1,909	1,920	1,924
	1,5	0,405	0,999	1,089	1,335	1,434	-0,000*	1,165	1,031	-0,001	0,007	-0,010	-0,009
	2,0	-1,050	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000

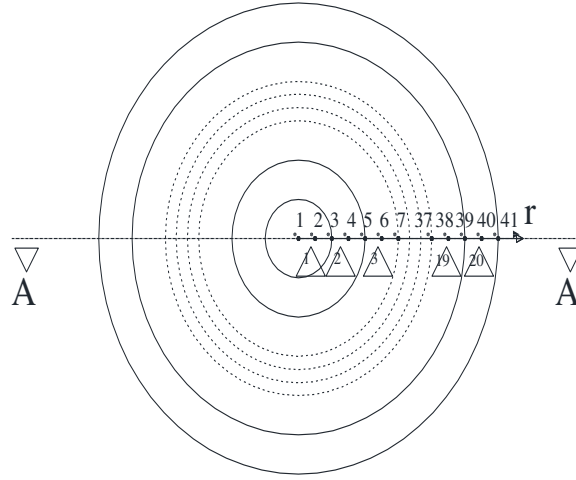
Tablo 5.8 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Gerilme (kN/m^2)	0	975	981	922	957	972	977	980	962	972	976	977	977
	0,5	820	822	772	802	814	819	821	806	814	817	818	818
	1,0	356	357	336	349	354	356	357	351	353	354	354	354
	1,5	-417	-416	-391	-406	-412	-415	-420	-408	-413	-413	-416	-416
	2,0	-1500	-1500	-1409	-1463	-1485	-1485	-1494	-1468	-1485	-1490	-1492	-1492
Teğetsel Gerilme (kN/m^2)	0	975	981	922	957	972	977	980	962	972	976	977	977
	0,5	886	888	834	866	879	885	887	871	880	883	884	885
	1,0	619	620	583	605	614	618	619	609	615	618	618	618
	1,5	173	175	164	170	173	-179	154	172	-135	-127	-134	-137
	2,0	-450	-450	-422	-438	-445	-447	-448	-439	-445	-447	-447	-448

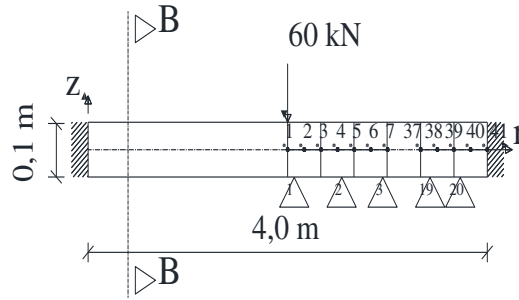
Tablo 5.9 Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Deplasman $\times 10^{-3}$ (m)	0	0,455	0,460	0,490	0,566	0,592	0,604	0,594	0,466	0,480	0,489	0,491	0,487
	0,5	0,400	0,404	0,429	0,492	0,513	0,523	0,513	0,409	0,420	0,428	0,430	0,426
	1,0	0,256	0,259	0,274	0,311	0,323	0,329	0,322	0,262	0,268	0,273	0,274	0,271
	1,5	0,087	0,089	0,094	0,106	0,109	0,111	0,109	0,090	0,092	0,093	0,093	0,093
	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

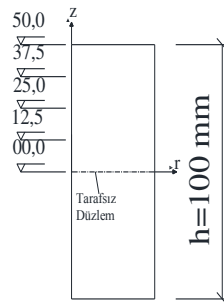
5.4 Kenarlarından Ankastre Mesnetli Merkezinden Tekil Yüklü Dairesel Plak



PLAN



A-A KESİTİ



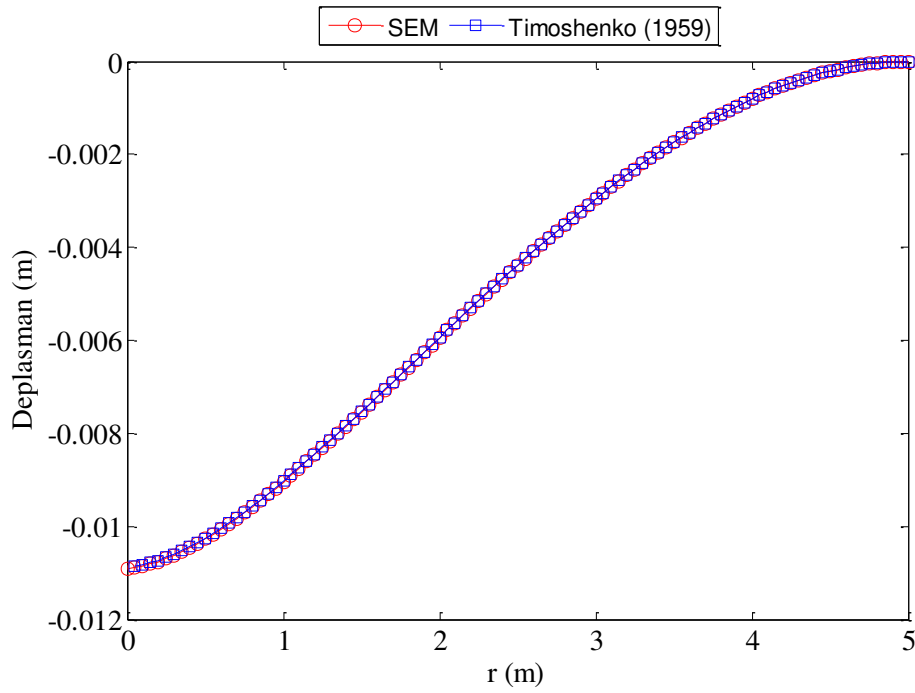
B-B KESİTİ

Şekil 5.33 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plak

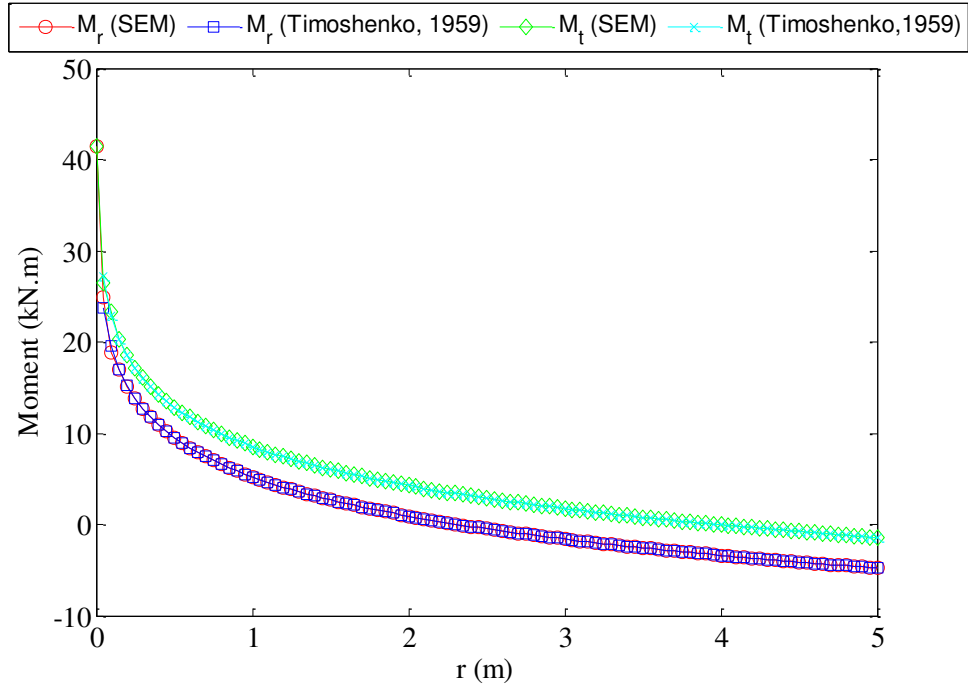
Malzeme özellikleri Bölüm 5.1’de verilen plağın kenarlarından ankastre mesnetli ve q düzgün yayılı yükü yerine plak merkezinden $P = 60kN$ tekil yüke maruz kalması durumu için yazılan bilgisayar programı eklerde sunulmuştur. Şekil (5.33)’te gösterilen plak için elde edilen grafik ve tablolar aşağıda verilmiştir.

Malzeme verileri:

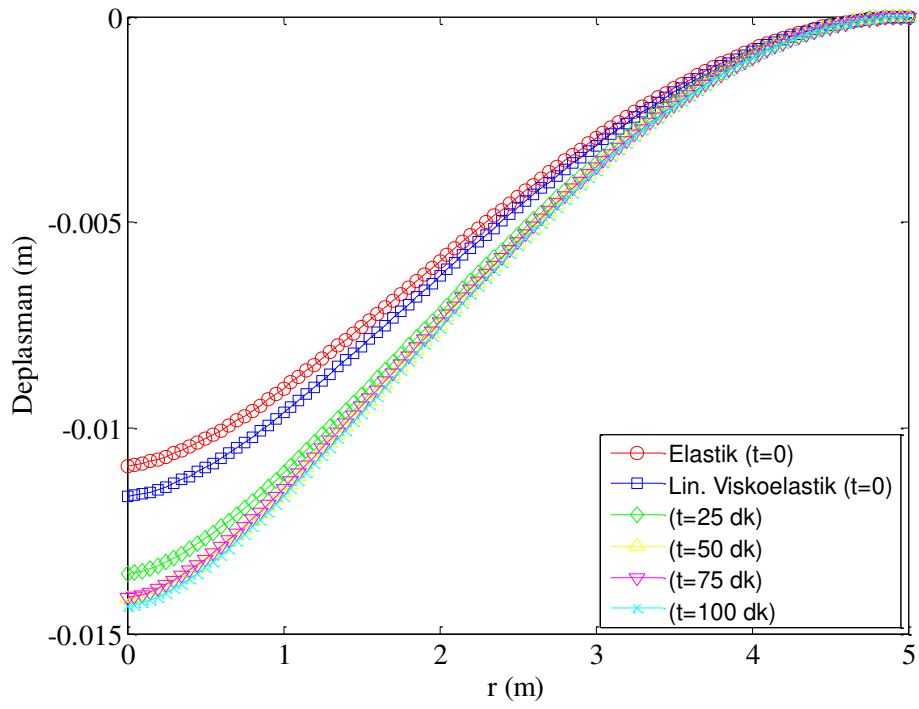
$E = 3 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$k_0 = 1 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_0 = 1.100$
$\nu = 0.3$	$k_1 = 0,75 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$	$p_1 = 1.105$
$a = 2m$		$\Delta t = 5dak$
$\lambda = 20dak$		$h = 0,1m$
		$q = 60kN$



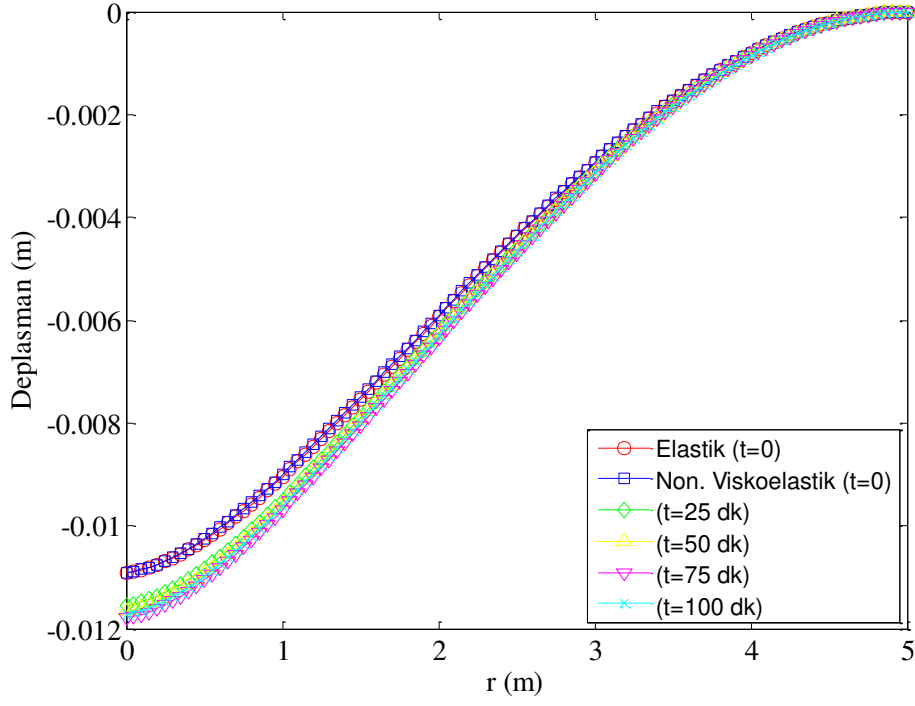
Şekil 5.34 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları



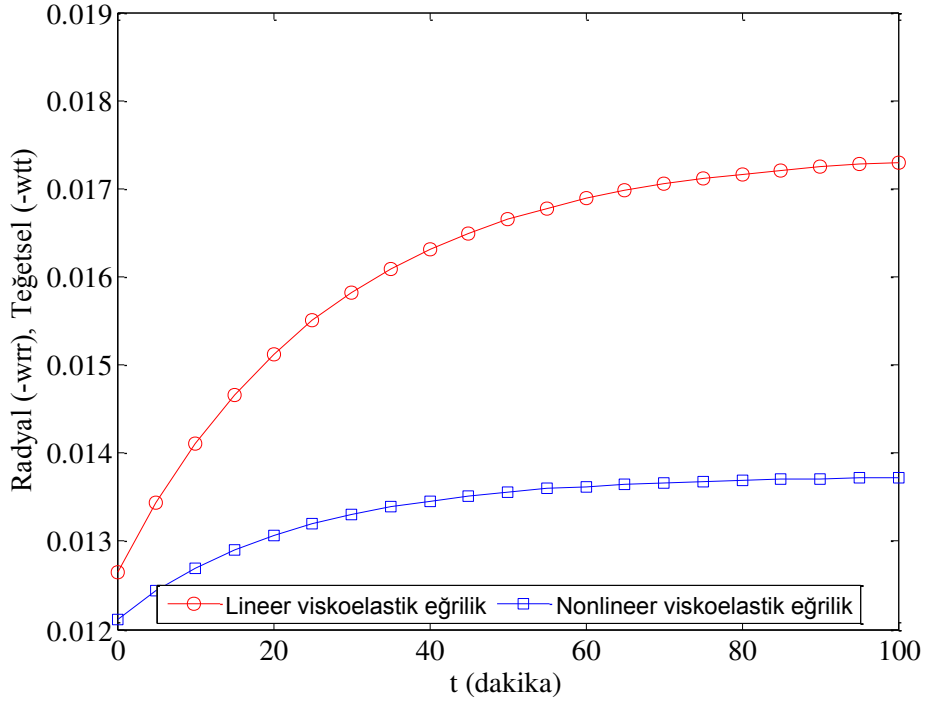
Şekil 5.35 Lineer elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler (SEM: Sonlu Elemanlar Metodu)



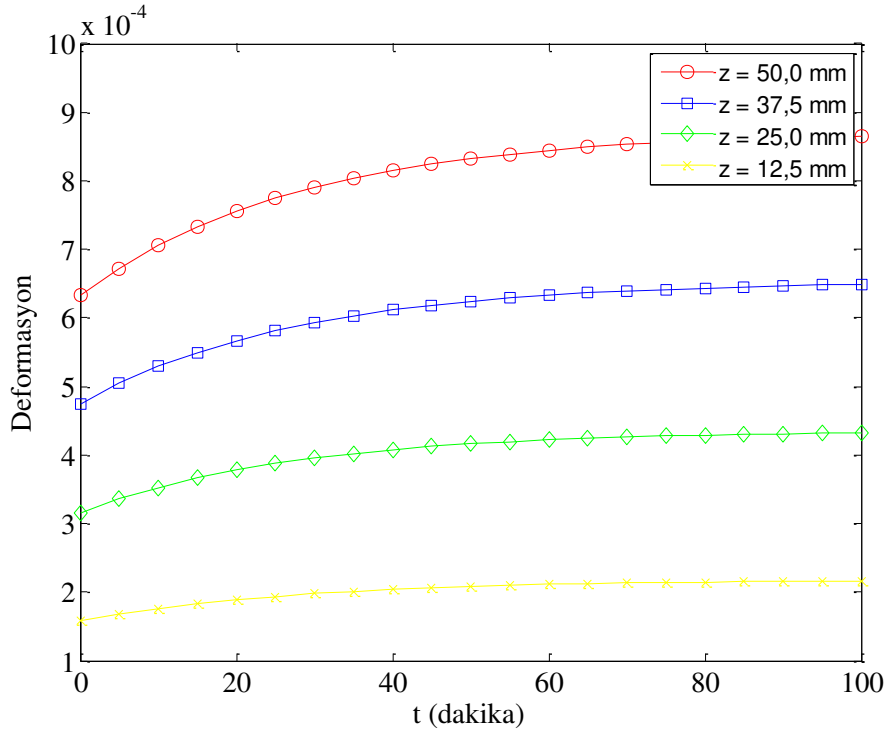
Şekil 5.36 Lineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



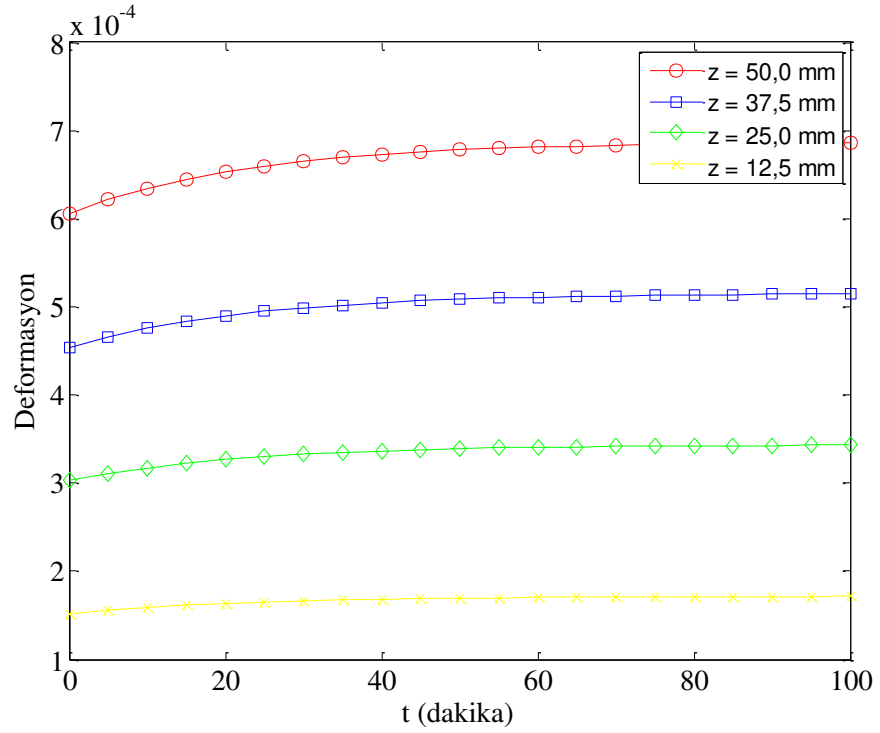
Şekil 5.37 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



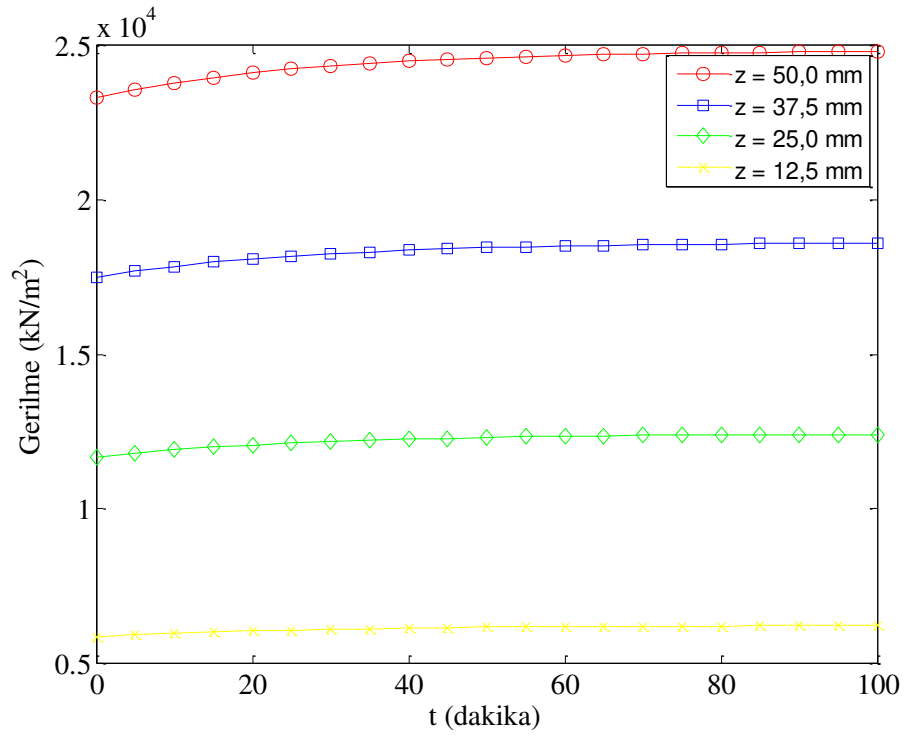
Şekil 5.38 Plak orta noktasında meydana gelen eğriliklerin zamana bağlı değişimi



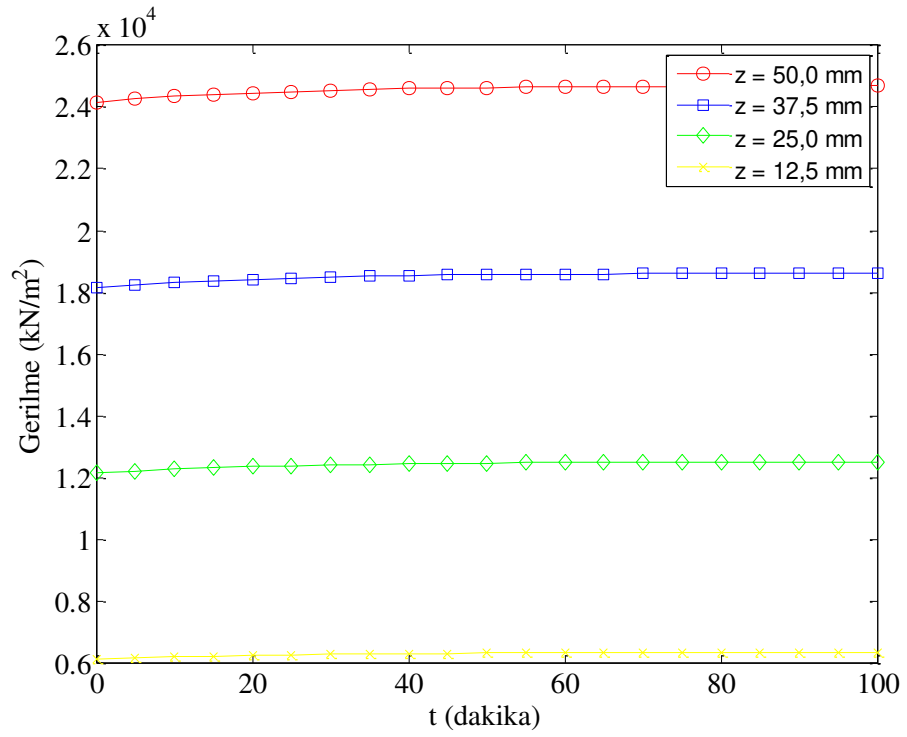
Şekil 5.39 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar



Şekil 5.40 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen deformasyonlar



Şekil 5.41 Lineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler



Şekil 5.42 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın merkezindeki kesitte meydana gelen gerilmeler

Tablo 5.10 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Deformasyon $\times 10^{-5}$	0	Sonsuz	37,631	41,052	50,309	54,040	55,543	56,148	39,249	42,577	43,690	44,063	44,187
	0,5	5,362	3,328	3,630	4,449	4,779	4,911	4,965	3,424	3,597	3,650	3,666	3,671
	1,0	-0,661	-2,674	-2,917	-3,574	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0
	1,5	-4,185	-6,193	-6,756	-7,276	-7,815	-8,033	-8,120	-5,638	-6,021	-6,145	-6,185	-6,198
	2,0	-6,685	-8,692	-9,482	-11,620	-12,482	-12,829	-12,969	-9,019	-9,664	-9,875	-9,943	-9,966
Teğetsel Deformasyon $\times 10^{-5}$	0	Sonsuz	37,631	41,052	50,310	54,040	55,543	56,148	39,249	42,577	43,690	44,063	44,187
	0,5	10,041	1,208	13,174	16,145	17,342	17,824	18,018	12,554	13,512	13,827	13,932	13,966
	1,0	4,018	6,031	6,579	8,062	7,526	7,727	7,806	5,416	5,784	5,902	5,940	5,952
	1,5	0,495	2,503	2,731	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0
	2,0	-2,005	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	~0	~0	~0	~0

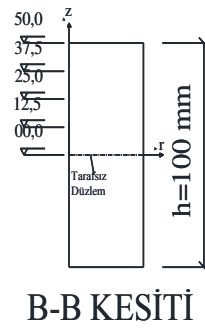
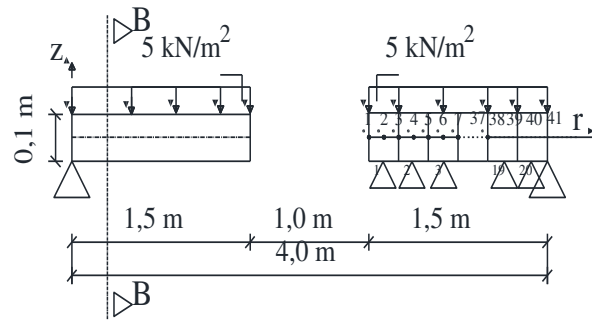
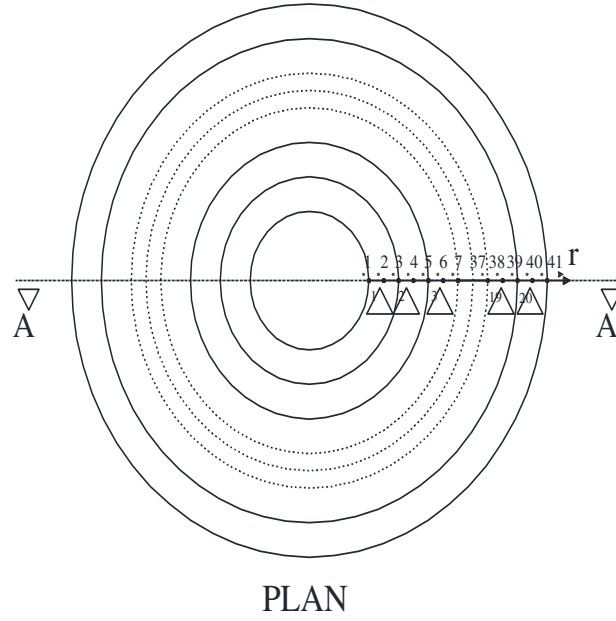
Tablo 5.11 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri

	<i>Malzeme</i>	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Gerilme (kN/m ²)	0	Sonsuz	16128	15150	15734	15969	16064	16102	15697	15921	15996	16021	16029
	0,5	2298	2291	2152	2235	2269	2282	2288	2236	2251	2256	2257	2257
	1,0	-283	-285	-268	-278	561	529	520	506	512	514	514	515
	1,5	-1793	-1794	-1685	-1750	-1776	-1787	-1791	-1755	-1776	-1783	-1785	-1785
	2,0	-2865	-2865	-2691	-2795	-2837	-2854	-2861	-2800	-2834	-2846	-2849	-2850
Teğetsel Gerilme (kN/m ²)	0	Sonsuz	16128	15150	15734	15969	16064	16102	15697	15921	15996	16021	16029
	0,5	4303	4310	4049	4205	4268	4293	4303	4211	4267	4285	4291	4293
	1,0	1722	1724	1619	1682	1711	1719	1722	1686	1707	1713	1715	1715
	1,5	212	213	200	-633	-564	-545	-540	-527	-533	-535	-535	-536
	2,0	-859	-859	-807	-838	-851	-856	-858	-840	-850	-854	-855	-855

Tablo 5.12 Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Deplasman $\times 10^{-3}$ (m)	0	Tanımsız	10,909	11,676	13,624	14,267	14,193	14,257	10,994	11,506	11,708	11,880	11,599
	0,5	8,301	8,313	8,858	10,230	10,674	10,563	10,593	8,349	8,679	8,818	8,958	8,704
	1,0	4,382	4,388	4,656	5,337	5,587	5,533	5,532	4,432	4,573	4,641	4,726	4,564
	1,5	1,237	1,239	1,131	1,479	1,538	1,564	1,533	1,235	1,270	1,288	1,310	1,271
	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.5 Dış Kenarlarından Sabit Mesnetli Ortası Boşluklu Düzgün Yayılı Yüklü Dairesel Plak



Şekil 5.43 Ortasından boşluklu dış kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak

Malzeme özellikleri Bölüm 5.1’ de verilen Şekil (5.43)’teki plağın kenarlarından sabit mesnetli, ortasından $b = 0,5m$ boşluklu ve $q = 5kN/m^2$ yayılı yüke maruz kalması durumu için yazılan bilgisayar programı eklerde sunulmuştur. Elde edilen grafik ve tablolar ise aşağıda yer almaktadır.

Malzeme verileri:

$$E = 3 \times 10^7 \text{ kN} / m^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^7 \text{ kN} / m^2$$

$$p_0 = 1.100$$

$$\nu = 0.3$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^7 \text{ kN} / m^2$$

$$p_1 = 1.105$$

$$a = 2m$$

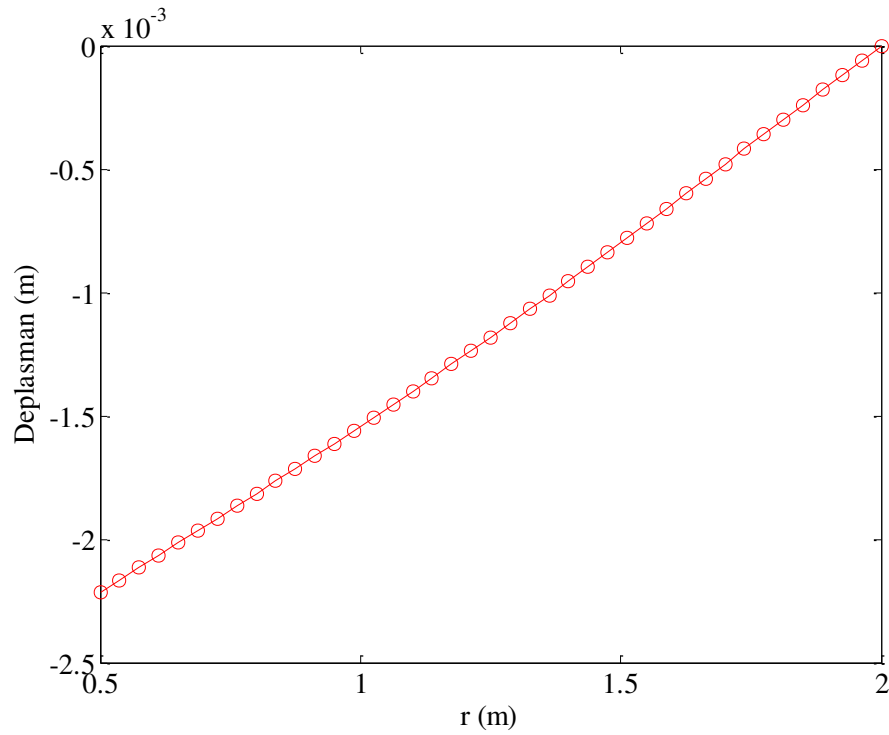
$$\Delta t = 5dak$$

$$b = 0,5m$$

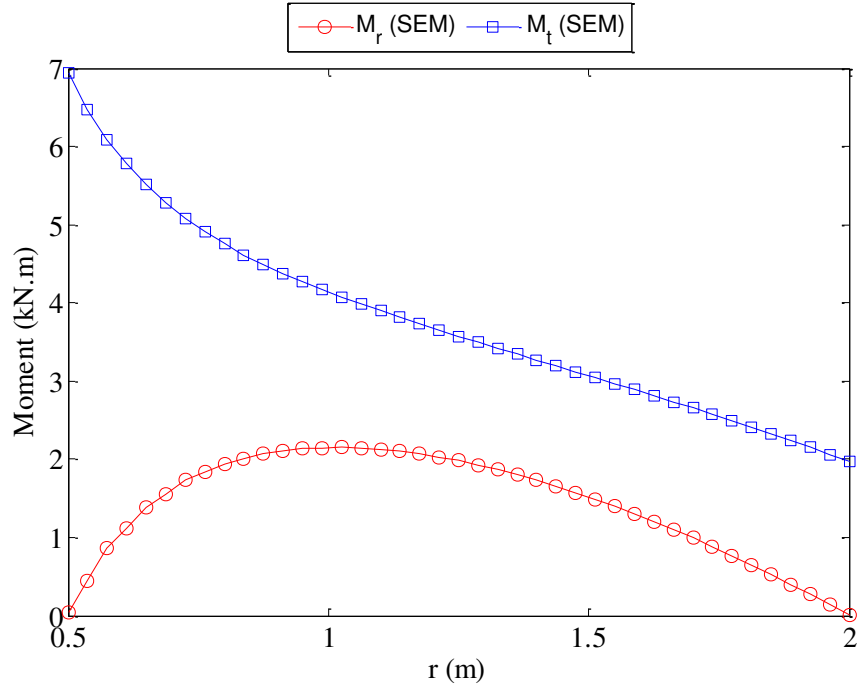
$$h = 0,1m$$

$$\lambda = 20dak$$

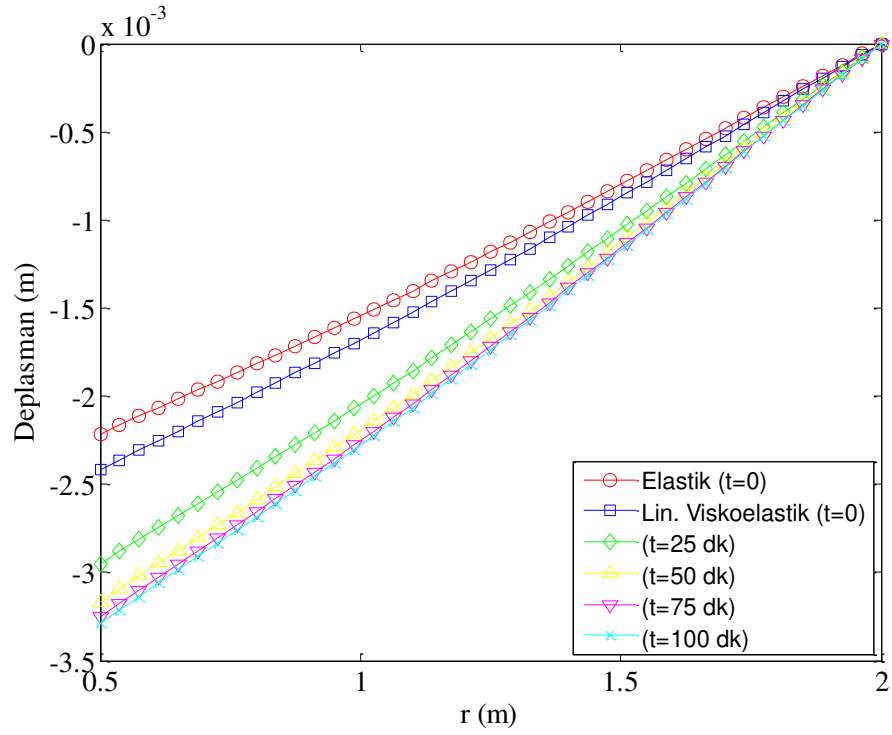
$$q = 5kN / m^2$$



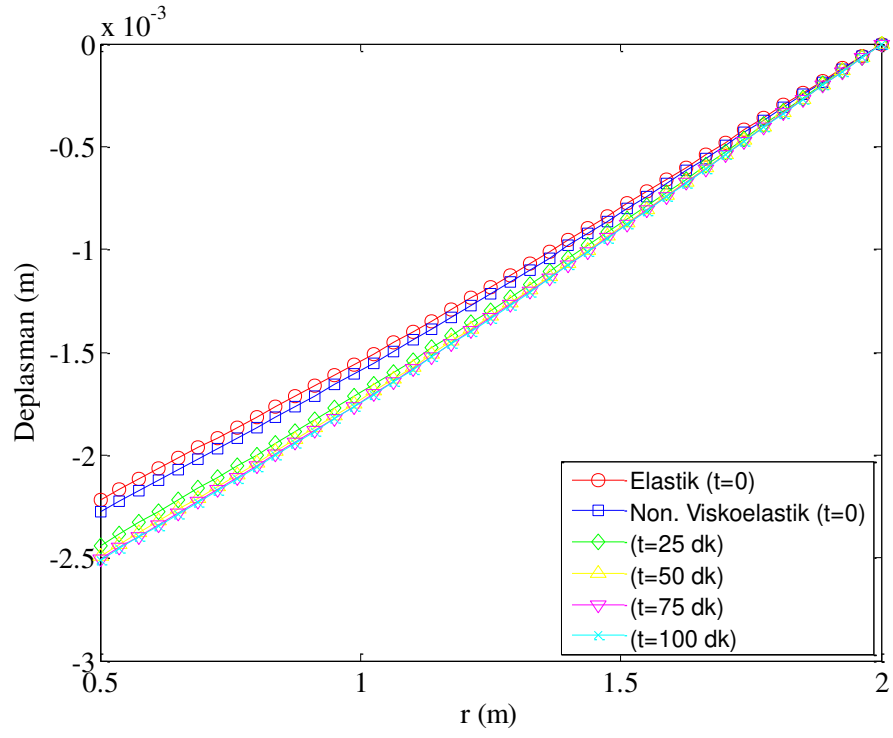
Şekil 5.44 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları



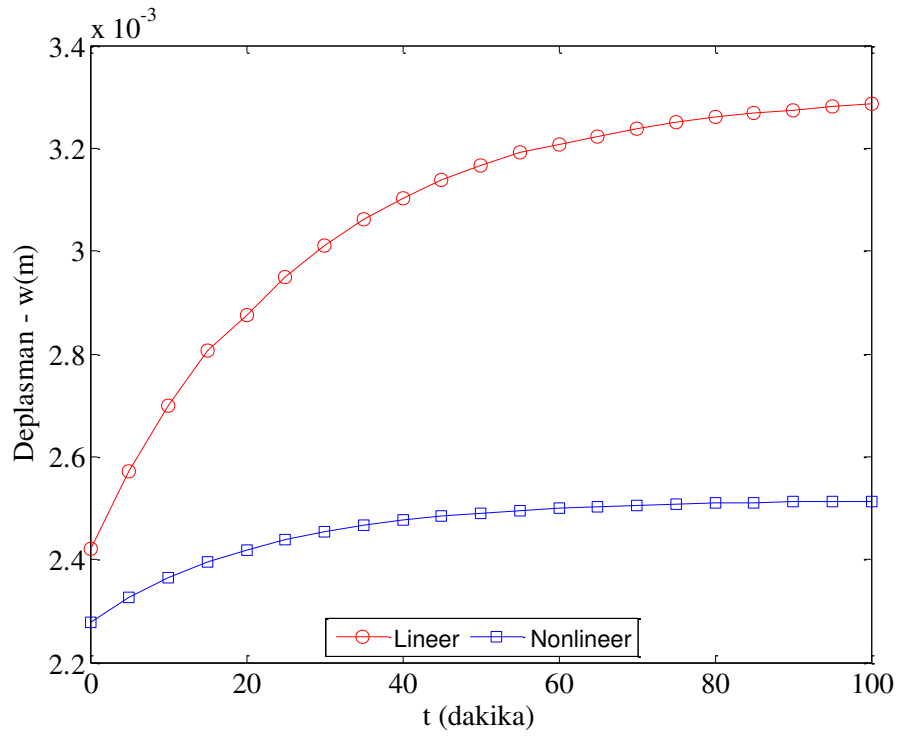
Şekil 5.45 Linear elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler (SEM: Sonlu Elemanlar Metodu)



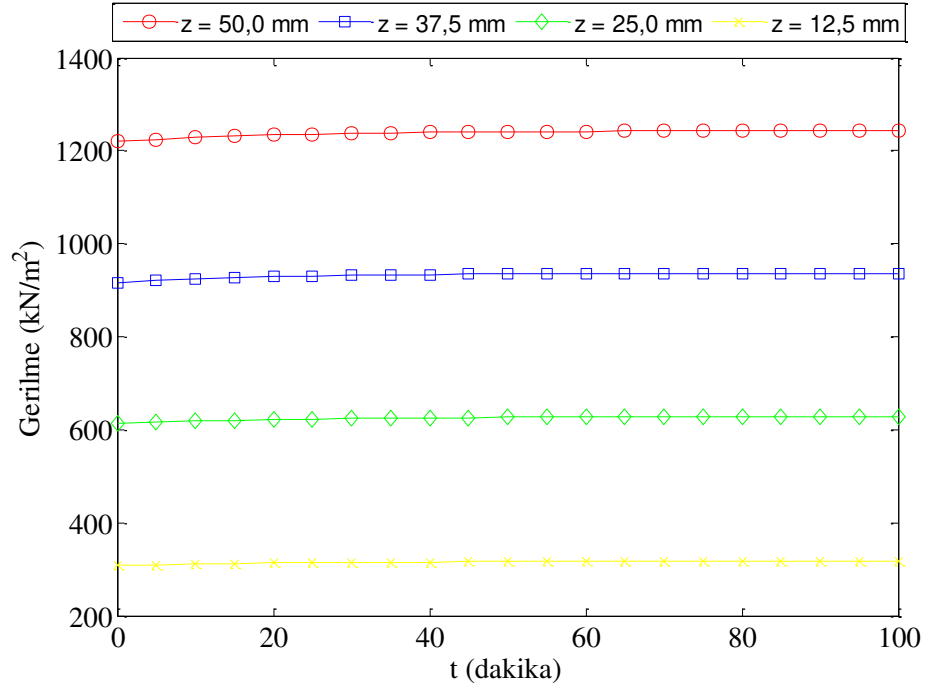
Şekil 5.46 Linear viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



Şekil 5.47 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



Şekil 5.48 Plak boşluk kenarında meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim



Şekil 5.49 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın boşluk kenarındaki kesitte meydana gelen gerilmeler

Tablo 5.13 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Deformasyon $\times 10^{-5}$	0,500	-	-4,077	-4,448	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0
	0,875	-	1,461	1,593	1,953	2,097	2,156	2,179	1,495	1,547	1,561	1,564	1,565
	1,250	-	1,821	1,987	2,435	2,615	2,688	2,717	1,873	1,966	1,994	2,003	2,005
	1,625	-	0,728	0,794	0,973	1,045	1,074	1,085	0,742	0,759	0,761	0,762	0,761
	2,000	-	-1,180	-1,287	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0
Teğetsel Deformasyon $\times 10^{-5}$	0,500	13,387	13,858	15,118	16,892	18,144	18,649	18,853	13,127	14,108	14,430	14,536	14,571
	0,875	-	7,734	8,437	10,340	11,107	11,416	11,540	8,028	8,611	8,802	8,865	8,886
	1,250	-	5,960	6,502	7,968	8,559	8,797	8,893	6,181	6,615	6,757	6,803	6,819
	1,625	-	4,898	5,343	6,548	7,033	7,229	7,308	5,076	5,426	5,541	5,578	5,590
	2,000	-	3,948	4,307	4,805	5,161	5,304	5,362	3,719	3,959	4,037	4,062	4,070

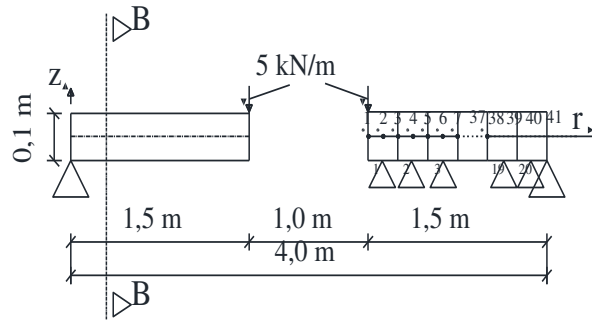
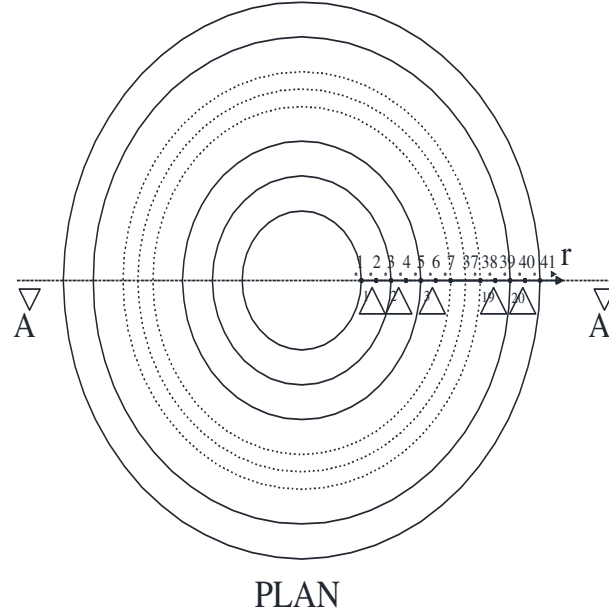
Tablo 5.14 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Gerilme (kN/m ²)	0, 500	-	26,467	24,862	1254	1247	1248	1248	1220	1236	1241	1242	1243
	0, 875	-	1246	1171	1216	1234	1241	1244	1217	1222	1223	1223	1223
	1, 250	-	1190	1118	1161	1178	1185	1188	1164	1172	1174	1175	1175
	1, 625	-	724	680	707	717	721	723	707	709	709	709	709
	2, 000	-	1,505	1,413	349	353	354	355	348	352	353	354	354
Teğetsel Gerilme (kN/m ²)	0, 500	4160	4165	3913	4064	4124	4149	4159	4067	4119	4136	4141	4143
	0, 875	-	2694	2531	2628	2668	2684	2690	2635	2668	2679	2683	2684
	1, 250	-	2145	2015	2093	2124	2136	2142	2099	2125	2134	2136	2137
	1, 625	-	1687	1584	1645	1670	1680	1684	1651	1671	1677	1679	1680
	2, 000	-	1185	1113	1156	1173	1180	1183	1160	1173	1177	1178	1179

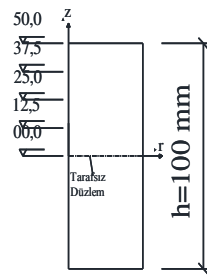
Tablo 5.15 Dış kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Deplasman $\times 10^{-3}$ (m)	0,500	2,200	2,217	2,420	2,948	3,161	3,249	3,285	2,278	2,438	2,491	2,508	2,513
	0,875	-	1,715	1,869	2,274	2,438	2,506	2,533	1,765	1,886	1,925	1,938	1,942
	1,250	-	1,182	1,286	1,561	1,672	1,718	1,736	1,216	1,297	1,324	1,332	1,335
	1,625	-	0,600	0,652	0,790	0,847	0,870	0,879	0,618	0,658	0,672	0,676	0,677
	2,000	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.6 Dış Kenarlarından Sabit Mesnetli Ortası Boşluklu Boşluk Çevresinde Üniform Çevresel Yüklü İnce Dairesel Plak



A-A KESİTİ



B-B KESİTİ

Şekil 5.50 Ortasından boşluklu dış kenarlarından sabit mesnetli boşluk çevresinde üniform çevresel yüklü ince dairesel plak

Malzeme özellikleri Bölüm 5.1’ de verilen Şekil (5.50)’deki plağın kenarlarından sabit mesnetli, ortasından $b = 0,5m$ boşluklu ve boşluk çevresinde $q = 5kN/m$ üniform çevresel yüke maruz kalması durumu için yazılan bilgisayar programı eklerde sunulmuştur. Elde edilen grafik ve tablolar ise aşağıda yer almaktadır.

Malzeme verileri:

$$E = 3 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$k_0 = 1 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$p_0 = 1.100$$

$$\nu = 0.3$$

$$k_1 = 0,75 \times 10^7 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$p_1 = 1.105$$

$$a = 2m$$

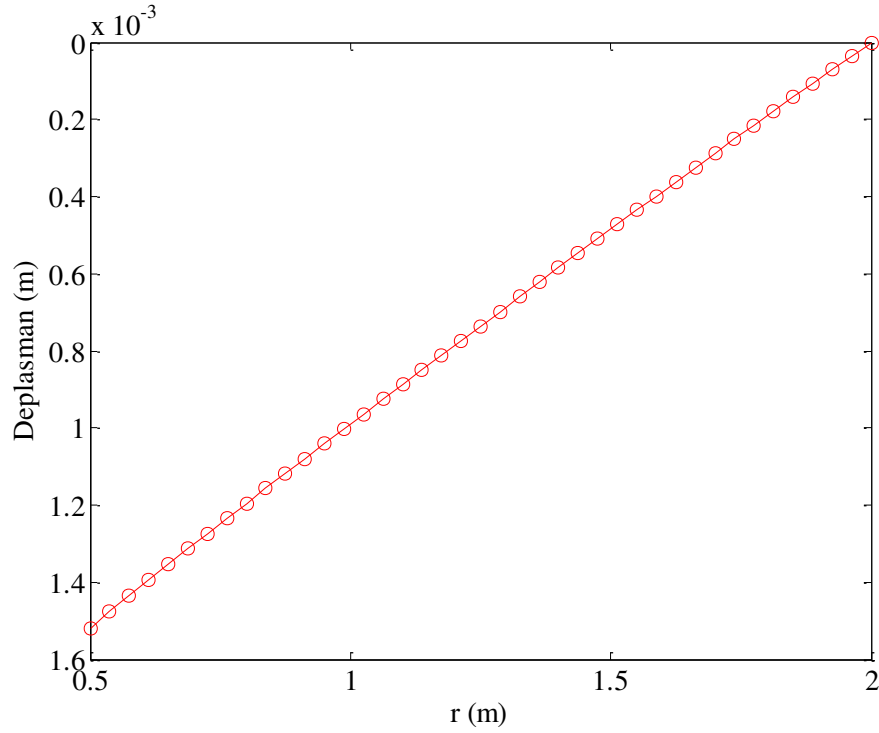
$$\Delta t = 5dak$$

$$b = 0,5m$$

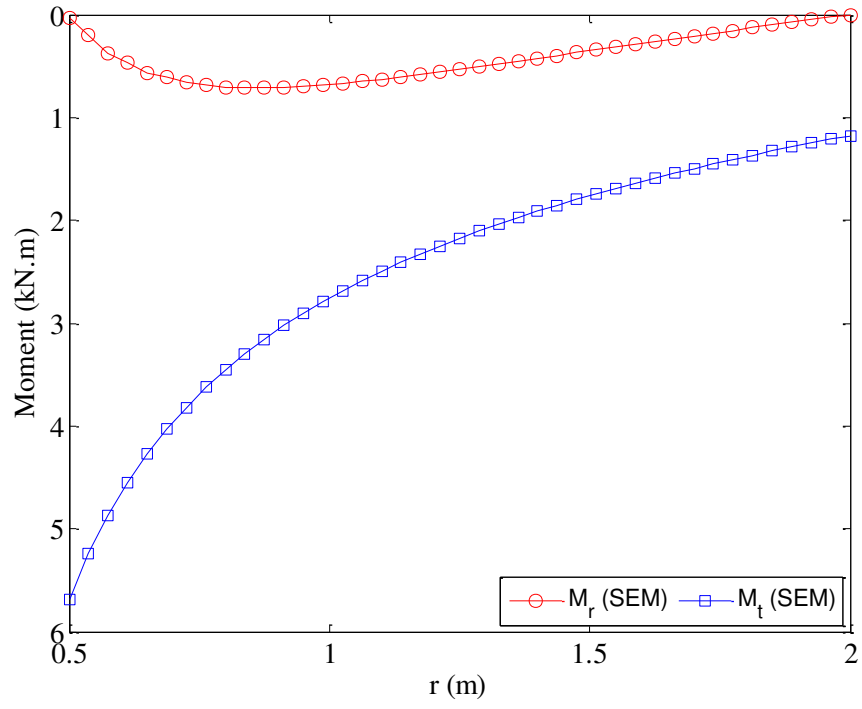
$$h = 0,1m$$

$$\lambda = 20dak$$

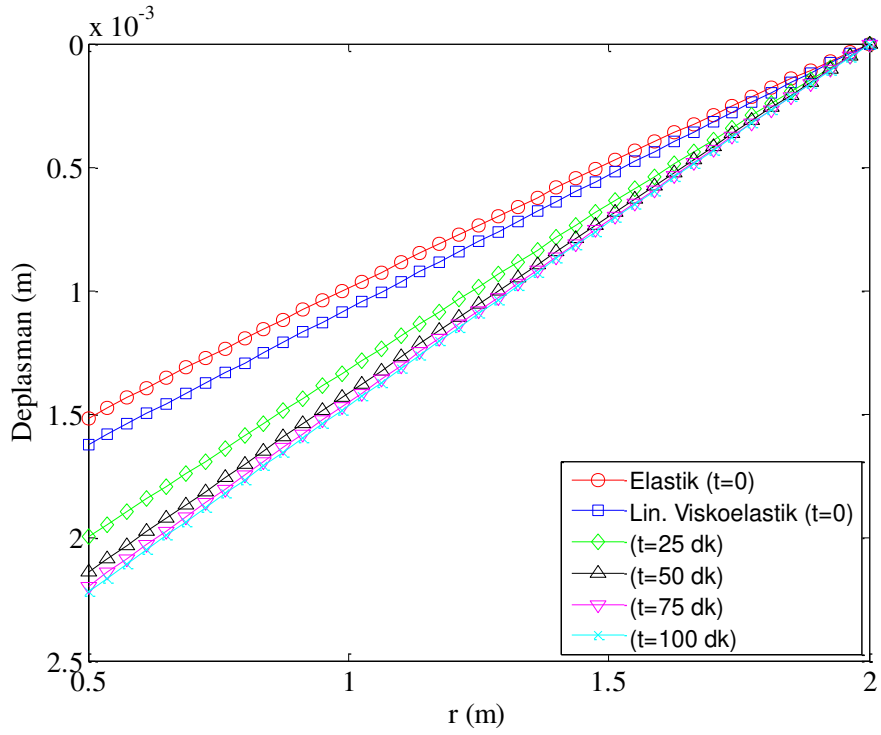
$$q = 5kN / m$$



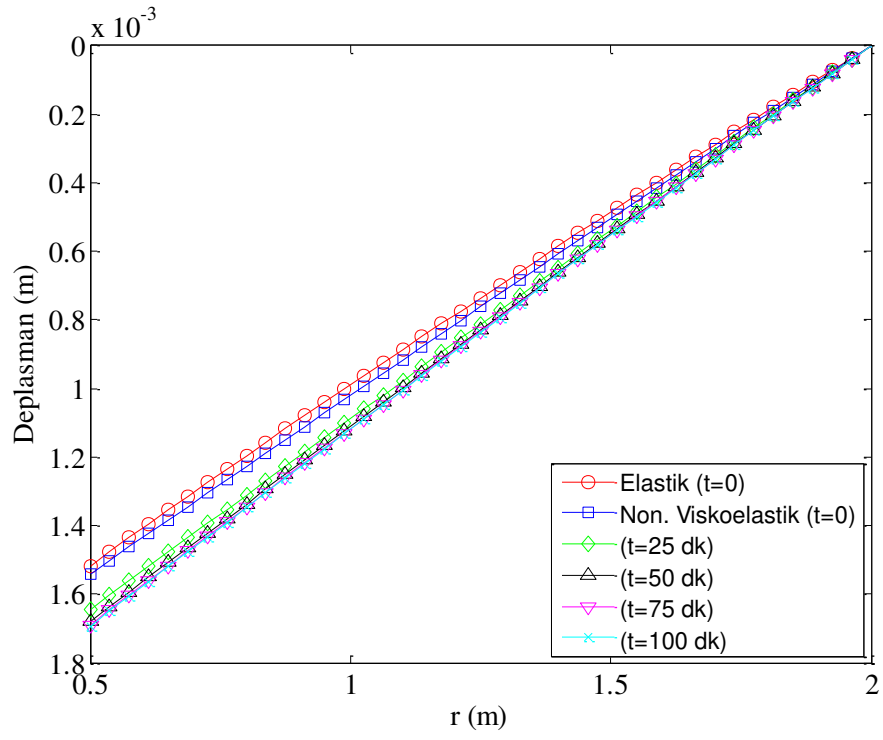
Şekil 5.51 Lineer elastik malzemeli plak deplasmanları



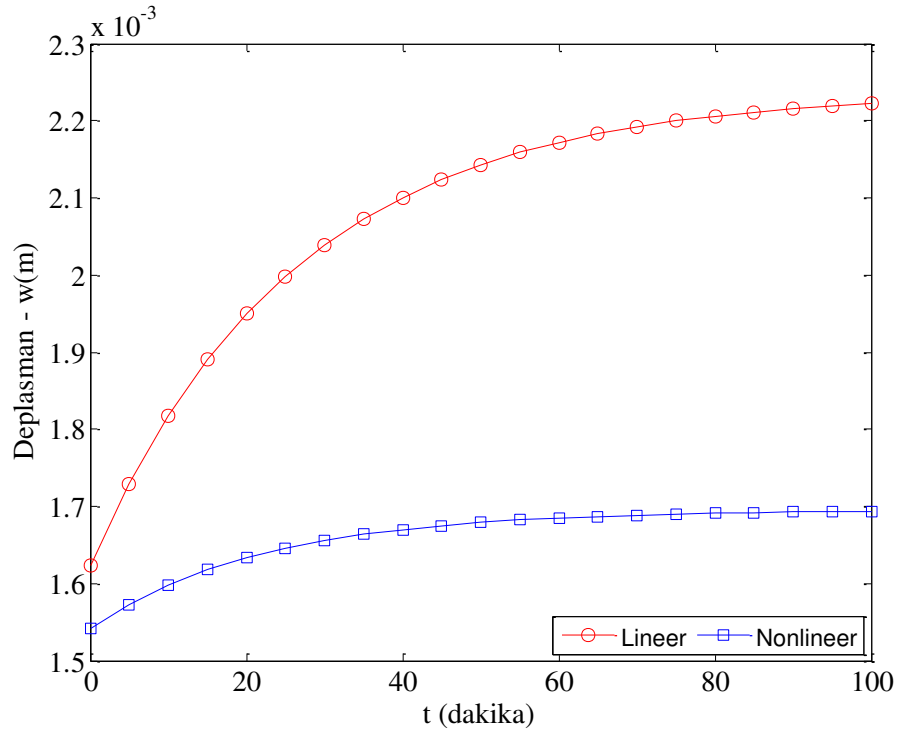
Şekil 5.52 Linear elastik malzemeli plakta meydana gelen radyal ve teğetsel momentler (SEM: Sonlu Elemanlar Metodu)



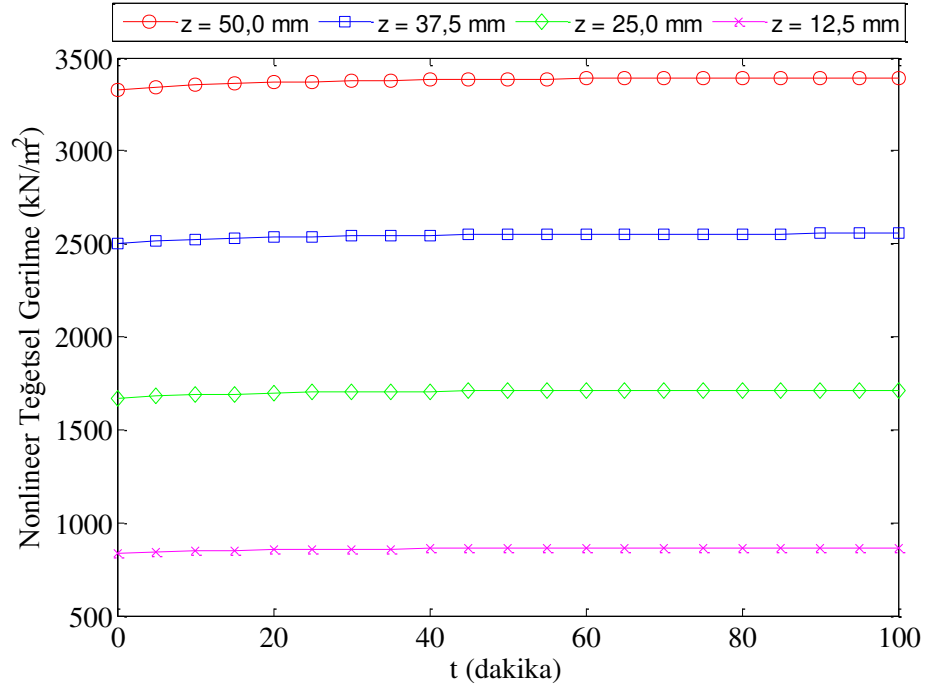
Şekil 5.53 Linear viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



Şekil 5.54 Nonlineer viskoelastik malzemeli plak deplasmanları



Şekil 5.55 Plak boşluk kenarında meydana gelen deplasmanlardaki zamana bağlı değişim



Şekil 5.56 Nonlineer viskoelastik malzemeli plağın boşluk kenarındaki kesitte meydana gelen gerilmeler

Tablo 5.16 Kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu boşluk çevresince üniform çevresel yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deformasyon değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Deformasyon $\times 10^{-5}$	0,500	-	-3,356	~0	~0	~0	~0	~0	11,280	13,886	14,889	15,283	15,438
	0,875	-	-0,468	~0	~0	~0	~0	~0	6,261	7,708	8,264	8,483	8,569
	1,250	-	-0,244	~0	~0	~0	~0	~0	4,316	5,313	5,696	5,847	5,907
	1,625	-	-0,434	~0	~0	~0	~0	~0	3,157	3,887	4,167	4,278	4,321
	2,000	-	-0,705	~0	~0	~0	~0	~0	2,334	2,873	3,081	3,162	3,194
Teğetsel Deformasyon $\times 10^{-5}$	0,500	-	11,347	~0	~0	~0	~0	~0	10,735	11,524	11,778	11,861	11,888
	0,875	-	5,880	-0,001	~0	~0	~0	~0	0,595	0,636	0,649	0,653	0,654
	1,250	-	4,029	-0,002	~0	~0	~0	~0	0,410	0,436	0,445	0,448	0,449
	1,625	-	3,024	~0	~0	~0	~0	~0	0,299	0,318	0,324	0,326	0,327
	2,000	-	2,351	~0	~0	~0	~0	~0	0,221	0,235	0,239	0,240	0,241

Tablo 5.17 Kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu boşluk çevresince üniform yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen gerilme değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Radyal Gerilme (kN/m ²)	0,500	-	16	960	1002	1015	1020	1021	999	1012	1016	1017	1017
	0,875	-	427	533	556	563	566	567	555	562	564	565	565
	1,250	-	318	368	383	388	390	391	383	387	389	389	389
	1,625	-	156	269	281	284	285	286	280	284	285	285	285
	2,000	-	0,024	199	207	210	211	211	207	210	210	211	211
Teğetsel Gerilme (kN/m ²)	0,500	-	3409	3202	3341	3384	3399	3405	3330	3373	3386	3390	3391
	0,875	-	1892	1777	1854	1878	1887	1890	1851	1873	1880	1882	1883
	1,250	-	1304	1225	1278	1295	1300	1303	1277	1292	1296	1298	1298
	1,625	-	954	896	935	947	951	953	935	945	949	950	950
	2,000	-	705	663	691	700	703	704	691	699	701	702	702

Tablo 5.18 Kenarlarından basit mesnetli ortasından boşluklu boşluk çevresince yüklü ince dairesel plağın merkezinden olan uzaklığa göre zamana bağlı değişen deplasman değerleri

	Malzeme	Lineer Elastik		Lineer Viskoelastik					Nonlineer Viskoelastik				
				Zaman (dk)									
	$x(m)$	Klasik Yöntem	Tez Çalışması (S.E.M)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Deplasman $\times 10^{-3}$ (m)	0,500	-	1,519	1,623	1,999	2,143	2,200	2,222	1,541	1,646	1,679	1,690	1,693
	0,875	-	1,118	1,211	1,489	1,596	1,638	1,654	1,150	1,227	1,251	1,259	1,262
	1,250	-	0,736	0,802	0,985	1,055	1,083	1,094	0,762	0,812	0,829	0,834	0,835
	1,625	-	0,362	0,398	0,488	0,523	0,536	0,542	0,378	0,403	0,411	0,413	0,414
	2,000	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BÖLÜM ALTI

SONUÇ

Bu çalışmada lineer ve nonlinear viskoelastik malzemeli eksenel simetrik yük ve sınır koşullarına sahip ince dairesel plakların sonlu elemanlar metodu ile çözümü için yeni bir yöntem ortaya konmuştur. Yüzeyine dik yükler altında statik çözümü yapılan plaktan elde edilen iç kuvvetler zamanla değişim göstermemektedir. Ancak sünmenin etkisiyle malzemenin elastisite modülündeki değişimden kaynaklanan deformasyon ve deplasmanlardaki değişimlerin elastik duruma nazaran %10-13 mertebelerinde artış gösterdiği görülmüş, gerilmelerin ise analiz süresince elastik durumdaki sınırı aşmadığı tespit edilmiştir (Tablo 4.1, 5.1-5.18). Değişken gerilme durumunun hakim olduğu sünme davranışını yansıtmak için Kahraman (1993) tarafından ince kare plaklarda geliştirilen moment-eğrilik-zaman ilişkilerinden yararlanılarak plak eğrilik denklemleri ince dairesel plaklar için elde edilmiştir. Plaklarda meydana gelen deplasman ve kesit dönmeleri ise elde edilen viskoelastik eğriliklerin sonlu elemanlar denklemlerinin içine dahil edilmesiyle nümerik olarak ifade edilmiştir. Deplasman vektörü için minimum potansiyel enerji teoremi kullanılarak yarı analitik denklemler ikinci yöntem olarak elde edilmiştir.

Poisson oranının sabit alındığı bu çalışmada elde edilen viskoelastik eğrilik, deformasyon, gerilme ile deplasman ilişkileri, lineer viskoelastik malzemeli durumda sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen deplasmanlar ile benzer bir çalışmanın ince dairesel plaklara uygulanmasıyla elde edilen deplasmanlar karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir (Kahraman, 1993).

Örnek problemlerde lineer elastik durum için kuadratik izoparametrik ince dairesel plak elemanlarının kullanıldığı sonlu elemanlar tekniğinden elde edilen deplasman ve momentler, klasik yöntem ve SAP2000 V15.1 programından elde edilen çıktılarıyla karşılaştırılarak mevcut çalışmanın performansı irdelenmiştir (Timoshenko, Woinowsky-Krieger; 1959).

Değişik sınır ve yükleme koşulları altındaki lineer ve nonlinear malzemeli ince dairesel plaklar için yapılan çözümler, Matlab R2010a programı yardımıyla hazırlanan programlar aracılığıyla gerçekleştirilmiş olup, program ekleri Ekler bölümünde sunulmuştur.

Şekil (5.1) ile kenarları sabit mesnetli, sabit yayılı yüklü; Şekil (5.12) ile kenarları sabit mesnetli, merkezinden tekil yüklü; Şekil (5.23) ile kenarlarından ankastre, üniform yayılı yüklü; Şekil (5.33) ile kenarlarından ankastre, merkezinden tekil yüklü; Şekil (5.43) ile ortası boşluklu, kenarlarından sabit mesnetli, üniform yayılı yüklü; Şekil (5.50) ile ortası boşluklu, kenarlarından sabit mesnetli, boşluk çevresinde üniform çevresel yüklü plak örnekleri gösterilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında sırasıyla Şekil (5.2), (5.13), (5.24), (5.34), (5.44), (5.51) ile çalışma kapsamında kullanılan sonlu elemanlar yönteminden elde edilen lineer elastik malzemeli ince dairesel plak deplasmanlarının plak orta noktasından plak kenarına kadar olan bölgede klasik yöntemden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılmış; elde edilen verilerin birbirine oldukça yakın çıktığı görülmüştür. Aynı şekilde yine lineer elastik malzemeli durumda Şekil (5.3), (5.14), (5.25), (5.35), (5.45), (5.52) ile kesitlerde yer alan radyal ve teğetsel momentler karşılaştırılarak sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçların klasik yöntemle elde edilen sonuçlara oldukça yakın oldukları saptanmıştır.

Lineer elastik çözümden elde edilen eğrilik ve momentlerden hareketle lineer ve nonlinear viskoelastik malzemeli durumlar için zamana bağlı radyal ve teğetsel eğrilikler plak orta noktası için sırasıyla Şekil (5.6), (5.17), (5.28), (5.38) ile verilmiştir. Buradan çıkan sonuçlara göre, yükleme ve mesnet koşullarının simetrik olduğu bütün durumlarda, nonlinear viskoelastik malzemeli plağın zamana bağlı eğriliklerinin, lineer duruma göre daha yavaş artış gösterdiği ve düşük mertebede kaldığı saptanmıştır.

Viskoelastik eğriliklerden hareketle elde edilen plak merkezindeki deformasyonlar lineer ve nonlinear durumlar için sırasıyla Şekil (5.8), (5.9); (5.19), (5.20); (5.29), (5.30); (5.39), (5.40) ile sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde tarafsız

eksenin üzerinde kalan plak z seviyeleri için en dış lif olan 50 mm seviyesinde olmak üzere 37,5 mm, 25 mm ve 12,5 mm seviyelerindeki deformasyon eğrilerinin zamana bağlı değişimi plak merkezinde incelenmiştir. Buradan çıkarılacak sonuç ise, eğriliklere benzer şekilde; nonlinear viskoelastik malzemeli plağın zamana bağlı deformasyonlarının, lineer duruma göre daha yavaş artış gösterdiği ve düşük mertebede kaldığı, kesit kalınlığı boyunca deformasyon değişimlerinin tarafsız düzleme yaklaştıkça azaldığı, uzaklaştıkça arttığı görülmektedir. Şekil (5.10), (5.11); (5.21), (5.22); (5.31), (5.32); (5.41), (5.42); (5.49); (5.56) incelendiğinde, lineer ve nonlinear durumlarda plak merkezindeki gerilme değerlerinin deformasyon değerleriyle aynı davranışı gösterdiği ancak kayda değer bir değişimin olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Şekil (5.7), (5.18), (5.29), (5.48), (5.55) ile plaklarda meydana gelen maksimum deplasmanlarının lineer ve nonlinear durumlar için karşılaştırması verilmektedir. Şekillerden anlaşılabileceği gibi, lineer durumda deplasman miktarındaki artış ve artış hızı nonlinear duruma göre fazla olmaktadır. Şekil (5.4), (5.5); (5.15), (5.16); (5.26), (5.27); (5.36), (5.37), (5.46), (5.47), (5.53), (5.54) ile lineer elastik malzemeli durum ile lineer ve nonlinear viskoelastik malzemeli durumlar için plak merkezinden mesnete doğru olan bölgede $t=0, 25, 50, 75, 100$ dakika aralıklarla karşılaştırılmıştır. Buradan, deplasmanlardaki değişim hızının ilk başlarda büyük olduğu, artış miktarında zamanla bir azalma yaşanarak asimptotik bir eğilime geçtiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S., Irons, B. M., ve Zienkiewicz, O. C. (1970). Analysis of thick and thin Shell structures by curved finite elements, *Int. J. Num. Meth Engng.*, 2, sf. 429.
- Alfrey, T. (1944). Non-homogeneous stress in viscoelastic media. *Quart. Appl. Math.*, 2, sf. 113-119.
- Aroutiounian, N. K. (1957). *Application de la Theorie du Fluage*. Paris: Editions Eyrolles.
- Baradan, B. (1978). *Betonun kısa süredeki sünme davranışı için reolojik model parametrelerinin araştırılması*. İzmir, Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi.
- Bazant, Z. P., Tsubaki, T., ve Celep, Z. (1983). Singular history integral for creep rate of concrete. *J. of Eng. Mech*, 109, No:3 (Haziran).
- Bazant, Z. P., ve Chern, J. C. (1985). Triple power law for concrete creep. *J. of Eng. Mech*, 111, No:1 (Ocak).
- Bland, D. R. (1960). *The Theory of Linear Viscoelasticity*. London: Pergamon Press, sf. 125.
- Dorn, J. E. (1961). *Mechanical Behaviour of Materials at Elevated Temperature (Editor)*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Findley, W. N., Lai, J. S., ve Onaran, K. (1989). *Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials*. New York: Dover Publications, sf. 369.
- Finnie, I., ve Heller, W. R. (1959). *Creep of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Flügge, W. (1967). *Viscoelasticity*. Massachusetts: Blaisdel Publishing Company.

Gross, B. (1953). *Mathematical Structure of the Theories of Viscoelasticity*. Paris: Hermann and Co.

Hoff, N. J. (1958). *High Temperature Effects in Aircraft Structures (Editor)*. London: Pergamon Press.

Hult, J. (1966). *Creep in Engineering Structures*. Waltham, Mass: Blaisdell Pub. Co.

Kachanov, L. M. (1960). *Theory of Creep*. Moscow: Gos. Izdat. Fis.- Mat. Lit.

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 Değiştirme-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.

Kennedy, A. J. (1963). *Processes of Creep and Fatigue in Metals*. New York: Wiley.

- Loo Y. H., ve Base G.D. (1990). Variation of Creep Poisson's Ratio with Stress in Concrete under Short-Term Uniaxial Compression. *Magazine of Concrete Research*, 42, No. 151, sf. 67-73.
- Lubahn, J. D., ve Felgar, R. P. (1961). *Plasticity and Creep of Metals*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Mawenya, A. S. (1976). Quadratic isoparametric circular plate element with strain smoothing. *Journal of Strain Analysis*, 11, No: 2.
- Odqvist, F. K. G., ve Hult, J. (1962). *Creep Strength of Metallic Materials*. Berlin: Springer.
- Odqvist, F. K. G. (1966). *Mathematical Theory of Creep and Creep Rupture*. London: Oxford Mathematics Monographs.
- Odqvist, F. K. G. (1974). *Mathematical Theory of Creep and Creep Rupture*. London: Oxford University Press, 200 p.
- Onaran, K. (1968). *Viskoelastisite*. İstanbul: Sürekli Ortamlar Mekaniği I. Yaz Okulu, sf. 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*.
- Penny, R. K., ve Marriott, D. L. (1971). *Design of Creep*. London, McGraw-Hill Company, sf. 291.
- Rabotnov, Y. N. (1969). *Creep Problems in Structural Members*. Amsterdam: North-Holland Pub. Co.

- Schapery R. A. (2000). Nonlinear viscoelastic solids. *International Journal of Solids and Structures*, 37, sf. 359–366.
- Smith, A. I., ve Nicholson, A. M. (Eds.) (1971). Advances in Creep Design. London: A. E. Johnson Memorial Volume, *Applied Science Publishers*.
- Taylor, R. L. (1973). Inversion of Prony Series Characterization for Viscoelastic Analysis. *Int. J. for Num. Meth. in Eng.*, Vol. 5, pp. 499-502.
- Taylor, R. L., Pister, K. S., ve Goudreau, G. L. (1970). Thermomechanical Analysis of Viscoelastic Solids. *Int. J. for Num. Meth. in Eng.*, 2., sf. 45-49.
- Timoshenko, S., ve Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of Plates and Shells (2nd ed.)*. New York: McGraw-Hill.
- Ting, E. C. (1970). Stress Analysis for a Nonlinear Viscoelastic Cylinder with Ablating Inner Surfaces. *Journal of Applied Mechanics Trans. ASME, Series E.*, 37, sf. 44.
- Zienkiewicz, O. C. (1961). Analysis of visco-elastic behaviour of concrete structures with particular reference to thermal stress, *Proc. Amer. Cocnr. Inst.*, 4, sf. 383.

EKLER

Ek-1: Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak (Bölüm 4)

```
%BÖLÜM DÖRT - NÜMERİK KARŞILAŞTIRMA
%KENARLARINDAN SABİT MESNETLİ ÜNİFORM YAYILI YÜKLÜ
DAİRESEL PLAK

clear all; clc; format long;
set(0,'defaultLineLineWidth',1.0, 'DefaultTextFontSize',16,...
    'defaultTextFontName', 'Times New Roman',...
    'defaultAxesFontName', 'Times New Roman','DefaultAxesFontSize',16,...
    'defaultLineMarkerSize',8)

q=5; %Plak yayılı yük değeri (kN/m^2)
a=1; %Plak yarıçapı (m)
ab=0; %Plak merkezinde yer alan boşluğun yarıçapı (m)
elm=10; %Sonlu eleman sayısı
v=.3; %Poisson oranı
h=.1; %Plak kalınlığı (m)
E=3e7; %Elastisite modülü (kN/m^2)
D1=E*h^3/(12*(1-v^2)); %Plak eğilme rijitliği
S=E*h/(2*(1+v)); %Plak kayma rijitliği
D=[D1 v*D1 0; v*D1 D1 0; 0 0 S]; %Elastik malzemeli plağın rijitlik matrisi
n=3*elm-(elm-1); %Düğüm noktaları sayısı
m1=2*n; %Deplasman vektörü serbestlik sayısı
m2=3*n; %İç kuvvetler vektörü serbestlik sayısı
K=zeros(m1,m1); %Sistem rijitlik matrisinin boyutlarının belirlenmesi
M=zeros(m2,1); %Sistem iç kuvvetler vektörünün boyutlarının belirlenmesi
Egr=zeros(m2,1); %Sistem eğrilik vektörünün boyutlarının belirlenmesi
d=zeros(m1,1); %Sistem deplasman matrisinin boyutlarının belirlenmesi
F=zeros(m1,1); %Sistem kuvvet matrisinin boyutlarının belirlenmesi
syms ksi x %Yerel ve global değişkenlerin atanması
```

```

s=(a-ab)/(n-1); %Düğüm noktaları arasındaki mesafe
xi=ab:s:a; xi=xi'; %Düğüm noktaları koordinat vektörü
N={-.5*ksi*(1-ksi), 1-ksi^2, .5*ksi*(1+ksi)}; %Eleman şekil fonksiyonları
Ni=[N{1} 0 N{2} 0 N{3} 0; 0 N{1} 0 N{2} 0 N{3}]; %Kuvvet vektörünü
oluşturmak için kullanılan
%şekil fonksiyonları matrisi
qe=q*[1;0]; %Kuvvet vektörünü oluşturmak için kullanılan yük vektörü

```

%ELASTİK MALZEMELİ PLAĞIN HESABI

%DEPLASMANLARIN HESABI

```

for hh=1:2:n-2

```

%Jacobian teriminin hesabı

```

    J=0;

```

```

    for i=1:3

```

```

        tN=diff(N{i},ksi);

```

```

        Ji=tN*xi(hh-1+i,1);

```

```

        J=J+Ji;

```

```

    end

```

%Global koordinat değişkeninin yerel koordinat değişkeni türünden ifadesi

```

    x=0;

```

```

    for i=1:3

```

```

        xxi=N{i}*xi(hh-1+i,1);

```

```

        x=x+xxi;

```

```

    end

```

%Şekil değiştirme-yer değiştirme matrisi

```

Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...

```

```

    0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...

```

```

    -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];

```

%Eleman rijitlik matrisi

```

ki=2*pi*Bi'*D*Bi*x*J;

```

```

k=subs(ki,ksi,-1/3^.5)+subs(ki,ksi,1/3^.5);

```

%Kuvvet rijitlik matrisi

```

fd=2*pi*Ni'*qe*x*J;
f=2*subs(fd,ksi,0);
%Sistem rijitlik ve kuvvet matrislerinin oluşturulması
y1=2*hh-1;
for i=1:4:m1-5
    if i==y1
        K(i:i+5,i:i+5)=K(i:i+5,i:i+5)+k;
        F(i:i+5,1)=F(i:i+5,1)+f;
    end
end
end
end
%Sistem rijitlik matrisinin sınır şartlarının belirlenmesi
K(2,:)=[];
K(:,2)=[];
K(end-1,:)=[];
K(:,end-1)=[];
%Kuvvet matrisinin sınır şartlarının belirlenmesi
F(2,:)=[];
F(end-1,:)=[];
%Sistem deplasman vektörünün hesabı
ds=K\F;
d(1,1)=ds(1,1);
d(3:end-2,1)=ds(2:end-1,1);
d(end,1)=ds(end,1);
dw=zeros(n,1); wtim=zeros(n,1);
%Klasik yöntem (Timoshenko, Woinowsky-Krieger, 1959) ile sonlu elemanlar
%yönteminden elde edilen deplasman vektörleri
for i=1:n
    dw(i,1)=dw(i,1)+d(2*i-1,1);
    wtim(i,1)=wtimo(i,1)+q*(a^2-xi(i,1)^2)/(64*D1)*((5+v)/(1+v)...
        *a^2-xi(i,1)^2);
end

```

%İÇ KUVVETLER VE EĞRİLİK VEKTÖRLERİNİN HESABI

syms ksi x

for i=1:2:n-2

%Yerel koordinat değişkeninin global koordinat değişkeni türünden ifadesi

ksii=2*(x-xi(i+1,1))/(xi(i+2,1)-xi(i,1));

J=0;

%Jacobian teriminin hesabı

for j=1:3

tN=diff(N{j},ksi);

Ji=tN*xi(i-1+j,1);

J=J+Ji;

end

%Şekil değiştirme-yer değiştirme matrisi

Bs=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...

0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...

-2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];

%Sistem iç kuvvetler ile eğrilik vektörlerinin hesabı

DBi=subs(D*Bs,ksi,ksii);

B=subs(Bs,ksi,ksii);

DB=[subs(DBi,x,xi(i,1)); subs(DBi,x,xi(i+1,1)); subs(DBi,x,xi(i+2,1))];

Egrj=[subs(B,x,xi(i,1)); subs(B,x,xi(i+1,1)); subs(B,x,xi(i+2,1))];

Mss=DB*d(2*i-1:2*i+4,1); Egri=-Egrj*d(2*i-1:2*i+4,1);

M(3*i-2:3*i+6,1)=M(3*i-2:3*i+6,1)+Mss;

Egr(3*i-2:3*i+6,1)=Egr(3*i-2:3*i+6,1)+Egri;

end

for i=7:6:m2-8

M(i,1)=M(i,1)/2; M(i+1,1)=M(i+1,1)/2; M(i+2,1)=M(i+2,1)/2;

Egr(i,1)=Egr(i,1)/2; Egr(i+1,1)=Egr(i+1,1)/2; Egr(i+2,1)=Egr(i+2,1)/2;

end

Egr(2,1)=Egr(1,1);

M(1,1)=-Egr(1,1)*D1*(1+v);

```

M(2,1)=M(1,1);
%Klasik yöntemden elde edilen radyal ve teğetsel moment değerleri
%(Timoshenko, Woinowsky-Krieger, 1959)
Mrtimo=zeros(n,1); Mttimo=zeros(n,1);
for i=1:n
Mrtimo(i,1)=Mrtimo(i,1)+q/16*(3+v)*(a^2-xi(i,1)^2);
Mttimo(i,1)=Mttimo(i,1)+q/16*(a^2*(3+v)-xi(i,1)^2*(1+3*v));
end
Mr=M(1:3:m2-2); Mt=M(2:3:m2-1); Q=M(3:3:m2);
Egr=Egr(1:3:m2-2); Egrt=Egr(2:3:m2-1); Egrq=Egr(3:3:m2);

%VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAĞIN HESABI
%LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK VERİLERİ
tson=100; %Toplam zaman (dakika)
dt=1; %Zaman artış miktarı (dakika)
sson=tson/dt+1; %Toplam adım sayısı
wssl=zeros(sson,m2); %Lineer viskoelastik malzemeli plağın eğrilik matrisinin
kurulması
%Prony serisi katsayıları ile hesaplarda kullanılan diğer değerlerin girilmesi
k0=1e7; lamda=20; k1=.75e7;
I0=h^3/12; A=1/(1-v^2); Ev=E-k0+k1; kiv=k1/lamda;
ti=zeros(sson,1); %Zaman vektörü
ti(:,1)=0:dt:tson;
%LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK EĞRİLİKLERİ
wrrm=zeros(sson,1);
wtm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrr=Egr(k,1); wtt=Egr(k+1,1);
wrre=wrr; wtte=wtt;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));

```

```

while abs(wrr0-wrre)>10^-12
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
end
wrrd=wrr0; wttd=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wrrm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/lamda));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wttm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/lamda));
    C1=C1j+C1;
end
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-kiv/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/lamda)+B1+wrrd)...
+v*Ev*wttd/wrrd-kiv*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/lamda)+C1+wttd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wttm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/lamda));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wrrm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/lamda));
    C2=C2j+C2;
end
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-kiv/wtt0*dt/2*(wrr0*exp(-t/lamda)+B2+wtt0)...
+v*Ev*wrrd/wtt0-kiv*v/wtt0*dt/2*(wrr0*exp(-t/lamda)+C2+wrrd)));

```

```

while abs(wrr-wrrd)>10^-12
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-kiv/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/lamda)+B1+wrrd)...
+v*Ev*wtttd/wrrd-kiv*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/lamda)+C1+wtttd)));
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-kiv/wtttd*dt/2*(wtt0*exp(-t/lamda)+B2+wtttd)...
+v*Ev*wrrd/wtttd-kiv*v/wtttd*dt/2*(wrr0*exp(-t/lamda)+C2+wrrd)));
end
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
end
wssl(:,k)=wrrm;
wssl(:,k+1)=wttm;
end
%LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK DEPLASMANLARI
(MEVCUT ÇALIŞMA)
wrrvis=zeros(sson,elm); wttvis=zeros(sson,elm);
dvissl=zeros(sson,n); dviss=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wrr1=wssl(:,4+6*(i-1)); wtt1=wssl(:,5+6*(i-1));
wrrvis(:,i)=wrrvis(:,i)+wrr1;
wttvis(:,i)=wttvis(:,i)+wtt1;
end
for j=1:sson
fvis=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wwi=[-wrrvis(j,i); -wttvis(j,i); 0];
J=0; x=0;
for k=1:3
tN=diff(N{k},ksi);
Ji=tN*xi(i-1+k,1);
J=J+Ji;
xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);

```

```

x=x+xxi;
end
Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
    0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
Bvis=2*pi*x*J*Bi*D;
Avis=2*subs(Bvis*wwi,ksi,0);
    if i==1
        fvis(i:i+5,1)=fvis(i:i+5,1)+Avis;
    else
        fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avis;
    end
end
fvis(2,:)=[]; fvis(end-1,:)=[];
dvis=K\fvis;
dviss(1,1)=dvis(1,1); dviss(2,1)=0; dviss(3:end-2,1)=dvis(2:end-1,1);
dviss(end,1)=dvis(end,1);
for i=1:n
    dvissl(j,i)=dvissl(j,i)+dviss(2*(i-1)+1,1);
end
end
%LİNEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK DEPLASMANLARI
(KAHRAMAN, 1993)
Eiv=E-k0+k1; k1v=k1/lamda;
hh=size(ds);
dvislk=zeros(hh(1,1),sson); dvisld=ds;
kle1=k1v/Eiv; aev=1/(A*Eiv/E);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*(dvislk(:,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/lamda);
        V1=Vi+V1;
    end
end

```

```

dvisl=aev.*ds+dt/2*k1*(exp(-t/lamda).*ds+V1+dvisld);
while abs(dvisl(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
dvisld=dvisl;
dvisl=aev.*ds+dt/2*k1*(exp(-t/lamda).*ds+V1+dvisld);
end
dvisld=dvisl;
dvislk(:,t/dt+1)=dvisl;
end
%LINEER VİSKOELASTİK MALZEMELİ PLAK MERKEZİNİN ZAMANA
BAĞLI DEPLASMAN
%DEĞERLERİ GRAFİĞİ
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),dvissl(:,1),'^r',ti(:,1),dvislk(1,:),'ob')
xlabel('t(dakika)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Tez çalışması', 'Kahraman, 1993',...
'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)

```

**Ek-2: Kenarlarından sabit mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak
(Bölüm 5.1)**

**%BÖLÜM 5.1 - KENARLARINDAN SABİT MESNETLİ ÜNİFORM YAYILI
YÜKLÜ DAİRESEL PLAK**

```
clear all; clc; format long;
set(0,'defaultLineLineWidth',1.0, 'DefaultTextFontSize',16,...
    'defaultTextFontName', 'Times New Roman',...
    'defaultAxesFontName', 'Times New Roman','DefaultAxesFontSize',16,...
    'defaultLineMarkerSize',8)
%PLAK VERİLERİ
a=2; %Plak Yarıçapı (m)
ab=0; %Boşluk yarıçapı (m)
q=5; % Plak yayılı yük değeri (kN/m2)
elm=20; %Sonlu eleman sayısı
v=.3; %Poisson oranı
h=.1; %Plak kalınlığı (m)
z={h/2,3*h/8,h/4,h/8}; %Plak kesit seviyeleri
E=3e7; %Elastisite modülü (kN/m2)
D1=E*h^3/(12*(1-v^2)); %Plak eğilme rijitliği
S=E*h/(2*(1+v)); %Plak kayma rijitliği
D=[D1 v*D1 0; v*D1 D1 0; 0 0 S]; %Plak rijitlik matrisi
n=3*elm-(elm-1); %Eleman sayısına göre düğüm noktası sayısı
m1=2*n; %Toplam serbestlik sayısı
m2=3*n; %Toplam kesit tesiri sayısı
K=zeros(m1,m1); %Sistem Rijitlik matrisinin boyutlarının belirlenmesi
M=zeros(m2,1); %Sistem Moment vektörünün boyutlarının belirlenmesi
Egr=zeros(m2,1); %Sistem Eğrilik vektörünün boyutlarının belirlenmesi
d=zeros(m1,1); %Deplasman matrisinin oluşturulması
%Kuvvet matrisinin kurulması
F=zeros(m1,1);
syms ksi x %Lokal ve Global değişkenlerin atanması
```

```

%Düğüm noktası koordinatları
s=(a-ab)/(n-1); %Düğüm noktaları arasındaki mesafe
xi=ab:s:a; xi=xi'; %Düğüm noktaları koordinat matrisi
N={-.5*ksi*(1-ksi), 1-ksi^2, .5*ksi*(1+ksi)}; %Şekil fonksiyonu
Ni=[N{1} 0 N{2} 0 N{3} 0; 0 N{1} 0 N{2} 0 N{3}];
qe=q*[1;0];
%VİSKOELASTİK VERİLER
tson=100; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e7; k1=.75e7; 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);
%Rijitlik matrisinin kurulması
for h=1:2:n-2
    J=0;
    for i=1:3
        tN=diff(N{i},ksi);
        Ji=tN*xi(h-1+i,1);
        J=J+Ji;
    end
    x=0;
    for i=1:3
        xxi=N{i}*xi(h-1+i,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];

```

```

ki=2*pi*Bi'*D*Bi*x*J;
k=subs(ki,ksi,-1/3^.5)+subs(ki,ksi,1/3^.5);
fd=2*pi*Ni'*qe*x*J;
f=2*subs(fd,ksi,0);
y1=2*h-1;
for i=1:4:m1-5
    if i==y1
        K(i:i+5,i:i+5)=K(i:i+5,i:i+5)+k;
        F(i:i+5,1)=F(i:i+5,1)+f;
    end
end
end
end
%Rijitlik matrisi Mesnet şartlarının belirlenmesi
K(2,:)=[];
K(:,2)=[];
K(end-1,:)=[];
K(:,end-1)=[];
%Kuvvet matrisinin kurulması
F(2,:)=[];
F(end-1,:)=[];
%Düğüm noktaları deplasman ve kesit dönmeleri
ds=K\F;
d(1,1)=ds(1,1);
d(3:end-2,1)=ds(2:end-1,1);
d(end,1)=ds(end,1);
dw=zeros(n,1); wtimo=zeros(n,1);
for i=1:n
    dw(i,1)=dw(i,1)+d(2*i-1,1);
    wtimo(i,1)=wtimo(i,1)+q*(a^2-xi(i,1)^2)/(64*D1)*((5+v)/(1+v)...
        *a^2-xi(i,1)^2);
end
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])

```

```

plot(xi,dw,'r-o',xi,wtimo,'b-s')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('SEM', 'Timoshenko (1959)', 'Location', 'NorthOutside',...
'Orientation', 'Horizontal');
set(leg, 'FontName', 'Times New-Roman', 'FontSize', 14)
set(gca, 'YDir', 'Reverse')

%İÇ KUVVETLER VE EĞRİLİK VEKTÖRLERİNİN HESABI
syms ksi x
for i=1:2:n-2
    ksii=2*(x-xi(i+1,1))/(xi(i+2,1)-xi(i,1));
    J=0;
    for j=1:3
        tN=diff(N{j},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+j,1);
        J=J+Ji;
    end
    Bs=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
    0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
    -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    DBi=subs(D*Bs,ksi,ksii);
    B=subs(Bs,ksi,ksii);
    DB=[subs(DBi,x,xi(i,1)); subs(DBi,x,xi(i+1,1)); subs(DBi,x,xi(i+2,1))];
    Egrj=[subs(B,x,xi(i,1)); subs(B,x,xi(i+1,1)); subs(B,x,xi(i+2,1))];
    Mss=DB*d(2*i-1:2*i+4,1); Egri=-Egrj*d(2*i-1:2*i+4,1);
    M(3*i-2:3*i+6,1)=M(3*i-2:3*i+6,1)+Mss;
    Egr(3*i-2:3*i+6,1)=Egr(3*i-2:3*i+6,1)+Egri;
end
for i=7:6:m2-8
    M(i,1)=M(i,1)/2; M(i+1,1)=M(i+1,1)/2; M(i+2,1)=M(i+2,1)/2;
    Egr(i,1)=Egr(i,1)/2; Egr(i+1,1)=Egr(i+1,1)/2; Egr(i+2,1)=Egr(i+2,1)/2;
end

```

```

Egr(2,1)=Egr(1,1);
M(1,1)=-Egr(1,1)*D1*(1+v);
M(2,1)=M(1,1);
Mrtimo=zeros(n,1); Mttimo=zeros(n,1);
for i=1:n
Mrtimo(i,1)=Mrtimo(i,1)+q/16*(3+v)*(a^2-xi(i,1)^2);
Mttimo(i,1)=Mttimo(i,1)+q/16*(a^2*(3+v)-xi(i,1)^2*(1+3*v));
end
Mr=M(1:3:m2-2); Mt=M(2:3:m2-1); Q=M(3:3:m2);
Egrr=Egr(1:3:m2-2); Egrr=Egr(2:3:m2-1); Egrr=Egr(3:3:m2);
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,Mr,'r-o',xi,Mrtimo,'b-s',xi,Mt,'g-d',xi,Mttimo,'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Moment (kN.m)')
leg=legend('M_r (SEM)', 'M_r (Timoshenko, 1959)', 'M_t (SEM)',...
'M_t (Timoshenko,1959)','Location','NorthOutside',...
'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
%VISKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssl=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1);
wtm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrr=Egr(k,1); wti=Egr(k+1,1);
wrre=wrr; wtte=wti;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wt0;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));

```

```

wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrr0/wtt0));
end
wrrd=wrr0; wtt0=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wrrm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wttm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
+v*Ev*wtt0/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wtt0)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wttm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wrrm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wtt0*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B2+wtt0)...
+v*Ev*wrrd/wtt0-k1v*v/wtt0*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
wrrd=wrr; wtt0=wtt;
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...

```

```

    +v*Ev*wtt0/wrrd-k1*v/v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wtt0));
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1*v/wtt0*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wtt0)...
    +v*Ev*wrrd/wtt0-k1*v/v/wtt0*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
end
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
wrrd=wrr; wtt0=wtt;
end
wssl(:,k)=wrrm;
wssl(:,k+1)=wttm;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssn=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1); wttm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrri=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
    +E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
    +k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
    +E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
    +k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
    wrre=wrr0; wtte=wtt0;
    wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
        +E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
    wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
        +E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
end
end

```

```

B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wrrd=wrr0; wtt0=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wrr0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wrrm(i+1,1)*(abs(wrrm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C1=wtt0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2i=2*((wttm(j+1,1))*(abs(wrrm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2i+C2;
    end
    B3=wtt0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B4=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B4i=2*(wttm(i+1,1)*(abs(wttm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B4=B4i+B4;
    end
    C3=wrr0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C4=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C4j=2*((wrrm(j+1,1))*(abs(wttm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C4=C4j+C4;
    end
    wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1))...
        -1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wtt0/wrrd-k0*Ip0*v*wtt0/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...

```

```

+k1*Ip1*v*wtttd/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtttd*(abs(wrrd))^(p1-1)));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtttd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wtttd-k0*Ip0*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wtttd))^(p1-1)));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtttd/wrrd-k0*Ip0*v*wtttd/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtttd/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtttd*(abs(wrrd))^(p1-1)));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtttd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wtttd-k0*Ip0*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wtttd))^(p1-1)));
end
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
end
wssn(:,k)=wrrm;
wssn(:,k+1)=wttm;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
wrrvis=zeros(sson,elm); wttvis=zeros(sson,elm);
dvisl=zeros(sson,n); dviss=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wrr1=wssl(:,4+6*(i-1)); wtt1=wssl(:,5+6*(i-1));
wrrvis(:,i)=wrrvis(:,i)+wrr1;

```

```

    wttvis(:,i)=wttvis(:,i)+wtt1;
end
for j=1:sson
    fvis=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-wrrvis(j,i); -wttvis(j,i); 0];
        J=0; x=0;
        for k=1:3
            tN=diff(N{k},ksi);
            Ji=tN*xi(i-1+k,1);
            J=J+Ji;
            xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
            x=x+xxi;
        end
        Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
            0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
        Bvis=2*pi*x*J*Bi'*D;
        Avis=2*subs(Bvis*wwi,ksi,0);
        if i==1
            fvis(i:i+5,1)=fvis(i:i+5,1)+Avis;
        else
            fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avis;
        end
    end
    fvis(2,:)=[]; fvis(end-1,:)=[];
    dvis=K\fvis;
    dviss(1,1)=dvis(1,1); dviss(2,1)=0; dviss(3:end-2,1)=dvis(2:end-1,1);
    dviss(end,1)=dvis(end,1);
    for i=1:n
        dvisl(j,i)=dvisl(j,i)+dviss(2*(i-1)+1,1);
    end
end
end

```

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
wrrvis=zeros(sson,elm); wttvis=zeros(sson,elm);
dvisn=zeros(sson,n); dvissn=zeros(m1,1);
for i=1:elm
    wrr1=wssn(:,4+6*(i-1)); wtt1=wssn(:,5+6*(i-1));
    wrrvis(:,i)=wrrvis(:,i)+wrr1;
    wttvis(:,i)=wttvis(:,i)+wtt1;
end
for j=1:sson
    fvis=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-wrrvis(j,i); -wttvis(j,i); 0];
        J=0; x=0;
        for k=1:3
            tN=diff(N{k},ksi);
            Ji=tN*xi(i-1+k,1);
            J=J+Ji;
            xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
            x=x+xxi;
        end
        Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
            0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi...
            -.5*J*(ksi+1/3)];
        Bvis=2*pi*x*J*Bi'*D;
        Avis=2*subs(Bvis*wwi,ksi,0);
        if i==1
            fvis(i:i+5,1)=fvis(i:i+5,1)+Avis;
        else
            fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avis;
        end
    end
end
fvis(2,:)=[]; fvis(end-1,:)=[];

```

```

    dvis=K\fvis;
    dvissn(1,1)=dvis(1,1); dvissn(2,1)=0; dvissn(3:end-2,1)=dvis(2:end-1,1);
    dvissn(end,1)=dvis(end,1);
    for i=1:n
        dvisn(j,i)=dvisn(j,i)+dvissn(2*(i-1)+1,1);
    end
end
%Linear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgml=zeros(sson,m2);
    for i=1:sson
        Sgmlhv=zeros(1,m2);
        for k=1:3:m2
            wssld=-z{hi}*[wssl(i,k); wssl(i,k+1); 0];
            wssl0=-z{hi}*[wssl(1,k); wssl(1,k+1); 0];
            H2=0;
            for j=1:(i-1)
                H2j=2*(-z{hi}*[wssl(j+1,k); wssl(j+1,k+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,k:k+2)=Sgmlhv(1,k:k+2)+Sgmlh';
        end
        Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
    end
    Sgml1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgml;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgmnn=zeros(sson,m2);
    for i=1:sson
        Sgmnhv=zeros(1,m2);

```

```

for k=1:3:m2
defnd=-z{hi}*[wssn(i,k); wssn(i,k+1); 0];
defn0=-z{hi}*[wssn(1,k); wssn(1,k+1); 0];
H3=0;
for j=1:(i-1)
    H3j=2*(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0].*...
        abs(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H3=H3j+H3;
end
Sgmnh=A*Dxx*(E*defnd-k0*defnd.*abs(defnd).^(p0-1)+k1*defnd.*...
    abs(defnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*defn0.*abs(defn0).^(p1-1)+...
    H3+defnd.*abs(defnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,k:k+2)=Sgmnhv(1,k:k+2)+Sgmnh';
end
Sgmni(i,:)=Sgmni(i,:)+Sgmnhv;
end
Sgmni(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgmni;
end
%GRAFİKLER
tfg={ 1, (sson-1)*.25+1, (sson-1)*.5+1,(sson-1)*.75+1, sson};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisl(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisl(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisl(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Lin. Viskoelastik (t=0)',...
    '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])

```

```

plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisn(tfg{1},:),'b-s',...
     xi(:,1), dvisn(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisn(tfg{3},:),'k-^',...
     xi(:,1), dvisn(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisn(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Non. Viskoelastik (t=0)',...
          '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
          'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),wssn(:,2),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Teğetsel Eğrilik')
leg=legend('Lineer viskoelastik eğrilik',...
          'Nonlinear viskoelastik eğrilik',...
          'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),dvisl(:,1),'r-o',ti(:,1),dvisn(:,1),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deplasman - w(m)')
leg=legend('Lineer', 'Nonlinear',...
          'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssl(:,2),...
     'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssl(:,2),'g-d',ti(:,1),...
     -z{4}*wssl(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Deformasyon')

```

```

leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssn(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssn(:,2),...
'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssn(:,2),'g-d',ti(:,1),-z{4}*wssn(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
tfi={1,2,3,4};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgml1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgml1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm',...
'z = 12,5 mm','Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgmn1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgmn1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)

```

**Ek-3: Kenarlarından sabit mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plak
(Bölüm 5.2)**

**%BÖLÜM 5.2 - KENARLARINDAN SABİT MESNETLİ MERKEZİ TEKİL
YÜKLÜ DAİRESEL PLAK**

```
clear all; clc; format long;
set(0,'defaultLineLineWidth',1.0, 'DefaultTextFontSize',16,...
    'defaultTextFontName', 'Times New Roman',...
    'defaultAxesFontName', 'Times New Roman','DefaultAxesFontSize',16,...
    'defaultLineMarkerSize',8)
%PLAK VERİLERİ
a=2; %Plak Yarıçapı (m)
ab=0; %Boşluk yarıçapı (m)
p=60; % Plak tekil yük değeri (kN)
elm=20; %Sonlu eleman sayısı
v=.3; %Poisson oranı
h=.1; %Plak kalınlığı (m)
z={h/2,3*h/8,h/4,h/8}; %Plak kesit seviyeleri
E=3e7; %Elastisite modülü (kN/m2)
D1=E*h^3/(12*(1-v^2)); %Plak eğilme rijitliği
S=E*h/(2*(1+v)); %Plak kayma rijitliği
D=[D1 v*D1 0; v*D1 D1 0; 0 0 S]; %Plak rijitlik matrisi
n=3*elm-(elm-1); %Eleman sayısına göre düğüm noktası sayısı
m1=2*n; %Toplam serbestlik sayısı
m2=3*n; %Toplam kesit tesiri sayısı
K=zeros(m1,m1); %Sistem Rijitlik matrisinin boyutlarının belirlenmesi
M=zeros(m2,1); %Sistem Moment vektörünün boyutlarının belirlenmesi
Egr=zeros(m2,1); %Sistem Eğrilik vektörünün boyutlarının belirlenmesi
d=zeros(m1,1); %Deplasman matrisinin oluşturulması
%Kuvvet matrisinin kurulması
F=zeros(m1,1);
syms ksi x %Lokal ve Global değişkenlerin atanması
```

```

%Düğüm noktası koordinatları
s=(a-ab)/(n-1); %Düğüm noktaları arasındaki mesafe
xi=ab:s:a; xi=xi'; %Düğüm noktaları koordinat matrisi
N={-.5*ksi*(1-ksi), 1-ksi^2, .5*ksi*(1+ksi)}; %Şekil fonksiyonu
Ni=[N{1} 0 N{2} 0 N{3} 0; 0 N{1} 0 N{2} 0 N{3}];
qe=p*[1;0];
%VİSKOELASTİK VERİLER
tson=100; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e7; k1=.75e7; 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);
%Rijitlik matrisinin kurulması
for h=1:2:n-2
    J=0;
    for i=1:3
        tN=diff(N{i},ksi);
        Ji=tN*xi(h-1+i,1);
        J=J+Ji;
    end
    x=0;
    for i=1:3
        xxi=N{i}*xi(h-1+i,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];

```

```

ki=2*pi*Bi'*D*Bi*x*J;
k=subs(ki,ksi,-1/3^.5)+subs(ki,ksi,1/3^.5);
fd=2*pi*Ni'*qe*x*J;
y1=2*h-1;
for i=1:4:m1-5
    if i==y1
        K(i:i+5,i:i+5)=K(i:i+5,i:i+5)+k;
    end
end
end
end
%Rijitlik matrisi Mesnet şartlarının belirlenmesi
K(2,:)=[];
K(:,2)=[];
K(end-1,:)=[];
K(:,end-1)=[];
%Kuvvet matrisinin kurulması
F(2,:)=[];
F(end-1,:)=[];
F(1,1)=p;
%Düğüm noktaları deplasman ve kesit dönmeleri
ds=K\F;
d(1,1)=ds(1,1);
d(3:end-2,1)=ds(2:end-1,1);
d(end,1)=ds(end,1);
dw=zeros(n,1); wtimo=zeros(n,1);
for i=1:n
    dw(i,1)=dw(i,1)+d(2*i-1,1);
    wtimo(i,1)=wtimo(i,1)+p/(16*pi*D1)*((3+v)/(1+v)*(a^2-xi(i,1)^2....
        +2*xi(i,1)^2*log10(xi(i,1)/a)));
end
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,dw,'r-o',xi,wtimo,'b-s')

```

```

xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('SEM', 'Timoshenko (1959)', 'Location','NorthOutside',...
    'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
%İÇ KUVVETLER VE EĞRİLİK VEKTÖRLERİNİN HESABI
syms ksi x
for i=1:2:n-2
    ksii=2*(x-xi(i+1,1))/(xi(i+2,1)-xi(i,1));
    J=0;
    for j=1:3
        tN=diff(N{j},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+j,1);
        J=J+Ji;
    end
    Bs=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    DBi=subs(D*B,ksi,ksii);
    B=subs(Bs,ksi,ksii);
    DB=[subs(DBi,x,xi(i,1)); subs(DBi,x,xi(i+1,1)); subs(DBi,x,xi(i+2,1))];
    Egrj=[subs(B,x,xi(i,1)); subs(B,x,xi(i+1,1)); subs(B,x,xi(i+2,1))];
    Mss=DB*d(2*i-1:2*i+4,1); Egri=-Egrj*d(2*i-1:2*i+4,1);
    M(3*i-2:3*i+6,1)=M(3*i-2:3*i+6,1)+Mss;
    Egr(3*i-2:3*i+6,1)=Egr(3*i-2:3*i+6,1)+Egri;
end
for i=7:6:m2-8
    M(i,1)=M(i,1)/2; M(i+1,1)=M(i+1,1)/2; M(i+2,1)=M(i+2,1)/2;
    Egr(i,1)=Egr(i,1)/2; Egr(i+1,1)=Egr(i+1,1)/2; Egr(i+2,1)=Egr(i+2,1)/2;
end
Egr(2,1)=Egr(1,1);

```

```

M(1,1)=-Egr(1,1)*D1*(1+v);
M(2,1)=M(1,1);
Mrtimo=zeros(n,1); Mttimo=zeros(n,1);
for i=1:n
Mrtimo(i,1)=Mrtimo(i,1)+p/(4*pi)*(1+v)*log(a/xi(i,1));
Mttimo(i,1)=Mttimo(i,1)+p/(4*pi)*((1+v)*log(a/xi(i,1))+1-v);
end
Mr=M(1:3:m2-2); Mt=M(2:3:m2-1); Q=M(3:3:m2);
Egrr=Egr(1:3:m2-2); Egrt=Egr(2:3:m2-1); Egrq=Egr(3:3:m2);
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,Mr,'r-o',xi,Mrtimo,'b-s',xi,Mt,'g-d',xi,Mttimo,'c-x')
    xlabel('r (m)')
    ylabel('Moment (kN.m)')
    leg=legend('M_r (SEM)', 'M_r (Timoshenko, 1959)', 'M_t (SEM)',...
        'M_t (Timoshenko,1959)','Location','NorthOutside',...
        'Orientation','Horizontal');
    set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
%VISKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssl=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1);
wtm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrri=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));

```

```

end
wrrd=wrr0; wttt=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wrrm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wttm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
+v*Ev*wttt/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wttt)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wttm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wrrm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wttt*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wttt)...
+v*Ev*wrrd/wttt-k1v*v/wttt*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
wrrd=wrr; wttt=wtt;
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
+v*Ev*wttt/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wttt)));

```

```

wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wtt*d*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wtt*d)...
+v*Ev*wrrd/wtt*d-k1v*v/wtt*d*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
end
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
wrrd=wrr; wtt*d=wtt;
end
wssl(:,k)=wrrm;
wssl(:,k+1)=wttm;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssn=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1); wttm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrrl=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrrl; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;

```

```

C1=0; C3=0;
wrrd=wrr0; wtt0=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wrr0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wrrm(i+1,1)*(abs(wrrm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C1=wtt0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2i=2*((wttm(j+1,1))*(abs(wrrm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2i+C2;
    end
    B3=wtt0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B4=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B4i=2*(wttm(i+1,1)*(abs(wttm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B4=B4i+B4;
    end
    C3=wrr0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C4=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C4j=2*((wrrm(j+1,1))*(abs(wttm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C4=C4j+C4;
    end
    wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
        -1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
        +E*I0*v*wtt0/wrrd-k0*Ip0*v*wtt0/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
        +k1*Ip1*v*wtt0/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...

```

```

-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtt*(abs(wrrd))^(p1-1)));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtt))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtt*(abs(wtt))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wtt-k0*Ip0*v*wrrd/wtt*(abs(wtt))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wtt*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wtt))^(p1-1)));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
wrrd=wrr; wtt=wtt;
wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtt/wrrd-k0*Ip0*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtt*(abs(wrrd))^(p1-1)));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtt))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtt*(abs(wtt))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wtt-k0*Ip0*v*wrrd/wtt*(abs(wtt))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wtt*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wtt))^(p1-1)));
end
wrrd=wrr; wtt=wtt;
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
end
wssn(:,k)=wrrm;
wssn(:,k+1)=wttm;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
wrrvis=zeros(sson,elm); wttvis=zeros(sson,elm);
dvisl=zeros(sson,n); dviss=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wrr1=wssl(:,4+6*(i-1)); wtt1=wssl(:,5+6*(i-1));
wrrvis(:,i)=wrrvis(:,i)+wrr1;
wttvis(:,i)=wttvis(:,i)+wtt1;

```

```

end
for j=1:sson
    fvis=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-wrrvis(j,i); -wttvis(j,i); 0];
        J=0; x=0;
        for k=1:3
            tN=diff(N{k},ksi);
            Ji=tN*xi(i-1+k,1);
            J=J+Ji;
            xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
            x=x+xxi;
        end
        Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
            0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
        Bvis=2*pi*x*J*Bi*D;
        Avis=2*subs(Bvis*wwi,ksi,0);
        if i==1
            fvis(i:i+5,1)=fvis(i:i+5,1)+Avis;
        else
            fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avis;
        end
    end
    fvis(2,:)=[]; fvis(end-1,:)=[];
    dvis=K\fvis;
    dviss(1,1)=dvis(1,1); dviss(2,1)=0; dviss(3:end-2,1)=dvis(2:end-1,1);
    dviss(end,1)=dvis(end,1);
    for i=1:n
        dvisl(j,i)=dvisl(j,i)+dviss(2*(i-1)+1,1);
    end
end
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları

```

```

wrrvis=zeros(sson,elm); wttvis=zeros(sson,elm);
dvisn=zeros(sson,n); dvissn=zeros(m1,1);
for i=1:elm
    wrr1=wssn(:,4+6*(i-1)); wtt1=wssn(:,5+6*(i-1));
    wrrvis(:,i)=wrrvis(:,i)+wrr1;
    wttvis(:,i)=wttvis(:,i)+wtt1;
end
for j=1:sson
    fvis=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-wrrvis(j,i); -wttvis(j,i); 0];
        J=0; x=0;
        for k=1:3
            tN=diff(N{k},ksi);
            Ji=tN*xi(i-1+k,1);
            J=J+Ji;
            xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
            x=x+xxi;
        end
        Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
            0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi...
            -.5*J*(ksi+1/3)];
        Bvis=2*pi*x*J*Bi'*D;
        Avis=2*subs(Bvis*wwi,ksi,0);
        if i==1
            fvis(i:i+5,1)=fvis(i:i+5,1)+Avis;
        else
            fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvis(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avis;
        end
    end
end
fvis(2,:)=[]; fvis(end-1,:)=[];
dvis=K\fvis;

```

```

    dvissn(1,1)=dvis(1,1); dvissn(2,1)=0; dvissn(3:end-2,1)=dvis(2:end-1,1);
    dvissn(end,1)=dvis(end,1);
    for i=1:n
        dvisn(j,i)=dvisn(j,i)+dvissn(2*(i-1)+1,1);
    end
end
%Linear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgml=zeros(sson,m2);
    for i=1:sson
        Sgmlhv=zeros(1,m2);
        for k=1:3:m2
            wssld=-z{hi}*[wssl(i,k); wssl(i,k+1); 0];
            wssl0=-z{hi}*[wssl(1,k); wssl(1,k+1); 0];
            H2=0;
            for j=1:(i-1)
                H2j=2*(-z{hi}*[wssl(j+1,k); wssl(j+1,k+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,k:k+2)=Sgmlhv(1,k:k+2)+Sgmlh';
        end
        Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
    end
    Sgml1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgml;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgmn=zeros(sson,m2);
    for i=1:sson
        Sgmnhv=zeros(1,m2);
        for k=1:3:m2

```

```

defnd=-z{hi}*[wssn(i,k); wssn(i,k+1); 0];
defn0=-z{hi}*[wssn(1,k); wssn(1,k+1); 0];
H3=0;
for j=1:(i-1)
    H3j=2*(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0].*...
        abs(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H3=H3j+H3;
end
Sgmnh=A*Dxx*(E*defnd-k0*defnd.*abs(defnd).^(p0-1)+k1*defnd.*...
    abs(defnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*defn0.*abs(defn0).^(p1-1)+...
    H3+defnd.*abs(defnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,k:k+2)=Sgmnhv(1,k:k+2)+Sgmnh';
end
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end
Sgmn1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgmn;
end
%GRAFİKLER
tfg={1, (sson-1)*.25+1, (sson-1)*.5+1,(sson-1)*.75+1, sson};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisl(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisl(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisl(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Lin. Viskoelastik (t=0)',...
    '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisn(tfg{1},:),'b-s',...

```

```

xi(:,1), dvisn(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisn(tfg{3},:),'k-^',...
xi(:,1), dvisn(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisn(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Non. Viskoelastik (t=0)',...
'(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),wssn(:,2),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Teğetsel Eğrilik')
leg=legend('Lineer viskoelastik eğrilik',...
'Nonlinear viskoelastik eğrilik',...
'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),dvisl(:,1),'r-o',ti(:,1),dvisn(:,1),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deplasman - w(m)')
leg=legend('Lineer', 'Nonlinear',...
'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssl(:,2),...
'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssl(:,2),'g-d',ti(:,1),...
-z{4}*wssl(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...

```

```

'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssn(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssn(:,2),...
'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssn(:,2),'g-d',ti(:,1),-z{4}*wssn(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
tfi={1,2,3,4};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgml1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgml1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm',...
'z = 12,5 mm','Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgmn1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgmn1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)

```

**Ek-4: Kenarlarından ankastre mesnetli üniform yayılı yüklü ince dairesel plak
(Bölüm 5.3)**

%BÖLÜM 5.3

clear all; clc; format long;

set(0,'defaultLineLineWidth',1.0, 'DefaultTextFontSize',16,...

 'defaultTextFontName', 'Times New Roman',...

 'defaultAxesFontName', 'Times New Roman','DefaultAxesFontSize',16,...

 'defaultLineMarkerSize',8)

%PLAK VERİLERİ

q=5; % Plak yayılı yük değeri (kN/m²)

r=2; %Plak Yarıçapı (m)

rb=0; %Boşluk yarıçapı (m)

elm=50; %Sonlu eleman sayısı

v=.3; %Poisson oranı

t=.1; %Plak kalınlığı (m)

z={t/2,3*t/8,t/4,t/8};

E=3e7; %Elastisite modülü (kN/m²)

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

S=E*t/(2*(1+v)); %Plak kayma rijitliği

D=[D1 v*D1 0; v*D1 D1 0; 0 0 S]; %Plak rijitlik matrisi

n=3*elm-(elm-1); %Eleman sayısına göre düğüm noktası sayısı

m1=2*n;

m2=3*n;

%düğüm noktaları serbestlik sayısı

K=zeros(m1,m1); %Sistem Rijitlik matrisinin boyutlarının belirlenmesi

M=zeros(m2,1); %Sistem Moment vektörünün boyutlarının belirlenmesi

Egr=zeros(m2,1); %Sistem Eğrilik vektörünün boyutlarının belirlenmesi

```

d=zeros(m1,1); %Deplasman matrisinin oluşturulması
%Kuvvet matrisinin kurulması
F=zeros(m1,1);
syms ksi x %Lokal ve Global değişkenlerin atanması
%Düğüm noktası koordinatları
s=(r-rb)/(n-1); %Düğüm noktaları arasındaki mesafe
xi=rb:s:r; xi=xi'; %Düğüm noktaları koordinat matrisi
N={-.5*ksi*(1-ksi), 1-ksi^2, .5*ksi*(1+ksi)}; %Şekil fonksiyonu
Ni=[N{1} 0 N{2} 0 N{3} 0; 0 N{1} 0 N{2} 0 N{3}];
qe=q*[1;0];
%Rijitlik matrisinin kurulması
for h=1:2:n-2
    J=0;
    for i=1:3
        tN=diff(N{i},ksi);
        Ji=tN*xi(h-1+i,1);
        J=J+Ji;
    end
    x=0;
    for i=1:3
        xxi=N{i}*xi(h-1+i,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    ki=2*pi*Bi'*D*Bi*x*J;
    k=subs(ki,ksi,-1/3^.5)+subs(ki,ksi,1/3^.5);
    fd=2*pi*Ni'*qe*x*J;
    f=2*subs(fd,ksi,0);
    y1=2*h-1;
    for i=1:4:m1-5

```

```

    if i==y1
        K(i:i+5,i:i+5)=K(i:i+5,i:i+5)+k;
        F(i:i+5,1)=F(i:i+5,1)+f;
    end
end
end
%Rijitlik matrisi Mesnet şartlarının belirlenmesi
K(2,:)=[];
K(:,2)=[];
K(end-1:end,:)=[];
K(:,end-1:end)=[];
%Kuvvet matrisinin kurulması
F(2,:)=[];
F(end-1:end,:)=[];
%Düğüm noktaları deplasman ve kesit dönmeleri
ds=K\F;
d(1,1)=ds(1,1);
d(3:end-2,1)=ds(2:end,1);
dw=zeros(n,1); wtimo=zeros(n,1);
for i=1:n
    dw(i,1)=dw(i,1)+d(2*i-1,1);
    wtimo(i,1)=wtimo(i,1)+q/(64*D1)*(r^2-xi(i,1)^2)^2;
end
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,-dw,'r-o',xi,-wtimo,'b-s')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('SEM', 'Timoshenko (1959)', 'Location', 'NorthOutside', ...
    'Orientation', 'Horizontal');
set(leg, 'FontName', 'Times New-Roman', 'FontSize', 14)
hold off
%Genel Moment ve Eğrilikleri

```

```

syms ksi x
for i=1:2:n-2
    ksii=2*(x-xi(i+1,1))/(xi(i+2,1)-xi(i,1));
    J=0;
    for j=1:3
        tN=diff(N{j},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+j,1);
        J=J+Ji;
    end
    Bs=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    DBi=subs(D*B,ksi,ksii);
    B=subs(Bs,ksi,ksii);
    DB=[subs(DBi,x,xi(i,1)); subs(DBi,x,xi(i+1,1)); subs(DBi,x,xi(i+2,1))];
    Egrj=[subs(B,x,xi(i,1)); subs(B,x,xi(i+1,1)); subs(B,x,xi(i+2,1))];
    Mss=DB*d(2*i-1:2*i+4,1); Egri=-Egrj*d(2*i-1:2*i+4,1);
    M(3*i-2:3*i+6,1)=M(3*i-2:3*i+6,1)+Mss;
    Egr(3*i-2:3*i+6,1)=Egr(3*i-2:3*i+6,1)+Egri;
end
for i=7:6:m2-8
    M(i,1)=M(i,1)/2; M(i+1,1)=M(i+1,1)/2; M(i+2,1)=M(i+2,1)/2;
    Egr(i,1)=Egr(i,1)/2; Egr(i+1,1)=Egr(i+1,1)/2; Egr(i+2,1)=Egr(i+2,1)/2;
end
Egr(2,1)=Egr(1,1);
Mj=M(5,1)-(v+(1-2*v)*(r-s/2)/r)*((M(3,1)+M(6,1))*s/2);
M(1,1)=Mj;
M(2,1)=M(1,1);
Mrtimo=zeros(n,1); Mttimo=zeros(n,1);
for i=1:n
    Mrtimo(i,1)=Mrtimo(i,1)+q/16*(r^2*(1+v)-xi(i,1)^2*(3+v));
    Mttimo(i,1)=Mttimo(i,1)+q/16*(r^2*(1+v)-xi(i,1)^2*(1+3*v));
end

```

```

end
Mr=M(1:3:m2-2); Mt=M(2:3:m2-1); Q=M(3:3:m2);
Egrr=Egr(1:3:m2-2); Egrt=Egr(2:3:m2-1); Egrq=Egr(3:3:m2);
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,Mr,'r-o',xi,Mrtimo,'b-s',xi,Mt,'g-d',xi,Mttimo,'c-x')
    xlabel('r (m)')
    ylabel('Moment (kN.m)')
    leg=legend('M_r (SEM)', 'M_r (Timoshenko, 1959)', 'M_t (SEM)',...
        'M_t (Timoshenko,1959)','Location','NorthOutside',...
        'Orientation','Horizontal');
    set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%VERİLER
tson=100; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
h=t; k0=1e7; k1=.75e7; 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
wssl=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1);
wttm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrri=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));

```

```

while abs(wrr0-wrre)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
end
wrrd=wrr0; wttdd=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wrrm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wttm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
+v*Ev*wttdd/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wttdd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wttm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wrrm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wttdd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wttdd)...
+v*Ev*wrrd/wttdd-k1v*v/wttdd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));

```

```

while abs(wrr-wrrd)>10^-7
wrrd=wrr; wtt=wttd;
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
+v*Ev*wttd/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wttd)));
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wtt*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wttd)...
+v*Ev*wrrd/wtt-k1v*v/wtt*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
end
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
wrrd=wrr; wtt=wttd;
end
wssl(:,k)=wrrm;
wssl(:,k+1)=wttm;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssn=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1); wttm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrri=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...

```

```

+ E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wrrd=wrr0; wtt0=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wrr0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wrrm(i+1,1)*(abs(wrrm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C1=wtt0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2i=2*((wttm(j+1,1))*(abs(wrrm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2i+C2;
    end
    B3=wtt0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B4=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B4i=2*(wttm(i+1,1)*(abs(wttm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B4=B4i+B4;
    end
    C3=wrr0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C4=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C4j=2*((wrrm(j+1,1))*(abs(wttm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C4=C4j+C4;
    end
end

```

```

wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtttd/wrrd-k0*Ip0*v*wtttd/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtttd/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtttd*(abs(wrrd))^(p1-1))));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtttd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wtttd-k0*Ip0*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wtttd))^(p1-1))));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtttd/wrrd-k0*Ip0*v*wtttd/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtttd/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtttd*(abs(wrrd))^(p1-1))));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtttd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wtttd-k0*Ip0*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wtttd*(abs(wtttd))^(p1-1)...
-1/wtttd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wtttd))^(p1-1))));
end
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
end
wssn(:,k)=wrrm;
wssn(:,k+1)=wttm;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
Egr0=zeros(elm,1); Egrt0=zeros(elm,1);
for i=2:2:n-1

```

```

Egrr0(i/2,1)=Egrr0(i/2,1)+Egrr(i,1);
Egrt0(i/2,1)=Egrt0(i/2,1)+Egrt(i,1);
end
wrrvisl=zeros(sson,elm); wttvisl=zeros(sson,elm);
dvisl=zeros(sson,n); dvissl=zeros(m1,1);
for i=1:elm
    wrr1l=wssl(:,4+6*(i-1)); wtt1l=wssl(:,5+6*(i-1));
    wrrvisl(:,i)=wrrvisl(:,i)+wrr1l;
    wttvisl(:,i)=wttvisl(:,i)+wtt1l;
end
fvisl=zeros(m1,1);
wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
    wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisl(1,i))'-(Egrr0(i,1)))+...
        -((wttvisl(1,i))'-(Egrt0(i,1)))+0];
end
for i=1:elm
    J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
    Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
    else

```

```

    fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
end
end
fvisl(2,:)=[]; fvisl(end-1:end,:)=[];
dvisll0=K\fvisl+ds;
dvissl(1,1)=dvisll0(1,1); dvissl(2,1)=0; dvissl(3:end-2,1)=dvisll0(2:end,1);
for ijk=1:n;
    dvisl(1,ijk)=dvisl(1,ijk)+(dvissl(2*(ijk-1)+1,1))';
end
dvisld=dvisll0;
for j=2:sson
    fvisl=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-(wrrvisl(j,i)-wrrvisl(j-1,i)); -(wttvisl(j,i)-wttvisl(j-1,i)); 0];
        J=0; x=0;
        for k=1:3
            tN=diff(N{k},ksi);
            Ji=tN*xi(i-1+k,1);
            J=J+Ji;
            xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
            x=x+xxi;
        end
        Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
            0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
        Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
        Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
        if i==1
            fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
        else
            fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
        end
    end
end
end

```

```

fvisl(2,:)=[]; fvisl(end-1:end,:)=[];
dvisll=K\fvisl+dvisld;
dvissl(1,1)=dvisll(1,1); dvissl(2,1)=0; dvissl(3:end-2,1)=dvisll(2:end,1);
for i=1:n
    dvisl(j,i)=dvisl(j,i)+dvissl(2*(i-1)+1,1);
end
dvisld=dvisll;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
wrrvisn=zeros(sson,elm); wttvisn=zeros(sson,elm);
dvisn=zeros(sson,n); dvisn=zeros(m1,1);
for i=1:elm
    wrr1n=wssn(:,4+6*(i-1)); wtt1n=wssn(:,5+6*(i-1));
    wrrvisn(:,i)=wrrvisn(:,i)+wrr1n;
    wttvisn(:,i)=wttvisn(:,i)+wtt1n;
end
fvisn=zeros(m1,1);
wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
    wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisn(1,i))'-(Egrr0(i,1)));\dots
        -((wttvisn(1,i))'-(Egrt0(i,1)));\dots];
end
for i=1:elm
    J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...\dots

```

```

0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
    else
        fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
    end
end
fvisn(2,:)=[]; fvisn(end-1:end,:)=[];
dvisnn0=K\fvisn+ds;
dvisnn(1,1)=dvisnn0(1,1); dvisnn(2,1)=0; dvisnn(3:end-2,1)=dvisnn0(2:end,1);
for ijk=1:n;
    dvisn(1,ijk)=dvisn(1,ijk)+(dvisnn(2*(ijk-1)+1,1))';
end
dvisnd=dvisnn0;
for j=2:sson
    fvisn=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-(wrrvisn(j,i)-wrrvisn(j-1,i)); -(wttvisn(j,i)-wttvisn(j-1,i)); 0];
        J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
    Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);

```

```

if i==1
fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
else
fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
end
end
fvisn(2,:)=[]; fvisn(end-1:end,:)=[];
dvisnn=K\fvisn+dvisnd;
dvisnn(1,1)=dvisnn(1,1); dvisnn(2,1)=0; dvisnn(3:end-2,1)=dvisnn(2:end,1);
for i=1:n
dvisn(j,i)=dvisn(j,i)+dvisnn(2*(i-1)+1,1);
end
dvisnd=dvisnn;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
Sgml=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
Sgmlhv=zeros(1,m2);
for k=1:3:m2
wssld=-z{hi}*[wssl(i,k); wssl(i,k+1); 0];
wssl0=-z{hi}*[wssl(1,k); wssl(1,k+1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
H2j=2*(-z{hi}*[wssl(j+1,k); wssl(j+1,k+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,k:k+2)=Sgmlhv(1,k:k+2)+Sgmlh';
end
Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
end

```

```

Sgml1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgml;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
Sgmn=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
    Sgmnhv=zeros(1,m2);
    for k=1:3:m2
defnd=-z{hi}*[wssn(i,k); wssn(i,k+1); 0];
defn0=-z{hi}*[wssn(1,k); wssn(1,k+1); 0];
H3=0;
for j=1:(i-1)
    H3j=2*(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0]).*...
        abs(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H3=H3j+H3;
end
Sgmnh=A*Dxx*(E*defnd-k0*defnd.*abs(defnd).^(p0-1)+k1*defnd.*...
    abs(defnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*defn0.*abs(defn0).^(p1-1)+...
    H3+defnd.*abs(defnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,k:k+2)=Sgmnhv(1,k:k+2)+Sgmnh';
end
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end
Sgmn1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgmn;
end
%GRAFİKLER
tfg={ 1, (sson-1)*.25+1, (sson-1)*.5+1,(sson-1)*.75+1, sson};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),-dw,'r-o', xi(:,1), -dvisl(tfg{ 1 },:),'b-s',...
    xi(:,1), -dvisl(tfg{ 2 },:),'g-d', xi(:,1), -dvisl(tfg{ 3 },:),'y-^',...
    xi(:,1), -dvisl(tfg{ 4 },:),'m-v', xi(:,1), -dvisl(tfg{ 5 },:),'c-x')
xlabel('r (m)')

```

```

ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Lin. Viskoelastik (t=0)',...
'(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),-dw,'r-o', xi(:,1), -dvisn(tfg{1},:),'b-s',...
xi(:,1), -dvisn(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), -dvisn(tfg{3},:),'y-^',...
xi(:,1), -dvisn(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), -dvisn(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Non. Viskoelastik (t=0)',...
'(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-wssl(:,1),'r-o',ti(:,1),-wssn(:,1),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Radyal (-wrr), Teğetsel (-wtt)')
leg=legend('Lineer viskoelastik eğrilik',...
'Nonlinear viskoelastik eğrilik',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),dvisl(:,1),'r-o',ti(:,1),dvisn(:,1),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deplasman - w(m)')
leg=legend('Lineer', 'Nonlinear',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssl(:,1),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssl(:,1),...

```

```

'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssl(:,1),'g-d',ti(:,1),...
-z{4}*wssl(:,1),'y-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssn(:,1),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssn(:,1),...
'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssn(:,1),'g-d',ti(:,1),-z{4}*wssn(:,1),'y-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
tfi={1,2,3,4};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{1}-1)*m2+1),'r-o',ti(:,1),...
Sgml1(:,(tfi{2}-1)*m2+1), 'b-s',ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{3}-1)*m2+1),...
'g-d',ti(:,1), Sgml1(:,(tfi{4}-1)*m2+1),'y-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm',...
'z = 12,5 mm','Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{1}-1)*m2+1),'r-o',ti(:,1),...
Sgmn1(:,(tfi{2}-1)*m2+1), 'b-s',ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{3}-1)*m2+1),...
'g-d',ti(:,1), Sgmn1(:,(tfi{4}-1)*m2+1),'y-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...

```

```
'Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');  
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
```

Ek-5: Kenarlarından ankastre mesnetli merkezinden tekil yüklü ince dairesel plak (Bölüm 5.4)

%BÖLÜM 5.4 - KENARLARINDAN ANKASTRE MESNETLİ MERKEZİ TEKİL YÜKLÜ DAİRESEL

%PLAK

clear all; clc; format long;

set(0,'defaultLineLineWidth',1.0, 'DefaultTextFontSize',16,...

'defaultTextFontName', 'Times New Roman',...

'defaultAxesFontName', 'Times New Roman','DefaultAxesFontSize',16,...

'defaultLineMarkerSize',8)

%PLAK VERİLERİ

a=5; %Plak Yarıçapı (m)

ab=0; %Boşluk yarıçapı (m)

p=60; % Plak tekil yük değeri (kN)

elm=20; %Sonlu eleman sayısı

v=.3; %Poisson oranı

h=.1; %Plak kalınlığı (m)

z={h/2,3*h/8,h/4,h/8}; %Plak kesit seviyeleri

E=3e7; %Elastisite modülü (kN/m²)

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

S=E*h/(2*(1+v)); %Plak kayma rijitliği

D=[D1 v*D1 0; v*D1 D1 0; 0 0 S]; %Plak rijitlik matrisi

n=3*elm-(elm-1); %Eleman sayısına göre düğüm noktası sayısı

m1=2*n; %Toplam serbestlik sayısı

m2=3*n; %Toplam kesit tesiri sayısı

K=zeros(m1,m1); %Sistem Rijitlik matrisinin boyutlarının belirlenmesi

M=zeros(m2,1); %Sistem Moment vektörünün boyutlarının belirlenmesi

Egr=zeros(m2,1); %Sistem Eğrilik vektörünün boyutlarının belirlenmesi

d=zeros(m1,1); %Deplasman matrisinin oluşturulması

%Kuvvet matrisinin kurulması

F=zeros(m1,1);

```

syms ksi x %Lokal ve Global değişkenlerin atanması
%Düğüm noktası koordinatları
s=(a-ab)/(n-1); %Düğüm noktaları arasındaki mesafe
xi=ab:s:a; xi=xi'; %Düğüm noktaları koordinat matrisi
N={-.5*ksi*(1-ksi), 1-ksi^2, .5*ksi*(1+ksi)}; %Şekil fonksiyonu
Ni=[N{1} 0 N{2} 0 N{3} 0; 0 N{1} 0 N{2} 0 N{3}];
qe=p*[1;0];
%VİSKOELASTİK VERİLER
tson=100; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e7; k1=.75e7; 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);
%Rijitlik matrisinin kurulması
for h=1:2:n-2
    J=0; x=0;
    for i=1:3
        tN=diff(N{i},ksi);
        Ji=tN*xi(h-1+i,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{i}*xi(h-1+i,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    ki=2*pi*Bi'*D*Bi*x*J;
    k=subs(ki,ksi,-1/3^.5)+subs(ki,ksi,1/3^.5);

```

```

y1=2*h-1;
for i=1:4:m1-5
    if i==y1
        K(i:i+5,i:i+5)=K(i:i+5,i:i+5)+k;
    end
end
end
end
%Rijitlik matrisi Mesnet şartlarının belirlenmesi
K(2,:)=[];
K(:,2)=[];
K(end-1:end,:)=[];
K(:,end-1:end)=[];
%Kuvvet matrisinin kurulması
F(2,:)=[];
F(end-1:end,:)=[];
F(1,1)=p;
%Düğüm noktaları deplasman ve kesit dönmeleri
ds=K\F;
d(1,1)=ds(1,1);
d(3:end-2,1)=ds(2:end,1);
dw=zeros(n,1); wtimo=zeros(n,1);
for i=1:n
    dw(i,1)=dw(i,1)+d(2*i-1,1);
    wtimo(i,1)=wtimo(i,1)+p*xi(i,1)^2/(8*pi*D1)*log(xi(i,1)/a)...
        +p/(16*pi*D1)*(a^2-xi(i,1)^2);
end
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,dw,'r-o',xi,wtimo,'b-s')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('SEM', 'Timoshenko (1959)', 'Location', 'NorthOutside',...
    'Orientation', 'Horizontal');

```

```

set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
%İÇ KUVVETLER VE EĞRİLİK VEKTÖRLERİNİN HESABI
syms ksi x
for i=1:2:n-2
    ksii=2*(x-xi(i+1,1))/(xi(i+2,1)-xi(i,1));
    J=0;
    for j=1:3
        tN=diff(N{j},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+j,1);
        J=J+Ji;
    end
    Bs=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    DBi=subs(D*B,ksi,ksii);
    B=subs(B,ksi,ksii);
    DB=[subs(DBi,x,xi(i,1)); subs(DBi,x,xi(i+1,1)); subs(DBi,x,xi(i+2,1))];
    Egrj=[subs(B,x,xi(i,1)); subs(B,x,xi(i+1,1)); subs(B,x,xi(i+2,1))];
    Mss=DB*d(2*i-1:2*i+4,1); Egri=-Egrj*d(2*i-1:2*i+4,1);
    M(3*i-2:3*i+6,1)=M(3*i-2:3*i+6,1)+Mss;
    Egr(3*i-2:3*i+6,1)=Egr(3*i-2:3*i+6,1)+Egri;
end
for i=7:6:m2-8
    M(i,1)=M(i,1)/2; M(i+1,1)=M(i+1,1)/2; M(i+2,1)=M(i+2,1)/2;
    Egr(i,1)=Egr(i,1)/2; Egr(i+1,1)=Egr(i+1,1)/2; Egr(i+2,1)=Egr(i+2,1)/2;
end
Egr(2,1)=Egr(1,1);
M(1,1)=-Egr(1,1)*D1*(1+v);
M(2,1)=M(1,1);
Mrtimo=zeros(n,1); Mttimo=zeros(n,1);
for i=1:n

```

```

Mrtimo(i,1)=Mrtimo(i,1)+p/(4*pi)*((1+v)*log(a/xi(i,1))-1);
Mttimo(i,1)=Mttimo(i,1)+p/(4*pi)*((1+v)*log(a/xi(i,1))-v);
end
Mr=M(1:3:m2-2); Mt=M(2:3:m2-1); Q=M(3:3:m2);
Egrr=Egr(1:3:m2-2); Egrt=Egr(2:3:m2-1); Egrq=Egr(3:3:m2);
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,Mr,'r-o',xi,Mrtimo,'b-s',xi,Mt,'g-d',xi,Mttimo,'c-x')
    xlabel('r (m)')
    ylabel('Moment (kN.m)')
    leg=legend('M_r (SEM)', 'M_r (Timoshenko, 1959)', 'M_t (SEM)',...
        'M_t (Timoshenko,1959)','Location','NorthOutside',...
        'Orientation','Horizontal');
    set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssl=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1);
wtm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrr=Egr(k,1); wti=Egr(k+1,1);
wrre=wrr; wtte=wti;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
end
wrrd=wrr0; wtt=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wtm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson

```

```

B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wrrm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wttm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C1=C1j+C1;
end
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
    +v*Ev*wttm/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wttm)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wttm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wrrm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wttm*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wttm)...
    +v*Ev*wrrd/wttm-k1v*v/wttm*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
    wrrd=wrr; wttm=wtt;
    wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
        +v*Ev*wttm/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wttm)));
    wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wttm*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wttm)...
        +v*Ev*wrrd/wttm-k1v*v/wttm*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
end
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;

```

```

wrrd=wrr; wtt d=wtt;
end
wssl(:,k)=wrrm;
wssl(:,k+1)=wttm;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssn=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1); wttm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrri=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wrrd=wrr0; wtt d=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson

```

```

B1=wrr0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wrrm(i+1,1)*(abs(wrrm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C1=wtt0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2i=2*((wttm(j+1,1))*(abs(wrrm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2i+C2;
end
B3=wtt0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B4=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B4i=2*(wttm(i+1,1)*(abs(wttm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B4=B4i+B4;
end
C3=wrr0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C4=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C4j=2*((wrrm(j+1,1))*(abs(wttm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C4=C4j+C4;
end
wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtt/wrrd-k0*Ip0*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtt*(abs(wrrd))^(p1-1))));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wttdd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wttdd))^(p1-1))...
-1/wttdd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wttdd*(abs(wttdd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrr/wttdd-k0*Ip0*v*wrr/wttdd*(abs(wttdd))^(p0-1))...

```

```

+k1*Ip1*v*wrrd/wttdd*(abs(wttdd)^(p1-1)...
-1/wttdd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wttdd)^(p1-1))));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
wrrd=wrr; wttdd=wtt;
wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd)^(p0-1))+k1*Ip1*(abs(wrrd)^(p1-1))...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd)^(p1-1))...
+E*I0*v*wttdd/wrrd-k0*Ip0*v*wttdd/wrrd*(abs(wrrd)^(p0-1))...
+k1*Ip1*v*wttdd/wrrd*(abs(wrrd)^(p1-1))...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wttdd*(abs(wrrd)^(p1-1))));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wttdd)^(p0-1))+k1*Ip1*(abs(wttdd)^(p1-1))...
-1/wttdd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wttdd*(abs(wttdd)^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wttdd-k0*Ip0*v*wrrd/wttdd*(abs(wttdd)^(p0-1))...
+k1*Ip1*v*wrrd/wttdd*(abs(wttdd)^(p1-1))...
-1/wttdd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wttdd)^(p1-1))));
end
wrrd=wrr; wttdd=wtt;
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
end
wssn(:,k)=wrrm;
wssn(:,k+1)=wttm;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
Egrr0=zeros(elm,1); Egrt0=zeros(elm,1);
for i=2:2:n-1
Egrr0(i/2,1)=Egrr0(i/2,1)+Egrr(i,1);
Egrt0(i/2,1)=Egrt0(i/2,1)+Egrt(i,1);
end
wrrvisl=zeros(sson,elm); wttvisl=zeros(sson,elm);
dvisl=zeros(sson,n); dvissl=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wrr1l=wssl(:,4+6*(i-1)); wtt1l=wssl(:,5+6*(i-1));
wrrvisl(:,i)=wrrvisl(:,i)+wrr1l;

```

```

    wttvisl(:,i)=wttvisl(:,i)+wtt11;
end
fvisl=zeros(m1,1);
wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
    wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisl(1,i))'-(Egrr0(i,1)))+...
        -((wttvisl(1,i))'-(Egrt0(i,1)))+ 0];
end
for i=1:elm
    J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
    Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
    else
        fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
    end
end
fvisl(2,:)=[]; fvisl(end-1:end,:)=[];
dvisl0=K\fvisl+ds;
dvissl(1,1)=dvisl0(1,1); dvissl(2,1)=0; dvissl(3:end-2,1)=dvisl0(2:end,1);
for ijk=1:n;
    dvisl(1,ijk)=dvisl(1,ijk)+(dvissl(2*(ijk-1)+1,1))';

```

```

end
dvisld=dvisll0;
for j=2:sson
    fvisl=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-(wrrvisl(j,i)-wrrvisl(j-1,i)); -(wttvisl(j,i)-wttvisl(j-1,i)); 0];
        J=0; x=0;
        for k=1:3
            tN=diff(N{k},ksi);
            Ji=tN*xi(i-1+k,1);
            J=J+Ji;
            xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
            x=x+xxi;
        end
        Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
            0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
        Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
        Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
        if i==1
            fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
        else
            fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
        end
    end
    fvisl(2,:)=[]; fvisl(end-1:end,:)=[];
    dvisll=K\fvisl+dvisld;
    dvissl(1,1)=dvisll(1,1); dvissl(2,1)=0; dvissl(3:end-2,1)=dvisll(2:end,1);
    for i=1:n
        dvisl(j,i)=dvisl(j,i)+dvissl(2*(i-1)+1,1);
    end
    dvisld=dvisll;
end
end

```

```

%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanlari
wrrvisn=zeros(sson,elm); wttvisn=zeros(sson,elm);
dvisn=zeros(sson,n); dvissn=zeros(m1,1);
for i=1:elm
    wrr1n=wssn(:,4+6*(i-1)); wtt1n=wssn(:,5+6*(i-1));
    wrrvisn(:,i)=wrrvisn(:,i)+wrr1n;
    wttvisn(:,i)=wttvisn(:,i)+wtt1n;
end
fvisn=zeros(m1,1);
wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
    wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisn(1,i))'-(Egrr0(i,1)));\dots
        -((wttvisn(1,i))'-(Egrt0(i,1)));\dots];
end
for i=1:elm
    J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)\dots
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
    Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
    else
        fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
    end
end

```

```

end
fvisn(2,:)=[]; fvisn(end-1:end,:)=[];
dvisnn0=K\fvisn+ds;
dvisnn(1,1)=dvisnn0(1,1); dvisnn(2,1)=0; dvisnn(3:end-2,1)=dvisnn0(2:end,1);
for ijk=1:n;
dvisn(1,ijk)=dvisn(1,ijk)+(dvisnn(2*(ijk-1)+1,1))';
end
dvisnd=dvisnn0;
for j=2:sson
fvisn=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wwi=[-(wrrvisn(j,i)-wrrvisn(j-1,i)); -(wttvisn(j,i)-wttvisn(j-1,i)); 0];
J=0; x=0;
for k=1:3
tN=diff(N{k},ksi);
Ji=tN*xi(i-1+k,1);
J=J+Ji;
xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
x=x+xxi;
end
Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);
if i==1
fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
else
fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
end
end
end
fvisn(2,:)=[]; fvisn(end-1:end,:)=[];
dvisnn=K\fvisn+dvisnd;

```

```

dvisnn(1,1)=dvisnn(1,1); dvisnn(2,1)=0; dvisnn(3:end-2,1)=dvisnn(2:end,1);
for i=1:n
    dvisn(j,i)=dvisn(j,i)+dvisnn(2*(i-1)+1,1);
end
dvisnd=dvisnn;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları Çözümü 2
l1=20;
dvisnf=zeros(1,sson); dvisnd=ds(1,1);
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)*wssn(i+1,1)^(p1-1).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisnn=aev.*ds(1,1)+kp0*dvisnd*wssn(t/dt+1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
        wssn(t/dt+1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(ds(1,1))*wssn(1,1)^(p1-1)...
        +V1+dvisnd*wssn(t/dt+1)^(p1-1));
    while abs(dvisnn(1,1)-dvisnd(1,1))>10^-4
        dvisnd=dvisnn;
        dvisnn=aev.*ds(1,1)+kp0*dvisnd*wssn(t/dt+1)^(p0-1)-kp1*dvisnd*...
            wssn(t/dt+1)^(p1-1)+dt/2*kp1/l1*(exp(-t/l1)*(ds(1,1))*wssn(1,1)^(p1-1)...
            +V1+dvisnd*wssn(t/dt+1)^(p1-1));
    end
    dvisnd=dvisnn;
    dvisnf(1,t/dt+1)=dvisnn;
end

%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları Çözümü 2
hh=size(ds);
dvislk=zeros(hh(1,1),sson); dvisld=ds;

```

```

Eiv=E-k0+k1; k1v=k1/l1; kle1=k1v/E; aev=1/(A*Eiv/E);
for t=0:dt:tson
    V1=0;
    for i=0:(t/dt-1)
        Vi=2.*(dvislk(:,i+1)).*exp(-(t-i*dt)/l1);
        V1=Vi+V1;
    end
    dvisll=aev.*ds+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*ds+V1+dvisld);
    while abs(dvisll(1,1)-dvisld(1,1))>10^-12
        dvisld=dvisll;
        dvisll=aev.*ds+dt/2*kle1*(exp(-t/l1).*ds+V1+dvisld);
    end
    dvisld=dvisll;
    dvislk(:,t/dt+1)=dvisll;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgml=zeros(sson,m2);
    for i=1:sson
        Sgmlhv=zeros(1,m2);
        for k=1:3:m2
            wssld=-z{hi}*[wssl(i,k); wssl(i,k+1); 0];
            wssl0=-z{hi}*[wssl(1,k); wssl(1,k+1); 0];
            H2=0;
            for j=1:(i-1)
                H2j=2*(-z{hi}*[wssl(j+1,k); wssl(j+1,k+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,k:k+2)=Sgmlhv(1,k:k+2)+Sgmlh';
        end
        Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
    end
end

```

```

end
Sgml1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgml;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
Sgmn=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
    Sgmnhv=zeros(1,m2);
    for k=1:3:m2
defnd=-z{hi}*[wssn(i,k); wssn(i,k+1); 0];
defn0=-z{hi}*[wssn(1,k); wssn(1,k+1); 0];
H3=0;
for j=1:(i-1)
    H3j=2*(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0].*...
        abs(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H3=H3j+H3;
end
Sgmnh=A*Dxx*(E*defnd-k0*defnd.*abs(defnd).^(p0-1)+k1*defnd.*...
    abs(defnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*defn0.*abs(defn0).^(p1-1)+...
    H3+defnd.*abs(defnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,k:k+2)=Sgmnhv(1,k:k+2)+Sgmnh';
end
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end
Sgmn1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgmn;
end
%GRAFİKLER
tfg={1, (sson-1)*.25+1, (sson-1)*.5+1,(sson-1)*.75+1, sson};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisl(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisl(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisl(tfg{5},:),'c-x')

```

```

xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Lin. Viskoelastik (t=0)',...
    '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisn(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisn(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisn(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisn(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisn(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Non. Viskoelastik (t=0)',...
    '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),wssn(:,2),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Teğetsel Eğrilik')
leg=legend('Lineer viskoelastik eğrilik',...
    'Nonlinear viskoelastik eğrilik',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),dvisl(:,1),'r-o',ti(:,1),dvisn(:,1),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deplasman - w(m)')
leg=legend('Lineer', 'Nonlinear',...

```

```

        'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssl(:,2),...
    'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssl(:,2),'g-d',ti(:,1),...
    -z{4}*wssl(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
    'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssn(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssn(:,2),...
    'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssn(:,2),'g-d',ti(:,1),-z{4}*wssn(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
    'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
tfi={1,2,3,4};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
    Sgml1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
    'g-d',ti(:,1), Sgml1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm',...
    'z = 12,5 mm','Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
    Sgmn1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...

```

```

'g-d',ti(:,1), Sgmnl(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
    'Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)

```

**Ek-6: Kenarlarından sabit mesnetli ortasından boşluklu üniform yayılı yüklü
ince dairesel plak (Bölüm 5.5)**

%BÖLÜM 5.5 - DIŞ KENARLARINDAN SABİT MESNETLİ ÜNİFORM YAYILI
YÜKLÜ BOŞLUKLU

%DAİRESEL PLAK

clear all; clc; format long;

set(0,'defaultLineLineWidth',1.0, 'DefaultTextFontSize',16,...

'defaultTextFontName', 'Times New Roman',...

'defaultAxesFontName', 'Times New Roman','DefaultAxesFontSize',16,...

'defaultLineMarkerSize',8)

%PLAK VERİLERİ

a=2; %Plak Yarıçapı (m)

ab=.5; %Boşluk yarıçapı (m)

q=5; % Plak yayılı yük değeri (kN/m²)

elm=20; %Sonlu eleman sayısı

v=.3; %Poisson oranı

h=.1; %Plak kalınlığı (m)

z={h/2,3*h/8,h/4,h/8}; %Plak kesit seviyeleri

E=3e7; %Elastisite modülü (kN/m²)

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

S=E*h/(2*(1+v)); %Plak kayma rijitliği

D=[D1 v*D1 0; v*D1 D1 0; 0 0 S]; %Plak rijitlik matrisi

n=3*elm-(elm-1); %Eleman sayısına göre düğüm noktası sayısı

m1=2*n; %Toplam serbestlik sayısı

m2=3*n; %Toplam kesit tesiri sayısı

K=zeros(m1,m1); %Sistem Rijitlik matrisinin boyutlarının belirlenmesi

M=zeros(m2,1); %Sistem Moment vektörünün boyutlarının belirlenmesi

Egr=zeros(m2,1); %Sistem Eğrilik vektörünün boyutlarının belirlenmesi

d=zeros(m1,1); %Deplasman matrisinin oluşturulması

%Kuvvet matrisinin kurulması

F=zeros(m1,1);

```

syms ksi x %Lokal ve Global değişkenlerin atanması
%Düğüm noktası koordinatları
s=(a-ab)/(n-1); %Düğüm noktaları arasındaki mesafe
xi=ab:s:a; xi=xi'; %Düğüm noktaları koordinat matrisi
N={-.5*ksi*(1-ksi), 1-ksi^2, .5*ksi*(1+ksi)}; %Şekil fonksiyonu
Ni=[N{1} 0 N{2} 0 N{3} 0; 0 N{1} 0 N{2} 0 N{3}];
qe=q*[1;0];
%VİSKOELASTİK VERİLER
tson=100; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e7; k1=.75e7; 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);
%Rijitlik matrisinin kurulması
for h=1:2:n-2
    J=0;
    for i=1:3
        tN=diff(N{i},ksi);
        Ji=tN*xi(h-1+i,1);
        J=J+Ji;
    end
    x=0;
    for i=1:3
        xxi=N{i}*xi(h-1+i,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...

```

```

-2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
ki=2*pi*Bi'*D*Bi*x*J;
k=subs(ki,ksi,-1/3^.5)+subs(ki,ksi,1/3^.5);
fd=2*pi*Ni'*qe*x*J;
f=2*subs(fd,ksi,0);
y1=2*h-1;
for i=1:4:m1-5
    if i==y1
        K(i:i+5,i:i+5)=K(i:i+5,i:i+5)+k;
        F(i:i+5,1)=F(i:i+5,1)+f;
    end
end
end
end
%Rijitlik matrisi Mesnet şartlarının belirlenmesi
K(end-1,:)=[];
K(:,end-1)=[];
%Kuvvet matrisinin kurulması
F(end-1,:)=[];
%Düğüm noktaları deplasman ve kesit dönmeleri
ds=K\F;
d(1:end-2,1)=ds(1:end-1,1);
d(end,1)=ds(end,1);
dw=zeros(n,1);
for i=1:n
    dw(i,1)=dw(i,1)+d(2*i-1,1);
end
wtimo=.830*q*a^4/(E*h^3);
dw(1,1)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,dw,'r-o')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')

```

```

set(gca,'YDir','Reverse')
%İÇ KUVVETLER VE EĞRİLİK VEKTÖRLERİNİN HESABI
syms ksi x
for i=1:2:n-2
    ksii=2*(x-xi(i+1,1))/(xi(i+2,1)-xi(i,1));
    J=0;
    for j=1:3
        tN=diff(N{j},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+j,1);
        J=J+Ji;
    end
    Bs=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    DBi=subs(D*B,ksi,ksii);
    B=subs(Bs,ksi,ksii);
    DB=[subs(DBi,x,xi(i,1)); subs(DBi,x,xi(i+1,1)); subs(DBi,x,xi(i+2,1))];
    Egrj=[subs(B,x,xi(i,1)); subs(B,x,xi(i+1,1)); subs(B,x,xi(i+2,1))];
    Mss=DB*d(2*i-1:2*i+4,1); Egri=-Egrj*d(2*i-1:2*i+4,1);
    M(3*i-2:3*i+6,1)=M(3*i-2:3*i+6,1)+Mss;
    Egr(3*i-2:3*i+6,1)=Egr(3*i-2:3*i+6,1)+Egri;
end
for i=7:6:m2-8
    M(i,1)=M(i,1)/2; M(i+1,1)=M(i+1,1)/2; M(i+2,1)=M(i+2,1)/2;
    Egr(i,1)=Egr(i,1)/2; Egr(i+1,1)=Egr(i+1,1)/2; Egr(i+2,1)=Egr(i+2,1)/2;
end
Mr=M(1:3:m2-2); Mt=M(2:3:m2-1); Q=M(3:3:m2);
Egrr=Egr(1:3:m2-2); Egrrt=Egr(2:3:m2-1); Egrrq=Egr(3:3:m2);
Mrtimo=q/16*(3+v)*(a^2-ab^2);
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,Mr,'r-o',xi,Mt,'b-s')
xlabel('r (m)')

```

```

ylabel('Moment (kN.m)')
leg=legend('M_r (SEM)', 'M_t (SEM)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
%VISKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssl=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1);
wtm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrr=Egr(k,1); wti=Egr(k+1,1);
wrre=wrr; wtte=wti;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
while abs(wtt0-wtte)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*I0*(Ev+v*Ev*wtte/wrre));
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
end
wrrd=wrr0; wttd=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wtm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B1i=2*(wrrm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C1j=2*(wtm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));

```

```

    C1=C1j+C1;
end
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
    +v*Ev*wtttd/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wtttd)));
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wttm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wrrm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wtttd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wtttd)...
    +v*Ev*wrrd/wtttd-k1v*v/wtttd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
while abs(wtt-wtttd)>10^-7
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
wrr=-Mr/(A*I0*(Ev-k1v/wrrd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+B1+wrrd)...
    +v*Ev*wtttd/wrrd-k1v*v/wrrd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+C1+wtttd)));
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wtttd*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wtttd)...
    +v*Ev*wrrd/wtttd-k1v*v/wtttd*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
end
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
wrrd=wrr; wtttd=wtt;
end
wssl(:,k)=wrrm;
wssl(:,k+1)=wttm;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssn=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1); wttm=zeros(sson,1);

```

```

for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrri=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
while abs(wtt0-wtte)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wrrd=wrr0; wtt0=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
B1=wrr0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
B2i=2*(wrrm(i+1,1)*(abs(wrrm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
B2=B2i+B2;
end
C1=wtt0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C2=0;

```

```

for j=1:(t/dt-1)
    C2i=2*((wttm(j+1,1))*(abs(wrrm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2i+C2;
end
B3=wtt0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B4=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B4i=2*(wttm(i+1,1)*(abs(wttm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B4=B4i+B4;
end
C3=wrr0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C4=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C4j=2*((wrrm(j+1,1))*(abs(wttm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C4=C4j+C4;
end
wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtt/wrrd-k0*Ip0*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtt*(abs(wrrd))^(p1-1))));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtt/wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtt/wrrd))^(p1-1)...
-1/wtt/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtt*(abs(wtt/wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrr/wtt-k0*Ip0*v*wrr/wtt*(abs(wtt/wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrr/wtt*(abs(wtt/wrrd))^(p1-1)...
-1/wtt/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrr*(abs(wtt/wrrd))^(p1-1))));
while abs(wtt-wtt/wrr)>10^-7
    wrrd=wrr; wtt=wtt/wrr;
    wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtt/wrrd-k0*Ip0*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1)...

```

```

-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtt*(abs(wrrd))^(p1-1)));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtt))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtt*(abs(wtt))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrrd/wtt-k0*Ip0*v*wrrd/wtt*(abs(wtt))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wtt*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wtt))^(p1-1)));
end
wrrd=wrr; wtt=wtt;
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
end
wssn(:,k)=wrrm;
wssn(:,k+1)=wttm;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
Egrr0=zeros(elm,1); Egrt0=zeros(elm,1);
for i=2:2:n-1
Egrr0(i/2,1)=Egrr0(i/2,1)+Egrr(i,1);
Egrt0(i/2,1)=Egrt0(i/2,1)+Egrt(i,1);
end
wrrvisl=zeros(sson,elm); wttvisl=zeros(sson,elm);
dvisl=zeros(sson,n); dvissl=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wrr1l=wssl(:,4+6*(i-1)); wtt1l=wssl(:,5+6*(i-1));
wrrvisl(:,i)=wrrvisl(:,i)+wrr1l;
wttvisl(:,i)=wttvisl(:,i)+wtt1l;
end
fvisl=zeros(m1,1);
wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisl(1,i))'-(Egrr0(i,1))));...
-((wttvisl(1,i))'-(Egrt0(i,1)))); 0];
end

```

```

for i=1:elm
    J=0; x=0;
for k=1:3
    tN=diff(N{k},ksi);
    Ji=tN*xi(i-1+k,1);
    J=J+Ji;
    xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
    x=x+xxi;
end
Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
    0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
    else
        fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
    end
end
    fvisl(end-1,:)=[];
    dvisll0=K\fvisl+ds;
    dvissl(1:end-2,1)=dvisll0(1:end-1,1);
    dvissl(end,1)=dvisll0(end,1);
    for ijk=1:n;
        dvisl(1,ijk)=dvisl(1,ijk)+(dvissl(2*(ijk-1)+1,1))';
    end
    dvisld=dvisll0;
for j=2:sson
    fvisl=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-(wrrvisl(j,i)-wrrvisl(j-1,i)); -(wttvisl(j,i)-wttvisl(j-1,i)); 0];
        J=0; x=0;

```

```

for k=1:3
tN=diff(N{k},ksi);
Ji=tN*xi(i-1+k,1);
J=J+Ji;
xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
x=x+xxi;
end
Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
if i==1
fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
else
fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
end
end
fvisl(end-1,:)=[];
dvisll=K\fvisl+dvisld;
dvissl(1:end-2,1)=dvisll(1:end-1,1);
dvissl(end,1)=dvisll(end,1);
for i=1:n
dvisl(j,i)=dvisl(j,i)+dvissl(2*(i-1)+1,1);
end
dvisld=dvisll;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
wrrvisn=zeros(sson,elm); wttvisn=zeros(sson,elm);
dvisn=zeros(sson,n); dvissn=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wrr1n=wssn(:,4+6*(i-1)); wtt1n=wssn(:,5+6*(i-1));
wrrvisn(:,i)=wrrvisn(:,i)+wrr1n;

```

```

    wttvisn(:,i)=wttvisn(:,i)+wtt1n;
end
fvisn=zeros(m1,1);
wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
    wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisn(1,i))'-(Egrr0(i,1)));\dots
        -((wttvisn(1,i))'-(Egrr0(i,1)));\dots];
end
for i=1:elm
    J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)\dots
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
    Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
    else
        fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
    end
end
fvisn(end-1,:)=[ ];
dvisnn0=K\fvisn+ds;
dvisnn(1:end-2,1)=dvisnn0(1:end-1,1);
dvisnn(end,1)=dvisnn0(end,1);
for ijk=1:n;

```

```

    dvisn(1,ijk)=dvisn(1,ijk)+(dvissn(2*(ijk-1)+1,1))';
end
dvisnd=dvisnn0;
for j=2:sson
    fvisn=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-(wrrvisn(j,i)-wrrvisn(j-1,i)); -(wttvisn(j,i)-wttvisn(j-1,i)); 0];
        J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
    Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
    else
        fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
    end
end
fvisn(end-1,:)=[];
dvisnn=K\fvisn+dvisnd;
dvissn(1:end-2,1)=dvisnn(1:end-1,1);
dvissn(end,1)=dvisnn(end,1);
for i=1:n
    dvisn(j,i)=dvisn(j,i)+dvissn(2*(i-1)+1,1);
end

```

```

    dvisnd=dvisnn;
end
%Linear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgml=zeros(sson,m2);
    for i=1:sson
        Sgmlhv=zeros(1,m2);
        for k=1:3:m2
            wssld=-z{hi}*[wssl(i,k); wssl(i,k+1); 0];
            wssl0=-z{hi}*[wssl(1,k); wssl(1,k+1); 0];
            H2=0;
            for j=1:(i-1)
                H2j=2*(-z{hi}*[wssl(j+1,k); wssl(j+1,k+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,k:k+2)=Sgmlhv(1,k:k+2)+Sgmlh';
        end
        Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
    end
    Sgml1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgml;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgmn=zeros(sson,m2);
    for i=1:sson
        Sgmnhv=zeros(1,m2);
        for k=1:3:m2
            defnd=-z{hi}*[wssn(i,k); wssn(i,k+1); 0];
            defn0=-z{hi}*[wssn(1,k); wssn(1,k+1); 0];
            H3=0;
            for j=1:(i-1)

```

```

H3j=2*(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0].*...
    abs(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
H3=H3j+H3;
end
Sgmnh=A*Dxx*(E*defnd-k0*defnd.*abs(defnd).^(p0-1)+k1*defnd.*...
    abs(defnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*defn0.*abs(defn0).^(p1-1)+...
    H3+defnd.*abs(defnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,k:k+2)=Sgmnhv(1,k:k+2)+Sgmnh';
end
Sgmni(i,:)=Sgmni(i,:)+Sgmnhv;
end
Sgmni(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgmni;
end
%GRAFIKLER
tfg={1, (sson-1)*.25+1, (sson-1)*.5+1,(sson-1)*.75+1, sson};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisl(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisl(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisl(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Lin. Viskoelastik (t=0)',...
    '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisn(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisn(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisn(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisn(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisn(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')

```

```

leg=legend('Elastik (t=0)', 'Non. Viskoelastik (t=0)',...
          '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
          'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),wssn(:,2),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Teğetsel Eğrilik')
leg=legend('Lineer viskoelastik eğrilik',...
          'Nonlinear viskoelastik eğrilik',...
          'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),dvisl(:,1),'r-o',ti(:,1),dvisn(:,1),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deplasman - w(m)')
leg=legend('Lineer', 'Nonlinear',...
          'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssl(:,2),...
      'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssl(:,2),'g-d',ti(:,1),...
      -z{4}*wssl(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
          'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssn(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssn(:,2),...

```

```

'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssn(:,2),'g-d',ti(:,1),-z{4}*wssn(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
tfi={1,2,3,4};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgml1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgml1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm',...
'z = 12,5 mm','Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgmn1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgmn1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)

```

**Ek-7: Kenarlarından sabit mesnetli ortasından boşluklu boşluk çevresinde
üniform çevresel yüklü ince dairesel plak (Bölüm 5.6)**

%BÖLÜM 5.6 - DIŞ KENARLARINDAN SABİT MESNETLİ BOŞLUK KENARI
ÇEVRESİNCE

%ÜNİFORM YÜKLÜ BOŞLUKLU DAİRESEL PLAK

clear all; clc; format long;

set(0,'defaultLineLineWidth',1.0, 'DefaultTextFontSize',16,...

 'defaultTextFontName', 'Times New Roman',...

 'defaultAxesFontName', 'Times New Roman','DefaultAxesFontSize',16,...

 'defaultLineMarkerSize',8)

%PLAK VERİLERİ

a=2; %Plak Yarıçapı (m)

ab=.5; %Boşluk yarıçapı (m)

q=5; % Plak boşluk çevresindeki yük değeri (kN/m)

P=2*pi*ab*q;

elm=20; %Sonlu eleman sayısı

v=.3; %Poisson oranı

h=.1; %Plak kalınlığı (m)

z={h/2,3*h/8,h/4,h/8}; %Plak kesit seviyeleri

E=3e7; %Elastisite modülü (kN/m²)

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

S=E*h/(2*(1+v)); %Plak kayma rijitliği

D=[D1 v*D1 0; v*D1 D1 0; 0 0 S]; %Plak rijitlik matrisi

n=3*elm-(elm-1); %Eleman sayısına göre düğüm noktası sayısı

m1=2*n; %Toplam serbestlik sayısı

m2=3*n; %Toplam kesit tesiri sayısı

K=zeros(m1,m1); %Sistem Rijitlik matrisinin boyutlarının belirlenmesi

M=zeros(m2,1); %Sistem Moment vektörünün boyutlarının belirlenmesi

Egr=zeros(m2,1); %Sistem Eğrilik vektörünün boyutlarının belirlenmesi

d=zeros(m1,1); %Deplasman matrisinin oluşturulması

%Kuvvet matrisinin kurulması

```

F=zeros(m1,1);
syms ksi x %Lokal ve Global değişkenlerin atanması
%Düğüm noktası koordinatları
s=(a-ab)/(n-1); %Düğüm noktaları arasındaki mesafe
xi=ab:s:a; xi=xi'; %Düğüm noktaları koordinat matrisi
N={-.5*ksi*(1-ksi), 1-ksi^2, .5*ksi*(1+ksi)}; %Şekil fonksiyonu
Ni=[N{1} 0 N{2} 0 N{3} 0; 0 N{1} 0 N{2} 0 N{3}];
qe=q*[1;0];
%VİSKOELASTİK VERİLER
tson=100; dt=5;
sson=tson/dt+1;
p0=1.1; p1=1.105;
k0=1e7; k1=.75e7; 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);
%Rijitlik matrisinin kurulması
for h=1:2:n-2
    J=0;
    for i=1:3
        tN=diff(N{i},ksi);
        Ji=tN*xi(h-1+i,1);
        J=J+Ji;
    end
    x=0;
    for i=1:3
        xxi=N{i}*xi(h-1+i,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...

```

```

0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
-2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
ki=2*pi*Bi'*D*Bi*x*J;
k=subs(ki,ksi,-1/3^.5)+subs(ki,ksi,1/3^.5);
y1=2*h-1;
for i=1:4:m1-5
    if i==y1
        K(i:i+5,i:i+5)=K(i:i+5,i:i+5)+k;
    end
end
end
end
%Kuvvet Matrisi
F(1,1)=P;
%Rijitlik matrisi Mesnet şartlarının belirlenmesi
K(end-1,:)=[];
K(:,end-1)=[];
%Kuvvet matrisinin kurulması
F(end-1,:)=[];
%Düğüm noktaları deplasman ve kesit dönmeleri
ds=K\F;
d(1:end-2,1)=ds(1:end-1,1);
d(end,1)=ds(end,1);
dw=zeros(n,1);
for i=1:n
    dw(i,1)=dw(i,1)+d(2*i-1,1);
end
wtimo=.724*P*a^2/(E*h^3)
dw(1,1)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,dw,'r-o')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')

```

```

set(gca,'YDir','Reverse')
%İÇ KUVVETLER VE EĞRİLİK VEKTÖRLERİNİN HESABI
syms ksi x
for i=1:2:n-2
    ksii=2*(x-xi(i+1,1))/(xi(i+2,1)-xi(i,1));
    J=0;
    for j=1:3
        tN=diff(N{j},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+j,1);
        J=J+Ji;
    end
    Bs=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3)...
        0 (-2*J)/(3*x) 0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3)...
        -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    DBi=subs(D*B,ksi,ksii);
    B=subs(Bs,ksi,ksii);
    DB=[subs(DBi,x,xi(i,1)); subs(DBi,x,xi(i+1,1)); subs(DBi,x,xi(i+2,1))];
    Egrj=[subs(B,x,xi(i,1)); subs(B,x,xi(i+1,1)); subs(B,x,xi(i+2,1))];
    Mss=DB*d(2*i-1:2*i+4,1); Egri=-Egrj*d(2*i-1:2*i+4,1);
    M(3*i-2:3*i+6,1)=M(3*i-2:3*i+6,1)+Mss;
    Egr(3*i-2:3*i+6,1)=Egr(3*i-2:3*i+6,1)+Egri;
end
for i=7:6:m2-8
    M(i,1)=M(i,1)/2; M(i+1,1)=M(i+1,1)/2; M(i+2,1)=M(i+2,1)/2;
    Egr(i,1)=Egr(i,1)/2; Egr(i+1,1)=Egr(i+1,1)/2; Egr(i+2,1)=Egr(i+2,1)/2;
end
Mr=M(1:3:m2-2); Mt=M(2:3:m2-1); Q=M(3:3:m2);
Egrr=Egr(1:3:m2-2); Egrr=Egr(2:3:m2-1); Egrr=Egr(3:3:m2);
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi,Mr,'r-o',xi,Mt,'b-s')
xlabel('r (m)')
ylabel('Moment (kN.m)')

```

```

leg=legend('M_r (SEM)', 'M_t (SEM)',...
'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
%VİSKOELASTİK DEĞERLERİN HESABI
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssl=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1);
wtm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
wrri=Egr(k,1); wtti=Egr(k+1,1);
wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-10^-20;
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
while abs(wtt0-wtte)>10^-7
wrre=wrr0; wtte=wtt0;
wrr0=-10^-20;
wtt0=-Mt/(A*I0*(Ev+v*Ev*wrre/wtte));
end
wrrd=wrr0; wtt0=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wtm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
B1=0;
for i=1:(t/dt-1)
B1i=2*(wrrm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
B1=B1i+B1;
end
C1=0;
for j=1:(t/dt-1)
C1j=2*(wtm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
C1=C1j+C1;

```

```

end
wrr=-10^-20;
B2=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B2i=2*(wttm(i+1,1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B2=B2i+B2;
end
C2=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C2j=2*(wrrm(j+1,1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C2=C2j+C2;
end
wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wtt0*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wtt0)...
    +v*Ev*wrrd/wtt0-k1v*v/wtt0*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
    wrrd=wrr; wtt0=wtt;
    wrr=-10^-20;
    wtt=-Mt/(A*I0*(Ev-k1v/wtt0*dt/2*(wtt0*exp(-t/l1)+B2+wtt0)...
        +v*Ev*wrrd/wtt0-k1v*v/wtt0*dt/2*(wrr0*exp(-t/l1)+C2+wrrd)));
end
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
wrrd=wrr; wtt0=wtt;
end
wssl(:,k)=wrrm;
wssl(:,k+1)=wttm;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Eğrilikleri
wssn=zeros(sson,m2);
wrrm=zeros(sson,1); wttm=zeros(sson,1);
for k=1:3:m2
    Mr=M(k,1); Mt=M(k+1,1);
    wrr=Egr(k,1); wtt=Egr(k+1,1);

```

```

wrre=wrri; wtte=wtti;
wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
while abs(wrr0-wrre)>10^-7
    wrre=wrr0; wtte=wtt0;
    wrr0=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrre))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrre))^(p1-1)...
+E*I0*v*wtte/wrre-k0*Ip0*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtte/wrre*(abs(wrre))^(p1-1)));
    wtt0=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtte))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtte))^(p1-1)...
+E*I0*v*wrre/wtte-k0*Ip0*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrre/wtte*(abs(wtte))^(p1-1)));
end
B1=0; B3=0;
C1=0; C3=0;
wrrd=wrr0; wtt0=wtt0;
wrrm(1,1)=wrr0; wttm(1,1)=wtt0;
for t=dt:dt:tson
    B1=wrr0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    B2=0;
    for i=1:(t/dt-1)
        B2i=2*(wrrm(i+1,1)*(abs(wrrm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
        B2=B2i+B2;
    end
    C1=wtt0*(abs(wrr0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
    C2=0;
    for j=1:(t/dt-1)
        C2i=2*((wttm(j+1,1))*(abs(wrrm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
        C2=C2i+C2;

```

```

end
B3=wtt0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
B4=0;
for i=1:(t/dt-1)
    B4i=2*(wttm(i+1,1)*(abs(wttm(i+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-i*dt)/l1));
    B4=B4i+B4;
end
C3=wrr0*(abs(wtt0))^(p1-1)*exp(-t/l1);
C4=0;
for j=1:(t/dt-1)
    C4j=2*((wrrm(j+1,1))*(abs(wttm(j+1,1)))^(p1-1)*exp(-(t-j*dt)/l1));
    C4=C4j+C4;
end
wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtt/wrrd-k0*Ip0*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtt*(abs(wrrd))^(p1-1))));
wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtt))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtt*(abs(wtt))^(p1-1))...
+E*I0*v*wrr/wtt-k0*Ip0*v*wrr/wtt*(abs(wtt))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrr/wtt*(abs(wtt))^(p1-1))...
-1/wtt*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrr*(abs(wtt))^(p1-1))));
while abs(wrr-wrrd)>10^-7
    wrrd=wrr; wtt=wtt;
    wrr=-Mr/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wrrd))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wrrd))^(p1-1)...
-1/wrrd*k1*Ip1/l1*dt/2*(B1+B2+wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
+E*I0*v*wtt/wrrd-k0*Ip0*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wtt/wrrd*(abs(wrrd))^(p1-1))...
-1/wrrd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C1+C2+wtt*(abs(wrrd))^(p1-1))));
    wtt=-Mt/(A*(E*I0-k0*Ip0*(abs(wtt))^(p0-1)+k1*Ip1*(abs(wtt))^(p1-1)...
-1/wtt*k1*Ip1/l1*dt/2*(B3+B4+wtt*(abs(wtt))^(p1-1))...

```

```

+ E*I0*v*wrrd/wttdd-k0*Ip0*v*wrrd/wttdd*(abs(wttdd)^(p0-1)...
+k1*Ip1*v*wrrd/wttdd*(abs(wttdd)^(p1-1)...
-1/wttdd*k1*Ip1*v/l1*dt/2*(C3+C4+wrrd*(abs(wttdd)^(p1-1))));
end
wrrd=wrr; wttdd=wtt;
wrrm(t/dt+1,1)=wrr; wttm(t/dt+1,1)=wtt;
end
wssn(:,k)=wrrm;
wssn(:,k+1)=wttm;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
Egrr0=zeros(elm,1); Egrt0=zeros(elm,1);
for i=2:2:n-1
Egrr0(i/2,1)=Egrr0(i/2,1)+Egrr(i,1);
Egrt0(i/2,1)=Egrt0(i/2,1)+Egrt(i,1);
end
wrrvisl=zeros(sson,elm); wttvisl=zeros(sson,elm);
dvisl=zeros(sson,n); dvissl=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wrr1l=wssl(:,4+6*(i-1)); wtt1l=wssl(:,5+6*(i-1));
wrrvisl(:,i)=wrrvisl(:,i)+wrr1l;
wttvisl(:,i)=wttvisl(:,i)+wtt1l;
end
fvisl=zeros(m1,1);
wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisl(1,i))'-(Egrr0(i,1)))+...
-((wttvisl(1,i))'-(Egrt0(i,1)))+0];
end
for i=1:elm
J=0; x=0;
for k=1:3

```

```

tN=diff(N{k},ksi);
Ji=tN*xi(i-1+k,1);
J=J+Ji;
xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
x=x+xxi;
end
Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
if i==1
fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
else
fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
end
end
fvisl(end-1,:)=[];
dvisll0=K\fvisl+ds;
dvissl(1:end-2,1)=dvisll0(1:end-1,1);
dvissl(end,1)=dvisll0(end,1);
for ijk=1:n;
dvisl(1,ijk)=dvisl(1,ijk)+(dvissl(2*(ijk-1)+1,1))';
end
dvisld=dvisll0;
for j=2:sson
fvisl=zeros(m1,1);
for i=1:elm
wwi=[-(wrrvisl(j,i)-wrrvisl(j-1,i)); -(wttvisl(j,i)-wttvisl(j-1,i)); 0];
J=0; x=0;
for k=1:3
tN=diff(N{k},ksi);
Ji=tN*xi(i-1+k,1);

```

```

J=J+Ji;
xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
x=x+xxi;
end
Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
    0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
Bvisl=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
Avisl=subs(Bvisl,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisl,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisl(i:i+5,1)=fvisl(i:i+5,1)+Avisl;
    else
        fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisl(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisl;
    end
end
end
fvisl(end-1,:)=[];
dvisll=K\fvisl+dvisld;
dvissl(1:end-2,1)=dvisll(1:end-1,1);
dvisss(end,1)=dvisll(end,1);
for i=1:n
    dvisl(j,i)=dvisl(j,i)+dvisss(2*(i-1)+1,1);
end
dvisld=dvisll;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Deplasmanları
wrrvisn=zeros(sson,elm); wttvisn=zeros(sson,elm);
dvisn=zeros(sson,n); dvisss=zeros(m1,1);
for i=1:elm
    wrr1n=wssn(:,4+6*(i-1)); wtt1n=wssn(:,5+6*(i-1));
    wrrvisn(:,i)=wrrvisn(:,i)+wrr1n;
    wttvisn(:,i)=wttvisn(:,i)+wtt1n;
end
fvisn=zeros(m1,1);

```

```

wwi=zeros(3*elm,1);
for i=1:elm
    wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1)=[-((wrrvisn(1,i))'-(Egrr0(i,1))));...
        -((wttvisn(1,i))'-(Egrt0(i,1)))); 0];
end
for i=1:elm
    J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi(3*(i-1)+1:3*(i-1)+3,1);
    Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
    else
        fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
    end
end
fvisn(end-1,:)=[];
dvisnn0=K\fvisn+ds;
dvisn(1:end-2,1)=dvisnn0(1:end-1,1);
dvisn(end,1)=dvisnn0(end,1);
for ijk=1:n;
    dvisn(1,ijk)=dvisn(1,ijk)+(dvisn(2*(ijk-1)+1,1))';
end
dvisnd=dvisnn0;

```

```

for j=2:sson
    fvisn=zeros(m1,1);
    for i=1:elm
        wwi=[-(wrrvisn(j,i)-wrrvisn(j-1,i)); -(wttvisn(j,i)-wttvisn(j-1,i)); 0];
        J=0; x=0;
    for k=1:3
        tN=diff(N{k},ksi);
        Ji=tN*xi(i-1+k,1);
        J=J+Ji;
        xxi=N{k}*xi(i-1+k,1);
        x=x+xxi;
    end
    Bi=1/J*[0 .5-ksi 0 2*ksi 0 -.5-ksi; 0 J/(2*x)*(ksi-1/3) 0 (-2*J)/(3*x)...
        0 -J/(2*x)*(ksi+1/3); -.5+ksi .5*J*(ksi-1/3) -2*ksi -2*J/3 .5+ksi -.5*J*(ksi+1/3)];
    Bvisn=2*pi*x*J*Bi'*D*wwi;
    Avisn=subs(Bvisn,ksi,-1/3^.5)+subs(Bvisn,ksi,1/3^.5);
    if i==1
        fvisn(i:i+5,1)=fvisn(i:i+5,1)+Avisn;
    else
        fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)=fvisn(5+4*(i-2):10+4*(i-2),1)+Avisn;
    end
end
end
fvisn(end-1,:)=[];
dvisnn=K\fvisn+dvisnd;
dvisnn(1:end-2,1)=dvisnn(1:end-1,1);
dvisnn(end,1)=dvisnn(end,1);
for i=1:n
    dvisn(j,i)=dvisn(j,i)+dvisnn(2*(i-1)+1,1);
end
dvisnd=dvisnn;
end
%Lineer Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri

```

```

for hi=1:4
    Sgml=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
    Sgmlhv=zeros(1,m2);
    for k=1:3:m2
wssld=-z{hi}*[wssl(i,k); wssl(i,k+1); 0];
wssl0=-z{hi}*[wssl(1,k); wssl(1,k+1); 0];
H2=0;
for j=1:(i-1)
    H2j=2*(-z{hi}*[wssl(j+1,k); wssl(j+1,k+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,k:k+2)=Sgmlhv(1,k:k+2)+Sgmlh';
    end
Sgml(i,:)=Sgml(i,:)+Sgmlhv;
end
Sgml1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgml;
end
%Nonlinear Viskoelastik Malzemeli Plak Gerilme Değerleri
for hi=1:4
    Sgmn=zeros(sson,m2);
for i=1:sson
    Sgmnhv=zeros(1,m2);
    for k=1:3:m2
defnd=-z{hi}*[wssn(i,k); wssn(i,k+1); 0];
defn0=-z{hi}*[wssn(1,k); wssn(1,k+1); 0];
H3=0;
for j=1:(i-1)
    H3j=2*(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0].*...
        abs(-z{hi}*[wssn(j+1,k); wssn(j+1,k+1); 0]).^(p1-1)*exp(-(i-j)*dt/l1));
    H3=H3j+H3;

```

```

end
Sgmnh=A*Dxx*(E*defnd-k0*defnd.*abs(defnd).^(p0-1)+k1*defnd.*...
    abs(defnd).^(p1-1)-dt/2*k1v*(exp(-i*dt/l1)*defn0.*abs(defn0).^(p1-1)+...
    H3+defnd.*abs(defnd).^(p1-1)));
Sgmnhv(1,k:k+2)=Sgmnhv(1,k:k+2)+Sgmnh';
end
Sgmn(i,:)=Sgmn(i,:)+Sgmnhv;
end
Sgmn1(:,(hi-1)*m2+1:hi*m2)=Sgmn;
end
%GRAFIKLER
tfg={1, (sson-1)*.25+1, (sson-1)*.5+1,(sson-1)*.75+1, sson};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisl(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisl(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisl(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisl(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Lin. Viskoelastik (t=0)',...
    '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(xi(:,1),dw,'r-o', xi(:,1), dvisn(tfg{1},:),'b-s',...
    xi(:,1), dvisn(tfg{2},:),'g-d', xi(:,1), dvisn(tfg{3},:),'k-^',...
    xi(:,1), dvisn(tfg{4},:),'m-v', xi(:,1), dvisn(tfg{5},:),'c-x')
xlabel('r (m)')
ylabel('Deplasman (m)')
leg=legend('Elastik (t=0)', 'Non. Viskoelastik (t=0)',...
    '(t=25 dk)', '(t=50 dk)', '(t=75 dk)', '(t=100 dk)',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Vertical');

```

```

set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14);
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),wssn(:,2),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Teğetsel Eğrilik')
leg=legend('Lineer viskoelastik eğrilik',...
    'Nonlineer viskoelastik eğrilik',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
set(gca,'YDir','Reverse')
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),dvisl(:,1),'r-o',ti(:,1),dvisn(:,1),'b-s')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Deplasman - w(m)')
leg=legend('Lineer', 'Nonlinear',...
    'Location','SouthEast', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssl(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssl(:,2),...
    'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssl(:,2),'g-d',ti(:,1),...
    -z{4}*wssl(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Deformasyon')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
    'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),-z{1}*wssn(:,2),'r-o',ti(:,1),-z{2}*wssn(:,2),...
    'b-s',ti(:,1),-z{3}*wssn(:,2),'g-d',ti(:,1),-z{4}*wssn(:,2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlineer Teğetsel Deformasyon')

```

```

leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','South', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
tfi={1,2,3,4};
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgml1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgml1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgml1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Lineer Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm',...
'z = 12,5 mm','Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])
plot(ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{1}-1)*m2+2),'r-o',ti(:,1),...
Sgmn1(:,(tfi{2}-1)*m2+2), 'b-s',ti(:,1),Sgmn1(:,(tfi{3}-1)*m2+2),...
'g-d',ti(:,1), Sgmn1(:,(tfi{4}-1)*m2+2),'m-x')
xlabel('t (dakika)')
ylabel('Nonlinear Teğetsel Gerilme (kN/m^2)')
leg=legend('z = 50,0 mm', 'z = 37,5 mm', 'z = 25,0 mm', 'z = 12,5 mm',...
'Location','NorthOutside', 'Orientation','Horizontal');
set(leg, 'FontName','Times New-Roman', 'FontSize',14)

```

Ek-8: Akış Diyagramı

Ek-8.1 Akış Diyagramı Sembol Listesi

a	: Plak yarıçapı
ab	: Boşluk yarıçapı
d	: Sonlu elemanlar yönteminden elde edilen elastik yer değiştirme vektörü
dt	: Zaman artışı
dtimo	: Klasik yöntemden elde edilen deplasman değeri
dvisl	: Lineer viskoelastik malzemeli plağın yer değiştirme vektörü
dvisn	: Nonlinear viskoelastik malzemeli plağın yer değiştirme vektörü
E	: Young modülü
Egr	: Elastik malzemeli eğrilik vektörü
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
Motimo	: Klasik yöntemden elde edilen iç kuvvetler
M	: İç kuvvetler vektörü
P	: Tekil yükün şiddeti
p0, p1	: Nonlinear katsayıları
q	: Üniform yayılı yükün şiddeti
Sgml	: Lineer viskoelastik malzemeli gerilme değerleri
Sgmn	: Nonlinear viskoelastik malzemeli gerilme değerleri
tson	: Toplam analiz süresi
v	: Poisson oranı
wrr	: r-r doğrultusundaki viskoelastik eğrilik değeri
wrrd	: Radyal viskoelastik eğrilik deneme değeri

wtt : t-t doğrultusundaki viskoelastik eğrilik değeri
wttd : Teğetsel viskoelastik eğrilik deneme değeri

Ek-8.2 Akış Diyagramı

