

155893

**FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ İÇİ BOŞ
UÇLARI SABİT VE SERBEST SİLİNDİRDE GERİLME ANALİZİ**

Celal EVCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

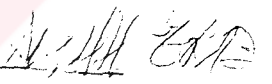
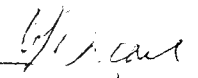
**Aralık 2004
ANKARA**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Celal EVCI tarafından hazırlanan Fonksiyonel Derecelendirilmiş içi boş uçları sabit ve serbest silindirde gerilme analizi adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. A. Ünal ERDEM 
Üye : Prof. Dr. Yusuf ORKAN 
Üye : Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ 
Üye : _____
Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
EKLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. FDM'İN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI.....	4
3. FDM ÜRETİM TEKNİKLERİ.....	8
4. FDM'DE GERİLME – ŞEKİL DEĞİŞTİRME ANALİZİ.....	12
4.1. FDM Silindirde Sıcaklık Dağılımı.....	15
4.2. Uçları Sabit FDM Silindirde Gerilme Analizi.....	17
4.2.1. FDM silindirde gerilmelerin hesabı.....	17
4.2.2. FDM silindirde gerilmelerin normalizasyonu.....	26
4.3. Uçları Sabit FDM Silindirde Şekil Değiştirme Analizi.....	29
4.3.1. FDM silindirde deplasman ve birim şekil değiştirme hesabı.....	29
4.3.2. FDM silindirde radyal deplasmanın normalizasyonu.....	32
4.4. Uçları Serbest FDM Silindirde Gerilme Analizi.....	34
4.4.1. FDM silindirde gerilmelerin hesabı.....	34
4.4.2. FDM silindirde gerilmelerin normalizasyonu.....	38

4.5. Uçları Serbest FDM Silindirde Şekil Değişirme Analizi.....	40
4.5.1. FDM silindirde deplasman ve birim şekil değişirme hesabı.....	40
4.5.2. FDM silindirde radyal deplasmanın normalizasyonu.....	44
5. SONUÇ VE SAYISAL ÖRNEKLER.....	45
5.1. Malzeme Özellikleri Homojen Silindirde Gerilmeler.....	45
5.2. Malzeme Özellikleri Homojen Olmayan Silindirde Gerilmeler.....	48
5.2.1. Malzeme parametreleri aynı olan FDM silindir	48
5.2.2. Malzeme parametreleri farklı olan FDM silindir	55
KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	160

**FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ İÇİ BOŞ, UÇLARI SABİT VE
SERBEST SİLİNDİRDE GERİLME ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Celal EVCI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2004**

ÖZET

Mekanik ve ısı yüklemelerin birlikte etkimesi sonucunda homojen bir makine elemanı tüm yükleme şartlarını emniyetle taşımayabilir. Malzeme tokluğu, ısı iletkenliği, ısı genleşme katsayısı, malzeme rijitliği gibi özellikler homojen bir malzemede tüm yükleme şartlarında istenen davranışı gerçekleştirmeyebilir. Malzemenin ısı mukavemeti yüksek iken malzeme tokluğu düşük olabilir veya yüksek malzeme tokluğuna sahip malzemenin ısıya karşı direnci iyi olmayabilir, malzeme rijitliği zayıflayabilir.

Termomekanik özellikleri geliştirilmiş Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemelerin (FDM) mekanik ve ısı yüklemeler altında homojen malzemelerin ulaşamadığı özellik ve fonksiyonları sağlamaları son zamanlarda yüksek sıcaklık uygulamalarında, uzay araçlarında, optik ve biomedikal uygulamalarda, elektronik sanayiinde, aşınmaya dayanıklı yatak, dişli, kam ve benzeri makine elemanlarının kaplamalarında yoğun olarak kullanılmasını mümkün kılmıştır. Bu maksatla bir tarafında metal, diğer tarafında seramik ve geçiş bölgesi metalden seramiğe doğru fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme üretimi önem kazanmıştır.

Bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş içi boş uçları sabit ve serbest silindirde düzgün iç ısı üretimi ve mekanik yükleme (iç basınç) sonucu meydana gelen gerilme bileşenleri ve radyal deplasman bulunmuştur. Silindir için elastisite modülü, ısı genleşme katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısı radyal koordinata bağlı olarak üstel bir fonksiyon şeklinde tanımlanmıştır. Fonksiyonel derecelendirilmiş içi boş silindir için bulunan gerilme bileşenleri, malzeme özelliklerini radyal koordinata bağlı olarak tanımlayan üstel parametreler sıfır alınarak elde edilen homojen bir silindire ait gerilmelerle mukayese edilmiş, FDM silindirde gerilme bileşenlerinin daha küçük olduğu görülmüştür. FDM silindirde malzeme özelliklerini tanımlayan parametreler seramik ve metal tarafta belli bir aralık içerisinde tanımlandığında meydana gelecek gerilme bileşenlerine metal tarafın akması esas alınarak Tresca Akma şartı uygulanmış ve gerilmeleri minimize edecek optimum malzeme parametreleri belli bir aralık içerisinde yaklaşık olarak elde edilmiştir.

Bilim Kodu : MM500

Anahtar Kelimeler : Isıl gerilme, fonksiyonel derecelendirilmiş silindir, gerilme analizi

Sayfa Adedi : 160

Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Müfit GÜLGEÇ

**STRESS ANALYSIS OF A FUNCTIONALLY GRADED HOLLOW
CYLINDER WITH FIXED AND FREE ENDS**

(M.Sc.Thesis)

Celal EVCI

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2004

ABSTRACT

A homogenous machine element under both mechanical and thermal loads may not be safe for all loading conditions during its operation. Material properties such as toughness, thermal expansion, thermal conductivity, and rigidity may not be suitable simultaneously for any kind of mechanical and thermal boundary conditions. A material with high thermal resistance may have low toughness or a material with high toughness may have low thermal resistance and as a result material rigidity may weaken.

Since functionally graded materials (FGM) with improved thermomechanical properties maintain properties and functions that can not be achieved by homogenous materials and conventional homogenous composites, they are widely used as heat-shielding material for the frame of space plane and have wide application fields in nuclear, electrical, chemical, optical and biomedical treatments due the combined properties of high material toughness and thermal resistance at the same time. Due to this fact, production of FGM composed of a metal on one side, a ceramic on the other and an intermediate layer between the two becomes more important.

In this study stresses and radial displacement developed in a functionally graded hollow cylinder with fixed and free ends are calculated. FGM cylinder has uniform internal heat production and mechanically loaded at the inner surface (inner pressure). Elasticity modulus, thermal expansion and thermal conductivity coefficients of hollow cylinder are defined as power functions of radial coordinate. The stresses developed in the functionally graded cylinder are compared with stresses in a homogenous cylinder which is obtained by setting the material parameters of the power function as zero. It is seen that the stresses in FGM cylinder are lower. Then Tresca Yield Criteria is applied for the stress state of FGM cylinder of which material property parameters are defined in a certain range. As a result optimum material property parameters which minimize the stresses are obtained approximately in specified range of parameters.

Science Code : MM500

Key Words : Thermal stress, functionally graded cylinder, stress analysis

Page Number : 160

Adviser : Prof.Dr. Müfit GÜLGEÇ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof.Dr. Müfit GÜLGEÇ'e, yüksek lisans derslerinde olumlu ve öğretici yanıyla beni destekleyen hocam Prof.Dr. Ali Ünal ERDEM'e , ayrıca yüksek lisans öğrenimim süresince beni manevî destekleri ve yönlendirmeleriyle cesaretlendiren komutanlarım Doç.Dr.Y.Müh.Alb. Faruk ELALDI, Y.Müh.Alb. Sami KORKMAZ ve Müh.Alb. Mustafa ALPARSLAN'a, gösterdikleri hedeflerle hep daha ileriye işaret eden ve bu yönde Silahlı Kuvvetlere akademik kariyeri yüksek, nitelikli personel kazandırılmasında katkıları çok büyük olan Kara Harp Okulu Komutanı Tümgeneral Hulusi AKAR ve Kara Harp Okulu Dekanı Tuğgeneral Hüsmen AKDENİZ'e ve çalışmalarım boyunca sabırla desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen eşim Canan EVCI'ye teşekkürü bir borç bilirim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge Ek.1. İzotropik içi boş silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman.....	77
Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri	87
Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri	97
Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri	107
Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal deplasman	117
Çizelge Ek.6. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre $[-2,2]$ aralığında optimum malzeme parametreleri (β_1 , β_2 , β_3).....	127
Çizelge Ek.7. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan boyutsuz maksimum kayma gerilmeleri.....	128
Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 5,64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında $\beta_1 = -1,0$, $\beta_2 = 2,0$, $\beta_3 = -2,0$ parametreleri için meydana gelen boyutsuz gerilmeler ve deplasman.....	134
Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında $\beta_1 = 2,0$, $\beta_2 = -2,0$, $\beta_3 = 2,0$ parametreleri için meydana gelen boyutsuz gerilmeler ve deplasman.....	144
Çizelge Ek.10. İçi boş FDM silindirde $\bar{q}''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan boyutsuz maksimum kayma gerilmeleri.....	154

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme karakteristiği.....	2
Şekil 2.1. Klasik kompozit katman ve FDM yapısı içindeki gerilme dağılımı.....	4
Şekil 2.2. Hacim oranlarına bağlı olarak FDM içindeki gerilme-birim şekil değiştirme bağıntısı.....	6
Şekil 3.1. T/M ile imal edilmiş FDM de mikroyapının gösterimi.....	10
Şekil 3.2. Elastisite modülü ile FDM bileşenleri yapısı arasındaki bağıntı.....	11
Şekil 4.2.1.1. İçi boş silindirde mekanik sınır şartları (İç ve dış basınç).....	22
Şekil 5.1.1. Uçları sabit, içi boş homojen silindirde radyal, teğetsel ve eksenel gerilme bileşenlerinin dağılımı ($P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$, $\bar{q}''' = 5.64$).....	46
Şekil 5.1.2. Uçları sabit, içi boş homojen silindirde radyal deplasman dağılımı.....	47
Şekil 5.2.1.1. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için boyutsuz radyal gerilmelerin dağılımı.....	49
Şekil 5.2.1.2. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için boyutsuz teğetsel gerilmelerin dağılımı.....	50
Şekil 5.2.1.3. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için boyutsuz eksenel gerilmelerin dağılımı.....	51
Şekil 5.2.1.4. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için boyutsuz radyal deplasman dağılımı.....	52
Şekil 5.2.1.5. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için ısı genleşme katsayısı.....	53
Şekil 5.2.1.6. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için elastisite modülü.....	54

Şekil 5.2.1.7. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için ısı iletkenlik katsayısı.....	54
Şekil 5.2.2.1. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = -1, \beta_2 = 2, \beta_3 = -2$ parametreleri için boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman dağılımı ($\bar{q}''' = 5.64, P_i = 50$ MPa).....	57
Şekil 5.2.2.2. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = -1, \beta_2 = 2, \beta_3 = -2$ parametreleri için ısı genleşme katsayısı.....	58
Şekil 5.2.2.3. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = -1, \beta_2 = 2, \beta_3 = -2$ parametreleri için elastisite modülü.....	58
Şekil 5.2.2.4. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = -1, \beta_2 = 2, \beta_3 = -2$ parametreleri için ısı iletkenlik katsayısı.....	59
Şekil 5.2.2.5. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = 2, \beta_2 = -2, \beta_3 = 2$ parametreleri için boyutsuz gerilme bileşenleri ($\bar{q}''' = 0, P_i = 50$ MPa).....	61

EKLERİN LİSTESİ

Ek	Sayfa
Ek-1. İzotropik İçi Boş, Uçları Sabit Silindir İçindeki Gerilme ve Deplasman Hesabına İlişkin Fortran Programı.....	65
Ek-2. İçi Boş, Uçları Sabit FDM Silindirde ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) Gerilme ve Deplasman Hesabına İlişkin Fortran Programı.....	67
Ek-3. İçi Boş, Uçları Sabit FDM Silindirde ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$) Metal Tarafta Tresca Akma Şartı Kullanılarak Gerilmeleri Minimize Eden Optimum Malzeme Parametreleri ve Gerilme Bileşenlerinin Bulunmasına İlişkin Fortran Programı.....	71
Ek-4. Homojen Malzeme Parametreleri İçin İçi Boş Silindirde Gerilme Bileşenleri ve Radyal Deplasman.....	77
Ek-5. Homojen Olmayan Malzeme Parametreleri (β) İçin İçi Boş FDM Silindirde Radyal Gerilme Bileşenleri.....	87
Ek-6. Homojen Olmayan Malzeme Parametreleri (β) İçin İçi Boş FDM Silindirde Teğetsel Gerilme Bileşenleri	97
Ek-7. Homojen Olmayan Malzeme Parametreleri (β) İçin İçi Boş FDM Silindirde Eksenel Gerilme Bileşenleri.....	107
Ek-8. Homojen Olmayan Malzeme Parametreleri (β) İçin İçi Boş FDM Silindirde Radyal Deplasman.....	117
Ek-9. İçi Boş FDM Silindirde Tresca Akma Kriterine Göre Bulunan Optimum Malzeme Parametreleri (β_1 , β_2 , β_3)	127
Ek-10. İçi Boş FDM Silindirde Tresca Akma Kriterine Göre [-2,2] Aralığında Tanımlı β_1 , β_2 , β_3 Parametreleri İçin Meydana Gelen Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri.....	128
Ek-11. $\beta_1 = -1,0$, $\beta_2 = 2,0$, $\beta_3 = -2,0$ Parametreleri İçin İçi Boş FDM Silindirde Meydana Gelen Gerilme Bileşenleri ve Radyal Deplasman.....	134
Ek-12. $\beta_1 = 2,0$, $\beta_2 = -2,0$, $\beta_3 = 2,0$ Parametreleri İçin İçi Boş FDM Silindirde Meydana Gelen Gerilme Bileşenleri	144

Ek-13. İçi Boş FDM Silindirde Tresca Akma Kriterine Göre [-2,2] Aralığında Tanımlı β_1 , β_2 , β_3 Parametreleri İçin Meydana Gelen Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri.....	154
--	-----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
σ	Gerilme
σ_s	Seramikteki gerilme
σ_m	Metaldeki gerilme
V_s	Seramiğin hacimsel oranı
V_m	Metalin hacimsel oranı
α	Lineer ısı genleşme katsayısı
λ	Isı iletkenlik katsayısı
E	Elastisite (Young) modülü
$T(r)$	Silindir içinde radyal sıcaklık dağılımı
q'''	Silindir içi düzgün ısı üretimi
T_o	Silindir dış yüzey sıcaklığı
a	Silindir iç yarıçapı
b	Silindir dış yarıçapı
ε	Birim şekil değiştirme
σ_r	Radyal gerilme bileşeni
σ_θ	Teğetsel gerilme bileşeni
σ_z	Eksenel gerilme bileşeni
u	Radyal deplasman
ϕ	Airy gerilme fonksiyonu
ν	Poisson oranı
r	Radyal koordinat
P_i	Silindir iç basıncı
P_o	Silindir dış basıncı
σ_o	Metalin akma gerilmesi

Simgeler	Açıklama
$\bar{r}$	Normalize edilmiş (boyutsuz) radyal koordinat
$\bar{\sigma}$	Normalize edilmiş (boyutsuz) gerilme
$\bar{P}$	Normalize edilmiş (boyutsuz) basınç
$\bar{u}$	Normalize edilmiş (boyutsuz) deplasman
$\bar{\epsilon}$	Normalize edilmiş birim şekil değiştirme
$\bar{q}'''$	Boyutsuz ısı yük parametresi
u_c	Deplasmanın homojen kısmına ait çözüm
u_p	Deplasmanın homojen olmayan kısmına ait çözüm

Kısaltmalar	Açıklama
FDM	Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme
T/M	Toz Metalurji

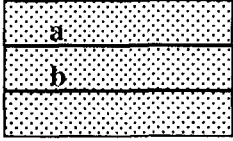
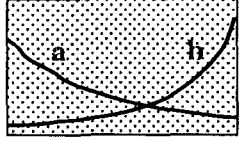
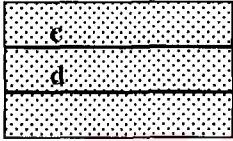
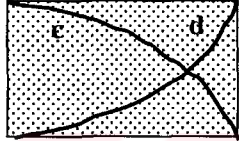
1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarının pek çoğunda bir sistemin parçaları ve makina elemanları farklı ve değişken mekanik ve ısı yüklerine maruz kalmaktadır. Çok değişken fiziksel ve operasyon şartları ve yükleme durumlarında, metal ve seramik gibi farklı malzemelerin birlikte kullanımı gerekli olabilmektedir. Ancak, birlikte kullanılan farklı malzemelerin mikroyapısında ve birleşiminde meydana gelecek keskin ve ani değişiklikler malzemelerin birleşim noktasında gerilme yığılmalarına ve çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Malzeme özelliklerindeki uyumsuzluklara bağlı olarak ortaya çıkan yerel gerilme yığılmaları ve gerilme yoğunluklarının malzeme mikroyapısındaki özellikler, metalden seramiğe doğru dereceli olarak değiştirilirse önemli ölçüde azalacağı yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Bu sebeple malzeme özellikleri dereceli olarak değişen, mikroyapısı ve özellikleri itibarıyla izotropik olmayan, klasik homojen kompozitlerden farklılık gösteren Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler (FDM) geliştirilmiştir (1).

Kompozit malzemelerde genel yapı incelendiğinde matriks adı verilen ana faz ile takviyelendirici olarak adlandırılan ikinci fazın malzeme içindeki dağılımı makroskopik seviyede izotropiktir. Yani özellikleri itibarıyla ana malzemeden farklı olan takviyelendirici malzeme kompozit malzeme içinde homojen olarak dağılmıştır. FDM lerde ise malzeme özellikleri bir yüzeyden diğerine derecelendirilmiş olarak değişir ve klasik kompozitlerden farklı olarak makroskopik seviyede izotropik değildir.

Bilinen homojen malzemelerin ulaşamadığı özellik ve fonksiyonların sağlanması açısından FDM ler çok özel bir yere ve öneme sahiptir. Termomekanik özellikleri farklı malzemelerden, mikroyapı ve malzeme birleşim profilleri istenen şekilde ayarlanmak suretiyle üretilen FDM ler yüksek ısı direnç ve istenen malzeme tokluğu gibi ihtiyaçları karşılayabilir. Şekil 1.1'de FDM yapısının karakteristik özellikleri görülmektedir. Konu hakkında ilk ciddi çalışmalar 1987 yılında Japonya'da başlamıştır. FDM

kullanarak ısı kalkanı oluşturmak ve yüksek sıcaklıklarda ısıl gerilmelere ve korozyona dayanıklı malzeme üretmek amaçlanan ilk hedefler arasında yer almıştır (2).

	Homojen Malzeme	FDM
Fonksiyon/ Özellik a) Isıl Direnç b) Kırılma Tokluğu		
Yapı c) Seramik d) Metal		

Şekil 1.1. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme Karakteristiği

FDM lerin tipik uygulamaları arasında; yanma hücrelerindeki yüksek sıcaklığa dayanıklı kaplamalar, uzay araçlarındaki ısı kalkanı, elektronik sanayiinde devre kaplama elemanları, optik ve biomedikal uygulamalar, aşınmaya dayanıklı yatak, dişli, kam ve benzeri makina elemanlarının kaplamaları ve yapıştırmaya alternatif malzemeler sayılabilir (3).

FDM lerde malzeme özellikleri yerleşime bağlı olarak değiştiğinden gerilme dağılımı da malzeme koordinatlarına bağlı olacaktır (4). Literatürde fonksiyonel derecelendirilmiş plaka, silindirik ve küresel malzemeler için çeşitli ısı ve mekanik sınır şartları altında, malzeme özellikleri değişik şekilde ele alınarak gerilme analizi yapılmıştır (11,12,13,14,15). Bu çalışmanın 2. ve 3. bölümlerinde FDM lerin özellikleri, ve üretim tekniklerine kısaca yer verilmektedir. 4. bölümde ise mekanik ve ısıl yükleme altında, sürekli rejimde uçları sabit ve serbest içi boş, uzun silindirde gerilme analizi analitik yöntemle elde edilmiştir. Çalışmada silindir içi sıcaklık ve malzeme özelliklerinin sadece radyal koordinata bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir.

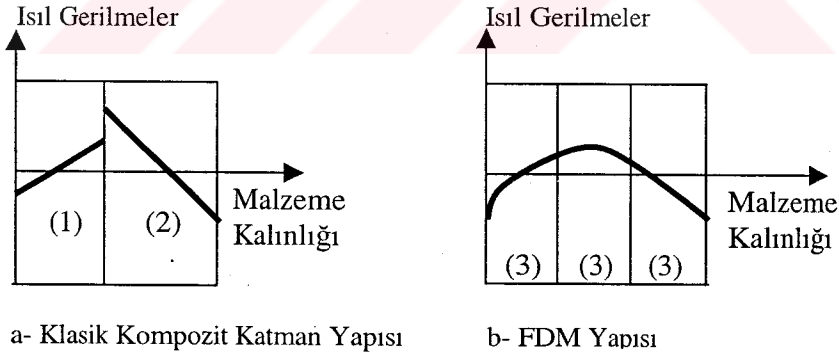
Seramik-metal yapısındaki FDM'de kırılma davranışı seramik taraftaki kırılğan yapıdan metal taraftaki sünek yapıya doğru metal fazın artmasıyla farklılık gösterecektir. Seramik kısmın mevcudiyeti sebebi ile FDM' nin genel mekanik davranışı sadece makroskopik ölçekte değil, aynı zamanda mikroskopik ölçekte de değeriendirilmesi önem kazanmaktadır. Mikroçatlak oluşumu ve yayılması bu anlamda dikkate alınması gereken konulardan birisidir. Mekanik ve ısı yüklemeler sonucunda, FDM de, metal yüzey ile devamındaki seramik parçacıklarının metal faz (matriks) içerisinde dağıldığı metalce zengin kısımda gerilmelerin akma gerilmesini aşması durumunda plastik deformasyon başlayacaktır. Bu nedenle seramik taraftaki kırılma kriteri ile birlikte metal taraftaki akma kriteri de dikkate alınması gerekir.

Bu çalışmada, içi boş silindirde oluşan gerilmeler normalize edilerek metal tarafın akması esas alınmak suretiyle Tresca Akma Kriteri uygulanmış, çalışılan sınır şartları için en emniyetli gerilme halini sağlayan optimum malzeme parametreleri yaklaşık olarak elde edilmiştir.

2. FDM' NİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Termomekanik özellikleri farklı malzemelerden, mikroyapı ve malzeme birleşim profilleri istenen şekilde ayarlanmak suretiyle üretilen FDM ler yüksek ısı direnç ve istenen malzeme tokluğu gibi ihtiyaçları karşılayabilirler. Metal-seramik malzemeden oluşan FDM'de metalce zengin kısım yüksek malzeme tokluğu gibi mekanik özellik gerektiren kullanım yerlerinde, tokluğu düşük seramikçe zengin kısım ise yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve düşük ısı iletkenliği gerektiren, keskin sıcaklık gradyanı potansiyeline sahip kullanım yerleri için tasarlanırlar.

İhtiyaç duyulan termomekanik özelliklerin elde edilmesi maksadıyla klasik kompozit katmanlar yapısında birleştirilen değişik malzemelerin birleştirilme yüzeylerinde malzeme özelliklerindeki ani değişikliklere bağlı olarak yüksek ısı gerilmeleri oluşabilirken, FDM yapısında bu gerilmeler daha yumuşak bir geçiş gösterir ve malzeme içindeki maksimum gerilme değeri daha aşağılara çekilmiş olur (3). Bu durum Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



- (1) : Metal katman
- (2) : Seramik katman
- (3) : FDM

Şekil 2.1. Klasik kompozit katman ve FDM yapısı içindeki gerilme dağılımı.

FDM içinde malzeme kalınlığı boyunca termomekanik özellikler derecelendirilmiş olarak değişecektir. Elastisite modülü, ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı gibi malzeme özellikleri tasarım kriterlerine uygun olarak malzeme boyunca dereceli bir yapıya sahip olacaktır. Düz bir plakada veya içi boş bir silindirde yüksek sertlik ve korozyona karşı direnç gerektiren, yüksek sıcaklık ve ısıl gerilme potansiyeli bulunduran tarafta seramik malzeme bulunurken malzeme tokluğu, imalat ve işleme kolaylığı gerektiren tarafta metal olacak, malzeme özellikleri dizayn şartları ve üretim tekniğine bağlı olarak derecelendirilecektir. J.R.Cho, J.Tinseley Oden (3) çalışmalarında malzeme özelliklerini bileşim içindeki seramik ve metal bileşenlerinin hacim oranlarına bağlı olarak ifade etmişlerdir. Bu çalışmada FDM çok katmanlı kompozit bir yapı olarak ele alınmış, her bir katmanın izotropik özelliklere sahip olduğu varsayılarak herhangi bir katmandaki gerilme ve birim şekil değiştirmeler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\sigma = V_s \sigma_s + V_m \sigma_m \quad [2.1]$$

$$\varepsilon = V_s \varepsilon_s + V_m \varepsilon_m \quad [2.2]$$

Bu formüllerde;

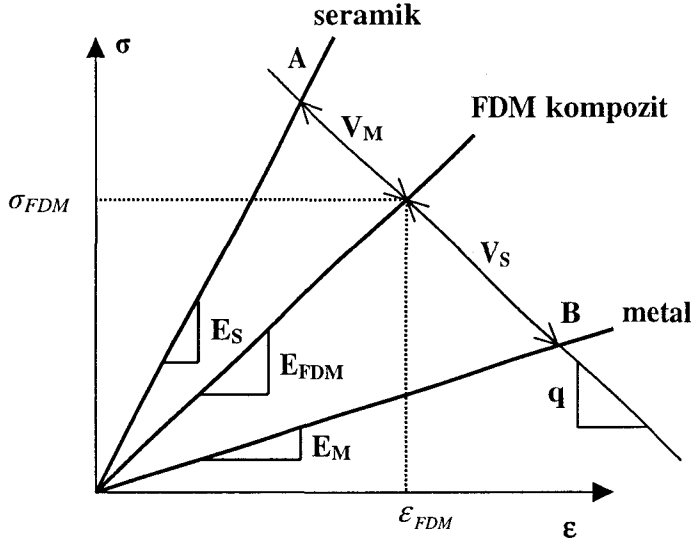
V_s : Seramiğin hacimsel oranı, V_m : Metalin hacimsel oranı

σ_s : Seramikteki gerilme , σ_m : Metaldeki gerilme

ε_s : Seramikteki birim şekil değiştirme , ε_m : Metaldeki birim şekil değiştirmedir. Buna göre FDM' nin elastisite modülü Şekil 2.2'deki grafikte gösterildiği şekilde tanımlanmıştır. Şekil 1.2' den de görüleceği gibi;

$$q = (\sigma_A - \sigma_B) / (\varepsilon_A - \varepsilon_B) \quad [2.3]$$

q değerleri değişik hacimsel oranlar için deneysel olarak bulunmuştur. Böylece FDM katmanları boyunca malzeme içindeki elastisite modülü hesap edilmiştir. Deneysel sonuçlara uygun olarak elastisite modülü q , V_m , V_s , E_m , E_s ' ye bağlı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.2. Hacim oranlarına bağlı olarak FDM içindeki gerilme-birim şekil değiştirme bağıntısı.

Alla, iki boyutlu sürekli derecelendirilmiş malzeme özelliklerini hacim oranları ve karışım kurallarına bağlı olarak ifade etmek suretiyle gerilme analizi yapmıştır (5). Metal ve seramiğin hacim oranları koordinatlara bağlı olarak ifade edilmiş ; elastisite modülü, ısı iletkenlik katsayısı, ısıl genleşme katsayısı gibi tüm malzeme özellikleri metal-seramik bileşimindeki malzeme hacim oranlarına göre hesaplanmıştır. Alla çalışmasında problemi kompozit katmanlar yaklaşımı ile değil malzeme özellikleri sürekli derecelendirilmiş anizotropik malzeme özelliklerini esas alan bir yaklaşımla incelemiştir.

FDM problemlerinde malzeme özellikleri için deneysel metotlarla birlikte teorik yaklaşımlar da kullanılmıştır. Sürekli derecelendirilmiş malzeme özelliklerine en iyi yaklaşım şekli hacim oranları ve karıştırma kuralları ile mümkün olmakla birlikte bu metotla analitik çözüm imkansız olurken sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm bulunabilir. Analitik çözümde ise genellikle sürekli derecelendirilmiş malzeme özellikleri için üstel fonksiyonlar tanımlanmıştır.

$$\alpha = \alpha_0 \exp(pr) \quad \text{veya} \quad \alpha = \alpha_0 r^{\beta_1} \quad [2.4]$$

$$E = E_0 \exp(tr) \quad \text{veya} \quad E = E_0 r^{\beta_2} \quad [2.5]$$

$$\lambda = \lambda_0 \exp(qr) \quad \text{veya} \quad \lambda = \lambda_0 r^{\beta_3} \quad [2.6]$$

Bu şekilde tanımlanan malzeme özellikleri aynı zamanda sıcaklığa bağlı olarak da değişebilmektedir. Malzeme özelliklerinin üstel fonksiyonlarla tanımlanması analitik çözümü kolaylaştırmakla birlikte alt ve üst yüzey dışında malzeme kalınlığı boyunca tanımlanan değerler gerçek malzeme özelliklerinden sapmalar gösterecektir.

Birçok endüstriyel makine elemanı maruz kaldığı yüksek işletme sıcaklıkları sebebiyle sıcaklığa dirençli malzemeden yapılmalıdır. Bu yönüyle uzay araçları, nükleer reaktörler, yanma hücreleri gibi uygulama sahası bulan FDM ler ısı kalkan malzemesi olarak son yıllarda oldukça önem kazanmışlardır. Özellikle uzay mekiğinde dış yüzeyde ateşleme kısmından mekiğin burun kısmına, dış yüzeyden içteki ortam sıcaklığına 1000-1500 °C sıcaklık farkı bulunmaktadır. Bu kadar farklı sıcaklık değişimlerine dayanabilecek, kabul edilebilir ölçüde gerilmelerin oluşmasını sağlayacak malzeme çözümü olarak FDM ön plana çıkmaktadır. Yakın zamanda tanık olunan Kolombiya uzay mekiğindeki parçalanma olayının aslında yapısal bir hasar sonucu (belki de kalkış anında dış yüzeyindeki izolasyon tabakasının düşmesinden ötürü) meydana geldiği International Herald Tribune (2003) tarafından duyurulmuştur. Bu olay da uzay araçlarındaki ısı yalıtımı ve ısı kalkan malzeme dizaynının ne denli önem taşıdığını göstermektedir.

FDM'lerin değişik mühendislik alanlarındaki uygulamalarına yönelik çalışmalar hızla sürdürülmektedir. Tipik uygulamaları arasında elektronik sanayiinde devre kaplama elemanları, optik ve biomedikal uygulamalar, aşınmaya dayanıklı yatak, dişli, kam ve benzeri makina elemanlarının kaplamaları ve yapıştırmaya alternatif malzemeler sayılabilir .

3. FDM ÜRETİM TEKNİKLERİ

FDM dizaynında ilk aşama malzeme özelliklerinin istenen şekilde derecelendirilmesidir. İkinci aşama ise derecelendirilmiş malzeme özelliklerini temin edecek mikroyapıyı oluşturabilecek uygun üretim tekniklerinin elde edilmesidir. FDM üretim teknikleri arasında Toz Metalurji (T/M) yöntemi, Santrifüj Döküm yöntemi, Lazer Alaşım tekniği, Isı Demeti metodu ve kimyasal metodlar yer almaktadır (1). T/M tekniği ile FDM üretimi oldukça uygun ve hızla gelişmekte olan bir yöntemdir (4). T/M tekniği ile FDM üretim aşamaları şunlardır:

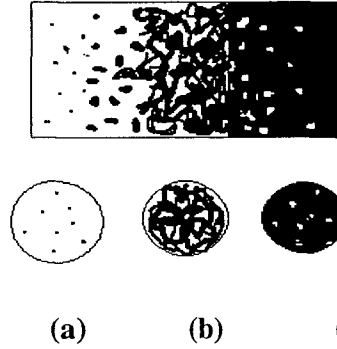
- 1- T/M tekniği ile FDM üretiminde ilk aşama istenen özelliklerdeki seramik-metal bileşenlerinin seçimi ve yapısal dağılımın optimum dizaynıdır (6).
- 2- Yapısal dağılım dizaynına uygun formda metal ve seramik tozları kontrollü karıştırılarak atomizasyon tekniği ile istenen hacimde toplanır.
- 3- Yoğunlaştırma işlemleri yapılır (Presleme özellikle de soğuk veya sıcak izostatik presleme).
- 4- Yoğunlaştırılmış ham parça sinterlenir ve istenen mukavemet değerini elde eder, yük taşımaya uygun hale gelir.

Bu aşamalarda FDM üretimindeki önemli iki kriter şunlardır:

- 1- Yoğunlaştırılmış, ancak mukavemeti düşük, yük taşımaya henüz uygun olmayan, istenen termomekanik özellikleri taşıyan derecelendirilmiş metal-seramik karışımından ham parçanın elde edilmesi.
- 2- Malzeme içinde çatlak veya boşluk oluşumuna müsaade etmeden ham parçanın düzgün sinterleme sıcaklığında pişirilmesi. Gerek duyulduğu takdirde sıcak izostatik presleme ile tozların ergime sıcaklıklarının yaklaşık 2/3' ü kadar sıcaklık ve yüksek basınçlarda (1700 °C ve 100 MPa basınçta dahi yapılabilmekte, % 100 yoğun malzeme elde edilebilmektedir.) çatlak ve boşluk oluşumunun önlenmesi de mümkündür.

Bu önemli iki aşamadan ilkinde istenen özelliklerde derecelendirilmiş metal-seramik yapısı, T/M tekniği ile metal ve seramik eriyiğinden atomizasyon tekniği ile istenen hacimsel yapıda kontrollü olarak elde edilen metal-seramik tozları preslenerek elde edilebilmektedir. Sıvı haldeki metal ve seramiğin karıştırma oranları akıtma potalarında sürekli olarak kontrol edilmek suretiyle istenen dizayna uygun malzeme özelliklerini verecek mikroyapının elde edilmesi sağlanır. Karıştırma kulesinde toplanan metal-seramik eriyiği kuleden serbest akarken, özel nozullarla basınçlı hava veya gaz vermek suretiyle sıvı demetinde gaz jetlerinin darbesiyle dalga hareketi başlar. Dalga hareketi sıvı demetinin incelmesine ve tabakalaşmasına yol açar. Sonuçta, sıvı metal, ucundan kopmaya ve çubuklar oluşturmaya başlar. Dalga hareketi çubuklarda da devam eder. Dik yönde devam eden dalga hareketleri ile çubuklardan elipsoidler kopmaya başlar. Oluşan elipsoid damlacıklar soğuma ile katılaşıırken küreselleşmeye uğrar ve toplama kulesine gelirler. Toz parçacıkları toplama kulesinden aşağıda bir tabla üzerinde toplanır. Bu şekilde toplanan toz parçacıkları preslenerek yoğunlaştırılır ve ham parça elde edilir.

İkinci aşama olan sinterlemede ortaya çıkabilecek önemli bir problem ise farklı karıştırma oranlarına sahip metal-seramik tozlarından oluşan ham parçanın sinterlenmesi sırasında sıcaklığa bağlı olarak toz parçacıklarının farklı davranış göstermesi, farklı özelliklere sahip olmasıdır. Buna bağlı olarak sinterleme sırasında çatlak oluşumu, ayrılma, büzülme gibi problemlerle karşılaşmamak için başlangıçtaki toz parçacıklarının büyüklüklerinin kontrol altında tutulması ve karışıma başka bir aktivasyon elementinin eklenmesi gerekir. Toz parça büyüklüğü kontrol altında tutularak ve sinterleme işlemini sıcak izostatik presleme ile yaparak bu tür problemlerin üstesinden gelinebilir. Sıcak izostatik presleme ile %100 yoğun parça dahi elde edilebilir. Sinterleme sonucunda parçanın mukavemeti ham mukavemetin 1000 katı civarında artar.



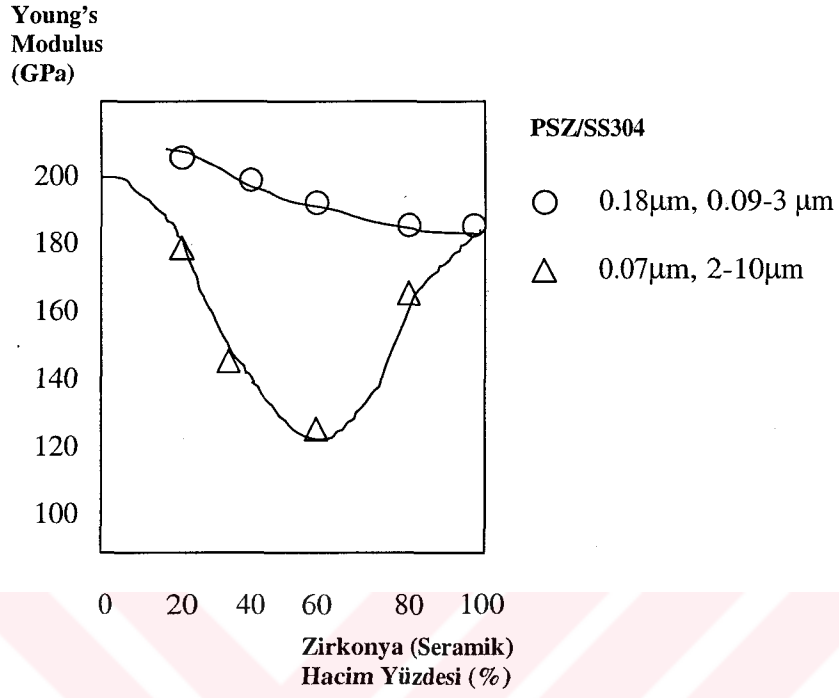
Malzeme mikroyapısı:

- (a) : Metal matriks içinde seramik parçacıkları
- (b) : Seramik-Metal ağı
- (c) : Seramik matriks içinde metal parçacıkları

Şekil 3.1. T/M ile imal edilmiş Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemede mikroyapının gösterimi

T/M yöntemi ile imal edilen Fonksiyonel derecelendirilmiş bir malzemenin mikroyapı dağılımı Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Metalce zengin tarafta (a) seramik parçacıkları metal matriksinde dağılmıştır. Seramik fazının artması ile seramikle metalin bir ağ yapısı oluşturduğu (b)' de görülen faz meydana gelir. Seramik oranının iyice artması ile birlikte seramik yapının içinde dağılmış metal parçacıklarını görmek mümkündür.

Sinterlenmiş seramik-metal karışımı FDM'de fiziksel özellikler malzeme içindeki yapıya bağlı olarak değişir. Isıl genleşme katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı, elektrik iletkenliği, elastisite modülü seramik-metal yoğunluğuna ve de parçacıkların büyüklüklerine bağlıdır. Yapılan deneysel çalışmalar T/M ile üretilen FDM'de seramik ve metal tozlarının tane büyüklüğüne bağlı olarak malzeme özelliklerinin önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur (2). Şekil 3.2'de değişik büyüklükteki seramik-metal toz tanecikleri için mikroyapıdaki bileşime bağlı olarak Elastisite Modülündeki değişim Zirkonya ve 304 kalite paslanmaz çelik için verilmiştir. Mikroyapıda aynı bileşim oranları için farklı tanecik büyüklüklerine bağlı olarak doğrusal veya sinüzoidal bir bağıntı elde etmek mümkündür.



Şekil 3.2. Elastisite Modülü ile FDM bileşenleri yapısı arasındaki bağıntı

Deneysel olarak elde edilen bu veriler ışığında dizayn kriterlerine göre istenen malzeme özelliklerini elde etmek için üretim aşamasında dikkatli ve titiz bir çalışmanın gerekli olduğu açıktır.

4. FDM'DE GERİLME - ŞEKİL DEĞİŞTİRME ANALİZİ

FDM lerde malzeme özellikleri yerleşime bağlı olarak değiştiğinden gerilme ve genleme analizi de malzeme koordinatlarına bağlı olacaktır (4). Literatürde fonksiyonel derecelendirilmiş plaka, silindirik ve küresel malzemeler için çeşitli ısı ve mekanik sınır şartları altında, malzeme özellikleri değişik şekilde ele alınarak gerilme analizi sonlu elemanlar yöntemi, sayısal yöntemler ve analitik çözümle yapılmıştır. Butcher ve Tippur derecelendirilmiş epoksi-cam için elastisite modülünü deneysel olarak ultrasonik ölçümlerle ortaya koymuşlardır (7). Ölçümlerde söz konusu malzeme için $E_{\text{epoksi}}/E_{\text{cam}} = 1/3$, malzeme içindeki derecelendirilmiş yapıda da doğrusal bir bağıntı bulunmuştur. Lutz ve Zimmermann küresel ve silindirik elemanlarda homojen olmayan malzeme özelliklerini tek yönlü (radyal) doğrusal bir bağıntı ile tanımlayarak gerilme analizi yapmışlardır (8).

Literatürde ısı ve mekanik özellikleri radyal yönde sürekli ve istenen şekilde değişen içi boş bir silindir için ısı gerilme problemi kompozit katmanlar modeli yaklaşımı ile çözülmüş çalışmalar vardır. Ootao, Tanigawa ve Nakamura uçları sabit, sadece ısı yüküne maruz (içten ve dıştan ısı taşınımına maruz) silindirde gerilme analizini analitik ve sayısal olarak yapmışlardır (9). Bu çalışmada gerilme analizi kompozit katmanlar teorisi yaklaşımıyla yapılmıştır. Bu yaklaşımda silindirin n adet katmandan oluştuğu, her bir i katmanında malzeme özelliklerinin homojen ve diğer katmanlardan farklı olduğu varsayılmıştır. Bu şekilde tanımlanan çok sayıda katman silindirin tüm özelliklerini taşımaktadır. Malzeme özellikleri sıcaklığa bağlı olarak ifade edilmiş, hacim oranları ve karışım kuralı kullanılarak gerilmeler elde edilmiştir.

Tangawa, Oka, Akai, Kawamura homojen olmayan Zirkonyum Oksit (ZrO_2) ve Titanyum alaşımından (Ti-6Al-4V) oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş içi boş bir silindir için gerilme analizinde kompozit katmanlar yaklaşımını kullanmışlardır (10). Bu yaklaşımla silindirin iç ve dış çaplarının oranları, dış

ısı kaynağına bağlı olarak sıcaklık artışı ve silindir içi ve dışı ısı taşınım katsayıları gibi parametreleri değiştirmek suretiyle optimum malzeme bileşenleri saptanmıştır.

FDM'lerde malzeme özellikleri sürekli ve dereceli olarak değiştiğinden kompozit katmanlar yaklaşımına göre gerçeğe daha yakın bir yaklaşım tarzı ise malzeme özelliklerinin üstel bir fonksiyonla ifadesidir. Liew, Kitipornchai, Zhang ve Lim malzeme özellikleri için $\alpha = \alpha_0 \exp(pr)$, $\lambda = \lambda_0 \exp(qr)$, $E = E_0 \exp(tr)$ tanımlamasını yaparak gerilme analizi yapmışlardır (11). Malzeme özellikleri bu şekilde tanımlanmak suretiyle çalışmada, içi boş silindirde, eksenel simetrik sıcaklık dağılımından dolayı meydana gelen ısı gerilmeleri hesaplanmıştır.

Tütüncü ve Öztürk fonksiyonel derecelendirilmiş, basınca maruz içi boş silindir ve küresel malzeme için sıcaklık etkisini dikkate almaksızın (ısı yük yok) elastisite modülünü sadece radyal yönde değişken alıp ve $E = E_0 r^\beta$ şeklinde tanımlayarak mekanik yükleme sonucu meydana gelen gerilmeleri Cauchy-Euler denklem modeli ile elde etmiştir (12). Bu çalışmada malzeme özellikleri teğetsel yönde izotropik (yani açığa bağlı değil) varsayılmış, Poisson oranı, $\nu = 0.3$ alınmıştır. $-2 \leq \beta \leq 2$ alınarak silindirik ve küresel elemanlardaki gerilmeler bulunmuştur.

Literatürde malzeme özellikleri $\alpha = \alpha_0 r^{\beta_1}$, $E = E_0 r^{\beta_2}$, $\lambda = \lambda_0 r^{\beta_3}$ şeklinde tanımlanarak ve malzeme özellikleri için sıcaklıkla değişken ve sabit kabulü ile yapılan çalışmalar da vardır. Bu yaklaşımla analitik çözüm daha kolay elde edilmektedir (13,14,15). Literatürde yer alan çalışmaların çoğunda Poisson oranı sabit olarak alınmıştır.

Bu çalışmada uçları sabit ve serbest silindirde, sürekli rejimde termal (ısı etkisi altında) ve mekanik yükleme durumunda içi boş uzun silindir için malzeme özellikleri $\alpha = \alpha_0 r^{\beta_1}$, $E = E_0 r^{\beta_2}$, $\lambda = \lambda_0 r^{\beta_3}$, $\nu = 0.3$ alınmak suretiyle

gerilme ve şekil değiştirme analizi yapılacaktır. Silindir içindeki sıcaklık $T = T(r)$ şeklinde radyal koordinata bağlı olarak tanımlanmıştır. Gerilme ve birim şekil değiştirmeler analitik çözümle bulunacaktır. Silindir içi gerilmeler silindirin metal tarafındaki metalin akma gerilmesine göre normalize edilerek Tresca Akma şartına göre malzeme parametreleri $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$, $-2 < \beta_1, \beta_2, \beta_3 < 2$ aralığında alınarak gerilmeleri en aza indirgeyen optimum $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ değerleri bulunacaktır. Böylece üretim aşamasından önce belli bir yükleme durumunda FDM yapısının temel özellikleri belirlenebilecektir.



4.1. FDM Silindirde Sıcaklık Dağılımı ($T=T(r)$)

Silindir içerisinde birim zaman ve birim hacim başına düzgün (üniform) iç ısı üretimi q''' ile gösterilmiştir. Silindir iç yüzeyi yalıtılmış, dolayısıyla silindir iç yüzeyinde ısı gradyanı sıfırdır. Silindir dış yüzey sıcaklığı T_o alınmıştır.

Silindirik koordinatlarda sürekli rejimde ısı denklemi :

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(\lambda r \frac{dT}{dr} \right) + q''' = 0 \quad [4.1.1]$$

şeklindedir. Denklem çözümünde derecelendirilmiş malzeme özelliği gereği ısı iletkenlik katsayısı λ ,

$$\lambda = \lambda_o r^{\beta_3} \quad [4.1.2]$$

şeklinde tanımlanır.

Eş. 4.1.1' deki diferansiyel denklemin genel çözümü olarak

$$T(r) = \frac{-q'''}{2\lambda_o(2-\beta_3)} r^{2-\beta_3} - C_1 r^{-\beta_3} + C_2 \quad [4.1.3]$$

bağıntısı elde edilir. Eş. 4.1.3'de keyfi sabitlerin bulunması için; silindir iç

yüzeyinde ($r = a$) $\frac{dT}{dr} = 0$ (Yalıtılmış iç yüzeyde sıcaklık gradyanı sıfırdır) ve

silindir dış yüzeyinde ($r = b$) $T(r = b) = T_o$ sınır şartları kullanılır.

İlk sınır şartı Eş. 4.1.3 için uygulandığında $C_1 = \frac{a^2 q'''}{2\lambda_o \beta_3}$ bulunur. İkinci sınır

şartı Eş. 4.1.3 için uygulandığında ise $C_2 = T_o + \frac{q''' b^{2-\beta_3}}{2\lambda_o(2-\beta_3)} + \frac{a^2 q''' b^{-\beta_3}}{2\lambda_o \beta_3}$ elde

edilir. C_1 ve C_2 sabitleri Eş. 4.1.3'de yerine yazılırsa;

$$T(r) = \frac{-q'''}{2\lambda_o} \frac{r^{2-\beta_3}}{2-\beta_3} - \frac{a^2 q'''}{2\lambda_o} \frac{r^{-\beta_3}}{\beta_3} + T_o + \frac{q''' b^{2-\beta_3}}{2\lambda_o(2-\beta_3)} + \frac{a^2 q''' b^{-\beta_3}}{2\lambda_o \beta_3}$$

Bu eşitlikte silindir dış yüzey sıcaklığı referans sıcaklık kabul edilirse;

$$T(r) = \frac{q'''}{2\lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2-\beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right] \quad [4.1.4]$$

bağıntısı elde edilir. Eş. 4.1.4'deki $T(r)$ silindir içerisindeki gerilmeleri bulmak için birim şekil değiştirmelerin hesabında, uygunluk ve denge denklemlerinde yer alan sıcaklık ifadesi için kullanılacaktır.



4.2. Uçları Sabit FDM Silindirde Gerilme Analizi

Uçları sabit uzun silindirde eksenel yönde deplasman yoktur. Silindir içerisindeki sıcaklık dağılımının sadece r 'ye bağlı olması ve silindirin eksenel doğrultuda hareketinin engellenmesi nedeniyle $\varepsilon_z=0$ olur. Silindir geometrisi ve mekanik yüklemeyi meydana getiren radyal yöndeki basınç dağılımı silindir eksenini boyunca simetrik olduğundan teğetsel deplasman yoktur. Radyal deplasman da sıcaklık gibi sadece r 'ye bağlıdır. Silindir eksenini boyunca düz olan tüm kesitler simetrik radyal yükleme sonrası yine düz kalır. Bu nedenle kayma genlemeleri sıfırdır. Dolayısıyla problem Düzlem Şekil Değiştirme durumu ile açıklanır. Bu durumda Şekil Değiştirme Matrisi

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_r & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [4.2.1]$$

şeklinde olur.

4.2.1. FDM silindirde gerilmelerin hesabı

Elastik bir cisim için gerilme, şekil değiştirme bağıntıları Genelleştirilmiş Hooke Kanunu kullanılarak,

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_\theta + \sigma_z)] + \alpha T \quad [4.2.1.1]$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} [\sigma_\theta - \nu(\sigma_r + \sigma_z)] + \alpha T \quad [4.2.1.2]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)] + \alpha T \quad [4.2.1.3]$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemlerde ν Poisson oranı, α lineer ısı genleşme katsayısı, T sıcaklık dağılımı, E Young modülü, σ_r radyal gerilme bileşeni, σ_θ çevresel gerilme bileşeni, σ_z ise eksenel gerilme bileşenidir. FDM

özelliklerine bağlı olarak ısı genleşme katsayısı ve Young modülü Eş. 4.1.2'ye benzer şekilde,

$$\alpha = \alpha_o r^{\beta_1} \quad [4.2.1.4]$$

$$E = E_o r^{\beta_2} \quad [4.2.1.5]$$

ile tanımlanır. Bu ifadelerde α_o ve E_o ısı genleşme katsayısı ve Young modülü sabitleridir. Eş. 4.2.1.3'de Düzlem Şekil Değiştirme durumu için $\varepsilon_z = 0$ alınır ve eksenel gerilme bileşeni

$$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) - E\alpha T \quad [4.2.1.6]$$

bağıntısıyla bulunur.

Eş. 4.2.1.6, Eş. 4.2.1.1 ve Eş. 4.2.1.2 ' de yerine yazılırsa radyal ve teğetsel birim şekil değiştirmeler;

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [(1-\nu^2)\sigma_r - \nu(1+\nu)\sigma_\theta + (1+\nu)E\alpha T] \quad [4.2.1.7]$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} [(1-\nu^2)\sigma_\theta - \nu(1+\nu)\sigma_r + (1+\nu)E\alpha T] \quad [4.2.1.8]$$

eşitlikleri ile elde edilir.

Birim şekil değiştirmeler için bağıntılar ise;

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr} \quad [4.2.1.9]$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{u}{r} \quad [4.2.1.10]$$

şeklinde verilebilir. Bu ifadelerde u radyal deplasman, r ise radyal koordinattır. Eş. 4.2.1.9 ve Eş. 4.2.1.10 denklemlerinden u terimi yok edilirse, uygunluk denklemi;

$$\varepsilon_r = \frac{d}{dr}(r\varepsilon_\theta) \quad [4.2.1.11]$$

şeklinde elde edilir. Eşitliğin sağ tarafında türev alınırsa uygunluk denklemi

$$\frac{\varepsilon_r - \varepsilon_\theta}{r} - \frac{d\varepsilon_\theta}{dr} = 0 \quad [4.2.1.12]$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Eksenel simetriye sahip bir silindir için denge denklemi

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad [4.2.1.13]$$

şeklindedir. Denge denklemini sağlayacak şekilde ϕ gerilme fonksiyonu kullanılarak gerilme bileşenleri

$$\sigma_r = \frac{\phi}{r} \quad [4.2.1.14]$$

$$\sigma_\theta = \frac{d\phi}{dr} \quad [4.2.1.15]$$

bağıntılarıyla tanımlanabilir. Gerilme bileşenlerinin ϕ cinsinden ifadesi Eş. 4.2.1.7 ve Eş. 4.2.1.8'de yerine konulursa, ε_r ve ε_θ ϕ cinsinden elde edilmiş olur. Daha sonra birim şekil değiştirme bileşenleri Eş. 4.2.1.12'de verilen uygunluk denkleminde yerine yazılırsa, ϕ cinsinden aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilir:

$$\begin{aligned} r^2 \frac{d^2\phi}{dr^2} + (1 - \beta_2)r \frac{d\phi}{dr} - \left(1 - \frac{\nu\beta_2}{1 - \nu}\right)\phi = \\ \frac{E_o \alpha_o q''''}{2(1 - \nu)\lambda_o} \left[\frac{\beta_1 b^{2-\beta_3}}{\beta_3 - 2} r^{\beta_1 + \beta_2 + 1} + \frac{\beta_1 - \beta_3 + 2}{2 - \beta_3} r^{\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3} - \frac{a^2 b^{-\beta_3} \beta_1}{\beta_3} r^{\beta_1 + \beta_2 + 1} + \right. \\ \left. \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3)}{\beta_3} r^{\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1} \right] \end{aligned} \quad [4.2.1.16]$$

Eş. 4.2.1.16 ile elde edilen diferansiyel denklem değişken terimli homojen olmayan Cauchy-Euler denklemdir. Cauchy-Euler denkleminin homojen

kısmı $r^2 \frac{d^2\phi}{dr^2} + (1 - \beta_2)r \frac{d\phi}{dr} - \left(1 - \frac{\nu\beta_2}{1 - \nu}\right)\phi = 0$ şeklindedir. $r = e'$ dönüşümü

yapılırsa homojen kısma ait denklem;

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} - \beta_2 \frac{d\phi}{dt} - \left(1 - \frac{\nu\beta_2}{1 - \nu}\right)\phi = 0 \quad [4.2.1.17]$$

şeklinde sabit terimli homojen Cauchy-Euler denklemine dönüşür. Eş. 4.2.1.17'yi sağlayan gerilme fonksiyonu $\phi = e^{mt}$ şeklindedir. Bu fonksiyon Eş.4.2.1.17'de yerine yazılırsa;

$m^2 - \beta_2 m - (1 - \frac{v\beta_2}{1-\nu}) = 0$ karakteristik denklemi elde edilir. Bu denklemin

çözümünde $m_{1,2} = \frac{\beta_2 \mp \sqrt{\beta_2^2 + 4(1 - \nu\beta_2/1-\nu)}}{2}$ şeklinde bulunur. Homojen

kısımın çözümü, böylece

$$\phi_c = C_1 r^{m_1} + C_2 r^{m_2} \quad [4.2.1.18]$$

şeklinde olacaktır.

Eş. 4.2.1.16'da homojen olmayan kısmın çözümü için, eşitliğin sağ tarafında homojen olmayan terimleri içeren kısım Y ile gösterilirse;

$$Y = \frac{E_o \alpha_o q'''}{2(1-\nu)\lambda_o} \left[\frac{\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}}{\beta_3 (\beta_3 - 2)} r^{\beta_1 + \beta_2 + 1} + \frac{\beta_1 - \beta_3 + 2}{2 - \beta_3} r^{\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3} + \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3)}{\beta_3} r^{\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1} \right] \quad [4.2.1.19]$$

şeklinde ifade edilir. Bu şekildeki homojen olmayan kısım için belirli bir çözüm

$$\phi_p = A r^{(\beta_1 + \beta_2 + 1)} + B r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1)} + C r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3)} \quad \text{şeklinde tanımlanır ve } r = e^t$$

dönüşümü yapılarak, Eş. 4.2.1.16'daki ana denklemde yerine yazıldığında

$$\frac{d^2 \phi_p}{dt^2} - \beta_2 \frac{d\phi_p}{dt} - (1 - \frac{v\beta_2}{1-\nu}) \phi_p = Y \quad \text{şeklinde elde edilen diferansiyel denklem}$$

çözülürse A, B, C sabitleri Belirsiz Katsayılar Metodu ile aşağıdaki şekilde bulunur:

$$A = \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{v\beta_2}{1-\nu}) \right]}$$

$$B = \frac{a^2(\beta_1 - \beta_3)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3 \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]}$$

$$C = \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)(2 - \beta_3) \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]}$$

Buna göre homojen olmayan kısım için belli bir çözüm;

$$\phi_p = \frac{[\beta_1\beta_3b^{2-\beta_3} - a^2\beta_1(\beta_3 - 2)b^{-\beta_3}]E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3(\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 + 1)} +$$

$$\frac{a^2(\beta_1 - \beta_3)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3 \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1)} +$$

$$\frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)(2 - \beta_3) \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3)}$$

[4.2.1.20]

bağıntısı ile elde edilir.

Genel çözüm ise homojen kısma ait çözüm (Eş. 4.2.1.18) ile homojen olmayan kısma ait belli bir çözümün (Eş. 4.2.1.20) toplamıdır.

$$\phi = C_1 r^m + C_2 r^m + \frac{[\beta_1\beta_3b^{2-\beta_3} - a^2\beta_1(\beta_3 - 2)b^{-\beta_3}]E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3(\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 + 1)}$$

$$+ \frac{a^2(\beta_1 - \beta_3)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3 \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1)}$$

$$+ \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)(2 - \beta_3) \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3)}$$

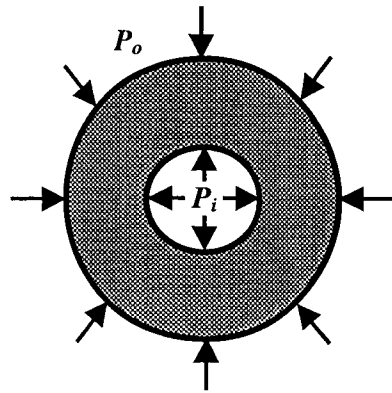
[4.2.1.21]

Airy gerilme fonksiyonu Eş. 4.2.1.21'de verildiği gibi ifade edilerek radyal ve teğetsel gerilmeler Eş. 4.2.1.14 ve Eş. 4.2.1.15 yardımıyla bulunabilir. Airy gerilme fonksiyonu Eş. 4.2.1.14'de yerine yazılırsa radyal gerilmeler;

$$\begin{aligned} \sigma_r = & C_1 r^{m_1-1} + C_2 r^{m_2-1} + \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2)} \\ & + \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3)} \\ & + \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 - \beta_3 + 2)} \end{aligned}$$

[4.2.1.22]

bağıntısı ile bulunur. Bu eşitlikte yer alan C_1 ve C_2 integral sabitleri mekanik yükleme sınır şartlarından bulunur. Şekil 4.2.1.1'de görüldüğü gibi içi boş silindirde iç yarıçap a , iç kısımdaki basınç P_i ; dış yarıçap b , dış kısımdaki basınç P_o 'dır.



Şekil 4.2.1.1. İçi boş silindirde mekanik sınır şartları (iç ve dış basınç)

Buna göre sınır şartları

$$\sigma_r(r=a) = -P_i \quad [4.2.1.23]$$

$$\sigma_r(r=b) = -P_o \quad [4.2.1.24]$$

şeklinde yazılabilir. Belirtilen sınır şartları Eş. 4.2.1.22'de uygulanırsa C_1 ve C_2 integral sabitleri aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$C_1 = \frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}}$$

$$C_2 = \frac{-P_o - C_1 b^{m_1-1} - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} \quad [4.2.1.25]$$

Eş. 4.2.1.25'de $\beta = \beta_1 + \beta_2 - \beta_3$ şeklinde tanımlanmıştır.

C_1 ve C_2 integral sabitleri Eş. 4.2.1.22'de yerine yazılırsa içi boş silindirden radyal gerilme bileşeni;

$$\sigma_r = \frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} r^{m_1-1}$$

$$+ \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2}}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right.$$

$$\left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] r^{m_2-1} +$$

$$\frac{[\beta_3 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} +$$

$$\frac{a^2(\beta_1 - \beta_3)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3\left[(\beta+1)^2 - \beta_2(\beta+1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})\right]}r^\beta +$$

$$\frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)(2 - \beta_3)\left[(\beta+3)^2 - \beta_2(\beta+3) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})\right]}r^{\beta+2}$$

[4.2.1.26]

bağıntısıyla bulunur. Teğetsel gerilme bileşeni ise Eş. 4.2.1.15 kullanılarak

$$\sigma_\theta = C_1 m_1 r^{m_1-1} + C_2 m_2 r^{m_2-1} + A(\beta_1 + \beta_2 + 1)r^{\beta_1+\beta_2} + B(\beta+1)r^\beta + C(\beta+3)r^{\beta+2}$$

bağıntısıyla ifade edilir. Buna göre teğetsel gerilme bileşeni daha açık bir şekilde;

$$\sigma_\theta = \frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b}\right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2})\right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{(a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1})/m_1} r^{m_1-1}$$

$$+ \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{(Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right.$$

$$\left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b}\right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2})\right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] m_2 r^{m_2-1} +$$

$$\frac{[\beta_1\beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2\beta_1(\beta_3-2)b^{-\beta_3}][\beta_1 + \beta_2 + 1]E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3(\beta_3-2)\left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2(\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})\right]}r^{\beta_1+\beta_2} +$$

$$\frac{a^2(\beta_1 - \beta_3)(\beta+1)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)\beta_3\left[(\beta+1)^2 - \beta_2(\beta+1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})\right]}r^\beta +$$

$$\frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)(\beta+3)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)(2 - \beta_3)\left[(\beta+3)^2 - \beta_2(\beta+3) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})\right]}r^{\beta+2}$$

[4.2.1.27]

bağıntısıyla bulunur.

Radyal ve teğetsel gerilme bileşenlerine bağlı olarak eksenel gerilme bileşenleri Eş. 4.2.1.6'da tanımlandığı gibi düzlemsel şekil değiştirme hali için, $\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) - E\alpha T$ şeklinde tanımlanmıştır. Eş. 4.2.1.26, Eş. 4.2.1.27 ve Eş. 4.1.4 söz konusu ifadede yerine yazılıp düzenlenirse, eksenel gerilme bileşeni aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$\sigma_z = \frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{(a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}) / ((1+m_1)\nu)} r^{m_1-1}$$

$$+ \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2}}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right.$$

$$\left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \nu (1+m_2) r^{m_2-1} +$$

$$\frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q''' (\beta_1 + \beta_2 + 2) \nu}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} +$$

$$\frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) E_o \alpha_o q''' (\beta + 2) \nu}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta +$$

$$\frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) E_o \alpha_o q''' (\beta + 4) \nu}{2 \lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2} -$$

$$\frac{E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2 - \beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right] r^{\beta_1+\beta_2}$$

[4.2.1.28]

4.2.2. FDM silindirde gerilmelerin normalizasyonu

Bu çalışmada uçları sabit FDM silindirde (düzlem şekil değiştirme durumunda) meydana gelen radyal, teğetsel ve eksenel gerilme bileşenlerini boyutsuz forma çevirmek için, tüm gerilme bileşenleri FDM'de metale ait akma gerilmesine (σ_o) göre normalize edilmiştir.

$$\bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{\sigma_o}, \quad \bar{\sigma}_\theta = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_o}, \quad \bar{\sigma}_z = \frac{\sigma_z}{\sigma_o} \quad [4.2.2.1]$$

Çalışmada kullanılan diğer boyutsuz parametreler;

$$\text{İçi boş silindirde yarıçaplar oranı; } Q = \frac{a}{b},$$

$$\text{Boyutsuz radyal koordinat; } \bar{r} = \frac{r}{b},$$

$$\text{Boyutsuz ısı yük parametresi; } \bar{q}''' = \frac{E_o \alpha_o q''' b^2}{\lambda_o \sigma_o},$$

$$\text{Boyutsuz silindir iç basıncı; } \bar{P}_i = \frac{P_i}{\sigma_o},$$

$$\text{Boyutsuz silindir dış basıncı; } \bar{P}_o = \frac{P_o}{\sigma_o}, \quad [4.2.2.2]$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Eş. 4.2.1.26, Eş. 4.2.1.27 ve Eş. 4.2.1.28 ile bulunan radyal, teğetsel ve eksenel gerilme bileşenlerini boyutsuz formdaki parametreler ile normalize etmek için malzeme özelliklerine bağlı parametrelerden bazıları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 - \beta_3$$

$$\omega_1 = 2(1-\nu)\beta_3(\beta_3 - 2)[(\beta_1 + \beta_2 + 1)(\beta_1 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})]$$

$$\omega_2 = 2(1-\nu)\beta_3[(\beta + 1)(\beta_1 - \beta_3 + 1) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})]$$

$$\omega_3 = 2(1-\nu)(2 - \beta_3)[(\beta + 3)(\beta_1 - \beta_3 + 3) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})] \quad [4.2.2.3]$$

Buna göre boyutsuz radyal gerilme bileşeni,

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_r = & \frac{\bar{r}^{m_1-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(-\bar{P}_i + Q^{m_2-1}\bar{P}_o) + b^\beta \bar{q}''' [\frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1\beta_3 - \beta_1(\beta_3-2)Q^2) + \\ & \frac{(Q^{m_2+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2)]] + \\ & \frac{\bar{r}^{m_2-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(\bar{P}_i - Q^{m_1-1}\bar{P}_o) - b^\beta \bar{q}''' [\frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1\beta_3 - \beta_1(\beta_3-2)Q^2) + \\ & \frac{(Q^{m_1+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2)]] + \\ & b^\beta \bar{q}''' [\frac{\beta_1\beta_3 - \beta_1(\beta_3-2)Q^2}{w_1} \bar{r}^{\beta_1+\beta_2} + \frac{(\beta_1 - \beta_3)Q^2}{w_2} \bar{r}^\beta + \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)}{w_3} \bar{r}^{\beta+2}] \end{aligned} \quad [4.2.2.4]$$

şeklinde elde edilebilir. Boyutsuz teğetsel gerilme bileşeni ise;

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_\theta = & \frac{m_1 \bar{r}^{m_1-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(-\bar{P}_i + Q^{m_2-1}\bar{P}_o) + b^\beta \bar{q}''' [\frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1\beta_3 - \beta_1(\beta_3-2)Q^2) + \\ & \frac{(Q^{m_2+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2)]] + \\ & \frac{m_2 \bar{r}^{m_2-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(\bar{P}_i - Q^{m_1-1}\bar{P}_o) - b^\beta \bar{q}''' [\frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1\beta_3 - \beta_1(\beta_3-2)Q^2) + \\ & \frac{(Q^{m_1+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2)]] + \\ & b^\beta \bar{q}''' [\frac{(\beta_1 + \beta_2 + 1)(\beta_1\beta_3 - \beta_1(\beta_3-2)Q^2)}{w_1} \bar{r}^{\beta_1+\beta_2} + \frac{(\beta + 1)(\beta_1 - \beta_3)Q^2}{w_2} \bar{r}^\beta + \\ & \frac{(\beta + 3)(\beta_1 - \beta_3 + 2)}{w_3} \bar{r}^{\beta+2}] \end{aligned} \quad [4.2.2.5]$$

şeklinde bulunabilir.

Boyutsuz eksenel gerilme bileşeni ise $\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) - E\alpha T$ bağıntısı kullanılarak

$$\bar{\sigma}_z = \nu(\bar{\sigma}_r + \bar{\sigma}_\theta) - \frac{\bar{q}''' b^\beta}{2} \left[\frac{\bar{r}^{\beta_1+\beta_2} - \bar{r}^{\beta+2}}{(2 - \beta_3)} + \frac{Q^2 (\bar{r}^{\beta_1+\beta_2} - \bar{r}^\beta)}{\beta_3} \right] \quad [4.2.2.6]$$

şeklinde bulunabilir. Eş. 4.2.2.6' da yer alan $\bar{\sigma}_r$ ve $\bar{\sigma}_\theta$ gerilme bileşenleri Eş. 4.2.2.4 ve Eş. 4.2.2.5 ile bulunan boyutsuz radyal ve teğetsel gerilmeler gerilme ifadeleridir.



4.3. Uçları Sabit FDM Silindirde Şekil Değiştirme Analizi

Isı etkisi altında, uçları sabit FDM silindirde eksenel deformasyon yoktur. Böylece eksenel şekil değiştirme de yoktur. Mekanik yüklemenin eksenel simetrik olması, iç ve dış basınçların sadece radyal yönde deplasmana neden olması sebebiyle teğetsel yönde deplasman sözkonusu değildir. Sıcaklık dağılımının eksen boyunca simetrik olduğu, sadece yarıçapa bağlı olarak değiştiği varsayılırsa kayma şekil değiştirmeleri de olmayacaktır. Problem düzlemsel şekil değiştirme problemidir.

4.3.1. FDM silindirde deplasman ve birim şekil değiştirme hesabı

Uçları sabit FDM silindirde düzlemsel şekil değiştirme problemine ilişkin birim şekil değiştirme bağıntıları Genelleştirilmiş Hooke Kanunu kullanılarak Eş. 4.2.1.7 ve Eş. 4.2.1.8'de bulunan bağıntılarla birlikte;

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \left[(1 - \nu^2) \sigma_r - \nu(1 + \nu) \sigma_\theta + (1 + \nu) E \alpha T \right]$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left[(1 - \nu^2) \sigma_\theta - \nu(1 + \nu) \sigma_r + (1 + \nu) E \alpha T \right]$$

$$\varepsilon_z = 0$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadelerde yer alan radyal gerilme bileşeni Eş. 4.2.1.26, teğetsel gerilme bileşeni Eş. 4.2.1.27 ve silindir içi sıcaklık ise Eş. 4.1.4' de elde edilmiştir. Buna göre radyal birim şekil değiştirme bileşeni;

$$\begin{aligned} \varepsilon_r = \frac{1 - \nu^2}{E_0 r^{\beta_2}} & \left[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} r^{m_1-1} \right. \\ & + \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2}}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] r^{m_2-1} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1 + \beta_2} + \\
& \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta + \\
& \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2}] - \\
& \frac{\nu(1+\nu)}{E_o r^{\beta_2}} \left[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{(a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1})/m_1} r^{m_1-1} \right. \\
& + \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{(Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right. \\
& \left. \left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] m_2 r^{m_2-1} + \\
& \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] (\beta_1 + \beta_2 + 1) E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1 + \beta_2} + \\
& \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) (\beta + 1) E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta + \\
& \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) (\beta + 3) E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2}] + \\
& \frac{(1+\nu) \alpha_o q'' r^{\beta_1}}{2 \lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2 - \beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right]
\end{aligned}$$

[4.3.1.1]

bağıntısıyla bulunabilir. Aynı şekilde teğetsel birim şekil değiştirme bileşeni;

$$\begin{aligned}
\varepsilon_\theta = & \frac{-\nu(1+\nu)}{E_o r^{\beta_2}} \left[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right] r^{m_1-1} \\
& + \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{(Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right. \\
& \left. \left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] r^{m_2-1} + \\
& \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} + \\
& \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta + \\
& \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2} \Big] - \\
& \frac{(1-\nu^2)}{E_o r^{\beta_2}} \left[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{(a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1})/m_1} \right] r^{m_1-1} \\
& + \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{(Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right. \\
& \left. \left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] m_2 r^{m_2-1} + \\
& \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] (\beta_1 + \beta_2 + 1) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} + \\
& \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) (\beta + 1) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta +
\end{aligned}$$

$$\frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)(\beta + 3)E_o\alpha_o q'''}{2\lambda_o(1-\nu)(2-\beta_3)\left[(\beta + 3)^2 - \beta_2(\beta + 3) - (1 - \frac{\nu\beta_2}{1-\nu})\right]} r^{\beta+2} \Big] +$$

$$\frac{(1+\nu)\alpha_o q''' r^{\beta_1}}{2\lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2-\beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right]$$

[4.3.1.2]

bağıntısıyla bulunur.

Teğetsel birim şekil değiştirme bileşeni için $\varepsilon_\theta = \frac{u}{r}$ ifadesi gerilmeler cinsinden yazılan $\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left[(1-\nu^2)\sigma_\theta - \nu(1+\nu)\sigma_r + (1+\nu)E\alpha T \right]$ ifadesi ile birlikte kullanılırsa radyal deplasman;

$$u(r) = \frac{1-\nu^2}{E_o r^{\beta_2-1}} \sigma_\theta - \frac{\nu(1+\nu)}{E_o r^{\beta_2-1}} \sigma_r + \frac{(1+\nu)\alpha_o r^{\beta_1+1} q'''}{2\lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2-\beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right]$$

[4.3.1.3]

bağıntısıyla bulunur.

4.3.2. FDM silindirde radyal deplasmanın normalizasyonu

Uçları sabit, içi boş FDM silindirde $\bar{u} = E_o u / \sigma_o b$ boyutsuz radyal deplasman, $\bar{r} = r/b$ boyutsuz radyal koordinat, $Q = a/b$ yarıçaplar oranı, $\bar{P}_i = P_i / \sigma_o$ boyutsuz silindir iç basıncı, $\bar{P}_o = P_o / \sigma_o$ boyutsuz silindir dış basıncı, $\bar{q}''' = E_o \alpha_o q''' b^2 / \lambda_o \sigma_o$ boyutsuz yük parametresi şeklinde tanımlanmıştır. Buna göre Eş. 4.3.1.1'de uçları sabit silindir için bulunan radyal deplasman boyutsuz formda;

$$\begin{aligned} \bar{u} = & \frac{1-\nu^2}{b^{\beta_2}} \bar{r}^{(1-\beta_2)} \bar{\sigma}_\theta - \frac{\nu(1+\nu)}{b^{\beta_2}} \bar{r}^{(1-\beta_2)} \bar{\sigma}_r + \\ & \frac{(1+\nu)\bar{q}'''}{2} \left[\frac{b^{\beta_1-\beta_3}}{2-\beta_3} \left(\bar{r}^{(\beta_1+1)} - \bar{r}^{(\beta_1-\beta_3+3)} \right) + \frac{Q^2 b^{\beta_1-\beta_3}}{\beta_3} \left(\bar{r}^{(\beta_1+1)} - \bar{r}^{(\beta_1-\beta_3+1)} \right) \right] \end{aligned}$$

[4.3.2.1]

şeklinde bulunur.



4.4. Uçları Serbest FDM Silindirde Gerilme Analizi

Uçları serbest FDM silindirde birim şekil değiştirme bağıntıları Genelleştirilmiş Hooke Kanunu kullanılarak Eş. 4.2.1.1, Eş. 4.2.1.2 ve Eş. 4.2.1.3'de ifade edildiği gibi

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_\theta + \sigma_z)] + \alpha T$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} [\sigma_\theta - \nu(\sigma_r + \sigma_z)] + \alpha T$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)] + \alpha T$$

şeklinde yazılabilir. Uçları sabit silindir için son ifadede $\varepsilon_z = 0$ alınırken uçları serbest silindir için durum farklıdır. Bu çalışmada, uçları serbest silindirde eksenel yöndeki birim şekil değiştirme bileşeninin sabit ($\varepsilon_z = \varepsilon_o$) olduğu kabul edilerek gerilme ve şekil değiştirme analizi yapılmıştır.

4.4.1. FDM silindirde gerilmelerin hesabı

Uçları serbest, içi boş silindir için eksenel birim şekil değiştirme bileşeninin;

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)] + \alpha T = \varepsilon_o \quad [4.4.1.1]$$

şeklinde olduğu kabul edilmiştir. Bu eşitlikten eksenel gerilme bileşeni;

$$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + (\varepsilon_o - \alpha T)E \quad [4.4.1.2]$$

şeklinde bulunur. Bu şekilde bulunan eksenel gerilme bileşeni ifadesi Eş. 4.2.1.1 ve Eş. 4.2.1.2 ile tanımlanan radyal ve teğetsel birim şekil değiştirme bileşenleri ifadelerinde yerine yazılırsa;

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [(1-\nu^2)\sigma_r - \nu(1+\nu)\sigma_\theta + (1+\nu)E\alpha T - \nu\varepsilon_o E] \quad [4.4.1.3]$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} [(1-\nu^2)\sigma_\theta - \nu(1+\nu)\sigma_r + (1+\nu)E\alpha T - \nu\varepsilon_o E] \quad [4.4.1.4]$$

eşitlikleri elde edilir. Uygunluk denklemi Eş. 4.2.1.12 ile $\frac{\varepsilon_r - \varepsilon_\theta}{r} - \frac{d\varepsilon_\theta}{dr} = 0$ şeklinde tanımlanmıştır. Eş. 4.4.1.3 ve Eş. 4.4.1.4'deki birim şekil değiştirme ifadeleri uygunluk denkleminde yerine yazıldığında;

$$r^2 \frac{d^2 \phi}{dr^2} + (1 - \beta_2) r \frac{d\phi}{dr} - \left(1 - \frac{\nu \beta_2}{1 - \nu}\right) \phi = \frac{E_o \alpha_o q'''}{2(1 - \nu) \lambda_o} \left[\frac{\beta_1 b^{2-\beta_3}}{\beta_3 - 2} r^{\beta_1 + \beta_2 + 1} + \frac{\beta_1 - \beta_3 + 2}{2 - \beta_3} r^{\beta + 3} - \frac{a^2 b^{-\beta_3} \beta_1}{\beta_3} r^{\beta_1 + \beta_2 + 1} + \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3)}{\beta_3} r^{\beta + 1} \right] \quad [4.4.1.5]$$

şeklinde değişken terimli homojen olmayan Cauchy-Euler denklemi elde edilir. Bu ifadeye yer alan ϕ gerilme fonksiyonu, denge denklemini sağlar ve radyal ve teğetsel gerilme bileşenleri, ϕ gerilme fonksiyonu kullanılarak, $\sigma_r = \frac{\phi}{r}$ ve $\sigma_\theta = \frac{d\phi}{dr}$ şeklinde tanımlanmıştır. $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$ şeklinde ifadeye yer almıştır. Eş. 4.4.1.5 ile elde edilen Cauchy-Euler denklemi uçları sabit silindirde düzlemsel genleme hali için elde edilen denklemle aynıdır. Böylece Airy gerilme fonksiyonu ϕ aynı şekilde bulunur. Gerilme fonksiyonuna ait genel çözüm Eş. 4.2.1.21'de de verilen aşağıdaki gerilme fonksiyonu bağıntısı ile aynıdır:

$$\phi = C_1 r^{m_1} + C_2 r^{m_2} + \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1 - \nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - \left(1 - \frac{\nu \beta_2}{1 - \nu}\right) \right]} r^{(\beta_1 + \beta_2 + 1)} + \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1 - \nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - \left(1 - \frac{\nu \beta_2}{1 - \nu}\right) \right]} r^{(\beta + 1)} + \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) E_o \alpha_o q'''}{2 \lambda_o (1 - \nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - \left(1 - \frac{\nu \beta_2}{1 - \nu}\right) \right]} r^{(\beta + 3)} \quad [4.4.1.6]$$

Sonuçta, uçları serbest içi boş silindirde radyal ve teğetsel gerilme bileşenleri uçları sabit silindir için Eş. 4.2.1.26 ve Eş. 4.2.1.27 ile bulunan gerilme bileşenleri ile aynıdır. Gerilme ifadelerindeki bilinmeyen sabit terimler uçları sabit silindirde olduğu gibi mekanik yüklemeye ilişkin sınır şartlarından aynı şekilde bulunur. Uçları serbest silindirde eksenel gerilme bileşeni;

$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + (\varepsilon_o - \alpha T)E$ şeklinde olup, uçları sabit silindirdeki eksenel gerilme bileşeninden farklıdır. Uçları serbest silindirde eksenel gerilmeleri bulabilmek için, sabit kabul edilen eksenel birim şekil değiştirmeyi (ε_o) bulmak gerekir.

İçi boş silindirde, serbest uçlarda silindir kesitindeki net kuvvet yani eksenel gerilme bileşeninin silindir kesit alanı boyunca integrasyonu sıfır olmalıdır. Bu

durum; $\int_a^b \sigma_z 2\pi r dr = 0$ şeklinde ifade edilebilir.

Eş. 4.4.1.3 ve Eş. 4.4.1.4'de ifade edilen birim şekil değiştirme bağıntılarından σ_r ve σ_θ aşağıdaki gibi bulunur:

$$\sigma_r = \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \varepsilon_r + \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \varepsilon_\theta - \frac{E\alpha T}{(1-2\nu)} + \frac{\nu \varepsilon_o E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad [4.4.1.7]$$

$$\sigma_\theta = \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \varepsilon_\theta + \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \varepsilon_r - \frac{E\alpha T}{(1-2\nu)} + \frac{\nu \varepsilon_o E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad [4.4.1.8]$$

$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + (\varepsilon_o - \alpha T)E$ bağıntısı, Eş. 4.4.1.7 ve Eş. 4.4.1.8 bağıntıda yerine yazılmak suretiyle tekrar düzenlenirse;

$$\sigma_z = \frac{\nu E(\varepsilon_r + \varepsilon_\theta + 2\nu \varepsilon_o)}{(1+\nu)(1-2\nu)} + \varepsilon_o E - \frac{\alpha ET}{1-2\nu} \quad [4.4.1.9]$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitlikte elde edilen eksenel gerilme bileşeni, serbest uçlardaki net kuvvetin sıfır olması şartında yerine yazılırsa;

$$\int_a^b \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} (\varepsilon_r + \varepsilon_\theta + 2\nu \varepsilon_o) r dr + \int_a^b \varepsilon_o E r dr - \int_a^b \frac{\alpha ET}{1-2\nu} r dr = 0 \quad [4.4.1.10]$$

bağıntısı bulunur.

İçi boş silindire ait malzeme özellikleri; $\alpha = \alpha_o r^{\beta_1}$, $E = E_o r^{\beta_2}$ ve $\lambda = \lambda_o r^{\beta_3}$ şeklinde tanımlanmıştır. Silindir içi sıcaklık dağılımı için Eş. 4.1.4'de

bulunduğu gibi $T(r) = \frac{q'''}{2\lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2-\beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right]$ alınarak;

Eş. 4.4.1.10'daki bağıntıda radyal ve teğetsel birim şekil değiştirmeler için Eş. 4.4.1.3 ve Eş. 4.4.1.4'deki ifadeler, radyal ve teğetsel gerilme bileşenleri

için ise $\sigma_r = \frac{\phi}{r}$ ve $\sigma_\theta = \frac{d\phi}{dr}$ ifadeleri kullanılırsa;

$$\begin{aligned} \int_a^b \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} (\varepsilon_r + \varepsilon_\theta + 2\nu d) r dr &= \frac{\nu E_o}{(1+\nu)(1-2\nu)} \int_a^b (\varepsilon_r + \varepsilon_\theta + 2\nu d) r^{\beta_2+1} dr \\ &= \frac{\nu E_o}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[\frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{E_o} \left(\int_a^b \phi dr + \int_a^b r d\phi \right) + \frac{(1+\nu)\alpha_o q'''}{\lambda_o} \left(\frac{\beta_3 b^{2-\beta_3} + (2-\beta_3)a^2 b^{-\beta_3}}{\beta_3(2-\beta_3)} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}}{\beta_1 + \beta_2 + 2} - \frac{b^{\beta+4} - a^{\beta+4}}{(\beta+4)(2-\beta_3)} - \frac{a^2(b^{\beta+2} - a^{\beta+2})}{\beta_3(2-\beta_3)} \right) \right] \end{aligned} \quad [4.4.1.11]$$

bağıntısı elde edilir.

Airy gerilme fonksiyonu $\phi = C_1 r^{m_1} + C_2 r^{m_2} + A r^{\beta_1+\beta_2+1} + B r^{\beta+1} + C r^{\beta+3}$ ve buna bağlı olarak $d\phi = [C_1 m_1 r^{m_1-1} + C_2 m_2 r^{m_2-1} + A(\beta_1 + \beta_2 + 1) r^{\beta_1+\beta_2} + B(\beta+1) r^\beta + C(\beta+3) r^{\beta+2}] dr$ ifadeleri Eş. 4.4.1.11'de yerine yazılırsa sabit eksenel birim şekil değiştirme, ε_o aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\begin{aligned} \varepsilon_o &= \frac{(\beta_2 + 2)}{(b^{\beta_2+2} - a^{\beta_2+2})} \frac{\alpha_o q'''}{2\lambda_o} \left[\frac{\beta_3 b^{2-\beta_3} + (2-\beta_3)a^2 b^{-\beta_3}}{\beta_3(2-\beta_3)} \cdot \frac{b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}}{\beta_1 + \beta_2 + 2} - \right. \\ &\quad \left. \frac{b^{\beta+4} - a^{\beta+4}}{(2-\beta_3)(\beta+4)} - \frac{a^2(b^{\beta+2} - a^{\beta+2})}{\beta_3(\beta+2)} \right] - \frac{(\beta_2 + 2)}{(b^{\beta_2+2} - a^{\beta_2+2})} \frac{\nu}{E_o} (C_1(b^{m_1+1} - a^{m_1+1}) + C_2(b^{m_2+1} - a^{m_2+1}) + \\ &\quad A(b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}) + B(b^{\beta+2} - a^{\beta+2}) + C(b^{\beta+4} - a^{\beta+4})) \end{aligned} \quad [4.4.1.12]$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitlikte yer alan A , B ve C terimleri Airy gerilme fonksiyonu ϕ 'nin homojen olmayan kısmının (ϕ_p) Eş. 4.2.1.20 ile bulunan çözümünde kullanılan ve belirsiz katsayılar metodu ile bulunan

sabitlerdir. C_1 ve C_2 ise Airy gerilme fonksiyonu ϕ' nin homojen kısmına (ϕ_c) ait olan ve Eş. 4.2.1.25 ile silindirin mekanik sınır şartlarından bulunan sabitlerdir.

Uçları serbest içi boş silindirde radyal ve teğetsel gerilme bileşenleri Eş. 4.2.1.26 ve Eş. 4.2.1.27'de ifade edildiği gibi uçları sabit silindire aynıdır, eksenel gerilme bileşeni ise $\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + (\epsilon_o - \alpha T)E$ bağıntısı ile bulunabilir. Buna göre eksenel gerilme bileşeni;

$$\begin{aligned} \sigma_z = \nu [& C_1 r^{m_1-1} + C_2 r^{m_2-1} + A r^{\beta_1+\beta_2} + B r^{\beta_1+\beta_2-\beta_3} + C r^{\beta_1+\beta_2-\beta_3+2} + \\ & C_1 m_1 r^{m_1-1} + C_2 m_2 r^{m_2-1} + A(\beta_1 + \beta_2 + 1) r^{\beta_1+\beta_2} + B(\beta + 1) r^\beta + C(\beta + 3) r^{\beta+2}] + \\ & \left[-\frac{(\beta_2+2)}{(b^{\beta_2+2} - a^{\beta_2+2})} \frac{\nu}{E_o} (C_1(b^{m_1+1} - a^{m_1+1}) + C_2(b^{m_2+1} - a^{m_2+1}) + A(b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2})) + \right. \\ & B b^{\beta+2} (1 - Q^{\beta+2}) + C b^{\beta+4} (1 - Q^{\beta+4}) \left. + \frac{(\beta_2+2)}{(b^{\beta_2+2} - a^{\beta_2+2})} \frac{\alpha_o q'''}{2\lambda_o} \left[\frac{\beta_3 b^{2-\beta_3} + (2-\beta_3) a^2 b^{-\beta_3}}{\beta_3 (2-\beta_3)} \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}}{\beta_1 + \beta_2 + 2} - \frac{b^{\beta+4} - a^{\beta+4}}{(2-\beta_3)(\beta+4)} - \frac{a^2 (b^{\beta+2} - a^{\beta+2})}{\beta_3 (\beta+2)} \right] - \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2-\beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right] \right. \\ & \left. \frac{q'''}{2\lambda_o} \frac{\alpha_o r^{\beta_1}}{E_o} \right] E_o r^{\beta_2} \end{aligned} \quad [4.4.1.13]$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte yer alan m_1 ve m_2 gerilme fonksiyonu ϕ' nin homojen kısmı için elde edilen karakteristik denklemin çözümü ile elde edilen

$$\text{ve } m_{1,2} = \frac{\beta_2 \mp \sqrt{\beta_2^2 + 4(1 - \nu\beta_2/1 - \nu)}}{2} \text{ şeklinde bulunan değerlerdir.}$$

4.4.2. FDM silindirde gerilmelerin normalizasyonu

Uçları serbest, içi boş silindirde boyutsuz radyal ve teğetsel gerilme bileşenleri Eş. 4.2.2.4 ve Eş. 4.2.2.5'de bulunduğu gibidir. Boyutsuz eksenel gerilme bileşeni ise; boyutsuz radyal ve teğetsel gerilme bileşenlerini $\bar{\sigma}_z = \nu(\bar{\sigma}_r + \bar{\sigma}_\theta) + (\bar{d} - \alpha \bar{T})E$ bağıntısında yerine koymak suretiyle aşağıdaki

şekilde bulunabilir:

$$\begin{aligned}
\bar{\sigma}_z = & \nu \left[\frac{\bar{r}^{m_1-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(-\bar{P}_i + Q^{m_2-1} \bar{P}_o) + b^\beta \bar{q}'''] \left[\frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1 \beta_3 - \beta_1 (\beta_3 - 2) Q^2) + \right. \right. \\
& \left. \left. \frac{(Q^{m_2+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2) \right] \right] + \\
& \frac{\bar{r}^{m_2-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(\bar{P}_i - Q^{m_1-1} \bar{P}_o) - b^\beta \bar{q}'''] \left[\frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1 \beta_3 - \beta_1 (\beta_3 - 2) Q^2) + \right. \\
& \left. \frac{(Q^{m_1+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2) \right] + \\
& b^\beta \bar{q}''' \left[\frac{\beta_1 \beta_3 - \beta_1 (\beta_3 - 2) Q^2}{w_1} \bar{r}^{\beta_1+\beta_2} + \frac{(\beta_1 - \beta_3) Q^2}{w_2} \bar{r}^\beta + \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2)}{w_3} \bar{r}^{\beta+2} \right] + \\
& \frac{m_1 \bar{r}^{m_1-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(-\bar{P}_i + Q^{m_2-1} \bar{P}_o) + b^\beta \bar{q}'''] \left[\frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1 \beta_3 - \beta_1 (\beta_3 - 2) Q^2) + \right. \\
& \left. \frac{(Q^{m_2+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_2-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2) \right] + \\
& \frac{m_2 \bar{r}^{m_2-1}}{Q^{m_1-1} - Q^{m_2-1}} [(\bar{P}_i - Q^{m_1-1} \bar{P}_o) - b^\beta \bar{q}'''] \left[\frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta_1+\beta_2})}{w_1} (\beta_1 \beta_3 - \beta_1 (\beta_3 - 2) Q^2) + \right. \\
& \left. \frac{(Q^{m_1+1} - Q^{\beta+2})}{w_2} (\beta_1 - \beta_3) + \frac{(Q^{m_1-1} - Q^{\beta+2})}{w_3} (\beta_1 - \beta_3 + 2) \right] + \\
& b^\beta \bar{q}''' \left[\frac{(\beta_1 + \beta_2 + 1)(\beta_1 \beta_3 - \beta_1 (\beta_3 - 2) Q^2)}{w_1} \bar{r}^{\beta_1+\beta_2} + \frac{(\beta + 1)(\beta_1 - \beta_3) Q^2}{w_2} \bar{r}^\beta + \right. \\
& \left. \frac{(\beta + 3)(\beta_1 - \beta_3 + 2)}{w_3} \bar{r}^{\beta+2} \right] + \frac{(\beta_2 + 2)}{(b^{\beta_2+2} (1 - Q^{\beta_2+2}))} \frac{\bar{q}''' b^{\beta_2} \bar{r}^{\beta_2}}{2b^2} \left[\frac{(\beta_3 + (2 - \beta_3) Q^2) b^{2-\beta_3}}{\beta_3 (2 - \beta_3)} \right. \\
& \left. \frac{b^{\beta_1+\beta_2+2} (1 - Q^{\beta_1+\beta_2+2})}{\beta_1 + \beta_2 + 2} - \frac{b^{\beta+4} (1 - Q^{\beta+4})}{(2 - \beta_3)(\beta + 4)} - \frac{Q^2 b^{\beta+4} (1 - Q^{\beta+2})}{\beta_3 (\beta + 2)} \right] - \frac{(\beta_2 + 2) \bar{r}^{\beta_2}}{b^2 (1 - Q^{\beta_2+2})} \\
& (\bar{C}_1 b^{m_1+1} (1 - Q^{m_1+1}) + \bar{C}_2 b^{m_2+1} (1 - Q^{m_2+1}) + \bar{A} b^{\beta_1+\beta_2+2} (1 - Q^{\beta_1+\beta_2+2}) + \\
& \bar{B} b^{\beta+2} (1 - Q^{\beta+2}) + \bar{C} b^{\beta+4} (1 - Q^{\beta+4})) - \\
& \frac{\bar{q}''' b^{\beta_1+\beta_2} \bar{r}^{\beta_1+\beta_2}}{2b^2} \left[\frac{b^{2-\beta_3} (1 - \bar{r}^{2-\beta_3})}{2 - \beta_3} + \frac{Q^2 b^{2-\beta_3}}{\beta_3} (1 - \bar{r}^{-\beta_3}) \right]
\end{aligned}$$

[4.4.2.1]

4.5. Uçları Serbest FDM Silindirde Şekil Değiştirme Analizi

Uçları serbest silindirde radyal ve teğetsel gerilme bileşenleri uçları sabit silindirle aynı olduğundan, birim şekil değiştirmeler;

$$\varepsilon_{r(serbest)} = \varepsilon_{r(sabit)} - \nu \varepsilon_o \quad [4.5.1]$$

$$\varepsilon_{\theta(serbest)} = \varepsilon_{\theta(sabit)} - \nu \varepsilon_o \quad [4.5.2]$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitliklerde $\varepsilon_{r(sabit)}$ ve $\varepsilon_{\theta(sabit)}$ Eş. 4.3.1.1 ve Eş. 4.3.1.2'de uçları sabit silindir için bulunan radyal ve teğetsel birim şekil değiştirmeleridir. Eksenel birim şekil değiştirme miktarı ε_o ise Eş. 4.4.1.12 ile bulunmuştur.

4.5.1. FDM silindirde birim şekil değiştirme ve deplasman hesabı

Uçları serbest silindir için eksenel yönde birim şekil değiştirme ($\varepsilon_z = \varepsilon_o$) Eş. 4.4.1.12 ile bulunmuştur. Radyal ve teğetsel birim şekil değiştirme bileşenleri ise;

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \left[(1 - \nu^2) \sigma_r - \nu(1 + \nu) \sigma_\theta + (1 + \nu) E \alpha T - \nu \varepsilon_o E \right]$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left[(1 - \nu^2) \sigma_\theta - \nu(1 + \nu) \sigma_r + (1 + \nu) E \alpha T - \nu \varepsilon_o E \right]$$

bağıntılarında radyal gerilme bileşeni (σ_r) için Eş.4.2.1.26 ile bulunan ifade, teğetsel gerilme bileşeni (σ_θ) için ise Eş.4.2.1.27 ile bulunan ifade, sıcaklık için de Eş. 4.1.4 kullanılarak bulunur. Buna göre radyal birim şekil değiştirme bileşeni;

$$\varepsilon_r = \frac{1 - \nu^2}{E_o r^{\beta_2}} \left[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right] r^{m_1-1}$$

$$+ \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2}}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) + \right]$$

$$\begin{aligned}
& \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \Big) b^{m_1-m_2} \Big] r^{m_2-1} + \\
& \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} + \\
& \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta + \\
& \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2} \Big] - \\
& \frac{\nu(1+\nu)}{E_o r^{\beta_2}} \Big[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{(a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1})/m_1} r^{m_1-1} \\
& + \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{(Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right. \\
& \left. \left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] m_2 r^{m_2-1} + \\
& \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] (\beta_1 + \beta_2 + 1) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} + \\
& \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) (\beta + 1) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta + \\
& \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) (\beta + 3) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2} \Big] + \\
& \frac{(1+\nu) \alpha_o q'''}{2\lambda_o} r^{\beta_1} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2 - \beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right] +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{-\nu(\beta_2+2)}{(b^{\beta_2+2}-a^{\beta_2+2})} \frac{\alpha_o q'''}{2\lambda_o} \left[\frac{\beta_3 b^{2-\beta_3} + (2-\beta_3)a^2 b^{-\beta_3}}{\beta_3(2-\beta_3)} \frac{b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}}{\beta_1+\beta_2+2} - \right. \\ & \left. \frac{b^{\beta+4} - a^{\beta+4}}{(2-\beta_3)(\beta+4)} - \frac{a^2(b^{\beta+2} - a^{\beta+2})}{\beta_3(\beta+2)} \right] + \frac{(\beta_2+2)}{(b^{\beta_2+2} - a^{\beta_2+2})} \frac{\nu^2}{E_o} (C_1(b^{m_1+1} - a^{m_1+1}) + C_2(b^{m_2+1} - a^{m_2+1}) + \\ & A(b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}) + B(b^{\beta+2} - a^{\beta+2}) + C(b^{\beta+4} - a^{\beta+4})) \end{aligned}$$

[4.5.1.1]

eşitliğiyle bulunur. Teğetsel birim şekil değiştirme bileşeni ise;

$$\begin{aligned} \varepsilon_\theta = & \frac{-\nu(1+\nu)}{E_o r^{\beta_2}} \left[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} r^{m_1-1} \right. \\ & + \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2}}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} \right) b^{m_1-m_2} \right] r^{m_2-1} + \\ & \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3}] E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} + \\ & \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta + \\ & \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) E_o \alpha_o q'''}{2\lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2} \Big] - \\ & \frac{(1-\nu^2)}{E_o r^{\beta_2}} \left[\frac{-P_i + \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right] - (Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2})}{(a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1})/m_1} r^{m_1-1} \right. \\ & + \left[\frac{-P_o - Ab^{\beta_1+\beta_2} - Bb^\beta - Cb^{\beta+2}}{b^{m_2-1}} + \left(\frac{Aa^{\beta_1+\beta_2} + Ba^\beta + Ca^{\beta+2}}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}} + \right. \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{P_i - \left[\left(\frac{a}{b} \right)^{m_2-1} (P_o + Ab^{\beta_1+\beta_2} + Bb^\beta + Cb^{\beta+2}) \right]}{a^{m_1-1} - b^{m_1-m_2} a^{m_2-1}}) b^{m_1-m_2}] m_2 r^{m_2-1} + \\
& \frac{[\beta_1 \beta_3 b^{2-\beta_3} - a^2 \beta_1 (\beta_3 - 2) b^{-\beta_3} \{ \beta_1 + \beta_2 + 1 \} E_o \alpha_o q''']}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 (\beta_3 - 2) \left[(\beta_1 + \beta_2 + 1)^2 - \beta_2 (\beta_1 + \beta_2 + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta_1+\beta_2} + \\
& \frac{a^2 (\beta_1 - \beta_3) (\beta + 1) E_o \alpha_o q''']}{2 \lambda_o (1-\nu) \beta_3 \left[(\beta + 1)^2 - \beta_2 (\beta + 1) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^\beta + \\
& \frac{(\beta_1 - \beta_3 + 2) (\beta + 3) E_o \alpha_o q''']}{2 \lambda_o (1-\nu) (2 - \beta_3) \left[(\beta + 3)^2 - \beta_2 (\beta + 3) - (1 - \frac{\nu \beta_2}{1-\nu}) \right]} r^{\beta+2}] + \\
& \frac{(1+\nu) \alpha_o q''' r^{\beta_1}}{2 \lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2 - \beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right] + \\
& \frac{-\nu (\beta_2 + 2)}{(b^{\beta_2+2} - a^{\beta_2+2})} \frac{\alpha_o q''']}{2 \lambda_o} \left[\frac{\beta_3 b^{2-\beta_3} + (2 - \beta_3) a^2 b^{-\beta_3}}{\beta_3 (2 - \beta_3)} \frac{b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}}{\beta_1 + \beta_2 + 2} - \right. \\
& \left. \frac{b^{\beta+4} - a^{\beta+4}}{(2 - \beta_3) (\beta + 4)} - \frac{a^2 (b^{\beta+2} - a^{\beta+2})}{\beta_3 (\beta + 2)} \right] + \frac{(\beta_2 + 2)}{(b^{\beta_2+2} - a^{\beta_2+2})} \frac{\nu^2}{E_o} (C_1 (b^{m_1+1} - a^{m_1+1}) + C_2 (b^{m_2+1} - a^{m_2+1}) + \\
& A (b^{\beta_1+\beta_2+2} - a^{\beta_1+\beta_2+2}) + B (b^{\beta+2} - a^{\beta+2}) + C (b^{\beta+4} - a^{\beta+4})) \quad [4.5.1.2]
\end{aligned}$$

bağıntısıyla bulunur.

Teğetsel birim şekil değiştirme ile deplasman arasındaki $\varepsilon_\theta = u/r$ şeklindeki bağıntı ve teğetsel şekil değiştirme için bulunan

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left[(1-\nu^2) \sigma_\theta - \nu(1+\nu) \sigma_r + (1+\nu) E \alpha T - \nu \varepsilon_o E \right] \quad \text{şeklindeki ifade birlikte}$$

kullanılırsa radyal deplasman;

$$u(r) = \frac{1-\nu^2}{E_o r^{\beta_2-1}} \sigma_\theta - \frac{\nu(1+\nu)}{E_o r^{\beta_2-1}} \sigma_r + \frac{(1+\nu) \alpha_o r^{\beta_1+1} q''']}{2 \lambda_o} \left[\frac{b^{2-\beta_3} - r^{2-\beta_3}}{2 - \beta_3} + \frac{a^2}{\beta_3} (b^{-\beta_3} - r^{-\beta_3}) \right] - \nu \varepsilon_o r \quad [4.5.1.3]$$

bağıntısıyla bulunur.

4.5.2. FDM silindirde radyal deplasmanın normalizasyonu

FDM silindirde $\bar{u} = E_o u / \sigma_o b$ boyutsuz radyal deplasman, $\bar{r} = r/b$ boyutsuz radyal koordinat, $Q = a/b$ yarıçaplar oranı, $\bar{P}_i = P_i / \sigma_o$ boyutsuz silindir iç basıncı, $\bar{P}_o = P_o / \sigma_o$ boyutsuz silindir dış basıncı, $\bar{q}''' = E_o \alpha_o q''' b^2 / \lambda_o \sigma_o$ boyutsuz yük parametresi şeklinde tanımlanmıştır. Buna göre Eş. 4.5.1.3'de uçları serbest silindir için bulunan radyal deplasman boyutsuz formda;

$$\begin{aligned} \bar{u} = & \frac{1-\nu^2}{b^{\beta_2}} \bar{r}^{(1-\beta_2)} \bar{\sigma}_\theta - \frac{\nu(1+\nu)}{b^{\beta_2}} \bar{r}^{(1-\beta_2)} \bar{\sigma}_r + \\ & \frac{(1+\nu)\bar{q}'''}{2} \left[\frac{b^{\beta_1-\beta_3}}{2-\beta_3} (\bar{r}^{(\beta_1+1)} - \bar{r}^{(\beta_1-\beta_3+3)}) + \frac{Q^2 b^{\beta_1-\beta_3}}{\beta_3} (\bar{r}^{(\beta_1+1)} - \bar{r}^{(\beta_1-\beta_3+1)}) \right] \\ & - \frac{\nu(\beta_2+2)\bar{r}}{(b^{\beta_2+2}(1-Q^{\beta_2+2})))} \frac{\bar{q}_o'''}{2b^2} \left[\frac{(\beta_3 + (2-\beta_3)Q^2)b^{2-\beta_3}}{\beta_3(2-\beta_3)} \frac{b^{\beta_1+\beta_2+2}(1-Q^{\beta_1+\beta_2+2})}{\beta_1+\beta_2+2} - \right. \\ & \left. \frac{b^{\beta+4}(1-Q^{\beta+4})}{(2-\beta_3)(\beta+4)} - \frac{Q^2 b^{\beta+4}(1-Q^{\beta+2})}{\beta_3(\beta+2)} \right] + \frac{\nu^2(\beta_2+2)\bar{r}}{b^{\beta_2+2}(1-Q^{\beta_2+2})\sigma_o} (\bar{C}_1 b^{m+1}(1-Q^{m+1}) + \bar{C}_2 b^{m_2+1}(1-Q^{m_2+1}) + \\ & \bar{A} b^{\beta_1+\beta_2+2}(1-Q^{\beta_1+\beta_2+2}) + \bar{B} b^{\beta+2}(1-Q^{\beta+2}) + \bar{C} b^{\beta+4}(1-Q^{\beta+4})) \end{aligned} \quad [4.5.2.1]$$

bağıntısıyla bulunur. Bu bağıntıda yer alan boyutsuz $\bar{A}$, $\bar{B}$ ve $\bar{C}$ terimleri Airy gerilme fonksiyonu ϕ' nin homojen olmayan kısmının (ϕ_p) Eş. 4.2.1.20 ile bulunan çözümünde kullanılan ve belirsiz katsayılar metodu ile bulunan sabitlerin normalize edilmiş halidir. $\bar{C}_1$ ve $\bar{C}_2$ ise Airy gerilme fonksiyonu ϕ' nin homojen kısmına (ϕ_c) ait olan ve Eş. 4.2.1.25 ile silindirin mekanik sınır şartlarından bulunan sabitlerin normalize edilmiş halidir. $\bar{\sigma}_r$ ve $\bar{\sigma}_\theta$ ise boyutsuz radyal ve teğetsel gerilmeleri ifade eder.

5. SAYISAL ÖRNEKLER VE SONUÇ

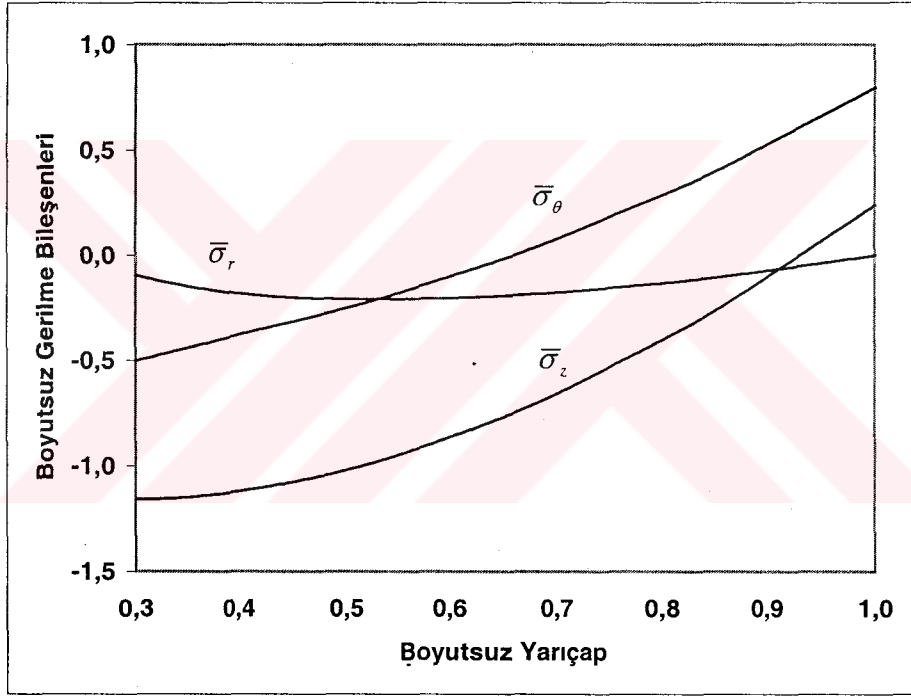
Uçları sabit, içi boş silindirde değişik ısı ve mekanik yüklemeler altında meydana gelen gerilmeler ve radyal deplasman izotropik ve anizotropik malzeme özellikleri için incelenmiş ve bunlara ilişkin gerilme ve deplasman eğrileri analitik çözümü kullanmak suretiyle Ek-1 ve Ek-2'deki Fortran programlama dilinde yapılan çalışma ile elde edilmiştir. Bu mukayesede malzeme parametrelerinin, gerilme bileşenlerine ve radyal deplasmana olan etkisi daha iyi görülmektedir. FDM silindir için metal tarafın akması esas alınmak suretiyle Tresca akma kriteri uygulanmış ve bu anlamda gerilmeleri minimize edecek malzeme parametreleri ve verilen ısı ve mekanik yükleme şartlarında en emniyetli gerilme hali için içi boş silindirde metal ve seramik tarafın uygun yerleşimi Ek-3'deki program yardımıyla bulunmuştur. Yapılan tespit sadece metal tarafa Tresca akma kriterinin uygulanması suretiyle gerilmelerin minimize edilmesine yönelik olduğundan, işletme şartlarında uygulamaya bağlı olarak silindirin hangi tarafında metal veya seramik olacağı, o yüzeyin maruz kalacağı yükleme ve zorlanmalara da bağlı olduğundan önceden yapılan yüzey malzemesi seçimi için Tresca'ya göre emniyetli olan başka bir malzeme parametreleri seçimi de yapılabilir.

5.1. Malzeme Özellikleri Homojen Silindir

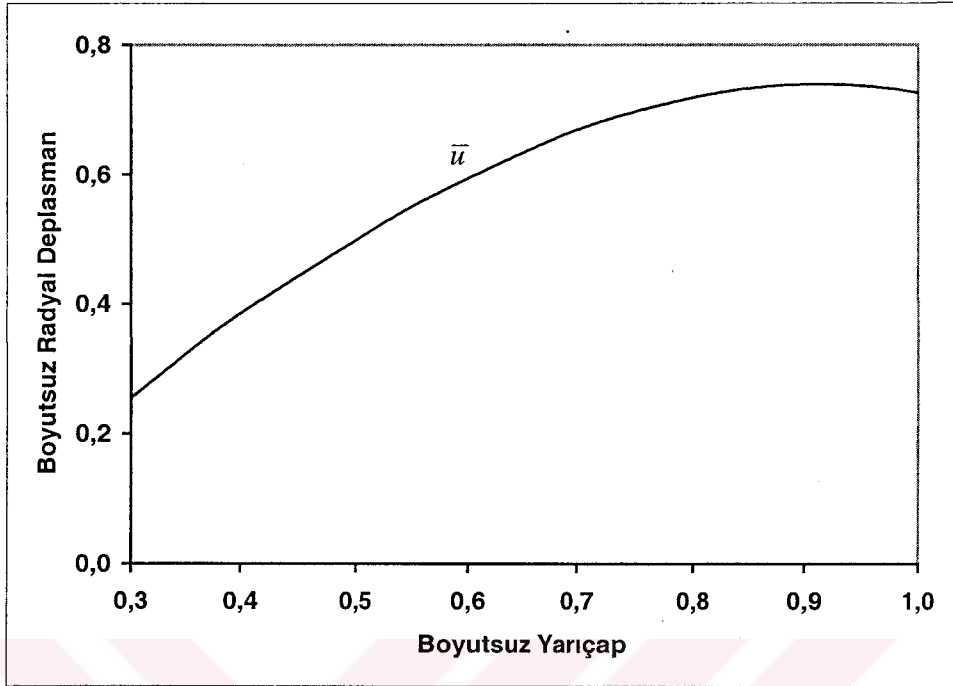
Bu durumda, uçları sabit, içi boş silindirde gerilme analizi için ısı genleşme katsayısı, elastisite modülü, ve ısı iletkenlik katsayısına ilişkin malzeme parametreleri $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ şeklinde alınmak suretiyle gerilme analizi yapılmıştır. Bu maksatla Ek-1'deki Fortran programı kullanılarak gerilmeler bulunmuştur. Malzeme yapısı kurgulanırken içi boş silindirde metal malzeme Molibden esaslı olarak kabul edilmiştir. Yarıçaplar oranı $Q = a/b = 0.3$, $\nu = 0.30$, metalin akma gerilmesi $\sigma_o = 525$ MPa, metalin elastisite modülü $E_m = 330$ GPa, ısı genleşme katsayısı $\alpha_m = 4.9 \times 10^{-6}$ K⁻¹, ısı iletkenlik katsayısı $\lambda_m = 138$ W.(m.K)⁻¹ alınmıştır. Silindir iç basıncı $P_i = 50$ MPa, dış

basınç ise $P_o = 0$ 'dır. Silindir içinde düzgün ısı üretimi olduğu kabul edilmiş ve boyutsuz ısı yük parametresi $\bar{q}''' = 5.64$ alınmıştır.

İzotropik molibden malzemedan yapılmış içi boş silindirde meydana gelen boyutsuz gerilmeler ve boyutsuz radyal deplasman Ek-4'de verilmiştir. Silindir iç yarıçapından dış yarıçapına kadar (boyutsuz yarıçap Q 'dan 1'e kadar) olan bölgede meydana gelen gerilmeler Şekil. 5.1.1'de gösterilmiştir. Silindirde meydana gelen radyal deplasmanlar ise Şekil 5.1.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.1.1. Uçları sabit, içi boş homojen silindirde radyal, teğetsel ve eksenel gerilme bileşenlerinin dağılımı ($P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$, $\bar{q}''' = 5.64$)



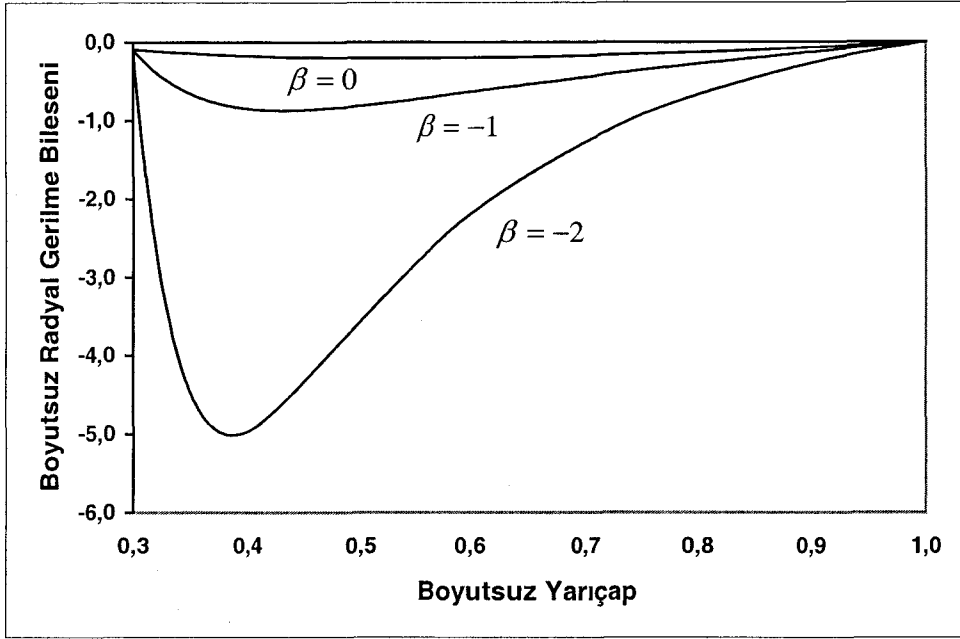
Şekil 5.1.2. Uçları sabit, içi boş homojen silindirde radyal deplasman dağılımı ($P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$, $\bar{q}''' = 5.64$)

5.2. Malzeme Özellikleri Homojen Olmayan Silindir

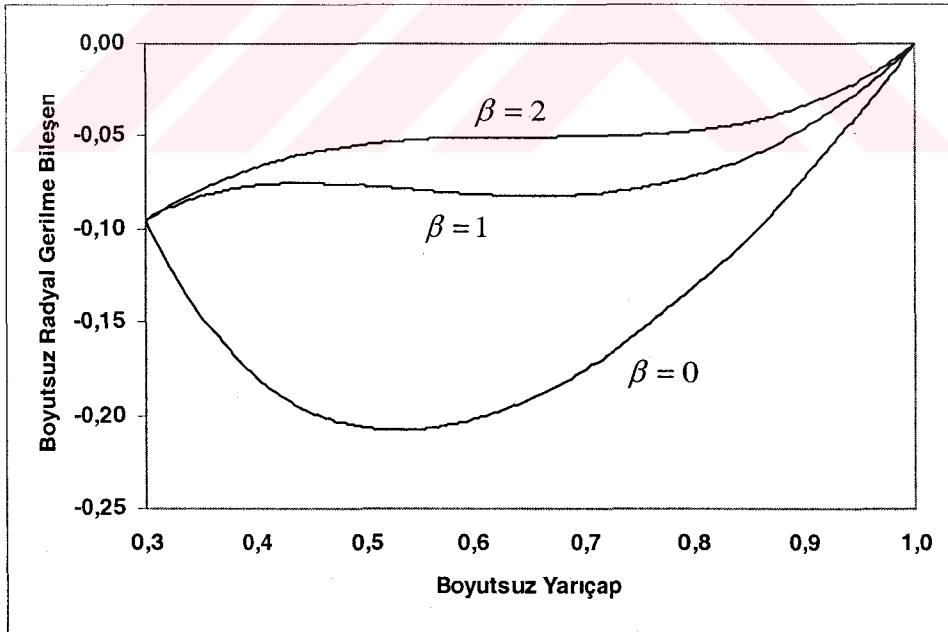
FDM silindir içinde malzeme özellikleri radyal yönde değişecek ancak aksenal yönde simetri oluşturacaktır. Malzeme özellikleri $\alpha = \alpha_o r^{\beta_1}$, $E = E_o r^{\beta_2}$, $\lambda = \lambda_o r^{\beta_3}$ şeklinde yarıçapa bağlı tanımlanmıştır. Gerilme ve deplasman hesabında değişen malzeme parametreleri için iki farklı çalışma yapılmıştır. İlk çalışmada $-2 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 2$ için gerilme bileşenleri ve deplasman hesabı yapılmıştır. İkinci bölümde ise β_1 , β_2 ve β_3 -2 ile +2 arasında farklı olarak değişebilen malzeme parametreleri şeklinde değerlendirilmiştir.

5.2.1. Malzeme parametreleri aynı olan FDM silindir ($-2 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 2$)

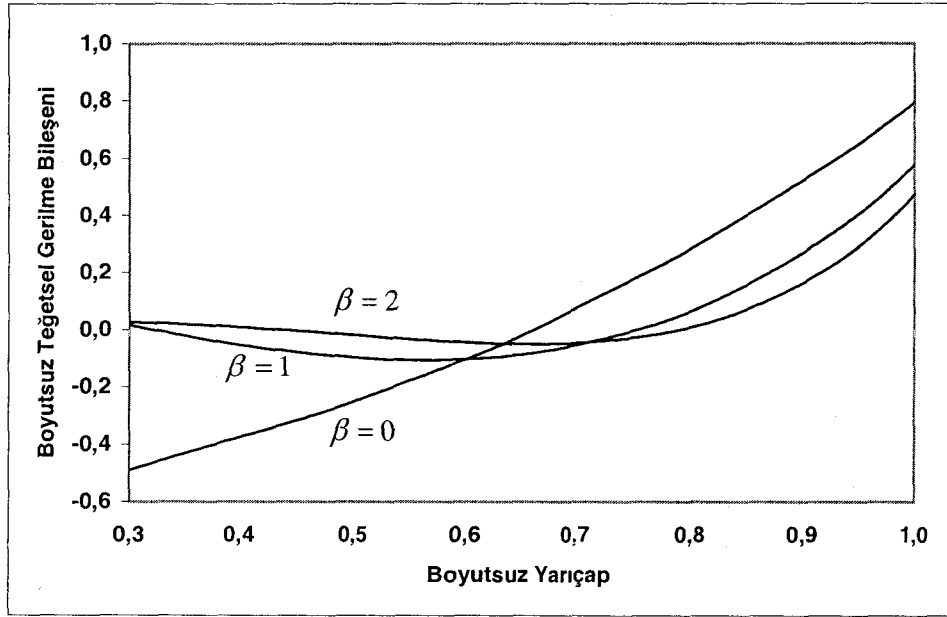
İçi boş, uçları sabit silindirde ısı genleşme katsayısı, elastisite modülü, ve ısı iletkenlik katsayısını tanımlayan β_1 , β_2 ve β_3 parametreleri aynı olacak şekilde $-2 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 2$ aralığında değiştirilerek gerilme ve deplasman analizi yapılmıştır. $-2 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 0$ aralığında özellikler itibarıyla silindir iç yüzeyinde metal, dış tarafta ise seramik malzeme bulunmalıdır. $0 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 2$ aralığında ise silindir dış tarafı metal, iç tarafı ise seramiktir. Metal tarafta molibden kullanıldığına göre β_1 , β_2 ve β_3 parametrelerine bağlı olarak tanımlanan ısı genleşme katsayısı, elastisite modülü, ve ısı iletkenlik katsayısı denklemlerinde α_o , E_o , ve λ_o sabitleri belirlenip seramik tarafın ısı genleşme katsayısı, elastisite modülü, ve ısı iletkenlik katsayısı dolayısıyla da kullanılacak seramik malzemesi tespit edilir. $-2 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 2$ aralığında FDM silindirde gerilme değerleri hesaplanmış ve boyutsuz radyal gerilme bileşeni Şekil 5.2.1.1'de, boyutsuz teğetsel gerilme bileşeni Şekil 5.2.1.2'de, boyutsuz aksenal gerilme bileşeni Şekil 5.2.1.3'de gösterilmiştir.



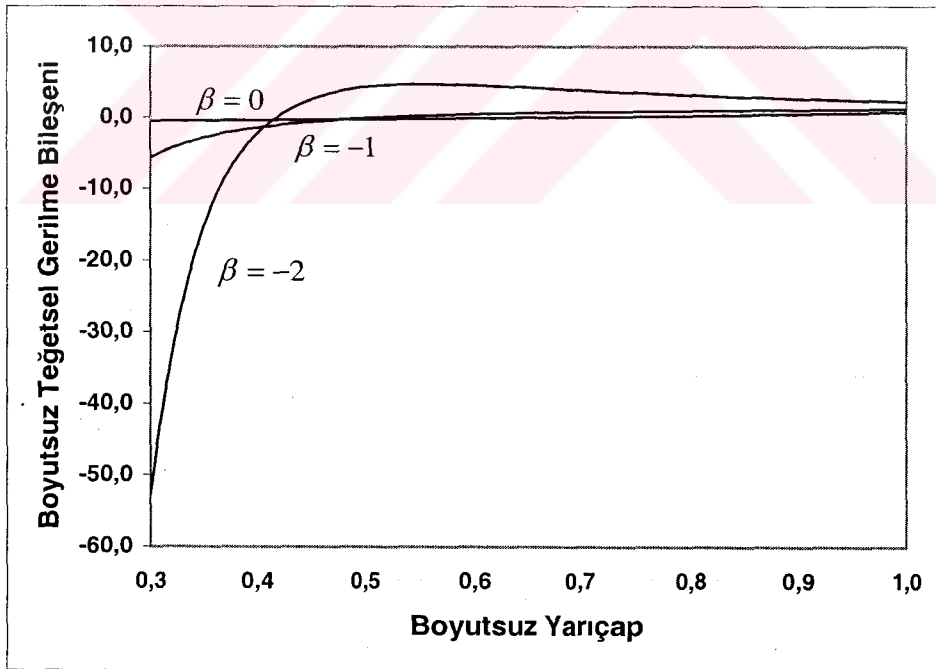
Şekil 5.2.1.1.a. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ ($\beta \leq 0$) parametreleri için boyutsuz radyal gerilmelerin dağılımı



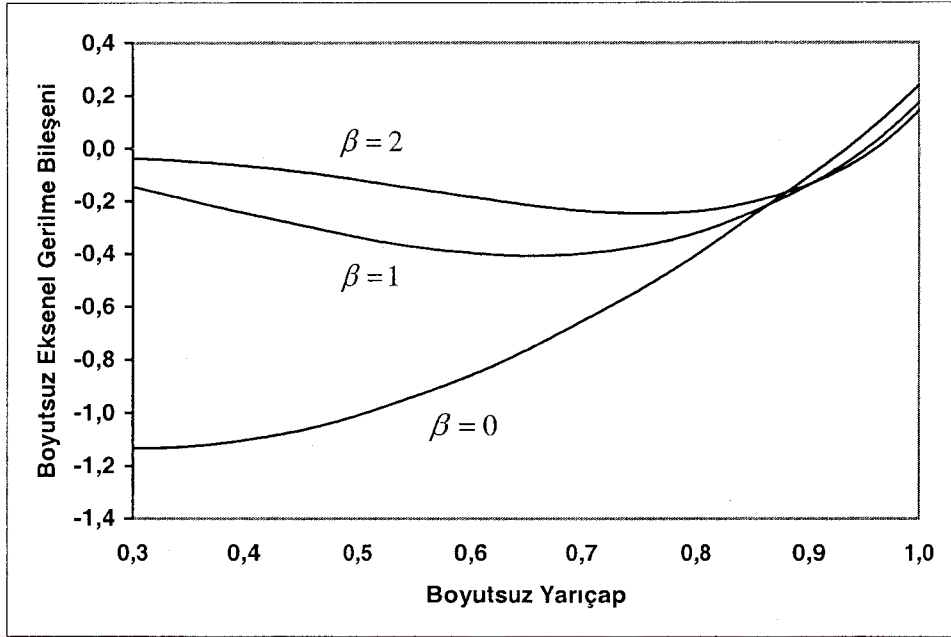
Şekil 5.2.1.1.b. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ ($\beta \geq 0$) parametreleri için boyutsuz radyal gerilmelerin dağılımı



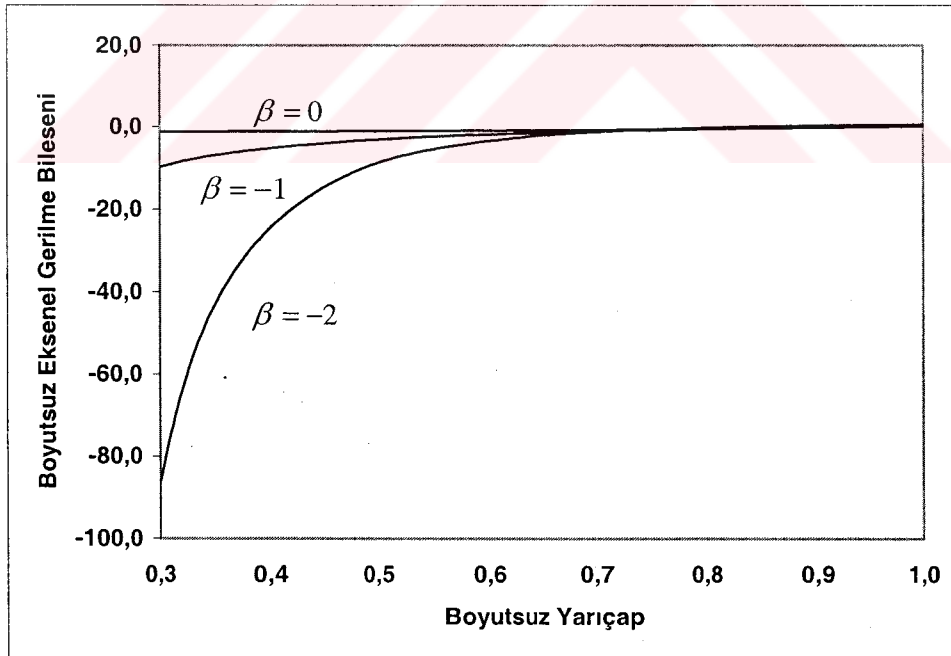
Şekil 5.2.1.2.a Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ ($\beta \geq 0$) parametreleri için boyutsuz teğetsel gerilmelerin dağılımı



Şekil 5.2.1.2.b Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ ($\beta \leq 0$) parametreleri için boyutsuz teğetsel gerilmelerin dağılımı

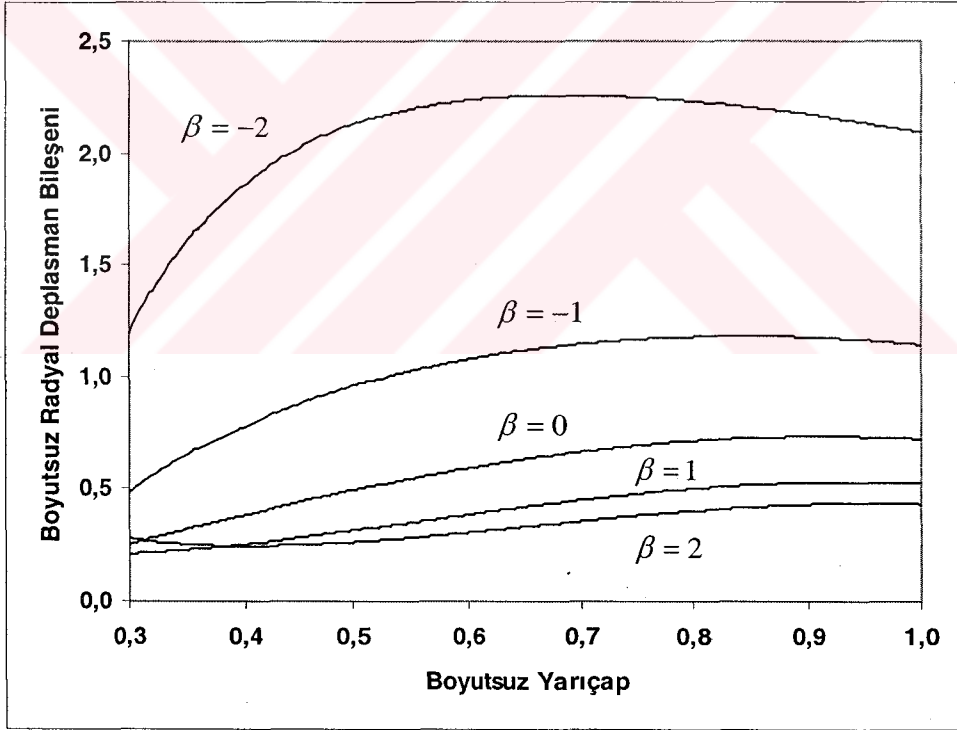


Şekil 5.2.1.3.a. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ ($\beta \geq 0$) parametreleri için boyutsuz eksenel gerilmelerin dağılımı



Şekil 5.2.1.3.b. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ ($\beta \leq 0$) parametreleri için boyutsuz eksenel gerilmelerin dağılımı

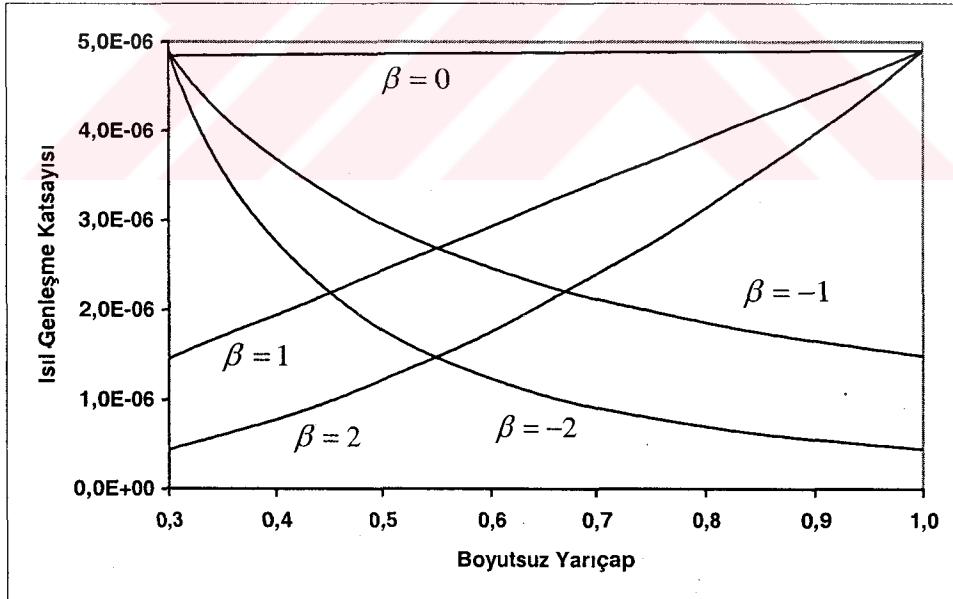
Gerilme bileşenlerine ilişkin eğriler incelendiğinde negatif β değerleri için radyal, teğetsel ve eksenel gerilme bileşenlerinin arttığı görülmektedir. Buradan, uçları sabit, iç tarafta basınca maruz, düzgün iç ısı üretimi olan silindirde iç tarafın metal, dış tarafın ise seramik olarak tasarlanmasının gerilmeleri artıracığı anlaşılmaktadır. Söz konusu mekanik ve ısıl yükleme şartlarında gerilmeleri en düşük seviyede tutmak için uygun tasarım metalin dış tarafta olması, seramiğin ise iç tarafta kullanılmasıdır. Silindirde ısıl ve mekanik yükleme altında meydana gelen radyal deplasman ise Şekil 5.2.1.4'de gösterilmiştir. Negatif β değerleri için radyal deplasman artarken pozitif β değerleri için radyal deplasmanın azaldığı ve homojen malzemeye göre daha küçük deplasman oluştuğu görülmektedir.



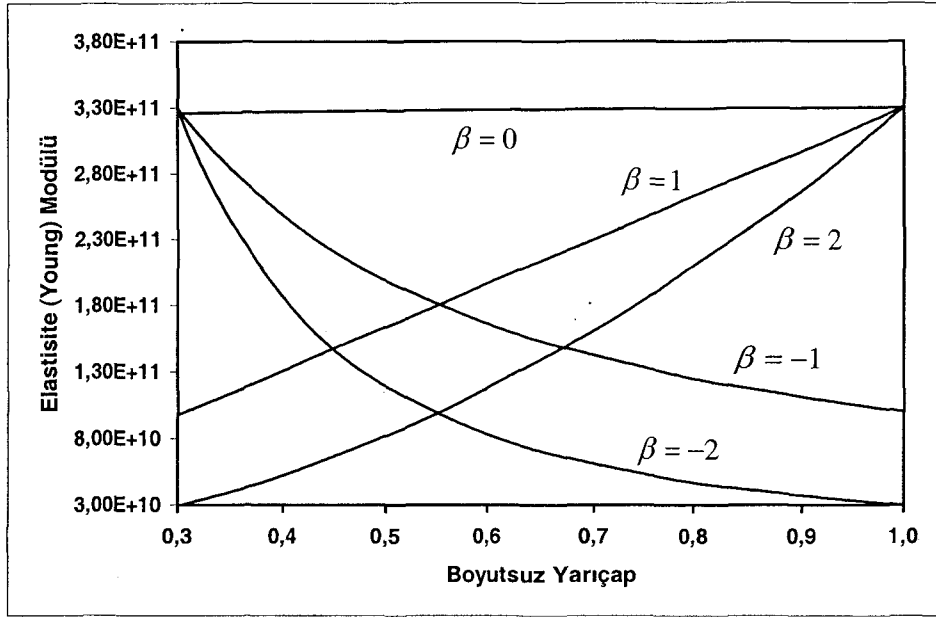
Şekil 5.2.1.4. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için boyutsuz radyal deplasman dağılımı

$-2 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 2$ parametre değerleri için, içi boş silindirde meydana gelen radyal, teğetsel ve eksenel gerilmeler Ek-5, Ek-6 ve Ek-7'de, radyal deplasmanlar ise Ek-8'de gerilme çizelgelerinde gösterilmiştir. Pozitif β değerleri için FDM silindirde hesaplanan gerilme bileşenleri ve radyal deplasman Ek-4'de verilen homojen silindirde ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$) meydana gelen gerilme bileşenleri ve deplasmandan daha küçüktür. Homojen olmayan malzeme parametreleri için gerilme bileşenleri ve radyal deplasmanın daha küçük olması, FDM lerin homojen malzemelere göre daha iyi termomekanik davranış gösterdiklerini ortaya koyar.

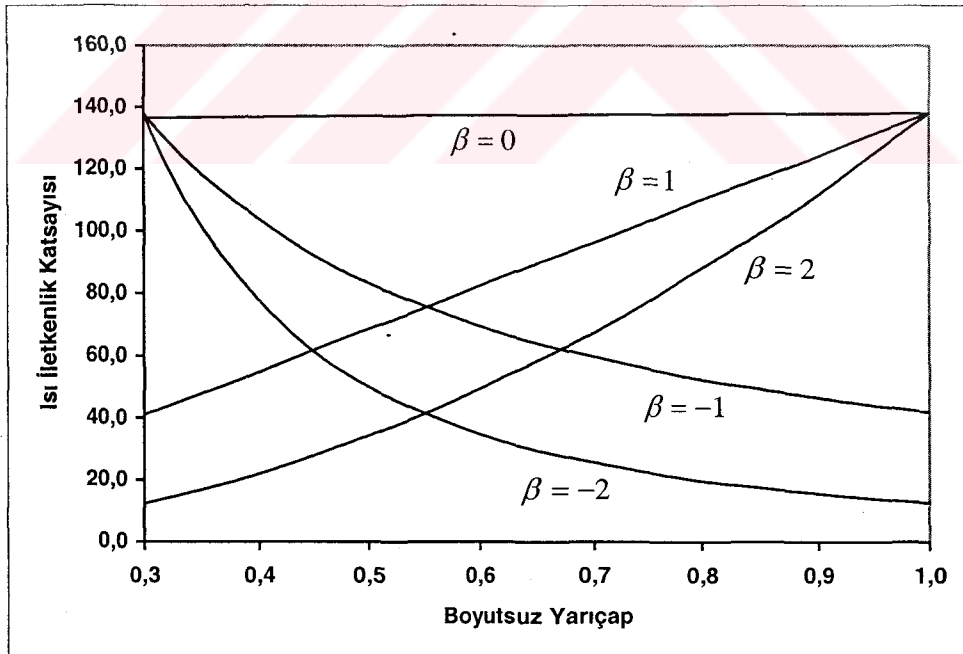
$-2 < \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 < 2$ aralığında FDM silindirde, malzeme özelliklerine bağlı olarak silindir içinde ısı genleşme katsayısı, Elastisite modülü ve ısı iletkenlik katsayısının dağılımı Şekil 5.2.1.5, Şekil 5.2.1.6 ve Şekil 5.2.1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2.1.5. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için ısı genleşme katsayısı



Şekil 5.2.1.6. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için elastisite modülü



Şekil 5.2.1.7. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ parametreleri için ısı iletkenlik katsayısı

5.2.2. Malzeme parametreleri farklı FDM silindir ($-2 < \beta_1, \beta_2, \beta_3 < 2$)

β_1 ve β_3 aynı işarete sahip olmak şartıyla malzeme parametreleri $[-2, +2]$ aralığında değiştirilmek suretiyle silindir içinde meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Seramik-metal yapısındaki FDM'de kırılma davranışı seramik taraftaki kırılgan yapıdan metal taraftaki sünek yapıya doğru metal fazın artmasıyla farklılık gösterecektir. Mekanik ve ısı yüklemeler sonucunda, FDM de, metal yüzey ile devamındaki seramik parçacıklarının metal faz (matriks) içerisinde dağıldığı metalce zengin kısımda gerilmelerin akma gerilmesini aşması durumunda plastik deformasyon başlayacaktır. Bu nedenle seramik taraftaki kırılma kriteri ile birlikte metal taraftaki akma kriterinin de dikkate alınması gerekir.

Gerilmeleri minimize edecek optimum malzeme parametrelerini bulabilmek için içi boş silindirde oluşan gerilmeler normalize edilerek metal tarafın akması esas alınmak suretiyle Tresca Akma Kriteri uygulanmış, çalışılan sınır şartları için en emniyetli gerilme halini sağlayan optimum malzeme parametreleri yaklaşık olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada Tresca akma kriterinin FDM silindire tatbiki aşağıdaki basamakları içerir:

- Uçları sabit silindir düzlemsel şekil değiştirme problemi oluşturur. Silindir geometrisi ile ısı ve mekanik yüklemenin silindir eksenini boyunca simetrik olması, düz bir silindir kesitinin yüklemesinin sonrasında da düz kalmasını sağlayacağından silindirde kayma şekil değiştirmeleri ve kayma gerilmeleri oluşmaz. Bu durumda silindirde meydana gelen gerilmeler σ_r, σ_θ ve σ_z asal gerilmeleri oluşturur.

- Belli bir parametre konfigürasyonunda (malzeme özelliklerinde) silindirdeki σ_r, σ_θ ve σ_z değerlerinden en büyüğü σ_1 , en küçüğü ise σ_3

olarak alınırsa maksimum kayma gerilmesi $\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ şeklinde bulunur.

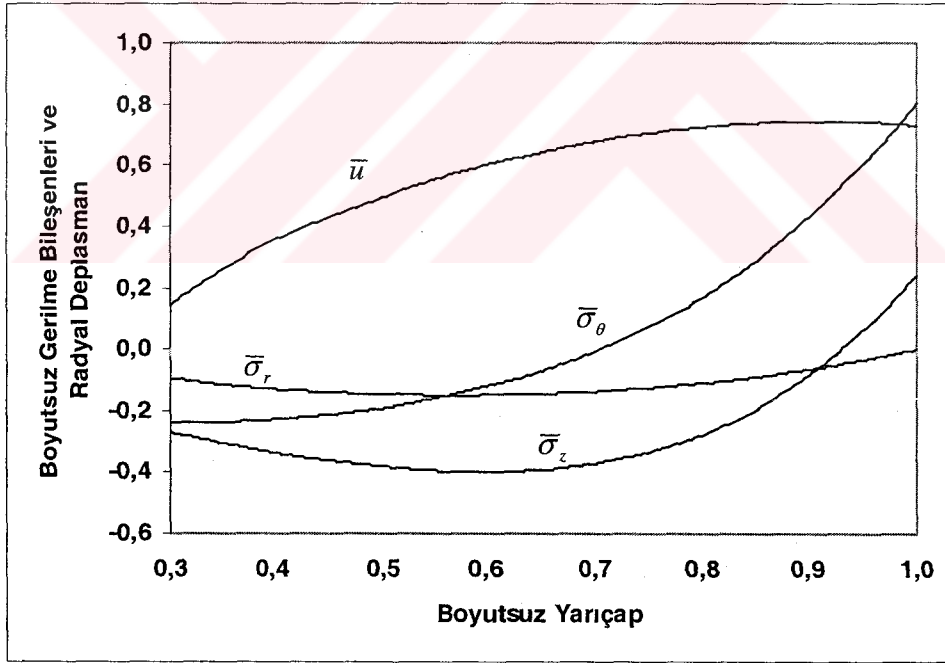
Silindir içerisinde, metal tarafta, maksimum kayma gerilmesi basit çekme

testinde malzemenin akmaya uğradığı maksimum kayma gerilmesi değerine ulaştığı ($\tau_{\max} = \frac{\sigma_o}{2}$) zaman akma meydana gelir. Dolayısıyla silindir için emniyetli gerilme hali; $\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} < \frac{\sigma_o}{2}$ veya $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_o} < 1$, veya $\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3 < 1$ eşitsizliği ile ifade edilir. Buna göre en emniyetli gerilme hali ve bunu sağlayan optimum malzeme parametreleri $\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$ değerinin 1'den en küçük olduğu malzeme özellikleri için gerçekleşir. Burada dikkat edilecek husus gerilmelerin mukayesesinde sadece metal taraftaki gerilmelerin esas alınmasıdır.

Değişen β parametrelerine bağlı olarak silindir içi ve dışındaki malzeme de değişmektedir. $\beta_1 > 0$ ve $\beta_3 > 0$ iken silindir dış yüzeyinde metal, iç yüzeyinde ise seramik malzeme bulunmaktadır. Radyal koordinata bağlı olarak $E = E_o r^{\beta_2}$ şeklinde tanımlanan elastisite modülünde $E_o = E_{\text{metal}} / b^{\beta_2}$ 'dir. $b=1$ alınıp normalizasyon yapıldığında $E_o = E_{\text{metal}}$ bulunur. $\beta_1 > 0$ ve $\beta_3 > 0$ iken aynı zamanda $\beta_2 > 0$ gerçekleşirse metalin elastisite modülü seramikten daha büyüktür, $\beta_2 < 0$ durumunda ise metalin elastisite modülü seramikten daha küçüktür. $\beta_1 < 0$ ve $\beta_3 < 0$ iken silindir dış yüzeyinde seramik, iç yüzeyinde ise metal malzeme bulunmaktadır. $E = E_o r^{\beta_2}$ şeklinde tanımlanan elastisite modülünde $E_o = E_{\text{metal}} / Q^{\beta_2}$ 'dir. $\beta_1 < 0$ ve $\beta_3 < 0$ iken aynı zamanda $\beta_2 > 0$ gerçekleşirse metalin elastisite modülü seramikten daha küçük, $\beta_2 < 0$ durumunda ise metalin elastisite modülü seramikten daha büyüktür.

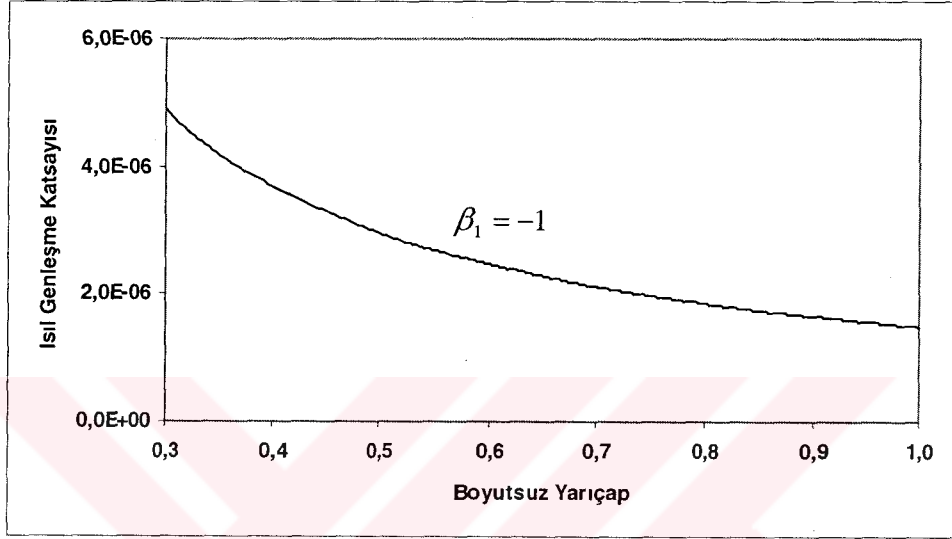
Ek-3'deki program yardımıyla $[-2, +2]$ aralığında değişen β parametreleri için silindir iç basıncı $P_i = 50$ MPa, dış basınç $P_o = 0$; boyutsuz ısı yük parametresi $\bar{q}''' = 5.64$ alınarak gerilme bileşenleri hesaplanmış ve metal tarafın akması esas alınmak üzere Tresca akma şartı uygulandığında silindir

içerisindeki gerilmelerin en emniyetli olduğu β parametreleri bulunmuştur. Bulunan malzeme parametreleri için en emniyetli kayma gerilmesi ve buna karşılık gelen en büyük ve en küçük normal gerilmeler bulunmuştur. En emniyetli β parametreleri ve gerilme değerleri Ek-9'da verilmiştir. Ek-10'da ise tüm β parametreleri için hesaplanan gerilmelere Tresca akma kriterinin uygulanması ile bulunan maksimum kayma gerilmeleri verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde bazı β parametreleri için gerilmelerin emniyetsiz olduğu, plastik deformasyonun başladığı görülmektedir. Ek-11'de ise silindir içi gerilmeleri metal tarafa ait Tresca akma kriterine göre en emniyetli kılan malzeme özellikleri $\beta_1 = -1$, $\beta_3 = -2$ ve $\beta_2 = 2$ için meydana gelen gerilme değerleri ve deplasmanlar verilmiştir. Bu β değerleri için silindir içinde oluşan gerilme bileşenleri ve radyal deplasman Şekil 5.2.2.1'de gösterilmiştir.

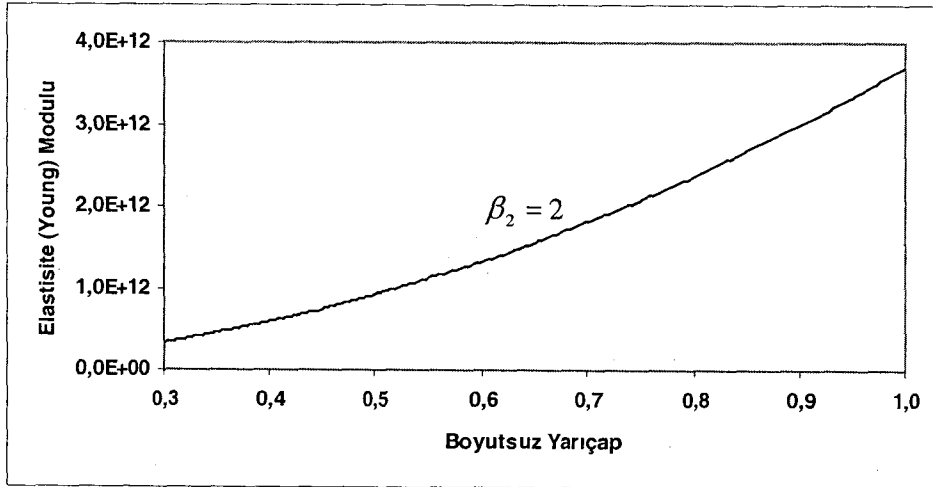


Şekil 5.2.2.1. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta_1 = -1$, $\beta_2 = 2$, $\beta_3 = -2$ parametreleri için boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman dağılımı ($\bar{q}''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa)

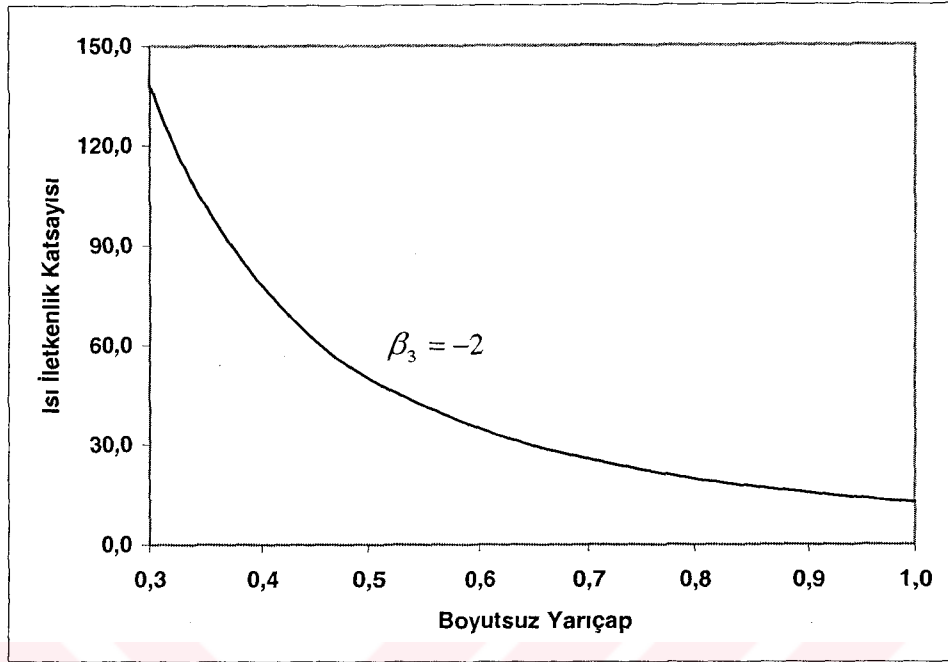
Gerilmeleri Tresca akma kriterine göre minimize eden optimum malzeme parametreleri için silindir içi ısı genleşme katsayısı, elastisite modülü ve ısı iletkenlik katsayısı dağılımı Şekil 5.2.2.2, Şekil 5.2.2.3 ve Şekil 5.2.2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2.2.2. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta_1 = -1$, $\beta_2 = 2$, $\beta_3 = -2$ parametreleri için ısı genleşme katsayısı



Şekil 5.2.2.3. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta_1 = -1$, $\beta_2 = 2$, $\beta_3 = -2$ parametreleri için elastisite modülü



Şekil 5.2.2.4. Uçları sabit, FDM silindirde $\beta_1 = -1$, $\beta_2 = 2$, $\beta_3 = -2$ parametreleri için ısı iletkenlik katsayısı

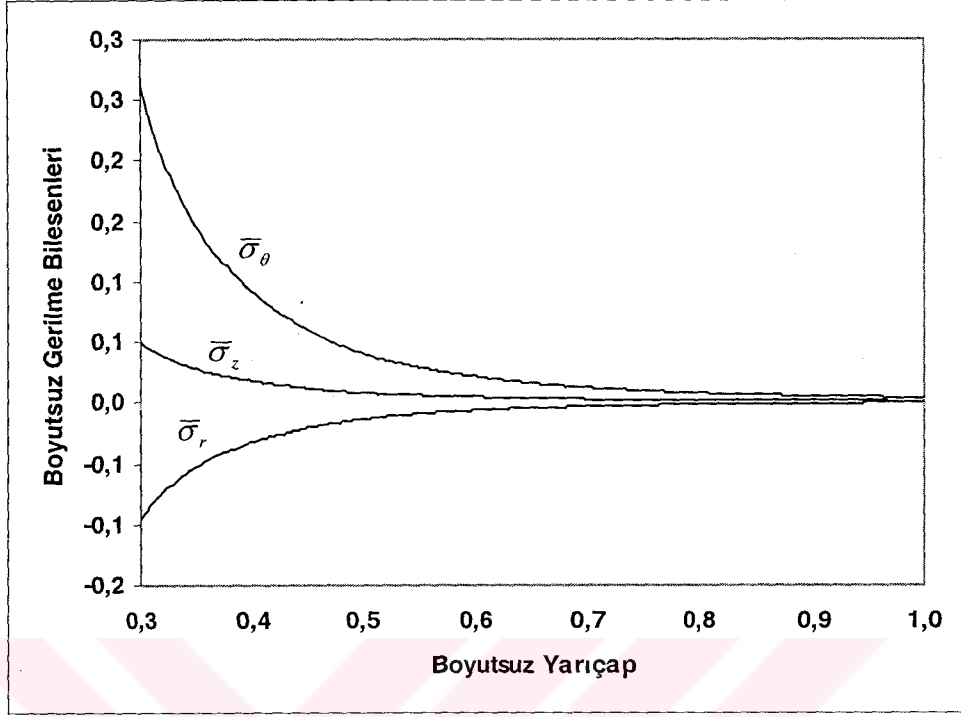
Bu kısımda malzeme parametrelerinin mekanik yüklemelerde ve ısı yüklemelerde silindir içerisindeki gerilmeleri nasıl etkilediklerini görmek için ısı yüklemenin olmadığı, sadece mekanik yükleme sonucu meydana gelen gerilmeler de hesaplanmıştır. Ek-12'de verilen bu çalışma sonucuna göre ısı yük parametresi $\bar{q}''' = 0$ alındığında, mekanik sınır şartının ise yine sadece silindir içi basınçtan oluşması durumunda ($P_i = 50 \text{ MPa}$) Tresca akma şartına göre metal taraftaki gerilmeleri en emniyetli kılan malzeme parametreleri $\beta_1 = 2$, $\beta_3 = 2$ ve $\beta_2 = -2$ bulunmuştur. Ek-13'de farklı $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ parametreleri için metal tarafta meydana gelen maksimum kayma gerilmeleri verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde $\beta_2 = -2$ olmak şartıyla β_1 ve β_3 hangi değeri alırsa alsın metal taraftaki maksimum kayma gerilmeleri değişmemektedir ve en küçük değerine sahiptir.

$\bar{q}''' = 0$ olduğunda β_1 ve β_3 ' ün gerilmelere hiçbir katkısı yoktur. Eş. 4.2.1.16 ile elde edilen Cauchy-Euler denklemi homojen bir denklem haline dönüşür ve Airy gerilme fonksiyonu ϕ sadece β_2 'ye bağlı olarak ifade edilir. Silindir içinde ısı üretimi sıfır olduğunda, $\beta_1 > 0$ ve $\beta_3 > 0$ iken dışta metal, içte ise seramik bulunmaktadır.

$\beta_1 < 0$ ve $\beta_3 < 0$ iken dışta seramik, içte ise metal bulunmaktadır. Ek-13'de verilen maksimum kayma gerilmeleri $\beta_1 < 0$ ve $\beta_3 < 0$ değerleri için incelendiğinde $\beta_2 = 2$ değeri için maksimum kayma gerilmelerinin minimum olduğu görülür. Ancak bu değer $\beta_2 = -2$ için elde edilen maksimum kayma gerilmesinden daha büyük olduğundan en emniyetli gerilme halini oluşturmaz.

Isı yük parametresi $\bar{q}''' = 0$, mekanik sınır şartı $P_i = 50$ MPa alındığında Tresca akma şartına göre metal taraftaki gerilmeleri en emniyetli kılan malzeme parametreleri $\beta_1 = 2$, $\beta_3 = 2$ ve $\beta_2 = -2$ için silindir içinde meydana gelen gerilmeler Şekil 5.2.2.5'de gösterilmiştir.

Çeşitli mekanik ve ısı yüklemeler altında içi boş silindirde meydana gelen gerilmeler incelendiğinde sonuç olarak FDM'deki değişen malzeme özelliklerinin homojen malzemeye göre tercih sebebi olacağı açıktır.



Şekil 5.2.2.5. Uçları sabit FDM silindirde $\beta_1 = 2$, $\beta_3 = 2$, $\beta_2 = -2$ parametreleri için boyutsuz gerilme bileşenleri ($\bar{q}''' = 0$, $P_i = 50$ MPa)

KAYNAKLAR

1. J.Ma, G.E.B Tan, Processing and characterization of metal-ceramic functionally gradient materials, **Journal of Material Processing Technology**, 113: 446-449 (2001).
2. Akira Kawasaki, Ryuzo Watanable, Concept and P/M fabrication of functionally gradient materials, **Ceramics International**, 23:73-83 (1997).
3. J.R.Cho, J. Jinsley Oden, Functionally graded material: a parametric study on thermal stress characteristics using the Crank-Nicolson-Galerkin Scheme, **Comput. Method Appl. Mech. Engrg.**, 188:17-38 (2000).
4. D.C.Pender, N.P.Padture, A.E.Giannakopoulos, S.Suresh, Gradients in elastic modulus for improved contact –damage resistance. Part I: The silican nitride-oxynitride glass systems Part II: The silican nitride-silicon carbide system, **Acta Matter**, 49:3255-3268 (2001).
5. Mahmoud Nemat-Alla, Reduction of thermal stresses by developing two-dimensional functionally gradient materials, **International Journal of Solids and Structures**, 40:7339-7356 (2003).
6. Sergio Turteltaub, Optimal control and optimization of functionally graded materials for thermomechanical processes, **International Journal of Solids and Structures**, 39:3175-3197 (2002).
7. R.J. Butcher, C.E. Rousseau, H.V. Tippur, A Functionally Graded particulate composite: Preparation, measurements and failure analysis, **Acta Matter**, 47:259-268 (1999).
8. Zimmerman RW, Lutz MP, Thermal stress and thermal expansion in a uniformly heated functionally graded cylinder, **J Therm Stress**, 22:177-188 (1999).
9. Y. Ootao, Y. Tanigawa, T. Nakamura, Optimization of material composition of FDM hollow circular cylinder under thermal loading : a neural network approach, **Composites**, Part B, 30:415-422 (1999).
10. Y.Tanigawa, N.Oka, T.Akai, R.Kawamura, One dimensional transient thermal stress problem for nonhomogenous hollow circular cylinder and its optimization of material composition for thermal stress relaxation, **JSME International Journal Series A**, Vol.40, No.2:171-203 (1997).
11. K.M.Liew, S.Kitipornchai, X.Z.Zhang, C.W.Lim, Analysis of the thermal stress behaviour of functionally graded hollow circular cylinders, **International Journal of Solids and Structures**, 40:2355-2380 (2003).

12. N.Tutuncu,M.Öztürk, Exact solutions for stresses in functionally graded pressure vessels, **Composites**, Part B, 32:683-686 (2001).
13. Jiann-Quo Tarn, Exact solutions for functionally graded anisotropic cylinders subjected to thermal and mechanical loads, **International Journal of Solids and Structures**, 38:8189-8206 (2001).
14. G.N. Praveen, C.D.Chin, J.N.Reddy, Thermoelastic Analysis of functionally graded Ceramic-Metal cylinder, **Journal of Engineering Mechanics**, 1259-1267 (1999).
15. Y.Y.Yang, Time dependent stress anlysis in functionally graded materials, **International Journal of Solids and Structures**, 37:7593-7608 (2000).





EKLER

EK-1 İZOTROPİK İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT SİLİNDİRDE GERİLME VE DEPLASMAN HESABINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI

```

C İÇİ BOS SİLİNDİRİN İÇ VE DİS YÜZEYLERİNE AIT ELASTİSİTE MODÜLÜ,
C İSİL GENLESME KATSAYILARI, İSİ İLETKENLİK KATSAYILARININ GİRİLMESİ
  REAL EMETAL,ESERAMİK,İSGENMET,İSGENSER,İLETMET,İLETSER,Q
  REAL İYUKP,POIS,M1,M2,ELASO
  REAL RADIUS(201),GRAD(201,6),GTAN(201,6),GEKS(201,6)
  REAL ELASTİS(201),CONDUCT(201),EXPAND(201)
  REAL GRADNORM(201),GTANNORM(201),GEKSNORM(201)
  REAL GC9(201),GC10(201),GC11(201),GC12(201),GC13(201),GC14(201)
  REAL W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7
  REAL GC1,GC2,GC3,GC4,GC5,GC6,GC7,GC8
  REAL NORMA,NORMB,NORMC,NORMA1,NORMA2,NORMB1,NORMB2,NOMRC1,NORMC2
  REAL DEP1(201),DEP2(201),DEP3(201),DEP4(201),DEP5(201)
  REAL NORMDEP(201)
  REAL DEP41,DEP42,DEP43,DEP44,DEP45,DEP46,DEP47,DEP48,DEP49
  REAL DEP51,DEP52,DEP53,DEP54,DEP55,DEP56,DEP57,DEP58,DEP59
  REAL DEP510,DEP511,DEP512,DEP513,DEP514
  RADIUSB=1.0
  OPEN(UNIT=9,FILE='OUTPUTHOMGN.DAT')
C SİLİNDİRİN Q=a/b ORANINI GİRİNİZ
  PRINT*, 'SİLİNDİRİN a/b ORANINI (İC CAP/DİS CAP) GİRİNİZ : '
  READ*, Q
  RADIUSA=Q*RADIUSB
  PRINT*, 'POİSON ORANINI GİRİNİZ:'
  READ*, POIS
  PRINT*, 'SİLİNDİR İC BASİNCİNİ GİRİNİZ : '
  READ*, PIC
  PRINT*, 'SİLİNDİR DİS BASİNCİNİ GİRİNİZ : '
  READ*, PDIS
  PRINT*, 'METALİN AKMA GERİLMESİNİ GİRİNİZ:'
  READ*, GAKMA
  PRINT*, 'METALİN ELASTİSİTE MODULUNU GİRİNİZ:'
  READ*, EMETAL
  PICNORM=PIC/GAKMA
  PDISNORM=PDIS/GAKMA
  PRINT*, 'SİLİNDİR İCİ İSİ YUK PARAMETRESİNİ GİRİNİZ:'
  READ*, İYUKP
  WRITE(9,*) 'HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İCİN GERİLME VE
  *RADYAL DEPLASMAN HESABI'
  WRITE(9,*) ' r(I) ', 'RADYAL GERİLME ', 'TEGETSEL GER.',
  *' EKSENEL GER.', ' RADYAL DEPLASMAN'
  WRITE(9,*)
  BETA1=0.0001
  BETA2=0.0001
  BETA3=0.0001
  ELASO=EMETAL
  BETA=BETA1+BETA2-BETA3
  W1=2*BETA3*(1-POIS)*(BETA3-2)*((BETA1+BETA2+1)*(BETA1+1)-((1-POIS-
  *POIS*BETA2)/(1-POIS)))
  W2=2*BETA3*(1-POIS)*((BETA+1)*(BETA1-BETA3+1)-((1-POIS-POIS*BETA2)
  */(1-POIS)))
  W3=2*(2-BETA3)*(1-POIS)*((BETA+3)*(BETA1-BETA3+3)-((1-POIS-POIS*
  *BETA2)/(1-POIS)))
C UCLARI SABİT SİLİNDİR İCİN (DUZLEMSEL GENLEME PROBLEMİ) STRES
C FORMULASYONLA (AIRY STRESS FUNCTION KULLANARAK) UYUM DENKLEMİNDE
C ELDE EDİLEN CAUCHY EULER DENKLEMİNDE (DEĞİSKEN TERİMLİ,NON HOMOJEN)
C DİFERANSİYEL DENKLEMİN HOMOJEN KOZUMU (M1,M2 KATSAYILARI)
  M1=(BETA2+SQRT(BETA2**2-4*((POIS*BETA2+POIS-1)/(1-POIS))))/2
  M2=(BETA2-SQRT(BETA2**2-4*((POIS*BETA2+POIS-1)/(1-POIS))))/2

```

EK-1 İZOTROPİK İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT SİLİNDİRDE GERİLME VE DEPLASMAN HESABINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI

```

C SİLİNDİR İCİNDE ELASTİSİTE MODULU, ISIL GENLESME KATSAYISI, ISI
C İLETKENLİĞİ, RADYAL, TANJANAT VE EKSENE GERİLMELERİN BULUNMASI
DO 10 I=1,201
  RADIUS(I)=Q+(1-Q)*(I-1)/200
C NORMALİZE EDİLMİŞ GERİLMELERİN BULUNMASI
  GC1=-PICNORM+PDISNORM*Q**(M2-1)
  GC2=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**(BETA1+BETA2))*
  *(BETA1*BETA3-BETA1*(BETA3-2)*Q**2)/W1
  GC3=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**BETA)*
  *(BETA1-BETA3)*Q**2/W2
  GC4=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**(BETA+2))*
  *(BETA1-BETA3+2)/W3
  GC5=PICNORM-PDISNORM*Q**(M1-1)
  GC6=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M1-1)-Q**(BETA1+BETA2))*
  *(BETA1*BETA3-BETA1*(BETA3-2)*Q**2)/W1
  GC7=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M1-1)-Q**BETA)*
  *(BETA1-BETA3)*Q**2/W2
  GC8=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M1-1)-Q**(BETA+2))*
  *(BETA1-BETA3+2)/W3
  GC9(I)=((BETA1*BETA3-BETA1*(BETA3-2)*Q**2)/W1)*
  *(RADIUS(I))**(BETA1+BETA2)
  GC10(I)=(((BETA1-BETA3)*Q**2)/W2)*(RADIUS(I))**BETA
  GC11(I)=((BETA1-BETA3+2)/W3)*(RADIUS(I))**(BETA+2)
  GC12(I)=((BETA1+BETA2+1)*(BETA1*BETA3-(BETA1*(BETA3-2)*Q**2))/W1)*
  *(RADIUS(I))**(BETA1+BETA2)
  GC13(I)=(((BETA1-BETA3)*Q**2)/W2)*(BETA+1)*(RADIUS(I))**BETA
  GC14(I)=((BETA1-BETA3+2)/W3)*(BETA+3)*(RADIUS(I))**(BETA+2)
  GRADNORM(I)=((RADIUS(I))**(M1-1))*(GC1+GC2+GC3+GC4)/
  *(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+((RADIUS(I))**(M2-1))*(GC5-GC6-GC7-GC8)/
  *(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+
  *(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(GC9(I)+GC10(I)+GC11(I))
  GTANNORM(I)=((RADIUS(I))**(M1-1))*M1*(GC1+GC2+GC3+GC4)/
  *(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+((RADIUS(I))**(M2-1))*M2*(GC5-GC6-GC7-GC8)/
  *(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+
  *(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(GC12(I)+GC13(I)+GC14(I))
  GEKS NORM(I)=POIS*(GRADNORM(I)+GTANNORM(I))-(IYUKP*(RADIUSB**
  *BETA)/(4*2*BETA3))*((RADIUS(I))**(BETA1+BETA2)-(RADIUS(I))**
  *(BETA+2))-(IYUKP*(RADIUSB**BETA)/(2*BETA3))*Q**2*
  *(((RADIUS(I))**(BETA1+BETA2))-((RADIUS(I))**BETA))
C NORMALİZE EDİLMİŞ RADYAL DEPLASMANIN BULUNMASI
  NORMDEP(I)=((1-POIS**2)*GTANNORM(I)/RADIUSB**BETA2)*(RADIUS(I))**
  *(1-BETA2)-(POIS*(1+POIS)*GRADNORM(I)/RADIUSB**BETA2)*(RADIUS(I))**
  *(1-BETA2)+((1+POIS)*IYUKP/2)*(((RADIUSB**BETA1-BETA3))/
  *(2-BETA3))*((RADIUS(I))**(BETA1+1)-(RADIUS(I))**(BETA1-BETA3+3)))+
  *(((Q**2)*(RADIUSB**BETA1-BETA3))/BETA3)*((RADIUS(I))**(BETA1+1)-
  *(RADIUS(I))**(BETA1-BETA3+1))))
10 CONTINUE
DO 20 K=1,201
60 FORMAT(F9.4,3X,F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4)
  WRITE(9,60) RADIUS(K),GRADNORM(K),GTANNORM(K),GEKS NORM(K),
  *NORMDEP(K)
20 CONTINUE
CLOSE(UNIT=9)
STOP
END

```

EK-2 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) GERİLME VE DEPLASMAN HESABINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI

```

C İÇİ BOS SİLİNDİRİN İÇ VE DIS YÜZEYLERİNE AIT ELASTİSİTE MODÜLÜ,
C ISIL GENLESME KATSAYILARI, ISI İLETKENLİK KATSAYILARININ GİRİLMESİ
REAL EMETAL, ESERAMİK, ISGENMET, ISGENSER, İLETMET, İLETSER, Q
REAL İYUKP, POIS, M1, M2, ELASO, CONDUCTO, EXPANDO
REAL RADIUS(201), GRAD(201,6), GTAN(201,6), GEKS(201,6)
REAL CONDUCT(201,6), EXPAND(201,6), ELASTIS(201,6)
REAL GRADNORM(201,6), GTANNORM(201,6), GEKSNORM(201,6)
REAL GC9(201), GC10(201), GC11(201), GC12(201), GC13(201), GC14(201)
REAL W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7
REAL GC1, GC2, GC3, GC4, GC5, GC6, GC7, GC8
REAL NORMDEP(201,6)
RADIUSB=1.0
OPEN(UNIT=9, FILE='OUTPUTRAD.DAT')
OPEN(UNIT=8, FILE='OUTPUTTEG.DAT')
OPEN(UNIT=7, FILE='OUTPUTTEKS.DAT')
OPEN(UNIT=6, FILE='OUTPUTDEP.DAT')
OPEN(UNIT=3, FILE='OUTPUTELAST.DAT')
OPEN(UNIT=2, FILE='OUTPUTISIGEN.DAT')
OPEN(UNIT=1, FILE='OUTPUTISIİLET.DAT')
C SİLİNDİRİN Q=a/b ORANINI GİRİNİZ
PRINT*, 'SİLİNDİRİN a/b ORANINI (İC CAP/DİS CAP) GİRİNİZ : '
READ*, Q
RADIUSA=Q*RADIUSB
PRINT*, 'POİSON ORANINI GİRİNİZ: '
READ*, POIS
PRINT*, 'SİLİNDİR İC BASİNCİNİ GİRİNİZ : '
READ*, PIC
PRINT*, 'SİLİNDİR DİS BASİNCİNİ GİRİNİZ : '
READ*, PDIS
PRINT*, 'METALİN AKMA GERİLMESİNİ GİRİNİZ: '
READ*, GAKMA
PRINT*, 'METALİN ELASTİSİTE MODULUNU GİRİNİZ: '
READ*, EMETAL
PRINT*, 'METALİN ISI İLETKENLİK KATSAYISINI GİRİNİZ: '
READ*, İLETMET
PRINT*, 'METALİN ISIL GENLESME KATSAYISINI GİRİNİZ: '
READ*, ISGENMET
PICNORM=PIG/GAKMA
PDISNORM=PDIS/GAKMA
PRINT*, 'SİLİNDİR İCİ ISI YUK PARAMETRESİNİ GİRİNİZ: '
READ*, İYUKP
J=0
WRITE(9,*) 'HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ İCİN RADYAL
*GERİLMELERİN HESABI'
WRITE(9,*) '  r(I)', '      RAD GER(2)', '      RAD GER(1)',
*' RAD GER(0)', '      RAD GER(-1)', ' RAD GER(-2)'
WRITE(9,*)
WRITE(8,*) 'HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ İCİN TEGETSEL
*GERİLMELERİN HESABI'
WRITE(8,*) '  r(I)', '      ACİ GER(2)', '      ACİ GER(1)',
*' ACİ GER(0)', '      ACİ GER(-1)', ' ACİ GER(-2)'
WRITE(8,*)
WRITE(7,*) 'HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ İCİN EKSENEL
*GERİLMELERİN HESABI'
WRITE(7,*) '  r(I)', '      EKS GER(2)', '      EKS GER(1)',
*' EKS GER(0)', '      EKS GER(-1)', ' EKS GER(-2)'
WRITE(7,*)
WRITE(6,*) '  r(I)', '      RAD DEP(2)', '      RAD DEP(1)',

```

EK-2 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) GERİLME VE DEPLASMAN HESABINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI

```

* ' RAD DEP(0)', ' RAD DEP(-1)', ' RAD DEP(-2)'
WRITE(6,*)
WRITE(3,*) 'HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN SİLİNDİR
*İÇİNDE ELASTİSİTE MODULU DAĞILIMI'
WRITE(3,*) ' r(I)', ' ELASTİSİTE(2)', ' ELASTİSİTE(1)',
*'ELASTİSİTE(0)', ' ELASTİSİTE(-1)', 'ELASTİSİTE(-2)'
WRITE(3,*)
WRITE(2,*) 'HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN SİLİNDİR
*İÇİNDE ISI GENLESME KATSAYISI DAĞILIMI'
WRITE(2,*) ' r(I)', ' İSİGENLESME(2)', ' İSİGENLESME(1)',
*'İSİGENLESME(0)', ' İSİGENLESME(-1)', 'İSİGENLESME(-2)'
WRITE(2,*)
WRITE(1,*) 'HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN SİLİNDİR
*İÇİNDE İLETKENLİK KATSAYISI DAĞILIMI'
WRITE(1,*) ' r(I)', ' İLETKENLİK(2)', ' İLETKENLİK(1)',
*' İLETKENLİK(0)', ' İLETKENLİK(-1)', ' İLETKENLİK(-2)'
WRITE(1,*)
DO 30 COUNT=2.01, -1.99, -1
J=J+1
BETA1=COUNT
BETA2=COUNT
BETA3=COUNT
BETA=BETA1+BETA2-BETA3
W1=2*BETA3*(1-POIS)*(BETA3-2)*((BETA1+BETA2+1)*(BETA1+1)-((1-POIS-
*POIS*BETA2)/(1-POIS)))
W2=2*BETA3*(1-POIS)*((BETA+1)*(BETA1-BETA3+1)-((1-POIS-POIS*BETA2)
*/(1-POIS)))
W3=2*(2-BETA3)*(1-POIS)*((BETA+3)*(BETA1-BETA3+3)-((1-POIS-POIS*
*BETA2)/(1-POIS)))
C UCLARI SABİT SİLİNDİR İÇİN (DÜZLEMSEL GENLEME PROBLEMİ) STRES
C FORMULASYONLA (AIRY STRESS FUNCTION KULLANARAK) UYUM DENKLEMİNDE
C ELDE EDİLEN CAUCHY EULER DENKLEMİNDE (DEĞİSKEN TERİMLİ, NON HOMOJEN)
C DİFERANSİYEL DENKLEMİN HOMOJEN KISMIN ÇÖZÜMÜ (M1, M2 KATSAYILARI)
M1=(BETA2+SQRT(BETA2**2-4*((POIS*BETA2+POIS-1)/(1-POIS))))/2
M2=(BETA2-SQRT(BETA2**2-4*((POIS*BETA2+POIS-1)/(1-POIS))))/2
C SİLİNDİRE AİT ELASO MODULUNUN BULUNMASI
IF (BETA2.GT.0.0) THEN
ELASO=EMETAL/(RADIUSB)**BETA2
CONDUCTO=ILETMET/(RADIUSB)**BETA1
EXPANDO=ISGENMET/(RADIUSB)**BETA3
ELSE IF (BETA2.LT.0.0) THEN
ELASO=EMETAL/(Q*RADIUSB)**BETA2
CONDUCTO=ILETMET/(Q*RADIUSB)**BETA1
EXPANDO=ISGENMET/(Q*RADIUSB)**BETA3
ENDIF
C SİLİNDİR İÇİNDE ELASTİSİTE MODULU, ISI GENLESME KATSAYISI, ISI
C İLETKENLİĞİ, RADYAL, TANJANAT VE EKSENEL GERİLMELERİN BULUNMASI
DO 10 I=1, 201
RADIUS(I)=Q+(1-Q)*(I-1)/200
ELASTIS(I,J)=ELASO*(RADIUS(I))**BETA2
CONDUCT(I,J)=CONDUCTO*(RADIUS(I))**BETA3
EXPAND(I,J)=EXPANDO*(RADIUS(I))**BETA1
GC1=-PICNORM+PDISNORM*Q**(M2-1)
GC2=(İYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**(BETA1+BETA2))*
*(BETA1*BETA3-BETA1*(BETA3-2)*Q**2)/W1
GC3=(İYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**BETA)*
*((BETA1-BETA3)*Q**2)/W2
GC4=(İYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**(BETA+2))*

```

EK-2 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) GERİLME VE DEPLASMAN HESABINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI

```

* (BETA1-BETA3+2) / W3
GC5=PICNORM-PDISNORM*Q** (M1-1)
GC6=(IYUKP*RADIUSB**BETA) * (Q** (M1-1) -Q** (BETA1+BETA2)) *
* (BETA1*BETA3-BETA1* (BETA3-2) *Q**2) / W1
GC7=(IYUKP*RADIUSB**BETA) * (Q** (M1-1) -Q**BETA) *
* ( (BETA1-BETA3) *Q**2) / W2
GC8=(IYUKP*RADIUSB**BETA) * (Q** (M1-1) -Q** (BETA+2) ) *
* (BETA1-BETA3+2) / W3
GC9(I)=( (BETA1*BETA3-BETA1* (BETA3-2) *Q**2) / W1) *
* (RADIUS(I)) ** (BETA1+BETA2)
GC10(I)=( ( (BETA1-BETA3) *Q**2) / W2) * (RADIUS(I)) **BETA
GC11(I)=( (BETA1-BETA3+2) / W3) * (RADIUS(I)) ** (BETA+2)
GC12(I)=( (BETA1+BETA2+1) * (BETA1*BETA3- (BETA1* (BETA3-2) *Q**2) ) / W1) *
* (RADIUS(I)) ** (BETA1+BETA2)
GC13(I)=( ( (BETA1-BETA3) *Q**2) / W2) * (BETA+1) * (RADIUS(I)) **BETA
GC14(I)=( (BETA1-BETA3+2) / W3) * (BETA+3) * (RADIUS(I)) ** (BETA+2)
GRADNORM(I,J)=( (RADIUS(I)) ** (M1-1)) * (GC1+GC2+GC3+GC4) /
* (Q** (M1-1) -Q** (M2-1)) + ( (RADIUS(I)) ** (M2-1)) * (GC5-GC6-GC7-GC8) /
* (Q** (M1-1) -Q** (M2-1)) +
* (IYUKP*RADIUSB**BETA) * (GC9(I)+GC10(I)+GC11(I))
GTANNORM(I,J)=( (RADIUS(I)) ** (M1-1)) *M1* (GC1+GC2+GC3+GC4) /
* (Q** (M1-1) -Q** (M2-1)) + ( (RADIUS(I)) ** (M2-1)) *M2* (GC5-GC6-GC7-GC8) /
* (Q** (M1-1) -Q** (M2-1)) +
* (IYUKP*RADIUSB**BETA) * (GC12(I)+GC13(I)+GC14(I))
GEKSNORM(I,J)=POIS* (GRADNORM(I,J)+GTANNORM(I,J)) - (IYUKP* (RADIUSB**
*BETA) / (4-2*BETA3)) * ( (RADIUS(I)) ** (BETA1+BETA2) - (RADIUS(I)) **
* (BETA+2)) - (IYUKP* (RADIUSB**BETA) / (2*BETA3)) * (Q**2) *
* ( ( (RADIUS(I)) ** (BETA1+BETA2)) - ( (RADIUS(I)) **BETA) )
C UCLARI SABİT SİLİNDİRDE DEPLASMAN HESABINA İLİSKİN BAĞINTILAR
C NON HOMOJEN TERİME İLİSKİN DEPLASMAN BAĞINTISI
NORMDEP(I,J)=( (1-POIS**2) *GTANNORM(I,J) /RADIUSB**BETA2) *
* (RADIUS(I)) ** (1-BETA2) - (POIS* (1+POIS) *GRADNORM(I,J) /RADIUSB**
*BETA2) * (RADIUS(I)) ** (1-BETA2) + ( (1+POIS) *IYUKP/2) * ( ( (RADIUSB**
* (BETA1-BETA3)) / (2-BETA3)) * ( (RADIUS(I)) ** (BETA1+1) - (RADIUS(I)) **
* (BETA1-BETA3+3)) ) + ( (Q**2) * (RADIUSB** (BETA1-BETA3)) /BETA3) *
* ( (RADIUS(I)) ** (BETA1+1) - (RADIUS(I)) ** (BETA1-BETA3+1)) ) )
10 CONTINUE
30 CONTINUE
DO 20 K=1,201
60 FORMAT(F9.4,3X,F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4,3X,F10.4)
70 FORMAT(F9.4,3X,E10.4,3X,E10.4,3X,E10.4,3X,E10.4,3X,E10.4)
WRITE(9,60) RADIUS(K),GRADNORM(K,1),GRADNORM(K,2),GRADNORM(K,3),
*GRADNORM(K,4),GRADNORM(K,5)
WRITE(8,60) RADIUS(K),GTANNORM(K,1),GTANNORM(K,2),GTANNORM(K,3),
*GTANNORM(K,4),GTANNORM(K,5)
WRITE(7,60) RADIUS(K),GEKSNORM(K,1),GEKSNORM(K,2),GEKSNORM(K,3),
*GEKSNORM(K,4),GEKSNORM(K,5)
WRITE(6,60) RADIUS(K),NORMDEP(K,1),NORMDEP(K,2),NORMDEP(K,3),
*NORMDEP(K,4),NORMDEP(K,5)
WRITE(3,70) RADIUS(K),ELASTIS(K,1),ELASTIS(K,2),ELASTIS(K,3),
*ELASTIS(K,4),ELASTIS(K,5)
WRITE(2,70) RADIUS(K),EXPAND(K,1),EXPAND(K,2),EXPAND(K,3),
*EXPAND(K,4),EXPAND(K,5)
WRITE(1,60) RADIUS(K),CONDUCT(K,1),CONDUCT(K,2),CONDUCT(K,3),
*CONDUCT(K,4),CONDUCT(K,5)
20 CONTINUE
CLOSE(UNIT=9)
CLOSE(UNIT=8)

```

**EK-2 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) GERİLME VE
DEPLASMAN HESABINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI**

```
CLOSE(UNIT=7)  
CLOSE(UNIT=6)  
CLOSE(UNIT=3)  
CLOSE(UNIT=2)  
CLOSE(UNIT=1)  
STOP  
END
```



**EK-3 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$) METAL
TARAFTA TRESKA AKMA ŞARTI KULLANILARAK GERİLMELERİ
MİNİMİZE EDEN OPTİMUM MALZEME PARAMETRELERİ VE
GERİLMELERİN BULUNMASINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI**

```

C İÇİ BOS SİLİNDİRİN İÇ VE DIS YÜZEYLERİNE AIT ELASTİSİTE MODÜLÜ,
C ISIL GENLESME KATSAYILARI, ISI İLETKENLİK KATSAYILARININ GİRİLMESİ
REAL EMETAL, ESERAMİK, ISGENMET, ISGENSER, İLETMET, İLETSER, Q
REAL İYUKP, POIS, M1, M2, ELASO, CONDUCTO, EXPANDO
REAL RADIUS(201)
REAL ELASTIS(6,10,6,201), CONDUCT(6,10,6,201), EXPAND(6,10,6,201)
REAL GRADNORM(6,10,6,201), GTANNORM(6,10,6,201), GEKSNORM(6,10,6,201)
REAL GC9(201), GC10(201), GC11(201), GC12(201), GC13(201), GC14(201)
REAL W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7
REAL GC1, GC2, GC3, GC4, GC5, GC6, GC7, GC8
REAL DEP1(201), DEP2(201), DEP3(201), DEP4(201), DEP5(201)
REAL NORMDEP(6,10,6,201)
REAL SIGMA1, SIGMA3, YIELD, TRESKA, SIGMA1P, SIGMA3P, YIELDP, TRESCAP
REAL YPBETA1, YPBETA2, YPBETA3, YPBETA1P, YPBETA2P, YPBETA3P
REAL YIELDTRESKA, BETA1OPT, BETA2OPT, BETA3OPT, MAXGER, MINGER
REAL MAXGERD, MINGERD, MAXGERP, MINGERP
RADIUSB=1.0
OPEN(UNIT=4, FILE='OUTPUTOPTIMUMOMP.DAT')
OPEN(UNIT=3, FILE='OUTPUTTRESKAOMP.DAT')
OPEN(UNIT=9, FILE='OUTPUTGEROMP.DAT')
OPEN(UNIT=8, FILE='OUTPUTELASTISOMP.DAT')
OPEN(UNIT=7, FILE='OUTPUTEXPANDOMP.DAT')
OPEN(UNIT=2, FILE='OUTPUTDEPOMP.DAT')
OPEN(UNIT=6, FILE='OUTPUTCONDUCTOMP.DAT')
WRITE(3,*) '      BETA1:', '      BETA2:', '      BETA3:', '      TRESKA:'
C SİLİNDİRİN Q=a/b ORANINI GİRİNİZ
PRINT*, 'SİLİNDİRİN a/b ORANINI (İC CAP/DİS CAP) GİRİNİZ : '
READ*, Q
RADIUSA=Q*RADIUSB
PRINT*, 'POISON ORANINI GİRİNİZ:'
READ*, POIS
PRINT*, 'SİLİNDİR İC BASINCINI GİRİNİZ : '
READ*, PIC
PRINT*, 'SİLİNDİR DİS BASINCINI GİRİNİZ : '
READ*, PDIS
PRINT*, 'METALİN AKMA GERİLMESİNİ GİRİNİZ:'
READ*, GAKMA
PRINT*, 'METALİN ELASTİSİTE MODULUNU GİRİNİZ:'
READ*, EMETAL
PRINT*, 'METALİN ISIL GENLESME KATSAYISINI GİRİNİZ:'
READ*, ISGENMET
PRINT*, 'METALİN ISI İLETKENLİK KATSAYISINI GİRİNİZ:'
READ*, İLETMET
PICNORM=PIG/GAKMA
PDISNORM=PDIS/GAKMA
PRINT*, 'SİLİNDİR İCİ ISI YUK PARAMETRESİNİ GİRİNİZ:'
READ*, İYUKP
J=0
DO 30 COUNT=2.01, -1.99, -1
J=J+1
BETA1=COUNT
N=0
DO 30 COUNT2=2.01, -1.99, -0.5
N=N+1
BETA3=COUNT2
M=0

```

**EK-3 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$) METAL
TARAFTA TRESKA AKMA ŞARTI KULLANILARAK GERİLMELERİ
MİNİMİZE EDEN OPTİMUM MALZEME PARAMETRELERİ VE
GERİLMELERİN BULUNMASINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI**

```

DO 30 COUNT3=2.01,-1.99,-1
M=M+1
BETA2=COUNT3
BETA=BETA1+BETA2-BETA3
IF (BETA1.GT.0.0 .AND. BETA3.GT.0.0) THEN
    ELASO=EMETAL/RADIUSB**BETA2
    CONDUCTO=ILETMET/RADIUSB**BETA3
    EXPANDO=ISGENMET/RADIUSB**BETA1
ELSEIF (BETA1.LT.0.0 .AND. BETA3.LT.0.0) THEN
    ELASO=EMETAL/(Q*RADIUSB)**BETA2
    CONDUCTO=ILETMET/(Q*RADIUSB)**BETA3
    EXPANDO=ISGENMET/(Q*RADIUSB)**BETA1
ENDIF
W1=2*BETA3*(1-POIS)*(BETA3-2)*((BETA1+BETA2+1)*(BETA1+1)-((1-POIS-
*POIS*BETA2)/(1-POIS)))
W2=2*BETA3*(1-POIS)*((BETA+1)*(BETA1-BETA3+1)-((1-POIS-POIS*BETA2)
*/(1-POIS)))
W3=2*(2-BETA3)*(1-POIS)*((BETA+3)*(BETA1-BETA3+3)-((1-POIS-POIS*
*BETA2)/(1-POIS)))
C UCLARI SABİT SİLİNDİR İÇİN (DUZLEMSEL GENLEME PROBLEMİ) STRES
C FORMULASYONLA (AIRY STRESS FUNCTION KULLANARAK) UYUM DENKLEMİNDE
C ELDE EDİLEN CAUCHY EULER DENKLEMİNDE (DEĞİSKEN TERİMLİ,NON HOMOJEN)
C DİFERANSİYEL DENKLEMİN HOMOJEN KISMIN ÇÖZÜMÜ (M1,M2 KATSAYILARI)
    M1=(BETA2+SQRT(BETA2**2-4*((POIS*BETA2+POIS-1)/(1-POIS))))/2
    M2=(BETA2-SQRT(BETA2**2-4*((POIS*BETA2+POIS-1)/(1-POIS))))/2
C SİLİNDİR İÇİNDE ELASTİSİTE MODULU,ISIL GENLESME KATSAYISI,ISI
C İLETKENLİĞİ,RADYAL,TANJANAT VE EKSENEL GERİLMELERİN BULUNMASI
    DO 10 I=1,201
        RADIUS(I)=Q+(1-Q)*(I-1)/200
C DEĞİSEN BETA PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK GERİLMELERİN BULUNMASI
C GERİLME HESABI
    GC1=-PICNORM+PDISNORM*Q**(M2-1)
    GC2=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**(BETA1+BETA2))*
    *(BETA1*BETA3-BETA1*(BETA3-2)*Q**2)/W1
    GC3=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**BETA)*
    *((BETA1-BETA3)*Q**2)/W2
    GC4=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M2-1)-Q**(BETA+2))*
    *(BETA1-BETA3+2)/W3
    GC5=PICNORM-PDISNORM*Q**(M1-1)
    GC6=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M1-1)-Q**(BETA1+BETA2))*
    *(BETA1*BETA3-BETA1*(BETA3-2)*Q**2)/W1
    GC7=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M1-1)-Q**BETA)*
    *((BETA1-BETA3)*Q**2)/W2
    GC8=(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(Q**(M1-1)-Q**(BETA+2))*
    *(BETA1-BETA3+2)/W3
    GC9(I)=((BETA1*BETA3-BETA1*(BETA3-2)*Q**2)/W1)*
    *(RADIUS(I))***(BETA1+BETA2)
    GC10(I)=(((BETA1-BETA3)*Q**2)/W2)*(RADIUS(I))**BETA
    GC11(I)=((BETA1-BETA3+2)/W3)*(RADIUS(I))***(BETA+2)
    GC12(I)=((BETA1+BETA2+1)*(BETA1*BETA3-(BETA1*(BETA3-2)*Q**2))/W1)*
    *(RADIUS(I))***(BETA1+BETA2)
    GC13(I)=(((BETA1-BETA3)*Q**2)/W2)*(BETA+1)*(RADIUS(I))**BETA
    GC14(I)=((BETA1-BETA3+2)/W3)*(BETA+3)*(RADIUS(I))***(BETA+2)
    GRADNORM(J,N,M,I)=((RADIUS(I))***(M1-1))*(GC1+GC2+GC3+GC4)/
    *(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+((RADIUS(I))***(M2-1))*(GC5-GC6-GC7-GC8)/
    *(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+

```

**EK-3 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$) METAL
TARAFTA TRESKA AKMA ŞARTI KULLANILARAK GERİLMELERİ
MİNİMİZE EDEN OPTİMUM MALZEME PARAMETRELERİ VE
GERİLMELERİN BULUNMASINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI**

```

*(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(GC9(I)+GC10(I)+GC11(I))
GTANNORM(J,N,M,I)=((RADIUS(I))**(M1-1))*M1*(GC1+GC2+GC3+GC4)/
*(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+((RADIUS(I))**(M2-1))*M2*(GC5-GC6-GC7-GC8)/
*(Q**(M1-1)-Q**(M2-1))+
*(IYUKP*RADIUSB**BETA)*(GC12(I)+GC13(I)+GC14(I))
GEKSNORM(J,N,M,I)=POIS*(GRADNORM(J,N,M,I)+GTANNORM(J,N,M,I))-
*(IYUKP*(RADIUSB**BETA)/(4-2*BETA3))*((RADIUS(I))**(BETA1+BETA2)-
*(RADIUS(I))**(BETA+2))-(IYUKP*(RADIUSB**BETA)/(2*BETA3))*(Q**2)*
*((RADIUS(I))**(BETA1+BETA2))-((RADIUS(I))**BETA))
C UCLARI SABİT SİLİNDİRDE DEPLASMAN HESABINA İLİSKİN BAĞINTILAR
C NON HOMOJEN TERİME İLİSKİN DEPLASMAN BAĞINTISI
NORMDEP(J,N,M,I)=((1-POIS**2)*GTANNORM(J,N,M,I)/RADIUSB**BETA2)*
*(RADIUS(I))**(1-BETA2)-(POIS*(1+POIS)*GRADNORM(J,N,M,I)/RADIUSB**
*BETA2)*(RADIUS(I))**(1-BETA2)+((1+POIS)*IYUKP/2)*(((RADIUSB**
*(BETA1-BETA3))/(2-BETA3))*((RADIUS(I))**(BETA1+1)-(RADIUS(I))**
*(BETA1-BETA3+3)))+(((Q**2)*(RADIUSB***(BETA1-BETA3))/BETA3)*
*((RADIUS(I))**(BETA1+1)-(RADIUS(I))**(BETA1-BETA3+1))))
ELASTIS(J,N,M,I)=ELASO*(RADIUS(I))**BETA2
EXPAND(J,N,M,I)=EXPANDO*(RADIUS(I))**BETA1
CONDUCT(J,N,M,I)=CONDUCTO*(RADIUS(I))**BETA3
10 CONTINUE
30 CONTINUE
C MAKSİMUM VE MİNİMUM GERİLMELERİN BULUNMASI
C TRESKA FAILURE THEORY
C BETA1 VE BETA3>0 DURUMU (İÇTE SERAMİK DİSTA METAL)
YIELD=1.0
DO 50 J=1,3
DO 50 N=1,5
DO 50 M=1,5
SIGMA1=-100E+06
SIGMA3=100E+06
IF (GRADNORM(J,N,M,201).GT.SIGMA1) SIGMA1=GRADNORM(J,N,M,201)
IF (GTANNORM(J,N,M,201).GT.SIGMA1) SIGMA1=GTANNORM(J,N,M,201)
IF (GEKSNORM(J,N,M,201).GT.SIGMA1) SIGMA1=GEKSNORM(J,N,M,201)
IF (GRADNORM(J,N,M,201).LT.SIGMA3) SIGMA3=GRADNORM(J,N,M,201)
IF (GTANNORM(J,N,M,201).LT.SIGMA3) SIGMA3=GTANNORM(J,N,M,201)
IF (GEKSNORM(J,N,M,201).LT.SIGMA3) SIGMA3=GEKSNORM(J,N,M,201)
C DIS KISIMDA (METAL TARAFTA) MAKSİMUM VE MİNİMUM GERİLME FARKLARININ
C BULUNMASI
90 FORMAT(F9.3,3X,F9.3,3X,F9.3,3X,F9.5)
TRESKA=SIGMA1-SIGMA3
IF (J.EQ.1) BETA1=2.01
IF (J.EQ.2) BETA1=1.01
IF (J.EQ.3) BETA1=0.01
IF (N.EQ.1) BETA3=2.01
IF (N.EQ.2) BETA3=1.51
IF (N.EQ.3) BETA3=1.01
IF (N.EQ.4) BETA3=0.51
IF (N.EQ.5) BETA3=0.01
IF (M.EQ.1) BETA2=2.01
IF (M.EQ.2) BETA2=1.01
IF (M.EQ.3) BETA2=0.01
IF (M.EQ.4) BETA2=-0.99
IF (M.EQ.5) BETA2=-1.99
WRITE(3,90) BETA1,BETA2,BETA3,TRESKA
IF (TRESKA.LT.YIELD) THEN

```

**EK-3 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$) METAL
TARAFTA TRESKA AKMA ŞARTI KULLANILARAK GERİLMELERİ
MİNİMİZE EDEN OPTİMUM MALZEME PARAMETRELERİ VE
GERİLMELERİN BULUNMASINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI**

```

YIELD=TRESKA
YPBETA1=J
YPBETA3=N
YPBETA2=M
MAXGERD=SIGMA1
MINGERD=SIGMA3
ENDIF
50 CONTINUE
C BETA1 VE BETA3<0 DURUMU (İÇTE METAL DISTA SERAMİK)
YIELDP=1.0
DO 70 J=4,5,1
DO 70 N=6,9,1
DO 70 M=1,5
SIGMA1P=-100E+06
SIGMA3P=100E+06
IF (GRADNORM(J,N,M,1).GT.SIGMA1P) SIGMA1P=GRADNORM(J,N,M,1)
IF (GTANNORM(J,N,M,1).GT.SIGMA1P) SIGMA1P=GTANNORM(J,N,M,1)
IF (GEKSNORM(J,N,M,1).GT.SIGMA1P) SIGMA1P=GEKSNORM(J,N,M,1)
IF (GRADNORM(J,N,M,1).LT.SIGMA3P) SIGMA3P=GRADNORM(J,N,M,1)
IF (GTANNORM(J,N,M,1).LT.SIGMA3P) SIGMA3P=GTANNORM(J,N,M,1)
IF (GEKSNORM(J,N,M,1).LT.SIGMA3P) SIGMA3P=GEKSNORM(J,N,M,1)
C İÇ KISIMDA (METAL TARAFTA) MAKSİMUM VE MİNİMUM GERİLME FARKLARININ
C BULUNMASI
TRESKAP=SIGMA1P-SIGMA3P
IF (J.EQ.4) BETA1=-0.99
IF (J.EQ.5) BETA1=-1.99
IF (N.EQ.6) BETA3=-0.49
IF (N.EQ.7) BETA3=-0.99
IF (N.EQ.8) BETA3=-1.49
IF (N.EQ.9) BETA3=-1.99
IF (M.EQ.1) BETA2=2.01
IF (M.EQ.2) BETA2=1.01
IF (M.EQ.3) BETA2=0.01
IF (M.EQ.4) BETA2=-0.99
IF (M.EQ.5) BETA2=-1.99
WRITE(3,90) BETA1,BETA2,BETA3,TRESKAP
IF (TRESKAP.LT.YIELDP) THEN
YIELDP=TRESKAP
YPBETA1P=J
YPBETA3P=N
YPBETA2P=M
MAXGERP=SIGMA1P
MINGERP=SIGMA3P
ENDIF
70 CONTINUE
IF (YIELD.LT.YIELDP) THEN
YIELDTRESKA=YIELD
MAXGER=MAXGERD
MINGER=MINGERD
BETA1OPT=YPBETA1
BETA2OPT=YPBETA2
BETA3OPT=YPBETA3
ELSE IF (YIELDP.LT.YIELD) THEN
YIELDTRESKA=YIELDP
MAXGER=MAXGERP
MINGER=MINGERP

```

**EK-3 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$) METAL
TARAFTA TRESKA AKMA ŞARTI KULLANILARAK GERİLMELERİ
MİNİMİZE EDEN OPTİMUM MALZEME PARAMETRELERİ VE
GERİLMELERİN BULUNMASINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI**

```

BETA1OPT=YPBETA1P
BETA2OPT=YPBETA2P
BETA3OPT=YPBETA3P
ENDIF
IF (BETA1OPT.EQ.1) OPTBETA1=2.01
IF (BETA1OPT.EQ.2) OPTBETA1=1.01
IF (BETA1OPT.EQ.3) OPTBETA1=0.01
IF (BETA1OPT.EQ.4) OPTBETA1=-0.99
IF (BETA1OPT.EQ.5) OPTBETA1=-1.99
IF (BETA2OPT.EQ.1) OPTBETA2=2.01
IF (BETA2OPT.EQ.2) OPTBETA2=1.01
IF (BETA2OPT.EQ.3) OPTBETA2=0.01
IF (BETA2OPT.EQ.4) OPTBETA2=-0.99
IF (BETA2OPT.EQ.5) OPTBETA2=-1.99
IF (BETA3OPT.EQ.1) OPTBETA3=2.01
IF (BETA3OPT.EQ.2) OPTBETA3=1.51
IF (BETA3OPT.EQ.3) OPTBETA3=1.01
IF (BETA3OPT.EQ.4) OPTBETA3=0.51
IF (BETA3OPT.EQ.5) OPTBETA3=0.01
IF (BETA3OPT.EQ.6) OPTBETA3=-0.49
IF (BETA3OPT.EQ.7) OPTBETA3=-0.99
IF (BETA3OPT.EQ.8) OPTBETA3=-1.49
IF (BETA3OPT.EQ.9) OPTBETA3=-1.99
WRITE(9,*) ' OPTIMUM MALZEME PARAMETRELERİ [BETA1=',OPTBETA1,
*'],','[BETA2=',OPTBETA2,'],'[BETA3=',OPTBETA3,']'
WRITE(9,*)
WRITE(9,*) ' r(I)', ' RADGER', ' TEGGER', ' EKSGER'
WRITE(9,*)
WRITE(2,*) ' r(I)', ' RADYAL DEPLASMAN [BETA1=',OPTBETA1,
*'],','[BETA2=',OPTBETA2,'],'[BETA3=',OPTBETA3,']'
WRITE(2,*)
WRITE(8,*) ' r(I)', ' ELASTISİTE MODULU'
WRITE(8,*)
WRITE(7,*) ' r(I)', ' ISIL GENLESME KATSAYISI'
WRITE(7,*)
WRITE(6,*) ' r(I)', ' ISI İLETKENLİK KATSAYISI'
WRITE(6,*)
DO 20 K=1,201
60 FORMAT(F9.4,4X,F10.4,4X,F10.4,4X,F10.4)
WRITE(9,60) RADIUS(K),GRADNORM(BETA1OPT,BETA3OPT,BETA2OPT,K),
*GTANNORM(BETA1OPT,BETA3OPT,BETA2OPT,K),
*GEKSNORM(BETA1OPT,BETA3OPT,BETA2OPT,K)
80 FORMAT(F9.4,4X,F10.4)
40 FORMAT(F9.4,4X,E10.4)
WRITE(2,80) RADIUS(K),NORMDEP(BETA1OPT,BETA3OPT,BETA2OPT,K)
WRITE(8,40) RADIUS(K),ELASTIS(BETA1OPT,BETA3OPT,BETA2OPT,K)
WRITE(7,40) RADIUS(K),EXPAND(BETA1OPT,BETA3OPT,BETA2OPT,K)
WRITE(6,80) RADIUS(K),CONDUCT(BETA1OPT,BETA3OPT,BETA2OPT,K)
20 CONTINUE
IF (YIELDTRESCA.LT.1.0) THEN
100 FORMAT(F9.3,3X,F9.3,3X,F9.3)
110 FORMAT(F9.4)
120 FORMAT(F9.4,3X,F9.4)
WRITE(4,*) ' GERİLMEYİ MINİMİZE EDEN OPTIMUM BETA DEĞERLERİ:'
WRITE(4,*)
WRITE(4,*) ' BETA1:', ' BETA2:', ' BETA3:'

```

**EK-3 İÇİ BOŞ UÇLARI SABİT FDM SİLİNDİRDE ($\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$) METAL
TARAFTA TRESCA AKMA ŞARTI KULLANILARAK GERİLMELERİ
MİNİMİZE EDEN OPTİMUM MALZEME PARAMETRELERİ VE
GERİLMELERİN BULUNMASINA İLİŞKİN FORTRAN PROGRAMI**

```

WRITE(4,*)
WRITE(4,100) OPTBETA1,OPTBETA2,OPTBETA3
WRITE(4,*)
WRITE(4,*) '    TRESCAYA GORE EN EMNİYETLİ GERİLME DEGERI:'
WRITE(4,*)
WRITE(4,110) YIELDTRESCA
WRITE(4,*)
WRITE(4,*) '    SIGMA1:', '    SIGMA3:'
WRITE(4,*)
WRITE(4,120) MAXGER, MINGER
ENDIF
CLOSE(UNIT=4)
CLOSE(UNIT=3)
CLOSE(UNIT=9)
CLOSE(UNIT=8)
CLOSE(UNIT=7)
CLOSE(UNIT=2)
CLOSE(UNIT=6)
STOP
END

```

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirden $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,3000	-0,0952	-0,5040	-1,1571	0,2547
0,3035	-0,0999	-0,4992	-1,1571	0,2596
0,3070	-0,1045	-0,4945	-1,1569	0,2644
0,3105	-0,1088	-0,4899	-1,1566	0,2692
0,3140	-0,1131	-0,4854	-1,1564	0,2739
0,3175	-0,1171	-0,4809	-1,1559	0,2787
0,3210	-0,1210	-0,4764	-1,1554	0,2833
0,3245	-0,1250	-0,4718	-1,1547	0,2882
0,3280	-0,1284	-0,4676	-1,1540	0,2927
0,3315	-0,1320	-0,4632	-1,1533	0,2974
0,3350	-0,1355	-0,4589	-1,1524	0,3021
0,3385	-0,1389	-0,4545	-1,1514	0,3067
0,3420	-0,1421	-0,4504	-1,1503	0,3113
0,3455	-0,1452	-0,4461	-1,1491	0,3158
0,3490	-0,1481	-0,4419	-1,1479	0,3203
0,3525	-0,1510	-0,4377	-1,1466	0,3249
0,3560	-0,1540	-0,4333	-1,1452	0,3295
0,3595	-0,1566	-0,4291	-1,1437	0,3340
0,3630	-0,1592	-0,4249	-1,1421	0,3385
0,3665	-0,1617	-0,4208	-1,1404	0,3429
0,3700	-0,1642	-0,4166	-1,1387	0,3474
0,3735	-0,1665	-0,4123	-1,1369	0,3518

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirden $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,3770	-0,1687	-0,4083	-1,1349	0,3562
0,3805	-0,1709	-0,4042	-1,1330	0,3605
0,3840	-0,1731	-0,3999	-1,1310	0,3650
0,3875	-0,1750	-0,3959	-1,1287	0,3692
0,3910	-0,1770	-0,3916	-1,1265	0,3736
0,3945	-0,1789	-0,3874	-1,1242	0,3780
0,3980	-0,1808	-0,3832	-1,1219	0,3823
0,4015	-0,1825	-0,3790	-1,1194	0,3865
0,4050	-0,1841	-0,3748	-1,1168	0,3907
0,4085	-0,1858	-0,3705	-1,1142	0,3950
0,4120	-0,1873	-0,3664	-1,1116	0,3991
0,4155	-0,1888	-0,3620	-1,1087	0,4035
0,4190	-0,1902	-0,3578	-1,1059	0,4075
0,4225	-0,1916	-0,3535	-1,1030	0,4118
0,4260	-0,1929	-0,3492	-1,1001	0,4158
0,4295	-0,1941	-0,3449	-1,0969	0,4199
0,4330	-0,1954	-0,3405	-1,0939	0,4241
0,4365	-0,1966	-0,3361	-1,0907	0,4282
0,4400	-0,1976	-0,3318	-1,0873	0,4322
0,4435	-0,1987	-0,3274	-1,0840	0,4362
0,4470	-0,1996	-0,3230	-1,0805	0,4402
0,4505	-0,2005	-0,3186	-1,0771	0,4443

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,4540	-0,2015	-0,3141	-1,0736	0,4482
0,4575	-0,2023	-0,3097	-1,0698	0,4522
0,4610	-0,2031	-0,3051	-1,0662	0,4561
0,4645	-0,2039	-0,3005	-1,0623	0,4601
0,4680	-0,2046	-0,2960	-1,0585	0,4640
0,4715	-0,2053	-0,2914	-1,0546	0,4679
0,4750	-0,2058	-0,2868	-1,0506	0,4717
0,4785	-0,2064	-0,2821	-1,0466	0,4756
0,4820	-0,2070	-0,2776	-1,0424	0,4793
0,4855	-0,2074	-0,2727	-1,0382	0,4832
0,4890	-0,2080	-0,2681	-1,0340	0,4869
0,4925	-0,2084	-0,2633	-1,0297	0,4907
0,4960	-0,2086	-0,2587	-1,0252	0,4943
0,4995	-0,2090	-0,2537	-1,0208	0,4981
0,5030	-0,2092	-0,2489	-1,0161	0,5017
0,5065	-0,2096	-0,2441	-1,0117	0,5054
0,5100	-0,2097	-0,2393	-1,0070	0,5090
0,5135	-0,2099	-0,2344	-1,0023	0,5127
0,5170	-0,2101	-0,2294	-0,9975	0,5163
0,5205	-0,2103	-0,2243	-0,9926	0,5199
0,5240	-0,2103	-0,2193	-0,9877	0,5235
0,5275	-0,2104	-0,2142	-0,9826	0,5270

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,5310	-0,2103	-0,2092	-0,9775	0,5304
0,5345	-0,2103	-0,2041	-0,9724	0,5338
0,5380	-0,2103	-0,1990	-0,9672	0,5373
0,5415	-0,2101	-0,1939	-0,9620	0,5408
0,5450	-0,2101	-0,1886	-0,9566	0,5442
0,5485	-0,2098	-0,1834	-0,9513	0,5475
0,5520	-0,2096	-0,1782	-0,9458	0,5509
0,5555	-0,2095	-0,1728	-0,9402	0,5543
0,5590	-0,2092	-0,1675	-0,9348	0,5577
0,5625	-0,2089	-0,1622	-0,9292	0,5608
0,5660	-0,2087	-0,1566	-0,9233	0,5643
0,5695	-0,2083	-0,1513	-0,9176	0,5674
0,5730	-0,2081	-0,1458	-0,9119	0,5707
0,5765	-0,2076	-0,1404	-0,9059	0,5737
0,5800	-0,2072	-0,1349	-0,8999	0,5769
0,5835	-0,2067	-0,1291	-0,8938	0,5802
0,5870	-0,2062	-0,1236	-0,8879	0,5831
0,5905	-0,2058	-0,1180	-0,8816	0,5863
0,5940	-0,2051	-0,1123	-0,8754	0,5894
0,5975	-0,2047	-0,1066	-0,8692	0,5925
0,6010	-0,2040	-0,1008	-0,8629	0,5955
0,6045	-0,2034	-0,0952	-0,8565	0,5984

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,6080	-0,2029	-0,0892	-0,8500	0,6013
0,6115	-0,2021	-0,0835	-0,8436	0,6041
0,6150	-0,2015	-0,0776	-0,8370	0,6071
0,6185	-0,2007	-0,0714	-0,8303	0,6101
0,6220	-0,2000	-0,0657	-0,8237	0,6130
0,6255	-0,1992	-0,0597	-0,8169	0,6158
0,6290	-0,1984	-0,0535	-0,8099	0,6186
0,6325	-0,1976	-0,0476	-0,8032	0,6213
0,6360	-0,1968	-0,0415	-0,7963	0,6240
0,6395	-0,1958	-0,0354	-0,7892	0,6267
0,6430	-0,1949	-0,0292	-0,7821	0,6295
0,6465	-0,1941	-0,0230	-0,7750	0,6321
0,6500	-0,1931	-0,0168	-0,7679	0,6346
0,6535	-0,1921	-0,0105	-0,7607	0,6374
0,6570	-0,1912	-0,0041	-0,7534	0,6399
0,6605	-0,1901	0,0021	-0,7459	0,6423
0,6640	-0,1891	0,0086	-0,7385	0,6450
0,6675	-0,1881	0,0150	-0,7311	0,6474
0,6710	-0,1870	0,0215	-0,7235	0,6499
0,6745	-0,1859	0,0280	-0,7160	0,6522
0,6780	-0,1849	0,0346	-0,7083	0,6548
0,6815	-0,1836	0,0411	-0,7005	0,6572

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirin $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,6850	-0,1825	0,0477	-0,6928	0,6594
0,6885	-0,1813	0,0545	-0,6850	0,6618
0,6920	-0,1800	0,0610	-0,6771	0,6640
0,6955	-0,1790	0,0678	-0,6692	0,6662
0,6990	-0,1776	0,0746	-0,6610	0,6685
0,7025	-0,1763	0,0813	-0,6530	0,6706
0,7060	-0,1751	0,0882	-0,6449	0,6729
0,7095	-0,1738	0,0951	-0,6366	0,6749
0,7130	-0,1723	0,1019	-0,6284	0,6769
0,7165	-0,1710	0,1090	-0,6201	0,6791
0,7200	-0,1697	0,1159	-0,6118	0,6811
0,7235	-0,1683	0,1229	-0,6034	0,6831
0,7270	-0,1668	0,1299	-0,5949	0,6850
0,7305	-0,1655	0,1371	-0,5863	0,6870
0,7340	-0,1639	0,1442	-0,5777	0,6889
0,7375	-0,1624	0,1513	-0,5691	0,6907
0,7410	-0,1609	0,1585	-0,5604	0,6925
0,7445	-0,1595	0,1659	-0,5516	0,6944
0,7480	-0,1578	0,1730	-0,5429	0,6961
0,7515	-0,1564	0,1805	-0,5339	0,6980
0,7550	-0,1547	0,1878	-0,5250	0,6996
0,7585	-0,1531	0,1952	-0,5161	0,7012

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,7620	-0,1516	0,2026	-0,5070	0,7030
0,7655	-0,1500	0,2100	-0,4978	0,7046
0,7690	-0,1482	0,2176	-0,4887	0,7060
0,7725	-0,1466	0,2252	-0,4795	0,7075
0,7760	-0,1449	0,2328	-0,4702	0,7092
0,7795	-0,1432	0,2404	-0,4608	0,7106
0,7830	-0,1415	0,2480	-0,4515	0,7121
0,7865	-0,1396	0,2557	-0,4420	0,7133
0,7900	-0,1379	0,2634	-0,4325	0,7148
0,7935	-0,1362	0,2712	-0,4230	0,7161
0,7970	-0,1342	0,2789	-0,4134	0,7174
0,8005	-0,1326	0,2868	-0,4037	0,7186
0,8040	-0,1307	0,2949	-0,3939	0,7200
0,8075	-0,1287	0,3026	-0,3842	0,7209
0,8110	-0,1270	0,3106	-0,3744	0,7222
0,8145	-0,1250	0,3187	-0,3645	0,7234
0,8180	-0,1231	0,3267	-0,3545	0,7243
0,8215	-0,1212	0,3347	-0,3444	0,7253
0,8250	-0,1192	0,3429	-0,3345	0,7265
0,8285	-0,1172	0,3511	-0,3243	0,7272
0,8320	-0,1153	0,3591	-0,3142	0,7282
0,8355	-0,1133	0,3675	-0,3039	0,7291

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirden $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,8390	-0,1112	0,3757	-0,2936	0,7300
0,8425	-0,1093	0,3840	-0,2833	0,7309
0,8460	-0,1072	0,3923	-0,2729	0,7316
0,8495	-0,1051	0,4008	-0,2624	0,7325
0,8530	-0,1030	0,4092	-0,2519	0,7329
0,8565	-0,1009	0,4176	-0,2413	0,7336
0,8600	-0,0987	0,4261	-0,2307	0,7342
0,8635	-0,0966	0,4347	-0,2201	0,7348
0,8670	-0,0944	0,4432	-0,2092	0,7353
0,8705	-0,0922	0,4518	-0,1985	0,7358
0,8740	-0,0900	0,4605	-0,1876	0,7365
0,8775	-0,0879	0,4692	-0,1768	0,7369
0,8810	-0,0856	0,4779	-0,1658	0,7373
0,8845	-0,0833	0,4866	-0,1547	0,7376
0,8880	-0,0811	0,4954	-0,1436	0,7378
0,8915	-0,0788	0,5042	-0,1327	0,7380
0,8950	-0,0766	0,5132	-0,1214	0,7383
0,8985	-0,0743	0,5221	-0,1102	0,7386
0,9020	-0,0719	0,5311	-0,0989	0,7387
0,9055	-0,0695	0,5400	-0,0876	0,7387
0,9090	-0,0671	0,5491	-0,0762	0,7387
0,9125	-0,0648	0,5580	-0,0648	0,7388

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,9160	-0,0623	0,5673	-0,0532	0,7388
0,9195	-0,0599	0,5763	-0,0416	0,7388
0,9230	-0,0575	0,5856	-0,0300	0,7386
0,9265	-0,0550	0,5947	-0,0184	0,7383
0,9300	-0,0527	0,6039	-0,0066	0,7383
0,9335	-0,0502	0,6133	0,0051	0,7381
0,9370	-0,0477	0,6227	0,0169	0,7379
0,9405	-0,0450	0,6320	0,0289	0,7373
0,9440	-0,0426	0,6414	0,0407	0,7371
0,9475	-0,0400	0,6509	0,0528	0,7366
0,9510	-0,0374	0,6604	0,0649	0,7363
0,9545	-0,0349	0,6698	0,0769	0,7356
0,9580	-0,0323	0,6795	0,0891	0,7353
0,9615	-0,0297	0,6891	0,1014	0,7348
0,9650	-0,0270	0,6988	0,1137	0,7341
0,9685	-0,0244	0,7084	0,1258	0,7334
0,9720	-0,0218	0,7181	0,1382	0,7327
0,9755	-0,0192	0,7279	0,1506	0,7319
0,9790	-0,0165	0,7377	0,1631	0,7312
0,9825	-0,0139	0,7475	0,1756	0,7304
0,9860	-0,0110	0,7573	0,1882	0,7295
0,9895	-0,0083	0,7673	0,2009	0,7284

EK-4 HOMOJEN MALZEME PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ SİLİNDİRDE GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.1. İçi boş homojen silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz gerilme bileşenleri ve radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,9930	-0,0055	0,7772	0,2137	0,7275
0,9965	-0,0027	0,7873	0,2264	0,7266
1,0000	0,0000	0,7972	0,2392	0,7254

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,3000	-0,0952	-0,0952	-0,0952	-0,0952	-0,0952
0,3035	-0,0938	-0,0940	-0,0998	-0,1576	-0,6789
0,3070	-0,0925	-0,0928	-0,1041	-0,2158	-1,2051
0,3105	-0,0911	-0,0916	-0,1084	-0,2699	-1,6789
0,3140	-0,0898	-0,0905	-0,1125	-0,3203	-2,1049
0,3175	-0,0886	-0,0895	-0,1164	-0,3673	-2,4872
0,3210	-0,0873	-0,0885	-0,1202	-0,4110	-2,8299
0,3245	-0,0861	-0,0876	-0,1239	-0,4516	-3,1362
0,3280	-0,0850	-0,0867	-0,1275	-0,4893	-3,4094
0,3315	-0,0838	-0,0859	-0,1310	-0,5244	-3,6524
0,3350	-0,0827	-0,0851	-0,1343	-0,5569	-3,8677
0,3385	-0,0816	-0,0843	-0,1375	-0,5871	-4,0578
0,3420	-0,0806	-0,0836	-0,1406	-0,6151	-4,2249
0,3455	-0,0796	-0,0829	-0,1437	-0,6409	-4,3709
0,3490	-0,0786	-0,0823	-0,1466	-0,6649	-4,4977
0,3525	-0,0776	-0,0817	-0,1494	-0,6870	-4,6070
0,3560	-0,0767	-0,0811	-0,1521	-0,7073	-4,7002
0,3595	-0,0757	-0,0806	-0,1548	-0,7261	-4,7788
0,3630	-0,0748	-0,0801	-0,1573	-0,7433	-4,8441
0,3665	-0,0740	-0,0796	-0,1598	-0,7590	-4,8971
0,3700	-0,0731	-0,0791	-0,1621	-0,7735	-4,9391
0,3735	-0,0723	-0,0787	-0,1644	-0,7866	-4,9709

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindİRde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,3770	-0,0715	-0,0784	-0,1666	-0,7986	-4,9935
0,3805	-0,0707	-0,0780	-0,1688	-0,8094	-5,0077
0,3840	-0,0699	-0,0777	-0,1708	-0,8192	-5,0142
0,3875	-0,0692	-0,0774	-0,1728	-0,8280	-5,0138
0,3910	-0,0685	-0,0771	-0,1748	-0,8358	-5,0071
0,3945	-0,0678	-0,0768	-0,1766	-0,8428	-4,9946
0,3980	-0,0671	-0,0766	-0,1784	-0,8489	-4,9770
0,4015	-0,0664	-0,0764	-0,1801	-0,8542	-4,9547
0,4050	-0,0658	-0,0762	-0,1818	-0,8588	-4,9281
0,4085	-0,0651	-0,0760	-0,1833	-0,8627	-4,8977
0,4120	-0,0645	-0,0759	-0,1849	-0,8659	-4,8638
0,4155	-0,0639	-0,0757	-0,1863	-0,8686	-4,8269
0,4190	-0,0634	-0,0756	-0,1877	-0,8706	-4,7871
0,4225	-0,0628	-0,0755	-0,1891	-0,8721	-4,7449
0,4260	-0,0623	-0,0754	-0,1904	-0,8730	-4,7005
0,4295	-0,0617	-0,0754	-0,1916	-0,8735	-4,6542
0,4330	-0,0612	-0,0753	-0,1928	-0,8735	-4,6061
0,4365	-0,0607	-0,0753	-0,1939	-0,8731	-4,5565
0,4400	-0,0602	-0,0753	-0,1950	-0,8723	-4,5056
0,4435	-0,0598	-0,0753	-0,1961	-0,8711	-4,4535
0,4470	-0,0593	-0,0753	-0,1970	-0,8695	-4,4005
0,4505	-0,0589	-0,0753	-0,1980	-0,8676	-4,3466

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,4540	-0,0585	-0,0753	-0,1989	-0,8653	-4,2921
0,4575	-0,0581	-0,0754	-0,1997	-0,8628	-4,2369
0,4610	-0,0577	-0,0754	-0,2005	-0,8600	-4,1814
0,4645	-0,0573	-0,0755	-0,2012	-0,8569	-4,1254
0,4680	-0,0569	-0,0755	-0,2019	-0,8535	-4,0693
0,4715	-0,0566	-0,0756	-0,2026	-0,8499	-4,0129
0,4750	-0,0562	-0,0757	-0,2032	-0,8461	-3,9565
0,4785	-0,0559	-0,0758	-0,2038	-0,8421	-3,9001
0,4820	-0,0556	-0,0759	-0,2043	-0,8379	-3,8437
0,4855	-0,0553	-0,0760	-0,2048	-0,8335	-3,7875
0,4890	-0,0550	-0,0761	-0,2053	-0,8289	-3,7314
0,4925	-0,0547	-0,0762	-0,2057	-0,8241	-3,6756
0,4960	-0,0545	-0,0764	-0,2061	-0,8192	-3,6200
0,4995	-0,0542	-0,0765	-0,2064	-0,8142	-3,5647
0,5030	-0,0539	-0,0767	-0,2067	-0,8090	-3,5098
0,5065	-0,0537	-0,0768	-0,2070	-0,8037	-3,4552
0,5100	-0,0535	-0,0769	-0,2072	-0,7983	-3,4011
0,5135	-0,0533	-0,0771	-0,2074	-0,7928	-3,3474
0,5170	-0,0531	-0,0772	-0,2076	-0,7872	-3,2942
0,5205	-0,0529	-0,0774	-0,2077	-0,7814	-3,2414
0,5240	-0,0527	-0,0776	-0,2078	-0,7756	-3,1892
0,5275	-0,0525	-0,0777	-0,2078	-0,7697	-3,1375

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,5310	-0,0523	-0,0779	-0,2079	-0,7638	-3,0863
0,5345	-0,0522	-0,0780	-0,2079	-0,7577	-3,0356
0,5380	-0,0520	-0,0782	-0,2078	-0,7516	-2,9855
0,5415	-0,0519	-0,0784	-0,2077	-0,7455	-2,9360
0,5450	-0,0517	-0,0785	-0,2076	-0,7393	-2,8871
0,5485	-0,0516	-0,0787	-0,2075	-0,7330	-2,8387
0,5520	-0,0515	-0,0789	-0,2073	-0,7267	-2,7909
0,5555	-0,0514	-0,0790	-0,2071	-0,7203	-2,7437
0,5590	-0,0512	-0,0792	-0,2069	-0,7139	-2,6971
0,5625	-0,0511	-0,0794	-0,2066	-0,7075	-2,6511
0,5660	-0,0510	-0,0795	-0,2063	-0,7010	-2,6057
0,5695	-0,0510	-0,0797	-0,2060	-0,6945	-2,5609
0,5730	-0,0509	-0,0798	-0,2057	-0,6880	-2,5167
0,5765	-0,0508	-0,0800	-0,2053	-0,6815	-2,4731
0,5800	-0,0507	-0,0801	-0,2049	-0,6749	-2,4300
0,5835	-0,0507	-0,0803	-0,2045	-0,6684	-2,3876
0,5870	-0,0506	-0,0804	-0,2040	-0,6618	-2,3457
0,5905	-0,0506	-0,0806	-0,2035	-0,6552	-2,3045
0,5940	-0,0505	-0,0807	-0,2030	-0,6486	-2,2638
0,5975	-0,0505	-0,0808	-0,2025	-0,6419	-2,2236
0,6010	-0,0504	-0,0810	-0,2019	-0,6353	-2,1841
0,6045	-0,0504	-0,0811	-0,2013	-0,6287	-2,1451

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,6080	-0,0503	-0,0812	-0,2007	-0,6221	-2,1067
0,6115	-0,0503	-0,0813	-0,2000	-0,6155	-2,0688
0,6150	-0,0503	-0,0814	-0,1994	-0,6088	-2,0315
0,6185	-0,0503	-0,0815	-0,1987	-0,6022	-1,9947
0,6220	-0,0503	-0,0816	-0,1979	-0,5956	-1,9585
0,6255	-0,0502	-0,0817	-0,1972	-0,5890	-1,9227
0,6290	-0,0502	-0,0817	-0,1964	-0,5824	-1,8875
0,6325	-0,0502	-0,0818	-0,1956	-0,5758	-1,8529
0,6360	-0,0502	-0,0819	-0,1948	-0,5692	-1,8187
0,6395	-0,0502	-0,0819	-0,1940	-0,5626	-1,7851
0,6430	-0,0502	-0,0820	-0,1931	-0,5561	-1,7519
0,6465	-0,0502	-0,0820	-0,1922	-0,5495	-1,7193
0,6500	-0,0502	-0,0820	-0,1913	-0,5430	-1,6871
0,6535	-0,0502	-0,0820	-0,1903	-0,5365	-1,6554
0,6570	-0,0502	-0,0820	-0,1894	-0,5300	-1,6242
0,6605	-0,0502	-0,0820	-0,1884	-0,5235	-1,5934
0,6640	-0,0502	-0,0820	-0,1874	-0,5170	-1,5631
0,6675	-0,0502	-0,0820	-0,1864	-0,5106	-1,5332
0,6710	-0,0502	-0,0820	-0,1853	-0,5041	-1,5038
0,6745	-0,0502	-0,0819	-0,1842	-0,4977	-1,4749
0,6780	-0,0501	-0,0819	-0,1831	-0,4913	-1,4464
0,6815	-0,0501	-0,0818	-0,1820	-0,4850	-1,4182

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,6850	-0,0501	-0,0817	-0,1809	-0,4786	-1,3906
0,6885	-0,0501	-0,0817	-0,1797	-0,4723	-1,3633
0,6920	-0,0501	-0,0816	-0,1785	-0,4660	-1,3364
0,6955	-0,0501	-0,0814	-0,1773	-0,4597	-1,3100
0,6990	-0,0501	-0,0813	-0,1761	-0,4534	-1,2839
0,7025	-0,0500	-0,0812	-0,1748	-0,4471	-1,2582
0,7060	-0,0500	-0,0810	-0,1735	-0,4409	-1,2329
0,7095	-0,0500	-0,0809	-0,1723	-0,4347	-1,2080
0,7130	-0,0500	-0,0807	-0,1709	-0,4285	-1,1834
0,7165	-0,0499	-0,0805	-0,1696	-0,4224	-1,1592
0,7200	-0,0499	-0,0803	-0,1682	-0,4162	-1,1354
0,7235	-0,0498	-0,0801	-0,1669	-0,4101	-1,1119
0,7270	-0,0498	-0,0799	-0,1655	-0,4040	-1,0888
0,7305	-0,0497	-0,0796	-0,1641	-0,3980	-1,0660
0,7340	-0,0497	-0,0794	-0,1626	-0,3919	-1,0435
0,7375	-0,0496	-0,0791	-0,1612	-0,3859	-1,0214
0,7410	-0,0495	-0,0788	-0,1597	-0,3799	-0,9996
0,7445	-0,0494	-0,0785	-0,1582	-0,3740	-0,9781
0,7480	-0,0494	-0,0782	-0,1567	-0,3680	-0,9569
0,7515	-0,0493	-0,0778	-0,1551	-0,3621	-0,9360
0,7550	-0,0492	-0,0775	-0,1536	-0,3562	-0,9155
0,7585	-0,0490	-0,0771	-0,1520	-0,3503	-0,8952

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,7620	-0,0489	-0,0767	-0,1504	-0,3445	-0,8752
0,7655	-0,0488	-0,0763	-0,1488	-0,3387	-0,8556
0,7690	-0,0487	-0,0759	-0,1472	-0,3329	-0,8362
0,7725	-0,0485	-0,0755	-0,1455	-0,3271	-0,8170
0,7760	-0,0484	-0,0750	-0,1438	-0,3214	-0,7982
0,7795	-0,0482	-0,0745	-0,1421	-0,3156	-0,7796
0,7830	-0,0480	-0,0740	-0,1404	-0,3099	-0,7613
0,7865	-0,0478	-0,0735	-0,1387	-0,3043	-0,7433
0,7900	-0,0476	-0,0730	-0,1370	-0,2986	-0,7255
0,7935	-0,0474	-0,0725	-0,1352	-0,2930	-0,7079
0,7970	-0,0472	-0,0719	-0,1334	-0,2874	-0,6906
0,8005	-0,0470	-0,0713	-0,1316	-0,2818	-0,6736
0,8040	-0,0467	-0,0707	-0,1298	-0,2763	-0,6568
0,8075	-0,0465	-0,0701	-0,1279	-0,2707	-0,6402
0,8110	-0,0462	-0,0694	-0,1261	-0,2652	-0,6238
0,8145	-0,0459	-0,0688	-0,1242	-0,2597	-0,6077
0,8180	-0,0456	-0,0681	-0,1223	-0,2543	-0,5918
0,8215	-0,0453	-0,0674	-0,1204	-0,2489	-0,5762
0,8250	-0,0449	-0,0667	-0,1185	-0,2434	-0,5607
0,8285	-0,0446	-0,0659	-0,1165	-0,2381	-0,5455
0,8320	-0,0442	-0,0652	-0,1145	-0,2327	-0,5305
0,8355	-0,0439	-0,0644	-0,1126	-0,2274	-0,5156

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,8390	-0,0435	-0,0636	-0,1106	-0,2220	-0,5010
0,8425	-0,0431	-0,0628	-0,1085	-0,2167	-0,4866
0,8460	-0,0426	-0,0619	-0,1065	-0,2115	-0,4724
0,8495	-0,0422	-0,0611	-0,1044	-0,2062	-0,4583
0,8530	-0,0417	-0,0602	-0,1024	-0,2010	-0,4445
0,8565	-0,0412	-0,0592	-0,1003	-0,1958	-0,4308
0,8600	-0,0407	-0,0583	-0,0982	-0,1906	-0,4174
0,8635	-0,0402	-0,0573	-0,0960	-0,1854	-0,4041
0,8670	-0,0397	-0,0564	-0,0939	-0,1803	-0,3910
0,8705	-0,0391	-0,0554	-0,0917	-0,1752	-0,3780
0,8740	-0,0385	-0,0543	-0,0895	-0,1701	-0,3653
0,8775	-0,0379	-0,0533	-0,0874	-0,1650	-0,3527
0,8810	-0,0373	-0,0522	-0,0851	-0,1600	-0,3402
0,8845	-0,0367	-0,0511	-0,0829	-0,1549	-0,3280
0,8880	-0,0360	-0,0500	-0,0807	-0,1499	-0,3159
0,8915	-0,0353	-0,0488	-0,0784	-0,1449	-0,3039
0,8950	-0,0346	-0,0477	-0,0761	-0,1400	-0,2921
0,8985	-0,0339	-0,0465	-0,0738	-0,1350	-0,2805
0,9020	-0,0331	-0,0452	-0,0715	-0,1301	-0,2690
0,9055	-0,0323	-0,0440	-0,0692	-0,1252	-0,2577
0,9090	-0,0315	-0,0427	-0,0668	-0,1203	-0,2465
0,9125	-0,0307	-0,0414	-0,0645	-0,1155	-0,2355

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirin $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,9160	-0,0298	-0,0401	-0,0621	-0,1106	-0,2245
0,9195	-0,0289	-0,0387	-0,0597	-0,1058	-0,2138
0,9230	-0,0280	-0,0374	-0,0573	-0,1010	-0,2032
0,9265	-0,0271	-0,0360	-0,0548	-0,0962	-0,1927
0,9300	-0,0261	-0,0345	-0,0524	-0,0914	-0,1823
0,9335	-0,0251	-0,0331	-0,0499	-0,0867	-0,1721
0,9370	-0,0241	-0,0316	-0,0474	-0,0820	-0,1620
0,9405	-0,0230	-0,0301	-0,0449	-0,0773	-0,1520
0,9440	-0,0219	-0,0285	-0,0424	-0,0726	-0,1421
0,9475	-0,0208	-0,0270	-0,0399	-0,0679	-0,1324
0,9510	-0,0197	-0,0254	-0,0373	-0,0632	-0,1228
0,9545	-0,0185	-0,0237	-0,0348	-0,0586	-0,1133
0,9580	-0,0173	-0,0221	-0,0322	-0,0540	-0,1040
0,9615	-0,0160	-0,0204	-0,0296	-0,0494	-0,0947
0,9650	-0,0147	-0,0187	-0,0270	-0,0448	-0,0856
0,9685	-0,0134	-0,0170	-0,0244	-0,0403	-0,0765
0,9720	-0,0121	-0,0152	-0,0217	-0,0357	-0,0676
0,9755	-0,0107	-0,0134	-0,0191	-0,0312	-0,0588
0,9790	-0,0093	-0,0116	-0,0164	-0,0267	-0,0501
0,9825	-0,0078	-0,0097	-0,0137	-0,0222	-0,0415
0,9860	-0,0063	-0,0078	-0,0110	-0,0177	-0,0330
0,9895	-0,0048	-0,0059	-0,0083	-0,0133	-0,0246

**EK-5 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.2. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz radyal gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME (BETA=-2)
0,9930	-0,0032	-0,0040	-0,0055	-0,0088	-0,0163
0,9965	-0,0016	-0,0020	-0,0028	-0,0044	-0,0081
1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,3000	0,0268	0,0152	-0,4903	-5,6344	-52,7447
0,3035	0,0264	0,0126	-0,4859	-5,3793	-48,7216
0,3070	0,0260	0,0099	-0,4816	-5,1363	-44,9891
0,3105	0,0255	0,0073	-0,4774	-4,9049	-41,5245
0,3140	0,0251	0,0047	-0,4731	-4,6842	-38,3070
0,3175	0,0246	0,0021	-0,4690	-4,4738	-35,3178
0,3210	0,0241	-0,0005	-0,4648	-4,2730	-32,5394
0,3245	0,0236	-0,0030	-0,4607	-4,0814	-29,9558
0,3280	0,0231	-0,0055	-0,4566	-3,8983	-27,5526
0,3315	0,0226	-0,0080	-0,4526	-3,7235	-25,3163
0,3350	0,0220	-0,0105	-0,4485	-3,5563	-23,2346
0,3385	0,0215	-0,0130	-0,4445	-3,3964	-21,2962
0,3420	0,0209	-0,0154	-0,4405	-3,2435	-19,4906
0,3455	0,0203	-0,0179	-0,4365	-3,0971	-17,8083
0,3490	0,0197	-0,0203	-0,4326	-2,9569	-16,2405
0,3525	0,0190	-0,0226	-0,4286	-2,8227	-14,7789
0,3560	0,0184	-0,0250	-0,4246	-2,6940	-13,4162
0,3595	0,0177	-0,0273	-0,4207	-2,5707	-12,1453
0,3630	0,0171	-0,0296	-0,4167	-2,4524	-10,9598
0,3665	0,0164	-0,0319	-0,4128	-2,3390	-9,8538
0,3700	0,0157	-0,0342	-0,4089	-2,2301	-8,8219
0,3735	0,0150	-0,0364	-0,4049	-2,1255	-7,8590

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,3770	0,0142	-0,0386	-0,4010	-2,0251	-6,9603
0,3805	0,0135	-0,0408	-0,3970	-1,9286	-6,1215
0,3840	0,0127	-0,0429	-0,3931	-1,8359	-5,3386
0,3875	0,0120	-0,0451	-0,3891	-1,7468	-4,6079
0,3910	0,0112	-0,0472	-0,3851	-1,6610	-3,9258
0,3945	0,0104	-0,0492	-0,3811	-1,5785	-3,2891
0,3980	0,0096	-0,0513	-0,3771	-1,4991	-2,6949
0,4015	0,0087	-0,0533	-0,3731	-1,4227	-2,1404
0,4050	0,0079	-0,0553	-0,3691	-1,3491	-1,6229
0,4085	0,0071	-0,0572	-0,3651	-1,2782	-1,1401
0,4120	0,0062	-0,0592	-0,3610	-1,2099	-0,6896
0,4155	0,0053	-0,0611	-0,3569	-1,1440	-0,2695
0,4190	0,0044	-0,0629	-0,3528	-1,0805	0,1222
0,4225	0,0035	-0,0648	-0,3487	-1,0192	0,4874
0,4260	0,0026	-0,0666	-0,3446	-0,9601	0,8277
0,4295	0,0017	-0,0684	-0,3404	-0,9031	1,1447
0,4330	0,0008	-0,0701	-0,3363	-0,8480	1,4399
0,4365	-0,0001	-0,0718	-0,3321	-0,7948	1,7147
0,4400	-0,0011	-0,0735	-0,3279	-0,7434	1,9703
0,4435	-0,0020	-0,0751	-0,3236	-0,6938	2,2079
0,4470	-0,0030	-0,0767	-0,3194	-0,6458	2,4287
0,4505	-0,0040	-0,0783	-0,3151	-0,5994	2,6338

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,4540	-0,0049	-0,0798	-0,3108	-0,5545	2,8241
0,4575	-0,0059	-0,0813	-0,3064	-0,5111	3,0004
0,4610	-0,0069	-0,0827	-0,3021	-0,4691	3,1638
0,4645	-0,0079	-0,0841	-0,2977	-0,4285	3,3150
0,4680	-0,0089	-0,0855	-0,2933	-0,3891	3,4546
0,4715	-0,0099	-0,0868	-0,2888	-0,3510	3,5836
0,4750	-0,0109	-0,0881	-0,2844	-0,3141	3,7024
0,4785	-0,0119	-0,0894	-0,2799	-0,2783	3,8118
0,4820	-0,0129	-0,0906	-0,2753	-0,2437	3,9122
0,4855	-0,0139	-0,0917	-0,2708	-0,2100	4,0044
0,4890	-0,0150	-0,0929	-0,2662	-0,1775	4,0887
0,4925	-0,0160	-0,0939	-0,2616	-0,1458	4,1657
0,4960	-0,0170	-0,0950	-0,2569	-0,1152	4,2357
0,4995	-0,0180	-0,0960	-0,2522	-0,0854	4,2993
0,5030	-0,0190	-0,0969	-0,2475	-0,0565	4,3568
0,5065	-0,0200	-0,0978	-0,2428	-0,0284	4,4087
0,5100	-0,0211	-0,0986	-0,2380	-0,0012	4,4551
0,5135	-0,0221	-0,0994	-0,2332	0,0253	4,4966
0,5170	-0,0231	-0,1002	-0,2284	0,0511	4,5333
0,5205	-0,0241	-0,1009	-0,2235	0,0761	4,5656
0,5240	-0,0251	-0,1015	-0,2186	0,1004	4,5938
0,5275	-0,0261	-0,1021	-0,2137	0,1241	4,6181

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,5310	-0,0270	-0,1027	-0,2087	0,1471	4,6388
0,5345	-0,0280	-0,1032	-0,2037	0,1694	4,6560
0,5380	-0,0290	-0,1036	-0,1987	0,1912	4,6701
0,5415	-0,0299	-0,1040	-0,1936	0,2124	4,6811
0,5450	-0,0309	-0,1044	-0,1885	0,2331	4,6894
0,5485	-0,0318	-0,1047	-0,1834	0,2532	4,6950
0,5520	-0,0327	-0,1049	-0,1782	0,2728	4,6982
0,5555	-0,0336	-0,1051	-0,1730	0,2919	4,6991
0,5590	-0,0345	-0,1052	-0,1678	0,3105	4,6978
0,5625	-0,0354	-0,1052	-0,1625	0,3287	4,6945
0,5660	-0,0363	-0,1052	-0,1572	0,3464	4,6894
0,5695	-0,0371	-0,1052	-0,1518	0,3636	4,6825
0,5730	-0,0380	-0,1051	-0,1465	0,3805	4,6739
0,5765	-0,0388	-0,1049	-0,1410	0,3969	4,6639
0,5800	-0,0396	-0,1046	-0,1356	0,4130	4,6524
0,5835	-0,0403	-0,1043	-0,1301	0,4286	4,6396
0,5870	-0,0411	-0,1040	-0,1246	0,4439	4,6256
0,5905	-0,0418	-0,1036	-0,1190	0,4589	4,6105
0,5940	-0,0425	-0,1031	-0,1134	0,4735	4,5943
0,5975	-0,0432	-0,1025	-0,1078	0,4878	4,5771
0,6010	-0,0438	-0,1019	-0,1021	0,5017	4,5591
0,6045	-0,0444	-0,1012	-0,0964	0,5154	4,5402

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,6080	-0,0450	-0,1005	-0,0907	0,5287	4,5205
0,6115	-0,0456	-0,0996	-0,0849	0,5418	4,5001
0,6150	-0,0461	-0,0988	-0,0791	0,5546	4,4791
0,6185	-0,0466	-0,0978	-0,0732	0,5671	4,4575
0,6220	-0,0471	-0,0968	-0,0674	0,5793	4,4353
0,6255	-0,0475	-0,0957	-0,0614	0,5913	4,4127
0,6290	-0,0479	-0,0945	-0,0555	0,6031	4,3896
0,6325	-0,0483	-0,0933	-0,0495	0,6146	4,3661
0,6360	-0,0486	-0,0920	-0,0434	0,6259	4,3422
0,6395	-0,0489	-0,0906	-0,0374	0,6369	4,3180
0,6430	-0,0491	-0,0892	-0,0313	0,6478	4,2935
0,6465	-0,0493	-0,0876	-0,0251	0,6584	4,2687
0,6500	-0,0494	-0,0860	-0,0189	0,6688	4,2438
0,6535	-0,0496	-0,0843	-0,0127	0,6791	4,2186
0,6570	-0,0496	-0,0826	-0,0065	0,6891	4,1932
0,6605	-0,0496	-0,0808	-0,0002	0,6990	4,1677
0,6640	-0,0496	-0,0789	0,0062	0,7086	4,1421
0,6675	-0,0495	-0,0769	0,0126	0,7182	4,1164
0,6710	-0,0493	-0,0748	0,0190	0,7275	4,0906
0,6745	-0,0491	-0,0726	0,0254	0,7367	4,0648
0,6780	-0,0489	-0,0704	0,0319	0,7457	4,0390
0,6815	-0,0486	-0,0681	0,0384	0,7546	4,0131

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,6850	-0,0482	-0,0657	0,0450	0,7633	3,9872
0,6885	-0,0478	-0,0632	0,0516	0,7719	3,9613
0,6920	-0,0473	-0,0607	0,0582	0,7803	3,9355
0,6955	-0,0467	-0,0580	0,0649	0,7886	3,9097
0,6990	-0,0461	-0,0553	0,0716	0,7968	3,8840
0,7025	-0,0454	-0,0525	0,0784	0,8048	3,8583
0,7060	-0,0447	-0,0496	0,0852	0,8127	3,8328
0,7095	-0,0439	-0,0466	0,0920	0,8205	3,8073
0,7130	-0,0430	-0,0435	0,0989	0,8282	3,7819
0,7165	-0,0420	-0,0404	0,1058	0,8358	3,7566
0,7200	-0,0409	-0,0371	0,1127	0,8433	3,7315
0,7235	-0,0398	-0,0338	0,1197	0,8506	3,7064
0,7270	-0,0386	-0,0303	0,1267	0,8579	3,6816
0,7305	-0,0374	-0,0268	0,1338	0,8650	3,6568
0,7340	-0,0360	-0,0232	0,1409	0,8721	3,6322
0,7375	-0,0345	-0,0195	0,1480	0,8791	3,6078
0,7410	-0,0330	-0,0157	0,1552	0,8859	3,5835
0,7445	-0,0314	-0,0118	0,1624	0,8927	3,5594
0,7480	-0,0297	-0,0078	0,1697	0,8994	3,5354
0,7515	-0,0279	-0,0037	0,1769	0,9060	3,5116
0,7550	-0,0260	0,0005	0,1843	0,9125	3,4880
0,7585	-0,0240	0,0048	0,1916	0,9190	3,4646

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,7620	-0,0219	0,0091	0,1991	0,9254	3,4414
0,7655	-0,0197	0,0136	0,2065	0,9317	3,4183
0,7690	-0,0174	0,0182	0,2140	0,9379	3,3954
0,7725	-0,0150	0,0229	0,2215	0,9440	3,3728
0,7760	-0,0125	0,0277	0,2291	0,9501	3,3503
0,7795	-0,0100	0,0326	0,2367	0,9562	3,3280
0,7830	-0,0072	0,0375	0,2443	0,9621	3,3059
0,7865	-0,0044	0,0426	0,2520	0,9680	3,2840
0,7900	-0,0015	0,0478	0,2597	0,9738	3,2623
0,7935	0,0016	0,0531	0,2675	0,9796	3,2408
0,7970	0,0048	0,0585	0,2753	0,9853	3,2195
0,8005	0,0080	0,0640	0,2831	0,9910	3,1984
0,8040	0,0115	0,0697	0,2910	0,9966	3,1775
0,8075	0,0150	0,0754	0,2989	1,0021	3,1568
0,8110	0,0186	0,0812	0,3068	1,0076	3,1363
0,8145	0,0224	0,0872	0,3148	1,0131	3,1160
0,8180	0,0264	0,0932	0,3229	1,0185	3,0959
0,8215	0,0304	0,0994	0,3309	1,0238	3,0760
0,8250	0,0346	0,1056	0,3390	1,0291	3,0563
0,8285	0,0390	0,1120	0,3472	1,0344	3,0367
0,8320	0,0434	0,1185	0,3554	1,0396	3,0174
0,8355	0,0480	0,1251	0,3636	1,0448	2,9983

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,8390	0,0528	0,1319	0,3718	1,0499	2,9794
0,8425	0,0577	0,1387	0,3801	1,0550	2,9607
0,8460	0,0628	0,1457	0,3885	1,0601	2,9422
0,8495	0,0680	0,1527	0,3969	1,0651	2,9239
0,8530	0,0733	0,1599	0,4053	1,0701	2,9057
0,8565	0,0789	0,1672	0,4137	1,0750	2,8878
0,8600	0,0845	0,1747	0,4222	1,0800	2,8701
0,8635	0,0904	0,1822	0,4308	1,0848	2,8525
0,8670	0,0964	0,1899	0,4394	1,0897	2,8351
0,8705	0,1026	0,1977	0,4480	1,0945	2,8179
0,8740	0,1089	0,2056	0,4566	1,0993	2,8010
0,8775	0,1154	0,2136	0,4653	1,1040	2,7841
0,8810	0,1221	0,2218	0,4740	1,1087	2,7675
0,8845	0,1290	0,2300	0,4828	1,1134	2,7511
0,8880	0,1360	0,2384	0,4916	1,1181	2,7348
0,8915	0,1433	0,2470	0,5005	1,1227	2,7187
0,8950	0,1507	0,2556	0,5094	1,1274	2,7028
0,8985	0,1583	0,2644	0,5183	1,1319	2,6871
0,9020	0,1661	0,2733	0,5272	1,1365	2,6715
0,9055	0,1741	0,2823	0,5363	1,1410	2,6562
0,9090	0,1823	0,2915	0,5453	1,1456	2,6409
0,9125	0,1907	0,3008	0,5544	1,1500	2,6259

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,9160	0,1993	0,3102	0,5635	1,1545	2,6110
0,9195	0,2081	0,3198	0,5727	1,1590	2,5963
0,9230	0,2171	0,3295	0,5819	1,1634	2,5818
0,9265	0,2263	0,3393	0,5911	1,1678	2,5674
0,9300	0,2357	0,3492	0,6004	1,1722	2,5532
0,9335	0,2454	0,3593	0,6097	1,1765	2,5391
0,9370	0,2553	0,3696	0,6190	1,1809	2,5252
0,9405	0,2654	0,3799	0,6284	1,1852	2,5115
0,9440	0,2757	0,3904	0,6379	1,1895	2,4979
0,9475	0,2863	0,4010	0,6474	1,1938	2,4845
0,9510	0,2971	0,4118	0,6569	1,1981	2,4712
0,9545	0,3080	0,4227	0,6664	1,2024	2,4581
0,9580	0,3193	0,4338	0,6760	1,2066	2,4451
0,9615	0,3308	0,4450	0,6856	1,2108	2,4323
0,9650	0,3426	0,4563	0,6953	1,2151	2,4196
0,9685	0,3546	0,4678	0,7050	1,2193	2,4071
0,9720	0,3668	0,4794	0,7148	1,2234	2,3947
0,9755	0,3793	0,4911	0,7245	1,2276	2,3824
0,9790	0,3920	0,5030	0,7344	1,2318	2,3703
0,9825	0,4051	0,5151	0,7442	1,2359	2,3583
0,9860	0,4183	0,5273	0,7541	1,2400	2,3465
0,9895	0,4319	0,5396	0,7641	1,2442	2,3348

**EK-6 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE TEĞETSEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.3. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz teğetsel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME (BETA=-2)
0,9930	0,4457	0,5521	0,7741	1,2483	2,3232
0,9965	0,4598	0,5647	0,7841	1,2524	2,3118
1,0000	0,4742	0,5775	0,7941	1,2565	2,3004

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,3000	-0,0373	-0,1459	-1,1329	-9,7330	-86,3622
0,3035	-0,0378	-0,1492	-1,1332	-9,4931	-82,1489
0,3070	-0,0383	-0,1525	-1,1333	-9,2615	-78,1825
0,3105	-0,0389	-0,1558	-1,1333	-9,0379	-74,4458
0,3140	-0,0395	-0,1592	-1,1333	-8,8218	-70,9233
0,3175	-0,0402	-0,1626	-1,1331	-8,6129	-67,6006
0,3210	-0,0409	-0,1660	-1,1329	-8,4108	-64,4644
0,3245	-0,0416	-0,1695	-1,1325	-8,2154	-61,5022
0,3280	-0,0423	-0,1729	-1,1321	-8,0262	-58,7030
0,3315	-0,0431	-0,1764	-1,1315	-7,8431	-56,0560
0,3350	-0,0440	-0,1798	-1,1309	-7,6657	-53,5515
0,3385	-0,0448	-0,1833	-1,1302	-7,4938	-51,1806
0,3420	-0,0457	-0,1868	-1,1294	-7,3271	-48,9348
0,3455	-0,0467	-0,1903	-1,1285	-7,1655	-46,8065
0,3490	-0,0476	-0,1938	-1,1275	-7,0088	-44,7883
0,3525	-0,0486	-0,1974	-1,1265	-6,8567	-42,8736
0,3560	-0,0497	-0,2009	-1,1253	-6,7090	-41,0562
0,3595	-0,0508	-0,2044	-1,1240	-6,5656	-39,3302
0,3630	-0,0519	-0,2080	-1,1227	-6,4263	-37,6902
0,3665	-0,0530	-0,2115	-1,1213	-6,2910	-36,1312
0,3700	-0,0542	-0,2151	-1,1198	-6,1595	-34,6485
0,3735	-0,0554	-0,2186	-1,1182	-6,0315	-33,2377

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,3770	-0,0567	-0,2222	-1,1165	-5,9071	-31,8946
0,3805	-0,0579	-0,2257	-1,1148	-5,7861	-30,6156
0,3840	-0,0593	-0,2293	-1,1130	-5,6683	-29,3969
0,3875	-0,0606	-0,2328	-1,1111	-5,5536	-28,2352
0,3910	-0,0620	-0,2363	-1,1091	-5,4419	-27,1274
0,3945	-0,0634	-0,2399	-1,1070	-5,3332	-26,0706
0,3980	-0,0648	-0,2434	-1,1048	-5,2272	-25,0620
0,4015	-0,0663	-0,2469	-1,1026	-5,1239	-24,0989
0,4050	-0,0678	-0,2504	-1,1003	-5,0232	-23,1791
0,4085	-0,0694	-0,2539	-1,0979	-4,9250	-22,3001
0,4120	-0,0709	-0,2574	-1,0954	-4,8292	-21,4599
0,4155	-0,0725	-0,2608	-1,0929	-4,7358	-20,6564
0,4190	-0,0741	-0,2643	-1,0903	-4,6446	-19,8878
0,4225	-0,0758	-0,2677	-1,0876	-4,5555	-19,1523
0,4260	-0,0775	-0,2711	-1,0848	-4,4686	-18,4481
0,4295	-0,0792	-0,2745	-1,0820	-4,3838	-17,7738
0,4330	-0,0810	-0,2779	-1,0790	-4,3008	-17,1278
0,4365	-0,0827	-0,2813	-1,0760	-4,2198	-16,5087
0,4400	-0,0845	-0,2846	-1,0730	-4,1407	-15,9153
0,4435	-0,0863	-0,2880	-1,0698	-4,0633	-15,3462
0,4470	-0,0882	-0,2913	-1,0666	-3,9876	-14,8003
0,4505	-0,0901	-0,2945	-1,0633	-3,9136	-14,2764

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,4540	-0,0920	-0,2978	-1,0599	-3,8412	-13,7736
0,4575	-0,0939	-0,3010	-1,0565	-3,7703	-13,2908
0,4610	-0,0958	-0,3042	-1,0530	-3,7010	-12,8270
0,4645	-0,0978	-0,3074	-1,0494	-3,6332	-12,3815
0,4680	-0,0998	-0,3105	-1,0457	-3,5668	-11,9533
0,4715	-0,1018	-0,3136	-1,0420	-3,5017	-11,5417
0,4750	-0,1039	-0,3167	-1,0382	-3,4380	-11,1459
0,4785	-0,1059	-0,3198	-1,0344	-3,3756	-10,7652
0,4820	-0,1080	-0,3228	-1,0304	-3,3145	-10,3988
0,4855	-0,1101	-0,3257	-1,0264	-3,2545	-10,0463
0,4890	-0,1122	-0,3287	-1,0223	-3,1958	-9,7069
0,4925	-0,1144	-0,3316	-1,0182	-3,1382	-9,3800
0,4960	-0,1165	-0,3345	-1,0140	-3,0818	-9,0652
0,4995	-0,1187	-0,3373	-1,0097	-3,0264	-8,7619
0,5030	-0,1209	-0,3401	-1,0053	-2,9721	-8,4696
0,5065	-0,1231	-0,3428	-1,0009	-2,9188	-8,1879
0,5100	-0,1253	-0,3455	-0,9964	-2,8665	-7,9162
0,5135	-0,1276	-0,3482	-0,9919	-2,8152	-7,6542
0,5170	-0,1298	-0,3508	-0,9872	-2,7648	-7,4014
0,5205	-0,1321	-0,3534	-0,9825	-2,7153	-7,1575
0,5240	-0,1343	-0,3559	-0,9778	-2,6668	-6,9221
0,5275	-0,1366	-0,3584	-0,9729	-2,6191	-6,6949

EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,5310	-0,1389	-0,3608	-0,9681	-2,5722	-6,4755
0,5345	-0,1412	-0,3632	-0,9631	-2,5262	-6,2636
0,5380	-0,1435	-0,3655	-0,9581	-2,4809	-6,0588
0,5415	-0,1458	-0,3678	-0,9530	-2,4365	-5,8610
0,5450	-0,1481	-0,3700	-0,9478	-2,3928	-5,6698
0,5485	-0,1505	-0,3722	-0,9426	-2,3498	-5,4850
0,5520	-0,1528	-0,3743	-0,9373	-2,3076	-5,3063
0,5555	-0,1551	-0,3764	-0,9319	-2,2661	-5,1335
0,5590	-0,1575	-0,3784	-0,9265	-2,2252	-4,9663
0,5625	-0,1598	-0,3803	-0,9210	-2,1850	-4,8046
0,5660	-0,1621	-0,3822	-0,9155	-2,1455	-4,6481
0,5695	-0,1644	-0,3841	-0,9099	-2,1066	-4,4966
0,5730	-0,1668	-0,3858	-0,9042	-2,0683	-4,3500
0,5765	-0,1691	-0,3875	-0,8984	-2,0307	-4,2079
0,5800	-0,1714	-0,3892	-0,8926	-1,9936	-4,0704
0,5835	-0,1737	-0,3908	-0,8868	-1,9571	-3,9372
0,5870	-0,1760	-0,3923	-0,8808	-1,9211	-3,8081
0,5905	-0,1783	-0,3937	-0,8748	-1,8857	-3,6830
0,5940	-0,1806	-0,3951	-0,8688	-1,8508	-3,5618
0,5975	-0,1828	-0,3964	-0,8626	-1,8165	-3,4443
0,6010	-0,1851	-0,3977	-0,8564	-1,7826	-3,3303
0,6045	-0,1873	-0,3989	-0,8502	-1,7493	-3,2198

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,6080	-0,1896	-0,4000	-0,8439	-1,7164	-3,1127
0,6115	-0,1918	-0,4010	-0,8375	-1,6840	-3,0087
0,6150	-0,1940	-0,4020	-0,8310	-1,6521	-2,9078
0,6185	-0,1961	-0,4028	-0,8245	-1,6206	-2,8099
0,6220	-0,1983	-0,4037	-0,8180	-1,5896	-2,7148
0,6255	-0,2004	-0,4044	-0,8114	-1,5590	-2,6226
0,6290	-0,2025	-0,4050	-0,8047	-1,5288	-2,5330
0,6325	-0,2046	-0,4056	-0,7979	-1,4991	-2,4460
0,6360	-0,2067	-0,4061	-0,7911	-1,4697	-2,3615
0,6395	-0,2087	-0,4065	-0,7842	-1,4407	-2,2794
0,6430	-0,2107	-0,4069	-0,7773	-1,4122	-2,1997
0,6465	-0,2126	-0,4071	-0,7703	-1,3840	-2,1222
0,6500	-0,2146	-0,4073	-0,7632	-1,3561	-2,0469
0,6535	-0,2165	-0,4074	-0,7561	-1,3287	-1,9736
0,6570	-0,2183	-0,4074	-0,7489	-1,3015	-1,9025
0,6605	-0,2201	-0,4073	-0,7417	-1,2748	-1,8332
0,6640	-0,2219	-0,4071	-0,7344	-1,2483	-1,7659
0,6675	-0,2237	-0,4069	-0,7270	-1,2222	-1,7005
0,6710	-0,2253	-0,4065	-0,7196	-1,1964	-1,6368
0,6745	-0,2270	-0,4061	-0,7121	-1,1710	-1,5748
0,6780	-0,2286	-0,4055	-0,7045	-1,1458	-1,5145
0,6815	-0,2301	-0,4049	-0,6969	-1,1210	-1,4558

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,6850	-0,2316	-0,4042	-0,6893	-1,0964	-1,3987
0,6885	-0,2331	-0,4034	-0,6815	-1,0722	-1,3430
0,6920	-0,2345	-0,4025	-0,6737	-1,0482	-1,2889
0,6955	-0,2358	-0,4014	-0,6659	-1,0245	-1,2362
0,6990	-0,2371	-0,4003	-0,6580	-1,0011	-1,1848
0,7025	-0,2383	-0,3991	-0,6500	-0,9780	-1,1348
0,7060	-0,2395	-0,3978	-0,6420	-0,9551	-1,0860
0,7095	-0,2406	-0,3964	-0,6339	-0,9325	-1,0385
0,7130	-0,2416	-0,3949	-0,6258	-0,9101	-0,9923
0,7165	-0,2426	-0,3933	-0,6176	-0,8880	-0,9472
0,7200	-0,2434	-0,3916	-0,6093	-0,8661	-0,9032
0,7235	-0,2443	-0,3898	-0,6010	-0,8444	-0,8603
0,7270	-0,2450	-0,3878	-0,5926	-0,8230	-0,8185
0,7305	-0,2457	-0,3858	-0,5841	-0,8019	-0,7778
0,7340	-0,2463	-0,3837	-0,5756	-0,7809	-0,7381
0,7375	-0,2468	-0,3814	-0,5671	-0,7602	-0,6993
0,7410	-0,2472	-0,3791	-0,5585	-0,7397	-0,6615
0,7445	-0,2475	-0,3766	-0,5498	-0,7194	-0,6246
0,7480	-0,2478	-0,3740	-0,5410	-0,6993	-0,5886
0,7515	-0,2479	-0,3713	-0,5323	-0,6794	-0,5535
0,7550	-0,2480	-0,3685	-0,5234	-0,6597	-0,5192
0,7585	-0,2480	-0,3656	-0,5145	-0,6402	-0,4857

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,7620	-0,2478	-0,3625	-0,5055	-0,6209	-0,4531
0,7655	-0,2476	-0,3594	-0,4965	-0,6018	-0,4212
0,7690	-0,2473	-0,3561	-0,4874	-0,5829	-0,3901
0,7725	-0,2469	-0,3527	-0,4783	-0,5642	-0,3596
0,7760	-0,2463	-0,3492	-0,4691	-0,5456	-0,3299
0,7795	-0,2457	-0,3455	-0,4598	-0,5272	-0,3009
0,7830	-0,2449	-0,3418	-0,4505	-0,5090	-0,2726
0,7865	-0,2441	-0,3379	-0,4411	-0,4910	-0,2449
0,7900	-0,2431	-0,3339	-0,4317	-0,4731	-0,2178
0,7935	-0,2420	-0,3297	-0,4222	-0,4554	-0,1914
0,7970	-0,2407	-0,3255	-0,4126	-0,4379	-0,1655
0,8005	-0,2394	-0,3211	-0,4030	-0,4205	-0,1403
0,8040	-0,2379	-0,3166	-0,3933	-0,4033	-0,1156
0,8075	-0,2363	-0,3119	-0,3836	-0,3862	-0,0915
0,8110	-0,2345	-0,3071	-0,3738	-0,3693	-0,0679
0,8145	-0,2327	-0,3022	-0,3640	-0,3525	-0,0448
0,8180	-0,2306	-0,2972	-0,3541	-0,3358	-0,0222
0,8215	-0,2285	-0,2920	-0,3441	-0,3194	-0,0001
0,8250	-0,2262	-0,2867	-0,3341	-0,3030	0,0215
0,8285	-0,2237	-0,2812	-0,3241	-0,2868	0,0426
0,8320	-0,2211	-0,2757	-0,3139	-0,2707	0,0633
0,8355	-0,2184	-0,2699	-0,3038	-0,2548	0,0835

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,8390	-0,2155	-0,2641	-0,2935	-0,2390	0,1033
0,8425	-0,2124	-0,2581	-0,2832	-0,2233	0,1227
0,8460	-0,2092	-0,2519	-0,2729	-0,2077	0,1417
0,8495	-0,2058	-0,2456	-0,2625	-0,1923	0,1602
0,8530	-0,2022	-0,2392	-0,2520	-0,1770	0,1784
0,8565	-0,1985	-0,2326	-0,2415	-0,1618	0,1962
0,8600	-0,1946	-0,2259	-0,2309	-0,1467	0,2136
0,8635	-0,1905	-0,2191	-0,2203	-0,1318	0,2307
0,8670	-0,1863	-0,2121	-0,2096	-0,1170	0,2474
0,8705	-0,1818	-0,2049	-0,1988	-0,1022	0,2638
0,8740	-0,1772	-0,1976	-0,1880	-0,0876	0,2798
0,8775	-0,1724	-0,1901	-0,1772	-0,0731	0,2955
0,8810	-0,1674	-0,1825	-0,1662	-0,0587	0,3109
0,8845	-0,1622	-0,1748	-0,1553	-0,0445	0,3260
0,8880	-0,1568	-0,1669	-0,1442	-0,0303	0,3407
0,8915	-0,1512	-0,1588	-0,1331	-0,0162	0,3552
0,8950	-0,1454	-0,1506	-0,1220	-0,0022	0,3694
0,8985	-0,1393	-0,1422	-0,1108	0,0117	0,3833
0,9020	-0,1331	-0,1337	-0,0995	0,0255	0,3970
0,9055	-0,1267	-0,1250	-0,0882	0,0391	0,4103
0,9090	-0,1200	-0,1161	-0,0769	0,0527	0,4234
0,9125	-0,1131	-0,1071	-0,0654	0,0662	0,4363

EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirden $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,9160	-0,1060	-0,0979	-0,0540	0,0796	0,4489
0,9195	-0,0987	-0,0886	-0,0424	0,0929	0,4613
0,9230	-0,0911	-0,0791	-0,0308	0,1062	0,4734
0,9265	-0,0833	-0,0695	-0,0192	0,1193	0,4853
0,9300	-0,0752	-0,0596	-0,0075	0,1323	0,4970
0,9335	-0,0669	-0,0496	0,0043	0,1453	0,5084
0,9370	-0,0584	-0,0395	0,0161	0,1582	0,5197
0,9405	-0,0496	-0,0291	0,0280	0,1710	0,5307
0,9440	-0,0405	-0,0186	0,0399	0,1837	0,5415
0,9475	-0,0312	-0,0080	0,0519	0,1963	0,5521
0,9510	-0,0216	0,0029	0,0639	0,2089	0,5625
0,9545	-0,0118	0,0139	0,0760	0,2214	0,5728
0,9580	-0,0017	0,0251	0,0881	0,2338	0,5828
0,9615	0,0087	0,0364	0,1004	0,2461	0,5927
0,9650	0,0194	0,0480	0,1126	0,2583	0,6023
0,9685	0,0303	0,0597	0,1249	0,2705	0,6119
0,9720	0,0416	0,0716	0,1373	0,2826	0,6212
0,9755	0,0531	0,0837	0,1497	0,2946	0,6304
0,9790	0,0649	0,0959	0,1622	0,3066	0,6394
0,9825	0,0770	0,1083	0,1747	0,3185	0,6482
0,9860	0,0895	0,1210	0,1873	0,3303	0,6569
0,9895	0,1022	0,1337	0,2000	0,3421	0,6654

**EK-7 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE EKSENEL GERİLME BİLEŞENLERİ**

Çizelge Ek.4. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen boyutsuz eksenel gerilme bileşenleri

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=2)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=0)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-1)	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME (BETA=-2)
0,9930	0,1152	0,1467	0,2127	0,3538	0,6738
0,9965	0,1286	0,1599	0,2254	0,3654	0,6820
1,0000	0,1422	0,1732	0,2382	0,3769	0,6901

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,3000	0,2812	0,2120	0,2537	0,4853	1,1943
0,3035	0,2783	0,2128	0,2584	0,4985	1,2294
0,3070	0,2756	0,2137	0,2632	0,5114	1,2634
0,3105	0,2730	0,2146	0,2679	0,5241	1,2962
0,3140	0,2706	0,2156	0,2726	0,5365	1,3280
0,3175	0,2683	0,2166	0,2773	0,5487	1,3587
0,3210	0,2662	0,2177	0,2820	0,5606	1,3884
0,3245	0,2641	0,2188	0,2866	0,5723	1,4172
0,3280	0,2623	0,2200	0,2912	0,5838	1,4450
0,3315	0,2605	0,2212	0,2959	0,5951	1,4719
0,3350	0,2588	0,2225	0,3005	0,6061	1,4980
0,3385	0,2573	0,2238	0,3050	0,6170	1,5232
0,3420	0,2559	0,2252	0,3096	0,6276	1,5477
0,3455	0,2546	0,2266	0,3141	0,6381	1,5714
0,3490	0,2534	0,2281	0,3186	0,6484	1,5943
0,3525	0,2522	0,2295	0,3231	0,6585	1,6165
0,3560	0,2512	0,2311	0,3276	0,6684	1,6380
0,3595	0,2503	0,2326	0,3321	0,6781	1,6589
0,3630	0,2494	0,2342	0,3365	0,6877	1,6791
0,3665	0,2487	0,2359	0,3410	0,6971	1,6987
0,3700	0,2480	0,2376	0,3454	0,7063	1,7176
0,3735	0,2474	0,2393	0,3498	0,7154	1,7360

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,3770	0,2469	0,2410	0,3541	0,7243	1,7539
0,3805	0,2464	0,2428	0,3585	0,7331	1,7712
0,3840	0,2461	0,2446	0,3628	0,7417	1,7880
0,3875	0,2458	0,2464	0,3672	0,7502	1,8042
0,3910	0,2456	0,2482	0,3715	0,7585	1,8200
0,3945	0,2454	0,2501	0,3757	0,7667	1,8353
0,3980	0,2453	0,2520	0,3800	0,7748	1,8501
0,4015	0,2453	0,2540	0,3842	0,7827	1,8645
0,4050	0,2453	0,2559	0,3885	0,7905	1,8785
0,4085	0,2454	0,2579	0,3927	0,7982	1,8920
0,4120	0,2455	0,2599	0,3969	0,8058	1,9051
0,4155	0,2457	0,2620	0,4010	0,8132	1,9179
0,4190	0,2460	0,2640	0,4052	0,8205	1,9302
0,4225	0,2463	0,2661	0,4093	0,8277	1,9422
0,4260	0,2466	0,2682	0,4134	0,8348	1,9538
0,4295	0,2471	0,2703	0,4175	0,8418	1,9651
0,4330	0,2475	0,2725	0,4216	0,8487	1,9761
0,4365	0,2480	0,2746	0,4257	0,8554	1,9867
0,4400	0,2486	0,2768	0,4297	0,8621	1,9970
0,4435	0,2492	0,2790	0,4337	0,8686	2,0069
0,4470	0,2498	0,2812	0,4377	0,8750	2,0166
0,4505	0,2505	0,2834	0,4417	0,8814	2,0260

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,4540	0,2512	0,2857	0,4457	0,8876	2,0351
0,4575	0,2520	0,2879	0,4496	0,8938	2,0439
0,4610	0,2528	0,2902	0,4535	0,8998	2,0525
0,4645	0,2536	0,2925	0,4574	0,9058	2,0608
0,4680	0,2545	0,2948	0,4613	0,9117	2,0688
0,4715	0,2554	0,2971	0,4652	0,9174	2,0766
0,4750	0,2564	0,2994	0,4690	0,9231	2,0842
0,4785	0,2574	0,3017	0,4728	0,9287	2,0915
0,4820	0,2584	0,3041	0,4766	0,9342	2,0986
0,4855	0,2594	0,3064	0,4804	0,9397	2,1055
0,4890	0,2605	0,3088	0,4841	0,9450	2,1121
0,4925	0,2616	0,3111	0,4879	0,9503	2,1186
0,4960	0,2628	0,3135	0,4916	0,9555	2,1248
0,4995	0,2639	0,3159	0,4953	0,9606	2,1308
0,5030	0,2651	0,3183	0,4989	0,9656	2,1367
0,5065	0,2664	0,3207	0,5026	0,9705	2,1423
0,5100	0,2676	0,3231	0,5062	0,9754	2,1478
0,5135	0,2689	0,3255	0,5098	0,9802	2,1531
0,5170	0,2702	0,3280	0,5134	0,9849	2,1582
0,5205	0,2715	0,3304	0,5170	0,9896	2,1631
0,5240	0,2729	0,3328	0,5205	0,9941	2,1679
0,5275	0,2742	0,3352	0,5240	0,9986	2,1725

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,5310	0,2756	0,3377	0,5275	1,0031	2,1770
0,5345	0,2771	0,3401	0,5310	1,0074	2,1813
0,5380	0,2785	0,3426	0,5344	1,0117	2,1854
0,5415	0,2799	0,3450	0,5378	1,0160	2,1894
0,5450	0,2814	0,3475	0,5412	1,0201	2,1933
0,5485	0,2829	0,3499	0,5446	1,0242	2,1970
0,5520	0,2844	0,3524	0,5480	1,0282	2,2006
0,5555	0,2860	0,3548	0,5513	1,0322	2,2040
0,5590	0,2875	0,3573	0,5546	1,0361	2,2073
0,5625	0,2891	0,3597	0,5579	1,0399	2,2105
0,5660	0,2907	0,3622	0,5611	1,0437	2,2136
0,5695	0,2923	0,3646	0,5644	1,0474	2,2165
0,5730	0,2939	0,3670	0,5676	1,0511	2,2193
0,5765	0,2955	0,3695	0,5708	1,0546	2,2220
0,5800	0,2971	0,3719	0,5739	1,0582	2,2246
0,5835	0,2988	0,3744	0,5771	1,0616	2,2271
0,5870	0,3004	0,3768	0,5802	1,0651	2,2294
0,5905	0,3021	0,3792	0,5833	1,0684	2,2317
0,5940	0,3038	0,3817	0,5863	1,0717	2,2338
0,5975	0,3055	0,3841	0,5893	1,0749	2,2359
0,6010	0,3072	0,3865	0,5923	1,0781	2,2378
0,6045	0,3089	0,3889	0,5953	1,0812	2,2396

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,6080	0,3106	0,3913	0,5983	1,0843	2,2414
0,6115	0,3123	0,3937	0,6012	1,0873	2,2431
0,6150	0,3140	0,3961	0,6041	1,0903	2,2446
0,6185	0,3158	0,3985	0,6070	1,0932	2,2461
0,6220	0,3175	0,4008	0,6098	1,0961	2,2475
0,6255	0,3193	0,4032	0,6127	1,0989	2,2488
0,6290	0,3210	0,4055	0,6155	1,1016	2,2500
0,6325	0,3228	0,4079	0,6182	1,1043	2,2511
0,6360	0,3246	0,4102	0,6210	1,1069	2,2521
0,6395	0,3264	0,4125	0,6237	1,1095	2,2531
0,6430	0,3281	0,4149	0,6264	1,1121	2,2540
0,6465	0,3299	0,4172	0,6290	1,1146	2,2548
0,6500	0,3317	0,4195	0,6316	1,1170	2,2555
0,6535	0,3335	0,4217	0,6342	1,1194	2,2562
0,6570	0,3352	0,4240	0,6368	1,1217	2,2568
0,6605	0,3370	0,4263	0,6393	1,1240	2,2573
0,6640	0,3388	0,4285	0,6419	1,1263	2,2577
0,6675	0,3406	0,4307	0,6443	1,1285	2,2581
0,6710	0,3423	0,4330	0,6468	1,1306	2,2584
0,6745	0,3441	0,4352	0,6492	1,1327	2,2586
0,6780	0,3459	0,4373	0,6516	1,1348	2,2588
0,6815	0,3477	0,4395	0,6540	1,1368	2,2589

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,6850	0,3494	0,4417	0,6563	1,1387	2,2590
0,6885	0,3512	0,4438	0,6586	1,1406	2,2590
0,6920	0,3530	0,4459	0,6609	1,1425	2,2589
0,6955	0,3547	0,4480	0,6632	1,1443	2,2588
0,6990	0,3565	0,4501	0,6654	1,1461	2,2586
0,7025	0,3582	0,4522	0,6676	1,1478	2,2583
0,7060	0,3599	0,4543	0,6697	1,1495	2,2580
0,7095	0,3617	0,4563	0,6718	1,1511	2,2577
0,7130	0,3634	0,4583	0,6739	1,1527	2,2572
0,7165	0,3651	0,4603	0,6760	1,1543	2,2568
0,7200	0,3668	0,4623	0,6780	1,1558	2,2562
0,7235	0,3685	0,4643	0,6800	1,1572	2,2557
0,7270	0,3702	0,4662	0,6820	1,1586	2,2550
0,7305	0,3719	0,4682	0,6839	1,1600	2,2544
0,7340	0,3736	0,4701	0,6858	1,1613	2,2536
0,7375	0,3752	0,4719	0,6877	1,1626	2,2529
0,7410	0,3769	0,4738	0,6895	1,1638	2,2520
0,7445	0,3785	0,4756	0,6913	1,1650	2,2512
0,7480	0,3801	0,4775	0,6931	1,1662	2,2502
0,7515	0,3818	0,4792	0,6948	1,1673	2,2493
0,7550	0,3834	0,4810	0,6965	1,1684	2,2483
0,7585	0,3849	0,4828	0,6982	1,1694	2,2472

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,7620	0,3865	0,4845	0,6998	1,1704	2,2461
0,7655	0,3881	0,4862	0,7014	1,1713	2,2450
0,7690	0,3896	0,4879	0,7030	1,1722	2,2438
0,7725	0,3911	0,4895	0,7046	1,1731	2,2426
0,7760	0,3926	0,4911	0,7061	1,1739	2,2413
0,7795	0,3941	0,4927	0,7075	1,1746	2,2400
0,7830	0,3956	0,4943	0,7090	1,1754	2,2387
0,7865	0,3970	0,4959	0,7103	1,1761	2,2373
0,7900	0,3985	0,4974	0,7117	1,1767	2,2359
0,7935	0,3999	0,4989	0,7130	1,1773	2,2344
0,7970	0,4013	0,5003	0,7143	1,1779	2,2329
0,8005	0,4027	0,5018	0,7156	1,1784	2,2313
0,8040	0,4041	0,5032	0,7168	1,1789	2,2298
0,8075	0,4054	0,5046	0,7180	1,1794	2,2282
0,8110	0,4067	0,5059	0,7191	1,1798	2,2265
0,8145	0,4080	0,5072	0,7202	1,1801	2,2248
0,8180	0,4093	0,5085	0,7213	1,1804	2,2231
0,8215	0,4105	0,5098	0,7224	1,1807	2,2213
0,8250	0,4118	0,5110	0,7234	1,1810	2,2196
0,8285	0,4129	0,5122	0,7243	1,1812	2,2177
0,8320	0,4141	0,5134	0,7253	1,1813	2,2159
0,8355	0,4153	0,5145	0,7261	1,1815	2,2140

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,8390	0,4164	0,5156	0,7270	1,1816	2,2121
0,8425	0,4175	0,5167	0,7278	1,1816	2,2101
0,8460	0,4186	0,5177	0,7286	1,1816	2,2081
0,8495	0,4196	0,5187	0,7293	1,1816	2,2061
0,8530	0,4206	0,5197	0,7300	1,1815	2,2041
0,8565	0,4216	0,5207	0,7307	1,1814	2,2020
0,8600	0,4226	0,5216	0,7313	1,1812	2,1999
0,8635	0,4235	0,5224	0,7319	1,1810	2,1977
0,8670	0,4244	0,5233	0,7325	1,1808	2,1955
0,8705	0,4253	0,5241	0,7330	1,1805	2,1933
0,8740	0,4261	0,5248	0,7334	1,1802	2,1911
0,8775	0,4270	0,5256	0,7339	1,1799	2,1889
0,8810	0,4277	0,5263	0,7342	1,1795	2,1866
0,8845	0,4285	0,5269	0,7346	1,1791	2,1842
0,8880	0,4292	0,5275	0,7349	1,1786	2,1819
0,8915	0,4299	0,5281	0,7352	1,1781	2,1795
0,8950	0,4305	0,5287	0,7354	1,1776	2,1771
0,8985	0,4311	0,5292	0,7356	1,1770	2,1747
0,9020	0,4317	0,5296	0,7357	1,1764	2,1722
0,9055	0,4322	0,5300	0,7358	1,1757	2,1698
0,9090	0,4327	0,5304	0,7359	1,1750	2,1673
0,9125	0,4332	0,5308	0,7359	1,1743	2,1647

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,9160	0,4337	0,5311	0,7359	1,1735	2,1622
0,9195	0,4340	0,5314	0,7359	1,1727	2,1596
0,9230	0,4344	0,5316	0,7358	1,1718	2,1570
0,9265	0,4347	0,5318	0,7356	1,1709	2,1543
0,9300	0,4350	0,5319	0,7354	1,1700	2,1517
0,9335	0,4353	0,5320	0,7352	1,1690	2,1490
0,9370	0,4355	0,5321	0,7349	1,1680	2,1463
0,9405	0,4356	0,5321	0,7346	1,1670	2,1435
0,9440	0,4357	0,5321	0,7343	1,1659	2,1408
0,9475	0,4358	0,5320	0,7339	1,1648	2,1380
0,9510	0,4358	0,5319	0,7334	1,1636	2,1352
0,9545	0,4358	0,5317	0,7330	1,1624	2,1323
0,9580	0,4358	0,5315	0,7324	1,1612	2,1295
0,9615	0,4356	0,5313	0,7319	1,1599	2,1266
0,9650	0,4355	0,5310	0,7313	1,1586	2,1237
0,9685	0,4353	0,5306	0,7306	1,1573	2,1208
0,9720	0,4351	0,5303	0,7299	1,1559	2,1178
0,9755	0,4348	0,5298	0,7291	1,1544	2,1148
0,9790	0,4345	0,5294	0,7284	1,1530	2,1119
0,9825	0,4341	0,5288	0,7275	1,1515	2,1088
0,9860	0,4337	0,5283	0,7266	1,1499	2,1058
0,9895	0,4332	0,5276	0,7257	1,1484	2,1027

**EK-8 HOMOJEN OLMAYAN MALZEME PARAMETRELERİ (BETA) İÇİN İÇİ BOŞ
FDM SİLİNDİRDE RADYAL DEPLASMAN**

Çizelge Ek.5. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında meydana gelen radyal deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=2)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=0)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-1)	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN (BETA=-2)
0,9930	0,4327	0,5270	0,7247	1,1467	2,0996
0,9965	0,4321	0,5263	0,7237	1,1451	2,0965
1,0000	0,4315	0,5255	0,7227	1,1434	2,0934

EK-9 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE BULUNAN OPTİMUM MALZEME PARAMETRELERİ (BETA1, BETA2, BETA3)

Çizelge Ek.6. İçi boş FDM silindİRde $q'''= 5.64$, $P_i= 50$ MPa, $P_o= 0$ şartlarında Tresca Akma kriterine göre [-2,2] aralığında optimum malzeme parametreleri

BETA1	BETA2	BETA3	MAKSİMUM BOYUTSUZ NORMAL GERİLME	MİNİMUM BOYUTSUZ NORMAL GERİLME	MAKSİMUM BOYUTSUZ KAYMA GERİLMESİ
-1,0	2,0	-2,0	-0,0952	-0,2715	0,1763

EK-10 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.7. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
2,0	2,0	2,0	0,4742
2,0	1,0	2,0	0,4678
2,0	0,0	2,0	0,4627
2,0	-1,0	2,0	0,4580
2,0	-2,0	2,0	0,4535
2,0	2,0	1,5	0,4416
2,0	1,0	1,5	0,4304
2,0	0,0	1,5	0,4212
2,0	-1,0	1,5	0,4135
2,0	-2,0	1,5	0,4070
2,0	2,0	1,0	0,4136
2,0	1,0	1,0	0,3987
2,0	0,0	1,0	0,3863
2,0	-1,0	1,0	0,3764
2,0	-2,0	1,0	0,3686
2,0	2,0	0,5	0,3893
2,0	1,0	0,5	0,3714
2,0	0,0	0,5	0,3567
2,0	-1,0	0,5	0,3451
2,0	-2,0	0,5	0,3364
2,0	2,0	0,0	0,3680

EK-10 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.7. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
2,0	1,0	0,0	0,3478
2,0	0,0	0,0	0,3313
2,0	-1,0	0,0	0,3185
2,0	-2,0	0,0	0,3092
1,0	2,0	2,0	0,6669
1,0	1,0	2,0	0,6982
1,0	0,0	2,0	0,7282
1,0	-1,0	2,0	0,7525
1,0	-2,0	2,0	0,7694
1,0	2,0	1,5	0,6123
1,0	1,0	1,5	0,6323
1,0	0,0	1,5	0,6519
1,0	-1,0	1,5	0,6676
1,0	-2,0	1,5	0,6780
1,0	2,0	1,0	0,5661
1,0	1,0	1,0	0,5775
1,0	0,0	1,0	0,5891
1,0	-1,0	1,0	0,5983
1,0	-2,0	1,0	0,6041
1,0	2,0	0,5	0,5266
1,0	1,0	0,5	0,5312

EK-10 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.7. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
1,0	0,0	0,5	0,5367
1,0	-1,0	0,5	0,5411
1,0	-2,0	0,5	0,5435
1,0	2,0	0,0	0,4926
1,0	1,0	0,0	0,4918
1,0	0,0	0,0	0,4926
1,0	-1,0	0,0	0,4932
1,0	-2,0	0,0	0,4931
0,0	2,0	2,0	1,0099
0,0	1,0	2,0	1,1300
0,0	0,0	2,0	1,2499
0,0	-1,0	2,0	1,3543
0,0	-2,0	2,0	1,4355
0,0	2,0	1,5	0,9116
0,0	1,0	1,5	1,0054
0,0	0,0	1,5	1,0987
0,0	-1,0	1,5	1,1793
0,0	-2,0	1,5	1,2414
0,0	2,0	1,0	0,8302
0,0	1,0	1,0	0,9037
0,0	0,0	1,0	0,9766

EK-10 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.7. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
0,0	-1,0	1,0	1,0394
0,0	-2,0	1,0	1,0874
0,0	2,0	0,5	0,7619
0,0	1,0	0,5	0,8195
0,0	0,0	0,5	0,8768
0,0	-1,0	0,5	0,9261
0,0	-2,0	0,5	0,9635
0,0	2,0	0,0	0,7040
0,0	1,0	0,0	0,7490
0,0	0,0	0,0	0,7941
0,0	-1,0	0,0	0,8330
0,0	-2,0	0,0	0,8625
-1,0	2,0	-0,5	0,2917
-1,0	1,0	-0,5	1,0557
-1,0	0,0	-0,5	3,4602
-1,0	-1,0	-0,5	11,0817
-1,0	-2,0	-0,5	35,5226
-1,0	2,0	-1,0	0,2444
-1,0	1,0	-1,0	0,9080
-1,0	0,0	-1,0	2,9997
-1,0	-1,0	-1,0	9,6378

EK-10 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESKA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.7. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
-1,0	-2,0	-1,0	30,9450
-1,0	2,0	-1,5	0,2068
-1,0	1,0	-1,5	0,7905
-1,0	0,0	-1,5	2,6335
-1,0	-1,0	-1,5	8,4899
-1,0	-2,0	-1,5	27,3052
-1,0	2,0	-2,0	0,1763
-1,0	1,0	-2,0	0,6955
-1,0	0,0	-2,0	2,3377
-1,0	-1,0	-2,0	7,5628
-1,0	-2,0	-2,0	24,3649
-2,0	2,0	-0,5	1,2527
-2,0	1,0	-0,5	3,8343
-2,0	0,0	-0,5	12,2829
-2,0	-1,0	-0,5	39,1219
-2,0	-2,0	-0,5	125,1308
-2,0	2,0	-1,0	1,0754
-2,0	1,0	-1,0	3,3358
-2,0	0,0	-1,0	10,7065
-2,0	-1,0	-1,0	34,1291
-2,0	-2,0	-1,0	109,2116

EK-10 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.7. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
-2,0	2,0	-1,5	0,9339
-2,0	1,0	-1,5	2,9381
-2,0	0,0	-1,5	9,4502
-2,0	-1,0	-1,5	30,1514
-2,0	-2,0	-1,5	96,5297
-2,0	2,0	-2,0	0,8194
-2,0	1,0	-2,0	2,6162
-2,0	0,0	-2,0	8,4334
-2,0	-1,0	-2,0	26,9325
-2,0	-2,0	-2,0	86,2670

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,3000	-0,0952	-0,2387	-0,2715	0,1440
0,3035	-0,0969	-0,2388	-0,2741	0,1529
0,3070	-0,0985	-0,2389	-0,2766	0,1617
0,3105	-0,1001	-0,2390	-0,2792	0,1703
0,3140	-0,1016	-0,2390	-0,2817	0,1788
0,3175	-0,1032	-0,2390	-0,2842	0,1871
0,3210	-0,1046	-0,2389	-0,2866	0,1953
0,3245	-0,1061	-0,2388	-0,2890	0,2034
0,3280	-0,1075	-0,2387	-0,2915	0,2113
0,3315	-0,1089	-0,2386	-0,2939	0,2191
0,3350	-0,1102	-0,2384	-0,2962	0,2268
0,3385	-0,1116	-0,2382	-0,2986	0,2344
0,3420	-0,1129	-0,2380	-0,3009	0,2418
0,3455	-0,1141	-0,2377	-0,3032	0,2492
0,3490	-0,1154	-0,2374	-0,3055	0,2564
0,3525	-0,1166	-0,2371	-0,3078	0,2635
0,3560	-0,1178	-0,2367	-0,3100	0,2706
0,3595	-0,1189	-0,2363	-0,3122	0,2775
0,3630	-0,1200	-0,2358	-0,3144	0,2843
0,3665	-0,1211	-0,2354	-0,3166	0,2911
0,3700	-0,1222	-0,2349	-0,3188	0,2977
0,3735	-0,1233	-0,2343	-0,3209	0,3042

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,3770	-0,1243	-0,2338	-0,3230	0,3107
0,3805	-0,1253	-0,2332	-0,3251	0,3171
0,3840	-0,1263	-0,2326	-0,3272	0,3234
0,3875	-0,1272	-0,2319	-0,3292	0,3296
0,3910	-0,1282	-0,2312	-0,3312	0,3357
0,3945	-0,1291	-0,2305	-0,3332	0,3418
0,3980	-0,1300	-0,2297	-0,3352	0,3478
0,4015	-0,1308	-0,2289	-0,3372	0,3537
0,4050	-0,1317	-0,2281	-0,3391	0,3595
0,4085	-0,1325	-0,2272	-0,3410	0,3653
0,4120	-0,1333	-0,2263	-0,3429	0,3710
0,4155	-0,1341	-0,2254	-0,3447	0,3767
0,4190	-0,1348	-0,2244	-0,3465	0,3822
0,4225	-0,1356	-0,2234	-0,3483	0,3877
0,4260	-0,1363	-0,2224	-0,3501	0,3932
0,4295	-0,1370	-0,2213	-0,3519	0,3985
0,4330	-0,1377	-0,2202	-0,3536	0,4039
0,4365	-0,1383	-0,2191	-0,3553	0,4091
0,4400	-0,1390	-0,2179	-0,3570	0,4143
0,4435	-0,1396	-0,2167	-0,3586	0,4194
0,4470	-0,1402	-0,2155	-0,3603	0,4245
0,4505	-0,1408	-0,2142	-0,3619	0,4295

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,4540	-0,1413	-0,2129	-0,3634	0,4345
0,4575	-0,1419	-0,2115	-0,3650	0,4394
0,4610	-0,1424	-0,2101	-0,3665	0,4443
0,4645	-0,1429	-0,2087	-0,3680	0,4491
0,4680	-0,1434	-0,2073	-0,3694	0,4539
0,4715	-0,1439	-0,2058	-0,3708	0,4586
0,4750	-0,1443	-0,2042	-0,3722	0,4632
0,4785	-0,1447	-0,2027	-0,3736	0,4678
0,4820	-0,1452	-0,2011	-0,3749	0,4724
0,4855	-0,1456	-0,1994	-0,3762	0,4769
0,4890	-0,1459	-0,1977	-0,3775	0,4814
0,4925	-0,1463	-0,1960	-0,3787	0,4858
0,4960	-0,1466	-0,1943	-0,3799	0,4901
0,4995	-0,1470	-0,1925	-0,3811	0,4945
0,5030	-0,1473	-0,1906	-0,3823	0,4987
0,5065	-0,1476	-0,1887	-0,3834	0,5030
0,5100	-0,1478	-0,1868	-0,3844	0,5072
0,5135	-0,1481	-0,1848	-0,3855	0,5113
0,5170	-0,1483	-0,1828	-0,3865	0,5154
0,5205	-0,1486	-0,1808	-0,3874	0,5195
0,5240	-0,1488	-0,1787	-0,3884	0,5235
0,5275	-0,1490	-0,1766	-0,3892	0,5275

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,5310	-0,1491	-0,1744	-0,3901	0,5314
0,5345	-0,1493	-0,1722	-0,3909	0,5353
0,5380	-0,1494	-0,1699	-0,3917	0,5391
0,5415	-0,1496	-0,1676	-0,3924	0,5429
0,5450	-0,1497	-0,1653	-0,3931	0,5467
0,5485	-0,1498	-0,1629	-0,3938	0,5504
0,5520	-0,1498	-0,1605	-0,3944	0,5541
0,5555	-0,1499	-0,1580	-0,3949	0,5578
0,5590	-0,1500	-0,1555	-0,3955	0,5614
0,5625	-0,1500	-0,1529	-0,3959	0,5650
0,5660	-0,1500	-0,1503	-0,3964	0,5685
0,5695	-0,1500	-0,1476	-0,3968	0,5720
0,5730	-0,1500	-0,1449	-0,3971	0,5755
0,5765	-0,1499	-0,1421	-0,3974	0,5789
0,5800	-0,1499	-0,1393	-0,3977	0,5823
0,5835	-0,1498	-0,1364	-0,3979	0,5857
0,5870	-0,1497	-0,1335	-0,3980	0,5890
0,5905	-0,1496	-0,1305	-0,3981	0,5922
0,5940	-0,1495	-0,1275	-0,3982	0,5955
0,5975	-0,1493	-0,1244	-0,3982	0,5987
0,6010	-0,1492	-0,1213	-0,3981	0,6019
0,6045	-0,1490	-0,1181	-0,3981	0,6050

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,6080	-0,1488	-0,1149	-0,3979	0,6081
0,6115	-0,1486	-0,1116	-0,3977	0,6112
0,6150	-0,1484	-0,1083	-0,3974	0,6142
0,6185	-0,1482	-0,1049	-0,3971	0,6172
0,6220	-0,1479	-0,1014	-0,3967	0,6201
0,6255	-0,1476	-0,0979	-0,3963	0,6231
0,6290	-0,1474	-0,0943	-0,3958	0,6259
0,6325	-0,1471	-0,0907	-0,3953	0,6288
0,6360	-0,1467	-0,0870	-0,3946	0,6316
0,6395	-0,1464	-0,0833	-0,3940	0,6344
0,6430	-0,1460	-0,0795	-0,3932	0,6372
0,6465	-0,1457	-0,0756	-0,3924	0,6399
0,6500	-0,1453	-0,0717	-0,3916	0,6425
0,6535	-0,1449	-0,0677	-0,3907	0,6452
0,6570	-0,1445	-0,0636	-0,3897	0,6478
0,6605	-0,1440	-0,0595	-0,3886	0,6504
0,6640	-0,1436	-0,0553	-0,3875	0,6529
0,6675	-0,1431	-0,0511	-0,3863	0,6554
0,6710	-0,1426	-0,0468	-0,3850	0,6579
0,6745	-0,1421	-0,0424	-0,3837	0,6604
0,6780	-0,1416	-0,0379	-0,3823	0,6628
0,6815	-0,1410	-0,0334	-0,3808	0,6651

EK-11 $BETA1=-1,0$, $BETA2=2,0$, $BETA3=-2,0$ PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q'''= 5.64$, $P_i= 50$ MPa, $P_o= 0$ şartlarında $Beta1=-1,0$ $Beta2=2,0$, $Beta3=-2,0$ parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,6850	-0,1405	-0,0288	-0,3792	0,6675
0,6885	-0,1399	-0,0242	-0,3776	0,6698
0,6920	-0,1393	-0,0194	-0,3759	0,6721
0,6955	-0,1387	-0,0146	-0,3741	0,6743
0,6990	-0,1380	-0,0098	-0,3722	0,6765
0,7025	-0,1374	-0,0048	-0,3703	0,6787
0,7060	-0,1367	0,0002	-0,3682	0,6808
0,7095	-0,1360	0,0053	-0,3661	0,6829
0,7130	-0,1353	0,0105	-0,3639	0,6850
0,7165	-0,1346	0,0157	-0,3617	0,6870
0,7200	-0,1338	0,0211	-0,3593	0,6890
0,7235	-0,1331	0,0265	-0,3568	0,6910
0,7270	-0,1323	0,0320	-0,3543	0,6929
0,7305	-0,1315	0,0376	-0,3517	0,6948
0,7340	-0,1307	0,0432	-0,3489	0,6967
0,7375	-0,1298	0,0490	-0,3461	0,6985
0,7410	-0,1290	0,0548	-0,3432	0,7003
0,7445	-0,1281	0,0607	-0,3402	0,7021
0,7480	-0,1272	0,0667	-0,3371	0,7038
0,7515	-0,1263	0,0728	-0,3339	0,7055
0,7550	-0,1254	0,0789	-0,3306	0,7072
0,7585	-0,1244	0,0852	-0,3272	0,7088

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,7620	-0,1234	0,0915	-0,3237	0,7104
0,7655	-0,1224	0,0980	-0,3201	0,7120
0,7690	-0,1214	0,1045	-0,3164	0,7135
0,7725	-0,1204	0,1111	-0,3126	0,7150
0,7760	-0,1193	0,1178	-0,3087	0,7164
0,7795	-0,1182	0,1247	-0,3047	0,7178
0,7830	-0,1171	0,1316	-0,3006	0,7192
0,7865	-0,1160	0,1386	-0,2963	0,7206
0,7900	-0,1149	0,1457	-0,2920	0,7219
0,7935	-0,1137	0,1529	-0,2875	0,7231
0,7970	-0,1125	0,1602	-0,2829	0,7244
0,8005	-0,1113	0,1676	-0,2782	0,7256
0,8040	-0,1101	0,1751	-0,2734	0,7268
0,8075	-0,1088	0,1827	-0,2684	0,7279
0,8110	-0,1075	0,1905	-0,2634	0,7290
0,8145	-0,1062	0,1983	-0,2582	0,7301
0,8180	-0,1049	0,2062	-0,2529	0,7311
0,8215	-0,1036	0,2143	-0,2474	0,7321
0,8250	-0,1022	0,2225	-0,2418	0,7330
0,8285	-0,1008	0,2307	-0,2361	0,7339
0,8320	-0,0994	0,2391	-0,2303	0,7348
0,8355	-0,0980	0,2476	-0,2243	0,7357

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,8390	-0,0965	0,2562	-0,2182	0,7365
0,8425	-0,0950	0,2650	-0,2120	0,7372
0,8460	-0,0935	0,2738	-0,2056	0,7380
0,8495	-0,0920	0,2828	-0,1991	0,7387
0,8530	-0,0904	0,2919	-0,1924	0,7393
0,8565	-0,0889	0,3011	-0,1856	0,7400
0,8600	-0,0873	0,3105	-0,1787	0,7405
0,8635	-0,0856	0,3199	-0,1716	0,7411
0,8670	-0,0840	0,3295	-0,1644	0,7416
0,8705	-0,0823	0,3392	-0,1570	0,7421
0,8740	-0,0806	0,3491	-0,1494	0,7425
0,8775	-0,0788	0,3591	-0,1417	0,7429
0,8810	-0,0771	0,3692	-0,1338	0,7432
0,8845	-0,0753	0,3794	-0,1258	0,7435
0,8880	-0,0735	0,3898	-0,1176	0,7438
0,8915	-0,0716	0,4004	-0,1093	0,7441
0,8950	-0,0698	0,4110	-0,1008	0,7442
0,8985	-0,0679	0,4218	-0,0921	0,7444
0,9020	-0,0660	0,4328	-0,0833	0,7445
0,9055	-0,0640	0,4438	-0,0743	0,7446
0,9090	-0,0620	0,4551	-0,0651	0,7446
0,9125	-0,0600	0,4665	-0,0557	0,7446

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirde $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,9160	-0,0580	0,4780	-0,0462	0,7446
0,9195	-0,0559	0,4897	-0,0365	0,7445
0,9230	-0,0538	0,5015	-0,0266	0,7444
0,9265	-0,0517	0,5135	-0,0165	0,7442
0,9300	-0,0496	0,5256	-0,0063	0,7440
0,9335	-0,0474	0,5379	0,0042	0,7438
0,9370	-0,0452	0,5503	0,0148	0,7435
0,9405	-0,0429	0,5629	0,0256	0,7431
0,9440	-0,0407	0,5757	0,0366	0,7428
0,9475	-0,0384	0,5886	0,0478	0,7423
0,9510	-0,0360	0,6017	0,0593	0,7419
0,9545	-0,0337	0,6150	0,0709	0,7414
0,9580	-0,0313	0,6284	0,0827	0,7408
0,9615	-0,0289	0,6420	0,0947	0,7403
0,9650	-0,0264	0,6557	0,1069	0,7396
0,9685	-0,0239	0,6697	0,1193	0,7389
0,9720	-0,0214	0,6838	0,1320	0,7382
0,9755	-0,0188	0,6981	0,1448	0,7375
0,9790	-0,0162	0,7125	0,1579	0,7367
0,9825	-0,0136	0,7272	0,1712	0,7358
0,9860	-0,0110	0,7420	0,1847	0,7349
0,9895	-0,0083	0,7570	0,1984	0,7340

EK-11 BETA1=-1,0 , BETA2=2,0 , BETA3=-2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ VE RADYAL DEPLASMAN

Çizelge Ek.8. İçi boş FDM silindirin $q''' = 5.64$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=-1,0 Beta2=2,0 , Beta3=-2,0 parametreleri için boyutsuz gerilmeler ve deplasman

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME	BOYUTSUZ RADYAL DEPLASMAN
0,9930	-0,0056	0,7722	0,2124	0,7330
0,9965	-0,0028	0,7876	0,2265	0,7320
1,0000	0,0000	0,8032	0,2410	0,7309

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q'''=0$, $P_i=50$ MPa, $P_o=0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,3000	-0,0952	0,2610	0,0497
0,3035	-0,0912	0,2501	0,0477
0,3070	-0,0874	0,2398	0,0457
0,3105	-0,0837	0,2301	0,0439
0,3140	-0,0803	0,2208	0,0422
0,3175	-0,0770	0,2120	0,0405
0,3210	-0,0739	0,2037	0,0389
0,3245	-0,0710	0,1957	0,0374
0,3280	-0,0682	0,1882	0,0360
0,3315	-0,0655	0,1810	0,0347
0,3350	-0,0629	0,1742	0,0334
0,3385	-0,0605	0,1677	0,0322
0,3420	-0,0582	0,1615	0,0310
0,3455	-0,0560	0,1556	0,0299
0,3490	-0,0539	0,1500	0,0288
0,3525	-0,0519	0,1446	0,0278
0,3560	-0,0500	0,1395	0,0268
0,3595	-0,0482	0,1346	0,0259
0,3630	-0,0465	0,1299	0,0250
0,3665	-0,0448	0,1254	0,0242
0,3700	-0,0432	0,1211	0,0234
0,3735	-0,0417	0,1171	0,0226

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,3770	-0,0402	0,1131	0,0219
0,3805	-0,0388	0,1094	0,0212
0,3840	-0,0375	0,1058	0,0205
0,3875	-0,0362	0,1023	0,0198
0,3910	-0,0350	0,0990	0,0192
0,3945	-0,0338	0,0959	0,0186
0,3980	-0,0327	0,0928	0,0180
0,4015	-0,0316	0,0899	0,0175
0,4050	-0,0306	0,0871	0,0170
0,4085	-0,0296	0,0844	0,0165
0,4120	-0,0286	0,0819	0,0160
0,4155	-0,0277	0,0794	0,0155
0,4190	-0,0268	0,0770	0,0151
0,4225	-0,0260	0,0747	0,0146
0,4260	-0,0252	0,0725	0,0142
0,4295	-0,0244	0,0704	0,0138
0,4330	-0,0236	0,0683	0,0134
0,4365	-0,0229	0,0664	0,0130
0,4400	-0,0222	0,0645	0,0127
0,4435	-0,0215	0,0626	0,0123
0,4470	-0,0209	0,0609	0,0120
0,4505	-0,0202	0,0592	0,0117

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q'''=0$, $P_i=50$ MPa, $P_o=0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,4540	-0,0196	0,0576	0,0114
0,4575	-0,0190	0,0560	0,0111
0,4610	-0,0185	0,0545	0,0108
0,4645	-0,0179	0,0530	0,0105
0,4680	-0,0174	0,0516	0,0102
0,4715	-0,0169	0,0502	0,0100
0,4750	-0,0164	0,0489	0,0097
0,4785	-0,0159	0,0476	0,0095
0,4820	-0,0155	0,0464	0,0093
0,4855	-0,0150	0,0452	0,0090
0,4890	-0,0146	0,0440	0,0088
0,4925	-0,0142	0,0429	0,0086
0,4960	-0,0138	0,0418	0,0084
0,4995	-0,0134	0,0408	0,0082
0,5030	-0,0130	0,0398	0,0080
0,5065	-0,0127	0,0388	0,0078
0,5100	-0,0123	0,0378	0,0077
0,5135	-0,0120	0,0369	0,0075
0,5170	-0,0117	0,0360	0,0073
0,5205	-0,0113	0,0352	0,0071
0,5240	-0,0110	0,0343	0,0070
0,5275	-0,0107	0,0335	0,0068

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,5310	-0,0104	0,0327	0,0067
0,5345	-0,0102	0,0320	0,0065
0,5380	-0,0099	0,0312	0,0064
0,5415	-0,0096	0,0305	0,0063
0,5450	-0,0094	0,0298	0,0061
0,5485	-0,0091	0,0291	0,0060
0,5520	-0,0089	0,0285	0,0059
0,5555	-0,0087	0,0279	0,0058
0,5590	-0,0084	0,0272	0,0056
0,5625	-0,0082	0,0266	0,0055
0,5660	-0,0080	0,0261	0,0054
0,5695	-0,0078	0,0255	0,0053
0,5730	-0,0076	0,0249	0,0052
0,5765	-0,0074	0,0244	0,0051
0,5800	-0,0072	0,0239	0,0050
0,5835	-0,0070	0,0234	0,0049
0,5870	-0,0068	0,0229	0,0048
0,5905	-0,0067	0,0224	0,0047
0,5940	-0,0065	0,0220	0,0046
0,5975	-0,0063	0,0215	0,0046
0,6010	-0,0062	0,0211	0,0045
0,6045	-0,0060	0,0206	0,0044

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,6080	-0,0059	0,0202	0,0043
0,6115	-0,0057	0,0198	0,0042
0,6150	-0,0056	0,0194	0,0042
0,6185	-0,0054	0,0190	0,0041
0,6220	-0,0053	0,0187	0,0040
0,6255	-0,0051	0,0183	0,0039
0,6290	-0,0050	0,0179	0,0039
0,6325	-0,0049	0,0176	0,0038
0,6360	-0,0048	0,0173	0,0037
0,6395	-0,0047	0,0169	0,0037
0,6430	-0,0045	0,0166	0,0036
0,6465	-0,0044	0,0163	0,0036
0,6500	-0,0043	0,0160	0,0035
0,6535	-0,0042	0,0157	0,0034
0,6570	-0,0041	0,0154	0,0034
0,6605	-0,0040	0,0151	0,0033
0,6640	-0,0039	0,0149	0,0033
0,6675	-0,0038	0,0146	0,0032
0,6710	-0,0037	0,0143	0,0032
0,6745	-0,0036	0,0141	0,0031
0,6780	-0,0035	0,0138	0,0031
0,6815	-0,0034	0,0136	0,0030

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,6850	-0,0033	0,0133	0,0030
0,6885	-0,0033	0,0131	0,0030
0,6920	-0,0032	0,0129	0,0029
0,6955	-0,0031	0,0127	0,0029
0,6990	-0,0030	0,0124	0,0028
0,7025	-0,0029	0,0122	0,0028
0,7060	-0,0029	0,0120	0,0027
0,7095	-0,0028	0,0118	0,0027
0,7130	-0,0027	0,0116	0,0027
0,7165	-0,0027	0,0114	0,0026
0,7200	-0,0026	0,0112	0,0026
0,7235	-0,0025	0,0111	0,0026
0,7270	-0,0025	0,0109	0,0025
0,7305	-0,0024	0,0107	0,0025
0,7340	-0,0023	0,0105	0,0025
0,7375	-0,0023	0,0104	0,0024
0,7410	-0,0022	0,0102	0,0024
0,7445	-0,0022	0,0100	0,0024
0,7480	-0,0021	0,0099	0,0023
0,7515	-0,0020	0,0097	0,0023
0,7550	-0,0020	0,0096	0,0023
0,7585	-0,0019	0,0094	0,0022

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,7620	-0,0019	0,0093	0,0022
0,7655	-0,0018	0,0091	0,0022
0,7690	-0,0018	0,0090	0,0022
0,7725	-0,0017	0,0089	0,0021
0,7760	-0,0017	0,0087	0,0021
0,7795	-0,0016	0,0086	0,0021
0,7830	-0,0016	0,0085	0,0021
0,7865	-0,0015	0,0083	0,0020
0,7900	-0,0015	0,0082	0,0020
0,7935	-0,0015	0,0081	0,0020
0,7970	-0,0014	0,0080	0,0020
0,8005	-0,0014	0,0079	0,0019
0,8040	-0,0013	0,0077	0,0019
0,8075	-0,0013	0,0076	0,0019
0,8110	-0,0013	0,0075	0,0019
0,8145	-0,0012	0,0074	0,0019
0,8180	-0,0012	0,0073	0,0018
0,8215	-0,0012	0,0072	0,0018
0,8250	-0,0011	0,0071	0,0018
0,8285	-0,0011	0,0070	0,0018
0,8320	-0,0010	0,0069	0,0018
0,8355	-0,0010	0,0068	0,0017

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,8390	-0,0010	0,0067	0,0017
0,8425	-0,0010	0,0066	0,0017
0,8460	-0,0009	0,0066	0,0017
0,8495	-0,0009	0,0065	0,0017
0,8530	-0,0009	0,0064	0,0017
0,8565	-0,0008	0,0063	0,0016
0,8600	-0,0008	0,0062	0,0016
0,8635	-0,0008	0,0061	0,0016
0,8670	-0,0007	0,0061	0,0016
0,8705	-0,0007	0,0060	0,0016
0,8740	-0,0007	0,0059	0,0016
0,8775	-0,0007	0,0058	0,0015
0,8810	-0,0006	0,0058	0,0015
0,8845	-0,0006	0,0057	0,0015
0,8880	-0,0006	0,0056	0,0015
0,8915	-0,0006	0,0055	0,0015
0,8950	-0,0005	0,0055	0,0015
0,8985	-0,0005	0,0054	0,0015
0,9020	-0,0005	0,0053	0,0015
0,9055	-0,0005	0,0053	0,0014
0,9090	-0,0005	0,0052	0,0014
0,9125	-0,0004	0,0051	0,0014

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,9160	-0,0004	0,0051	0,0014
0,9195	-0,0004	0,0050	0,0014
0,9230	-0,0004	0,0050	0,0014
0,9265	-0,0003	0,0049	0,0014
0,9300	-0,0003	0,0049	0,0014
0,9335	-0,0003	0,0048	0,0013
0,9370	-0,0003	0,0047	0,0013
0,9405	-0,0003	0,0047	0,0013
0,9440	-0,0003	0,0046	0,0013
0,9475	-0,0002	0,0046	0,0013
0,9510	-0,0002	0,0045	0,0013
0,9545	-0,0002	0,0045	0,0013
0,9580	-0,0002	0,0044	0,0013
0,9615	-0,0002	0,0044	0,0013
0,9650	-0,0001	0,0043	0,0013
0,9685	-0,0001	0,0043	0,0012
0,9720	-0,0001	0,0042	0,0012
0,9755	-0,0001	0,0042	0,0012
0,9790	-0,0001	0,0041	0,0012
0,9825	-0,0001	0,0041	0,0012
0,9860	-0,0001	0,0041	0,0012
0,9895	0,0000	0,0040	0,0012

EK-12 BETA1=2,0 , BETA2=-2,0 , BETA3=2,0 PARAMETRELERİ İÇİN İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE MEYDANA GELEN GERİLME BİLEŞENLERİ

Çizelge Ek.9. İçi boş FDM silindirde, $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Beta1=2,0 Beta2=-2,0 , Beta3=2,0 parametreleri için, meydana gelen boyutsuz gerilmeler

BOYUTSUZ RADYAL KOORDİNAT	BOYUTSUZ RADYAL GERİLME	BOYUTSUZ TEĞETSEL GERİLME	BOYUTSUZ EKSENEL GERİLME
0,9930	0,0000	0,0040	0,0012
0,9965	0,0000	0,0039	0,0012
1,0000	0,0000	0,0039	0,0012

EK-13 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.10. İçi boş FDM silindirde $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
2,0	2,0	2,0	0,0611
2,0	1,0	2,0	0,0360
2,0	0,0	2,0	0,0190
2,0	-1,0	2,0	0,0090
2,0	-2,0	2,0	0,0039
2,0	2,0	1,5	0,0611
2,0	1,0	1,5	0,0360
2,0	0,0	1,5	0,0190
2,0	-1,0	1,5	0,0090
2,0	-2,0	1,5	0,0039
2,0	2,0	1,0	0,0611
2,0	1,0	1,0	0,0360
2,0	0,0	1,0	0,0190
2,0	-1,0	1,0	0,0090
2,0	-2,0	1,0	0,0039
2,0	2,0	0,5	0,0611
2,0	1,0	0,5	0,0360
2,0	0,0	0,5	0,0190
2,0	-1,0	0,5	0,0090
2,0	-2,0	0,5	0,0039
2,0	2,0	0,0	0,0611

EK-13 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.10. İçi boş FDM silindirde $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
2,0	1,0	0,0	0,0360
2,0	0,0	0,0	0,0190
2,0	-1,0	0,0	0,0090
2,0	-2,0	0,0	0,0039
1,0	2,0	2,0	0,0611
1,0	1,0	2,0	0,0360
1,0	0,0	2,0	0,0190
1,0	-1,0	2,0	0,0090
1,0	-2,0	2,0	0,0039
1,0	2,0	1,5	0,0611
1,0	1,0	1,5	0,0360
1,0	0,0	1,5	0,0190
1,0	-1,0	1,5	0,0090
1,0	-2,0	1,5	0,0039
1,0	2,0	1,0	0,0611
1,0	1,0	1,0	0,0360
1,0	0,0	1,0	0,0190
1,0	-1,0	1,0	0,0090
1,0	-2,0	1,0	0,0039
1,0	2,0	0,5	0,0611
1,0	1,0	0,5	0,0360

EK-13 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESKA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.10. İçi boş FDM silindirde $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
1,0	0,0	0,5	0,0190
1,0	-1,0	0,5	0,0090
1,0	-2,0	0,5	0,0039
1,0	2,0	0,0	0,0611
1,0	1,0	0,0	0,0360
1,0	0,0	0,0	0,0190
1,0	-1,0	0,0	0,0090
1,0	-2,0	0,0	0,0039
0,0	2,0	2,0	0,0611
0,0	1,0	2,0	0,0360
0,0	0,0	2,0	0,0190
0,0	-1,0	2,0	0,0090
0,0	-2,0	2,0	0,0039
0,0	2,0	1,5	0,0611
0,0	1,0	1,5	0,0360
0,0	0,0	1,5	0,0190
0,0	-1,0	1,5	0,0090
0,0	-2,0	1,5	0,0039
0,0	2,0	1,0	0,0611
0,0	1,0	1,0	0,0360
0,0	0,0	1,0	0,0190

EK-13 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.10. İçi boş FDM silindirde $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
0,0	-1,0	1,0	0,0090
0,0	-2,0	1,0	0,0039
0,0	2,0	0,5	0,0611
0,0	1,0	0,5	0,0360
0,0	0,0	0,5	0,0190
0,0	-1,0	0,5	0,0090
0,0	-2,0	0,5	0,0039
0,0	2,0	0,0	0,0611
0,0	1,0	0,0	0,0360
0,0	0,0	0,0	0,0190
0,0	-1,0	0,0	0,0090
0,0	-2,0	0,0	0,0039
-1,0	2,0	-0,5	0,1183
-1,0	1,0	-0,5	0,1554
-1,0	0,0	-0,5	0,2087
-1,0	-1,0	-0,5	0,2769
-1,0	-2,0	-0,5	0,3562
-1,0	2,0	-1,0	0,1183
-1,0	1,0	-1,0	0,1554
-1,0	0,0	-1,0	0,2087
-1,0	-1,0	-1,0	0,2769

EK-13 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.10. İçi boş FDM silindirde $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
-1,0	-2,0	-1,0	0,3562
-1,0	2,0	-1,5	0,1183
-1,0	1,0	-1,5	0,1554
-1,0	0,0	-1,5	0,2087
-1,0	-1,0	-1,5	0,2769
-1,0	-2,0	-1,5	0,3562
-1,0	2,0	-2,0	0,1183
-1,0	1,0	-2,0	0,1554
-1,0	0,0	-2,0	0,2087
-1,0	-1,0	-2,0	0,2769
-1,0	-2,0	-2,0	0,3562
-2,0	2,0	-0,5	0,1183
-2,0	1,0	-0,5	0,1554
-2,0	0,0	-0,5	0,2087
-2,0	-1,0	-0,5	0,2769
-2,0	-2,0	-0,5	0,3562
-2,0	2,0	-1,0	0,1183
-2,0	1,0	-1,0	0,1554
-2,0	0,0	-1,0	0,2087
-2,0	-1,0	-1,0	0,2769
-2,0	-2,0	-1,0	0,3562

EK-13 İÇİ BOŞ FDM SİLİNDİRDE TRESCA AKMA KRİTERİNE GÖRE [-2,2] ARALIĞINDA TANIMLI BETA1, BETA2, BETA3 İÇİN BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ

Çizelge Ek.10. İçi boş FDM silindirde $q''' = 0$, $P_i = 50$ MPa, $P_o = 0$ şartlarında Tresca Akma Kriterine göre bulunan Boyutsuz Maksimum Kayma Gerilmeleri

BETA1	BETA2	BETA3	BOYUTSUZ MAKSİMUM KAYMA GERİLMELERİ
-2,0	2,0	-1,5	0,1183
-2,0	1,0	-1,5	0,1554
-2,0	0,0	-1,5	0,2087
-2,0	-1,0	-1,5	0,2769
-2,0	-2,0	-1,5	0,3562
-2,0	2,0	-2,0	0,1183
-2,0	1,0	-2,0	0,1554
-2,0	0,0	-2,0	0,2087
-2,0	-1,0	-2,0	0,2769
-2,0	-2,0	-2,0	0,3562

ÖZGEÇMİŞ

Celal EVCI 1971 yılında Sivas'da doğmuştur. İlk öğretimi Sivas'da tamamlamış, lise öğrenimine Maltepe Askeri Lisesinde devam etmiştir. 1989 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başlamış ve 1993 yılında Makine Mühendisi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl MSB Diyarbakır İnşaat Emlak Başkanlığına tayin olmuştur. 1998 yılında ise MSB Ankara İnşaat Emlak Başkanlığına ataması yapılmış ve 2001 yılına kadar burada görev yapmıştır. Bu süreç içerisinde Diyarbakır'da Makine Mühendisliğinin yüksek lisans programı olmaması, sonrasında ise yoğun iş temposu nedeniyle yüksek lisans öğrenim fırsatı bulamamıştır. 2001 yılında 1011nci Ordudonatım Ana Tamir Fabrika Müdürlüğüne, 2003 yılında da Kara Harp Okulu Komutanlığına atama görmüştür. Evli ve bir çocuk babası olan Celal EVCI, Kara Harp Okulu Komutanlığında Öğretim elemanı olarak görevine devam etmektedir.

