KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALIN DUVARLI SİLİNDİRLERİN VE DÖNEN DİSKLERİN GELİŞTİRİLMİŞ ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE EKSENELSİMETRİK DEFORMASYON ANALİZLERİ

ZUHAL ELİF KARA

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALIN DUVARLI SİLİNDİRLERİN VE DÖNEN DİSKLERİN GELİŞTİRİLMİŞ ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE EKSENEL SİMETRİK DEFORMASYON ANALİZLERİ

ZUHAL ELİF KARA

Prof. Dr. Safa Bozkurt COŞKUN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ERDOĞAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK
Jüri Üyesi, Hacettepe Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 29.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgi, tecrübe ve desteğini benden esirgemeyen, kıymetli zamanını bana ayıran, saygıdeğer tez danışmanım Prof.Dr. Safa Bozkurt ÇOŞKUN'a ve diğer hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca beni her anlamda destekleyen ve gururlandıran başta babam Doğan KARA olmak üzere bütün aileme sonsuz teşekkürler.

Haziran – 2018 Zuhal Elif KARA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
GİRİŞ 1
1.SABİT KALINLIKLI EKSENEL SİMETRİK YÜKLÜ ELEMANLAR 3
1.1. Kalın Duvarlı Silindir 3
1.2. Dönen Disk 6
2.ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER 9
2.1. Adomian Ayrıştırma Yöntemi 10
2.2. Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi 12
3.PROBLEMLER 14
3.1. Kalın Duvarlı Silindir Problemi 14
3.2. Dönen Disk Problemi 19
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 23
KAYNAKLAR 24
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 27
ÖZGEÇMİŞ 28

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İç ve dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindir 4
Şekil 1.2. Dönen Disk 6
Şekil 3.1. Sadece iç basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde radyal gerilmenin (σr) kıyaslanması 16
Şekil 3.2. Sadece iç basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde çembersel gerilmenin (σθ) kıyaslanması 16
Şekil 3.3. Sadece iç basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde deformasyonun kıyaslanması 16
Şekil 3.4. Sadece dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde radyal gerilmenin (σr) kıyaslanması 17
Şekil 3.5. Sadece dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde çembersel gerilmenin (σθ) kıyaslanması 18
Şekil 3.6. Sadece dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde deformasyonun kıyaslanması 18
Şekil 3.7. Dönen bir diskte radyal gerilmenin (σr) kıyaslanması 21
Şekil 3.8. Dönen bir diskte çembersel gerilmenin (σθ) kıyaslanması 21
Şekil 3.9. Dönen bir diskte deformasyonun kıyaslanması 21

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

E : Young modülü
p_i : İç basınç, (N/m^2)
p_o : Dış basınç, (N/m^2)
R : Yarıçap, (m)
U : Çözümü gerçekleştirilen fonksiyon
ε : Şekil değiştirme
μ : Poisson oranı
σ_r : Radyal gerilme
σ_θ : Çembersel gerilme
$L^{-1}{}_{xx}$: Ters operatör
ρ : Yoğunluk, (kg/m^3)
ω : Açısal hız, (rad/saniye)

Kısaltmalar

AAY : Adomian Ayrıştırma Yöntemi

KALIN DUVARLI SİLİNDİRLERİN VE DÖNEN DİSKLERİN GELİŞTİRİLMİŞ ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE EKSENEL SİMETRİK DEFORMASYON ANALİZLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, mühendislik mekaniğinde bulunan ve tekil diferansiyel denklem ile yönetilen bir problem geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi ile çözülmüştür. Bu teknik daha önce uygulamalı matematik alanında birçok farklı problemin çözümünde kullanılmıştır. Yazar, matematiksel tekniğin kullanımını mevcut probleme uyarlamıştır ve sonuçlar Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi'nin kalın duvarlı silindirlerin ve dönen disklerin eksenel simetrik deformasyon probleminin analizinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Adomian Ayrıştırma Yöntemi, Deformasyon, Dönen Disk, Gerilme, Kalın Duvarlı Silindir.

AXISYMMETRIC DEFORMATION ANALYSIS OF THICK-WALLED CYLINDERS AND ROTATING DISKS USING IMPROVED ADOMIAN DECOMPOSITION METHOD

ABSTRACT

In this study, a problem arising in engineering mechanics governed by a singular differential equation is solved using an Improved Adomian Decomposition Method. The technique was previously used in literature for many different problems in applied mathematics. Author extend the use of the mathematical technique to presented problem and the results show that Improved Adomian Decomposition Method can be successfully used in the axisymmetric deformation and stres analysis of thick-walled cylinders and rotating disks.

Keywords: Adomian Decomposition Method, Deformation, Rotating Disk, Stress, Thick-Walled Cylinder.

GİRİŞ

Kalın duvarlı silindirlerin kimya ve petrol endüstrileri, askeri sanayi gibi oldukça geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Bununla birlikte nükleer güç santrallerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalın duvarlı silindirler genellikle değişken veya sabit yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalmaktadırlar. Kalın duvarlı silindirlerin uygulama alanları genel itibariyle; metalurjik faaliyetler, proses tesisleri, hava kompresör üniteleri, pnömatik rezervuarlar, hidrolik tanklar ve bütan, LPG gibi gazların depolanmasında kullanılan yüksek basınçlı reaktör kanallarıdır.

Dönen diskler tribün, jeneratör, fren diski ve çark gibi kritik elemanlar, uzay yapıları, uçak, gemi ve otomobil aksamları, çeşitli elektronik bileşenler gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dönen disklerin gerilme analizleri de kalın duvarlı silindirler gibi, mühendislik alanında uzun yıllardan beri önemli bir çalışma alanı olmuştur.

Adomian Ayrıştırma Yöntemi (AAY), ilk olarak Amerikalı bilim adamı George Adomian tarafından 1980'li yılların başında geliştirilmiştir. Bu yöntemin en önemli avantajı, çözümün analitik bir ifade olarak elde edilebilmesi ve çözümün hızlı şekilde yakınsamasıdır. Adomian Ayrıştırma Yöntemi, adi ve kısmi türevli diferansiyel denklemlere, integral denklemlere uygulanarak analitik ifadeler yardımıyla yaklaşık analitik çözümlerin elde edilmesini sağlamaktadır. AAY'de çözümler seri formunda elde edilir.

Adomian ayrıştırma yöntemi ile ilgili önemli çalışmaları olan Daniel Lesnic, daha sonra Dirichlet problemini çözmek için Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi'ni geliştirmiştir. Konunun detayları ve ilgili atıflar ilgili bölümlerde verilmektedir. Kalın duvarlı silindir, dönen disk ve AdomianAyrıştımaYöntemi'yle alakalı literatürde atıf yapılan çalışmalar, konuya ait başlıkların altında verilmiştir.

Bu çalışma kalın duvarlı silindirlerin ve dönen disklerin eksenel simetrik deformasyon ve gerilme analizlerini içermektedir. İlk olarak kalın duvarlı silindir ve dönen disk konuları ve bu konulara ait teori kısaca açıklanmıştır. Ardından Adomian

Ayrıştırma Yöntemi ve Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak Adomian Ayrıştırma Yöntemi tezin konusu olan mühendislik problemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler üzerinde kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan yöntemin, uygulaması gerçekleştirilen problem açısından performansı hakkındaki değerlendirme sonuç bölümünde verilmektedir.

1.SABİT KALINLIKLI EKSENEL SİMETRİK YÜKLÜ ELEMANLAR

Bu kategoride yer alan ve tezde ele alınan kalın duvarlı silindir problemi ile dönen disk problemine ait aşağıda verilmekte olan analitik çözümler ve açıklamalar Ugural ve Fenster'e ait ileri mukavemet ve uygulamalı elastisite üzerine kitaptan yararlanılarak verilecektir [1].

1.1.Kalın Duvarlı Silindir

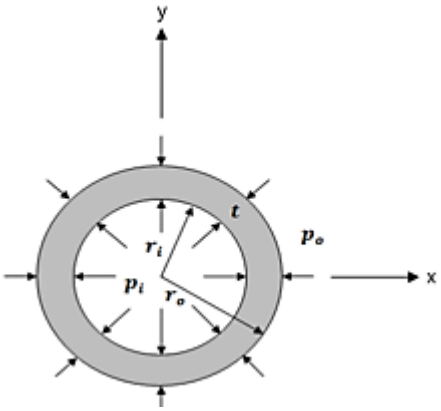
Hidrolik sistemlerin ana bileşeni silindirdir. Silindirlerin ağır yapı ekipmanlarında, petrol ve kimya endüstrilerinde kullanımı oldukça yaygındır. Kalın duvarlı silindirlerde gerilme analizleri, basınçlı kap, hidrolik silindirler, silah yapımı gibi birçok alanda da ciddi bir öneme sahiptir.

Mühendislikte de büyük önem teşkil eden dairesel silindirler, genellikle ince duvarlı ve kalın duvarlı olmak üzere iki grupta incelenirler. İnce duvarlı silindirler, belirli sınırlar içerisinde kalınlıkla değişmeyen çembersel gerilmenin meydana geldiği silindirler olarak tanımlanır. Aşağıda ince duvarlı silindirlerin iç basınca maruz kaldıkları durumda uygulanan denklem verilmiştir,

$$\sigma_\theta = \frac{pr}{t} \tag{1.1}$$

Denklem (1.1)'de, p iç basıncı, r yarıçapı, t ise kalınlığı ifade eder. Eğer duvar kalınlığı iç yarıçapının %10'undan fazlaysa bu silindir genellikle kalın duvarlı kabul edilir ve gerilmenin yarıçapla değişimi ihmal edilemez.

Şekil 1.1.'de açık uçlu kalın duvarlı bir silindir gösterilmektedir. Bu silindirin iç yarıçapının r_i , dış yarıçapının r_o olduğu, (P_i) iç basıncına ve/veya (P_o) dış basıncına maruz kaldığı ve $\sigma_z = 0$ olduğu durumu düşünelim.



Şekil 1.1. İç ve dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindir

Kalın duvarlı elastik silindirin eksenel simetrik iç veya dış başınca maruz kaldığı durumda meydana gelen deformasyon z eksenine göre simetriktir ve böylece σ_r ve σ_θ gerilmeleri sadece r'ye bağlı fonksiyonlardır, denge denklemi ile yerdeğiştirme-şekil değiştirme ilişkileri aşağıda verilmektedir.

$$\frac{\partial\sigma_r}{\partial r}+\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}=0 \tag{1.2}$$

$$\varepsilon_r=\frac{du}{dr}, \qquad \varepsilon_0=\frac{u}{r}, \qquad \gamma_{r\theta}=0 \tag{1.3}$$

Hooke kanununa göre ise aşağıdaki gerilme-yer değiştirme ilişkileri elde edilir.

$$\frac{du}{dr}=\frac{1}{E}(\sigma_r-\mu\sigma_\theta) \tag{1.4}$$

$$\frac{u}{r}=\frac{1}{E}(\sigma_\theta-\mu\sigma_r) \tag{1.5}$$

Denklemler (1.3) – (1.5) yardımıyla σ_r ve σ_θ ise aşağıdaki formu alır.

$$\sigma_r=\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_r+\mu\varepsilon_\theta)=\frac{E}{1-\mu^2}\left(\frac{du}{dr}+\mu\frac{u}{r}\right) \tag{1.6}$$

$$\sigma_\theta=\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_\theta+\mu\varepsilon_r)=\frac{E}{1-\mu^2}\left(\frac{u}{r}+\mu\frac{du}{dr}\right) \tag{1.7}$$

Denklem (1.6) ve Denklem (1.7)'yi Denklem (1.2)'de yerine yazdığımızda denge denklemini yerdeğiştirmeler cinsinden aşağıdaki formda elde ederiz.

$$\frac{d^2u}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{du}{dr}-\frac{u}{r^2}=0 \tag{1.8}$$

Denklem (1.8) için analitik çözüm aşağıdaki formda yazılabilir.

$$u= C_1 r+ \frac{C_2}{r} \tag{1.9}$$

Analitik çözüm Denklem (1.9), Denklem (1.6) ve Denklem (1.7)'de yerine yazılırsa radyal gerilme ve çembersel gerilme,c_1 ve c_2 integrasyon sabitleri ile birlikte aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\sigma_r=\frac{E}{1-\mu^2}\left[C_1(1+\mu)-C_2(1-\mu)\frac{1}{r^2}\right] \tag{1.10}$$

$$\sigma_\theta=\frac{E}{1-\mu^2}\left[C_1(1+\mu)+C_2(1-\mu)\frac{1}{r^2}\right] \tag{1.11}$$

İç basınç P_i ve dış basınç P_o'a maruz kalan silindirin sınır koşulları aşağıdaki gibidir;

$a \leq r \leq b$ olmak üzere;

$$\sigma_{r\ r=a}= -p_i, \quad \sigma_{r\ r=b}= - p_o \tag{1.12}$$

Denklem (1.12)'de verilen sınır koşullarının Denklem (1.10)'a uygulanması ile integral sabitleri aşağıdaki formu alır.

$$C_1= \frac{1-\mu}{E}\left(\frac{a^2P_i-b^2P_o}{b^2-a^2}\right) \tag{1.13}$$

$$C_2= \frac{1+\mu}{E}\left(\frac{a^2b^2(P_i-P_o)}{b^2-a^2}\right) \tag{1.14}$$

Denklem (1.13) ve Denklem (1.14)'te verilen integral sabitleri Denklemler (1.9) – (1.11)'de yerine yazılırsa, yerdeğiştirme ve gerilmeler aşağıdaki gibi elde edilirler.

$$\sigma_r =\frac{P_ia^2-P_ob^2}{b^2-a^2} - \frac{a^2b^2}{r^2}\frac{P_i-P_o}{b^2-a^2} \tag{1.15}$$

$$\sigma_\theta =\frac{P_ia^2-P_ob^2}{b^2-a^2} + \frac{a^2b^2}{r^2}\frac{P_i-P_o}{b^2-a^2} \tag{1.16}$$

$$u=\frac{1-\mu}{E}\frac{(P_ia^2-P_ob^2)r}{b^2-a^2} + \frac{1+\mu}{E}\frac{(P_i-P_o)a^2b^2}{(b^2-a^2)r} \tag{1.17}$$

Eğer silindir üzerinde sadece içi basınç etkili ise, Denklemler (1.15) – (1.17)'de, $P_o = 0$ yerine konarak;

$$\sigma_r = \frac{P_i a^2}{b^2-a^2}\left(1-\frac{b^2}{r^2}\right) \tag{1.18}$$

$$\sigma_\theta = \frac{P_i a^2}{b^2-a^2}\left(1+\frac{b^2}{r^2}\right) \tag{1.19}$$

$$u = \frac{a^2 P_i r}{E\left(b^2-a^2\right)}\left[(1-\mu)+(1+\mu)\frac{b^2}{r^2}\right] \tag{1.20}$$

ifadeleri elde edilir.

Eğer silindir üzerinde sadece içi basınç etkili ise, Denklemler (1.15) – (1.17)'de bu sefer de $P_i=0$ yerine konarak yerdeğiştirme ve gerilmeler aşağıda verildiği hale gelirler.

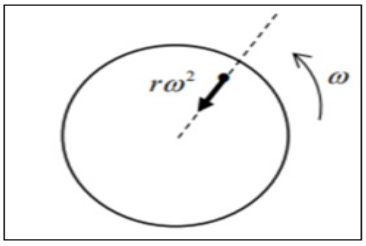
$$\sigma_r = -\frac{P_o b^2}{b^2-a^2}\left(1-\frac{a^2}{r^2}\right) \tag{1.21}$$

$$\sigma_\theta = -\frac{P_o b^2}{b^2-a^2}\left(1+\frac{a^2}{r^2}\right) \tag{1.22}$$

$$u = -\frac{b^2 P_o r}{E\left(b^2-a^2\right)}\left[(1-\mu)+(1+\mu)\frac{a^2}{r^2}\right] \tag{1.23}$$

1.2. Dönen Disk

Sabit bir ω açısal hızıyla dönen ve Şekil 1.2'deki gibi $a_r = -r\omega^2$ merkezcil ivmeye sahip ince bir disk ele alınsın. Burada a_r diskin merkezinden kenarlara doğru olan ivmelenmeyi, negatiflik ise parçacıkların diskin merkezine doğru ivmelenmesini temsil etmektedir.



Şekil 1.2. Dönen Disk

Bu ivmeler dönme esnasında gerilmeye neden olan $F_a = -\rho r\omega^2$ eylemsizlik kuvvetine sebep olur. Böyle bir durumda denge denklemi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\frac{d\sigma_r}{dr}+\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}+\rho\omega^2 r=0 \tag{1.24}$$

Denklem (1.24)'te ρ özkütleyi, ω ise radyan/saniye cinsinden sabit bir açısal hızı temsil etmektedir. Denge denkleminde yerçekimi kaynaklı bünye kuvveti ihmal edilmektedir. Denklem (1.4) ve Denklem (1.5), Denklem (1.24)'te yerlerine yazılırsa denge denklemi aşağıdaki formu alacaktır.

$$\frac{d^2u}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{du}{dr}-\frac{u}{r^2}=-(1-\mu^2)\frac{\rho\omega^2 r}{E} \tag{1.25}$$

(1.25) diferansiyel denklemi homojen olmayan ve özel çözüm gerektiren bir denklemdir. Homojen çözüm daha önce Denklem (1.9)'da gösterilmiş olup, özel çözüm aşağıda verilmiştir;

$$u_{ö}=-\frac{\rho\omega^2 r^3(1-\mu^2)}{8E} \tag{1.26}$$

Dolayısıyla genel çözüm;

$$u=-\frac{\rho\omega^2 r^3(1-\mu^2)}{8E}+c_1 r+\frac{c_2}{r} \tag{1.27}$$

olarak elde edilir. Analitik çözüm Denklem (1.27) dikkate alınarak Denklem (1.4) ve Denklem (1.5) tekrar düzenlendiğinde;

$$\sigma_r=\frac{E}{1-\mu^2}\left[\frac{-(3+\mu)(1-\mu^2)\rho\omega^2 r^2}{8E}+(1+\mu)c_1-(1-\mu)\frac{c_2}{r^2}\right] \tag{1.28}$$

$$\sigma_\theta=\frac{E}{1-\mu^2}\left[\frac{-(1+3\mu)(1-\mu^2)\rho\omega^2 r^2}{8E}+(1+\mu)c_1+(1-\mu)\frac{c_2}{r^2}\right] \tag{1.29}$$

çözümleri türetilebilir. Daha sonra Denklem (1.28)'e sınır koşulları uygulanarak integrasyon sabitleri belirlenebilir.

İç sınır (r = a) ve dış sınırda (r = b) basıncın sıfır olduğu halka şeklindeki dönen disklerde gerilme dağılımı tamamen dönme etkisine bağlıdır. Sınırlarda gerilme uygulanmaması durumunda sınır koşulları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\sigma_{r\,r=a}=0, \qquad \sigma_{r\,r=b}=0 \tag{1.30}$$

Bu koşullar Denklem (1.28)'e uygulandığında iki bilinmeyen sabit için iki denklem elde edilir;

$$0=-\rho\omega^2\frac{a^2}{E}\frac{(1-\mu^2)(3+\mu)}{8}+(1+\mu)c_1-(1-\mu)\frac{c_2}{a^2} \tag{1.31}$$

$$0=-\rho\omega^2\frac{b^2}{E}\frac{(1-\mu^2)(3+\mu)}{8}+(1+\mu)c_1-(1-\mu)\frac{c_2}{b^2} \tag{1.32}$$

Buradan c_1 ve c_2 aşağıdaki gibi belirlenirler.

$$c_1=\rho\omega^2\frac{(a^2+b^2)}{E}\frac{(1-\mu)(3+\mu)}{8} \tag{1.33}$$

$$c_2=\rho\omega^2\left(\frac{a^2b^2}{E}\right)\frac{(1+\mu)(3+\mu)}{8} \tag{1.34}$$

Buradan gerilmeler ve yerdeğiştirme için analitik çözümler ise aşağıdaki gibi elde edilirler.

$$\sigma_r=\frac{3+\mu}{8}\left(a^2+b^2-r^2+\frac{a^2b^2}{r^2}\right)\rho\omega^2 \tag{1.35}$$

$$\sigma_\theta=\frac{3+\mu}{8}\left(a^2+b^2-\frac{1+3\mu}{3+\mu}r^2+\frac{a^2b^2}{r^2}\right)\rho\omega^2 \tag{1.36}$$

$$u=\frac{(3+\mu)(1-\mu)}{8E}\left(a^2+b^2-\frac{1+\mu}{3+\mu}r^2+\frac{1+\mu}{1-\mu}\frac{a^2b^2}{r^2}\right)\rho\omega^2 \tag{1.37}$$

2. ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

Adomian Ayrıştırma Yöntemi (AAY), Amerikalı matematikçi George Adomian tarafından geliştirilmiştir. Adomian Ayrıştırma Yöntemi lineer ve lineer olmayan diferansiyel denklemlerin çözümünde etkili bir yöntem olmuştur. Bu yöntem, sonsuz seri formunda ve terimleri kolayca hesaplanabilen bir çözüm yöntemi ile analitik formda bir çözüm elde etme imkanı sunar.

Mühendislik, matematik ve fizikte karşılaşılan pek çok problemadi/kısmi diferansiyel denklemler ile ifade edilirler ve bazı özel durumlar dışında analitik çözüme sahip değillerdir. Bu sebeple bu tip problemlerin, tanım alanında sürekli olananalitik tahmini çözümlerini elde edebilmek önemlidir. Lineer/lineer olmayan adi/kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için Adomian Ayrıştırma Yöntemi kullanılarak böyle bir çözüm elde edilebilir.

Literatürde Adomian Ayrıştırma Yöntemi kullanılarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yöntemin uygulamalı matematik ve mühendislik alanında bazı seçilmiş uygulamalarına ait çalışmalar şöyle özetlenebilir.

Babolian ve diğ. lineer denklemler sistemleri ve Volterra integral denklem sistemine AAY'ni uygulamıştır [2]. Wazwaz bazı lineer olmayan öperatörler için Adomian polinomlarını hesaplamıştır [3]. Abbaoui ve Cherruault AAY'nin farklı problemler için çözüme yakınsaması üzerine çalışmalar yapmışlardır [4-6]. Adomian yöntemin çeşitli problemlerdeki uygulamalarını ele almış[7-10], Adomian ve Rach [11] ve Wazwaz [12] lineer ve lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerde AAY için kısmi çözümlerin denkliğini incelemişlerdir. Arslantürk ısıya bağımlı iletkenliği olan düz kanatçıkların verimliliğini incelemiştir [13]. Mao AAY ile çatlak kolonların titreşim analizini yapılmıştır [14]. Wattanasakulpong ve Chaikittiratana AAY ile elastik sınır koşullarına sahip kademeli kolonların yüksek genlikli titreşim analizlerini yapmıştır [15]. Singla ve Das kademeli soğutma kanatçıklarının ısıya bağımlı ısı transferi modlarının Adomian Ayrıştırma Yöntemi ile çözümleri

konusunda çalışmışlardır [16]. Danish ve diğ. Adomian Ayrıştırma Yöntemi'nden yararlanarak pürüzsüz borularda Bingham akışkanlarının akışının söz konusu olduğu durumda sürtünme faktörü için açık analitik ifadeler türetmişlerdir [17]. Siddiqui ve diğ. AAY kullanarak üçüncü mertebe bir akışkanın paralel levhalar arasındaki akışını incelenmiştir [18]. Alizadeh ve diğ. soğutma probleminin analitik tahmini çözümünü AAY ile elde etmiştir [19]. Coşkun ve diğ elastik zemin üzerindeki üniform olmayan kirişlerin titreşimini AAY ile incelemişlerdir .[20].Coşkun ve diğ. Euler kirişlerinin enine titreşimini içinde AAY'nin de bulunduğu bazı analitik tahmin yöntemleri kullanarak analiz etmiştir [21]. Lu ve diğ. Jeffery-Hamel akış problemini AAY ile çözmüşlerdir [22]. Ramana ve Prasad AAY ile doğrusal olmayan titreşim problemlerini ele almışlardır [23]. Chen ve Liu yeraltı suyu akımında Boussinesq denklemini AAY ile çözmüşlerdir [24]. Mao birbirine elastik bağlı çoklu kirişlerin titreşimini AAY ile incelemiştir [25]. Hsu ve diğ. uniform Timoshenko kirişinin ve uniform olmayan Euler kirişinin titreşimini AAY ile ele almışlardır [26, 27]. Şentürk ve diğ. AAY'den yararlanarak sıkışık trafiğe geçiş problemi için çözüm elde etmiştir [28]. Kondakcı ve Coşkun uniform olmayan çubukların boyuna titreşim problemini AAY ile ele almıştır [29].

2.1. Adomian Ayrıştırma Yöntemi

Genel formu,

$$Lu+Ru+Nu=g(x) \tag{2.1}$$

olan bir diferansiyel denklem ele alalım. Burada u bilinmeyen değişkeni, L diferansiyel denklemin en üst mertebeden türevini ve tersi alınabilen doğrusal bir operatörü,N lineer olmayan operatörü, R, geriye kalan ve mertebesi daha düşük lineer kısmı,g(x) de kaynak operatörü temsil eder. Denklem (2.1)'deki eşitliğin iki tarafı da L^{-1} ile çarpılırsa;

$$u=f(x)-L^{-1}(Ru)-L^{-1}(Nu) \tag{2.2}$$

elde edilir. Burada L^{-1}, lineerLu operatörünün tersi, f(x), kaynak fonksiyon g(x)'in ters operatörle işlem görmesi sonucunda meydana gelen fonksiyondur. Çözüm;

$$u(x)=\sum_{n=0}^{\infty} u_n(x) \tag{2.3}$$

şeklinde bir seri açılımı olarak elde edilir.

Lineer olmayan operatör [Nu] lineer olmama durumundan dolayı özel olarak üretilen Adomian polinomları A_n ile ifade edilir;

$$Nu=\sum_{n=0}^{\infty} An(u_0,u_{1,}u_{2,\dots}u_n) \tag{2.4}$$

Adomian polinomları;

$$A_n=\frac{1}{n!}\left[\frac{d^n}{d\lambda^n}N\left(\sum_{k=0}^{\infty}\lambda^k u_k\right)\right], \quad n\geq 0 \tag{2.5}$$

formülüyle hesaplanır.

Nu = F(u) olduğu varsayılarak Adomian polinomlarının ilk birkaç tanesi sırasıyla aşağıda verilmiştir;

$$A_0=F(u_0)$$

$$A_1=u_1F'(u_0)$$

$$A_2=u_2F'(u_0)+\frac{1}{2!}u_1{}^2F''(u_0)$$

$$A_3=u_3F'(u_0)+u_1u_2F''(u_0)\frac{1}{3!}u_1{}^3F'''(u_0) \tag{2.6}$$

ve;

$$u_0(x)=f(x) \tag{2.7}$$

$$u_{n+1}(x)=-L^{-1}\left[Ru_n-A_n\right], \quad n\geq 0 \tag{2.8}$$

Bu denklemlerden bulunan u_n ifadeleri,

$$u(x)=\sum_{n=0}^{N} u_n(x) \tag{2.9}$$

denklemi yardımıyla yazıldığında, Denklem (2.1)'in çözümünü verir. Ana çözüm süreci yukarıda ifade edilmiş olan Adomian ayrıştırma yönteminin detayları için [30] incelenebilir.

2.2. Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi

Ebaid Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi'ni Bessel, Emden-Fowler ve Thomas-Fermi denklemleri gibi tekil iki noktalı sınır değer problemlerinin çözümleri için Lesnic tarafından aynı yöntemle yürütülen çalışmalarda geliştirilen bir AAY formülasyonunu temel alarak elde etmiştir [31-33].

Uygulamalı matematikte gaz dinamikleri, parçacık fiziği, kimyasal reaksiyonlar, atomik yapı çalışmaları ve atomik hesaplamalar gibi alanlarda birçok problem aşağıda verilen Denklem (2.10)'daki formda tekil sınır değer problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

$$u''(x)+p(x)u'(x)+q(x)f(u(x))=r(x), \qquad x \in (a,b) \tag{2.10}$$

Sınır koşulları ise aşağıdaki gibi verilebilir.

$$u(a)=\alpha, \qquad u(b)=\beta \tag{2.11}$$

Burada $p(x), q(x)$ ve $r(x)$ fonksiyonlarından en az biri tekil noktaya sahip ve a, b, α ve βsonlu sabitlerdir [31].

$$L^{-1}_{xx}(.)=\int_a^x dx' \int_a^{x'}(.)dx'' - \frac{x-a}{b-a}\int_a^b dx' \int_c^{x'}(.)dx'' \tag{2.12}$$

Denklem (2.12), Denklem (2.10)'da yerine yazıldığında;

$$u(x)= u(a)+\frac{x-a}{b-a}\left[u(b)-u(a)\right]+L^{-1}_{xx}[r(x)]-L^{-1}_{xx}[p(x)u'(x)]-L^{-1}_{xx}[q(x)f(u(x))] \tag{2.13}$$

elde edilir.

Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi'ne göre $u(x)$ çözümü aşağıdaki gibi hesaplanabilir [31].

$$u_0(x)=u(a)+\frac{x-a}{b-a}\left[u(b)-u(a)\right]+L^{-1}_{xx}[r(x)] \tag{2.14}$$

$$u_{n+1}=-L^{-1}_{xx}[p(x)u'_n(x)+q(x)A_n(x)], \quad n\geq 0 \tag{2.15}$$

Buradaki A_n, lineer olmayan $f(u(x))$ terimi için Adomian polinomlarıdır ve aşağıdaki formda yazılabilir;

$$A_n=\frac{1}{n!}\left[\frac{d^n}{d\lambda^n} f\left(\sum_{i=0}^{\infty}\lambda^i u_i\right)\right]_{\lambda=0} \quad (2.16)$$

f(u(x)) terimi lineerse, Denklem (2.15)'teki tekrar ilişkisi,

$$u_{n+1}=-L^{-1}_{xx}[p(x)u'_n(x)+q(x)u_n(x)] \quad (2.17)$$

olarak yazılır.

Problemin N. mertebeden çözümü ise,

$$u(x)=\sum_{n=0}^{N} u_n(x) \quad (2.18)$$

ile ifade edilir.

3. PROBLEMLER

3.1. Kalın Duvarlı Silindir Problemi

Durum çalışması için iç çapı 0,3m, dış çapı 1,2m olan bir silindir boruyu ele alalım. Poisson oranı 0,3 ve elastisite modülü 200 GPa verilmiş olsun. Buna göre denge denklemi ve çözüm için kullanılacak başlangıç tahmin fonksiyonu;

$$u''+\frac{1}{r}u'-\frac{1}{r^2}u=0 \tag{3.1}$$

$$0,3 \le r \le 1,2 \tag{3.2}$$

$$u_0(r)=u(0,3)+\frac{r-0,3}{1,2-0,3}\left[u(1,2)-u(0,3)\right]+0 \tag{3.3}$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (3.3)'te bulunan;

$$u(0,3)=A \tag{3.4}$$

$$u(1,2)=B \tag{3.5}$$

olarak yazılırsa aşağıdaki denklemler kolaylıkla elde edilir;

$$u_0(r)=A+1,11111\ (B-A)(r-0,3) \tag{3.6}$$

$$u'_0(r)=1,11111(B-A) \tag{3.7}$$

$$u_1(r)=-\left(\int_{0,3}^{r}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_0(t)-\frac{1}{t^2}(u_0(t))\right)dtds-\left(\frac{r-0,3}{1,2-0,3}\right)\int_{0,3}^{1,2}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_0(t)-\frac{1}{t^2}(u_0(t))\right)dtds\right)$$

$$u_1(r)=A(-2,22143+2,05377r-1,33333\ln(r))+B(0,55535-0,51344r+0,33333\ln(r) \tag{3.8}$$

$$u'_1(r)=1,33333A+1,11111(0,64839A-0,16209B)-0,33333B-\frac{1,33333A-0,33333B}{r} \tag{3.9}$$

$$u_2(r)=-\left(\int_{0,3}^{r}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_1(t)-\frac{1}{t^2}(u_1(t))\right)dtds-\left(\frac{r-0,3}{1,2-0,3}\right)\int_{0,3}^{1,2}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_1(t)-\frac{1}{t^2}(u_1(t))\right)dtds\right)$$

$$u_2(r)=B(-0,605+0,59r-0,555\ln(r)-0,166(\ln r)^2)+$$

$$A(2,42-2,37r+2,22\ \ln(r)+0,67(\ln r)^2) \quad (3.10)$$

Denklem (2.18)'e göre, problemin ikinci mertebeden çözümü aşağıdaki gibi olmalıdır;

$$U_2(r)=u_0(r)+u_1(r)+u_2(r) \quad (3.11)$$

$$U_2(r)=B(-0,38+1,19r-0,22\ln(r)-0,17\ln(r)^2)+$$
$$A(1,53-1,43r+0,89\ln(r)+0,67(\ln r)^2) \quad (3.12)$$

$$U'_2(r)=B\left(1,19082-\frac{0,22202}{r}-\frac{0,33333\ln(r)}{r}\right)+A\left(-1,42995+\frac{0,88809}{r}+\frac{1,33333\ln(r)}{r}\right) \quad (3.13)$$

Burada bulunan$U_2(r)$ ve $U'_2(r)$ fonksiyonları Denklem (1.6)'da yerine yazılırsa;

$$\sigma_{r_2}=\frac{E}{1-\mu^2}\left(\frac{dU_2}{dr}+\mu\frac{U_2}{r}\right) \quad (3.14)$$

$$\sigma_{r_2}=B\left(3,4\times10^{11}-\frac{7,4\times10^{10}}{r}-\frac{8,79\times10^{10}\ln(r)}{r}-\frac{1,09\times10^{10}\ln(r)^2}{r}\right)+$$
$$A\left(-4,08\times10^{11}+\frac{2,96\times10^{11}}{r}+\frac{3,51\times10^{11}\ln(r)}{r}+\frac{4,39\times10^{10}(\ln r)^2}{r}\right) \quad (3.15)$$

Denklemi elde edilir.

İç basınç $p_i=-1$ ve dış basınç $p_o=0$ kabul edilerek denkleme daha önce verilmiş sınır koşulları uygulanırsa A ve B katsayıları aşağıdaki gibi bulunur;

$$A=2,16928\times10^{-12} \quad (3.16)$$

$$B=8,77123\times10^{-13} \quad (3.17)$$

Daha sonra elde edilen bu katsayılar Denklem (3.13)'te yerine yazıldığında, denklem sadece r değişkenine bağlı şekilde elde edilmiş olur;

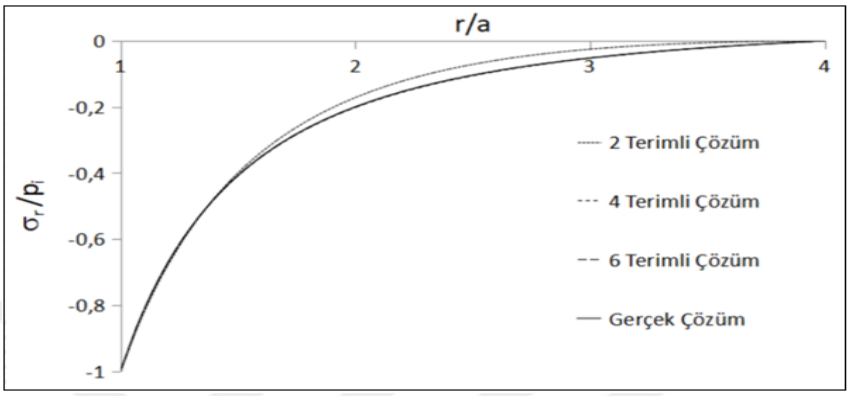
$$U_2(r)=2,98712\times10^{-12}-2,05746\times10^{-12}r+1,73178\times10^{-12}\ln r+1,3\times10^{-12}(\ln r)^2 \quad (3.18)$$

Denklem (1.6) ve (1.7)'ye, Denklem (3.18) yerleştirildiğinde sırasıyla;

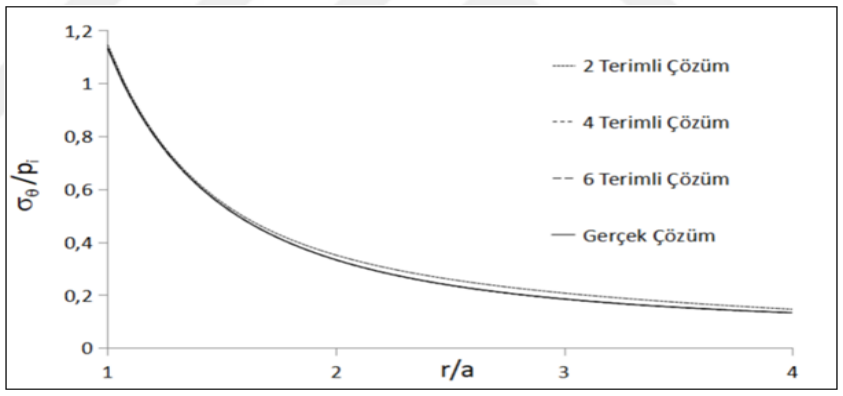
$$\sigma_{r_2}=-0,58785+\frac{0,57756}{r}+\frac{0,68561\ \ln r}{r}+\frac{0,08571(\ln r)^2}{r} \quad (3.19)$$

$$\sigma_{\theta_2}=-0{,}58785+\frac{0{,}77069}{r}+\frac{0{,}55204\ \ln r}{r}+\frac{0{,}28571(\ln r)^2}{r} \qquad (3.20)$$

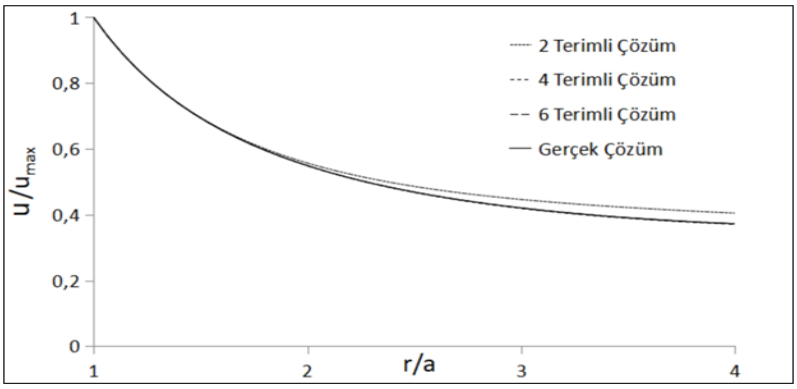
olarak elde edilir. Bulunan bu çözümler, terim sayıları artırılarak aynı şekilde iki, dört ve altıncı mertebeye kadar tekrar ettirildiğinde σ_r, σ_θ ve U(r)'nin gerçek çözümleriyle kıyaslandığı aşağıdaki grafikler oluşturulabilir.



Şekil 3.1. Sadece iç basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde radyal gerilmenin (σ_r) kıyaslanması



Şekil 3.2. Sadece iç basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde çembersel gerilmenin (σ_θ) kıyaslanması



Şekil 3.3. Sadece iç basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde deformasyonun kıyaslanması

Denklem (3.15)'e kadar olan işlemlerden sonra, bu kez iç basınç $p_i = 0$ ve dış basınç $p_o = -1$ iken denkleme daha önce verilmiş sınır koşulları uygulandığında ise A ve B katsayıları aşağıdaki gibi elde edilir;

$$A=-3{,}21928\times10^{-12} \tag{3.21}$$

$$B=-5{,}07712\times10^{-12} \tag{3.22}$$

Bulunan katsayılar yine Denklem (3.13)'te yerine yazıldığında,

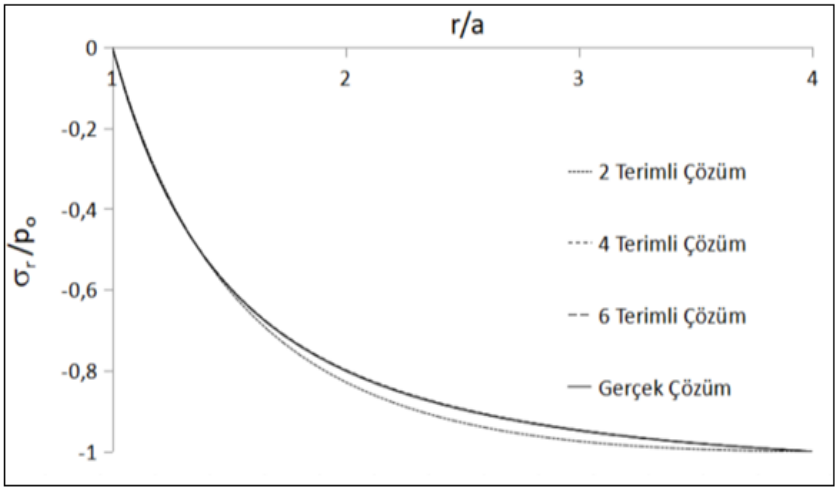
$$U_2(r)=-2{,}98712\times10^{-12}-1{,}44253\times10^{-12}r-1{,}73178\times10^{-12}\ln r-1{,}3\times10^{-12}(\ln r)^2 \tag{3.23}$$

olarak elde edilir. Denklem (3.23) de aynı şekilde Denklem (1.6) ve Denklem (1.7)'de yerine yazılırsa;

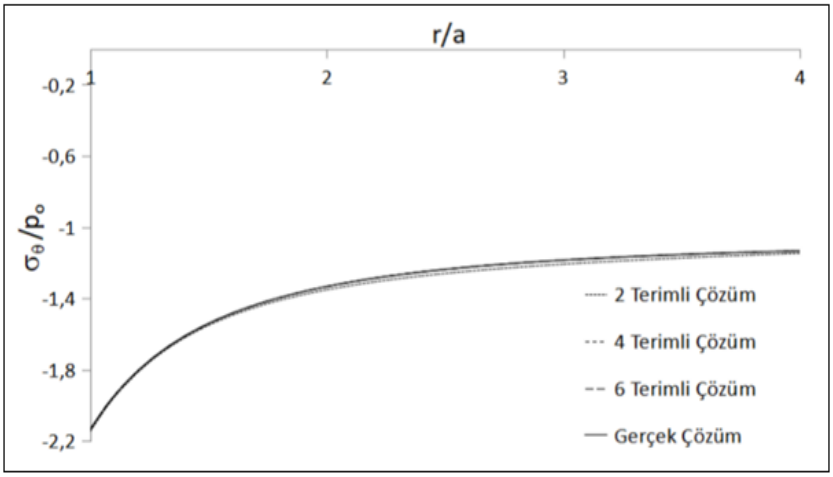
$$\sigma_{r_2}=-0{,}41216-\frac{0{,}57756}{r}-\frac{0{,}68561\ln r}{r}-\frac{0{,}08571(\ln r)^2}{r} \tag{3.24}$$

$$\sigma_{\theta_2}=-0{,}41216-\frac{0{,}77069}{r}-\frac{0{,}55204\ln r}{r}-\frac{0{,}28571(\ln r)^2}{r} \tag{3.25}$$

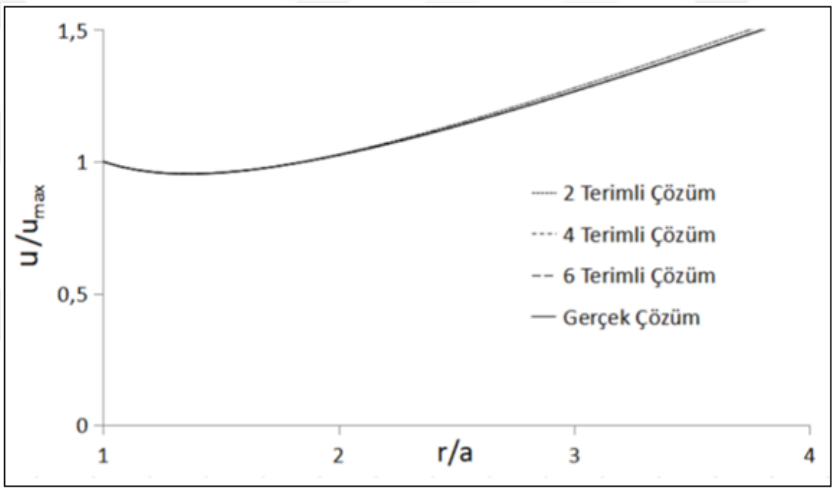
elde edilmiş olur. Bulunan çözümler, yine iki, dört ve altıncı mertebeye kadar tekrar ettirildiğinde σ_r, σ_θ ve $U(r)$'nin gerçek çözümlerle kıyaslandığı aşağıdaki grafikler elde edilir.



Şekil 3.4. Sadece dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde radyal gerilmenin (σ_r) kıyaslanması



Şekil 3.5. Sadece dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde çembersel gerilmenin (σ_θ) kıyaslanması



Şekil 3.6. Sadece dış basınç etkisindeki kalın duvarlı silindirde deformasyonun kıyaslanması

3.2. Dönen Disk Problemi

Dönen disk problemi için yine iç çapı 0,3m, dış çapı 1,2m olan bir içi boş disk ele alınmış olsun. Poisson oranı 0,3 ve elastisite modülü 200 GPa verilmiş olsun. Hesaplamalar için cismin özkütlesi $\rho = 1$, açısal hızı $\omega = 1$radyan/saniye olarak seçilmiştir.

$$u''+\frac{1}{r}u'-\frac{1}{r^2}u=-\rho r\omega^2 \tag{3.26}$$

olduğundan,

$$u_0(r)=A+\left(\frac{r-0,3}{1,2-0,3}\right)(B-A)-$$

$$\left(\int_{0,3}^{r}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{E}(1-\mu^2)\rho\omega^2 t\right)dtds-\left(\frac{r-0,3}{1,2-0,3}\right)\int_{0,3}^{1,2}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{E}(1-\mu^2)\rho\omega^2 t\right)dtds\right) \quad (3.27)$$

$$u_0(r)=-4,095\times10^{-13}+A(1,33333-1,11111r)+1,43325\times10^{-12}r-$$
$$7,58333\times10^{-13}r^3+B(-0,33333+1,11111r) \quad (3.28)$$

$$u_0'(r)=1,43325\times10^{-12}+1,11111(-A+B)-2,275\times10^{-12}r^2 \quad (3.29)$$

$$u_1(r)=-\left(\int_{0,3}^{r}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_0(t)-\frac{1}{t^2}(u_0(t))\right)dtds-\left(\frac{r-0,3}{1,2-0,3}\right)\int_{0,3}^{1,2}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_0(t)-\frac{1}{t^2}(u_0(t))\right)dtds\right)$$

$$u_1(r)=8,18756\times10^{-13}-1,10852\times10^{-12}r+2,52778\times10^{-13}r^3+$$
$$A(-2,22143+2,05377r-1,33333\ln r)+$$
$$B(0,55536-0,51344r+0,33333\ln r)+4,095\times10^{-13}\ln r \quad (3.30)$$

$$u_1'(r)=-1,10851\times10^{-12}+A\left(2,05377-\frac{1,33333}{r}\right)+$$
$$B\left(-0,51344+\frac{0,33333}{r}\right)+\frac{4,095\times10^{-13}}{r}+7,58333\times10^{-13}r^2 \quad (3.31)$$

$$u_2(r)=-\left(\int_{0,3}^{r}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_1(t)-\frac{1}{t^2}(u_1(t))\right)dtds-\left(\frac{r-0,3}{1,2-0,3}\right)\int_{0,3}^{1,2}\int_{1}^{s}\left(\frac{1}{t}du_1(t)-\frac{1}{t^2}(u_1(t))\right)dtds\right) \quad (3.32)$$

$$u_2(r)=-1,01615\times10^{-12}+1,09819\times10^{-12}r-8,42592\times10^{-14}r^3-$$
$$8,18756\times10^{-13}\ln r-2,0475\times10^{-13}(\ln r)^2+ \quad (3.33)$$
$$B(-0,60499+0,59315r-0,55536\ln r-0,16667(\ln r)^2)+$$
$$A(2,41995-2,37261r+2,22143\ln r+0,66667(\ln r)^2)$$

olarak türetilir. Buradan da aşağıda verilen ikinci mertebeden çözüme ulaşılır,

$$U_2(r)=u_0(r)+u_1(r)+u_2(r) \quad (3.34)$$

$$U_2(r)=-6,06891\times10^{-13}+1,42293\times10^{-12}r-5,89815\times10^{-13}r^3-$$
$$4,09256\times10^{-13}\ln r-2,0475\times10^{-13}(\ln r)^2+$$
$$B(-0,38296+1,19082r-0,22202\ln r-0,16667(\ln r)^2)+ \quad (3.35)$$
$$A(1,53186-1,42995r+0,88809\ln r+0,66667(\ln r)^2)$$

$$U_2'(r)=1,42293\times10^{-12}-\frac{4,09256\times10^{-13}}{r}-1,76944\times10^{-12}r^2-\frac{4,095\times10^{-13}\ln r}{r}+$$

$$B\left(1{,}19082-\frac{0{,}22202}{r}-\frac{0{,}33333\ln r}{r}\right)+A\left(-1{,}42995+\frac{0{,}88809}{r}+\frac{1{,}33333\ln r}{r}\right) \quad (3.36)$$

Burada bulunan $U_2(r)$ ve $U'_2(r)$ fonksiyonları Denklem (1.6)'da yerine yazıldığında;

$$\sigma_{r_2}=0{,}40655-\frac{0{,}12996}{r}-0{,}42778r^2-\frac{0{,}11698\ln r}{r}-\frac{0{,}0135(\ln r)^2}{r}+$$
$$B\left(3{,}40234\times10^{11}-\frac{7{,}40468\times10^{10}}{r}-\frac{8{,}7899\times10^{10}\ln r}{r}-\frac{1{,}0989\times10^{10}(\ln r)^2}{r}\right)+ \quad (3.37)$$
$$A\left(-4{,}08557\times10^{11}+\frac{2{,}96187\times10^{11}}{r}+\frac{3{,}51596\times10^{11}\ln r}{r}+\frac{4{,}3956\times10^{10}(\ln r)^2}{r}\right)$$

ifadesi elde edilir. Bu denkleme sınır koşulları uygulandığında A ve B katsayıları aşağıdaki gibi bulunur;

$$A=1{,}81696\times10^{-12} \quad (3.38)$$

$$B=2{,}00283\times10^{-12} \quad (3.39)$$

Elde edilen katsayılar Denklem (3.35)'te yerlerine yazıldığında;

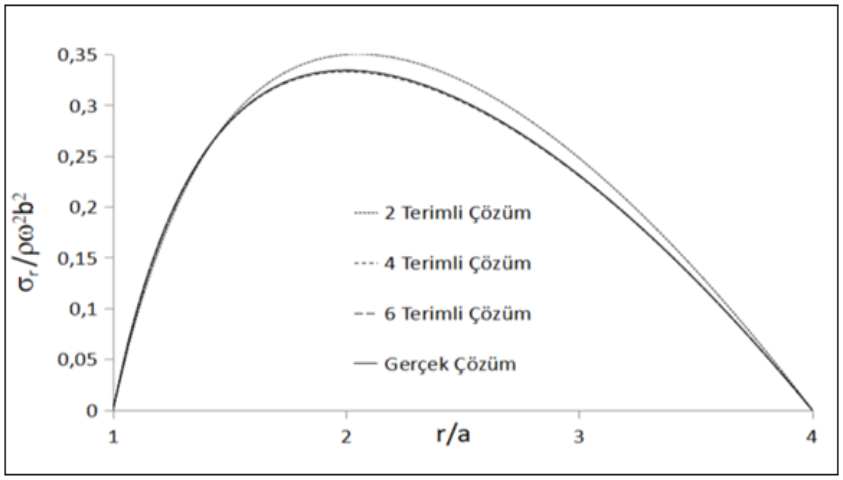
$$U_2(r)=1{,}46943\times10^{-12}+2{,}00036\times10^{-13}(-0{,}3+r)+$$
$$2{,}275\times10^{-12}r-7{,}58333\times10^{-13}r^3-r\left(-5{,}87167\times10^{-13}-2{,}52778\times10^{-13}r^2\right)- \quad (3.38)$$
$$r\left(1{,}85242\times10^{-12}+8{,}42592\times10^{-14}r^2\right)+7{,}59698\times10^{-13}\ln r+$$
$$6{,}7275\times10^{-13}(\ln r)^2$$

olarak elde edilir. Bu fonksiyon da Denklem (1.6) ve Denklem (1.7)'de yerine yazılırsa;

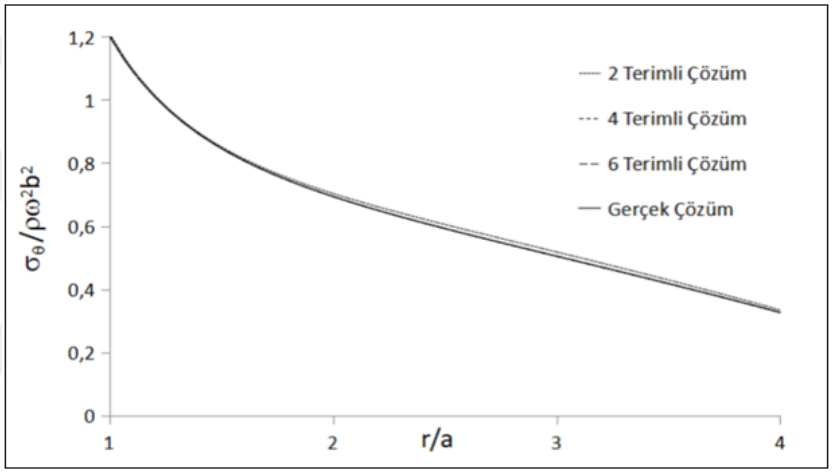
$$\sigma_{r_2}=0{,}34565+\frac{0{,}25989}{r}-0{,}42778r^2+\frac{0{,}3458\ln r}{r}+\frac{0{,}04436(\ln r)^2}{r} \quad (3.39)$$

$$\sigma_{\theta_2}=0{,}34565+\frac{0{,}35985}{r}-0{,}24629r^2+\frac{0{,}25568\ln r}{r}+\frac{0{,}14786(\ln r)^2}{r} \quad (3.40)$$

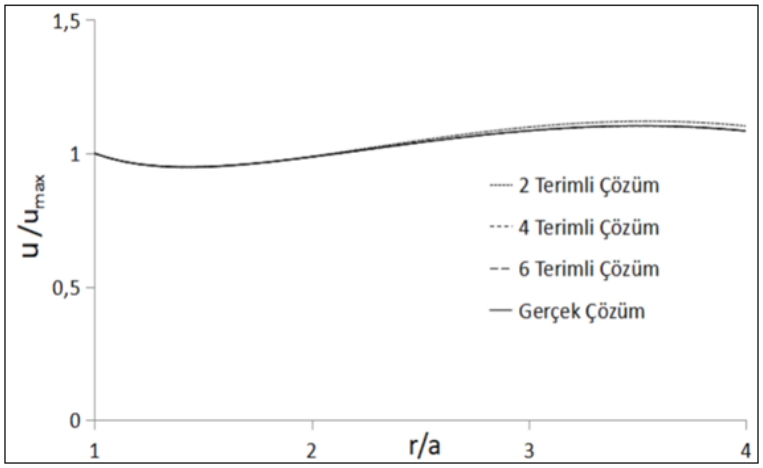
fonksiyonları çözüm olarak elde edilir. Bu çözümler, iki, dört ve altıncı mertebeye kadar tekrar ettirildiğinde türetilen σ_r, σ_θ ve U(r)'nin gerçek çözümlerle kıyaslandığı grafikler aşağıda görülmektedir.



Şekil 3.7. Dönen bir diskte radyal gerilmenin (σ_r) kıyaslanması



Şekil 3.8. Dönen bir diskte çembersel gerilmenin (σ_θ) kıyaslanması



Şekil 3.9. Dönen bir diskte deformasyonun kıyaslanması

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi kullanılarak kalın duvarlı silindir ve dönen diskin eksenel simetrik deformasyon ve gerilme analizleri yapılmıştır. Yöntem tekil diferansiyel denklemler için oldukça etkilidir ve bu tip denklemler üzerine kurulmuş olan problemlere uygulanabilir.

Bu çalışmada; iç basınç uygulanan kalın duvarlı silindir, dış basınç uygulanan kalın duvarlı silindir ve sabit kalınlıkta dönen disk problemleri ele alınmıştır. Uygulanan yöntemle elde edilen iki terimli, dört terimli ve altı terimli çözümler ve probleme ait gerçek çözümlerle karşılaştırılmıştır.

İncelenen tüm durumlarda iki terimli çözüm kabul edilebilir bir sonuç vermiştir. Dört terimli çözüme ait sonuçlar grafiksel olarak gerçek çözümle çakışmışlardır. Altı terimli çözüm ise gerçek çözümle mükemmel bir uyum içerisindedir. Altı terimin burada terim sayısı olarak bu hassasiyeti elde edebilmek için oldukça düşük bir terim sayısı olduğu değerlendirilmektedir. Sadece iki terim kullanılarak bile kabul edilebilir bir sonuç elde edildiği düşünülecek olursa uygulanan yöntemin oldukça etkili olduğu kanaatine varılabilir.

Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, Geliştirilmiş Adomian Ayrıştırma Yöntemi kalın duvarlı silindir ve dönen disklerin eksenel simetrik deformasyon ve gerilme analizinde başarıyla kullanılabilir. Ayrıca, elde edilen başarılı sonuçlar, yöntemin heterojen kalın silindir ve uniform olmayan kesitli dönen disklerin analizinde de kullanılabileceği değerlendirmesini yapabilmemizi sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Ugural A. C., Fenster S. K., *Advanced Strengthand Applied Elasticity*, 4th ed., PrenticeHall, New Jersey, 2003.

[2] Babolian E., Biazar, J., Vahidi, A.R., On the Decomposition Method for System of Linear Equations and System of Linear Volterra Integral Equations, *Applied Mathematics and Computation*, 2004, **147** (1), 19-27.

[3] Wazwaz A.M., A New Algorithm for Calculating Adomian Polynomials for Nonlinear Operators, *Applied Mathematics and Computation*, 2000, **111**(1), 53-69.

[4] Abbaoui K., Cherruault, Y., Convergence of Adomians Method Applied to Nonlinear Equations, *Mathematical and Computer. Modelling*, 1994, **20** (9), 69-73.

[5] Abbaoui K. and Cherruault, Y., *New Ideas* for Proving Convergence of Decomposition Methods, *Computers and Mathematics Applications*, 1995, **29**(7), 103-108.

[6] Abbaoui K. and Cherruault, Y., Convergence of Adomian Method Applied to Differential Equations, *Computers and Mathematics Applications*, 1994, **28**(5), 103-109.

[7] Adomian G., *A* New Approach to Nonlinear Partial Differential Equations, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*,1984, **102**, 420-434.

[8] Adomian G., Solution of the Navier-Stokes Equations-I, *Computers and Mathematics Applications*, 1986, **12**(11), 1119-1124.

[9] Adomian G., A New Approach to the Heat Equation-An Application of the Decomposition Method, *J.Mat. Anal. Appl*.,1986, **113**(1), 202-209.

[10] Adomian G., Modification of the Decomposition Approach to the Heat Equation, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 1987,**124**, 290-291.

[11] Adomian G., Rach, R., Equality of Partial Solutions in the Decomposition Method for Linear or Nonlinear Partial Differential Equations, *Computers and Mathematics Applications*, 1990, **19**(12), 9-12.

[12] Wazwaz A.M., Equality of Partial Solutions in the Decomposition Method for Partial Differential Equations, *International Journal of ComputerMathematics*,1997, **65**(3-4), 293-308.

[13] Arslantürk C., A Decomposition Method for Fin Efficiency of Convective Straight Fins with Temperature-Dependent Thermal Conductivity, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2009, **32**(6), 831-841.

[14] Mao Q.B., Vibration Analysis of Cracked Beams Using Adomian Decomposition Method and Non-Baseline Damage Detection via High-Pass Filters, *International Journal of Acoustics and Vibration*, 2016, **21**(2), 170-177.

[15] Wattanasakulpong N., Chaikittiratana A., Adomian-Modified Decomposition Method for Large-Amplitude Vibration Analysis of Stepped Beams with Elastic Boundary Conditions, *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 2016, **44**(3), 270-282.

[16] Singla R.K., Das R., Adomian Decomposition Method for a Stepped Fin with All Temperature-Dependent Modes of Heat Transfer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2015, **82**, 447-459.

[17] Danish M., Kumar S., Kumar S., Approximate Explicit Analytical Expressions of Friction Factor for Flow of Bingham Fluids in Smooth Pipes Using Adomian Decomposition Method, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2011, **16**(1), 239-251.

[18] Siddiqui A.M., Hameed M., Siddiqui B.M., Ghori Q.K., Use of Adomian Decomposition Method in the Study of Parallel Plate Flow of a Third Grade Fluid, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2010, **15**(9), 2388-2399.

[19] Alizadeh E., Sedighi K., Farhadi M., Ebrahimi-Kebria H.R., Analytical Approximate Solution of the Cooling Problem by Adomian Decomposition Method, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, **14**(2), 462-472.

[20] Coşkun S.B., Öztürk B., Mutman U.,Adomian Decomposition Method for Vibration of Nonuniform Euler Beams on Elastic Foundation, *9th International Conference on Structural Dynamics (EURODYN2014)*, Porto, Portugal, 1 July 2014.

[21] Coşkun S.B., Atay M.T., Öztürk B., Transverse Vibration Analysis of Euler-Bernoulli Beams Using Analytical Approximate Techniques, Editor: Ebrahimi F., *Advances in Vibration Analysis Research*, InTech, Rijeka, Croatia, 1-23, 2011.

[22] Lu L., Duan J.S., Fan L.Z., Solution of the Magnetohydrodynamics Jeffery-Hamel Flow Equations by the Modified Adomian Decomposition Method, *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*, 2015, **7**(5), 675-686.

[23] Ramana P.V., Prasad B.K.R., Modified Adomian Decomposition Method for Van der PolEquations, *International Journal of Nonlinear Mechanics*, 2014, **65**, 121-132.

[24] Chen F., Liu Q.Q., Modified Asymptotic Adomian Decomposition Method for Solving Boussinesq Equation of Groundwater Flow, *Applied Mathematics and Mechanics*, 2014, **35**(4), 481-488.

[25] Mao Q.B., Free Vibration Analysis of Elastically Connected Multiple-Beams by Using the Adomian Modified Decomposition Method, *Journa lof Sound and Vibration*, 2012, **331**(11), 2532-2542.

[26] Hsu J.C., Lai H.Y., Chen C.K., An Innovative Eigenvalue Problem Solver for Free Vibration of Uniform Timoshenko Beams by Using the Adomian Modified Decomposition Method, *Journal of Sound and Vibration*, 2009, **325**(1-2), 451-470.

[27] Hsu J.C., Lai H.Y., Chen C.K., Free Vibration of Non-Uniform Euler-Bernoulli Beamswith General Elastically End Constraints Using Adomian Modified Decomposition Method, *Journal of Sound and Vibration*, 2008, **318**(4-5), 965-981.

[28] Şentürk E., Coşkun S.B., Atay M.T., Solution of Jamming Transition Problem Using Adomian Decomposition Method ,*Engineering Computations*, 2018, **35**(4).

[29] Kondakcı K., Coşkun S.B., Uniform Olmayan Çubukların Boyuna Titreşimlerinin Farklı Analitik Tahmin Yöntemleri ile İncelenmesi, *3rd International Congress on Engineering, Architecture and Design*, 2018, Kocaeli, Türkiye, 4 May 2018.

[30] Adomian G., *Solving Frontier Problems of Physics: The Decomposition Method*, Springer, 1994.

[31] Ebaid A., A New Analytical and Numerical Treatment for Singular Two-Point Boundary Value Problems via The Adomian Decomposition Method, *Department of Mathematics, Faculty of Science*, 2011, **235**(8), 1914-1924.

[32] Lesnic D., 2007,A Nonlinear Reaction-Diffusion Process Using the Adomian Decomposition Method, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2007, **34**(2), 129-135.

[33] Lesnic D.,The Decomposition Method for Initial Value Problems. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, **181**(1), 206-213.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Coşkun S.B., **Kara Z.E.,**Axisymmetric Deformation Analysis of Thick-Walled Cylinders and Rotating-Disks Using an Improved Adomian Decomposition Method, *International Journal of Mecnanics*, 2018, **12**, 14-18.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Kocaeli'de doğdu. Lise eğitimini Kocaeli Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2018 yılının Nisan ayından beri Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.